นิพนธ์ต้นฉบับ

ความหลากชนิดและความมากมายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน จังหวัดฉะเชิงเทรา

Diversity and Abundance of Carnivorous Mammals in Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary, Chachoengsao Province

จิตติมา เรืองติก Jittima Ruengtik
รองลาภ สุขมาสรวง* Ronglarp Sukmasuang*
ขวัญฤทัย จรัสเพ็ชร Khwanrutai Charaspet
มนันยา พลาอาด Mananya Pla-ard
ธราภรณ์ พันกันธะ Tarapone Panganta
ประทีป ด้วงแค Prateep Duengkae
นริศ ภูมิภาคพันธ์ Naris Bhumpakphan

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: mronglarp@gmail.com

รับต้นฉบับ 3 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 26 มิถุนายน 2562 **รับลงพิมพ์** 3 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

The study on the diversity, abundance and habitat use of carnivorous mammals in the Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary, Chachoengsao Province was conducted during March 2017 to February 2018 using the camera trap technique. The objectives were to investigate the species diversity, relative abundance and probability of the site occupancy of carnivorous mammals. Camera traps were deployed at 58 locations, adding to a total of 4,463 trap nights, covering an area of 88.12 km^2. Fourteen species from 6 families were imaged, including golden jackal, dhole, Asiatic black bear, sun bear, yellow-throated marten, hog badger, small Indian civet, large Indian civet, large-spotted civet, Asian palm civet, small Asian mongoose, crab-eating mongoose, leopard cat and clouded leopard. The diversity index of carnivorous mammals recorded was 2.01. The species with the highest relative abundance was the Asian palm civet (3.43%) followed by large-spotted civet (3.20%), leopard cat (2.42%), dhole (1.97%), golden jackal (1.81%), small Indian civet (0.67%), large Indian civet (0.31%), hog badger (0.29%), crab-eating mongoose (0.29%), yellow-throated marten (0.27%) and small Asian mongoose (0.11%). The occupancy was calculated for 11 carnivorous species including the common palm civet (1.05 animals/km^2), dhole (0.97 animals/km^2), leopard cat (0.91 animals/km^2), large-spotted civet (0.81 animals/km^2),

large Indian civet (0.39 animals/km^2), crab-eating mongoose (0.34 animals/km^2), yellow-throated marten (0.32 animals/km^2), hog badger (0.29 animals/km^2), small Indian civet (0.25 animals/km^2) and golden jackal (0.23 animals/km^2). This study resulted in a similar yet significant ($p<0.05$) pattern of species diversity, abundance and probability of occupancy. All of the 3 indices were higher than those evaluated in other protected areas. Thus, Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary is an important protected area for the conservation of carnivorous species of Thailand. Habitat management, water sources and saltlick sites should be improved to be suitable for use by the wildlife and their prey. Public awareness and reduction of human activities in the area are important for species conservation. Moreover, for monitoring the population and distribution of species, ecological studies should be undertaken continuously.

Keywords: Carnivorous mammals, Camera trap, Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากชนิดและความมากมายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน จังหวัดฉะเชิงเทรา ดำเนินการระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยวิธีการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากชนิด ความมากมายสัมพัทธ์ ตลอดจนความน่าจะเป็นของการครอบครองเชิงพื้นที่ของสัตว์กินเนื้อ ผลการศึกษาด้วยการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพจำนวน 58 ตำแหน่ง จำนวน 4,463 กับดักคืน ครอบคลุมพื้นที่ 88.12 ตารางกิโลเมตร พบสัตว์กินเนื้อ 6 วงศ์ 11 สกุล 14 ชนิด ได้แก่ หมาจิ้งจอก (*Canis aureus*) หมาใน (*Cuon alpinus*) หมีควาย (*Ursus thibetanus*) หมีหมา (*Ursus malayanus*) หมาไม้ (*Martes flavigula*) หมูหริ่ง (*Arctonyx collaris*) ชะมดเช็ด (*Viverricula indica*) ชะมดแผงหางปล้อง (*Viverra zibetha*) ชะมดแผงสันหางดำ (*Viverra megaspila*) อีเห็นธรรมดา (*Paradoxurus hermaphroditus*) พังพอนธรรมดา (*Herpestes javanicus*) พังพอนกินปู (*Herpestes urva*) แมวดาว (*Prionailurus bengalensis*) และเสือลายเมฆ (*Neofelis nebulosa*) สัตว์กินเนื้อมีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 2.01 ชนิดที่มีความมากมายสัมพัทธ์สูงสุด ได้แก่ อีเห็นธรรมดา (ร้อยละ 3.43) รองลงมาได้แก่ ชะมดแผงสันหางดำ (ร้อยละ 3.20) แมวดาว (ร้อยละ 2.42) หมาใน (ร้อยละ 1.97) หมาจิ้งจอก (ร้อยละ 1.81) ชะมดเช็ด (ร้อยละ 0.67) ชะมดแผงหางปล้อง (ร้อยละ 0.31) หมูหริ่ง (ร้อยละ 0.29) พังพอนกินปู (ร้อยละ 0.29) หมาไม้ (ร้อยละ 0.27) พังพอนธรรมดา (ร้อยละ 0.11) ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์การครอบครองเชิงพื้นที่ของสัตว์กินเนื้อได้ 11 ชนิด ได้แก่ อีเห็นธรรมดา (1.05 ตัว/กม.^{2}) หมาใน (0.97 ตัว/กม.^{2}) แมวดาว (0.91 ตัว/กม.^{2}) ชะมดแผงสันหางดำ (0.81 ตัว/กม.^{2}) ชะมดแผงหางปล้อง (0.39 ตัว/กม.^{2}) พังพอนกินปู (0.34 ตัว/กม.^{2}) หมาไม้ (0.32 ตัว/กม.^{2}) หมูหริ่ง (0.29 ตัว/กม.^{2}) ชะมดเช็ด (0.25 ตัว/กม.^{2}) หมาจิ้งจอก (0.23 ตัว/กม.^{2}) ผลการศึกษาให้ผลความหลากหลาย ความมากมายสัมพัทธ์ และการครอบครองพื้นที่ ไปในทิศทางเดียวกันอย่างนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อนุรักษ์แห่งอื่น เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไนเป็นที่อาศัยของสัตว์ป่ากินเนื้อที่สำคัญของประเทศ จึงควรดำเนินการปรับปรุงถิ่นอาศัย แหล่งน้ำ และแหล่งโป่ง ในพื้นที่ให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ของสัตว์ป่าดังกล่าว และเหยื่อ ควบคู่กับการให้การศึกษา การลดกิจกรรมของมนุษย์ภายในพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการอนุรักษ์นอกเหนือจากการติดตามประชากรและการกระจาย นิเวศวิทยา ของสัตว์ป่าเหล่านี้ ควรมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องต่อไป

คำสำคัญ: สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อ กล้องดักถ่ายภาพ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน

คำนำ

สัตว์กินเนื้อ (Order Carnivora) เป็นกลุ่มสัตว์ป่าที่มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ (keystone species) เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งสูงสุดของปิรามิดอาหาร มีหน้าที่สำคัญในการควบคุมความชุกชุมและความหนาแน่นของประชากรสัตว์ป่าที่เป็นเหยื่อในธรรมชาติ สัตว์ป่ากินเนื้อเป็นกลุ่มสัตว์ที่สามารถกินได้ทั้งพืชและสัตว์ ดังนั้นนอกเหนือจากการเป็นผู้ถ่ายทอดพลังงานในระบบนิเวศด้วยการเป็นผู้บริโภคสัตว์ที่เป็นเหยื่อแล้ว บางชนิดยังมีบทบาทช่วยกระจายเมล็ดพันธุ์ไม้ป่า ส่งผลต่อสภาพลักษณะของระบบนิเวศ (Miller *et al*., 2001) ประชากรของสัตว์ป่ากินเนื้อมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (Voigt *et al*., 2003; Karssene *et al*., 2017) ปัจจัยคุกคามที่มีผลต่อสัตว์ป่ากลุ่มนี้ให้ลดน้อยลงอย่างรวดเร็วจึงเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก (Ripple *et al*., 2014) ทั้งการทำลายเปลี่ยนแปลงสภาพป่าทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของถิ่นอาศัย การล่า การลดน้อยลงของประชากรเหยื่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อเกือบทุกชนิดจึงมีสถานภาพถูกคุกคาม (Cardillo *et al*., 2004) สัตว์ป่ากินเนื้อทุกชนิดเป็นสัตว์ที่พบเห็นตัวยาก มีความหนาแน่นต่ำ ส่วนใหญ่ออกหากินในเวลากลางคืน การกล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าศึกษาสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมจึงมีความเหมาะสมในการศึกษา (Harmsen *et al*., 2009) เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่มีผลกระทบกับตัวสัตว์ ทั้งการสำรวจชนิด ช่วงเวลาการทำกิจกรรม (Azlan and Sharma, 2006; O'Connell *et al*., 2011; Rovero *et al*., 2013) ตลอดทั้งเวลากลางวันและกลางคืน มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาประชากร หรือความหนาแน่น (O'Connell *et al*., 2011) ความชุกชุมจากภาพที่บันทึกได้ (O'Brien *et al*., 2003) สามารถใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของสัตว์ป่ากับปัจจัยแวดล้อม (Kitamura *et al*., 2008) ในประเทศไทย มีการนำกล้องดักถ่ายภาพมาใช้ศึกษาสัตว์กินเนื้อในหลายพื้นที่ โดยเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน เป็นป่าอนุรักษ์ขนาดใหญ่ที่สำคัญที่สุดในกลุ่มป่าภาคตะวันออกของประเทศไทย เนื่องจากมีภูมิประเทศเป็นที่ราบกว้างใหญ่ สังคมพืชส่วนใหญ่เป็นป่าดิบแล้ง จึงเป็นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อ แม้ว่าในอดีตเคยมีการศึกษาเกี่ยวกับความหลากชนิดของสัตว์ป่ากินเนื้อในพื้นที่มาบ้าง (Sribuarod, 1999; Jenks *et al*. 2012) อย่างไรก็ตาม การศึกษาติดตามความเปลี่ยนแปลงของสัตว์ป่ากินเนื้อในพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการอนุรักษ์กลุ่มสัตว์ป่ากินเนื้อทั้งขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่อยู่ในภาวะถูกคุกคามทุกชนิดรวมถึงการพัฒนาการศึกษาให้ก้าวหน้า การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบความหลากหลายของชนิด ความมากมาย ตลอดจนความน่าจะเป็นของการครอบครองเชิงพื้นที่ของสัตว์กินเนื้อ ผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่อาศัยสำหรับสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อในพื้นที่ ตลอดจนการอนุรักษ์ประชากรเหยื่อเพื่อเป้าหมายการอนุรักษ์สัตว์ป่าหายาก การเพิ่มพื้นที่อาศัยหรือการฟื้นฟูแหล่งอาหารได้อย่างเหมาะสม เป็นข้อมูลในการเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้เห็นคุณค่าแก่การอนุรักษ์ การฟื้นฟู จัดการระบบนิเวศ การประชาสัมพันธ์ ตลอดจนการศึกษาอย่างต่อเนื่องต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน ตั้งอยู่ในพื้นที่รอยต่อ 5 จังหวัดในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสระแก้ว จังหวัดจันทบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดชลบุรี มีพื้นที่ประมาณ 1,030 ตารางกิโลเมตร มีความลาดชันปานกลาง เคยถูกบุกรุกแผ้วถางมาก่อน มีการอพยพออกจากพื้นที่ พื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นภูเขาสูง ความสูงของพื้นที่จากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 30 - 802 เมตร ยอดเขาสูงสุดอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ คือ เขาสิบห้าชั้น มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 802 เมตร เป็นต้นกำเนิดของ

ลำห้วยหลายสาย เช่น แควระบมสียัด ไหลไปรวมกับแม่น้ำบางปะกง คลองลำพระเพลิงใหญ่ คลองพระสะทึง ไหลไปรวมกับแม่น้ำปราจีนบุรี คลองตะโหนด ไหลลงสู่อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี และคลองประแสร์ที่ไหลออกสู่ทะเลที่จังหวัดระยอง เป็นต้น สังคมพืชส่วนใหญ่เป็นป่าดิบแล้ง มีเพียงเล็กน้อยที่เป็นป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังและทุ่งหญ้า (Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation: DNP, 2018) พื้นที่ศึกษาดำเนินการบริเวณตอนบนและตอนกลางของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน ครอบคลุมพื้นที่ 88 ตารางกิโลเมตร เมื่อลากเส้นเชื่อมตำแหน่งติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพรอบนอก หรือเมื่อบัฟเฟอร์ขอบเขตพื้นที่รอบนอกออกไป เป็นรัศมี 1 กิโลเมตร (eg. Kelly and Holub, 2008) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสัตว์ป่าโดยรอบคิดเป็นพื้นที่ 88.12 ตารางกิโลเมตร

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. กำหนด 1 ตารางกริดในแผนที่ภูมิประเทศ 1: 50,000 แต่ละตารางกริดมีพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ดำเนินการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพ 1 ตัวต่อ 1 กริด (Gupta *et al*., 2009; Jenks *et al*., 2011: Siripattaranukul *et al*., 2015) ครั้งละ 15 – 20 ตารางกริด (Figure 1) ตำแหน่งติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพแต่ละตำแหน่งมีระยะห่างมากกว่า 500 เมตร เพื่อความเป็นอิสระของการได้ภาพในแต่ละตารางกริด ลดความน่าจะเป็นที่จะถ่ายภาพสัตว์ตัวเดียวกันโดยกล้องหลายตัว (Jenks *et al*., 2012)

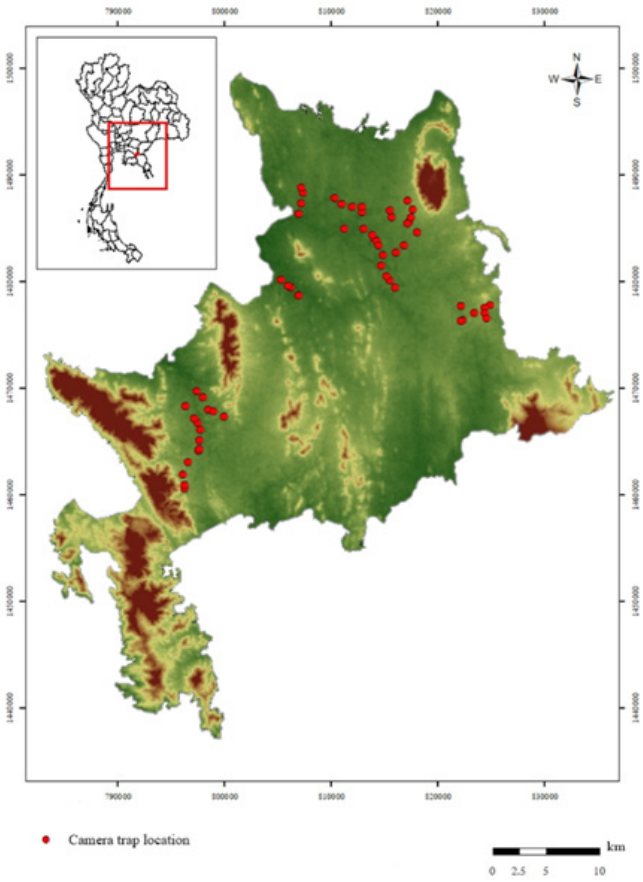


Figure 1 Map of Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary and the camera trap locations (n=58 with a total of 4,463 trap nights totally).

2. การเลือกตำแหน่งที่ตั้งกล้องดักถ่ายภาพ พิจารณาจากความเหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ เช่น เส้นทางด่านสัตว์ ร่องรอยของสัตว์กินเนื้อ บันทึกข้อมูลรายละเอียดรอบ ๆ ได้แก่ สังคมพืช ถนน เส้นทางตรวจการณ์ ลำน้ำถาวร โป่ง บ่อน้ำ หน่วยพิทักษ์ป่า (Prayoon *et al*., 2012; Lynam *et al*., 2013; Wongchoo *et al*., 2013; Siripattaranukul *et al*., 2015)

3. ติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพ ให้สูงจากพื้นดินประมาณ 30-40 เซนติเมตร ห่างจากพื้นที่เป้าหมาย 3-4 เมตร (Chutipong *et al*., 2014) หรือตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ กำหนดให้ถ่ายภาพเมื่อระบบเซนเซอร์ตรวจพบการเคลื่อนไหว โดยถ่ายภาพ 3 ภาพ ห่างกันทุก ๆ 10 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมง (Network, 2008) โดยตั้งกล้องดักถ่ายภาพไว้ตลอดระยะเวลา 60 วัน เมื่อครบ 60 วัน จึงย้ายกล้องดักถ่ายภาพไปยังพื้นที่ใหม่ พร้อมบันทึกตำแหน่งที่ทำการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพด้วยเครื่องหาพิกัดภูมิศาสตร์ ดำเนินการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

4. ภาพถ่ายที่ได้ถูกถ่ายจากแผ่นบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ และจัดจำแนกภาพ ด้วยโปรแกรมจำแนกภาพ Camera Trap Manager (Zaragozí *et al*., 2015) และนำเข้าสู่โปรแกรม Microsoft excel เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จำแนกชนิดของสัตว์กินเนื้อที่บันทึกภาพได้ ใช้ชื่อสามัญและชื่อสัตวศาสตร์ตาม Lekagul and McNeely (1988) เฉพาะรูปที่สามารถจำแนกชนิดได้ชัดเจนมีวันที่ เวลา แสดงอยู่บนภาพถ่าย รูปภาพที่มีสัตว์กินเนื้อในภาพเดียวกันมากกว่าหนึ่งตัว นับเป็นหนึ่งเหตุการณ์ (Jenks *et al*., 2011) และเป็นรูปหรือเหตุการณ์ที่มีความเป็นอิสระต่อกัน เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกเหตุการณ์หรือรูปภาพสัตว์ป่าที่เป็นอิสระต่อกัน (criterion for independency of animal photographs) ได้แก่ (1) รูปที่ต่อเนื่องกันของสัตว์คนละตัว อาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน (2) รูปที่ต่อเนื่องกันของสัตว์ตัวเดียวกันในชนิดเดียวกัน ซึ่งมีระยะเวลาห่างกันมากกว่า 30 นาที (3) รูปที่ไม่ต่อเนื่องกันของสัตว์ตัวเดียวกันในชนิดเดียวกัน (O'Brien *et al*., 2003)

2. คำนวณค่าดัชนีความหลากหลาย (diversity indices) ของชนิดสัตว์กินเนื้อ โดยใช้ Shannon-Wiener index ตามสูตร $H' = - \sum p_i \ln p_i$ เมื่อ H คือ ค่าดัชนีความหลากชนิด Shannon-Wiener index (Shannon and Weaver, 1949) และ p_i คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนภาพของสัตว์ป่าชนิดที่ i ต่อจำนวนภาพทั้งหมด

3. คำนวณค่าดัชนีความมากมายสัมพัทธ์ (relative abundance index) ของสัตว์กินเนื้อ โดยใช้ค่าจำนวนภาพสัตว์ป่าแต่ละชนิดที่พบจากกล้องดักถ่ายภาพที่เป็นอิสระต่อกันตามเกณฑ์ของ O'Brien *et al*. (2003) คูณหนึ่งร้อยและหารด้วยจำนวนกล้องดักถ่ายภาพคูณจำนวนวันที่ทิ้งกล้องไว้คำนวณโดยจำแนกตามกล้องดักถ่ายภาพแต่ละชุด (Azlan and Sharma, 2006; Kawanishi *et al*., 1999)

4. การครอบครองพื้นที่ (occupancy) นำข้อมูลที่ได้ในแต่ละตารางกริดมาทำประวัติการพบสัตว์กินเนื้อแต่ละชนิดในแต่ละกริด โดยให้ 1 แทนการพบสัตว์ชนิดนั้น และ 0 แทนการไม่พบ (Royle and Nichols, 2003; Nag, 2008; Network, 2008) คำนวณค่าความน่าจะเป็นของการครอบครองเชิงพื้นที่ (ψ : occupancy) ความมากมายต่อพื้นที่ของสัตว์กินเนื้อที่ได้จากกล้องดักถ่ายภาพในแต่ละกริด (λ) จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา (N) ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สัดส่วนของพื้นที่ที่ปรากฏในโปรแกรม Presence (Royle and Nichols, 2003; Nag, 2008; Network, 2008; Gupta *et al*., 2009; Johnson *et al*., 2009)

ผลและวิจารณ์

ความหลากชนิด

ผลการศึกษา ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 รวม 12 เดือน จำนวนตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพ 58 จุด รวมจำนวน 4,463 กับดักคืน (trap night) พบสัตว์กินเนื้อรวม 14 ชนิด จาก 6 วงศ์ ใน 12 สกุล ได้แก่ หมาจิ้งจอก (*Canis aureus*) หมาใน (*Cuon alpinus*) หมีควาย (*Ursus thibetanus*) หมีหมา (*Ursus malayanus*) หมาไม้ (*Martes flavigula*) หมูหริ่ง (*Arctonyx collaris*) ชะมดเช็ด (*Viverricula indica*) ชะมดแผงหางปล้อง (*Viverra zibetha*) ชะมดแผงสันหางดำ (*Viverra megaspila*) อีเห็นธรรมดา (*Paradoxurus hermaphroditus*) พังพอนธรรมดา (*Herpestes javanicus*) พังพอนกินปู (*Herpestes urva*) แมวดาว (*Prionailurus bengalensis*) และเสือลายเมฆ (*Neofelis nebulosa*) พบสัตว์ป่ากินเนื้อมีค่าดัชนีความหลากหลาย 2.01 ชนิดที่มีค่าดัชนีความหลากหลายสูงสุด ได้แก่ อีเห็นธรรมดา มีค่า 0.33 และค่าดัชนีความหลากหลายต่ำสุด คือ หมีควาย หมีหมา และเสือลายเมฆ มีค่าดัชนีความหลากหลาย 0.02 เท่ากันทั้ง 3 ชนิด (Table 1)

เมื่อนำข้อมูลจากการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพสัตว์กินเนื้อที่ได้ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตั้งกล้องสะสมกับจำนวนชนิดของสัตว์ป่ากินเนื้อที่เพิ่มขึ้นสะสม พบว่า หากเพิ่มตำแหน่งติดตั้งกล้องขึ้นจำนวนชนิดสัตว์ป่ากินเนื้อก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนจำนวนตำแหน่งตั้งกล้องดักถ่ายภาพเพิ่มถึงเป็น 41 ตำแหน่ง จำนวนชนิดสัตว์กินเนื้อที่พบก็เพิ่มเป็น 14 ชนิด แม้เพิ่มจำนวนตำแหน่งที่ตำแหน่งที่ตั้งกล้องเพิ่มขึ้น จำนวนชนิดสัตว์ที่พบก็ไม่เพิ่มขึ้น (Figure 2) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน โดยวิธีการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพ การศึกษาครั้งนี้พบทุกชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2553 ขณะที่ผลการศึกษานี้แตกต่างจากรายงานการศึกษาของ Jenks *et al*. (2012) โดยผลการศึกษานี้ไม่พบสัตว์กินเนื้อ 2 ชนิด คือ นากใหญ่ขนเรียบ (*Lutrogale perspicillata*) และเสือไฟ (*Pardofelis temminckii*) เมื่อเปรียบเทียบกัน อาจมีสาเหตุมาจากเสือไฟในพื้นที่มีประชากรน้อยมาก ขณะที่นากใหญ่ขนเรียบใช้พื้นที่อาศัยเฉพาะ เช่น พื้นที่ริมลำน้ำ ผลการศึกษานี้พบสัตว์กิน ที่สามารถยืนยันจากภาพถ่ายได้ 14 ชนิด

Table 1 Species diversity indices of carnivorous mammals in the Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary (KARN) using camera trap, based on 58 camera locations and 4,463 trap nights.

Family/ Common name	Scientific name	# of photos	p_i [1]	H' [2]	Rank	IUCN status 2019
Canidae						
1. Golden Jackal	*Canis aureus*	136	0.174	0.30	3	LC
2. Dhole	*Cuon alpinus*	99	0.127	0.26	5	EN
Ursidae						
3. Asiatic Black Bear	*Ursus thibetanus*	2	0.003	0.02	13	VU
4. Malayan Sun Bear	*Helarctos malayanus*	3	0.004	0.02	12	VU
Mustelidae						
5. Yellow-throated Marten	*Martes flavigula*	12	0.015	0.06	10	LC
6. Hog Badger	*Arctonyx collaris*	13	0.017	0.07	8	VC
Viverridae						
7. Small Indian Civet	*Viverricula indica*	41	0.052	0.15	6	VC
8. Large Indian Civet	*Viverra zibetha*	14	0.018	0.07	7	LC
9. Large-spotted Civet	*Viverra megaspila*	160	0.205	0.32	2	EN
10. Asian Palm Civet	*Paradoxurus hermaphroditus*	167	0.214	0.33	1	LC
Herpestidae						
11. Javan Mongoose	*Herpestes javanicus*	5	0.006	0.03	11	LC
12. Crab-eating Mongoose	*Herpestes urva*	13	0.017	0.07	9	LC
Felidae						
13. Leopard Cat	*Prionailurus bengalensis*	115	0.147	0.28	4	LC
14. Clouded Leopard		2	0.003	0.02	14	VU
Total		782	1.000	2.01		

Remarks: [1] $p_i = n_i/N$ [2] $H' = -(p_i \ln p_i)$

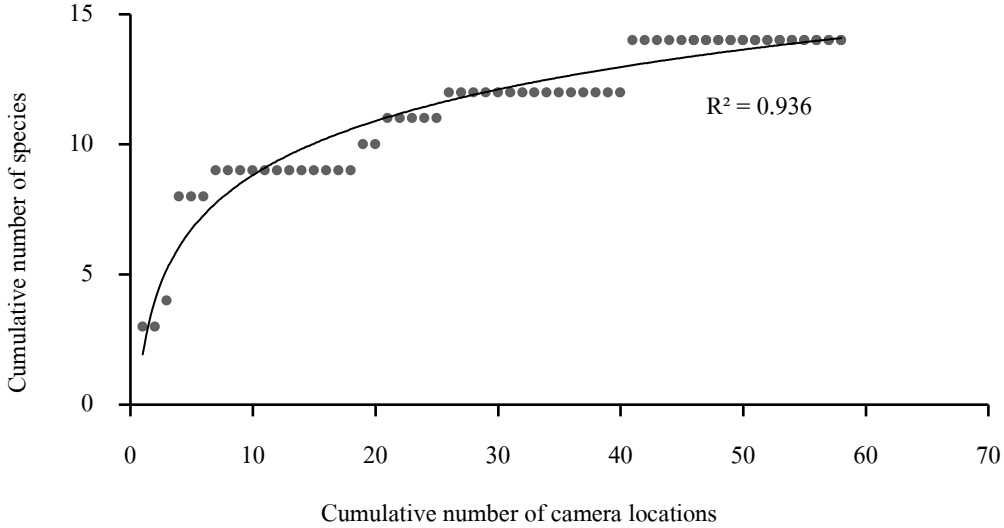


Figure 2 Relationship between the cumulative number of carnivorous mammal species and cumulative number of camera locations.

การศึกษาในครั้งนี้ไม่พบสัตว์กินเนื้ออีกหลายชนิดในพื้นที่ ตามการศึกษาของ Sribuarod (1999) ที่รายงานว่า จำนวนสัตว์กินเนื้อในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน จำนวน 23 ชนิด โดยรวมข้อมูลจากการพบเห็นทั้งทางตรงและทางอ้อมไว้ด้วย การศึกษาความหลากชนิดของสัตว์กินเนื้อในพื้นที่ควรใช้วิธีการศึกษาอื่นร่วมด้วย เช่น การวางกับดักรอยบนพื้นทราย (sand trap) การดักจับ หรือส่องไฟในเวลากลางคืน (spot-lighting technique) (Wilting *et al*., 2010) อาจพบชนิดสัตว์ป่ากินเนื้อเพิ่มขึ้น จากข้อจำกัดของการใช้กล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าที่ไม่สามารถบันทึกสัตว์กินเนื้อที่อาศัยบนชั้นเรือนยอดหมู่ไม้เช่น อีเห็นหน้าขาว (*Arctogalidia trivirgata*) หมีขอ (*Arctictis binturong*) เป็นต้น

ความมากมายสัมพัทธ์

ผลการจำแนกภาพสัตว์ป่าที่เป็นอิสระต่อกัน ตามหลักการของ O'Brien *et al*. (2003) เพื่อระบุจำนวนภาพที่นำมาคำนวณความมากมายสัมพัทธ์ (relative abundance index: RAI) จากผลการศึกษาครั้งนี้พบสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อ 14 ชนิด โดยรวมพบว่า มีค่าความมากมายสัมพัทธ์ร้อยละ 14.89 อีเห็นธรรมดามีค่าความมากมายสัมพัทธ์สูงสุด คือ ร้อยละ 3.43 รองลงมาได้แก่ ชะมดแผงสันหางดำ (ร้อยละ 3.20) แมวดาว (ร้อยละ 2.42) หมาใน (ร้อยละ 1.97) หมาจิ้งจอก (ร้อยละ 1.81) ชะมดเช็ด (ร้อยละ 0.67) ชะมดแผงหางปล้อง (ร้อยละ 0.31) หมูหริ่ง (ร้อยละ 0.29) พังพอนกินปู (ร้อยละ 0.29) หมาไม้ (ร้อยละ 0.27) พังพอนธรรมดา (ร้อยละ 0.11) หมีควาย หมีหมาและเสือลายเมฆ มีค่าน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.04 (Table 2)

พิจารณา Table 2 เปรียบเทียบกับผลการศึกษาครั้งนี้ กับผลการศึกษาของ Jenks *et al.* (2012) พบว่าจำนวนภาพที่พบสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อจากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่า และความมากมายโดยรวมก็มีค่ามากกว่า โดยผลการศึกษาของ Jenks *et al*. (2012) พบนากใหญ่ขนเรียบและเสือไฟ ซึ่งไม่พบในการศึกษาครั้งนี้ ขณะที่ผลการศึกษาของ Sribuarod (1999) ค่าความมากมายสัมพัทธ์ของสัตว์ป่ากินเนื้อในพื้นที่มีสูงถึง 60.08 เนื่องจากได้นำผลที่ได้จากข้อมูลกล้องดักถ่ายภาพและที่ได้จากการสังเกตร่องรอยและการพบเห็นตัวโดยตรงมารวมกัน โดยรายงานชนิดสัตว์ป่ากินเนื้อในพื้นที่ขณะนั้น

ไว้21 ชนิด ที่น่าสนใจได้แก่ เสือปลา เสือดาว และเสือโคร่ง ซึ่งไม่พบในการศึกษาต่อมา อย่างไรก็ตาม ชนิดสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อที่มีความมากมาย 3 อันดับแรก ยังคงเป็นชนิดเดียวกันการศึกษานี้ ได้แก่ อีเห็นธรรมดา ชะมดแผงสันหางดำ และแมวดาว ตามลำดับ

Table 2 Relative abundance (as percentage) of carnivorous mammal species in KARN* based on camera trap data (4,463 trap nights, 58 camera locations) compared with Jenks *et al.* (2012) (4,505 trap nights, 227 camera locations) and Sribuarod (1999) that were done by both directed and indirected observations and camera trap techniques in the area.

No.	Common name	This study (2018)		Jenks *et al*. (2012)		Sribuarod (1999)
		TP [1]	RAI [2]	TP [1]	RAI [2]	RAI [3]
1	Golden Jackal	81	1.81	9	0.19	0.90
2	Dhole	88	1.97	67	1.48	2.78
3	Asiatic Black Bear	2	0.04	12	0.26	1.21
4	Malayan Sun Bear	2	0.04	3	0.06	1.55
5	Yellow-throated Marten	12	0.27	8	0.18	0.90
6	Hog Badger	13	0.29	33	0.73	0.68
7	Small Indian Civet	30	0.67	14	0.31	5.11
8	Large Indian Civet	14	0.31	26	0.57	1.20
9	Large-spotted Civet	143	3.20	73	1.62	10.57
10	Asian Palm Civet	153	3.43	22	0.48	19.08
11	Small Asian Mongoose	5	0.11	10	0.22	4.18
12	Crab-eating Mongoose	13	0.29	12	0.26	1.25
13	Leopard Cat	108	2.42	22	0.48	5.96
14	Clouded Leopard	2	0.04	3	0.07	0.30
15	Smooth-coated otter	0	0	10	0.22	0.34
16	Golden cat	0	0	1	0.02	0
17	Masked palm civet	0	0	0	0	2.20
18	Binturong	0	0	0	0	0.34
19	Fishing cat	0	0	0	0	0.30
20	Leopard	0	0	0	0	0.60
21	Tiger	0	0	0	0	0.63
	Total	666	14.89	325	7.15	60.08

Remarks: [1] TP = Total number of photos [2] RAI = Relative abundance index (independent photos x 100)/trap night)
[3] RAI = Relative abundance index (independent photos x 100)/trap night) computed using a combination of camera trap and observations data.
*KARN = Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary

Coudrat *et al.* (2014) ทำการสำรวจในพื้นที่อนุรักษ์ Nakai-Nam Theun ประเทศลาวด้วยวิธีเดียวกับการศึกษานี้ พบว่า อีเห็นธรรมดา พบได้ทุกกริดที่ซึ่งตรงกับที่ได้จากการศึกษานี้ ขณะที่ Jenks *et al.* (2012) รายงานว่า ชะมดแผงสันหางดำและหมาใน เป็นสัตว์กินเนื้อที่พบมากที่สุดในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า

เขาอ่างฤาไน ผลการศึกษานี้คล้ายกับผลการศึกษาของ Siripattaranukul *et al*. (2015) พบว่า สัตว์กินเนื้อที่มีความมากมายสัมพัทธ์สูงสุดในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ ได้แก่ หมาจิ้งจอก หมาใน หมูหริ่ง แมวดาว ชะมดแผงหางปล้อง หมีควาย ชะมดแผงสันหางดำ อีเห็นธรรมดา เสือลายเมฆ เสือดาว เสือไฟ หมาไม้ และพังพอนกินปู ตามลำดับ Jenks *et al*. (2011); Wongchoo *et al*. (2013); Chutipong *et al*. (2014) ต่างรายงานตรงกันว่า ชะมดแผงหางปล้อง เป็นสัตว์ป่ากินเนื้อที่มีความมากมายสัมพัทธ์สูงสุดในเขตรักษาพันธ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ และป่าทางภาคตะวันตกของประเทศไทย ตามลำดับ สอดคล้องกับ Zaw *et al*. (2008) ที่รายงานว่า ชะมดแผงหางปล้องเป็นสัตว์กินเนื้อที่มีจำนวนภาพถ่ายมากที่สุดในพื้นที่อนุรักษ์ของไทยและพม่า

การครอบครองพื้นที่

ผลการคำนวณการครอบครองเชิงพื้นที่ ด้วยโปรแกรม Presence สามารถคำนวณการครอบครองเชิงพื้นที่ของสัตว์กินเนื้อได้ 11 ชนิด ได้แก่ อีเห็นธรรมดา มีค่าความครอบครองเชิงพื้นที่ 1.05 ตัว/กม.^{2} หมาใน มีค่า 0.97 ตัว/กม.^{2} แมวดาว มีค่า 0.91 ตัว/กม.^{2} ชะมดแผงสันหางดำ มีค่า 0.81 ตัว/กม.^{2} ชะมดแผงหางปล้อง มีค่า 0.39 ตัว/กม.^{2} พังพอนกินปู มีค่า 0.34 ตัว/กม.^{2} หมาไม้ มีค่า 0.32 ตัว/กม.^{2} หมูหริ่ง มีค่า 0.29 ตัว/กม.^{2} ชะมดเช็ด มีค่า 0.25 ตัว/กม.^{2} หมาจิ้งจอก มีค่า 0.23 ตัว/กม.^{2} และพังพอนธรรมดา มีค่า 0.12 ตัว/กม.^{2} ขณะที่หมีควาย หมีหมา และเสือลายเมฆ ไม่สามารถคำนวณการครอบครองเชิงพื้นที่ได้ เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ (Table 3)

Table 3 Abundance of carnivorous mammal species in KARN calculated based on probability of occupancy.

Common name	Naive occupancy[1]	ψ ± SE[2]	λ ± SE[3]	N[4]
1. Asian Palm Civet	0.59	0.65± 0.06	1.05± 0.18	60.92± 10.61
2. Dhole	0.55	0.62± 0.08	0.97± 0.22	56.43± 12.97
3. Leopard Cat	0.52	0.60± 0.08	0.91± 0.20	52.59± 11.62
4. Large-spotted Civet	0.52	0.55± 0.07	0.81± 0.16	46.71± 8.99
5. Large Indian Civet	0.14	0.33± 0.16	0.39± 0.24	22.83± 14.10
6. Crab-eating Mongoose	0.14	0.29± 0.14	0.34± 0.19	19.49± 10.98
7. Yellow-throated Marten	0.13	0.27± 0.15	0.32± 0.20	18.43± 11.73
8. Hog Badger	0.16	0.25± 0.11	0.29± 0.15	17.05± 8.62
9. Small Indian Civet	0.18	0.22± 0.07	0.25± 0.09	14.50± 5.01
10. Golden Jackal	0.14	0.21±0.05	0.23± 0.07	13.43± 3.99
11. Small Asian Mongoose	0.05	0.11± 0.09	0.12± 0.10	6.78± 5.55

Remarks: 1 = Number of sites in which a species was detected
2 = Occupancy rate or proportion of sites occupied
3 = The average cell-specific abundance
4 = Estimated abundance within an area of 88.12 km^2

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาการครอบครองพื้นที่ของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระที่ได้จากการศึกษาโดยวิธีเดียวกัน (Siripattaranukul *et al*., 2015) พบว่า สัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน ได้แก่ อีเห็นธรรมดา หมาใน แมวดาว ชะมดแผงสันหางดำ พังพอนกินปู และหมาไม้ มีค่าการครอบครองพื้นที่มากกว่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ ขณะที่

ชะมดแผงหางปล้อง หมูหริ่ง หมาจิ้งจอก และหมีควาย ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระมีค่าการครอบครองเชิงพื้นที่มากกว่า

พิจารณาผลการศึกษาของ Mohamed *et al*. (2013) พบว่า แมวดาวที่เกาะบอร์เนียว มีการครอบครองพื้นที่ 0.096-0.165 ตัว/กม^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาในครั้งนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Johnson *et al*. (2009) ที่ทำการศึกษาสัตว์กินเนื้อขนาดเล็กในประเทศลาว พบว่า หมาไม้มีการครอบครองเชิงพื้นที่ 0.29 ตัว/กม^2 หมูหริ่ง 0.11 ตัว/กม^2 ชะมดแผงหางปล้อง 0.14 ตัว/กม^2 และอีเห็นธรรมดา 0.16 ตัว/กม^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาในครั้งนี้ มีเพียงหมาไม้ที่มีค่ามากกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมของพื้นที่ การรบกวน ตลอดจนคุณภาพของถิ่นอาศัยที่แตกต่างกันในระหว่างพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน

ค่าความหลากชนิดมีความหมายรวมถึงชนิดและจำนวนของแต่ละชนิดของสิ่งมีชีวิตในสังคมตลอดจนรูปแบบการกระจาย (Barnes *et al*., 1998) เป็นค่าที่นิยมในการใช้พิจารณาความยั่งยืนคงทนของระบบนิเวศในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (Schuler, 1998; Swindel *et al*., 1984) เป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบนิเวศ (Ardakani, 2004) ส่วนค่าความมากมายของชนิดในระบบนิเวศหมายถึงจำนวนตัวของสิ่งมีชีวิตที่สนใจที่มีความแตกต่างกันในเชิงสัมพัทธ์ (Bowler and Kelly, 2015) ขณะที่ค่าการครอบครองเชิงพื้นที่ หมายถึง สัดส่วนของพื้นที่ที่พบสัตว์ต่อพื้นที่ทั้งหมดโดยคำนึงถึงค่าความน่าจะเป็นของการจำแนก (MacKenzie *et al*. 2002, 2006, Bailey *et al*., 2014) ดังนั้น ค่าที่ได้จากการศึกษานี้จึงมีประโยชน์ทั้งในเชิงของการเปรียบเทียบกับพื้นที่แห่งอื่นให้เกิดความชัดเจนถึงความสำคัญและการติดตามต่อไปในอนาคตโดยเฉพาะค่าความหลากหลายและความมากมายของชนิด ยังใช้ประโยชน์ในเชิงของการจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อพิจารณาจากค่าการครอบครองพื้นที่ พิจารณาค่าสหสัมพันธ์ของลำดับชนิด (rank correlation) ทั้งความหลากหลายชนิด ความมากมาย และการครอบครองพื้นที่ เมื่อเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่า 0.97 ระหว่างค่าความหลากหลายและความมากมาย มีค่า 0.72 ระหว่างค่าความหลากหลายและการครอบครองพื้นที่ และมีค่า 0.82 ระหว่างค่าความมากมายและการครอบครองเชิงพื้นที่เมื่อพิจารณาโดยรวม

สรุป

ผลการศึกษาพบสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อ 14 ชนิด 11 สกุล จาก 6 วงศ์ มีค่าดัชนีความหลากหลายรวม 2.01 ค่าความมากมายสัมพัทธ์โดยรวมคิดเป็นร้อยละ 14.89 อีเห็นธรรมดา มีค่าความมากมายสัมพัทธ์ร้อยละ 3.43 รองลงมาคือ ชะมดแผงสันหางดำ (ร้อยละ 3.20) แมวดาว (ร้อยละ 2.42) หมาใน (ร้อยละ 1.97) หมาจิ้งจอก (ร้อยละ 1.81) ชะมดเช็ด (ร้อยละ 0.67) ชะมดแผงหางปล้อง (ร้อยละ 0.31) หมูหริ่ง (ร้อยละ 0.29) พังพอนกินปู (ร้อยละ 0.29) หมาไม้ (ร้อยละ 0.27) พังพอนธรรมดา (ร้อยละ 0.11) หมีควาย หมีหมา และเสือลายเมฆ (ร้อยละ 0.04) เท่ากัน การครอบครองพื้นที่ของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อได้ 11 ชนิด คือ อีเห็นธรรมดา มีค่าความครอบครองเชิงพื้นที่ 1.05 ตัว/กม.^{2} หมาใน มีค่า 0.97 ตัว/กม.^{2} แมวดาว มีค่า 0.91 ตัว/กม.^{2} ชะมดแผงสันหางดำ มีค่า 0.80 ตัว/กม.^{2} ชะมดแผงหางปล้อง มีค่า 0.39 ตัว/กม.^{2} พังพอนกินปู มีค่า 0.34 ตัว/กม.^{2} หมาไม้ มีค่า 0.32 ตัว/กม.^{2} หมูหริ่ง มีค่า 0.29 ตัว/กม^2 ชะมดเช็ด มีค่า 0.25 ตัว/กม.^{2} หมาจิ้งจอก มีค่า 0.23 ตัว/กม.^{2} และพังพอนธรรมดา มีค่า 0.12 ตัว/กม.^{2} ซึ่งเป็นรายงานครั้งแรกในพื้นที่ ที่แสดงถึงคุณค่าของพื้นที่ในการเก็บรักษาสัตว์ป่ากินเนื้อเหล่านี้ไว้ สามารถใช้ในการศึกษาติดตามเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น หรือพื้นที่เดียวกันเมื่อเวลาผ่านไป และใช้ในการจัดการพื้นที่ ผลการศึกษาสะท้อนถึงความเหมาะสมของสภาพพื้นที่ ชนิดและขนาดประชากรของเหยื่อชนิดต่าง ๆ ของสัตว์ป่ากินเนื้อเหล่านี้ว่ายังคงมีความหลากหลาย แสดงถึงความซับซ้อนของพื้นที่ ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาที่สำคัญ คือ การติดตาม

การเปลี่ยนแปลงประชากร การกระจาย ตลอดจนการสนับสนุนการศึกษานิเวศวิทยาของสัตว์ป่าเหล่านี้ การศึกษาประชากรเหยื่อ การป้องกันพื้นที่โดยตระหนักถึงความสำคัญในการรักษาความหลากหลายของชนิดสัตว์ป่ากินเนื้อที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง จึงต้องดำเนินจัดการพื้นที่อย่างเข้มงวดระมัดระวัง โดยเฉพาะการป้องกันการรบกวนในพื้นที่จากกิจกรรมมนุษย์ การจัดการแหล่งน้ำ ทุ่งหญ้า ให้เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ป่าทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาในรอบปี ตลอดจนควรมีการติดตามศึกษานิเวศวิทยาของสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยนมกินเนื้อชนิดสำคัญหายาก ทั้งชะมดแผงสันหางดำ หมาใน ที่เป็นสัตว์ป่าใกล้สูญพันธุ์ หมีหมา หมีควาย และเสือลายเมฆที่เป็นสัตว์ป่ามีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ เป็นต้น ต่อไป

คำนิยม

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปี พ.ศ. 2560 รหัสโครงการวิจัย ป-ย(ด)16.60 ขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณบดีคณะวนศาสตร์ ที่สนับสนุนการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณหัวหน้าสถานีวิจัยสัตว์ป่าฉะเชิงเทรา หัวหน้าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน และหัวหน้าฐานปฏิบัติการป้องกันรักษาป่าที่ ฉช.1 (*เขากา*) ที่เอื้อเฟื้อที่พัก และสนับสนุนเจ้าหน้าที่ช่วยดำเนินการเป็นอย่างดี

REFERENCES

Ardakani, M.R. 2004. **Ecology**. Tehran University Press, Iran.

Azlan, M.J. and D.S.K. Sharma. 2006. The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. **Oryx** 40(1): 36-41.

Bailey, L.L., D.I. MacKenzie and J.D. Nichols. 2014. Advances and applications of occupancy models. **Methods in Ecology and Evolution** 5: 1269–1279.

Barnes, B.V., D.R. Zak, S.R. Denton and S.H. Spurr. 1998. **Forest Ecology**. 4th ed. John Wiley and Sons Inc., New York.

Bowler, M.G. and C.K Kelly. 2015. **The General Theory of Species Abundance Distributions**. Department of Zoology, University of Oxford, UK.

Cardillo, M., A. Purvis, W. Sechrest, J.L. Gittleman, J. Bielby and G.M. Mace. 2004. Human population density and extinction risk in the world's carnivores. **PLoS Biol** 2(7): e197.

Chutipong, W., A.J. Lynam, R. Steinmetz, T. Savini and G.A. Gale. 2014. Sampling mammalian carnivores in western Thailand: Issues of rarity and detectability. **Raffles Bulletin of Zoology** 62: 521-535.

Coudrat, C., C. Nanthavong, S. Sayavong, A. Johnson, J. Johnston and W. Robichaud. 2014. Conservation importance of Nakai-Nam Theun National Protected Area, Laos, for small carnivores based on camera trap data. **Raffles Bulletin of Zoology** 62: 31-49.

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation (DNP). 2018. **Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary**. Available Source: http://web3.dnp.go.th/wildlifenew/animConserveDep.aspx, August 20, 2018. (in Thai)

Gupta, S., K., Mondal, K. Sankar and Q. Qureshi. 2009. Estimation of striped hyena *Hyaena hyaena* population using camera traps in Sariska Tiger Reserve, Rajasthan, India. **Journal of the Bombay Natural History Society** 106(3): 284-288.

Harmsen, B.J., R.J. Foster, S.C. Silver, L.E.T. Ostro and C.P Doncaster. 2009. Spatial and temporal

interactions of sympatric jaguars (*Panthera onca*) and pumas (*Puma concolor*) in a Neotropical forest. **Journal of Mammalogy** 90(3): 612–620.

Jenks, K.E., N. Songsasen and P. Leimgruber. 2012. Camera trap records of dholes in Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary. **Canid Specialist Group's Canid News** 15(4): 1-5.

_____, P. Chanteap, K. Damrongchainarong, P. Cutter, P. Cutter, T. Redford, A.J. Lynam, J. Howard and P. Leimgruber. 2011. Using relative abundance indices from camera-trapping to test wildlife conservation hypotheses-an example from Khao Yai National Park, Thailand. **Tropical Conservation Science** 4(2): 113-131.

Johnson, A., C. Vongkhamheng and T. Saithongdam. 2009. The diversity, status and conservation of small carnivores in a montane tropical forest in northern Laos. **Oryx** 43(4): 626-633.

Karssene, Y., M. Chammem, T. Khorchani, S. Nouira and F. Li. 2017. Global warming drives changes in carnivore communities in the North Sahara Desert. **Climate Research** 72: 153-162.

Kawanishi, K., A. M. Sahak and M. Sunquist. 1999. Preliminary analysis on abundance of large mammals at Sungai Relau, Taman Negara. **Wildlife and Parks (Malaysia)** 17: 62–82.

Kelly, M.J. and E.L. Holub. 2008. Camera trapping of carnivores: Trap success among camera types and across species, and habitat selection by species, on Salt Pond Mountain, Giles County, Virginia. **Northeastern Naturalist** 15(2): 249–262.

Kitamura, S., T. Yumoto, P. Poonswad, S. Suzuki and P. Wohandee. 2008. Rare seed-predating mammals determine seed fate of *Canarium euphyllum*, a large seed tree species in a moist evergreen forest, Thailand. **Ecological Research** 23(1): 169-177.

Lekagul, B. and J. A. McNeely. 1988. **Mammals of Thailand**. Darnsutha Press, Bangkok.

Lynam, A.J., K.E. Jenks, N. Tantipisanuh, W. Chutipong, D. Ngoprasert, G.A. Gale, R. Steinmetz, R. Sukmasuang, N. Bhumpakphan, L.I. Grassman, Jr., P. Cutter, S. Kitamura, D.H. Reed, M.C. Baker, W. McShea, N. Songsasen and P. Leimgruber. 2013. Terrestrial activity patterns of wild cats from camera-trapping. **Raffles Bulletin of Zoology** 61(1): 407-415.

MacKenzie, D.I., J.D. Nichols, G.B. Lachman, S. Droege, J.A. Royle and C.A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. **Ecology** 83(8): 2248-2255.

_____, _____, J.A. Royle, K.H. Pollock, L.L. Bailey and J.E. Hines. 2006. **Occupancy estimation and modeling: Inferring patterns and dynamics of species occurrence**. Academic Press, Burlington, Massachusetts.

Miller, B., B. Dugelby, D. Foreman, C. Martinez Del Río, R. Noss, M. Phillips, R. Reading, M. E. Soulé, J. Terborgh and L. Willcox. 2001. The importance of large carnivores to healthy ecosystems. **Endangered Species UPDATE** 18(5): 202-210.

Mohamed, A., R. Sollmann, H. Bernard, L. N. Ambu, P. Lagan, S. Mannan and A. Wilting. 2013. Density and habitat use of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in three commercial forest reserves in Sabah, Malaysian Borneo. **Journal of Mammalogy** 94(1): 82-89.

Nag, K. 2008. **Assessing Animal Abundance from Photographic Capture Data Using**

an Occupancy Approach. M.S. Thesis, Manipal University.

Network, T. 2008. **Terrestrial Vertebrate (Camera Trap) Monitoring Protocol Implementation Manual**. Arlington, VA.

O'Brien, T.G., M.F. Kinnaird and H.T. Wibisono. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. **Animal Conservation** 6: 131-139.

O'Connell, A.F., J.D. Nichols and K.U. Karanth. 2011. **Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses**. Springer, New York.

Prayoon, U., N. Bhumpakphan, R. Sukmasuang and B. Kanchanasaka. 2012. Abundance and habitat suitability of dhole (*Cuon alpinus*) and their main prey in Thap Lan National Park. **Journal of Wildlife in Thailand** 19: 23-40. (in Thai)

Ripple, W.J., J.A. Estes, R.L. Beschta, C.C. Wilmers, E.G. Ritchie, M. Hebblewhite, J. Berger, B. Elmhagen, M. Letnic, M.P. Nelson, O.J. Schmitz, D.W. Smith, A.D. Wallach and A.J. Wirsing. 2014. **Status and ecological effects of the world's largest carnivores. Science** 343: 1241484.

Rovero, F., F. Zimmermann, D. Berzi and P. Meek. 2013. "Which camera trap type and how many do I need?" A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. **Journal of Mammalogy** 24(2): 148-156.

Royle, J.A. and J.D. Nichols. 2003. Estimating abundance from repeated presence–absence data or point counts. **Ecology** 84 (3): 777-790.

Schuler, A. 1998. Sustainability and biodiversity - forest historical notes on two main concerns of environmental utilization, pp.353–360. *I*n P. B.M. Koehl and R. Paeivinen, eds. **Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. **A Mathematical Theory of Communication**. University of Illinois Press, Urbana.

Siripattaranukul, K., N. Bhumpakphan and R. Sukmasuang. 2015. Diversity and abundance of carnivorous mammals in Salakphra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi Province. **Journal of Wildlife in Thailand** 22: 127-140. (in Thai)

Sribuarod, K. 1999. **Diversity, Distribution and Abundance of Mammalian Carnivores in Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Swindel, B.F., L.F. Conde, J.E. Smith. 1984. Species diversity: Concept, measurement and response to clear cutting and site preparation. **Forest Ecology and Management** 8(1): 11-22.

Voigt, W., J.R. Perner, A.J. Davis, T. Eggers, J. Schumacher, R. Bahrmann, B. Fabian, W. Heinrich, G. Kohler, D. Lichter, R. Marstaller and F.W. Sander. 2003. Trophic levels are differentially sensitive to climate. **Ecology** 84(9): 2444–2453.

Wilting, A., H. Samejima and A. Mohamed. 2010. Diversity of Bornean viverrids and other small carnivores in Deramakot Forest Reserve, Sabah, Malaysia. **Small Carnivore Conservation** 42: 10-13.

Wongchoo, K., V. Chimchome, S. Simcharoen and S. Duangchantrasiri. 2013. Abundance and distribution of some viverrid species in Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary. **Thai Journal of Forestry** 32: 1-9. (in Thai)

Zaragozí, B., A. Belda, P. Giménez, J.T. Navarro and A. Bonet. 2015. Advances in camera trap data management tools: Towards collaborative development and integration with GIS. **Ecological Informatics** 30: 6–11.

Zaw, T., S. Htun, SH.T. Po, M. Maung, A.J. Lynam, K. T. Latt and J.W. Duckworth. 2008. Status and distribution of small carnivores in Myanmar. **Small Carnivore Conservation** 38: 2-28.

Thai J. For. 38 (2) : 16-26 (2019) วารสารวนศาสตร์ 38 (2) : 16-26 (2562)

นิพนธ์ต้นฉบับ

นิเวศวิทยาบางประการและการกระจายของโมกราชินี (*Wrightia sirikitiae* D.J.Middleton & Santisuk) ในพื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก

Some Ecology and Distribution of *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk in Eastern Forest Complex

เกศิณี เฟื่องสำรวจ **Kesinee Fuangsamruat**
วัฒนชัย ตาเสน* **Wattanachai Tasen***
สุธีร์ ดวงใจ **Sutee Duangjai**

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: fforwct@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 5 เมษายน 2562 **รับแก้ไข** 22 กรกฎาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 24 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

Ecology and distribution of *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk were studied in the Eastern Forest Complex study sites. The sites were consisted of 10 temporary sampling plots of 20 m × 50 m size each, and were studied for their plant community, ecological factors, and analyzed for the appropriate distribution area of *W. sirikitiae* using the Maximum Entropy Species Distribution Modeling (MaxEnt) version 3.3.3 program. The results showed that the total number of tree species were 36 species, 27 genus, and 17 families, with a Shannon-Wiener's species diversity index of 2.254. The highest of importance value index was calculated for *Phyllanthus mirabilis* Müll. Arg, followed by *W. sirikitiae* (82.680 and 59.469, respectively), while 44.44 % of *W. sirikitiae* found at the sites had a tree clumpy appearance. The appropriate distribution area of *W. sirikitiae*, as evaluated by Receiver Operating Characteristic (ROC) assessment, was 0.997 AUC. The results suggested that ecological factors influence the distribution of *W. sirikitiae* in the following order; geology followed by slope, soil series, distance from water sources, and monthly average rainfall.

Keywords: Apocynaceae, *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk, Karst topography, Endemic species

บทคัดย่อ

การศึกษานิเวศวิทยาและการกระจายของโมกราชินี (*Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk) ได้ศึกษาในพื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก โดยทำการสุ่มวางแปลงตัวอย่างชั่วคราว ขนาด 20×50 เมตร จำนวน 10 แปลง เพื่อศึกษาสังคมพืชและปัจจัยแวดล้อมด้านนิเวศ เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมของโมกราชินี โดยใช้โปรแกรม MaxEnt version 3.3.3 ผลการศึกษาสังคมพืชพบไม้ยืนต้นจำนวนทั้งสิ้น 36 ชนิด 27 สกุล 17 วงศ์ ซึ่งมีค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener's เท่ากับ 2.254 โดยขี้เหล็กฤาษี (*Phyllanthus mirabilis* Müll. Arg) เป็นชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญ (Importance Value Index; IVI) มากที่สุด เท่ากับ 82.680 รองลงมาเป็นโมกราชินี มีค่าเท่ากับ 59.469 โมกราชินีที่ปรากฏพบในพื้นที่ ร้อยละ 44.44 เป็นไม้ที่มีการแตกกอ และจากการวิเคราะห์หาพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมของโมกราชินี พบมีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจาก Receiver Operating Characteristic (ROC) พื้นที่การกระจายของโมกราชินีที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve : AUC) เท่ากับ 0.997 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ปัจจัยแวดล้อม (percent contribution) ต่อการปรากฏของโมกราชินีนั้น ปัจจัยแวดล้อมที่มีค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ต่อการกระจายของโมกราชินีมากที่สุดคือ ลักษณะทางธรณีวิทยา รองลงมาคือ ความลาดชันของพื้นที่ ชุดดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ตามลำดับ

คำสำคัญ: วงศ์ตีนเป็ด โมกราชินี พื้นที่เขาหินปูน พืชถิ่นเดียว

คำนำ

กลุ่มป่าตะวันออก (Eastern Forest Complex) ของประเทศไทย เป็นพื้นที่ที่มีร่องมรสุมพาดผ่าน ฝนตกค่อนข้างชุก และเนื่องจากมีเทือกเขาบรรทัดและเทือกเขาจันทบุรีอยู่ทางด้านใต้ของพื้นที่ บริเวณดังกล่าวมีฝนตกมากกว่าพื้นที่ตอนเหนือ นอกจากอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดผ่านแล้วยังได้รับอิทธิพลจากทะเล ลักษณะภูมิอากาศจึงมีทั้งแบบสะวันนาทางตอนบนของพื้นที่ และแบบมรสุมเขตร้อนทางตอนล่างของพื้นที่ ความแตกต่างของลักษณะภูมิอากาศที่ในพื้นที่ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความหลากหลายของสังคมพืชและสังคมสัตว์ในพื้นที่เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสังคมพืชนั้นมีการกระจายของพันธุ์พืชจาก 2 ภูมิภาคด้วยกัน คือ ภูมิภาคอินโดจีน (Indochina) และภูมิภาคอินโดมาลายา (Indomalaya) (Forestry Research Center, 1995) ในพื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก ประกอบด้วยอุทยานแห่งชาติทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ อุทยานแห่งชาติเขาชะเมา-เขาวง อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ และอุทยานแห่งชาติน้ำตกพลิ้ว และมีเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า 3 แห่ง ได้แก่ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาสอยดาว และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าคลองเครือหวายเฉลิมพระเกียรติ (Forestry Biological Diversity Secretariate Office, 1999) นอกเหนือจากพื้นที่ป่าอนุรักษ์แล้ว ยังมีหย่อมป่าที่อยู่นอกพื้นที่อนุรักษ์ ที่มีปัจจัยแวดล้อมใกล้เคียงกับพื้นที่ที่เคยมีรายงานการพบโมกราชินีด้วย จึงเลือกพื้นที่ศึกษาที่ครอบคลุมพื้นที่เหล่านั้นด้วย คือ พื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง และจังหวัดจันทบุรี

โมกราชินี (*Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk) เป็นพรรณไม้ถูกค้นพบ และตั้งชื่อเป็นพืชชนิดใหม่ของโลก เมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544 คำระบุชนิด "sirikitiae" ตั้งขึ้นเพื่อเทิดพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ เป็นพืชถิ่นเดียว (endemic species) ของไทย มีลักษณะวิสัยเป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็ก สูงถึง 10 เมตร มียางสีขาว ลำต้นเปลือกนอกสีน้ำตาลอ่อน มีตุ่มใหญ่หนาแน่น เปลือกใน

สีเขียวอ่อน กิ่งอ่อนมีขนปกคลุมประปราย ใบเดี่ยวเรียงตรงข้าม (opposite) รูปรีหรือรูปขอบขนาน ปลายแหลม โคนแหลมหรือมนขอบเรียบ แผ่นใบด้านล่างมีขนละเอียด ช่อดอกแบบช่อกระจุก ออกตามปลายกิ่ง มีขนละเอียด ด้านในเกลี้ยง ดอกสีขาว รูปดอกเข็ม (salverform) กลิ่นหอมอ่อน ผลเป็นฝักคู่ กางออก รูปกระสวย ปลายกว้าง กว้าง 1-1.5 เซนติเมตร ยาว 8-15 เซนติเมตร มีช่องอากาศ (lenticel) หนาแน่น เมล็ดรูปแถบ ยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร ขนกระจุกยาวประมาณ 3 เซนติเมตร มีรายงานการกระจายตั้งแต่ภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง จนถึงภาคตะวันออก นอกจากนี้ยังพบขึ้นกระจายห่าง ๆ และมีการทดแทนตามธรรมชาติน้อยมาก เนื่องจากเป็นพืชที่มีสภาพจำกัดของสิ่งแวดล้อมหรือสภาพภูมิอากาศเฉพาะ (microclimate) ชนิดที่มีสถานภาพมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable) จึงอาจเป็นไปได้ว่าในอนาคตอันใกล้อาจมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ในธรรมชาติ เพราะการกระจายพบตามเขาหินปูนซึ่งเป็นแหล่งระเบิดหินของโรงงานซีเมนต์ และยังถูกลักลอบการเก็บหาเพื่อการค้าจนเกินกำลังผลิต (over collection) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาแนวทางในการอนุรักษ์แต่ข้อมูลการกระจาย นิเวศวิทยา และสถานภาพของโมกราชินีในประเทศไทย ยังมีอยู่น้อยมาก (Santisuk, 2005)

การศึกษานิเวศวิทยาและการกระจายของโมกราชินี จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการพื้นที่และเก็บรักษาพันธุ์พืชถิ่นเดียวหายากและใกล้สูญพันธุ์ชนิดนี้ที่อาจมีศักยภาพในเชิงเศรษฐกิจ และเพื่อเก็บรักษาประชากรพืชที่มีคุณลักษณะพิเศษ สำหรับการอนุรักษ์และปรับปรุงพัฒนาพันธุ์พืชต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด จึงใช้พื้นที่จังหวัดเป็นพื้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง และจันทบุรี (Figure 1)

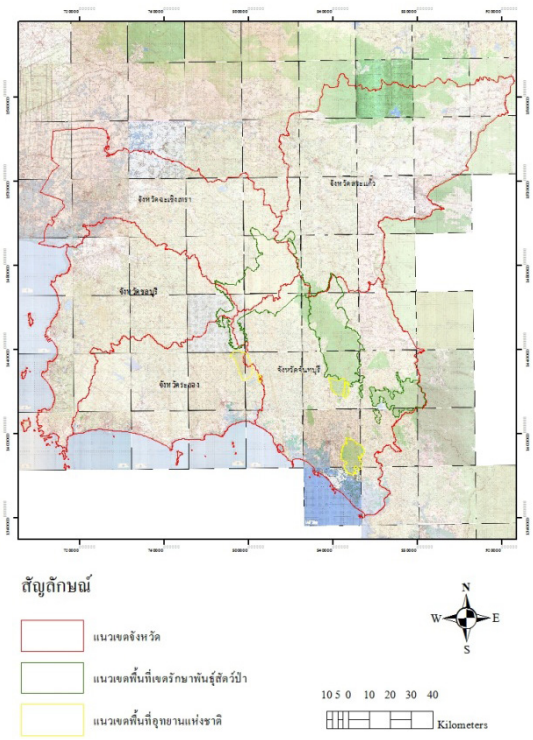


Figure 1 Territory and location of Eastern Forest Complex used in the present study.

การเก็บข้อมูล

1. ทำการเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเขาหินปูน โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศและลักษณะหินที่ปรากฏในพื้นที่ เพื่อเลือกพื้นที่เป้าหมาย ทำการวางแปลงตัวอย่างชั่วคราว จำนวน 10 แปลง ขนาด 20×50 เมตร ให้กระจายทั่วพื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก

2. การเก็บข้อมูลจากแปลงตัวอย่างชั่วคราว ขนาด 20×50 เมตร โดยแต่ละแปลงได้ทำการแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10×10 เมตร ได้ 10 แปลง ทำการศึกษาสังคมพืช โดยทำการบันทึกชนิดและจำนวนต้น พร้อมทั้งวัดขนาดความโตที่ระดับความสูงเพียงอก (1.30 เมตรจากพื้นดิน) และความสูงของต้นไม้ที่มีขนาดความโตตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป

3. ทำการบันทึกพิกัดที่พบต้นโมกราชินีทุกต้นที่พบในแปลงตัวอย่างชั่วคราว โดยใช้เครื่องหาพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (global positioning system: GPS) เพื่อนำพิกัดในทุก ๆ จุดที่พบต้นโมกราชินี มาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการกระจายของโมกราชินี จำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ ชุดดิน (soil series) ลักษณะทางธรณีวิทยา (geology) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (average rainfall) อุณหภูมิเฉลี่ย (average temperature) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (distance from water sources) และความลาดชันของพื้นที่ (slope class)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลของสังคมพืชทำการวิเคราะห์หาความถี่ ความหนาแน่น ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด ค่าดัชนีความสำคัญ (Importance Value Index; IVI) และวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางชนิด (Shannon – Wiener's Index)

2. นำข้อมูลตำแหน่งภูมิศาสตร์ของโมกราชินีถ่ายทอดลงในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ (ArcGIS 10.2) เพื่อกำหนดตำแหน่งที่พบในแต่ละปัจจัยแวดล้อม ใช้ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยาจากระบบแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ กรมทรัพยากรธรณี ลักษณะดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ความลาดชันของพื้นที่และระยะห่างจากแหล่งน้ำจากแผนที่ภูมิประเทศโดยสร้างชั้นข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเวคเตอร์ ทำการแปลงค่าข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูล โดยกำหนดขนาดตารางกริดให้เท่ากับ 30x30 เมตร เนื่องจากแผนที่ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีมาตราส่วน 1:50,000 เมื่อเป็นจุดภาพที่ปรากฏในแผนที่ทำให้สามารถจำแนกด้วยสายตาได้ชัดเจน โดยแบ่งประเภทข้อมูลเป็นสองประเภท คือ ข้อมูลต่อเนื่อง (continuous) และข้อมูลแบ่งแยกประเภท (category) (Table 1)

Table 1 Environmental factors and their classifications as used in the analysis.

No.	Environmental factors	Data type	Size
1	geology	category	29
2	soil series	category	264
3	slope	continuous	0º-68º
4	distance from water sources	continuous	11 kilometer
5	average rainfall	continuous	88 mm –301 mm
6	average temperature	continuous	27 – 29 ºC

3. การสร้างแบบจำลองการกระจายและการวิเคราะห์ข้อมูล การสร้างแบบจำลองโอกาสในการปรากฏตามปัจจัยแวดล้อมของโมกราชินีโดยวิธี MaxEnt ซึ่งแสดงในรูปของแผนที่ โดยใช้เฉพาะข้อมูลการปรากฏของโมกราชินี (present – only data) ค่าที่ได้จากเส้นโค้ง Receiver Operating Characteristic (ROC) จะแสดงเป็น

ค่าพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC หรือ Area Under the ROC (AUC) ซึ่งค่า AUC ที่วิเคราะห์ได้มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใด แสดงว่า แบบจำลองนั้นมีค่าความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูง (Phillips and Dudik, 2008)

ผลและวิจารณ์

โครงสร้างสังคมพืชและนิเวศวิทยาบางประการของโมกราชินี

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลในพื้นที่กลุ่มป่าตะวันออก โดยเลือกพื้นที่วางแปลงศึกษาในบริเวณเขาหินปูนซึ่งเป็นที่แห้งแล้งในป่าละเมาะผลัดใบตามธรรมชาติ ผลการศึกษาพบชนิดไม้ยืนต้นจำนวน 36 ชนิด 27 สกุล 17 วงศ์ วงศ์ที่พบชนิดพรรณไม้มากที่สุด วงศ์ขนุน (Moraceae) พบ 8 ชนิด 2 สกุล รองลงมาคือ วงศ์ชบา (Malvaceae) พบ 6 ชนิด 6 สกุล และวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) พบ 3 ชนิด 3 สกุล เมื่อจำแนกพรรณไม้ตามลักษณะวิสัย (habit) สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่ม คือ ไม้พุ่ม (shrub) ไม้ต้นขนาดเล็ก (shrubby tree) และไม้ต้น (tree) มีค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener เท่ากับ 2.254 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีความสำคัญ 5 ชนิดแรก พบว่า ขี้เหล็กฤาษี (*Phyllanthus mirabilis* Müll. Arg.) มีค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นโมกราชินี (*Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk) ปอขาว (*Sterculia pexa* Pierre) ข่อยหนาม (*Streblus ilicifolius* (S. Vidal) Corner) มันหมู (*Platea latifolia* Blume) โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 82.680, 59.469, 16.005, 14.612 และ 11.963 ตามลำดับ (Table 2) โดยพบชนิดพืชที่มีสถานภาพมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable – VU) และยังเป็นพืชถิ่นเดียว (endemic species) ด้วย คือ โมกราชินี นอกจากนี้ยังพบพืชถิ่นเดียวในพื้นที่อีก 2 ชนิด คือ สะเต้า (*Pterospermum grandiflorum* Craib) มะกอกป่า (*Spondias bipinnata* Airy Shaw & Forman) ส่วนชนิดพันธุ์ที่มีการกระจายพันธุ์ในพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเขาหินปูน ได้แก่ ขี้เหล็กฤาษี โมกราชินี ข่อยหนาม มะกอกป่า สลัดได (*Euphorbia antiquorum* L.) งิ้วป่าดอกขาว (*Bombax anceps* Pierre) อีโด่ (*Diospyros bejaudii* Lecomte) ปอฝ้าย (*Firmiana colorata* (Roxb.) R. Br.) และยมหิน (*Chukrasia tabularis* A. Juss.)

Table 2 Importance value index (IVI), status (IUCN, 2001) and distribution of tree species in the Eastern Forest Complex

No.	Scientific name	IVI	Status	Habitats
1.	*Phyllanthus mirabilis* Müll. Arg.	82.680	-	limestone
2.	*Wrightia sirikitiae* D.J.Middleton & Santisuk	59.469	Vu, Endemic	limestone
3.	*Sterculia pexa* Pierre	16.005	-	
4.	*Streblus ilicifolius* (S. Vidal) Corner	14.612	-	limestone
5.	*Platea latifolia* Blume	11.963	-	
6.	*Pterospermum grandiflorum* Craib	11.211	Endemic	
7.	*Tetrameles nudiflora* R. Br.	10.818	-	
8.	*Streblus asper* Lour.	9.505	-	
9.	*Wrightia arborea* (Dennst.) Mabb.	8.994	-	
10.	*Pterocymbium tinctorium* (Blanco) Merr.	6.853	-	
11.	*Hydnocarpus ilicifolia* King	6.083	-	
12.	*Semecarpus albescens* Kurz	5.754	-	
14.	*Ficus annulata* Blume	5.096	-	
15.	*Euphorbia antiquorum* L.	5.042	-	limestone
16.	*Ficus heteropleura* Blume	4.690	-	
17.	*Erismanthus sinensis* Oliv.	4.568	-	
18.	*Ficus glaberrima* Blume subsp. *siamensis* (Corner) C.C. Berg	4.405	-	
19.	*Scaphium affine* (Mast.) Pierre	4.105	-	
20.	*Bombax anceps* Pierre	3.567	-	MDF ,limestone
21.	*Diospyros bejaudii* Lecomte	2.560	-	limestone
22.	*Millingtonia hortensis* L. f.	2.238	-	
23.	*Syzygium muelleri* (Miq.) Miq.	1.984	-	
24.	*Ficus virens* Aiton	1.917	-	
25.	*Firmiana colorata* (Roxb.) R. Br.	1.695	-	limestone
26.	*Ficus concinna* (Miq.) Miq.	1.671		
27.	*Chukrasia tabularis* A. Juss.	1.656	-	limestone
28.	*Ficus subpisocarpa* Gagnep.	1.049	-	
29.	*Spondias bipinnata* Airy Shaw & Forman	0.981	Endemic	limestone
30.	*Senna timoriensis* (DC.) H. S. Irwin & Barneby	0.817	-	
31.	*Buchanania siamensis* Miq.	0.451	-	
32.	*Vitex canescens* Kurz	0.432	-	
33.	*Diospyros mollis* Griff.	0.415	-	
34.	*Atalantia monophylla* (L.) DC.	0.408	-	
35.	*Saraca declinata* (Jack) Miq.	0.405	-	
36.	*Drypetes hoaensis* Gagnep.	0.399	-	

Remarks: Vu = Vulnerable; MDF = Mixed Deciduous Forest

เมื่อพิจารณาเฉพาะลักษณะทางนิเวศวิทยาของโมกราชินีปรากฏว่า โมกราชินีมีค่าดัชนีความสำคัญอยู่ในลำดับที่สองของพื้นที่ มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 22.328 ค่าความเด่นสัมพัทธ์ เท่ากับ 19.949 และ

ค่าความถี่สัมพัทธ์ เท่ากับ 17.192 ซึ่งเมื่อรวมค่าทั้งสามตัวจะได้ค่าดัชนีความสำคัญของโมกราชินี เท่ากับ 59.469 จากการเก็บข้อมูลพบโมกราชินีทั้งสิ้น 234 ต้น ใน 9 แปลงใหญ่ 60 แปลงย่อย โดยมีค่าความหนาแน่น 2.34 ต้นต่อแปลง มีความเด่นพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.000213 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ และมีค่าความถี่ เท่ากับร้อยละ 60 โดยโมกราชินีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ 9.48 เซนติเมตร จากลักษณะวิสัยของโมกราชินีที่เป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็ก โมกราชินีที่ปรากฏในพื้นที่ร้อยละ 44.44 เป็นไม้ที่มีการแตกกอ และมีขนาดที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งสามารถพบโมกราชินีขึ้นตามภูเขาหินปูนที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลางตั้งแต่ 5 – 300 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายของโมกราชินี จากเดิมที่มีรายงานว่ามีการแพร่กระจายเฉพาะเขาหินปูนเตี้ย ๆ ที่สูงจากระดับทะเลปานกลางไม่เกิน 100 เมตร (Pooma, 2016) โดยชนิดป่าที่อยู่โดยรอบเขาหินปูนที่พบโมกราชินีเป็นได้ทั้งป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบ ลักษณะพื้นที่เป็นป่าโปร่ง ในพื้นที่เป็นดินตื้น มีหินโผล่ปรากฏค่อนข้างมาก และพื้นที่ที่พบการกระจายของโมกราชินีส่วนใหญ่อยู่นอกพื้นที่อนุรักษ์ ซึ่งเป็นที่ตั้งของวัดหรือสำนักสงฆ์ พบการทดแทนตามธรรมชาติของโมกราชินีน้อยมาก จากพื้นที่ที่ทำการสำรวจ ไม่พบโมกราชินีในระยะกล้าไม้ (seedling) และระยะไม้รุ่น (sapling) แต่พบการเกิดเป็นต้นใหม่โดยเกิดจากกิ่งที่โน้มลงมาจนถึงพื้นแล้วงอกรากตั้งตัวเป็นต้นใหม่ แต่พบได้น้อยมากเช่นกัน

การกระจายของโมกราชินี

ในการศึกษาการกระจายของโมกราชินี ได้ทำการนำข้อมูลพิกัดโดยใช้เครื่องระบุพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม ในทุก ๆ จุดที่พบต้นโมกราชินี นำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยแวดล้อมทางนิเวศที่มีความสำคัญต่อการกระจายของโมกราชินี จำนวน 6 ปัจจัย ซึ่งจากการวิเคราะห์หาพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมของโมกราชินีมีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจาก ROC พื้นที่การกระจายของโมกราชินีที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟ AUC มีค่าเท่ากับ 0.997 โดยมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายความว่ามีความน่าเชื่อถือ ค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ปัจจัยแวดล้อม (percent contribution) ต่อการปรากฏของโมกราชินี พบว่า ปัจจัยแวดล้อมที่มีค่ามากที่สุดคือ ลักษณะทางธรณีวิทยา มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 52.5 รองลงมาคือ ความลาดชันของพื้นที่ มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 35.2 และโดยชุดดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน มีค่าความสำคัญต่อการกระจายของโมกราชินีน้อย มีค่าเท่ากับ 16.5, 3.3 และ 2.8 ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนไม่มีค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ต่อการกระจายของโมกราชินี (Table 2)

Table 2 The contribution of environmental factors (as a percentage) to the growth of *Wrightia sirikitiae* in the Eastern Forest Complex.

No.	Environmental factors	Percent contribution
1.	geology	42.2
2.	slope	35.2
3.	soil series	16.5
4.	distance from water sources	3.3
5.	average rainfall	2.8
6.	average temperature	0
	total	100

วิเคราะห์การกระจายของโมกราชินี ที่ได้จากค่า Heuristic Estimate ในโปรแกรม MaxEnt พบว่าโอกาสในการปรากฏของโมกราชินีได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อม โดยมีโอกาสในการปรากฏตามปัจจัยแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์ ลักษณะทางธรณีวิทยา เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีมากที่สุด

เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆโดย โมกราชินีมักพบในพื้นที่ที่เป็นหินตะกอนและหินแปรยุคเพอร์เมียนถึงไทรแอสซิก (PTR) มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.99 รองลงมาคือ หินตะกอนและหินแปรยุคคาร์บอนิฟอรัส (Dc) มีค่าเท่ากับ 0.92 หินตะกอนและหินแปรยุคเพอร์เมียน (Ps-2) มีค่าเท่ากับ 0.9 หินตะกอนและหินแปรยุคพรีแคมเบรียน (PE) มีค่าเท่ากับ 0.71 และนอกจากนี้ยังพบโมกราชินีในหินอัคนียุคเพอร์เมียนถึงไทรแอสซิก (PTRv) คือ 0.08 และในหินลักษณะอื่น ๆ มีค่าโอกาสการปรากฏที่น้อยมาก มีค่าเท่ากับ 0.04 จากลักษณะหินตะกอนและหินแปรในยุคต่าง ๆ ที่มีโอกาสปรากฏของโมกราชินีต่างมีลักษณะร่วมกันคือ มีลักษณะของหินที่เป็นหินปูนปรากฏร่วมในหินตะกอนและหินแปรทุกยุคนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของ Santisuk (2002) ที่พบโมกราชินีตามซอกหินในพื้นที่เขาหินปูนที่แห้งแล้ง แต่มีข้อแตกต่างที่มีโอกาสพบการปรากฏของโมกราชินีในหินอัคนีด้วย แต่ก็มีโอกาสพบการปรากฏได้น้อยมากเช่นกัน เพราะมีโอกาสการปรากฏของโมกราชินี เพียง 0.08 ความลาดชันของพื้นที่ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีมากเป็นลำดับที่สอง ซึ่งโอกาสปรากฏของโมกราชินีเพิ่มมากขึ้น เมื่อความลาดชันของพื้นที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อความลาดชันประมาณ 15 องศา โอกาสการปรากฏของโมกราชินี มีค่าเท่ากับ 1.0 เนื่องมาจากความลาดชันของพื้นที่มีอิทธิพลต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเติบโต โอกาสของการปรากฏของไม้แต่ละชนิด และโครงสร้างของสังคมพืช (Kutintara, 1999) ชุดดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีมากเป็นลำดับที่สาม มักพบโมกราชินีในพื้นที่ที่เป็นชุดดินคลองชาก/หนองคล้า (Khlong Chak/Nong Khla association: Kc/Nok) พื้นที่ที่เป็นดินคล้ายชุดดินสตึกแต่มีความลึกปานกลาง (Satuk, moderately deep variant: Suk - md) พื้นที่ที่เป็นชุดดินทับกวางและดินทับกวางที่มีลูกรังปน (Thap Kwang/Thap Kwang, lateritic variant association) พื้นที่ที่เป็นชุดดินโพนพิสัย (Phon Phisai series: Pp) มีค่าเท่ากับ 1.0 รองลงมาคือ พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (slope complex: SC) และพื้นที่ที่เป็นหน่วยดินไม่สัมพันธ์กันของดินชุดคลองชากและดินชุดหนองคล้า (Khlong Chak and Nong Khla soils: Kc&Nok) มีค่าเท่ากับ 0.99 และในดินชุดอื่นมีค่าโอกาสการปรากฏของโมกราชินี เท่ากับ 0.56 จากลักษณะดินในดินชุดต่าง ๆ ที่มีโอกาสปรากฏของโมกราชินีที่ค่อนข้างสูงนั้นต่างมีลักษณะที่ปรากฏร่วมกัน คือ เป็นดินที่มีลักษณะชั้นดินตื้น มีการระบายน้ำที่ดี มีหินปะปนในเนื้อดินค่อนข้างสูง และดินส่วนมากเกิดจากการสลายตัวของหินตะกอนและหินแปรจำพวกหินปูนและหินดินดาน ซึ่งจะบอกได้ว่าดินมีความสำคัญต่อพืชทั้งในด้านการเป็นแหล่งยึดเหนี่ยว เป็นแหล่งให้ความชื้น และเป็นแหล่งให้ธาตุอาหาร ที่เป็นบทบาทที่มีผลต่อการกระจายของพืชแต่ละชนิดด้วย (Marod and Kutintara, 2009) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีมากเป็นลำดับที่สี่ ซึ่งโอกาสการปรากฏของโมกราชินีลดลง เมื่อระยะห่างจากแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าเมื่อมีระยะห่างจากแหล่งน้ำประมาณ 0 เมตร มีโอกาสการปรากฏเท่ากับ 0.4 และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆจนกระทั่งระยะห่างจากแหล่งน้ำประมาณ 800 เมตร มีโอกาสการปรากฏ เท่ากับ 1.0 และลดลงเรื่อย ๆ จนระยะห่างจากแหล่งน้ำประมาณ 3,500 เมตร โอกาสการปรากฏ เท่ากับ 0 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีมากเป็นลำดับที่ห้า ซึ่งโอกาสการปรากฏของโมกราชินีลดลงเมื่อปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าเมื่อมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 100 มิลลิเมตร มีโอกาสการปรากฏเท่ากับ 1.0 และลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 150 มิลลิเมตร จนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 300 มิลลิเมตร โอกาสการปรากฏ เท่ากับ 0 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของโมกราชินีน้อยที่สุด ไม่มีค่าความสัมพันธ์ต่อการกระจายของโมกราชินี โดยพบว่าในทุกอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน โมกราชินีมีโอกาสการปรากฏเท่ากับ 0.99

หากพิจารณาจากกราฟ Jackknife ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรากฏของโมกราชินี

กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ปัจจัย พบว่า ปัจจัยแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการปรากฏของโมกราชินีมากที่สุด 3 ปัจจัย คือ ลักษณะทางธรณีวิทยา รองลงมาคือ ชุดดิน และความลาดชันของพื้นที่ (Figure 2)

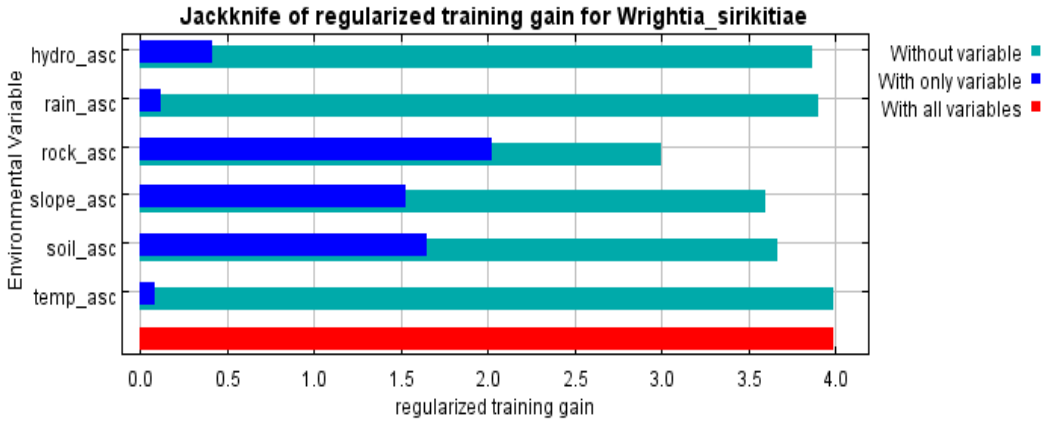


Figure 2 Jackknifing plot showing the relationship between each environmental factor and the presence of *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk in the Eastern Forest Complex.

Remarks: hydro_asc = distance from water sources; rain_asc = average rainfall; rock_asc = geology; slope_asc = slope; soil_asc = soil series; temp_asc = average temperature

ผลจากการสร้างแบบจำลองโอกาสในการกระจายของโมกราชินีในพื้นที่ มีค่าเท่ากับ 1.0 โดยพบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกระจายของโมกราชินี คือ พื้นที่ที่เป็นลักษณะของหินตะกอนและหินแปรที่มีส่วนประกอบเป็นหินปูนที่มีความลาดชันค่อนข้างมาก ดินเป็นดินร่วนสามารถระบายน้ำได้ดี พบในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง และจังหวัดจันทบุรี ซึ่งตรงกับรายงานของ Pooma (2016) ที่พบโมกราชินีได้ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงใต้ที่จังหวัดสระแก้ว บริเวณเขาหินปูนเตี้ยๆ เมื่อพิจารณาในส่วนของพื้นที่อนุรักษ์จะพบว่ามีโอกาสพบโมกราชินีในเขตอุทยานแห่งชาติเขาชะเมา-เขาวง มีโอกาสพบได้มากที่เขาวง และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน มีโอกาสพบได้มากทางตอนใต้ของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน นอกจากนี้ยังมีโอกาสพบนอกพื้นที่ป่าอนุรักษ์อีกด้วย โดยส่วนมากเป็นหย่อมป่าขนาดเล็ก ภูเขาหินปูนลูกโดด ซึ่งเป็นที่ตั้งของชุมชนและสำนักสงฆ์ ได้แก่ สำนักสงฆ์พระธาตุเขาเจ้า สำนักสงฆ์เขาอ่างแก้ว วัดเขาตลาด วัดถ้ำเขาฉกรรจ์ (Figure 3) จะแสดงพื้นที่ที่มีโอกาสปรากฏของโมกราชินี บริเวณที่มีโอกาสของการปรากฏสูงจะมีสีน้ำเงิน และบริเวณที่มีโอกาสของการปรากฏของโมกราชินีต่ำจะมีสีแดง

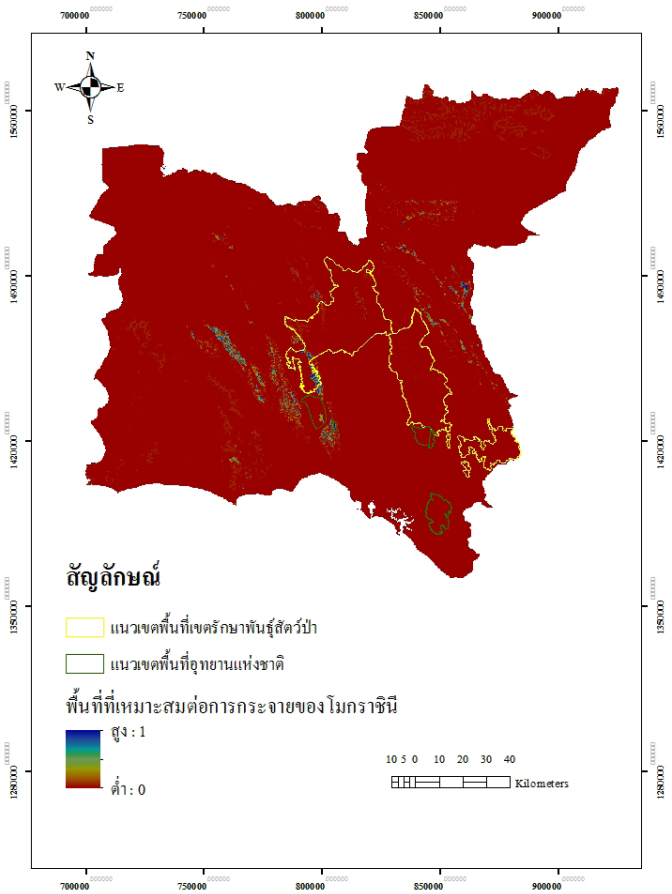


Figure 3 Suitable distribution map of *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk in the Eastern Forest Complex.

ซึ่งการศึกษาโดยโปรแกรม MaxEnt เป็นการจำลองโอกาสการปรากฏของชนิดพันธุ์ตามปัจจัยแวดล้อม มีการสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมจากข้อมูลการกระจายของชนิดพันธุ์เบื้องต้นประกอบกับปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการกระจาย แล้วจึงคาดการณ์ความน่าจะเป็นในการปรากฏของชนิดพันธุ์นั้น ๆ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่อนุรักษ์ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการเข้าถึงได้ยาก เช่น ภูเขาหินปูน และจะทำให้เห็นถึงศักยภาพของพื้นที่ที่มีผลต่อการคงอยู่ของชนิดพันธุ์นั้นด้วย

สรุป

จากการศึกษาพบพรรณไม้ 36 ชนิด 27 สกุล 17 วงศ์ วงศ์ที่พบมากที่สุด ได้แก่ วงศ์ขนุน รองลงมาคือ วงศ์ชบา และวงศ์มะม่วง ตามลำดับ มีค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener's เท่ากับ 2.254 พิจารณาจากค่าดัชนีความสำคัญ 3 ชนิดแรก ได้แก่ ขี้เหล็กฤาษี โมกราชินี และปอขาว โดยมีค่าดัชนีความสำคัญเท่ากับ 82.680, 59.469 และ 16.005 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์หาพื้นที่การกระจายที่เหมาะสมของโมกราชินี โดยวิธี MaxEnt มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจาก ROC ที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟ AUC มีค่าเท่ากับ 0.997 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ โดยค่าสัดส่วนความ

สัมพันธ์ปัจจัยแวดล้อมต่อการปรากฏของโมกราชินี พบว่า ลักษณะทางธรณีวิทยา มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ ความลาดชันของพื้นที่ ชุดดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนไม่มีค่าสัดส่วนความสัมพันธ์ต่อการกระจายของโมกราชินี

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยลักษณะหินตะกอนและหินแปรในยุคต่าง ๆ ที่มีโอกาสปรากฏของโมกราชินีต่างมีลักษณะร่วมกัน คือ มีลักษณะของหินที่เป็นหินปูนปรากฏร่วมในหินตะกอนและหินแปรทุกยุค โดยโอกาสการปรากฏจะมากขึ้น เมื่อความลาดชันเพิ่มมากขึ้น ดินที่มีโอกาสปรากฏของโมกราชินีสูงเป็นดินที่มีลักษณะชั้นดินตื้น มีการระบายน้ำที่ดี มีหินปะปนในเนื้อดิน และดินส่วนมากเกิดจากการสลายตัวของหินปูนและหินดินดาน ระยะห่างจากแหล่งน้ำและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางลบ คือ โอกาสการปรากฏจะลดลง เมื่อระยะห่างจากแหล่งน้ำและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนไม่มีผลต่อโอกาสการปรากฏของโมกราชินี และยังพบว่าการกระจายของโมกราชินีส่วนใหญ่พบอยู่นอกพื้นที่อนุรักษ์ ปัจจัยคุกคามเกิดจากการใช้ประโยชน์พื้นที่ อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ จากข้อมูลจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการพื้นที่ที่คาดว่ามีโอกาสปรากฏของโมกราชินี และนำมาใช้ในการอนุรักษ์โมกราชินี ทั้งในถิ่นกำเนิดและนอกถิ่นกำเนิด

REFERENCES

Forestry Biological Diversity Secretariate Office. 1999. **Forest Complexes in Thailand.** Natural Resources Conservation Office, Royal Forest Department, Bangkok.

Forestry Research Center. 1995. **Complete Report Basic Information Of The Management Plan for Khao Ang Rue Nai Wildlife Sanctuary Chachoengsao, Chonburi, Rayong, Chanthaburi**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.

IUCN. 2001. **IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1**. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

Kutintara, U. 1999. **Ecology: Basic for Forestry**. Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.

Marod, D. and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. Aksorn-Siam, Bangkok.

Phillips, S.J. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography** 31: 161–174.

Pooma, R. 2016. **Concise Encyclopedia of Plants in Thailand. The Celebrations on the Auspicious Occasion Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn's 60 years Birthday.** Forest Herbarium, Forest Research, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok.

Santisuk, T. 2002. *Wrightia sirikitiae* D.J. Middleton & Santisuk, A New Species of *Wrightia* (Apocynaceae:Apocynoideae) from Thailand. **The Journal of the Royal Institute of Thailand** 1: 197-201.

_____. 2005. Endemic Plants and Rare Plants of Thailand: Criteria for status analysis and conservation guidelines, pp. 9-20. *In* **Proceedings of Biodiversity in Forests and Wildlife "Progress of Research Results and Activities in 2005"**. Royal Forest Department, Bangkok.

นิพนธ์ต้นฉบับ

องค์ประกอบชนิดพันธุ์และความหลากชนิดของพรรณพืชในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝน จังหวัดตาก

Plant Species Composition and Diversity in Ban Huai Hin Fon Community Forest, Tak Province

ปัญญา ไวยบุญญา* Panya Waiboonya*
ปนัดดา ลาภเกิน Panadda Larpkern
บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี Boontida Moungsrimuangdee
ประภัสสร ยอดสง่า Prapatsorn Yodsa-nga

วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 63110
Bodhivijjalaya College, Srinakharinwirot University, Mae Pa, Mae Sot, Tak, 63110 Thailand
*Corresponding Author, E-mail: panyawa@g.swu.ac.th

รับต้นฉบับ 22 กุมภาพันธ์ 2562 รับแก้ไข 20 มีนาคม 2562 รับลงพิมพ์ 1 พฤษภาคม 2562

ABSTRACT

Community forests are areas protected by the community for conservation and utilization purposes. Areas like this help in conserving the local biodiversity, and are found in the Ban Huai Hin Fon Community Forest, Mae Pa, Mae Sot, Tak province. This research aimed to identify the plant species diversity in the community forest. Trees, Bryophytes, and Pteridophytes were surveyed. Trees were identified, counted, and their diameter at breast height (DBH) measured in 20 plots of size 20 m × 20 m. In total, 66 tree species were recorded, belonging to 56 genera, 26 families, with 536 stems. Diversity and evenness index of trees were 3.12 and 0.75, respectively. *Tectona grandis* had the highest important value index, followed by *Xylia xylocarpa* var. *kerrii*, *Millettia leucantha*, *Dalbergia cultrata*, and *Syzygium formosum*, with values of 57.81, 32.93, 21.37, 15.02, and 11.46, respectively. This study found seven species of Bryophytes from six genera, five families and 11 species of Pteridophytes from eight genera and six families.

Keywords: Diversity index, Tree, Bryophyte, Pteridophyte

บทคัดย่อ

ป่าชุมชน คือ พื้นที่ป่าที่ชุมชนร่วมกันดูแลรักษาเพื่อการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์ จึงช่วยให้เกิดการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ เช่นเดียวกับที่พบในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝน ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากชนิดของพรรณไม้ในป่าชุมชน โดยสำรวจพรรณไม้ยืนต้น กลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง (Bryophyte) และ กลุ่มเฟิร์น (Pteridophyte) โดยวิธีการวางแปลงสำรวจไม้ยืนต้น จำนวน 20 แปลง ขนาด 20×20 เมตร ผลการศึกษาพบว่า มีพรรณไม้ยืนต้นที่พบในป่าชุมชนจำนวน 66 ชนิด จาก 56 สกุล จาก 26 วงศ์ จำนวน 536 ต้น มีค่าดัชนีความหลากหลายของไม้ใหญ่เท่ากับ 3.12 ดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.75 โดยสัก (*Tectona grandis*) มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงที่สุด ตามด้วย แดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) กระเจาะ (*Millettia leucantha*) กระพี้เขาควาย (*Dalbergia cultrata)* และชมพู่นก (*Syzygium formosum)* เท่ากับ 57.81, 32.93, 21.37, 15.02 และ 11.46 ตามลำดับ กลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียงพบจำนวน 7 ชนิดจาก 6 สกุล 5 วงศ์ และกลุ่มเฟิร์นพบจำนวน 11 ชนิด จาก 8 สกุล 6 วงศ์

คำสำคัญ: ดัชนีความหลากหลาย ไม้ยืนต้น พืชไม่มีท่อลำเลียง เฟิร์น

คำนำ

ป่าชุมชนถือเป็นแหล่งรักษาความหลากหลายทางชีวภาพที่สำคัญ ทั้งพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ (Vongkamjan, 2015; Larpkern *et al.*, 2016; Meesena *et al*., 2016) ทั้งนี้การบริหารจัดการป่าชุมชนมุ่งเน้นการทำงานอย่างมีส่วนร่วมโดยให้ชุมชนร่วมทำงานกับเจ้าหน้าที่ในการควบคุม ดูแลรักษา หรือบำรุงป่า เพื่อให้เกิดความยั่งยืนโดยที่ชุมชนได้รับประโยชน์ (RFD, Community Forest Bureau, 2015) ป่าชุมชนยังทำให้เกิดพื้นที่อนุรักษ์อย่างเป็นรูปธรรม โดยหลายแห่งได้มีการประกาศแบ่งพื้นที่ใช้สอยและพื้นที่อนุรักษ์อย่างชัดเจน เพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำของชุมชนและให้เป็นที่อยู่ของสัตว์ป่า นอกจากนี้ยังทำให้เกิดประโยชน์กับชุมชนในด้านต่าง ๆ จากการเก็บผลิตภัณฑ์จากป่าที่ไม่ใช่เนื้อไม้ (non-timber forest products) มาใช้บริโภคในครัวเรือนหรือสร้างรายได้จากการจำหน่ายผลิตผลจากป่า (Larpkern *et al.*, 2016) ตลอดจนรายได้จากกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ป่าชุมชนจึงถือเป็นแนวทางการดูแลทรัพยากรอย่างมีส่วนร่วมที่ทำให้เกิดทั้งการอนุรักษ์ร่วมกับการสร้างคุณภาพความเป็นอยู่ที่ดีให้แก่ชุมชน ปัจจุบันกรมป่าไม้ได้ประกาศพื้นที่ป่าชุมชนคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 6,591,788 ไร่ รวมทั้งสิ้น 13,387 หมู่บ้าน ครอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคและประเภทป่าที่หลากหลาย (RFD, Community Forest Bureau, 2018)

ตากเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ป่าปกคลุมเป็นอันดับที่สองของประเทศ มีพื้นที่กว่า 7.7 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 72 ของพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัด รองจากจังหวัดเชียงใหม่ที่มีพื้นที่ป่ากว่า 9.6 ล้านไร่ (RFD, 2017) โดยเป็นพื้นที่ต้นน้ำและมีแหล่งน้ำสำคัญหลายสายไหลผ่าน นอกจากนี้จังหวัดตากยังมีการดูแลป่าโดยชุมชนผ่านการจัดตั้งป่าชุมชนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2561 มีจำนวนทั้งสิ้น 359 โครงการ ครอบคลุมพื้นที่ 445,890 ไร่ (RFD, Community Forest Bureau, 2018) และมีจำนวนถึง 19 แห่งที่จัดอยู่ในระดับการประเมินที่มีพัฒนาดีมาก (RFD, Community Forest Promotion Division, 2017)

ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝน เป็นหนึ่งในพื้นที่ป่าชุมชนที่มีการพัฒนาดีมากได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550 (RFD, Community Forest Bureau, 2018) โดยชุมชนได้ร่วมกันอนุรักษ์ป่าให้เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารและแหล่งอาหารของชุมชน (Ban Huai Hin Fon Community Forest Committee, 2017) จนทำให้มี

หน่วยงานภายนอกเข้ามาศึกษาเรียนรู้กับชุมชนในหลายด้าน เช่น การบริหารจัดการป่าชุมชน การบริหารจัดการน้ำ และการเรียนรู้เรื่องฝายมีชีวิต แต่ทั้งนี้ชุมชนยังขาดข้อมูลเรื่องชนิดพรรณไม้ที่ไม่เพียงแต่มีความสำคัญต่อการอนุรักษ์พื้นที่ป่าเอาไว้แต่ยังเป็นการช่วยรักษาแหล่งเมล็ดพันธุ์สำหรับการฟื้นฟูที่นับวันจะทวีความสำคัญเนื่องจากพื้นที่ป่าที่ลดลง การศึกษาพรรณไม้ยังสามารถทำให้เกิดการเรียนรู้ของคนทั้งในและนอกพื้นที่ ดังนั้นการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) โดยเฉพาะความหลากชนิดของพรรณไม้ (plant species diversity) ที่เป็นองค์ประกอบทางชีวภาพที่สำคัญของป่าจะช่วยเสริมสร้างองค์ความรู้ที่มีอยู่ในชุมชนนั้นให้นำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบและความหลากชนิดของพรรณไม้ในป่าชุมชน ที่ครอบคลุมทั้งไม้ยืนต้น พืชไม่มีท่อลำเลียง และพืชกลุ่มเฟิร์น

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝน ตั้งอยู่ในตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (18º 53’ 32” N 46º 43’ 62” E, Figure 1) ลักษณะภูมิอากาศประจำปี พ.ศ. 2560 มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 26.8 °C สูงสุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 37.4 °C และต่ำสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 18.4 °C ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเท่ากับ 1,105.2 มิลลิเมตร สะสมสูงสุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 267 มิลลิเมตร (TMD, 2017) ดินมีความเป็นกรดอ่อน ๆ มีค่าพีเอช (pH) ตั้งแต่ 5.62 ถึง 6.35 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินร้อยละ 5.72 ถึงร้อยละ 11.52 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.19 ถึงร้อยละ 0.42 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 5.37 ถึง 34.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 167.42 ถึง 664.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

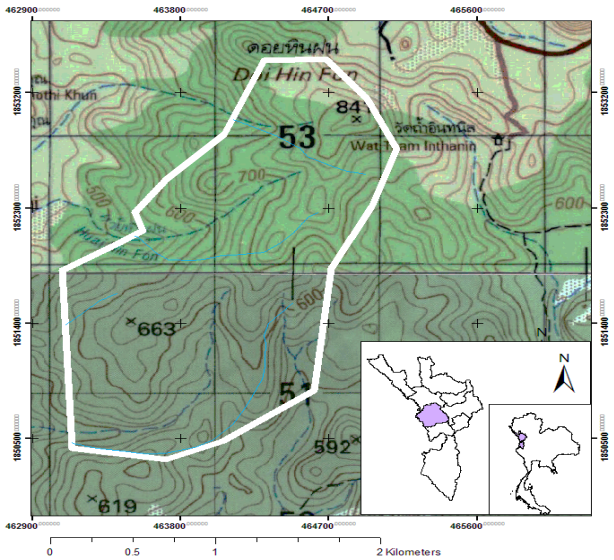


Figure 1 Map of the study site with white line indicating the boundary of Ban Huai Hin Fon Community Forest, Tak Province.

การเก็บข้อมูลความหลากหลายของไม้ยืนต้น

วางแปลงตัวอย่างขนาด 20×20 เมตร จำนวน 20 แปลง แบบสุ่มกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่ ทำการสำรวจไม้ยืนต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height, DBH) 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป และมีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร บันทึกชนิด วัดเส้นรอบวงเพื่อนำมาคำนวณเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และจำนวนที่พบในแต่ละแปลง ถ่ายภาพลักษณะใบ การเรียงตัวของใบ

ลักษณะลำต้น เปลือกนอกและเปลือกใน ดอก ผล และเก็บตัวอย่างพรรณไม้ที่พบเพื่อนำมาจัดทำพรรณไม้แห้งสำหรับจำแนกชนิด เปรียบเทียบกับตัวอย่าง และตรวจสอบข้อมูลลักษณะพรรณไม้จากเอกสารอ้างอิง อาทิ Flora of Thailand Flora of China (Jie and Craven, 2007; Chen *et al*., 2010; Zhi and Pedley, 2010; Bingtao and Gilbert, 2011) Bunyavejchewin *et al*. (2016) Gardner *et al*. (2000) Waiboonya *et al*. (2014) และบทความใน Thai forest bulletin (Davies *et al*., 2001) ตรวจสอบรายชื่อวิทยาศาสตร์จาก The Plant List (2010) และชื่อท้องถิ่นจาก Office of the Forest Herbarium (2014)

การวิเคราะห์สังคมพืชเชิงปริมาณ

ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นของพรรณพืช (Density, D) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density, RD) ความถี่ (Frequency, F) ความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency, RD) ความเด่น (Dominance, Do) ความเด่นสัมพัทธ์ (Relative Dominance, RD) ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (Importance Value Index, IVI) จาก Marod and Kuintara (2009)

ค่าดัชนีความหลากหลายของพรรณไม้ โดยใช้ Shannon Index (H′) (Shannon & Weaver, 1949) คำนวณได้จาก

$$H' = -\sum_{i=1}^{S}(pi)(\ln pi)$$

เมื่อ H' คือ ค่าดัชนีความหลากชนิดของชนิดพรรณ pi คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นไม้ชนิด i ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด และ S คือ จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

ค่าความสม่ำเสมอของชนิดพรรณ (Pielou's Evenness Index : E) คำนวณได้จาก

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

เมื่อ H' คือ ค่าดัชนีความหลากชนิดพรรณไม้ และ S คือ จำนวนชนิดพรรณไม้ทั้งหมด

การเก็บข้อมูลความหลากหลายของพืชไม่มีท่อลำเลียงและเฟิร์น

สำรวจและเก็บตัวอย่างกลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียงและเฟิร์นจากแหล่งที่อยู่ต่าง ๆ กลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียงจากบริเวณโขดหินข้างลำน้ำ ที่ชื้นแฉะและเปลือกต้นไม้เป็นต้น และกลุ่มเฟิร์น บริเวณลำน้ำ ที่อิงอาศัยอยู่บนต้นไม้ ในผืนป่า เป็นต้น เก็บตัวอย่างจากทั้งในแปลงศึกษาและภายนอกแปลงเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ครอบคลุม บันทึกภาพตัวอย่าง แหล่งที่พบ จัดทำเป็นตัวอย่างแห้ง และนำพืชกลุ่ม Bryophyte มาจัดจำแนกที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และพืชกลุ่ม Pteridophyte มาจัดจำแนกที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลและวิจารณ์

พรรณไม้ยืนต้น

จากการสำรวจพรรณไม้ในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนมีจำนวนทั้งหมด 66 ชนิด (species) จาก 56 สกุล (genus) จาก 26 วงศ์ (family) วงศ์ถั่ว (Fabaceae) พบมากที่สุดจำนวน 10 ชนิด รองลงมาได้แก่ วงศ์ชบา (Malvaceae) จำนวน 6 ชนิด วงศ์เปล้า (Euphorbiaceae) วงศ์กะเพรา (Lamiaceae) วงศ์เลี่ยน (Meliaceae) และวงศ์มะขามป้อม (Phyllanthaceae) จำนวนวงศ์ละ 4 ชนิด พืชสกุล *Dalbergia* และ *Vitex* พบสกุลละ 3 ชนิด พืชสกุล *Antidesma Litsea* และ *Mallotus* พบสกุลละ 2 ชนิด ส่วนที่เหลือพบสกุลละ 1 ชนิด (Table 1) ค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ (species diversity index) โดยใช้ Shanon Index พบว่า ค่าความหลากหลายมีค่าเท่ากับ 3.12 และมีค่าความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.75

ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด

ความเด่น (dominance) เป็นลักษณะสะท้อนถึงความสามารถในการตั้งตัวอยู่ได้ภายใต้ปัจจัยแวดล้อมของสังคมพืชนั้น (Marod and Kuintara, 2009) พื้นที่ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนมีความเด่นด้านหน้าตัดของ

ไม้ใหญ่รวมทั้งหมด 2.9910 ตารางเมตรต่อไร่ โดยสัก (*Tectona grandis*) มีค่าความเด่นสูงสุด เท่ากับ 0.9353 ตารางเมตรต่อไร่ รองลงมาเป็นแดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) มีค่าเท่ากับ 0.3531 ตารางเมตรต่อไร่ ชมพู่นก (*Syzygium formosum*) มีค่าเท่ากับ 0.1841 ตารางเมตรต่อไร่ ฝาละมี (*Alangium kurzii*) มีค่าเท่ากับ 0.1841 ตารางเมตรต่อไร่ และยางนา (*Dipterocarpus alatus*) มีค่าเท่ากับ 0.1685 ตารางเมตรต่อไร่ (Table 1)

ความหนาแน่น

ความหนาแน่น คือ จำนวนต้นไม้ที่พบต่อพื้นที่ ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ที่พบในป่าชุมชนรวมทั้งหมดเท่ากับ 107.2 ต้นต่อไร่ สัก (*T. grandis*) มีความหนาแน่นสูงที่สุดเช่นเดียวกับความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัดมีค่าเท่ากับ 21.0 ต้นต่อไร่ รองลงมาเป็นแดง (*X. xylocarpa* var. *kerrii*) มีค่าเท่ากับ 15.2 ต้นต่อไร่ กระเจาะ (*Millettia leucantha*) มีความหนาแน่นเป็นลำดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 11.0 ต้นต่อไร่ กระพี้เขาควาย (*Dalbergia cultrata*) เป็นลำดับที่ 4 มีค่าเท่ากับ 6.6 ต้นต่อไร่ และตะคร้อ (*Schleichera oleosa*) เป็นลำดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 4.6 ต้นต่อไร่ (Table 1)

ความถี่

ความถี่ คือ อัตราร้อยละของจำนวนแปลงที่ปรากฏตัวอย่าง ในป่าชุมชนสามารถพบกระเจาะ (*M. leucantha*) กระจายอยู่ทั่วไป โดยเป็นชนิดที่มีความถี่สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80 หรือพบถึง 16 แปลง จากแปลงสำรวจทั้งหมด 20 แปลง รองลงมาเป็น สัก (*T. grandis*) และ แดง (*X. xylocarpa* var. *kerrii*) มีความถี่เท่ากันคือร้อยละ 75 ตามมาด้วยกระพี้เขาควาย (*D. cultrata*) มีความถี่ร้อยละ 65 และตะคร้อ (*S. oleosa*) มีความถี่ร้อยละ 55 (Table 1)

ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้

ค่าดัชนีพรรณไม้เกิดจากการรวมของความเด่นสัมพัทธ์ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความถี่สัมพัทธ์ มีคะแนนรวมเท่ากับ 300 ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนมีพรรณไม้ 7 ชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้มากกว่า 10 หรือคิดเป็นร้อยละ 10.6 ของพรรณไม้ที่พบทั้งหมด สัก (*T. grandis*) มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงที่สุดเท่ากับ 57.81 รองลงมาเป็นแดง (*X. xylocarpa* var. *kerrii*) 32.93 กระเจาะ (*M. leucantha*) 21.37 กระพี้เขาควาย (*D. cultrata*) 15.02 ชมพู่นก (*S. formosum*) 11.46 ตะคร้อ (*S. oleosa*) 11.15 และยางนา (*D. alatus*) 10.01 และมีพรรณไม้จำนวน 26 ชนิด หรือคิดเป็นร้อยละ 39.4 ของพรรณไม้ที่พบทั้งหมดที่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้น้อยกว่า 1.00 เช่น พืชในสกุล *Vitex* ทั้ง 3 ชนิด และพืชในสกุล *Antidesma* ทั้งสองชนิด งิ้วป่า (*Bombax anceps*) และ เลือดควาย (*Knema erratica*) เป็นต้น

สถานภาพการอนุรักษ์

จากการตรวจสอบสถานภาพการอนุรักษ์ของพรรณไม้และแนวโน้มประชากรตามข้อมูลของ IUCN (2019) พบว่า มีพืชจำนวน 20 ชนิดอยู่ในฐานข้อมูล แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (least concern) จำนวน 17 ชนิด ในที่นี้มี 3 ชนิดที่มีแนวโน้มของประชากรลดลง ได้แก่ กระเจาะ (*M. leucantha*) ขี้เหล็ก (*Senna siamea*) และ ยมหิน (*Chukrasia tabularis*) กลุ่มที่เกือบอยู่ในข่ายเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (near threatened) มีเพียงชนิดเดียว ได้แก่ กระพี้เขาควาย (*D. cultrata*) กลุ่มที่เกือบอยู่ในข่ายใกล้การสูญพันธุ์ (vulnerable) มีเพียงชนิดเดียว ได้แก่ ยางนา (*D. alatus*) และกลุ่มที่ใกล้สูญพันธุ์มีเพียงชนิดเดียว ได้แก่ ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) (Table 1)

Table 1 Dominance (Do), Density (D), Frequency (F), Important index (IVI) and conservation status of tree species at the Ban Huai Hin Fon Community Forest, Tak Province.

No.	Scientific name	Local name	Family	Do (m^2/Rai)	D (stem/Rai)	F (%)	IVI	Population/ Conservation status[1]
1	*Tectona grandis* L. f.	Sak	Lamiaceae	0.9353	21	75	57.81	-
2	*Xylia xylocarpa* var. *kerrii* (Craib & Hutch.) I. C. Nielsen	Daeng	Fabaceae	0.3531	15.2	75	32.93	-
3	*Millettia leucantha* Kurz	Kra cho	Fabaceae	0.1106	11.0	80	21.37	Decreasing/LC
4	*Dalbergia cultrata* Benth.	Kra phi Khao khwai	Fabaceae	0.0851	6.6	65	15.02	Decreasing/NT
5	*Syzygium formosum* (Wall.) Masam.	Chomphu nok	Myrtaceae	0.1841	4.2	15	11.46	-
6	*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.	Ta khro	Sapindaceae	0.0528	4.6	55	11.15	-
7	*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don	Yang na	Dipterocarpaceae	0.1685	3.2	15	10.01	Decreasing/VU
8	*Anogeissus acuminata* (Roxb. ex DC.) Wall. ex Guillem. & Perr.	Takhian nu	Combretaceae	0.0527	3.4	40	8.64	-
9	*Dalbergia cana* Kurz	Kra phi nang nuan	Fabaceae	0.0319	3	45	8.03	LC
10	*Protium serratum* (Wall. ex Colebr.) Engl.	Ma faen	Burseraceae	0.0612	1.8	40	7.43	-
11	*Alangium kurzii* Craib	Falami	Cornaceae	0.1841	0.2	5	6.80	Stable/LC
12	*Mitragyna rotundifolia* (Roxb.) Kuntze	Kra thum noen	Rubiaceae	0.0155	3.2	35	6.74	-
13	*Albizia odoratissima* (L. f.) Benth.	Kang khi mot	Fabaceae	0.0418	2.2	30	6.23	-
14	*Holarrhena pubescens* Wall. ex G.Don	Mok yai	Apocynaceae	0.0165	2.6	35	6.22	LC
15	*Spondias pinnata* (L. f.) Kurz	Makok	Anacardiaceae	0.0475	1.4	25	5.21	-
16	*Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob.	Mi men	Lauraceae	0.0507	1.8	15	4.76	-
17	*Garuga pinnata* Roxb.	Ta khram	Burseraceae	0.0439	1.0	25	4.72	-
18	*Stereospermum* sp.	-	Bignoniaceae	0.0106	2.2	25	4.72	-
19	*Markhamia stipulata* (Wall.) Seem.	Khae hang khang	Bignoniaceae	0.0136	1.2	30	4.35	Stable/LC
20	*Syzygium claviflorum* (Roxb.) Wall. ex A. M. Cowan & Cowan	Wa hin	Myrtaceae	0.0850	0.8	5	4.05	-
21	*Colona floribunda* (Kurz) Craib	Pu muen	Malvaceae	0.0408	0.8	15	3.50	-
22	*Pterocarpus macrocarpus* Kurz	Pra du	Fabaceae	0.0588	1.0	5	3.36	Decreasing/EN
23	*Croton persimilis* Müll. Arg.	Plao yai	Euphorbiaceae	0.0114	1.2	20	3.35	-

Table 1 (Con.)

No.	Scientific name	Local name	Family	Do (m^2/Rai)	D (stem/Rai)	F (%)	IVI	Population/ Conservation status[1]
24	*Lagerstroemia floribunda* Jack	Ta baek na	Lytheraceae	0.0333	0.8	15	3.25	-
25	*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb.	Samo phi phek	Combretaceae	0.0507	0.4	10	2.99	-
26	*Dalbergia ovata* var. *glomeriflora* (Kurz) Thoth.	Kam phi	Fabaceae	0.0151	0.6	15	2.46	Unknown/LC
27	*Polyalthia cerasoides* (Roxb.) Bedd.	Ka chian	Annonaceae	0.0522	0.2	5	2.39	-
28	*Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.	Kham saet	Euphorbiaceae	0.0088	0.6	15	2.24	-
29	*Flacourtia indica* (Burm. f.) Merr.	Ta khop pa	Salicaceae	0.0079	0.6	15	2.21	-
30	*Cratoxylum formosum* subsp. *pruniflorum* (Kurz) Gogelein	Tio Khon	Hypericaceae	0.0124	0.8	10	2.09	LC
31	*Polyalthia viridis* W. G. Craib	Yang on	Annonaceae	0.0033	0.6	15	2.06	-
32	*Mallotus nudiflorus* (L.) Kulju & Welzen	Ma pho	Euphorbiaceae	0.0208	0.4	10	2.00	Stable/LC
33	*Schoepfia fragrans* Wall.	Khi non	Schoepfiaceae	0.0093	0.6	10	1.80	-
34	*Pterospermum semisagittatum* Buch.-Ham. ex Roxb.	Kham khua	Malvaceae	0.0020	0.6	10	1.55	-
35	*Cassia fistula* L.	Khun	Fabaceae	0.0066	0.4	10	1.52	Stable/LC
36	*Oroxylum indicum* (L.) Kurz	Pheka	Bignoniaceae	0.0038	0.4	10	1.43	-
37	*Catunaregam spathulifolia* Tirveng.	Ka taeng	Rubiaceae	0.0016	0.4	10	1.35	-
38	*Macaranga siamensis* S. J. Davies	Tao Luang Siam	Euphorbiaceae	0.0141	0.2	5	1.12	-
39	*Chisocheton cumingianus* subsp. *balansae* (C. DC.) Mabb.	Yom makok	Meliaceae	0.0123	0.2	5	1.06	-
40	*Terminalia mucronata* Craib & Hutch.	Ma kluea lueat	Combretaceae	0.0123	0.2	5	1.06	-
41	*Grewia eriocarpa* Juss.	Po kaen thao	Malvaceae	0.0033	0.4	5	0.95	Unknown/LC
42	*Senna siamea* (Lam.) H. S. Irwin & Barneby	Khi lek	Fabaceae	0.0083	0.2	5	0.93	Decreasing/LC
43	Unknown 2	-	-	0.0074	0.2	5	0.90	-
44	*Bauhinia malabarica* Roxb.	Siao yai	Fabaceae	0.0017	0.4	5	0.89	Stable/LC
45	Unknown 1	-	-	0.0071	0.2	5	0.89	-
46	*Bombax anceps* Pierre	Ngio pa	Malvaceae	0.0069	0.2	5	0.88	-
47	*Chukrasia tabularis* A. Juss.	Yom hin	Meliaceae	0.0045	0.2	5	0.80	Decreasing/LC
48	*Knema erratica* (Hook. f. & Thomson) J. Sinclair	Lueat khwai	Myristicaceae	0.0046	0.2	5	0.80	-

Table 1 (Con.)

No.	Scientific name	Local name	Family	Do (m^2/Rai)	D (stem/Rai)	F (%)	IVI	Population/ Conservation status[1]
49	*Antidesma sootepense* Craib	Mamao sai	Phyllanthaceae	0.0031	0.2	5	0.75	-
50	*Miliusa velutina* (A. DC.) Hook. f. & Thomson	Hang rok	Annonaceae	0.0028	0.2	5	0.74	-
51	*Bischofia javanica* Blume	Toem	Phyllanthaceae	0.0024	0.2	5	0.73	Stable/LC
52	*Berrya mollis* Wall. ex Kurz	Liang	Malvaceae	0.0022	0.2	5	0.72	-
53	*Litsea grandis* (Nees) Hook. f.	Ka thang bai yai	Lauraceae	0.0020	0.2	5	0.71	-
54	*Harpullia arborea* (Blanco) Radlk.	Hom klai dong	Sapindaceae	0.0015	0.2	5	0.70	Unknown/LC
55	*Aphanamixis polystachya* (Wall.) R. Parker	Ta suea	Meliaceae	0.0013	0.2	5	0.69	Unknown/LC
56	*Bridelia retusa* (L.) A. Juss.	Teng nam	Phyllanthaceae	0.0011	0.2	5	0.69	-
57	*Vitex canescens* Kurz	Pha sian	Lamiaceae	0.0013	0.2	5	0.69	-
58	*Vitex limonifolia* Wall. ex C. B. Clarke	Sawong	Lamiaceae	0.0012	0.2	5	0.69	-
59	*Walsura villosa* Wall. ex Hiern	Khi ai dong	Meliaceae	0.0011	0.2	5	0.69	-
60	*Antidesma acidum* Retz.	Mao soi	Phyllanthaceae	0.0008	0.2	5	0.68	-
61	*Diospyros ehretioides* Wall. ex G. Don	Taptao ton	Ebenaceae	0.0009	0.2	5	0.68	-
62	*Kydia calycina* Roxb.	Liang fai	Malvaceae	0.0008	0.2	5	0.68	-
63	*Morus macroura* Miq.	Mon luang	Moraceae	0.0009	0.2	5	0.68	-
64	Shorea siamensis DC	Rang	Dipterocarpaceae	0.0007	0.2	5	0.67	LC
65	*Vitex peduncularis* Wall. ex Schauer	Ka sam pik	Lamiaceae	0.0005	0.2	5	0.67	-
66	*Careya arborea* Roxb.	Kradon	Lecythidaceae	0.0005	0.2	5	0.66	-

Remarks: LC = least concern, NT= Near Threatened, VU= Vulnerable and EN= Endangered

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น

ไม้ที่พบในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนมีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ย 15.7±10.5 (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เซนติเมตร ฝาละมี (*Alangium kurzii*) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกสูงที่สุดเท่ากับ 108.3 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ยางนา (*D. alatus*) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 87.9 เซนติเมตร ยางโอน (*Polyalthia viridis*) 57.6 เซนติเมตร เมื่อแบ่งกลุ่มเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกออกเป็นชั้น พบว่า มีต้นไม้ถึง 196 ต้น หรือคิดเป็นร้อยละ 36.6 ของต้นไม้ที่พบทั้งหมด มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกน้อยกว่า 10 เซนติเมตร (Figure 2) รูปแบบการกระจายตัวตามชั้นความโตของไม้ยืนต้นในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนคล้ายแบบ negative exponential ซึ่งพรรณไม้มีการเจริญทดแทนอย่างต่อเนื่อง โดยที่มีพรรณไม้ขนาดเล็กอยู่ในปริมาณมาก ส่วนพรรณไม้ขนาดใหญ่มีอยู่ในปริมาณที่น้อย

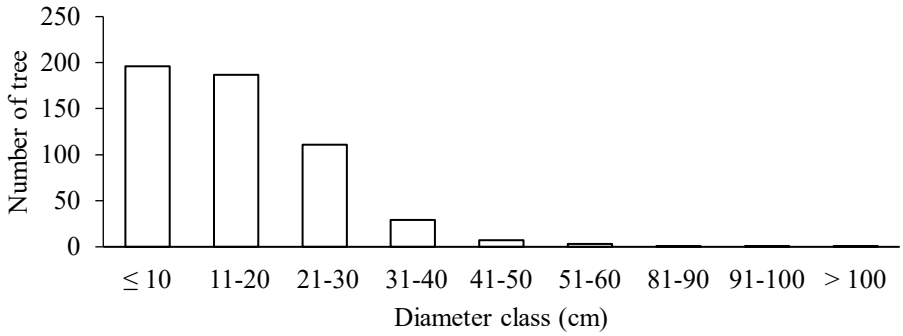


Figure 2 Diameter class of tree species at the Ban Huai Hin Fon Community Forest, Tak Province.

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นรายชนิด

การกระจายของเส้นผ่านศูนย์กลางรายชนิดได้อธิบายเฉพาะพันธุ์ไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ สัก (*T. grandis*) มีทั้งหมด 105 ต้น มีขนาดมากกว่า 40.0 เซนติเมตรขึ้นไปจำนวน 2 ต้น (40.4 และ 43.6 เซนติเมตร) ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 21.0-30.0 เซนติเมตร พบถึงร้อยละ 47.6 (Figure 3a) โดยสักจัดเป็นเรือนยอดชั้นบนของโครงสร้างป่าแห่งนี้ มีการกระจายตัวตามชั้นขนาดความโตแบบปกติ (normal distribution) ซึ่งแสดงว่าประชากรของพรรณไม้มีชั้นอายุเดียวกัน ซึ่งเป็นสักที่นำมาใช้ในการปลูกเพื่อฟื้นฟูพื้นที่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 (Pha Wo Forest Plantation Station, 2006) แดง มีจำนวน 76 ต้น มีขนาดมากกว่า 30.0 เซนติเมตรขึ้นไป จำนวน 3 ต้น (34.4, 33.4 และ 32.5 เซนติเมตร) การกระจายตัวส่วนใหญ่ (ร้อยละ 38.2) อยู่ในชั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.0-20.0 เซนติเมตร (Figure 3b) แดงจัดเป็นเรือนยอดชั้นรองในป่าชุมชน มีการกระจายตัวตามขนาดความโตเป็นแบบคล้าย negative exponential ที่มีการเจริญทดแทนอย่างต่อเนื่อง ต้นไม้ขนาดเล็กมีเป็นปริมาณมากและปริมาณลดลงเมื่อความโตเพิ่มมากขึ้น และกระเจาะพบ 76 ต้น มีขนาดมากกว่า 40.0 เซนติเมตรขึ้นไปจำนวนเพียงต้นเดียว (42.4 เซนติเมตร) การกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ในชั้นเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 เซนติเมตร จำนวน 36 ต้น หรือคิดเป็นร้อยละ 65.5 (Figure 3c) การกระจายตัวตามขนาดความโตของกระเจาะเป็นแบบ negative exponential โดยมีการเจริญทดแทนอย่างต่อเนื่อง พบไม้ขนาดเล็กจำนวนมากและไม้ขนาดใหญ่ในปริมาณที่น้อย เช่นเดียวกับที่พบลักษณะการกระจายตัวตามขนาดตวามโตในป่าเบญจพรรณแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง (Bunyavejchewin *et al*., 2016)

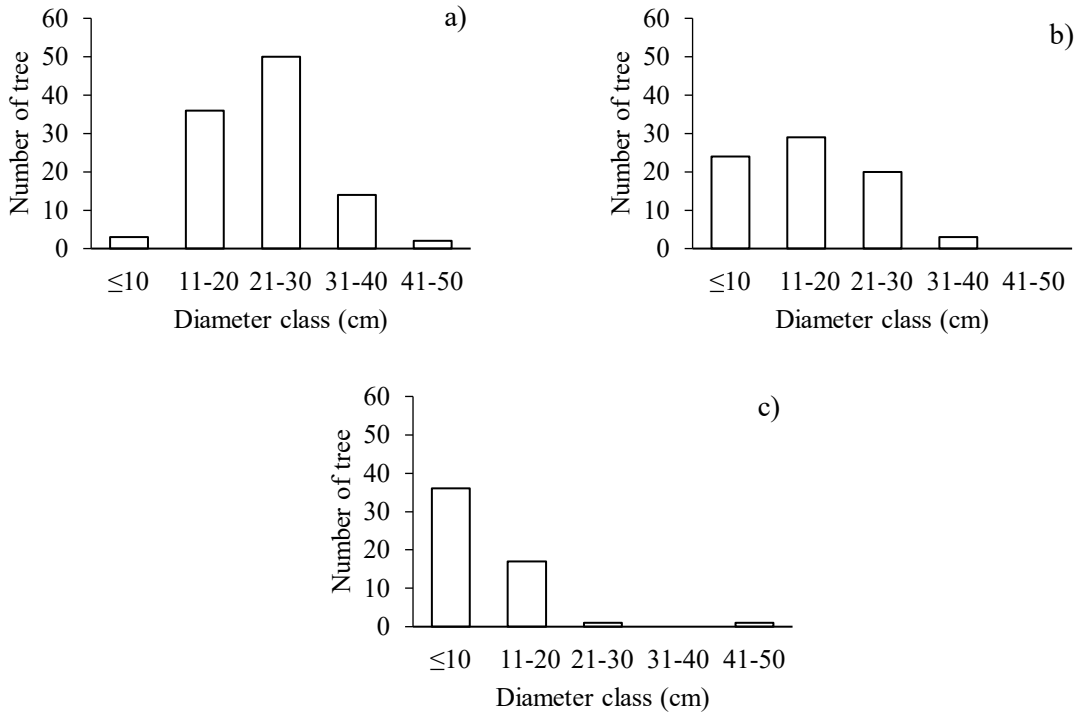


Figure 3 Diameter classes of a) *Tectona grandis* b) *Xylia xylocarpa* var. kerrii and c) *Millettia leucantha*.

พืชไม่มีท่อลำเลียงและเฟิร์น

พืชในกลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง (bryophyte) พบจำนวน 7 ชนิดจาก 6 สกุล 5 วงศ์ มีแหล่งที่พบตามโขดหินตามลำธาร เปลือกไม้ พื้นดินและพื้นที่ชุ่มน้ำต่าง ๆ มอสในสกุล *Fissidens* พบจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ *Fissidens gardneri* และ *Fissidens involutus* ส่วนสกุลอื่น ๆ พบเพียงสกุลละ 1 ชนิด (Table 2) กลุ่มเฟิร์น (pteridophyte) เก็บตัวอย่างจากที่อิงอาศัยอยู่ตามต้นไม้ริมลำธารและพื้นดินต่าง ๆ พบจำนวน 11 ชนิด จาก 8 สกุล 6 วงศ์ โดยวงศ์ Pteridaceae มากที่สุดจำนวน 4 ชนิด รองลงมาเป็นวงศ์ Pteridaceae และ Thelypteridaceae จำนวนวงศ์ละ 2 ชนิด พบเฟิร์นในสกุล *Pteris* มากที่สุดจำนวน 3 ชนิด รองลงมาเป็น *Tectaria* จำนวน 2 ชนิด (Table 2) จากการตรวจสอบสถานะของการอนุรักษ์ของพืชทั้งสองกลุ่มนี้ พบว่า มีเพียง *Pteris vittata* ที่มีข้อมูลอยู่ใน IUCN (2019) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์และมีแนวโน้มของประชากรที่เพิ่มขึ้น

Table 2 Species diversity of bryophyte and pteridophyte at the Ban Huai Hin Fon community forest, Tak province.

Family	Scientific name	Local Name
Bryophyte		
Fissidentaceae	*Fissidens gardneri* Mitt.	-
	Fissidens involutus Wilson ex Mitt.	-
Hypnaceae	*Vesicularia montagnei* (Schimp.) Broth.	-
Pottiaceae	*Barbula consanguinea* (Thwaites & Mitt.) A. Jaeger	-
	Hyophila involuta (Hook.) A. Jaeger	-
Pterigynandraceae	*Trachyphyllum inflexum* (Harv.) A. Gepp	-
Stereophyllaceae	*Entodontopsis anceps* (Bosch & Sande Lac.) W.R. Buck & R.R. Ireland	-
Pteridophyte		
Dryopteridaceae	*Bolbitis* sp.	-
Lygodiaceae	*Lygodium flexuosum* (L.) Sw.	Ya yai phao
Polypodiaceae	*Platycerium* sp.	-
Pteridaceae	*Adiantum lunulatum* Burm. f.	-
	Pteris venusta Kunze	kut the phi
	Pteris vittata L.	kut mak
	Pteris biaurita L.	kut hang khang
Tectariaceae	*Tectaria impressa* (Fée) Holttum	kut kwang
	Tectaria herpetocaulos Holttum	-
Thelypteridaceae	*Cyclosorus terminans* (J. Sm. ex Hook.) K.H. Shing	kut klom in
	Thelypteris sp.	-

สภาพป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนมีลักษณะเป็นป่าเบญจพรรณแล้ง ซึ่งเป็นป่าหนึ่งในสองของป่าผลัดใบหลักในประเทศไทย เรือนยอดทุกชั้น (ชั้นบน กลาง และล่าง) ประกอบด้วยพรรณไม้ผลัดใบเกือบทั้งหมด (Bunyavejchewin *et al*., 2016) นอกจากนี้ในพื้นที่ป่าชุมชนยังพบไผ่ซาง (*Dendrocalamus membranaceous*) เป็นองค์ประกอบหลักของป่ากระจายอยู่ทั่วพื้นที่ จากการสำรวจในแปลงข้างลำธาร พบว่า มีทั้งพรรณไม้ที่ผลัดใบและไม่ผลัดใบกระจายตัวตลอดแนวลำธาร อาทิ ยางโอน (*Polyalthia viridis*) มะแฟน (*Protium serratum*) ฝาละมี (*Alangium kurzii*) ซึ่งต้นที่พบมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ที่สุดคือ 108.3 เซนติเมตร รองลงมาคือ ยางนา (*D. alatus*) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 87.9 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบเต้าหลวง (*Macaranga siamensis*) มะฝ่อ (*Mallotus nudiflorus*) หว้าหิน (*Syzygium claviflorum*) ชมพู่นก (*Syzygium formosum*) และเติม (*Bischofia javanica*) เป็นต้น

สัก (*T. grandis*) เป็นไม้เด่นในการสำรวจครั้งนี้ มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงที่สุดเท่ากับ 57.81 จากการสำรวจจำนวน 20 แปลง พบสักถึงร้อยละ 75 และมีจำนวนต้นมากถึง 105 ต้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกตั้งแต่ 7.6 เซนติเมตรจนถึง 43.6 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า สักทำหน้าที่เป็นพรรณไม้เรือนยอดชั้นบน ซึ่งในช่วงหน้าแล้งจะผลัดใบและทำให้เรือนยอดเปิดโล่ง ทั้งนี้จากข้อมูลการฟื้นฟูป่าบริเวณป่าสงวนแห่งชาติ ป่าแม่ละเมา รวมถึงป่าแม่สอดซึ่งเป็นที่ตั้งของป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝน ได้มีการนำไม้สักมาใช้ในการฟื้นฟูป่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 และมีการปลูกเพิ่มเติม

ทุกปีในพื้นที่พื้นฟูของกรมป่าไม้จึงทำให้สักเป็นไม้ที่มีอยู่มากในพื้นที่ฟื้นฟูบริเวณป่าสงวนแห่งชาติ ต่อมาภายหลังในปี พ.ศ. 2533 เริ่มมีการปลูกไม้ชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น ประดู่ แดง สะแก ไผ่หก และมะกอก และในปี พ.ศ. 2544 เริ่มมีการทดลองปลูกเลี่ยน ตีนเป็ด ประดู่ และกระถินเทพา แต่ยังคงมีการปลูกสักร่วมด้วย (Pha Wo Forest Plantation Station, 2006) จึงทำให้สักเป็นไม้เด่นในบริเวณป่าชุมชนแห่งนี้

แดง (*X. xylocarpa* var. *kerrii*) เป็นพรรณไม้อีกชนิดที่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงเท่ากับ 32.93 รองลงมาจากสัก โดยแดงเป็นไม้ผลัดใบเช่นเดียวกับสัก (Bunyavejchewin *et al*., 2016) สามารถพบแดงทั้งที่เป็นไม้รุ่นและไม้ใหญ่ซึ่งแตกต่างจากสักที่พบเฉพาะไม้ใหญ่เท่านั้น ในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนยังมีแดงเป็นพรรณไม้เรือนยอดชั้นบนและเรือนยอดชั้นกลาง เช่นเดียวกับที่พบในป่าประเภทเดียวกันในป่าเบญจพรรณแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง ที่แดงเป็นพรรณไม้เรือนยอดชั้นบนและเรือนยอดชั้นกลาง (Bunyavejchewin *et al*., 2016) นอกจากนี้ในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนยังพบกระเจาะ (*M. leucantha*) ที่เป็นไม้ใหญ่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงเป็นลำดับที่ 3 เท่ากับ 21.37 และสูงเป็นลำดับที่สองในไม้รุ่นรองจากกระทุ่มเนิน (*Mitragyna rotundifolia*) กระเจาะยังทำหน้าที่เป็นพรรณไม้เรือนยอดชั้นกลางในป่าชุมชนห้วยหินฝนเช่นเดียวกับที่พบในป่าเบญจพรรณแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง (Bunyavejchewin *et al*., 2016) กระทุ่มเนิน ถือว่าเป็นไม้เด่นในไม้รุ่นมีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงที่สุดเท่ากับ 69.54 แต่กลับพบว่าจัดอยู่ในลำดับ 12 ในไม้ใหญ่มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้เท่ากับ 6.74

พืชในวงศ์ถั่ว (Fabaceae) พบว่ามีจำนวนสูงถึง 10 ชนิด จากพรรณไม้ที่พบทั้งหมด 66 ชนิด เช่นเดียวกับการศึกษาในป่าชุมชนบ้านแม่กื๊ดหลวงที่พบพืชในวงศ์ถั่ว (Fabaceae) ถึง 10 ชนิด จากที่รายงานไว้ 68 ชนิด (Larpkern *et al*., 2016) ในป่าเบญจพรรณแล้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง พบว่า พืชในวงศ์ Fabaceae มีความหนาแน่น (จำนวนต้นต่อพื้นที่) สูงเป็นลำดับที่ 5 ในแปลงถาวรขนาด 16 เฮกตาร์ และมีพื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร) สูงเป็นลำดับที่ 1 ในแปลงถาวรเดียวกันเมื่อเทียบกับไม้ยืนต้นที่มาจากวงศ์อื่น ๆ (Bunyavejchewin *et al*., 2016)

ป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนถือว่าเป็นแหล่งรักษาความหลากหลายที่สำคัญ จากข้อมูลสถานภาพการอนุรักษ์พบพืชในฐานข้อมูลของ IUCN (2019) จำนวน 20 ชนิด ในที่นี้มีพืชที่จัดอยู่ในกลุ่มที่เกือบอยู่ในข่ายเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ เกือบอยู่ในข่ายใกล้การสูญพันธุ์ และใกล้สูญพันธุ์มีอย่างละ 1 ชนิด ทั้งนี้จึงควรส่งเสริมให้อนุรักษ์กลุ่มดังกล่าวให้สามารถคงอยู่ต่อไปด้วยการเพาะขยายพันธุ์และปลูกเพิ่มเติมทั้งในป่าชุมชนและพื้นที่ฟื้นฟูต่อไป นอกจากนี้พรรณไม้หลายชนิดที่พบในป่าชุมชนบ้านห้วยหินฝนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และยังมีคุณค่าต่อการฟื้นฟูระบบนิเวศ อาทิ เดิม (*B. javanica*) ที่จัดเป็นพรรณไม้โครงสร้าง (framework tree species) ที่แนะนำสำหรับใช้ในการฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมในเขตภาคเหนือ เนื่องจากมีอัตราการรอดสูงร้อยละ 60-80 เมื่อหมดฤดูฝนที่สองหลังปลูกและเริ่มติดผลในปีที่ 6 (FORRU, 2006) ทั้งนี้อาจศึกษาเพิ่มเติมถึงชีพลักษณ์ของพรรณไม้ต่าง ๆ เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ต่อการนำพืชเหล่านี้มาใช้ในการวางแผนการเก็บเมล็ดเพื่อผลิตกล้าไม้สำหรับการปลูกเสริมในพื้นที่ป่าชุมชนและนำไปใช้ฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรมพื้นที่อื่น ๆ ต่อไป

จากสภาพความหลากหลายของป่าชุมชนทำให้ชุมชนได้ใช้ประโยชน์จากป่าในหลายด้าน อาทิ การเก็บหาอาหารและพืชสมุนไพรจากป่าชุมชน เช่น การเก็บเห็ด หน่อไม้ หน่อหวาย ผักหนาม ผักกูดหางค่าง ดอกดิน ดอกก้าน ทั้งเพื่อการบริโภคภายในครัวเรือน และการจำหน่ายเพื่อสร้างอาชีพ ซึ่งแต่ละช่วงฤดูกาลจะสามารถเก็บหาของป่า (non timber forest products) ได้แตกต่างกัน (Phachanda, 2017) เช่นเดียวกับที่พบในป่าชุมชนบ้านทาป่าเปา จังหวัดลำพูน ที่ชุมชนสามารถใช้ประโยชน์จากพืชทั้งการเป็นแหล่งอาหาร พืชสมุนไพร การใช้ย้อมสีเส้นใย รวมถึงใช้ในพิธีกรรมทางศาสนา

(Hermhuk *et al*., 2018) นอกจากนี้ป่าชุมชนยังทำหน้าที่เป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการเกษตรสำหรับชุมชน (Ban Huai Hin Fon Community Forest Committee, 2017) ดังนั้นการรักษาความหลากหลายของพรรณพืชจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะการอนุรักษ์ที่ให้ชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมทั้งนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งชุมชนและเกิดประโยชน์ต่อรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

สรุป

ป่าชุมชนเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของพรรณไม้ จากการสำรวจพบว่ามีพรรณไม้จำนวน 66 ชนิด จาก 56 สกุล จาก 26 วงศ์ มีค่าดัชนีความหลากหลายเท่ากับ 3.12 ค่าดัชนีความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.75 สักเป็นไม้เด่นในการสำรวจครั้งนี้ มีค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้สูงที่สุดเท่ากับ 57.81 สำหรับกลุ่มพืชไม่มีท่อลำเลียง ที่พบเป็นมอส มีจำนวน 7 ชนิดจาก 6 สกุล 5 วงศ์และกลุ่มเฟิร์น มีจำนวน 11 ชนิด จาก 8 สกุล 6 วงศ์

คำนิยม

ขอขอบคุณวิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2560 กรมป่าไม้ที่ได้อนุญาตให้เข้าศึกษาวิจัย ผู้ใหญ่บ้านห้วยหินฝน ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าพื้นที่ป่าชุมชน คุณจตุภูมิ มีเสนา คุณมะลิวัลย์ แซ่ย่าง ที่ช่วยเหลือการเก็บข้อมูลภาคสนาม ดร. นรินทร์ พรินทรากุล ในการจำแนกตัวอย่างพืชไม่มีท่อลำเลียง ดร. อภิรดา สถาปัตยานนท์ ในการจำแนกตัวอย่างเฟิร์น คุณวาสนา สุราวุธ ที่ให้แนวทางในการจำแนกพรรณไม้ยืนต้น

REFERENCES

Ban Huai Hin Fon Community Forest Committee. 2017. **Ban Huai Hin Fon Community Forest Report 2017**. Ban Huai Hin Fon, Mae Sot, Tak.

Bingtao, L. and G.M. Gilbert. 2011. Polyalthia. **Flora of China** 19: 691–696.

Bunyavejchewin, S., Y. Chamlongrach, R. Buasalee and P. Rayangkul. 2016. **Trees and Forest of Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary.** Thai long-term forest ecological research and the rabbit in the moon foundation, Thailand.

Chen, D., D. Zhang and L. Kai. 2010. Dalbergia. **Flora of China** 10: 121–130.

Davies, S., S. Bunyavejchewin and J. Lafrankie. 2001. A new giant-leaved Macaranga (Euphorbiaceae) from dry seasonal evergreen forest in Thailand. **Thai Forest Bulletin (Botany)** 29: 43-50.

FORRU (Forest Restoration Research Unit). 2006. **How to Plant a Forest: The Principles and Practice of Restoring Tropical Forests**. Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai.

Gardner, S., P. Sidisunthorn and V. Anusarnsunthorn. 2000. **A Field Guide to Forest Trees of Northern Thailand**. Kobfai Publishing Project, Bangkok.

Hermhuk, S., W. Sungpalee, C. Atnaseo, N. Pothawong and K. Sri-Ngernyuang. 2018. Plants utilization of Tai Lue at Bann Tapapao community forest, Mae Tha district, Lamphun province. **Thai Journal of Forestry** 37(1): 111-120.

IUCN. 2019. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2019-1. Available Source: http://www.iucnredlist.org, January 31, 2019.

Jie, C. and L.Y. Craven. 2007. Myrtaceae. **Flora of China** 13: 321-359.

Larpkern, P., P. Waiboonya, B. Moungsrimuangdee and P. Yodsa-nga. 2016. **Forest and Community: Case Study of Ban Mae Keed Luang Community Forest, Mae Sod**

District, Tak Province. 2nd ed. Satisiri press, Bangkok.

Marod, D and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.

Meesena, J., P. Larpkern, P. Waiboonya and B. Moungsrimuangdee. 2016. Bird species diversity during the winter in Ban Mae Kued Luang Community Forest, Mae Sot district, Tak province, pp. 215-222. *In* **Proceedings of National Conference "9th SWU Research**". Srinakharinwirot University, Bangkok.

Office of the Forest Herbarium. 2014. **Tem Smitinand's Thai Plant Names, revised edition 2014**. Office of the Forest Herbarium, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok.

Pha Wo Forest Plantation Station. 2003. **Forest restoration yearly report 2003.** Office of Forest Resources Management, 4 (Tak), Royal Forestry Department, Tak.

Phachanda, P. 2017. **Plant Utilization in Ban Huai Hin Fon Community Forest, Mae Sot District, Tak Province.** Bodhivijjalaya College, Srinakharinwirot University, Tak.

RFD (Royal Forest Department). 2017. **Forest Statistic 2017**. Available Source: http://forestinfo.forest.go.th/Content.aspx?id=9, August 1, 2018.

RFD, Community Forest Bureau. 2015. **Guideline of Establishing Community Forest Project of Royal Forest Department**. Community Forest Bureau, Community Forest Bureau, Royal Forest Department, Bangkok.

RFD, Community Forest Bureau. 2018. **Number of Community Forest Projects from 2000-2018**. Available Source: https://new.forest.go.th/community-extension, January 31, 2019.

RFD, Community Forest Promotion Division. 2017. **Assessment Criteria of Community Forest 2017.** Available Source: https://cloud.forest.go.th/s/EjiDBsF6RQFrKkC, August 1, 2018.

Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: Illinois Press University, Urbana.

The Plant List. 2010. **Version 1**. Available Source: http://www.theplantlist.org/, August 1, 2018.

TMD (Thai Meteorological Department). 2017. **Meteorological Report of Mae Sot District, Tak Province 2017.** Thai Meteorological Department, Bangkok.

Vongkamjan S. 2015. Biodiversity in community forests in Suan Miang Sub-district, Chat Trakan district, Phitsanulok province. **Phetchabun Rajabhat Journal** 17(1): 63-74.

Waiboonya, P., W. Sumanochitrapon, P. Larpkern, P. Werukamkul and L. Ampornpan. 2014. **Plant Diversity in Dry Dipterocarp Forest Somdej Ya Learning Community Demonstration School, Bodhivijjala College, Srinakharinwirot University**. 2nd ed. Santisiri Press, Bangkok.

Zhi, W. and L. Pedley. 2010. Millettia. **Flora of China** 10: 176–181.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ความหลากหลายของพรรณไม้และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว

Plant Diversity and Biomass Carbon Stocks of Nong Mek Community Forest, Khok Sung District, Sa Kaeo Province

บุษรา กันหอม **Bussara Kanhom**
บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี* **Boontida Moungsrimuangdee***
ปัญญา ไวยบุญญา **Panya Waiboonya**
ประภัสสร ยอดสง่า **Prapatsorn Yodsa-nga**
ปนัดดา ลาภเกิน **Panadda Larpkern**

วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก
Bodhivijjalaya College, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120 Thailand
*Corresponding Author, E-mail: boonthida@g.swu.ac.th, boon2523@yahoo.com

รับต้นฉบับ 20 มีนาคม 2562 **รับแก้ไข** 22 เมษายน 2562 **รับลงพิมพ์** 7 พฤษภาคม 2562

ABSTRACT

This research aimed to study the plant species diversity and carbon stocks at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province. A random sampling of plots was carried out to measure the diameter at breast height (DBH) and total height of trees (40×40 m), saplings (4×4 m) and seedlings (1×1 m). Relative density, relative frequency, relative dominance and importance value index (IVI) were assessed. The biomass was calculated by using allometric equations. Then, the carbon stocks were estimated.

The results found a total of 39 species and 21 families of plants. Most species belonged to Fabaceae family. The densities of trees, saplings and seedlings were 1,034, 49 and 121 tree ha^{-1}, respectively. *Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq., *Xylia xylocarpa* (Roxb.) W. Theob., *Pterocarpus macrocarpus* Kurz, *Shorea obtusa* Wall. ex Blume, *Clausena excavata* Burm. f., *Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein and *Memecylon edule* Roxb. were used as an indicator species in the Nong Mek community forest based on the calculated IVI. The total aboveground biomass of all species was 54.55 ton ha^{-1}. This was divided amongst the stems, branches and leaves as of 44.45, 8.39 and 1.70 ton ha^{-1}, respectively. The total carbon stock was estimated at 25.64 ton ha^{-1}.

Keywords: Biomass, Carbon stock, Community forest, Dry dipterocarp forest, Plant diversity

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บริเวณป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบสุ่มธรรมดา (simple random sampling) โดยวางแปลงขนาด 40×40, 4×4 และ 1×1 เมตร เพื่อสำรวจไม้ใหญ่ (tree) ไม้รุ่น (sapling) และกล้าไม้ (seedling) ตามลำดับ บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง วิเคราะห์ความถี่ ความหนาแน่น ความเด่น และค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ (IVI) และประเมินหามวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรีและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของเนื้อไม้

ผลสำรวจพบพรรณไม้ทั้งหมด 39 ชนิด (species) 21 วงศ์ (family) ส่วนใหญ่จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ ไม้รุ่น และกล้าไม้ เท่ากับ 1,034, 49 และ 121 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่า IVI พบว่า มะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.) แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) W. Theob.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) สันโสก (*Clausena excavata* Burm. f.) ติ้วขน (*Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein) และพลองเหมือด (*Memecylon edule* Roxb.) เป็นไม้ดัชนีสำคัญในป่าแห่งนี้ สำหรับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (aboveground biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิดเท่ากับ 54.55 ตันต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 44.45, 8.39 และ 1.70 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ทุกชนิดเท่ากับ 25.64 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์

คำสำคัญ: มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน ป่าชุมชน ป่าเต็งรัง ความหลากหลายของพรรณไม้

คำนำ

ภาวะโลกร้อน (global warming) มีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั่วทุกภูมิภาคของโลก สาเหตุสำคัญเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ในชั้นบรรยากาศจนเกินสมดุลของธรรมชาติอันเป็นผลมาจากกิจกรรมการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นจากภาคอุตสาหกรรม พลังงาน ขนส่ง เกษตรกรรม รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่าและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ล้วนส่งผลให้สภาพภูมิอากาศทั้งในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค และระดับโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ (Community Forest Bureau, 2014) ทั้งนี้ ป่าไม้มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวการสำคัญให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก เพราะต้นไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและเปลี่ยนสภาพให้เป็นคาร์บอนที่กักเก็บหรือสะสมอยู่ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ เช่น ลำต้น กิ่ง ใบ และราก เป็นต้น ดังนั้น นานาประเทศจึงตระหนักถึงปัญหาการสูญเสียพื้นที่ป่าและเห็นความสำคัญของการจัดการฟื้นฟูระบบนิเวศและการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ เพื่อเป็นการช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มการสะสมคาร์บอน (Jundang *et al.*, 2010; Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2015) เพราะเป็นวิธีที่สามารถลดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

ป่าชุมชน (community forest) เป็นรูปแบบการจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่เน้นให้ประชาชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้เพื่อประโยชน์ของชุมชนในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงมีการส่งเสริมจากหน่วยงานภาครัฐ โดยจัดพื้นที่ให้ประชาชนเข้ามา

ดำเนินการจัดการป่าเพื่อประโยชน์ด้านต่าง ๆ ปัจจุบันประเทศไทยมีหมู่บ้านที่เข้าร่วมโครงการป่าชุมชนอยู่มากกว่า 12,000 แห่ง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 6.5 ล้านไร่ (Royal Forest Department, 2018) นอกจากป่าชุมชนจะเป็นแหล่งรวบรวมความหลากหลายทางชีวภาพที่เอื้อประโยชน์ให้แก่คนในชุมชนไม่ว่าจะเป็นด้านอาหาร สมุนไพร และเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจแล้ว ป่าชุมชนยังเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของท้องถิ่นที่สามารถช่วยลดปัญหาก๊าซเรือนกระจกและสภาวะโลกร้อนได้ ดังนั้น การเตรียมความพร้อมและเพิ่มขีดความสามารถในการรับมือผลกระทบจากความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมให้แก่ป่า จะสามารถลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้แก่ชุมชนได้ และยังสามารถฟื้นฟูสภาพป่าให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย (Community Forest Bureau, 2014)

การวิจัยนี้ทำให้ทราบความหลากหลายและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บริเวณป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว ซึ่งเป็นต้นทุนทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของท้องถิ่น สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนเพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศป่าให้มีศักยภาพในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและนำไปสู่การจัดการทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนได้อย่างยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยนี้ดำเนินการในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว เนื้อที่ทั้งหมด 471 ไร่ สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบ ความสูง 74 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง สภาพเป็นป่าเต็งรัง (dry dipterocarp forest) พื้นที่ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินทรายกักเก็บน้ำได้น้อย มีหินบนผิวดินจำนวนมาก เนื่องจากมีพื้นที่ติดกับเชิงเขา มักเกิดไฟป่าบ่อยครั้งในช่วงฤดูแล้ง บริเวณป่าชุมชนล้อมรอบด้วยพื้นที่ทำการเกษตรของคนในชุมชน โดยมีลำคลองที่ขุดขึ้นเพื่อเป็นแนวเขตกั้นระหว่างพื้นที่ทำกินของชาวบ้านกับป่าชุมชน ซึ่งจะมีน้ำไหลในช่วงฤดูฝน แต่ฤดูแล้งปริมาณน้ำจะน้อย (Forest Resource Management Office 9 (Prachinburi, 2008)

วางแปลงตัวอย่างขนาด 40×40 เมตร จำนวน 5 แปลง โดยวิธีการสุ่มแบบธรรมดา (simple random sampling) ให้กระจายทั่วพื้นที่ ทำการสำรวจไม้ใหญ่ (ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร และความสูงตั้งแต่ 1.30 เมตรขึ้นไป) ทุกต้นในแปลงตัวอย่าง จากนั้น ทำการสำรวจไม้รุ่น (ต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกน้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และมีความสูงตั้งแต่ 1.30 เมตรขึ้นไป) ทุกต้นในแปลงย่อยขนาด 4×4 เมตร และกล้าไม้ (ต้นไม้ที่มีขนาดความสูงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.30 เมตร) ทุกต้นในแปลงย่อยขนาด 1×1 เมตร ตามลำดับ ตามวิธีการของ Community Forest Bureau (2014)

จำแนกชนิด (species) ไม้ที่สำรวจพบตามหลักอนุกรมวิธาน วิเคราะห์ความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) ความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance) และดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (important value index, IVI) (Marod and Kutintara, 2009)

คำนวณหามวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และ ใบของไม้ใหญ่โดยใช้สมการแอลโลเมตรีสำหรับป่าเต็งรังของ Ogawa *et al.* (1965) โดยมีสูตร ดังนี้

$$Ws = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$$

$$Wb = 0.003487 (D^2H)^{1.0270}$$

$$Wl = (28.0/Wtc+0.025)^{-1}$$

คำนวณหามวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และ ใบของไม้รุ่นโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของ Issaree (1982) โดยมีสูตร ดังนี้

$$Ws = 0.0893059 (D^2H)^{0.66513}$$

$$Wb = 0.0153063 (D^2H)^{0.58255}$$

$$Wl = 0.000014 (D^2H)^{0.44363}$$

โดยที่

Ws = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น
Wb = มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง
Wl = มวลชีวภาพส่วนของใบ
Wtc = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น+กิ่ง
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
H = ความสูงของต้นไม้ถึงปลายยอด (เมตร)

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้แต่ละชนิดและของพื้นที่ป่าทั้งหมด สามารถประเมินได้จากค่าสัดส่วนของคาร์บอนในมวลชีวภาพของเนื้อไม้ ซึ่งในป่าเต็งรังคิดเป็นร้อยละ 47 (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006)

ผลและวิจารณ์

การสำรวจพรรณไม้บริเวณป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว พบทั้งสิ้น 39 ชนิด (species) 36 สกุล (genus) 21 วงศ์ (family) โดยวงศ์ที่พบมากสุดสามลำดับแรก ได้แก่ Fabaceae จำนวน 7 ชนิด Rubiaceae จำนวน 5 ชนิด และ Dipterocarpaceae จำนวน 4 ชนิด ตามลำดับ (Table 1) ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) และความเด่นสัมพัทธ์สูงสูด (RDo)ในไม้ใหญ่ (tree) ได้แก่ มะค่าแต้ (*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.) แต่ แดง (*Xylia xylocarpa* (Roxb.) W. Theob.) มีค่าความถี่สัมพัทธ์ (RF) สูงที่สุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า IVI ห้าลำดับแรก พบว่า มะค่าแต้ มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ แดง ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) และ สันโสก (*Clausena excavata* Burm. f.) ตามลำดับ (Table 1) สำหรับในไม้รุ่น (sapling) จาก Table 2 จะเห็นว่า ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่สัมพัทธ์ ความเด่นสัมพัทธ์ และค่า IVI มีผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าสูงสุดในแดง รองลงมาคือ ติ้วขน (*Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein) และ พลองเหมือด (*Memecylon edule* Roxb.) สำหรับกล้าไม้ (seedling) ที่พบหนาแน่นและบ่อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์และความถี่สัมพัทธ์ซึ่งมีค่าสูงสุดในสามลำดับแรก ได้แก่ มะค่าแต้ พลองเหมือด และสันโสก ตามลำดับ (Table 3) ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ ไม้รุ่น และกล้าไม้คิดเป็น 1,034, 49 และ 121 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 4) และพื้นที่หน้าตัดไม้ใหญ่และไม้รุ่น มีค่าเท่ากับ 15.37 และ 0.03 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 4)

จะเห็นว่า ป่าเต็งรังบริเวณป่าชุมชนบ้านหนองเม็ก มีจำนวนชนิดของพรรณไม้ที่สำรวจพบมากกว่าป่าเต็งรังบริเวณพื้นที่ของสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น (Jundang *et al.*, 2010) ป่าเต็งรังบริเวณลุ่มน้ำพรม จังหวัดชัยภูมิ (Handechanon, 1990) และป่าเต็งรังอนุรักษ์นิคมสหกรณ์ฟากท่า จังหวัดอุตรดิตถ์ (Pongthornpruek, 2015) ซึ่งพบเพียง 20, 18 และ 29 ชนิด ตามลำดับ แต่ก็ยังต่ำกว่าเมื่อเทียบกับป่าเต็งรังของป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ (Ounkerd *et al.*, 2015) ป่าชุมชนระหาร จังหวัดสุรินทร์ (Sritram, 2016) และป่าชุมชนหนองใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี (Kamjai *et al*., 2017) ซึ่งพบทั้งหมด 62, 41 และ 44 ชนิด ตามลำดับ ซึ่งป่าเต็งรังบ้านหนองเม็กแห่งนี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นป่าเต็งรังแคระ ดินส่วนใหญ่เป็นทรายปนกรวด ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และมีไฟป่าเป็นประจำ ตลอดจนถูกรบกวนจากการใช้ประโยชน์ของชุมชนโดยรอบ จึงทำให้ป่ามีสภาพเสื่อมโทรม ความหลากหลายของพรรณไม้จึงค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษานี้จะเห็นว่า มะค่าแต้ แดง เต็ง พลองเหมือด และสันโสก เป็นชนิดไม้ที่มีความสำคัญ สามารถปรับตัวและเจริญได้ดีในสภาพแวดล้อมของป่าเต็งรังบ้านหนองเม็ก เนื่องจากค่า IVI ในไม้ใหญ่และไม้รุ่น ตลอดจนความหนาแน่นในกล้าไม้มีค่าสูงเมื่อเทียบกับพรรณไม้อื่น แต่ผลการสำรวจปริมาณไม้รุ่นและกล้าไม้ของพรรณไม้สำคัญบางชนิด อาทิ ประดู่ เหียง พะยอม มะกอกเกลื้อน

และน้ำเกลี้ยง ที่พบขึ้นในป่าเต็งรังแห่งนี้มีค่าต่ำมาก จึงควรพิจารณาการปลูกป่าฟื้นฟู (restoration) ตลอดจนศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มการเจริญทดแทนตามธรรมชาติ (natural regeneration) และนิเวศวิทยาของกล้าไม้และไม้รุ่นเพื่อการอนุรักษ์และจัดการชนิดไม้ดังกล่าวไม่ให้สูญพันธุ์ไปจากพื้นที่

มวลชีวภาพรวม (total biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิดบริเวณป่าชุมชนหนองเม็กมีค่าเท่ากับ 54.55 ตันต่อเฮกตาร์ โดยมีมวลชีวภาพรวมของไม้ใหญ่คิดเป็น 54.50 ตันต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น (stem) กิ่ง (branch) และ ใบ (leaf) เท่ากับ 44.41, 8.39 และ 1.70 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5) เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบว่า มะค่าแต้ มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ลำต้น กิ่ง และใบ) สูงสุดเท่ากับ 24.32 ตันต่อแฮกตาร์ รองลงมาคือ ประดู่ มีค่าเท่ากับ 8.44 ตันต่อเฮกตาร์ และแดง มีค่าเท่ากับ 4.80 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5) สำหรับมวลชีวภาพรวมของไม้รุ่นมีค่าเท่ากับ 0.05 ตันต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 0.04, 0.01 และ 0.00 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 6) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาเป็นรายชนิดพบว่า แดง มีมวลชีวภาพสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.01 ตันต่อเฮกตาร์ (Table 6) สำหรับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ทุกชนิดมีค่าเท่ากับ 25.64 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ เท่ากับ 20.89, 3.95 และ 0.80 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5 and 6)

Table 1 Life forms, relative density (RD), relative frequency (RF), relative dominance (RDo) and importance value index (IVI) of trees at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Family	Scientific name	Thai name	Life form	RD (%)	RF (%)	RDo (%)	IVI (%)
Anacardiaceae	*Buchanania lanzan* Spreng.	Ma muang hua maeng wan	T	2.18	4.24	1.62	8.04
	Gluta laccifera (Pierre)	Nam kliang	T	0.36	0.61	0.68	1.64
	Mangifera caloneura Kurz	Ma muang pa	T	0.12	0.30	0.65	1.07
Bixaceae	*Bixa orellana* L.	Kham saet	Exs/ST	3.87	2.73	2.92	9.52
Burseraceae	*Canarium subulatum* Guillaumin	Ma kok kluean	T	2.06	3.03	3.48	8.57
Celastraceae	*Pleurostylia opposita* (Wall.)	Ta kai	S	0.12	0.30	0.03	0.45
Chrysobalanaceae	*Parinari anamensis* Hance	Ma phok	T	0.48	0.91	1.68	3.07
Dipterocarpaceae	*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.	Hiang	T	1.57	1.52	1.82	4.91
	Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	Phluang	T	0.48	1.21	0.56	2.26
	Shorea obtusa Wall. ex Blume	Teng	T	8.46	7.27	4.88	20.62
	Shorea roxburghii G. Don	Phayom	T	0.12	0.30	0.04	0.46
Ebenaceae	*Diospyros vera* (Lour.) A. Chev.	Sa lak dam	T	0.12	0.30	0.03	0.46
Fabaceae	*Cassia fistula* L.	Ratcha phruek	T	0.12	0.30	0.06	0.48
	Dialium cochinchinense Pierre	Khleng	T	0.24	0.30	0.13	0.67
	Peltophorum dasyrrhachis (Miq.) Kurz	A rang	T	0.12	0.30	0.34	0.77
	Pterocarpus macrocarpus Kurz	Pradu	T	5.20	7.58	12.37	25.14
	Senna garrettiana (Craib) H. S. Irwin & Barneby	Samae san	T	1.09	1.52	0.72	3.33
	Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	Ma kha tae	T	33.01	15.15	42.30	90.46
	Xylia xylocarpa (Roxb.) W. Theob.	Daeng	T	19.35	17.27	10.45	47.07
Hypericaceae	*Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein	Tio khon	T	3.99	5.15	1.85	10.99
Irvingiaceae	*Irvingia malayana* Oliv. ex A. W. Benn.	Krabok	T	2.18	3.64	1.77	7.58
Lamiaceae	*Vitex pinnata* L.	Tin nok	T	0.97	2.42	1.17	4.56

Table 1 (Con.)

Family	Scientific name	Thai name	Life form	RD (%)	RF (%)	RDo (%)	IVI (%)
Lecythidaceae	*Careya arborea* Roxb.	Kradon	T	0.36	0.30	0.52	1.18
Loganiaceae	*Strychnos nux-blanda* A. W. Hill	Tumka khao	ST	0.12	0.30	0.07	0.49
Melastomataceae	*Memecylon edule* Roxb.	Phlong mueat	S/ST	2.90	4.24	1.97	9.12
Meliaceae	*Walsura trichostemon* Miq.	Kat lin	T	0.97	1.52	0.71	3.19
	Azadirachta indica A. Juss.	Sadao	T	0.97	0.30	1.86	3.13
Myrtaceae	*Syzygium cumini* (L.) Skeels	Wa	T	0.12	0.30	0.06	0.48
Phyllanthaceae	*Phyllanthus emblica* L.	Ma kham pom	ST/T	1.45	3.33	0.70	5.48
	Antidesma ghaesembilla Gaertn.	Mao khai pla	S/T	0.24	0.62	0.04	0.90
Rubiaceae	*Catunaregam spathulifolia* Tirveng.	Nam thaeng	S/ST	1.09	2.43	0.47	4.00
	Feroniella lucida (Scheff.) Swingle	Ma sang	ST	0.12	0.30	0.03	0.45
	Gardenia philastrei Pierre ex Pit.	Kham mok luang	T	0.36	0.92	0.44	1.71
	Mitragyna diversifolia (Wall. ex G. Don) Havil.	Kra thum na	S/ST	0.85	2.12	1.30	4.26
	Morinda coreia Buch.-Ham.	Yo pa	ST	0.36	0.91	0.11	1.38
Rutaceae	*Clausena excavata* Burm. f.	San sok	S/ST	3.88	6.06	2.17	12.11
			Total	**100**	**100**	**100**	**300**

Table 2 Life forms, relative density (RD), relative frequency (RF), relative dominance (RDo) and importance value index (IVI) of saplings at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Family	Scientific name	Thai name	Life forms	RD (%)	RF (%)	RDo (%)	IVI (%)
Bixaceae	*Bixa orellana* L.	Khum sat	Exs/ST	5.13	5.13	4.65	14.91
Dipterocarpaceae	*Shorea obtuse* Wall. ex Blume	Teng	T	5.13	5.13	2.45	12.71
Fabaceae	*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.	Ma kha tae	T	2.56	2.56	4.00	9.12
	Xylia xylocarpa (Roxb.) W. Theob.	Daeng	T	25.64	25.64	27.65	78.93
Hypericaceae	*Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein	Tio khon	T	20.52	20.52	22.00	63.04
Irvingiaceae	*Irvingia malayana* Oliv. ex A. W. Benn.	Krabok	T	2.56	2.56	1.95	7.07
Melastomataceae	*Memecylon edule* Roxb.	Phlong mueat	S/ST	15.38	15.38	11.80	42.56
Rubiaceae	*Catunaregam spathulifolia* Tirveng.	Nam thaeng	S/ST	2.56	2.56	0.65	5.77
	Mitragyna diversifolia (Wall. ex G. Don) Havil.	Kha thum na	S/ST	5.13	5.13	7.35	17.61
Rutaceae	*Clausena excavata* Burm. f.	San sok	S/ST	12.83	12.83	10.75	36.41
Sapindaceae	*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr.	Ta khro	T	2.56	2.56	6.75	11.87
			Total	**100**	**100**	**100**	**300**

Table 3 Relative density (RD) and relative frequency (RF) of seedlings at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Family	Scientific name	Thai name	RD (%)	RF (%)
Bixaceae	*Bixa orellana* L.	Kham saet	1.03	2.63
Dipterocarpaceae	*Shorea obtusa* Wall. ex Blume	Teng	3.09	5.26
	Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. ex Miq.	Hiang	1.03	2.63
Ebenaceae	*Diospyros ehretioides* Wall. ex G. Don	Taptao ton	1.03	2.63
Fabaceae	*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.	Ma kha tae	54.53	26.32
	Xylia xylocarpa (Roxb.) W. Theob.	Daeng	10.29	5.26
Hypericaceae	*Cratoxylum pruniflorum* (Kurz) Gogelein	Tio khon	5.24	10.53
Lamiaceae	*Vitex pinnata* L.	Tin nok	1.03	2.63
Melastomataceae	*Memecylon edule* Roxb.	Phlong mueat	16.46	28.95
Rhamnaceae	*Ziziphus cambodiana* Pierre	Ta khrong	1.03	2.63
Rutaceae	*Clausena excavata* Burm. f.	San sok	5.24	10.53
		Total	**100**	**100**

Table 4 The number of species, density and basal area of vegetation at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Type	Amount of Species	Density (tree ha^{-1})	Basal area (m^2 ha^{-1})
Tree	36	1,034	15.37
Sapling	11	49	0.03
Seedling	11	121	-

ปริมาณการสะสมคาร์บอนในไม้ใหญ่มีค่าเท่ากับ 25.62 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และใบเท่ากับ 20.87, 3.94 และ 0.80 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 5) และปริมาณคาร์บอนสะสมในไม้รุ่นมีค่าเท่ากับ 0.021 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และ ใบ เท่ากับ 0.019, 0.002 และ 0.000 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Table 6)

มวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าเต็งรังบ้านหนองเม็กจากการวิจัยนี้พบว่า มีค่าต่ำกว่าการรวบรวมข้อมูลของ Wattayakorn and Diloksumpun (2011) ที่ป่าเต็งรังโดยทั่วไปจะมีมวลชีวภาพรวมผันแปรอยู่ระหว่าง 67 – 158 ตันต่อเฮกตาร์ และมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมอยู่ระหว่าง 34 – 80 ตันต่อเฮกตาร์ ทั้งนี้เนื่องมาจากป่าชุมชนบ้านหนองเม็กถูกมนุษย์รบกวนจนป่ามีสภาพเสื่อมโทรม อีกทั้งยังขาดมาตรการป้องกัน ดูแล และจัดการที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้การเติบโต มวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนของต้นไม้มีปริมาณต่ำ รวมถึงความหลากหลายของพรรณไม้ที่ได้จากการสำรวจก็ยังมีค่าต่ำอีกด้วย อย่างไรก็ดี ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังได้อีก เช่น องค์ประกอบของสังคมพืช ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ และไฟป่า เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาอิทธิพลของไฟป่าที่ส่งผลต่อมวลชีวภาพและ

การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าเต็งรัง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ของ Wattanasuksakul *et al*. (2012) พบว่า ต้นไม้ที่ขึ้นในบริเวณที่ไม่มีไฟป่ามีปริมาณมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนมากกว่าในบริเวณที่มีไฟป่า ซึ่งสันนิษฐานว่าไฟรบกวนการเติบโตของต้นไม้ ทำให้ต้นไม้ในแปลงที่ถูกไฟรบกวนเป็นประจำมีขนาดเล็กกว่าในแปลงที่ไม่มีไฟ หากมีการควบคุมไฟป่าบางในบริเวณดังกล่าวจะเพิ่มโอกาสให้ต้นไม้เติบโตได้เต็มที่และสามารถสะสมปริมาณคาร์บอนได้มากยิ่งขึ้น ในทางตรงข้ามกับการศึกษาในพื้นที่ป่าเต็งรังบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานีของ Kumros *et al*. (2013) กลับพบว่า ในแปลงที่มีการเผาทุกปีนั้นไม้ยืนต้น (tree) มีปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าในแปลงที่ควบคุมการเผาหรือไม่มีไฟ เนื่องจากมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงมากกว่าในแปลงที่ไม่มีไฟ แสดงว่าไฟทำอันตรายต่อไม้ยืนต้นน้อยมาก แต่ในไม้รุ่น (sapling) นั้น พบว่าต้นไม้ในแปลงที่ไม่มีไฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงมากกว่าในแปลงที่มีไฟ ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าด้วย ถึงแม้ว่าความหนาแน่นของไม้รุ่นในแปลงที่มีไฟจะมีมากกว่าในแปลงที่ไม่มีไฟก็ตาม จะเห็นว่า จากการศึกษาเฉพาะเรื่องของไฟป่าที่มีผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ข้างต้น ก็มีข้อควรพิจารณาปลีกย่อยที่สำคัญอีกหลายประการ อาทิ การพัฒนาของต้นไม้แต่ละขนาดภายหลังการเกิดไฟ ชนิดของพรรณไม้ทนไฟที่สามารถแตกหน่อและเติบโตได้ภายหลังเกิดไฟ และความแตกต่างขององค์ประกอบด้านกายภาพและชีวภาพของแต่ละพื้นที่ภายหลังการเกิดไฟแต่ละระดับความถี่ (frequency) และความรุนแรง (intensity) เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมในหลากหลายมิติจะทำให้สามารถอธิบายปริมาณมวลชีวภาพหรือการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละเฉพาะสังคมพืชได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ หากป่าชุมชนมีมาตรการควบคุมการใช้ประโยชน์พื้นที่อย่างเข้มงวดระหว่างป่าอนุรักษ์และป่าเพื่อการใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการป้องกันและดูแลรักษาเพื่อลดการลักลอบบุกรุกทำลายทรัพยากรป่าไม้ก็จะช่วยส่งเสริมให้พรรณไม้ส่วนใหญ่สามารถเจริญไปเป็นไม้ขนาดใหญ่ได้ ส่งผลให้มีปริมาณมวลชีวภาพและศักยภาพในการเก็บสะสมคาร์บอนในต้นไม้ของป่าอนุรักษ์มีมากกว่าป่าเพื่อการใช้ประโยชน์ ดังกรณีของป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ จากการสำรวจพรรณไม้พบว่าค่าปริมาณมวลชีวภาพและการสะสมคาร์บอนในป่าเพื่อการอนุรักษ์มีค่าสูงกว่าป่าเพื่อการใช้ประโยชน์ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนชนิดของต้นไม้น้อยกว่าก็ตาม (Ounkerd *et al.*, 2015)

Table 5 Aboveground biomass and carbon stocks of trees at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Scientific name	Aboveground biomass (ton ha^{-1})				Carbon stock (ton ha^{-1})			
	Stem (Ws)	Branch (Wb)	Leaf (Wl)	Total	Stem	Branch	Leaf	Total
Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	19.785	3.779	0.759	24.324	9.299	1.776	0.357	11.432
Pterocarpus macrocarpus Kurz	6.797	1.395	0.243	8.435	3.194	0.656	0.114	3.964
Xylia xylocarpa (Roxb.) W. Theob.	3.970	0.672	0.161	4.802	1.866	0.316	0.076	2.257
Shorea obtusa Wall. ex Blume	1.760	0.303	0.071	2.135	0.827	0.143	0.033	1.003
Canarium subulatum Guillaumin	1.635	0.320	0.062	2.016	0.768	0.150	0.029	0.948
Bixa orellana L.	1.308	0.233	0.052	1.593	0.615	0.110	0.025	0.749
Azadirachta indica A. Juss.	0.855	0.167	0.033	1.055	0.402	0.078	0.015	0.496
Dipterocarpus tuberculatus Roxb.	0.786	0.146	0.031	0.963	0.369	0.068	0.015	0.452
Irvingia malayana Oliv. ex A. W. Benn.	0.737	0.134	0.029	0.900	0.346	0.063	0.014	0.423
Parinari anamensis Hance	0.680	0.141	0.024	0.845	0.320	0.066	0.011	0.397
Cratoxylum pruniflorum (Kurz) Gogelein	0.649	0.106	0.026	0.781	0.305	0.050	0.012	0.367
Clausena excavate Burm. f.	0.618	0.103	0.025	0.746	0.290	0.048	0.012	0.351
Buchanania lanzan Spreng.	0.574	0.106	0.022	0.702	0.270	0.050	0.010	0.330
Memecylon edule Roxb.	0.580	0.098	0.023	0.701	0.273	0.046	0.011	0.330
Mitragyna diversifolia (Wall. ex G. Don) Havil.	0.555	0.109	0.021	0.684	0.261	0.051	0.010	0.322
Vitex pinnata L.	0.443	0.081	0.018	0.542	0.208	0.038	0.008	0.255
Gluta laccifera (Pierre)	0.372	0.073	0.014	0.459	0.175	0.035	0.007	0.216
Mangifera caloneura Kurz	0.344	0.074	0.012	0.430	0.162	0.035	0.005	0.202
Senna garrettiana (Craib) H. S. Irwin & Barneby	0.336	0.059	0.014	0.409	0.158	0.028	0.006	0.192
Phyllanthus emblica L.	0.290	0.049	0.012	0.351	0.136	0.023	0.006	0.165
Walsura trichostemon Miq.	0.265	0.046	0.011	0.321	0.124	0.022	0.005	0.151
Careya arborea Roxb.	0.236	0.045	0.009	0.290	0.111	0.021	0.004	0.136

Table 5 (Con.)

Scientific name	Aboveground biomass (ton ha^{-1})				Carbon stock (ton ha^{-1})			
	Stem (Ws)	Branch (Wb)	Leaf (Wl)	Total	Stem	Branch	Leaf	Total
Dipterocarpus obtusifolius Teijsm. ex Miq.	0.233	0.044	0.009	0.286	0.110	0.021	0.004	0.134
Gardenia philastrei Pierre ex Pit.	0.204	0.039	0.008	0.251	0.096	0.018	0.004	0.118
Catunaregam spathulifolia Tirveng.	0.171	0.030	0.007	0.208	0.081	0.014	0.003	0.098
Dialium cochinchinense Pierre	0.054	0.009	0.002	0.065	0.025	0.004	0.001	0.031
Cassia fistula L.	0.034	0.006	0.001	0.041	0.016	0.003	0.001	0.019
Morinda coreia Buch.-Ham.	0.025	0.004	0.001	0.030	0.012	0.002	0.000	0.014
Syzygium cumini (L.) Skeels	0.023	0.004	0.001	0.028	0.011	0.002	0.000	0.013
Strychnos nux-blanda A. W. Hill	0.021	0.003	0.001	0.026	0.010	0.002	0.000	0.012
Antidesma ghaesembilla Gaertn.	0.021	0.003	0.001	0.025	0.010	0.002	0.000	0.012
Peltophorum dasyrhachis (Miq.) Kurz	0.012	0.002	0.001	0.015	0.006	0.001	0.000	0.007
Shorea roxburghii G. Don	0.011	0.002	0.000	0.013	0.005	0.001	0.000	0.006
Pleurostylia opposita (Wall.)	0.010	0.001	0.000	0.011	0.004	0.001	0.000	0.005
Diospyros vera (Lour.) A. Chev.	0.009	0.001	0.000	0.011	0.004	0.001	0.000	0.005
Feroniella lucida (Scheff.) Swingle	0.006	0.001	0.000	0.008	0.003	0.000	0.000	0.004
Total	**44.410**	**8.388**	**1.704**	**54.502**	**20.873**	**3.942**	**0.801**	**25.616**

Table 6 Aboveground biomass and carbon stocks of saplings at the Nong Mek community forest, Khok Sung district, Sa Kaeo province.

Scientific name	Aboveground biomass (ton ha^{-1})				Carbon stock (ton ha^{-1})			
	Stem (Ws)	Branch (Wb)	Leaf (Wl)	Total	Stem	Branch	Leaf	Total
Xylia xylocarpa (Roxb.) W. Theob.	0.0110	0.0014	0.0000	0.0124	0.0052	0.0007	0.0000	0.0058
Cratoxylum pruniflorum (Kurz) Gogelein	0.0089	0.0011	0.0000	0.0101	0.0042	0.0005	0.0000	0.0047
Memecylon edule Roxb.	0.0045	0.0006	0.0000	0.0051	0.0021	0.0003	0.0000	0.0024
Clausena excavata Burm. f.	0.0042	0.0006	0.0000	0.0048	0.0020	0.0003	0.0000	0.0023
Mitragyna diversifolia (Wall. ex G. Don) Havil.	0.0030	0.0004	0.0000	0.0034	0.0014	0.0002	0.0000	0.0016
Bixa orellana L.	0.0029	0.0004	0.0000	0.0032	0.0013	0.0002	0.0000	0.0015
Schleichera oleosa (Lour.) Merr.	0.0024	0.0003	0.0000	0.0027	0.0011	0.0001	0.0000	0.0013
Shorea obtusa Wall. ex Blume	0.0016	0.0004	0.0000	0.0020	0.0008	0.0002	0.0000	0.0010
Sindora siamensis Teijsm. ex Miq.	0.0015	0.0002	0.0000	0.0017	0.0007	0.0001	0.0000	0.0008
Irvingia malayana Oliv. ex A. W. Benn.	0.0008	0.0001	0.0000	0.0009	0.0004	0.0001	0.0000	0.0004
Catunaregam spathulifolia Tirveng.	0.0002	0.0000	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
Total	**0.0411**	**0.0055**	**0.0000**	**0.0466**	**0.0193**	**0.0026**	**0.0000**	**0.0219**

สรุป

การสำรวจพรรณไม้บริเวณป่าชุมชนบ้านหนองเม็กพบทั้งหมด 39 ชนิด 36 สกุล 21 วงศ์ ส่วนใหญ่จัดอยู่ในวงศ์ Fabaceae ไม้ใหญ่ที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดห้าอันดับแรก ได้แก่ มะค่าแต้ แดง ประดู่ เต็ง และสันโสก ไม้รุ่นที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดสามลำดับแรกได้แก่ แดง ติ้วขน และพลองเหมือด กล้าไม้ที่พบหนาแน่นและบ่อยที่สุดสามลำดับแรกได้แก่ มะค่าแต้ พลองเหมือด และสันโสก ความหนาแน่นของไม้ใหญ่ ไม้รุ่น และกล้าไม้คิดเป็น 1,034, 49 และ 121 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ

มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (aboveground biomass) ของพรรณไม้ทุกชนิดบริเวณป่าชุมชนหนองเม็กเท่ากับ 54.55 ตันต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และ ใบ เท่ากับ 44.45, 8.39 และ 1.70 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยคิดเป็นปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 25.64 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ แบ่งเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และใบเท่ากับ 20.89, 3.94 และ 0.80 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ทั้งนี้ ป่าชุมชนบ้านหนองเม็กควรมีมาตรการเร่งด่วนในการฟื้นฟูและจัดการระบบนิเวศป่าให้คืนกลับสภาพเดิม เนื่องจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ประชากรของพรรณไม้บางชนิด เช่น ประดู่ เหียง พะยอม มะกอกเกลื้อน และน้ำเกลี้ยง มีจำนวนน้อย ซึ่งเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ไปจากพื้นที่ ตลอดจนการเติบโตและพัฒนาของต้นไม้ในป่ายังมีอัตราที่ค่อนข้างต่ำ ดังจะพบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนต่ำกว่าป่าเต็งรังโดยทั่วไป

คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ใหญ่บ้าน บ้านหนองเม็ก หมู่ 2 ตำบลหนองแวง อำเภอโคกสูง จังหวัดสระแก้ว คุณอาทร ไชยชาดา สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล

REFERENCES

Community Forest Bureau. 2014. **Manual Guide for a Survey of Carbon Stock and Biodiversity in the Community Forest**. Community Forestry Development Division, Royal Forest Department, Bangkok.

Forest Resource Management Office 9 (Prachinburi). 2008. **Nong Mek Community Forest Project Establishment Proposal**. Royal Forest Department, Bangkok.

Handechanon, N. 1990. **Comparative Ecological Study on Three Forest Types at Namprom Basin, Changwat Chaiyaphum**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 4 Forestland**. National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.

Issaree, M. 1982. **Primary Production of Plant Communities in Old Clearing Areas at Sakaerat Environmental Research Station, Pakthongchai, Nakhon Ratchasima**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Jundang, W., L. Puangchit and S. Diloksumpun. 2010. Carbon storage of dry dipterocarp forest and eucalypt plantation at Mancha Khiri plantation, Khon Kaen province. **Thai Journal of Forestry** 29(3): 36 – 44.

Kamjai, K., P. Meunpong and S. Diloksumpun. 2017. Dynamics of dry dipterocarp forest and carbon sequestration at Nongyai community forest, Kanchanaburi province. **Thai Journal of Forestry** 36 (2): 55 – 66.

Kumros, B., S. Diloksumpun, K. Wanthongchai and O. Ninkhet. 2013. Carbon stocks in deciduous

forest with different burning frequencies at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani province. **Thai Journal of Forestry** 32: 133 – 141.

Marod D. and U. Kutintara. 2009. **Forest Ecology**. Department of Forest Ecology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.

Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1965. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nature and life in SE Asia 1**: 21-157.

Ounkerd, K., P. Sunthornhao and L. Puangchit. 2015. Valuation of carbon stock in trees at Khao Wong community forest, Chaiyaphum province. **Thai Journal of Forestry** 34(1): 29 – 38.

Pongthornpruek, S. 2015. The biodiversity and plant association structure of dry dipterocarp forest in conservative forest of Fak Tha Land Settlement Cooperative, Fak Tha district, Uttaradit province, pp. 78 - 87. *In* **Proceedings of Thai Forest Ecological Research Network (T-Fern): Ecological Knowledge for Sustainable Management**. January 22-23, 2015. Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)

Royal Forest Department. 2018. **Community Forest Statistical Database 2018**. Available Source: https://new.forest.go.th/community-extension/ผลการอนุมัติโครงการป่า/, December 18, 2018.

Sritram, S. 2016. Tree diversity and local utilization in Rahan Forest, Mueang Surin district, Surin province. **King Mongkut's Agricultural Journal** 34(3): 96 – 105.

Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2015. **Thailand Voluntary Emission Reduction Program Reference Manual: Forestry and Agriculture Sector**. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Bangkok.

Wattanasuksakul, S., S. Khamyong, K. Sri-ngernyuang and N. Anongrak. 2012. Plant species diversity and carbon stocks in dry dipterocarp forest with and without fire at Intakin Silvicultural Research Station, Chiang Mai province. **Thai Journal of Forestry** 31(3): 1 – 14.

Wattayakorn, K. and S. Diloksumpun. 2011. Chapter 5 carbon cycle, pp. 99 – 128. *In* **Thailand Climate Change Information Vol I**. Thailand Research Fund's Research and Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change, The Thailand Research Fund, Bangkok.

นิพนธ์ต้นฉบับ

การสกัดกั้นน้ำฝนโดยเรือนยอดและการแบ่งส่วนในระบบสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เกิดดินถล่ม

Rainfall Crown Interception and Partitioning in Mixed Fruit Tree–Based Agroforestry System in the Landslide Area

จรัณธร บุญญานุภาพ* **Jaruntorn Boonyanuphap***
กัญจน์ชญา เม้าสิ้ว **Kanchaya Maosew**
อลงกรณ์ วงศ์หมั่น **Alongkorn Wongmun**
ปฑมกร มูลทะสิทธิ์ **Pathamakorn Moolthasit**

[1]คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[1]Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000 Thailand
*Corresponding Author, E-mail: charuntornb@nu.ac.th

รับต้นฉบับ 20 กุมภาพันธ์ 2562 **รับแก้ไข** 12 มีนาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 29 เมษายน 2562

ABSTRACT

Rainfall partitioning using vegetation canopy is the main component of the hydrological processes that is directly related to net rainfall, which can be both on the surface and into the soil. Canopy rainfall partitioning is a fundamental component to study the hydrological implications of water resources management in ecosystems. This study aimed to compare the amount of rainfall interception and rainfall partitioning between a mixed fruit tree–based agroforestry system under normal conditions compared to after a landslide (9 years ago). The results showed the average percentages of throughfall, stemflow and canopy interception were significantly different during normal conditions and the 9-year landslide. *Garcinia mangostana* intercepted more rainfall that any other tree species (45.01% during an individual rainfall event), followed by *Lansium domesticum* (37.0%) and *Durio zibethinus* (32.92%), respectively. In case of the 9-year landslide, the average percentage of interception by *Maesa ramentacea* was higher than Macaranga denticulate with values of 34.41% and 28.28% during each rainfall event, respectively.

Keywords: Rainfall partitioning, Canopy interception, Agroforestry system, Landslide, Throughfall

บทคัดย่อ

การแบ่งส่วนของน้ำฝนโดยเรือนยอดพรรณไม้เป็นองค์ประกอบหลักของกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนสุทธิ (net rainfall) ทั้งที่ตกลงบนพื้นผิวดินและซึมลงสู่ชั้นดิน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการสกัดกั้นน้ำฝนโดยเรือนยอด และการแบ่งส่วนน้ำฝนระหว่างสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่ไม่เกิดดินถล่ม (สถานการณ์ปกติ) และที่เกิดดินถล่มมาแล้ว 9 ปี ผลการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ยของร้อยละน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสถานการณ์ปกติและสถานการณ์ที่เกิดดินถล่มมาแล้ว 9 ปี โดยภายใต้สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร ต้นมังคุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสูงว่าพรรณไม้ชนิดอื่น (ร้อยละ 45.01 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกแต่ละเหตุการณ์) รองลงมาได้แก่ ลองกอง (ร้อยละ 37.0) และทุเรียน (ร้อยละ 32.92) ตามลำดับ ขณะที่สถานการณ์ที่เกิดดินถล่มมาแล้ว 9 ปี พบว่า ต้นข้าวสารหลวงมีค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสูงกว่าต้นตองแตบ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 34.41 และ 28.28 ตามลำดับ การแบ่งส่วนของน้ำฝนโดยเรือนยอดพรรณไม้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญอย่างมีนัยในเชิงอุทกวิทยาต่อการจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับระบบนิเวศดังกล่าว

คำสำคัญ: การแบ่งส่วนของน้ำฝน การสกัดกั้นน้ำฝนของเรือนยอด ระบบวนเกษตร ดินถล่ม น้ำฝนผ่านเรือนยอด

คำนำ

น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดไม้ (canopy interception: IC) เกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นโลกแล้วถูกสกัดกั้นและถูกดูดยึดไว้โดยเรือนยอดของต้นไม้และส่วนอื่น ๆ ที่เป็นสิ่งปกคลุมพื้นดิน ซึ่งน้ำส่วนนี้สูญเสียไปโดยการระเหยสู่บรรยากาศ (Niyom, 1992) สำหรับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินโดยทะลุผ่านช่องว่างของเรือนยอดไม้ (canopy gaps) หรือส่วนที่หยดจากใบและกิ่ง (canopy drip) เรียกรวมกันว่า น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด (throughfall: TF) ขณะที่น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นไว้โดยเรือนยอด กิ่ง ก้าน แล้วไหลตามลำต้นลงสู่พื้นดินเรียกว่า น้ำไหลตามลำต้น (stemflow : SF) (Chunkao and Tangtham, 1982) การสกัดกั้นน้ำฝนโดยเรือนยอดไม้มีความสำคัญต่อการไหลของน้ำในลำธาร การกร่อนของดิน การเกิดอุทกภัย และการสูญเสียน้ำ โดยสภาพป่าไม้ที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมจะช่วยลดแรงตกกระทบของเม็ดฝนที่จะตกลงสู่พื้นดิน พืชปกคลุมดินช่วยลดการชะล้างพังทลายและป้องกันการทำลายโครงสร้างของดิน เนื่องจากเรือนยอดของต้นไม้ช่วยแบ่งส่วนปริมาณน้ำฝนให้กลายเป็นน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด น้ำฝนผ่านเรือนยอด และน้ำไหลตามลำต้น โดยมีปริมาณน้ำฝนบางส่วนที่เหลือตกลงสู่พื้นดินได้โดยตรง (Niyom, 1992)

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือภาวะโลกร้อน ส่งผลให้ลักษณะของฝนมีความรุนแรงมากขึ้นและการเกิดภาวะฝนตกหนัก ย่อมส่งผลทำให้เกิดอุทกภัยและภัยพิบัติดินถล่มตามมา โดยเฉพาะในพื้นที่เสี่ยงภัยบริเวณลาดชันเชิงเขาที่มีการสะสมตัวของชั้นดินและชั้นหินผุ การแทรกตัวของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีมากขึ้นทำให้ความดันระหว่างมวลเม็ดดินหรือหิน (pore pressure) เพิ่มสูงขึ้นตามมา เมื่อถึงจุดวิกฤตมวลดินหรือหินเหล่านี้ไม่สามารถคงสภาพเสถียรได้ จะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ดินถล่ม นอกจากนี้ ภัยพิบัติดินโคลนถล่ม ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน ซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบนิเวศแต่ละประเภท

โดยเป็นกระบวนการทางธรรมชาติอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความสมดุลของน้ำ และประสิทธิภาพของการบริการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำแห่งนั้น ในปัจจุบัน ดินถล่มถือได้ว่าเป็นธรณีพิบัติภัยที่พบเห็นได้ทั่วไปในบริเวณภูมิประเทศที่มีสภาพเป็นภูเขาสูง โดยเฉพาะพื้นที่ลาดเขาที่มีความชันสูง ปัญหาดินถล่มที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงและมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จากเหตุการณ์ดินโคลนถล่มในปี 2549 บริเวณ 5 จังหวัดภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งเหตุการณ์นี้เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงบทบาทหน้าที่และการให้บริการของระบบนิเวศ ทั้งระบบนิเวศวนเกษตร และระบบนิเวศป่าธรรมชาติบริเวณแหล่งต้นน้ำในเขตตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากการเกิดดินถล่มได้ทำลายโครงสร้างและองค์ประกอบของระบบนิเวศที่มีอยู่เดิม ทำให้กระบวนการและกลไกต่าง ๆ ของระบบนิเวศขาดความสมดุลไป โดยเฉพาะความสามารถในการเก็บกักน้ำและศักยภาพในการควบคุมสมดุลของน้ำภายในพื้นที่ลุ่มน้ำ (Boonyanuphap *et al.*, 2016)

ดังนั้น การศึกษาปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของพรรณไม้ในระบบนิเวศและการแบ่งส่วนปริมาณของน้ำฝนในสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรภายใต้สถานการณ์ที่เกิดดินถล่ม ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญในการศึกษากระบวนการทางอุทกวิทยาของระบบนิเวศบริเวณแหล่งต้นน้ำของเขตตำบลแม่พูล อันนำไปสู่การสร้างแนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำของพื้นที่ดังกล่าวต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล ในเขตตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ (ละติจูด 17°39′10″ ถึง 17°48′40″ N และลองจิจูด 99°57′10″ ถึง 100°02′10″ E) มีเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 116 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่เขตเกษตรเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของจังหวัด สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นเทือกเขาสูงชันสลับซับซ้อนปกคลุมไปด้วยป่าผลัดใบตามธรรมชาติ สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร และพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มครอบคลุมทั้งในทิศตะวันออก ทิศเหนือ และทิศตะวันตกของพื้นที่บริเวณตอนบน มีจุดสูงสุดที่ 765 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง (Figure 1) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงจากเหตุการณ์ดินถล่มเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม ปี 2549 จึงเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรในพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นการทำลายสมดุลของระบบนิเวศอย่างรุนแรง ซึ่งใช้ระยะเวลายาวนานกว่าที่ระบบนิเวศจะสามารถฟื้นฟูตัวเองได้ และอาจทำให้ระบบนิเวศดังกล่าวไม่สามารถทำหน้าที่บริการด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ชุมชนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพดังที่ผ่านมา อันส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติของชุมชนท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ สถานการณ์ปัจจุบันของพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้สภาวะการทดแทนแบบทุติยภูมิเป็นระยะเวลา 9 ปี

การศึกษาองค์ประกอบของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่

ทำการวางแปลงตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×50 เมตร (0.1 เฮกตาร์) สำหรับระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมและระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่มระบบนิเวศละ 5 แปลงตัวอย่าง เนื่องจากพื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นริ้วตามแนวยาวและโดยทั่วไปมีความกว้างของแนวดินถล่มน้อยกว่า 40 เมตร นอกจากนี้แปลงรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถครอบคลุมหย่อมพื้นที่ของชนิดพรรณไม้ที่แตกต่างกันได้ดีที่สุด (Kershaw, 1964) แปลงตัวอย่างขนาด 20×50 เมตร ทำการแบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10×10 เมตร จำนวน 10 แปลง เพื่อเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ทุกชนิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ที่ระดับความสูง 1.30

เมตรจากพื้นดิน) มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร และมีความสูงตั้งแต่ 1.30 เมตรขึ้นไป โดยข้อมูลพรรณไม้ถูกนำมาคำนวณพื้นที่หน้าตัด ความหนาแน่น ความถี่ และค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (importance value index: IVI) Figure 1 แสดงตำแหน่งของแปลงตัวอย่าง 10 แปลง และตำแหน่งของแปลงตัวอย่างที่ได้คัดเลือกชนิดพรรณไม้เด่น (dominant tree species) เพื่อติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลน้ำไหลตามลำต้นและน้ำฝนผ่านเรือนยอดของระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมในแปลงตัวอย่าง FNSL04 และระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่มในแปลงตัวอย่าง FSSL04

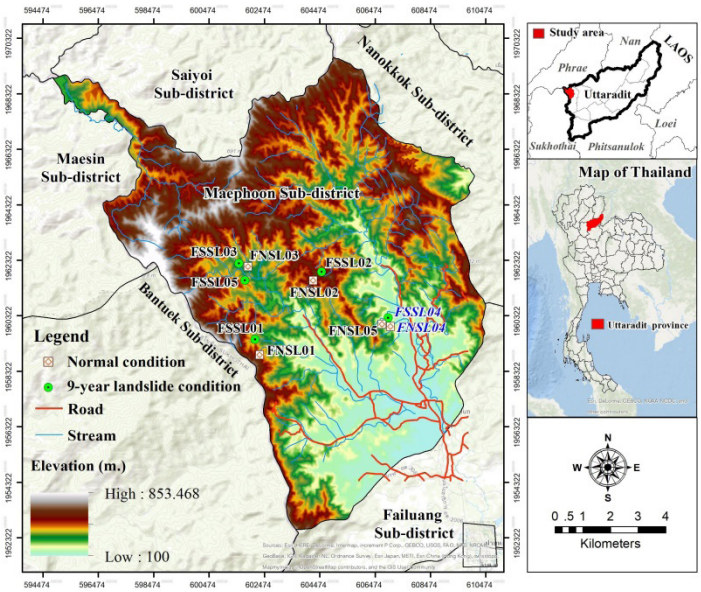


Figure 1 Map of the study area showing the location of study plots in the Maephoon sub-district, Lablae district, Uttaradit province.

การเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของหมู่ไม้

ผลจากการศึกษาองค์ประกอบของไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ สามารถทราบชนิดพรรณไม้เด่นของแต่ละระบบนิเวศ จากนั้นทำการคัดเลือกชนิดพรรณไม้เด่นที่อยู่ในแปลงตัวอย่าง FNSL04 และ FSSL04 รวมถึงชนิดพรรณไม้เด่นที่อยู่ใกล้เคียงภายในสังคมพืชเดียวกัน แล้วทำการติดตั้งเครื่องมือเพื่อใช้เก็บข้อมูลการสกัดกั้นน้ำฝนผ่านเรือนยอดของพรรณไม้เด่นแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การคัดเลือกพรรณไม้เด่นในระบบวนเกษตรแบบสวนไม้ผลผสม ได้แก่ มังคุด (*Garcinia mangostana*) ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murray.) และลองกอง (*Lansium domesticum* Corr.) (จำนวนชนิดพันธุ์ละ 3, 6 และ 7 ต้น ตามลำดับ) สำหรับสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรขณะที่ข้าวสารหลวง (*Maesa ramentacea* A. DC.) และต้นตองแตบ (*Macaranga denticulata*) เป็นชนิดพรรณไม้เด่นของสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรที่เกิดดินถล่ม (จำนวนชนิดพันธุ์ละ 3 และ 6 ต้น ตามลำดับ) ซึ่งจำนวนต้นของพรรณไม้เด่นแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับการสำรวจพบในพื้นที่ศึกษา ต้นไม้ตัวอย่างที่ได้ถูกคัดเลือกจะดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลน้ำไหลตามลำต้นและน้ำฝนผ่านเรือนยอดไม้

2. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานของต้นไม้ตัวอย่างแต่ละต้น ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกความสูงทั้งหมด ความสูงของเรือนยอด ความกว้าง

เฉลี่ยของเรือนยอด ขนาดพื้นที่หน้าตัดเรือนยอด และปริมาตรของเรือนยอด กำหนดตำแหน่งถ่ายภาพเรือนยอดภายใต้ต้นไม้ตัวอย่าง พร้อมกับถ่ายภาพเรือนยอดโดยใช้กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Nikon รุ่น Coolpix และเลนส์ตาปลา (fisheye lens) โดยติดตัวกล้องไว้บนขาตั้งกล้องในลักษณะหงายเลนส์ขึ้นบนท้องฟ้า วางขาตั้งกล้องให้สูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ ปรับระดับลูกน้ำซึ่งติดไว้ที่ตัวกล้องให้อยู่ในแนวระดับ กำหนดทิศเหนือโดยหมายตำแหน่งไว้ที่เลนส์ แล้วเลือกเวลาถ่ายภาพในช่วงเวลาท้องฟ้าโปร่ง หลังจากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์หาร้อยละการปกคลุมของเรือนยอด และค่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index; LAI) โดยใช้โปรแกรม Gap Light Analysis (GLA)

3. ปริมาณน้ำฝนทั้งหมด (gross rainfall: GR) ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน Tipping Bucked Rain Collector (Code 3665R) พร้อมกับเสาติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (POLE0001) สูงจากพื้นดินประมาณ 1.20 เมตร โดยติดตั้งในที่โล่งใกล้กับแปลงทดลอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการบดบังจากเรือนยอดไม้โดยรอบปากของเครื่อง จะต้องทำมุมกับเรือนยอดไม้โดยรอบไม่เกิน 45 องศา จากนั้นเชื่อมต่อการส่งสัญญาณข้อมูลปริมาณน้ำฝนไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger) รุ่น WatchDog 1400 Weather station (3685WD1) ทั้งนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นทั้งข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (accumulated rainfall event) และข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละเหตุการณ์ฝนตก (individual rainfall event data) ซึ่งขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอดและปริมาณน้ำไหลตามลำต้นที่เก็บได้จริงในภาคสนามของเหตุการณ์ฝนตกแต่ละครั้ง

4. ปริมาณน้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด หรือ น้ำพืชหยด (TF) ของต้นไม้ตัวอย่างแต่ละต้นที่ได้ถูกคัดเลือก ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดโดยใช้แกลลอนขนาด 6 ลิตร พร้อมกรวยรองรับน้ำอยู่ด้านบนของปากแกลลอน ติดตั้งบริเวณกึ่งกลางของความยาวทรงพุ่มของต้นไม้ที่ถูกคัดเลือกทั้ง 4 ทิศ (ทิศเหนือ ตะวันออก ใต้ และตะวันตก) เก็บข้อมูลทุกครั้งภายหลังฝนตก โดยปริมาณน้ำในแกลลอนที่วัดได้เป็นปริมาตรของน้ำพืชหยด แล้วนำไปหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของกรวย ซึ่งทำให้ได้ปริมาณน้ำพืชหยดที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

5. ปริมาณน้ำไหลตามลำต้น (SF) ของต้นไม้ตัวอย่างแต่ละต้น วัดโดยทำการติดแผ่นพลาสติกให้เป็นรางน้ำรูปตัววีรอบลำต้นสูงจากพื้นดิน 1.20 เมตร ต่อสายยางจากส่วนปลายรางน้ำไปยังแกลลอนขนาด 20 ลิตร ดำเนินการเก็บข้อมูลภายหลังฝนตกทุกครั้งหรือรายวัน โดยวัดเป็นปริมาตรของน้ำไหลตามลำต้น แล้วหารด้วยพื้นที่เรือนยอดของไม้ต้นนั้น ทำให้ได้ปริมาณน้ำไหลตามลำต้นที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

6. ปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด หรือ น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด (IC) คำนวณจากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำฝน (GR) กับผลรวมระหว่างของปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด (TF) และปริมาณน้ำไหลตามลำต้น (SF) ดังสมการ

$$IC = GR - (TF + SF)$$

7. วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด และน้ำไหลตามลำต้นระหว่างพรรณไม้เด่นแต่ละชนิดของระบบนิเวศทั้งสองประเภทด้วยการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA)

8. วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด และน้ำไหลตามลำต้น กับปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ในรูปสมการเส้นตรง (linear regression)

$$Y = a + bX$$

โดย Y คือ ปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด และน้ำตามลำต้น

a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ขณะที่ X เป็นค่าปริมาณน้ำฝนทั้งหมด (gross rainfall)

ผลและวิจารณ์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชนิดพรรณไม้เด่นที่คัดเลือก

ลักษณะทรงพุ่มและลำต้นของชนิดพรรณไม้เด่นที่คัดเลือกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทุเรียนเป็นพรรณไม้ที่มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) มากที่สุด (10.35 ถึง 34 เมตร และ 25.77 ถึง 152.28 เซนติเมตร ตามลำดับ) โดยมีค่าเฉลี่ยของความสูงและ DBH เท่ากับ 19.34 เมตร และ 48.38 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ทุเรียนมีการเปิดของเรือนยอดสูงที่สุด สำหรับลองกองมีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นน้อยที่สุด ข้าวสารหลวงมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก พื้นที่เรือนยอด และการเปิดของเรือนยอดน้อยที่สุด ขณะที่ตองแตบมีค่าเฉลี่ยของความหนาของเรียนยอดไม้ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ และมุมของลำต้นที่ทำกับแนวระนาบต่ำที่สุด (Table 1)

ลักษณะของน้ำฝนทั้งหมด (gross rainfall) ระหว่างการศึกษาน้ำในส่วนเหนือพื้นดิน

ข้อมูลน้ำส่วนเหนือพื้นดินระหว่างการศึกษามี 71 เหตุการณ์ โดยเก็บข้อมูลระหว่าง 14 พฤศจิกายน 2558 ถึง 12 พฤศจิกายน 2559 ซึ่งแบ่งเป็นลักษณะเหตุการณ์ฝนตกรายวัน (daily rainfall event) 48 เหตุการณ์ ขณะที่การเก็บข้อมูลน้ำในส่วนเหนือพื้นที่ดินในลักษณะเหตุการณ์ที่ฝนตกสะสมหลายวัน (accumulated rainfall event) 23 เหตุการณ์ (Figure 2) ปริมาณน้ำฝนของเหตุการณ์ที่ฝนตกรายวันรวมทั้งหมด 1,003.61 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 20.91, 10.82, 30.94 และ 4.47 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา (ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ 2.84) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ฝนตกรายวันส่วนใหญ่มีปริมาณน้อย (ประมาณ $\leq$ 12 มิลลิเมตร) ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง (Kurtosis) 9.25

ปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของพรรณไม้

1. น้ำฝนผ่านเรือนยอด

จากการเก็บข้อมูลน้ำฝนผ่านเรือนยอดของไม้ตัวอย่างจำนวน 54-68 ครั้ง ของเหตุการณ์ฝนตกรายวันและเหตุการณ์ฝนตกสะสม ค่าเฉลี่ยของร้อยละของน้ำฝนผ่านเรือนยอดหรือน้ำฝนผ่านเรือนยอดสัมพัทธ์ (relative throughfall: TF:GR) ของต้นไม้ตัวอย่างจำนวน 25 ต้น อยู่ในช่วงร้อยละ 45.55-77.18 และร้อยละ 61.67-74.48 ของปริมาณน้ำฝนแต่ละเหตุการณ์ สำหรับสวนไม้ผลผสมและสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่มตามลำดับ มังคุดมีค่าเฉลี่ยของน้ำฝนผ่านเรือนยอดน้อยที่สุด (ร้อยละ 45.55-60.79) ขณะที่ทุเรียนและลองกองมีค่าเฉลี่ยของน้ำฝนผ่านเรือนยอดร้อยละ 61.50-71.50 และ 46.30–77.18 ตามลำดับ สำหรับตองแตบและข้าวสารหลวงมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดร้อยละ 64.86-74.48 และ 61.67-64.5 ของปริมาณน้ำฝนแต่ละเหตุการณ์ ตามลำดับ น้ำฝนผ่านเรือนยอดของไม้ตัวอย่างมีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเส้นตรงกับปริมาณน้ำฝนทั้งในสวนไม้ผลผสม ($0.980\leq r\leq 0.998$; $p\leq 0.01$) และสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่ม ($0.981\leq r\leq 0.996$; $p\leq 0.01$)

2. น้ำไหลตามลำต้น

ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไหลตามลำต้นสัมพัทธ์ (relative stemflow: SF:GR) ของต้นไม้ตัวอย่าง อยู่ในช่วงร้อยละ 0.139-1.001 และ ร้อยละ 0.234-2.110 ของปริมาณน้ำฝนแต่ละเหตุการณ์ สำหรับสวนไม้ผลผสมและสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่ม ตามลำดับ ทุเรียนมีปริมาณน้ำไหลตามลำต้นสัมพัทธ์ต่ำมาก (ร้อยละ 0.139–0.245) ขณะที่มังคุดและลองกองมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.423-1.001 และ 0.209–0.781 ตามลำดับ ในกรณีภายหลังจากเกิดดินถล่ม 9 ปี พบว่า ตองแตบและข้าวสารหลวงมีปริมาณน้ำไหลตามลำต้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0.234–2.11 และ 0.412–0.468 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละเหตุการณ์ ตามลำดับ น้ำไหลตามลำต้นมีความ

Table 1 Mean and standard deviation (±) of morphological characteristics of sample trees species.

Tree species	DBH (cm)	Tree height (m)	Live crown length (m)	Crown area (m^2)	LAI (m^2 m^{-2})	Canopy openness (%)	Stem angle to horizontal axis (degree)
G. mangostana	19.94 (4.58) b	10.67 (2.25) b	9.08 (2.09) ab	22.80 (1.81) b	2.03 (0.26) a	17.25 (3.71) c	90.00 (0.00) a
D. zibethinus	48.38 (50.92) a	19.34 (7.59) a	12.42 (4.30) a	39.68 (27.20) a	1.57 (0.81) b	38.78 (18.36) a	86.33 (3.14) a
L. domesticum	13.57 (4.08) b	6.99 (1.67) b	5.79 (1.70) b	18.79 (7.07) bc	2.05 (0.82) a	22.51 (14.08) c	90.00 (0.00) a
M. denticulata	12.61(1.21) b	11.37 (3.18) b	4.31 (0.95) b	26.26 (12.88) bc	1.49 (0.12) b	32.37 (3.21) b	55.83 (16.09) b
M. ramentacea	11.45 (1.39) b	8.67 (3.01) b	5.60 (2.95) b	18.10 (6.03) c	1.52 (0.16) b	31.61 (4.25) b	61.67 (12.86) b

Remark: Parentheses indicate the standard deviation; letters in same column indicate significant differences among the sample trees species (determined using the Duncan's test, $p<0.05$).

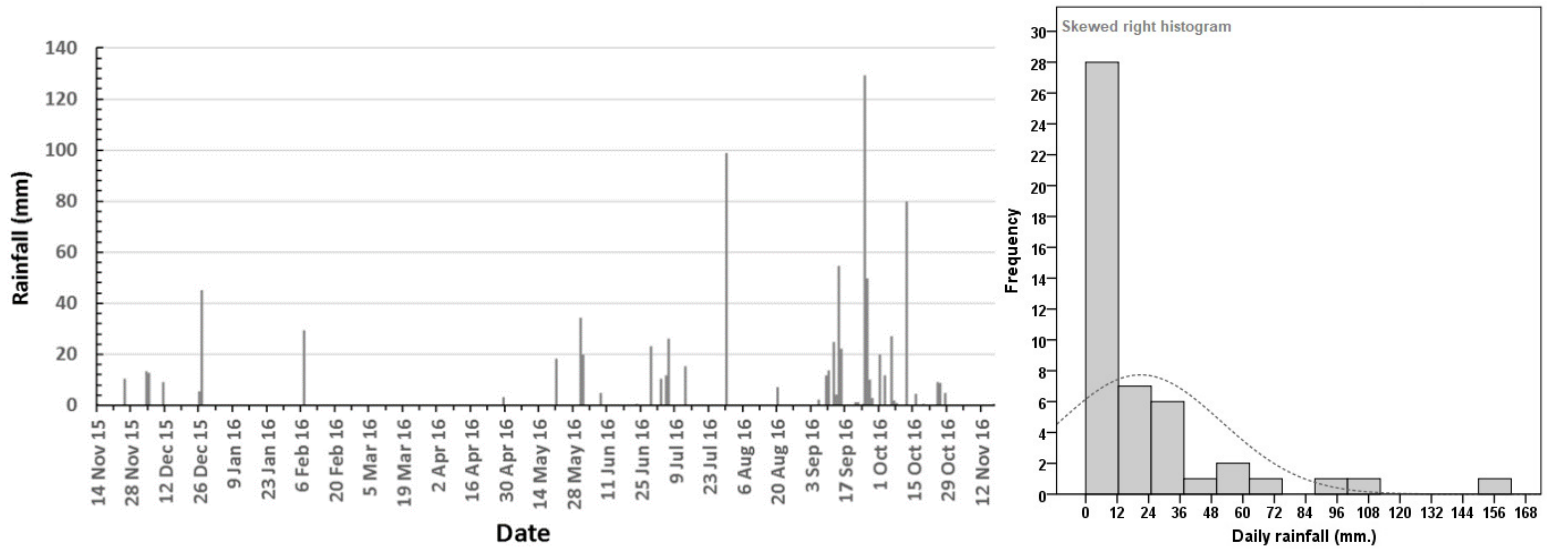


Figure 2 Daily rainfall data and frequency distribution of rainfall depth collected during the study period (n=48).

สัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับปริมาณน้ำฝนแต่ละเหตุการณ์ น้ำไหลตามลำต้นของต้นไม้ตัวอย่างมีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเส้นตรงกับปริมาณน้ำฝนทั้งในพื้นที่สวนไม้ผลผสม ($0.789 \leq r \leq 0.945$; $p \leq 0.01$) และสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่ม ($0.704 \leq r \leq 0.924$; $p \leq 0.01$)

3. น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด

น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดคำนวณเฉพาะในกรณีที่มีครบทั้งข้อมูลน้ำฝนผ่านเรือนยอดและน้ำไหลตามลำต้นของต้นไม้ตัวอย่างจำนวน 53-65 ครั้ง ของทั้งเหตุการณ์ฝนตกรายวันและเหตุการณ์ฝนตกสะสม ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสัมพัทธ์ (relative interception: IC:GR) ของต้นไม้ตัวอย่างอยู่ระหว่างร้อยละ 20.02-52.85 และร้อยละ 24.57-37.45 ของปริมาณน้ำฝนแต่ละเหตุการณ์ สำหรับสวนไม้ผลผสมและสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่มตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสัมพัทธ์ของมังคุดมีค่าสูงสุด (ร้อยละ 37.14–52.85) รองลงมาได้แก่ ลองกองและทุเรียน ตามลำดับ (ร้อยละ 24.22–34.18 และ 20.02-51.39) ขณะที่ตองแตบและข้าวสารหลวงมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 24.57–34.66 และ 31.99–37.45 ตามลำดับ ทั้งนี้ ปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของต้นไม้ตัวอย่างมีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเส้นตรงกับปริมาณน้ำฝนที่ตกแต่ละเหตุการณ์ทั้งในพื้นที่สวนไม้ผลผสม ($0.642 \leq r \leq 0.942$; $p \leq 0.01$) และสวนไม้ผลผสมที่เกิดดินถล่ม ($0.599 \leq r \leq 0.872$; $p \leq 0.01$)

สัดส่วนของปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดไม้

ปริมาณรวมของน้ำฝนถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของต้นไม้ตัวอย่างในช่วงระยะเวลาการศึกษา พบว่ามังคุดมีปริมาณรวมของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดระหว่างร้อยละ 23.29-40.20 ของปริมาณน้ำฝนรวมตลอดการศึกษา ขณะที่ลองกองและทุเรียนมีปริมาณร้อยละ 10.86–40.27 และ 14.81–19.27 ตามลำดับ สำหรับข้าวสารหลวงและตองแตบมีปริมาณรวมของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดระหว่างร้อยละ 21.79–27.79 และ 12.51–23.92 ของปริมาณน้ำฝนรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นรวมตลอดการศึกษาของชนิดพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งตองแตบมีค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำฝนผ่านเรือนยอดสูงที่สุด (ร้อยละ 70.85 ของปริมาณน้ำฝนรวม) รองลงมาได้แก่ ทุเรียน ข้าวสารหลวง ลองกอง และมังคุด ตามลำดับ มังคุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำไหลตามลำต้นและน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสูงกว่าพรรณไม้ชนิดอื่น (ร้อยละ 0.78 และ 45.01 ของปริมาณน้ำฝนรวมตามลำดับ) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 The average amount of sum and percent of throughfall, stemflow and interception of the studied tree species.

	*G. mangostana**	*D. zibethinus**	*L. domesticum**	*M. denticulata***	*M. ramentacea***
Throughfall					
Total rainfall (mm)[a]	2,018.66	2,024.66	2,024.66	1,967.66	1,843.29
Total throughfall (mm)	1,334.66 (±26.3)	1,633.80 (±31.1)	1,513.98 (±28.2)	1,613.07 (±32.0)	1,371.70 (±29.5)
Percent throughfall (%)	**53.86 (±18.2) c**	**66.10 (±20.1) ab**	**61.69 (±19.7) b**	**70.85 (±18.8) a**	**64.62 (±18.9) ab**
Stemflow					
Total rainfall (mm)[b]	2,052.16	2,060.66	2,057.19	2,003.66	1,876.29
Total stemflow (mm)	21.85 (±0.38)	7.53 (±0.20)	12.45 (±0.25)	18.27 (±0.35)	12.31 (±0.32)
Percent stemflow	**0.78 (±0.63) a**	**0.19 (±0.23) c**	**0.44 (±0.44) b**	**0.76 (±0.70) a**	**0.44 (±0.36) b**
Percent interception	**45.01 (±18.2) a**	**32.92 (±19.9) bc**	**37.00 (±19.7) b**	**28.28 (±19.2) c**	**34.41 (±18.9) bc**

Remarks: Values in the same row followed by different letters are statistically significant differentce at $p<0.05$ (Duncan's test)

[a] Throughfall calculated based on 55-69 rain events.

[b] Stemflow calculated based on 54-69 rain events.

[c] Interception calculated only for rain events in which both throughfall and stemflow occurred (54-69 events).

* Dominant tree species occurring in a mixed-fruit tree based agroforestry system (normal conditions).

** Dominant tree species occurring in a mixed-fruit tree based agroforestry system under a 9-year landslide condition.

ปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของชนิดพรรณไม้ที่ศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าป่าธรรมชาติ คือ ป่าดิบเขา ป่าดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ ยกเว้น ป่าเต็งรัง ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดร้อยละ 8.9, 4.7, 3.75 และ 12.72 ของน้ำฝนทั้งหมด ตามลำดับ (Chunkao *et al*., 1971; Jirasuktaveekul *et al*., 1986) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นของการศึกษาครั้งนี้ใกล้เคียงกับเงาะ ทุเรียน มะม่วง และยางพารา ซึ่งมีความสามารถในการสกัดกั้นน้ำฝนเท่ากับร้อยละ 41.89, 47.94, 46.74 และ 52.73 ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ตามลำดับ (Witthawatchutikul and Rouysungnern, 1983) มังคุดมีค่าปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดร้อยละ 45.01 ของปริมาณน้ำฝนทั้งหมด ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของ Witthawatchutikul and Rouysungnern (1985) (ร้อยละ 48.23) การที่ปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดในระบบสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรมีค่าสูงกว่าไม้ในป่าธรรมชาติ หรือมีค่าใกล้เคียงกันส่วนในพื้นที่อื่น ๆ อาจเป็นเพราะเรือนยอดของต้นไม้ในระบบพืชผสม มีลักษณะคล้ายป่าธรรมชาติ โดยทั่วไปเรือนยอดมีความแน่นทึบและมีกิ่งก้านสาขา ทำให้น้ำฝนถูกดูดยึดและติดค้างบนเรือนยอดของต้นไม้ได้มาก นอกจากนี้อาจมาจากลักษณะการตกของฝนในพื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณฝนในแต่ละเหตุการณ์ส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำฝนมีโอกาสถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับ Niyom (1992) กล่าวว่า ความเข้มของฝน (rainfall intensity) ในแต่ละเหตุการณ์ที่ฝนตกมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด โดยที่เหตุการณ์ที่ฝนตกมีความเข้มต่ำจะมีโอกาสเกิดที่น้ำฝนจะถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดได้มากกว่าเหตุการณ์ที่มีความเข้มสูงกว่า

ความสัมพันธ์ของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอด น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด และน้ำไหลตามลำต้น กับปริมาณน้ำฝน

ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (R) เท่ากับ 0.992, 0.878 และ 0.851 ตามลำดับ ($p<0.001$) (Figure 3) ขณะที่ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับน้ำฝนผ่านเรือนยอดสัมพันธ์ (TF:GR) และ น้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสัมพันธ์ (IC:GR) มีความสัมพันธ์กันเชิงบวกแบบไม่เป็นเส้นตรง (logarithmic function) (Figure 4)

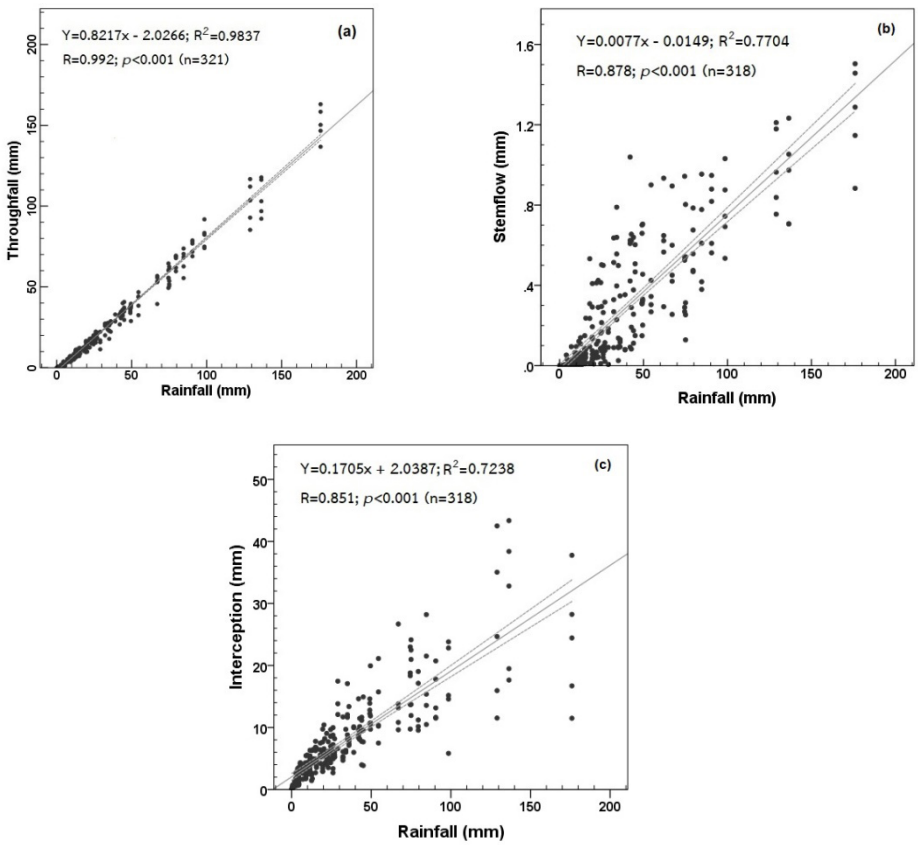
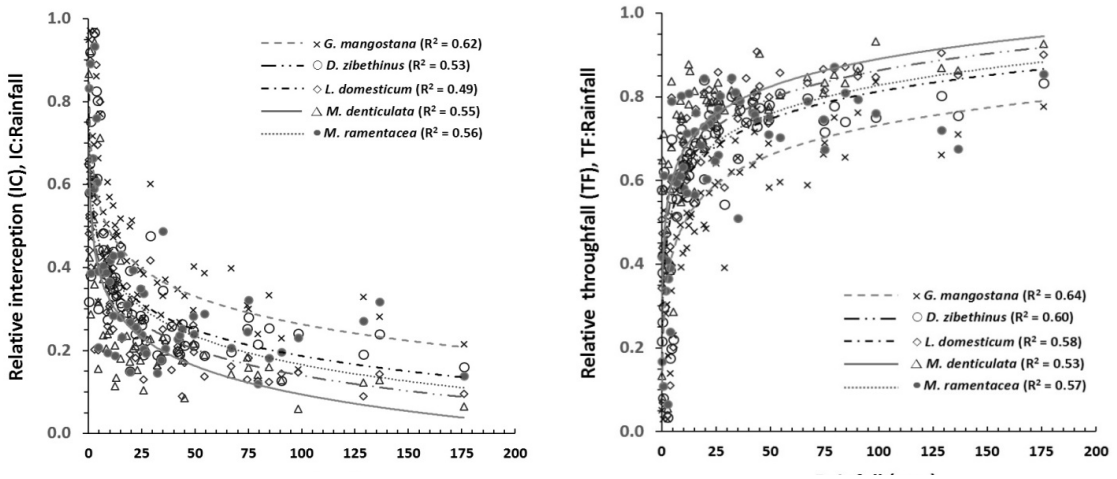


Figure 3 Relationship between gross rainfall and throughfall, stemflow and crown interception for all tree species.



(a) (b)

Figure 4 Relationship between rainfall and relative throughfall (a); and rainfall and relative interception (b) of the individual tree species.

ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดและน้ำฝนผ่านเรือนยอดของพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด(coefficient of determination: R^2) ระหว่าง 0.958-0.990 ($p<0.0001$) โดยน้ำฝนผ่านเรือนยอดของทุเรียนแสดงค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดสูงสุด ($R^2=0.990$) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดของทุเรียนได้รับอิทธิพลมาจากปริมาณน้ำฝนทั้งหมดถึงร้อยละ 99.0 ของเหตุการณ์ที่ฝนตกแต่ละครั้ง ที่เหลืออีกร้อยละ 1 เป็นผลมาจากปัจจัยอื่นที่ยังไม่ทราบ หรือแสดงว่าการแปรผันของน้ำฝนผ่านเรือนยอดของต้นทุเรียนสามารถอธิบายได้ด้วยปริมาณน้ำฝนทั้งหมดถึงร้อยละ 99.0 ของเหตุการณ์ที่ฝนตกแต่ละครั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือค่าความชันของเส้นตรง (slope, β) สำหรับพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด โดยค่า slope เป็นค่าที่แสดงประมาณการเปลี่ยนแปลงของน้ำฝนผ่านเรือนยอดเมื่อปริมาณน้ำฝนทั้งหมดเปลี่ยนไป พบว่า ค่า slope ของพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำฝนทั้งหมด (Figure 5) แสดงให้เห็นว่า ค่า slope ของตองแตบมีค่าสูงสุด (slope=0.893) รองลงมาได้แก่ ทุเรียน ขณะที่ลองกองและข้าวสารหลวงมีค่า slope ใกล้เคียงกัน โดยมังคุดมีค่า slope ต่ำสุด (slope=0.741) ซึ่งมังคุดมีปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดน้อยที่สุดในแต่ละเหตุการณ์ที่ฝนตกเมื่อเปรียบเทียบกับพรรณไม้ชนิดอื่น โดยปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอดของต้นมังคุดจะเปลี่ยนแปลงไป 0.741 มิลลิเมตร ของปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงไป 1 มิลลิเมตร (ทั้งเพิ่มขึ้นหรือลดลง) นอกจากนี้ เมื่อคำนวณกลับเพื่อหาค่าเทรสโฮลด์ (threshold) ของน้ำฝนผ่านเรือนยอด หรือเป็นค่าปริมาณน้ำฝนต่ำสุดที่เริ่มทำให้เกิดน้ำฝนผ่านเรือนยอดของพรรณไม้แต่ละชนิด พบว่า มังคุดมีค่าเทรสโฮลด์ของน้ำฝนผ่านเรือนยอดสูงสุดเท่ากับ 3.297 มิลลิเมตร ตามด้วย ทุเรียน ตองแตบ ลองกอง และข้าวสารหลวง สำหรับค่าคงที่ หรือ จุดตัดแกนตั้ง (Y-intercept) ของสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งหมดกับน้ำฝนผ่านเรือนยอดของพรรณไม้ทุกชนิดแสดงค่าติดลบ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเทรสโฮลด์ของน้ำฝนผ่านเรือนยอดของพรรณไม้แต่ละชนิด (Table 3)

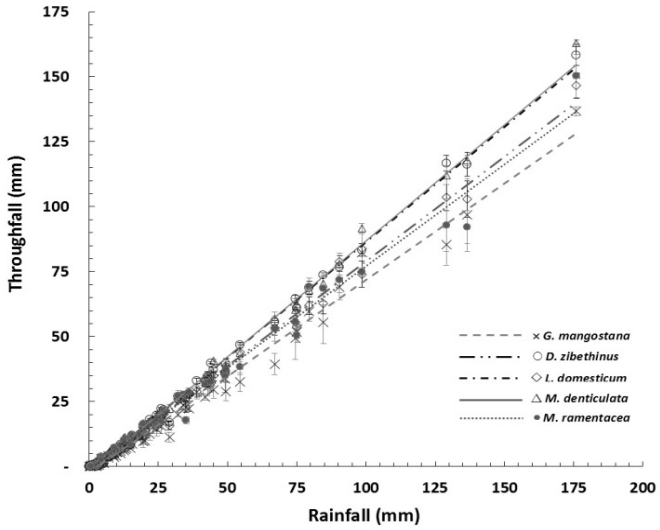


Figure 5 Relationship between the mean throughfall and rainfall of each tree species. The value shown is the average and error bar (standard error of the mean) of each rainfall event and trend line shows the predicted flow of throughfall derived from the regression equation.

Table 3 Regression coefficients between the total rainfall, throughfall and stemflow.

Tree species	Intercept	Slope	adjusted R^2	*F*	*d.f.*	*P-value*
Throughfall						
G. mangostana	-2.442	0.741	0.958	4,432.65	196	*<0.0001*
D. zibethinus	-2.344	0.887	0.990	39,520.48	404	*<0.0001*
L. domesticum	-1.664	0.805	0.964	12,581.98	472	*<0.0001*
M. denticulate	-2.326	0.893	0.985	22,198.69	349	<0.0001
M. ramentacea	-1.293	0.783	0.968	4,875.02	161	*<0.0001*
Stemflow						
G. mangostana	0.022	0.010	0.776	661.91	191	*<0.0001*
D. zibethinus	-0.055	0.005	0.816	1,672.06	375	*<0.0001*
L. domesticum	-0.003	0.006	0.555	554.42	445	*<0.0001*
M. denticulate	0.037	0.008	0.400	229.314	345	*<0.0001*
M. ramentacea	-0.042	0.008	0.810	676.42	159	*<0.0001*

ค่าสัมประสิทธ์ของการกำหนด (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งหมดกับน้ำไหลตามลำต้น (stemflow) มีค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่า R^2 ของน้ำฝนผ่านเรือนยอด ในกรณีความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งหมดกับน้ำไหลตามลำต้น พบว่า ทุเรียนแสดงค่า R^2 ระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งหมดกับน้ำไหลตามลำต้นสูงที่สุด (R^2=0.816, p<0.0001) ขณะที่ตองแตบมีค่า R^2 ต่ำสุด (R^2=0.400, p<0.0001) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในแต่ละเหตุการณ์ที่ฝนตก ปริมาณน้ำไหลตามลำต้นของตองแตบและลองกองได้รับอิทธิพลหรือเป็นผลมาจากตัวแปรตัวอื่นที่ไม่ใช้ปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละเหตุการณ์มากถึงร้อยละ 45 (Table 3) โดยทั่วไป

สมการที่มักนำไปใช้การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดอย่างน้อย 0.75 และหากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (Haaland, 1989; Hu, 1999) อย่างไรก็ตาม Hu (1999) กล่าวว่า ค่า R^2 เป็นการประมาณ goodness of fit ที่เกินจริง จึงมักใช้ค่า adjusted R square ในการวัด goodness of fit แทน โดยทั่วไป adjusted R Square จะมีค่าต่ำกว่าค่า R square เล็กน้อย และในบางกรณีอาจพบเป็นค่าติดลบได้เช่นกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (slope) พบว่า ค่า slope ของพรรณไม้ทั้ง 5 ชนิด มีค่าเป็นบวกทั้งหมด โดยปริมาณน้ำไหลตามลำต้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์

Figure 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไหลตามลำต้นและปริมาณน้ำฝนของพรรณไม้แต่ละชนิด โดยพบว่า ค่า slope ของต้นมังคุดมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.010 (ซึ่งปริมาณน้ำไหลตามลำต้นของต้นมังคุดจะเปลี่ยนแปลงไป 0.010 มิลลิเมตร ของทุก ๆ ครั้งที่ปริมาณน้ำฝนเปลี่ยนไป 1 มิลลิเมตร) รองลงมาได้แก่ ต้นตองแตบและข้าวสารหลวง ขณะที่ต้นทุเรียนมีค่า slope ต่ำสุด (slope=0.005) ซึ่งหมายถึง ต้นทุเรียนมีปริมาณน้ำไหลตามลำต้นน้อยที่สุดในแต่ละเหตุการณ์ที่ฝนตกเมื่อเปรียบเทียบกับพรรณไม้ชนิดอื่น เนื่องจากสัณฐานทางวิทยาของต้นทุเรียนมีลักษณะลำต้นที่ตั้งตรง (formal upright) มีรูปทรงของเรือนยอดเป็นทรงกระบอก และมีความหนาแน่นของเรือนยอดปานกลาง และผิวใบเรียบมันไม่มีขน (glabrous and waxy) ส่งผลให้สัณฐานทางวิทยาของต้นทุเรียนมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณน้ำไหลตามลำต้น ($p<0.05$) (Boonyanuphap *et al*., 2017)

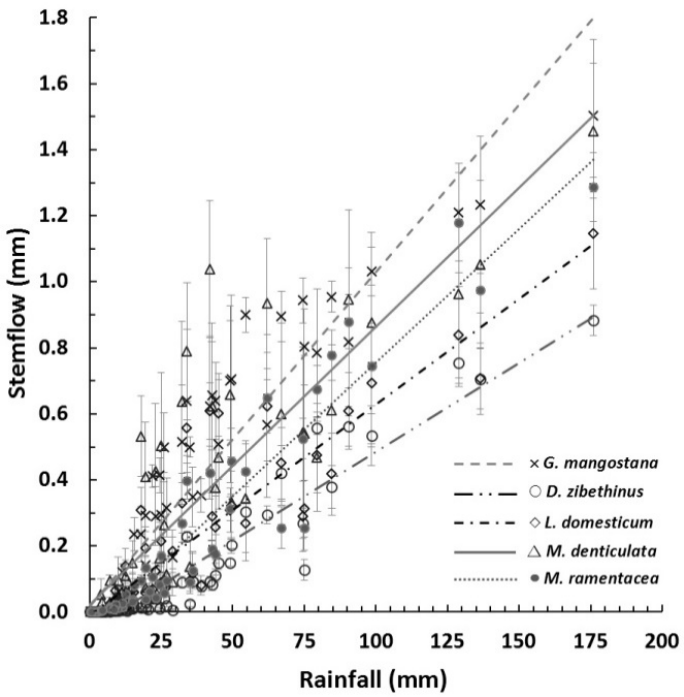


Figure 6 Relationship between the mean stemflow and rainfall of each tree species. The value shown is the average and error bar (standard error of the mean) of each rainfall event and trend line shows the predicted flow of stemflow derived from the regression equation.

แบบจำลองการแบ่งส่วนของปริมาณน้ำฝนของชนิดพรรณไม้เด่นในไม้ผลผสมแบบวนเกษตร

ผลการศึกษาการแบ่งส่วนของปริมาณน้ำฝนทำให้ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในส่วนของน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดสำหรับชนิดพรรณไม้เด่นทั้ง 5 ชนิด ในระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรทั้งในสภาพพื้นที่ปกติและพื้นที่เคยเกิดดินถล่มมาแล้ว 9 ปี การเกิดน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดและน้ำฝนผ่านเรือนยอด ถือได้ว่าเป็นกระบวนการหลักของกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนสุทธิ (net rainfall) ทั้งที่ตกลงบนพื้นผิวดินและซึมลงสู่ชั้นดินภายใต้เรือนยอดของระบบนิเวศ โดยทั่วไปน้ำไหลตามลำต้นเป็นกระบวนการแบ่งส่วนของปริมาณน้ำฝนที่สำคัญรองลงมา เนื่องจากมีสัดส่วนปริมาณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนทั้งหมดในรอบปี (annual gross rainfall) ทั้งนี้ การแปรผันเชิงพื้นที่ของการแบ่งส่วนปริมาณน้ำฝน (spatial variability of rainfall partitioning) โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดของพรรณไม้เด่นแต่ละชนิดที่มีการกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ จากการประมาณสัดส่วนเนื้อที่เรือนยอดของพรรณไม้แต่ละชนิดในเชิงพื้นที่ ประกอบกับสมการถดถอยของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดไม้แต่ละชนิดดังแสดงใน Table 4

Table 4 Regression equation of the percentage canopy interception of the dominant tree species.

Dominant species	Regression equation of percentage interception (%)	R^2
FN		
D.zibethinus	y = -0.092ln(x) + 0.5613	0.531
L.domesticum	y = -0.091ln(x) + 0.6068	0.494
G.mangostana	y = -0.097ln(x) + 0.7118	0.615
FS		
M. denticulata	y = -0.099ln(x) + 0.5509	0.550
M. ramentacea	y = -0.099ln(x) + 0.6217	0.565

Remarks: FN: Study plot of mixed fruit tree-based agroforestry, FS: Study plot of mixed fruit tree-based agroforestry under a 9-year landslide condition; x is gross rainfall (mm); y is relative interception (%).

สรุป

เหตุการณ์ภัยพิบัติดินถล่มในปี 2549 ที่เกิดขึ้นในสวนไม้ผลผสม ส่งผลให้ชนิดพรรณไม้เด่นและปริมาณน้ำในส่วนเหนือพื้นดินมีความแตกต่างจากสวนไม้ผลผสมฯ ที่ไม่เกิดดินถล่ม ค่าเฉลี่ยของร้อยละปริมาณน้ำฝนผ่านเรือนยอด น้ำไหลตามลำต้น และน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดไม้ภายใต้สวนไม้ผลผสมฯ ที่ไม่เกิดดินถล่มของต้นมังคุดมากที่สุด คือ 45.01 รองลงมาคือต้นลองกอง ร้อยละ 37.00 และน้อยที่สุด คือ ต้นทุเรียน ร้อยละ 32.92 และค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดไม้ภายใต้สวนไม้ผลผสมฯ ภายหลังจากเกิดดินถล่มไปแล้ว 9 ปี พบว่า ต้นข้าวสารหลวง มากที่สุด คือ 34.41 รองลงมาคือ ตองแตบ ร้อยละ 28.28 ตามลำดับ ผลจากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เข้าใจถึงสัดส่วนปริมาณอัตราการระเหยของน้ำในส่วนของเรือนยอดไม้ในระบบนิเวศสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร และ

ช่วยทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการมีส่วนช่วยเพิ่มความชื้นในบรรยากาศของสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตร นอกจากนี้ ผลรวมของปริมาณน้ำฝนสุทธิ (net rainfall: NR) ทั้งในส่วนที่ตกลงบนพื้นผิวดินภายใต้เรือนยอดของพรรณไม้แต่ละชนิด และส่วนที่ตกลงบนพื้นที่เปิด (opened area) โดยตรง ทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำฝนสุทธิในเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำนำเข้า (water input) ในส่วนของน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นดิน (soil water) และไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) ภายใต้ระบบนิเวศแต่ละประเภทภายใต้สถานการณ์ที่เกิดดินถล่ม

คำนิยม

คณะวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรเจ้าของสวนในการอนุญาตให้ทำการวางแปลงศึกษาโครงสร้างสังคมพืชในพื้นที่สวนไม้ผลผสม รวมถึงอนุญาตให้ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งหมด น้ำฝนผ่านชั้นเรือนยอด และน้ำไหลตามลำต้นตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการวิจัย

REFERENCES

Boonyanuphap, J., P. Thonglem and L. Raksanok. 2016. **Economic Valuation of Slope Stabilization Methods for Landslide Prevention in Maepoon Subdistrict: Its Implication on Payment for Ecosystem Services**. Final research report. The Chai Pattana Foundation, Bangkok. (in Thai)

_____, W. Punsak, O. Trithaveesak and L. Raksanok. 2017. **Water Balance Evaluation in Upstream Ecosystems and Guideline for Public Participatory Water Resources Management under Climate Change and Landslide**. Final research report, Biodiversity-Based Economy Development Office (Public Organization), Bangkok. (in Thai)

Chunkao, K. and N. Tangtham. 1982. **Practice Principles of Watershed Managemen**t. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

_____ and S. Ungkulpakdikul. 1971. **Measurement of Throughfall in Hill Evergreen Forest, Dry Evergreen Forest, Teak Forest, and Deciduous Dipterocarp Forest of Thailand**. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Haaland, P.D. 1989. **Experimental Design in Biotechnology**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Hu, R. 1999. **Food Product Design: A Computer-Aided Statistical Approach**. Technomic Publishing Co., Ltd., Pennsylvenia.

Jirasuktaveekul, W., P. Witthawatchutikul and S. Charoensuk. 1986. **Rainfall Interception in Mixed Deciduous and Dry Dipterocarp Forest at Nan Watershed Research Station, Nan Province**. Research Section, Watershed Management Division, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Kershaw, K.A. 1964. **Quantitative and Dynamic Ecology**. Edward, London.

Niyom, W. 1992. **Forest Hydrology**. Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Witthawatchutikul, P. and S. Rouysungnern. 1983. **Rainfall Interception of Fruit Tree in Rayong Province**. Research Section, Watershed Management Division, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

_____. 1985. **Mangosteen and Rainfall.** Research Section, Watershed Management Division, Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อการติดตามการเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า

Application of Modern Technology for Tree Growth Monitoring in Plantations

ณรงค์เดช เดชคง*
นพรัตน์ คัคคุริวาระ
รุ่งเรือง พูลศิริ

Narongdet Detkong*
Nopparat Kaakkurivaara
Roongreang Poolsiri

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: narongdet.de@ku.th

รับต้นฉบับ 3 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 10 มิถุนายน 2562 **รับลงพิมพ์** 3 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

Modern technology aims to track tree growth using Internet of Things (IoT) with growth monitoring tools to create a real-time monitoring system. This study aims to reduce manpower and human error during forest inventory. The prototype system works by monitoring the movement of a slider resistor sensor as the tree grows and such growth data is then automatically sent to the user without the need of people to collect information at the stand. The diameter at breast height (DBH) was measured among the automated dendrometer prototype with other popular tools such as diameter tape, diameter steel tape, Vernier Caliper and manual band dendrometers. It is found that tree growth data collected by the various equipments are not significantly different ($F = 0.012$, p-value = 1.000), thus tree growth data obtained from the prototype tool is valid and comparable to that measured by other tools. Besides the lead time for data collection, it is found that the use of manual band dendrometers resulted in the least time spent in data collection. However, this time depends on the skills of the user handling the device. The investment for developing a single prototype is approx. 15,782 Baht. When the entire rotation period of 30 years is considered, the operational cost of manual method is 5,250 where the prototype is 126,223.60 Baht. Although the operational cost of the prototype is higher than ordinary tools, the prototype may reduce human error and provide real-time monitoring capability which is useful for plantation management in the long run. Further studies should focus on cost reduction and investment feasibility as the cost of electronic devices decreases.

Keywords: Tree growth, Dendrometer, Internet of things, Sensor

บทคัดย่อ

การประยุกต์เทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อติดตามการเติบโตของไม้ในสวนป่าโดยนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เข้ามาบูรณาการร่วมกับเครื่องมือที่ใช้วัดความโตเพื่อทำให้สามารถเก็บข้อมูลและรับส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา (real-time) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้แรงงานคน หลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นโดยมนุษย์ โดยหลักการทำงานของเครื่องมือต้นแบบคือ การเคลื่อนตัวของเซนเซอร์วัดระยะห่าง (slider resistor sensor) เมื่อต้นไม้มีการเติบโตจะทำให้ชิ้นส่วนของเซนเซอร์เคลื่อนตัว ค่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นค่าการเติบโตของต้นไม้โดยข้อมูลจะถูกส่งไปยังผู้ใช้งานโดยอัตโนมัติไม่ต้องใช้แรงงานคนเข้าไปเก็บข้อมูลในพื้นที่ จากการศึกษาในการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ด้วยเครื่องมือต้นแบบที่พัฒนาขึ้น (automated-dendrometer prototype) เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะ (diameter steel tape) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier caliper) และ แบนด์เดนโดรมิเตอร์ (manual band dendrometers) พบว่า ข้อมูลความโตของต้นไม้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 0.012$, p-value = 1.000) ดังนั้น ข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบสามารถใช้ทดแทนข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์แบบอื่นได้ ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลพบว่าเครื่องมือที่ใช้เวลาเก็บข้อมูลน้อยที่สุด คือ แบนด์เดนโดรมิเตอร์ และเครื่องมือที่ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมากที่สุด คือ เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทั้งนี้เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้เครื่องมือ ในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบใน 1 ชุดมีค่าต้นทุนประมาณ 15,782 บาท หากเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการสำรวจด้วยวิธีใช้แรงงานคนกับการใช้อุปกรณ์ต้นแบบในระยะเวลา 30 ปี พบว่า การสำรวจด้วยวิธีใช้แรงงานคนมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 5,250 บาท และเมื่อใช้เครื่องมือต้นแบบจะต้องลงทุนถึง 126,223.60 บาท ถึงแม้ว่าการสำรวจด้วยเครื่องมือต้นแบบยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการสำรวจด้วยวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน แต่การนำอุปกรณ์ต้นแบบเข้ามาใช้ในการสำรวจจะเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของการเก็บข้อมูลโดยใช้แรงงานคน รวมทั้งยังสามารถติดตามข้อมูลได้ตลอดเวลาเหมาะสำหรับนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนและจัดการสวนป่าได้อย่างทันท่วงที แนวทางการวิจัยในอนาคตควรปรับลดต้นทุนการผลิตเพื่อความเป็นไปได้ในการลงทุน หากในอนาคตราคาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีราคาถูกลงอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการสำรวจการเติบโตของต้นไม้

คำสำคัญ: การเติบโตของต้นไม้ เดนโดรมิเตอร์ อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง เซนเซอร์

คำนำ

ปัจจุบันรัฐบาลไทยมีแนวคิดในการเดินหน้าประเทศด้วยโมเดลที่เรียกว่า “Thailand 4.0” ซึ่งภาคการเกษตรและป่าไม้เป็นส่วนหนึ่งของโมเดลดังกล่าว การเกษตรและป่าไม้ 4.0 มีความมุ่งเน้นให้เกษตรกรนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมเข้ามาประยุกต์เพื่อช่วยในการทำงานสะดวกสบายยิ่งขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำ ลดการใช้แรงงานคน ทั้งนี้การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามามีส่วนช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้ยังมีอยู่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาคการเกษตร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่กับภาคการป่าไม้ของประเทศไทยจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพื่อทำให้งานบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้เกิดความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือและมีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความโตต้นไม้มีตั้งแต่วิธีอย่างง่ายไปจนถึงการใช้เครื่องมือที่มีความซับซ้อน อุปกรณ์บางอย่างได้มีการพัฒนาให้มีการอ่านค่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน และสามารถเก็บ

ข้อมูลได้อัตโนมัติเพื่อความสะดวกในการใช้งาน แต่ทั้งนี้ข้อมูลจะมีความถูกต้องแม่นยำมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับทักษะและความเชี่ยวชาญในการใช้อุปกรณ์ของแต่ละบุคคล หากผู้ใช้งานมีทักษะและความชำนาญในการใช้เครื่องมือ ค่าที่วัดได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง แต่ในทางตรงกันข้ามหากผู้ใช้งานไม่มีทักษะและขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือ อาจทำให้ค่าที่วัดออกมาได้มีความผิดเพี้ยนจากความเป็นจริง ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นมาจากมนุษย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาต้นแบบในการวัดการเติบโตของต้นไม้ โดยการลดการใช้แรงงานคน เพื่อหลีกเลี่ยงประเด็นในเรื่องของความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นโดยมนุษย์ โดยการประยุกต์เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) บูรณาการร่วมกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความโตของต้นไม้ที่มีอยู่เพื่อทำให้การเก็บข้อมูลและรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ตลอดเวลา (real time) เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนจัดการไม้ในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องมือต้นแบบกับไม้สัก *(Tectona grandis* Linn.f.) ในการเลือกตัวแทนของต้นไม้ทำการสุ่มต้นไม้โดยคำนึงถึงขนาดที่แตกต่างกันจำนวน 3 ขนาด ได้แก่ ไม้ขนาดเล็ก ไม้ขนาดกลาง และไม้ขนาดใหญ่ แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 พื้นที่ ดังนี้

1. พื้นที่ที่มีสัญญาณโทรศัพท์และสัญญาณอินเทอร์เน็ต โดยเลือกใช้พื้นที่ทดสอบในคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร กำหนดแปลงตัวอย่าง 1 แปลงตัวอย่าง เพื่อเป็นแปลงควบคุม โดยติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบจำนวน 3 เครื่อง และจุดรับสัญญาณ 1 จุด

2. พื้นที่ที่อับสัญญาณโทรศัพท์และสัญญาณอินเทอร์เน็ต เลือกใช้พื้นที่ทดสอบในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ในพื้นที่นี้กำหนดแปลงตัวอย่างออกเป็น 3 แปลงตัวอย่างหลักตามขนาดความโตและอายุของต้นไม้ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1) แปลงตัวอย่างไม้ขนาดเล็ก (ไม้มีอายุระหว่าง 1–10 ปี) 2) แปลงตัวอย่างไม้ขนาดกลาง (ไม้มีอายุระหว่าง 10–30 ปี) และ 3) แปลงตัวอย่างไม้ขนาดใหญ่ (ไม้มีอายุตั้งแต่ 30 ปี) (Figure 1) ซึ่งแปลงตัวอย่างหลักทั้ง 3 แปลง จะถูกแบ่งออกเป็น 3 แปลงตัวอย่างย่อย รวมแล้วจะได้แปลงตัวอย่างย่อยทั้งหมด 9 แปลง พื้นที่ของแปลงตัวอย่างย่อยมีขนาดแปลงตัวอย่างละ 0.25 เฮกตาร์ (50×50 ม.)



Figure 1 (A) Experimental plot aged between 1–10 years, (B) Experimental plot aged between 10-30 years and (C) Experimental plot aged over 30 years.

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ติดตามการเติบโตของต้นไม้

ในการพัฒนาต้นแบบระบบติดตามการเติบโตของต้นสัก สามารถจำแนกองค์ประกอบของอุปกรณ์ในการทำหน้าที่วัดการเติบโตของต้นไม้ได้ 2 ส่วน คือ 1) เซ็นเซอร์ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระยะห่าง และ 2) สายรัดลำต้นที่ทำหน้าที่ยึดอุปกรณ์เข้ากับลำต้นของต้นไม้ โดยเซ็นเซอร์จะทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างของปลายสายรัดที่คาดไว้กับลำต้นของต้นไม้ หากต้นไม้มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดจะทำให้สายคาดเคลื่อนตัว เซ็นเซอร์จะคำนวณระยะที่สายรัดเคลื่อนตัวเป็นขนาดการเปลี่ยนแปลงความโตของต้นไม้ (Bobby, 2015)

จากการออกแบบอุปกรณ์ติดตามการเติบโตของต้นไม้ พบว่า อุปกรณ์ต้นแบบประกอบไปด้วยอุปกรณ์สามส่วนหลัก ได้แก่ 1) เซนเซอร์วัดความโต (sensor unit) วัสดุห่อหุ้มทำจากกล่องอะลูมิเนียมป้องกันน้ำและสนิมด้านในบรรจุเซนเซอร์วัดความโตขนาด 60 มิลลิเมตร (Figure 2) หากต้นไม้ขยายครบ 60 มิลลิเมตร ต้องทำการรีเซ็ตสเกลและตั้งค่าใหม่ หลังจากนั้นจะสามารถใช้งานต่อได้ตามปกติ 2) ส่วนควบคุม (control unit) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์แล้วส่งข้อมูลไปยังส่วนกระจายสัญญาณ (Mahasak, n.d.) วัสดุห่อหุ้มใช้วัสดุ PVC เพื่อกันน้ำแก่อุปกรณ์ภายในภายในจะประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ หน่วยควบคุมทำหน้าที่กำหนดช่วงเวลาในการบันทึกข้อมูล เช่น บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมง หรือวันละหนึ่งครั้ง สัปดาห์ละหนึ่งครั้ง เดือนละหนึ่งครั้ง เป็นต้น (Figure 3) และ 3) ส่วนกระจายสัญญาณ (gateway) หลังจากส่วนควบคุมส่งข้อมูลของเซนเซอร์ส่วนกระจายสัญญาณ จะทำหน้าที่รับข้อมูลดังกล่าวแล้วส่งไปยังระบบเซิร์ฟเวอร์เพื่อนำไปแสดงผลต่อไป โดยอุปกรณ์ภายในจะประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ และโมดูลอินเทอร์เน็ต (Figure 4) ในส่วนของรายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในแสดงใน Table 2

หลักการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบติดตามการเติบโต กล่าวคือ เมื่อต้นไม้มีการเติบโตลำต้นของต้นไม้มีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้สายรัดลำต้นของเครื่องมือเกิดการดึงตัว สายรัดจะทำให้เซนเซอร์วัดระยะ (sensor unit) เลื่อนตัว จากนั้นเซนเซอร์วัดระยะจะส่งค่าระยะห่างที่เกิดความเปลี่ยนแปลงไปยังส่วนควบคุม (control unit) โดยระยะห่างที่เกิดขึ้นเปรียบเสมือนเป็นค่าการเติบโตที่เกิดขึ้นกับต้นไม้ ซึ่งส่วนควบคุมจะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลที่รวบรวมไว้ไปยังส่วนกระจายสัญญาณ (gateway) ส่วนกระจายสัญญาณจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปแสดงผลยังโปรแกรมหรือแอพพลิเคชั่นต่อไป (Figure 5)

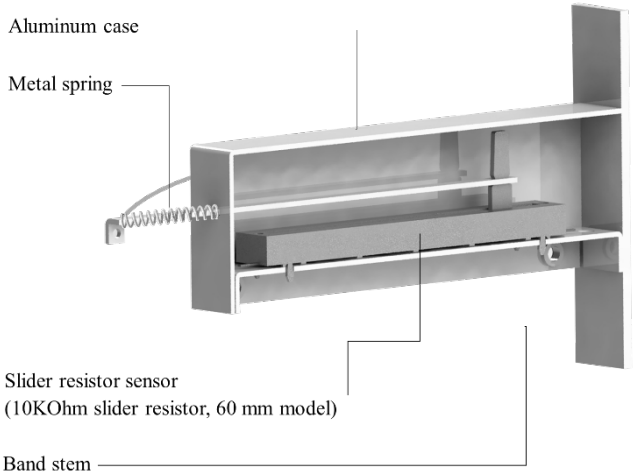


Figure 2 3D model of the Sensor unit.

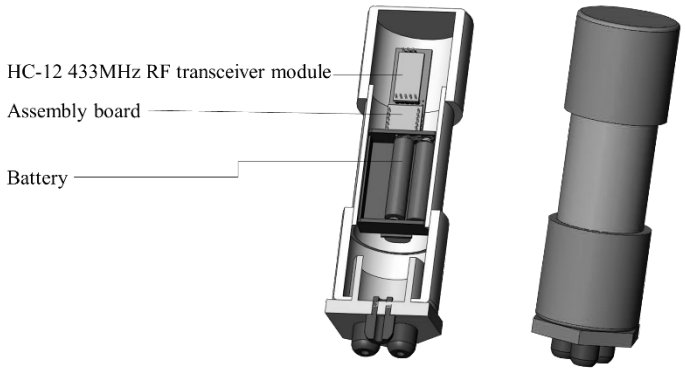


Figure 3 3D model of the Control Unit.

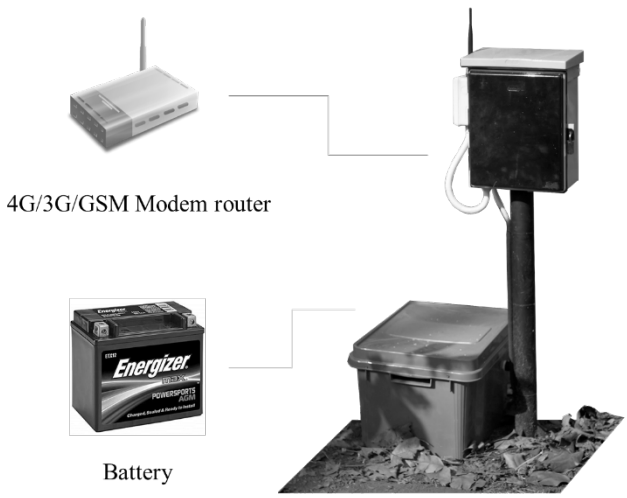


Figure 4 Gateway.

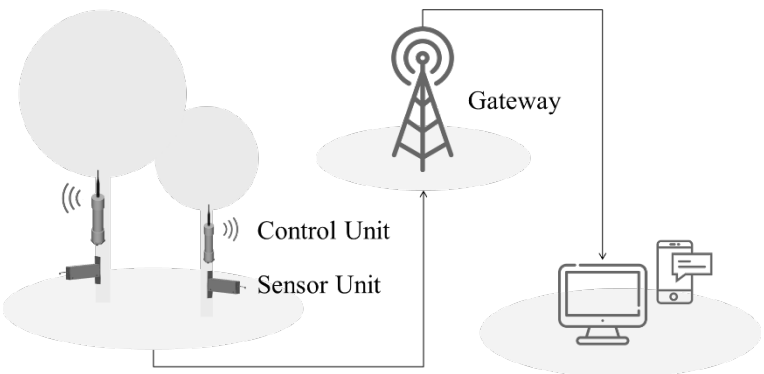


Figure 5 Working principle of the Automated-dendrometer Prototype.

การติดตั้งอุปกรณ์จากแปลงตัวอย่างหลักทั้ง 4 แปลง ในแต่ละแปลงทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ (Figure 6)

1. อุปกรณ์วัดความโตของต้นไม้ ในคณะวนศาสตร์จำนวน 3 ต้น และสวนป่าทองผาภูมิ 27 ต้น รวม 30 ต้น (แปลงตัวอย่างย่อยแปลงละ 3 ต้น)

2. จุดรับสัญญาณ (gateway) แปลงละ 1 จุด

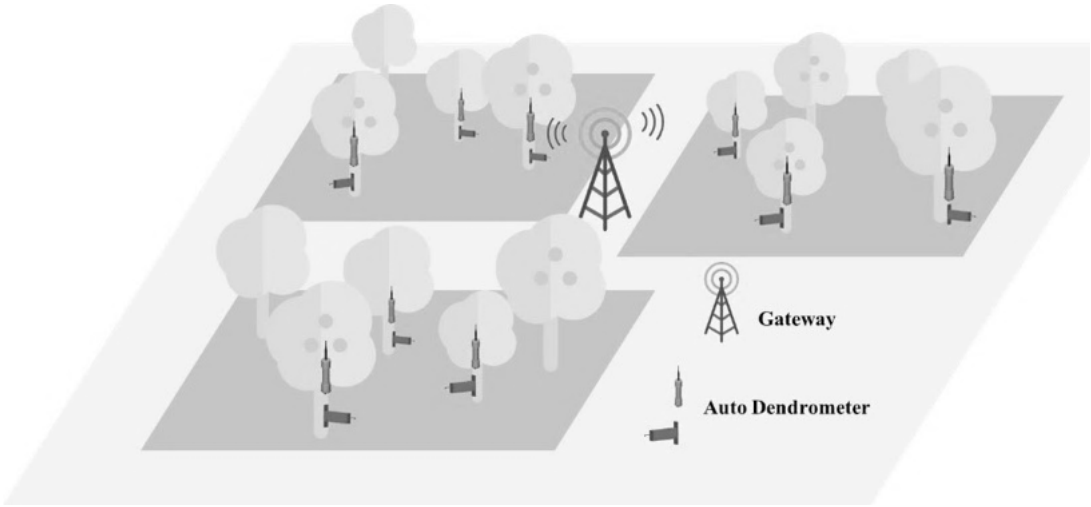


Figure 6 Installation of tree growth measuring equipment in the study area.

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1. การศึกษาความโตของต้นไม้จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือต้นแบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร ทุกเดือนเดือนละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะ (diameter steel tape) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier caliper) และแบนด์เดนโดรมิเตอร์ (manual band dendrometers) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความโตของต้นไม้จากการเก็บข้อมูลการเติบโตด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ กับอุปกรณ์ต้นแบบ (automated-dendrometer prototype) ที่พัฒนาขึ้น

เมื่อได้ข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ครบตามกำหนดแล้วทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการเติบของต้นไม้จากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือต้นแบบที่พัฒนาขึ้น หาความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละปัจจัยโดยใช้แผนการทดลองที่เหมาะสมกับจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางสถิติ

2. ศึกษาเวลาจากการเก็บข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ด้วยอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาที่ใช้จากการเก็บข้อมูลการเติบโตของต้นไม้

3. ศึกษาค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ โดยการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องจากการเก็บข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ด้วยอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงค่าใช้จ่ายของเครื่องมือต้นแบบที่พัฒนาขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย และค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ (30 ปี) เพื่อเปรียบเทียบกัน

ผลและวิจารณ์

การศึกษาความโตของต้นไม้จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือต้นแบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ

จากการศึกษาขนาดเส้นศูนย์กลางเพียงอกที่สำรวจได้จากอุปกรณ์ต่าง ๆ และเครื่องมือต้นแบบที่พัฒนาขึ้น พบว่า ข้อมูลความโตที่เก็บด้วยเทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) มีค่าเฉลี่ย 23.29 เซนติเมตร เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะ (diameter steel tape) มีค่าเฉลี่ย 22.84 เซนติเมตร เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (vernier caliper) มีค่าเฉลี่ย 22.78 เซนติเมตร แบนด์เดนโดรมิเตอร์ (manual band dendrometers) มีค่าเฉลี่ย 23.14 เซนติเมตร และอุปกรณ์ต้นแบบ (automated-dendrometer prototype) มีค่าเฉลี่ย 22.43 เซนติเมตร ข้อมูลที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 0.012$, p-value = 1.000) ดังนั้นข้อมูลการเติบโตที่ได้จากเครื่องมือต้นแบบสามารถใช้ทดแทนข้อมูลที่ได้จากการเก็บด้วยอุปกรณ์แบบอื่น ๆ แต่ทั้งนี้ยังพบข้อบกพร่องของข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องมือต้นแบบบางเครื่อง แสดงใน Figure 7 โดยข้อมูลดังกล่าวมีค่าแตกต่างจากการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์อื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ปัญหาอาจเกิดจากความผิดพลาดในการส่งสัญญาณ หรือมีการขยับของแถบวัดระยะของเซนเซอร์โดยสิ่งรบกวน (คน สัตว์) ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นข้อมูลการเติบโตที่เก็บได้ในระยะเวลาเพียง 3 เดือนเท่านั้น (มกราคม – มีนาคม 2562) ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงฤดูแล้งการเติบโตของต้นไม้ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นควรทำการเก็บข้อมูลการเติบโตต่อเนื่องเพื่อดูแนวโน้มต่อไปโดยเฉพาะในฤดูฝนที่คาดว่าต้นไม้น่าจะเติบโตได้ดี รวมถึงปัญหาความชื้นที่อาจส่งผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mäkinen *et al*. (2008) ที่พบว่า ในฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาวไม้สนนอร์เวย์ (*Picea abies* (L.) Karst.) และไม้สนสก็อต (*Pinus sylvestris* L.) รัศมีของลำต้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามากจากการเก็บข้อมูลการเติบโตด้วยแบนด์เดนโดรมิเตอร์ และรัศมีของลำต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของฤดูใบไม้ผลิซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น่าเชื่อถือที่สุดสำหรับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของต้นไม้

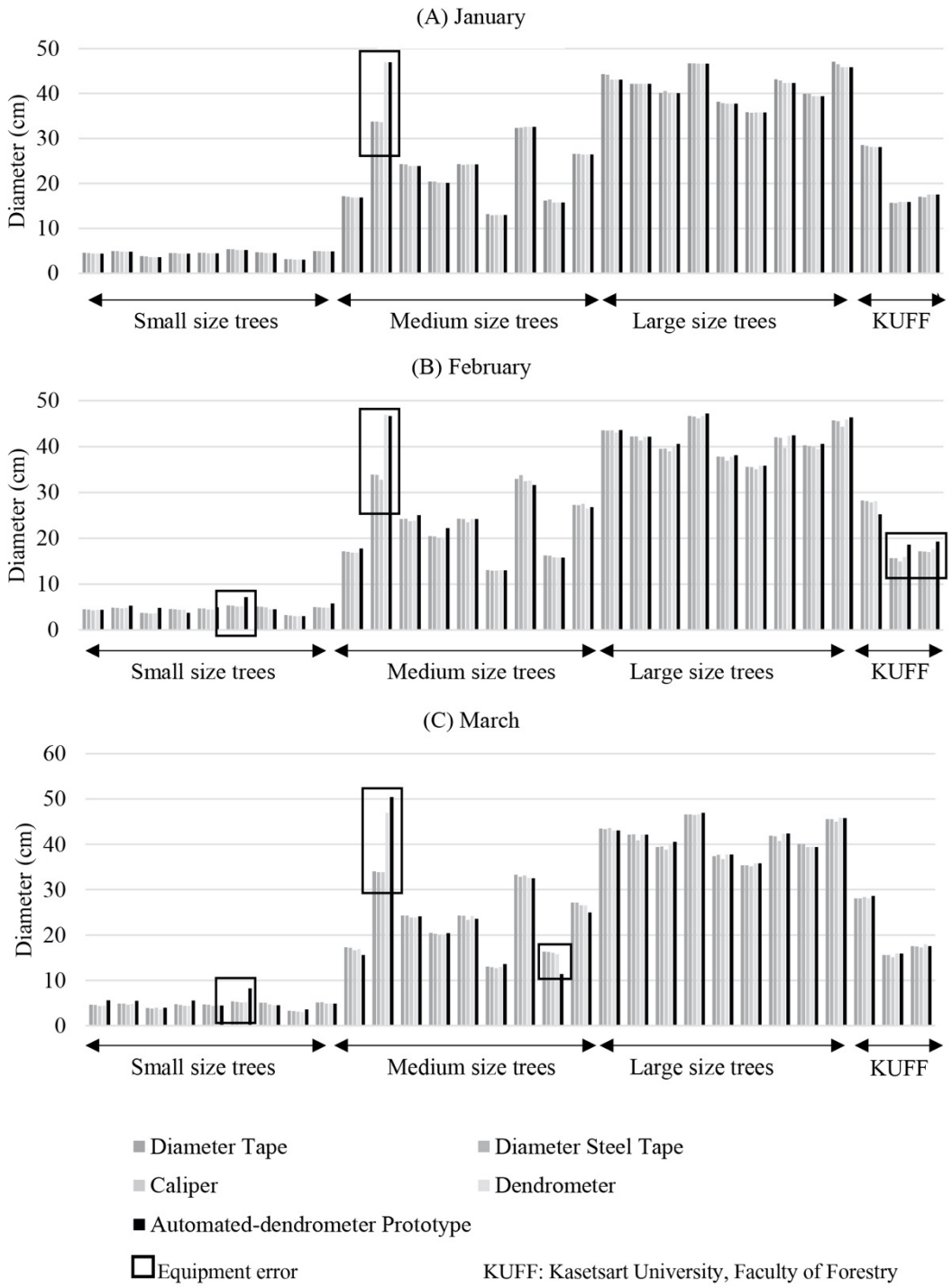


Figure 7 Tree growth data obtained from various devices (A) January 2019, (B) February 2019 and (C) March 2019.

จากการทดสอบอุปกรณ์ในพื้นที่อับสัญญาณโทรศัพท์และสัญญาณอินเทอร์เน็ตพบปัญหาในการส่งข้อมูล ข้อมูลไม่สามารถแสดงผลได้อย่าง Real time คาดว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากความไม่เสถียรของสัญญาณ ซึ่งข้อมูลจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในพื้นที่เมืองไม่พบปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในพื้นที่สวนป่าทองผาภูมิยังพบความเสี่ยงจากการสูญหาย หรืออุปกรณ์ถูกทำลายโดยสิ่งรบกวนต่าง ๆ เช่น ไฟป่า สัตว์ป่า และมนุษย์ แนวทางในการแก้ปัญหาคือ ควรเลือกใช้วัสดุห่อหุ้มที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และควรต้องมีความกลมกลืนกับธรรมชาติ

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการสำรวจความโตของต้นไม้

จากการเก็บข้อมูลพบว่า การสำรวจความโตด้วยเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 5.84 วินาที/ต้น เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 4.86 วินาที/ต้น เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 5.62 วินาที/ต้น และแบนด์เดนโดรมิเตอร์ ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 4.00 วินาที/ต้น (Table 1) โดยเวลาจากการเก็บข้อมูลการเติบโตด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ตัดสินใจ และวางแผนในการสำรวจการเติบโตของไม้ในอนาคต รวมถึงใช้คำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงานเพื่อปรับลดต้นทุนในการผลิตต่อไป

Table 1 The average time used to store data with the different types of devices.

Measurement device	Small size		Medium size		Large size		Average time
	Sec. tree^{-1}	DBH	Sec. tree^{-1}	DBH	Sec. tree^{-1}	DBH	
Diameter Tape	6.01	4.63	6.27	22.51	5.22	41.23	**5.84**
Diameter Steel Tape	5.01	4.61	5.26	22.09	4.30	41.22	**4.86**
Vernier Caliper	4.81	4.47	5.60	21.94	6.46	40.92	**5.62**
Band Dendrometer	3.37	4.47	3.65	24.17	4.98	40.92	**4.00**
Average		**4.55**		**22.68**		**41.07**	**5.08**

หากเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเติบโตด้วยเครื่องมือต่าง ๆ โดยไม่คำนึงถึงขนาดของต้นไม้ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ตารางความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเติบโตด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ใช้เวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($F = 7.814$, p-value = 0.000) จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบคู่ด้วยวิธีของ Tukey พบว่า ค่าเฉลี่ยของการเก็บข้อมูลด้วยแบนด์เดนโดรมิเตอร์ และเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะ ใช้เวลาแตกต่างกับการเก็บข้อมูลด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยเครื่องมือที่ใช้เวลาเก็บข้อมูลจากน้อยไปหามากมีลำดับดังนี้ แบนด์เดนโดรมิเตอร์ เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางชนิดโลหะ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง จากการศึกษาของ Anemaet and Middleton (2013) ระบุว่า ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลและประสบการณ์ในการทำงานของผู้ใช้อุปกรณ์ส่งผลต่อเวลาในการใช้อุปกรณ์ นอกจากนี้ขนาดของต้นไม้ยังส่งผลต่อการเวลาในการใช้อุปกรณ์ด้วยเช่นกัน

การศึกษาค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับติดตามการเติบโตของต้นไม้ต่อหนึ่งชุดอุปกรณ์เท่ากับ 15,782 บาท หากใช้งานอุปกรณ์ในระยะเวลา 30 ปี โดยคิดค่าใช้จ่ายตามอายุของอุปกรณ์ภายในแต่ละส่วน จะมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 95,502 บาท (Table 2)

Table 2 Details of the Automated-dendrometer Prototype.

Part	Internal equipment	Unit	Unit price (baht)	Life time (year)	Required within 30 years	Cost (baht)	Total cost
Sensor Unit	1. 10KOhm slider resistor, 60 mm model	1	340	7	4	1,457	**1,987**
	2. Aluminum case	1	230	30	1	230	
	3. Metal Spring	1	10	1	30	300	
Control Unit	1. 3V3 ATMEGA328 PROMINI MCU	1	130	5	6	780	**16,301**
	2. HC-12 433MHz RF transceiver module with antenna	1	210	5	6	1,260	
	3. Assembly board and fixed RTC power-down runtime	1	2,200	7	4	9,429	
	4. LR03 AAA Battery	3	12	0	361	4,337	
	5. CR2032 Li Battery	1	15	2	15	225	
	6. PVC Body	1	135	15	2	270	
Gateway	1. Stand and water proof metal box	1	4,000	15	2	8,000	**77,214**
	2. 12V 85 Ahr Battery	1	2,500	2	15	37,500	
	3. 4G/3G/GSM Modem router	1	3,500	5	6	21,000	
	4. Raspberry Pi B+ Mini PC with HC-12 433MHz transceiver module with antenna	1	2,500	7	4	10,714	
Total			**15,782**				**95,502**

จากการประเมินค่าใช้จ่ายในการสำรวจและติดตามการเติบโตด้วยวิธีการแบบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน อ้างอิงจากการทำงานของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี โดยปัจจุบันสวนป่าทองผาภูมิทำการสำรวจและติดตามการเติบโตของไม้สักทุก 3 ปี โดยการใช้เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นอุปกรณ์ในการสำรวจ หากคิดพื้นที่ในการสำรวจ 1 ไร่ กำหนดร้อยละการสำรวจเท่ากับ 2.5 (Forest Industry Organization, n.d.) คิดเป็นจำนวนตัวอย่าง 3 ต้นจากต้นไม้ 100 ต้นโดยใช้ระยะปลูก 4×4 เมตร การสำรวจแต่ละครั้งจะใช้จำนวนคนงาน 1 คน ใช้เวลาสำรวจต่อครั้งประมาณ 1 ชั่วโมง (รวมการเดินทาง) เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้วยการสำรวจด้วยวิธีดังกล่าวกับการใช้อุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่ 1 ไร่ จะต้องติดตั้งเซนเซอร์วัดความโต (sensor unit) จำนวน 3 ตัว ส่วนควบคุม (control unit) 1 จุด และส่วนกระจายสัญญาณ (gateway) 1 จุด โดยในระยะเวลา 30 ปี พบว่าการสำรวจด้วยวิธีที่ใช้ในปัจจุบันใช้เงินทั้งสิ้น 5,250 บาท และหากลงทุนด้วยเครื่องมือต้นแบบจะต้องใช้เงินทั้งสิ้น 1126,223.60 บาท (Table 3)

Table 3 The summary cost of ordinary method and the proposed prototype.

Items/Expenses (baht)	Ordinary		Prototype	
	Per 1 time	Within 30 years	Per 1 time	Within 30 years
1. Equipment cost				
- Diameter tape lifetime 2 years	300	4,500		
- Use sensor unit 3 unit/rai			15,806	99,476
2 Labor cost (300 baht/8hr.)				
- 1rai use 1 hour, 2 labor	75	750		
- 1st Installation use 4 labor 5 days			6,000	6,000
- Maintenance 1 time per month, 1 day			300	10,800
3. Maintenance fee (10%)				9,947.60
Total		**5,250**		**126,223.60**

ในการพัฒนาอุปกรณ์ติดตามการเติบโตอุปกรณ์ใน 1 ชุด มีค่าใช้จ่ายประมาณ 15,782 บาท หากเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการสำรวจด้วยวิธีใช้แรงงานคนกับการใช้อุปกรณ์ต้นแบบในระยะเวลา 30 ปี พบว่าการสำรวจด้วยวิธีใช้แรงงานคนมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 5,250 บาท และการลงทุนด้วยเครื่องมือต้นแบบจะใช้เงินทั้งหมด 126,223.60 บาท จากการศึกษาค่าใช้จ่าย พบว่าการสำรวจด้วยเครื่องมือต้นแบบยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการสำรวจด้วยวิธีที่ใช้ในปัจจุบันอยู่มาก การวิจัยในอนาคตควรหาวิธีการหรือพัฒนาอุปกรณ์ให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยลง หรือปรับอุปกรณ์ให้มีขนาดที่เล็กลง ใช้งานง่าย มีความสะดวกในการพกพา และต้นทุนไม่สูงมากนัก หากทำได้จะก่อให้เกิดการใช้งานในวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นสวนป่าสักหรือไม้ชนิดอื่นก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกพัฒนาให้ง่ายต่อการใช้งาน พกพาสะดวก และมีราคาที่ไม่แพง ควรพัฒนาระบบให้อยู่ในลักษณะอุปกรณ์พกพาขนาดเล็ก (compact unit device) ที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ทั้งนี้จำเป็นจะต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วนและบูรณาการความรู้ร่วมกับศาสตร์ด้านอื่นด้วย นอกจากนี้ควรเพิ่มระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติหากต้นไม้ใดมีความผิดปกติทางความโต (warning or alert system) เพื่อที่จะได้เข้าไปตรวจสอบได้ทันท่วงที และอาจเพิ่มฟังก์ชันการจัดการสวนป่าว่าต้นไม้ใดควรจะตัดออกในช่วงเวลาใด หากพัฒนาได้เช่นนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในแง่ของการบริหารจัดการสวนป่าอย่างมีประสิทธิภาพ

สรุป

จากการศึกษาพบว่า ข้อมูลความเติบโตของต้นไม้ที่สำรวจจากเครื่องมือต้นแบบมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเครื่องมืออื่น ๆ เพียงแต่ต้นทุนต่อหน่วยยังคงสูงเกินไป ในอนาคตเมื่อราคาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกลงก็มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจทางด้านป่าไม้ และในอนาคตควรพัฒนาต่อยอดระบบเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าในเชิงพาณิชย์ (commercial value) ที่ทุกสวนป่า

คำนิยม

โครงการวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานส่งเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2562

ขอขอบพระคุณ คุณเสด็จ อุยอวน หัวหน้าสวนป่าทองผาภูมิ คุณประชา ภิญโญ ผู้ช่วยหัวหน้าสวนป่าทองผาภูมิ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ จังหวัด

กาญจนบุรี ซึ่งเป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัย ตลอดจนที่พัก และการเดินทางเข้าพื้นที่ และคุณกัญญรัตน์ อินตาพวก คุณอังคณา ทองคำ คุณณิชมน ปลอดชุม ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

REFERENCES

Anemaet, E.R. and B.A. Middleton. 2013. Dendrometer bands made easy: Using modified cable ties to measure incremental growth of trees. **Applications in Plant Sciences** 1(9): 1300044.

Bobby, D. 2015. **Installation of Traditional Dendrometer Bands.** Available Source: https://www.nwrc.usgs.gov/topics/Dendrometer, July 1, 2018.

Forest Industry Organization. n.d. **Forest Plantation Survey of the Forest Industry Organization.** Forest Industry Organization, Bangkok.

Mahasak, K. n.d. **Internet of Things (IoT).** Available Source: http://203.155.220.230/bmainfo/data_DDS/document/internet-of-things.pdf, August 20, 2017.

Mäkinen, H., J.W. Seo, P. Nöjd, U. Schmitt and R. Jalkanen. 2008. Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements. **European Journal of Forest Research** 127(3): 235-245.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง

Effect of Land Use on Soil Carbon Stock at Huai-Hin-Dat Subwatershed in Rayong Province

พุทธรักษ์ วงศ์สิริชัย[1]
สุภัทรา ถึกสถิตย์[1*]
นฤมล แก้วจำปา[1]
รจนา ตั้งกุลบริบูรณ์[2]

Phuttarak Wongsirichai[1]
Supattra Thueksathit[1*]
Naruemol Kaewjampa[1]
Rochana Tangkoonboribun[2]

[1] คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand
[2] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ. คลองหลวง ปทุมธานี 12120
Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Ministry of Science and Technology, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani 12120. Thailand
*Corresponding Author, E-mail: fforstt@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 7 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 15 กรกฎาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 18 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

The changes in land use from natural forest to agricultural area has resulted in more carbon dioxide (CO_2) being released into the atmosphere, which has been indicated as an important cause of global warming. Land use planning and management for enhanced efficiency in carbon sequestration in both forms of biomass and soil carbon stocks are of increased interest during the present times. The study of soil carbon stock in various land use types in the Huai-Hin-Dat subwatershed, Rayong province was undertaken to determine the soil carbon stocks at the study site. This site consisted of para rubber (PR), abandoned para rubber (APR), forest restoration with teak (FRT), and secondary dry evergreen forest (SDEF). The study also focused on the relationship between soil organic carbon and some soil properties. The results showed that the average soil organic carbon (SOC) under all land use was highest in the upper topsoil (0-10 cm) and decreased with soil depth. The total soil carbon stock had the maximum value in SDEF (128.17 tC ha^{-1}) followed by FRT (86.17 tC ha^{-1}), APR (79.36 tC ha^{-1}) and PR (48.42 tC ha^{-1}), respectively. Additionally, the SOC in the upper topsoil (0-10 cm) in areas under various land use was the highest in December and lowest in June, whereas the SOC in the lower topsoil (10-30 cm) and subsoil (30-50 cm) during each month was variable in all the land use areas. Comparison

of SOC among the various land use types and soil depths was highly significant at a probability < 0.01. Furthermore, the relationship between SOC and various soil properties indicated that soil moisture content was positively correlated with SOC while soil bulk density had a negative correlation.

Keywords: Soil carbon stock, Land use, Huai-Hin-Dat subwatershed

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากป่าธรรมชาติไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ส่งผลทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 สู่บรรยากาศและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากขึ้น การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการพื้นที่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนทั้งในรูปมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในดินนั้น นับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจในปัจจุบัน การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดินในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย พื้นที่ยางพารา พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และป่าดิบแล้งรุ่นสอง และเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนในดินกับสมบัติดินบางประการ จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเฉลี่ยของทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าสูงสุดที่ระดับดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) และลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณคาร์บอนสะสมในดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง (128.17 tC ha^{-1}) รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก (86.17 tC ha^{-1}) พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง (79.36 tC ha^{-1}) และพื้นที่ยางพารา (48.42 tC ha^{-1}) ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ระดับดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ทุกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณสูงสุดในเดือนธันวาคมและต่ำสุดในเดือนมิถุนายน ในขณะที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) ของแต่ละเดือนต่างกันทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและแต่ละระดับความลึกดิน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติของดินบางประการ พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดิน และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นรวมของดิน

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอนในดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด

บทนำ

ปัจจุบันในพื้นที่ลุ่มน้ำมีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายรูปแบบ โดยมีรูปแบบหลัก ๆ ได้แก่ พื้นที่ป่าธรรมชาติ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนเมือง และพื้นที่แหล่งน้ำ โดยการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นนอกจากเพื่อให้ได้ผลผลิตน้ำ (water yield) ที่ดีแล้ว ยังสามารถเป็นพื้นที่สำคัญในการการกักเก็บคาร์บอนได้อีกด้วย โดยเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนในดิน ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน สมบัติทางอุทกวิทยาของดิน รวมทั้งความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดิน จากการศึกษา พบว่า การกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (Jacobs *et al*., 2001) ซึ่งสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (global warming) โดยปริมาณคาร์บอนในดินถือว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในพลวัตคาร์บอน

จากการสำรวจร้อยละ 40 ของคาร์บอนในดิน พบได้ในระบบนิเวศป่าไม้ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในดินป่าไม้มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศ (Hudson *et al*., 1994) เพราะระบบนิเวศป่าไม้เป็นทั้งแหล่งกักเก็บ (sink) และปลดปล่อย (source) รวมถึงคาร์บอนในดินที่มีความเสถียรและเปลี่ยนแปลงได้ยากหรือง่ายนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของดินทั้งด้านกายภาพและกระบวนการทางชีวเคมีของดินเป็นตัวกำหนด (Benbi and Chand, 2007; Rasool *et al.,* 2008) รวมทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการทรัพยากรดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน (Lal, 1999) สอดคล้องกับ Wright *et al*. (2007) กล่าวว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมบนผิวดินมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บและสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้แตกต่างกัน

สำหรับบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด จังหวัดระยอง เป็นพื้นที่ศึกษาที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ คือ พื้นที่ยางพารา พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และป่าดิบแล้งรุ่นสอง โดยการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าวในพื้นที่ลุ่มน้ำยังคงมีข้อมูลน้อย จึงมีความจำเป็นในการศึกษาวิจัยเพื่อให้ทราบถึงปริมาณและการแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในดินในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน และเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินให้มีความเหมาะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำ รวมทั้งช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย แผนที่ ได้แก่ แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร แผนที่ชุดดิน มาตราส่วน 1 : 100,000 และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2559 มาตราส่วน 1 : 25,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับอุปกรณ์ในการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดิน ได้แก่ โกร่งบดดิน ตะแกรงร่อนดิน ปิเปตต์ สารเคมีในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ส่วนอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ กระบอกเก็บดิน (soil core) ตู้อบดิน เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นต้น

วิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายปี และอุณหภูมิอากาศ ในปี พ.ศ. 2558-2560 ของสถานีวิจัยต้นน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก จังหวัดระยอง ประกอบกับข้อมูลแผนที่ลักษณะภูมิประเทศ แผนที่ชุดดิน และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2559 โดยทำการเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 6 ครั้งในรอบปี ซึ่งแบ่งเป็นช่วงน้ำหลาก (wet period) ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และช่วงน้ำแล้ง (dry period) ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่เป็นตัวแบ่งช่วงดังกล่าว ดังแสดงใน (Figure 1)

2. การเลือกพื้นที่และกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน ทำการเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทนศึกษา ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินดาด ประกอบด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) พื้นที่สวนยางพารา 2) พื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้าง 3) พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และ 4) พื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง โดยในพื้นที่สวนยางพารายังมีกิจกรรมในพื้นที่ ได้แก่ การกรีดยาง การแผ้วถางกำจัดวัชพืช และการดูแลพื้นที่ ขณะที่ในพื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้างไม่มีกิจกรรมการใช้ที่ดิน ปล่อยทิ้งร้างและถูกทดแทนตามธรรมชาติ รวมถึงในพื้นที่ป่าปลูกฟื้นฟูด้วยไม้สัก อายุ 20-30 ปี พื้นที่ถูกปกคลุมด้วยต้นสักเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินพิจารณาจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนที่ชุดดินเป็นหลักดังแสดงใน Figure 2

3. การเก็บตัวอย่างดิน ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ระดับความลึกดิน คือ ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) โดยในแต่ละพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินทำการเก็บ 3 จุด จุดละ 3 ซ้ำ รวมเป็น 27 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 รูปแบบ คือ เก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างดิน (disturbed soil sampling) เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินเบื้องต้น ได้แก่ เนื้อดิน (soil texture) ค่าปฏิกิริยาของดิน (soil pH) อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon) และเก็บตัวอย่างดินโดยไม่รบกวนโครงสร้างดิน (undisturbed soil sampling) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (soil core) เพื่อนำไปหาความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) และความชื้นในดิน (soil moisture)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างดิน

4.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (Blake and Hartge, 1986) และความชื้นในดินโดยน้ำหนัก (Gardner, 1986; Jury *et al*., 1991)

4.2 วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยใช้วิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1947) และคำนวณหาปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน (soil carbon stock) ต่อหน่วยพื้นที่ จากสมการที่ (1) (ดัดแปลงจาก Guo and Gifford, 2002)

$$SCS = \%OC \times BD \times SD \quad (1)$$

เมื่อ SCS คือ ปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน (ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์)

% OC คือ ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (ร้อยละ)

BD คือ ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

SD คือ ความหนาของชั้นดินตามระดับความลึกของดิน (เซนติเมตร)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, F-test) ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในในแต่ละพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและในแต่ละระดับความลึกดิน

5.2 วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation analysis) ระหว่างปริมาณคาร์บอนในดินกับความหนาแน่นรวมของดิน และความชื้นในดิน

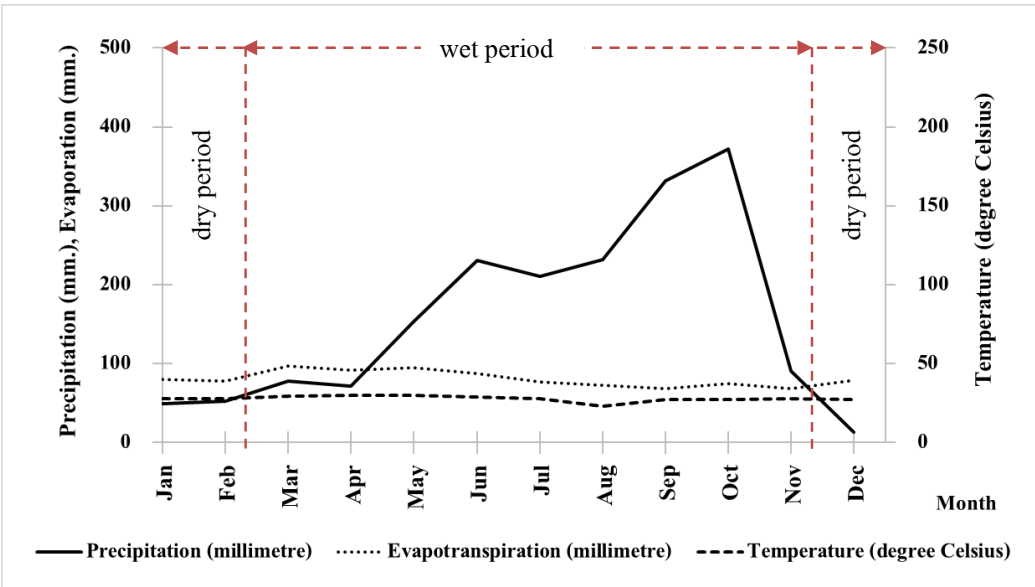


Figure 1 Wet and dry periods in the study area.

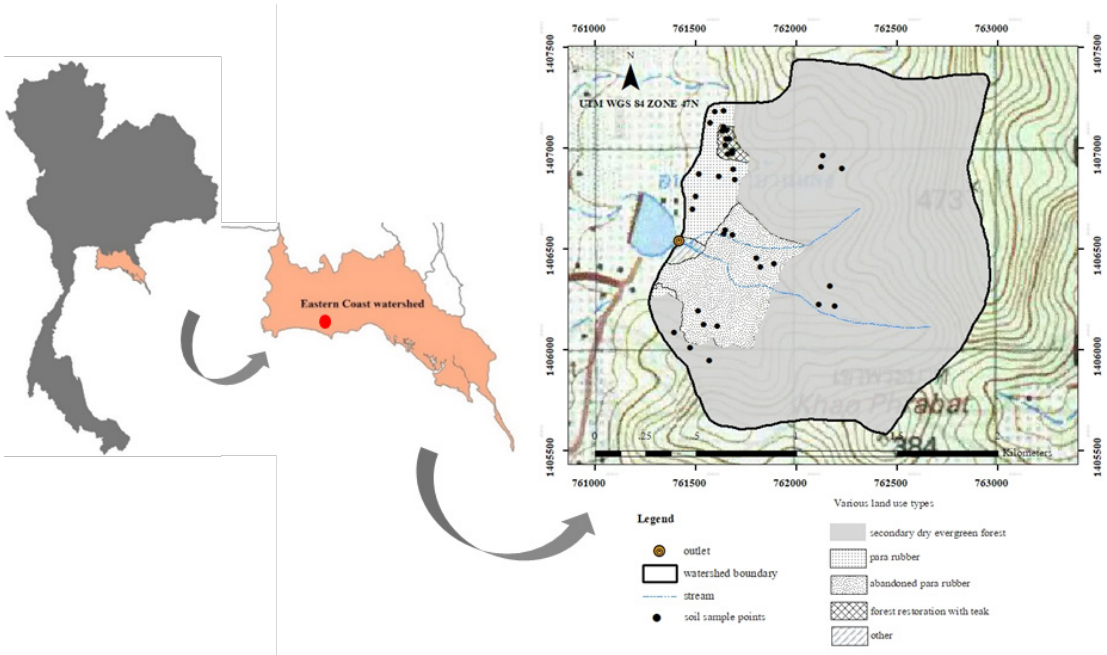


Figure 2 Location of the study area at the Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

ผลและวิจารณ์

สมบัติดินเบื้องดิน

จากการศึกษา พบว่า ระดับความลึกดินทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเนื้อดินกลุ่มดินร่วนชนิดหยาบ (loamy soil-coarse) ในขณะที่พื้นที่ยางพารา พบว่า ดินบนชั้นบนเป็นดินทรายร่วน (loamy sand) จัดอยู่ในประเภทเนื้อดินกลุ่มทราย (sand texture) สำหรับค่าปฏิกิริยาของดิน (pH) พบว่า ทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นกรดจัด (strongly acid) ถึงกรดจัดมาก (very strongly acid) มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 4.8-5.3 ยกเว้น ดินบนชั้นบนของพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักที่เป็นกรดปานกลาง (moderately acid) มีค่าเท่ากับ 5.7 สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงในระดับดินบนและลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง และต่ำสุดในพื้นที่ยางพาราดังแสดงใน (Table 1)

Table 1 Soil properties in the various land use types at Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

Soil depth	Land use types	Soil texture	pH	Organic matter
Upper topsoil	para rubber	Loamy sand	5.3 (strongly acidic)	1.93 (moderate)
(0-10 cm.)	abandoned para rubber	Sandy loam	5.1 (strongly acidic)	3.30 (moderately high)
	forest restoration with teak	Sandy loam	5.7 (moderately acidic)	4.43 (high)
	secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.9 (very strongly acidic)	5.87 (very high)
Lower topsoil	para rubber	Sandy loam	4.9 (very strongly acidic)	0.99 (low)
(10-30 cm.)	abandoned para rubber	Sandy loam	4.8 (very strongly acidic)	1.70 (moderate)
	forest restoration with teak	Sandy loam	5.2 (very strongly acidic)	1.71 (moderate)
	secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.8 (very strongly acidic)	2.94 (moderately high)
Subsoil	para rubber	Sandy loam	4.9 (very strongly acidic)	0.72 (low)
(30-50 cm.)	abandoned para rubber	Sandy loam	4.9 (very strongly acidic)	1.32 (moderately low)
	forest restoration with teak	Sandy loam	5.0 (very strongly acidic)	1.31 (moderately low)
	secondary dry evergreen forest	Sandy loam	4.9 (very strongly acidic)	2.05 (moderate)

ความหนาแน่นรวมของดินและความชื้นในดิน

1. ความหนาแน่นรวมของดิน

ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยที่ระดับความลึกดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) พบว่า ในพื้นที่ยางพารามีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และป่าดิบแล้งรุ่นสอง โดยมีค่าเท่ากับ 1.51, 1.42, 1.39 และ 1.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และที่ดินล่าง (30-50 ซม.) พบว่า มีค่าความหนาแน่นของดินในแต่ละพื้นที่เป็นไปในทิศทางเดียวกับดินบนชั้นบน สำหรับที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) พบว่า ในพื้นที่ยางพารามีค่ามากที่สุดเช่นกัน รองลงมาคือ พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก และป่าดิบแล้งรุ่นสอง มีค่าเท่ากับ 1.60, 1.54, 1.50 และ 1.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ยางพารามีค่าความหนาแน่นดินมากกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในขณะที่พื้นที่ฟื้นฟูด้วยไม้สักและพื้นที่ยางพาราทิ้งร้างมีค่าความหนาแน่นดินที่ใกล้เคียงกัน ส่วนพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองมีค่าความหนาแน่นดินน้อยที่สุด ดังแสดงใน (Table 2) นอกจากนี้ ความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยในทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าต่ำสุดที่ระดับความลึกดินบนชั้นบนและมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความความลึกที่เพิ่มขึ้น โดยในพื้นที่ยางพารามีค่าความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยสูงมากกว่าพื้นการใช้ประโยชน์ที่ดินด้านอื่น เนื่องจากในพื้นที่ยางพารามีกิจกรรมการใช้ที่ดินอย่างเข้มข้น เช่น การเข้าไปแผ้วถางกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ย การลิดกิ่ง และการเข้าไปกรีดยางในพื้นที่ ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวทำให้เกิดการอัดแน่นของดิน (soil compaction) โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าดิน ส่วนในพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ ที่มีความหนาแน่นดินน้อยกว่าเพราะไม่มีกิจกรรมการใช้ที่ดินใด ๆ ในพื้นที่เหมือนพื้นที่ยางพารา โดยเฉพาะพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองที่มีความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยต่ำที่สุดนั้น ผิวหน้าดินมักถูกปกคลุมด้วยซากพืชซากสัตว์ตลอดเวลา เนื่องจากโดยธรรมชาติของป่านั้นมีการปกคลุมของไม้หลายชั้นเรือนยอด รวมถึงไม้พื้นล่าง ตลอดจนมีการร่วงหล่นของซากพืชที่ผิวดินร่วมกับมีกระบวนการย่อยสลาย

หมุนเวียนอยู่ในดิน ทำให้โครงสร้างของดินถูกพัฒนาขึ้น ดังนั้นการมีพืชพรรณขึ้นปกคลุมพื้นที่ประกอบกับกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินมีผลโดยตรงกับความหนาแน่นรวมของดิน ขนาดและการกระจายของช่องว่างภายในดิน ซึ่งมีความสำคัญกับสภาวะของอากาศและน้ำที่อยู่ภายในดิน (Undawatta *et al*., 2008; Franzluebbers, 2010)

2. ความชื้นในดิน

ความชื้นในดินเฉลี่ยทุกระดับความลึกดินมีค่าสูงสุดในป่าดิบแล้งรุ่นสอง รองลงมาคือ พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง พื้นที่ยางพารา และพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก โดยที่ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.79, 16.44, 13.95 และ 13.34 ดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.96, 13.29, 12.42 และ 10.83 ในขณะที่ดินล่าง (30-50 ซม.) มีค่าเท่ากับร้อยละ 12.66, 12.25, 11.88 และ 10.01 ตามลำดับ โดยค่าความชื้นในดินของพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองและพื้นที่ยางพาราทิ้งร้างมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (Table 2) นอกจากนี้ทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและทุกระดับความลึกดินมีค่าความชื้นในดินสูงสุดในเดือนตุลาคม ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกมากที่สุดในรอบปี ส่งผลทำให้ความชื้นในดินสูงเกือบทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้น ในพื้นที่ยางพารา ที่พบว่ามีความชื้นในดินสูงเฉพาะที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) ในเดือนมิถุนายนเท่านั้น เนื่องจากในช่วงเดือนมิถุนายนเป็นช่วงต้นฤดูฝน ประกอบกับผิวดินที่ไม่มีการปกคลุมของไม้พื้นล่างร่วมกับกิจกรรมในพื้นที่ยางพารา ได้แก่ การเผากำจัดซากกิ่งและใบยางพาราแห้งนั้น ทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาสัมผัสกับผิวหน้าดินโดยตรงและไหลซึมลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว แตกต่างจากพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก ที่บริเวณผิวดินถูกปกคลุมด้วยซากพืชที่ร่วงหล่น รวมทั้งมีการปกคลุมของไม้พื้นล่าง ทำให้น้ำฝนในช่วงต้นฤดูฝนส่วนหนึ่งตกค้างอยู่บริเวณเรือนยอด และบางส่วนจึงค่อย ๆ ซึมผ่านชั้นซากพืช และชั้นอินทรียวัตถุลงไปในดิน ในขณะที่เดือนธันวาคม พบว่า มีปริมาณความชื้นในดินต่ำเกือบทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและทุกระดับความลึกดิน ยกเว้น ในพื้นที่ยางพาราและพื้นที่ยางพาราทิ้งร้างที่ระดับความลึกดินล่าง (30-50 ซม.) มีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากเป็นช่วงฝนแล้ง ส่งผลทำให้ระดับความลึกดินล่างมีปริมาณความชื้นในดินน้อย ประกอบกับมีความชื้นในดินสะสมอยู่น้อยในช่วงเดือนก่อนหน้า

จากผลการศึกษา ทำให้ทราบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบของป่าดิบแล้งรุ่นสองทุกระดับความลึกดินมีค่าความชื้นในดินสูงที่สุด เพราะว่าในพื้นที่ถูกปกคลุมด้วยพืชพรรณหลากหลายชนิด หลายชั้นเรือนยอด รวมถึงมีไม้พื้นล่าง และกล้าไม้ขนาดต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่ว อีกทั้งยังมีรากขนาดต่าง ๆ ที่มีการกระจายของระบบรากทั้งแนวราบและแนวดิ่งของหน้าตัดดิน ส่งผลทำให้มีความพรุนรวมของดินสูง ความหนาแน่นรวมของดินต่ำ ส่งผลต่อการดูดซับและการกักเก็บน้ำไว้ในดินที่ดี เช่นเดียวกับพื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง พบว่ามีความชื้นในดินใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองทุกระดับความลึกดิน เนื่องจากในพื้นที่มีการขึ้นทดแทนของสังคมพืชดั้งเดิม มีกล้าไม้ และไม้พื้นล่างขึ้นปกคลุมผิวดิน รวมทั้งไม่มีกิจกรรมใด ๆ ในพื้นที่ ดังนั้นจึงทำให้มีความหนาแน่นรวมของดินต่ำ มีความชื้นในดินมาก ในขณะที่พื้นที่ยางพารามีกิจกรรมในการใช้พื้นที่เกิดขึ้น เช่น การเข้าไปเหยียบย่ำของมนุษย์ทำให้ดินมีความอัดแน่นตัวของดินสูง ส่งผลทำให้ความชื้นที่จะถูกกักเก็บไว้ในดินมีน้อย สำหรับพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักที่พบว่ามีปริมาณความชื้นในดินต่ำที่สุดทุกระดับความลึกดิน เนื่องจากพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมมีต้นสักเป็นส่วนใหญ่ มีไม้พื้นล่างน้อย และมีการร่วงหล่นของใบในช่วงการผลัดใบปกคลุมพื้นผิวดินมาก น้ำฝนที่ตกลงมาในช่วงแรกจะถูกใบสักแห้งดักไว้ก่อนไหลซึมลงดิน ประกอบกับลักษณะดินเป็นดินทรายร่วน ส่งผลทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความชื้นในดินน้อยตลอดเวลา นอกจากนี้ ปัจจัยทางด้านสมบัติดินบางประการ และลักษณะพืชพรรณปกคลุมแล้ว ยังพบว่า ปริมาณน้ำฝน

เป็นปัจจัยสำคัญมากต่อความชื้นในดิน โดยมีผลต่อความชื้นในดินที่ระดับความลึกดินบนและลดลงเมื่อระดับความลึกดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยของการระเหยน้ำ ลักษณะพืชพรรณ และกิจกรรมของมนุษย์ดังกล่าว (Choi and Jacobs, 2007; Gao *et al*., 2015; Chunlei *et al*., 2017; Guoce *et al*., 2017)

Table 2 Soil bulk density and soil moisture content in various land use types at the Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

Land use types	Soil depth (cm.)	Avg. BD (g/cm^3)	SMC (% by weight)						
			Wet period				Dry period		Avg.
			Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Feb	
para rubber	0 - 10	1.51	11.95	16.37	15.52	16.87	7.82	15.19	13.95
	10 - 30	1.60	11.28	14.71	13.45	14.09	8.93	12.07	12.42
	30 - 50	1.60	11.40	13.91	13.09	14.25	9.67	8.95	11.88
abandoned para rubber	0 - 10	1.39	11.45	17.87	20.31	21.36	11.18	16.15	16.44
	10 - 30	1.54	10.63	14.09	15.49	16.44	9.93	13.16	13.29
	30 - 50	1.55	10.92	13.44	14.78	14.83	9.23	10.29	12.25
forest restoration with teak	0 - 10	1.42	9.91	15.31	14.89	17.94	9.08	12.90	13.34
	10 - 30	1.50	8.07	12.91	11.90	14.01	7.60	10.50	10.83
	30 - 50	1.56	8.25	11.94	11.92	12.86	7.60	7.51	10.01
secondary dry evergreen forest	0 - 10	1.32	11.04	18.99	20.15	22.61	10.03	17.90	16.79
	10 - 30	1.45	9.09	15.38	16.33	17.70	9.16	14.50	13.69
	30 - 50	1.47	8.89	14.08	15.09	15.61	8.63	13.62	12.66

Remarks: BD= Bulk density, SMC= Soil moisture content, Wet period= April to October, Dry period= December and February.

การกักเก็บคาร์บอนในดิน

1. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่ยางพารา โดยที่ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.40, 2.57, 1.91 และ 1.12 ตามลำดับ (Table 3) โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินของทุกรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดที่ระดับดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) และลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเกิดจากการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน ในพื้นที่ป่าธรรมชาติจะมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูง โดยเฉพาะบริเวณดินชั้นบนที่มีการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์เกิดขึ้นมาก อีกทั้งในพื้นที่ป่ามีรากพืชหลายขนาดกระจายตัวตลอดชั้นความลึกดิน รากบางส่วนผุสลายและถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ในดิน กลายเป็นแหล่งอินทรียวัตถุในดินและคาร์บอนอินทรีย์สะสม

อยู่ในดินตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ยางพารามีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์น้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่ยางพาราเป็นการปลูกพืชเชิงเดี่ยว มีระบบรากและระบบเรือนยอดเพียงชั้นเดียว ประกอบกับผิวดินปราศจากพืชชั้นล่างปกคลุมดิน รวมทั้งปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในพื้นที่ยางพาราส่วนใหญ่มักจะถูกกำจัดออกจากพื้นที่ ส่งผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินน้อย ทำให้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินน้อยด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับ Vatanagan (2012) ที่พบว่า ในแปลงว่างเปล่าที่ไม่มีพืชปกคลุมผิวดินมีแนวโน้มของปริมาณคาร์บอนในดินลดลง เนื่องจากปริมาณอินทรียวัตถุสูญเสียไปกับน้ำไหลบ่าหน้าดินได้โดยง่าย ประกอบกับไม่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินละน้ำในพื้นที่ ส่วน Pattrawoot (2011) กล่าวว่า การปลูกแฝกคลุมผิวดินที่ระดับความลึกดิน 0-15 ซม. ช่วยลดการสูญเสียดินและช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากป่าธรรมชาติไปเป็นพื้นที่ยางพารามีผลต่อปริมาณคาร์บอนในดินลดลงจากร้อยละ 2.9 เหลือ 2.1 เพราะปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูญเสียไปกับน้ำไหลบ่าหน้าผิวดินได้โดยง่าย และส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินลดลงตามลำดับ (Mena *et al*., 2008; De Blecourt *et al*., 2013)

สำหรับในพื้นที่ยางพาราทิ้งร้างและพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พบว่า มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินทุกระดับความลึกดินใกล้เคียงกัน ยกเว้น ที่ระดับดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ที่พบว่า พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มากกว่าในพื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง เพราะพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักมีการร่วงหล่นของใบในทุก ๆ ปี ทำให้บริเวณผิวหน้าดินของพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักมีใบสักแห้งร่วงหล่นเป็นจำนวนมาก และเกิดการย่อยสลายสะสมปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ระดับดินบนชั้นบนมาก

Table 3 Monthly variations in soil organic carbon in each land use type at the Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

Land use types	Soil depth (cm)	Soil organic carbon (%)						
		Feb	Apr	Jun	Aug	Oct	Dec	Avg.
para rubber	0 - 10	1.25	1.13	0.82	1.16	1.06	1.29	1.12
	10 - 30	0.68	0.43	0.39	0.66	0.61	0.67	0.57
	30 - 50	0.40	0.36	0.30	0.50	0.51	0.42	0.42
abandoned para rubber	0 - 10	1.89	1.82	1.75	1.97	1.94	2.11	1.91
	10 - 30	0.96	0.90	0.88	1.02	0.95	1.22	0.99
	30 - 50	0.80	0.66	0.65	0.83	0.77	0.88	0.76
forest restoration with teak	0 - 10	2.53	2.68	2.09	2.45	2.68	2.99	2.57
	10 - 30	1.07	1.14	0.96	0.85	0.87	1.08	0.99
	30 - 50	0.73	0.67	0.64	0.67	0.58	0.65	0.66
secondary dry evergreen forest	0 - 10	3.33	3.38	3.28	3.40	3.43	3.61	3.40
	10 - 30	1.87	1.70	1.64	1.49	1.51	2.02	1.70
	30 - 50	1.20	1.34	1.15	1.17	1.06	1.27	1.20

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินรวม (0-50 ซม.) พบว่า ในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสองมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่ยางพารา มีค่าเท่ากับ 128.17, 86.17, 79.36 และ 48.42 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินในทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณมากที่สุดที่ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) และลดลงตามความลึกของดิน (Table 4 and Figure 3)

Table 4 Soil carbon stock in the various land use types at the Huai Hin Dat subwatershed in Rayong province.

Land use types	Soil carbon stock (tC ha^{-1})			
	0 - 10 cm. (10 cm.)	10 - 30 cm. (20 cm.)	30 - 50 cm. (20 cm.)	Total (50 cm.)
para rubber	16.89±2.59	18.23±4.24	13.30±2.86	48.42
abandoned para rubber	26.57±1.78	29.79±3.71	23.01±3.10	79.36
forest restoration with teak	35.99±4.29	29.79±3.51	20.39±1.36	86.17
secondary dry evergreen forest	44.25±2.65	49.00±6.06	34.92±2.46	128.17

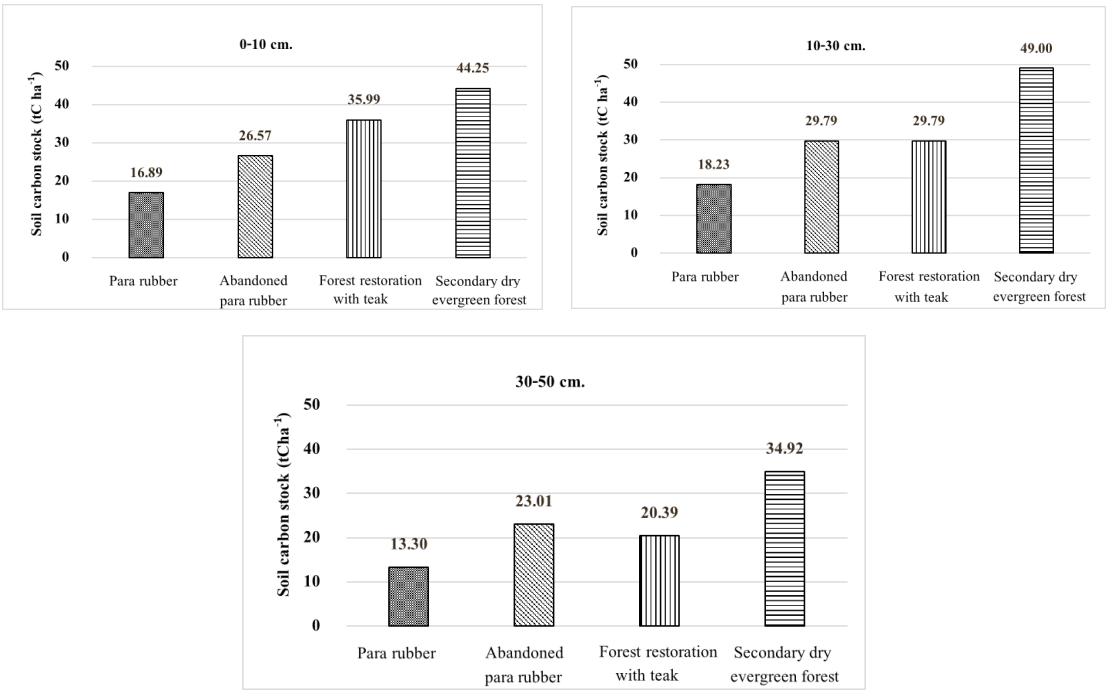


Figure 3 Soil carbon stock in various land use types at the Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในดินระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน และระหว่างความลึกของดินที่แตกต่างกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ดังนั้นการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือพืชพรรณปกคลุมดินที่แตกต่างกัน รวมทั้งความลึกของดินนั้น จะมีผลต่อปริมาณคาร์บอนในดิน (Table 5)

Table 5 Analysis of variance (ANOVA) for soil organic carbon among the different land use types and soil depths.

Soil organic carbon	F - value
different land use types	
0 - 10 cm.	75.403**
10 - 30 cm.	76.132**
30 - 50 cm.	60.681**
different soil depths	
para rubber	98.128**
abandoned para rubber	77.462**
forest restoration with teak	156.310**
secondary dry evergreen forest	133.193**

Remark: ** Significance level at probability < 0.01

2. การแปรผันของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

จากการศึกษาการแปรผันของคาร์บอนอินทรีย์ในดินในรอบปี พบว่า ที่ดินบนชั้นบน (0-10 ซม.) ของทุกรูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงสุดในเดือนธันวาคม และมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่ำสุดในเดือนมิถุนายน โดยในป่าดิบแล้งรุ่นสองมีค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมากที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่ยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่ยางพารา ตามลำดับ (Table 3 and Figure 4) โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมอยู่ที่ระดับความลึกดินบนมาก เนื่องจากมีการผุพังสลายตัวซากพืชซากสัตว์ ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในดินมากกว่าระดับความลึกดินที่ลึกลงไป โดยเฉพาะในดินป่าไม้ (Thompson and Troch, 1978) และในเดือนธันวาคมเป็นช่วงที่อินทรียวัตถุในดินมีการผุสลายตัวได้มากที่สุด ประกอบกับเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมเป็นช่วงเดือนที่มีฝนตกมาก ส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นในดินมาก เป็นอีกปัจจัยที่หนึ่งเอื้อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์เพื่อย่อยซากพืชในดินได้ดีขึ้น ประกอบกับภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินสูงขึ้นด้วย (Department of Soil Science, 1998; Irb, 2005; Brady and Weil, 2008; Hongxi *et al.*, 2016) ขณะที่ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่ำสุดในเดือนมิถุนายน เนื่องจากเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่ใบไม้ร่วงหล่นจำนวนมาก ประกอบกับเป็นช่วงที่พึ่งเข้าสู่ฤดูฝน ส่งผลทำให้กิจกรรมการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินยังมีไม่มากนัก เมื่อผ่านเดือนมิถุนายนปริมาณน้ำฝนตกในพื้นที่มีมากขึ้น ส่งผลทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นและเป็นปัจจัยที่ช่วยเร่งให้เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินและสะสมในเดือนถัดไป ในขณะที่ระดับความลึกดินบนชั้นล่าง (10-30 ซม.) และดินล่าง (30-50 ซม.) มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แปรผันในแต่ละเดือนแตกต่างกัน เพราะปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในระดับความลึกดินที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดจากการชะละลาย

ของน้ำจากระดับความลึกดินบนสู่ระดับความลึกดินล่าง สอดคล้องกับ Guo and Gifford (2002) นอกจากนี้ พบว่าที่ระดับความลึกดิน 0-10 เซนติเมตร ปริมาณคาร์บอนในดินของพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง พื้นที่ยางพาราทิ้งร้างและพื้นที่ยางพารา จะมีความแปรผันในรอบปีค่อนข้างน้อยกว่าพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก

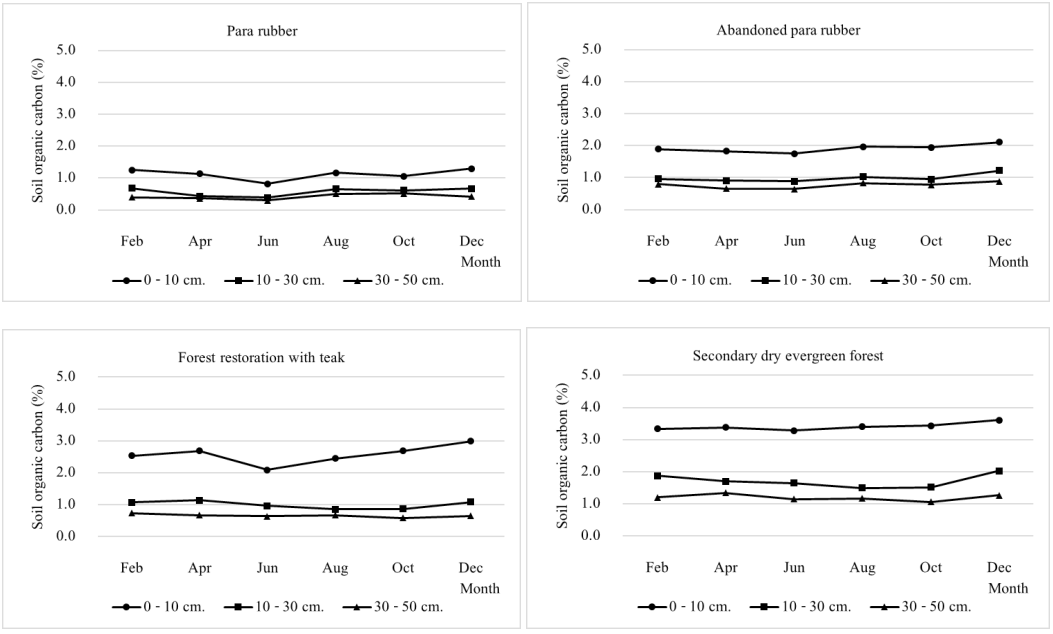


Figure 4 Variations of soil organic carbon in various land use types at the Huai-Hin-Dat subwatershed in Rayong province.

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติดินบางประการ

ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณความชื้นในดิน แต่มีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย ในขณะที่พื้นที่สวนยางพาราไม่มีความสัมพันธ์กัน (Table 6) นั่นคือเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เพราะความชื้นในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินสูง ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม หากมีความชื้นในดินที่สูงเกินหรือต่ำเกินไปอาจทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลง ในขณะที่ความหนาแน่นรวมของดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง กล่าวคือ เมื่อความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินจะลดลง เนื่องจากดินที่มีการอัดแน่นตัวดินสูง ส่งผลทำให้ความพรุนรวมของดินต่ำ การระบายน้ำและอากาศลดลง ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินลดลง ขณะเดียวกันการที่ดินมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพของเม็ดดินและความคงทนของเม็ดดิน ดังนั้น สมบัติของดินจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่เหมาะสม การระบายน้ำและอากาศในดินที่ดีที่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดิน โดยมีผลต่อกระบวนการหมุนเวียนของธาตุอาหารและเกิดการพัฒนาโครงสร้างของดินที่ดีอยู่ตลอดเวลา (De Blecourt *et al*., 2013; Duchicela *et al.*, 2013; Häring *et al.*, 2013; Hongxi *et al.*, 2016)

Table 6 Correlation between soil organic carbon and various soil properties.

Land use types	Pearson correlation coefficients; r	
	Soil properties	
	Soil moisture content (% by weight)	Bulk density (g/cm^3)
para rubber	0.088^{ns}	-0.360**
abandoned para rubber	0.476**	-0.674**
forest restoration with teak	0.352**	-0.674**
secondary dry evergreen forest	0.403**	-0.676**

Remarks: ** Significance level at probability < 0.01, ^{ns} Non significance

สรุป

ในพื้นที่ศึกษา เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ขณะที่พื้นที่สวนยางพาราที่ระดับความลึกดินดินบนชั้นบนเป็นดินทรายร่วน ที่มีค่าปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัด ยกเว้น ที่ระดับความลึกดินบนชั้นบนของป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักมีค่าปฏิกิริยาของดินปานกลาง โดยทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุมากที่สุดในระดับดินบนและลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มมากขึ้น ส่วนความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยมีค่าสูงสุดในพื้นที่สวนยางพารา รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้าง และป่าดิบแล้งรุ่นสอง โดยความหนาแน่นรวมของดินเฉลี่ยมีค่าต่ำสุดที่ดินชั้นบนและมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความความลึกของดินที่เพิ่มขึ้นในทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน สำหรับความชื้นในดินเฉลี่ยในทุกระดับความลึกดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง รองลงมาคือ พื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้าง พื้นที่สวนยางพารา และพื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สักตามลำดับ โดยค่าความชื้นในดินมีค่าสูงสุดที่ดินบนและลดลงตามความลึกดินที่เพิ่มขึ้น ความชื้นในดินมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคมและมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับการตกของฝนในพื้นที่ ปริมาณคาร์บอนในดิน พบว่า ปริมาณคาร์บอนสะสมมากที่สุดในพื้นที่ป่าดิบแล้งรุ่นสอง รองลงมาคือ พื้นที่ป่าฟื้นฟูด้วยไม้สัก พื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้าง และพื้นที่สวนยางพารา ตามลำดับ โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เฉลี่ยมีค่าสูงสุดที่ระดับดินบนและลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน อีกทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินและระดับความลึกดิน มีผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน นอกจากนี้ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นในดินแต่อยู่ในระดับน้อยในทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกเว้น ในพื้นที่สวนยางพาราที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นของดินในระดับปานกลาง

จะเห็นได้ว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยการใช้ที่ดินประเภทป่าไม้ส่งผลต่อสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินดีที่สุด ในขณะที่พื้นที่ฟื้นฟูด้วยไม้สักและพื้นที่สวนยางพาราทิ้งร้าง โดยรวมให้ผลที่ดีกว่าพื้นที่สวนยางพารา

คำนิยม

การศึกษาในครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง สำหรับความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ในดิน และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งเรือง พูลศิริ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์สมบัติดินด้านอื่น ๆ

REFERENCES

Benbi, D.K. and M. Chand. 2007. Quantifying the effect of soil organic matter on indigenous soil N supply and wheat productivity in semiarid sub-tropical India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 79: 103-112.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods.** 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Choi, M. and J.M. Jacobs. 2007. Soil moisture variability of root zone profiles within SMEX02 remote sensing footprints. **Advances in Water Resources** 30: 883-896.

Chunlei, Z., X. Jia, Y. Zhu and M. Shao. 2017. Long-term temporal variations of soil water content under different vegetation types in the Loess Plateau, China. **Catena** 158: 55-62.

De Blecourt, M., R. Brumme, J. Xu, M.D. Corre and E. Veldkamp. 2013. Soil carbon stock decrease following conversion of secondary forests to rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations. **PLoS One** 8: 69357.

Department of Soil Science. 1998. **Introduction to Soil Science**. 9th ed. Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok.

Dokpikul, V. 2012. **Estimation of Soil Loss and Soil Organic Carbon Content in Different Vetiver Experimental Plots at Vetiver Usage for Forest Development and Campaign Demonstration Center Unit 2, Sukhothai Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University.

Duchicela, J., S.T. Sullian, E. Bontti and J.D. Bever. 2013. Soil aggregate stability increase is strongly related to fungal community succession along an abandoned agricultural field chronosequence in the Bolivian Altiplano. **Journal of Applied Ecology** 50: 1266-1273.

Franzluebbers, A.J. 2010. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern United States. **Soil Science Society of America Journal** 74: 347-357.

Gao, L., M.A. Shao X.H. Peng and D.L. She. 2015. Spatial-temporal variability and temporal stability of water contents distributed within soil profiles at a hillslope scale. **Catena** 132: 29-36.

Gardner, W.H. 1986. Water content, pp. 1-21. *In* A. Klut, ed. **Method of Soil Analysis. Part 1 Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Guo, L.B. and R.M. Gifford. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. **Global Change Biology** 8: 345-360.

Guoce, X., T. Zhang, Z. Li, P. Li, Y. Cheng and S. Cheng. 2017. Temporal and spatial characteristics of soil water content in diverse soil layers on land terraces of the Loess Plateau, China. **Catena** 158: 20-29.

Häring, V., H. Fischer, G. Cadisch and K. Stahr. 2013. Implication of erosion on the assessment of decomposition and humification of soil organic carbon after land use change in tropical agricultural system. **Soil Biology and Biochemistry** 65: 158-167.

Hongxi, L., S. Blagodatsky, M. Giese, F. Liu, J. Xu and G. Cadisch. 2016. Impact of herbicide

application on soil erosion and induced carbon loss in a rubber plantation of Southwest China. **Catena** 145: 180-192.

Hudson, J.M., S.A. Gherini and R.A. Goldstein. 1994. Modelling the global carbon cycle: nitrogen fertilization of the terrestrial biosphere and the "missing" CO_2 sink. **Global Biogeochemical Cycles** 8: 307-333.

Jacobs, G.K., R.C. Dahlman and F.B. Metting. 2001. Carbon sequestration in terrestrial ecosystems: A status report on R&D Progress. *In* **Proceedings of the First National Conference on Carbon Sequestration**. Washington, D.C.

Jury, W.A., W.R. Gardner and W.H. Gardner. 1991. **Soil Physics**. 5th ed. John willey & Sons, Inc., New York.

Kheoruenromne, I. 2005. **Soil Survey**. 2nd ed. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok.

Lal, R. 1999. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. **Progress in Environmental Science** 1(4): 307-326.

Mena, M.M., J. Lopez, M. Almagro, C.B. Fayos and J. Albaladejo. 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. **Soil and Tillage Research** 99: 119-129.

Rasool, R., S.S. Kukul and G.S. Hira. 2008. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize–wheat system. **Soil and Tillage Research** 101: 31-36.

Sripo, P. 2011. **Efficiency of Vetiver in Preventing Soil Loss and Soil Carbon Storage at Vetiver Usage for Forest Development and Campaingn Demonstration Center Unit 2, Sukhothai Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University.

Thompson, L.M. and F.R. Troch. 1978. **Soil and Soil Fertility**. 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.

Undawatta, R.P., S.H. Anderson, C.J. Gantzer and H.E. Garrett. 2008. Influence of prairie restoration on CT-measured soil pore characteristics. **Journal of Environmental Quality** 37: 219-228.

Walkley, A. and I.A. Black. 1947. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil. Sci.** 37: 29-38.

Wright, J.T., G.W. Marcy, D.A. Fischer, R.P. Butler, S.S. Vogt, C.G. Tinney, H.R. Jones, B.D. Carter, J.A. Johnson, C. McCarthy and K. Apps. 2007. Four new exoplanets and hints of additional substellar companions to exoplanet host stars. **The Astrophysical Journal** 657: 533-545.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ปัจจัยที่มีผลต่อประเภทและปริมาณขยะจากการท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

Factors Affecting to Types and Quantities of Solid Wastes from Tourism in Kaeng Krachan National Park

พันธกานต์ มีผล[1]
มานะ เพิ่มพูล[2]
จิราภรณ์ เทียมพันธ์พงศ์[1*]

Panthakan Meephol [1]
Mana Permphool [2]
Jiraporn Teampanpong[1*]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
[2]อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ
Kaeng Krachan National Park, Department of National Parks, Plants, and Wildlife Conservation of Thailand, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
[*]Corresponding Author, Email:

รับต้นฉบับ 4 มีนาคม 2562 **รับแก้ไข** 2 เมษายน 2562 **รับลงพิมพ์** 9 เมษายน 2562

ABSTRACT

Solid waste in nature-based tourist sites is increasing at an alarming pace. Its mismanagement can affect the health of the ecosystem and the quality of tourist experiences. This research studied the types, quantities and factors relating to the quantities of each type of solid waste in the Kaeng Krachan National Park (KKNP). The study was done between July and December 2018, covering both low and high tourist seasons, weekdays and holidays at three dumping sites in Bankrang and Samyod ranger stations and the visitor center. Tourists were the most critical sources of solid waste. Waste collection was good but the separation process at Samyod and the food waste disposal process at all sites needs to be improved. At least 36 wildlife species searched for food at the dumping sites. The solid waste generated in KKNP was 38.10±8.15 kg/day with the majority of food waste (42.99%) and plastics (20.93%). Other types of solid wastes shared less than 10% of the total weight. The rate of solid waste generation by tourists was 0.43±0.18 kg/capita/day. Overall, the quantity of total solid waste, food wastes, and plastics were significantly different between weekdays-holidays ($p<0.001$), low-high tourist seasons ($p<0.001$) and tourist sites ($p<0.001$). Moreover, the number of overnignt and day tourists, significantly influenced the quantity of food waste, can, glass, tissue paper and total solid waste ($p<0.001$). However, only overnight tourists significantly affected the quantity of plastic bottles, paper and plastics ($p<0.001$). This finding provides crucial information that recommends the KKNP to devise a solid waste management plan based on different tourist seasons, day types and tourist sites. Effective solid

waste management and campaigns for promoting separation and reduction of solid waste are worth investing over the long-term to help KKNP achieve the status of a Green National Park.

Keywords: solid wastes, food wastes, tourism, wildlife, Kaeng Krachan National Park

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะในแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความสมบูรณ์ของระบบนิเวศและประสบการณ์ท่องเที่ยว งานวิจัยนี้ศึกษาประเภท ปริมาณ และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณขยะในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน เก็บข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2561 ครอบคลุมฤดูเปิดและปิดการท่องเที่ยว วันธรรมดาและวันหยุด ในที่ทิ้งขยะของหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติบ้านกร่าง และด่านสามยอด และที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ พบว่า นักท่องเที่ยวเป็นแหล่งกำเนิดขยะที่สำคัญที่สุด มีการรวบรวมขยะในระดับดี แต่ควรปรับปรุงการคัดแยกขยะของด่านสามยอด และการกำจัดขยะโดยเฉพาะเศษอาหารในทุกพื้นที่ เพราะพบสัตว์ป่าที่ใช้พื้นที่ทิ้งขยะอย่างน้อย 36 ชนิด ผลการศึกษายังพบมีขยะเกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานเฉลี่ย 38.10±8.15 กิโลกรัม/วัน ส่วนใหญ่เป็นเศษอาหารร้อยละ 42.99 และเศษพลาสติกร้อยละ 20.93 ส่วนขยะอื่นพบน้อยกว่าร้อยละ 10 ของขยะทั้งหมด นักท่องเที่ยวก่อให้เกิดขยะเฉลี่ย 0.43±0.18 กิโลกรัม/คน/วัน ปริมาณขยะทั้งหมด เศษอาหาร และพลาสติกมีความแตกต่างกันระหว่างประเภทวัน ($p<0.001$) ฤดูเปิด-ปิดการท่องเที่ยว ($p<0.001$) และพื้นที่ทิ้งขยะ ($p<0.001$) จำนวนของนักท่องเที่ยวพักแรมและไป-กลับ มีอิทธิพลต่อปริมาณเศษอาหาร กระป๋อง แก้ว กระดาษทิชชู่และขยะทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) ส่วนปริมาณขวดน้ำพลาสติก กระดาษและพลาสติก ได้รับอิทธิพลจากจำนวนของนักท่องเที่ยวพักแรมอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.001$) อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานต้องการแผนจัดการขยะที่เหมาะสมตามฤดูการท่องเที่ยว ประเภทวัน และพื้นที่ และควรลงทุนระบบจัดการขยะและส่งเสริมให้นักท่องเที่ยวคัดแยกและลดการสร้างขยะ เพื่อนำไปสู่การเป็นอุทยานแห่งชาติสีเขียว

คำสำคัญ: ขยะ เศษอาหาร การท่องเที่ยว สัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

คำนำ

อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีชื่อเสียงของประเทศไทย โดยเฉพาะบ้านกร่างและเขาพะเนินทุ่งที่เป็นสวรรค์ของนักดูนกและนักนิยมธรรมชาติที่ต้องการสัมผัสทะเลหมอกนำมาซึ่งปัญหาขยะจากการท่องเที่ยวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ Chatuworaphat (2008) รายงานว่า นักท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานสร้างขยะมากถึง 11,076 กิโลกรัมต่อเดือน หรือเฉลี่ยประมาณ 0.31 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน จากจำนวนนักท่องเที่ยว 116,167 คนในปีงบประมาณ 2561 ซึ่งอุทยานแห่งชาติของประเทศไทย มีระบบการจัดการขยะตั้งแต่การรวบรวม คัดแยก และการกำจัด แต่อาจประสบปัญหาการกำจัดขยะอย่างมีประสิทธิภาพในช่วงที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ส่งผลสืบเนื่องไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษและทัศนอุจาดเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบทางอ้อมต่อความอุดมสมบูรณ์ทางนิเวศ เช่น ขยะที่ปนเปื้อนในระบบนิเวศ เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศ (Hammitt *et al.,* 2015) ส่งผลให้สัตว์ป่าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ (Chairat, 2015) สัตว์ป่าคุ้นเคยกับคน (Hammitt *et al.,* 2015) และอาจทำให้สัตว์ป่าตายจากการกินขยะ (Plaza and Lambertucci, 2017)

งานวิจัยนี้ศึกษาประเภท ปริมาณ และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณขยะแต่ละประเภท โดยมีสมมติฐาน คือ 1) ปริมาณขยะแต่ละประเภทแตกต่างกันระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ฤดูการท่องเที่ยว และพื้นที่ท่องเที่ยว 2) จำนวนนักท่องเที่ยวส่งผลต่อปริมาณขยะ นอกจากนี้ ได้รายงานชนิดและความชุกชุมสัมพัทธ์ของสัตว์ป่าที่ใช้พื้นที่ทิ้งขยะเบื้องต้น ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลสำคัญในการเสนอแนะแนวทางการจัดการขยะของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานให้มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน และลดผลกระทบต่อระบบนิเวศและสัตว์ป่า เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นอุทยานแห่งชาติสีเขียว

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลประเภทและปริมาณขยะเป็นกิโลกรัมระหว่างเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2561 จากพื้นที่ทิ้งขยะ 3 แห่ง ได้แก่ ที่ทิ้งขยะบริเวณที่ทำการอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ กจ. 2 (ด่านสามยอด) และ กจ. 4 (บ้านกร่าง) ทั้ง 3 พื้นที่มีแหล่งกำเนิดของขยะมาจากนักท่องเที่ยวทั้งที่เป็นกลุ่มพักแรมและไป-กลับของที่ทำการอุทยานแห่งชาติและหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติที่ กจ. 4 (บ้านกร่าง) ขณะที่หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติที่ กจ. 2 (เขาสามยอด) หรือด่านสามยอดนั้น ไม่มีกิจกรรมท่องเที่ยว อีกทั้งมีการปิดการท่องเที่ยวบนเขาพะเนินทุ่งในระหว่างที่ทำการศึกษา ดังนั้นระหว่างการศึกษาด่านสามยอดจึงเป็นเพียงพื้นที่รวบรวมขยะจากหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ กจ. 4 (บ้านกร่าง)

การสุ่มตัวอย่างขยะ

ผู้วิจัยสุ่มเก็บตัวอย่างขยะในพื้นที่ทิ้งขยะแต่ละแห่งอย่างง่าย (simple random sampling) ครอบคลุมทั้งวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) และวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์) (Puangthongkae, 2015) และทั้งฤดูเปิด (1 พฤศจิกายน – 31 กรกฎาคม) และฤดูปิดการท่องเที่ยว (1 สิงหาคม – 31 ตุลาคม) (DNP, 2017) เพื่อให้ได้จำนวนวันธรรมดาและวันหยุดเท่ากันในแต่ละฤดูการท่องเที่ยวของแต่ละพื้นที่ทิ้งขยะ แล้วคัดแยกขยะเป็น 10 ประเภท ได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ ขวดน้ำพลาสติก กระดาษ กระป๋อง เศษพลาสติก โลหะ ไม้ กระดาษทิชชู่ และกล่องโฟม ตาม Puangthongkae (2015) แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งเป็นกิโลกรัมมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

การตั้งกล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าบริเวณที่ทิ้งขยะ

ผู้วิจัยตั้งกล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าบริเวณที่ทิ้งขยะของหน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ กจ. 4 (บ้านกร่าง) 167 วัน หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติ กจ. 2 (เขาสามยอด) 216 วัน และ ที่ทำการอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน 233 วัน เพื่อสำรวจชนิดของสัตว์ป่าที่ใช้พื้นที่ทิ้งขยะ รวมทั้งวิเคราะห์ความชุกชุมสัมพัทธ์ของสัตว์ป่าตาม Pettingill (1970) ดังนี้

$$\frac{\text{จำนวนวันที่พบสัตว์ป่า}}{\text{จำนวนวันที่สำรวจทั้งหมด}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (±s.e.) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (SD) และร้อยละ (%) เพื่ออธิบายปริมาณโดยน้ำหนักของขยะ และจำนวนนักท่องเที่ยว ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสามทาง (Three-Way ANOVA) อธิบายความแตกต่างของปริมาณขยะตามประเภทวัน พื้นที่ทิ้งขยะและฤดูการท่องเที่ยว และปฏิสัมพันธ์ระหว่างทั้ง 3 ปัจจัย รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของจำนวนนักท่องเที่ยวต่อปริมาณของขยะ โดยการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (multiple linear regression) โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS 20.0

ผลและวิจารณ์

ลักษณะของพื้นที่ทิ้งขยะในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

1. หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติที่ กจ. 4 (บ้านกร่าง) เปิดให้นักท่องเที่ยวเข้าระหว่างเดือนพฤศจิกายน - กรกฎาคมของทุกปี ขยะที่เกิดขึ้นมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากนักท่องเที่ยว และขยะส่วนน้อยมาจากเจ้าหน้าที่ประจำหน่วย และร้านอาหารรวมประมาณ 1.13±0.24 กิโลกรัม/วัน (SD = 0.86) เท่านั้น ในฤดูปิดการท่องเที่ยว บริเวณร้านอาหารมีการจัดถังขยะสำหรับขยะทั่วไป กระดาษ พลาสติก และขวดน้ำพลาสติกให้นักท่องเที่ยว โดยเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยทำหน้าที่จัดการขยะ จนกระทั่งเดือนพฤศจิกายน จึงมีโครงการขยะคืนถิ่นให้นักท่องเที่ยวนำขยะไปทิ้งที่ด่านเขาสามยอดหรือที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ โดยยังคงตั้งถังแยกขยะสำหรับขวดพลาสติกและขวดแก้วเพื่อนำไปขาย ส่วนขยะทั่วไปนำไปกำจัดรวมกับที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ส่วนเศษอาหารนำไปทิ้งบริเวณขอบป่าที่ลาดลงสู่ลำธารด้านหลังครัว ซึ่งมีสัตว์ป่าไม่น้อยกว่า 15 ชนิดเข้ามากินขยะเป็นอาหาร เป็นสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยน้ำนม 8 ชนิด นก 4 ชนิด และสัตว์เลื้อยคลาน 3 ชนิด โดยสัตว์ป่าที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์สูงสุด 5 ลำดับ คือ เม่นใหญ่ (*Hystrix brachyura*: 68.26) สุนัขจิ้งจอก (*Canis aureus*: 19.76) ยางกรอกพันธุ์จีน (*Ardeola bacchus*: 15.57) และหนู (Muridae: 9.58) หมีหมา (*Helarctos malayanus*: 9.58) และเหี้ย (*Varanus salvator*: 9.58) ซึ่งมีความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากัน

2. หน่วยพิทักษ์อุทยานแห่งชาติที่ กจ. 2 (เขาสามยอด) หรือด่านสามยอด เป็นด่านควบคุมจำนวนนักท่องเที่ยวที่เดินทางไปบ้านกร่าง-พะเนินทุ่ง มีบ่อปูนขนาด 1×2×1.2 เมตร ต่อกัน 3 บ่อ บริเวณด่านขาออกเพื่อรวบรวมขยะจากนักท่องเที่ยวเป็นหลัก แต่มีขยะที่เกิดจากเจ้าหน้าที่ประจำด่านและชาวบ้านใกล้เคียงประมาณ 4.73±1.10 (SD = 4.15) กิโลกรัม/วัน ในช่วงที่ไม่มีนักท่องเที่ยว

การจัดการขยะที่ด่านสามยอดดำเนินการโดยชาวบ้านที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง คัดแยกขวดแก้ว กระป๋อง และขวดน้ำพลาสติกไปขาย ส่วนขยะที่เหลือรวมทั้งเศษอาหารถูกนำไปทิ้งแบบเทกองและเผาในแนวป่าห่างไปประมาณ 50 เมตรซึ่งในเดือนพฤศจิกายนมีการขุดหลุมขยะขนาดประมาณ 2×2×2 เมตร เพื่อเทกองและเผา แต่ยังคงพบเศษขยะที่เผาไม่หมดกระจัดกระจายรอบบ่อขยะ และพบสัตว์เข้ามาหากินขยะอย่างน้อย 10 ชนิด เป็นสัตว์ป่าเลี้ยงลูกด้วยน้ำนม นก และสัตว์เลื้อยคลาน 5, 3 และ 2 ชนิด ตามลำดับ โดยชนิดที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์มาก 5 ลำดับแรก คือ แมวบ้าน (12.50) สุนัขบ้าน (11.11) และ นกกางเขนดง (*Copsychus malabaricus*: 0.93) นกกระปูดใหญ่ (*Centropus sinensis*: 0.93) และนกเอี้ยงสาลิกา (*Acridotheres tristis*: 0.93) ซึ่งมีความชุกชุมสัมพัทธ์เท่ากัน

3. ที่ทำการอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีเจ้าหน้าที่ 4 คนรวบรวมและคัดแยกขยะอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง แต่ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวมากจะรวบรวมขยะวันละ 2 ครั้ง โดยใช้รถกระบะขนาดเล็ก ระหว่าง 07.00 – 09.00 น. จากลานกางเต็นท์ บ้านพักนักท่องเที่ยว และที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ในช่วงที่ไม่มีนักท่องเที่ยวมีปริมาณขยะทั้งหมดเฉลี่ยทั้งหมดประมาณ 55.13±5.26 (SD = 18.22) กิโลกรัม/วัน

ขยะที่รวบรวมได้ถูกนำมาคัดแยกที่โรงแยกขยะเพื่อนำขยะคุณภาพดี เช่น ขวดน้ำพลาสติก แก้ว กระป๋อง และโลหะ ไปขาย ส่วนพลาสติก โฟม กระดาษ นำไปเผาในเตา และเศษอาหารนำไปเทกองในบ่อที่มีน้ำขังซึ่งพบขยะอันตรายปะปน เช่น หลอดไฟ แบตเตอรี่ ส่วนสัตว์ป่าที่เข้ามาใช้พื้นที่ทิ้งขยะเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งกินเป็นอาหารพบอย่างน้อย 23 ชนิด เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม นกและสัตว์เลื้อยคลาน 8, 14 และ 1 ชนิด ตามลำดับ โดย 5 ชนิดแรก ที่มีความชุกชุมสัมพัทธ์มาก คือ นกยางควาย (*Bubulcus coromandus*: 52.77) นกเขาใหญ่ (*Streptopelia chinensis*: 41.20)

สุนัขบ้าน (39.06) วัวบ้าน (31.33) และนกกระปูดใหญ่ (*C. sinensis*: 25.32)

ในภาพรวมพบสัตว์ป่าเข้ามาใช้พื้นที่ทิ้งขยะทั้ง 3 แห่งไม่น้อยกว่า 36 ชนิด จำแนกเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมากที่สุดรวม 16 ชนิด รองลงมาคือ นก 15 ชนิด และสัตว์เลื้อยคลาน 5 ชนิด และจะเห็นได้ว่าที่ทิ้งขยะบริเวณด่านสามยอดพบสัตว์ป่าน้อยชนิดที่สุด มีความชุกชุมสัมพัทธ์น้อยที่สุด ส่วนใหญ่เป็นสัตว์เลี้ยงและพบมีสัตว์ป่าคุ้ยเขี่ยหรือกินขยะเป็นอาหารน้อย

ประเภทและปริมาณขยะในแหล่งท่องเที่ยวของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

พบขยะในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน เฉลี่ย 38.10±8.15 กิโลกรัม/วัน (SD = 69.19) เฉลี่ย 0.43±0.18 (SD = 1.49) กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ซึ่งสูงกว่าที่ Chatuworaphat (2008) รายงานไว้เล็กน้อยที่ 0.31 กิโลกรัม/คน/วัน จากขยะทั้งหมด 10 ประเภท พบเศษอาหารมากที่สุด (ร้อยละ 42.99) รองลงมาคือ พลาสติก (ร้อยละ 20.93) ส่วนขยะประเภทอื่นมีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 ของขยะทั้งหมด ดัง Figure 1

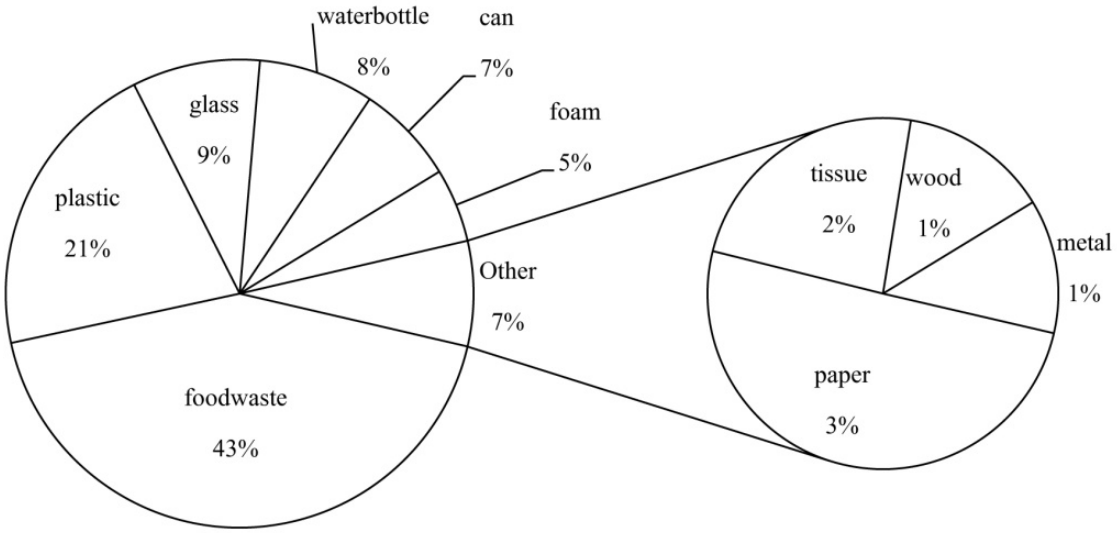


Figure 1 The breakdown of solid waste found at 3 tourist sites in the Kaeng Krachan National Park.

ที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ มีปริมาณขยะทั้งหมด (กิโลกรัม/วัน) มากที่สุดเฉลี่ย 97.55±19.42 (SD = 95.14) รองลงมาคือ ด่านเขาสามยอด (12.49±2.40: SD = 11.78) และบ้านกร่าง (4.25±0.86: SD = 4.21)

ที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ มีขยะทั้งหมดมากกว่าด่านเขาสามยอด และบ้านกร่าง 7.81 และ 22.97 เท่า ตามลำดับ ส่วนด่านสามยอดมีขยะทั้งหมดมากกว่าบ้านกร่าง 2.94 เท่า สัดส่วนโดยมีปริมาณขยะที่พบมาก 3 ลำดับแรก ในที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ คือ เศษอาหาร พลาสติกและโฟม พบในปริมาณที่มากกว่าบ้านกร่าง 36.34, 26.01 และ 127.17 เท่าตามลำดับ ขณะที่เศษอาหาร พลาสติก และแก้ว มีปริมาณมากกว่าด่านสามยอด 11.94, 11.77, และ 10.47 เท่า ตามลำดับ ส่วนด่านสามยอดพบกระป๋อง เศษอาหาร และกระดาษมากกว่าบ้านกร่าง 4.43, 3.04, และ 2.89 เท่า ตามลำดับ (Figure 2)

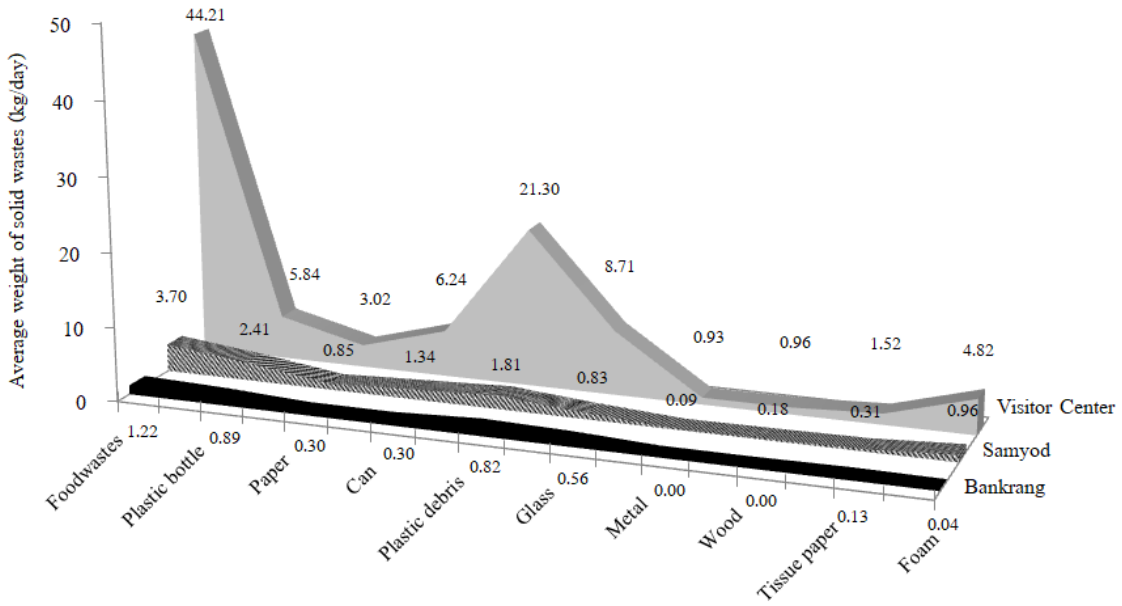


Figure 2 Comparing the weight of each type of solid waste per day among various sites.

ในภาพรวมขยะที่เกิดขึ้นในพื้นที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานอยู่ในระดับที่จัดการได้โดยเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยพิทักษ์ฯ เพราะมีระบบการรวบรวมขยะที่ดี แต่ระบบการคัดแยกขยะควรปรับปรุง เพราะขาดการประชาสัมพันธ์ให้นักท่องเที่ยวในบ้านกร่าง แยกขยะก่อนนำไปทิ้งที่บ่อรวบรวมขยะด่านสามยอดตามโครงการขยะคืนถิ่น ทั้งนี้เพื่อให้ชาวบ้านที่ทำหน้าที่คัดแยกขยะที่ด่านสามยอดสามารถแยกขยะคุณภาพดีออกจากเศษอาหารให้ได้มากที่สุด รวมทั้งปรับปรุงระบบการกำจัดขยะในทุกพื้นที่ เนื่องจากมีการกำจัดขยะ แต่พื้นที่กำจัดขยะยังไม่เหมาะสมเพราะอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ซึ่ง Pollution Control Department (2004) ได้เสนอแนะลักษณะของพื้นที่ทิ้งขยะที่ดีต้องตั้งอยู่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติไม่น้อยกว่า 300 เมตร ไม่มีน้ำท่วมขัง และมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก นอกจากนี้ควรจัดการอบรมเจ้าหน้าที่ในการคัดแยกและกำจัดขยะอันตรายให้ถูกวิธี เพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศทั้งบนบกและในน้ำจากขยะอันตราย (Manfredi *et al.*, 2010) นอกจากนี้ควรเลือกพื้นที่ซึ่งไม่มีสัตว์ป่าชุกชุมเพื่อลดปัญหาสัตว์ป่ากินขยะ (Katlam *et al.*, 2018) หากมีงบประมาณลงทุน ควรพัฒนาบ่อหมักขยะเพื่อกำจัดเศษอาหารให้กลายเป็นปุ๋ยหรือน้ำหมักชีวภาพ แทนการเทกองแบบเปิด (open dump) เพื่อลดปัญหาทางสุขาภิบาล เพราะระบบเทกองและการเผานั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ (Thompson *et al.*, 2009)

ประเภทและปริมาณขยะระหว่างฤดูปิดและเปิดการท่องเที่ยว และวันธรรมดากับวันหยุด

ขยะที่เกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานเป็นกิโลกรัม/วัน ในช่วงเปิด (80.11±21.24: SD = 104.03) มีมากกว่าช่วงปิดฤดูท่องเที่ยว (29.93±5.88: SD = 28.80) โดยพบขยะเกิดในช่วงเปิดการท่องเที่ยวของที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ด่านสามยอด และบ้านกร่างมีปริมาณ 139.98±34.97 (SD = 121.11), 20.25±3.43 (SD = 11.89), และ 7.36±1.10 (SD = 3) กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ส่วนช่วงปิดการท่องเที่ยวพบขยะในที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ด่านสามยอด และบ้านกร่าง 55.13±5.26 (SD = 18.22),

4.73±1.20 (SD = 4.15) และบ้านกร่าง 1.13±0.24 (SD = 0.82) กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบขยะเฉลี่ยในวันธรรมดาเป็นกิโลกรัมต่อวัน 22.42±4.56 (SD = 27.36) น้อยกว่าวันหยุด (53.78±15.33: SD = 91.96) ปริมาณขยะในวันหยุดของที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ด่านสามยอด และบ้านกร่างเท่ากับ 141.45±34.32 (SD = 118.87), 14.00±3.37, (SD = 11.67) และ 5.88±1.49 (SD =5.14) กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าวันธรรมดาทั้งในที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ด่านสามยอด และบ้านกร่าง ซึ่งเท่ากับ 53.66±7.03 (SD =24.35), 10.98±3.52 (SD = 12.20) และ 2.61± 0.63 (SD = 2.20) กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ และปริมาณขยะต่อวันมีการแปรผันสูงในทั้ง 3 พื้นที่

ความแตกต่างของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในประเภทวัน ฤดูการท่องเที่ยว และพื้นที่ท่องเที่ยวที่แตกต่างกัน

ปริมาณขยะทั้งหมด ขยะเศษอาหาร และพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามประเภทวันธรรมดา-วันหยุด ($p<0.001$) ฤดูการท่องเที่ยว ($p<0.001$) และพื้นที่ท่องเที่ยว ($p<0.001$) ดัง Table 1 และพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทวันและฤดูการท่องเที่ยว ($p = 0.040$) ต่อปริมาณขยะทั้งหมด ด้วย ส่วนเศษอาหารและเศษพลาสติกซึ่งพบในสัดส่วนมากและเป็นภาระในการกำจัดของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานนั้น มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยต่าง ๆ ยกเว้น ฤดูการท่องเที่ยวกับพื้นที่ ($p = 0.987$) ต่อปริมาณเศษอาหาร ซึ่งแตกต่างจากขยะพลาสติกที่พบปฏิสัมพันธ์เฉพาะฤดูการท่องเที่ยวกับพื้นที่ ($p = 0.020$)

Table 1 The relationship among types of day, tourist sites, and tourist season and their interaction on average weight of solid waste per day (kilograms) in the Kaeng Krachan National Park.

Types of Solid Wastes	R^2	Adjusted R^2	df	Mean square	F	Sig
Total solid wastes						
Day types (weekday and holiday)	0.860	0.836	1	0.591	12.029	0.001
Tourist sites			2	8.880	180.628	0.000
Tourist season			1	2.049	41.674	0.000
Day types × Tourist sites			2	0.177	3.598	0.065
Day types × Tourist season			1	0.222	4.514	0.040
Tourist season × Tourist sites			2	0.185	3.756	0.060
Day types × Tourist season × Tourist sites			2	0.015	0.303	0.585
Food wastes						
Day types (weekday and holiday)	0.896	0.878	1	6.394	33.500	0.000
Tourist sites			2	45.277	237.217	0.000
Tourist season			1	7.265	38.063	0.000
Day types × Tourist sites			2	3.576	18.734	0.000
Day types × Tourist season			1	1.931	10.118	0.003
Tourist season × Tourist sites			2	5.035E-005	0.000	0.987
Day types × Tourist season × Tourist sites			2	1.676	8.779	0.005
Plastic debris						
Day types (weekday and holiday)	0.878	0.856	1	0.144	11.825	0.001
Tourist sites			2	2.110	173.027	0.000
Tourist season			1	0.758	62.180	0.000
Day types × Tourist sites			2	0.001	0.111	0.895
Day types × Tourist season			1	0.000	0.014	0.906
Tourist season × Tourist sites			2	0.051	4.182	0.020
Day types × Tourist season × Tourist sites			2	0.017	1.360	0.265

จำนวนของนักท่องเที่ยวในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

การศึกษาส่วนนี้รายงานจำนวนนักท่องเที่ยวเฉพาะในที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ และบ้านกร่าง เพราะด่านเขาสามยอดไม่มีกิจกรรมการท่องเที่ยวและระหว่างการศึกษามีการปิดเขาพะเนินทุ่ง จากการศึกษาพบว่า ที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ มีจำนวนนักท่องเที่ยวมากกว่าบ้านกร่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งกลุ่มนักท่องเที่ยวพักค้างแรม ไป-กลับ และนักท่องเที่ยวทั้งหมด และพบจำนวนนักท่องเที่ยวมีความแตกต่างระหว่างฤดูเปิดและปิดการท่องเที่ยว ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ($p>0.05$) ดัง Table 2

Table 2 The average number of tourists per day classified based on service areas, day types and seasons.

Factors	Statistics	Overnight stay	Daytrip	Total
Site				
- Ban Krang (n = 48)	$\bar{x}$±SE	8.33±1.91	20.40±3.82	28.73±5.42
Visitor center (n = 24)	$\bar{x}$±SE	89.58±31.31	118.96±27.42	208.54±48.62
T-Test	T_{70}, p	-2.404, 0.019	-4.298, p =0.000	-5.908, p =0.000
Day types				
-Holiday (n = 36)	$\bar{x}$±SE	59.58±21.77	62.61±19.34	122.19±35.98
- Weekday (n = 36)	$\bar{x}$±SE	11.25±3.55	43.89±9.99	55.14±11.84
T-Test	T_{70}, p	-0.561, p =0.577	-0.860, p =0.393	-1.399, p =0.161
Tourist seasons				
- Open (Jul, Nov- Dec: N = 36)	$\bar{x}$±SE	68.22±21.36	77.94±19.06	146.17±34.79
- Close(Aug – Oct: N = 36)	$\bar{x}$±SE	2.61±1.45	28.56±8.99	31.167±9.98
T-test	T_{70}	11.067, p =0.000	2.344, p =0.022	5.538, p = 0.000

นอกจากนี้จำนวนของนักท่องเที่ยวทั้งกลุ่มที่พักค้างแรมและไป-กลับ มีอิทธิพลต่อปริมาณขยะเศษอาหาร กระป๋อง แก้ว กระดาษทิชชู่ และขยะทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) แม้จะอยู่ในระดับน้อย- ปานกลางก็ตาม ขณะที่จำนวนของนักท่องเที่ยวกลุ่มพักแรมมีอิทธิพลต่อการเกิดขยะขวดน้ำพลาสติก กระดาษและพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) แต่จำนวนนักท่องเที่ยวกลุ่มไป-กลับ ไม่มีอิทธิพลต่อขยะทั้ง 3 ประเภทนี้ ผลการศึกษาส่วนนี้จึงแสดงให้เห็นว่า นักท่องเที่ยวกลุ่มพักแรม มีส่วนสำคัญต่อการเกิดขยะประเภทต่าง ๆ ในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ดัง Table 3

จะเห็นได้ว่าทั้งประเภทวัน พื้นที่ท่องเที่ยว และฤดูการท่องเที่ยวมีผลต่อปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน โดยวันหยุดนั้นก่อให้เกิดขยะมากกว่าวันธรรมดา ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากจำนวนนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Puangthongkae (2015) และ Phaibonsombut (2003) อันเนื่องมาจากจำนวนนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น

ฤดูการท่องเที่ยวเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดขยะในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Manfredi *et al.* (2010) ที่พบว่า การเกิดของขยะในอุทยานแห่งชาติ Sagarmatha ในประเทศเนปาลนั้น ไม่สม่ำเสมอในรอบปี แต่แปรผันไปตามฤดูการท่องเที่ยว ดังนั้นอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานควรกำหนดจำนวนนักท่องเที่ยวในแต่ละพื้นที่ท่องเที่ยวให้สอดคล้องกับความสามารถในการจัดการขยะของพื้นที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งตามประเภทวัน และฤดูการท่องเที่ยวด้วย

นักท่องเที่ยวกลุ่มพักค้าง ก่อให้เกิดขยะประเภทเศษอาหาร กระป๋อง แก้ว กระดาษทิชชู่ มากกว่ากลุ่มที่เดินทางไป-กลับนั้นอาจจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากนักท่องเที่ยวพักค้างในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีการประกอบอาหารระหว่างการพักค้างแรม จึงมีการนำอาหารสด อาหารกระป๋อง และเครื่องดื่มเข้ามาด้วย และการประกอบอาหารทำให้มีการใช้กระดาษทิชชู่ทำความสะอาดพื้นที่พักแรมมากขึ้น จึงเกิดขยะประเภทดังกล่าวและขยะรวมทั้งหมดเพิ่มมากกว่ากลุ่มนักท่องเที่ยวที่เดินทางไป-กลับ

Table 3 Influence of the number of tourists on the quantity of solid waste, using multiple linear regression.

Wastes	Variables	B	B.SE	β	t	sig	R^2	Adj. R^2	F	df	p
Total wastes	Constant	1.207	0.13		9.3	0.000					
	Overnight	0.648	0.14	0.229	4.553	0.000	0.451	0.435	28.356	2,69	0.000
	Daytrip	0.038	0.02	0.508	2.051	0.044					
Food waste	Constant	0.628	0.23		2.795	0.007					
	Overnight	0.754	0.25	0.367	3.058	0.003	0.367	0.349	20.008	2,69	0.000
	Daytrip	0.083	0.03	0.31	2.583	0.012					
Plastic bottle	Constant	0.937	0.14		0.6878	0.000	0.437	0.428	46.616	1,60	0.000
	Overnight	0.767	0.11	0.661	0.6828	0.000					
Paper	Constant	0.715	0.12		6.082	0.000	0.318	0.326	25.22	1,54	0.000
	Overnight	0.464	0.09	0.564	5.022	0.000					
Can	Constant	1.522	0.28		5.525	0.000					
	Overnight	0.692	0.17	0.528	3.982	0.000	0.274	0.243	8.696	2,46	0.001
	Daytrip	-0.239	0.1	-0.326	-2.46	0.018					
Plastic	Constant	0.693	0.1		6.824	0.000	0.375	0.366	41.974	2,69	0.000
	Overnight	0.583	0.09	0.612	6.479	0.000					
Glass	Constant	1.706	2.09		0.815	0.42	0.389	0.36	13.356	2,42	0.000
	Overnight	7.449	1.51	0.644	4.935	0.000					
	Daytrip	-0.68	0.21	-0.43	-3.296	0.002					
Tissue	Constant	0.867	0.02		36.24	0.000	0.303	0.274	10.451	2, 48	0.000
	Overnight	0.009	0	0.38	3.074	0.003					
	Daytrip	0	0	0.323	2.611	0.012					
Foam	Constant	1.082	0.08		13.891	0.000	0.071	0.05	3.429	1,45	0.071
	Overnight	0.016	0.01	0.266	1.852	0.071					

ผลการศึกษายังสะท้อนให้เห็นว่า การกำจัดขยะพลาสติกที่มีสัดส่วนมาก รองจากเศษอาหารรวมทั้งโฟม และเป็นภาระที่อุทยานแห่งชาติแก่งกระจานต้องกำจัด แต่วิธีการกำจัดด้วยการเทกองและเผา นั้นอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม กลายเป็นไมโครพลาสติกที่เป็นมลพิษต่อระบบนิเวศ (Barnes *et al.*, 2009; Wagner and Lambert, 2018) และแก้ไขได้ยาก (Katsnelson, 2015) รวมทั้งมีโอกาสสะสมในสิ่งมีชีวิตผ่านการกินอาหาร (trophic level) ถ่ายทอดตามสายใยอาหาร ส่งผลกระทบต่อสัตว์ป่าที่กำลังถูกคุกคาม (Gall and Thompson, 2015) จึงควรมีแนวทางการจัดการขยะพลาสติกที่ดีขึ้น เช่น การรณรงค์ให้นักท่องเที่ยวที่นำขยะไปทิ้งบ่อขยะที่ด่านเขาสามยอด แยกถุงขยะอย่างน้อย 3 ถุง ได้แก่ เศษอาหาร และขยะทั่วไป และขยะอันตราย

ก่อนนำไปทิ้งในบ่อรวบรวมขยะของด่านสามยอด ที่ต้องมีป้ายกำกับเพื่อให้นักท่องเที่ยวทิ้งขยะได้ถูกต้อง ซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่คัดแยกขยะที่มีคุณภาพได้มีประสิทธิภาพขึ้น แล้วนำขยะพลาสติกไปเผารวมกับที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ ซึ่งมีเตาเผาขยะ เพื่อช่วยลดการปนเปื้อนของขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ควรรณรงค์ให้นักท่องเที่ยวโดยเฉพาะกลุ่มพักค้างแรมตระหนักถึงปัญหาการจัดการขยะในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานและขอความร่วมมือจากนักท่องเที่ยวลดการสร้างขยะในอุทยานแห่งชาติด้วยการใช้ขวดน้ำแบบเติมได้ หลีกเลี่ยงการใช้ภาชนะแบบครั้งเดียวทิ้งและกระดาษทิชชู่ เป็นต้น เพื่อลดการเกิดขยะให้เป็นศูนย์และไม่มีพื้นที่ทิ้งขยะในในอุทยานแห่งชาติ (Zero landfill in National Park) ซึ่งเป็นโครงการที่กำลังเกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (Subaru of America, 2019) มุ่งสู่การเป็นอุทยานแห่งชาติสีเขียว (Green National Park)

สรุป

1. นักท่องเที่ยวเป็นแหล่งกำเนิดขยะหลักของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน มีระบบการรวบรวมดี ไม่พบขยะเกลื่อนกลาด แต่ระบบคัดแยกขยะต้องปรับปรุง เพราะแม้จะมีถังแยกขยะ มีเจ้าหน้าที่คัดแยกขยะ แต่ยังขาดความร่วมมือจากนักท่องเที่ยวในการคัดแยกขยะ จำเป็นต้องรณรงค์ให้นักท่องเที่ยวในโครงการขยะคืนถิ่นแยกขยะก่อนนำมาทิ้งที่ด่านสามยอดเพื่อคัดแยกขยะที่มีคุณภาพดีให้มีประสิทธิภาพ ลดการปนเปื้อนของขยะพลาสติกและโฟมที่กลายเป็นไมโครพลาสติกและโลหะหนักในระบบนิเวศของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

2. การปรับปรุงระบบการกำจัดขยะเศษอาหารของบ้านกร่างและการกำจัดขยะอันตรายแยกจากเศษอาหารของที่ทำการอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ถูกหลักสุขาภิบาล และลดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

3. สัตว์ป่าที่พบมาใช้พื้นที่ทิ้งขยะของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานมีไม่น้อยกว่า 36 ชนิด จำแนกเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมมากที่สุดรวม 16 ชนิด รองลงมาคือ นก 15 ชนิด และสัตว์เลื้อยคลาน 5 ชนิด เพื่อลดผลกระทบของการกำจัดขยะแบบเทกองต่อสัตว์ป่า ควรเปลี่ยนตำแหน่งพื้นที่กำจัดขยะ โดยพิจารณาพื้นที่ซึ่งมีความชุกชุมของสัตว์ป่าน้อย เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสัตว์ป่า หรือพัฒนาระบบกำจัดขยะแบบปิดที่ป้องกันไม่ให้สัตว์ป่าเข้ามากินขยะเป็นอาหาร

4. สัตว์ป่าที่ใช้พื้นที่ทิ้งขยะของด่านสามยอดมีน้อยที่สุด 10 ชนิด รองลงมาคือ บ้านกร่าง 15 ชนิด และที่ทำการอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน 23 ชนิด

5. มีขยะที่เกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจานมีเฉลี่ย 38.10±8.15 กิโลกรัม/วัน โดยพบขยะเศษอาหารมากที่สุด (ร้อยละ 42.99) รองลงมาคือ เศษพลาสติก (ร้อยละ 20.93) ขณะที่ขยะประเภทอื่น ๆ มีสัดส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10

6. ประเภทวันฤดูการท่องเที่ยวและพื้นที่ท่องเที่ยวสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับปริมาณขยะทั้งหมด ($p<0.001$) ขยะเศษอาหาร ($p<0.001$) และขยะเศษพลาสติก ($p<0.001$) ที่เกิดขึ้นในอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน

7. นักท่องเที่ยวในที่ทำการอุทยานแห่งชาติฯ มีจำนวนนักท่องเที่ยวมากกว่าบ้านกร่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งกลุ่มนักท่องเที่ยวพักค้างแรมไป-กลับ และนักท่องเที่ยวทั้งหมด และมีความแตกต่างระหว่างฤดูเปิดและปิดการท่องเที่ยว ($p<0.05$) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ($p>0.05$)

8. จำนวนของนักท่องเที่ยวทั้งกลุ่มที่พักค้างแรมและไป-กลับ มีอิทธิพลต่อปริมาณการเกิดเศษอาหาร กระป๋อง แก้ว กระดาษทิชชู่ และขยะทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) ในระดับน้อย-ปานกลาง ขณะที่ปริมาณของขยะ ขวดน้ำพลาสติก กระดาษ และพลาสติกได้รับอิทธิพลจากนักท่องเที่ยวค้างแรมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$)

REFERENCES

Barnes, D.K.A., F. Galgani, R.C. Thompson and M. Barlaz. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions of the Royal Society B.** 364: 1985–1998.

Chairat, R. 2015. **Wildlife Ecology and Management**. 1st ed. Charansanitwong Printing Ltd., Bangkok. (in Thai)

Chatuworaphat, P. 2008. **Solid Waste Management in National Park.** Available Source: http://frc.forest.ku.ac.th/frcdatabase/bulletin/Document/C00623.pdf, February 23, 2019. (in Thai)

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation (DNP). 2017. **Kaeng Krachan National Park.** Available Source: http://nps.dnp.go.th/parksdetail.php?id=130&name=อุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน#, September 19, 2017.

Gall, S.C. and R.C. Thompson. 2015. The impact of debris on marine life. **Marine Pollution Bulletin** 92: 170-179.

Hammitt, W.E., D.N. Cole and C.A. Monz. 2015. **Wildland Recreation Ecology and Management.** C. O. C. Printers Pte Ltd., Singapore.

Katlam, G., S. Prasad, M. Aggarwal and R. Kumar. 2018. Trash on the menu: patterns of animal visitation and foraging behaviour at garbage dumps. **Current Science** 115(12): 2322-2326.

Katsnelson, A. 2015. Microplastics present pollution puzzle. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 112(18): 5547-5549.

Manfredi, E.C., B. Flury, G. Viviano, S. Thakuri, S.N. Khanal, P. K. Jha, R.K. Maskey, R.B. Kayastha, K.R. Kafle, S. Bhochhibhoya, N.P. Ghimire, B.B. Shrestha, G. Chaudhary, F. Giannino, F. Cartenì, S. Mazzoleni and F. Salerno. 2010. Solid waste and water quality management models for Sagarmatha National Park and buffer zone, Nepal. **Mountain Research and Development** 30(2): 127-142.

Pettingill, O.S. 1970. **A Laboratory and Field Manual of Ornithology**. Buress Publishing Company, Minnesota.

Phaibonsombut, P. 2003. **Type, Quantity of Solid Waste, and Littering Behavior of Tourists and Entrepreneurs in Khao Yai National Park.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Plaza, I.P. and S.A. Lambertucci. 2017. How are garbage dumps impacting vertebrate demography, health, and conservation? **Global Ecology and Conservation** 12: 9-20.

Pollution Control Department. 2004. **A Complete Municipal Solid Waste Management: A Guideline for Local Administrative Office**. 4th ed. Kurusapa Printing Ladphrao, Bangkok.

Puangthongkae, S. 2015. **Types and Quantities of Solid Wastes from Tourism Activities, Lohdalam Beach, Koh Phi Phi Don.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Subaru of America. 2019. **Zero Landfill: from Becoming America's First Zero-Landfill Automaker, with All Waste Recycled or Reused Our Current National Park Zero-Landfill Initiative**. Available Source: https://www.subaru.com/csr/environment.html#!/2016/05/25, February 24, 2019.

Thompson, R.C., C.J. Moore, F.S. vom Saal and S.H. Swan. 2009. Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 364(1526): 2153–2166.

Wagner, M. and S. Lambert. 2018. **Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?** The Handbook of Environmental Chemistry Volume 58. Springer, Nature, Switzerland.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ระบบการสัญจรและผลกระทบบางประการภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ

Transportation System and some Impacts in Phu Ruea National Park

ดวงอารีย์ แก้วสีทา[1]
นภวรรณ ฐานะกาญจน์ พงษ์เขียว[1]
วันชัย อรุณประภารัตน์[1]

Duangaree Kaowsrita[1]
Noppawan Tanakanjana Phongkhieo[1]
Wanchai Arunpraparut[1]

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand
*Corresponding Author, E-mail: ffornwt@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 5 มิถุนายน 2562 **รับแก้ไข** 4 กรกฎาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 18 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the numbers of vehicles, carrying capacity of parking areas, impacts of transportation system on the visitor experience and some impacts on the soil and vegetation in Phu Ruea National Park. Data of the number of vehicles at the park entrance station and in the parking areas were collected along with the measurement of the parking area. Questionnaires were used to collect visitor data. Soil and vegetation impact data were collected in a systematic manner. The data were analyzed using descriptive statistics, multiple regression analysis and One-way ANOVA. It was found that the highest number of vehicles during holidays averaged 1,321 vehicles per day and the capacity of parking area in Phu Ruea National Park was 760 vehicles per cycle or 842 vehicles per hour. A comparison of the frequency of use with the carrying capacity indicated that most parking areas had a frequency of use less than 50% and below the park capacity. The only exception was the parking area at Campground 2 (Phu Son) which had a frequency of use more than 80% and exceeded the capacity. As for the visitor experience, it was found that overall travelling satisfaction level was high. The average highest and lowest satisfaction values were the air quality and quality of road surface. As for the impact on soil and vegetation, it was found that the soil bulk density and the number of invasive species at the road verges were higher than in the natural forest areas. Severe soil erosion was also found on the road from Check Point No.2 (Phu Ruea Summit) to Campground 2 (Phu Son).

Keywords: Transportation system, Impact of transportation system, Carrying capacity, Phu Ruea National Park

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณยานพาหนะ ขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของลานจอดรถ ผลกระทบจากระบบการสัญจรต่อประสบการณ์ของผู้มาเยือน และผลกระทบบางประการต่อดินและพืชพรรณในอุทยานแห่งชาติภูเรือ โดยเก็บข้อมูลปริมาณยานพาหนะที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่และบริเวณลานจอดรถ วัดขนาดพื้นที่ของลานจอด ใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลจากนักท่องเที่ยว และใช้วิธีวางแปลงตัวอย่างแบบมีระบบในการศึกษาผลกระทบต่อดินและพืชพรรณ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์ถดถอยพหุ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการศึกษาพบว่า อุทยานแห่งชาติภูเรือมีปริมาณยานพาหนะเข้าไปใช้ประโยชน์สูงสุดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์เฉลี่ย 1,321 คัน/วัน ลานจอดรถภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือสามารถรองรับยานพาหนะได้ 746 คัน/รอบ หรือ 842 คัน/ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ประโยชน์กับขีดความสามารถในการรองรับได้ พบว่า ลานจอดรถส่วนใหญ่มีปริมาณการใช้ประโยชน์น้อยกว่าร้อยละ 50 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าขีดความสามรถในการรองรับได้ ยกเว้นลานจอดรถบริเวณลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) ที่มีปริมาณการใช้ประโยชน์มากกว่าร้อยละ 80 และอยู่ในระดับเกินขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ สำหรับคุณภาพประสบการณ์ของผู้มาเยือน พบว่า ผู้มาเยือนมีความพึงพอใจโดยรวมในการเดินทางอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อคุณภาพอากาศสูงสุดและต่อสภาพผิวถนนต่ำสุด สำหรับผลกระทบต่อดินและพืชพรรณ พบว่า บริเวณใกล้ถนนมีค่าความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าในพื้นที่ป่าธรรมชาติเช่นเดียวกับปริมาณของชนิดพรรณต่างถิ่นที่บริเวณใกล้ขอบถนนมีปริมาณสูงกว่าในพื้นที่ป่าธรรมชาติ และเส้นทางจากด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) ถึงลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) พบการกร่อนของดินอยู่ในระดับผลกระทบรุนแรง

คำสำคัญ: ระบบการสัญจร ผลกระทบจากระบบการสัญจร ขีดความสามารถในการรองรับได้ อุทยานแห่งชาติภูเรือ

คำนำ

ระบบการสัญจรถือว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญที่ช่วยส่งเสริมและสร้างโอกาสให้นักท่องเที่ยวได้เข้ามาเยือนพื้นที่ธรรมชาติ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ประกอบกิจกรรมนันทนาการได้ในตัว ทำให้นักท่องเที่ยวได้รับประสบการณ์ในการสัมผัสและชื่นชมความงามทางธรรมชาติตลอดเส้นทาง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมียานพาหนะเข้ามาภายในอุทยานแห่งชาติเพิ่มสูงขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อฐานทรัพยากรและคุณภาพประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว โดยเฉพาะเมื่อปริมาณมีมากจนเกินขีดความสามารถในการรองรับได้ของพื้นที่ (Manning *et al*., 2014) ซึ่งงานวิจัยในต่างประเทศพบว่าระบบการสัญจรเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียชนิดพันธุ์ในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างถนน และรบกวนชนิดพันธุ์บริเวณขอบถนน กระตุ้นให้เกิดการกร่อนของดิน การเปลี่ยนแปลงและขัดขวางทิศทางการไหลของน้ำ (Forman *et al*., 2003) นอกจากนั้นปริมาณยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้คุณภาพประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวลดลง (Manning *et al*., 2014) เนื่องจากต้องประสบกับปัญหาความแออัดของการจราจร ความลำบากในการเดินทาง ความขัดแย้งระหว่างการเดินทาง และปัญหาพื้นที่จอดรถ (White, 2007)

อุทยานแห่งชาติภูเรือเป็นหนึ่งในอุทยานแห่งชาติของประเทศไทยที่ได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยว จากสถิตินักท่องเที่ยวสะสมย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2552-2561) มีปริมาณสูงถึง 1.4 ล้านคน (National Park Office, 2019) ด้วยทัศนียภาพที่สวยงาม และอุณหภูมิที่หนาวเย็น โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงที่ได้รับความนิยมมากที่สุด และถึงแม้ว่าการเดินทางมายังอุทยานแห่งชาติภูเรือสามารถเลือกได้หลายวิธี แต่การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัวเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด จึงส่งผลให้อุทยานแห่งชาติภูเรือมียานพาหนะเข้ามาภายในพื้นที่เป็นจำนวนมาก พบว่าในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณยานพาหนะสูงถึงร้อยละ 90 ของยานพาหนะ

ตลอดทั้งปี (National Park Office, 2019) ถือเป็นช่วงที่มีปริมาณยานพาหนะหนาแน่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวดังที่กล่าวมาข้างต้น

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณยานพาหนะ ขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของระบบการสัญจร และผลกระทบของระบบการสัญจรภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ ประกอบด้วยผลกระทบต่อคุณภาพประสบการณ์ด้านการสัญจรของผู้มาเยือน ผลกระทบบางประการต่อดิน และต่อพืชพรรณ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการระบบการสัญจรภายในอุทยานแห่งชาติ และเพื่อช่วยป้องกันผลกระทบต่อฐานทรัพยากรและรักษาประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวที่มาเยือนในพื้นที่ให้สอดคล้องกับความคาดหวังของนักท่องเที่ยว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ กระบอกเก็บดิน เชือกหมายระยะ เทปวัดระยะ ไม้บรรทัด ถุงพลาสติก จอบ เครื่องอบดิน เครื่องชั่งดิน ตารางบันทึกข้อมูล เครื่องกำหนดพิกัดบนพื้นโลก (GPS) กล้องถ่ายรูป และแบบสอบถาม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การศึกษาปริมาณยานพาหนะ ขีดความสามารถในการรองรับได้ของลานจอดรถ และคุณภาพประสบการณ์ด้านการสัญจรของผู้มาเยือน

1.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของถนนและลานจอดรถ โดยวัดความยาว และความกว้างของถนนเข้าถึงหลักและถนนสัญจร และคำนวณพื้นที่ของลานจอดรถ พร้อมบันทึกที่ตั้งของถนนและลานจอดรถ รวมถึงบันทึกประเภทและปริมาณยานพาหนะที่ผ่านเข้าออกพื้นที่บริเวณด่านเก็บค่าบริการ และปริมาณยานพาหนะบนลานจอดรถทั้ง 3 จุดของอุทยานแห่งชาติภูเรือ ดัง Figure 1 โดยเก็บข้อมูลระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2562 ในช่วงวันเสาร์และวันอาทิตย์ เดือนละ 1 ครั้ง วันหยุดนักขัตฤกษ์ จำนวน 5 ครั้ง และวันธรรมดาเดือนละ 2 ครั้ง ตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น. และบันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง

1.2 ศึกษาคุณภาพประสบการณ์ด้านการสัญจรของผู้มาเยือน เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเลือกตามความสะดวก (convenience sampling) กำหนดประชากรเป้าหมายเป็นผู้มาเยือนชาวไทยที่เดินทางมาท่องเที่ยวภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ อายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ขนาดตัวอย่างคำนวณจากสูตรของ Yamane (1973) และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสุ่มตัวอย่างไว้ที่ 0.05 ได้จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ 399 ตัวอย่าง ให้ผู้มาเยือนประเมินระดับความพึงพอใจต่อปัจจัยเกี่ยวกับระบบการสัญจรที่ได้จากการตรวจเอกสาร แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จำนวน 12 ปัจจัย ประกอบด้วย 1) ทัศนียภาพของเส้นทาง 2) ความสะดวกในการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว 3) ปริมาณยานพาหนะที่สัญจรบนถนน 4) ปริมาณยานพาหนะที่จอดในบริเวณลานจอดรถ 5) คุณภาพของผิวถนน 6) คุณภาพของลานจอดรถ 7) ความชัดเจนของป้ายจราจร 8) ความคล่องตัวในการขับรถบนถนน 9) ความสะดวกในการจอดรถบริเวณลานจอดรถ 10) คุณภาพอากาศ 11) คุณภาพเสียง และ 12) ระยะเวลาในการเดินทางเพื่อไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่สนใจ แบ่งค่าคะแนนระดับความพึงพอใจเป็น 5 ระดับ ตามแบบ Likert-type scales ตั้งแต่ค่าคะแนน 1-5 โดยค่าคะแนน 1 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยสุด และค่าคะแนน 5 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากสุด เก็บข้อมูลระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2562 ในช่วงวันเสาร์และวันอาทิตย์ เดือนละ 1 ครั้ง และวันธรรมดาเดือนละ 2 ครั้ง โดยแจกแบบสอบถามแก่ผู้มาเยือนที่ใช้ยานพาหนะภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ คันละ 1 ชุด

1.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิเคราะห์ปริมาณการใช้ประโยชน์ยานพาหนะสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงและรายวันวิเคราะห์ขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของลานจอดรถ และเปรียบเทียบปริมาณการใช้ประโยชน์ยานพาหนะบริเวณลานจอดรถกับความจุของลานจอดรถเพื่อประเมินระดับขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ ตามเกณฑ์ของ National Park

Office (2008) ดัง Table 1 และใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุ (multiple regression analysis) ในการทดสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจโดยรวมในการเดินทางและความต้องการกลับมาเยือนพื้นที่

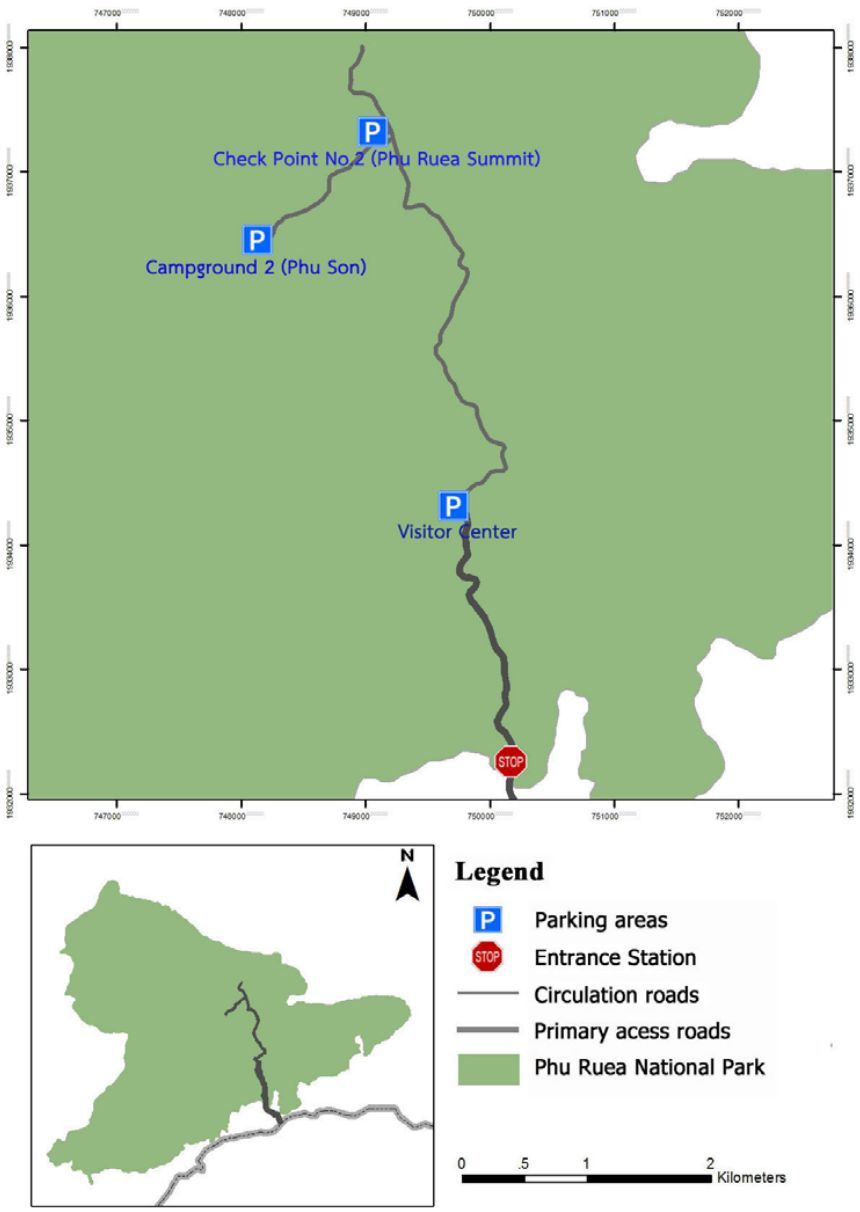


Figure 1 Map of roads and parking areas in Phu Ruea National Park.

Table 1 Levels of carrying capacity based on the frequency of use.

Levels of carrying capacity	The frequency of use compared
Below CC	The numbers of car less than 50 % of existing parking slots
Approaching CC	The numbers of car are 50%-80% of existing parking slots
Exceeding CC	The numbers of car more than 80% of existing parking slots

2. การศึกษาผลกระทบบางประการต่อดินและพืชพรรณจากระบบการสัญจร

2.1 ทำการวางแปลงตัวอย่างขนานกับแนวถนน โดยใช้ถนนเป็นแนวเส้นฐาน (baseline) และสุ่มตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic random sampling) จำนวน 30 จุดสุ่ม แต่ละจุดวางแปลงห่างจากขอบถนน 9 ระยะ ได้แก่ 2.5, 5.0, 7.5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 350 เมตร ดัง Figure 2-1 ตามวิธีการของ Lee *et al*. (2012) และทำการเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง (undisturbed) ดัง Figure 2-2 เพื่อศึกษาความหนาแน่นของดิน (bulk density) โดยใช้กระบอกเก็บดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร และวางแปลงขนาด 1×1 เมตร ดัง Figure 2-3 เพื่อสำรวจจำนวนและชนิดพันธุ์ของพืชต่างถิ่น (exotic species) พร้อมทั้งวัดความกว้างและความลึกของร่องรอยการกร่อนของดินตลอดแนวเส้นทาง แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณของเนื้อดินที่สูญเสียไปตามสูตรของ National Park Office (2008) เก็บข้อมูลระหว่างเดือนมิถุนายน 2561 ถึงธันวาคม 2561

2.2 วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยหาค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ด้วย core method (Blake and Hartge, 1986) จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรรวมของดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะของตัวอย่าง และใช้ F-test ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินและค่าเฉลี่ยจำนวนชนิดพันธุ์พืชต่างถิ่นบริเวณห่างจากขอบถนน 350 เมตร กับระยะห่างจากขอบถนน 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 50, 100 และ 200 เมตร พร้อมทั้งเปรียบเทียบการกร่อนของดินกับเกณฑ์ระดับผลกระทบการสูญเสียดินในเส้นทางของ National Park Office (2008) 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับผลกระทบน้อยถึงไม่มีผลกระทบ มีอัตราการกร่อนของดินระหว่าง 0 – 31.25 ตัน/เฮกตาร์ 2) ระดับผลกระทบปานกลาง มีอัตราการกร่อนของดินมากกว่า 31.25 – 125 ตัน/เฮกตาร์ และ 3) ระดับผลกระทบรุนแรง มีอัตราการกร่อนของดินมากกว่า 125 ตัน/เฮกตาร์



Figure 2 Sampling methods used in sampling the vegetation and soil.

ผลและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปริมาณยานพาหนะ ขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของระบบการสัญจร และคุณภาพประสบการณ์ด้านการสัญจรของผู้มาเยือน

1.1 จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของถนนและลานจอดรถภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ พบว่าถนนมีลักษณะเป็นถนน 2 เลน มีป้ายจราจรตลอดเส้นทางและลูกระนาดระหว่างเส้นทาง เพื่อช่วยในการชะลอความเร็วของยานพาหนะ โดยความยาวและความกว้างของถนน แสดงใน Table 2 มีความยาวรวมประมาณ 8 กิโลเมตร และความกว้างเฉลี่ย 4.87 เมตร สำหรับลักษณะของลานจอดรถ พบว่า มีลานจอดรถ 2 แบบ คือ 1) ลานจอดรถแบบถาวร จำนวน 5 ลาน และ 2) ลานจอดรถแบบชั่วคราว จำนวน 2 ลาน โดยลานจอดรถแบบชั่วคราวอนุญาตให้ใช้ประโยชน์เฉพาะช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว นอกจากนั้น ยังมีจุดพักรถริมทาง จำนวน 5 จุด เพื่อให้ผู้มาเยือนใช้ในกรณีฉุกเฉิน เนื่องจากเส้นทางมีลักษณะคดเคี้ยว และลาดชัน

Table 2 Physical characteristics of roads in Phu Ruea National Park.

Road section	Distance (km)	Width of road (m)
Entrance station to Visitor Center	2.2	4.5
Visitor Center to Check Point No.2 (Phu Ruea Summit)	3.8	6.0
Check Point No.2 (Phu Ruea Summit) to Campground 2 (Phu Son)	1.3	4.5
Check Point No.2 (Phu Ruea Summit) to Phu Ruea Summit	0.7	4.5

1.2 จากการศึกษาขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของลานจอดรถ โดยการนับจำนวนช่องจอดรถ (parking lot) สำหรับลานจอดรถที่มีการตีเส้นสำหรับจอดรถ และคำนวณจากขนาดพื้นที่ลานจอดรถสำหรับลานจอดรถที่ไม่มีการตีเส้นสำหรับจอดรถ ตามประกาศกฎกระทรวงฉบับที่ 41 (2537) กำหนดขนาดพื้นที่ของช่องจอดรถยนต์ 1 คัน แบบตั้งฉากกับแนวทางเดินรถ ความกว้างไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร และความยาวไม่น้อยกว่า 5 เมตร และตามประกาศกฎกระทรวงฉบับที่ 7 (2517) กำหนดทางเข้าออกรถต้องกว้างไม่น้อยกว่า 6 เมตรซึ่งลานจอดรถส่วนใหญ่นักท่องเที่ยวมีการใช้ประโยชน์ทั้งแบบไป-กลับ และแบบพักค้างแรม โดยใช้เวลาในพื้นที่ประมาณ 1 ชั่วโมงหรือมากกว่า ยกเว้นลานจอดรถบริเวณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวมีลานจอดรถจำนวน 2 จุดจากทั้งหมด 3 จุดที่นักท่องเที่ยวใช้เวลาในการจอดรถประมาณ 15 นาที/คัน/รอบ โดยลานจอดรถทั้ง 2 จุดมีช่องจอดรถจำนวน 32 ช่อง ดังนั้นสามารถรองรับยานพาหนะได้ 128 คัน/ชั่วโมง ส่วนลานจอดรถอีก 1 จุด มีช่องจอดรถจำนวน 35 ช่อง นักท่องเที่ยวใช้เวลาในพื้นที่ประมาณ 1 ชั่วโมงหรือมากกว่า เช่นเดียวกับลานจอดรถบริเวณอื่น โดยขนาดของพื้นที่ลานจอดรถ จำนวนช่องจอดรถ และขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ของลานจอดรถ แสดงใน Table 3

Table 3 Physical characteristics and maximum capacity of the parking areas in Phu Ruea National Park.

Car park location	Area (sq.m)	Amount of lot	Maximum carrying capacity of parking lot	Total (vehicles per hour)
Visitor Center	1,090	67	67	163
Check Point No.2 (Phu Ruea Summit)	10,500	-	545	545
Campground 2 (Phu Son)	2,820	35	134	134
Total			**746**	**842**

1.3 จากการศึกษาปริมาณยานพาหนะบนถนนและบริเวณลานจอดรถ พบว่า ปริมาณยานพาหนะที่สัญจรบนถนนภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือมีปริมาณสูงสุดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์เฉลี่ย 1,321 คัน/วัน และลานจอดรถบริเวณด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) มีปริมาณการใช้ประโยชน์เฉลี่ยสูงสุด 966 คัน/วัน โดยช่วงเวลาที่มีการใช้ประโยชน์สูงสุด คือ ระหว่าง 08.00-09.00 น. (Table 4) เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นจุดเด่นของอุทยานแห่งชาติ และผู้มาเยือนเดินทางมาเพื่อชมความงามของพระอาทิตย์ขึ้น สัมผัสอากาศหนาว และชมทะเลหมอกยามเช้า

Table 4 Average number of vehicles on roads and in the parking areas in Phu Ruea National Park.

Time period	Average number of vehicles on roads and in the parking areas											
	Road			Visitor Center			Check Point No.2 (Phu Ruea Summit)			Campground 2 (Phu Son)		
	WD	WE	H	WD	WE	H	WD	WE	H	WD	WE	H
08.00-09.00	49	147	193	13	17	26	51	91	160	24	44	91
09.01-10.00	44	148	179	6	9	17	33	75	137	16	32	33
10.01-11.00	43	138	156	5	8	9	29	78	124	10	19	17
11.01-12.00	40	125	155	5	7	10	27	62	117	6	16	20
12.01-13.00	39	124	155	5	6	11	25	60	103	8	19	22
13.01-14.00	43	123	140	5	6	10	23	56	91	10	25	27
14.01-15.00	36	119	125	5	5	10	20	52	88	14	35	39
15.01-16.00	33	126	127	5	5	11	18	50	76	18	40	50
16.01-17.00	25	97	91	4	5	9	14	47	70	23	62	63
Average Vehicles per hour	39	127	147	6	7	13	27	63	107	14	32	40
Average Vehicles per hour	39	127	147	6	7	13	27	63	107	14	32	40

Remarks : WD = Weekday, WE = Weekend, H = Holiday

เมื่อนำปริมาณการใช้ประโยชน์ของยานพาหนะบริเวณลานจอดรถมาเปรียบเทียบกับขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ พบว่า ลานจอดรถบริเวณศูนย์บริการนักท่องเที่ยวและบริเวณด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) ทั้งในวันธรรมดา วันเสาร์อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์ส่วนใหญ่มีปริมาณการใช้ประโยชน์อยู่ในระดับต่ำกว่าขีดความสามารถในการรองรับได้ ยกเว้น ลานจอดรถบริเวณลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) ที่มีปริมาณการใช้

ประโยชน์อยู่ในระดับเกินขีดความสามารถในการรองรับได้ โดยปริมาณยานพาหนะเกินขีดความสามารถในการรองรับได้จำนวน 20 ครั้ง แสดงดังใน Table 5 ซึ่งตรงกับช่วงวันหยุดเทศกาลปีใหม่ที่ผู้มาเยือนมีความต้องการมาพักค้างแรมบริเวณลานกางเต็นท์จำนวนมาก โดยพบปริมาณยานพาหนะเกินขีดความสามารถในการรองรับได้ในช่วงเช้าและเย็น ระหว่างเวลา 08.00-10.00 น. และ 15.00-17.00 น. ทำให้มีการจอดรถบริเวณริมถนน ปิดเส้นทางในการเดินรถ และจอดปิดขวางรถบริเวณด้านในลานจอดรถ และเกิดปัญหาการจราจรติดขัด

Table 5 Time period of over capacity usage of parking areas.

Parking area	day	Time period								
		8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
Campground 2 (Phu Son)	weekdays	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	weekends	2	2	1	1	1	2	2	1	3
	holidays	2	-	-	-	-	-	1	1	1

Remarks : weekdays, n=14; weekends, n=12; holidays, n=5

1.4 จากการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้มาเยือนต่อปัจจัยด้านระบบการสัญจร จำนวน 12 ปัจจัย จากตัวอย่างจำนวน 506 ตัวอย่าง พบว่า ผู้มาเยือนมีความพึงพอใจโดยรวมในการเดินทางอยู่ในระดับสูง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.92 (SD = 0.61) โดยมีความพึงพอใจต่อคุณภาพอากาศสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 (SD = 0.62) รองลงมาคือทัศนียภาพตลอดเส้นทางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 (SD = 0.70) และอยู่ในระดับความพึงพอใจสูงมาก ที่ทางอุทยานแห่งชาติภูเรือควรมีการรักษามาตรฐานให้คงอยู่ หรืออาจมีการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น แต่พบว่าผู้มาเยือนมีความพึงพอใจต่อคุณภาพของผิวถนนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.57 (SD = 0.83) ซึ่งทางอุทยานแห่งชาติภูเรือควรมีการปรับปรุงและพัฒนาเส้นทางให้ดีขึ้นกว่าเดิมโดยด่วน (Table 6)

Table 6 Satisfaction levels of the visitors about the transportation system.

(n=506)

Factor/Variable	Satisfaction levels of visitors (%)					$\bar{X}$	SD	Satisfaction levels
	Lowest	Low	Moderate	High	Highest			
Scenic view along roadside	0.2	0.8	12	49	38	4.23	0.70	Highest
Area accessibility	0	1.2	26.6	57.1	15	3.86	0.67	High
Vehicle volume on road	0	1.4	43.1	52.2	13.3	3.57	0.58	High
Vehicle volume in parking area	2	2.6	51.6	37.2	6.5	3.44	0.74	High
Quality of road surface	8.1	39.4	41.9	48.7	1.8	2.57	0.83	Relatively low
Quality of parking area	1	10	70.8	13	3.3	3.08	0.63	Moderate
Clarity of traffic signs	0.4	2.8	62.6	29.5	4.7	3.35	0.64	Moderate
Travel flexibility	0.6	4.3	38.4	51	5.7	3.57	0.69	High
Parking convenience	0.6	1.4	43.3	49.8	4.9	3.57	0.64	High
Air quality	0.4	0.2	3.9	45.3	50.2	4.45	0.62	Highest
Noise disturbance from transportation	0.2	0.8	12.8	55.1	31.1	4.16	0.68	High
Traveling time to tourist attraction	0	0.6	37.3	49.5	11.6	3.72	0.67	High
Overall travelling satisfaction	0.2	0.4	20.5	64.6	14.2	3.92	0.61	High

Remarks : Score 1.00-1.80 = Low satisfaction 1.81-2.60 = Relative low satisfaction
2.61-3.40 = Moderate satisfaction 3.41-4.20 = High satisfaction
3.41-4.20 = Highest satisfaction

เมื่อนำทั้ง 12 ปัจจัยมาทดสอบอิทธิพลต่อความพึงพอใจโดยรวมในการเดินทางด้วยวิธี Stepwise Multiple regression พบว่า มีเพียง 5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจโดยรวมต่อการเดินทาง (Table 7) โดยก่อให้เกิดการแปรผันต่อความพึงพอใจโดยรวมต่อการเดินทางประมาณร้อยละ 45.5 (R^2=0.455) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือระยะเวลาในการเดินทางเพื่อไปยังพื้นที่ที่สนใจ (beta = 0.417; p<0.01) ผู้มาเยือนที่ความพึงพอใจต่อระยะเวลาในการเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่สนใจมากมีความพึงพอใจโดยรวมในการเดินทางมาก เพราะสามารถเดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวที่สนใจได้ตามแผนที่วางไว้ ทำให้สามารถจัดการการเดินทางและใช้เวลาในการประกอบกิจกรรมนันทนาการในพื้นที่ตามที่ต้องการ มีเวลาเพียงพอในการแวะชมแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ จึงทำให้ความพึงพอใจโดยรวมเพิ่มขึ้น

Table 7 Results from multiple regression analysis testing the influences of transportation system factors and the overall satisfaction on traveling of the park visitors.

Factor/Variable	Beta	t	p
Traffic volume on the road way	0.107	2.948	0.003
Traffic signs	0.167	4.650	0.000
Parking convenience	0.152	3.828	0.000
Air quality	0.129	3.659	0.000
Time to attraction areas	0.417	10.706	0.000

Remarks: F = 81.03; p<0.01; R^2 = 0.455

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาผลกระทบบางประการต่อดินและพืชพรรณจากระบบการสัญจรภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ

2.1 ผลกระทบต่อดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินที่ระยะห่างจากขอบถนน 2.5, 5.0, 7.5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 350 เมตร พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.40 (SD = 0.18), 1.29 (SD = 0.27), 1.21 (SD = 0.32), 1.15 (SD = 0.29), 1.01 (SD = 0.23), 0.94 (SD = 0.16), 0.91 (SD = 0.19), 0.99 (SD = 0.20) และ 0.92 (SD = 0.27) กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบค่าความแตกต่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F = 11.075; p<0.01) และเมื่อเปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี LSD โดยกำหนดให้ดินที่ระยะ 350 เมตรจากขอบถนนเป็นดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติไม่ได้รับผลกระทบจากระบบการสัญจร (Lee *et al*., 2012) พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินที่ระยะ 350 เมตรจากขอบถนน แตกต่างกับระยะ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10 เมตรจากขอบถนน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) (Table 8)

Table 8 Difference in mean values of soil bulk density as a function of distance from the road.

Distance from road (m)	$\bar{X}$	Distance from road (m)								
		2.5	5	7.5	10	20	50	100	200	350
2.5	1.40	-	0.11^{ns}	0.19**	0.25**	0.39**	0.45**	0.49**	0.40**	0.47**
5.0	1.29	-	-	0.08^{ns}	0.14*	0.28**	0.35**	0.38**	0.30**	0.36**
7.5	1.21	-	-	-	0.06^{ns}	0.20**	0.27**	0.30**	0.22*	0.28**
10	1.15	-	-	-	-	0.14**	0.20**	0.24**	0.16^{ns}	0.22**
20	1.01	-	-	-	-	-	0.06^{ns}	0.10^{ns}	0.01^{ns}	0.08^{ns}
50	0.94	-	-	-	-	-	-	0.03^{ns}	-0.05^{ns}	0.01^{ns}
100	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-0.08^{ns}	-0.02^{ns}
200	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06^{ns}
350	0.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Remarks: ns Not significant
* Significant at $p<0.05$
** Significant at $p<0.01$

จะเห็นว่า ดินที่ระยะ 2.5 เมตรจากขอบถนน มีค่าความหนาแน่นรวมของดินสูงสุด เนื่องจากระยะ 2.5 เมตรเป็นบริเวณไหล่ทาง ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากโครงสร้างและการใช้ประโยชน์ของยานพาหนะ ทำให้ดินเกิดการอัดแน่นตัวสูง รองลงมาคือ ดินที่ระยะ 5.0 เมตร โดยบริเวณดังกล่าวเป็นร่องระบายน้ำ ที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างโครงสร้างของระบบการสัญจร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Auerbach *et al.* (1997) ที่พบว่า ดินบริเวณใกล้ถนนมีค่าความหนาแน่นของดินสูง แต่พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของดินที่ระยะ 200 และ 350 เมตรจากขอบถนนมีค่าสูงกว่าที่ระยะ 100 เมตรจากขอบถนน เนื่องจากในจุดเก็บตัวอย่างดินบางจุดเป็นลานหิน **จึงทำให้ดินความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าที่ระยะ 100 เมตรจากขอบถนน** และจากการเปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ยรายคู่ทำให้ทราบว่าดินที่ระยะ 10 เมตรจากขอบถนน เป็นระยะไกลสุดที่ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างและการใช้ประโยชน์ของยานพาหนะ เนื่องจากบริเวณเส้นทางในบางจุดมีการกำหนดให้เป็นจุดพักรถริมทาง ทำให้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการจอดยานพาหนะของผู้มาเยือน

และจากการศึกษาการกร่อนของดินแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับของผลกระทบจากการสูญเสียดินในเส้นทางของ National Park office (2008) พบว่า เส้นทางจากด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) ถึงลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) มีปริมาณการสูญเสียดินสูงสุดเท่ากับ 135.89 ตัน/เฮกตาร์ และอยู่ในระดับผลกระทบรุนแรง รองลงมาคือ เส้นทางจากด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) ถึงยอดภูเรือ มีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 80.71 ตัน/เฮกตาร์ อยู่ในระดับผลกระทบปานกลาง และเส้นทางจากศูนย์บริการนักท่องเที่ยวถึงด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) มีปริมาณการสูญเสียดินเท่ากับ 19.66 ตัน/เฮกตาร์ อยู่ในระดับผลกระทบน้อย

ทั้งนี้บริเวณที่เกิดการกร่อนของดินมากส่วนใหญ่เป็นระยะที่ห่างจากขอบถนนประมาณ 2-5 เมตร เพราะเป็นบริเวณไหล่ทางและร่องระบายน้ำ ซึ่งการกัดเซาะของกระแสน้ำทำให้ร่องระบายน้ำได้รับความเสียหาย และเกิดการกร่อนของดิน แสดงว่าการออกแบบถนนและร่องระบายน้ำในบริเวณดังกล่าวไม่สามารถรองรับการระบายน้ำได้ ควรมีการบำรุงรักษาบริเวณที่เกิดการกร่อนของดิน และออกแบบร่องระบาย

ให้เหมาะสมกับพื้นที่ จากข้อเสนอแนะของ Tanakanjana *et al*. (1998) ได้กล่าวว่า การตัดถนนจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับระบบทางระบายน้ำ ควรออกแบบถนนให้สามารถระบายน้ำจากผิวถนนได้ดี และสามารถดักน้ำให้ไหลลงสู่ทางระบายน้ำที่เตรียมไว้ เพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้น และข้อเสนอแนะนำของ Fogg (1997) ที่ว่าขนาดของทางระบายน้ำไม่ควรต่ำกว่า 45 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ดี

2.2 ผลกระทบต่อพืชพรรณ

ผลการศึกษาจำนวนต้นของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นในแต่ละระยะทางขอบถนน 2.5, 5.0, 7.5, 10, 20, 50, 100, 200 และ 350 เมตร พบชนิดพันธุ์ต่างถิ่นจำนวน 40 ชนิด โดยชนิดพันธุ์ที่พบจำนวนมากที่สุด คือ สาบเสือ (*Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H.Rob.) จำนวน 363 ต้น และพบในแปลงตัวอย่างตั้งแต่ระยะ 2.5 เมตรจากขอบถนนถึงระยะ 350 เมตรจากขอบถนน รองลงมาคือ หญ้าคา (*Imperata cylindrica* (L.) Raeusch.) จำนวน 334 ต้น พบในแปลงตัวอย่างตั้งแต่ระยะ 2.5 เมตรจากขอบถนน ถึงระยะ 200 เมตรจากขอบถนน และค่าเฉลี่ยจำนวนต้นของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นในแต่ละระยะทางขอบถนนมีค่าเท่ากับ 37.37 (SD = 29.56), 15.00 (SD = 38.16), 10.07 (SD = 20.21), 11.90 (SD = 21.57), 4.79 (SD = 7.45), 3.30 (SD = 4.69), 1.84 (SD = 3.78), 1.77 (SD = 2.62) และ 1.38 (SD = 2.39) ต้น ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบค่าความแตกต่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปริมาณของชนิดพรรณต่างถิ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($F = 7.181$; $p<0.001$) และนำไปเปรียบเทียบหาค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี LSD พบว่า ปริมาณของชนิดพรรณต่างถิ่นที่ระยะ 350 เมตรจากขอบถนน แตกต่างกับระยะ 2.5 เมตรจากขอบถนนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะ 5.0, 7.5, 10, 20, 50 และ 200 เมตรจากขอบถนน ($p>0.05$) (Table 9)

Table 9 Difference in the mean values of the amount of invasive species as a function of distance from the road.

Distance from road (m)	$\bar{X}$	Distance from road (m)								
		2.5	**5.0**	**7.5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**200**	**350**
2.5	37.37	-	22.37**	27.30**	25.47**	32.58**	34.06**	35.52**	35.60**	35.99**
5.0	15.00	-	-	4.93ns	3.10 ns	10.21ns	11.70ns	13.16*	13.23ns	13.63ns
7.5	10.07	-	-	-	-1.83ns	5.28 ns	6.76ns	8.22 ns	8.30 ns	8.69 ns
10	11.90	-	-	-	-	7.11 ns	8.60ns	10.06ns	10.13ns	10.53ns
20	4.79	-	-	-	-	-	1.48ns	2.94 ns	3.02ns	3.41 ns
50	3.30	-	-	-	-	-	-	1.46 ns	1.54ns	1.93 ns
100	1.84	-	-	-	-	-	-	-	0.07ns	0.47ns
200	1.77	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39 ns
350	1.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Remarks: ns Not significant
* Significant at $p<0.05$
** Significant at $p<0.01$

จากผลการศึกษาพบสาบเสือปรากฏในแปลงตัวอย่างทั้ง 9 ระยะ แสดงว่าสาบเสือมีความสามารถในการกระจายพันธุ์ เติบโตและปรับตัวให้เข้ากับสภาพพื้นที่ได้หลากหลาย ซึ่งสาบเสือและหญ้าคา เป็นชนิดพรรณที่ปรากฏอยู่ในรายงานที่ 1 ชนิดพรรณต่างถิ่นที่รุกรานแล้ว ตามทะเบียนชนิดพรรณต่างถิ่นที่ควรป้องกัน ควบคุม และจำกัดของประเทศไทย เป็นชนิดพรรณที่อาจทำให้ชนิดพรรณท้องถิ่นหรือชนิดพรรณพื้นเมือง สูญพันธุ์ และส่งผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพภายในพื้นที่ และระยะห่างจากขอบถนน 2.5 เมตร มีจำนวนของชนิดพรรณต่างถิ่นสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Johnston and Johnston (2004) และ Lee *et al*. (2012) ที่บริเวณใกล้ถนนจะพบปริมาณของชนิดพรรณต่างถิ่นมากกว่าในพื้นที่ป่าธรรมชาติ และจะมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างจากถนนเพิ่มขึ้น แต่พบว่าที่ระยะห่างจากขอบถนน 10 เมตร พบปริมาณชนิดพรรณสูงกว่าที่ระยะ 7.5 เมตร เนื่องจากในบางจุดมีการเปิดพื้นที่ เพื่อเป็นจุดพักรถริมทาง ทำให้สามารถรับแสงได้ดี ซึ่งจากการศึกษาของ Withayawongruchi and Poopath (2012) พบว่า ชนิดพรรณต่างถิ่นมีการแปรผันตามกับค่าความเข้มแสง จึงทำให้บริเวณพบปริมาณพืชต่างถิ่นใกล้เคียงกัน และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ทำให้ทราบว่าบริเวณ 2.5 เมตรจากขอบถนนได้รับผลกระทบจากการแพร่กระจายของชนิดพรรณต่างถิ่น เนื่องจากบริเวณ 2.5 เมตรจากขอบถนนเป็นบริเวณไหล่ทางที่ใกล้กับการสัญจรของยานพาหนะ ซึ่งยานพาหนะถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการกระจายของชนิดพรรณต่างถิ่น จากการศึกษาของ Charungphan *et al.* (2015) ที่พบว่า การกระจายตัวของชนิดพรรณต่างถิ่นแปรผันตามจำนวนของยานพาหนะ นอกจากนั้นที่ระยะ 2.5 เมตรจากขอบถนนมีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่ง สามารถรับแสงได้ดี ซึ่งชนิดพรรณต่างถิ่นเป็นพืชพรรณที่มีความทนทานต่อแสง

จากผลการศึกษาระบบการสัญจรและผลกระทบภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ จะเห็นว่าเมื่อจำนวนยานพาหนะเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่มากจนเกินขีดความสามารถในการรองรับได้ของลานจอดรถนั้น ส่งผลกระทบต่อดินและพืชพรรณ เนื่องจากพบผู้มาเยือนจอดรถบริเวณริมถนน และพื้นที่ที่ไม่ใช่ลานจอดรถ ทำให้ดินเกิดการอัดแน่น และพืชพรรณได้รับความเสียหาย นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ของผู้มาเยือน จากการที่ต้องประสบปัญหาการจราจรติดขัด และจากการจอดรถปิดขวางทางเดินรถ ทำให้ไม่สะดวกในการเดินทางและเกิดความยากลำบากในการเข้าออกพื้นที่ ดังนั้นควรให้ความสำคัญในการจำกัดจำนวนยานพาหนะไม่ให้เกินขีดความสามารถในการรองรับได้ของลานจอดรถแต่ละแห่ง เพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพประสบการณ์ของผู้มาเยือน

สรุป

จากการศึกษาระบบการสัญจรและผลกระทบบางประการภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือ พบว่า มีปริมาณยานพาหนะเข้ามาใช้ประโยชน์สูงสุดในช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ และลานจอดรถภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือสามารถรองรับยานพาหนะได้ถึง 746 คัน/รอบ หรือ 842 คัน/ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ประโยชน์ของยานพาหนะกับขีดความสามารถสูงสุดในการรองรับได้ พบว่า ลานจอดรถส่วนใหญ่มีปริมาณการใช้ประโยชน์น้อยกว่าร้อยละ 50 และอยู่ในระดับต่ำกว่าขีดความสามารถในการรองรับได้ ยกเว้น ลานจอดรถบริเวณลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) ที่มีปริมาณการใช้ประโยชน์มากกว่าร้อยละ 80 และอยู่ในระดับเกินขีดความสามารถในการรองรับได้ ทางอุทยานแห่งชาติควรมีมาตรการในการจัดการปริมาณยานพาหนะในช่วงเวลาและบริเวณมีการใช้ประโยชน์เกินขีดความสามารถในการรองรับได้ โดยกระจายยานพาหนะไปยังลานจอดรถบริเวณใกล้เคียง เพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดต่อฐานทรัพยากร และคุณภาพประสบการณ์ของ

ผู้มาเยือน และจากการสอบถามระดับความพึงพอใจของผู้มาเยือนต่อระบบการสัญจร พบว่า ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง ยกเว้น ด้านคุณภาพของผิวถนนที่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ในการพัฒนาและปรับปรุงระบบการสัญจรภายในอุทยานแห่งชาติภูเรือควรพิจารณาพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของผิวถนนเป็นอันดับแรกและดำเนินการโดยด่วน สำหรับผลกระทบต่อดินและพืชพรรณจากระบบการสัญจร พบว่า บริเวณใกล้ขอบถนนมีค่าความหนาแน่นรวมของดินสูงสุด และพบจำนวนชนิดพรรณต่างถิ่นมากที่สุด ในบางจุดมีการเปิดพื้นที่เป็นจุดพักรถริมทาง ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินสูง และจำนวนชนิดพรรณต่างถิ่นเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นควรควบคุมการเปิดพื้นที่สำหรับเป็นจุดพักรถริมทางเฉพาะที่มีควรจำกัดทั้งในด้านจำนวนของจุดพักรถและขนาดของพื้นที่ที่เปิดออก นอกจากนี้ยังพบการกร่อนของดินบริเวณร่องระบายน้ำเส้นทางจากด่านตรวจที่ 2 (ยอดภูเรือ) ถึงลานกางเต็นท์ที่ 2 (ภูสน) มีผลกระทบระดับรุนแรง ทางอุทยานแห่งชาติจึงควรมีการซ่อมแซม และออกแบบร่องระบายน้ำให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสามารถรองรับปริมาณน้ำจากพื้นที่ได้เพียงพอ

คำนิยม

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562

REFERENCES

Auerbach, N.A., M.D. Walker and D.A. Walker. 1997. Effects of roadside disturbance on substrate and vegetation properties in arctic tundra. **Ecological Applications** 7: 218-235.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute ed. **Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods**. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison.

Charungphan, K., B. Maungsri, N. Kongcheepyun, T. Ruengmak and S. Kongcheepyun. 2015. Species and distribution of invasive alien plants in national park, pp. 170-176. *In* **Proceedings of the 5th Thai forest Ecological Research Network (T-FERN)**. 16-17 December 2015. Faculty of Forestry, Kasetsart University. Bangkok. (in Thai)

Fogg, G.E. 1997. **Park Planning Guidelines.** 3rd ed. National Recreation and Park Association, Washington, D.C.

Forman, R.T.T., D. Sperling, J.A. Bissonette, A.P. Clevenger, C.D. Cutshall, V.H. Dale, L. Fahrig, R. France, C.R. Goldman, K. Heanue, J.A. Jones, F.J. Swanson, T. Turrentine and T.C. Winter. 2003. **Road Ecology Science and Solutions**. Island Press, Washington.

Johnston, F.M. and S.W. Johnston. 2004. Impacts of road disturbance on soil properties and on exotic plant occurrence in subalpine area of the Australian Alps. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research** 36: 201-207.

Lee, M.A., L. Davies and A. Power. 2012. Effects of roads on adjacent plant community composition and ecosystem function: An example from three calcareous ecosystems. **Environmental Pollution** 163: 273-280

Manning, R., S. Lawson, P. Newman, J. Hallo and C. Monz. 2014. Principles of sustainable transportation in the national park. **The George Wright Forum** 31: 345-358.

National Park Office. 2008. **Handbook 10th Monitoring of Recreation Carrying Capacity in National Park**. *Department of National Parks*, *Wildlife and Plant Conservation*, Bangkok. (in Thai)

_____. 2019. **Amount of National Park Revenue, Tourist, and Vehicles**. Available Source: http://portal.dnp.go.th/Content/nationalpark?contentId=11191, February 10, 2019. (in Thai)

Tanakanjana, N., S. Chetamas, D. Emphandhu, N. Pichakum, L. Temtrakul, S. Singhawarawut and S. Ratchakiri. 1998. **Handbook for Develop Facilities in Tourism Site to Ecotourism**. Forestry Research Center, Faculty of Forestry, Kasetsart University. Bangkok. (in Thai)

White, D. 2007. An interpretive study of Yosemite National Park visitors' perspectives toward alternative transportation in Yosemite Valley. **Environmental Management** 39: 50-62.

Withayawongruchi, C. and M. Poopath. 2012. **Species and Distribution of Invasive Plants in Kaeng Krachan Forest Complex: Case of Prache Rever Wildlife Sanctuary, Ratchaburi Provience**. Division of Wild Fauna and Flora Protection, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (Mimeographed) (in Thai)

Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introduction Analysis**. 3rd ed. Harper & Row, New York.

Thai J. For. 38 (2) : 124-135 (2019) **วารสารวนศาสตร์ 38 (2) : 124-135 (2562)**

นิพนธ์ต้นฉบับ

ปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย

Climatic Factors on Growth of *Pinus latteri* Mason in Hill Evergreen Forest at Phu Kradueng National Park, Loei Province

กนกวรรณ ยอดทอง **Kanokwan Yordtong**
ขวัญชัย ดวงสถาพร* **Khwanchai Duangsathaporn***
กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ **Kritsadapan Palakit**

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, fforkcd@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 13 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 8 กรกฎาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 18 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

This study focused on the growth of *Pinus latteri* and its relationship to climatic data in order to reconstruct the climate in the past. Following the dendrochronological techniques, the growth pattern of 38 core samples from 19 trees was found to be similar to an average critical level of correlation higher than 0.3281. The oldest sample was found to have 129 annual rings, formed between 2431 to 2559 B.E. The annual increment in radius of *Pinus latteri* could be explained by using an exponential growth pattern, which had an average tree - ring width of 0.358 cm. The correlation analysis between tree - ring index and climatic data indicated that the monthly average minimum temperature in October and the monthly average relative humidity in March, October and November were significantly correlated ($p<0.05$) to the tree-ring index. It was also found that the monthly average relative humidity in February of the previous year had significant correlation ($p<0.01$) with the tree - ring index as well as the monthly average maximum temperature and the monthly average relative humidity in March of the previous year. The past climate reconstructed from relative humidity in February of the previous year data showed that for the last 62 years, the average monthly relative humidity in Thailand during the month of February has increased by 1 percent since 2431 B.E. with a tendency to continuously increase in the future.

Keywords: Growth, Climate, *Pinus latteri*, Dendrochronology, Climatic reconstruction

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบและศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ เพื่อใช้สร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต โดยดำเนินการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางด้านรุกขกาลวิทยา ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างไม้ทั้ง 38 ตัวอย่าง จากไม้สนสองใบ 19 ต้น มีรูปแบบการเติบโตที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ในทุกช่วงเวลาเฉลี่ยมากกว่า 0.3281 ไม้สนสองใบที่มีอายุมากสุดสามารถวัดความกว้างวงปีย้อนหลังได้ 129 ปี คือ ตั้งแต่ พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบสามารถอธิบายได้โดยใช้รูปแบบการเติบโตเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยมีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยเท่ากับ 0.358 เซนติเมตร เมื่อนำเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลความกว้างวงปีมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลอากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน นอกจากนี้ ยังพบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี รวมทั้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด และมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี แบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าในรอบ 62 ปีที่ผ่านมา ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของประเทศไทยสูงขึ้นจากในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 ร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

คำสำคัญ: การเติบโต ภูมิอากาศ สนสองใบ รุกขกาลวิทยา การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ

คำนำ

สภาพภูมิอากาศทั่วโลกกำลังเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมช่วง 200 ปีที่ผ่านมา (Cheikeewong, 2012) ส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 70 ระหว่าง ปี ค.ศ. 1970 - ค.ศ. 2004 (IPCC, 2007) สำหรับประเทศไทยมีรายงานว่าในรอบ 48 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2513 - พ.ศ. 2560) อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศสูงขึ้นประมาณ 1.30 องศาเซลเซียส (Limsakul *et al*., 2019) ซึ่งการพยากรณ์สภาพอากาศในระยะยาวให้มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเชิงปริมาณในอดีตเป็นเวลาหลายร้อยปี แต่เนื่องจากมีรายงานข้อมูลสภาพอากาศที่มีการตรวจวัดถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ย้อนหลังประมาณ 70 ปีเท่านั้น (Pumijumnong and Eckstein, 2011) จากข้อจำกัดของข้อมูลดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์จึงใช้ข้อมูลตัวแทน (proxy data) มาเป็นทางเลือกในการศึกษาสภาพอากาศในอดีต เช่น การวิเคราะห์วงปีไม้หรือเทคนิคทางด้านรุกขกาลวิทยา (dendrochronology) (Bradley, 1999)

วงปีไม้จึงเป็นหลักฐานหนึ่งที่ได้รับการพิสูจน์และทำการศึกษากันอย่างกว้างขวางในประเทศต่าง ๆ สำหรับประเทศไทยเพิ่งมีการศึกษากันอย่างจริงจังและต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และพบว่าต้นไม้ที่มีศักยภาพในการศึกษาข้อมูลตัวแทนของวงปีไม้ ได้แก่ ไม้สักและไม้สนสองใบ ในปี พ.ศ. 2538 ได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับไม้สักขึ้นเป็นครั้งแรกของประเทศไทย ผลการศึกษาได้ดัชนีไม้สักครอบคลุมระยะเวลา 312 ปี โดยพบว่าไม้สักทางภาคเหนือของประเทศไทยตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนในช่วงคาบเกี่ยวจากฤดูแล้งมาสู่ฤดูฝน และการศึกษาในครั้งนี้ได้สร้างเส้นน้ำฝนและเส้นอุณหภูมิย้อนกลับไปถึงปี พ.ศ. 2413 ซึ่งทำให้ทราบถึงสภาพอากาศในอดีต

(Pumijumnong, 1995) สำหรับการศึกษาวงปีไม้สนในประเทศไทย พบว่ามีการศึกษาทั้งในภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลาง และภาคตะวันออก เช่น Pumijumnong and Eckstein (2011) ได้ใช้ไม้สนสองใบและไม้สนสามใบที่กระจายตัวอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยสร้างเส้นอุณหภูมิในภาคเหนือของประเทศไทยเป็นครั้งแรก ส่วน Duangsathaporn and Palakit (2013) ทำการศึกษาไม้สนสองใบในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งทำให้ทราบการตอบสนองต่อปัจจัยภูมิอากาศของไม้สนสองใบในพื้นที่ดังกล่าว การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ให้มีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศควรคำนึงถึงพิสัยของระบบนิเวศ (ecological amplitude) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในหลักการสำคัญของการศึกษาด้านรุกขกาลวิทยา บนพื้นฐานหลักการนี้ต้นไม้จะมีความกดดันน้อยในบริเวณช่วงกลางของพิสัย และต้นไม้จะมีความกดดันมากขึ้นในบริเวณใกล้เขตสิ้นสุดของรอยเชื่อมต่อแต่ละสังคมพืช (ecotone) ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงปีไม้และสภาพอากาศ ต้นไม้ที่น่าจะบันทึกข้อมูลสภาพได้ดีควรเป็นต้นไม้ที่ขึ้นบริเวณใกล้เขตสิ้นสุดของค่าพิสัย (Fritts, 1976)

ไม้สนสองใบ (*Pinus latteri* Mason) ถือเป็นหนึ่งในชนิดไม้ที่มีความสามารถในการศึกษาด้านรุกขกาลวิทยา เนื่องจากเป็นไม้ที่เห็นลักษณะวงปีชัดเจน ไม้สนสองใบที่เกิดตามธรรมชาติในประเทศไทยส่วนใหญ่กระจายอยู่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นและยาวนาน ดังนั้นสังคมสนสองใบจึงมักปรากฏอยู่บนภูเขาสูง (Marod and Kudintra, 2009) เช่น ป่าสนวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่ ป่าสนปางอุ๋ง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ป่าสนบริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย National Parks of Thailand (n.d.) ได้รายงานว่า สังคมป่าสนเขาบริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึงสามารถพบได้เฉพาะบริเวณที่ราบบนยอดภูเท่านั้น ซึ่งอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,200 - 1,350 เมตร แต่ป่าดิบเขาบริเวณใกล้จุดพักซำแคร่ ซึ่งอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,000 เมตร มีระยะทาง 1,300 เมตร ก่อนถึงบริเวณที่ราบบนยอดภูพบไม้สนสองใบขึ้นเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ปะปนกับไม้ใบกว้างชนิดอื่น ซึ่งเป็นไปได้ว่าไม้สนสองใบในบริเวณดังกล่าวเป็นไม้สนสองใบในช่วงขอบเขตสิ้นสุดของพิสัย และอาจมีรูปแบบการเติบโตที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดี

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบและศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ รวมทั้งสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต โดยอาศัยข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบในป่าดิบเขา บริเวณอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย โดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณป่าดิบเขาใกล้จุดพักซำแคร่ของอุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย พิกัดทางภูมิศาสตร์ 0799630 ตะวันออก 1867156 เหนือ ซึ่งอยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,040 เมตร ลักษณะสภาพภูมิอากาศของอุทยานแห่งชาติภูกระดึง รวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดเลย พบว่า ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน - ตุลาคม ฝนตกชุกที่สุดระหว่างเดือนสิงหาคม - กันยายน (National Parks of Thailand, n.d.) มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยเท่ากับ 1,248 มิลลิเมตร โดยเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนมากที่สุด อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนมกราคม (Figure 1)

อุปกรณ์

1. เครื่องกำหนดตำแหน่งทางพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) 2. เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) 3. เครื่องมือวัดความสูงต้นไม้ด้วยแสงเลเซอร์ ยี่ห้อ Nikon รุ่น Forestry Pro 4. สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน (increment borer) 5. เส้นผ่านศูนย์กลาง

5 มิลลิเมตร 6. เครื่องขัดกระดาษทรายแบบ Belt sander และแบบ Rotary sander 7. เครื่องมือวัดความกว้างวงปีไม้ 8. แบบบันทึกข้อมูล 9. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

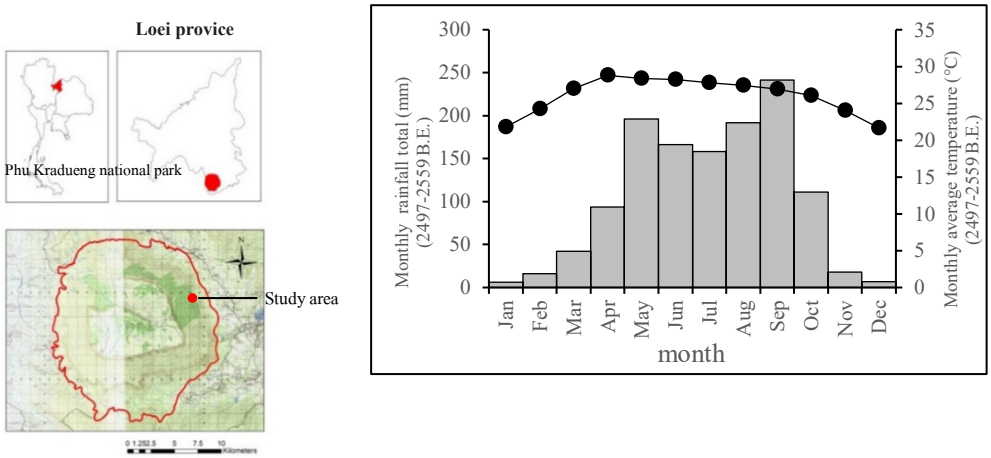


Figure 1 Study area and climate diagram from the Loei meteorological station.

การเก็บตัวอย่าง

ทำการเจาะเก็บตัวอย่างวงปีไม้สนสองใบโดยใช้สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูนเจาะจากเปลือกไม้จนถึงแก่นที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน เลือกเจาะไม้สนสองใบที่เป็นไม้เด่น มีเรือนยอดสมบูรณ์ ลำต้นเปลาตรง ไม่มีบาดแผลหรือลักษณะที่ผิดปกติ จำนวน 19 ต้น ต้นละ 2 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่าง (sample core) ใส่หลอดพลาสติกและเขียนรหัสกำกับ เพื่อนำไปดำเนินการต่อในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างและการวัดความกว้างวงปีต้นไม้

1. นำตัวอย่างไม้ในหลอดพลาสติกออกมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นติดตัวอย่างไม้ลงบนแท่นยึดไม้ด้วยกาว โดยให้ด้านตัดขวาง (transverse section) อยู่ด้านบนของแท่นยึด พันตัวอย่างไม้กับแท่นยึดไม้ด้วยกระดาษกาวอีกครั้งเพื่อยึดตัวอย่างให้แน่น จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 - 3 วัน เพื่อให้กาวแห้ง

2. ขัดตัวอย่างไม้เพื่อเปิดหน้าไม้ด้วยเครื่องขัดแบบ Belt sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 120 จากนั้นขัดตัวอย่างไม้เพื่อให้เห็นขอบเขตวงปีชัดเจนขึ้นด้วยเครื่องขัดแบบ Rotary sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 220 - 600

3. นำตัวอย่างไม้มาผ่านเทคนิค Cross matching โดยเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปีของตัวอย่างไม้ภายในต้นเดียวกันและระหว่างต้นใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4x - 40x

4. วัดความกว้างวงปีไม้สนสองใบด้วยเครื่องมือวัดความกว้างวงปีไม้ที่พัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการรุกขกาลวิทยาเขตร้อนที่สามารถวัดความกว้างวงปีได้ที่ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ข้อมูลการวัดจะถูกบันทึกโดยโปรแกรม KU - TRA 1.0 (Kasetsart University - Tree Ring Analysis 1.0)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบความสอดคล้องและวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ

ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ภายในชุดข้อมูล วิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกการกระจายของข้อมูลก่อนที่จะมีการแก้ไขใด ๆ วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (mean sensitivity) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของข้อมูลวงปีไม้จากปีหนึ่งไปสู่ปีต่อไป และค่าอัตตสหสัมพันธ์

(autocorrelation) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของวงปีไม้ของปีที่ผ่านมาต่อปีปัจจุบัน โดยค่าสถิติดังกล่าวจะประมวลผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983)

2. การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบและการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้

สร้างเส้นดัชนีวงปีไม้และทดสอบค่า Express population signal (EPS) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้ โดยอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่างโดยประมวลผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981)

3. การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้กับข้อมูลปัจจัยด้านภูมิอากาศ โดยใช้สถิติ Pearson correlation ข้อมูลภูมิอากาศรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดเลย ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณเก็บตัวอย่างประมาณ 80 กิโลเมตร ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน

4. การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (climate reconstruction)

การสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตจะเลือกข้อมูลอากาศที่มีความสัมพันธ์กับเส้นดัชนีวงปีไม้มากที่สุดมาศึกษา โดยแบ่งข้อมูลสภาพอากาศจริงกับดัชนีวงปีไม้ออกเป็นสองช่วง เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้เทคนิค Regression analysis ช่วงแรกจะเป็นการสอบเทียบข้อมูล (calibration) ช่วงที่สองจะเป็นการทวนสอบข้อมูล (verification) ค่าสถิติที่ใช้อธิบายความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ค่าความผิดพลาดน้อยสุด (reduction of error: RE) ค่า T-value และค่าสัดส่วนของตัวอย่างที่ยอมรับได้ทางสถิติ (sign test) ซึ่งสามารถประมวลผลได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Verify calibration model (VFY) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Dendrochronology program library (DPL) (Holmes, 1983)

ผลและวิจารณ์

เมื่อนำตัวอย่างไม้ทั้ง 38 ตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางด้านรุกขกาลวิทยาได้ผลการศึกษาดังนี้

รูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ

1. การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ

คุณภาพของข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบจะถูกตรวจสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983) โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดอายุ และความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปีในแต่ละตัวอย่างไม้เทียบกับเส้นดัชนีที่โปรแกรมคำนวณขึ้นตามช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี และแบ่งช่วงความยาวเป็นช่วงละ 25 ปี ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก ซึ่งควรมากกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดของระดับวิกฤติของสหสัมพันธ์ (critical level of correlation) ที่ยอมรับได้ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลักในกรณีกำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กำหนดค่าต่ำสุดของระดับวิกฤติของสหสัมพันธ์ไว้ที่ 0.3281 ผลการศึกษาพบว่า พ.ศ. 2418 - พ.ศ. 2467, พ.ศ. 2443 - พ.ศ. 2492, พ.ศ. 2468 - พ.ศ. 2517, พ.ศ. 2493 - พ.ศ. 2542 และ พ.ศ. 2518 - พ.ศ. 2567 มีค่าเฉลี่ยสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลักเท่ากับ 0.52, 0.51, 0.53, 0.50 และ 0.48 ตามลำดับ

2. ชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA (Holmes, 1983) พบว่าตัวอย่างไม้มีจำนวนวงปีเฉลี่ย 87 วงปีต่อตัวอย่างไม้ และพบว่าตัวอย่างไม้ที่มีจำนวนวงปีมากสุด คือ 129 วง อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 ค่าสถิติสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปี ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์

กับอนุกรมหลัก ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าอัตต-สหสัมพันธ์ และค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลความกว้างวงปีไม้มีค่าเฉลี่ยของค่าสถิติดังกล่าวเท่ากับ 0.492, 1.480, 0.726 และ 0.252 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Pumijumnong and Eckstein (2011) ที่ได้ทำการศึกษาไม้สนสองใบที่กระจายตัวอยู่ทางภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ตาก สุพรรณบุรี และเพชรบุรี สะท้อนให้เห็นว่าการแปรผันของวงปีไม้สนสองใบในประเทศไทยตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน

3. ลักษณะการเติบโตของไม้สนสองใบ

แนวโน้มความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 รวม 129 ปี พบว่ามีแนวโน้มการเติบโตแบบสมการเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2460, พ.ศ. 2461 - พ.ศ. 2490, พ.ศ. 2491 - พ.ศ. 2520 และ พ.ศ. 2521 - พ.ศ. 2559 มีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยเท่ากับ 5.230, 4.028, 3.340 และ 2.147 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าความกว้างวงปีมากสุดในปี พ.ศ. 2433 คือ 0.779 เซนติเมตร และมีค่าความกว้างวงปีน้อยสุดในปี พ.ศ. 2498 คือ 0.194 เซนติเมตร จาก Figure 2 (a) จะเห็นว่า ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบมีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559 เท่ากับ 0.358 เซนติเมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Lumyai (2009) ที่พบว่า ความเพิ่มพูนรายปีด้านรัศมีของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี มีแนวโน้มลดลงตามอายุที่มากขึ้น จากค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีทำให้ทราบว่าไม้สนสองใบในบริเวณที่ทำการศึกษามีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.716 เซนติเมตร ซึ่งเป็นอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการเติบโตของไม้สนสองใบใน 8 พื้นที่ที่กระจายตามธรรมชาติทั่วประเทศไทย ได้แก่ ไม้สนสองใบที่เชียงดาว ออบขาน ปาย บ่อแก้ว วัดจันทร์ อุ้มผาง พุเตย และท่ายาง โดยไม้สนสองใบในพื้นที่ดังกล่าวมีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.2 - 0.4 เซนติเมตร (Pumijumnong and Eckstein, 2011) อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบลักษณะการเติบโตของไม้สนสองใบในแต่ละพื้นที่กระทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากปัจจัยด้านอายุของไม้สนสองใบที่ไม่เท่ากัน ไม้สนสองใบในพื้นที่ใดมีอายุมาก อัตราการเติบโตจะค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ไม้สนสองใบที่มีอายุน้อย อัตราการเติบโตจะค่อนข้างสูง อีกทั้งปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้ในแต่ละพื้นที่มีปัจจัยจำกัดที่ต้นไม้ใช้ในการเติบโตแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ล้วนส่งผลต่ออัตราการเติบโตของไม้สนสองใบทั้งสิ้น (Puangchit, 2007)

4. เส้นดัชนีวงปีไม้และความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้

ผลการศึกษาพบว่า เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้ง 3 เส้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981) ได้แก่ Standard, Residual และ Arstan index มีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยมีค่า Mean index เท่ากับ 0.981, 0.986 และ 0.986 ตามลำดับ มีค่า Standard deviation เท่ากับ 0.158, 0.156 และ 0.155 ตามลำดับ มีค่า Mean sensitivity เท่ากับ 0.169, 0.206 และ 0.174 ตามลำดับ และมีค่า Auto - correlation เท่ากับ 0.195, -0.150 และ 0.118 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบค่า EPS พบว่า เส้นดัชนีวงปีไม้ในทุกช่วงอายุมีค่า EPS สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด คือ $\geq$ 0.85 ดังแสดงใน Figure 2 (c) จำนวนตัวอย่าง (number of cores) และค่า R-Bar แสดงใน Figure 2 (d) แม้เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้ง 3 เส้นจะมีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้ Residual index (Figure 2 (b)) ในการนำไปหาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านภูมิอากาศในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเส้นดัชนีวงปีไม้ดังกล่าวมีค่า Mean sensitivity สูงกว่า Standard และ Arstan index แสดงว่าอาจมีความสามารถในการติดตามข้อมูลสภาพอากาศได้ดีกว่า

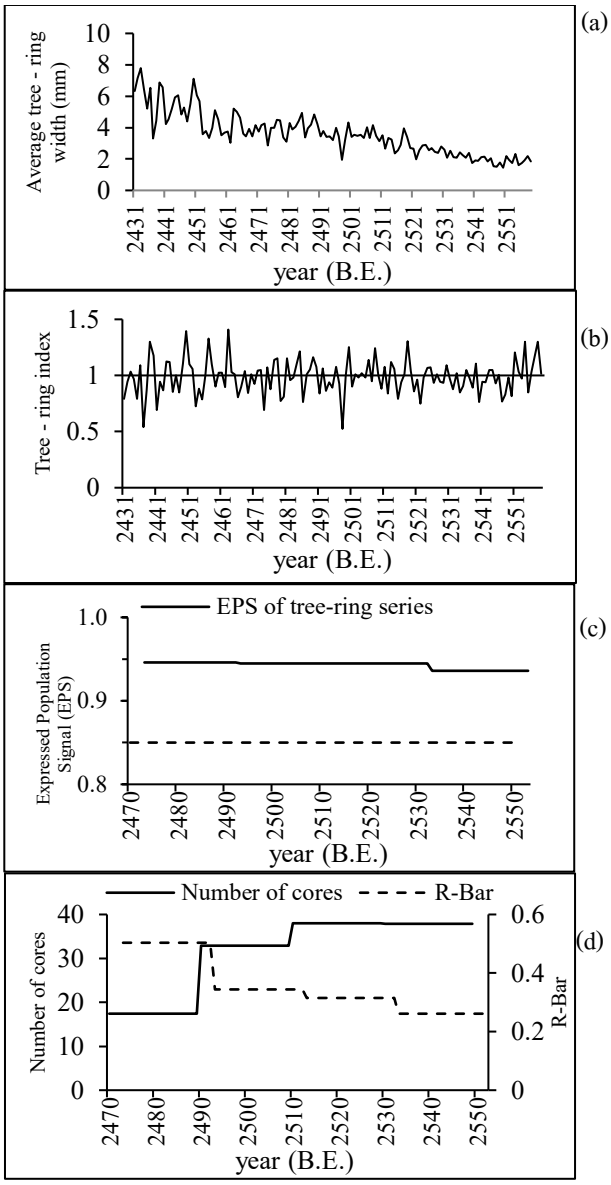


Figure 2 Average tree - ring width (a), tree - ring index (b), expressed population signal of *Pinus latteri* along the growing periods (c) and number of cores & R-Bar (d).

การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

เมื่อนำ Residual index มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนของแต่ละปีมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้ ดังแสดงใน Figure 3 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.263, 0.295, 0.274 และ 0.309 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม

และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนที่ลดต่ำลงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายปีประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปีจะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้สนสองใบเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปริมาณความชื้นสัมพันธ์จะมากหรือน้อยในช่วงปลายฤดูฝนและในช่วงฤดูแล้งมีความสำคัญต่อการเติบโตของไม้สนสองเป็นอย่างมาก ส่วนปัจจัยด้านภูมิอากาศอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญกับเส้นดัชนีวงปีไม้

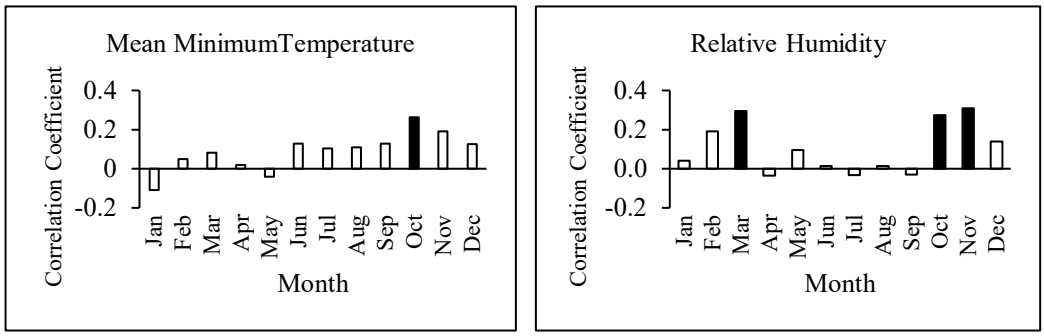


Figure 3 Correlation coefficient between the tree - ring index and mean minimum temperature and relative humidity of the current year; black bar indicates a correlation significant at $p< 0.05$.

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของวงปีไม้สนสองใบกับปัจจัยด้านภูมิอากาศของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.344 นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคมและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.258 และ -0.301 ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 4 ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายเดือน ตลอดจนปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับเส้นดัชนีวงปีไม้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Lumyai (2009) ที่ได้ศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนตุลาคมมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนมีอย่างเพียงพอในช่วงเดือนตุลาคม แต่อุณหภูมิมีการลดลงจนถึงระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ซึ่งหากอุณหภูมิสูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเนื้อเยื่อเจริญจะทำให้ไม้สนสองใบมีการเติบโตที่ดีขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Linasmita (2004) ที่ได้สรุปว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมเนื้อเยื่อเจริญในไม้สนสามใบ และอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกระตุ้นให้เนื้อเยื่อเจริญเกิดกิจกรรม นอกจากนี้ Duangsathaporn and Palakit (2013) ได้ทำการศึกษาไม้สนสองใบในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ดัชนีวงปีไม้สนสองใบในพื้นที่ดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคมของปีปัจจุบัน และแสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิในเดือน

ธันวาคมของปีก่อนหน้า จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า นอกจากสภาพภูมิอากาศในปีปัจจุบัน (t) ยังมีสภาพภูมิอากาศของปีก่อนหน้า (t-1) ที่ส่งผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ เช่นเดียวกับสภาพภูมิอากาศในปีปัจจุบันที่อาจส่งผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในปีถัดไป (t+1) (Fritts, 1976) และความสัมพันธ์ของวงปีไม้สนสองใบกับการตอบสนองต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในแต่ละพื้นที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างกัน เช่น แสง อุณหภูมิ ลม น้ำ รวมถึงมลพิษต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจไม่ได้เปลี่ยนแปลงการเติบโตของต้นไม้โดยตรง แต่สามารถส่งผลทางอ้อมต่ออัตราการเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของต้นไม้ โดยปัจจัยสิ่งแวดล้อมปัจจัยหนึ่งมักส่งผลต่ออีกปัจจัยหนึ่งเป็นลูกโซ่ และผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเติบโตของต้นไม้ยังแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา (Puangchit, 2007)

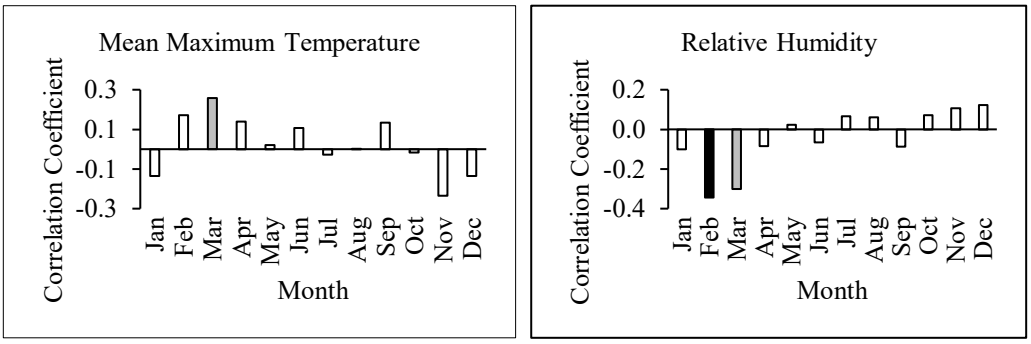


Figure 4 Correlation coefficient between the tree - ring index and mean maximum temperature and relative humidity of the previous year; black bar indicates a correlation significant at $p<0.01$ while gray bar indicates a correlation significant at $p<0.05$.

แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (Climate reconstruction)

จากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้กับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี สามารถสร้างสมการถดถอยโดยใช้เทคนิค Regression analysis สมการถดถอยที่ได้จากการสอบเทียบความสัมพันธ์ของข้อมูลในช่วง พ.ศ. 2498 - พ.ศ. 2541 (44 ปี) ได้แก่ $Y = -8.495x + 69.762$ โดยที่ Y คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และ X คือ ค่าเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ จากนั้นทำการทวนสอบในช่วงปี พ.ศ. 2542 - พ.ศ. 2559 (18 ปี) ค่าสถิติที่ใช้อธิบายความน่าเชื่อถือของแบบจำลองแสดงใน Table 1 ซึ่งพบว่าในช่วงสอบเทียบ ค่า R, RE, T-value และค่า Sign test มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ส่วนในช่วงทวนสอบพบว่ามีเพียงค่า R และค่า T-value เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับค่าจริง (actual) ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และเมื่อนำค่าจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง (reconstructed) ของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มาสร้างกราฟเทียบความสัมพันธ์พบว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Figure 5)

Table 1 Reconstruction of relative humidity in February of the previous year.

Statistic	Calibration 2498-2541 (B.E.)	Verification 2542-2559 (B.E)	Full period
Variation explained	21.20 %		22.44 %
R	0.3261*	0.4881*	0.3512*
RE	0.1062*	0.1223	
T-value	2.5112*	2.7683*	
Sign test	16*	9	

Remark: * Statistically significant at the 0.05 level

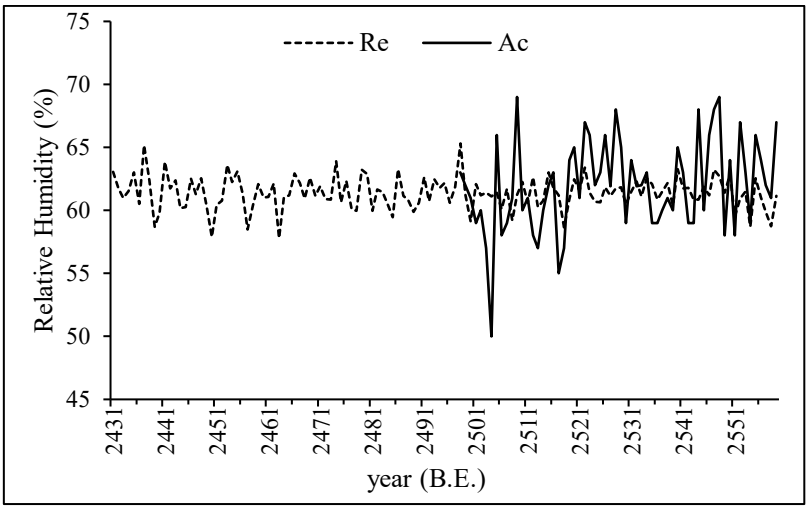


Figure 5 Actual relative humidity in February (Ac) of the previous year (2498 - 2559 B.E.) and reconstructed relative humidity in February (Re) of the previous year (2431 - 2559 B.E.).

จาก Figure 5 แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2497 ก่อนที่จะมีการบันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยามีแนวโน้มลดต่ำลงและมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงในช่วง 43 ปีแรก (พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2473) โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2450 พ.ศ. 2457 และ พ.ศ. 2463 เป็นปีที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในช่วง 129 ปี (พ.ศ. 2431 - พ.ศ. 2559) คือ ร้อยละ 58 อาจเป็นไปได้ว่าในปีดังกล่าวสภาพภูมิอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงปี พ.ศ. 2498 - พ.ศ. 2559 หลังมีการบันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในอดีตร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pumijumnong *et al*. (1995) ที่ได้จำลองสภาพภูมิอากาศจากไม้สักย้อนหลังไปถึงปี พ.ศ. 2413 โดยพบว่า ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2413 - พ.ศ. 2454 มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดเลย ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณที่ทำการศึกษาประมาณ 80 กิโลเมตร และอยู่ในเขตพื้นที่ราบลุ่ม สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 250 เมตร ในขณะที่บริเวณที่ทำการศึกษาอยู่บนภูเขา สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,040 เมตร ซึ่งเป็นสังคมของป่าดิบเขาอันมีสภาพภูมิอากาศเฉพาะถิ่น ดังนั้น ข้อมูลภูมิอากาศที่นำมาวิเคราะห์อาจยัง

ไม่ใช่ข้อมูลภูมิอากาศที่แท้จริงของบริเวณที่ทำการศึกษา ส่งผลให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นอาจมีความคลาดเคลื่อน

สรุป

การเติบโตของไม้สนสองใบในป่าดิบเขา อุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนของแต่ละปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนตุลาคม และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคม ตุลาคม และพฤศจิกายนที่ลดต่ำลงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเติบโตของไม้สนสองใบ ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นในช่วงปลายปีประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปีจะส่งผลให้อัตราการเติบโตของไม้สนสองใบเพิ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์เชิงลบทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนมีนาคมของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์เชิงลบทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ สำหรับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่สร้างขึ้นจากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี แสดงให้เห็นว่า ในรอบ 62 ปีที่ผ่านมา ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ของประเทศไทยสูงขึ้นจากในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2431 ร้อยละ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ

คำนิยม

การศึกษานี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัย บางส่วนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการ “สาเหตุการเกิดและการระบุวงปีปลอมของไม้สนเขาร่วมกับการจำแนกขอบเขตที่แท้จริงของไม้ต้นฤดูและไม้ปลายฤดู เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการศึกษาการแปรผันของสภาพภูมิอากาศและการตอบสนองต่อการเติบโตของไม้สน” จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

REFERENCES

Bradley, R.S. 1999. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. 2nd ed. Academic Press, USA.

Cheikeewong, U. 2012. **Global Warming**. Saengdao Publishing, Bangkok.

Cook, E.R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. **Tree-Ring Bulletin** 41: 45-53.

Duangsathaporn, K. and K. Palakit. 2013. Climatic signals derived from the growth variation and cycles of *Pinus merkusii* in Easternmost Thailand. **Thai Journal of Forestry** 32: 9-23.

Fritts, H.C. 1976. **Tree Rings and Climate**. Academic Press, New York.

Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin** 43: 69-78.

IPCC. 2007. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.

Limsakul, A., B. Kachenchart, P. Singhruck, S. Saramul, J. Santisirisomboon and S. Apipattanavis. 2019. Updated basis knowledge of climate change summarized from the first part of Thailand’s second assessment report on climate change. **Applied Environmental Research** 41: 1-12.

Linasmita, V. 2004. **Seasonal Variation on Cambial Activity of *Pinus kesiya* in Doi Khun Tan National Park, Thailand**. M.S. Thesis, Mahidol University.

Lumyai, P. 2009. **Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University.

Marod, D. and U. Kuintara. 2009. **Forest Ecology**. Aksorn Siam Limited Partnership, Bangkok.

National Parks of Thailand. n.d. **Phu Kradueng National Park**. Available Source: http://portal.dnp.go.th/Content/nationalpark?contentId=945, January 10, 2018.

Puangchit, L. 2007. **Silviculture: Foundation of Forest Planting**. Aksorn Siam Limited Partnership, Bangkok.

Pumijumnong, N. 1995. **Dendrochronologie mit Teak (*Tectona grandis* L.) in North-Thailand**. Dissertation, University Hamburg.

_____ and D. Eckstein. 2011. Reconstruction of pre-monsoon weather conditions in northwestern Thailand from the tree-ring widths of *Pinus merkusii* and *Pinus kesiya*. **Trees** 25: 125-132.

_____, _____ and U. Sass. 1995. Tree-ring research on *Tectona grandis* in northern Thailand. **IAWA Journal** 16: 385-392.

Thai J. For. 38 (2) : 136-151 (2019) วารสารวนศาสตร์ 38 (2) : 136-151 (2562)

นิพนธ์ต้นฉบับ

รูปแบบการเติบโตของพรรณไม้เด่นบางชนิดในป่าเต็งรังภายใต้การแปรผันของสภาพภูมิอากาศ ในบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา

Growth Patterns of some Dominant Tree Species in Dry Dipterocarp Forest under Climate Variability in Sakaerat Environmental Research Station, Nakhon Ratchasima Province

พิชิต ลำใย **Pichit Lumyai**
ขวัญชัย ดวงสถาพร* **Kwanchai Duangsataporn***
กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ **Kritsadapan Palakit**

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak,Bangkok, 10900 Thailand
*Corresponding Author, Email: fforkcd@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 1 สิงหาคม 2562 **รับแก้ไข** 17 กันยายน 2562 **รับลงพิมพ์** 19 กันยายน 2562

ABSTRACT

This study aimed at investigating the growth patterns of some dominant tree species in a dry dipterocarp forest under climate variability. The study site was located at Sakaerat Environmental Research Station in the Nakhon Ratchasima province, with the growth patterns recorded every 2 months for a year by using the cambial marking technique. The correlation between the increment data and climate data was determined to explain the effect of climate variability on tree growth. The two major species found were *Shorea obtusa* Wall. Ex Blume and *S. siamensis* Miq., as indicated by the value of importance value index (IVI), were selected for a total of 30 trees which included dominant, codominant and suppressed crown covers (5 trees/canopy layer/species).

The results indicated that the annual growths of *S. obtusa* and *S. siamensis* were 3.304±0.67 and 2.210±0.49 mm, respectively, with quiescence in December 2014 until May 2015. There was active growth during the months between June and November 2015, with an insignificant difference in growth rates among the canopy layers. A study of the relationship between periodic tree growth and climate variability indicated that the total rainfall every 2 months induced growth in *S. obtusa* in the dominant, codominant and suppressed crown covers with an average growth of 89.6, 93.5, 77.9 and 88.9%, respectively. Climate variability was not significantly related to wood increments of *S. siamensis* in any of the canopy layers. When compared with the climate variability every 2 months of the previous period (t-1), the extreme minimum temperature was significantly

correlated with the wood increments of *S. obtusa* in dominant, codominant, suppressed covers with an average growth of 74.7, 70.0, 67.2 and 70.5%, respectively. Total rainfall measured every 2 months during the previous period also induced wood increments in *S. siamensis* in dominant, codominant, suppressed covers with an average growth of 68.0, 69.3, 67.2 and 68.6%, respectively.

Keywords: Tree growth, Tree growth measurement, Climate variability, Cambial marking technique

บทคัดย่อ

การศึกษารูปแบบการเติบโตของพรรณไม้เด่นบางชนิดในป่าเต็งรังภายใต้การแปรผันของสภาพภูมิอากาศ ในจังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเติบโตราย 2 เดือน ของพรรณไม้เด่นในป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเครื่องหมายบนแคมเบียม (cambial marking technique) มาศึกษาความเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางเส้นผ่านศูนย์กลาง นำไปสู่การหาความสัมพันธ์กับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ (Climate variability) ซึ่งสามารถอธิบายผลของการแปรผันสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ได้โดยละเอียดในระดับราย 2 เดือน โดยทำการคัดเลือกชนิดไม้หลักเพื่อใช้ในการศึกษาจากตารางชนิดพรรณไม้เด่น โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (importance value index, IVI) ที่มีการศึกษาวิจัยในพื้นที่ป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ซึ่งคัดเลือกจำนวน 2 ชนิด คือ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume) และรัง (*S. siamensis* Miq) ทำการคัดเลือกต้นไม้ตัวอย่างในเรือนยอดชั้นบนสุด (dominant) ชั้นรอง (codominant) และชั้นถูกปกคลุม (suppressed) ชนิดละ 5 ต้นต่อชั้นเรือนยอด รวมต้นไม้ตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 30 ต้น

ผลการศึกษาพบว่า เต็ง และรัง มีการเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 3.304±0.67 และ 2.210±0.49 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ โดยในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 มีอัตราการเติบโตหยุดนิ่ง และมีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ส่วนการศึกษาความแตกต่างการเติบโตระหว่างชั้นเรือนยอด พบว่าการเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองชนิด ในส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของพรรณไม้ทั้งสองชนิดกับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นเต็ง ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน ร้อยละ 89.6, 93.5, 77.9 และ 88.9 ตามลำดับ ส่วนต้นรังพบว่า ปัจจัยด้านภูมิอากาศไม่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของใน 3 ชั้นเรือนยอด อย่างไรก็ตาม พบว่า สภาพภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันมีอิทธิพลต่อการเติบโตของทั้งสองชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นเต็ง ในชั้นเรือนยอดเด่น ร้อยละ 74.7 รองลงมาได้แก่ ค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน ต้นเต็งในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม และเรือนยอดรอง ร้อยละ 70.5, 70.0 และ 67.2 ตามลำดับ ส่วนต้นรังพบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตในชั้นเรือนยอดรอง มากที่สุด ร้อยละ 69.3 รองลงมาได้แก่ ค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน ต้นรังในชั้นเรือนเด่น และเรือนยอดถูกปกคลุม ร้อยละ 68.6, 68, และ 67.2 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การเติบโตของต้นไม้ การวัดการเติบโตของต้นไม้ การแปรผันของสภาพภูมิอากาศ เทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียม

คำนำ

ผลของการแปรผันของภูมิอากาศทำให้เกิดผลกระทบหลายประการต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งเป็นทรัพยากรสำคัญที่อำนวยประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุหลักต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนอีกด้วย เนื่องจากปัจจัยด้านภูมิอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงและมีการแปรผันสูง จึงเป็นปัจจัยหนึ่งในปัจจัยแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการเติบโตและการกระจายตัวของต้นไม้ โดยในเบื้องต้นควรมีการศึกษาผลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าไม้ (Sikareepaisarn, 2015; Lumyai and Duangsathaporn, 2017a, 2017b)

การเติบโตของต้นไม้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตศูนย์สูตรในบางประเทศ พบว่า ต้นไม้ในบางพื้นที่มีการปรับตัวทำให้อัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต (Laurance *et al*., 2004; Lewis *et al*., 2004) ในขณะที่บางพื้นที่มีอัตราการเติบโตที่ลดลง (Clark *et al*., 2003) แต่สำหรับการศึกษาในประเทศไทย พบว่า การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของต้นไม้กับสภาพภูมิอากาศในเชิงลึกเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ยังคงมีน้อย และส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเฉพาะรูปแบบการเติบโตของต้นไม้ที่มีวงปี (annual ring) ชัดเจน เช่น ไม้สัก (*Tectona grandis*) และไม้สน (*Pinus* spp.) เพื่อหาความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรายปีเท่านั้น (Pumijumnong *et al*., 1995; Buckley *et al*., 1995, 2001, 2007a, 2007b; D' Arrigo *et al*., 1997; Duangsathaporn, 2000; Pumijumnong and Wanyaphet, 2006; Palakit *et al*., 2012, 2015a, 2015b, 2018; Buajan *et al*., 2016; Muangsong *et al*., 2016; Sangram *et al*., 2016; Auykim *et al*., 2017; Lumyai and Duangsathaporn, 2017a, 2017b) ซึ่งยังไม่ครอบคลุมถึงการศึกษาการเติบโตของต้นไม้รายเดือนหรือรายฤดูกาลที่ได้รับผลกระทบจากการแปรผันของสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มทวีความรุนแรงขึ้น จากปัญหาและข้อจำกัดของการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น การวิจัยนี้จึงมีความมุ่งหมายศึกษารูปแบบการเติบโตรายเดือนและรายฤดูกาลของพรรณไม้เด่นในพื้นที่ป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งสังคมพืชป่าเต็งรังบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราชมีความสำคัญทั้งทางด้านนิเวศวิทยา เศรษฐกิจและความเป็นอยู่ของประชากรประกอบไปด้วยพรรณไม้ที่มีคุณค่าหลายชนิด ในทางนิเวศนั้นชนิดพรรณไม้จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องกันไปตามการเติบโต (Chalaem, 1997) ดังนั้นการจัดการและฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้ภายใต้การแปรผันของสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน จำเป็นต้องทราบขีดความสามารถของป่าไม้ในด้านการเติบโตและการให้ผลผลิตจากป่าเพื่อรักษาไว้ซึ่งโครงสร้างและหน้าที่ของระบบนิเวศป่าไม้อย่างยั่งยืน (Montagnini and Jordan, 2005) โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนชั้นแคมเบียม (cambial wounding) (Nobuchi *et al*., 1995; Veenin *et al*., 2006; Palakit , 2013) มาศึกษาการเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางเส้นผ่านศูนย์กลาง และนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ (climate variability) ซึ่งสามารถอธิบายผลของการแปรผันของสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ได้อย่างละเอียดในระดับรายเดือนและรายฤดูกาล

อุปกรณ์และวิธีการ

การคัดเลือกชนิดพรรณไม้เด่นในพื้นที่ป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช

ทำการคัดเลือกชนิดพรรณไม้เด่น (dominant tree species) จากตารางค่าดัชนีความสำคัญของไม้ (Importance Value Index: IVI) ที่ได้มีการศึกษาในพื้นที่ คือ พื้นที่สังคมพืชป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ตำบลอุดมทรัพย์ อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัด

นครราชสีมา (Sampanpanish, 2000) โดยคัดเลือกชนิดไม้เด่นที่สำคัญจำนวน 2 ชนิด คือ เต็ง (*Shorea obtusa*) และรัง (*Shorea siamensis*) โดยมีหลักในการคัดเลือกต้นไม้ตัวอย่าง คือ เป็นต้นไม้ตัวอย่างในเรือนยอดชั้นบนสุด (dominant) ชั้นรอง (codominant) และชั้นถูกปกคลุม (suppressed) จำนวนชนิดละ 5 ต้นต่อชั้นเรือนยอด มีเรือนยอดที่สมบูรณ์ หรือไม่บิดเบี้ยวมากนัก มีลำต้นที่เปลาตรงไม่มีร่องรอยการผุพัง หรือร่องรอยของการเกิดโรคต่าง ๆ หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่สำรวจ เช่น ข้อมูลด้านภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ 5 สถานี ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝนรวมราย 2 เดือน (total rainfall in each 2 month: RF) อุณหภูมิสูงสุด (extreme maximum temperature: EMxT) และต่ำสุดรายวัน (extreme minimum temperature: EMnT) อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (average temperature: AvgT) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายวัน (average maximum temperature: AMxT) และต่ำสุดเฉลี่ยรายวัน (average minimum temperature: AMnT) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน (average Humidity: AvgH) ระหว่างเดือนตุลาคม 2557 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2558 ความลาดชันและทิศด้านลาด โดยใช้ Suunto PM-5 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกโดยใช้เครื่องมือเทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงทั้งหมดของต้นไม้โดยใช้เครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้แบบ Vertex (IV) Hypsometer

การสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียมและการเก็บตัวอย่างชิ้นไม้

การสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียมเพื่อวัตถุประสงค์ในการทำสัญลักษณ์ระบุขอบเขตการเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางและนำไปใช้วัดการเติบโตภายใต้เปลือกแบบรายเดือนและรายฤดูกาล โดยใช้เหล็กแบนที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และกว้าง 5 มิลลิเมตร ตอกผ่านเปลือกไม้ที่ระดับความสูง 130 ซม. จนถึงชั้นแคมเบียมทุก ๆ เดือน รวมไม่น้อยกว่า 1 ปี เพื่อให้ทราบรูปแบบการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในระยะเวลา 1 ปี โดยมีระยะห่างระหว่างแผล 2 เซนติเมตร ในแต่ละเดือน เริ่มทำการวัดการเติบโตตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2557 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 เมื่อครบกำหนดระยะเวลาให้นำชิ้นไม้ตัวอย่างที่สร้างเครื่องหมายบนชั้นแคมเบียมไว้ ออกจากลำต้นด้วยสิ่วและเลื่อยมือ โดยไม่ตัดฟันต้นไม้ ทำให้ต้นไม้สามารถเติบโตต่อไปได้ และทำการตัดแต่งเครื่องหมายที่เกิดจากการนำชิ้นตัวอย่างไม้ออกจากลำต้นให้เรียบเพื่อให้ต้นไม้สามารถฟื้นฟูและพัฒนาเนื้อเยื่อแคลลัสขึ้นมาซ่อมแซมเครื่องหมายได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นไม้แช่ไว้ใน formalin-aceto-alcohol (FAA) ความเข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียทำลายเนื้อไม้ก่อนการนำไปวิเคราะห์ต่อในห้องปฏิบัติการรุกขกาลวิทยาเขตร้อน (Laboratory of Tropical Dendrochronology, LTD) คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมชิ้นไม้ตัวอย่างสำหรับวัดการเติบโตภายใต้เปลือก

นำชิ้นไม้ตัวอย่างที่แช่ไว้ใน FAA เข้มข้นร้อยละ 50 มาล้างทำความสะอาดและแช่ไว้ในน้ำเพื่อป้องกันการหดตัว จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นไม้มาซับน้ำและขัดด้วยเครื่องขัดกระดาษทรายทันที เพื่อช่วยให้เห็นขอบเขตการสร้างเครื่องหมายแต่ละเดือนในเนื้อไม้ และให้ดำเนินการเปลี่ยนเบอร์กระดาษทรายจากหยาบไปละเอียดจนเห็นเครื่องหมายและเนื้อไม้ทางด้านตัดขวางอย่างชัดเจน จากนั้นนำตัวอย่างชิ้นไม้แช่ไว้ใน FAA เข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียทำลายเนื้อไม้ก่อนการการวัดการเติบโตภายใต้เปลือกแบบรายเดือนจากขอบเขตของเครื่องหมายบนแคมเบียม

การวัดการเติบโตภายใต้เปลือกแบบรายเดือนจากขอบเขตของเครื่องหมายบนแคมเบียม

วัดความเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้เครื่องมือวัดความกว้างวงปีไม้ชนิด Velmex ที่มีความละเอียดเท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 4X – 40X และแสดงผล

การวัดที่คอมพิวเตอร์ด้วยการนำเข้าข้อมูลการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ J2X หลังจากนั้นวิเคราะห์รูปแบบการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใต้เปลือกของไม้ชนิดหลักแบบรายสองเดือน โดยนำค่าความเพิ่มพูนรายเดือนและรายฤดูกาลที่ได้จากการวัดความกว้างวงปีไม้ด้วยเครื่องมือชนิด Velmex มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาที่เติบโตในรอบ 1 ปี จากนั้นพิจารณาเส้นโค้งการเติบโต (growth curve) เพื่ออธิบายรูปแบบการเติบโตและช่วงเวลาที่ต้นไม้มีการเติบโต (growth period) หรืออยู่ในระยะพักตัว (dormancy)

การวิเคราะห์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของไม้ชนิดหลักกับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของพรรณไม้เด่นทั้งสองชนิดกับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ โดยการนำค่าการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้แต่ละชนิดมาหารูปแบบความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนและรายฤดูกาล ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวม อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการการถดถอย (regression analysis) โดยค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย ค่าการถดถอยพหุคูณและการเลือกตัวแปรแบบสเต็ปไวส์

ผลและวิจารณ์

การคัดเลือกชนิดไม้ตัวอย่างและตัวอย่างไม้ยืนต้น

ทำการคัดเลือกชนิดไม้หลักในป่าเต็งรังจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ต้นเต็ง และ ต้นรัง โดยทำการคัดเลือกชนิดพันธุ์จากตารางดัชนีความสำคัญของพรรณไม้ (importance value index, IVI) ที่ได้มีการศึกษาวิจัยในพื้นที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช (Sampanpanish, 2000) การคัดเลือกต้นไม้ตัวอย่างทั้งสองชนิดพรรณ คือ เต็ง และรัง ในเรือนยอดชั้นบนสุด (dominant) ชั้นรอง (codominant) และชั้นถูกปกคลุม (suppressed) โดยคัดเลือกต้นไม้ที่มีการแข่งขันหรือได้รับอิทธิพลจากต้นไม้รอบข้างน้อย โดยพยายามเลือกต้นเดี่ยว ๆ ที่กระจายมาจากหมู่ไม้มีลักษณะลำต้นเปลาตรง มีพูพอนหรือความผิดปกติน้อย จำนวนชนิดพรรณละ 5 ต้นต่อชั้นเรือนยอด รวมต้นไม้ตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 30 ต้น จากการคัดเลือกไม้ตัวอย่าง พบ เต็งในชั้นเรือนยอดเด่นมีความสูง 19.1 – 20.8±0.71 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 28.9 – 46.1±6.03 เซนติเมตร ชั้นเรือนยอดรองมีความสูง 14.0 – 18.8±1.79 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 16.0 – 32.5±5.77 เซนติเมตร และชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม มีความสูง 8.8 – 13.5±1.72 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 10.3 – 14.1±1.68 เซนติเมตร ส่วน รัง มีความสูงในชั้นเรือนยอดเด่น 20.0 – 23.2±1.10เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 30.1 – 40.1±3.87 เซนติเมตร ชั้นเรือนยอดรอง มีความสูง 17.0 – 19.5±1.07 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 25.8 – 35.4±3.48 เซนติเมตร และชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม มีความสูง 10.7 – 15.6±1.87 เมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 19.8 – 30.0±3.89 เซนติเมตร

การวัดความเพิ่มพูนของเนื้อไม้ภายใต้เปลือกเฉลี่ยรายสองเดือน โดยเทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียม

จากข้อมูลการวัดการเติบโตภายใต้เปลือกรายสองเดือนของ เต็ง และรัง ได้เริ่มทำการวัดการเติบโตตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2557 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2558 โดยใช้เทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียม มีผลการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. การเติบโตภายใต้เปลือกของเต็ง

จากการทำการวัดการเติบโตของต้นเต็งทุก 2 เดือน เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่า การเติบเฉลี่ยรายปีของต้นเต็งมีค่าเท่ากับ 3.304±0.67 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนการเติบโตเฉลี่ยรายปีของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดถูก

ปกคลุม เรือนยอดรอง และเรือนยอดเด่น มีค่าเท่ากับ 2.843, 4.772 และ 2.297 มิลลิเมตรต่อปี และพบว่าการเติบโตรายสองเดือนของต้นเต็งในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึงช่วงเดือน พฤษภาคม 2558 การเติบโตของต้นเต็งหยุดนิ่ง และพบการเติบโตของต้นเต็งเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม 2558 ช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน 2558 และช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 มีค่าเฉลี่ยการเติบโตเท่ากับ 0.709, 1.593 และ 1.001 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนการเติบโตรายสองเดือนของต้นเต็งในเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง และเรือนยอดเด่น พบว่ามีรูปแบบการเติบโตที่คล้ายคลึงกันทั้ง 3 เรือนยอด โดยพบว่าการเติบโตเฉลี่ยรายสองเดือนของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดรองมีค่าการเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน 2558 มีค่าเท่ากับ 2.423 มิลลิเมตร (Figure 1)

2. การเติบโตภายใต้เปลือกของรัง

จากการทำการวัดการเติบโตของต้นรังทุก 2 เดือน ในระยะเวลา 1 ปี พบว่า การเติบเฉลี่ยรายปีของต้นรังมีค่าเท่ากับ 2.210±0.49 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนการเติบโตเฉลี่ยรายปีของต้นรังในเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง และเรือนยอดเด่น มีค่าเท่ากับ 1.926, 2.685 และ 2.019 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ และพบว่าการเติบโตรายสองเดือนของต้นรังในช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึงช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 การเติบโตของต้นรังหยุดนิ่ง และพบการเติบโตของต้นรังเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม 2558 ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน 2558 และช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 มีค่าเฉลี่ยการเติบโตเท่ากับ 0.232, 0.910 และ 1.068 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนการเติบโตเฉลี่ยรายสองเดือนของต้นรังในเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง และเรือนยอดเด่น พบว่า มีรูปแบบการเติบโตที่คล้ายคลึงกันทั้ง 3 ชั้นเรือนยอด โดยพบว่าการเติบโตเฉลี่ยรายสองเดือนของต้นรังในชั้นเรือนยอดรองมีค่าการเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 มีค่าเท่ากับ 1.270 มิลลิเมตร (Figure 2)

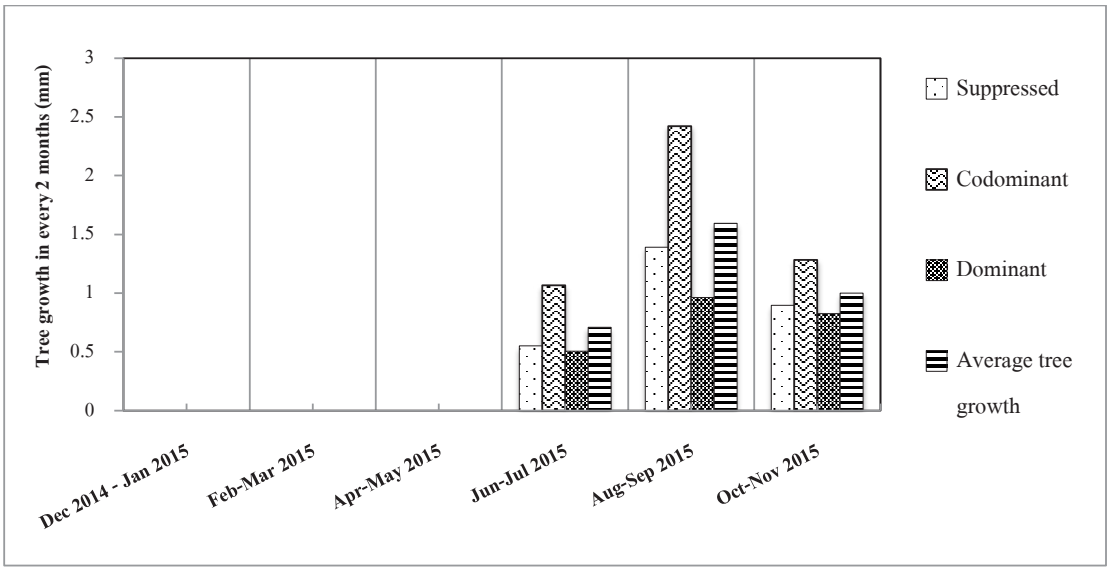


Figure 1 Tree growth in *S. obtusa* measured every 2 months of using the cambial marking technique.

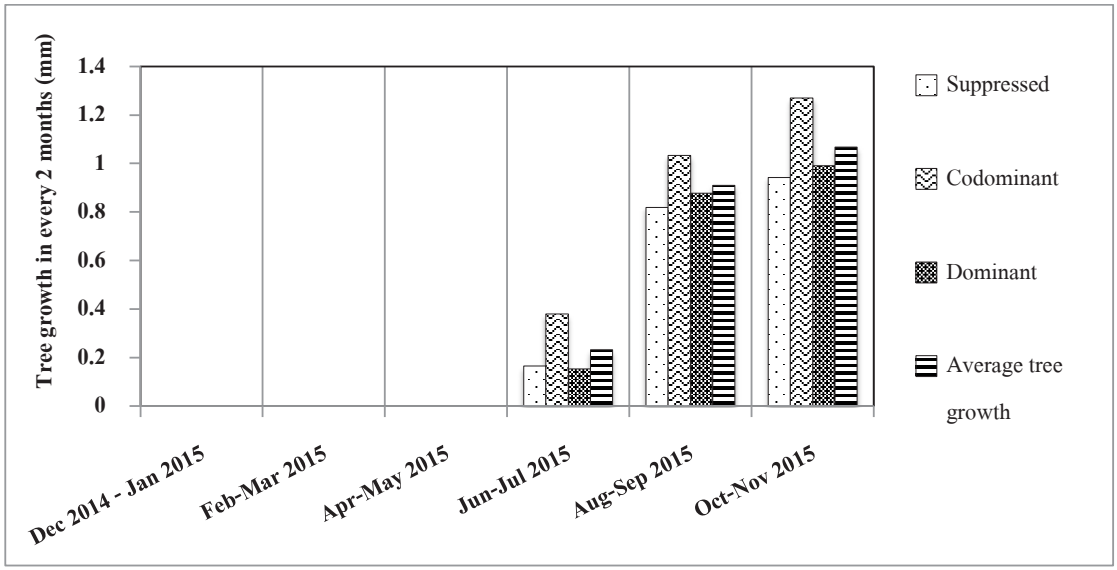


Figure 2 Tree growth in *S. siamensis* measured every 2 months using the cambial marking technique.

ลักษณะการเติบโตของไม้ทั้งสองชนิดสอดคล้องกับการศึกษาของ Palakit (2013) และ Sikareepaisarn (2015) ที่ได้ทำการศึกษาการเติบโตของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง และป่าผสมผลัดใบ พบว่า การเติบโตของต้นไม้มีความเพิ่มพูนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม และมีความเพิ่มพูนต่ำในเดือนธันวาคมถึงเมษายน และการศึกษาของ Wanichakorn (2006) ที่ได้ทำการศึกษากิจกรรมของแคมเบียมและการเกิดเนื้อไม้ของต้นยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส ที่ปลูกในพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าการเติบโตของยูคาลิปตัสมีความเพิ่มพูนสูงในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคม และเมษายนถึงกันยายน ในช่วงมกราคมถึงเมษายนมีความเพิ่มพูนต่ำ เนื่องด้วยช่วงที่มีความเพิ่มพูนต่ำอยู่ในช่วงของฤดูแล้งจึงส่งผลให้การสร้างเนื้อไม้ลดลง การที่เต็งและรังเป็นไม้เด่นในสังคมพืชป่าเต็งรังที่มีการพักตัวในช่วงฤดูแล้ง และมีการผลัดใบในช่วงเวลาดังกล่าวจึงทำให้การเติบโตของต้นไม้ในช่วงเวลาดังกล่าวชะงักลง สอดคล้องกับการศึกษาการเติบโตของต้นเลี่ยน บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช ซึ่งมีการชะงักการเติบโตในช่วงเวลาผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง (Palakit *et al*., 2018)

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบรูปแบบการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใต้เปลือกระหว่างชั้นเรือนยอด

จากการวัดการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใต้เปลือกราย 2 เดือน ของต้นเต็งและต้นรัง โดยการใช้เทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียม ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2557 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 นำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบรูปแบบการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางแบบภายใต้เปลือกระหว่างชั้นเรือนยอด พบว่าการเติบโตระหว่างชั้นเรือนยอดของต้นเต็งและต้นรังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง Table 1 และ Table 2 ตามลำดับ โดยในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม พบว่าไม่มีอัตราการเติบโต โดยเต็งและรังจะเริ่มมีการเติบโตในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน โดยเต็งจะมีแนวโน้มอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในเดือนมิถุนายนไปจนถึงเดือนกันยายนและอัตราการเติบโตจะชะงักลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน ส่วนรังจะมีแนวโน้มอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในเดือนมิถุนายนต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน

Table 1 Results from ANOVA analysis used to test the hypotheses about the differences in the growth of *S. obtusa* among the canopy layers.

Month		Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
Dec 2014 - Jan 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Feb-Mar 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Apr-May 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Jun-Jul 2015	Between Groups	0.967	2	0.483	2.009	0.177
	Within Groups	2.887	12	0.241		
	Total	3.854	14			
Aug-Sep 2015	Between Groups	5.626	2	2.813	3.302	0.072
	Within Groups	10.223	12	0.852		
	Total	15.849	14			
Oct-Nov 2015	Between Groups	0.6	2	0.3	1.479	0.267
	Within Groups	2.434	12	0.203		
	Total	3.034	14			

Table 2 Results from ANOVA analysis used to test the hypotheses about the differences in the growth of *S. siamensis* growth among the canopy layers.

Month		Sum of Squares	df	Mean Square	F	P-value
Dec 2014 - Jan 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Feb-Mar 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Apr-May 2015	Between Groups	0	2	0	.	.
	Within Groups	0	12	0		
	Total	0	14			
Jun-Jul 2015	Between Groups	0.165	2	0.082	0.791	0.476
	Within Groups	1.252	12	0.104		
	Total	1.417	14			
Aug-Sep 2015	Between Groups	0.123	2	0.062	0.075	0.928
	Within Groups	9.817	12	0.818		
	Total	9.94	14			
Oct-Nov 2015	Between Groups	0.314	2	0.157	0.335	0.722
	Within Groups	5.626	12	0.469		
	Total	5.94	14			

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของไม้ชนิดหลักกับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ

การวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตต้นเต็งและต้นรังใช้ข้อมูลการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางภายใต้เปลือกเฉลี่ยราย 2 เดือน ที่ได้จากการวัดการเติบโตโดยใช้เทคนิคการสร้างเครื่องหมายบนแคมเบียม และข้อมูลภูมิอากาศที่เก็บรวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวมราย 2 เดือน (total rainfall in each 2 month: RF) อุณหภูมิสูงสุดรายวัน (extreme maximum temperature: EMxT) และต่ำสุดรายวัน (extreme minimum temperature: EMnT) อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (average temperature: AvgT) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายวัน (average maximum temperature: AMxT) และต่ำสุดเฉลี่ยรายวัน (average minimum temperature: AMnT) และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน (average humidity: AvgH) ระหว่างเดือนตุลาคม 2557 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2558 โดยใช้ข้อมูลปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนที่วัดการเติบโต (t) และช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1)

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนที่วัดการเติบโต (t) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก

จากข้อมูลการเติบโตภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งและต้นรัง ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตภายใต้เปลือกกับข้อมูลภูมิอากาศในช่วงเดือนที่ทำการวัดการเติบโต (t) ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้

เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) กับปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนในช่วงเดือนที่ทำการวัดการเติบโต (t) มีค่าเท่ากับ 0.946, 0.967 และ 0.948 ตามลำดับ และพบว่าการเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดเด่นมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนในช่วงเดือนที่ทำการวัดการเติบโต (t) มีค่าเท่ากับ 0.882 ดังใน Table 3 ส่วนต้นรัง พบว่าการเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนในชั้นเรือนยอดต่าง ๆ ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนที่วัดการเติบโต (t) ดัง Table 3

Table 3 Correlation between the tree growth of *S. obtus*a and *S. siamensis* and climate variability measured every 2 months in all the crown covers.

Species	Crown Covers	Correlations between tree growth and climate variability every 2 months (t)						
		EMxT	EMnT	AvgT	AMxT	AMnT	AvgH	RF
S. obtusa	Suppressed	-0.452	0.67	0.081	-0.162	0.323	0.726	0.946**
	Codominant	-0.416	0.696	0.127	-0.11	0.357	0.779	0.967**
	Dominant	-0.457	0.686	0.071	-0.183	0.325	0.604	0.882*
	Average tree growth	-0.438	0.691	0.102	-0.142	0.342	0.73	0.948**
S. siamensis	Suppressed	-0.519	0.499	-0.082	-0.318	0.165	0.462	0.765
	Codominant	-0.503	0.553	-0.048	-0.293	0.206	0.431	0.757
	Dominant	-0.521	0.491	-0.086	-0.321	0.160	0.471	0.769
	Average tree growth	-0.514	0.518	-0.07	-0.31	0.180	0.454	0.765

Remarks: * significant at 5% level, ** significant at 1% level

2. การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนที่วัดการเติบโต (t) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก

จากข้อมูลการเติบโตภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งและต้นรัง ทำการวิเคราะห์หาอิทธิพลข้อมูลภูมิอากาศในช่วงเดือนที่ทำการวัดการเติบโต (t) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก ด้วยการวิเคราะห์ค่าการถดถอยพหุคูณ และการเลือกตัวแปรแบบสเต็บไวส์ เพื่อทำการวิเคราะห์อิทธิพลเชิงซ้อนระหว่างข้อมูลภูมิอากาศกับการเติบโตของต้นไม้ พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือนมีอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนในช่วงเดือนที่ทำการวัดการเติบโต (t) เท่ากับร้อยละ 89.6, 93.5, 77.9 และ 89.9 ตามลำดับ ส่วนต้นรัง พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนในชั้นเรือนยอดต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลจากกับปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนที่วัดการเติบโต (t) ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Relationship between tree growth of *S. obtusa* and *S. siamensis* and climate variability every 2 months in all the crown covers.

Species	Crown Covers	Climatic Data	R Square	SE	F	P-value
S. obtusa	Suppressed	Total rainfall in each 2 month	0.896	0.211	34.381	0.004**
	Codominant	Total rainfall in each 2 month	0.935	0.281	57.306	0.002**
	Dominant	Total rainfall in each 2 month	0.779	0.234	14.077	0.020*
	Average tree growth	Total rainfall in each 2 month	0.899	0.237	35.733	0.004**
S. siamensis	Suppressed	-	-	-	-	-
	Codominant	-	-	-	-	-
	Dominant	-	-	-	-	-
	Average tree growth	-	-	-	-	-

Remarks: * significant at 5% level, ** significant at 1% level

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นเต็งในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มีค่าเท่ากับ 0.837, 0.820, 0.864 และ 0.840 ตามลำดับ ส่วนการเติบโตภายใต้เปลือกรายสองเดือนของต้นรังในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน พบว่ามีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มีค่าเท่ากับ 0.825, 0.820 และ 0.828 และในชั้นเรือนยอดรอง พบว่ามีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ กับปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือน และอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มีค่าเท่ากับ 0.832 และ 0.821 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Correlations between tree growth of *S. obtusa* and *S. siamensis* and climate variability every 2 months of the previous period (t-1) in all the crown covers.

Species	Crown Covers	Correlation between tree growth and climate variability every 2 months of the previous period (t-1)						
		EMxT	EMnT	AvgT	AMxT	AMnT	AvgH	RF
S. obtusa	Suppressed	0.367	0.837*	0.619	0.526	0.707	0.354	0.568
	Codominant	0.434	0.820*	0.648	0.572	0.717	0.261	0.471
	Dominant	0.376	0.864*	0.638	0.542	0.732	0.466	0.666
	Average tree growth	0.404	0.840*	0.641	0.556	0.722	0.335	0.545
S. siamensis	Suppressed	0.093	0.792	0.443	0.305	0.584	0.622	0.825*
	Codominant	0.17	0.821*	0.5	0.372	0.632	0.639	0.832*
	Dominant	0.082	0.787	0.434	0.295	0.576	0.616	0.820*
	Average tree growth	0.119	0.804	0.463	0.329	0.601	0.628	0.828*

Remarks: * significant at 5% level

4. การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ต่อการเติบโตภายใต้เปลือก ในต้นเต็ง พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือนในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน มีอิทธิพลจากอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มีค่าเท่ากับร้อยละ 70.0, 67.2, 74.7 และ 70.5 ตามลำดับ ส่วนต้นรัง พบว่า การเติบโตเฉลี่ยภายใต้เปลือกรายสองเดือน ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน มีอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) เท่ากับร้อยละ 68.0, 69.3, 67.2 และ 68.6 ตามลำดับ ดัง Table 6 ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน และปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือน ในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) ต่อการเติบโตของเต็งและรัง ในสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ตามลำดับ

Table 6 Relationship between tree growth of *S. obtusa* and *S. siamensis* and climate variability every 2 months of the previous period (t-1) in all the crown covers.

Species	Crown Covers	Climatic Data	R Square	SE	F	P-value
S. obtusa	Suppressed	extreme minimum temperature	0.700	0.357	9.332	0.038*
	Codominant	extreme minimum temperature	0.672	0.631	8.184	0.046*
	Dominant	extreme minimum temperature	0.747	0.250	11.822	0.026*
	Average tree growth	extreme minimum temperature	0.705	0.405	9.569	0.036*
S. siamensis	Suppressed	Total rainfall in each 2 month	0.680	0.278	8.516	0.043*
	Codominant	Total rainfall in each 2 month	0.693	0.354	9.011	0.040*
	Dominant	Total rainfall in each 2 month	0.672	0.299	8.205	0.046*
	Average tree growth	Total rainfall in each 2 month	0.686	0.308	8.721	0.042*

Remarks: * significant at 5% level

จากการศึกษาพบว่า อิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นเต็งและต้นรัง ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างเรือนยอด โดยปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นเต็ง ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโต ส่วนการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนการวัดการเติบโต 2 เดือน พบว่า ปัจจัยภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเติบโต คือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือน มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นรัง ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโต ส่วนในต้นเต็ง พบว่า มีอิทธิพลของอุณหภูมิต่ำสุดรายวันต่อการเติบโตในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโต ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของต้นไม้กับปัจจัยภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่ Fritts (1976) ได้กล่าวว่า ปัจจัยภูมิอากาศในเดือนปัจจุบัน (t) อาจส่งต่อการเติบโตของต้นไม้ในเดือนถัดไป (t+1) หรือมากกว่า (t+k) โดยส่งผลในรูปของตายอด สารอาหาร ฮอร์โมน หรือการเติบโต และพัฒนาของใบ ดอก และผล และสอดคล้องกับการศึกษาของ Palakit (2013) ที่ทำการประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเครื่องหมายบนแคมเบียม (cambial marking technique) มาศึกษาความเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ผลของความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของต้นไม้กับปัจจัยภูมิอากาศ มีผลต่อการเติบโตของชนิดไม้ที่มีการผลัดใบ ได้แก่ มะค่าโมง สัก เลี่ยน และ ตะแบกเปลือกบาง ซึ่งจะทำให้สามารถอธิบายผลของความผันแปรสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ได้อย่างลุ่มลึกทั้งระดับรายเดือนและรายฤดูกาล ในไม้ที่มีลักษณะวงปีไม่ชัดเจน

สรุป

การศึกษารูปแบบการเติบโตของต้นไม้ชนิดหลักในป่าเต็งรัง บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช

จังหวัดนครราชสีมา โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเครื่องหมายบนแคมเบียม (cambial marking technique) มาศึกษาความเพิ่มพูนของเนื้อไม้ทางเส้นผ่านศูนย์กลาง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับการแปรผันของสภาพภูมิอากาศ (climate variability) พบว่า ต้นเต็งมีอัตราการเติบโตดีกว่าต้นรัง โดยมีการเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 3.304, 2.210 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 ต้นไม้ทั้งสองชนิดมีอัตราการเติบโตหยุดนิ่ง และมีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 โดยเต็งจะมีแนวโน้มอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในเดือนมิถุนายนไปจนถึงเดือนกันยายน และอัตราการเติบโตจะชะงักลงในช่วงเดือนพฤศจิกายน ส่วนรัง จะมีแนวโน้มอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นในเดือนมิถุนายนต่อเนื่องไปจนถึงเดือนพฤศจิกายน ส่วนการศึกษาความแตกต่างการเติบโตระหว่างชั้นเรือนยอด พบว่า การเติบโตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการศึกษาอิทธิพลของภูมิอากาศต่อการเติบโต พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตของเต็ง ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน โดยเมื่อนำข้อมูลภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มาทำการศึกษาอิทธิพลต่อการเติบโต พบว่า อุณหภูมิต่ำสุดรายวันมีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นเต็ง ในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน ส่วนรัง พบว่า ปัจจัยด้านภูมิอากาศไม่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของใน 3 ชั้นเรือนยอด โดยเมื่อนำข้อมูลภูมิอากาศในช่วงเดือนก่อนทำการวัดการเติบโต 2 เดือน (t-1) มาทำการศึกษาอิทธิพลต่อการเติบโตของรัง พบว่า ปริมาณน้ำฝนรวมรายสองเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตในชั้นเรือนยอดถูกปกคลุม เรือนยอดรอง เรือนยอดเด่น และค่าเฉลี่ยการเติบโตรายสองเดือน ซึ่งจากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตของต้นไม้กับความแปรผันของสภาพภูมิอากาศในเชิงลึกสามารถนำข้อมูลที่ได้เป็นแนวทางตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ต่อไป โดยอาจมีการดูแลทางวนวัฒน์วิธีในช่วงที่ต้นไม้เริ่มมีการเติบโตเพื่อเร่งการเติบโตให้ดีขึ้นหรือทำการบำรุงป่าในช่วงฤดูแล้ง

คำนิยม

ขอขอบคุณ ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการวิจัยการศึกษารูปแบบการเติบโตของไม้ชนิดหลักภายใต้ความแปรผันของสภาพภูมิอากาศในจังหวัดนครราชสีมา และห้องปฏิบัติการรุกขกาลวิทยาเขตร้อน (Laboratory of Tropical Dendrochronology, LTD) คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

REFERENCES

Auykim, A., K. Duangsathaporn and P. Prasomsin. 2017. Growth of teak regenerated by coppice and stump planting in Mae Moh Plantation, Lampang province, Thailand. **Agriculture and Natural Resources** 51(4): 273-277.

Buajan, S., N. Pumijumnong, Q. Li and Y. Liu. 2016. Oxygen isotope of teak tree-rings in north-west Thailand. **Journal of Tropical Forest Science** 28(4): 396-405.

Buckley, B.M., M. Barbetti, M. Watanasak, R. D'Arrigo, S. Boonchirdchoo, and S. Saratunon. 1995. Dendrochronological investigations in Thailand. **IAWA Journal** 16: 393–409.

_____, O. Tongjit, R. Poonsri and N. Pumijumnong. 2001. A dendrometer band study of teak (*Tectona grandis* L.F.) in northern Thailand. **Palaeobotanist** 50: 83–87.

_____, K. Duangsathaporn, K. Palakit, S. Butler, V. Syhapanya and N. Xaybouangeun. 2007a. Analyses of growth rings of *Pinus merkusii*

from Lao P.D.R. **Forest Ecology and Management** 253: 120-127.

_____, K. Palakit, K. Duangsathaporn, P. Sanguantham and P. Prasomsin. 2007b. Decadal scale droughts over northwestern Thailand over the past 448 years: Links to the tropical Pacific and Indian Ocean sectors. **Climate Dynamic** 29: 63–71.

Chalaem, K. 1997. **Leaf life Span and Leaf Characteristics of Some Dominant Tree Species in Dry Dipterocarp Forest at Sakaerat**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Clark, D.A., S.G. Piper, C.D. Keeling and D.B. Clark. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences** 100(10): 5852-5857.

D'Arrigo, R., M. Barbetti, M. Watanasak, B.M. Buckley, P.J. Krusic, S. Boonchirdchoo and S. Sarutanon. 1997. Progress in dendroclimatic studies of Mountain pine in Northern Thailand. **IAWA Journal** 18(4): 433-444.

Duangsathaporn, K. 2000. **Effect of Climate Factors and Thinning on Growth of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon at Bo Luang Plantation, Amphoe Hod Changwat Chiang Mai**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Fritts, H.C. 1976. **Tree Ring and Climate.** Academic Press, San Francisco.

Laurance, W.F., A.A. Oliveira, S.G. Laurance, R. Condit, H.E.M. Nascimento, A.C. Sanchez-Thorin, T.E. Lovejoy, A. Andrade, S. D'Angelo, J.E. Ribeiro and C.W. Dick. 2004. Pervasive alteration of tree communities in undisturbed Amazonian forests. **Nature** 428: 171-175.

Lewis, S.U, O.U. Phillips, T.R. Baker, J. Lloyd, Y. Malhi, S. Almeida, N. Higuchi, W.F. Laurance, D.A. Neill, J.N.M Silva, J. Terborgh, A. Torres Lezama, R. Vásquez Martínez, S. Brown, J. Chave, C. Kuebler, P. Núñez Vargas and B. Vinceti. 2004. Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: evidence from 50 South American long-term plots. **Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences** 359: 421-436.

Lumyai P., Duangsathporn K. 2017a. Pine growth variation and climate change: Opportunities for dendroclimatology in central Thailand. **Journal of Tropical Forest Research** 1: 23-35.

_____, and K. Duangsathaporn. 2017b. Climate reconstruction on the growth of teak in Umphang Wildlife Sanctuary, Thailand. **Environment and Natural Resources Journal** 16(1): 21-30.

Montagnini, F. and C.F. Jordan. 2005. **Tropical Forest Ecology: The Basis for Conservation and Management**. Springer, Berlin.

Muangsong, C., B. Cai, N. Pumijumnong, C. Hu and G. Lei. 2016. Intra-seasonal variability of teak tree-ring cellulose δ18O from northwestern Thailand: A potential proxy of Thailand summer monsoon rainfall. **The Holocene** 26(9): 1397-1405.

Nobuchi, T., Y. Ogata and S. Siripatanadilok. 1995. Seasonal characteristics of wood formation in *Hopea odorata* and *Shorea henryana*. **IAWA Journal** 16(4): 361-369.

Palakit, K. 2013. **Biology and Factors Affecting Tree-Ring Formation of Some Tree Species at**

Sakaerat Environmental Research Station. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.

_____, K. Duangsathaporn and S. Siripatanadilok. 2015a. Climatic fluctuations trigger false ring occurrence and radial-growth variation in teak (*Tectona grandis* L.f.). **iForest (early view)**: e1-e8.

_____, S. Siripattanadilok and K. Duangsathaporn. 2012. False ring occurrences and their identification in teak (*Tectona Grandis*) in north-eastern Thailand. **Journal of Tropical Forest Science** 24(3): 387-398.

_____, K. Duangsathaporn, S. Siripatanadilok and P. Lumyai. 2015b. Effects of climate variability on monthly growth of *Aglaia odoratissima* and *Hydnocarpus ilicifolia* at the Sakaerat Environmental Research Station (SERS), northeastern Thailand. **Environment and Natural Resources Journal** 13: 1-12.

_____, S. Siripatanadilok, P. Lumyai and K. Duangsathaporn. 2018. Leaf phenology and wood formation of white cedar trees (*Melia azedarach* L.) and their responses to climate variability. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 40 (1): 61-68.

Pumijumnong, N. and T. Wanyaphet. 2006. Seasonal cambial activity and tree-ring formation of *Pinus merkusii* and *Pinus kesiya* in northern Thailand in dependence on climate. **Forest Ecology and Management** 226: 279–289.

_____, D. Eckstein and U. Sass. 1995. Tree-ring research on *Tectona grandis* in Northern Thailand. **IAWA Journal** 16: 385–392.

Sampanpanish, P. 2000. **Assessment on Biodiversity Surveys of Plant Community at Sakaerat Environmental Station, Nakhon Ratchasima.** Environmental Research Institute, Chulalongkorn University. (in Thai)

Sangram, N., K. Duangsathaporn, R. Poolsiri. 2016. Effect of gases and particulate matter from electricity generation process on the radial growth of teak plantations surrounding Mae Moh power plant, Lampang province. **Agriculture and Natural Resources** 50: 114-119.

Sikareepaisarn, P. 2015. **Influence of Climatic Factors on the Growth of Major Tree Species in Mixed Deciduous Forest at Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary, Uthai Thani Province**. M.S. thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Wanichakorn, T. 2006. **Cambial Activity and Wood Formation of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Grown in Different Sites**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Veenin, T., T. Nobuchi, M. Fujita and S. Siripatanadilok. 2006. Seasonal characteristics of wood formation in the elite genetic – based *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. **Agriculture and Natural Resources** 40: 83-90.

Thai J. For. 38 (2) : 152-165 (2019) **วารสารวนศาสตร์ 38 (2) : 152-165 (2562)**

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์แนวคิดห่วงโซ่คุณค่าเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตบุกไข่ แก่ราษฎรบนพื้นที่สูงในท้องที่จังหวัดตาก

The Application of Value Chain Concept on Value Added of *Amorphophallus muelleri* Blume Products for Highland People in Tak Province

สันติ สุขสอาด[1]
อดิศักดิ์ หน่อแก้ว[1,2 *]
อภิชาต ภัทรธรรม[1]

Santi Suksard[1]
Adisak Norkaew[1,2 *]
Apichart Pattaratuma[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchuk, Bankok, 10900, Thailand
[2]สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 16 (เชียงใหม่) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เมือง เชียงใหม่ 50100
Protected Area Regional Office 16 (Chiang Mai), Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Meuang, Chiang Mai, 50100
[*]Corresponding Author, E-mail: adisak.no@windowslive.com

รับต้นฉบับ 27 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 12 กรกฎาคม 2562 **รับลงพิมพ์** 18 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

The objectives of this study were to analyze the value chain, costs and returns from *A. muelleri* Blume cultivated by the highland people of Tak province, using 131 samples. Data collection was done by interviewing and analyzing their daily activities with the value chain concept and the net present value (NPV) for 3 years of project life was evaluated with a discount rate of 5%.

The results of this study indicated that most people were male (71.76%), were not educated 51.15% and 93.13% were Karen. The people had an average experience of 3.30 years in *A. muelleri* Blume cultivation. The average members in a household were 5.37 persons who had an average *A. muelleri* Blume cultivation area of 2.58 rai per household. The value chain study found that the production factors used for *A. muelleri* Blume cultivation were the type of *A. muelleri* Blume, fertilizers, herbicides and labor. The cultivation process started from site preparation, *A. muelleri* Blume type preparation, planting, growing, harvesting and selling their products. This study also found that 30 people harvested underground *A. muelleri* Blume produce only and 3 people harvested the underground *A. muelleri* Blume underground produce along with bulbil products. People did not process the products before selling. In addition, the study found that 96.97% of the people sold their underground produce having weight ≥ 0.5 kilogram to the

local middleman for 5 - 8 Baht per kilogram and 3.03% of them sold their product to Agricultural Cooperative at 10 Baht per kilogram. The underground produces whose weight was less than 0.5 kilogram and the bulbil products were collected to be used for cultivation next year. The value assessment of the investment incurred in *A. muelleri* Blume production found that people who used a 6, 5 and 2 patterns got a return of NPV equal to 11,540.32, 3,164.58 and 1,818.21 Baht per rai, respectively, with NPV > 0 indicating profit.

Keywords: *Amorphophallus muelleri* Blume, Value chain, Highland, Tak province

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่า ต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกบุกไข่ของราษฎรบนพื้นที่สูงในท้องที่จังหวัดตาก โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 131 ราย ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์กิจกรรมต่าง ๆ ตามทฤษฎีห่วงโซ่คุณค่าและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value: NPV) โดยกำหนดอายุโครงการ 3 ปี ใช้อัตราคิดลดร้อยละ 5

ผลการศึกษาพบว่า ราษฎรส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 71.76 ไม่ได้รับการศึกษาร้อยละ 51.15 และ มีชาติพันธุ์กะเหรี่ยงร้อยละ 93.13 ราษฎรมีประสบการณ์ในการปลูกบุกไข่เฉลี่ย 3.30 ปี มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5.37 คน มีพื้นที่ปลูกบุกไข่เฉลี่ย 2.58 ไร่ต่อครัวเรือน และร้อยละ 77.10 ทำการปลูกบุกไข่เพื่อเป็นอาชีพเสริม การศึกษาห่วงโซ่คุณค่าพบว่า ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการปลูกบุกไข่ ได้แก่ พันธุ์บุก ปุ๋ย ยาฆ่าหญ้า และแรงงาน มีขั้นตอนในการผลิตเริ่มจากการเตรียมพื้นที่ เตรียมหัวพันธุ์บุกไข่ การปลูก การดูแลหลังการปลูก การเก็บเกี่ยว และการจำหน่าย ทั้งนี้พบว่า มีราษฎร 30 ราย เก็บผลผลิตเฉพาะหัวบุกไข่ใต้ดิน และมีราษฎร 3 ราย ที่เก็บผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินและหัวบุกไข่บนใบ โดยราษฎรไม่มีการแปรรูปผลผลิตก่อนนำไปจำหน่าย นอกจากนี้ยังพบว่า ราษฎรที่เก็บผลผลิตแล้วร้อยละ 96.97 จำหน่ายผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัว ขึ้นไปให้แก่พ่อค้าคนกลางในราคา 5-8 บาทต่อกิโลกรัม มีราษฎรเพียงร้อยละ 3.03 ที่นำผลผลิตไปขายให้แก่สหกรณ์การเกษตร โดยขายได้ในราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม สำหรับหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อหัว และหัวบุกไข่บนใบ ราษฎรจะเก็บไว้เพาะปลูกในปีต่อไป การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนปลูกบุกไข่พบว่า ราษฎรที่ปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 6, 5 และ 2 มีค่า NPV เท่ากับ 11,540.32, 3,164.58 และ 1,818.21 บาทต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่ง NPV > 0 จึงได้รับกำไร

คำสำคัญ: บุกไข่ ห่วงโซ่คุณค่า พื้นที่สูง จังหวัดตาก

คำนำ

ข้อมูลสารสนเทศกรมป่าไม้ พบว่า ในปี 2551 จังหวัดตากมีพื้นที่ป่าทั้งหมด 7,942,381.15 ไร่ และในปี 2560 มีพื้นที่ป่าทั้งหมด 7,793,128.63 ไร่ (Royal Forest Department, 2018) จะเห็นได้ว่า พื้นที่ป่าของจังหวัดตากมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งของการลดลงของพื้นที่ป่าเกิดจากการบุกรุกแผ้วถางพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกพืชเชิงเดี่ยวของราษฎรที่อยู่บนพื้นที่สูง หน่วยงานราชการต่าง ๆ ในท้องที่จังหวัดตากได้เล็งเห็นความสำคัญและความจำเป็นในการสนับสนุนให้ราษฎรบนพื้นที่สูงปลูกพืชทางเลือกชนิดอื่นเพื่อทดแทนการปลูกพืชเชิงเดี่ยว อาทิ โครงการ

สร้างป่าสร้างรายได้ ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่ารักษาสิ่งแวดล้อม ของหน่วยงานในสังกัดกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ได้ส่งเสริมให้ราษฎรบนพื้นที่สูงทำการเพาะปลูกบุกไข่เพื่อเป็นอาชีพเสริมช่วยให้ราษฎรบนพื้นที่สูงมีรายได้เพิ่มขึ้น และยังช่วยลดปัญหาการบุกรุกขยายพื้นที่ทำการเกษตรเชิงเดี่ยวบนพื้นที่สูงได้ ทั้งนี้ Sanguanpong *et al.* (2005) ได้ให้ข้อมูลว่า บุกไข่เป็นพืชที่ปลูกได้ปีละครั้งในช่วงต้นฤดูฝนหรือต้นเดือนพฤษภาคม เติบโตได้ดีในร่มเงารำไรหรือใต้ตาข่ายพรางแสงร้อยละ 50 อีกทั้งปัจจุบันมีการนำบุกไข่มาแปรรูปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพและผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนักหลากหลายชนิด ทำให้มีความต้องการใช้บุกไข่เป็นจำนวนมาก โดยพบว่า มีความต้องการใช้บุกไข่ในอุตสาหกรรมอาหารปีละ 4,000 - 5,000 ตัน ซึ่ง Ampawan *et al.* (2011) ให้ข้อมูลว่า บุกไข่ที่จำหน่ายและส่งเข้าโรงงานส่วนใหญ่นั้นได้มาจากการเก็บหาจากป่าและบางส่วนนำเข้าจากต่างประเทศ มีจำนวนน้อยที่ปลูกเป็นการค้าส่งผลให้หัวพันธุ์บุกไข่ที่อยู่ในป่ามีปริมาณลดน้อยลงจนอาจเกิดการสูญพันธุ์ได้ ดังนั้น บุกไข่จึงเป็นพืชที่เหมาะสมที่จะส่งเสริมให้มีการปลูกในพื้นที่ป่าชุมชน หรือปลูกในพื้นที่ทำการเกษตรร่วมกับพืชชนิดต่าง ๆ หรือทำการปลูกในรูปแบบวนเกษตรเพื่อเป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่า ต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกบุกไข่ รวมถึงนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อหาแนวทางและข้อเสนอแนะที่เหมาะสมในการส่งเสริมราษฎรบนพื้นที่สูงให้สามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตบุกไข่ก่อนนำไปจำหน่าย ช่วยให้ราษฎรมีรายได้ที่เพียงพอต่อความจำเป็นในการดำรงชีวิตและสามารถอยู่ร่วมกับทรัพยากรป่าไม้ได้อย่างเกื้อกูล ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาการบุกรุกแผ้วถางพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตรในพื้นที่สูงของจังหวัดตากลดความรุนแรงลงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร 2) เครื่องมือค้นหาตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (global positioning system: GPS) 3) อุปกรณ์เครื่องเขียน 4) แบบสัมภาษณ์ และ 5) คอมพิวเตอร์แบบพกพา และโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) โดยรวบรวมจากเอกสารทางวิชาการ บทความทางวิชาการ งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลเอกสารและข้อมูลสารสนเทศ ที่เผยแพร่โดยหน่วยงานราชการต่าง ๆ เป็นต้น และข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) เป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการศึกษา โดยใช้แบบสัมภาษณ์เพื่อสัมภาษณ์ราษฎรกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแบบสัมภาษณ์ที่ใช้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1) ข้อมูลทั่วไปของราษฎรผู้ปลูกบุกไข่ 2) ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยการผลิต 3) ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต 4) ข้อมูลเกี่ยวกับการแปรรูปบุกไข่อบแห้ง 5) ข้อมูลเกี่ยวกับการขาย 6) ข้อมูลด้านกฎหมายและความสัมพันธ์กับภาครัฐ และ 7) ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ทำการศึกษาเป็นราษฎรผู้ปลูกบุกไข่ในท้องที่จังหวัดตาก จำนวน 198 ราย กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรการคำนวณของ Krejcie and Morgan (1970) ได้ขนาดตัวอย่างของการศึกษา จำนวน 131 ราย และใช้สูตรการคำนวณสัดส่วนของ Jamekorn (1983) คำนวณหาสัดส่วนราษฎรตัวอย่างแต่ละกลุ่ม

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis) โดยนำข้อมูลจากการสัมภาษณ์ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมาใช้ในการอธิบาย ทำการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทั่วไปของการผลิต สภาพทางการตลาด ตลอดจน

ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ และนำมาวิเคราะห์ถึงโซ่คุณค่าของผลผลิตบุกไข่ รวมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตบุกไข่แก่ราษฎรบนพื้นที่สูงในท้องที่จังหวัดตากรวมถึงราษฎรในพื้นที่อื่นที่สนใจ โดยทำการวิเคราะห์ใน 2 ส่วน ดังนี้

1.1 ทฤษฎีห่วงโซ่คุณค่า โดยอธิบายถึงกิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่คุณค่าเริ่มตั้งแต่กิจกรรมการจัดหาวัตถุดิบไปจนกระทั่งการผลิตเป็นสินค้า (Porter, 1985) ทั้งในส่วนกิจกรรมหลัก ประกอบด้วย ระบบโลจิสติกส์ภายใน การปฏิบัติการ ระบบโลจิสติกส์ภายนอก การตลาดและการขาย รวมถึงการบริการ และกิจกรรมสนับสนุน ประกอบด้วย โครงสร้างพื้นฐาน การบริหารทรัพยากรมนุษย์ การพัฒนาเทคโนโลยี และการจัดซื้อ (Torsampandee, 2011)

1.2 ต้นทุนและผลตอบแทน อธิบายเกี่ยวกับสภาพของการผลิตและการตลาดของผลผลิตบุกไข่ในภาพรวม เช่น ข้อมูลทั่วไปของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง แหล่งเงินทุน ข้อมูลเกี่ยวกับการปลูก การจัดหาพันธุ์บุกไข่ ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช การเตรียมดิน เป็นต้น โดยแสดงข้อมูลเป็น ร้อยละ อัตราส่วน และค่าเฉลี่ยในการอธิบายข้อมูล

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) เป็นการวิเคราะห์ในส่วนของต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกบุกไข่ พิจารณาต้นทุนและผลตอบแทนต่อหน่วยพื้นที่ (ต่อไร่) โดยพิจารณาทั้งที่เป็นตัวเงินและไม่เป็นตัวเงิน และแบ่งแยกเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน นำข้อมูลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์มาคำนวณหาต้นทุนและรายได้ในการลงทุนปลูกบุกไข่ของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนปลูกบุกไข่ โดยใช้ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value: NPV) (Suksard, 2003) ดังสมการ (1)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

โดย B_t = ผลตอบแทนที่ได้รับในปีที่ t (บาทต่อไร่)

C_t = ต้นทุนที่ใช้ในปีที่ t (บาทต่อไร่)

i = อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ อัตราคิดลดร้อยละ 5

t = ระยะเวลาของโครงการ (1, 2 และ 3) (ปี)

n = ระยะเวลาของโครงการในการศึกษาครั้งนี้กำหนดอายุโครงการ 3 ปี

หลักในการตัดสินใจว่าการลงทุนปลูกบุกไข่ในแต่ละรูปแบบที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่า 0 หรือมีค่าเป็นบวก แสดงว่าการลงทุนปลูกบุกไข่มีความคุ้มค่าหรือได้กำไร

ผลและวิจารณ์

ข้อมูลราษฎรกลุ่มตัวอย่าง

จากการศึกษาราษฎรกลุ่มตัวอย่าง พบว่าราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 71.76 เป็นเพศชาย ส่วนใหญ่มีอายุ 30-39 ปี คิดเป็นร้อยละ 31.30 รองลงมามีอายุ 40-49 ปี 50-59 ปี 20-29 ปี และมีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 30.53, 19.85, 10.69 และ 7.63 ตามลำดับ โดยราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีอายุน้อยที่สุด 20 ปี อายุมากที่สุด 76 ปี และมีอายุเฉลี่ย 42.50 ปี ระดับการศึกษาของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 51.15 ไม่ได้รับการศึกษา รองลงมาสำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. และระดับ ปวส. คิดเป็นร้อยละ 32.06, 8.40, 7.63 และ 0.76 ตามลำดับ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีสัญชาติไทยทั้งหมด โดยส่วนใหญ่ร้อยละ 93.13 เป็นกลุ่มชาติพันธุ์กระเหรี่ยง และอีกร้อยละ 6.87 เป็นชาวไทย ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีประสบการณ์ในการปลูกบุกไข่ เฉลี่ย 3.30 ปี ขนาดครัวเรือนของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 27.48 มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 6 คน รองลงมามีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 5 คน 4 คน 8 คน 7 คน 3 คน 2 คน 9 คน และ 1 คน คิดเป็นร้อยละ 20.61, 20.61, 11.45, 7.63, 7.63, 2.30, 1.53 และ 0.76 ตามลำดับ มีสมาชิกในครัวเรือน

เฉลี่ย 5.37 คน พื้นที่ปลูกบุกไข่พบว่า เป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ของราษฎรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยมีพื้นที่เพาะปลูกบุกไข่เฉลี่ย 2.58 ไร่ต่อครัวเรือน สำหรับเหตุผลในการปลูกบุกไข่พบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 77.10 ปลูกบุกไข่เพื่อเป็นอาชีพเสริม รองลงมามีหน่วยงานเข้ามาส่งเสริม ต้องการลดพื้นที่ปลูกข้าวโพด ต้องการทดลองปลูกง่ายและดูแลง่าย ขายได้ราคาสูง และต้องการทำการเกษตรแบบพอเพียง คิดเป็นร้อยละ 11.45, 10.69, 9.16, 5.34, 3.82 และ 1.53 ตามลำดับ ปัญหาเกี่ยวกับการปลูกบุกไข่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างประสบปัญหาด้านการผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.41 รองลงมาประสบปัญหาด้านราคา ระเบียบและข้อกฎหมาย ตลาดรับซื้อผลผลิต เงินทุน และการขนส่งผลผลิต คิดเป็นร้อยละ 29.01, 26.72, 25.19, 8.40 และ 2.29 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่าในการปลูกบุกไข่

การวิเคราะห์ห่วงโซ่คุณค่าในการปลูกบุกไข่ของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง ผู้ศึกษาทำการวิเคราะห์กิจกรรมตามหลักแนวคิดห่วงโซ่คุณค่า ประกอบด้วย กิจกรรมหลัก (primary activities) และกิจกรรมสนับสนุน (support activities) มีรายละเอียดดังนี้

1. กิจกรรมหลัก

1.1 โลจิสติกส์ภายใน (inbound logistic) การนำเข้าปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ 1) พันธุ์บุก พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้พันธุ์บุกชนิดเดียว คือ บุกไข่ หรือบุกเนื้อทราย (*Amorphophallus muelleri* Blume) โดยราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ทำการเพาะขยายพันธุ์บุกไข่เอง คิดเป็นร้อยละ 85.50 รองลงมาหาซื้อพันธุ์บุกไข่จากในชุมชน (ราคาพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 6.30 บาทต่อกิโลกรัม) ได้รับการสนับสนุนพันธุ์บุกไข่จากโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่าฯ และเก็บหาพันธุ์บุกไข่จากพื้นที่ป่า คิดเป็นร้อยละ 7.63, 4.58 และ 2.29 ตามลำดับ 2) การใช้ปุ๋ยในการผลิต พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 98.47 ไม่ใช้ปุ๋ย มีเพียงร้อยละ 1.53 ที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยหาซื้อปุ๋ยอินทรีย์จากร้านค้าภายในชุมชน ในราคาเฉลี่ย 425 บาทต่อกระสอบ 3) การใช้ยาฆ่าหญ้าในการผลิต พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 83.97 ไม่ใช้ยาฆ่าหญ้า มีเพียงร้อยละ 16.03 ที่ใช้ยาฆ่าหญ้า จำแนกเป็นราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ซื้อยาฆ่าหญ้าจากร้านค้าภายในชุมชน และซื้อยาฆ่าหญ้าจากสหกรณ์การเกษตร คิดเป็นร้อยละ 9.16 และ 6.87 ตามลำดับ โดยซื้อยาฆ่าหญ้าในราคาเฉลี่ย 159.52 บาทต่อลิตร 4) การใช้ยาฆ่าแมลงในการผลิต พบว่าราษฎรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไม่มีการใช้ยาฆ่าแมลงในการผลิต 5) ปัจจัยด้านแรงงาน พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 93.13 ใช้แรงงานภายในครัวเรือน และร้อยละ 6.87 ใช้แรงงานรับจ้าง โดยจ่ายค่าจ้างแรงงานเฉลี่ย 137 บาทต่อวัน ในด้านการให้ความรู้แก่แรงงานทั้งแรงงานในครัวเรือนและแรงงานรับจ้าง ราษฎรกลุ่มตัวอย่างจะอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการปลูก การดูแล รวมถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตบุกไข่ให้แก่แรงงาน

1.2 การปฏิบัติการ (operation) มีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 การเตรียมพื้นที่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ร้อยละ 54.96 เตรียมพื้นที่โดยทำการถางวัชพืชเพียงอย่างเดียว รองลงมาเตรียมพื้นที่โดยการถางวัชพืชและเผาเศษวัชพืช เตรียมพื้นที่โดยการเผาเศษวัชพืชเพียงอย่างเดียว เตรียมพื้นที่โดยการถางวัชพืชและไถพื้นที่ ไม่ทำการเตรียมพื้นที่ เตรียมพื้นที่โดยการไถพื้นที่เพียงอย่างเดียว และ เตรียมพื้นที่โดยการถางวัชพืชและยกร่อง คิดเป็นร้อยละ 33.60, 4.58, 3.05, 2.29, 0.76 และ 0.76 ตามลำดับ ด้านแรงงานที่ใช้ในเตรียมพื้นที่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้แรงงานในการเตรียมพื้นที่เฉลี่ย 4.36 แรงงานต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายค่าแรงงานในการเตรียมพื้นที่เฉลี่ย 597.32 บาทต่อไร่ นอกจากนี้ ยังพบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เตรียมพื้นที่ด้วยการไถและยกร่อง มีการจ้างรถไถในอัตราเฉลี่ย 358.33 บาทต่อไร่

1.2.2 การเตรียมหัวพันธุ์บุกไข่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.36 กิโลกรัมต่อหัว ใช้หัวพันธุ์บุกไข่ในการปลูกเฉลี่ย 796.19 กิโลกรัมต่อไร่ หรือเฉลี่ย 2,212 หัวต่อไร่ โดยมีค่าใช้จ่ายในการเตรียมหัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 0.30 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการเตรียมหัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 238.86 บาทต่อไร่

1.2.3 การปลูกบุกไข่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีรูปแบบการปลูกบุกไข่ 2 รูปแบบ ได้แก่ การปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ และการปลูกบุกไข่ร่วมกับพืชชนิดอื่น โดยปลูกตามความเหมาะสมของพื้นที่ เช่น ปลูกบุกไข่บริเวณพื้นที่ว่างระหว่างพืชหลัก และการปลูกบุกไข่แบบเป็นแถวเป็นแนว โดยมีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 65 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 50 เซนติเมตร ขุดหลุมปลูกขนาด 10-15 เซนติเมตร (เนื่องจากใช้จอบในการขุด) ฝังหัวพันธุ์บุกไข่ลึก 5-10 เซนติเมตร และกลบหัวพันธุ์บุกไข่ที่ปลูกด้วยดิน มีการใช้แรงงานในการปลูกบุกไข่เฉลี่ย 3.0 แรงงานต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานปลูกบุกไข่เฉลี่ย 411.74 บาทต่อไร่

1.2.4 การดูแลบุกไข่หลังการปลูก พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีวิธีการดูแลบุกไข่หลังการปลูกที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.2.4.1 การใส่ปุ๋ย พบว่ามีราษฎรตัวอย่างที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตจำนวน 2 ราย ใช้แรงงานคนในการใส่ปุ๋ยเฉลี่ย 2 แรงงานต่อไร่ ใส่ปุ๋ยปีละ 1 ครั้ง ช่วงเดือนมิถุนายน ในอัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายแรงงานเฉลี่ย 274 บาทต่อไร่ และเป็นค่าปุ๋ยเฉลี่ย 255 บาทต่อไร่ รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ยเฉลี่ย 529 บาทต่อไร่

1.2.4.2 การกำจัดวัชพืช พบว่า มีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ทำการกำจัดวัชพืช จำนวน 78 ราย ทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1-3 ครั้ง โดยกำจัดวัชพืชครั้งที่ 1 ในช่วงเดือนมิถุนายน ก่อนใส่ปุ๋ย กำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 ช่วงเดือนสิงหาคม และกำจัดวัชพืชครั้งที่ 3 ช่วงปลายเดือนตุลาคมหรือช่วงที่เมล็ดแก่ก่อนต้นบุกไข่ล้ม ซึ่งราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีวิธีการกำจัดวัชพืช 2 วิธี ได้แก่ (1) การกำจัดวัชพืชโดยใช้แรงงานคน พบว่า มีการใช้แรงงานในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ย 4.43 แรงงานต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 606.91 บาทต่อไร่ และ (2) การกำจัดวัชพืชโดยใช้ยาฆ่าหญ้า พบว่า มีการใช้แรงงานในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ย 0.87 แรงงานต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 119.52 บาทต่อไร่ และมีการใช้ยาฆ่าหญ้าในอัตราเฉลี่ย 0.72 ลิตรต่อไร่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 141.12 บาทต่อไร่ รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืชโดยใช้ยาฆ่าหญ้าเฉลี่ย 260.64 บาทต่อไร่

1.2.4.3 การกำจัดศัตรูพืช พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ทำการกำจัดศัตรูพืชหรือไม่ได้ใช้ยาฆ่าแมลงในแปลงปลูกบุกไข่ ทั้งนี้เนื่องจากไม่พบการแพร่ระบาดของแมลงศัตรูพืชในแปลงปลูกบุกไข่

1.2.4.4 การให้น้ำ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ปลูกบุกไข่อาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนกันยายน

1.2.5 ขั้นตอนการเก็บผลผลิต พบว่า มีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เก็บผลผลิตบุกไข่แล้ว คิดเป็นร้อยละ 25.19 จำแนกเป็นราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เก็บผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินเพียงอย่างเดียว และราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เก็บทั้งผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินและหัวบุกไข่บนใบ คิดเป็นร้อยละ 22.90 (30 ราย) และ 2.29 (3 ราย) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในการเก็บผลผลิตบุกไข่ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้แรงงานคนทั้งหมด โดยมีการใช้แรงงานในการเก็บผลผลิตเฉลี่ย 12.02 แรงงานต่อไร่ คิดเป็นค่าจ้างแรงงานเฉลี่ย 1,646.74 บาทต่อไร่ ผลผลิตบุกไข่ที่เก็บได้จำแนกเป็นผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินเฉลี่ย 839.55 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตหัวบุกไข่บนใบเฉลี่ย 44.01 กิโลกรัมต่อไร่ รวมผลผลิตบุกไข่ทั้งหมดที่เก็บได้เฉลี่ย 883.56 กิโลกรัมต่อไร่ โดยผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัวขึ้นไป จะนำไปจำหน่าย

สำหรับผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อหัว และผลผลิตหัวบุกไข่บนใบจะเก็บไว้เพื่อขยายพันธุ์ในการปลูกปีต่อไป

1.2.6 การแปรรูปบุกไข่อบแห้ง พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ทำการแปรรูปบุกไข่อบแห้งก่อนการจำหน่าย โดยส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่าไม่มีความรู้ในการแปรรูปบุกอบแห้ง คิดเป็นร้อยละ 68.70 รองลงมาไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับใช้ในการผลิตบุกไข่อบแห้ง ไม่มีเวลา และไม่มีเงินทุน คิดเป็นร้อยละ 21.37, 17.56 และ 16.03 ตามลำดับ

1.3 โลจิสติกส์ภายนอก (outbound logistic) กิจกรรมในส่วนของการกระจายสินค้าไปยังผู้ซื้อ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ทำการเก็บผลผลิตบุกไข่ จำนวน 33 ราย ส่วนใหญ่ร้อยละ 96.97 จำหน่ายผลผลิตบุกไข่ให้แก่พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่นำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเอง คิดเป็นร้อยละ 3.03 มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ให้แก่พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น โดยพ่อค้าคนกลางจะรับซื้อผลผลิตบุกไข่ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัว ขึ้นไป ในราคากิโลกรัมละ 5-8 บาท แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ แล้วรวบรวมผลผลิตบุกไข่เพื่อนำไปจำหน่ายยังโรงงานแปรรูปซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านตาก อำเภอท่าสองยาง อำเภอแม่ระมาด และอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก หรือ สหกรณ์การเกษตรในพื้นที่แต่ละอำเภอ ที่รับซื้อบุกไข่ต่อไป

1.3.2 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างนำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเอง โดยมีราษฎรเพียงรายเดียวที่นำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายยังสหกรณ์การเกษตรในพื้นที่อำเภออุ้มผาง โดยทำการขนส่งผลผลิตบุกไข่ด้วยรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล มีระยะทางจากแปลงปลูกไปยังแหล่งรับซื้อ 13 กิโลเมตร จำหน่ายผลผลิตบุกไข่ได้ในราคากิโลกรัมละ 10 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม 1 บาทต่อผลผลิตบุกไข่ 1 กิโลกรัม

1.4 การตลาดและการขาย (marketing and sales) พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างผู้ปลูกบุกไข่มีการดำเนินกิจกรรมทางด้านการตลาด ดังนี้

1.4.1 สินค้า (product) ราษฎรกลุ่มตัวอย่างผลิตสินค้าที่เป็นผลผลิตหัวบุกไข่เพื่อจำหน่ายเพียงอย่างเดียว ยังไม่มีการแปรรูปหรือสร้างมูลค่าเพิ่มก่อนนำไปจำหน่าย ในด้านคุณภาพของผลผลิตบุกไข่นั้น มีการกำหนดหลักเกณฑ์ให้บุกไข่ที่สามารถนำไปจำหน่ายต้องมีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัว ขึ้นไป

1.4.2 ราคา (price) พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่มีบทบาทในการกำหนดราคาผลผลิตบุกไข่ รวมถึงยังไม่มีการประกันราคารับซื้อผลผลิตบุกไข่ให้เกิดความเป็นธรรมและสร้างแรงจูงใจในการปลูกบุกไข่ จากการศึกษาพบว่า การจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ให้แก่พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น จำหน่ายได้ในราคา 5-8 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งสาเหตุที่ราคารับซื้อผลผลิตบุกไข่มีความแตกต่างกันเนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดราคากลางในการรับซื้อผลผลิตบุกไข่ ดังนั้นราคาซื้อผลผลิตบุกไข่จะถูกกำหนดโดยพ่อค้าคนกลางแต่ละราย ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เช่น ในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลการคมนาคมค่อนข้างลำบากพ่อค้าคนกลางจะรับซื้อในราคาต่ำ เนื่องจากต้นทุนในการขนส่งสูงกว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้และการเดินทางสะดวก และในกรณีที่ราษฎรกลุ่มตัวอย่างนำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเอง จะจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ได้ในราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม 1 บาทต่อผลผลิตบุกไข่ 1 กิโลกรัม

1.4.3 ช่องทางการจัดจำหน่าย (place) ซึ่งการศึกษาพิจารณาเกี่ยวกับสถานที่จำหน่ายผลผลิตบุกไข่ของราษฎรกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ในกรณีการจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ให้แก่พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่นซึ่งอยู่ในชุมชนเดียวกันหรืออยู่ในชุมชนใกล้เคียงพ่อค้าคนกลางจะเข้าไปรับซื้อผลผลิตบุกไข่ถึงแปลงปลูกหรือในแต่ละชุมชน เนื่องจากราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่มียานพาหนะ

สำหรับขนส่ง หรือบางรายเก็บผลผลิตบุกไข่ได้จำนวนน้อยจึงไม่คุ้มค่าในการนำผลผลิตออกไปจำหน่ายเอง สำหรับกรณีที่ราษฎรกลุ่มตัวอย่างนำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเอง มีเพียงรายเดียวที่นำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายยังสหกรณ์การเกษตรในพื้นที่อำเภออุ้มผาง

1.4.4 การส่งเสริมทางการตลาด (promotion) พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างทำการปลูกและจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ให้แก่ผู้รับซื้อ โดยไม่มีการดำเนินกิจกรรมในด้านการส่งเสริมการตลาด อาทิ การโฆษณา การลดราคา หรือกิจกรรมอื่น ๆ แต่อย่างใด

1.5 การบริการ (service) ด้านการให้บริการแก่ลูกค้าหรือผู้รับซื้อ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีการให้บริการแก่ผู้รับซื้อโดยการคัดแยกผลผลิตบุกไข่ที่จะนำไปจำหน่ายที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัว ขึ้นไป เพื่อให้เป็นไปตามกฎกติกาชุมชนของกลุ่มสมาชิกโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่ารักษาสิ่งแวดล้อม

2. กิจกรรมสนับสนุน

2.1 โครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure) มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การเงินและบัญชี พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 67.94 ใช้ทุนส่วนตัวเพียงอย่างเดียว รองลงมาร้อยละ 28.24 ใช้เงินทุนกู้ยืมเพียงอย่างเดียว โดยจำแนกเป็นเงินทุนกู้ยืมโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่าฯ และเงินทุนกู้ยืมกองทุนหมู่บ้าน คิดเป็นร้อยละ 23.66 และ 4.58 ตามลำดับ และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทั้งทุนส่วนตัวและเงินทุนกู้ยืม คิดเป็นร้อยละ 3.82 โดยสามารถกู้ยืมได้รายละไม่เกิน 10,000 บาท ส่งคืนทุก 1 ปี พร้อมดอกเบี้ยในอัตราร้อยละ 5 ต่อปี นอกจากนี้ยังพบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 92.37 ไม่มีการจัดทำบัญชีรายรับ-รายจ่าย มีเพียงร้อยละ 7.63 ที่มีการจัดทำบัญชี รายรับ-รายจ่าย

2.1.2 ข้อมูลด้านกฎหมายและความสัมพันธ์กับภาครัฐ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นสมาชิกโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่ารักษาสิ่งแวดล้อม สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 14 (ตาก) ในสังกัด กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จึงมีความสัมพันธ์กับหน่วยงานดังกล่าวในเชิงบวก นอกจากนี้หน่วยงานทางปกครองโดยเฉพาะทางอำเภอนับว่ามีส่วนสำคัญที่เข้าไปส่งเสริมการปลูกรวมทั้งหาแนวทางช่วยเหลือราษฎรกลุ่มตัวอย่าง ทางด้านกฎหมายราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ให้ความเห็นในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับป่าไม้ เนื่องจากพื้นที่ปลูกบุกไข่ของราษฎรกลุ่มตัวอย่างอยู่ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ตื่น และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าอุ้มผาง ซึ่งราษฎรกลุ่มตัวอย่างประสบปัญหาในกรณีการเก็บผลผลิตแล้ว เมื่อนำออกไปจำหน่าย ยังไม่มีหน่วยงานที่สามารถรับรองได้ว่าผลผลิตบุกไข่เป็นของราษฎรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด หรือเก็บหามาจากป่าธรรมชาติโดยผิดกฎหมาย ทั้งนี้ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างต้องการให้ภาครัฐช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การตลาด การแปรรูป การถ่ายทอดความรู้ เงินทุน และการพัฒนาเทคโนโลยี โดยคิดเป็นร้อยละ 78.63, 55.73, 51.91, 41.98 และ 6.87 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1.2.1 ด้านการตลาด ต้องการให้มีหน่วยงานที่รับซื้อผลผลิตบุกไข่ที่แน่นอน รับซื้อในราคาที่เป็นธรรม มีการประกันราคารับซื้อ รวมถึงการรวมกลุ่มเพื่อนำผลผลิตบุกไข่จากสมาชิกไปจำหน่าย ลดปัญหาการลักลอบเก็บหาบุกไข่จากป่าธรรมชาติ เป็นต้น

2.1.2.2 ด้านการแปรรูป ต้องการให้รัฐสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการแปรรูป รวมถึงการจัดตั้งกลุ่มเพื่อรับซื้อผลผลิตบุกไข่จากสมาชิกเพื่อนำมาแปรรูปก่อนนำไปจำหน่าย

2.1.2.3 การถ่ายทอดความรู้ ต้องการให้ภาครัฐสนับสนุนการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการปลูก ดูแล เพื่อให้ได้ผลผลิตบุกไข่เพิ่มขึ้น ต้องการมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการแปรรูปบุกไข่อบแห้งก่อนนำไปจำหน่าย รวมถึงการศึกษาดูงานในพื้นที่อื่นเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และนำไปปรับใช้ในพื้นที่ของตนเอง

2.1.2.4 ด้านเงินทุน ต้องการให้

มีเงินทุนหมุนเวียนสำหรับกู้ยืมลงทุนปลูกบุกไข่เพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถจัดหาปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ได้อย่างเพียงพอ และสามารถเพิ่มพื้นที่ปลูกบุกไข่ของตนเองรวมถึงให้ราษฎรที่สนใจปลูกบุกไข่ได้รับการสนับสนุนเงินทุนกู้ยืมหมุนเวียนเพื่อใช้ในการปลูกบุกไข่

2.1.2.5 ด้านการพัฒนาเทคโนโลยี ต้องการให้ภาครัฐส่งเสริมด้านการใช้เครื่องมือเครื่องจักร ในขั้นตอนการผลิต เช่น การเตรียมพื้นที่ การดูแลรักษา จนถึงขั้นตอนการเก็บผลผลิต ตลอดถึงการนำเอาวิทยาการที่ทันสมัยมาปรับใช้เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตบุกไข่ อาทิ การปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความสมบูรณ์ การจัดการระบบน้ำภายในแปลงปลูก การใช้สารควบคุมวัชพืชและแมลงศัตรูพืชที่เป็นประเภทสารอินทรีย์ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีด้านการใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์มาใช้ในการทำบุกไข่อบแห้งเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มก่อนนำไปจำหน่าย ทั้งนี้ Maehongson Highland Agricultural Extension and Development Center (2016) ได้ให้ข้อมูลว่า โรงงานแปรรูปรับซื้อหัวบุกไข่สดในราคา 10-11 บาทต่อกิโลกรัม และรับซื้อแผ่นบุกไข่แห้งในราคา 112 บาทต่อกิโลกรัม (หัวบุกสด 5 กิโลกรัม ผลิตเป็นบุกอบแห้งได้ 2 กิโลกรัม)

2.1.3 การจัดการทั่วไป พบว่า มีทั้งราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เป็นสมาชิก และไม่เป็นสมาชิกโครงการหมู่บ้านพิทักษ์ป่ารักษาสิ่งแวดล้อม คิดเป็นร้อยละ 64.88 และ 35.12 ตามลำดับ ในด้านการจัดการเกี่ยวกับการผลิตจนถึงการจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างแต่ละรายจะใช้วิธีการที่แตกต่างกันไป อีกทั้งไม่มีการรวมกลุ่มเพื่อทำการรวบรวมผลผลิตบุกไข่เพื่อจำหน่าย หรือนำไปแปรรูปแต่อย่างใด

2.2 การบริหารทรัพยากรมนุษย์ (Human resources management) จากข้อมูลปัจจัยการผลิตด้านแรงงาน พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้แรงงานภายในครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 93.13 และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่จ้างแรงงาน คิดเป็นร้อยละ 6.87 ในด้านการให้ความรู้แก่แรงงาน ราษฎรกลุ่มตัวอย่างจะอธิบายเกี่ยวกับวิธีการปลูก การดูแล รวมถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้แก่แรงงาน

2.3 การพัฒนาเทคโนโลยี (technology development) พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 95.42 ไม่ใช้เครื่องจักรในการผลิต มีเพียงร้อยละ 4.58 ที่ใช้เครื่องจักรประเภทรถไถเดินตามในการเตรียมพื้นที่ในขั้นตอนการไถพื้นที่และยกร่อง ส่วนการผลิตในขั้นตอนอื่น ๆ ไม่พบว่ามีการใช้เครื่องจักรหรือนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาใช้เพื่อให้ได้ผลผลิตบุกไข่เพิ่มมากขึ้น หรือใช้ในการแปรรูปผลผลิตบุกไข่ก่อนนำไปจำหน่าย

2.4 การจัดซื้อ (procurement) พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีการจัดซื้อปัจจัยการผลิต จากแหล่งที่อยู่ในชุมชนหรือแหล่งที่อยู่ใกล้เคียง โดยมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 7.63 ที่ซื้อหัวพันธุ์บุกไข่จากแหล่งในชุมชน มีราษฎรกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 1.53 ที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยหาซื้อปุ๋ยจากร้านค้าภายในชุมชน มีราษฎรกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 16.30 ที่ใช้ยาฆ่าหญ้า โดยหาซื้อยาฆ่าหญ้าจากร้านค้าภายในชุมชนและสหกรณ์การเกษตรที่อยู่ในพื้นที่ รวมทั้งมีการใช้ปัจจัยด้านแรงงานภายในชุมชน โดยจำแนกเป็นแรงงานภายในครัวเรือน และแรงงานรับจ้าง คิดเป็นร้อยละ 93.13 และ 6.87 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการปลูกบุกไข่ โดยกำหนดอายุโครงการ 3 ปี และอัตราคิดลดร้อยละ 5 ในการวิเคราะห์จึงจำแนกรูปแบบการปลูกบุกไข่ของราษฎรกลุ่มตัวอย่างตามวิธีการปลูก การดูแลหลังการปลูก และปีที่เก็บผลผลิต ซึ่งสามารถจำแนกได้ 6 รูปแบบ ดังแสดงใน Table 1 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. รูปแบบที่ 1 ปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.1-0.2 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 250 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ปุ๋ย ไม่ใช้ยาฆ่าหญ้า และไม่ใช้ยาฆ่าแมลง

โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 3 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 ราย

2. รูปแบบที่ 2 ปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.2-0.5 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ปุ๋ย ไม่ใช้ยาฆ่าหญ้า และไม่ใช้ยาฆ่าแมลง โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 2 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 1 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 ราย

3. รูปแบบที่ 3 ปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.1-0.2 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ปุ๋ย และไม่ใช้ยาฆ่าแมลง แต่ใช้ยาฆ่าหญ้า โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 1 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 ราย

4. รูปแบบที่ 4 ปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.1-0.2 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ปุ๋ย และใช้ยาฆ่าหญ้า แต่ไม่ใช้ยาฆ่าแมลง โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 1 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 1 ราย

5. รูปแบบที่ 5 ปลูกบุกไข่ร่วมกับกล้วย ปลูกกล้วยระยะห่างประมาณ 3×3 เมตร และปลูกบุกไข่แทรกระหว่างแถวกล้วย ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.1-0.3 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 450 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ปุ๋ย ไม่ใช้ยาฆ่าหญ้าและไม่ใช้ยาฆ่าแมลง โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 3 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 18 ราย

6. รูปแบบที่ 6 ปลูกบุกไข่ร่วมกับข้าวโพด ราษฎรกลุ่มตัวอย่างปลูกบุกไข่โดยใช้ระยะ 0.50×0.65 เมตร และปลูกข้าวโพดแทรกระหว่างแถวบุกไข่ ใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.2 กิโลกรัมต่อหัว โดยใช้หัวพันธุ์บุกไข่เฉลี่ย 200 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่ใช้ปุ๋ยและไม่ใช้ยาฆ่าแมลง แต่ใช้ยาฆ่าหญ้า โดยทำการกำจัดวัชพืชปีละ 1 ครั้ง เก็บผลผลิตในปีที่ 3 มีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 1 ราย

Table 1 Planting pattern of *Amorphophallus muelleri* Blume.

Planting pattern	Type of planting		Inputs used					Harvested year	Number of samples
	Planting full on Area	Planting with other crop	Konjac used		Fertilizer	Pesticide	Insecticide	Weeding (time/year)		
			Size (kg)	kg/rai					
Pattern 1	/		0.1-0.2	250	x	x	x	1	3	2
Pattern 2	/		0.2-0.5	1,000	x	x	x	2	1	3
Pattern 3	/		0.1-0.2	1,000	x	/	x	1	1	2
Pattern 4	/		0.1-0.2	1,000	/	/	x	1	1	1
Pattern 5		Banana	0.1-0.3	450	x	x	x	1	3	18
Pattern 6		Corn	0.2	200	x	/	x	1	3	1
Total										**27**

ทั้งนี้ ต้นทุนในการปลูกบุกไข่ประกอบด้วยต้นทุน 2 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ค่าเช่าที่ดิน และค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์การเกษตร และต้นทุนแปรผัน ประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบหรือปัจจัยการผลิต ค่าจ้างแรงงาน ค่าขนส่ง และค่าดอกเบี้ยเงินกู้ สำหรับรายได้จากการปลูกบุกไข่ในรูปแบบต่าง ๆ จะพิจารณาทั้งรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตบุกไข่ และรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตพืชที่ปลูกร่วมกับบุกไข่ ทั้งนี้สามารถสรุปต้นทุนและรายได้เฉลี่ยในการปลูกบุกไข่ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ ดังแสดงใน Table 2 การพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนปลูกบุกไข่พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 6 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 11,540.32 บาทต่อไร่ รองลงมาเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 5 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 3 และ รูปแบบที่ 4 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 3,164.58, 1,818.21, -5,667.16, -11,434.21 และ -17,568.11 บาทต่อไร่ ตามลำดับ โดยการปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 5 และ รูปแบบที่ 6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่า 0 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างได้รับผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุนหรือได้รับกำไร สำหรับการปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 3 และ รูปแบบที่ 4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างจึงได้รับผลตอบแทนไม่คุ้มค่าการลงทุนหรือขาดทุน ดังแสดงใน Table 3

Table 2 Average cost and benefit from planting *Amorphophallus muelleri* Blume.

Planting pattern	Cost (baht/rai)			Benefit (baht/rai)		
	Year 1	Year 2	Year 3	Year 1	Year 2	Year 3
Pattern 1	4,245.74	1,276.50	1,691.25	-	-	1,152.05
Pattern 2	11,709.57	11,709.57	11,709.57	12,377.23	12,377.23	12,377.23
Pattern 3	12,306.85	12,306.85	12,306.85	8,108.11	8,108.11	8,108.11
Pattern 4	11,288.37	11,288.37	11,288.37	4,837.21	4,837.21	4,837.21
Pattern 5	7,607.26	2,128.82	3,381.09	2,627.20	5,254.40	9,253.13
Pattern 6	5,016.07	2,676.07	3,656.07	6,456.94	6,456.94	11,456.94

Table 3 The net present value on the various planting patterns of *Amorphophallus muelleri* Blume at the end of a project.

Planting pattern	Present value (baht/rai)		NPV
	Cost	Benefit	(baht/rai)
Pattern 1	6,662.34	995.18	- 5,667.16
Pattern 2	31,888.06	33,706.27	1,818.21
Pattern 3	33,514.61	22,080.40	- 11,434.21
Pattern 4	30,741.03	13,172.92	- 17,568.11
Pattern 5	12,096.62	15,261.20	3,164.58
Pattern 6	10,362.73	21,903.05	11,540.32

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า การปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 6 และรูปแบบที่ 5 ซึ่งปลูกบุกไข่ร่วมกับพืชชนิดอื่น มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าการปลูกบุกไข่ในรูปแบบอื่นซึ่งปลูกแบบเต็มพื้นที่ สอดคล้องกับ Sanguanpong *et al.* (2005) ที่ให้ข้อมูลว่า บุกเป็นพืชที่เติบโตได้ดีในร่มเงารำไรหรือใต้ตาข่ายพรางแสงร้อยละ 50 อีกทั้งยังพบว่า การปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ซึ่งราษฎรกลุ่มตัวอย่างปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ ใช้หัวพันธุ์บุกไข่ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการเก็บผลผลิตบุกไข่ทุกสิ้นปีที่ 1 ซึ่งพบว่าการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 2 ซึ่งใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.2-0.5 กิโลกรัมต่อหัว และทำการกำจัดวัชพืชโดยไม่ใช้ยาฆ่าหญ้า ปีละ 2 ครั้ง ได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่า ส่วนการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ซึ่งใช้หัวพันธุ์บุกไข่ขนาด 0.1-0.2 กิโลกรัมต่อหัว และทำการกำจัดวัชพืชโดยใช้ยาฆ่าหญ้า ปีละ 1 ครั้ง ได้รับผลตอบแทนไม่คุ้มค่า และเมื่อพิจารณาการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 4 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ และมีการใช้ปัจจัยการผลิตตลอดจนขั้นตอนการผลิตที่เหมือนกัน (ยกเว้น การใส่ปุ๋ย) พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 3 ซึ่งราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่ใส่ปุ๋ย มีค่ามากกว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 4 ซึ่งราษฎรกลุ่มตัวอย่างใส่ปุ๋ย ดังนั้น ในการปลูกบุกไข่ควรปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่นเพื่อให้ร่มเงาแก่บุกไข่ โดยหัวพันธุ์บุกไข่ที่ใช้ปลูกควรมีขนาด 0.2-0.5 กิโลกรัมต่อหัว การดูแลแปลงปลูกบุกไข่ควรทำการกำจัดวัชพืชโดยไม่ใช้ยาฆ่าหญ้าและไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย ด้านการจำหน่ายผลผลิตบุกไข่นั้น ราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่นำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเองจะจำหน่ายได้ในราคาสูงกว่าการจำหน่ายให้แก่พ่อค้าคนกลาง และการนำผลผลิตบุกไข่ไปแปรรูปเป็นแผ่นบุกไข่แห้งก่อนนำไปจำหน่ายจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลผลิตบุกไข่ได้

สรุป

การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ย 42.50 ปี และร้อยละ 51.15 ไม่ได้รับการศึกษา ราษฎรกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีสัญชาติไทย โดยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มชาติพันธุ์กะเหรี่ยง ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีประสบการณ์ในการปลูกบุกไข่เฉลี่ย 3.30 ปี มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5.37 คน มีพื้นที่เพาะปลูกบุกไข่เฉลี่ย 2.58 ไร่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่าปลูกบุกไข่เนื่องจากต้องการมีรายได้เสริม ประเด็นปัญหาเกี่ยวกับการปลูกบุกไข่ พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างประสบปัญหาด้านการผลิตมากที่สุด

การศึกษาห่วงโซ่คุณค่าในการปลูกบุกไข่ ทั้งในส่วนของกิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุนพบว่า ข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิต พบว่า พันธุ์บุกที่ราษฎรกลุ่มตัวอย่างใช้ปลูกเพื่อการค้ามีเพียงชนิดเดียว คือ บุกไข่ โดยราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เพาะขยายพันธุ์บุกไข่เอง และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่หาซื้อพันธุ์บุกไข่จากในชุมชน ในราคาเฉลี่ย 6.30 บาทต่อกิโลกรัม ราษฎรกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 16.03 ใช้ยาฆ่าหญ้า และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างเพียงร้อยละ 1.53 ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้ ไม่พบราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ยาฆ่าแมลง ราษฎรกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 93.13 ใช้แรงงานภายในครัวเรือน และร้อยละ 6.87 จ้างแรงงาน โดยเสียค่าจ้างแรงงานเฉลี่ยวันละ 137 บาท โดยราษฎรกลุ่มตัวอย่างจะอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการปลูก การดูแล รวมถึงการเก็บผลผลิตบุกไข่ให้แก่แรงงาน ด้านการผลิต พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันไป โดยราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เตรียมพื้นที่โดยทำการถางวัชพืชเพียงอย่างเดียว ขั้นตอนการเตรียมหัวพันธุ์และการใช้หัวพันธุ์ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีการใช้หัวพันธุ์บุกไข่ที่มีขนาดเฉลี่ย 0.36 กิโลกรัมต่อหัว ใช้หัวพันธุ์บุกไข่ เฉลี่ย 796.19 กิโลกรัมต่อไร่ ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ปลูกบุกไข่แบบเต็มพื้นที่ โดยใช้ระยะปลูกระหว่างแถวประมาณ 65 เซนติเมตร ระยะ

ห่างระหว่างต้นประมาณ 50 เซนติเมตร และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างบางรายที่ปลูกบุกไข่ร่วมกับพืชชนิดอื่น โดยส่วนใหญ่ปลูกบุกไข่ร่วมกับกล้วย ขั้นตอนการดูแลแปลงปลูกบุกไข่หลังการปลูก ราษฎรกลุ่มตัวอย่างมีการดูแลแปลงปลูกบุกไข่ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช และขั้นตอนการเก็บผลผลิต ทั้งนี้พบว่ามีราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เก็บผลผลิตแล้ว จำนวน 33 ราย ส่วนใหญ่เก็บเฉพาะผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดิน และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่าง 3 ราย ที่เก็บทั้งผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินและหัวบุกไข่บนใบ โดยเก็บผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินได้เฉลี่ย 883.56 กิโลกรัมต่อไร่ และเก็บผลผลิตหัวบุกไข่บนใบได้เฉลี่ย 44.01 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลผลิตหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5 กิโลกรัมต่อหัว ขึ้นไป ราษฎรกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะจำหน่ายผลผลิตแก่พ่อค้าคนกลางในท้องถิ่น โดยจำหน่ายได้ในราคา 5-8 บาทต่อกิโลกรัม และมีราษฎรกลุ่มตัวอย่างเพียง 1 ราย ที่นำผลผลิตบุกไข่ไปจำหน่ายเอง จะจำหน่ายได้ในราคา 10 บาทต่อกิโลกรัม โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม 1 บาทต่อผลผลิตบุกไข่ 1 กิโลกรัม สำหรับหัวบุกไข่ใต้ดินที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อหัว และหัวบุกไข่บนใบ จะเก็บไว้เพื่อขยายพันธุ์ในปีต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ทำการแปรรูปผลผลิตบุกไข่ก่อนนำไปจำหน่าย

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนในการปลูกบุกไข่ ทำการศึกษาเฉพาะราษฎรกลุ่มตัวอย่างที่เก็บผลผลิตแล้ว จำแนกตามรูปแบบการปลูกบุกไข่ได้ 6 รูปแบบ โดยกำหนดอายุโครงการ 3 ปี ใช้อัตราคิดลดร้อยละ 5 พบว่า การปลูกบุกไข่รูปแบบที่ 6 รูปแบบที่ 5 และรูปแบบที่ 2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่ามากกว่า 0 หรือได้รับกำไร สำหรับการปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 3 และ รูปแบบที่ 4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 หรือขาดทุน

ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมารวบรวมเป็นข้อเสนอแนะเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตบุกไข่ให้แก่ราษฎรบนพื้นที่สูงในท้องที่จังหวัดตาก ได้ดังนี้

1. Maehongson Highland Agricultural Extension and Development Center (2016) ได้ให้ข้อมูลว่า โรงงานแปรรูปรับซื้อหัวบุกไข่สดในราคา 10 - 11 บาทต่อกิโลกรัม และรับซื้อแผ่นบุกแห้งในราคา 112 บาทต่อกิโลกรัม (หัวบุกสด 5 กิโลกรัม ผลิตเป็นบุกอบแห้งได้ 2 กิโลกรัม) ดังนั้น หน่วยงานภาครัฐ อาทิ กรมส่งเสริมการเกษตร กรมวิชาการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัด หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ควรให้การสนับสนุนด้านความรู้ เครื่องมือเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมให้แก่ราษฎรเพื่อใช้ในการแปรรูปบุกไข่อบแห้งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลผลิตบุกไข่ก่อนนำไปจำหน่าย

2. การปลูกบุกไข่ในรูปแบบที่ 5 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างปลูกบุกไข่ร่วมกับกล้วย และรูปแบบที่ 6 ราษฎรกลุ่มตัวอย่างปลูกบุกไข่ร่วมกับข้าวโพด ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน พบว่า ราษฎรกลุ่มตัวอย่างได้รับผลตอบแทนคุ้มค่าการลงทุน ดังนั้น การปลูกบุกไข่ควรทำการปลูกร่วมกับพืชชนิดอื่น หรือปลูกในระบบวนเกษตร เพื่อให้การใช้พื้นที่เพาะปลูกเกิดประโยชน์สูงสุดและได้รับผลตอบแทนที่คุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด

3. หน่วยงานภาครัฐที่เข้าไปส่งเสริมราษฎรปลูกบุกไข่ ควรนำเอาข้อมูลทางด้านวิชาการรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกบุกไข่มาใช้ประกอบในการส่งเสริมราษฎรและการกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกบุกไข่ โดยประสานงานกับหน่วยงานที่ควบคุมดูแลพื้นที่ อาทิ หน่วยงานในสังกัดกรมป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ตลอดจนหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อร่วมกันพิจารณาว่าพื้นที่ดังกล่าวไม่เป็นพื้นที่บุกรุกหรือพื้นที่ผิดกฎหมาย รวมถึงการลงทะเบียนผู้ปลูกบุกไข่ในแต่ละพื้นที่เพื่อให้สามารถตรวจสอบแหล่งที่มาของผลผลิตบุกไข่ที่จะนำออกไปจำหน่ายได้ถูกต้องและรวดเร็ว อีกทั้งจากการศึกษา พบว่าราษฎรส่วนใหญ่เป็นกลุ่มชาติพันธุ์กะเหรี่ยงและไม่ได้รับการศึกษา การเข้าไปส่งเสริมการปลูกบุกไข่ควรมี

วิทยากรที่สามารถสื่อสารกับราษฎรได้เพื่อให้ราษฎรที่สนใจปลูกบุกไข่มีความเข้าใจเกี่ยวกับระเบียบหลักเกณฑ์ รวมถึงขั้นตอนต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

REFERENCES

Ampawan, R., N. Topoonyanont, T. Pookmanee, S. Kitrungruang, P. Pookmanee and S. Panya. 2011. **Microtuberization in *Amorphophallus muelleri* Blume for Mother Plant Using the Temporary Immersion Bioreactor.** Research report of Maejo University, Chiangmai. (in Thai)

Jamekorn, S. 1983. **Statistical Analysis for Social Science Research.** Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bankok. (in Thai)

Krejcie, R.V. and E.W., Morgan. 1970. **Educational and Psychological Measurement.** Texas University, Texas.

Maehongson Highland Agricultural Extension and Development Center. 2016. ***Amorphophallus* spp. (Konjac).** Available source: http://www.haec06.doae.go.th, August 30, 2017. (in Thai)

Porter, M.E. 1985. **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. Free Press, New York.

Royal Forest Department. 2018. **Forest area of Thailand, separated by province, 2008-2017.** Available source: http://forestinfo.forest.go.th/55/Content.aspx?id=80, October 5, 2018. (in Thai)

Sanguanpong, W., S. Panya, R. Ampawan, P. Nuamjaroen, T. Tungtragoon and T. Sukumonnun. 2005. The study of growth, production yield, and flour quality of *Amorphophallus muelleri* Blume for developing of commercial potentiality of the plant**,** pp. 400-404. *In* **3rd RSPG Researchers Club Conference "Thai Resource: All Things are Intertwined".** Khlong Phai Plant Genetic Conservation Project Under the Royal Initiation of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (RSPG) Center, Nakhon Ratchasima. (in Thai)

Suksard, S. 2003. **Forest Valuation.** Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Torsampandee, P. 2011. **An Analysis of Sugar Cane Value: Case Study in Kaeng Sanam Nang District, Nakhon Ratchasima Province, 2009/2010 Crop Year.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Thai J. For. 38 (2) : 166-181 (2019) **วารสารวนศาสตร์ 38 (2) : 166-181 (2562)**

นิพนธ์ต้นฉบับ

การศึกษาคุณสมบัติและความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะ

Investigation of Properties and Dimensional Stability of Thinned Teak (*Tectona grandis)*

กัลจาริณี ชำนาญกิจ [1,2*]
นิคม แหลมสัก[1]
วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์[1]

Kanjarinee Chamnankit[*]
Nikhom Laemsak
Wiwat Hanvongjirawat

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, THAILAND
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Forest Research and Development Bureau, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok 10900, THAILAND
[*]Corresponding Author, E-mail: kanjarinee.c@ku.th

รับต้นฉบับ 8 พฤษภาคม 2562 **รับแก้ไข** 11 มิถุนายน 2562 **รับลงพิมพ์** 3 กรกฎาคม 2562

ABSTRACT

In this study, the mechanical properties and dimensional stability of thinning teak plantations which were 15 and 25 years old were examined. Teak trees were selected from the Forest Industry Organization located in Kanchaburi, Thailand. The specific gravity, moisture content, density, swelling and shrinkage of radial, tangential, and volumetric were measured. The mechanical properties were tested to determine the static bending, compression parallel and perpendicular to the grain, shear strength parallel to grain and hardness according to the ISO standard. Specimens were tested at three different positions, i.e., bottom, middle, and top of each position 120 cm in length and nested designs were used for the analysis of variance. The results were compared to the strength of sampled wood from various positions.

The results indicate that mechanical properties of 15 years old thinned teak were higher than 25 years old. Most properties were not statistically significant apart from the compression perpendicular to the grain and tangential section hardness. The strength of each position was statistically significant. The average strength of thinned 15 years old teak was ordered as being from the bottom, middle to the top of the stem. The densities were 655.86, 627.25, and 622.25 kg/m^3 while the specific gravities were 0.59, 0.56. and 0.55, respectively. Mechanical properties such as modulus of rupture were 149.98, 139.33 and 132.87 MPa, modulus of elasticities were 12775.85, 12618.70 and 11857.68 MPa, compression parallel to the grain were 63.92, 62.95 and 61.17 MPa, compression perpendicular to the grain were 33.97, 26.46 and 26.40 MPa and the

shears strength were 12.79, 11.36 and 9.84 MPa. Meanwhile the longitudinal hardness were 6.50, 6.14 and 6.05 kN, tangential hardness were 6.76, 6.34, and 5.90 kN, while the radial hardness were 5.35, 5.49 and 5.11 kN, respectively. The average strength of the 25 years old thinned teak was ordered as being from the bottom, middle to the top of the stem. The densities were 617.88, 584.48 and 570.14 kg/m^3, specific gravities of the oven dry weight were 0.54, 0.52 and 0.53, the mechanical properties such as modulus of rupture were 133.68, 131.21 and 125.36 MPa, modulus of elasticities were 13180.90, 13089.71 and 13825.30 MPa, compression parallel to the grain were 61.63, 59.96 and 58.97 MPa, compression perpendicular to the grain were 24.32, 21.96 and 21.22 MPa and shear strengths were 11.43, 10.67, and 10.25 MPa. Meanwhile the longitudinal hardness were 5.63, 4.73 and 4.46 kN, tangential hardness were 6.18, 4.87 and 4.08 kN, while the radial hardness were 5.21, 4.01 and 3.48 kN, respectively. The strengths of wood decreased with increasing positions and were statistically significant except for the compression parallel to grain.

The dimensional stability of 15 years old thinned teak was ordered as being from the bottom, middle, to the top of the stem. It was found that the radial swellings were 2.91%, 2.94% and 3.10%, tangential swellings were 4.41%, 4.80% and 6.10%, while the volumetric swellings were 7.46%, 8.05% and 9.20%. The radial shrinkages were 2.83%, 2.85% and 3.00%, tangential shrinkages were 4.22%, 4.57% and 5.72%, while the volumetric shrinkages were 6.93%, 7.44% and 8.42%, respectively. The dimensional stability of the 25 years old thinned teak was ordered as being from the bottom, middle to the top of the stem. The radial swelling s were 3.01%, 3.14% and 3.25%, tangential swellings were 4.84%, 5.52% and 5.79%, while the volumetric swellings were 8.00%, 8.83%, and 9.24%. The radial shrinkages were 2.92%, 3.04%, and 3.15%, tangential shrinkages were 4.62%, 5.22% and 5.47%, while the volumetric shrinkages were 7.40%, 8.10% and 8.44% respectively. Moreover, the dimensional stabilities of the 15 and 25 years old thinned teak were not significantly different and decreased with the stem height.

Keywords: *Tectona grandis*, Thinned teak, Mechanical properties, Dimensional stability

บทคัดย่อ

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาคุณสมบัติเชิงกล และความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 และ 25 ปี จากสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ จังหวัดกาญจนบุรี โดยได้ทำการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น แรงดัดสถิตย์ แรงอัดขนานเสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน ความแข็ง รวมทั้งการหดและการขยายตัว ด้านรัศมี ด้านสัมผัส และตามปริมาตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization) ได้ทำการทดสอบเนื้อไม้ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ โคน ลำต้น และส่วนบน และวางแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (nested designs) แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อไม้จากตำแหน่งต่าง ๆ

ผลการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าความแข็งแรงโดยรวมสูงกว่าไม้สักตัดขยายระยะอายุ 25 ปี อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนและค่าความแข็งด้านสัมผัส ซึ่งค่าความแข็งแรง

ที่ระดับความสูงต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี เรียงจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน พบว่า มีค่าความหนาแน่น 655.86, 627.25 และ 622.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความถ่วงจำเพาะ 0.59, 0.56 และ 0.55 ความต้านแรงดัด เท่ากับ 149.98, 139.33 และ 132.87 เมกะปาสกาล มอดุลัสยืดหยุ่น เท่ากับ 12775.85, 12618.70 และ 11857.68 เมกะปาสกาล แรงอัดขนานเสี้ยน เท่ากับ 63.92, 62.95 และ 61.17 เมกะปาสกาล แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน เท่ากับ 33.97, 26.46 และ 26.40 เมกะปาสกาล แรงเฉือนขนานเสี้ยน เท่ากับ 12.79, 11.36 และ 9.84 เมกะปาสกาล ความแข็งด้านหน้าตัด 6.50, 6.14 และ 6.05 กิโลนิวตัน ความแข็งด้านสัมผัส เท่ากับ 6.76, 6.34 และ 5.90 กิโลนิวตัน ความแข็งด้านรัศมี 5.53, 5.49 และ 5.11 กิโลนิวตัน ตามลำดับ และค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของไม้สักตัดขยายระยะอายุ 25 ปี เรียงจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน พบว่า มีค่าความหนาแน่น 617.88, 584.48 และ 570.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้ง 0.54, 0.52 และ 0.53 ความต้านแรงดัด เท่ากับ 133.68, 131.21 และ 125.36 เมกะปาสกาล มอดุลัสยืดหยุ่น เท่ากับ 13180.90, 13089.71 และ 13825.30 เมกะปาสกาล แรงอัดขนานเสี้ยน เท่ากับ 61.63, 59.96 และ 58.97 เมกะปาสกาล แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน เท่ากับ 24.32, 21.96 และ 21.22 เมกะปาสกาล แรงเฉือนขนานเสี้ยน เท่ากับ 11.43, 10.67 และ 10.25 เมกะปาสกาล ความแข็งด้านหน้าตัด 5.63, 4.73 และ 4.46 กิโลนิวตัน ความแข็งด้านสัมผัส เท่ากับ 6.18, 4.87 และ 4.08 กิโลนิวตัน ความแข็งด้านรัศมี 5.21, 4.01 และ 3.48 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ค่าความแข็งแรงของเนื้อไม้ลดลงตามลำดับความสูงของลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ค่าแรงอัดขนานเสี้ยน

ค่าความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี เรียงจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน พบว่า มีค่าการขยายตัวด้านรัศมีอยู่ที่ร้อยละ 2.91, 2.94 และ 3.10 การขยายตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.41, 4.80 และ 6.10 การขยายตัวตามปริมาตรร้อยละ 7.46, 8.05 และ 9.20 ค่าการหดตัวด้านรัศมีอยู่ที่ร้อยละ 2.83, 2.85 และ 3.00 การหดตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.22, 4.57 และ 5.72 การหดตัวตามปริมาตรร้อยละ 6.93, 7.44 และ 8.42 ตามลำดับ และค่าความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะอายุ 25 ปี เรียงจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน พบว่า มีค่าการขยายตัวด้านรัศมีอยู่ที่ร้อยละ 3.01, 3.14 และ 3.25 การขยายตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.84, 5.52 และ 5.79 การขยายตัวตามปริมาตรร้อยละ 8.00, 8.83 และ 9.24 ค่าการหดตัวด้านรัศมีอยู่ที่ร้อยละ 2.92, 3.04 และ 3.15 การหดตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.62, 5.22 และ 5.47 การหดตัวตามปริมาตรร้อยละ 7.40, 8.10 และ 8.44 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าความคงขนาดของไม้สักทั้งสองช่วงอายุมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในแต่ละระดับความสูงภายในต้นเดียวกัน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่าความคงขนาดจะลดลงเมื่อตำแหน่งของเนื้อไม้สูงขึ้น

คำสำคัญ: ไม้สัก ไม้สักตัดขยายระยะ สมบัติเชิงกล ความคงขนาด

คำนำ

ในอดีตจวบจนปัจจุบันไม้สักเป็นไม้ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งใช้เป็นไม้โครงสร้าง และเป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องเรือน รวมทั้งการประดับตกแต่งอาคารบ้านเรือนหรือแม้กระทั่งนำมาทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ เนื่องจากไม้สักเป็นไม้ที่มีลวดลายสวยงามมีสีเหลืองทองถึงสีน้ำตาล เสี้ยนตรง อีกทั้งยังมีความแข็งแรง สามารถขัดเงาได้ง่าย มีความทนทานตามธรรมชาติสูงมากกว่า 10 ปี (Royal Forest Department, 2006) ทนต่อศัตรูทำลายไม้ได้ดี แต่อายุของไม้สักที่จะนำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไปนั้นต้องมีอายุมากกว่า 30 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลานานในการทำสวนป่าไม้สักนั้นระหว่างที่รอให้ไม้สักเติบโตเต็มที่จะต้องมีการตัดขยายระยะซึ่งเป็นการปฏิบัติทาง

วนวัฒน์ในการจัดการสวนป่าเพื่อให้เกิดผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพตามต้องการ (Gunthasorn *et al*., 2011) โดยการนำต้นสักบางส่วนออกเพื่อให้ต้นที่คงอยู่เจริญได้อย่างเต็มที่ สำหรับการปลูกไม้สัก การตัดขยายระยะครั้งแรก ต้นสักที่ได้จะมีขนาดเล็ก ราคาต่ำ ผู้ปลูกสวนป่าส่วนมากไม่ทำการตัดขยายระยะทั้งที่ต้นไม้ขึ้นหนาแน่นมาก ส่งผลเสียต่อการเติบโตของสักทั้งหมด (Pusudsavang, 2010) ในการตัดขยายระยะบางครั้งอาจขายไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากไม้ยังมีขนาดเล็กไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (Forest Industry Organization, 2005) ปัจจุบันไม้สักที่ได้จากการตัดขยายระยะส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้งานเป็นไม้เสากลมและบ้านไม้ปักไม้ (log cabin) และผลิตภัณฑ์ไม้ขนาดเล็ก รวมทั้งมีการใช้งานเป็นส่วนประกอบของบ้าน เช่น กรอบประตู หน้าต่าง (Djati *et al*., 2015)

เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของไม้สักตัดขยายระยะจึงมีแนวคิดในการนำไม้สักที่ได้จากการตัดขยายระยะมาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามการที่จะนำไม้สักตัดขยายระยะมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยถึงค่าคุณสมบัติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยค่าคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) มีความสำคัญต่อการนำไม้ไปใช้ประโยชน์เนื่องจากเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพและความแข็งแรงของไม้ (Jerrold, 1994) คุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) เป็นค่าความต้านทานสูงสุดของไม้ในการรับน้ำหนัก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ แรงและระยะเวลาในการรับแรง เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่คุณสมบัติแตกต่างกันทุกทิศทาง (anisotropic) ค่าคุณสมบัติในแต่ละด้านจึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Jerrold, 1994) ความคงขนาด (dimensional stability) มีความสำคัญอย่างมากในการใช้งานผลิตภัณฑ์จากไม้ เนื่องจากการดูดความชื้นเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นที่สุดอย่างหนึ่งของไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ทุกชนิดจะดูดซับและลดความชื้นจากอากาศรอบ ๆ จนกว่าจะมีความชื้นสมดุลระหว่างความชื้นของไม้และของสภาพแวดล้อมโดยรอบ (Roger, 2007) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความชื้นและการดูดซับความชื้นซึ่งอาจทำให้ขนาดของไม้เกิดการเปลี่ยนแปลงไป (Lothar and Alexander, 2013) มีผลต่อสภาพและอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์จากไม้

เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์ไม้สักตัดขยายระยะให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี และอายุ 25 ปี จากสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ ได้แก่ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ แรงดัดสถิตย์ แรงอัดขนานสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน และความแข็ง สมบัติด้านความคงขนาด ได้แก่ การหดและการขยายตัวทางด้านรัศมี ด้านสัมผัส และตามปริมาตร ระหว่างไม้สักที่ได้จากการตัดขยายระยะสองช่วงอายุ โดยทำการสุ่มเลือกไม้ในแต่ละต้นทำการทดลองที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ โคนลำต้น และส่วนบน ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบทำให้ทราบถึงสมบัติของเนื้อไม้ในส่วนต่าง ๆ ของลำต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้ประโยชน์ไม้สักตัดขยายระยะให้มีความเหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

สุ่มเลือกไม้สักขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้จากสวนป่าไทรโยค 2 จังหวัดกาญจนบุรี อายุ 15 ปี และ 25 ปี อย่างละ 2 ต้น โดยทำการโค่นไม้สักสูงจากพื้นดินประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วดำเนินการตัดเป็นท่อน ที่ระดับความสูงของลำต้นแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 10, 130 และ 250 เซนติเมตร แต่ละท่อนมีความยาว 120 เซนติเมตร

การเตรียมตัวอย่าง

1. นำท่อนไม้สักในสภาวะสดมาแปรรูปและทำการผึ่งไม้ให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 ใช้สำหรับตัดชิ้นทดสอบ

2. ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization) โดยการสุ่มสำหรับในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลแต่ละสมบัติใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 20 ชิ้น และสำหรับทดสอบความคงขนาดใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 12 ชิ้น วัดขนาดและชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นพร้อมบันทึกผล

3. นำชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกลปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 20±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±3 จนน้ำหนักคงที่

การทดสอบคุณสมบัติ

ทำการคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) คุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) และ ความคงขนาด (dimensional stability) ตามมาตรฐาน ISO โดยตัดชิ้นทดสอบดังแสดงใน Table 1 โดยใช้เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) สำหรับทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกล

Table 1 Dimensions of tested samples and standard followed for the tests.

Test type	Sample dimension (mm) width × thickness × length	Standard reference
Moisture content	20 × 20 × 25	ISO 3130
Density	20 × 20 × 25	ISO 3131
Specific gravity	20 × 20 × 25	ISO 3131
Modulus of rupture (MOR)	20 × 20 × 300	ISO 13061-3
Modulus of elasticity (MOE)	20 × 20 × 300	ISO 13061-4
Compression stress parallel to grain	20 × 20 × 60	ISO 13061-17
Compression stress perpendicular to grain	20 × 20 × 60	ISO 3132
Shearing stress parallel to grain	20 × 20 × 20	ISO 3347
Hardness	50 × 50 × 50	ISO 13061-12
Radial and tangential shrinkage	20 × 20 × 30	ISO 13061-13
Volumetric shrinkage	20 × 20 × 30	ISO 13061-14
Radial and tangential swelling	20 × 20 × 30	ISO 13061-15
Volumetric swelling	20 × 20 × 30	ISO 13061-16

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (nested designs) วิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variance: ANOVA โดยใช้ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี และ 25 ปี และทำการศึกษาตามระดับความสูง 3 ระดับ โดยใช้ชิ้นทดสอบ 20 ชิ้น ในแต่ละการทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความหนาแน่น

จากการทดลองหาค่าความหนาแน่นที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 10-13 พบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 655.86, 627.25 และ 622.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ

25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 617.88, 584.48 และ 570.14 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2 และเมื่อพิจารณาแต่ละระดับความสูงภายในต้นเดียวกัน พบว่า ค่าความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ Dwi *et al*. (2018) รายงานค่าความหนาแน่นของไม้สักอายุ 7-10 ปี และอายุ 40-60 ปี ในประเทศมาเลเซีย พบว่า มีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 472.00 และ 664.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2. ความถ่วงจำเพาะ

จากการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอบแห้งของไม้สักตัดขยายระยะ อายุ 15 ปี พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 0.59, 0.56 และ 0.55 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.54, 0.52 และ 0.53 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาแต่ละระดับความสูงภายในต้นเดียวกัน พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงใน Table 2 ซึ่ง Miles and Smith (2009) รายงานว่าความถ่วงจำเพาะของไม้จะแปรผันไปตามปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอายุของไม้ ปริมาณความชื้น ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในลำต้น รวมไปถึงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ สายพันธุ์ของต้นไม้ และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height: DBH) และ Seviset *et al.* (2017) ได้ทำการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของไม้สักตัดขยายระยะ อายุ 9 ปี เปรียบเทียบกับไม้สักจากป่าธรรมชาติที่อายุมากกว่า 30 ปี พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 0.52 และ 0.60 ตามลำดับ

ค่าความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้สักอายุ 25 ปี มีค่าสูงกว่าค่าดังกล่าวของไม้สักอายุ 15 ปี นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายวิภาค และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ ซึ่ง Racero *et al*. (2015) กล่าวว่า ค่าความหนาแน่นอาจแปรผันได้ในสปีชีส์เดียวกันหรือแม้แต่ในต้นไม้เดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูงของลำต้นและตำแหน่งของเนื้อไม้ โดย Miranda *et al*. (2011) กล่าวว่า มีหลายการทดลองที่พบว่าสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้สักอายุน้อยและไม้สักโตเต็มวัยมีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยค่าคุณสมบัติที่แตกต่างกันของไม้สักสวนป่านั้น เกิดจากการได้รับผลกระทบจากการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยา ได้แก่ ระยะห่างของต้น การใส่ปุ๋ย การตัดขยายระยะ การตัดแต่งกิ่ง รวมทั้งสภาพพื้นที่ปลูกและลักษณะภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลต่อปัจจัย 5 ประการ ได้แก่ ปัจจัยทางกล กายภาพ ชีวภาพ ความสวยงามและโครงสร้างไม้ (Baillères and Durand, 2000)

Table 2 The average density and specific gravity of individual 15 and 25 year old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Diameter (cm)	Density (kg/m³)	Specific gravity	n
			Avg. ± SD	Avg. ± SD	
15	Bottom	16.28	655.86 ± 25.40	0.59 ± 0.02	20
	Middle	15.63	627.25 ± 15.89	0.56 ± 0.01	20
	Top	14.15	622.25 ± 20.21	0.55 ± 0.02	20
25	Bottom	17.93	617.88 ± 18.34	0.54 ± 0.01	20
	Middle	16.56	584.48 ± 13.97	0.52 ± 0.01	20
	Top	15.28	570.14 ± 19.30	0.53 ± 0.02	20
F-Value between age			44.84*	51.69*	
F-Value between position			13.88**	9.52**	

Remarks: Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)
Avg. = Average, SD = standard deviation, n = sample size
* significant difference ($p<0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

คุณสมบัติเชิงกล

1. การต้านแรงดัด (MOR) เป็นค่าที่แสดงถึงขีดความสามารถในการรับน้ำหนักของไม้ จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าเฉลี่ยการต้านแรงดัดจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน อยู่ที่ 149.98, 139.33, 132.87 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 133.68, 131.21 และ 125.36 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 3 จะเห็นได้ว่า ค่าการต้านแรงดัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งค่าการต้านแรงดัดนี้อาจแตกต่างกันไปตามความหนาแน่นของเนื้อไม้ในแต่ละส่วน (Burdon *et al.*, 2001) โดย Miranda *et al.* (2011) ได้ทำการทดลองหาค่าการต้านแรงดัดของไม้สักธรรมชาติอายุ 50-70 ปี จากติมอร์ พบว่า มีค่าอยู่ที่ 141.00 เมกะปาสกาล

2. มอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) เป็นความสามารถในการต้านการโก่งของไม้ จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 12775.85, 12618.70 และ 11857.68 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 13180.90, 13089.71 และ 13825.30 เมกะปาสกาล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ Izekor *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาหาค่า MOE ของไม้สักอายุ 15, 20 และ 25 ปี พบว่า มีค่าอยู่ที่ 6846.92, 9920.54 และ 12845.57 เมกะปาสกาล ตามลำดับ และกล่าวว่า ค่า MOE ที่สูงนั้นอาจเนื่องมากจากการเพิ่มขึ้นของวงปี (growth rings) และกลุ่มเซลล์ cambial ของไม้ที่โตเต็มที่ รวมทั้งอายุของไม้อีกด้วย และ Wayan *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของไม้สักธรรมชาติอายุ 40-60 ปี จากอินโดนีเซียพบว่า มีค่าอยู่ที่ 12759.00 เมกะปาสกาล

Table 3 The average modulus of rupture and modulus of elasticity of 15 and 25 years old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Density (kg/m³)	Bending (MPa)		n
			MOR	MOE	
			Avg. ± SD	Avg. ± SD	
15	Bottom	662.57	149.98 ± 7.80	12775.85 ± 1063.88	20
	Middle	654.56	139.33 ± 8.19	12618.70 ± 1192.42	20
	Top	631.65	132.87 ± 15.50	11857.68 ± 1663.18	20
25	Bottom	625.25	133.68 ± 5.80	13180.90 ± 1358.38	20
	Middle	587.29	131.21 ± 9.48	13089.71 ± 3138.95	20
	Top	583.29	125.36 ± 12.11	13825.30 ± 1134.34	20
F-Value between age			13.69^{ns}	10.51^{ns}	
F-Value between position			5.43^{**}	3.30^{**}	

Remarks: Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)
Avg. = Average, SD = Standard deviation, n = sample size
^{ns} non significant difference ($p>0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

3. ความเค้นอัดขนานเสี้ยน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค้นของวัสดุซึ่งได้รับแรงอัดขนานกับเสี้ยนใช้ในการทดสอบขีดความสามารถในการรับน้ำหนักของไม้ จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 63.92, 62.95 และ 61.17

เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61.63, 59.96 และ 58.97 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 4 โดย Izekor *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้สักสวนป่าอายุ 15, 20 และ 25 ปี พบว่า มีค่าอยู่ที่ 43.74, 58.47 และ 75.36 เมกะปาสกาล ตามลำดับ และ Thulasidas and Bhat (2012) ได้ทำการทดสอบความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้สักอายุ 35 ปี จากประเทศอินเดีย พบว่า มีค่าอยู่ที่ 60.60 เมกะปาสกาล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ โดยค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนที่แตกต่างกันนั้นเกิดจากอายุของไม้ ตัวอย่างไม้ รวมทั้งตำแหน่งของเนื้อไม้

4. ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน จากการทดลอง พบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 33.97, 26.46 และ 26.40 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 24.32, 21.96 และ 21.22 เมกะปาสกาล ตามลำดับ จาก Table 4 จะเห็นได้ว่า ค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาในแต่ละระดับความสูงภายในต้นเดียวกัน พบว่า มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 Seviset *et al.* (2017) รายงานค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้สักอายุ 9 ปี และไม้สักธรรมชาติอายุมากกว่า 30 ปี มีค่าอยู่ที่ 8.00 และ 22.92 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

Table 4 The average compression strength of 15 and 25 years old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Value	Compression (MPa)		n
			Parallel to grain	Perpendicular to grain	
15	Bottom	Avg. ± SD	63.92 ± 3.60	33.97 ± 6.33	20
		Density	682.76	689.36	
	Middle	Avg. ± SD	62.95 ± 5.46	26.46 ± 2.27	20
		Density	626.20	637.655	
	Top	Avg. ± SD	61.17 ± 3.60	26.40 ± 4.91	20
		Density	624.825	628.075	
25	Bottom	Avg. ± SD	61.63 ± 4.76	24.32 ± 4.31	20
		Density	609.02	621.87	
	Middle	Avg. ± SD	59.96 ± 4.52	21.96 ± 2.39	20
		Density	582.93	585.73	
	Top	Avg. ± SD	58.97 ± 6.67	21.22 ± 2.82	20
		Density	579.33	583.10	
F-Value between age			7.41^{ns}	27.17^{*}	
F-Value between position			0.81^{ns}	8.92^{**}	

Remarks: Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)
The unit of density is kg/m^3
Avg. = Average, SD = Standard deviation, n = sample size
^{ns} non-significant difference ($p>0.05$), * significant difference ($p<0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

5. แรงเฉือนขนานเสี้ยน ดังแสดงใน Table 5 จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าแรงเฉือนเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 12.79, 11.36 และ 9.84 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.43, 10.67 และ 10.25 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงเฉือนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่ง Seviset *et al*. (2017) ได้ทำการทดสอบค่าแรงเฉือนของไม้สักอายุ 9 ปี เปรียบเทียบกับไม้สักจากป่าธรรมชาติอายุมากกว่า 30 ปี พบว่า มีค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนอยู่ที่ 11.28 และ 13.00 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

Table 5 The average shear strength of 15 and 25 years old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Density (kg/m³)	Shear strength (MPa)	n
			Avg. ± SD	
15	Bottom	642.09	12.79 ± 1.49	20
	Middle	625.01	11.36 ± 1.06	20
	Top	617.99	9.84 ± 1.16	20
25	Bottom	598.75	11.43 ± 0.64	20
	Middle	571.14	10.67 ± 0.85	20
	Top	545.10	10.25 ± 1.13	20
F-Value between age			4.49^{ns}	
F-Value between position			16.89^{**}	

Remarks: Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)
The unit of density is kg/m^3
Avg. = Average, SD = Standard deviation, n = sample size
^{ns} non-significant difference ($p>0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

6. ค่าความแข็ง

6.1 ค่าความแข็งด้านหน้าตัด จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีความแข็งด้านหน้าตัดเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 6.50, 6.14 และ 6.05 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.63, 4.73 และ 4.46 กิโลนิวตัน ตามลำดับ

6.2 ค่าความแข็งด้านสัมผัส จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีความแข็งด้านสัมผัสเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 6.76, 6.34 และ 5.90 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.18, 4.87 และ 4.08 กิโลนิวตัน ตามลำดับ

6.3 ค่าความแข็งด้านรัศมี จากการทดลองพบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีความแข็งด้านรัศมีเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน เท่ากับ 5.53, 5.49 และ 5.11 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.12, 4.01 และ 3.48 กิโลนิวตัน ตามลำดับ

จาก Table 6 เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ค่าความแข็งที่ตำแหน่งต่างกันมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดย Josue and Imiyabir (2011) ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของไม้สักอายุ 15 ปี ในประเทศมาเลเซีย พบว่า มีค่าความแข็งด้านสัมผัสและด้านรัศมีอยู่ที่ 4.11 และ 3.99 กิโลนิวตัน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองที่ได้พบว่ามีค่าน้อยกว่าไม้สักอายุ 15 ปี ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

Table 6 The average hardness of individual height 15 and 25 years old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Density (kg/m³)	Hardness (kN)			n
			Longitudinal	Radial	Tangential	
			Avg. ± SD	Avg. ± SD	Avg. ± SD	
15	Bottom	652.43	6.50 ± 0.55	5.35 ± 0.60	6.76 ± 0.54	20
	Middle	614.03	6.14 ± 0.55	5.49 ± 0.51	6.34 ± 0.81	20
	Top	610.16	6.05 ± 0.39	5.11 ± 0.49	5.90 ± 0.77	20
25	Bottom	624.05	5.63 ± 1.05	5.21 ±0.74	6.18 ± 0.51	20
	Middle	575.02	4.73 ± 1.29	4.01 ± 0.73	4.87 ± 0.77	20
	Top	567.18	4. 46 ± 1.09	3.48 ± 0.58	4.08 ± 0.56	20
F-Value between age			0.53^{ns}	7.95^{ns}	36.92^{*}	
F-Value between position			7.19^{**}	19.38^{**}	16.48^{**}	

Remarks: Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)
Avg. = Average, SD = Standard deviation, kN = kilonewtons , n = sample size
^{ns} non-significant difference ($p>0.05$), * significant difference ($p<0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

จากผลการทดลองค่ากลสมบัติของไม้สักที่แตกต่างกันนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของไม้สัก คือ ตำแหน่ง ทำเลที่ตั้ง ลักษณะพื้นที่ปลูกที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อโครงสร้างและลักษณะทางกายวิภาคของไม้สัก ซึ่งส่งผลให้มีความแข็งแรงแตกต่างกัน ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เช่น ตำแหน่งตามแนวแกน (โคนต้น ส่วนตรงกลาง และส่วนบนของลำต้น) ส่วนตำแหน่งตามแนวรัศมีของกระพี้และแก่นไม้นั้นไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ (Hardiyanto and Prayitno, 2006)

ความคงขนาด

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการหดและขยายตัวของไม้ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นในผนังเซลล์ จากการทดลองการหดและขยายตัวทางด้านรัศมี ด้านสัมผัส และตามปริมาตร ของไม้สักอายุ 15 และ 25 ปี จาก Table 7, Figure 1 และ Figure 2 พบว่า

1. การขยายตัว จากการทดลองวัดการขยายตัวของไม้ที่ความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้นร้อยละ 12 จนถึงสภาวะสด (มีความชื้นเหนือจุดหมาดที่ร้อยละ 25-30) พบว่าไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าการขยายตัวเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน ของด้านรัศมีร้อยละ 2.91, 2.94 และ 3.10 ตามลำดับ การขยายตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.41, 4.80 และ 6.100 ตามลำดับ การขยายตัวตามปริมาตรร้อยละ 7.46, 8.05 และ 9.20 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวด้านรัศมีร้อยละ 3.01, 3.14 และ 3.25 ตามลำดับ การขยายตัวด้าน

สัมผัสร้อยละ 4.84, 5.52 และ 5.79 ตามลำดับ การขยายตัวตามปริมาตรร้อยละ 8.00, 8.83 และ 9.24 ตามลำดับ

2. การหดตัว สำหรับชิ้นทดสอบการหดตัวของไม้ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 12 (มีความชื้นสมดุลย์กับบรรยากาศ) จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี มีค่าการหดตัวเฉลี่ยจากโคนต้น ลำต้น และส่วนบน ของด้านรัศมีร้อยละ 2.83, 2.85 และ 3.00 ตามลำดับ การหดตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.22, 4.57 และ 5.72 ตามลำดับ การหดตัวตามปริมาตร ร้อยละ 6.93, 7.44 และ 8.42 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 25 ปี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการหดตัวด้านรัศมีร้อยละ 2.92, 3.04 และ 3.15 ตามลำดับ การหดตัวด้านสัมผัสร้อยละ 4.62, 5.22 และ 5.47 ตามลำดับ การหดตัวตามปริมาตร ร้อยละ 7.40, 8.10 และ 8.44 ตามลำดับ

การขยายและหดตัวของเนื้อไม้เมื่อเทียบด้านรัศมีและด้านสัมผัส พบว่า ด้านสัมผัสมีค่าสูงกว่าด้านรัศมี และเมื่อระดับความสูงของเนื้อไม้เพิ่มขึ้นค่าการขยายและหดตัวจะเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือมีค่าความคงขนาดจะลดลง เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า ค่าการขยายและหดตัวของเนื้อไม้ที่ตำแหน่งต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดย Chunwarin (1990) รายงานค่าการหดตัวของไม้สักด้านรัศมี ด้านสัมผัส และตามปริมาตรร้อยละ 2.50, 5.20 และ 7.60 ตามลำดับ และ Miranda *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาค่าการหดตัวของไม้สักธรรมชาติอายุ 50-70 ปี พบว่า มีค่าการหดตัวด้านรัศมี ด้านสัมผัส และการหดตัวตามปริมาตร อยู่ที่ร้อยละ 3.50, 5.17 และ 7.60 ตามลำดับ

Reeb (2009) รายงานว่า ค่าการขยายและหดตัวของไม้ในด้านสัมผัสจะมากที่สุด รองลงมาคือ ด้านรัศมี และด้านตามยาว ค่าความคงขนาดหรือค่าการขยายและหดตัวนี้แม้ว่าจะตัดจากต้นเดียวกันก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามความถ่วงจำเพาะของไม้ (Forest Product Laboratory, 1957) โดย Dwi *et al*. (2018) กล่าวว่า ปริมาณสารแทรกในเนื้อไม้ส่งผลต่อค่าความคงขนาดของไม้ ไม้ที่มีปริมาณสารแทรกสูงทำให้คุณสมบัติการดูดความชื้น (hygroscopic) ของไม้บางชนิดลดลง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ความคงขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งไม้สักรอบตัดฟันสั้นนั้นมีค่าการหดตัวไม่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับไม้สักอายุ 40-60 ปี (Wayan *et al*., 2015)

Table 7 The average dimensional stability of 15 and 25 years old thinned teak according to their height level.

Age (Years)	Height level	Value	Swelling[1] (%)			Shrinkage[2] (%)			n
			Redial	Tangential	Volumetric	Redial	Tangential	Volumetric	
15	Bottom	Avg.	2.91	4.41	7.46	2.83	4.22	6.93	12
		SD	0.57	0.79	1.29	0.54	0.73	1.13	
	Middle	Avg.	2.94	4.80	8.05	2.85	4.57	7.44	12
		SD	1.04	0.71	1.14	0.98	0.65	0.98	
	Top	Avg.	3.10	6.10	9.20	3.00	5.72	8.42	12
		SD	0.52	1.82	0.9	0.49	1.61	0.75	
25	Bottom	Avg.	3.01	4.84	8.00	2.92	4.62	7.40	12
		SD	0.55	0.50	0.69	0.51	0.45	0.59	
	Middle	Avg.	3.14	5.52	8.83	3.04	5.22	8.10	12
		SD	0.73	0.86	1.40	0.68	0.77	1.25	
	Top	Avg.	3.25	5.79	9.24	3.15	5.47	8.44	12
		SD	0.55	0.93	1.49	0.51	0.84	1.18	
F-Value between age			0.44^{ns}	0.15^{ns}	0.58^{ns}	0.93^{ns}	0.72^{ns}	0.57^{ns}	
F-Value between position			5.11^{**}	8.68^{**}	4.22^{*}	5.04^{**}	8.49^{**}	4.17^{*}	

Remarks: [1] Swelling of wood from moisture content of 12 % to fiber saturation point (25-30%)

[2] Shrinkage of wood from moisture content of 12% to oven dry weight

Sampled at heights above 10 cm (bottom), 130 cm (middle) and 250 cm (top)

Avg. = Average, SD = Standard deviation, n = sample size

^{ns} non-significant difference ($p>0.05$), * significant difference ($p<0.05$), ** highly significant difference ($p<0.01$)

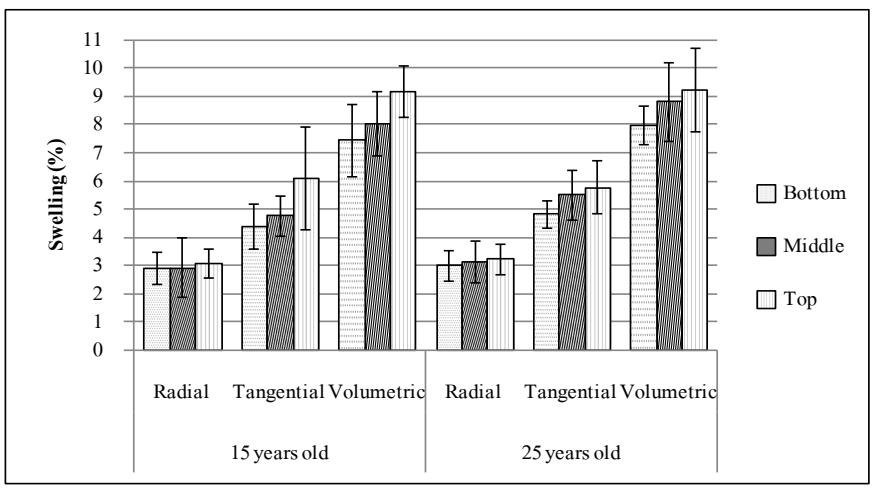


Figure 1 Relationship between sections and average swelling of 15 and 25 years old thinned teak.

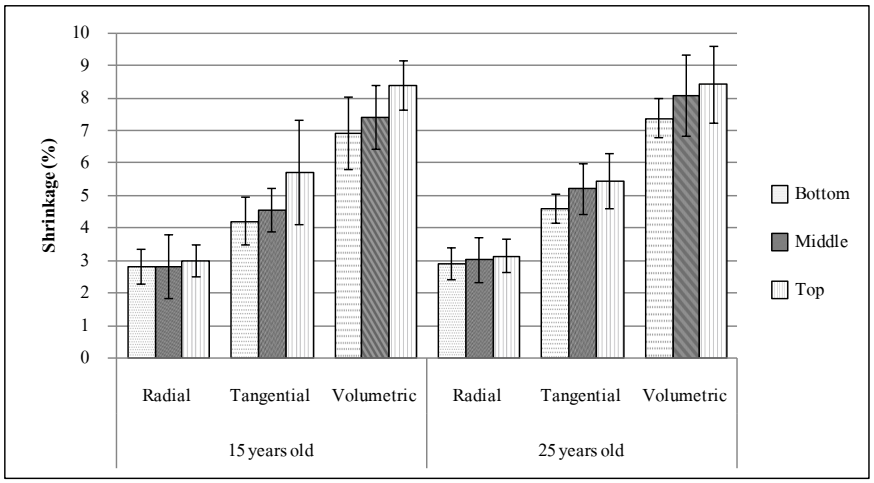


Figure 2 Relationship between sections and average shrinkage of 15 and 25 years old thinned teak.

สรุป

1. การศึกษาคุณสมบัติและความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะ อายุ 15 และ 25 ปี จากผลการทดลองสรุปว่า ไม้สักตัดขยายระยะ อายุ 15 ปี มีค่ากลสมบัติเทียบเคียงได้กับไม้สักตัดขยายระยะ อายุ 25 ปี ยกเว้น ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนและค่าความแข็งด้านสัมผัส โดยมีค่าความแข็งแรงลดลงตามลำดับความสูงของลำต้น คือ มีค่าความแข็งแรงสูงสุดที่ท่อนโคนและลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความคงขนาดของไม้สักตัดขยายระยะทั้ง 2 ช่วงอายุนั้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2. ค่ากลสมบัติที่แตกต่างกันนั้นอาจเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ ความลึกของดินหรือวิธีการทางวนวัฒนวิทยา รวมทั้งลักษณะทางกายวิภาค และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ซึ่งมีผลทำให้ความหนาแน่นของไม้ต่างกัน จึงทำให้ค่าคุณสมบัติของไม้สักในแต่ละช่วงอายุมีความแตกต่างกัน

3. จากการทดลองนี้ พบว่า ไม้สักตัดขยายระยะอายุ 15 ปี และ 25 ปี มีค่าความแข็งแรงบางประการแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับไม้สักที่ครบรอบตัดฟันจึงสามารถเลือกใช้ไม้สักช่วงอายุใดก็ได้ แต่จะมีข้อจำกัดเรื่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและลวดลายของเนื้อไม้ หากต้องการใช้ไม้ที่มีหน้ากว้างหรือมีลวดลายของเส้นวงเติบโต ควรเลือกใช้ไม้ช่วงอายุที่มากกว่า

4. ในการศึกษาคุณสมบัติและความคงขนาดของเนื้อไม้นี้มีความสำคัญอย่างมากในการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ทั้งการใช้เป็นไม้โครงสร้างและเป็นผลิตภัณฑ์ไม้ ซึ่งค่าคุณสมบัติดังกล่าวนี้จะสามารถทำให้เลือกใช้ไม้ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของไม้มีความแปรผันกันในแต่ละระดับความสูงจึงต้องมีการพิจารณาเลือกใช้ไม้ตามการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป การนำไม้แต่ละส่วนไปใช้ประโยชน์ควรเลือกให้มีความเหมาะสม หากต้องการใช้ประโยชน์สำหรับงานที่ต้องรับน้ำหนัก เช่น เฟอร์นิเจอร์ ไม้พื้น ให้เลือกใช้ส่วนโคนต้นจนถึงกลางลำต้น และเลือกใช้ส่วนบนของลำตันในการใช้งานที่รับน้ำหนักได้น้อย เช่น โต๊ะเอนกประสงค์ อุปกรณ์สำนักงาน อุปกรณ์เครื่องครัว เป็นต้น

คำนิยม

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สวนป่าไทรโยค 2 องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการวิจัย

รวมทั้งฝ่ายอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้และกาวติดไม้ ส่วนพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้

REFERENCES

Baillères, H. and P.Y. Durand. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation-grown teak. **Bois et Forêts des Tropiques** 263 (1): 17-29.

Burdon, R.D., R.A.J Britton and G.B. Walford. 2001. Wood stiffness and bending strength in relation to density in four native provenances of *Pinus Radiata*. **New Zealand Journal of Forestry Science** 31(1): 130-146.

Chunwarin, W. 1990. **Physical Properties of Wood**. Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.

Djati, I.D., T. Tauchi. M. Kubo and F. Terauchi. 2015. Sapwood of young teak from thinning as potential material for making products. **Bulletin of JSSD** 61(5): 77-86.

Dwi, E.R., W. Darmawan, B. George, A. Merlin, S. Dumarcay, H. Chapuis, C. Gérardin, E. Gelhaye, P. Raharivelomanana, R.K. Sari, W. Syafil, R. Mohamed and P. Gerardin. 2018. Comparison of teak wood properties according to forest management: Short versus long rotation. **Annals of Forest Science** 75: 39.

Forest Industry Organization. 2005. **Teak plantation manual**. Available Source: http://www.janjc84.com/ebook/1/mobile/ index.html#p=1, March 8, 2019.

Forest Product Laboratory. 1957. Shrinking and Swelling of Wood in Use. **Information Reviewed and Reaffirmed. No. 736.**

Gunthasorn, P., P. Prasomsin and K. Duangsathaporn. 2011. Growth of teak (*Tectona grandis* L.f.) in unthinned plantations. **Thai Journal Forestry** 30(1): 57-65.

Hardiyanto, E.B. and T.A. Prayitno. 2006. **Present Utilization of Small-Diameter Teak Log from Community Teak Plantation in Java and Eastern Indonesia**. Technical Report ITTO PPD 121/06 Rev. 2(1). Indonesia.

International Standard ISO 3130. 1975. **Wood – determination of moisture content for physical and mechanical tests**. 1ft ed. Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.

_____. ISO 3131. 1975. **Wood – determination of density for physical and mechanical tests**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 3132. 1975. **Wood – testing in compression perpendicular to grain**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 3347. 1975. **Wood – determination of ultimate shearing stress parallel to grain**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-3. 2014. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 3: Determination of ultimate strength in static bending**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-4. 2014. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 4: Determination of modulus of elasticity in static bending**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-12. 2017. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 12: Determination of static hardness**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-13. 2016. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-14. 2016. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 14: Determination of volumetric shrinkage**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-15. 2017. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 15: Determination of radial and tangential swelling**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-16. 2017. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 16: Determination of radial and volumetric swelling**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

_____. ISO 13061-17. 2017. **Physical and mechanical properties of wood – Test methods for small clear wood specimens – Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain**. 1st ed. Geneva, Switzerland.

Izekor, D.N., J.A. Fuwape. and A.O. Oluyege. 2010. Effect of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis* wood. **Archives of Applied Science Research** 2(6): 113-120.

Jerrold, E.W. 1994. Wood properties. **Encyclopedia of Agricultural Science** 4: 549-561.

Josue, J. and Z. Imiyabir. 2011. **Anatomical Features, Quality and Mechanical Properties of 15-Years-Old *Tectona grandis* (TEAK) Planted in Sabah**. ITTO project on improving utilization and value adding of plantation timbers from sustainable sources in Malaysia project no. PD 306/04 (1). Forest Research Institute Malaysia, Selangor Darul Ehsan.

Lothar, C. and P. Alexander. 2013. Determination of dimensional stability of thermally modified beech and spruce wood. **Wood modification.**

Miles, P.D. and W.B. Smith. 2009. Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America. **Res. Note NRS-38**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA.

Miranda, I., M., V. Sousa. and H. Pereira. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. **Journal of Wood Science** 57: 171-178.

Pratrick, D.M. and S.W. Brad. 2009. Specific gravity and other properties of wood and bark for 156 tree species found in North America. **Northern Research Station**: 1-35.

Pusudsavang, A. 2010. **Teak Economic Planting and Management for Agriculturist and Private Sector**. 2nd ed. *Aksornsiam Printing* Service, Bangkok.

Racero, C.S.E., B.I.B Nieto and J.R.H. Ávila. 2015. Physical and mechanical properties of the wood used in indigenous housing of the Tuchín Township, Department of Cordoba, Colombia. **INGE CUC** 11: 99-108.

Reeb, J.E. 2009. **Wood and Moisture Relationships**. **Oregon State Extension University Service**. Available Source: http://catalog.extension.oregonstate.edu/em8600, March 22, 2019.

Roger, E.H. 2007. Swelling properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. **Wood and Fiber Science** 39(1): 146-158.

Royal forest department. 2006. **General Characteristics of Thai Timbers**. 3rd ed. *MONKOL* Part., Ltd. *Printing* Service, Bangkok.

Seviset, S., T. Piromgran, U. Saributr, R. Porncharoen, K. Raerai and S. Charoensettasilp. 2017. Mechanical property of 9 years old thinning of teak plantation in Thailand. **MATEC Web of Conferences** 95: 03004.

Thulasidas, P.K. and K.M. Bhat. 2012. Mechanical properties and wood structure characteristics of 35-year old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation teak. **Journal of the Indian Academy of Wood Science** 9(1): 23-32.

Wayan, D., D. Nandika., R. Kartikasari., A. Sitompul., I Rahayu. and D. Gardner. 2015. Juvenile and mature wood characteristics of short and long rotation teak in JAVA. **IAWA Journal** 36(4): 429-443.

นิพนธ์ต้นฉบับ

เพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้สักสวนป่าโดยกรรมวิธีการอัดร้อน

Effect of Heat Treatment on Physical and Mechanical Properties of Planted Teak Wood

จุฑารัตน์ หมวดสีทา[1]
ทรงกลด จารุสมบัติ[1*]
ธีระ วีณิน[2]

Jutharat Moadsitha[1]
Songklod Jarusombat[1*]
Teera Veenin[2]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand
[2]สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Forestry Alumni Association, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand
[*]Corresponding Author, E-mail: fforsoj@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 13 มีนาคม 2562 **รับแก้ไข** 25 เมษายน 2562 **รับลงพิมพ์** 30 พฤษภาคม 2562

ABSTRACT

This research aims to study the physical and mechanical properties of Teak wood plantation treated using a hot press. The factors during the production include press temperature (A), which can be either 100°C, 120°C or 150°C, press pressure (B) of either 1, 2 or 3 MPa, and press time (C) of either 5, 8 or 10 minutes in a hot press. The test results showed that the specific gravity and density values increased with an increase of the press pressure. The optimal specific gravity and density were A150B3C10, which numerically were 0.669 and 704 kg.m^{-3}, respectively. In the mechanical properties, the most optimum modulus of rupture was observed for A150B2C10 at about 115.36 MPa. The most optimum modulus of elasticity was found for A100B1C10 at about 11,856 MPa. The highest value of compressive stress parallel to the grain was found at A150B3C10 or about 50.86 MPa. The highest values of compressive stress perpendicular to the grain, shearing stress parallel to the grain, and toughness were determined at A120B2C8 or about 26.78 MPa, 16.08 MPa and 41,365 N.mm, respectively. The comparison between untreated and thermally treated teak indicated that thermally treated teak had relatively better physical and mechanical properties and the cost of teak plantation was less than naturally occuring teak by about 55.27 percent. According to the test results, it can be concluded that teak plantation treated using a hot press have application in the production of various components.

Keywords: Properties of teak, plantation teak wood, Hot press

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้สักสวนป่าโดยกรรมวิธีการอัดร้อน โดยมีปัจจัย 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ (A) 100, 120 และ 150 องศาเซลเซียส อัดร้อนที่ความดัน (B) 1, 2 และ 3 เมกะปาสกาล และใช้เวลา (C) อัดร้อน 5, 8 และ 10 นาที จากผลทดสอบพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่มีค่ามากที่สุด คือ A150B3C10 มีค่า 0.669 และ 704 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติเชิงกล คือ สภาวะที่มีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ยสูงที่สุด คือ A150B2C10 มีค่า 115.36 เมกะปาสกาล สภาวะที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงที่สุด คือ A100B1C10 มีค่า 11,856 เมกะปาสกาล สภาวะที่มีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ A150B3C10 มีค่า 50.86 เมกะปาสกาล สภาวะที่มีค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยสูงสุด คือ A120B2C8 มีค่า 26.78 เมกะปาสกาล สภาวะที่มีค่าความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงสุด คือ A120B2C8 มีค่า 16.08 เมกะปาสกาล และสภาวะที่มีค่าความเหนียวเฉลี่ยสูงสุด คือ A120B2C8 มีค่า 41,365 นิวตัน.มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลมากกว่า และพบว่าต้นทุนในการนำไม้สักสวนป่ามาใช้มีค่าต่ำกว่าไม้สักจากธรรมชาติประมาณร้อยละ 55.27 แสดงให้เห็นว่าไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อน เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในด้านต่าง ๆ ได้

คำสำคัญ: คุณสมบัติของไม้สัก ไม้สักสวนป่า การอัดร้อน

คำนำ

ไม้สักถือว่าเป็นไม้ที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย และเป็นที่รู้จักในตลาดนานาชาติในเรื่องของความทนทาน มีความต้านทานทางเคมีสูงและมีเอกลักษณ์หรือคุณสมบัติเฉพาะตัว เพราะไม้สักมีความแข็งแรง ลำต้นตรง และมีความต้านทานแมลงและโรคต่าง ๆ (Ladrach, 2009) ซึ่งนิยมปลูกกัน จากการศึกษาพบว่า ไม้สักที่เจริญทดแทนด้วยการแตกหน่อมีความสูงมากกว่าไม้สักที่เจริญทดแทนด้วยเหง้า ในทุกชั้นอายุ มีรูปแบบการเติบโตทางความสูงภายใต้ปัจจัยแวดล้อม คือ ในระยะแรกมีความเติบโตมากและเริ่มคงที่เมื่ออายุ 10-12 ปี (Inwiset, 2014) ไม้สักเป็นไม้ที่มีความสำคัญในทางภาคเหนือของประเทศไทย เป็นไม้ที่มีคุณภาพสูง เป็นหนึ่งในไม้เนื้อแข็งที่มีค่ามากของโลก ไม้สักเป็นไม้ที่เติบโตโดยใช้เมล็ด ซึ่งสามารถปลูกได้โดยตรง ไม้สักขณะนี้เป็นไม้ที่มีความสำคัญมาก สำหรับการทำสวนป่าในเขตร้อน ส่วนใหญ่จะมีรอบหมุนเวียนค่อนข้างสั้นโดยมีการตัดฟันที่อายุ 20-30 ปี ปัจจุบันมีการตัดไม้สักที่อายุแตกต่างกัน ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกไม้สักมีความเห็นที่แตกต่างกันเกี่ยวกับอายุที่เหมาะสมในการตัดฟัน เพื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์แต่ยังมีข้อมูลที่น้อยมาก (CFC/ITTO, 2009)

ปัจจุบันมีการปลูกไม้สักไม่ต่ำกว่า 1 ล้านไร่ มีการนำออกมาใช้ในรูปไม้ขนาดเล็กอย่างแพร่หลาย การใช้ประโยชน์จากไม้สักอายุน้อย ในการผลิตสินค้าต่าง ๆ นั้น มีการใช้ประโยชน์ได้จริงเพียงร้อยละ 30 คือ ส่วนที่เป็นลำต้น นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของบ้าน เช่น ผนัง เสา วงกลบ ประตู หน้าต่าง แต่ยังมีอีกร้อยละ 70 ที่เหลือสูญเสียไปกับขั้นตอนกระบวนการผลิตและแปรรูป (Josue and Imiyabir, 2011) นอกจากนี้ ยังมีการนำไม้สักตัดขยายระยะ คือ ไม้สักอายุตั้งแต่ 6-7 ปีขึ้นไป เพื่อให้ต้นสักมีการเติบโตเต็มที่ ส่วนไม้สักที่ถูกตัดจะถูกนำไปเผาเป็นฟืน แต่ได้มีการนำเทคนิคเพื่อจะได้ไม้สำเร็จรูปที่มีความสวยงามแล้วเป็นการเพิ่มมูลค่าของไม้ด้วย (Seviset *et al.,* 2017)

ในการใช้ประโยชน์จากไม้สักสวนป่าตัดขยายระยะจะมีปัญหาในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) และคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาในด้านการเพิ่มคุณสมบัติด้านกายภาพและเชิงกล โดยกรรมวิธีการอัดร้อน ซึ่งทำการศึกษาในแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาในการอัดร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ในการทดลองชนิดไม้ที่ที่นำมาใช้คือ ไม้สัก (*Tectona grandis* Linn.f.) จากสวนป่าอายุ 25 ปี

วิธีการ

การอัดร้อนซึ่งมีตัวแปร 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 100, 120 และ 150 องศาเซลเซียส ความดันแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 เมกะปาสกาล และเวลา แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 5, 8 และ 10 นาที

1. การเตรียมวัตถุดิบ (material preparation)

1.1 ปรับสภาพไม้ทดลองให้มีความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 10±2

1.2 ตัดไม้ให้มีขนาดความกว้าง 6.35 เซนติเมตร, หนา 3.81 เซนติเมตร และยาว 35 เซนติเมตร

2. กระบวนการอัดร้อน (hot pressing)

2.1 นำไม้สักสวนป่าวัดขนาดและชั่งน้ำหนักก่อนทำการอัดร้อน

2.2 ตั้งอุณหภูมิเครื่องอัดร้อนเพื่อการทดสอบที่สภาวะที่กำหนด

2.3 เมื่ออุณหภูมิถึงที่กำหนด นำไม้วางบนแท่นอัดร้อน

2.4 กดเริ่มให้เครื่องอัดร้อนทำงานเมื่อถึงแรงอัดที่กำหนด เริ่มจับเวลา

2.5 ครบเวลาที่กำหนดนำไม้ออกให้ความร้อนในไม้เย็นตัวลงแล้วชั่งน้ำหนักและวัดขนาดอีกครั้ง

3. การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties)

ความชื้น (moisture content) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความหนาแน่น (density)

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties)

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจะใช้มาตรฐานของ British Standard No. 373 (1957) โดยทดสอบความแข็งแรงและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์ (strength and stiffness in static bending) ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ (compressive stress perpendicular to grain) ความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้ (compressive stress parallel to grain) ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (shearing stress parallel to grain)

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาการทดลองค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้สักสวนป่าโดยการอัดร้อนซึ่งมีตัวแปร 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 100, 120 และ 150 องศาเซลเซียส ความดันแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 เมกะปาสกาล และเวลา แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 5, 8 และ 10 นาที โดยจากการทดสอบได้ผล (Table 1) ดังนี้

Table 1 Average values of physical and mechanical properties of the specimens

Type	MC (%)		SG	Density	MOR	MOE	Compression // to grain	Compression ⊥ to grain	Shearing // to grain	Toughness
	Before	After		(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N·mm)
P-value			0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
Control	26.86	10.74	0.543^{b}	552.00^{c}	86.31^{i}	8,648^{ab}	35.18^{i}	14.62^{k}	11.78^{k}	28,224^{g}
SD	7.44	0.18	0.02	32.30	1.22	697.01	0.56	0.83	0.43	2,422.76
A100B1C5	27.42	11.87	0.573^{b}	594.60^{bc}	105.78^{abcdefg}	11,342^{ab}	42.11^{efgh}	20.19^{efg}	12.57^{ghijk}	32,230^{defg}
SD	7.9	0.53	0.05	33.49	2.91	857.54	1.07	0.57	0.44	1,782.16
A100B1C8	27.66	11.29	0.574^{ab}	607.80^{bc}	101.26^{abcdefgh}	11,318^{ab}	44.76^{bcdefg}	19.09^{fghi}	14.80^{abcde}	36,396^{abcdef}
SD	11.36	0.62	0.05	31.64	3.33	1,072.31	2.07	0.53	0.51	2,608.76
A100B1C10	29.48	10.79	0.537^{b}	556.00^{bc}	112.58^{ab}	11,856^{a}	38.78^{hi}	16.66^{ijk}	12.24^{ijk}	31,151^{defg}
SD	13.16	0.74	0.01	29.03	3.33	10,62.21	2.83	0.36	0.63	2,048.82
A100B2C5	21.32	11.51	0.538^{b}	557.40^{bc}	108.08^{abcdef}	11,077^{ab}	44.98^{bcdefg}	18.70^{fghij}	12.55^{ghijk}	33,296^{cdefg}
SD	5.86	0.66	0.02	31.19	5.79	1,707.75	1.21	0.34	0.41	1,566.80
A100B2C8	28.78	11.23	0.570^{b}	600.20^{bc}	110.82^{abc}	10,820^{ab}	46.71^{abcdef}	19.24^{fgh}	14.49^{abcdef}	34,349^{abcdefg}
SD	6.75	0.4	0.02	48.36	2.43	823.61	4.34	1.18	0.89	1,461.95
A100B2C10	23.54	11.14	0.565^{b}	592.40^{bc}	110.38^{abcd}	10,027^{ab}	44.11^{bcdefg}	19.02^{fghi}	16.01^{ab}	35,336^{abcdefg}
SD	14.5	0.65	0.03	33.34	7.60	1,978.38	1.04	0.69	1.07	3,692.54
A100B3C5	28.32	11.5	0.548^{b}	569.80^{bc}	95.81^{efghi}	9,655^{ab}	44.61^{bcdefg}	18.68^{fghij}	12.54^{ghijk}	30,432^{efg}
SD	9.33	0.77	0.02	31.67	4.69	1,243.20	0.85	0.67	0.46	1,814.10
A100B3C8	24.96	10.64	0.591^{ab}	606.40^{bc}	105.40^{abcdefg}	10,137^{ab}	44.57^{bcdefg}	23.17^{cde}	14.14^{bcdefgh}	35,716^{abcdefg}
SD	9.53	0.7	0.04	22.77	5.18	861.95	3.69	0.50	0.77	2,445.22

Table 1 (cont.)

Type	MC (%)		SG	Density	MOR	MOE	Compression // to grain	Compression ⊥ to grain	Shearing // to grain	Toughness
	Before	After		(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N·mm)
P-value			0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
A100B3C10	25.88	11.05	0.588^{ab}	619.2^{0b}c	97.90^{cdefghi}	10,614^{ab}	41.90^{fgh}	18.26^{ghij}	11.80^{jk}	35,689^{abcdefg}
SD	7.6	0.74	0.03	23.75	7.64	1,044.22	2.49	0.67	0.63	3,395.27
A120B1C5	24.06	11.26	0.514^{b}	533.40^{bc}	110.40^{abcd}	10,425^{ab}	43.65^{cdefgh}	26.46^{ab}	14.36^{abcdefg}	31,126^{defg}
SD	3.22	0.46	0.05	31.76	5.20	2,342.75	0.96	1.50	0.54	3,289.89
A120B1C8	25.88	10.69	0.571^{b}	591.40^{bc}	102.00^{abcdefgh}	11,830^{a}	48.98^{ab}	22.20^{cde}	12.03^{jk}	35,363^{abcdefg}
SD	7.57	0.52	0.04	29.20	1.85	840.21	2.95	0.56	0.49	2,877.69
A120B1C10	25.54	10.75	0.538^{b}	557.60^{bc}	93.82^{fghi}	9,687^{ab}	41.64^{fgh}	16.87^{i}	12.64^{fghijk}	31,864^{defg}
SD	5.92	0.35	0.02	17.21	3.35	851.91	0.88	0.50	0.72	2,303.69
A120B2C5	21.72	11.03	0.542^{b}	568.00^{bc}	90.57^{hi}	8,275^{b}	40.36^{ghi}	18.55^{fghij}	13.68^{cdefghij}	40,706^{abc}
SD	6.03	0.61	0.03	26.65	5.29	1,701.02	0.76	0.61	0.54	2,552.68
A120B2C8	21.92	10.87	0.560^{b}	589.40^{bc}	107.06^{abcdefg}	10,876^{ab}	47.15^{abcde}	26.78^{a}	16.08^{a}	41,365^{a}
SD	9.34	0.37	0.04	36.58	4.90	689.01	1.60	1.06	0.37	1,819.41
A120B2C10	24.18	12.00	0.530^{b}	555.60^{bc}	109.64^{abcde}	11,300^{ab}	44.56^{bcdefg}	17.83^{hij}	13.36^{defghijk}	33,950^{abcdefg}
SD	9.12	2.52	0.05	22.68	6.56	724.98	0.91	0.45	0.68	3,687.84
A120B3C5	20.2	11.2	0.587^{ab}	610.40^{bc}	108.14^{abcdef}	11,070^{ab}	43.25^{defgh}	16.94^{ij}	12.35^{hijk}	38,068^{abcd}
SD	2.1	0.53	0.04	35.60	3.58	454.26	1.39	0.61	0.78	3,051.69

Table 1 (cont.)

Type	MC (%)		SG	Density	MOR	MOE	Compression // to grain	Compression ⊥ to grain	Shearing // to grain	Toughness
	Before	After		(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N·mm)
P-value			0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
A120B3C8	27.42	10.80	0.569^{b}	581.20^{bc}	93.20^{ghi}	8,619^{ab}	40.23^{ghi}	18.21^{ghij}	14.29^{abcdefg}	35,689^{abcdefg}
SD	9.84	0.81	0.04	22.29	4.24	863.96	0.92	0.76	0.54	3,432.92
A120B3C10	21.78	10.87	0.567^{b}	609.80^{bc}	93.04^{ghi}	9,172^{ab}	44.62^{bcdefg}	20.53^{efg}	13.14^{efghijk}	30,426^{efg}
SD	6.32	0.88	0.03	29.10	2.80	438.93	1.46	0.49	1.27	2,241.02
A150B1C5	23.32	13.33	0.534^{b}	580.00^{bc}	99.48^{bcdefghi}	11,014^{ab}	41.00^{ghi}	19.29^{fgh}	13.25^{defghijk}	41,039^{ab}
SD	5.09	6.68	0.03	35.74	3.44	804.69	1.35	0.59	0.79	2,086.32
A150B1C8	23.08	10.53	0.543^{b}	560.40^{bc}	96.42^{defghi}	10,064^{ab}	47.39^{abcd}	24.32^{bc}	12.48^{ghijk}	33,649^{bcdefg}
SD	5.87	0.66	0.02	30.56	5.42	1,157.67	1.43	0.55	1.11	1,465.86
A150B1C10	17.06	10.24	0.532^{b}	552.00^{bc}	105.68^{abcdefg}	10,619^{ab}	43.72^{cdefgh}	18.57^{fghij}	13.24^{defghijk}	38,034^{abcd}
SD	5.00	0.55	0.05	37.30	6.74	1,462.60	1.35	1.11	0.81	3,992.06
A150B2C5	22.90	10.90	0.557^{b}	577.00^{bc}	95.34^{efghi}	9,469^{ab}	50.23^{a}	18.41^{fghij}	14.03^{cdefghi}	35,995^{abcdef}
SD	7.13	0.5	0.02	31.88	8.91	1,496.08	2.10	1.09	0.56	4,391.43
A150B2C8	27.28	10.05	0.546^{b}	557.00^{bc}	97.20^{cdefghi}	10,842^{ab}	47.55^{abcd}	18.59^{fghij}	15.34^{abc}	29,682^{fg}
SD	10.43	0.52	0.04	42.64	7.48	790.80	2.91	0.47	0.42	3,084.97

Table 1 (cont.)

Type	MC (%)		SG	Density	MOR	MOE	Compression // to grain	Compression ⊥ to grain	Shearing // to grain	Toughness
	Before	After		(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(N·mm)
P-value			0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*
A150B2C10	28.04	9.81	0.578^{ab}	595.60^{bc}	115.36^{a}	11,559^{a}	48.39^{abc}	21.64^{de}	14.90^{abcde}	29,322^{fg}
SD	8.97	0.57	0.05	27.66	5.44	759.94	0.97	0.97	0.97	2,772.90
A150B3C5	19.46	10.87	0.586^{ab}	608.80^{bc}	94.47^{fghi}	9,652^{ab}	44.55^{bcdefg}	21.46^{de}	15.06^{abcd}	32,577^{defg}
SD	8.22	0.71	0.02	16.66	4.70	1,766.12	0.55	0.54	0.31	2,306.22
A150B3C8	27.92	10.51	0.575^{ab}	612.00^{b}	101.48^{abcdefgh}	10,234^{ab}	48.23^{abcd}	18.66^{fghij}	12.34^{hijk}	37,409^{abcde}
SD	7.32	0.81	0.03	22.25	3.81	576.09	1.26	1.06	0.70	2,661.11
A150B3C10	22.5	9.43	0.669^{a}	704.0^{0}a	104.67^{abcdefgh}	11,383^{ab}	50.86^{a}	23.81^{cde}	14.77^{abcde}	35,363^{abcdefg}
SD	8.73	0.51	0.02	31.97	9.10	1,623.29	1.03	1.23	0.27	2,877.69

Remarks: Group determined via Turkey's Honesty Significant Difference.; * = significant at $p<0.01$; SD = Standard Deviation

คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความชื้น

จากการทดสอบจะได้ค่าความชื้นของไม้ก่อนทำการทดลอง ค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 17-29 เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นของไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9-13 ซึ่งสอดคล้องกันงานวิจัยของ Hill (2006) ว่า เมื่อไม้ได้รับความร้อน จะทำให้น้ำหนักลดลงจากเริ่มต้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำในผนังเซลล์และสารแทรกที่เป็นวอลาไทล์ (volatile extractives) สารแทรกจึงย้ายไปอยู่ที่ผิวไม้

2. ความถ่วงจำเพาะจากการแทนที่ของน้ำ

จากการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของไม้สักที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อพิจารณาความถ่วงจำเพาะของไม้ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่า ไม้ทดลองมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความถ่วงจำเพาะของไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 0.543 และเปรียบเทียบกับไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อน พบว่า มีค่า 0.669, 0.591 และ0.588 โดยใช้ A150B3C10, A100B3C8 และที่สภาวะ A100B3C10 ตามลำดับ

3. ความหนาแน่น

จากการทดสอบค่าความความหนาแน่นของไม้สักที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของไม้ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่า ไม้ทดลองมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาแน่นของไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 552 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาความหนาแน่นหลังจากทดสอบแล้วค่าทดสอบสภาวะมีค่าความหนาแน่นมากที่สุดอยู่ที่ 704, 619 และ 612 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะ A150B3C10, A100B3C10 และ A150B3C8 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Candan *et al*. (2013) ศึกษาการอัดร้อนของไม้ poplar พบว่า ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันอัดเข้าไป

คุณสมบัติเชิงกล

1. ทดสอบความแข็งแรงและความแข็งตึงในการดัดสถิตย์

จากการทดสอบค่าโมดูลัสแตกหักของไม้สักที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ พบว่า มีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 86.31 เมกะปาสกาล โมดูลัสแตกหัก (MOR) พบว่า ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนที่ A150B2C10, A100B1C10 และ A100B2C8 มีค่า 115.36, 112.58 และ110.82 เมกะปาสกาล ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกหักกับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้ที่สภาวะควบคุมร้อยละ 33.66

โมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) เมื่อเปรียบเทียบจะพบว่าไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนพบว่ามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ A100B1C10 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมากที่สุด ต่อมาเป็นไม้ที่อัดร้อนที่ A120B1C8 และ A150B2C10 ซึ่งมีค่า 11,856, 11,830 และ 11,559 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ในขณะที่ไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 8,648 เมกะปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ A100B1C10 กับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้ที่สภาวะควบคุมร้อยละ 37.10 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dinwoodie (2000) พบว่า มีความแตกต่างจาก MOE ซึ่ง MOR จะเพิ่มขึ้นในกรณีที่ไม้ต้องผ่านการใช้ความร้อนแม้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เนื่องจาก MOR มีความเค้นที่เท่ากันในเส้นใย ณ จุดที่เกิดความล้มเหลวและมีความสัมพันธ์กับความแข็งดัดที่ดีที่สุดของไม้ และงานวิจัยของ Kim *et al*. (1998) พบว่า มีการลดลงของ MOR มากขึ้น เมื่อชิ้นงานไม้ชื้นถูกให้ความร้อนในอากาศเมื่อเทียบกับการทำความร้อนของไม้อบแห้ง นอกจากนี้ ยังพบว่า มีการลดลงของ MOR เมื่อถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน

2. ความเค้นอัดขนานเสี้ยนของไม้

จากการทดสอบค่าคุณสมบัติในด้านแรงอัดขนาดเสี้ยน พบว่า มีค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สภาวะที่ทำการอัดร้อนที่ใช้ A150B3C10 มีค่าในการรับแรงอัดขนาดเสี้ยนมากที่สุดมีค่า 50.86 เมกะปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมและสภาวะต่าง ๆ โดยสภาวะที่มีค่าในการรับแรงอัดขนานเสี้ยนต่อมามีค่า 50.23 และ 48.98 เมกะปาสกาล คือ สภาวะที่ใช้ A150B2C5 และ สภาวะที่ใช้ A120B1C8 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุม จะพบว่าไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนที่สภาวะต่าง ๆ มีค่ามากกว่าสภาวะของไม้ที่สภาวะควบคุม ซึ่งมีค่า 35.18 เมกะปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยนของ A150B3C10 กับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้ที่สภาวะควบคุมร้อยละ 44.58

3. ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้

การทดสอบการอัดตั้งฉากเสี้ยน พบว่า มีค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 26.78, 26.46 และ 23.81 เมกะปาสกาล โดยเป็นไม้สภาวะ A120B2C8, A120B1C5 และ A150B3C10 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะต่าง ๆ ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนมีค่ามากกว่าสภาวะควบคุม ซึ่งมีค่า 14.62 เมกะปาสกาลเมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของ A120B2C8 กับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้ที่สภาวะควบคุมร้อยละ 83.14

4. ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน

จากการทดสอบพบว่า มีค่าความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนที่ A120B2C8, A100B2C10 และ A150B2C8 มีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับ 16.08, 16.01 และ 15.34 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ในขณะที่ไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 11.78 เมกะปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของ A120B2C8 กับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้สภาวะควบคุมร้อยละ 36.49

5. ความเหนียว

ค่าความเหนียวของไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อน พบว่า มีค่าความเหนียวเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สภาวะที่ใช้ A120B2C8, A150B1C5 และ A120B2C5 โดยมีค่าที่ได้จากการทดสอบ คือ 41,365, 41,039 และ 40,706 นิวตัน.มิลลิเมตร ในขณะที่ไม้ที่สภาวะควบคุมมีค่า 28,224 นิวตัน.มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าความเหนียวของ A120B2C8 กับไม้ที่สภาวะควบคุม พบว่า มีค่ามากกว่าไม้ที่สภาวะควบคุมร้อยละ 46.56

Table 2 Price comparison of naturally occuring and planted teak.

Width*Depth (in) * Length (ft)	Natural teak (Baht)	Planted teak (Baht)	(%)
2*1*3	2,750	1,230	55.27
4*1*3	2,750	1,490	45.82
6*1*3	-	1,580	
10*1*3	-	1,720	

Source: https://www.onestockhome.com/th/categories/wood-timber-lumber/sub_categories/teak-wood/product_types /teak-wood.
http://www.northfio.com/web/phocadownload/wood/pricelumber2560.pdf

สรุป

จากการทดลองการอัดร้อนไม้สักสวนป่าด้วยกรรมวิธีการอัดร้อน อาจสรุปได้ว่า ไม้ที่ได้ทำการทดสอบที่ได้ผลดีที่สุดสำหรับคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ไม้สักสวนป่าที่ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 3 เมกะปาสกาล และเวลา 10 นาที และด้านคุณสมบัติเชิงกล คือ ไม้สักสวนป่าที่ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 2 เมกะปาสกาล และเวลา 8 นาที ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 พบว่า การทดลองที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าคุณสมบัติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทำการเปรียบเทียบราคาไม้สักสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้และไม้สักธรรมชาติของบริษัทเอกชน เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกัน พบว่าต้นทุนในการนำไม้สักสวนป่ามาใช้มีค่าต่ำกว่าไม้สักจากธรรมชาติประมาณร้อยละ 55.27 แสดงให้เห็นว่าไม้ที่ผ่านกระบวนการอัดร้อนเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในด้านต่าง ๆ ได้

REFERENCES

British Standard 373:1957. 1957. **Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber**. British Standards Institution, UK.

Candan, Z., S. Korkut and O. Unsal. 2013. Thermally compressed poplar wood (TCW): Physical and mechanical properties. **DrvnaIndustrija** 64(2): 107-111.

CFC/ITTO. 2009. **Study on Utilization of Plantation Teak Pre-project: Handbook on Properties of Plantation Teak in Myanmar**. CFC/ITTO 73 FT PPD 68/03 Rev. 2 (I). Myanmar.

Dinwoodie, J.M. 2000. **Timber: Its Nature and Behaviour**. 2nd ed. Routledge, London.

Forest Industry Organization. 2017. **Pricing table of plantation teak lumber**. Available Source: http://www.northfio.com/web/phocadownload/wood/pricelumber2560.pdf, November 24, 2018. (in Thai)

Hill, C.A.S. 2006. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex.

Inwiset, S. 2014. Growth and yield of teak (*Tectona grandis* Linn.) under different regeneration methods in khun mae khummee plantation, Phrae province. **Thai Journal of Forestry** 33(2): 52-60.

Josue, J. and Z. Imiyabir. 2011. **Anatomical Features, Quality and Mechanical Properties of 15-Years-Old Tectona grandis (TEAK) Planted in Sabah**. ITTO project on improving utilization and value adding of plantation timbers from sustainable sources in Malaysia project no. PD 306/04 (1). Forest Research Institute Malaysia, Selangor Darul Ehsan.

Kim, G.H., K.E. Yun and J.J. Kim. 1998. Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. **Material und Organismen** 32(2): 101–108.

Ladrach, W. 2009. **Management of Teak Plantations for Solid Wood Products**. ISTF News Special Report. 25 p.

Seviset, S., T. Piromgran, U. Saributr, R. Porncharoen, K. Raerai and S. Charoensettasilp. 2017. Mechanical property of 9 years old thinning of teak plantation in Thailand. **MATEC Web of Conferences** 95: 03004.

นิพนธ์ต้นฉบับ

แผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไผ่จากโรงงานทำตะเกียบ

Particleboard Products from Bamboo Wastes of Chopstick Factory

แสงระวี สุขีธรรม[1, 2]
ทรงกลด จารุสมบัติ[2*]
ธีระ วีณิน[3]

Sangrawee Sukeetham[1, 2]
Songklod Jarusombat[2*]
Teera Veenin[3]

[1]สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Forests Research and Development Bureau, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok, 10900 THAILAND
[2]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 THAILAND
[3]สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Alumni Society, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 THAILAND
[*]Corresponding Author, E-mail: fforsoj@ku.ac.t

รับต้นฉบับ 25 ธันวาคม 2561 **รับแก้ไข** 11 กุมภาพันธ์ 2562 **รับลงพิมพ์** 18 กุมภาพันธ์ 2562

ABSTRACT

This study focused on utilizing scraps from bamboo chopsticks to manufacture particleboard. The objectives were to study the method to produce particleboard from bamboo chopsticks, to test the mechanical properties of the bamboo board in accordance to Thai Industrial Standard (TIS 876-2004), to utilize a suitable type of adhesive for bamboo chopsticks, raw material for particleboard manufacturing, and to study the optimum resin dosing. A comparison between the mechanical properties was also done between a dosage of Polymeric Diphenylmethane Diisocyanate (pMDI) resin at 3, 5 and 7% compared to urea formaldehyde resin at 8, 10 and 12%. The statistical differences were analyzed using ANOVA and Duncan's New Multiple Range Test.

The study revealed that bamboo particleboard utilizing both pMDI at 7% and urea formaldehyde at 12% passed the Thai Industrial Standard (TIS 876-2004). The study found that the amount of adhesive suitable for the production of bamboo particleboard is pMDI at 7% dosing rate, which resulted in the highest values of physical properties including average density (at 659.53 kg/m^3), moisture content (at 9.62%) and thickness swelling (at 3.55%). The dosing rate at 7% pMDI also resulted in the highest values of mechanical properties which included modulus of rupture (at 15.98 MPa), modulus of elasticity (at 2,661.97 MPa) and internal bond (at 1.12 MPa).

Keywords: Particleboard, bamboo, chopstick

บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นชิ้นไผ่อัด และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) ซึ่งศึกษาชนิดและปริมาณของกาวที่เหมาะสมต่อการผลิตไม้อัดจากเศษไผ่มีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยเปรียบเทียบกาว 2 ชนิด คือ กาวไอโซไซยาเนต ชนิด polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI) ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF) ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ของน้ำหนักไม้แห้งตามลำดับ เป็นตัวประสาน ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

จากการเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐาน (TIS 876-2004) พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดทุกค่า คือ แผ่นชิ้นไผ่อัดที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ในปริมาณร้อยละ 7 และแผ่นชิ้นไผ่อัดที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 12 ผลการศึกษาพบว่า กาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 7 ให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าการพองตัวตามความหนา ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 659.53 กก./ลบ.ม. ร้อยละ 9.62 และ ร้อยละ 3.55 ตามลำดับ ส่วนค่าคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.98, 2,661.97 และ 1.12 เมกะปาสกาล (MPa) ตามลำดับ

คำสำคัญ: แผ่นชิ้นไม้อัด ไผ่ ไม้ตะเกียบ

คำนำ

ไผ่เป็นทรัพยากรป่าไม้ที่จัดอยู่ในประเภทของป่าซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างดี เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เราใช้ประโยชน์จากไผ่ได้อย่างมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งนี้เพราะทุกส่วนของไผ่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นราก ลำต้น ใบหรือหน่อ เพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐานหรือปัจจัยสี่ที่มนุษย์ต้องการ มีการนำหน่อไผ่มาใช้เป็นอาหาร นำเส้นใยที่ได้จากการตีเยื่อไผ่มาทำเครื่องนุ่งห่ม ใช้ลำไผ่ก่อสร้างที่อยู่อาศัย และแม้แต่ใช้ใบ เหง้า และหน่อเป็นยารักษาโรค ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ไผ่กันอย่างกว้างขวางตั้งแต่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือนไปจนถึงการใช้ลำต้นเพื่อเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำตะเกียบจากไผ่ทั้งขนาดเล็กถึงใหญ่

จากการศึกษาสำรวจเศษไม้เชิงเศรษฐกิจของการใช้ประโยชน์เศษไผ่เหลือทิ้งในท้องที่ภาคเหนือ โครงการการนำเศษไผ่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ของกรมป่าไม้ ได้มีการสำรวจโรงงานผลิตไม้ตะเกียบไผ่ พบว่ามีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปไผ่เป็นไม้ตะเกียบมากถึงร้อยละ 50 ซึ่งเป็นปัญหาของผู้ประกอบการในการกำจัดทิ้ง โดยการกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งไม่เกิดมูลค่าและเป็นการทำลายทรัพยากรรวมถึงทำลายสิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญและความจำเป็นที่ควรจะนำเศษเหลือทิ้งของไผ่จากโรงงานทำไม้ตะเกียบมาทำการวิจัย โดยมีแนวความคิดในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นแผ่นชิ้นไผ่อัด เพื่อทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มของผลผลิตของไผ่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และใช้เป็นข้อมูลทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมป่าไม้ นับว่ามีความสำคัญต่อการที่จะได้นำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการทรัพยากรไผ่ที่เหมาะสมเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้สอยและเพิ่มมูลค่าสำหรับโรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากไผ่ได้อย่างพอเพียงและยั่งยืนตลอดจนบริหารจัดการการตลาดของผลิตภัณฑ์จากไผ่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่เหลือจากการทำไม้ตะเกียบ และ 2) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ โดยใช้กาวไอโซไซยาเนต ชนิด polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI)

ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด

1. การเตรียมวัตถุดิบ

การวิจัยครั้งนี้ นำเศษเหลือจากการทำไม้ตะเกียบ ของโรงงานไม้ตะเกียบป้าวรรณ บ้านท่าโทก ตำบลทุ่งฝาย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง มาเป็นวัตถุดิบ โดยนำไปทำเป็นชิ้นไม้สับ (wood chips) จากนั้นเข้าเครื่องทำชิ้นไม้ แล้วนำชิ้นไม้ที่ได้ไปร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงเพื่อแยกเป็นชั้นผิวหน้า และชั้นไส้ โดย (Bauchongkol *et al*., 2012)

1.1 ชิ้นไม้ที่ผ่านตะแกรงขนาด 12 mesh แต่ค้างบนตะแกรงขนาด 40 mesh จะใช้ทำเป็นชั้นไส้

1.2 ชิ้นไม้ที่ผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh แต่ค้างบนตะแกรงขนาด 55 mesh จะใช้เป็นชั้นผิวหน้า ส่วนของฝุ่นที่ผ่านตะแกรงจะทิ้งไป

1.3 นำชิ้นไม้ข้อ 1 และ 2 ไปอบให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 แล้วใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้

2. การทำแผ่นสำหรับการทดสอบ

ชิ้นไม้ที่ได้จากข้อ 1. มาทำเป็นแผ่นชิ้นไผ่อัด โดยมีสภาวะในการวิจัย ดังนี้

ความหนาแน่นของแผ่น 700 กก./ลบ.ม.

ความหนาของแผ่น 10 มม.

ขนาดของแผ่น 35×35 ซม.

ในการวิจัยนี้ใช้กาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI และกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณและส่วนผสมที่ต่างกัน (Howpinjai, 2009)

1) กาวไอโซไซยาเนต (pMDI) ร้อยละ 3 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

2) กาวไอโซไซยาเนต (pMDI) ร้อยละ 5 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

3) กาวไอโซไซยาเนต (pMDI) ร้อยละ 7 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

4) กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 8 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

5) กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 10 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

6) กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 12 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง

นำชิ้นไผ่ที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาผสมกับกาวตามสภาวะที่กำหนดในเครื่องผสมกาวกับชิ้นไม้ จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปโรยในกล่องทำแผ่น และใช้น้ำหนักกดทับเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้แผ่นคงตัว และจึงนำกล่องออก เพื่อเข้าเครื่องอัดร้อนต่อไป

3. การอัดร้อน

นำแผ่นที่ได้วางระหว่างแผ่นรองอัดและแผ่น Teflon และใช้แท่งเหล็กกำหนดความหนา ขนาด 10 มม. วางด้านข้างแผ่น นำเข้าเครื่องอัดร้อนตามไฮดรอลิคตามสภาวะ ดังนี้ (Yenjai, 2015)

แรงอัดจำเพาะ	35	กก./ตร.ซม.
อุณหภูมิ	120	องศาเซลเซียส
ระยะเวลา	5	นาที

เสร็จแล้วนำแผ่นชิ้นไผ่อัดที่ได้ออกมาวางผึ่งกระแสอากาศและนำไปเข้าห้องปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 เป็นเวลาประมาณ 7 วัน จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นเพื่อทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 (TIS, 2004)

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ โดยเปรียบเทียบกาว 2 ชนิด คือ กาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (UF) ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ตามลำดับ เป็นตัวประสาน ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล ของแผ่นชิ้นไผ่อัด ได้สรุปไว้ที่ Table 1 โดยนำไปวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Kuentham, 1996)

Table 1 Comparison of bamboo particleboard made with urea formaldehyde adhesive (UF) and Polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI), general particleboard products and tested with the TIS 876-2004 standard.

Volume	N (parel)	Density inrange (kg/sqm)	Moisture Content (%)	Thickness Swelling (%)	Modulus of Rupture (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	Internal Bonding (MPa)
TIS 876-2004		400-900	4 - 13	≤12	≥14	≥1800	≥0.4
General particleboard products	5	686.68 ^{d} (8.43)	8.76 ^{a} (0.45)	8.92 ^{c} (0.38)	12.41^{c} (0.27)	2109.92 ^{c} (49.303)	0.61 ^{a} (0.03)
pMDI 3%	5	657.28 ^{a} (9.39)	9.63 ^{bc} (0.13)	5.41 ^{b} (0.16)	9.12 ^{a} (0.89)	1871.93 ^{b} (125.54)	0.70 ^{ab} (0.93)
pMDI 5%	5	671.35 ^{bc} (3.60)	9.73 ^{c} (0.46)	4.49 ^{ab} (0.19)	12.67 ^{c} (1.24)	2345.36 ^{e} (259.60)	0.90 ^{c} (0.30)
pMDI 7%	5	659.53 ^{ab} (7.78)	9.62 ^{bc} (0.11)	3.55 ^{a} (0.05)	15.98 ^{d} (0.95)	2661.97 ^{f} (138.70)	1.12 ^{d} (0.12)
UF 8%	5	677.15 ^{acd} (10.83)	9.43 ^{bc} (0.27)	11.24 ^{d} (0.69)	11.18 ^{b} (0.41)	1550.10 ^{a} (93.86)	0.79 ^{b} (0.02)
UF 10%	5	685.17 ^{acd} (9.49)	9.37 ^{b} (0.32)	5.19 ^{b} (0.53)	12.09 ^{bc} (0.39)	1739.31 ^{b} (68.07)	0.80 ^{bc} (0.04)
UF 12%	5	713.44^{e} (17.51)	9.39 ^{bc} (0.13)	4.07 ^{a} (1.85)	15.87 ^{d} (0.94)	2159.62 ^{c} (37.71)	1.04 ^{d} (0.12)
P-value		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Remarks: The same letter in a column indicates that there is no statistical difference ($p<0.05$) between samples according Duncan's multiple range test; values in parentheses are standard deviations.

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1. ความหนาแน่น

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่น พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่ที่ได้จากการทำไม้ตะเกียบ ที่ผ่านการอัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 ให้ค่าอยู่ในช่วง 657.28-671.35 กก./ลบ.ม.กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ให้ค่าอยู่ในช่วง 677.15-713.44 กก./ลบ.ม. และแผ่นชิ้นไม้อัดจากท้องตลาด มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 686.68 กก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) โดยความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 400-900 กิโลกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Table 1 and Figure 1)

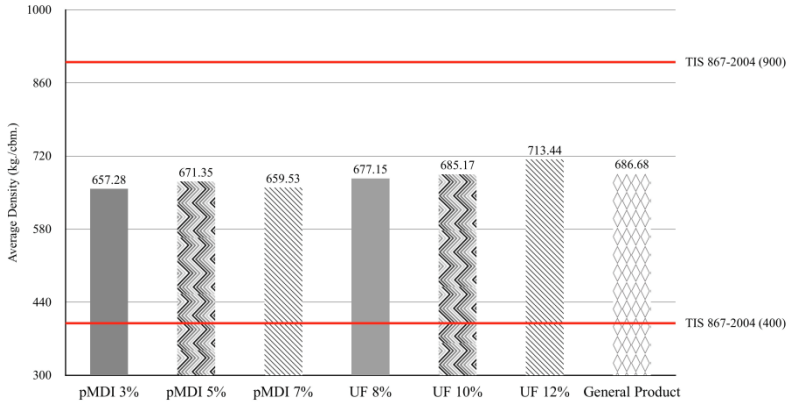


Figure 1 Density test chart of particleboard made from bamboo chopstick scraps.

2. ความชื้น

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่ที่ได้จากการทำไม้ตะเกียบ ที่ผ่านการอัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 9.62-9.73 กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 มีค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 9.37-9.43 และแผ่นชิ้นไม้อัดจากจากท้องตลาด มีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 8.76 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) โดยความชื้นเฉลี่ยที่กำหนดต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 4-13 (Table 1 and Figure 2)

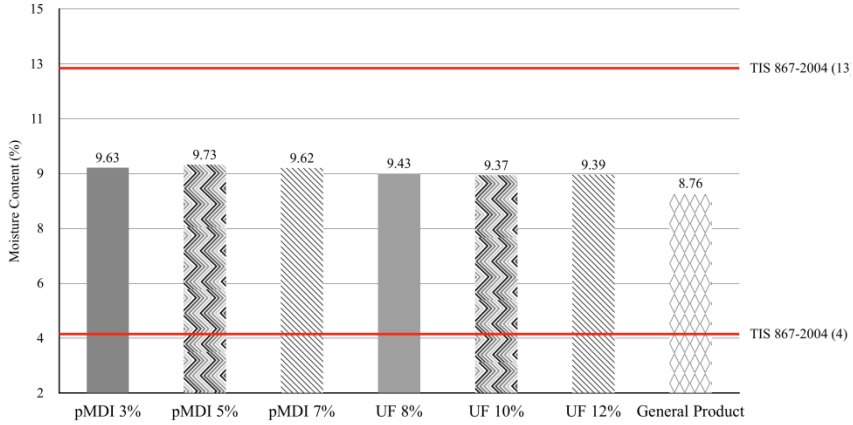


Figure 2 Test chart of moisture content of particleboard manufactured from bamboo chopstick scraps.

3. การพองตัวตามความหนา

จากการทดสอบหาค่าการพองตัวตามความหนา พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่ที่ได้จากการทำไม้ตะเกียบที่ผ่านการอัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 ให้ค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 3.55-5.41 กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ให้ค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 4.07-11.24 และแผ่นชิ้นไม้อัดจากจากท้องตลาด มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 8.92 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) โดยการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยที่กำหนดไม่เกินร้อยละ12 (Table 1 and Figure 3)

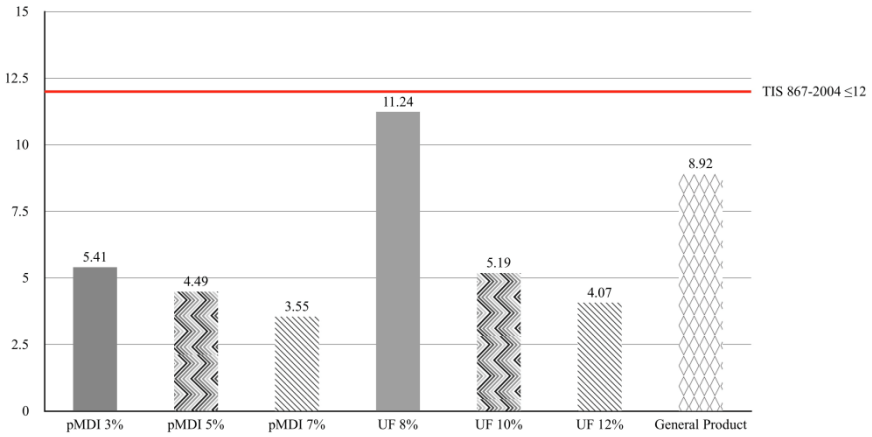


Figure 3 Test chart of thickness swelling of particleboard manufactured from bamboo chopstick scraps.

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ ค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษเหลือทิ้งของไผ่จากโรงงานทำไม้ตะเกียบ ผลปรากฏว่า ค่าการพองตัวตามความหนามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามกรรมวิธี Duncan's New Multiple Range Test ดังแสดงใน Table 1 ปรากฏว่า แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 7 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยน้อยที่สุด ที่ร้อยละ 3.55 รองลงมาคือ แผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 12 และแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตที่ร้อยละ 5 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยร้อยละ 4.07 และ 4.49 ตามลำดับ ซึ่งค่าการพองตัวตามความหนาทั้ง 3 นี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 10 และแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 3 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ย ที่ร้อยละ 5.19 และ 5.41ตามลำดับ ซึ่งค่าการพองตัวตามความหนามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 5 แต่จะมีค่าการพองตัวตามความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 7 และแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 12 สำหรับแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 8 มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยมากที่สุดที่ร้อยละ 11.24 ค่าการพองตัวตามความหนานี้จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yenjai (2015) ได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว โดยใช้กาวไอโซไซยาเนตชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ของน้ำหนักชิ้นไม้อบแห้ง พบว่า ค่าการพองตัวตามความหนาลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกาวที่ใช้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกาวมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของชิ้นไม้ และช่วยลดการพองตัวของไม้ได้ดีขึ้น

การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. ความต้านแรงดัด

จากการทดสอบหาค่าความต้านแรงดัด พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ ที่ผ่านการอัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ในปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 ให้ค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.12-15.98 MPa กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ให้ค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.18-15.87 MPa และแผ่นชิ้นไม้อัดจากจากท้องตลาด มีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ย 12.41 ซึ่งมีเพียงแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตในปริมาณร้อยละ 7 กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในผ่านปริมาณร้อยละ 12 เท่านั้นที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) โดยความต้านแรงดัดกำหนดไม่น้อยกว่า 14 MPa (Table 1 and Figure 4)

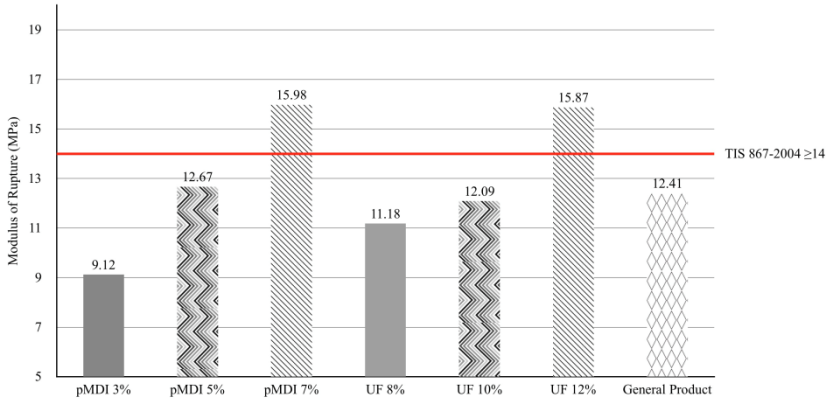


Figure 4 Test chart of modulus of rupture of particleboard manufactured from bamboo chopstick scraps.

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ ค่าความต้านแรงดัดของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษเหลือทิ้งของไผ่จากโรงงานทำไม้ตะเกียบ ผลปรากฏว่า ค่าความต้านแรงดัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามกรรมวิธี Duncan's New Multiple Range Test ดังแสดงใน Table 1 ปรากฏว่า แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 7 มีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยมากที่สุด 15.98 MPa รองลงมาคือ แผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 12 มีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ย 15.87 MPa ซึ่งค่าความต้านแรงดัดทั้ง 2 ค่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นที่อัดกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 5 และแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 10 มีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ย 12.67 และ 12.09 MPa ตามลำดับ ก็มีค่าความต้านแรงดัดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีค่าความต้านแรงดัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 8 ซึ่งมีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ย 11.18 MPa และแผ่นที่อัดกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 3 มีค่าความต้านแรงดัดเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 9.12 MPa มีค่าความต้านแรงดัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวที่กล่าวมาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashori and Nourbakhsh (2008) ได้ทำการทดลองผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) mesquite (*Prosopis juliflora*) saltcedar (*Tamarix stricta*) และ date palm (*Phoenix dactylifera*) โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 9, 10 และ 11 ของน้ำหนักชิ้นไม้อบแห้ง พบว่า ค่าความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่ใช้ ส่งผลให้คุณสมบัติความต้านแรงดัดสูงขึ้นตามไปด้วย

2. ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

จากการทดสอบหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ

โดยแผ่นที่ผ่านการอัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ในปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 ให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,871.93 – 2,661.97 MPa กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในปริมาณร้อยละ 12 ให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น เฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,550.10 – 2,159.62 MPa และแผ่นชิ้นไม้อัดจากท้องตลาด ให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2,109.92 MPa มีเพียงแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในปริมาณร้อยละ 8 และ 10 ของน้ำหนักชิ้นไม้อบแห้ง ให้ค่าไม่ผ่านมาตรฐาน โดยค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยกำหนดไม่น้อยกว่า 1,800 MPa (Table 1 and Figure 5)

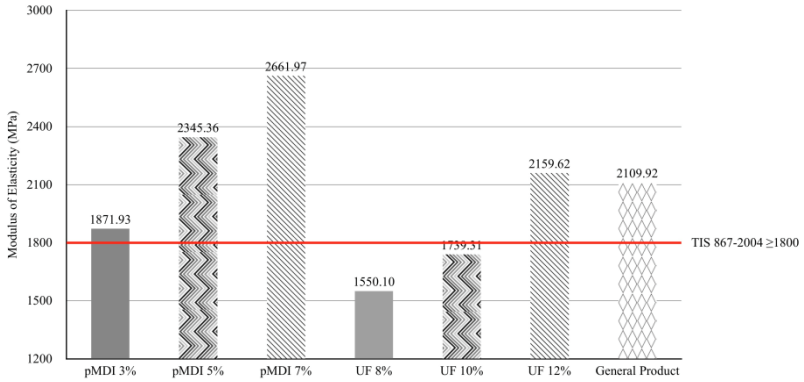


Figure 5 Test chart of modulus of elasticity of particleboard manufactured from bamboo chopstick scraps.

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษเหลือทิ้งของไผ่จากโรงงานทำไม้ตะเกียบ ผลปรากฏว่า ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามกรรมวิธี Duncan's New Multiple Range Test ดังแสดงใน Table 1 ปรากฏว่า แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 7 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยมากที่สุดคือ 2,661.97 MPa รองลงมาคือ แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 5 และแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 12 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 2,345.36 และ 2,159.62 MPa ตามลำดับ ซึ่งค่ามอดุลัสยืดหยุ่นทั้ง 3 ค่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 3 และแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 10 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 1,871.93 และ 1,739.31 MPa ตามลำดับ มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 8 มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 1,550.10 MPa ซึ่งมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวที่กล่าวมาทั้งหมด

3. ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

จากการทดสอบหาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่า แผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบ โดยแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตในปริมาณร้อยละ 3, 5 และ 7 ให้ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.70-1.12 MPa กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในปริมาณร้อยละ 8, 10 และ 12 ให้ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.79-1.04 MPa และแผ่นชิ้นไม้อัดจากจากท้องตลาด มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยที่ 0.61 MPa ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 (TIS, 2004) โดยค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยกำหนดไม่น้อยกว่า 0.40 MPa (Table 1 and Figure 6)

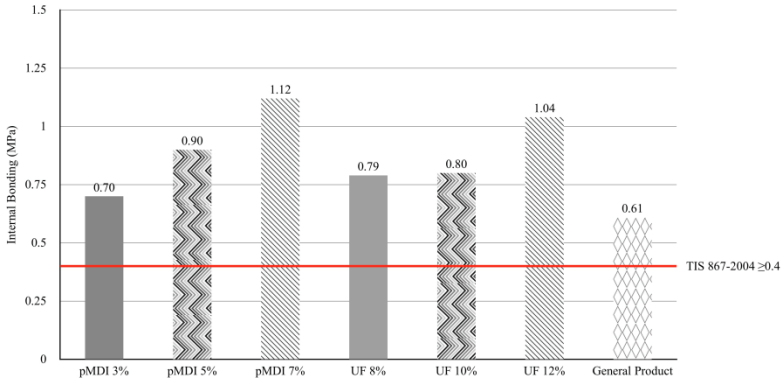


Figure 6 Test chart of internal bonding of particleboard manufactured from bamboo chopstick scraps.

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติ ค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษเหลือทิ้งของไผ่จากโรงงานทำไม้ตะเกียบ ผลปรากฏว่าค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามกรรมวิธี Duncan's New Multiple Range Test ดังแสดงใน Table 1 ปรากฏว่า แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 7 มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 1.12 MPa รองลงมาคือ แผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์-มัลดีไฮด์ร้อยละ 12 มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 1.04 MPa ซึ่งค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าทั้ง 2 ค่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 5 และแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 10 ที่มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.90 และ 0.08 MPa ก็มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 5 จะมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแผ่นที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ร้อยละ 8 และแผ่นที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนตร้อยละ 3 ที่มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเฉลี่ย 0.79 และ 0.70 MPa ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thongkanluang (2004) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและเชิงความร้อนของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากทะลายปาล์มน้ำมัน โดยใช้กาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 5 และ 7 ของน้ำหนักชิ้นไม้อบแห้ง พบว่า ค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่ใช้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการยึดติดของชิ้นไม้มากขึ้น ทำให้เกิดแรงต้านภายในสูงขึ้น

สรุป

จากการศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไผ่อัดจากเศษไผ่จากการทำไม้ตะเกียบเปรียบเทียบกับแผ่นชิ้นไม้อัดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ในครั้งนี้ พบว่าแผ่นชิ้นไผ่อัดที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 876-2547 ที่กำหนดทุกค่า คือ แผ่นชิ้นไผ่อัดที่อัดด้วยกาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ในปริมาณร้อยละ 7 และแผ่นชิ้นไผ่อัดที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 12 จะเห็นได้ว่ากาวไอโซไซยาเนตชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 7 ให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลโดยรวมได้ที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้น และค่าการพองตัวตามความหนา ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 659.53 กก./ลบ.ม., ร้อยละ 9.62 และ ร้อยละ 3.55 ตามลำดับ ส่วนค่าคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น และค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.98, 2661.97 และ 1.12 MPa ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ การพิจารณาจะเลือก

ใช้กาวชนิดใดนั้น ควรขึ้นอยู่กับผู้นำไปใช้งาน หากไม่ต้องการให้เกิดปัญหาเรื่อง การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ก็สามารถใช้กาวไอโซไซยาเนต ชนิด pMDI ปริมาณร้อยละ 7 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้ง แต่หากต้องการลดต้นทุนการผลิตก็สามารถใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ปริมาณร้อยละ 12 ของน้ำหนักชิ้นไผ่แห้งแทนได้ เนื่องจากราคาต่ำกว่า

คำนิยม

ขอขอบคุณนายวัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์ นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ และนางสาวปิยะวดี บัวจงกล นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ ฝ่ายอุตสาหกรรมแผ่นไม้ประกอบ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ

REFERENCES

Ashori, A. and A. Nourbakhsh. 2008. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial Crops and Products** 28: 225-230.

Bauchongkol, P., V. Fueangvivat, S. Chaichoom, C. Pangwong and P. Hangan. 2012. Potential of wood from thinning of teak-plantation on particleboard manufacture, pp.87-89. *In* **2012 Annual Research Report**. Royal Forest Department, Bangkok.

Howpinjai, I. 2009. **Particleboard from Agarwood (Aquilaria spp.) Residues.** M.S. Thesis, Kasetsart University.

Kuentham, A. 1996. **Experimental Design**. Department of Statistics, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok.

Thai Industrial Standards Institute (TIS). 2004. **Flat pressed (FP) Paticleboards**. Thai Industrial Standards TIS 876-2004.

Thongkanluang, T. 2004. **Study of Physical Property and Thermal Property of Particle Boards Made Form, Clusters of Oil Palm**. M.S. Thesis, Surat Thani Rejabhat University.

Yenjai, P. 2015. **Particleboard Manufacturing from Waste of Cajuput (*Melaleuca cajuputi* Powell)**. M.S. Thesis, Kasetsart University.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนวารสารวนศาสตร์

(http://frc.forest.ku.ac.th)

วารสารวนศาสตร์ เป็นวารสารทางวิชาการป่าไม้ จัดทำโดยศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำหนดพิมพ์เผยแพร่ทุก 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ) วัตถุประสงค์เพื่อพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยทางป่าไม้สาขาต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยวารสารนี้มีการเผยแพร่ไปยังห้องสมุดของสถาบันและหน่วยงานต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ

การส่งต้นฉบับ ต้นฉบับต้องไม่เคยลงตีพิมพ์และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ผลงานจัดอยู่ในงานเขียนประเภทหนึ่ง ดังต่อไปนี้ **(1) นิพนธ์ต้นฉบับ (original article)** เป็นการเสนอผลงานวิจัยแบบสมบูรณ์ที่ผู้เขียนได้ดำเนินการวิจัยด้วยตนเอง **(2) short communications** เป็นงานวิจัยที่น่าสนใจหรือการค้นพบสิ่งใหม่แต่มีเนื้อหาสมบูรณ์น้อยกว่า และ **(3) บทความ (review article)** เป็นบทความทางวิชาการที่นำเสนอสาระซึ่งผ่านการวิเคราะห์หรือประมวลจากการตรวจเอกสาร ทั้งนี้เรื่องที่เป็นนิพนธ์ต้นฉบับ และ short communications จะได้รับพิจารณาให้ลงตีพิมพ์ก่อนเรื่องที่เป็นบทความ

การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับ

ต้นฉบับเขียนเป็นภาษาไทย ควรมีการตรวจทานการใช้ภาษาและคำสะกดต่างๆ อย่างถี่ถ้วนก่อนนำเสนอ ความยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4 (ไม่รวมหน้าแรก)

การพิมพ์

1. การพิมพ์ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 14 สำหรับภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ
2. หัวข้อหลัก เช่น คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ฯลฯ ใช้อักษรตัวหนาและจัดกึ่งกลางหน้า ถ้าเรื่องที่เขียนเป็นภาษาอังกฤษ หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ เช่น **ABSTRACT INTRODUCTION** เป็นต้น
3. หัวข้อย่อย ใช้อักษรตัวหนาและจัดชิดซ้าย
4. ใส่หมายเลขหน้าข้างขวาบน
5. ใส่หมายเลขบรรทัด (เริ่มแต่ละหน้าใหม่)

รายละเอียดของเนื้อหา

หน้าแรก (Title page) *เป็นหน้าที่แยกออกจากเนื้อหาอื่นๆ* ประกอบด้วย

1. **ชื่อเรื่อง** เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ให้ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2. **ชื่อผู้เขียน** เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ใช้ชื่อเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องระบุเพศ ยศ ตำแหน่ง
3. **สถานที่ทำงานของผู้เขียน** ให้ระบุสถานที่ทำงานและที่อยู่ของผู้เขียนทุกท่านทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พร้อมระบุที่อยู่ที่ติดต่อได้ของผู้เขียนหลัก (corresponding author) และ e-mail address

เนื้อหา ประกอบด้วยหัวข้อหลัก ดังนี้

1. **บทคัดย่อ** สรุปสาระสำคัญของผลงานไว้โดยครบถ้วน และมีความยาวไม่เกิน 300 คำ เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาอังกฤษ (**ABSTRACT**) ด้วย (ภาษาอังกฤษก่อนและตามด้วยภาษาไทย) ให้ระบุ Keywords จำนวนไม่เกิน 5 คำไว้ในตอนท้ายบทคัดย่อภาษาอังกฤษด้วย
2. **คำนำ** อธิบายความสำคัญของปัญหา การตรวจเอกสาร (literature review) เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ในกรณีงานวิจัยทางสังคมศาสตร์อาจเพิ่มเติมขอบเขตการวิจัย กรอบแนวคิดการวิจัย และสมมติฐานการวิจัย (ถ้ามี)
3. **อุปกรณ์และวิธีการ** เขียนให้รัดกุม ไม่พรรณนาวิธีการวิเคราะห์ ใช้วิธีการอ้างอิงชื่อหรือองค์กร เช่น ใช้ตามวิธีของ AOAC (1990)
4. **ผลและวิจารณ์** ผลการทดลองและวิจารณ์ผลเขียนรวมกัน
5. **สรุป** ให้ยกใจความสำคัญที่ได้จากการวิจัยรวมถึงการวิจารณ์ผลที่ได้จากการวิจัย
6. **คำนิยม** (ถ้ามี) ไม่ควรเกิน 50 คำ
7. **เอกสารและสิ่งอ้างอิง** หลักเกณฑ์และรูปแบบการเขียนเอกสารและสิ่งอ้างอิง เขียนเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ยึดตามคู่มือวิทยานิพนธ์ สายวิทยาศาสตร์ ปีล่าสุดของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สามารถดาวน์โหลดที่ www.grad.ku.ac.th/thesis/template_ss.php ก่อนส่งต้นฉบับควรตรวจทานการอ้างอิงในเนื้อหาและในท้ายบทให้ตรงกัน และถูกต้องตามหลักเกณฑ์ที่ระบุไว้ในคู่มือดังกล่าว
   7.1 การอ้างอิง (citation) ในเนื้อหาใช้ระบบ name-and-year system
   7.2 การเรียงลำดับเอกสารเรียงอ้างอิงตามลำดับตัวอักษรชื่อผู้เขียน เอกสารทั้งหมดที่ถูกอ้างอิงในเนื้อหาต้องปรากฏในรายการเอกสารและสิ่งอ้างอิง
   7.3 การเขียนเอกสารและสิ่งอ้างอิงที่เป็นภาษาต่างประเทศ ชื่อผู้เขียนให้เขียนนามสกุลก่อนและตามด้วยชื่ออื่นๆ ซึ่งย่อเฉพาะอักษรตัวแรก
   7.4 ตัวอย่างการเขียนเอกสารและสิ่งอ้างอิง

หนังสือ และตำรา

Kramer, P. J. and T. T. Kozlowski. 1979. **Physiology of Woody Plants**. Academic Press, Inc., New York.

วารสาร

Kongsom, C. and I. A. Munn. 2003. Optimum rotation of *Eucalyptus camaldulensis* plantations in Thailand based on financial return and risk. **Thai Journal of Forestry** 22 (1): 29-35.

รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ

Nikles, D. G. 1993. Breeding methods for production of interspecific hybrids in clonal selection and mass propagation programmes in the tropics and subtropics, pp. 218-252. *In* J. Davidson, ed. **Regional Symposium on Recent Advances in Mass Clonal Multiplication of Forest Trees for Plantation Programmes.** December 1-8, 1992. FAO/UN, Bogor.

ข้อมูลสารสนเทศจากแหล่งข้อมูลอิเลคทรอนิกส์

Sillery, B. 1998. Urban rain forest: An African jungle come to life on New York's west side. **Popular Sci.** Available source: http://www.epnet.com/hosttrial/ligin.htm, March 27, 1998.

8. **ภาพ (Figure) และตาราง (Table) ต้องมีเนื้อหาและคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ** ไม่ควรมีมากนัก ให้แสดงเฉพาะข้อมูลที่สำคัญและจำเป็น โดยแทรกภาพ และตารางในเนื้อหา

การแจ้งจำนงผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

ผู้เขียนต้องแจ้งจำนงถึงความต้องการให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาบทความจำนวน 3 ท่าน ที่ไม่ได้อยู่ในสังกัดเดียวกันกับผู้เขียน โดยลงรายละเอียดในแบบเสนอต้นฉบับ

ข้อแนะนำในการใช้ภาษา

1. ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานและประกาศของราชบัณฑิตยสถาน
2. การใช้ศัพท์บัญญัติทางวิชาการ ควรใช้ควบคู่กับศัพท์ภาษาอังกฤษ ในครั้งแรกที่ปรากฏในเอกสาร
3. การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้นๆ ไว้ในวงเล็บ ในครั้งแรกที่ปรากฏในเอกสาร
4. ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศในกรณีที่มีภาษาไทยอยู่แล้ว
5. รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำศัพท์และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

กระบวนการพิจารณาบทความ

การพิจารณากลั่นกรองบทความ (peer review) ทุกบทความจะได้รับการกลั่นกรองเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ เพื่อพิจารณาถึงความสำคัญของบทความ ความเหมาะสมต่อวารสารวนศาสตร์ รวมถึงคุณภาพเนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์และข้อมูลที่นำเสนอ บทความที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะถูกปฏิเสธ (reject) โดยไม่จำเป็นต้องส่งพิจารณาตรวจทาน ส่วนบทความที่ผ่านเกณฑ์เบื้องต้นจะถูกส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (referee) ในแต่ละสาขาทำการพิจารณากลั่นกรอง (peer review) โดยชื่อของผู้ประพันธ์และผู้ทรงคุณวุฒิจะถูกปิดเป็นความลับ ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิจะได้รับการทบทวนจากกองบรรณาธิการ และส่งต่อไปยังผู้ประพันธ์เพื่อดำเนินการเปลี่ยนแปลงบทความตามคำแนะนำดังกล่าวและส่งผลงานที่ปรับแก้ไขแล้วมายังกองบรรณาธิการเพื่อตัดสินใจขั้นสุดท้ายสำหรับการยอมรับ (accept) หรือ (reject) บทความ ปกติการพิจารณาทบทวนบทความใช้เวลาประมาณ 3 เดือน นับจากวันที่ส่งบทความ หากเกินกว่ากำหนดนี้ผู้ประพันธ์สามารถสอบถามมายังกองบรรณาธิการเพื่อทราบความเหตุผลได้

บทความที่ถูกปฏิเสธ (rejected manuscripts) ทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเอกสารทั้งหมดรวมถึงข้อคิดเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิให้กับผู้ประพันธ์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและส่งผลงานไปตีพิมพ์ยังวารสารอื่นๆ ที่มีความเหมาะสม

บทความที่ได้รับการยอมรับ (accept manuscripts) ทางกองบรรณาธิการจะส่งร่างบทความสำหรับตีพิมพ์ให้กับผู้ประพันธ์เพื่อพิสูจน์ความถูกต้อง (corrected proof) จากนั้นผู้ประพันธ์จะได้รับแจ้งกำหนดเวลาการตีพิมพ์บทความนั้น

การส่งต้นฉบับ

ผู้เสนอจัดส่งต้นฉบับ (manuscript) 1 ชุด และแบบเสนอต้นฉบับ (submission form) 1 ชุด พร้อมส่งไฟล์ต้นฉบับ โดย สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ที่ www.frc.forest.ku.ac.th ส่งมาที่ กองบรรณาธิการวารสารวนศาสตร์ ศูนย์วิจัยป่าไม้ ชั้น 5 อาคารวนศาสตร์ 72 ปี คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 หรือที่ ตู้ ปณ. 1018 ปณฝ. เกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10903 หรือ ทาง อีเมล: cho_gick@hotmail.com

หมายเหตุ 1. เอกสารที่มีการเตรียมต้นฉบับไม่ถูกต้องตามข้อแนะนำจะไม่ได้รับการพิจารณา

2. ทางวารสารฯ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่คืนเอกสารข้างต้นให้ผู้เขียนไม่ว่ากรณีใดๆ



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต้นฉบับ
วารสารวนศาสตร์ คณะวนศาสตร์ ปีที่ 38 (ฉบับที่ 1-2) ประจำปี 2562

ก. ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

	ชื่อ	หน่วยงาน	สังกัด
1.	รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ	สาขาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
2.	รศ.ดร.สันต์ เกตุปราณีต		สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์
3.	รศ.ประคอง อินทรจันทร์		สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์
4.	คุณกิตติศักดิ์ พูลยรัตน์		บริษัท พาเนล พลัส จำกัด
5.	คุณยุภาพร สุทธิ์ศิลป์		โรงงานปาติเคิลบอร์ด
6.	ดร.รัฐกร สืบคำ	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	กรมวิชาการเกษตร
7.	ดร.อรรณพ พุทธโส	กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน
8.	ผศ.ดร.พฤกษา หล้าวงษา	คณะเกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9.	ดร.ปณิดา กาจีนะ	คณะเกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
10.	คุณสุธีระ เหิมฮึก	คณะผลิตกรรมการเกษตร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
11.	ดร.จักรพันธ์ นาน่วม	คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขต สระแก้ว
12.	ผศ.ดร.นิสา พักตร์วิไล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัย ราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
13.	ผศ.ดร.ปิยวรรณ สุทธิประพันธ์	คณะเกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
14.	ผศ.ดร.แหลมไทย อายานอก	คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
15.	ดร.โกมล แพรกทอง		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
16.	ดร.สุรศักดิ์ ชูทอง	คณะเกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
17.	ผศ.ดร.พิมพ์ลภัส พงศกรรังศิลป์	สำนักวิชาการจัดการ	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
18.	รศ.ดร.ชัยวัฒน์ คงสม	สาขาวิชาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
19.	คุณจิตติวัฒน์ สิละพัฒน์	สหกรณ์สวนป่าภาคเอกชนจำกัด	กรมป่าไม้
20.	ดร.ต่อลาภ คำโย	สาขาวิชา เกษตรป่าไม้	มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
21.	รศ.ดร.สุรีย์ ภูมิภมร		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
22.	คุณปิยะวดี บัวจงกล	กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมป่าไม้	สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้
23.	คุณวัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์	กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมป่าไม้	สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้
24.	ดร.รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
25.	ดร.วรงค์ สุขเสวต	สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
26.	ศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
27.	ศ.ดร.อภิชาต ภัทรธรรม		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
28.	ผศ.ดร.นัยนา เทศนา	กลุ่มงานพฤกษศาสตร์ป่าไม้	กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
29.	ดร.วิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

30.	ผศ.การ คันธโชติ		ส่วนวิจัยงานไม้สาคร
31.	รศ.ดร.ธีระ วีณิน		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
32.	ดร.โชติกา เมืองสง	สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสังคมและสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตอำนาจเจริญ
33.	ดร.ปรมิตา พันธ์วงศ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
34.	รศ.ดร.สุวิทย์ อ๋องสมหวัง	สาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล สำนักวิชาวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
35.	ดร.มนตรี แสนวังสี	วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยพะเยา
36.	ผศ.ดร.ธนากร ลัทธิถีระสุวรรณ		มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
37.	รศ.ดร.สุนทร คำยอง	คณะเกษตรศาสตร์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
38.	คุณพงศ์ธีระ บัวเพ็ชร	คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
39.	รศ.ดร.ธีระ วีณิน		สมาคมศิษย์เก่าคณะวนศาสตร์
40.	ผศ.ดร.นภาพร เลียดประถม	คณะเทคโนโลยีทางทะเล	มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
41.	ผศ.ดร.สมฤดี จิตประไพ	คณะวิทยาศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
42.	ผศ.ดร.คมสัน คีรีวงศ์วัฒนา	คณะอักษรศาสตร์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
43.	ผศ.ดร.จิระเดช มาจันแดง	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
44.	รศ.ดร.นาฏสุดา ภูมิจำนงค์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
45.	ดร.วียะวัฒน์ ใจตรง	กองวิชาการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา	องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ เทคโนธานี
46.	ดร.สาลินี ขจรพิสิฐศักดิ์	คณะวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยบูรพา
47.	ดร.สุภกิจ วินิจพรสวรรค์	กลุ่มงานวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า	กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
48.	ผศ.ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
49.	ดร.อัจฉริยะ โชติขันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
50.	รศ.ดร.พรรณนิภา เชาวนะ	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
51.	ผศ.ดร.เชิดชัย โพธิ์ศรี	คณะวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยนครพนม

ข. ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

1.	รศ.ดร.เดชา วิวัฒน์วิทยา	คณะวนศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2.	ผศ.ดร.วัฒนชัย ตาเสน	คณะวนศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3	ผศ.ดร.สราวุธ สังข์แก้ว	คณะวนศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	ดร.ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง	คณะวนศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5.	คุณนรินธร จำวงษ์	คณะวนศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6.	ดร.เอกพันธ์ ไกรจักร	คณะวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใบสมัคร
สมาชิกวารสารวนศาสตร์

วารสารวนศาสตร์ เป็นเอกสารทางวิชาการของคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีกำหนดออกปีละ 2 ครั้ง ในเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคม ค่าสมัครเป็นสมาชิกปีละ 200 บาท (รวมค่าส่งภายใน ประเทศ)

✂.....

กรุณากรอกข้อความลงในแบบฟอร์มนี้

ชื่อ-สกุล .....

ที่อยู่ .....

.....

รหัสไปรษณีย์ .....

อัตราค่าสมาชิก "วารสารวนศาสตร์"

- ❍ อัตราค่าสมาชิกวารสารราย 2 ปี จำนวนเงิน 400 บาท (4 ฉบับ)
- ❍ อัตราค่าสมาชิกวารสารราย 3 ปี จำนวนเงิน 600 บาท (6 ฉบับ)
- ❍ อัตราค่าสมาชิกวารสารราย 5 ปี จำนวนเงิน 1,000 บาท (10 ฉบับ)

การส่งเงินค่าสมัครสมาชิก

1. **เงินสด** (กรณีสมัครด้วยตัวเอง)
2. **โอนเงินธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน)** สาขามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
   ชื่อบัญชี : ศูนย์วิจัยป่าไม้ (FRC) คณะวนศาสตร์ มก. บัญชีเงินฝากออมทรัพย์
   เลขที่บัญชี 069-2-50360-0
   (พร้อมแฟกซ์สำเนาใบโอนเงินพร้อมใบสมัครสมาชิกมาที่ งานวารสาร โทรสาร 02-579-1977 หรือ 02-942-8899)

สอบถามรายละเอียดการสมัครเพิ่มเติมได้ที่

ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0-2561-4761, 0-2942-8899

ลงชื่อ.....ผู้สมัคร

(.....)

...../...../.....