วารสารวนศาสตร์ไทย

ปีที่ ๔๐ ฉบับที่ ๒
กรกฎาคม - ธันวาคม ๒๕๖๔
Volume 40 Number 2
July - December 2021

ISSN 2730-2180

THAI JOURNAL OF FORESTRY

วารสารทางวิชาการของคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จัดพิมพ์โดยศูนย์วิจัยป่าไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

วารสารวนศาสตร์ไทย

เจ้าของ
คณะวนศาสตร์ *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
หัวหน้ากองบรรณาธิการ
ผศ.ดร.รุ่งเรือง พูลศิริ *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
กองบรรณาธิการ
ศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม
สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์
รศ.ดร.อุทิศ กุฏอินทร์
สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์
ศ.ดร.ดอกรัก มารอด
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สันต์ เกตุปราณีต
สมาคมศิษย์เก่าวนศาสตร์
รศ.ดร.เดชา วิวัฒน์วิทยา
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สันติ สุขสอาด
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ประทีป ด้วงแค
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.นิคม แหลมสัก
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สาพิศ ดิลกสัมพันธ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.กอบศักดิ์ วันธงไชย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.พสุธา สุนทรห้าว
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุนทร คำยอง
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.สุระ พัฒนเกียรติ
มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ผศ.ดร.เชิดศักดิ์ ทัพใหญ่
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์
มูลนิธิโครงการหลวง
ผศ.ดร.กัณฑรีย์ บุญประกอบ
มหาวิทยาลัยรามคำแหง
Prof.Dr.Olavi Luukkanen
University of Helsinki, Finland
Prof.Dr.Hiroshi Takeda
Kyoto University, Japan
Prof.Dr.Roger Kjelgren
Utah State University, USA
Dr.Andrew J. Warner
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้จัดการ
น.ส.ละอองดาว เถาว์พิมาย
ผู้ช่วยผู้จัดการ
นางวราภรณ์ ลำใย

สำนักงานกองบรรณาธิการ
ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ : 0-2942-8899 E-mail: frc@ku.th Web site: tci.thaijo.org/index.php/tjf

วารสารวนศาสตร์ เริ่มก่อตั้งในปี พ.ศ. 2525 ได้เปลี่ยนชื่อเป็น วารสารวนศาสตร์ไทย ในปี พ.ศ. 2563 ภายใต้การดำเนินงาน ของคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตีพิมพ์ผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้องทางด้านวนศาสตร์ เช่น นิเวศวิทยาป่าไม้ การจัดการป่าไม้ เศรษฐศาสตร์ป่าไม้ วนวัฒนวิทยา การจัดการลุ่มน้ำ การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ สัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาของพืชพรรณและสัตว์ป่า เป็นต้น ทั้งจากนักวิจัยทั้งในและนอกสถาบัน โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาเป็น ผู้พิจารณาผลงาน อย่างน้อย 2 ท่าน แบบผู้ทรงคุณวุฒิและผู้แต่งไม่ทราบชื่อกันและกัน และมีกำหนดพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ คือ เดือนมกราคม-มิถุนายน และเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม การส่งต้นฉบับ ติดต่อที่สำนักกองบรรณาธิการ หรือผ่าน E-mail: frc@ku.th

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกำหนดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ บริเวณเกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี 1
.....รัดเกล้า อู่เงิน, ปิยวัตน์ ดิลกสัมพันธ์ และ วีระภาส คุณรัตนสิริ

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการประเมินสุขภาพของป่าแสมบริเวณอ่าวไทยตอนบน 17
.....ปีรัชม์ ภูมิรัตน์, อฐิษฐ์ เส้งทั่น, พศิน มาประสพ, นฤดล ลิมปนสิทธิชัย และ ออ พรานไชย

คุณสมบัติถ่านไม้จากไม้พื้นที่สูงต่างถิ่น 5 สายพันธุ์ โดยกระบวนการเผาถ่านแบบสองขั้นตอนดัดแปลง 29
.....กฤติน สุทธิวารินทร์กุล, พงษ์ศักดิ์ เฮงนิรันดร์ และ ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ

การประยุกต์แบบจำลอง CLUE-S และแบบจำลอง SWAT ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน และปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก 39
.....พิมพ์นิภา ใบกุ, ปิยพงษ์ ทองดีนอก และ นฤมล แก้วจำปา

การกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักสำหรับประเทศไทย 56
.....ปัญญาพร สำเร็จเฟื่องฟู และ อดิศร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา

การเพิ่มความทนแล้งของกล้าไม้พะยอมและรังที่มีเห็ดเผาะหนังอยู่ร่วมที่รากแบบเอคโตไมคอร์ไรซา 69
.....ปาริชาด แสงงาม, ฉันท์ทิพา ศรีดาวงษ์, ซูลฟา หยีราเหม, อรญา บุราไกร, เจษฎา วงค์พรหม, นิสา เหล็กสูงเนิน และ ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง

ผลของวัสดุปลูกและอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) ต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) 83
.....ฐาปนา ฉาบไธสง และ ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง

เทคนิคการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ 95
.....ไกรวุฒิ ศิริอ่อน, ปิยวัตน์ ดิลกสัมพันธ์ และ วีระภาส คุณรัตนสิริ

การออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อการดำเนินการป่าไม้ของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา 111
.....พนัส ศรีนวลแก้ว, พยัตติพล ณรงคะชวนะ และ นพรัตน์ คัคคุริวาระ

โครงสร้างประชากรและกิจกรรมออกหากินของช้างป่า (*Elephas maximus*) ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จังหวัดกาญจนบุรี 128
.....ประวิทย์ อินทร์น้อย, ยงยุทธ ไตรสุรัตน์ และ รองลาภ สุขมาสรวง

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนและระบุตำแหน่งในการติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ 142
.....เกียรติศักดิ์ บุญเดช, นพรัตน์ คัคคุริวาระ และ ศุภกิตต์ สายสุนทร

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อความเหมาะสมของการกระจายต้นเสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi* Powell) ในประเทศไทย 155
.....จันทิมา อยู่ถาวร, ยงยุทธ ไตรสุรัตน์, วัฒนชัย ตาเสน และ อัชฎา ชิตโชติ

สารบัญ (ต่อ)

การใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบจุดในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณไม้ในสวนป่า : กรณีศึกษาสวนป่าไม้พะยูง จังหวัดตราด 172

.....ภาณุพงศ์ แก้วบรรจง, ปัสสี ประสมสินธ์, พิชิต ลำใย และ วัชรินทร์ สีนวล

แบบจำลองการเติบโต และผลผลิต ของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 อายุ 4 ปี ณ สวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว 187

.....บุลกิจ แสวงผล, พิชิต ลำใย, สมพร แม่ลิ่ม และ ชลเทพ บัวแก้ว

บทความวิจัยสั้น

การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของประเทศไทย 204

.....แสงสรรค์ ภูมิสถาน และ นันทชัย พงศ์พัฒนานุรักษ์

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกำหนดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ บริเวณเกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

Application of Geo-informatics Data to Determine Suitable Areas for the Establishment of National Reserved Forest at Koh Larn, Bang Lamung District, Chon Buri Province

รัดเกล้า อู่เงิน[1,2] **Radklao Au-ngern**[1,2]
ปิยวัตน์ ดิลกสัมพันธ์[1*] **Piyawat Diloksumpun**[1*]
วีระภาส คุณรัตนสิริ[1] **Weeraphart Khunrattanasiri**[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand
[2]สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Forest Land Management Office, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand
[*]Corresponding Author, E-mail: piyawat.d@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 10 พฤษภาคม 2564 **รับแก้ไข** 16 มิถุนายน 2564 **รับลงพิมพ์** 25 มิถุนายน 2564

ABSTRACT

The process of land use verification before declaring a National Reserved Forest has not been successful because of the frequent claiming of land rights. To solve this problem, we used aerial photographs to determine and interpret the past land use. Aerial interpretation included the use of overlapping techniques on 9 years of aerial photos, 1953, 1967, 1974, 1982, 1990, 1996, 2002, 2010, and 2013, to define the land suitability before establishment of the National Reserved Forest. Koh Larn, Chon Buri province was chosen as the study area as it still had a rich forest cover under the National Reserved Forest Act B.E.1941.

The total area analyzed in Koh Larn was 3,276.07 rai, with the evidence of land utilization tending to decrease from 1,265.27 rai in 1994 to 659.49 rai in 2013. After removing the area under legal possessory rights, the land suitable for the declaration of a National Reserved Forest was categorized into 3 classes: 1) Unconditionally announced area of 1,146.93 rai which did not have evidence of a continuous human activity; 2) Authentication required area of 994.68 rai which had evidence of past human activity, and 3) Unsuitable area of 66.25 rai which has experienced

continuous human activity over the period of analysis. The findings could help minimize the problems related to land rights claims after the declaration of such land use.

Keywords: Aerial photo**,** Land use, National reserved forest, Koh Larn

บทคัดย่อ

กระบวนการตรวจสอบการใช้ประโยชน์ที่ดินก่อนการประกาศเขตป่าสงวนแห่งชาติที่ผ่านมายังพบปัญหาการเรียกร้องสิทธิ์หลังการประกาศพื้นที่ป่าสงวนอยู่บ่อยครั้ง เพื่อลดปัญหาดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์ภาพถ่ายทางอากาศมาวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินย้อนกลับไปในอดีต โดยใช้เทคนิคการอ่านแปลภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบกับเทคนิคการซ้อนทับ ของภาพถ่าย 9 ชั้นปี ในปี พ.ศ. 2496, 2510, 2517, 2525, 2533, 2539, 2545, 2553 และ 2556 เพื่อจำแนกระดับความเหมาะสม สำหรับนำไปประกอบการตัดสินใจในขั้นตอนการประกาศป่าสงวนแห่งชาติ โดยใช้พื้นที่เกาะล้าน จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากยังเป็นพื้นที่ป่าที่สมบูรณ์ ตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484

พื้นที่เกาะล้านทั้งหมด 3,276.07 ไร่ พบพื้นที่ที่มีร่องรอยการใช้ประโยชน์มีแนวโน้มลดลง จาก 1,265.27 ไร่ ในปี พ.ศ. 2496 เหลือเพียง 659.49 ไร่ ในปี พ.ศ. 2556 หลังจากกันพื้นที่ที่มีการครอบครองตามกฎหมายออก พบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการประกาศเป็นพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ 1) พื้นที่ที่ประกาศได้โดยไม่มีเงื่อนไข ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีการทำประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง จำนวน 1,146.93 ไร่ 2) พื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนประกาศ เนื่องจากพบร่องรอยการใช้ประโยชน์ในอดีต คิดเป็นเนื้อที่ 994.68 ไร่ และ 3) พื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการทำประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง จำนวน 66.25 ไร่ โดยข้อมูลเหล่านี้น่าจะมีส่วนช่วยลดปัญหาการเรียกร้องสิทธิ์ได้ดียิ่งขึ้นหลังการประกาศ

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าสงวนแห่งชาติ เกาะล้าน

คำนำ

ปัญหาในเรื่องที่ดินป่าสงวนแห่งชาติทับซ้อนกับการถือครองที่ดินของราษฎรมีอยู่มาก การอ้างสิทธิในที่ดินป่าสงวนแห่งชาติหลังการประกาศยังต้องแก้ปัญหาด้วยการพิสูจน์สิทธิอยู่เรื่อยมา ทั้งนี้ในการกำหนดเขตป่าสงวนแห่งชาติ โดยการออกกฎกระทรวงนั้น มีการรังวัดหมายแนวเขตป่าร่วมกับการสำรวจสภาพป่าด้วยการเดินสำรวจภาคพื้นดินทำให้เห็นสภาพการใช้ประโยชน์พื้นที่ในขณะที่เดินสำรวจเท่านั้น และมีการปิดประกาศสำเนากฎกระทรวงและแผนที่แนบท้ายกฎกระทรวง ณ ที่ทำการอำเภอ กิ่งอำเภอ ท้องที่ ที่ทำการกำนัน และที่เปิดเผยและเห็นได้ง่ายในท้องที่หมู่บ้าน (Forest Land Management Office Royal Forest Department, 2010) และ Wongsrinil (2009) กล่าวว่า ในปี พ.ศ. 2497 มีการตราประมวลกฎหมายที่ดิน โดยให้ผู้ครอบครองและทำประโยชน์ในที่ดินที่อยู่ก่อนวันที่ประมวลกฎหมายที่ดินใช้บังคับแจ้งการครอบครองที่ดินต่อนายอำเภอท้องที่ภายใน 180 วัน และรัฐได้มีการตรากฎหมายเกี่ยวกับป่าสงวนแห่งชาติ อุทยานแห่งชาติ และเขตสงวนหวงห้ามอย่างต่อเนื่อง ซึ่ง ณ เวลานั้นการคมนาคมไม่สะดวก การสื่อสารยังไม่ทั่วถึง จึงเกิดประเด็นการเสียสิทธิของราษฎรขึ้น ซึ่งมีการพิสูจน์สิทธิเป็นกระบวนการที่ดี

ที่สุดที่จะให้ความเป็นธรรมกับรัฐและราษฎร จากการศึกษาเบื้องต้นในกระบวนการประกาศป่าสงวนแห่งชาตินั้น พบว่ายังขาดการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่อาจมีในอดีตมาประกอบ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาการซ้อนทับในที่ดินของรัฐกับราษฎรได้

การสำรวจระยะไกลด้วยภาพถ่ายทางอากาศของประเทศไทยในอดีตถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจลักษณะภูมิประเทศเพื่อปฏิบัติการทางทหารเป็นหลัก และต่อมากรมป่าไม้มีการจ้างหน่วยงานต่างประเทศและกรมแผนที่ทหารถ่ายทำภาพถ่ายทางอากาศเพื่อนำมาใช้การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ของประเทศไทยด้วยเช่นกัน (Diloksumpun, 1996) ปัจจุบันยังถูกนำมาใช้ในการสำรวจพื้นที่เพื่อประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของภาครัฐและภาคเอกชนเป็นหลัก ดังเช่น การตรวจสอบเอกสารสิทธิในที่ดินที่ออกไปโดยมิชอบรายกลุ่ม ปิยาภรณ์-สมชาย บ้านเจ็กแป๊ะ ตำบลเกาะช้างใต้ กิ่งอำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อให้ทราบถึงข้อเท็จจริงของการครอบครองและทำประโยชน์ต่อเนื่อง (Phojsompong, 2019) ทั้งนี้เนื่องจากภาพถ่ายทางอากาศมีความละเอียดที่สูง และมีโครงการบินถ่ายภาพต่อเนื่องมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในทางป่าไม้จึงนำภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ประโยชน์ในการตรวจพิสูจน์สิทธิการถือครองที่ดินของราษฎรในพื้นที่ป่าของรัฐ หลังจากที่มีการประกาศพื้นที่ป่าให้เป็นของรัฐไปแล้วอยู่บ่อยครั้ง

จากปัญหาข้างต้นหากนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศที่มีการบันทึกไว้ในหลายช่วงปีมาใช้สำรวจการประโยชน์ที่ดินเพื่อเป็นข้อมูลย้อนหลัง ประกอบการตัดสินใจก่อนที่จะดำเนินการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ น่าจะมีส่วนช่วยลดปัญหาการซ้อนทับที่ดินทำกินของราษฎร หรือการอ้างสิทธิของราษฎรในการใช้ประโยชน์ในที่ดินของรัฐ โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้พื้นที่เกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่ศึกษา เบื้องต้นพบว่า พื้นที่ป่าไม้ในเกาะล้าน จากปี พ.ศ. 2496 ถึง ปี พ.ศ. 2545 มีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการทำเกษตรกรรมลดลง และหลังจากปี พ.ศ. 2545 พื้นที่ป่าไม้เริ่มลดลงและชุมชนมีการขยายตัวมากขึ้น ด้วยเหตุนี้หากไม่มีการบริหารจัดการหรือควบคุมพื้นที่ดังกล่าว อาจจะทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดน้อยลงอีก ประกอบกับเกาะล้านเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สวยงาม และเป็นที่ต้องการของผู้คนในการยึดถือครอบครองพื้นที่อีกด้วย ซึ่งหากวิธีการศึกษาเชิงเทคนิคครั้งนี้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้ในประกอบการพิจารณาตัดสินใจได้เป็นอย่างดี ก็จะนำไปใช้เป็นแนวทางในกระบวนการประกาศเขตป่าในรูปแบบอื่นได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาดำเนินการในพื้นที่เกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เนื้อที่ 3,276.07 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขาเตี้ยล้อมรอบด้วยทะเล พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหิน ผิวดินตื้น บางส่วนเป็นทุ่งหญ้าเดิมตามธรรมชาติ มีสภาพป่าไม้ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ตามธรรมชาติ ชนิดพันธุ์ไม้เป็นพืชพรรณขนาดเล็ก พันธุ์ไม้สำคัญที่พบได้แก่ ขี้อ้าย ตีนนก คำมอกหลวง และเม่าไข่ปลา สัตว์ป่าที่พบได้ทั่วไป คือ กระรอกเผือก ซึ่งเป็นสัตว์ป่าที่หายาก (Forest Resource Management Office No.9 (Chon Buri) Royal Forest Department, 2014) สภาพป่าเป็นป่าดิบแล้ง และป่าฟื้นฟูตามธรรมชาติ (Forest Land Management Office Royal Forest Department, 2018) โดยเกาะล้านมีสถานะตามกกฎหมาย 3 ประเภทคือ พื้นที่ป่าตามพระราชบัญญัติป่า

ไม้ พุทธศักราช 2484 จำนวน 2,207.21 ไร่ พื้นที่ประกาศกระทรวงมหาดไทย ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง มอบหมายให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดชลบุรี จัดหาผลประโยชน์ในที่ดินของรัฐ ราชกิจจานุเษกษา เล่ม 84 ตอนที่ 71 ลงวันที่ 1 สิงหาคม 2510 จำนวน 320.08 ไร่ และพื้นที่มีโฉนดที่ดิน (Department of Lands, 2010) จำนวน 1,014.65 ไร่ (Figure 1)

วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินงานในการศึกษามี 4 ขั้นตอน ดังนี้ การเตรียมภาพถ่ายทางอากาศก่อนการอ่านแปล ตีความ กระบวนการอ่านแปลภาพถ่ายทางอากาศด้วยสายตา การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการซ้อนทับข้อมูล (overlay) โดยมีลำดับการดำเนินงานตาม Figure 2

การเตรียมภาพถ่ายทางอากาศก่อนการอ่านแปล ตีความ

1. กำหนดจุดยึดโยงภาพถ่ายทางอากาศ (ground control point; GCP) บนภาพถ่ายทางอากาศปีที่เก่าที่สุดที่มีโครงการบินถ่ายภาพในพื้นที่ศึกษาเป็นครั้งแรก ซึ่งตำแหน่งที่เลือกวางนั้นจะต้องเป็นวัตถุที่มีความมั่นคง ไม่เคลื่อนที่ได้ง่าย และตำแหน่งที่เลือกนั้นต้องปรากฏในภาพทุกชั้นปี เพื่อให้การกำหนดค่าพิกัดหลังจากได้ใช้เครื่องมือหาค่าพิกัดแล้วมีความแม่นยำสูง แล้วทำการหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งจุด GCP ที่วางไว้ โดยใช้เครื่องมือหาค่าพิกัดจากสัญญาณดาวเทียม (GNSS) ความละเอียดสูง Trimble R10 และใช้หมุดหลักฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นพิกัดอ้างอิง รวมถึงปรับแก้ความถูกต้องด้วยโปรแกรม Trimble Business Center เวอร์ชั่น 2.8

2. นำภาพถ่ายทางอากาศทุกชั้นปีเข้าเครื่องกราดภาพ (scanner) เพื่อเตรียมข้อมูลภาพที่ได้ในรูปแบบดิจิตอลไปใช้ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในขั้นตอนของการดัดแก้ออร์โธ

3. ดัดแก้ออร์โธภาพถ่ายโดยการนำเข้าค่าพิกัดจุด GCP ที่ได้ทำการรังวัดมาประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (ERDAS IMAGING 2014) เพื่อดัดแก้ความคลาดเคลื่อนทั้งทางราบและทางดิ่ง โดยใช้ข้อมูลจุด GCP กำกับความคลาดเคลื่อนทางราบ และใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) กำกับความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง

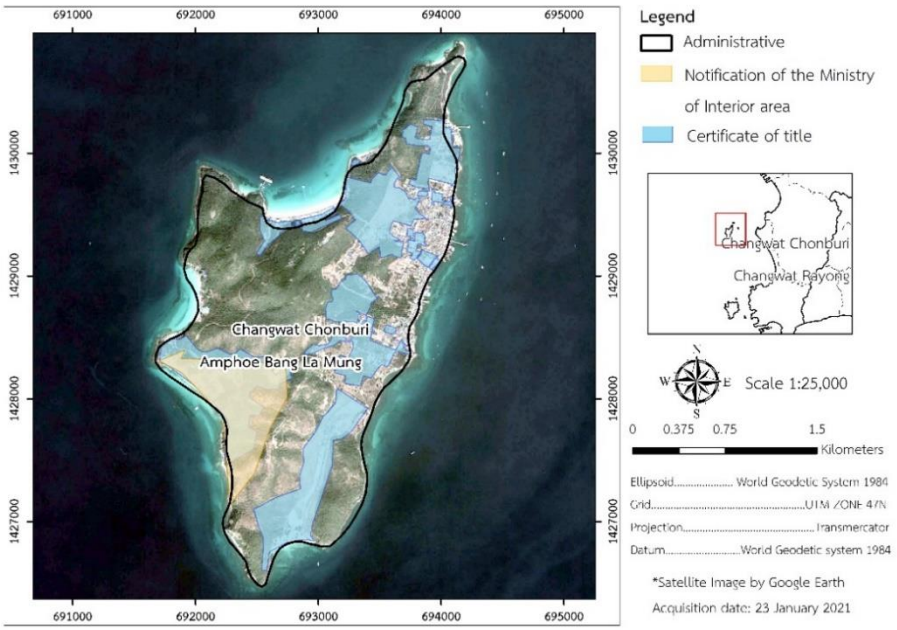


Figure 1 The study area in Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province.

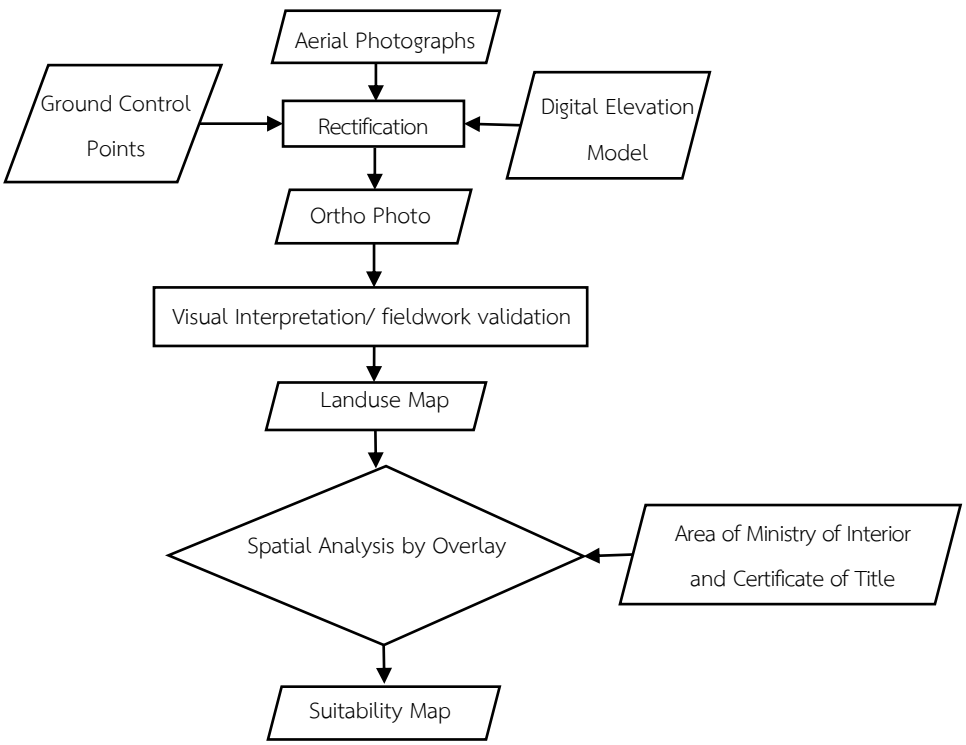


Figure 2 Research operations flowchart.

กระบวนการอ่าน แปลภาพถ่ายทางอากาศด้วยสายตา

อ่านแปลภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 9 ชั้นปี ตามที่มีการถ่ายทำครอบคลุมพื้นที่เกาะล้านไว้ ภายใต้โครงการ TOM-TOM (W.W.S.) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2496 โครงการ Vap-61 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2510 โครงการ RTSD บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2525 โครงการปรับปรุงแก้ไขแผนที่ (DMC) บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2553 และบันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน 2556 โดยกรมแผนที่ทหาร โครงการ NS3 บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 11 ธันวาคม 2517 โครงการ DOL บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2533 โดยกรมที่ดิน โครงการ PCD บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2539 โดยกรมควบคุมมลพิษ โครงการ MOAC บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2545 โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ใช้กล้องมองภาพ 3 มิติชนิดพกพาหรือชนิดกระจกเงา แปลภาพคู่ที่มีส่วนซ้อนทับกัน 60 เปอร์เซ็นต์ ขนาด 9 x 9 นิ้ว โดยแบ่งชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 3 ระดับ 5 ประเภท ตามหลักการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของคณะอนุกรรมการอ่านภาพถ่ายทางอากาศ (Office of the State Land Management, 2013) และทำการขีดเส้นผลการแปลลงบนภาพถ่ายทางอากาศที่ทำการดัดแก้ออร์โธด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Arc Map 10.6.1

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

นำแผนที่ต้นร่างการใช้ประโยชน์ที่ดินออกตรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบพื้นที่จริงกับผลการแปล รวมถึงสอบถามชุมชนในพื้นที่ถึงความเป็นมาของการใช้ประโยชน์ที่ดิน แล้วนำมาแก้ไขรายละเอียดของการแปลให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการซ้อนทับข้อมูล (overlay)

1. ดำเนินการกันพื้นที่ที่มีการครอบครองตามกฎหมายในพื้นที่ศึกษาออกจากผลการอ่าน แปลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยการซ้อนทับแบบ Erase ของ Environmental Systems Research Institute (2016) ด้วยโปรแกรม Arc Map 10.6.1 ของข้อมูลผลการอ่าน แปลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กับพื้นที่ประกาศกระทรวงมหาดไทย และพื้นที่มีโฉนดที่ดิน ซึ่งจะทำให้เหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษาที่มีสถานะเป็นป่า ตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484 เท่านั้น

2. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการซ้อนทับข้อมูลแบบ Union ของ Environmental Systems Research Institute (2016) ด้วยโปรแกรม Arc Map 10.6.1 ของผลการอ่าน แปลการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 9 ชั้นปีที่ถูกกันพื้นที่ประกาศกระทรวงมหาดไทย และพื้นที่มีโฉนดที่ดินออกแล้ว โดยแบ่งความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

2.1) พื้นที่ที่สามารถประกาศเป็นเขตป่าสงวนแห่งชาติได้โดยไม่มีเงื่อนไข หมายถึง พื้นที่ที่ไม่มีร่องรอยการใช้ประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปีแรกที่ทำการอ่าน แปลจนถึงปีล่าสุดที่มีการถ่ายทำภาพถ่ายทางอากาศไว้

2.2) พื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ หมายถึง พื้นที่ที่มีร่องรอยการใช้ประโยชน์ในอดีตแต่ไม่พบการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน รวมถึงพื้นที่ที่พบการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน แต่ไม่พบการใช้ประโยชน์ในอดีตที่ผ่านมา

2.3) พื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสมในการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ หมายถึง พื้นที่ที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปีแรก

ที่ทำการอ่านแปลจนถึงปีล่าสุดที่มีการถ่ายทำภาพถ่ายทางอากาศไว้

ผลและวิจารณ์

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเกาะล้าน อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ได้ผลการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินตามโครงการภาพถ่ายทางอากาศ 9 ชั้นปี แบ่งเป็นพื้นที่ที่มีร่องรอยและไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์ ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2496 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 1,213.92 ไร่ หรือร้อยละ 37.24 รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 32.62 ไร่ หรือร้อยละ 1.00 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 18.73 ไร่ หรือร้อยละ 0.57 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 1,890.05 ไร่ หรือร้อยละ 57.99 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 104.13 หรือร้อยละ 3.19 (Figure 3 and Table 2)

2. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2510 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 442.97 ไร่ หรือร้อยละ 13.57 รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 55.50 ไร่ หรือร้อยละ 1.70 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 36.06 ไร่ หรือร้อยละ 1.10 พื้นที่น้ำ (สร้างขึ้น) จำนวน 1.56 ไร่ หรือร้อยละ 0.05 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,546.27 ไร่ หรือร้อยละ 77.99 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 182.52 ไร่ หรือร้อยละ 5.59 (Figure 3 and Table 2)

3. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2517 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 527.37 ไร่ หรือร้อยละ 16.14 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 18.96 ไร่ หรือร้อยละ 0.58 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 8.36 ไร่ หรือร้อยละ 0.36 พื้นที่น้ำ (สร้างขึ้น) จำนวน 6.09 ไร่ หรือร้อยละ 0.19 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้จำนวน 2,247.35 ไร่ หรือร้อยละ 68.80 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 345.27 ไร่ หรือร้อยละ 10.57 (Figure 3 and Table 2)

4. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2525 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 409.65 ไร่ หรือร้อยละ 12.54 รองลงมาได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 211.76 ไร่ หรือร้อยละ 6.48 พื้นที่น้ำ จำนวน 4.23 ไร่ หรือร้อยละ 0.13 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 0.41 ไร่ หรือร้อยละ 0.01 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้จำนวน 2,359.45 ไร่ หรือร้อยละ 72.20 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 282.21 ไร่ หรือร้อยละ 8.64 (Figure 3 and Table 2)

5. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2533 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 278.68 ไร่ หรือร้อยละ 8.52 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่ 246.47 ไร่ หรือร้อยละ 7.54 พื้นที่น้ำ (สร้างขึ้น) จำนวน 7.15 ไร่ หรือร้อยละ 0.22 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,308.66 ไร่ หรือร้อยละ

70.64 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 427.26 ไร่ หรือร้อยละ 13.07 (Figure 3 and Table 2)

6. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2539 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 304.22 ไร่ หรือร้อยละ 9.31 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 193.89 ไร่ หรือร้อยละ 5.93 พื้นที่น้ำ จำนวน 10.13 ไร่ หรือร้อยละ 0.31 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 5.05 ไร่ หรือร้อยละ 0.15 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,507.58 ไร่ หรือร้อยละ 76.70 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 248.38 ไร่ หรือร้อยละ 7.60 (Figure 3 and Table 2)

7. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2545 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 351.67 ไร่ หรือร้อยละ 10.75 รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 63.01 ไร่ หรือร้อยละ 1.93 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,608.02 ไร่ หรือร้อยละ 79.72 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 216.30 ไร่ หรือร้อยละ 6.61 (Figure 3 and Table 2)

8. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2553 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างจำนวน 521.85 ไร่ หรือร้อยละ 15.94 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 48.68 ไร่ หรือร้อยละ 1.49 พื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 43.84 ไร่ หรือร้อยละ 1.34 พื้นที่แหล่งน้ำ (สร้างขึ้น) จำนวน 6.00 ไร่ หรือร้อยละ 0.18 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,447.85 ไร่ หรือร้อยละ 74.78 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 205.15 ไร่ หรือร้อยละ 6.27 (Figure 3 and Table 2)

9. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2556 พบว่า พื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างจำนวน 562.02 ไร่ หรือร้อยละ 17.16 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม จำนวน 59.86 ไร่ หรือร้อยละ 1.83 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 20.11 ไร่ หรือร้อยละ 0.61 พื้นที่น้ำ (สร้างขึ้น) จำนวน 14.51 ไร่ หรือร้อยละ 0.44 (Figure 3 and Table 1) พื้นที่ที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์มากที่สุดเป็นพื้นที่ป่าไม้ จำนวน 2,439.35ไร่ หรือร้อยละ 74.46 รองลงมาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (ไม่มีร่องรอยทำประโยชน์) จำนวน 180.22 ไร่ หรือร้อยละ 5.50 (Figure 3 and Table 2)

โดยจะเห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2496 จนถึงปี 2556 พื้นที่ส่วนใหญ่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่ ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์ หากวิเคราะห์ถึงการทำประโยชน์จะมีมากสุดในปี พ.ศ. 2496 โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และในปีถัดมาการทำเกษตรกรรมลดลงกลายเป็นพื้นที่ชุมชนที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มาแทน ส่วนในด้านของพื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ที่มากที่สุดและเนื้อที่ค่อนข้างจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและมีพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Figure 4)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกำหนดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการกำหนดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ จากการซ้อนทับของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทั้ง 9 ชั้นปี ในพื้นที่เกาะล้านที่มีสถานะเป็นป่า ตามพระราชบัญญัติป่าไม้

พุทธศักราช 2484 พบว่า สามารถจำแนกออกเป็นพื้นที่ที่สามารถประกาศเป็นเขตป่าสงวนแห่งชาติได้โดยไม่มีเงื่อนไข เป็นพื้นที่ที่ไม่พบร่องรอยการทำประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง คือ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีพื้นที่เท่ากับ 1,146.93 ไร่ หรือร้อยละ 53.15 พื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ เป็นพื้นที่ที่มีการทำประโยชน์ไม่ต่อเนื่อง จำนวน 944.68 ไร่ หรือร้อยละ 43.78 และพื้นที่ไม่เหมาะสมในการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ เป็นพื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์มาอย่างต่อเนื่อง คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่น้ำมีพื้นที่เท่ากับ 66.25 ไร่ หรือ ร้อยละ 3.07 (Figure 5)

ในกรณีของพื้นที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ หากวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจะพบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีน้อยในปี พ.ศ. 2496 และเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดจนถึงปี พ.ศ. 2556 ซึ่งจะตรงกันข้ามกับพื้นที่เกษตรกรรมที่มีมากในปี พ.ศ. 2496 และลดลงตลอดจนถึงปี พ.ศ. 2556 ซึ่งเห็นว่ามีการเปลี่ยนการทำประโยชน์ที่ดินจากเกษตรกรรมเป็นชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่าไม้นั้นค่อนข้างจะคงที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก พื้นที่แหล่งน้ำไม่คงที่ แต่มีส่วนเพิ่มขึ้นมากกว่าส่วนที่ลดลง และพื้นที่เบ็ดเตล็ดนั้นมีแนวโน้มที่ลดลง (Figure 6)

Table 1 Land use in Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province during the years 1953 to 2013. (Human activity).

Land use type / Aerial photo projects	Urban and Built-up land		Agriculture land		Miscellaneous land		Water	
	Area (rai)	Percent	Area (rai)	Percent	Area (rai)	Percent	Area (rai)	Percent
WWS (1953)	32.62	1.00	1,213.92	37.24	18.73	0.57	-	-
VAP-61 (1966)	55.50	1.70	442.97	13.57	36.06	1.10	1.56	0.05
NS3 (1976)	8.36	0.26	527.37	16.14	18.96	0.58	6.09	0.19
RTSD (2525)	211.76	6.48	409.65	12.54	0.41	0.01	4.23	0.13
DOL (1986)	278.68	8.52	246.47	7.54	-	-	7.15	0.22
PCD (1996)	304.22	9.31	193.89	5.93	5.05	0.15	10.13	0.31
MOAC (2002)	351.67	10.75	63.01	1.93	-	-	-	-
DMC (2010)	521.85	15.94	43.84	1.34	48.68	1.49	6.00	0.18
DMC (2013)	562.02	17.16	59.86	1.83	20.11	0.61	14.51	0.44

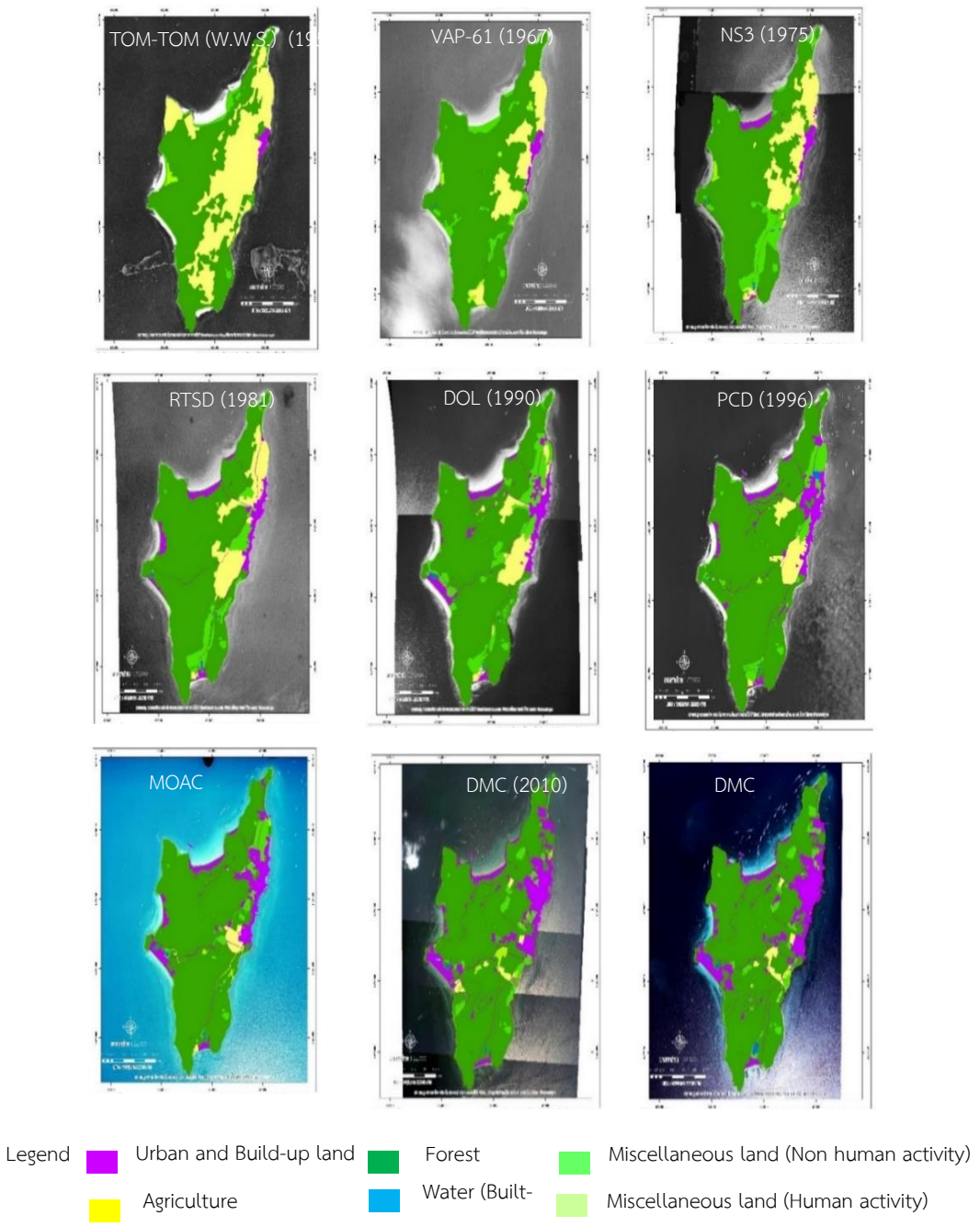


Figure 3 Land use classification map of Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province from 1953 to 2013.

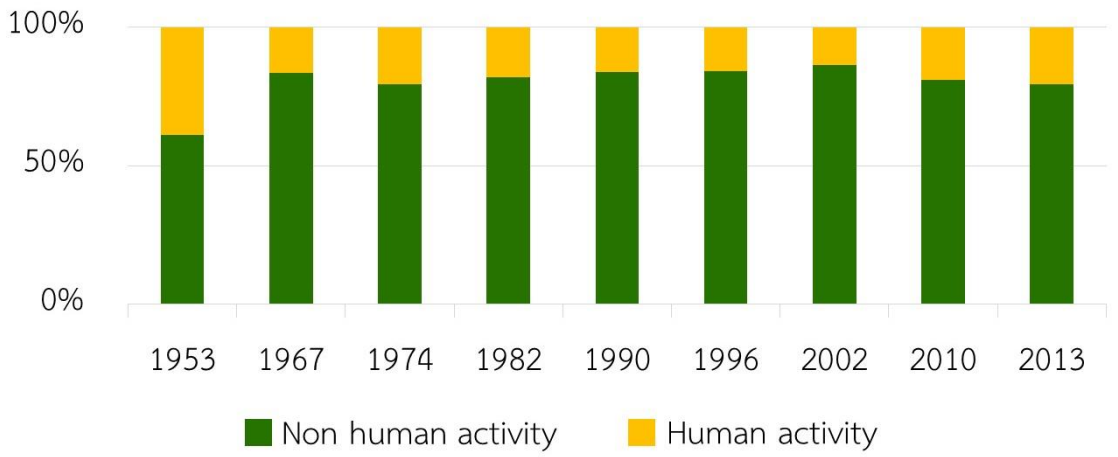


Figure 4 Proportion of human and non-human activity areas in Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province from 1953 to 2013.

Table 2 Land use classified under non-human activity in Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province from 1953 to 2013.

Land use type/ Aerial photo projects	Forest		Miscellaneous land	
	Area (rai)	Percent	Area (rai)	Percent
WWS (1953)	1,890.05	57.99	104.13	3.19
VAP-61 (1966)	2,546.27	77.99	182.52	5.59
NS3 (1976)	2,247.35	68.80	345.27	10.57
RTSD (2525)	2,359.45	72.20	282.21	8.64
DOL (1986)	2,308.66	70.64	427.26	13.07
PCD (1996)	2,507.58	76.70	248.38	7.60
MOAC (2002)	2,608.02	79.72	216.30	6.61
DMC (2010)	2,447.85	74.78	205.15	6.27
DMC (2013)	2,439.35	74.46	180.22	5.50

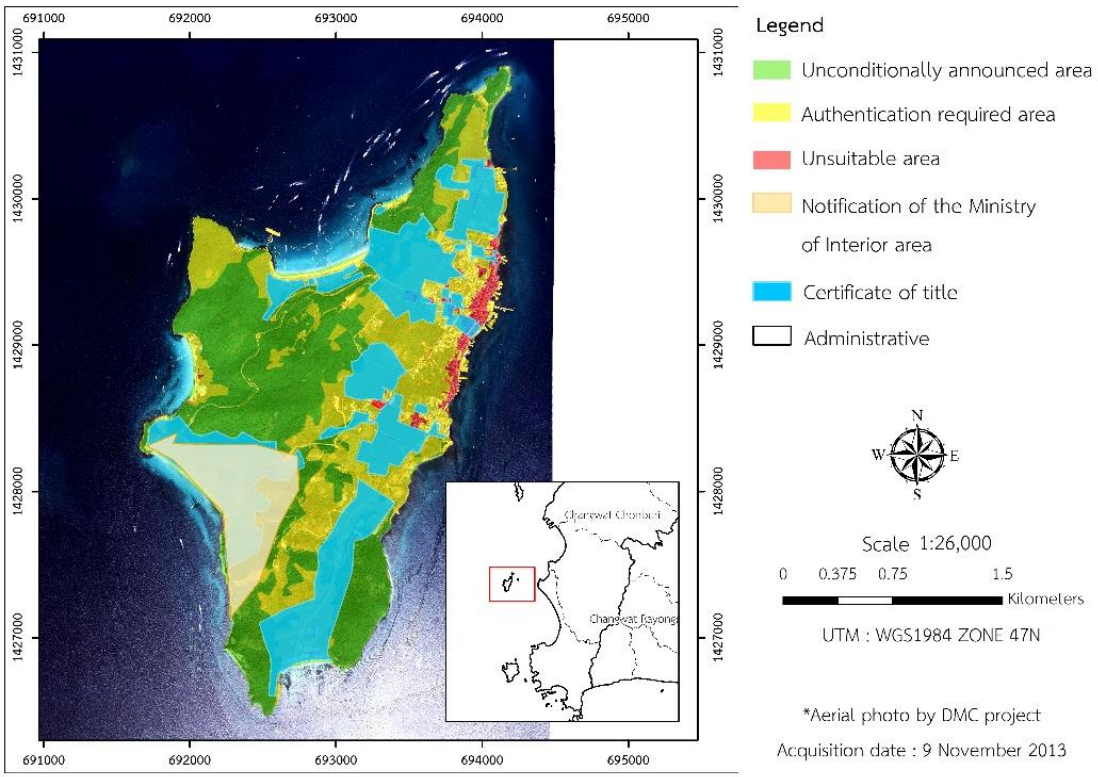


Figure 5 Suitability level for the establishment of a National Forest Reserve in Koh Larn, Bang Lamung district, Chon Buri province.

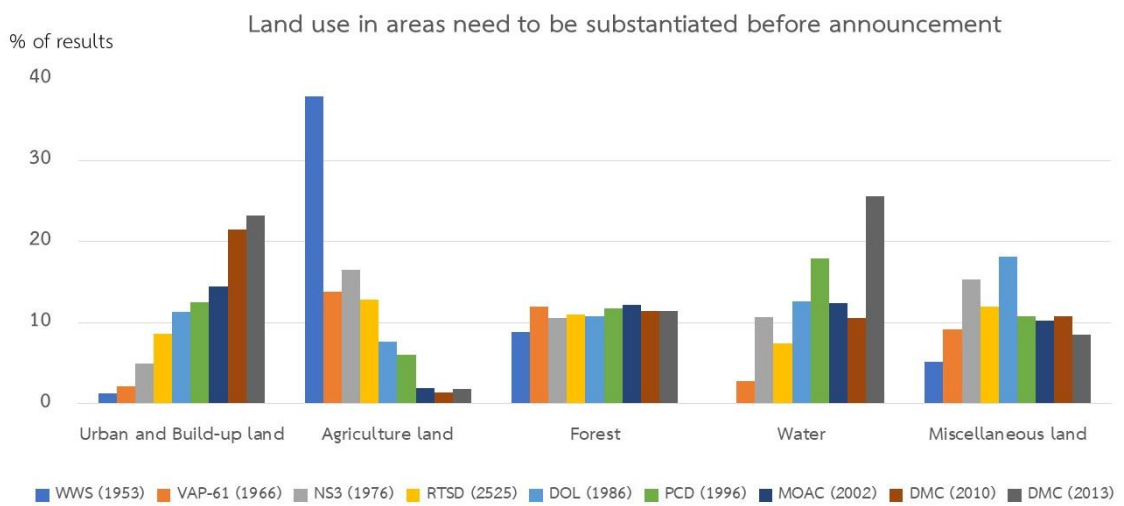


Figure 6 Area classifications that need to be substantiated before the announcement.

จากผลการศึกษาหากนำมาเชื่อมโยงกับนโยบายรัฐบาลในปัจจุบัน โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จะสามารถนำเข้าสู่นโยบายที่เป็นประโยชน์ต่อราษฎรและภาครัฐได้ ดังนี้

1. พื้นที่ที่ประกาศเป็นเขตป่าสงวนแห่งชาติได้โดยไม่มีเงื่อนไข จากการศึกษาพบว่า เป็นพื้นที่สามารถนำไปประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติได้ โดยไม่มีเงื่อนไขใด ๆ ที่จะสามารถแย้งได้ เนื่องจากปรากฏชัดเจนว่าไม่มีการทำประโยชน์มานานกว่า 67 ปี นับจากที่มีหลักฐานปรากฏในภาพถ่ายทางอากาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2496 ถึง ปี พ.ศ. 2556 หากมีการอ้างสิทธิครอบครองก็สามารถพิสูจน์ทราบได้จากผลการอ่านแปลภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 9 ชั้นปี

2. พื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ จากการนำผลการอ่านแปลภาพถ่ายทางอากาศมาวิเคราะห์ปรากฏว่าหากพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินในปีล่าสุดที่ทำการอ่าน แปล คือ ปี พ.ศ. 2556 สามารถจำแนกออกเป็นสองกรณี ดังนี้

2.1 ในปี พ.ศ. 2556 ปรากฏเป็นพื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์ ซึ่งมีเนื้อที่ 612.19 ไร่ หรือร้อยละ 64.80 ของพื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ฯ ตามแผนแม่บทการแก้ปัญหาการทำลายทรัพยากรป่าไม้ การบุกรุกที่ดินของรัฐ และการบริหารทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนของ Internal Security Operations Command under Ministry of Natural Resources and Environment (2014) กำหนดให้มีการพิทักษ์รักษาพื้นที่ป่าไม้ให้มีสภาพป่าที่สมบูรณ์ให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศภายใน 10 ปี นั้น จึงสามารถนำพื้นที่ป่าไม้ในส่วนนี้ไปเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนเป้าหมายตามแผนแม่บทดังกล่าวได้

2.2 ในปี พ.ศ. 2556 ปรากฏเป็นพื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์ ซึ่งมีเนื้อที่ 332.49 ไร่ หรือร้อยละ 35.20 ของพื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ฯ จากการวิเคราะห์พบว่า เนื่องจากพื้นที่เกาะล้านเป็นพื้นที่ป่าไม้ ตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484 ดังนั้นหากประชาชนมีความประสงค์จะทำประโยชน์ จำเป็นต้องขออนุญาตตามกฎกระทรวงการขออนุญาตและการอนุญาตทำประโยชน์ในเขตป่า พ.ศ. 2558 (The Secretariat of the Cabinet, 2015)

3. พื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสมในการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งชัดเจนว่าเป็นพื้นที่มีการครอบครอง จึงสามารถนำผลการแปลไปใช้ในการพิสูจน์สิทธิครอบครอง ในขั้นตอนการประชาพิจารณ์ก่อนประกาศป่าสงวนแห่งชาติได้

จาก Figure 5 จะเห็นว่าพื้นที่ที่สามารถประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติได้โดยไม่มีเงื่อนไขมี 2 ลักษณะ คือ เป็นผืนป่าขนาดใหญ่ และขนาดเล็กกระจายรอบป่าผืนใหญ่ ในทางปฏิบัติแล้วการประกาศป่าสงวนแห่งชาติสามารถประกาศได้ทั้งหมด หากมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสภาพป่าไม้ ของป่า หรือทรัพยากรธรรมชาติอื่น นอกจากนี้ผืนป่าขนาดเล็กที่กระจายรอบป่าผืนใหญ่ ยังสามารถนำไปรักษาสภาพป่าไม้โดยการประกาศเป็นเขตป่าชุมชน เพื่อให้ชุมชนใช้ประโยชน์ร่วมกันได้อีกด้วย ซึ่งตามระเบียบคณะกรรมการนโยบายป่าชุมชน ว่าด้วยการกำหนดขนาดของพื้นที่ป่าชุมชนและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ภายในพื้นที่ป่าชุมชน พ.ศ. 2563 (The Secretariat of the Cabinet, 2020) ได้กำหนดขนาดพื้นที่ป่าชุมชน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ได้แก่ ป่าชุมชนที่มีเนื้อที่ไม่เกิน 500 ไร่ ขนาดกลาง ได้แก่ ป่าชุมชนที่มีเนื้อที่มากกว่า 500 ไร่ แต่ไม่เกิน 3,000 ไร่ และขนาดใหญ่ ได้แก่ ป่าชุมชนที่มีเนื้อที่มากกว่า 3,000 ไร่ ขึ้นไป

และหากต้องการนำผลการวิเคราะห์จากการวิจัยนี้ไปพิจารณาประกอบการตัดสินใจเพื่อดำเนินการประกาศป่าสงวนแห่งชาติควรพิจารณาประกอบกับข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ ณ เวลาที่จะดำเนินการประกาศป่าด้วย เนื่องจากข้อมูลล่าสุดของการวิจัยนี้อยู่ในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งไม่เป็นข้อมูลล่าสุดของพื้นที่ และในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีถ่ายทางภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการสำรวจพื้นที่ป่าไม้ด้านต่าง ๆ เช่น Chouchom (2018) ได้นำมาประยุกต์เพื่อสำรวจในการคุ้มครองพื้นที่อุทยานแห่งชาติ โดยใช้ในภาระกิจเฝ้าระวังพื้นที่อุทยานแห่งชาติเพื่อประเมินสถานการณ์ของพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกบุรุก หากนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินของเกาะล้านก็จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการนำเทคนิคการอ่าน แปล ภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในด้านการพิสูจน์สิทธิการครอบครอง ดังเช่น Khongthone and Weeraphart (2011) ได้ศึกษาการประยุกต์ข้อมูลภูมิสารสนเทศเพื่อพิสูจน์สิทธิครอบครองและการทำประโยชน์ที่ดินของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่ขอใช้ประโยชน์ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศช่วงปีก่อนประกาศป่าสงวนแห่งชาติ และช่วงปีก่อนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีเข้าใช้พื้นที่ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงของการทำประโยชน์ที่ดิน และ Phojsompong (2002) ได้วิเคราะห์พื้นที่เพื่อพิสูจน์สิทธิครอบครองและการทำประโยชน์ที่ดิน โครงการฝายราษีไศล จังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้การอ่าน แปลภาพถ่ายทางอากาศก่อนปีที่มีการก่อสร้างโครงการฯ จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลแผนที่การอ้างสิทธิกับแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงของการทำประโยชน์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากนำเทคนิคนี้ไปใช้ในกรณีที่ต้องมีการพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในขั้นตอนของการประชาพิจารณ์ก่อนที่จะประกาศป่าสงวนแห่งชาติน่าจะมีส่วนช่วยป้องกันปัญหาที่เกิดจากการเรียกร้องสิทธิหลังการประกาศได้

สรุป

พื้นที่เกาะล้านทั้งหมด 3,276.07 ไร่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่มีร่องรอยการทำประโยชน์ และพื้นที่ไม่มีร่องรอยการทำประโยชน์ มีแนวโน้มลดลง จากปี พ.ศ. 2496 พบว่ามีเนื้อที่ 1,265.27 ไร่ หรือร้อยละ 38.82 และ 1,994.17 ไร่ หรือร้อยละ 61.18 ตามลำดับ ในปี พ.ศ. 2556 พบว่าเหลือเนื้อที่เพียง 656.49 หรือร้อยละ 20.04 และ 2,619.58 ไร่ หรือร้อยละ 79.96 ตามลำดับ

การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมของเกาะล้านต่อการกำหนดเป็นป่าสงวนแห่งชาติ หลังกันพื้นที่มีการครอบครองตามกฎหมายออก พบว่า พื้นที่ที่ประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติได้โดยไม่มีเงื่อนไข มีพื้นที่ 1,146.93 ไร่ หรือร้อยละ 51.95 พื้นที่ที่ต้องมีการพิสูจน์สิทธิ์ก่อนการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ มีพื้นที่ 994.68 ไร่ หรือร้อยละ 45.05 และพื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสมในการประกาศเป็นป่าสงวนแห่งชาติ มีพื้นที่ 66.25 ไร่ หรือร้อยละ 3.00

จากเทคนิคการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหลายช่วงเวลามาทำการอ่าน แปล ตีความ และวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินจะทำให้เห็นถึงประวัติของการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น ๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจที่จะทำกิจกรรมบนที่ดินนั้นได้ดีกว่าการเห็นเพียงสภาพปัจจุบันของที่ดิน โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการวิเคราะห์ด้านกายภาพเท่านั้น เพื่อนำผลไปช่วยประกอบการตัดสินใจในขั้นตอนของการประชาพิจารณ์ราษฎร หรือมีผู้อ้างสิทธิ หรือทำประโยชน์ใน

พื้นที่ก่อนที่จะทำการประกาศป่าสงวนแห่งชาติ ซึ่งจะเป็นกระบวนการทางด้านเศรษฐกิจและสังคมต่อไป โดยสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ว่าผู้อ้างสิทธิได้ทำประโยชน์มาก่อนจริงหรือไม่ โดยส่วนใหญ่แล้วงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอ่าน แปล ตีความภาพถ่ายทางอากาศ จะนำผลการอ่านแปลไปใช้ประโยชน์ในด้านการพิสูจน์สิทธิการครอบครองที่ดินเพื่อแก้ปัญหา แต่ยังไม่ได้นำมาเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจก่อนที่จะเปลี่ยนสถานะภาพของพื้นที่ หากต้องการนำเทคนิคจากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้กับพื้นที่อื่นควรตรวจสอบฐานข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศก่อน ซึ่งในแต่ละพื้นที่มีโครงการบินถ่ายภาพทางอากาศไม่เหมือนกัน และหากมีช่วงชั้นปีที่ห่างกันมากอาจส่งผลให้เกิดการแปลผิดพลาดได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงปีที่ขาดไปได้ การแก้ปัญหานี้อาจจะนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาเสริมในช่วงเวลาที่ขาดหายไป

REFERENCES

Chouchom, A. 2018. Applications uses an Unmanned Aerial Vehicle (Drone) or UAV for the protection of national parks. **Journal of Forest Management** 12(24): 78-84. (in Thai)

Department of Lands. 2010. **Landsmaps**. Available source: http://dolwms.dol.go.th/tvwebp/, April 10, 2018. (in Thai)

Diloksumpun, P. 1996. **Intergration of Aerial Photo-Interpretation, Geographic Information System and Data Processing System for Forest Management Planning of Mae Teep Sector, Mae Ngao Demonstration Forest, Lampang**. M. S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Environmental Systems Research Institute. 2016. **Overlay Analysis**. Available source: http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/1 0 .3 / analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm, April 3, 2018.

Forest Land Management Office, Royal Forest Department. 2010. **Handbook Forest Land Management.** Bangkok. (in Thai)

Forest Land Management Office, Royal Forest Department. 2018. **Forest Area Classification Using Satellite Imagery Project**. Bangkok. (in Thai)

Forest Resource Management Office No.9 (Chon Buri), Royal Forest Department. 2014. **Survey Background in the Koh Larn, Bang Lamung District, Chonburi Province for Announce Additional National Forest in the Year 2014**. Chon Buri. (in Thai)

Internal Security Operations Command under Ministry of Natural Resources and Environment. 2014. **Model Scheme for Solving the Problem of Destruction the Forest Resources, Government Land Invasion and Sustainable Management of Natural Resources**. Available source: http:// banpong.dnp.go.th/banpong /data/data_046.pdf, January 28, 2021. (in Thai)

Khongthone, C. and W. Khunrattanasiri 2011. Application of geomatic data for proving land occupation and land use of Phetchaburi Rajabhat university, Pong Salod campus, Ban Lat district, Phetchaburi province. **Journal of Forest Management** 5(9): 29-45. (in Thai)

Office of the State Land Management under Office of the Permanent Secretary. 2013. **Handbook for Aerial Interpretation of Aerial Interpretation Subcommittee.** Bangkok. (in Thai)

Phojsompong, S. 2002. **A Spatial Analysis for Proving Land Ownership and Utilization in the Rasi Salai Dam Project: A Case Study of Tambon Nong Khae, Amphoe Rasi Salai, Changwat Si Sa Ket.** M. S. Thesis, Ramkhamhaeng University. (in Thai)

Phojsompong, S. 2019. In case of checking the document of right issued in mapsheet 5432-I 1626 list of Piyaporn-Somchai Groups Baan Jake Bae, Koh Chang Tai, Koh Chang, Trat. in Mangrove Resource Conservation Division. pp. 57-66 in training program. **Proof of Warrants in Land in Mangrove Forests, Using Aerial Photographs**. May 15-17, 2019. Department of Marine and Coastal Resources. Phetchaburi. (in Thai)

The Secretariat of the Cabinet. 2015. **Ministerial Regulations for Requesting Permission and Permission to Use in the Forest Area in 2015**. August 10, 2015. Prime Minister's Office. Bangkok. (in Thai)

The Secretariat of the Cabinet. 2020. **Regulation of the Community Forest Policy Committee on Determining the Size of Community Forest Areas and the Proportion of Utilization within Community Forest Areas in 2020.** November 25, 2020. Prime Minister's Office. Bangkok. (in Thai)

Wongsrinil, P. 2009. Forestry and the process of proving rights to restore fairness to the state and people. **Journal of Forest Management** 3(6): 117-121. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการประเมินสุขภาพของป่าแสมบริเวณอ่าวไทยตอนบน

Health Assessment of *Avicennia* spp. Forest Through an Unmanned Aerial Vehicle Located at the Upper Gulf of Thailand

ปีรัชม์ ภูมิรัตน์[1] Peeruch Poommirat[1]
อฐิษฐ์ เส้งทั่น[1] Athit Sengtan[1]
พศิน มาประสพ[2,3] Pasin Maprasop[2,3]
นฤดล ลิมปนสิทธิชัย[2] Naludol Limpanasittichai[2]
ออ พรานไชย[1,3*] Aor Pranchai[1,3*]

[1] ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Department of Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchuak, Bangkok 10900, Thailand
[2] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
Department of Marine and Coastal Resources, Lak Si, Bangkok 10210, Thailand
[3] หน่วยวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวนวัฒนวิทยาป่าชายเลน คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Special Research Unit for Mangrove Silviculture, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchuak, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding author, Email: fforaor@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 27 เมษายน 2564 **รับแก้ไข** 21 มิถุนายน 2564 **รับลงพิมพ์** 29 มิถุนายน 2564

ABSTRACT

The health of trees requires a visual assessment of symptoms or more elaborate measurements of chlorophyll fluorescence and the spectral reflectance of foliage. A lack of reliable and feasible health indicators severely limits the current ability to assess the vitality of mangrove trees. In this study, the crown recovery of *Avicennia* spp. was monitored after a severe insect defoliation event in December 2017 using UAV-based surveys. The objective was to identify the reliable indicators of a tree's health status that can be assessed from the ground.

Two aerial surveys were conducted in the Mahachai mangrove forest (Samut Sakhon), in January 2018 and April 2019, respectively. In addition, a ground-based survey of health symptoms, specifically the presence of stem wounds, fungal fruiting bodies, and signs of woodborers, was conducted in 28 sample plots (20 m × 20 m) which were distributed along five line transects. Aerial images were used to delineate and calculate the area of crown defoliation (gaps) in each

plot. The relationships between the presence of certain health issues and the recovery of defoliated crowns, within each plot, were analyzed using an ordinary least squares (OLS) model.

The results showed that the *Avicennia* trees were able to recover rapidly after an initial defoliation, indicating a high resilience to such disturbances. However, only stem wounds should be used as vitality indicators as their presence was associated with a significantly reduction in crown recovery, whereas the association with the presence of wood borers and fungal fruiting bodies was insignificant. In conclusion, the monitoring of mangrove health should not only rely on a visual ground-based assessment but should be accompanied by aerial surveys which can provide more reliable vitality indicators.

Keywords: Mangrove health, Drone, Tree crown, Urban forest, *Hyblaea puera*

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทางสุขภาพต้นไม้โดยทั่วไปทำได้ด้วยการประเมินอาการทางสายตาหรือวัดค่า Chlorophyll Fluorescence การขาดตัวบ่งชี้ลักษณะทางสุขภาพต้นไม้ที่นำไปใช้ได้และน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการประเมินสุขภาพต้นไม้ป่าชายเลน การศึกษาครั้งนี้ ติดตามการฟื้นตัวเรือนยอดไม้แสม (*Avicennia* spp.) หลังจากการระบาดของหนอนแมลงกินใบในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 โดยสำรวจภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวชี้วัดที่เป็นไปได้ในการบ่งชี้ลักษณะทางสุขภาพต้นไม้ป่าชายเลนจากการประเมินภาคพื้นดิน

วิธีการโดยสำรวจทางอากาศในพื้นที่ศึกษา จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 และเมษายน พ.ศ. 2562 สำรวจลักษณะทางสุขภาพของต้นไม้ภาคพื้นดิน สังเกตอาการที่ปรากฏบาดแผลบริเวณลำต้น เชื้อราปรากฏเป็นดอกเห็ด และร่องรอยหนอนเจาะ เก็บข้อมูลภาคพื้นดินภายในแปลงตัวอย่างขนาด 20 × 20 ม.^{2} ใช้ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อคำนวณช่องว่างระหว่างเรือนยอด และใช้วิธี Ordinary Least Squares เพื่อหาความสัมพันธ์ของการปรากฏปัญหาทางสุขภาพกับการฟื้นตัวของช่องว่างระหว่างเรือนยอด

ผลการศึกษาพบว่าเรือนยอดของไม้แสมสามารถฟื้นตัวอย่างรวดเร็วหลังจากถูกแมลงทำลาย ชี้ให้เห็นว่าไม้แสมมีความความยืดหยุ่นสูงต่อการระบาด อย่างไรก็ตาม ในการประเมินสุขภาพของต้นไม้ป่าชายเลนอาจใช้ลักษณะของลำต้นที่พบบาดแผลเป็นตัวบ่งชี้ได้ เนื่องจากการปรากฏอาการสัมพันธ์กับการฟื้นตัวของเรือนยอดอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า สุขภาพต้นไม้ป่าชายเลนไม่สามารถประเมินด้วยสายตาจากภาคพื้นดินเพียงอย่างเดียว ควรมีการสำรวจทางอากาศที่ได้ภาพความละเอียดสูง จึงสามารถให้ดัชนีชี้วัดที่มีความน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: สุขภาพต้นไม้ อากาศยานไร้คนขับ เรือนยอด ป่าแสม หนอนผีเสื้อกินใบสัก

คำนำ

ป่าชายเลนเป็นป่าที่ให้บริการด้านระบบนิเวศที่สำคัญสำหรับชุมชนชายฝั่งทั่วประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าชายเลนที่อยู่ในบริเวณเขตเมือง ซึ่งช่วยในเรื่องการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง บำบัดน้ำเสียก่อนลงสู่ทะเล รวมไปถึงการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ ซึ่งป่าชายเลนเป็นหนึ่งในระบบนิเวศที่มีโอกาสสูญหายไปจากโลกใบนี้ เห็นได้จากอัตราการทำลายป่าชายเลนที่สูงและต่อเนื่อง ป่าชายเลนที่เหลืออยู่มีสภาพเป็นผืนเล็กๆ กระจายตัวกันอยู่ห่างกัน (Tran and Fischer, 2017) นอกจากนั้น คุณภาพน้ำในป่าชายเลนก็อยู่ในระดับต่ำเนื่องจากเป็นพื้นที่รับน้ำเสียจากภาคการเกษตร การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม น้ำเสียจากชุมชนและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานบริเวณชายฝั่ง (Lewis *et al*., 2011) โลหะหนัก (Yim and Tam, 1999) รวมไปถึงการรั่วไหลของน้ำมัน (Lewis and Pryor, 2013) ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเติบโตและสุขภาพของต้นไม้ป่าชายเลนโดยตรง (Lewis *et al*., 2016) ป่าชายเลนสามารถคงอยู่ได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่วิกฤตนานหลายสิบปีโดยไม่แสดงอาการหรือตายลง (Lovelock *et al*., 2015) แต่หากถึงจุดที่ต้นไม้ป่าชายเลนแสดงอาการตายตั้งแต่เรือนยอดลงมาแล้วจะไม่สามารถแก้ไขอะไรได้และแน่นอนว่าจะสูญเสียต้นไม้ป่าชายเลนต้นนั้นไป (Eslami-Andergol *et al*., 2015) ดังนั้น ในการตรวจพบตั้งแต่เริ่มต้นว่าต้นไม้ป่าชายเลนมีสุขภาพเป็นอย่างไรจะช่วยให้การรักษาต้นไม้นั้นเป็นไปได้อย่างทันท่วงที ซึ่งถือเป็นการป้องกันการสูญเสียป่าชายเลน

ไม้แสม เป็นไม้เบิกนำที่สามารถขึ้นและเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีสภาวะเครียดทางปัจจัยสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ไม้แสมมีความสามารถในการปรับตัวอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ไม้แสมที่ขึ้นอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนบนก็มีสถานะทางสุขภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนัก ดังนั้น การติดตามตรวจสอบสถานะทางสุขภาพของไม้แสมบริเวณนี้จึงมีความสำคัญ ซึ่งสุขภาพของต้นไม้ส่งผลกระทบถึงการเติบโตของเรือนยอด จึงสามารถประเมินได้จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเรือนยอด ไม้แสมมักได้รับผลกระทบจากการระบาดของหนอนผีเสื้อกินใบสัก (*Hyblaea puera*) ในป่าชายเลนทั่วทั้งโลกมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นการรายงานการระบาดที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่เท่านั้น (Piyakarnchana, 1981; Biswas *et al*., 2017) ประเทศที่พบการระบาดของหนอนชนิดนี้ในบริเวณป่าชายเลนคือ ประเทศไทย (Piyakarnchana, 1981) อินเดีย (Arun and Mahajan, 2012; Biswas *et al*., 2017) และบราซิล (Mehlig and Menezes, 2005; Fernandes *et al*., 2009) โดยทั่วไปการระบาดของหนอนชนิดนี้ในบริเวณป่าชายเลนทั่วโลกมักเกิดขึ้นในช่วงปลายฤดูฝน (Mehlig and Menezes, 2005) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางภูมิอากาศมีผลต่อการระบาดของหนอนชนิดนี้ ในประเทศไทยพบการระบาดบริเวณป่าชายเลนอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่ปากแม่น้ำท่าจีนจนถึงปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงเดือนตุลาคมของทุกปี โดยหนอนจะกินใบแสม (*Avicennia* spp.) และใช้ใบแสมบางส่วนในการม้วนใบเพื่อเป็นที่พักตัวในระยะดักแด้ ใบแสมเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งต้น หลังจากนั้นราวเดือนธันวาคมจนถึงเดือนมกราคมต้นแสมจะผลิใบใหม่ จากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณใบ พื้นที่ผิวใบ และสีของใบแสมบริเวณป่าชายเลน ทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของเรือนยอดได้จากภาพถ่ายทางอากาศ

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสุขภาพของพรรณไม้ป่าชายเลนต่อการฟื้นตัวของเรือนยอดภายหลังจาก

การระบาดของแมลงกินใบแสม ด้วยการสำรวจภาคพื้นดินด้วยการวางแปลงตัวอย่างและทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับหลังจากมีการระบาดของหนอนผีเสื้อกินใบสักในปี พ.ศ. 2560 และหลังจากนั้นอีก 1 ปี 6 เดือน

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีสถานะเป็นป่าชายเลนธรรมชาติที่มีการบริหารจัดการโดยการปลูกเสริมตามแนวทางเดินศึกษาธรรมชาติของศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีทรัพยากรป่าชายเลนที่ 2 จังหวัดสมุทรสาคร พื้นที่ตั้งอยู่ในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าพันท้ายนรสิงห์ ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร (Figure 1) มีเนื้อที่ประมาณ 500 ไร่ พรรณไม้เด่นคือ แสมทะเลและแสมขาว และ บริเวณนี้มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1.00 - 2.00 ม. ระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2562 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,300 ม.ม.ต่อปี ไม้แสมในบริเวณนี้ได้รับผลกระทบจากการระบาดของหนอนแมลงกินใบในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2560

Figure 1 Study area at the Ao Mahachai Mangrove Forest Natural Education Center.

การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลภาคพื้นดินและทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับในแนวสำรวจจำนวน 5 แนว แต่ละแนวห่างกัน 60 ม. ในแต่ละแนววางแปลงขนาด 20 × 20 ม.^{2} แต่ละแปลงห่างกัน 40 ม. (Figure 2) ในแต่ละแปลงสำรวจลักษณะทางสุขภาพของพรรณไม้ป่าชายเลนทางภาคพื้นดินโดยการประเมินรอยแผลบริเวณลำต้น ร่องรอยหนอนเจาะลำต้น และเห็ดรา (Figure 3) สำรวจทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับขนาดกลางสี่ใบพัด ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4-Pro บินถ่ายภาพในแนวเส้นตรงให้แกนกล้องอยู่ในแนวดิ่ง บินสูงจากพื้นดิน 90 ม. (Figure 4A) กำหนดให้ภาพมีการซ้อนทับด้านหน้า ด้านหลัง และด้านข้าง ร้อยละ 80 (Figure 4B) ความละเอียดของภาพ 2.5 ซม.ต่อพิกเซล เก็บข้อมูลสองครั้ง เนื่องจากหนอนกินใบแสมในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2560 จึงทำการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2561 หลังจากการระบาดสิ้นสุด และในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2562 ซึ่งระยะเวลาบันทึกภาพห่างจากภาพแรก 15 เดือน

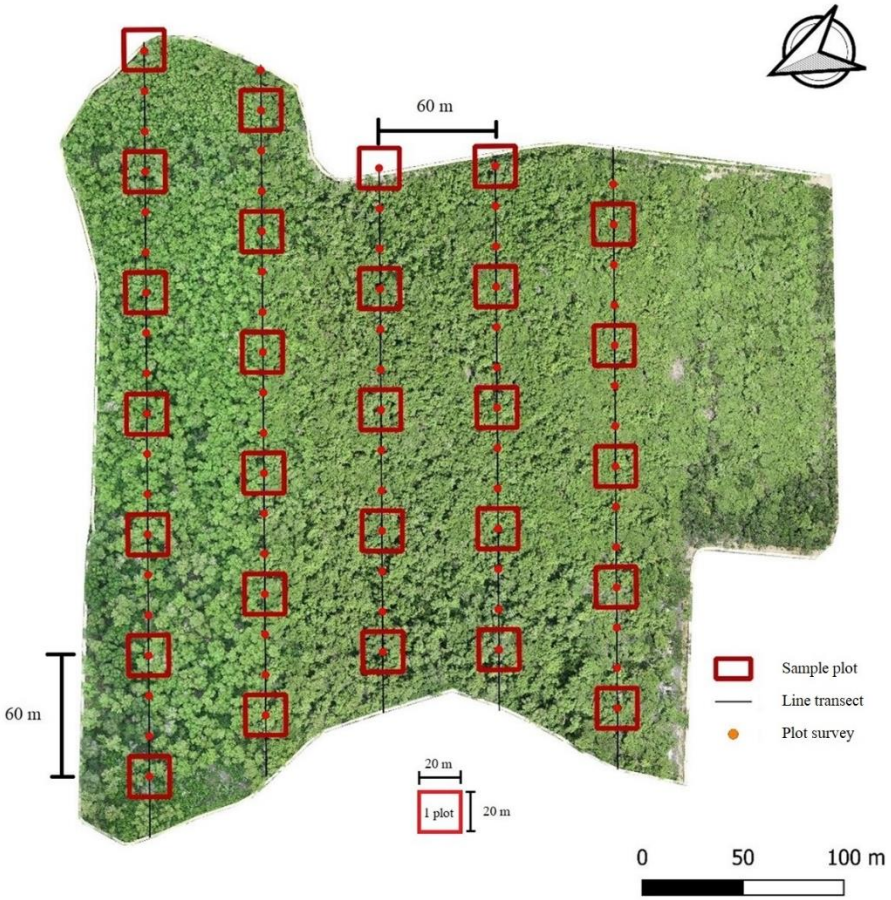


Figure 2 Five line transects distributed systematically at 60-m intervals. Sample plots (20 x 20 m^2) established every 40 m. (April 2019)

Figure 3 Selected symptoms of health issues observed in the *Avicennia* spp. trees.

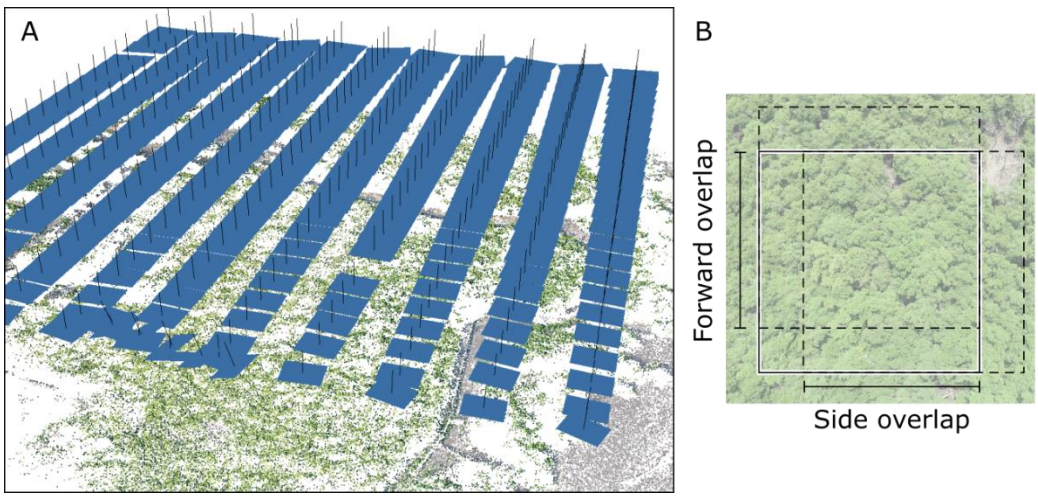


Figure 4 Camera locations over the study area (A). A side and forward overlap between aerial images of 80% (B).

การวิเคราะห์ภาพถ่าย

ประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan จำแนกขนาดและการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดในแปลงตัวอย่างด้วยมือโดยใช้โปรแกรม QGIS

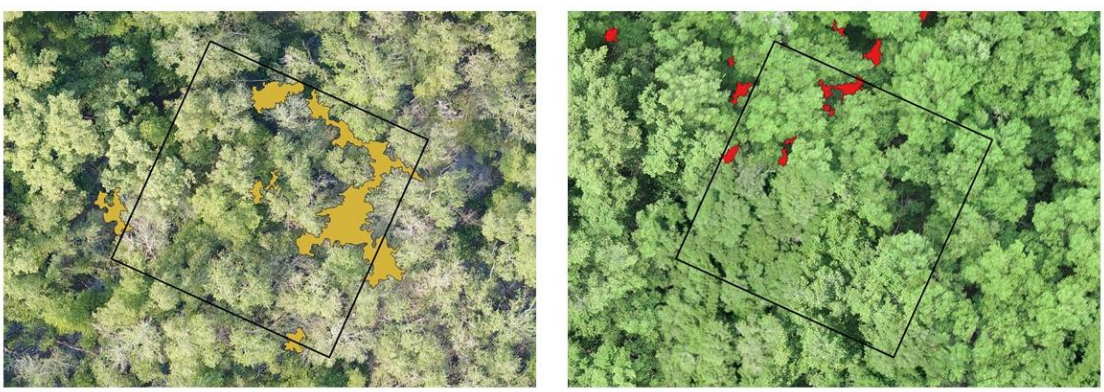
การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการเปรียบเทียบร้อยละของการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดในแปลงตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของสุขภาพของต้นไม้ และวิเคราะห์การฟื้นตัว

ของเรือนยอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของขนาดของช่องว่างระหว่างเรือนยอดสัมพันธ์กับลักษณะทางสุขภาพของต้นไม้ในแปลงศึกษาโดยสมการถดถอยเส้นตรง (linear regression model) กำหนดให้ตัวแปรอิสระ คือ ตำแหน่งของต้นไม้ในแปลง (latitude, longitude), ร้อยละความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลง (relative number of *Avicennia* spp.), ร้อยละการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดในปี พ.ศ. 2561 (gap fraction in 2018), ลักษณะทางสุขภาพของต้นไม้ (health problem) ได้แก่ รอยแผลที่ลำต้น (wound), เห็ดรา (fungi), ร่องรอยของแมลงเจาะลำต้น (woodborer), ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดในปี พ.ศ. 2561 และลักษณะทางสุขภาพของต้นไม้ (interaction between gap fraction in 2018 and health problem) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม R (R Core Team, 2020)

ผลและวิจารณ์

ตัวอย่างใน Figure 5 แสดงความแตกต่างระหว่างขนาดของช่องว่างระหว่างเรือนยอดในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2561 และเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2562 ในแปลงตัวอย่างเดียวกัน ซึ่งขนาดของช่องว่างระหว่างเรือนยอดจากแปลงตัวอย่างทั้งหมดลดลงจาก 967.97 ม.^{2} ในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2561 เหลือ 216.77 ม.^{2} ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2562 คิดเป็นค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 77.60 ภายในระยะเวลา 1 ปี 6 เดือน Figure 6 แสดงร้อยละการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Wilcox-test ที่ p-value <0.001) แสดงให้เห็นว่าไม้แสมมีการฟื้นตัวของเรือนยอดจากการระบาดของหนอนกินใบสัก ไม่ได้เกิดจากการเติบโตของกล้าไม้ขนาดเล็กบริเวณพื้นป่า แต่เกิดจากการฟื้นตัวของเรือนยอดของไม้แสมต้นเต็มวัย



January 2018 April 2019

Figure 5 Examples of different gap fraction in the same plot in January 2018 and April 2019.

การฟื้นตัวของเรือนยอดโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างร้อยละการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดกับลักษณะทางสุขภาพของต้นไม้ คือ หนอนเจาะลำต้น (Figure 7A) เห็ดรา (Figure 7B) และลำต้นที่มีบาดแผล (Figure 7C) จาก Figure 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการ

กระจายช่องว่างระหว่างเรือนยอดในปี พ.ศ. 2561 (gap fraction 2018) กับร้อยละการฟื้นตัวของการปกคลุมเรือนยอด (gap recovery) ในระดับแปลงเป็นไปในทางบวก ในแปลงที่มีร้อยละการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดมากจะมีร้อยละการฟื้นตัวของการปกคลุมเรือนยอดมากเท่ากับช่องว่างที่เกิดขึ้น ในต้นไม้ที่ไม่ปรากฏปัญหาสุขภาพมีการฟื้นตัวของการเรือนยอดได้มากเท่ากับร้อยละของช่องว่างระหว่างเรือนยอด ลักษณะที่เป็นปัญหาทางด้านสุขภาพของต้นไม้มีผลกระทบต่อร้อยละการฟื้นตัวของเรือนยอด จาก Figure 7A ต้นไม้ในแปลงร้อยละ 40 พบร่องรอยจากหนอนเจาะบริเวณลำต้นซึ่งต้นไม้เหล่านี้มีโอกาสที่เรือนยอดจะฟื้นตัวได้น้อยกว่าต้นไม้ที่ไม่พบร่องรอยจากหนอน Figure 7B ต้นไม้ในแปลงร้อยละ 7 มีการปรากฏของเห็ดราซึ่งร้อยละการฟื้นตัวของเรือนยอดของต้นไม้เหล่านี้มีอัตราต่ำกว่าต้นไม้ที่มีความสมบูรณ์ เนื่องจากลักษณะที่ปรากฏของเห็ดรานั้นสังเกตได้ยาก หรือในบางต้นไม่แสดงอาการออกมา ในที่นี้ต้นไม้ที่มีความสมบูรณ์คือต้นไม้ที่ไม่ปรากฏเห็ดราบนลำต้น และ Figure 7C พบลำต้นที่มีบาดแผลร้อยละ 30 ซึ่งมีร้อยละการฟื้นตัวของเรือนยอดต่ำกว่าต้นไม้ที่สมบูรณ์ ในที่นี้ต้นไม้ที่มีความสมบูรณ์คือต้นไม้ที่ไม่ปรากฏบาดแผลใดใด Figure 7B และ Figure 7C มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ Table 1 แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างร้อยละการกระจายของช่องว่างระหว่างเรือนยอดและร้อยละการฟื้นตัวของเรือนยอด

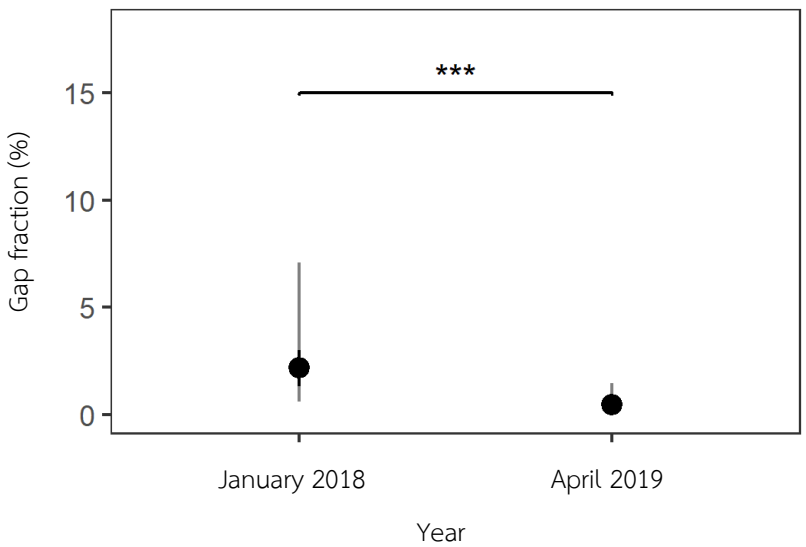


Figure 6 Fraction of canopy gaps (mean with 95% confidence interval) significantly declined between January 2018 and April 2019 (Wilcox-test, p-value < 0.001).

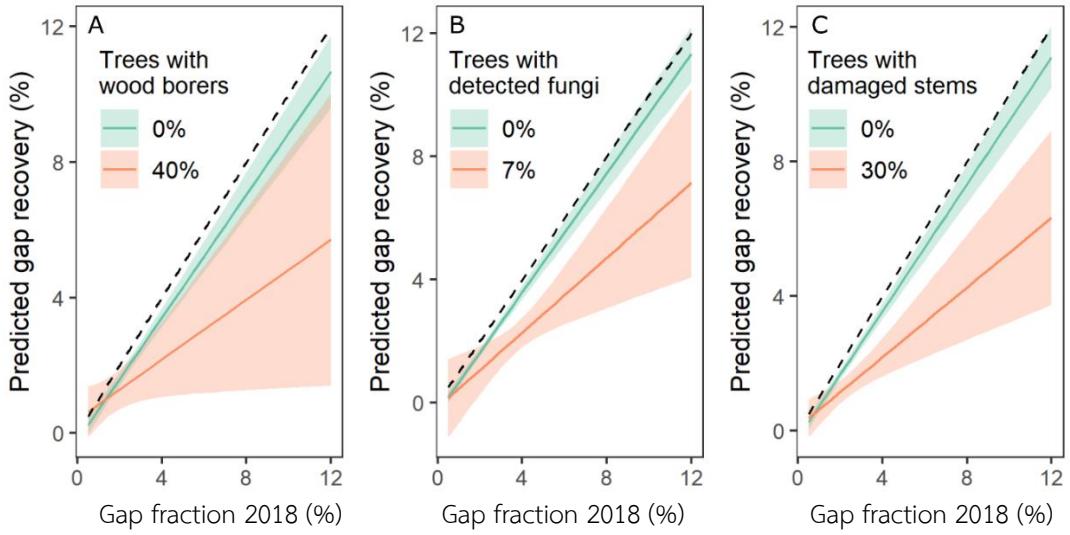


Figure 7 Interaction plots show the relationships between gap fraction in 2018 and tree health issues, visible presence of woodborers (A), presence of fungi fruiting bodies (B), and stem damage (C). The dashed line indicates a complete recovery. Green line (next to the dashed line) indicates recovery rates in the absence of health problems.

การฟื้นตัวของการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้ป่าชายเลนถือเป็นตัวบ่งชี้ความแข็งแรงของต้นไม้ที่เชื่อถือได้ ซึ่งโดยปกติแล้วการตรวจวัดความแข็งแรงของต้นไม้ทำได้ยาก การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาผลของการศึกษาสถานะทางสุขภาพของต้นไม้จากภาคพื้นดิน ผลปรากฏว่าสิ่งที่ส่งผลต่อการฟื้นตัวของการปกคลุมเรือนยอดคือ บาดแผลบริเวณลำต้น ในขณะที่หนอนเจาะไม้และเห็ดราเป็นตัวบ่งชี้ที่ไม่สามารถใช้ได้ ซึ่งการทำลายของหนอนเจาะไม้ที่พบบริเวณลำต้นของไม้แสมไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นไปได้ว่าต้นไม้จำนวนมากในแปลงเก็บตัวอย่างมีร่องรอยของหนอนเจาะบริเวณลำต้นทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทำลายของเห็ดราก็ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าต้นไม้จำนวนมากในแปลงเก็บตัวอย่างไม่มีการปรากฏของเห็ดราให้พบเห็นหรือไม้แสมมีเห็ดราอาศัยอยู่บนต้นแต่ก็ยังมีความสามารถในการฟื้นตัวของเรือนยอดได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม้แสมเป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่มีความยืดหยุ่น (resilience)

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ในระดับแปลง แต่คณะนักวิจัยมีข้อสังเกตหากมีการวิเคราะห์ข้อมูลในระดับรายต้นโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะทางสุขภาพกับการฟื้นตัวของเรือนยอดน่าจะให้ผลการศึกษาที่แม่นยำแต่จะทำได้ก็ต่อเมื่อมีเครื่องมือในการกำหนดตำแหน่งของต้นไม้จากภาคพื้นดินกับภาพเรือนยอดของต้นไม้จากภาพถ่ายที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่มีความถูกต้องสูง แต่ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดคือไม่มีเครื่องมือดังกล่าว อย่างไรก็ตาม จากข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ คณะนักวิจัยคาดว่าผลการศึกษาที่ได้อาจไม่แตกต่างกัน

Table 1 Linear regression models for the plot-wise recovery of tree crowns between January 2018 , April 2019 and values in brackets indicate the 95% confidence interval. ***p<0.001; **p<0.01; *p<0.05.

	Presence of woodborers	Presence of fungal fruiting bodies	Presence of stem wound
Plot latitude	0 (-0.01;0.01)	0 (0;0.01)	0 (0;0.01)
Plot longitude	0.01 (0;0.02)	0 (0;0.01)	0.01 (0;0.01)
Relative density of *Avicennia* spp.	-3.23 (-9.25;2.79)	-0.91(-5.79;3.97)	-1.23 (-6.29;3.83)
Gap fraction in 2018 (%)	0.91*** (0.79;1.02)	0.97*** (0.87;1.06)	0.94*** (0.85;1.04)
Presence of woodborers	5.71 (-3.93;15.34)		
Gap fraction (2018) × woodborers	-1.06 (-2.12;0)		
Presence of fungal fruiting bodies		7.99 (-82.79;98.77)	
Gap fraction (2018) × fungal fruiting bodies		-5.16 (-10.97;0.65)	
Presence of stem wounds			4.32 (-6.29;14.92)
Gap fraction (2018) × stem wound			-1.41** (-2.44; -0.39)
R^2	0.97	0.98	0.98

สรุป

จากการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประเมินสุขภาพของไม้แสมต้องมีการสำรวจลักษณะของเรือนยอด เนื่องจากลักษณะของเรือนยอดของต้นไม้ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงความแข็งแรงของต้นไม้ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าไม้แสมสามารถพื้นตัวได้อย่างรวดเร็วหลังจากถูกทำลายจากแมลงกินใบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไม้แสมมีความยืดหยุ่นสูงในต้นไม้ที่มีสุขภาพดี แต่ในต้นไม้ที่พบปัญหาสุขภาพความสามารถในการฟื้นตัวจะลดลง โดยปัญหาที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ต้นไม้ที่พบบาดแผลบริเวณลำต้น อาจกล่าวได้ว่าบาดแผลบริเวณลำต้นเป็นลักษณะทางสุขภาพเพียงลักษณะเดียวที่อาจเป็นตัวบ่งชี้สถานะทางสุขภาพได้จากพื้นดิน ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นประโยชน์จากการนำอากาศยานไร้คนขับมาสำรวจเรือนยอดของป่าไม้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในการตรวจสอบประเมินสุขภาพของต้นไม้เพื่อการจัดการป่าชายเลนให้มีสภาพดีขึ้นได้ การศึกษาต่อจากนี้ควรมีการนำวิธีการสำรวจทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับวิเคราะห์

ร่วมกับภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อการติดตามสุขภาพของไม้ป่าชายเลนในระยะยาวและมีความต่อเนื่อง และในปัจจุบันนี้ข้อมูลจากดาวเทียมมีความละเอียดมากขึ้นกว่าในอดีตและมีแนวโน้มที่จะมีความละเอียดมากยิ่งขึ้นไปในอนาคต นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียมยังมีการกำหนดรอบการบันทึกข้อมูลเป็นประจำ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำหรับการติดตามตรวจสอบสุขภาพของพรรณไม้

คำนิยม

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนจากสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ รหัสทุน สพภ.-วช. 1/2561 เรื่อง การพัฒนาแอปพลิเคชันออนไลน์เพื่อการประเมินสุขภาพของต้นไม้ป่าชายเลนโดยใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายภาพ ขอบคุณ ผศ. ดร.สิทธิชัย ชูสำโรง สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในปี พ.ศ. 2561 ขอบคุณ Michael Jenke สำหรับความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม R ขอบคุณคุณวรัทยา พรมชู กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ในการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา ขอบคุณข้อเสนอแนะจากนักวิจัยของเครือข่ายหน่วยวิจัยเชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านวนวัฒนวิทยาป่าชายเลน (special research unit for mangrove silviculture) คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

REFERENCES

Arun, P.R. and M. Mahajan. 2012. Ecological costs and benefits of teak defoliator (*Hyblaea puera* Cramer) outbreaks in a mangrove ecosystem. **Mar. Sci.** 2: 48–51.

Biswas, O., B. Panja, P.Kr. Garain., S.Kr. Shah, B.Kr. Modak. and B. Mitra. 2017. *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) [Lepidoptera : Hyblaeidae] infestation on *Avicennia alba* Blume in Sunder ban Biosphere Reserve, West Bengal, India. **Proc. Zool. Soc.** 71: 331–335.

Eslami-Andergol, L., P.E.R. Dale, J.M. Knight. and H. McCallum. 2015. Approaching tipping points: A focused review of indicators and relevance to managing intertidal ecosystems. **Wetlands Ecol. Manage.** 23: 791–802.

Fernandes, M.E.B., A.A.M. Nascimento. and M.L. Carvalho. 2009. Effects of herbivory by *Hyblaea puera* (Hyblaeidae: Lepidoptera) on litter production in the mangrove on the coast of Brazilian Amazonia. **J. Trop. Ecol.** 25: 337–339.

Lewis, R.R., E.C. Milbrandt, B. Brown, K.W. Krauss, A.S. Rovai, J.W. Beever. and L.L. Flynn. 2016. Stress in mangrove forests: Early detection and preemptive rehabilitation are essential for future successful worldwide mangrove forest management. **Mar. Pollut. Bull.** 109: 764–771.

Lewis, M. and R. Pryor. 2013. Toxicities of oils, dispersants and dispersed oils to algae and aquatic plants: Review and

database value to resource sustainability. **Environ. Pollut.** 180: 345–367.

Lewis, M., R. Pryor and L. Wilking. 2011. Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: A review. **Environ. Pollut.** 159: 2328–2346.

Lovelock, C.E., D.R. Cahoon, D.A. Friess, G.R. Guntenspergen, K.W. Krauss, R. Reef, K. Rogers, M.L. aunders, F. Sidik, A. Swales, N. Saintilan, L.X. Thuyen. and T. Triet. 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. **Nature** 526: 559–563.

Mehlig, U. and M. Menezes. 2005. Mass defoliation of the mangrove tree *Avicennia germinans* by the moth *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in Equatorial Brazil. **Ecotropica** 11: 87–88.

Piyakarnchana, T. 1981. Severe defoliation of *Avicennia alba* Bl. by Larvae of *Cleora injectaria* Walker. **J. Sci. Soc. Thailand.** 7: 33–36.

R Core Team. 2020. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria.

Tran, L.X. and A. Fischer. 2017. Spatiotemporal changes and fragmentation of mangroves and its effects on fish diversity in Ca Mau province (Vietnam). **J. Coast. Conserv.** 21: 355–368.

Yim, M.W. and N.F.Y. Tam. 1999. Effects of wastewater-borne heavy metals on mangrove plants and soil microbial activities. **Mar. Pollut. Bull.** 39: 179–186.

นิพนธ์ต้นฉบับ

คุณสมบัติถ่านไม้จากไม้พื้นที่สูงต่างถิ่น 5 สายพันธุ์ โดยกระบวนการเผาถ่านแบบสองขั้นตอนดัดแปลง

Properties of Charcoal from Five Exotic High Land Tree Species Using a Modified Two-Step Carbonization Method

กฤติน สุทธิวารินทร์กุล[1] **Kritin Suttiwarinkul**[1]

พงษ์ศักดิ์ เฮงนิรันดร์[1*] **Pongsuk Hengniran**[1*]

ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ[1] **Trairat Neimsuwan**[1]

[1]ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[1]Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: fforpsh@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 19 พฤษภาคม 2564 **รับแก้ไข** 23 มิถุนายน 2564 **รับลงพิมพ์** 29 มิถุนายน 2564

ABSTRACT

This research focused on the properties of high-quality charcoal derived from High Land Exotic tree species (HETS) planted under a reforestation program in the Angkhang Royal Agricultural Station. Five potential species namely, *Cinnamomum camphora* (L.) Presl, *Prunus cerasoides* D.Don, *Liquidambar formosana* Hance, *Fraxinus griffinthii* C.B. Clarke, and *Acacia confusa* Merr. were selected. These trees were carbonized by applying a new technique (called the two-step carbonization) through modified 200-liter charcoal kilns (KP1 and KP2), made in our previous works. After carbonization, the charcoal properties were studied by comparing their fuel and adsorption properties. This included Proximate Analysis, Ultimate Analysis, Calorific Value, and Iodine Number. The results indicated that both types of charcoal kilns had no significant difference with regards to the means of fuel and adsorption properties. The moisture content of *A. confusa* had the lowest mean and the highest mean *C. camphora* at 4.70% and 6.81%, respectively. The volatile compound value of *C. camphora* had the lowest mean and *A. confusa* had the highest mean at 6.22% and 12.35%, respectively. The mean ash value of *A. confusa* was the lowest at 2.33%, while *C. camphora* had the highest means at 5.86%. Fixed carbon values of *L. formosana* and *C. camphora* had the lowest and highest mean at 77.00% and 81.11%, respectively, which is consistent with the ultimate analysis of carbon element percentage. The

mean calorific value of *L. formosana* was the lowest at 6,942.2 cal/g and *A. confusa* had the highest mean at 7,458.9 cal/g. The Iodine adsorption number was between 472.26 - 689.31 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$, which was higher than the average Iodine adsorption number of typical wood charcoal and close to the minimum activated carbon of 600 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$.

Keyword: Charcoal, Exotic species, Carbonization, Kiln, Adsorption

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้จากไม้ปลูกบนพื้นที่สูงเพื่อฟื้นฟูป่า ณ สถานีเกษตรหลวงอ่างขาง ที่มีศักยภาพจำนวน 5 ชนิด คือ การบูร นางพญาเสือโคร่ง เมเปิ้ลหอม จันทร์ทองเทศ และกระถินดอย โดยประยุกต์ใช้การเผาถ่านแบบสองขั้นตอนที่ถูกพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ร่วมกับเตาเผาถ่านดัดแปลงจากถังน้ำมันสองร้อยลิตร คือ เตา KP1 และ KP2 ที่ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ ถ่านไม้ที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงและคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้เปรียบเทียบกัน ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ การวิเคราะห์ค่าความร้อน และการวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน ผลการศึกษาพบว่าเตาเผาถ่านทั้งสองชนิด ให้ค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์ด้านเชื้อเพลิงและด้านการดูดซับมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยพบว่าร้อยละความชื้นของกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 4.70 และ 6.81 ตามลำดับ ร้อยละสารระเหยการบูรมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 6.22 และ 12.35 ตามลำดับ ร้อยละขี้เถ้ากระถินดอยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรสูงสุด ที่ 2.33 และ 5.86 ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนเสถียรของเมเปิ้ลหอมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและการบูรมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ร้อยละ 77.00 และ 81.11 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ร้อยละธาตุคาร์บอน ขณะที่ค่าความร้อน เมเปิ้ลหอม มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดและกระถินดอยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 6,942.2 cal/g และ 7,458.9 cal/g ตามลำดับ โดยที่ค่าการดูดซับไอโอดีนมีค่าอยู่ระหว่าง 472.26 - 689.31 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$ ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับเฉลี่ยของถ่านไม้โดยทั่วไปและใกล้เคียงกับค่าขั้นต่ำของถ่านกัมมันต์ที่ 600 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$

คำสำคัญ: ถ่านไม้ ไม้ต่างถิ่น คาร์บอไนเซชั่น เตาเผาถ่าน การดูดซับ

คำนำ

พื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นต้นน้ำที่สำคัญได้ถูกบุกรุกและลักลอบตัดไม้เป็นจำนวนมากจนส่งผลกระทบต่อพื้นที่ป่าไม้และสภาพแวดล้อมของประเทศเป็นอย่างมาก โดยการบุกรุกพื้นที่ป่าส่วนใหญ่จะเป็นการบุกรุกเพื่อทำเกษตรกรรม เช่น การปลูกพืชไร่/พืชหมุนเวียน การปลูกฝิ่น และเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น จนกระทั่งพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช (รัชกาลที่ 9) ได้เสด็จผ่านบริเวณดอยอ่างขาง ทอดพระเนตรเห็นว่าชาวบ้านทำการปลูกฝิ่นแต่ยังยากจน ทั้งยังทำลายทรัพยากรป่าไม้ต้นน้ำลำธารที่เป็นแหล่งสำคัญต่อระบบนิเวศของประเทศ จึงได้ทำการหาทางแก้ไข โดยการจัดตั้งสถานีเกษตรหลวงอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ อันเป็นโครงการส่วนพระองค์ขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2514 ประเทศไต้หวันได้จัดส่งผู้เชี่ยวชาญมาศึกษาสภาพพื้นที่และความเหมาะสมในการปลูกพันธุ์ไม้ต่างถิ่น เพื่อส่งเสริมอาชีพ

ปลูกป่าให้กับชาวบ้าน อันจะลดปัญหาการปลูกฝิ่น เพิ่มพื้นที่ป่า และรักษาระบบนิเวศต้นน้ำลำธารให้กับประเทศไทย (Pathpanth, 2003; Phankham, 2004; Terasuwan, 2017)

การปลูกไม้ท้องถิ่นและปลูกไม้ต่างถิ่นภายในสถานีฯ อย่างยั่งยืนนั้น ชาวบ้านควรมีรายได้ในการปลูกป่าควบคู่ไปด้วย ทางสถานีฯ จึงได้นำเสนอการใช้ประโยชน์ไม้อย่างครบวงจรขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีไม้เศษเหลือที่ไม่สามารถแปรรูปได้โดยง่าย เช่น กิ่งไม้ ปลายไม้ รากไม้ หรือส่วนของลำต้นที่ไม่ได้ขนาด ทางสถานีฯ จึงได้เสนอให้ทางคณะผู้วิจัยเข้ามาช่วยปรับปรุงกระบวนผลิตถ่านคุณภาพสูงจากเศษเหลือเหล่านี้ โดยเน้นการใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงเป็นหลัก หรือถ้าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานดูดซับที่มีมูลค่าสูงกว่าก็จะเป็นเรื่องที่ดี ทางคณะผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกไม้ที่คาดว่าเมื่อนำมาผลิตเป็นถ่านแล้วก็จะได้ถ่านไม้คุณภาพดีโดยอาศัยผลการวิจัยก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัย เมื่อคำนึงถึงศักยภาพของชนิดไม้แล้วจึงได้ตกลงเลือกใช้ไม้ต่างถิ่นสำหรับปลูกบนพื้นที่สูงห้าชนิด คือ เมเปิ้ลหอม กระถินดอย จันทร์ทองเทศ การบูร และนางพญาเสือโคร่ง ตามลำดับ (Pathpanth, 2003; Phankham, 2004; Terasuwan, 2017)

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้จากไม้ปลูกบนพื้นที่สูงเพื่อฟื้นฟูป่า โดยกระบวนการผลิตถ่าน (carbonization process) ที่ดีจะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอนคือ 1) การไล่ความชื้น (dehydration) 2) การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (carbonization) 3) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) และ 4) การทำให้เย็น (cooling) (Phuymoontree, 2005; Kuhakan, 2007; Junkaw, 2010; Tippayawong, 2010; Madhiyanon, 2015) โดยปรับให้แต่ละขั้นตอนมีการควบคุมอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตัวเตาเผาถ่านสำหรับขั้นตอนที่ 1-3 ร่วมกับการเปิดให้อากาศเข้าเต็มที่แล้วใช้ขี้เถ้าผสมทรายกลบทันทีในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยขอเรียกว่าเป็น “กรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน” และนำมาประยุกต์ใช้กับเตาเผาถ่านที่ดัดแปลงจากถังน้ำมันสองร้อยลิตรของคณะผู้วิจัยที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้ คือ เตา KP1 และ เตา KP2 นั่นเอง (Sajjakul, 2016)

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ในการทดลองศึกษาการผลิตถ่านไม้จากไม้ต่างถิ่น 5 ชนิด คือ การบูร (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl) นางพญาเสือโคร่ง (*Prunus cerasoides* D.Don) เมเปิ้ลหอม (*Liquidambar formosana* Hance) จันทร์ทองเทศ (*Fraxinus griffinthii* C.B. Clarke) และกระถินดอย (*Acacia confusa* Merr.) เนื่องจากไม้ต่างถิ่นสำหรับปลูกบนที่สูงทั้งห้าชนิดนี้มีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกับชนิดพันธุ์ไม้ท้องถิ่น มีลักษณะเนื้อไม้ที่ดี เหมาะสมกับการนำมาปลูกในเชิงเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยไม้ทั้ง 5 ชนิดนี้ได้รับการสนับสนุนจากทางรัฐบาลไต้หวัน

วิธีการ

ทำการผลิตถ่านไม้โดยการเปรียบเทียบอิทธิพลของเตาเผาถ่านชั่วคราวแบบแนวนอนที่ดัดแปลงจากถังน้ำมัน 200 ลิตร จำนวนสองประเภท คือ เตาเผาถ่าน KP1 และ KP2 และชนิดของไม้ต่างถิ่นทั้ง 5 ชนิด ดังรายละเอียดข้างต้น ต่อคุณสมบัติของถ่านไม้ที่ผลิตได้โดยใช้กรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน (two-step carbonization)

จาก Figure 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเตา KP1 และ KP2 คือ ห้องเผาไหม้ ส่วนผลิตถ่าน ปล่องควัน ช่องเก็บน้ำส้มควันไม้ และท่อดักน้ำส้มควันไม้ โดยส่วนผลิตถ่านจะเป็นท่อซ้อนท่อเพื่อให้สามารถดึง

เอาถ่านไม้ที่กำลังลุกโชนออกมากระตุ้นด้วยอากาศได้ (activation by air) โดย KP2 จะแตกต่างจาก KP1 ตรงที่ส่วนผลิตถ่านทำจากถัง 200 ลิตรจำนวนสองถังมาเชื่อมต่อกัน ส่วน KP1 จะใช้เพียงถังเดียว

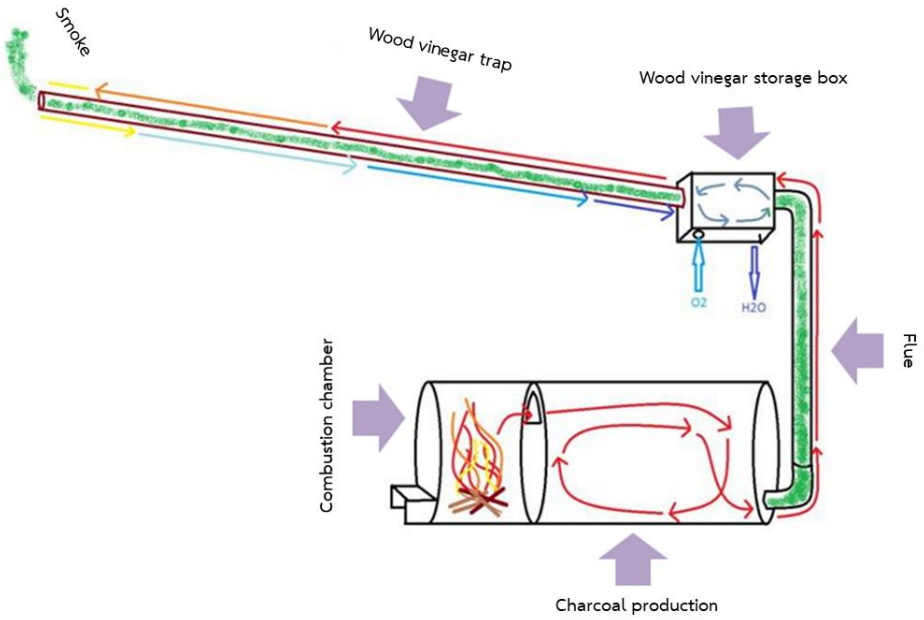


Figure 1 The main components of the new modified charcoal kilns (KP1 and KP2) constructed from 200 litter oil drums.

การเตรียมวัตถุดิบและการเผาถ่าน

1. นำไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2-6 นิ้ว ความยาว 1–1.2 เมตร ผึ่งในกระแสอากาศ ระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อลดความชื้นในไม้สดลง โดยมีความชื้นในไม้ประมาณ 25-35% ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการผึ่งในกระแสอากาศ

2. เริ่มกระบวนการเผาถ่านตามหลักวิชาการ (4 steps) ร่วมกับกรรมวิธีการเผาถ่านเพิ่มเติมแบบสองขั้นตอน คือ 1) การไล่ความชื้น (dehydration) 2) การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (carbonization) 3) การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) และ 4) การทำให้เย็น (cooling) โดยแบ่งออกเป็น เตาเผาถ่าน จำนวน 2 ชนิด และชนิดไม้ จำนวน 5 ชนิด

การทดสอบคุณสมบัติของถ่านไม้

1. การวิเคราะโดยประมาณ (proximate analysis) ประกอบไปด้วย

1.1 ค่าความชื้น (moisture content) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 2867-04

1.2 ค่าปริมาณสารระเหย (volatile matter) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 5832–98

1.3 ค่าปริมาณขี้เถ้า (ash) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM 2866-94

1.4 ค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนเสถียร (%) = 100 – (ปริมาณความชื้น (%) + ปริมาณสารระเหย (%) +

ปริมาณขี้เถ้า (%)) โดยใช้เตาเผา Muffle Furnace (MF-05) เตาเผา Lenton Thermal (AWF 13/25) และเตาอบ Memmert (รุ่น UF160)

2. การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ CHNS Elemental Analyzer (CHNS 2400 series II ของ PerkinElmer)

3. การวิเคราะห์ค่าความร้อน (calorific value) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน Bomb Calorimeter (รุ่น AC-500 ของ LECO)

4. การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน (iodine number) วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94

ผลและวิจารณ์

ในงานวิจัยการผลิตถ่านไม้คุณภาพสูงเลือกการใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยศึกษาจาก 2 ปัจจัย คือชนิดไม้แบ่งออกเป็น 5 ชนิด และชนิดเตาเผา 2 ชนิด เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของถ่านที่ได้ โดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติของถ่านดังนี้

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในงานวิจัยการผลิตถ่านไม้คุณภาพสูงเลือกการใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากอิทธิพลของสองปัจจัยหลัก คือชนิดไม้จำนวน 5 ชนิด และชนิดเตาเผาถ่านจำนวน 2 ชนิด เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและด้านการดูดซับของถ่านไม้ที่ได้ โดยใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีผลการศึกษาคุณสมบัติของถ่านตาม Table 1 ดังนี้

Table 1 Influence of charcoal kiln and tree species on the main properties of the researched charcoals.

Factors	Moisture Content (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)	C (%)	HHV (cal/g)	Iodine Number (mg/g)
Species	0.0348	0.1021	0.0001	0.2404	0.0093	0.0042	0.0443
Kiln	0.3320	0.0846	0.6093	0.0565	0.0408	0.5071	0.8919
Species*Kiln	0.5689	0.1490	0.6400	0.2176	0.1553	0.5783	0.0028

จาก Table 1 แสดงถึงค่าการวิเคราะห์ทางสถิติ F โดยศึกษาอิทธิพลหลักคือ ชนิดไม้ ชนิดเตาเผาถ่าน และอิทธิพลร่วมของชนิดไม้กับชนิดเตาเผาถ่านต่อคุณสมบัติถ่านไม้ที่สำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หากพบว่าค่าใดที่วิเคราะห์ได้ในตารางต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติถ่านไม้ในคอลัมน์ดังกล่าวโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันของปัจจัยหลักทั้งสองจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเฉพาะค่าเฉลี่ยของอิทธิพลหลัก คือ ชนิดไม้ และชนิดเตาเผาถ่านต่อคุณสมบัติถ่านไม้ที่ได้ต่อไปใน Table 2

โดยใน Table 2 จะทำศึกษาคุณสมบัติของถ่านไม้ที่ผลิตได้ แบ่งออกเป็น การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง ประกอบด้วยการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ และการวิเคราะห์ค่าความร้อน ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านดูดซับจะใช้การวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีนเป็นค่าอ้างอิง โดยมีการนำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547) ถ่านดูดกลิ่น (มผช. 180/2560) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) มาช่วยในการเปรียบเทียบ พบว่าคุณสมบัติของถ่านไม้ ที่ได้จากการศึกษา สามารถมีค่าคุณสมบัติผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนทั้งสองมาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเฉพาะคุณสมบัติด้านการดูดซับตามมาตรฐานของถ่านกัมมันต์นั้นมีเพียงไม้กระถินดอย และไม้จันทร์ทองเทศเท่านั้นที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) ซึ่งสามารถสรุปค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง และคุณสมบัติทางด้านการดูดซับใน Table 2 ดังต่อไปนี้

จาก Table 2 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าสถิติโดยเฉลี่ยของปัจจัยหลักแบ่งออกเป็น ชนิดไม้ และชนิดเตา และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบคู่โดยวิธีของ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านไม้หุงต้ม (มผช.๖๕๗/๒๕๔๗) ถ่านดูดกลิ่น (มผช.๑๘๐/๒๕๖๐) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์ (มอก. 900 - 2547) ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติของถ่านดังนี้

การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย

1. ปริมาณความชื้น (moisture content, MC)

ปริมาณความชื้นภายในถ่านไม้จะทำให้การค่าความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้มีค่าต่ำลง เพราะต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไประเหยความชื้นจากถ่านไม้ออกก่อน ดังนั้นถ่านไม้ที่ดีจึงควรมีความชื้นไม่สูงมาก จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 5.82% ต่ำกว่าเตา KP2 ที่มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 6.23% และพบว่าชนิดของไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้กระถินดอยมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยต่ำสุด 4.70% ขณะที่ถ่านไม้การบูรมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 6.81%

2. ค่าปริมาณสารระเหย (volatile organic compounds, VOCs)

เพื่อศึกษาถึงปริมาณสารระเหยที่ไม่ควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากสัดส่วนร้อยละของสารระเหยได้จะส่งผลต่อคุณภาพของถ่านไม้โดยตรง โดยปริมาณสารระเหยที่ปลดปล่อยเมื่อได้รับความร้อนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ได้รับจากการใช้ถ่านเป็นแหล่งความร้อนโดยเฉพาะในการปิ้งย่างเนื่องจาก

มีสารก่อมะเร็งปนเปื้อน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) อยู่ในสารระเหยได้เหล่านี้ ดังนั้นค่านี้จึงไม่ควรสูงมาก จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 8.48% ต่ำกว่าเตา KP2 มีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 11.02% ซึ่งต่างจากอิทธิพลของชนิดไม้โดยพบว่ามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้การบูรมีค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยต่ำสุด 6.22% ขณะที่ไม้กระถินดอยมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยสารระเหยสูงสุด 12.35%

3. ค่าปริมาณขี้เถ้า (ash)

ปริมาณขี้เถ้าหมายถึงปริมาณของสารอนินทรีย์ในเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำลงเนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ให้ความร้อนได้ จากการวิเคราะห์แยกอิทธิพลของแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ย 4.88% สูงกว่าเตา KP2 มีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ย 4.66% แต่กลับพบว่าชนิดไม้ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณขี้เถ้าในถ่านไม้โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าไม้กระถินดอยมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 2.33% และไม้การบูรมีปริมาณขี้เถ้าเฉลี่ยสูงสุด 5.86%

4. ค่าปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon, FC)

คาร์บอนเสถียรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สามารถเผาไหม้ให้พลังงานได้ ยิ่งมีร้อยละคาร์บอนเสถียรที่สูงถ่านไม้ยิ่งเผาไหม้ให้ความร้อนได้ยาวนานและสม่ำเสมอ ในการวิเคราะห์นั้นหลังจากหักปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย และปริมาณขี้เถ้าออกจากถ่านไม้แล้ว สัดส่วนที่เหลือก็คือปริมาณคาร์บอนเสถียรนั่นเอง จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตา KP1 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ย 80.83% สูงกว่าเตา KP2 มีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ย 78.32% และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยไม้เมเปิ้ลมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ยต่ำสุด 77.01% และไม้การบูรมีปริมาณคาร์บอนเสถียรเฉลี่ยสูงสุด 80.63%

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis)

เพื่อศึกษาปริมาณธาตุ C H N S และ O ในถ่าน โดยในงานนี้จะเน้นที่การวิเคราะห์ร้อยละคาร์บอนเป็นหลักเพราะเป็นค่าที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของถ่านไม้ แต่กรณีของถ่านหินอาจจำเป็นต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบร้อยละของซัลเฟอร์อีกหนึ่งตัว ผลการเปรียบเทียบร้อยละคาร์บอนและร้อยละคาร์บอนเสถียรของถ่านไม้พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตา KP1 มีร้อยละคาร์บอนเฉลี่ย 84.50 สูงกว่าเตา KP2 ที่มีร้อยละคาร์บอนอยู่ที่ 78.71 และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้กระถินดอย และไม้นางพญาเสือโคร่งมีร้อยละคาร์บอนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 84.74 และไม้เมเปิ้ลมีร้อยละคาร์บอนต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ 80.18

Table 2 Effect of kiln type and tree species on the Proximate analysis, Ultimate Analysis (C %), Calorific Value, and Iodine Number of charcoals derived.

Factors	Moisture Content (%)	Volatile Matter (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)	C (%)	HHV (cal/g)	Iodine Number (mg/g)
Standard for Charcoal Utilization							
TCPS. 657/2547	< 10%	< 25%	< 8%	> 57%		6,000 < cal/g	
TCPS. 180/2560	< 8%						> 150
TIS. 900 – 2547	< 8%						> 600
Kiln							
KP1	5.82±1.36^{A}	8.48±4.25^{A}	4.88±1.75^{A}	80.83±3.44^{A}	84.50± 2.88^{A}	7215.17±283.77^{A}	576.94±143.69^{A}
KP2	6.23A ± 1.23^{A}	11.02±4.71^{A}	4.66±1.68^{A}	78.32±3.84^{A}	82.71±2.79^{B}	7193.65±275.03^{A}	582.66±155.08^{A}
Species							
L. formosana	6.62±2.03^{AB}	11.30±2.87^{A}	5.65±2.19^{A}	77.00±2.66^{A}	80.18±2.19^{B}	6942.2±356.11^{B}	553.17±204.07^{AB}
A. confusa	4.70±0.89^{B}	12.35±5.59^{A}	2.33±0.44^{B}	80.63±5.15^{A}	84.74±2.33^{A}	7458.9±130.13^{A}	689.31±176.94^{A}
C. camphora	6.81±1.13^{A}	6.22±3.03^{A}	5.86±0.24^{A}	81.11±2.06^{A}	83.92±2.17^{AB}	7423.5±214.59^{A}	616.37±90.00^{AB}
F.griffinthii	5.84±0.14^{AB}	9.26±2.62^{A}	4.49±0.32^{A}	80.42±2.58^{A}	84.43±1.31^{A}	7204.7±149.93^{AB}	567.91±110.34^{AB}
P. cerasoides	6.17±0.22^{AB}	9.61±5.95^{A}	5.51±0.83^{A}	78.71±5.05^{A}	84.74±3.97^{A}	7082.8±205.44^{AB}	472.26±138.60^{B}

Remark: * Values are represented as mean±SD and values followed by the same letter(s) in each column are not significantly different (p≥0.05).

** TCPS. 657/2547 (Charcoal for cooking), TCPS. 180/2560 (Charcoal for Deodorizer), TIS. 900 – 2547 (for Activated Charcoal)

การวิเคราะห์ค่าความร้อน (calorific value, CV)

ค่าพลังงานความร้อนในที่นี้หมายถึงพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนมีความสัมพันธ์กับโดยตรงกับร้อยละของคาร์บอนเสถียร โดยงานวิจัยนี้จะหมายถึงค่าความร้อนสูง (high heating value, HHV) อันเป็นค่าความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ของเชื้อเพลิงที่ทำการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์แยกแต่ละปัจจัยดัง Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตาชนิด KP1 มีค่าความร้อนเฉลี่ย 7,215.17 cal/g สูงกว่าเตา KP2 มีค่าความร้อนเฉลี่ย อยู่ที่ 7,193.65 cal/g และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้เมเปิ้ลหอมมีค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด 6,942.2 cal/g ขณะที่ไม้กระถินดอยมีค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงสุด 7,458.9 cal/g

การวิเคราะห์การดูดซับไอโอดีน (iodine number)

การวิเคราะห์ Iodine Number ใช้ในการประยุกต์เพื่อทดสอบ/ศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้ โดยประยุกต์ใช้สายละลายไอโอดีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กในระดับเดียวกับโมเลกุลของก๊าซในการวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนหรือพื้นที่ผิวของของถ่านไม้ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้งสองมีอิทธิพลร่วมกันในการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับ ส่งผลให้เตาเผาถ่านมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดซับของถ่านไม้จากไม้แต่ละชนิด และเมื่อทำการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยจาก Table 2 พบว่าชนิดเตามีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยถ่านไม้ที่ผ่านการผลิตจากเตาชนิด KP1 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ย 576.94 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$ ต่ำกว่าเตา KP2 มีค่าความร้อนเฉลี่ย 582.66 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$ และพบว่าชนิดไม้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้นางพญาเสือโคร่งมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยต่ำสุด 472.26 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$ และไม้กระถินดอยมีค่าการดูดซับไอโอดีนเฉลี่ยสูงสุด 689.31 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$

สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติของถ่านไม้ โดยแบ่งการวิเคราะห์ถ่านออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ทางด้านเชื้อเพลิง ประกอบด้วยการวิเคราะห์โดยประมาณ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุ และการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าปัจจัยของชนิดเตาเผาถ่านไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของถ่านไม้ที่ได้ แต่ชนิดของไม้วัตถุดิบที่เลือกใช้ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของถ่านไม้ที่ผลิตได้ โดยเตาชนิด KP1 และไม้กระถินดอยเหมาะสมจะผลิตถ่านไม้ที่คำนึงถึงคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง เนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยสารระเหยที่ต่ำ มีปริมาณคาร์บอนเสถียรสูง และมีค่าความร้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านและไม้ชนิดอื่น ซึ่งคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของชนิดไม้และชนิดเตาทุกชนิดผ่านมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (มผช.๖๕๗/๒๕๔๗) และจัดอยู่ในกลุ่มถ่านคุณภาพสูง สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านการดูดซับของถ่านไม้ พบว่าปัจจัยของชนิดเตาเผาถ่านส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการดูดซับของถ่านไม้แต่ละชนิด โดยเตา KP2 ให้ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าเตา KP1 จึงเหมาะสมในการผลิตถ่านไม้เพื่อการดูดซับมากกว่า ทั้งนี้ถ่านไม้จากไม้กระถินดอยและไม้การบูรเหมาะสมในการผลิตถ่านไม้ที่คำนึงถึงคุณสมบัติด้านการดูดซับมากที่สุดโดยสามารถผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของถ่านกัมมันต์ได้ อย่างไรก็ตามหากพิจาณานำไปส่งเสริมผลิตเป็นถ่านดูดกลิ่นตามมาตรฐาน มผช. 180/2560 พบว่าถ่านทุกตัวสามารถนำไปต่อยอดส่งเสริมกับชุมชนได้ทั้งหมด เนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยการดูดซับไอโอดีนที่สูงกว่าถ่านไม้

ที่ผลิตจากกรรมวิธีโดยทั่วไปและผ่านเกณฑ์ มผช. 180/2560 ที่ 150 $mg_{iodine}/g_{charcoal}$ ดังนั้นการเลือกใช้เตาผลิตถ่านในงานวิจัยนี้ ถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะของการใช้ประโยชน์ คือการใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงและการใช้ประโยชน์ด้านการดูดซับ เพื่อเลือกใช้เตาและชนิดไม้แต่ละชนิดให้ถูกต้องเหมาะสม และยังเป็นการยืนยันด้วยว่ากรรมวิธีการผลิตถ่านก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตถ่านไม้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์และคุณภาพตามเกณฑ์ของการนำไปใช้งาน

REFERENCES

Junkaw, P. 2010. Technology transfer on construction and charcoal burning technique from 200 liters charcoal kiln. **RMUTP sci.J.** 4(1): 129-140. (in Thai)

Kuhakan, J. 2007. **Charcoal and Wood Vinegar.** Kasetthammachart. Bangkok. (in Thai)

Madhiyanon, T. 2015. **Biomass Combustion.** CDMK printing, Bangkok. (in Thai)

Pathpanth, K. 2003. **Effect of Exotic Trees Thinning on Intercepted Water at the Royal Angkhang Agricultural Station, Changwat Chiang Mai.** M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Phankham, K. 2004. **Effect of Thinning on Growth, Water Use and Some Soil Properties of Exotic Trees Plantation on High Land.** M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Phuymoontree, J. 2005. Making a charcoal and wood vinegar collection by kiln 200 liter. **Appropriate Technology Association** 6(6): 35-39. (in Thai)

Sajjakul, K. 2016. **A Production of Bamboo Activated Charcoal Using Modified Charcoal Kilns: KP1 and KP2.** M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Terasuwan, S. 2017. **Soil Properties and Carbon Storage of Exotic Fast-growing-tree Plantations at the Royal Agricultural Station Angkhang, Chiang Mai Province.** M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Tippayawong, N. 2010. **Biomass Conversion.** Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์แบบจำลอง CLUE-S และแบบจำลอง SWAT ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน และปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

Application of SWAT and CLUE-S Models in Streamflow and Land Use Prediction in the Upper Khwae-Noi Subwatershed, Nakhonthai District, Phitsanulok Province

พิมพ์นิภา ใบกุ **Pimnipa Baiku**
ปิยพงษ์ ทองดีนอก* **Piyapong Tongdeenok***
นฤมล แก้วจำปา **Naruemol Kaewjampa**

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

รับต้นฉบับ 6 พฤษภาคม 2564 **รับแก้ไข** 20 มิถุนายน 2564 **รับลงพิมพ์** 6 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The application of SWAT and CLUE-S models in streamflow and land use prediction in the upper Khwae-Noi subwatershed, Nakhonthai district, Phitsanulok province, aims to study and forecast the land use change and estimate the streamflow in the subwatershed. The CLUE-S land-use change and SWAT hydrological models were used to forecast the future land-use and streamflow changes in 2013, 2018, and 2023.

The results were found that in 2023 most land-use types would tend to increase from 2018, including agricultural areas, water bodies area, and constructed areas with 42.16%, 6.44%, and 1.39%, respectively, while the forest area and miscellaneous area would decline by 45.16% and 4.83%, respectively. The streamflow results indicated that the SWAT model used to estimate the streamflow had an adequate efficiency in estimating the streamflow with R^2 more than 80 percent. The streamflow measurements from the hydrological station (N.36) for calibrating and validating the model during 2000 – 2018, as indicated by the statistical parameters R^2, NSE, and PBIAS of 0.80, 0.74, and 27.10, respectively. The estimated average yearly streamflow during 2013 and 2018 were 107.37 and 70.23 mcm, respectively. The forecasted streamflow in the future (2023) was slightly higher than in 2018, with an increase of 12.06%. The study of hydrological characteristics during 2013, 2018, and

2023, under future land use conditions with the percentage of the rainfall-runoff ratio, found that the rainfall-runoff was the highest in 2013, followed by 2023 and 2018, at 14.87 %, 13.59 %, and 12.17 %, respectively. The results indicate that deforestation and the expansion of the agriculture area significantly increased the streamflow during the initial transition stage. However, the streamflow could decrease considerably in the upper Khwae Noi subwatershed in the long term due to an unbalanced structure of the watershed ecosystem.

Keywords: Streamflow, Upper Khwae-Noi Subwatershed, SWAT Model, Land Use, CLUE-S Model

บทคัดย่อ

การประยุกต์แบบจำลอง CLUE-S และแบบจำลอง SWAT ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน และปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน และประมาณค่าปริมาณน้ำท่า จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ. 2556, พ.ศ. 2561 และปี พ.ศ. 2566 โดยใช้แบบจำลอง CLUE-S และแบบจำลอง SWAT

ผลการศึกษา พบว่า การคาดการณ์การใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2566 ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 42.16, 6.44 และ 1.39 ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ลดลง ร้อยละ 45.16 และ 4.83 การประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการประมาณค่าปริมาณน้ำท่าพบว่า แบบจำลอง SWAT มีประสิทธิภาพระดับดี โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำท่าสถานี N.36 ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อน และสอบเทียบค่าความถูกต้องในช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2561 โดยพิจารณาจากค่าสถิติ R^2, NSE และ PBIAS มีค่า 0.80, 0.74 และ 27.10 ตามลำดับ การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณน้ำท่าสูงกว่าปี พ.ศ. 2561 ร้อยละ 12.06 ส่วนการศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาบางประการในปี พ.ศ. 2556, 2561 และ พ.ศ. 2566 โดยใช้ร้อยละของปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝนพบว่า มีค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2556 รองลงมาคือปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2561 โดยมีค่าร้อยละ 14.87, 13.59 และ 12.17 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย

คำสำคัญ: น้ำท่า ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน แบบจำลอง SWAT การใช้ประโยชน์ที่ดิน แบบจำลอง CLUE-S

คำนำ

น้ำท่า (runoff) เป็นน้ำบนผิวดินที่ไหลมารวมกันสู่ลำน้ำ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากความชื้นในบรรยากาศที่ตกลงมาเป็นฝน ซึ่งในที่สุด จะไปปรากฏที่ลำน้ำที่จุดออก (outlet) ของลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำท่ามีศักยภาพที่มีผลต่อระบบโครงสร้างและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากการเกิดน้ำท่ามีทั้งปริมาณและอัตราแปรผันได้มากน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของลุ่มน้ำ ซึ่งปริมาณน้ำท่ามากจะทำให้เกิดน้ำท่วมและปริมาณน้ำท่าน้อยจะทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนน้ำได้ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งปริมาณน้ำท่าที่มี

ความแปรผันจะส่งผลกระทบต่อการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ การประยุกต์แบบจำลองทางอุทกวิทยาในการประมาณปริมาณน้ำท่ามีความสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ทั้งเรื่องการเตือนภัยน้ำป่าไหลหลากในช่วงฤดูฝน และการวางแผนรับมือภัยแล้งขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในช่วงฤดูแล้ง การนำแบบจำลอง SWAT (soil and water assessment tool) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถจำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ โดยการกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพกายภาพของพื้นที่จริง (Neitsch *et al.*, 2009) สามารถใช้คาดการณ์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และสารเคมีจากเกษตรกรรม โดยมีกระบวนการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นที่ยอมรับทั้งในระดับสากลและในระดับภูมิภาคของประเทศไทยมาประยุกต์ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า

การให้น้ำท่าขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินถือเป็นกิจกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญในการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์โดยนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ เพื่อตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ ทำให้การใช้ทรัพยากรธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเป็นทวีคูณ แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องย่อมส่งผลกระทบต่อทรัพยากรต่าง ๆทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งแบบจำลอง CLUE-S ถูกพัฒนาขึ้นเป็นฟรีแวร์ (freeware) ที่มีขนาดเล็กทำงานเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่ตามขนาดจุดภาพที่กำหนดและสามารถจัดสรรพื้นที่ตามความเหมาะสมโดยอาศัยการกำหนดเงื่อนไขเชิงนโยบาย เช่น พื้นที่หวงห้าม พื้นที่อนุรักษ์ เป็นต้น การกำหนดเงื่อนไขเฉพาะของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ตามปัจจัยขับเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการนำแบบจำลอง CLUE-S มาใช้ในการจำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท และศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตซึ่งการนำแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตนั้น เพื่อช่วยให้เกิดความตระหนักรู้ การปรับตัว และนำไปวางแผนให้ครอบคลุมรอบด้านในพื้นที่ลุ่มน้ำให้มีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดความมั่นคง ยั่งยืน ของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต ดังนั้นการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อศึกษาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและนำผลการประยุกต์แบบจำลอง SWAT ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก เป็นพื้นที่ประสบปัญหาการเกิดน้ำท่วมเป็นประจำทุกปี และในช่วงฤดูแล้งจะประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนมีสภาพพื้นที่มีความลาดชันสูง ประกอบกับปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายประเภท ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากรูปแบบของกิจกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพื้นที่การเกษตร รูปแบบพื้นที่การตั้งถิ่นฐานชุมชนต่าง ๆซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าตลอดจนความต้องการใช้น้ำของชุมชนและภาคส่วนต่าง ๆ ในบริเวณลุ่มน้ำ การนำแบบจำลอง CLUE-S มาช่วยในการทำนายการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดินในอนาคตเพื่อประกอบการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าโดยประยุกต์แบบจำลอง SWAT เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ ในการเตรียมการ รับมือกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคตให้มีความเหมาะสมกับ

สภาพพื้นที่ลุ่มน้ำและคุณภาพชีวิตของประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำได้

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน เป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำน่าน ตั้งอยู่ในจังหวัดพิษณุโลก มีเนื้อที่ประมาณ 1,290,668.29 ไร่ หรือ 2,065.10 ตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนเป็นลุ่มน้ำสาขาทางฝั่งซ้ายของลุ่มน้ำน่าน โดยลำน้ำสายหลักมีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาภูขัดซึ่งสันปันน้ำเป็นเส้นแบ่งเขตกับอำเภอนาแห้ว จังหวัดเลย สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นภูเขาและที่ราบเล็กน้อย ตามแนวลำน้ำสายหลักมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 149 – 1,679 เมตร ความลาดชันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ร้อยละ 12 - 35 ทิศด้านลาดของพื้นที่ลาดเทไปทางด้านทิศตะวันตก พื้นที่ตอนล่างเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำระหว่างหุบเขา มีความยาวลำน้ำรวมทั้งสิ้นประมาณ 251.58 กิโลเมตร (Institute of Water and Agricultural Resources Information (Public Organization), 2012) (Figure 1)

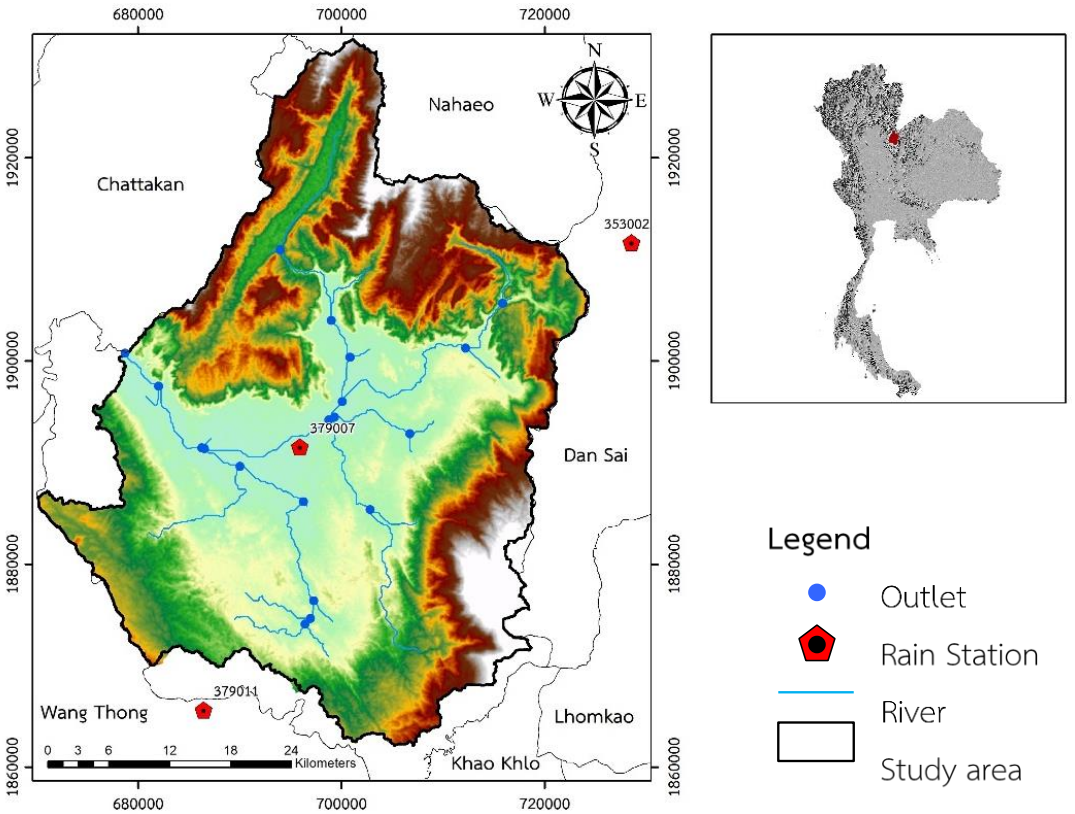


Figure 1 The boundary of upper Khwae-Noi subwatershed, Nakhonthai district, Phitsanulok province. Modified from the Royal Irrigation Department and Meteorological Department of Thailand.

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ด้วยแบบจำลอง CLUE-S 2) การประเมินค่าปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT และ 3) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีวิธีการวิจัยดังนี้

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยแบบจำลอง CLUE-S

1. รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 โดยจำแนกประเภทตามแบบระดับที่ 1 ออกเป็น 5 ประเภท คือ ป่าไม้ (forest) เกษตรกรรม (agriculture) ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (urban) แหล่งน้ำ (water) และเบ็ดเตล็ด (miscellaneous) และข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามการศึกษาของ Khotapun (2012) และ Kiriwongwattana (2007) ได้แก่ ความสูง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ความลาดชัน การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากเส้นลำน้ำ ระยะห่างจากตำแหน่งหมู่บ้าน ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลแอสกี (american standard code for information interchange: ASCII)

2. วิเคราะห์สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อกำหนดความต้องการในการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท โดยคำนวณจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561

3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปัจจัยขับเคลื่อน โดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค (logistic regression) กำหนดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นตัวแปรต้น และปัจจัยขับเคลื่อนเป็นตัวแปรอิสระ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยขับเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท

4. กำหนดค่าความยืดหยุ่น (elasticity) ของการเปลี่ยนแปลงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยกำหนดให้ 0 หมายถึง ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถเปลี่ยนแปลงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นได้ และ 1 หมายถึง ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นได้

5. คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2566 โดยแบบจำลอง CLUE-S นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2561 ข้อมูลลำดับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลปัจจัยขับเคลื่อนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์จากการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติค และข้อมูลความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเป็นรูปแบบเชิงพื้นที่ และทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2566

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

1. รวบรวมข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า ที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model: DEM) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) และชุดดิน (soil series) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climatic data) ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด - ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจากสถานีอุทกวิทยา

1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียมได้แก่ ข้อมูล DEM ขนาดความละเอียด 30×30 เมตร จากผลการเปรียบเทียบตำแหน่งทางกายภาพของสภาพลุ่มน้ำ กับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับความสูงอยู่ในช่วง 148 - 1,679 ม.รทก. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นข้อมูลที่ทำการสำรวจในช่วงปี พ.ศ. 2561 โดยจำแนกให้อยู่ในรูปแบบ SWAT เป็น 18 กลุ่ม และชุดดินซึ่งเป็นหน่วยจำแนกดินที่ละเอียดที่สุด ที่ได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดินของประเทศไทย จากการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน ประกอบด้วยชุดดินทั้งหมด 18 ชุดดิน ในรูปแบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

1.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียม ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุดรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน แสงแดดรายวัน และความเร็วลมรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2561 พร้อมตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา มี 3 สถานี คือ สถานีอุตุนิยมวิทยานครไทย อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก รหัสสถานี 378004 สถานีอุตุนิยมวิทยาหล่มสัก อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชบูรณ์ รหัสสถานี 379002 และสถานีอุตุนิยมวิทยาด่านซ้าย อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย รหัสสถานี 353002 โดยทำการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์อักขระ (.txt)

1.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจากสถานีอุทกวิทยา (observed) รวบรวมเป็นข้อมูลรายวัน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 - 2561 จากกรมชลประทาน ซึ่งในพื้นที่ศึกษามี 1 สถานี คือ สถานี N.36 ณ บ้านหนองกระท้าว ตำบลหนองกระท้าว อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พร้อมตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำท่า ใช้มาเปรียบเทียบกับผลของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT

2. การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน โดยใช้แบบจำลอง SWAT นำเข้าข้อมูล DEM ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลกลุ่มชุดดิน ในกรณีกลุ่มชุดดิน 62 ซึ่งเป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนจะใช้คุณสมบัติของดินจากการรวมรวบข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน กำหนดหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยาวิทยา (hydrological response units: HRUs) ตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของดิน ให้มีค่าแต่ละ HRUs ไม่เกินร้อยละ 10 นำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ทำการประเมินปริมาณน้ำท่าและใช้โปรแกรม SWAT-CUP (SWAT calibration and umcertainty pocedures) ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า ซึ่งแสดงผลในรูปแบบของ Global Sensitivity Analysis โดยแสดงผลในรูปแบบตาราง T–stat และ P–value ว่ามีความสัมพันธ์กับค่า Objective Function

3. เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกแบบจำลอง วิธีการที่นำมาใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย การใช้รูปแบบของกราฟในการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด R^2 (coefficient), ค่า Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) และ PBIAS (percent bias) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})(P_i-\bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2}}\right]^2 \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)\times 100}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)} \quad (3)$$

โดยที่ n = จำนวนขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการประมาณแบบจำลอง

O_i = ค่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง

P_i = ค่าพยากรณ์จากแบบจำลอง SWAT

$\overline{P}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลอง

$\overline{O}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด

การพยากรณ์การประเมินน้ำท่าภายใต้เงื่อนไขการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ทำการประเมินค่าปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง SWAT โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการนำเข้าแบบจำลอง SWAT ดังนี้ ปริมาณน้ำฝนและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบางประการ ได้แก่ ข้อมูลการระเหยน้ำ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศสูงสุด - ต่ำสุดรายวัน โดยการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 30 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2523 - 2561 ในสถานีที่ตั้งและโดยรอบ ได้แก่ สถานี 378004, 379002 และ 353002 ข้อมูลลักษณะกายภาพของลุ่มน้ำประกอบด้วย DEM ขนาดความละเอียด 30×30 เมตร ข้อมูลชุดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จากแบบจำลอง CLUE-S โดยการทำการประเมินปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2566 โดยใช้แบบจำลอง SWAT

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ในลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลกจากการประยุกต์แบบจำลอง CLUE-S ร่วมกับแบบจำลอง SWAT โดยวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่าและคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองในแต่ละปี จากนั้นทำการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในปีฐานและปีอนาคต สามารถอธิบายผลการศึกษาได้ดังนี้

การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 - 2561

การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน พบว่า มีการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับที่ 1 ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงปริมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 - 2561 ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2556 พบว่า พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่ 695,224.22 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 53.87 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ 527,458.27 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.87 พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ 36,226.73 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.80 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ 25,414.14 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.97 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 6,344.93 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.49

2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่ 671,798.30 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 52.05 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ 560,584.33 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 43.43 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ 26,510.61 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.05 พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ 25,280.22 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.97 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 6,494.83 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.50

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 พบว่า มีการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด คือ พื้นที่ป่าไม้ รองลงมา ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่ง

ปลูกสร้าง พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่แหล่งน้ำ ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงจากพื้นที่เดิมร้อยละ 1.82 และ 0.83 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่เกษตรเพิ่มขึ้นจากเดิมมากที่สุด ร้อยละ 2.56 ส่วนการเปลี่ยนแปลงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ป่าไม้ เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 22,953.10, 369.02, 199.26 และ 34.19 ไร่ ตามลำดับ และยังคงสภาพเป็นพื้นที่ป่าไม้ 671,668.65 ไร่ เนื่องนโยบายและมาตรการการส่งเสริมของรัฐ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกพืชเชิงพาณิชย์อย่างรวดเร็ว เช่น โครงการส่งเสริมการปลูกพืชเศรษฐกิจเพื่อทดแทนการปลูกพืชเชิงเดี่ยว (ยางพารา) และโครงการรับจำนำสินค้าการเกษตร ทำให้เกิดการขยายพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ ประกอบกับพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนเป็นลุ่มน้ำที่มีลักษณะทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงสลับซับซ้อน โดยมีสัดส่วนพื้นที่ราบในพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกระจายตัวอยู่บริเวณตอนล่างและระหว่างหุบเขาของพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงมีพื้นที่ใช้ทำการเกษตรกรรมจำกัด เมื่อมีความต้องการเพิ่มผลผลิตจึงเป็นเหตุให้มีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ที่ปรากฏอยู่บริเวณที่ลาดเชิงเขา สันเขา หรือพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่ใกล้แนวชุมชนมากขึ้น รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อปลูกสร้างที่อยู่อาศัย ขยายพื้นที่เพื่อทำการเกษตร และสร้างสาธารณูปโภคต่าง ๆ เพิ่มสูงตาม จึงมีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย ทำให้โครงสร้างของพื้นที่ลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Table 1)

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากข้อมูลสถิติการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตสองช่วง ปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตอีก 5 ปี ข้างหน้า (พ.ศ. 2566) โดยใช้แบบจำลอง CLUE-S พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน มีพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด โดยมีเนื้อที่ 665,347.30 ไร่ รองลงมา ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ 566,607.08 ไร่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ 26,709.50 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ 24,589.03 ไร่ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ 7,415.38 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 51.55, 43.90, 2.07, 1.91 และ 0.57 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปี พ.ศ. 2561 พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 14,284.11 ไร่ โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่เพิ่มขึ้น 6,022.75, 920.55 และ 198.89 ไร่ หรือร้อยละ 42.16, 6.44 และ 1.39 ตามลำดับ โดยพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลงจากปี พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ลดลง 6,451.00 และ 690.92 ไร่ หรือร้อยละ 45.16 และ 4.85 ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kiriwongwattana (2007) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CLUE-S เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่หยอด อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าพื้นที่ป่าไม้จะลดลงอย่างต่อเนื่อง พื้นที่เกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นเพิ่มขึ้น

Table 1 Land utilization during 2013, 2018, and 2023 at the Khwae-Noi Sub-Watershed, Phitsanulok Province.

Land use type	2013		2018		2023	
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Area (rai)	%
Agriculture	527,458.27	40.87	560,584.33	43.43	566,607.08	43.90
Forest	695,224.22	53.87	671,798.30	52.05	665,347.30	51.55
Urban	25,414.14	1.97	26,510.61	2.05	26,709.50	2.07
Water	6,344.93	0.49	6,494.83	0.50	7,415.38	0.57
Miscellaneous	36,226.73	2.80	25,280.22	1.97	24,589.03	1.91
Total	**1,290,668.29**	**100.00**	**1,290,668.29**	**100.00**	**1,290,668.29**	**100.00**

การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน โดยใช้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดิน ปริมาณน้ำฝนรายวัน และสภาพภูมิอากาศรายวัน ทำการประมวลผลปริมาณน้ำท่าระหว่างปี พ.ศ. 2543 - 2561 จากนั้นทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2543 - 2560 และทำการสอบเทียบค่าความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2561 จากนั้นทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละพารามิเตอร์มาทำการประเมินค่าปริมาณน้ำท่า ในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2566 ที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง CLUE-S สามารถอธิบายผลการศึกษาได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

จากการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่า จำนวน 9 ตัวแปร ได้แก่ CH_K2 (Effective hydraulic conductivity the main channel), CN2 (the Curve number), SOL_AWC (the Available water capacity of the soil layer (mm H_2O/mm Soil)), CANMX (Maximum canopy storage), CH_N2 (Manning's N value for the main chanel), ALPHA_BF (the Baseflow alpha factor. (days), SOL_K (the saturated hydraulic conductivity), GWQMN (Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (mm)) และ GW_DELAY (the Groundwater delay (days)) โดยพบว่ากลุ่มตัวแปรที่มีอ่อนไหวสูงกว่าตัวแปรอื่นจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ CH_K2 คือ ค่าตัวแปรของการไหลในทางน้ำสายหลัก CN2 คือ ค่า Curve Number ค่าสัมประสิทธิ์น้ำไหลบ่าบนผิวดินโดยตรง และ SOL_AWC คือ ปริมาณน้ำในดินที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งพิจารณาจากแนวโน้มของค่า NSE ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ตามทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปร ค่า NSE จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ CN2 ลดลง ในขณะที่ CH_K2 และ SOL_AWC เพิ่มมากขึ้น โดยเป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้

จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดจริง ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาของ Wongsakhiri (2011) และ Wuttichatkitcharoen (2016) (Table 2)

Table 2 Sensitivity analysis of the parameters in the SWAT model.

Parameters	Definition	Default
8:R_CH_K2.rte	Effective hydraulic conductivity the main channel	-1.00-0.90
1:R_CN2.mgt	the Curve number	1.00-1.50
9:R_SOL_AWC(..).sol	the Available water capacity of the soil layer. (mm H_2O/mm Soil)	-0.60-0.50
5:R_CANMX.hru	Maximum canopy storage	1,460.00-1,700.00
7:R_CH_N2.rte	Manning's N value for the main chanel	0.45-0.70
2:V_ALPHA_BF.gw	the Baseflow alpha factor. (days)	5.00-10.00
6:R_SOL_K(..).sol	the saturated hydraulic conductivity	-0.40-0.25
4:A_GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur. (mm)	0.40-0.10
3:R_GW_DELAY.gw	the Groundwater delay. (days)	5.00-7.00

2. การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง โดยใช้แบบจำลอง SWAT-CUP จากการคำนวณซ้ำ โดยแปรผันชุดตัวแปรจำนวน 500 ครั้งในช่วงชุดตัวแปรที่พิจารณา สำหรับสถานี N.36 ได้ผลการคำนวณค่า p-Factor และ r-Factor เท่ากับ 0.17 และ 0.04 ตามลำดับ และให้ค่า NSE ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.74 โดยเมื่อพิจารณาจากค่า r-Factor ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.5 แสดงให้เห็นว่าช่วงความกว้างเฉลี่ยของ 95PPU จากการใช้ชุดตัวแปรในช่วงจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่เมื่อพิจารณาค่า p-Factor ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.70 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในช่วง 95PPU มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ตรวจวัดได้จริงอยู่ค่อนข้างมาก สอดคล้องกับ Abbaspour *et al.,* (2015) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NSE ที่มีค่ามากกว่า 0.50 ซึ่งคำนวณได้จากชุดตัวแปรที่ดีที่สุด พบว่าให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Moriasi *et al.,* (2007) โดยได้เลือกชุดตัวแปรที่ดีที่สุดนี้ สำหรับการตรวจสอบแบบจำลองในลำดับต่อไป (Figure 2)

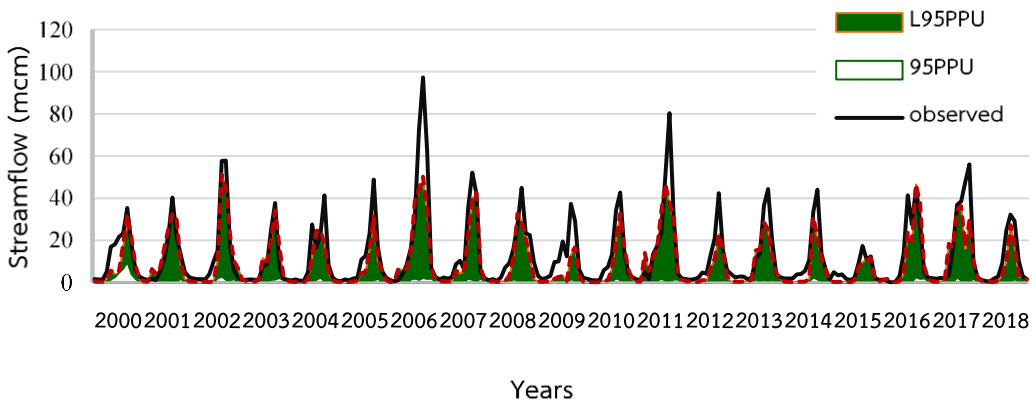


Figure 2 Comparison of streamflow variations between that estimated by the SWAT model and measured data during the calibration (2000 - 2017) and validation (2018) period.

จากค่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุดดังกล่าวเมื่อนำมาทดสอบในช่วงตรวจสอบแบบจำลอง (พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2560) ของสถานี N.36 จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง SWAT ให้ค่า R^2 และ NSE มีค่ามากกว่า 0.50 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Versuri (2005), WongsaKhiri (2011) และ Moriasi *et al.,* (2007) แต่เมื่อพิจารณาผลต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมจากค่า PBIAS พบว่าบางช่วงที่แตกต่าง มีค่าเกิน ร้อยละ 25 ทั้งนี้ผลที่เกิดจากการแปรผันของปริมาณน้ำท่าที่ค่อนข้างมาก เช่น เหตุการณ์น้ำท่วม ซึ่งเป็นผลให้แบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าได้ต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจริง ทำให้ค่า PBIAS ไม่เกินร้อยละ 25 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และเมื่อพิจารณาเส้นกราฟ 1:1 ในภาพรวมของสถานีตรวจวัดจะเห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าน้ำท่าที่ตรวจวัดได้จริง (Table 3, Figure 3 และ Figure 4)

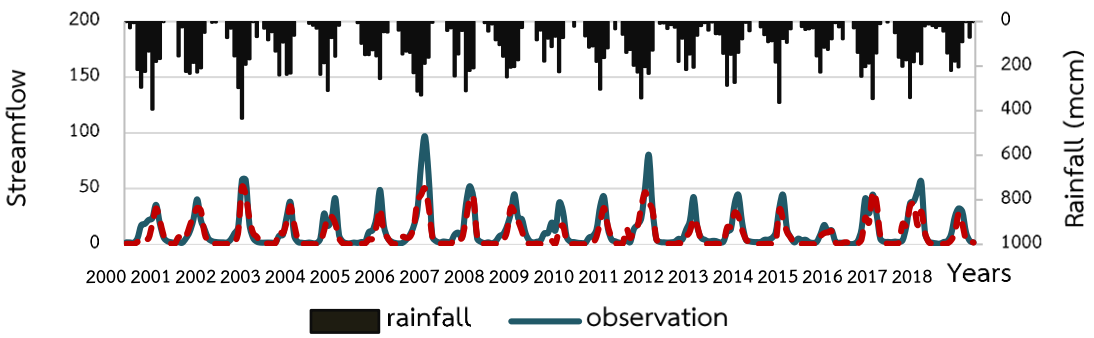


Figure 3 Streamflow and rainfall amount variation during calibration and validation period using swat-cup model.

Table 3 Statistical parameters for calibration and validation of the SWAT model using SWAT-CUP.

Statistic Parameters	Calibrated (2000 - 2017)	Validated (2018)	Total (2000 - 2018)
R^2	0.80	0.71	0.80
NSE	0.74	0.71	0.74
PBIAS	26.20	70.00	27.10

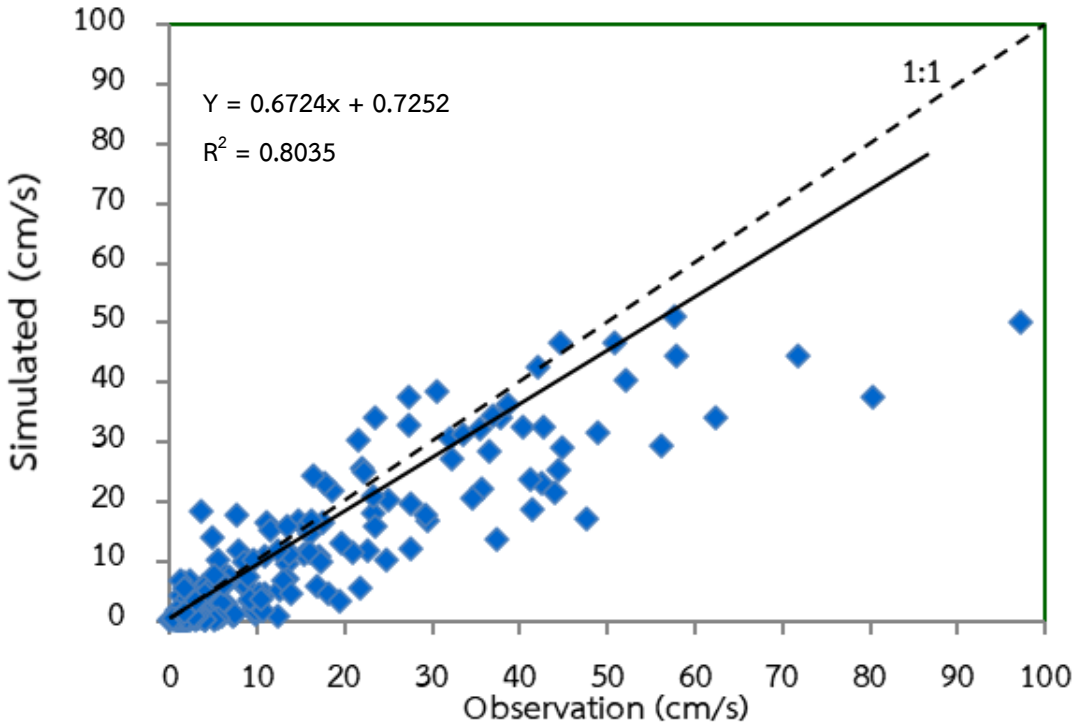


Figure 4 Realtionship between the streamflow simulated using the SWAT model and measured data. The dashed line is the 45^0 linear regression line, while the solid line is the best fit line between the data and modeled values.

3. ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561

การศึกษาปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 พบว่า ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง (simulated) โดยรวมทั้งปีเท่ากับ 107.34 และ 70.23 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริง (observation) พบว่า ในปี พ.ศ. 2556 มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดจริงเท่ากับ 36.48 ล้านลูกบาศก์เมตร และในปี พ.ศ. 2561 มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดจริงเท่ากับ 47.21 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 28.53 ล้านลูกบาศก์เมตร และ

ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.25 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนในปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 27.26 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 0.34 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อแบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าฤดูน้ำหลาก (wet period) (พ.ค. – ต.ค.) พบว่า ปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำหลากมากที่สุดเท่ากับ 63.56 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำท่าฤดูน้ำหลาก เท่ากับ 99.31 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำแล้ง (dry period) (พ.ย. – เม.ย.) ต่างกันเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 8.03 และ 6.67 ล้านลูกบาศก์ (Table 4)

ทั้งนี้อธิบายได้ว่าปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี พ.ศ. 2561 เนื่องจากในปี พ.ศ. 2556 เป็นปีที่มีปริมาณฝนตกสูงกว่าค่าปกติ โดยเฉพาะช่วงเดือนเมษายนที่เป็นช่วงฤดูแล้ง นอกจากนั้นในปีนี้ยังมีพายุใต้ฝุ่น (หวู่ติ๊บ) ที่ก่อตัวบริเวณทะเลจีนใต้ตอนกลางและอ่อนกำลังลงเป็นพายุโซนร้อน เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยบริเวณรอยต่อของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้ฝนตกหนักช่วงเดือนสิงหาคม ปริมาณน้ำท่าค่อย ๆ สะสมเพิ่มสูงในเดือนนี้ ซึ่งส่วนใหญ่แนวโน้มปริมาณน้ำท่าจะแปรผันตามปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนที่ตกลงมาแต่เนื่องจากฝนตกลงมาในปริมาณที่มากกว่าการแทรกซึมลงสู่ดิน

4. การพยากรณ์การประเมินปริมาณน้ำท่าภายใต้เงื่อนไขการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

พบว่า ในปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองรวมตลอดปี พ.ศ. 2566 มีค่าเท่ากับ 78.44 ล้านลูกบาศก์เมตร มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 16.72 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าต่ำสุดในเดือนเมษายน เท่ากับ 0.29 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำหลากเท่ากับ 66.48 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 84.75 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี และมีปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำแล้งเท่ากับ 11.96 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 15.24 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า ในปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี พ.ศ. 2561 เท่ากับ 8.21 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าเล็กน้อย แต่สามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าได้ว่า เมื่อพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ ทำให้กระบวนการอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมามีการซึมลงดินน้อยลง เนื่องจากการทำการเกษตรกรรมทำให้ดินแน่น จึงมีปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าผิวดินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จึงสูงขึ้นเล็กน้อย จากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินดังกล่าวที่ส่งผลต่อลักษณะทางอุทกวิทยา (Witthawatchutikul *et al.*, 2011) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Tangtham and Yuwanannont (1996) ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและลักษณะการไหลของปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสัก โดยการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มสูงขึ้น (Table 4)

การศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาบางประการในปี พ.ศ. 2556, 2561 และ พ.ศ. 2566 ภายใต้เงื่อนไขการใช้ที่ดินในอนาคตในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนโดยใช้ดัชนีบ่งชี้ลักษณะทางอุทกวิทยาจำนวน 2 ดัชนี ได้แก่ ร้อยละปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งต่อปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน (percentang of dry period wet period (Year) ratio) และร้อยละของปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝน (percentang of rainfall runoff ratio) พบว่า ร้อยละปริมาณน้ำท่า

ในช่วงฤดูแล้งต่อปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน มีค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2561 รองลงมาคือปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 มีค่าร้อยละ 10.49, 8.07 และ 5.66 ตามลำดับ และร้อยละของการเกิดน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝน มีค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2556 รองลงมาคือปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ. 2561 มีค่าร้อยละ 14.87, 13.59 และ 12.17 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละน้ำท่าต่อน้ำฝนมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีร่องความกดอากาศต่ำ จากมหาสมุทรอินเดียผ่านบริเวณประเทศไทย ทำให้มีฝนตกชุกต่อเนื่อง และมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคม (Meteorological Department, 2018) และมีร้อยละของน้ำท่าต่อน้ำฝนต่ำสุดในช่วงเดือนเมษายน และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละน้ำท่าต่อน้ำฝนของลุ่มน้ำแควน้อยตอนบนกับพื้นที่ป่าต้นน้ำธรรมชาติบริเวณภาคเหนือตอนล่างที่มีปริมาณน้ำฝนใกล้เคียงกัน พบว่า ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนมีความสามารถในการให้น้ำท่าเมื่อเทียบกับฝนตกลงมาได้น้อยกว่าร้อยละ 8.04 ของพื้นที่ป่าต้นน้ำธรรมชาติซึ่งให้น้ำไหลในลำธารเฉลี่ยร้อยละ 22.91 ของปริมาณน้ำฝน (Witthawatchutikul *et al*, 2011) ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในบริเวณต้นน้ำลำธารของลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนมีแนวโน้มเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้ลักษณะทางอุทกวิทยาป่าไม้เปลี่ยนแปลง โดยไม่มีสังคมพืชช่วยชะลอการไหลของน้ำและเพิ่มปริมาณการซึมน้ำผ่านผิวดินในช่วงฤดูฝนทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาส่วนใหญ่เกิดเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดิน มีส่วนน้อยมากที่เก็บกักลงในดิน จึงไม่มีปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งฝน สอดคล้องตามการลดลงของพื้นที่ป่าต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน

Table 4 Comparison of the streamflow in the upper Khwae-Noi watershed between the years 2013, 2018, and 2023.

Months	2013			2018			2023
	streamflow (mcm)		Rainfall among (mm)	streamflow (mcm)		Rainfall among (mm)	streamflow (mcm)
	observation	simulated		observation	simulated		
January	2.41	0.44	39.20	1.26	0.71	18.90	1.62
February	2.91	0.25	3.00	0.75	0.55	27.10	0.55
March	2.77	0.59	56.00	0.41	0.34	18.90	0.47
April	1.60	0.37	57.40	1.95	0.37	44.00	0.29
May	2.24	1.48	143.40	2.78	0.89	141.80	4.10
June	11.46	15.35	287.80	9.11	3.71	219.90	14.39
July	13.51	15.80	148.50	24.78	10.22	178.10	8.50
August	36.54	28.53	274.70	32.14	27.26	204.20	16.72
September	44.34	25.25	138.90	29.25	17.91	90.90	14.91
October	19.53	12.90	78.90	10.46	3.57	2.20	7.86

Table 4 (Continued)

Months	2013			2018			2023
	streamflow (mcm)		Rainfall among (mm)	streamflow (mcm)		Rainfall among (mm)	Streamflow (mcm)
	observation	simulated		observation	simulated		
November	3.93	4.66	4.50	2.96	3.18	71.10	8.09
December	2.58	1.72	42.50	1.59	1.52	2.00	0.94
Total Runoff	**143.82**	**107.34**	**1,274.80**	**117.44**	**70.23**	**1,019.10**	**78.44**
wet period	127.62	99.31	1,072.20	108.52	63.56	837.10	66.48
dry period	16.20	8.03	202.60	8.92	6.67	182.00	11.96
(%) dry period/wet period (Year)	12.69	8.07	18.90	3.86	10.49	21.74	5.66
(%) streamflow/Rainfall	18.93	14.87	-	20.36	12.17	-	13.59

สรุป

การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2566

การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2556 พบว่า พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่เท่ากับ 695,224.22 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 53.87 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่เท่ากับ 527,458.27 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.87 พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่เท่ากับ 36,226.73 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.80 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่เท่ากับ 25,414.14 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.97 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่เท่ากับ 6,344.93 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.49

การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า พื้นที่ป่าไม้ มีเนื้อที่เท่ากับ 671,798.30 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 52.05 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่เท่ากับ 560,584.33 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 43.43 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่เท่ากับ 26,510.61 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.05 พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่เท่ากับ 25,280.22 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.97 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่เท่ากับ 6,494.83 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.50

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2566 วิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CLUE-S พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบน มีพื้นที่ป่าไม้มากที่สุด โดยมีเนื้อที่ประมาณ 665,347.30 ไร่ รองลงมา ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม มีเนื้อที่ประมาณ 566,607.80 ไร่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเนื้อที่ประมาณ 26,709.50 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ประมาณ 24,589.03 ไร่ และพื้นที่แหล่งน้ำ มีเนื้อที่ประมาณ 7,415.38 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 51.55, 43.90, 2.07, 1.91 และ 0.57 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง SWAT

ปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 มีค่าเท่ากับ 107.34 และ 70.23 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริง (observation) พบว่า ในปี พ.ศ. 2556 มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดจริงเท่ากับ 36.48 ล้านลูกบาศก์เมตร และในปี พ.ศ. 2561 มีค่าน้อยกว่าการตรวจวัดจริงเท่ากับ 47.21 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 28.53 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.25 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนในปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 27.26 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำสุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 0.34 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อแบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าฤดูน้ำหลาก พบว่า ปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำหลากมากที่สุดเท่ากับ 63.56 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งในปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำท่าฤดูน้ำหลาก เท่ากับ 99.31 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณน้ำท่าช่วงน้ำแล้งต่างกันเพียงเล็กน้อย เท่ากับ 8.03 และ 6.67 ล้านลูกบาศก์เมตร

การคาดการณ์น้ำท่าในปี พ.ศ. 2566

การประเมินปริมาณน้ำท่า ในปี พ.ศ. 2566 โดยใช้แบบจำลอง SWAT พบว่า มีปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองรวมตลอดปี เท่ากับ 78.44 ล้านลูกบาศก์เมตร มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม เท่ากับ 16.72 ล้านลูกบาศก์เมตร และปริมาณน้ำท่าต่ำสุดในเดือนเมษายน เท่ากับ 0.29 ล้านลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำหลาก เท่ากับ 66.48 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 84.75 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี และมีปริมาณน้ำท่าช่วงฤดูน้ำแล้ง เท่ากับ 11.96 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 15.24 ต่อปริมาณน้ำท่ารายปี เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2561 พบว่า ในปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปี พ.ศ. 2561 เท่ากับ 8.21 ล้านลูกบาศก์เมตร

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต ควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร่วมด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเกิดฝน และควรมีการพยากรณ์ที่ยาวนานมากขึ้นเพื่อให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนมากขึ้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษามีผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 1.08 ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.56 ดังนั้นควรมีการควบคุมพื้นที่ป่าไม้ ไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นเกษตรกรรม ฟื้นฟูป่าต้นน้ำลำธาร เพิ่มพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศและสมดุลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำให้อยู่ในระดับสมดุลธรรมชาติ

REFERENCES

Abbaspour K.C., E. Rouholahnejada, S. Vaghefia, R. Srinivasanb, H. Yanga and B. Kløve. 2015. A Continental - scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **J. Hydrol.** 524: 733-752.

Institute of Water and Agricultural Resources Information (Public Organization). 2012. **Data Collection and Analysis Data Project of 25 Basin and Flood Drought Model, Nan River Basins.** Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)

Kiriwongwattana, K. 2007. **Application of Clue-s Model for Land Use and Land Cover Changes Projection at Mae Yod Watershed, Maechaem District, Ching Mai Province**. M.S. Thesis , Kasetsart University. (in Thai)

Khotapun, C. 2012. **Application of Clue-s Model for Predicting Land Use Changes in Si Sa Ket Province Between A.D. 2010-2017.** Kasetsart University. (in Thai)

Meteorological Department. 2018. **Meteorology** Available source: https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23, February 20, 2021. (in Thai)

Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W.V. Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evalation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. **Transaction of the ASABE** 50(3): 885-900.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. kiniry and J.R. Williams. 2009. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation (Version 2009).** Available source: https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf, February 20, 2021.

Tangtham, N. and S. Yuwananont. 1996. Impact of land use change on streamflow and flow characteristics of Pasak basin. **Thai J. For.** 15(2): 98-110.

Versuri, O. 2005. **The Impacts of Land Use Changes on Runoff in the Upper Nan Basin Using SWAT Hydrologic Model.** M.S. Thesis, Chulalongkorn University. (in Thai)

Witthawatchutikul, P., S. Pan-uthai and B. Deesaeng. 2011. Forested watershed runoff model. **Thailand Forest Ecological Research Network (T-FERN): Research Result Relationship.** January 26-27, 2011. Thailand, Bangkok.

Wongsakhiri, S. 2011. **Water Quantity and Quality Assessment for Lower Pong Basin by SWAT Model.** M.S. Thesis, Khon Kaen University. (in Thai)

Wuttichatkitcharoen, P. 2016. Study of runoff simulation in Huai Luang watershed using SWAT. **CRMA Journal** 14: 145-158. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักสำหรับประเทศไทย

Economic Zoning of Teak in Thailand

ปัญญาพร สำเร็จเฟื่องฟู* **Panyaporn Samretfueangfu***

อดิศร์ อิศรางกูร ณ อยุธยา **Adis Israngkura**

คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

The School of Development Economics, National Institute of Development Administration, Bangkapi, Bangkok 10240 Thailand

*Corresponding Author Email: panya.samret@gmail.com

รับต้นฉบับ 10 พฤษภาคม 2564 **รับแก้ไข** 30 มิถุนายน 2564 **รับลงพิมพ์** 9 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The objective of this study was to establish the Economic Zoning of Teak Plantations in Thailand. The study adopted the economic cost benefit analysis as a tool in establishing the Economic Zoning of Teak Plantations. The economic cost benefit analysis used a 20-year period time frame, 3 percent real discount rate, and the cost benefit streams valued at a constant price (100=2019). The economic feasibility indicators adopted were the Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (BCR), and Internal Rate of Return (IRR).

Based on the differences in land potential for Teak, transportation costs, and land value (opportunity cost of land) of various provinces, the study found that provinces most suitable for commercial Teak plantations were Kanchanaburi, Uthai Thani, Phichit, Kamphaeng Phet, Petchabun, Phitsanulok, Sukhothai, Tak, Uttaradit, Phrae, Lampang, Lamphun, Nan, and Phayao. The economic NPV of Teak plantation in these provinces with estimated high value of Teak ranged between 209,744-302,880 baht/rai. These high value Teak plantation provinces should be considered while constructing the Economic Zones for Teak Plantations in Thailand. Establishing Economic Zones for Teak Plantations will enable the Thai government to appropriately provide the necessary infrastructure support for the investors, such as marketing network, certification system, transportation services, as well as legal facilities.

Keywords: Teak economic zoning, Teak plantation, Carbon sink, Cost benefit analysis

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์กำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สัก โดยการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการปลูกไม้สักรายจังหวัด ภายใต้กรอบระยะเวลาของการวิเคราะห์ 20 ปี โดยใช้ราคาคงที่ (ปีฐาน พ.ศ.2562) อัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 3 โดยมีตัวชี้วัดความคุ้มค่า คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เพื่อใช้ในการกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สัก สำหรับการบริหารจัดการการปลูกไม้สักเชิงพาณิชย์ในภาพรวมของประเทศไทย

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการปลูกไม้สัก เพื่อนำไปสู่การกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักให้ความสำคัญด้านความแตกต่างของจังหวัดต่างๆ ในด้าน ศักยภาพพื้นที่ มูลค่าที่ดิน และระยะทางขนส่ง ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมเป็นเขตเศรษฐกิจไม้สัก ได้แก่จังหวัดกาญจนบุรี อุทัยธานี พิจิตร กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ พิษณุโลก สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ แพร่ ลำปาง ลำพูน น่าน และพะเยา โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) ในช่วง 209,744-302,880 บาท/ไร่ การทราบถึงกลุ่มจังหวัดที่มีความเหมาะสมสูงสุดในการปลูกไม้สักจะเป็นประโยชน์กับนักลงทุนและที่สำคัญคือทำให้รัฐบาลกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักได้ ซึ่งจะนำมาสู่การให้การสนับสนุนในรูปแบบต่าง เช่น โครงข่ายการตลาด ระบบรับรองแหล่งที่มาของไม้สัก การบริการขนส่ง หรือความสะดวกด้านกฎหมาย

คำสำคัญ: เขตเศรษฐกิจไม้สัก การปลูกไม้สัก การกักเก็บคาร์บอน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

คำนำ

ในพื้นที่นอกเขตป่าของประเทศไทยมีหลายพื้นที่ที่มีศักยภาพสามารถปลูกไม้สัก แต่การปลูกไม้สักเชิงพาณิชย์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากการลงทุนปลูกสักต้องใช้เป็นไม้ที่มีรอบตัดฟันอย่างน้อย 20 ปี (Sommeechai *et al*., 2019) เกษตรกรจึงจะรับรู้รายได้ซึ่งก่อให้เกิดค่าเสียโอกาสของที่ดินเมื่อเทียบกับการทำเกษตรกรรมชนิดอื่น แต่ในแง่ของสิ่งแวดล้อม ต้นสักเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลให้โลกร้อน ต้นไม้จะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เก็บในรูปของมวลชีวภาพ หรือที่เรียกว่า Carbon Sink (Viriyabancha and Wachrinrat, 2013) จึงเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์คืนธาตุอาหารกลับเข้าสู่พื้นที่ และช่วยในเรื่องของการลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน ก่อให้เกิดประโยชน์แก่สิ่งแวดล้อมโดยรวม หากมีการส่งเสริม ผลักดันทางด้านนโยบาย เกษตรกรซึ่งถือเป็นฝั่งอุปทานของตลาดคาร์บอนเครดิตสามารถเข้าถึงการขายคาร์บอนเครดิตได้จะทำให้มีคาร์บอนเครดิตเข้าสู่ตลาดมากขึ้น และจะเกิดอุปสงค์ที่มาจากการทำกิจกรรมชดเชยคาร์บอน (carbon offset) โดยองค์กรต่างๆที่ต้องการชดเชยคาร์บอนจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสามารถซื้อคาร์บอนเครดิตมาชดเชยกิจกรรมการผลิตที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้ ซึ่งจะนำไปสู่การทำให้ประเทศเข้าสู่ Net Zero Carbon ได้

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักในประเทศไทย โดยวิธีการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการปลูกไม้สักรายจังหวัด ภายใต้กรอบการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ มูลค่าที่ดิน และ ระยะทางขนส่ง เพื่อเป็นแนวทางในการสนับสนุนให้เกิดการปลูกสักเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) ได้แก่ ราคาที่ดิน ระยะทางขนส่ง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปลูกไม้สัก ค่าใช้จ่ายต่างๆ การเจริญเติบโต และราคารับซื้อไม้ ตั้งแต่ปลูกจนถึงอายุตัดฟันเพื่อขายเป็นสินค้าได้ โดยรวบรวมจากรายงานประจำปี ข้อมูลสถิติ และเอกสารงานวิจัยจากหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีตัวชี้วัดคือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value: NPV) ตัวชี้วัดที่แสดงถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิตลอดระยะเวลาโครงการ คิดจากผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของผลประโยชน์และต้นทุนตลอดอายุของโครงการโครงการมีความคุ้มค่าก็ต่อเมื่อ NPV>0 มีค่าเป็นบวก อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (Benefit – Cost Ratio: BCR) เป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมและมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่า โครงการมีความคุ้มค่าก็ต่อเมื่อ BCR>1 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR : Internal Rate of Return) เป็นอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์ โดยพิจารณาความคุ้มค่าจาก IRR ที่ มีค่ามากกว่าอัตราคิดลด (discount rate) ของโครงการ (Boadway, 2006)

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีข้อกำหนดขอบเขต ในการปลูกไม้สักโดยมีกรอบระยะเวลา 20 ปี โดยใช้ราคาคงที่ (constant price) มีปี พ.ศ. 2562 เป็นปีฐานในการวิเคราะห์ โดยราคาที่ใช้วิเคราะห์เป็นราคากลางที่ Sommeechai *et al*. (2019) ได้มีการเผยแพร่เอกสาร โดยมีตลาดกลางไม้สักที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนรายจังหวัด รวม 74 จังหวัด ราคาคาร์บอนเครดิตเท่ากับ 6 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน อัตราแลกเปลี่ยนเท่ากับ 32 บาท ต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ ความหนาแน่นในการปลูกไม้สัก 2X4 เมตร = 200 ต้น/ไร่

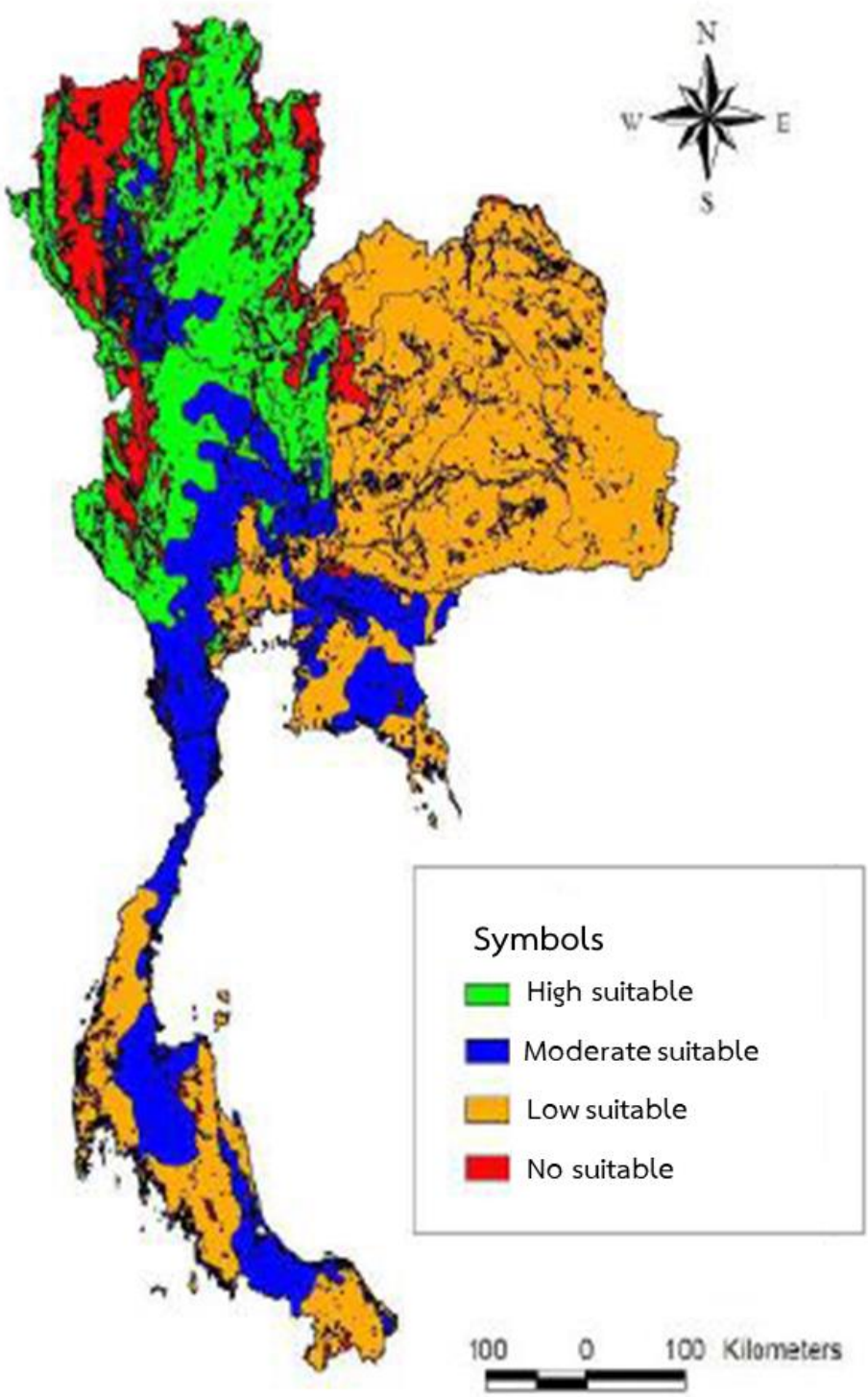


Figure 1 Classification according to a land's potential for establishing teak plantations.

การจำแนกศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกไม้สักตามสมรรถนะที่ดิน

การจำแนกศักยภาพพื้นที่ที่เหมาะสมตามสมรรถนะที่ดินดัง Figure 1 โดยดัดแปลงจาก Sripraram *et al*. (2010) ถูกกล่าวถึงใน Faculty of Forestry (2017) โดยใช้เพื่อกำหนดศักยภาพของที่ดินต่อการปลูกไม้สักรายจังหวัด จังหวัดบริเวณพื้นที่สีเขียว น้ำเงิน และส้ม จะถูกจัดอยู่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพของสมรรถนะที่ดินเหมาะสม มาก ปานกลาง และน้อย ตามลำดับเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาตรไม้ที่ได้เมื่อครบกำหนดโดยมิได้พิจารณาพื้นที่สีแดงเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศอยู่ในแถบภูเขา

การประเมินปริมาตรไม้สักตามศักยภาพของพื้นที่

เนื่องจากศักยภาพของพื้นที่ที่แตกต่างกันต้นสักจะมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน การคำนวณปริมาณไม้สักของต้นสักตามศักยภาพ ตามปริมาตรลำต้นของไม้สักตั้งแต่โคนต้นสักถึงปลายยอดสักเป็นรายต้น โดยใช้สมการจากงานวิจัยของ Vacharankura *et al*. (2011) ดังสมการต่อไปนี้

$$V = 0.000100712 \times DBH^{1.89445042} \times H^{0.763796917}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรทั้งหมดของต้นสัก (ลูกบาศก์เมตร)
DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก
H คือ ความสูงของต้นสัก (เมตร)

การประเมินต้นทุนของการปลูกไม้สัก

1. การประเมินค่าเช่าที่ดินสำหรับการปลูกไม้สัก

การประเมินค่าเช่าของที่ดินแต่ละจังหวัดเปรียบเสมือนค่าเสียโอกาสของพื้นที่ที่นำมาใช้ในการปลูกไม้สักแทนที่จะใช้ที่ดินเพื่อประโยชน์การอื่น โดยอ้างอิงดัดแปลงการคำนวณมูลค่าที่ดินจากค่าเช่าของ Rasmussen (2010) ซึ่งใช้ข้อมูลจาก บัญชีกำหนดราคาประเมินทุนทรัพย์ที่ดินของกรมธนารักษ์ ปี พ.ศ. 2562 โดยใช้ราคาประเมินทุนสินทรัพย์ที่ดินเป็นมูลค่าของที่ดิน และ อัตราดอกเบี้ยเงินฝากปี พ.ศ. 2562 ร้อยละ 0.3 ในการคิดค่าเช่ารายปีเฉลี่ยรายปี (บาท/ไร่) ของแต่ละพื้นที่

$$\text{Land rent} = \text{Land value} \times i_j$$

เมื่อ Land rent หมายถึง ค่าเช่าที่ดิน (บาท)
Land value หมายถึง มูลค่าของที่ดิน (บาท)
i_j หมายถึง อัตราดอกเบี้ยตลาด

2. ข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปลูกและดูแล

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปลูกและดูแลได้อ้างอิงดัดแปลงจากรายงานของการปลูกและจัดการสักเชิงเศรษฐกิจปี พ.ศ. 2553 ของ Phusudswang (2010) ดัง Table 1 สามารถโอนมูลค่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปลูกและดูแลมาเป็นปี พ.ศ.2562 จากการปรับค่าตามเงินเฟ้อดัดแปลงจาก Brander (2015) โดยใช้ Consumer Price Index (CPI) ของทั้งสองปีมาคำนวณเพื่อปรับมูลค่าดังนี้ โดย CPI ปี พ.ศ. 2553 เฉลี่ยเท่ากับ 90.625 และ CPI ปี พ.ศ. 2562 เฉลี่ยเท่ากับ 102.647

$$X_{ps}^{t1} = X_{ss}^{t0} \frac{CPI_{ps}^{t1}}{CPI_{ss}^{t0}}$$

เมื่อ X_{ss}^{t0} = มูลค่าของ study site ปีที่ t0 (บาท)
X_{ps}^{t1} = มูลค่าของ Policy site ปีที่ t1 (บาท)
CPI_{ss}^{t0} = ดัชนีราคาของ study site ปีที่ t0
CPI_{ps}^{t1} = ดัชนีราคาของ Policy site ปีที่ t1

การประเมินค่าใช้จ่ายในการตัดขยายระยะเฉลี่ยเท่ากับ 903.85 บาทต่อลูกบาศก์เมตร อ้างอิงจาก Vacharankura *et al*. (2015) เมื่อปรับค่าเป็นปีฐาน พ.ศ. 2562 เท่ากับ 927.35 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

Table 1 Cost of Teak plantation estimated using the transfer cost year as 2019.

Activities	Average cost of study site 2010 (baht/rai)	Cost adjustment on 2019 (baht/rai)
Site Preparation	325	368
Teak Sprouting	400	453
Labor Cost	300	339
Cost of Re-planting	150	170
Cost of Maintenance		
-Year 0	825	934
-Year 1-2	500	566
-Year 5-6	650	736
-Year 7-19	250	283

3. การประเมินต้นทุนค่าขนส่ง

การประเมินต้นทุนค่าขนส่งสำหรับการตัดขยายระยะไม้ในปีที่ 7 ปีที่ 15 และการตัดฟันไม้ในปีที่ 20 โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะประเมินระยะทางเฉลี่ยของ 74 จังหวัดถึงกรุงเทพฯ อ้างอิงจากการสมาคมทางหลวงแห่งประเทศไทย ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 26.44 บาทต่อลิตร เทียบกับตารางขนส่งวัสดุก่อสร้าง รถบรรทุก 10 ล้อ(กรณีน้ำหนักรวมไม่เกิน 25 ตัน) อ้างอิงจาก หนังสือกรมบัญชีกลาง ด่วนที่สุด ที่ กค 0421.5/41578 ลงวันที่ 15 ตุลาคม 2558 สามารถคำนวณจากการประเมินระยะทางของพื้นที่กับกรุงเทพฯ และค่าขนส่งตามปริมาตร (ลบ.ม./ไร่)

การประเมินผลตอบแทนของการปลูกไม้สัก

1. การประเมินผลตอบแทนจากการขายเนื้อไม้และการตัดขยายระยะ

จากการประมาณปริมาตรต้นสักตามศักยภาพของพื้นที่ข้างต้นแล้ว สามารถประเมินมูลค่าของต้นสักต่อไร่ได้ดัง Table 2 โดยใช้จากราคาตามอายุไม้ต่อลูกบาศก์เมตรที่ได้อ้างอิง Sommeechai *et al*. (2019) คูณกับจำนวนต้นสักในปีนั้นกรณีของไม้สักซึ่งปีที่ 7 ปีที่ 15 เป็นการตัดขยายระยะของไม้สัก และปีที่ 20 เป็นการตัดฟันไม้สักรอบสุดท้าย

Table 2 Estimation of Teak volume and value according to the potential of an area.

Age (year)	Teak Price (baht/ m^3)	Cutting Number of Teak per rai	Teak Volume (m^3/tree)			Teak Value (baht/ rai)		
			Land Potential					
			High	Medium	Low	High	Medium	Low
7	3,588	100	0.09	0.04	0.03	32,292	14,352	10,764
15	6,460	50	0.47	0.23	0.15	151,810	74,290	48,450
20	8,182	50	0.89	0.44	0.30	364,099	180,004	122,730

2. การประเมินมูลค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

ต้นสักมีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในต้นไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ (carbon sink) โดยจะดึงอากาศเข้าไว้ในมวลชีวภาพ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง อ้างอิงจาก Viriyabancha *et al*. (2002) ได้มีการคำนวณหามวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนของต้นสักโดยใช้สมการแอลโลเมตริก การกักเก็บคาร์บอนของต้นสักจากปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ จะนำมาคิดปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในมวลชีวภาพค่าประมาณร้อยละ 50 ของค่ามวลชีวภาพ การประเมินอัตราการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพส่วนต่างๆของต้นสัก ซึ่งนำมาทำการประเมินมูลค่ารายได้ที่ได้จากการชดเชยคาร์บอน (carbon credit) โดยราคาคาร์บอนเครดิตประเภท RGGI ปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 6 ดอลลาร์สหรัฐต่อตัน อัตราแลกเปลี่ยน 32 บาทต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ จากการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนส่วนเพิ่มต่อปีของการปลูกไม้สักเชิงเดี่ยว ดัง Table 3

3. การประเมินผลตอบแทนจากการลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

การลดการชะล้างพังทลายของหน้าดิน (reduce soil erosion) เป็นผลประโยชน์ที่ไม่เป็นตัวเงินที่เกิดขึ้นจากการปลูกสวนสัก ใช้การโอนผลประโยชน์จากงานวิจัยของ Pradit (2010) โดยมูลค่าของการลดการชะล้างพังทลายของหน้าดินพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2553 เท่ากับ 1,940 บาทต่อไร่ การลดการชะล้างพังทลายของหน้าดินของปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 2,197.36 บาทต่อไร่ ในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้มูลค่าที่คำนวณคงที่จากปี พ.ศ. 2562 ตั้งแต่ปีที่ 3-20

Table 3 Estimated Carbon credit income.

Year	Number of teak per rai	Marginal of carbon storage (year)		
		ton/rai	USD/rai	baht/rai
2	200	0.09	0.54	17
3	200	0.34	2.06	66
4	200	0.45	2.69	86
5	200	0.70	4.21	135
6	200	1.53	9.18	294
7	100	0.49	2.93	94
8	100	0.94	5.66	181
9	100	3.23	19.37	620
10	100	1.51	9.06	290
11	100	3.80	22.77	729
12	100	2.08	12.46	399
13	100	5.02	30.09	963
14	100	2.88	17.27	553
15	50	2.81	16.86	540
16	50	1.72	10.33	331
17	50	3.09	18.56	594
18	50	2.01	12.03	385
19	50	3.38	20.26	648
20	50	2.29	13.73	439

ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนปลูกสร้างสวนสักแบบเชิงเดี่ยว ใน 74 จังหวัดของประเทศไทย ภายใต้กรอบระยะเวลาของการวิเคราะห์ 20 ปี (ปีฐาน พ.ศ.2562 ; ณ ราคาคงที่) อัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 3 โดยได้ทำการวิเคราะห์ 74 จังหวัด พบว่า 72 จังหวัดในประเทศไทยมีตัวชี้วัดที่บ่งชี้ถึงความคุ้มค่าลงทุนทางเศรษฐกิจ ใช้เกณฑ์ในการพิจารณาการลงทุนคือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มากกว่า 0 บาท/ไร่ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) มากกว่า 1 และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มากกว่าอัตราคิดลด โดยได้มีการแจกแจงมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (PVC) และมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB) สามารถแสดงผลการศึกษา 5 อันดับแรกของเขตเศรษฐกิจไม้สักแต่ละกลุ่มดัง Table 4

การกำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สัก ตามความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ภายใต้กรอบการวิเคราะห์ศักยภาพ

ของพื้นที่ มูลค่าที่ดิน (ค่าเช่าเฉลี่ย) และระยะทางระหว่างจังหวัดต้นทางมากรุงเทพฯ (ต้นทุนค่าขนส่ง) โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งเขตเศรษฐกิจไม้สัก โดยอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) มากกว่า 1 และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มากกว่าอัตราคิดลด สามารถแบ่งเขตเศรษฐกิจไม้สักได้ดังนี้ ภาพแสดงผลการวิเคราะห์ดัง Figure 2

เขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมมาก (พื้นที่สีเขียว) พื้นที่มีศักยภาพของที่ดินเหมาะสมมาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) ตั้งแต่ 200,000 บาทต่อไร่ขึ้นไป มีค่าเสียโอกาสของที่ดินต่ำ และต้นทุนค่าขนส่งคุ้มค่า จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเป็นเขตเศรษฐกิจไม้สัก โดยสามารถเริ่มต้นเป็นพื้นที่นำร่องเพื่อการสนับสนุนให้มีการปลูกไม้สักเชิงพาณิชย์ จังหวัดที่อยู่ในเขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมมาก ได้แก่ กาญจนบุรี อุทัยธานี พิจิตร กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ พิษณุโลก สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ แพร่ ลำปาง ลำพูน น่าน และพะเยา

เขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมปานกลาง (พื้นที่สีเหลือง) พื้นที่มีศักยภาพของที่ดินเหมาะสมมาก - ปานกลาง มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) ตั้งแต่ 100,000 – 199,999 บาทต่อไร่ มีค่าเสียโอกาสของที่ดินต่ำ และต้นทุนค่าขนส่งคุ้มค่า จึงเป็นพื้นที่เขตเศรษฐกิจไม้สักที่ควรเป็นที่ได้รับพิจารณาขยายผลจากพื้นที่นำร่องเพื่อการสนับสนุนให้มีการปลูกไม้สักเชิงพาณิชย์ จังหวัดที่อยู่ในเขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมปานกลาง ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ สุพรรณบุรี สิงห์บุรี ราชบุรี อ่างทอง ชัยนาท สระแก้ว ปราจีนบุรี ลพบุรี สระบุรี นครสวรรค์ จันทบุรี นครนายก พระนครศรีอยุธยา ระยอง เพชรบุรี ฉะเชิงเทรา ประจวบคีรีขันธ์ ร้อยเอ็ด สุราษฎร์ธานี บุรีรัมย์ และชัยภูมิ

เขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมน้อย (พื้นที่สีส้ม) พื้นที่มีศักยภาพของที่ดินเหมาะสมปานกลาง-น้อย มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) ตั้งแต่ 1–99,999 บาทต่อไร่ มีค่าเสียโอกาสของที่ดินต่ำ-มาก และต้นทุนค่าขนส่งสูง จึงเป็นพื้นที่ที่พิจารณาสนับสนุนให้ปลูกไม้ป่าชนิดอื่นเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ จังหวัดที่อยู่ในเขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมน้อย ได้แก่ นครปฐม สุรินทร์ ขอนแก่น ยโสธร กาฬสินธุ์ ศรีสะเกษ ชุมพร เลย มหาสารคาม หนองบัวลำภู นครราชสีมา ตราด มุกดาหาร อุบลราชธานี อุดรธานี สมุทรสงคราม สกลนคร ระนอง หนองคาย สมุทรสาคร นครพนม สงขลา ตรัง นครศรีธรรมราช พังงา บึงกาฬ พัทลุง ปทุมธานี ยะลา ปัตตานี กระบี่ นราธิวาส สตูล และชลบุรี

พื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกไม้สัก (พื้นที่สีแดง) พื้นที่มีศักยภาพของที่ดินเหมาะสมน้อย มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) น้อยกว่า 0 บาทต่อไร่ ต้นทุนค่าขนส่งต่ำ แต่มีค่าเสียโอกาสของที่ดินสูง จึงเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกไม้สัก ได้แก่ จังหวัดสมุทรปราการ และนนทบุรี

Table 4 NPV, BCR, and IRR as obtained from an Economic Analysis of the teak plantation. The table lists the top 5 provinces in each Economic zoning (100= 2562 B.E.; At Constant Price).

Province	Land Potential	PVC	PVB	NPV	BCR	IRR
		baht/rai				
<u>High Suitable</u>						
Kanchanaburi	High	55,032	357,913	302,880	6.50	43.59%
Uthai Thani	High	68,769	357,913	289,144	5.20	42.74%
Phichit	High	85,090	357,913	272,823	4.21	44.18%
Kamphaeng Phet	High	88,063	357,913	269,850	4.06	43.10%
Phetchabun	High	88,537	357,913	269,376	4.04	40.93%
<u>Moderate Suitable</u>						
Chiang Rai	High	169,864	357,913	188,049	2.11	26.28%
Mae Hong Son	High	193,168	357,913	164,744	1.85	23.64%
Chiang Mai	High	199,317	357,913	158,596	1.80	17.87%
Suphan Buri	medium	36,621	192,692	156,071	5.26	33.80%
Sing Buri	medium	37,767	192,692	154,924	5.10	35.44%
<u>Low Suitable</u>						
Nakhon Pathom	medium	93,283	192,692	99,409	2.07	13.58%
Surin	low	43,349	140,891	97,543	3.25	32.04%
Khon Kaen	low	45,222	140,891	95,669	3.12	31.19%
Yasothon	low	46,939	140,891	93,952	3.00	33.10%
Kalasin	low	47,802	140,891	93,089	2.95	31.64%
<u>No Suitable</u>						
Samut Prakan	low	189,570	140,891	-48,679	0.74	-1.48%
Nonthaburi	low	374,096	140,891	-233,205	0.38	-13.71%

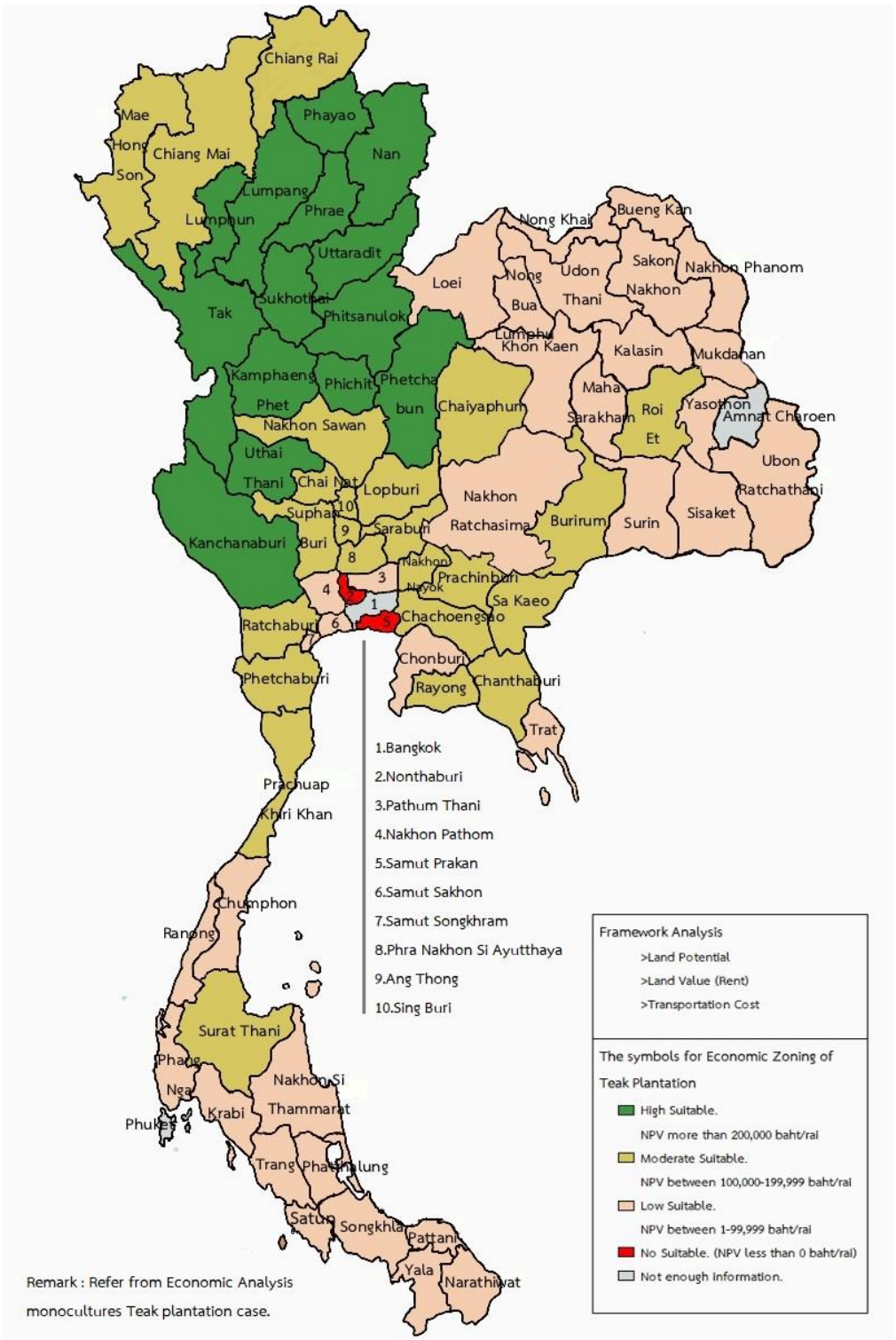


Figure 2 Economic Zoning for Teak Plantation in Thailand.

สรุป

การวิเคราะห์กำหนดเขตเศรษฐกิจไม้สักในประเทศไทย ด้วยวิธีการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของการปลูกไม้สักรายจังหวัด ภายใต้กรอบการวิเคราะห์ ศักยภาพของพื้นที่ มูลค่าที่ดิน (ค่าเช่าเฉลี่ย) และ ระยะทางระหว่างจังหวัดต้นทางมากรุงเทพฯ (ต้นทุนค่าขนส่ง) ภายใต้กรอบระยะเวลาของการวิเคราะห์ 20 ปี (ปีฐาน พ.ศ. 2562; ณ ราคาคงที่) อัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 3 ผลการศึกษาพบว่ามีทั้งหมด 72 จังหวัดที่ตัวชี้วัดบ่งบอกถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุนปลูกสัก โดยมี NPV มากกว่า 0 บาท/ไร่, BCR มากกว่า 1 และ IRR มากกว่าอัตราคิดลด ซึ่งจังหวัดที่อยู่ในเขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมมาก มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐกิจ (NPV) ตั้งแต่ 200,000 บาทต่อไร่ขึ้นไป ได้แก่ กาญจนบุรี อุทัยธานี พิจิตร กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ พิษณุโลก สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ แพร่ ลำปาง ลำพูน น่าน และพะเยา พื้นที่ที่อยู่ในเขตเศรษฐกิจไม้สักเหมาะสมมากควรมีการพิจารณาส่งเสริม สนับสนุนให้เป็นพื้นที่นำร่องในการปลูกไม้สักเชิงพาณิชย์ สิ่งที่ภาครัฐสามารถให้การสนับสนุนประกอบด้วยการพัฒนาโครงข่ายด้านการตลาด การจัดทำระบบรับรองแหล่งที่มาของไม้สัก การบริการขนส่ง ความสะดวกด้านกฎหมาย รวมถึงการพัฒนาตลาดคาร์บอนเครดิต เพื่อให้เกษตรกรเข้าถึงการขายคาร์บอนเครดิตมากขึ้น แล้วจึงขยายผลไปยังพื้นที่อื่นต่อไป

REFERENCES

Boadway, R. 2006. Principles of cost-benefit analysis. **Public Policy Review** 2(1): 1-44.

Brander, L. 2015. **Guidance Manual on Value Transfer Methods for Ecosystem Services.** United Nations Publications, Nairobi.

Faculty of Forestry. 2017. **Strategy and Action Plan for Extension of Integrated Economic Trees (2018-2036).** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Phusudswang, A. 2010. **Teak Plantation and Management as Economy for Farmer and Private Sector.** Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Pradit, O. 2010. Economic feasibility of teak plantation by small farmer in Chiang Mai province. **Journal of Agriculture** 27(special): 163-172. (in Thai)

Rasmussen, S. 2010. **Production Economics: The Basic Theory of Production Optimisation.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

Sommeechai, M., K. Tangkit, P. Siripant, K. Prasertsit, K. Thaweesaksri, R. Prancharoung and A. Rodsaen. 2019. **Guide Economic Trees Plantation.** Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Sripraram, D., L. Puangchit, S. Diloksumpun, S. Teejuntuk, N. Jumwong, L. Thaopimai and T. Sangthong. 2010. **Characterization of Plants Optimal Greenhouse Gas Absorption and Area Size for Forest Sector Clean Development Mechanism: Complete Report.** Faculty of Forestry, Kasetsart University and Thailand Greenhouse Gas

Management Organization (Public Organization). Bangkok. (in Thai)

Vacharankura, T., I. Satoshi, I. Noda, W. Himmapan, V. Krongkitsiri and D. Kamolpanit. 2011. **Yield Table for Teak Plantation in The Northeast of Thailand.** RFD-JIRCAS Joint Research Project. Bangkok. (in Thai)

Vacharankura, T., W. Himmapan, P. Rupporn and J. Noreewech. 2015. **Guide for Commercial Thinning.** Keawjawjom Printing & Publishing Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)

Viriyabancha, C. and C. Wachrinrat. 2013. **Thai Teak Knowledge.** Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Viriyabancha, C., P. Chittachumnonk, C. Sutthisrisinn, S. Sumrann and K. Peawsa-ad. 2002. Adjusting equation to estimate the above-ground biomass of Teak plantation in Thailand, pp 239-260. In P. Chittachumnonk, ed. **Proceeding of 7th Silvicultural Seminar.** December 12-14, 2001. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การเพิ่มความทนแล้งของกล้าไม้พะยอมและรังที่มีเห็ดเผาะหนังอยู่ร่วมที่รากแบบเอคโตไมคอร์ไรซา

Improvement of Drought Tolerance in *Shorea roxburghii* and *Shorea siamensis* Seedlings with *Astraeus odoratus* as Ectomycorrhiza

ปาริชาด แสงงาม[1] Parichat Saengngam[1]
ฉันท์ทิพา ศรีดาวงษ์[1] Chanthipha Sridawong[1]
ซูลฟา หยีราเหม[1] Sulfa Yeerahem[1]
อรญา บุราไกร[1] Oraya Burakai[1]
เจษฎา วงค์พรหม[2] Jetsada Wongprom[2]
นิสา เหล็กสูงเนิน[1] Nisa Leksungnoen[1]
ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง[1*] Tharnrat Kaewgrajang[1*]

[1]ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900
[2]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[2]Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900
*Corresponding Author; Email: ffortrk@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 21 พฤษภาคม 2564 **รับแก้ไข** 6 กรกฎาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 13 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the drought tolerance of *Shorea roxburghii* and *Shorea siamensis* seedlings resulting from *Astraeus odoratus* acting as an ectomycorrhiza. The spore suspension of *A. odoratus* was inoculated into the two seedling species at a concentration of 10 ml/seedling. After one year, the drought tolerance of seedlings was determined by stopping irrigation for 7 weeks. During the drought tolerance experiment, all data were collected at four different times. The obtained data was then analyzed using t-test to compare the drought resistance between the inoculated and non-inoculated seedlings.

Results indicated that all the growth parameters of inoculated seedlings of *S. roxburghii* were not significantly higher than the non-inoculated seedlings when under saturated soil water content or 61-100 percent of soil moisture. When the soil moisture was reduced to between 41-60 percent, the inoculated *S. roxburghii* seedlings had a significantly higher performance index,

Fv/Fm, and leaf area than those of the non-inoculated seedlings. For the *S. siamensis* seedlings, it was found that the inoculated seedlings had a significantly higher diameter at root collar, height, and leaf surface area compared to those of the non-inoculated seedlings under saturated soil water content. However, the inoculated *S. siamensis* seedlings had a significantly higher diameter at root collar than the non-inoculated control when the soil moisture was reduced to between 21-40 percent. Our results indicate that inoculation of *A. odoratus* on both the seedling species can improve drought tolerance of the two dipterocarp seedlings.

Keywords: Mycorrhiza, Dipterocapaceae, Water stress

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้พะยอมและรังที่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก โดยทำการปลูกเชื้อด้วยสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเผาะหนังปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อต้น ให้กับกล้าไม้ทั้งสองชนิด เป็นเวลา 1 ปี จากนั้นได้ทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้โดยการงดการให้น้ำติดต่อกันนาน 7 สัปดาห์ โดยระหว่างการทดสอบนี้ได้เก็บข้อมูลของกล้าไม้จำนวน 4 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการทดสอบ t-test เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อและไม่ได้ปลูกเชื้อ

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีการเติบโตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41 - 60 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีพื้นที่ผิวใบ ดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ มากกว่ากล้าที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกล้าไม้รังพบว่าเมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง และพื้นที่ผิวใบ มากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือเพียง 21-40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังให้แก่กล้าไม้ มีส่วนช่วยเพิ่มความทนแล้งให้กับกล้าไม้วงศ์ยางทั้งสองชนิดได้

คำสำคัญ: ไมคอร์ไรซา ไม้วงศ์ยาง สภาวะขาดน้ำ

คำนำ

ปัจจุบันป่าไม้ถูกแผ้วถางเพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้พื้นที่ป่าเกิดความเสื่อมโทรม พื้นที่ป่าเดิมถูกทำลายกลายเป็นพื้นที่แห้งแล้ง จึงควรมีการปลูกป่าฟื้นฟูเพื่อเป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งหากมีการคัดเลือกพรรณไม้ที่เหมาะสม อีกทั้งยังมีคุณภาพกล้าไม้ที่ดี มีการเติบโตและมีความสามารถในการทนแล้งได้ดี จะส่งผลให้กล้าไม้ที่นำไปปลูกในพื้นที่เสื่อมโทรมมีการรอดตายเพิ่มขึ้น ทำให้การฟื้นฟูป่าประสบความสำเร็จยิ่งขึ้นด้วย จากการรายงานที่ผ่านมาพบว่าวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มคุณภาพของกล้าไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) ก่อนนำไปปลูกในพื้นที่เสื่อมโทรมได้ คือ การปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา

(Ectomycorrhizal fungal inoculation) ให้แก่กล้าไม้ (Sangtiean and Sangwanit, 1994; Duangkae, 2002; Turjaman *et al.,* 2005; Kaewgrajang *et al*., 2013; 2019) จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากนั้นช่วยให้พืชมีการเติบโตมากกว่าพืชที่ไม่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยที่ราก เนื่องจากราเอคโตไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของรากในการดูดซับธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส นอกจากนี้ราเอคโตไมคอร์ไรซายังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดน้ำของราก ส่งผลให้พืชที่มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ที่รากมีความสามารถในการทนแล้งได้ดีกว่าพืชที่ไม่มีเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซา (Nunez *et al*., 2006; Smith and Read, 2010) อีกทั้งราเอคโตไมคอร์ไรซายังสามารถทำให้พืชทนทานต่อความเป็นพิษในดิน (Omari *et al.,* 2020) และมีส่วนช่วยในการยับยั้งโรคในระบบรากด้วย (Duangkae *et al*., 2002) นอกจากราเอคโตไมคอร์ไรซาจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่กล้าไม้แล้วยังมีราเอคโตไมคอร์ไรซาหลายชนิดที่รับประทานได้ ซึ่งทั่วโลกพบว่าเห็ดที่กินได้ส่วนใหญ่เป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา ในแถบแอฟริกาตะวันตก (West Africa) พบว่า เห็ดกินได้เป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา 42 เปอร์เซ็นต์จากจำนวนเห็ดกินได้ทั้งหมดซึ่งได้แก่ สกุลเห็ดระโงก (*Amanita*) สกุลเห็ดขิงเห็ดข่า (*Lactarius*) สกุลเห็ดตะไคล (*Russula*) สกุลเห็ดมันปู (*Cantharellus* หรือ *Craterells*) เป็นต้น (Yorou *et al*., 2014) ในประเทศไทยพบเห็ดประมาณ 2,500 ชนิด ซึ่งเป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา 907 ชนิดหรือคิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ของเห็ดที่พบทั้งหมด และในจำนวนเห็ดเหล่านี้เป็นเห็ดกินได้ 336 ชนิด (Sangwanit *et al*., 2013) หนึ่งในเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่รับประทานได้คือ เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) ซึ่งเป็นเห็ดที่คนนิยมรับประทาน มีราคาแพง อีกทั้งยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อวัณโรค และฤทธิ์ยับยั้งการเกิดมะเร็งด้วย (Kittibhorn *et al*., 2012) จากผลการวิจัยของ Kaewgrajang *et al*. (2013; 2019) พบว่าเห็ดเผาะหนังสามารถช่วยเพิ่มการเติบโตให้กับกล้าไม้วงศ์ยางได้ และเป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่มีศักยภาพที่จะนำมาทำเป็นหัวเชื้อผลิตกล้าไม้ป่าให้มีเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาจากการศึกษาของ Kaewgrajang (2008) ซึ่งได้ทดสอบการใช้น้ำของกล้าไม้ยางนาที่ปลูกและไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังในสภาวะขาดน้ำ พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีแนวโน้มทนแล้งได้ดีกว่า โดยพิจารณาจากค่าการเปิดปากใบ ซึ่งนับว่าการศึกษาผลของราเอคโตไมคอร์ไรซาที่มีส่วนช่วยให้กล้าไม้วงศ์ยางมีความทนแล้งในประเทศไทยนั้นยังมีข้อมูลน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการทนแล้งของกล้าไม้วงศ์ยาง 2 ชนิด (รังและพะยอม) ที่มีและไม่มีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาในสภาพเรือนเพาะชำ

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมกล้าไม้รังและพะยอมให้มีเชื้อเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกไม้วงศ์ยาง 2 ชนิด ได้แก่ รังและพะยอม เพื่อนำมาทดสอบความทนแล้งโดยนำเมล็ดไม้รังที่เก็บจากศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เพชรบุรี ส่วนเมล็ดพะยอมเก็บจากสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์หาดวนกร จ.ประจวบคีรีขันธ์ มาตัดปีกออก แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำเมล็ดไปใส่ในกระสอบที่เปียกชื้น เป็นเวลา 7-10 วัน เมื่อเมล็ดมีรากงอกยาวประมาณ 2-3 ซม. นำเมล็ดที่งอกไปปลูกในกระถางพลาสติก ซึ่งบรรจุวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของ เวอร์มิคูไลท์ และพีทมอส อัตราส่วน 8:2 เมื่อกล้าไม้มีอายุได้

1 เดือน ได้เตรียมสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเผาะหนังตามวิธีของ Kaewgrajang *et al*. (2015) โดยกล้าไม้แต่ละชนิดนั้นได้ทำการปลูกสารแขวนลอยสปอร์เห็ดเผาะหนัง (treatment) ที่มีความหนาแน่นของสปอร์เท่ากับ 1×10^7 สปอร์/มล. ปริมาตร 10 มล./ต้น จำนวน 15 ต้น และเตรียมกล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง (control) จำนวน 15 ต้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ใช้กล้าไม้ชนิดละ 30 ต้น โดยมีการดูแลรดน้ำกับกล้าไม้ในปริมาณเท่ากัน วันละ 1 ครั้ง หลังจากกล้าไม้มีอายุได้ 9 เดือน ได้ย้ายปลูกลงกระถางพลาสติกขนาด 15 นิ้ว ซึ่งบรรจุด้วยวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของหน้าดินและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 เมื่อปลูกกล้าไม้ในกระถางแล้ว ได้เติมวัสดุปลูกดังกล่าวในกระถาง โดยให้น้ำหนักของกล้าไม้และวัสดุปลูกแต่ละกระถางมีน้ำหนักเท่ากับ 1.2 กิโลกรัม จากนั้นนำกล้าไม้ไปวางในเรือนเพาะชำที่มีหลังคาโรงเรือนเป็นพลาสติก ซึ่งสามารถป้องกันฝนตกในขณะที่ทำการทดลองความทนแล้งได้ หลังจากนั้น 3 เดือน กล้าไม้ที่ย้ายปลูกสามารถตั้งตัวในกระถาง และเริ่มมีใบแตกใหม่ จึงได้ทำการทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้

การทดสอบความทนแล้ง

การทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้ เริ่มจากการรดน้ำให้กับกล้าไม้จนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil water content) จากนั้นจะไม่มีการให้น้ำกับกล้าไม้อีก เป็นเวลา 7 สัปดาห์ (หรือจนกระทั่งกล้าไม้ตาย) ในช่วงเวลาดังกล่าวได้ทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทั้งหมด 4 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่ 1 วัดข้อมูลวันแรกที่ให้น้ำแก่กล้าไม้จนดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ครั้งที่ 2 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 2 หรือ 14 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้ ครั้งที่ 3 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 4 หรือ 28 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้ และ ครั้งที่ 4 วัดข้อมูลในสัปดาห์ที่ 7 หรือ 49 วัน หลังจากให้น้ำแก่กล้าไม้ ซึ่งแต่ละครั้งได้วัดความชื้นของดินโดยใช้ soil moisture meter วัดค่าที่ 3 ระดับ ได้แก่ บนกระถาง กลางกระถาง และใต้กระถาง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยความชื้นดินแต่ละกระถาง จากนั้นนำค่าความชื้นดินมาหาช่วงความชื้นของดินในแต่ละครั้งที่เก็บข้อมูล สำหรับการเก็บข้อมูลอื่น ๆ ในแต่ละครั้งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากและเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

ก่อนทำการรดน้ำให้กับกล้าไม้จนกระทั่งอิ่มตัวด้วยน้ำ ได้สุ่มเลือกกล้าไม้รังและพะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ได้ทำการปลูกเชื้อทรีทเมนต์ละ 3 ต้น เพื่อนำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของรากเอคโตไมคอร์ไรซา และหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา ทำการสุ่มรากจากกล้าไม้แต่ละต้น หลังจากนำรากไปล้างเศษดินให้สะอาดแล้วนำรากมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาตามวิธีของ Agerer (1997) โดยศึกษาลักษณะการแตกแขนง สี ผิวของราก และลักษณะทางกายวิภาคของรากทั้งที่มีและไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก จากนั้นนำรากจากกล้าไม้แต่ละต้นมาตัดรากเป็นท่อนสั้นๆ ยาวประมาณ 1-2 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นตัวอย่างรากไปวางบนจานเลี้ยงเชื้อ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาด้วยวิธี Grid Line Intersection Method ของ Brundrett *et al*. (1996) โดยในแต่ละตัวอย่างรากได้ทำการนับเปอร์เซ็นต์การเกิดจากจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2. การวัดข้อมูลการเติบโตของกล้าไม้

ข้อมูลการเติบโตที่ทำการวัด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง พื้นที่ผิวใบ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดในการวัดข้อมูลดังนี้

2.1 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ โดยใช้ดิจิตอลเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และวัดความสูงของกล้าไม้ด้วยเทปวัดระยะจากระดับเดียวกันถึงปลายยอด ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.2 พื้นที่ผิวใบ ทำการถ่ายภาพของใบทุกใบของกล้าไม้แต่ละต้น แล้วนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบในด้วยโปรแกรม Image J (Aboukarima *et al.*, 2017) ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.3 ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ (Performance index, Pi) และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm) ทำการวัดใบที่มีลักษณะสมบูรณ์ ต้นละ 1 ใบ ด้วยเครื่อง Chlorophyll Fluorometer (Model Handy Pea, Hansatech Instruments, UK) ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

2.4 เมื่อสิ้นสุดการทดสอบได้นำกล้าไม้แต่ละต้นไปทำความสะอาดเศษดินออก นำไปอบในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ เพื่อหาน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ทำการวัดข้อมูลในครั้งที่ 4 ของช่วงการเก็บข้อมูลความทนแล้งของกล้าไม้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง พื้นที่ผิวใบ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ของใบพืช และน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อด้วยเห็ดเผาะหนัง มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t-test ด้วยโปรแกรม R Studio (RStudio Team, 2020)

ผลและวิจารณ์

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากและเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

เมื่อเห็ดเผาะหนังเข้าไปเจริญในรากของกล้าไม้ พบว่ารากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เกิดขึ้นของพะยอมและรังอายุ 1 ปี มีขนาดใหญ่กว่ารากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาประมาณ 1-2 เท่า รากเอคโตไมคอร์ไรซาของพะยอมมีการแตกแขนงแบบขนนก (monopodial-pinnate) แต่ของรังนั้นไม่แตกแขนง (unramified) สีน้ำตาลอ่อน เมื่อรากมีอายุมากขึ้นมีสีน้ำตาลปนดำ ผิวเรียบ มันวาว มี Rhizomorph สีน้ำตาลพันอยู่รอบ ๆ ราก พบ Sclerotium รูปร่างกลมหรือเกือบกลม สีน้ำตาลถึงสีส้มปนน้ำตาล ผิวเรียบ เจริญปนกับ rhizomorph ด้วย สำหรับลักษณะทางกายวิภาคของรากพบว่าบริเวณชั้นนอกของเซลล์ผิว (epidermis) ของรากเอคโตไมคอร์ไรซาของรังและพะยอมมีแผ่นแมนเทิล (mantle) หนาประมาณ 10-25 ไมโครเมตร และพบฮาร์ติกเน็ท (hartig net) อยู่ระหว่างเซลล์ชั้น Epidermis แตกต่างจากรากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา ซึ่งจะไม่มีแผ่นแมนเทิลและฮาร์ติกเน็ท

สำหรับเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา พบว่ากล้าไม้ทั้งสองชนิดที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง (SR inoc) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคไตไมคอร์ไรซา (55.96 เปอร์เซ็นต์) มากกว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง (SS inoc) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคไตไมคอร์ไรซา 39.56 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1)

จากการศึกษาพบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซามากกว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนัง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Kaewgrajang *et al*. (2013) พบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาเท่ากับ 60.97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่ากล้าไม้พะยอมและกล้าไม้รังในการการศึกษานี้ ทั้งนี้อาจเกิดจากวัสดุปลูกและชนิดของกล้าไม้แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ว่าเห็ดเผาะหนังอาจมีความสัมพันธ์แบบเอคโตไมคอร์ไรซากับยางนาได้ดีกว่ากล้าไม้รังและพะยอม ซึ่งในประเด็นนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

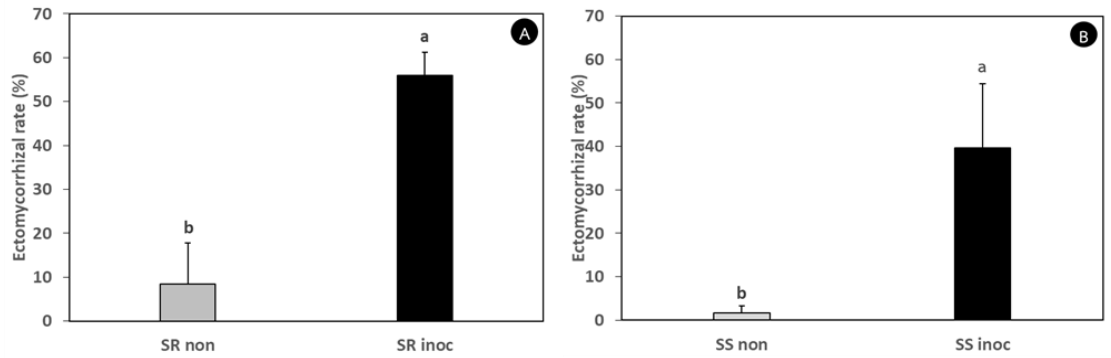


Figure 1 Ectomycorrhizal colonization rate of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B). The vertical lines above the bars indicate standard deviations, the same letter on bars indicate an insignificantly difference (t-test); SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูง

เมื่อกล้าไม้อยู่ในสภาวะที่ได้รับน้ำเต็มที่หรือดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ สามารถวัดความชื้นได้ 61-100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกล้าไม้ไม่ได้รับการให้น้ำนานติดต่อกัน 2, 4 และ 7 สัปดาห์ ดินมีค่าความชื้น 41-60, 21-40 และ 0-20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการไม่ให้น้ำแก่กล้าไม้ติดต่อกัน 7 สัปดาห์ ทำให้กล้าไม้ทั้งสองชนิดตาย ไม่สามารถวัดข้อมูลการเติบโตได้ ดังนั้นจึงสิ้นสุดการทดลองและทำการเปรียบเทียบข้อมูลจาก 3 ช่วงความชื้นดินเท่านั้น

โดยพบว่าทั้งสภาวะที่ดินมีความชื้น 61-100 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2A, Figure 2C) ในขณะที่กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งสภาวะที่ดินมีความชื้น 61-100 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2B) ที่สภาวะดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่ในสภาวะที่ดินมีความชื้น 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีความสูงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 2D)

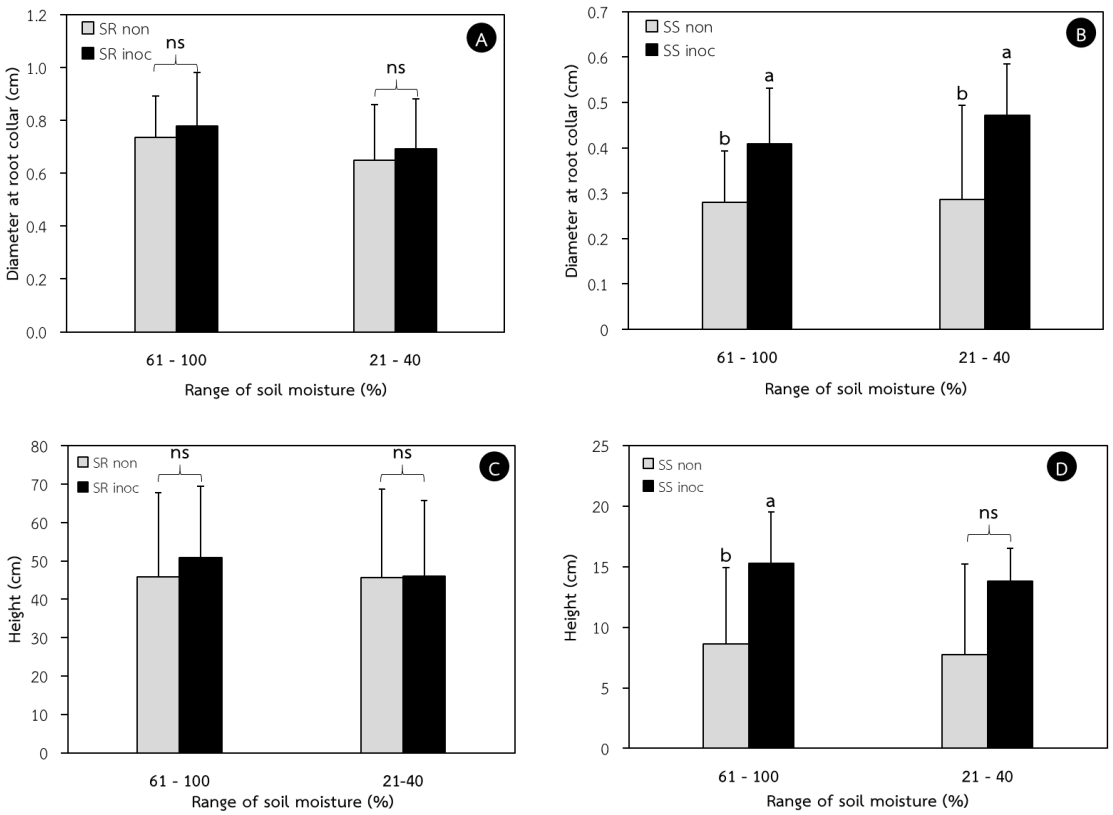


Figure 2 Diameter at root collar and height of *Shorea roxburghii* (A, C) and *S. siamensis* (B, D); vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the different letters on bars under each soil moisture range indicating a significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากล้าไม้พะยอมและกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก และความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่ากล้าไม้วงศ์ยางที่มีเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาจะมีการเติบโตทางด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากและความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ (Sangtiean and Sangwanit, 1994; Kaewgrajang *et al*. 2013) Smith and Read (2010) ได้อธิบายไว้ว่าราเอคโตไมคอร์ไรซามีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวของราก การแผ่ขยายตัวของรากทำให้สามารถดูดซึมน้ำและแร่ธาตุส่งผลให้กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อจึงมีการเติบโตที่ดีกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สำหรับระบบรากของไม้รังนั้น จะสร้างเหง้าในระยะกล้า ซึ่งส่วนเหง้านี้จะทำหน้าที่สะสมอาหารเพื่อนำไปเลี้ยงส่วนยอด ทำให้บริเวณส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ชนิดนี้มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมื่อกล้าไม้รังที่อยู่ในสภาวะเครียดจากการ

ที่ดินมีความชื้นลดลงเหลือ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kipfer *et al*. (2012) พบว่าในสภาวะแห้งแล้งกล้าไม้สนที่ปลูกเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซามีการเติบโตมากกว่ากล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Wanroon (2019) ที่พบว่าเมื่อกล้าไม้ยูคาลิปตัสอยู่ในสภาวะเครียดจากการที่นำน้ำมาใช้ได้น้อยลง (กว่าภาวะปกติ) เนื่องจากการมีเอคโตไมคอร์ไรซาทำให้ได้น้ำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้มากกว่าการไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซา กล้าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกเชื้อราเอคโตไมคอร์ไรซามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากสัมพัทธ์เฉลี่ยและความสูงสัมพัทธ์เฉลี่ยมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แสดงใน Figure 2 มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากกล้าไม้เป็นกล้าที่เพาะจากเมล็ด จึงมีการแปรผันกันสูง แม้ว่าเมล็ดจะเก็บมาจากแหล่งเดียวกันก็ตาม

พื้นที่ผิวใบ

จาก Figure 3 แสดงให้เห็นว่าในภาพรวมกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังทั้งสองชนิดมีพื้นที่ผิวใบมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ เมื่อนำค่าไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้ว พบว่าในช่วงความชื้นดิน 61-100 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (362.75 ตร.ซม.) และกล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (221.23 ตร.ซม.) มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความชื้นในดินลดลงเหลือ 41–60 และ 21–40 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (457.12 ตร.ซม., 359.03 ตร.ซม. ตามลำดับ) มีค่ามากกว่ากล้าที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (213.60 ตร.ซม., 172.99 ตร.ซม. ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3A) สำหรับกล้าไม้รังพบว่าเมื่อดินมีความชื้น 61-100 เปอร์เซ็นต์ พื้นที่ผิวใบกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อ (219.84 ตร.ซม.) มีค่ามากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้อ (106.46 ตร.ซม.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41-60 และ 21-40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีพื้นที่ผิวใบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 3B) โดยปกติกล้าไม้รังแต่ละต้นมีใบจำนวนน้อย (3-5 ใบ) ซึ่งเมื่อดินมีความชื้นลดลง กล้าไม้ปรับตัวด้วยการทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ อาจส่งผลให้พื้นที่ผิวใบของรังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อในช่วงความชื้นดินดังกล่าวมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็จะเห็นว่าเมื่อดินมีความชื้นลดลงกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังทั้งสองชนิดนี้มีพื้นที่ผิวใบมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ ซึ่งการที่พืชมีพื้นที่ผิวใบมาก แสดงให้เห็นถึงการมีพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงมาก พืชจะสามารถผลิตอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อใช้การเติบโตภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ (Suwanwong, 2019) อย่างไรก็ตามการที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อมากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ปลูกเชื้อ ทั้งที่พื้นที่ผิวใบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไม้ชนิดนี้ มีระบบรากที่เป็นเหง้า ซึ่งทำหน้าที่สะสมอาหารและสามารถได้รับอาหารเพื่อใช้ในการเติบโตของส่วนยอด

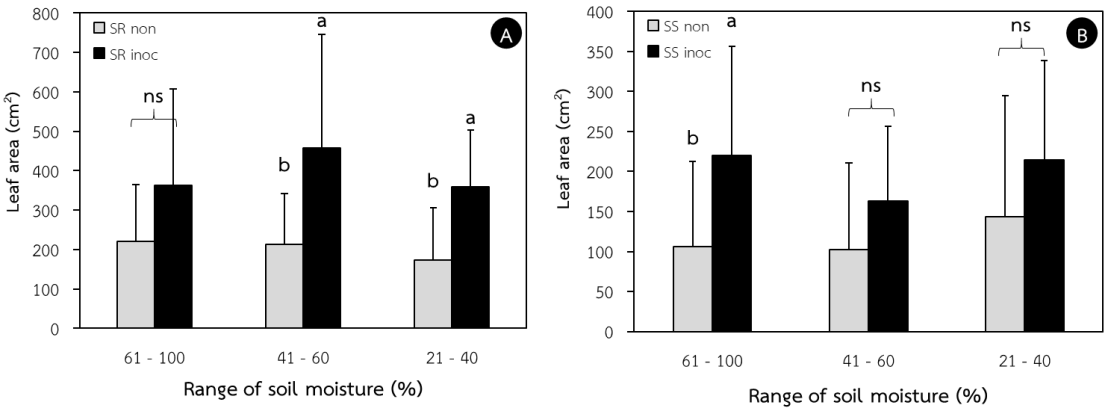


Figure 3 Leaf surface area of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the different letters in each soil moisture range indicating a significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ (Performance index, Pi) และ ค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ (Fv/Fm)

จากผลการศึกษาพบว่าในช่วงความชื้นดินลดลงเหลือ 41–60 เปอร์เซ็นต์ ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (0.77) มีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (0.49) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อความชื้นดินลดต่ำลงจนถึง 21–40 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อนั้นมีดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4A) สำหรับกล้าไม้รังพบว่าทั้ง 3 ช่วงความชื้นดิน กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ได้ปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังมีค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4B)

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ พบว่าที่ช่วงความชื้นดินที่ 61-100 และ 41–60 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อ (0.74, 0.75 ตามลำดับ) มีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ (0.64, 0.68 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 4C) ในขณะที่กล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของคลอโรฟิลล์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้รังไม่ได้ปลูกเชื้อในทุกช่วงความชื้นดิน (Figure 4D)

ในการวัดค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์สามารถบ่งบอกการเติบโตภายใต้สภาวะความเครียดที่เกิดกับพืชได้ ซึ่งในใบพืชที่สมบูรณ์ไม่อยู่ในสภาวะเครียดจะมีค่าดังกล่าวสูงกว่าใบพืชที่อยู่ภายใต้สภาวะเครียด (Suwanwong, 2019) จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกล้าไม้เริ่มอยู่สภาวะเครียดจากการที่ดินมีความชื้นลดลงเหลือ 41-60 เปอร์เซ็นต์ กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อนั้นสามารถทนต่อสภาวะเครียดจากการขาดน้ำได้ดีกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้อ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อนั้นมีค่ามากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ

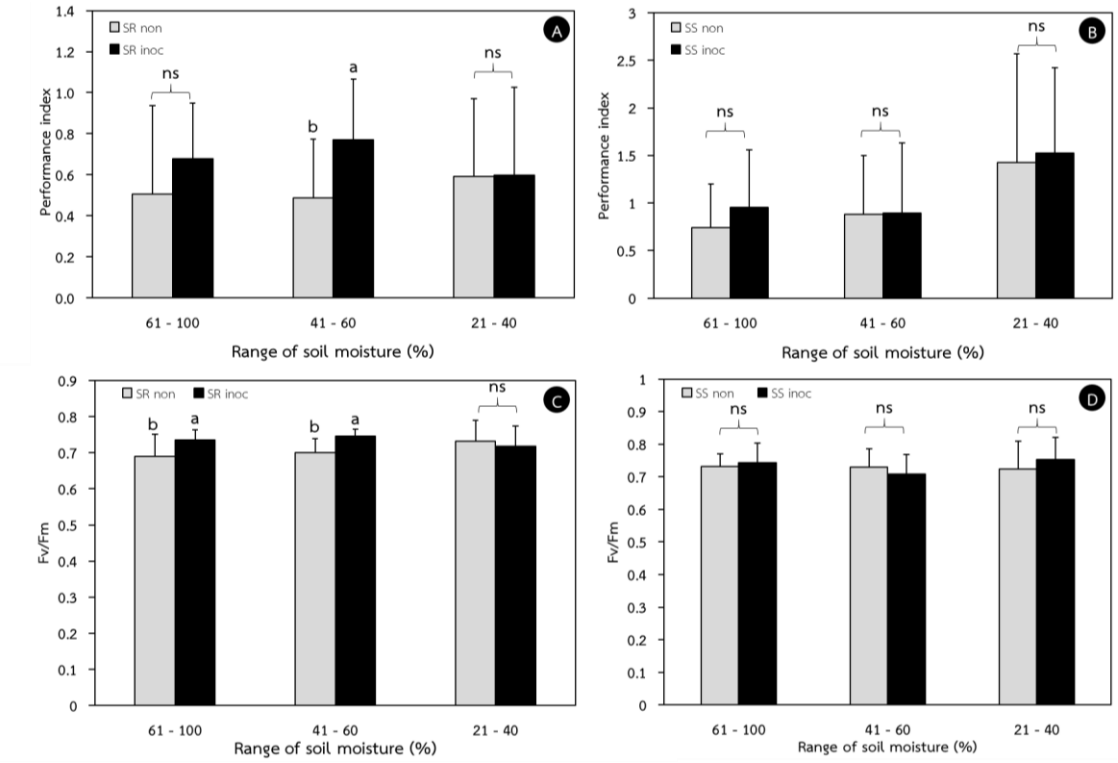


Figure 4 Performance index and Fv/Fm of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, while different letters above bars in each soil moisture range indicate significant difference (t-test); ns= non-significant different; SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

น้ำหนักแห้ง

น้ำหนักแห้งของกล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีค่าเท่ากับ 15.41 และ 10.64 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักแห้งของกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อมีค่าเท่ากับ 7.90 และ 4.48 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่ากล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีน้ำหนักแห้งมากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีน้ำหนักแห้งมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 5) แสดงให้เห็นว่าการมีเห็ดเผาะหนังเป็นเอคโตไมคอร์ไรซาที่ราก ช่วยส่งผลให้มีการเติบโตทางด้านน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewgrajang *et al*. (2013, 2019)

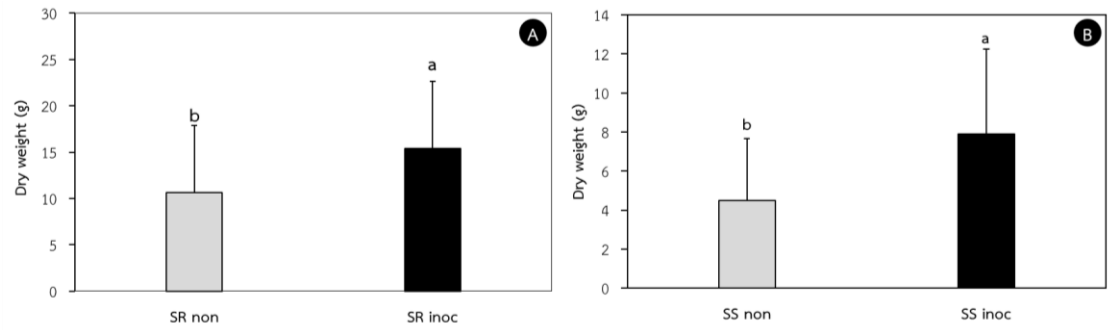


Figure 5 Dry weight of *Shorea roxburghii* (A) and *S. siamensis* (B) under different soil moisture content; vertical lines above the bars indicate standard deviations, with the same letter on the bars indicate a statistically insignificant difference (t-test); SR non = non inoculated *S. roxburghii* seedlings, SR inoc = inoculated *S. roxburghii* seedlings, SS non = non inoculated *S. siamensis* seedlings, SS inoc = inoculated *S. siamensis* seedlings.

สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ากล้าไม้พะยอมและรังที่ปลูกเชื้อมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา เท่ากับ 55.96 และ 39.60 ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบความทนแล้งของกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อและไม่ปลูกเชื้อ พบว่าการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังให้กับกล้าไม้พะยอมและรัง สามารถช่วยเพิ่มความทนแล้งให้กับกล้าไม้ได้ โดยกล้าไม้พะยอมจะแสดงผลชัดเจนจากค่าพื้นที่ผิวใบ น้ำหนักแห้ง ค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์ และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์ ซึ่งพบว่าเมื่อดินมีความชื้นลดลง กล้าไม้พะยอมที่ปลูกเชื้อมีค่าดัชนีการทำงานของคลอโรฟิลล์และค่าประสิทธิภาพของการใช้แสงของคลอโรฟิลล์มากกว่ากล้าไม้พะยอมที่ไม่ปลูกเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับกล้าไม้รังนั้นแสดงผลได้ชัดเจนจากค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก ความสูง และน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่ากล้าไม้รังที่ปลูกเชื้อมีค่าดังกล่าวมากกว่ากล้าไม้รังที่ไม่ปลูกเชื้อเมื่อนำมาทดสอบความทนแล้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายไตรเทพ เจริญพานิชสันติ ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (สำนักงาน กปร.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยภายใต้ “โครงการความหลากชนิดของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาและการนำเอคโตไมคอร์ไรซาไปใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกฟื้นฟูป่า ปีงบประมาณ 2562-2563”

REFERENCES

Aboukarima, A.M., M.F. Zayed, M. Minyawi, H.A. Elsoury and H.H.H. Tarabye. 2017. Image analysis-based system for estimating cotton leaf area. **Asian Res. J. Agric.** 5(1): 1-8.

Agerer, R. 1997. **Colour Atlas of Ectomycorrhizae**. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger GmbH, Germany.

Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture.** ACIAR Monograph 32. Pirie Printers, Canberra.

Duangkae, K. 2002. Mycorrhiza: diversity and development, pp. 187-252. *In* **Proceedings of Biodiversity of Forest Resources and Wildlife “Progress Report and Activities in 2005”**. August 22-28, 2002. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)

Duangkae, K., W. Himaman and C. Ayawong. 2002. **Ectomycorrhiza to Control Damping off Disease of Eucalyptus Seedlings**. Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok.

Kaewgrajang, T. 2008. **Growth and Water Use of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings Associated with *Astraeus odoratus* C. Phosri, R. Watling, M.P. Martín & A.J.S. Whalley as Ectomycorrhiza**. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Kaewgrajang, T., U. Sangwanit, K. Iwase, M. Kodama and M. Yamato. 2013. Effects of ectomycorrhizal fungus *Astraeus odoratus* on *Dipterocarpus alatus* seedlings. **J. Trop. For. Sci.** 25(2): 200–205.

Kaewgrajang, T., B. Sakolrak, U. Sangwanit and J. Wongprom. 2015. Growth responses of *Shorea roxburghii* G. Don seedlings associated with *Astraeus odoratus* ectomycorrhizal mushroom, pp. 66-69. *In* **Forest Research: Forest Annual Conference 2015**. April 22-26, 2015. Faculty of Forestry Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Kaewgrajang, T., B. Sakolrak and U. Sangwanit. 2019. Growth response of *Dipterocarpus tuberculatus* and

Shorea roxburghii seedlings to *Astraeus odoratus*. **Environ. Nat. Resour. J.** 17(3): 80-88.

Kipfer, T., T. Wohlgemuth, M.G.A. van der Heijden, J. Ghazoul and S. Egli. 2012. Growth response of drought-stressed *Pinus sylvestris* seedlings to single- and multi-species inoculation with ectomycorrhizal fungi. **PLoS One** 7(4): e35275. doi:10.1371/journal .pone.0035275.

Kittibhorn, A., P. Cherdchai, S. Nuttika, M. Wiyada and S. Sirirath. 2012. Astraodoric Acids A-D: new lanostane triterpenes from edible mushroom *Astraeus odoratus* and their anti-mycobacterium tuberculosis H37Ra and cytotoxic activity. **J. Agric. Food Chem.** 60: 9834-9841.

Nune, J.A.D., J.S., Serrano, J.A.R. Barreal and J.A.S.O. Gonzalez. 2006. The influence of mycorrhization with *Tuber melanosporum* in the afforestation of a Mediterranean site with *Quercus ilex* and *Quercus faginea*. **For. Ecol. Manag.** 231: 226 - 233.

Omari, A., H. Toda and D. Choi. 2020. Efficacy of soil moisture conditions on the formation of ectomycorrhizal colonization and ^{137}Cs absorption. **Landsc. Ecol. Eng.** 16: 87-95.

RStudio Team. 2020. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA URL http://www.Rstudio.com/.

Sangtiean, T. and U. Sangwanit. 1994. Growth of *Dipterocarpus alatus* Roxb. seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. **J. For.** 13: 22-28. (in Thai)

Sangwanit, U., P. Suwannarit, A. Payappanon, J. Luangsa-ard, A. Chandrasrikul and B. Sakolrak. 2013. **List of Mushrooms**. Biodiversity-Based Economy Development Office (Public Organization), Bangkok. (in Thai)

Smith, S.E. and D.J Read. 2010. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, New York.

Suwanwong, S. 2019. **Plant Responses Under Environmental Stress**. Wanida Press, Nonthaburi.

Turjaman, M., Y. Tamai, H. Segah, S.H. Limin, J.Y. Cha, M. Osaki and K. Tawaraya. 2005. Inoculation with the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus arhizus* and *Scleroderma* sp. Improves early growth of *Shorea pinanga* nursery seedling. **NEW FOREST** 30: 67-73.

Wanroon, R. 2019. **Selection of Ectomycorrhizal Fungi to Improve Salinity Tolerance and Growth in Eucalyptus Seedlings**. M.S. Thesis. Kasetsart University. (in Thai)

Yorou N.S., N.A. Kone, M. Guissou, A.K. Guelly, D.L. Maba, M.R.M. Ekue and A.D. Kesel. 2014. Biodiversity and sustainable use of wild edible fungi in the Sudanian centre of endemism: a plea for Valorisation. p. 241-271. In A.M. Bâ, K.L. McGuire and A.G. Diédhiou, eds. **Ectomycorrhizal Symbioses in Tropical and Neotropical Forests**. CRC Press, New York.

นิพนธ์ต้นฉบับ

ผลของวัสดุปลูกและอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) ต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา ของกล้าไม้ยางนา (*Dipterocarpus alatus*)

Effect of Planting Material and Spore Preservation Temperature of *Astraeus odoratus* on the Growth and Ectomycorrhizal Root Formation in *Dipterocarpus alatus* seedlings

ฐาปนา ฉาบไธสง[1] **Thapana Chabthaisong**[1]

ธารรัตน์ แก้วกระจ่าง[1*] **Tharnrat Kaewgrajang**[1*]

[1]ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

[1]Forest Biology Department, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

*Corresponding Author; E-mail: ffortrk@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 2 มิถุนายน 2564 **รับแก้ไข** 15 กรกฎาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 21 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The objectives of this study were to study the effect of planting materials and temperature on the preservation of *Astraeus odoratus* spores and their ability to grow and form ectomycorrhizal (ECM) root in *Dipterocarpus alatus* seedlings. Two formulae of planting materials included Formula 1 consisting of vermiculite + peat moss (8:2); and Formula 2 consisting of soil + granules black rice husk + coconut husk (1:1:1), were used in the experiment. The result indicated that seedlings inoculated with Formula 1 formed ECM colonization at a rate of 42.09%, which was not observed with Formula 2. Moreover, a relative growth rate of height was observed which was significantly higher than that in seedlings inoculated with Formula 2. To study the effect of temperature on preservation of *A. odoratus* spores, we preserved the spores for two years under three different temperatures including room temperature, 4 °C, and -20 °C. The result indicated that a 2-year-old preserved spore can be used as an ECM inoculum. The appropriate temperature for preservation spore was -20 °C. In addition, the inoculated seedlings with spores preserved at -20 °C showed a significantly higher ECM colonization rate (61.04%) than the inoculated seedlings with spores preserved at room temperature (22.51%).

Keywords: Relative growth rate, Mycorrhiza, Dipterocarpaceae, Spore suspension

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกและอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนังและความสามารถต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของกล้าไม้ยางนา โดยทำการทดสอบวัสดุปลูก 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 เวอร์มิคิวไลต์ + พีตมอสส์ (8:2) และ สูตรที่ 2 ดิน + แกลบดำ + ขุยมะพร้าว (1:1:1) ผลการศึกษาพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 มีอัตราการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา 42.09 เปอร์เซ็นต์ และมีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ที่ไม่มีการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา สำหรับการทดสอบผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนังเป็นเวลานาน 2 ปี ด้วยอุณหภูมิที่ต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 4 องศาเซลเซียส และ -20 องศาเซลเซียสในการปลูกเชื้อ ผลการศึกษาพบว่าสปอร์เห็ดเผาะหนังที่เก็บรักษาไว้นาน 2 ปี สามารถทำให้กล้าไม้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาได้ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนัง คือ -20 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีอัตราการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาสูงกว่า (61.04 เปอร์เซ็นต์) กล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (22.51 เปอร์เซ็นต์)

คำสำคัญ: การเติบโตสัมพัทธ์ ไมคอร์ไรซา ไม้วงศ์ยาง สปอร์แขวนลอย

คำนำ

เอคโตไมคอร์ไรซา (ectomycorrhiza) คือ ความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (mutualism symbiosis) ระหว่างเชื้อรากับรากของพืชชั้นสูง (higher plant) โดยเชื้อราจะได้รับอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงจากพืช ในทางกลับกันเชื้อรายังช่วยให้พืชมีการเติบโตเพิ่มขึ้น เพิ่มความทนทานของพืชในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมไปถึงป้องกันรากพืชจากจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชอีกด้วย (Smith and Read, 2010) เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม เชื้อราจะมีการสร้างดอกเห็ด ซึ่งเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาหลายชนิดสามารถรับประทานได้ Sangwanit *et al.* (2013) รายงานว่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของเห็ดที่รับประทานได้ในประเทศไทยนั้นเป็นเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซา อาทิ สกุลเห็ดระโงก (*Amanita* spp.) สกุลเห็ดหล่ม (*Russula* spp.) สกุลเห็ดมันปู (*Cantharellus* spp.) สกุลเห็ดเผาะ (*Astraeus* spp.) เป็นต้น ในปัจจุบันประเทศไทยพบเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กับไม้ยืนต้น ได้แก่ ไม้วงศ์ก่อ (Fagaceae) ไม้วงศ์ยาง (Dipterocarpaceae) ไม้วงศ์ชมพู่ (Myrtaceae) ไม้วงศ์ถั่ว (Fabaceae) และไม้วงศ์สน (Pinaceae) เป็นต้น (Chalermpongse and Boonthavikoon, 1981, 1982; Dokmai *et al.*, 2015; Yuwa-Amornpitak *et al.*,2006) รวมถึงมีการรายงานถึงเห็ดทรัฟเฟิล (*Tuber thailandicum*) ที่พบอยู่ร่วมกับไม้วงศ์กำลังเสือโคร่ง (Butulaceae) ในประเทศไทยครั้งแรกอีกด้วย (Suwannarach *et al.*, 2015) ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ยางที่มีความแข็งแรงทางด้านเนื้อไม้ ส่งผลให้เป็นชนิดไม้ที่ได้รับการส่งเสริมให้มีการปลูกเป็นไม้เศรษฐกิจที่สร้างมูลค่าได้ จากรายงานที่ผ่านมาพบว่ายางนามีความสัมพันธ์กับเห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) แบบเอคโตไมคอร์ไรซา

นอกจากนี้เห็ดเผาะหนังยังเป็นเห็ดที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นหัวเชื้อเพื่อนำมาผลิตกล้าไม้วงศ์ยางให้มีราเอคโต-ไมคอร์ไรซาที่ราก (Sangtiean and Sangwanit, 1994; Klintong, 2010; Kaewgrajang *et al*., 2013, 2015) สำหรับในประเทศไทยมีการรายงานพบเห็ดเผาะ (*Astraeus* spp.) 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดเผาะหนัง (*Astraeus odoratus*) เห็ดเผาะฝ้าย (*Astraeus asiaticus*) (Phosri *et al*., 2004) และเห็ดเผาะสิรินธร (*Astraeus sirindhorniae*) (Phosri *et al*., 2014) โดยเห็ดเผาะทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถรับประทานได้ แต่เนื่องจากจากเห็ดเผาะฝ้ายมีผนังชั้นนอกมีลักษณะเป็นปุยฝ้าย และเห็ดเผาะหนังสิรินธรมีผนังชั้นนอกที่หนา ทำให้คนนิยมรับประทานเห็ดเผาะหนังมากกว่าเห็ดเผาะชนิดอื่นๆ ส่งผลให้เห็ดเผาะหนังมีมูลค่าสูง นำไปสู่การส่งเสริมให้มีการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังร่วมกับต้นกล้าไม้วงศ์ยางกันอย่างแพร่หลาย

เทคนิคในการปลูกเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาให้กับกล้าไม้นั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่สามารถระบุชนิดของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่จะเข้าไปอาศัยในรากของกล้าได้นั้นมี 2 วิธี คือ การใช้สปอร์ และการใช้เส้นใยบริสุทธิ์ ซึ่งการใช้เส้นใยบริสุทธิ์นั้นยังมีข้อจำกัด คือ เห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ และกระบวนการในการเพาะเลี้ยงเส้นใยบริสุทธิ์นั้นมีความซับซ้อน ยากแก่การนำไปปฏิบัติ (Brundrett *et al*., 1996) จากการศึกษาของ Kaewgrajang *et al*. (2013) ซึ่งพบว่าการปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยและสารเส้นใยบริสุทธิ์แขวนลอยของเห็ดเผาะหนังนั้น ทำให้กล้าไม้ยางนามีการเติบโตไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการปลูกเชื้อโดยใช้สปอร์แขวนลอยจึงเป็นวิธีที่นิยมเลือกใช้ในการผลิตกล้าไม้วงศ์ยาง แม้ว่าการใช้สปอร์เป็นวิธีการที่ง่าย แต่มีข้อจำกัดที่สามารถทำได้เฉพาะในฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่เห็ดออกเท่านั้น ดังนั้นหากต้องการผลิตกล้าไม้ที่มีราของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากโดยใช้สปอร์เป็นหัวเชื้อในช่วงฤดูแล้ง หรือนอกฤดูกาลที่เห็ดออกจำเป็นต้องนำสปอร์มาเก็บรักษาไว้สำหรับใช้ในเวลาที่ต้องการ ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการงอกและการพักตัวของสปอร์ของราเอคโตไมคอร์ไรซาน้อยมาก (Nara, 2009) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันในการเก็บรักษาสปอร์ ตลอดจนการเลือกใช้วัสดุปลูกที่มีความเหมาะสมในการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา โดยจะเห็นได้ว่าปัจจุบันมีเกษตรกรทำการเพาะกล้าไม้วงศ์ยางร่วมกับราเอคโตไมคอร์ไรซาอย่างแพร่หลาย มีทั้งใช้วัสดุทั่วไปที่หาซื้อได้ง่าย ตลอดจนการไปขุดหน้าดินมาทำเป็นวัสดุเพาะกล้าไม้ ซึ่งปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่าคุณสมบัติของธาตุอาหารในวัสดุปลูกแบบใด จะมีความเหมาะสมในการนำมาเพาะกล้าไม้ยางนาให้มีราเอคโตไมคอร์ไรซาอยู่ที่ราก จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและจำเป็นต้องมีการศึกษา การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกและอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนังและความสามารถต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนา โดยผลจากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตหัวเชื้อเห็ดเผาะหนังและกล้าไม้ยางนาให้มีราเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากอย่างมีคุณภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมเมล็ดยางนา

นำเมล็ดยางนาที่แก่เต็มที่มาตัดปีกออก จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง หลังจากนั้นแช่เมล็ดเป็นเวลา 1 คืน นำไปใส่ในกระสอบป่าน รดน้ำทุกวันจนกว่าเมล็ดยางนางอก ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10-14 วัน รากจะมีความยาวประมาณ 1 นิ้ว

การเตรียมสปอร์แขวนลอย

นำเห็ดเผาะหนังมาฉีกผนังชั้นนอกของเห็ดออก นำสปอร์มาร่อนบนตะแกรงลวด เมื่อได้ผงสปอร์แล้วนำมาผสมน้ำในอัตราส่วน 1:10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมน้ำยาล้างจาน (teepol) 2-3 หยด เพื่อลดแรงตึงผิวของน้ำ จากนั้นนำผงสปอร์ที่แขวนลอยในน้ำใส่ลงในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ ปั่นนาน 1-2 วินาที หาความหนาแน่นของสปอร์โดยการนับสปอร์ด้วย Hemocytometer ปรับความเข้มข้นของสปอร์แขวนลอยให้ได้เท่ากับ 1×10^7 สปอร์ต่อมิลลิลิตร

การศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

ในเดือนมีนาคมปี พ.ศ. 2563 ทำการทดสอบผลของวัสดุปลูก 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (VI) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) 8 ส่วนกับพีตมอสส์ (peat moss) 2 ส่วน โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสูตรที่ 2 (SI) ดินยี่ห้อ TOPTEN 1 ส่วน แกลบดำ 1 ส่วน และขุยมะพร้าว 1 ส่วน โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำเมล็ดยางนาที่งอกรากในข้อ 1 ปลูกในวัสดุปลูกทั้ง 2 สูตร เพาะกล้าไม้เป็นระยะเวลา 1 เดือน เมื่อครบ 1 เดือน (เมษายน) คัดเลือกกล้าไม้ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน มาวัสดุปลูกสูตรละ 10 ต้น รวมกล้าไม้ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 20 ต้น ในการทดลองนี้ได้นำดอกเห็ดเผาะหนังที่เก็บจากบริเวณป่าเต็งรัง อ.เมือง จ.สุโขทัย ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 มาใช้เป็นหัวเชื้อ โดยการเตรียมสปอร์แขวนลอยปฏิบัติตามข้อ 2 หลังจากนั้นปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสารแขวนลอยสปอร์ปริมาณ 10 มิลลิลิตร/ต้น ทำการวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากทันที ควบคุมการให้น้ำกล้าไม้ 25 มิลลิลิตร/ต้น และแสงภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน วัดข้อมูลอีกครั้งเมื่อกล้าไม้มีอายุครบ 6 เดือน ในเดือนตุลาคมปี พ.ศ. 2563 เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ทำการคำนวณหาค่าการเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate) ทั้งทางด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก โดยคำนวณตามสมการ

การเติบโตสัมพัทธ์ = ln (T1) – ln (T0) / เวลา (เดือน)

โดย ln = natural log,

T1 = ค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และ T0 เป็นค่าเมื่อเริ่มต้นทดลอง

และทำการสุ่มกล้าไม้จำนวนทรีตเมนต์ละ 3 ต้น เพื่อตรวจหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาตามวิธีการของ Brundrett *et al*. (1996) นำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t-test ด้วยโปรแกรม R นอกจากนี้ ได้สุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุปลูกทั้งสองสูตร ปริมาณสูตรละ 100 กรัม ส่งไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนังต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

เห็ดเผาะหนังที่ใช้ในการศึกษาเก็บจากบริเวณป่าเต็งรัง อ.เมือง จ.สุโขทัย ในปี พ.ศ. 2561 นำดอกเห็ดมาเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 2 ปี ด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 1) อุณหภูมิห้อง 2) 4 องศาเซลเซียส และ 3) -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำดอกเห็ดที่เก็บรักษาด้วยวิธีการดังกล่าวมาใช้เป็นหัวเชื้อ โดยเตรียมสปอร์แขวนลอยตามข้อ 2 แล้วนำสปอร์แขวนลอยที่ได้ไปปลูกเชื้อให้กับกล้าไม้ยางนาอายุ 1 เดือน ที่ปลูกในเดือน

มีนาคม ปี พ.ศ. 2563 ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของเวอร์มิคิวไลต์กับพีตมอสส์ ในอัตราส่วน 8:2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปลูกเชื้อทรีตเมนต์ละ 10 ซ้ำ รวมทั้งสิ้นใช้กล้าไม้จำนวน 30 ต้น วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากครั้งแรกเมื่อปลูกเชื้อให้กับกล้าไม้ ทำการควบคุมการให้น้ำกล้าไม้ 25 มิลลิลิตร/ต้น และแสงภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน วัดข้อมูลอีกครั้งเมื่อกล้าไม้มีอายุครบ 6 เดือน ในเดือนตุลาคมปี พ.ศ. 2563 เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ทำการคำนวณหาค่าการเติบโตสัมพัทธ์ (relative growth rate) ทั้งทางด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก โดยคำนวณตามสมการที่กล่าวมาข้างต้น อีกทั้งได้ทำการสุ่มกล้าไม้ทรีตเมนต์ละ 3 ต้น เพื่อตรวจหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาตามวิธีการของ Brundrett *et al*. (1996) นำข้อมูลการเติบโตสัมพัทธ์ด้านความสูง การเติบโตสัมพัทธ์ด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอราก และเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วย One-Way ANOVA แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD' test ด้วยโปรแกรม R

ผลและวิจารณ์ผล

ผลของวัสดุปลูกต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผลการเติบโตสัมพัทธ์ของกล้าไม้ที่ปลูกในวัสดุปลูกทั้งสองสูตรด้วย t-test พบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกในวัสดุปลูกต่างกันมีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากแตกต่างกันอย่างไม่นัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) แต่มีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) โดยพบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 1 (เวอร์มิคิวไลต์ + พีตมอสส์, VI) กล้าไม้มีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงมากกว่าต้นกล้าที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 (ดิน + แกลบดำ + ขุยมะพร้าว, SI)

Table 1 Relative growth rate of diameter at root collar and height of inoculated *Dipterocarpus alatus* seedlings with spore suspension of *Astraeus odoratus*.

Treatments	Relative growth rate of diameter at root collar ± SD (mm/mm/month)	Relative growth rate of height ± SD (cm/cm/month)
VI	0.102^{a} ± 0.016	0.086^{a} ± 0.021
SI	0.093^{a} ± 0.025	0.068^{b} ± 0.014
	t=0.937, *P*=0.361	t=2.351, *P*=0.030

Remark: SI = soil + granules black rice husk + coconut husk, VI = vermiculite + peat moss; the same letter in each column indicates a statistically insignificant difference (t-test, n = 20).

จากการสุ่มรากแล้วนำมาตรวจหาเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาในกล้ายางนา พบว่ากล้ายางนาที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 (VI) มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา 42.09±4.71 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ไม่พบการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาในกล้ายางนาที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 (SI) (Figure 1) ซึ่งจากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากเอคโตไมคอร์ไรซาของยางนาที่มีเห็ดเผาะหนังอาศัยที่รากมีลักษณะการแตกแขนงเป็นรูปขนนก (monopodial-pinnate) สีครีมถึงสีน้ำตาลอ่อน ผิวแวววาว พบการรวมกลุ่มของเส้นใยรามีลักษณะยาวเป็นสายคล้ายราก (rhizomorph) และกลุ่มของเส้นใยรามารวมกันเป็นก้อน (sclerotium) สีน้ำตาลเจริญพันอยู่ที่รอบ ๆ รากด้วย ในขณะที่รากที่ไม่มีเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากนั้นมีการแตกแขนงน้อย และมีขนาดเล็กกว่า 1-2 เท่า (Figure 2) ซึ่งลักษณะทางสัณฐานวิทยาดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kaewgrajang *et al*. (2013)

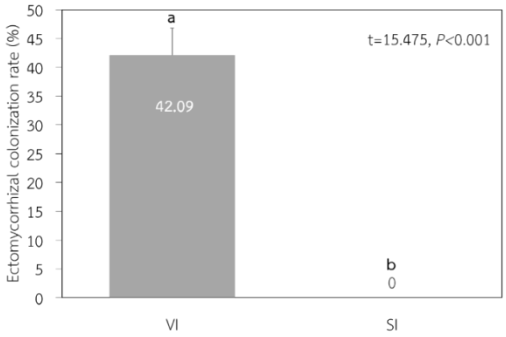


Figure 1 Ectomycorrhizal colonization rate of inoculated *Dipterocarpus alatus* seedlings planted with two different planting materials (VI = vermiculite + peat moss; SI = soil + granules black rice husk + coconut husk). The same letters above the bar indicate a statistically insignificant difference as obtained from the t-test.

Figure 2 *Dipterocarpus alatus* roots. (A), non ectomycorrhizal root; (B), ectomycorrhizal roots associated with *Astraeus odoratus* (S = sclerotium, R = rhizomorph).

ผลการศึกษาพบว่ากล้าไม้ที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 (SI) ไม่มีรากเอคโตไมคอร์ไรซาเกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าในวัสดุปลูกที่ 2 มีปริมาณธาตุอาหารสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ดังแสดงใน Table 2 โดยปริมาณธาตุอาหารอาจส่งผลต่อการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารนั้นมีผลในการยับยั้ง หรือลดการเข้าอยู่อาศัยในรากของเชื้อราไมคอร์ไรซา ซึ่งมีการรายงานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (arbuscular mycorrhiza fungi) เช่น งานวิจัยของ Youpensuk (2006) พบว่าเชื้ออาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ หากมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดรากไมคอร์ไรซาลดน้อยลง นอกจากนี้ Lu and Koide (1994) พบว่าดินที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูง ส่งผลให้ความยาวของรากและการเข้าอาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่ำกว่าดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส Beltrano *et al*. (2013) ได้เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดรากของต้นพริก (*Capsicum annuum* L.) ที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (*Glomus intraradices*) ร่วมอยู่ที่ราก เมื่อนำไปปลูกในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัส 2 ระดับ คือ 10 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กล้าพริกมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากไมคอร์ไรซา(80 เปอร์เซ็นต์) มากกว่า และที่ระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (65 เปอร์เซ็นต์) Poomipan *et al*. (2020) ได้ทำการทดลองความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่ออยู่ในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus) เท่ากับ 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และรองลงมา คือ ดินที่มีฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืช 18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ Lin *et al*. (2020) ได้ทำการศึกษาในภาคสนามในพื้นที่ที่มีการทับถมของไนโตรเจน และได้เติมธาตุฟอสฟอรัสในดินแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ 20 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่าการเติมฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการสร้างราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชของต้น Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) อีกทั้งยังทำให้ความหนาแน่นของสปอร์บริเวณรอบ ๆ รากของพืชลดลงร่วมด้วย สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของปริมาณธาตุอาหารในดินกับการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซานั้นมีข้อมูลที่น้อยมาก โดย Clausing *et al*. (2020) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเติมไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) ต่อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตภายในดินบริเวณป่าชายหาด ซึ่งผู้ศึกษามีสมมติฐานว่าเมื่อพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ย่อมส่งผลให้ความมากหลายของชนิด (species richness) มากไปด้วย โดยพบว่าไม่เกิดกับเห็ดที่เป็นราเอคโตไมคอร์ไรซา จากงานวิจัยดังกล่าวรวมถึงการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าราเอคโตไมคอร์ไรซาของเห็ดเผาะหนังที่ไม่พบในวัสดุปลูกที่ 2 อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุฟอสฟอรัส (P) ที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเกิดรากของราเอคโตไมคอร์ไรซา ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมถึงปริมาณของธาตุอาหารที่มีผลต่อการยับยั้งการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา ตลอดจนกลไกในการยับยั้งการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาด้วย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 1 (VI) ที่มีปริมาณธาตุอาหารที่น้อยกว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 2 (SI) แต่กล้าไม้ยางนาที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 (VI) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์รากเอคโตไมคอร์ไรซาเท่ากับ 42.07 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงมากกว่ากล้าไม้ที่ปลูกในวัสดุปลูกที่ 2 แสดงให้เห็นว่าราเอคโตไมคอร์ไรซาที่อยู่ในรากของกล้าไม้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารให้แก่กล้าไม้ สอดคล้องกับ Duangkae (2002) ซึ่งรายงานว่าเอคโต

ไมคอร์ไรซาช่วยในการเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและแร่ธาตุให้แก่ต้นไม้ และการศึกษาของ Kaewgrajang *et al*. (2013) ซึ่งพบว่าเมื่อกล้าไม้ยางนามีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซามากขึ้น ส่งผลให้กล้าไม้มีการเติบโตมากยิ่งขึ้นด้วย

Table 2 pH, organic matter, and nutrient concentration of two different planting materials (VI = vermiculite + peat moss, SI = soil + granules black rice husk + coconut husk) .

Plant material	pH	% Om	%Total N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Cu (mg/kg)
VI	7.04	18.39	0.275	32.7	103.12	319.7	1.9425
SI	7.2	22.405	0.165	644	1615.3	532.9	2.6775

Remark: pH=Positive potential of the Hydrogen ions, % Om=Precent of organic matter, %Total N= Precent of total Nitrogen, P=available phosphorus, K=Potassium, Mg=Magnesium, and Cu=Copper.

ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาสปอร์ต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา

จากการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสปอร์แขวนลอย ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ ให้กับกล้าไม้ยางนาเป็นเวลานาน 6 เดือน พบว่าเมื่อนำข้อมูลการเติบโตสัมพัทธ์ของกล้าไม้ยางนาไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วย One-way ANOVA กล้าไม้ยางนามีการเติบโตสัมพัทธ์ทางด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3)

Table 3 Relative growth rate of diameter at root collar and height of *Dipterocarpus alatus* seedlings inoculated with spore suspension of *Astraeus odoratus* kept under different temperature preservation methods.

Treatments	Relative growth rate of diameter at root collar (mm/mm/month)	Relative growth rate of height (cm/cm/month)
Preservation at room temperature	0.086[a]±0.022	0.074[a]±0.012
Preservation at 4 ℃	0.085[a]±0.027	0.072[a]±0.022
Preservation at -20 ℃	0.087[a]±0.020	0.074[a]±0.014
	F=0.026, *P*=0.974	**F=0.074, *P*=0.928**

Remark: The same letters in each column indicate insignificant difference (LSD test).

จากการสุ่มรากกล้ายางนาเพื่อตรวจเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา แล้วนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วย One-way ANOVA พบว่ากล้าไม้ยางนาที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์เห็ด

เผาะหนังที่เก็บรักษาด้วยอุณหภูมิแตกต่างกันนั้นมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F=15.964, *P*=0.001) เมื่อนำค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละทรีตเมนต์ไปเปรียบเทียบโดย Least Significant Difference Test พบว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาสูงที่สุด เท่ากับ 61.043±5.050 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซานี้ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กับกล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนการเก็บรักษาสปอร์ที่อุณหภูมิห้องทำให้กล้าไม้ มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาน้อยที่สุด เท่ากับ 22.514±15.014 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีตเมนต์อื่น (Figure 3)

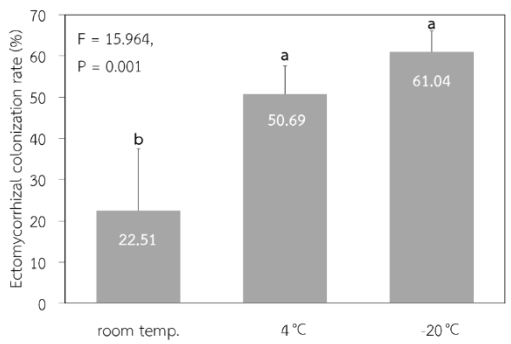


Figure 3 Ectomycorrhizal colonization rate of inoculated *Dipterocarpus alatus* seedlings with different preservation temperatures of *Astraeus odoratus* spores. The same letters on the bars indicate statistically insignificant difference (LSD test).

จากการศึกษาของ Ishida *et al*. (2008) พบว่าสปอร์ของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาไม่สามารถงอกได้โดยปราศจากพืชอาศัย ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาสปอร์ของเห็ดย่อมมีผลต่อการงอกและประสิทธิภาพในการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา วิธีการหนึ่งที่นิยมเก็บรักษาสปอร์คือการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมากถึง –80 องศาเซลเซียส หรือ –196 องศาเซลเซียส ซึ่งสปอร์ของเห็ดเอคโตไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดนั้นมีความทนทานต่อการเก็บในอุณหภูมิต่ำได้แตกต่างกัน (Corbery and Le Tacon, 1997) จากผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังด้วยสปอร์แขวนลอย ที่เก็บรักษาด้วยอุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 - 32 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน 2 ปีนั้น สามารถใช้ในการปลูกเชื้อและทำให้กล้าไม้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความสามารถของสปอร์เห็ดเผาะหนังต่อการทำให้เกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาในกล้าไม้ที่แตกต่างกัน หากเก็บสปอร์ที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการเก็บสปอร์นาน ยิ่งส่งผลให้มีความสามารถในการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาน้อยลง Juge *et al*. (2002) รายงานว่าความเย็นหรืออุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการกระตุ้นสปอร์จากการพักตัว แต่อย่างไรก็ตาม ราเอคโตไมคอร์ไรซานั้นมีช่วงอุณหภูมิที่ต่ำที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการพักตัวของสปอร์แตกต่างกันไป ในการศึกษาครั้งนี้แม้ว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยของเห็ดเผาะหนังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องนั้น มีการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาน้อยกว่ากล้าไม้ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์แขวนลอยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 และ 4 องศาเซลเซียส ก็ตามแต่การเติบโตสัมพัทธ์ทั้งทางด้าน

ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางที่คอรากของกล้าไม้นั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการศึกษาของ Kaewgrajang *et al*. (2013) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งทั้งหมด (total dry weight) ของกล้าไม้ยางนาอายุ 7 เดือนกับรากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เกิดในกล้าไม้ พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์รากเอคโตไมคอร์ไรซาที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักแห้งของกล้าไม้เพิ่มขึ้นสูงขึ้นไปด้วย แสดงให้เห็นว่าการเติบโตกล้าไม้ยางนาระยะเวลาเพียง 6 เดือน อาจไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของข้อมูลอย่างชัดเจน โดยควรมีการเก็บข้อมูลนานอย่างน้อย 7 เดือนหรือมากกว่านั้น และทั้งนี้ควรต้องมีการเก็บข้อมูลทางด้านสรีรวิทยาอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น พื้นที่ผิวใบ ศักยภาพของคลอโรฟิลล์ จำนวนใบ รวมไปถึงน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้น ใบ ราก เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบร่วมด้วย ซึ่งอาจทำให้เห็นผลการเติบโตของกล้าไม้ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

สรุป

จากผลของวัสดุปลูกต่อการเติบโตและการเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซา พบว่าการใช้วัสดุปลูกที่มีธาตุอาหารที่เหมาะสม ส่งผลทำให้กล้าไม้มีการเติบโตดี และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดรากเอคโตไมคอร์ไรซาสูง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ วัสดุปลูกสูตรที่ 1 (เวอร์มิคิวไลต์ + พีตมอสส์, 8:2) เป็นวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการปลูกเชื้อเห็ดเผาะหนังให้กับกล้าไม้ยางนาที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าสปอร์เห็ดเผาะหนังที่เก็บรักษาไว้นาน 2 ปี ยังสามารถนำมาใช้เป็นหัวเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาได้ อย่างไรก็ตามหากเก็บรักษาสปอร์เห็ดเผาะหนังที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บรักษาสปอร์เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อได้ดีที่สุด การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตหัวเชื้อและผลิตกล้าไม้วงศ์ยางให้มีเชื้อเอคโตไมคอร์ไรซาที่รากต่อไปได้

คำนิยม

ขอขอบคุณภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ และชมรมเรือนเพาะชำ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกให้ใช้สถานที่ในการทดลองตลอดจนห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่าง ๆ

REFERENCES

Beltrano, J., M. Ruscitti, M.C. Arango and M. Ronco. 2013. Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. **J. Soil Sci. Plant Nutr.** 13(1): 123-141.

Brundrett, M.C., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture.** ACIAR Monograph 32. Pirie Printers, Canberra.

Chalermpongse, A. and T. Boonthavikoon. 1981. **The Investigation of Mycorrhizal Fungi Associated with Roots of Trees in Sakaerat Dry-Dipterocarp Forest Ecosystem**. Forest pest control branch, Royal Forest Department, Bangkok.

Chalermpongse, A. and T. Boonthavikoon. 1982. **The Investigation of Ectomycorrhiza in Dry-Evergreen**

Forest Ecosystem. Forest pest control branch, Royal Forest Department, Bangkok.

Clausing, S., L.E. Likulunga, D. Janz, H.Y. Feng, D. Schneider, R. Daniel, J. Krüger, F. Lang and A. Polle. 2020. Impact of nitrogen and phosphorus addition on resident soil and root mycobiomes in beech forests. **bioRxiv** (unpublished preprints) : https://doi.org/10.1101/2020.12.29.424645.

Corbery, Y. and F.L. Tacon. 1997. Storage of ectomycorrhizal fungi by freezing. **Ann. sci. for. (online)** 54(2): 211-217.

Dokmai, P., C. Phosri, R. Khangrang and N. Suwannasai. 2015. Above- and below-ground ectomycorrhizal diversity in a pine-oak forest in northeastern Thailand. **Chiang Mai J. Sci.** 42(1): 80-88

Duangkae, K. 2002. Mycorrhiza: diversity and development, pp. 187-252. *In* **Proceedings of Biodiversity of Forest Resources and Wildlife "Progress Report and Activities in 2005"**. August 22-28, 2002. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)

Ishida, T.C., K. Nara, M. Tanaka, A. Kinoshita and T. Hogetsu. 2008. Germination and infectivity of ectomycorrhizal fungal spores in relation to their ecological traits during primary succession. **New Phytol.** 180(2): 491–500.

Juge, C., J. Samson, C. Bastien, H. Vierheilig, A. Coughlan and Y. Piché. 2002. Breaking dormancy in spores of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*: a critical cold-storage period. **Mycorrhiza** 12: 37–42.

Kaewgrajang, T., U. Sangwanit, K. Iwase, M. Kodama and M. Yamato. 2013. Effects of ectomycorrhizal fungus *Astraeus odoratus* on *Dipterocarpus alatus* seedlings. **J. Trop. For. Sci.** 25(2): 200–205.

Kaewgrajang, T., B. Sakolrak, U. Sangwanit and J. Wongprom. 2015. Growth responses of *Shorea roxburghii* G. Don seedlings associated with *Astraeus odoratus* ectomycorrhizal mushroom, pp. 66-69. *In* **Forest Research: Forest Annual Conference 2015**. April 22-26, 2015. Faculty of Forestry Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Klintong, W. 2010. **Effects of *Astraeus* spp. Mycelial Inocula on Mycorrhizal Formation and Growth Simulation of *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don Seedlings**. M.S. Thesis, Chulalongkorn University. (in Thai)

Lin, C., Y. Wang, M. Liu, Q. Li, W. Xiao and X. Song. 2020. Effects of nitrogen

deposition and phosphorus addition on arbuscular mycorrhizal fungi of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*). **Sci. Rep.** 10: 12260.

Lu, X. and R.T. Koide. 1994. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. **New Phytol.** 128: 211–218.

Nara, K. 2009. Spore of ectomycorrhizal fungi: ecological strategies for germination and dormancy. **New Phytol.** 181: 245-248.

Phosri, C., R. Watling, M.P. Martin and A.J.S. Whalley. 2004. The genus *Astraeus* in Thailand. **Mycotaxon** 89: 453–463.

Phosri, C., R. Watling, N. Suwannasa, A. Wilson and M.P. Martin. 2014. A new representative of star-shaped fungi: *Astraeus sirindhorniae* sp. nov. from Thailand. **PLoS One** 9(5): e71160. doi:10.1371/journal.pone.0071160.

Poomipan, P., S. Sammayo and P. Reunsuk. 2020. Effect of available phosphorus in soil on efficiency of Arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus intraradices*. **Thai Science and Technology Journal** 28(2): 294-307.

Sangtiean, T. and U. Sangwanit. 1994. Growth of *Dipterocarpus alatus* Roxb. seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi. **J. For** 13: 22-28. (in Thai)

Sangwanit, U., P. Suwannarit, A. Payappanon, J. Luangsaard, A. Chandrasrikul and B. Sakolrak. 2013. **List of Mushrooms.** Biodiversity-Based Economy Development Office (Public Organization), Bangkok. (in Thai)

Smith, S.E. and D. Read. 2010. **Mycorrhizal Symbiosis**. Academic Press, New York.

Suwannarach, N., J. Kumla and S. Lumyong. 2015. A new whitish truffle, *Tuber thailandicum* from northern Thailand and its ectomycorrhizal association. **Mycol. Prog.** 14(10): 83

Youpensuk, S. 2006. **Mycorrhiza**. Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

Yuwa-Amornpitak, T., T. Vichitsoonthonkul, M. Tanticharoen, S. Cheevadhanarak and S. Ratchadawong. 2006. Diversity of ectomycorrhizal fungi on Dipterocarpaceae in Thailand. **J. Biol. Sci.** 6(6): 1059-1064

นิพนธ์ต้นฉบับ

เทคนิคการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

Land Use Classification Technique Using Unmanned Aerial Vehicle Orthophotos

ไกรวุฒิ ศิริอ่อน[1,2] **Kraiwut Siri-on**[1,2]

ปิยวัตน์ ดิลกสัมพันธ์[1*] **Piyawat Diloksumpun**[1*]

วีระภาส คุณรัตนสิริ[1] **Weeraphart Khunrattanasiri**[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand

[2]สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Forest Land Management Office, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok, 10900 Thailand

[*]Corresponding Author, E-mail: piyawat.d@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 4 มิถุนายน 2564 **รับแก้ไข** 21 กรกฎาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 27 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can currently take high-resolution orthophotos but the camera sensor only has an RGB band. Classifying land use using UAV aerial photos through computer needs suitable techniques. The objective of this research was to find suitable techniques for such land use classification. Pixel and object-based classification techniques were applied and validated using visual interpretation techniques. The study area was in the Ban Pa Not, Mae Tha subdistrict, Mae On district, Chiang Mai province, in a total area of approximately 1,182.47 rai, with some parts in the Pa Khun Mae Tha National Reserved Forest.

We found that pixel-based classification techniques have an overall accuracy of 39.4% with a Kappa coefficient of 0.27, while object-based classification technique has an overall accuracy of 34.2% with a Kappa coefficient of 0.22. Pixel-based classification techniques gave a slightly higher value but both techniques had an acceptable level of performance as indicated by the Kappa coefficient values on the Landis and Koch scale. We conclude that orthophotos in the RGB band obtained from UAVs are not suitable for land use classification and it is nescessary to find additional techniques to validate such classifications.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, Land use classification, National reserved forest, Pixel-based classification, Object-based classification

บทคัดย่อ

อากาศยานไร้คนขับ ในปัจจุบันสามารถบินถ่ายภาพถ่ายเชิงเลขที่มีความละเอียดสูง แต่ด้วยกล้องบันทึกภาพสามารถบันทึกได้ในแถบความถี่ RGB การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินต้องหาเทคนิคที่เหมาะสม การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ (pixel-based classification) และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ (object-based classification) เปรียบเทียบกับการจำแนกด้วยสายตา ในบริเวณ บ้านป่าน็อต ตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เนื้อที่ 1,182.47 ไร่ คาบเกี่ยวเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าขุนแม่ทา

ผลการศึกษา พบว่า เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.27 และ เทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ ร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 34.2 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.22 ซึ่งเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อยแต่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa ระดับพอใช้ ทั้งสองเทคนิค แสดงว่าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยมีความจำเป็นต้องศึกษาเทคนิคเพิ่มเติม

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ป่าสงวนแห่งชาติ การจำแนกเชิงจุดภาพ การจำแนกเชิงวัตถุ

คำนำ

การจัดทำแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการวางแผนจัดการพื้นที่ป่าไม้นั้น ในอดีตใช้การเดินสำรวจเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนที่ แต่สภาพพื้นที่ที่เป็นป่าเขายากต่อการเข้าถึงทำให้การสำรวจทำได้ในพื้นที่จำกัด ใช้เวลาจำนวนคนและงบประมาณเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลควบคู่กับการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบอากาศยานไร้คนขับด้วยขนาดอากาศยานที่มีขนาดเล็กสามารถบินถ่ายภาพได้ทันทีและมีความละเอียดสูง ในกิจการป่าไม้ภายใต้ความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและกรมป่าไม้ทำการบินทดสอบสำรวจทรัพยากรป่าไม้เป็นครั้งแรก ณ บริเวณบ้านป่าน็อต จังหวัดเชียงใหม่ บนเนื้อที่ 1,182.47 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่คาบเกี่ยวเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าขุนแม่ทา (Defence technology institute, 2018) ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขที่มีความละเอียดสูงจึงสามารถนำมาจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

ข้อแตกต่างระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรกับภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับคือความละเอียดจุดภาพและจำนวนแถบความถี่ อากาศยานไร้คนขับให้ความละเอียดจุดภาพที่สูงเมื่อเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งถือเป็นจุดเด่นที่ได้ภาพที่ให้รายละเอียดดี แต่มีข้อจำกัดที่กล้องบันทึกภาพมี

แถบความถี่เพียง 3 แถบ คือ แถบสีแดง (red) สีเขียว (green) และ สีน้ำเงิน (blue) หรือมักเรียกว่า RGB ซึ่งต่างจากภาพถ่ายดาวเทียมที่จะมีจำนวนแถบความถี่เป็นจำนวนมากเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลภาพ การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยจึงจำเป็นต้องหาเทคนิคที่เหมาะสม จากการศึกษาของ Suttinon *et al*. (2014) ได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการจำแนกข้อมูลระหว่างวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ และวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ โดยใช้ภาพถ่ายปรับความคมชัดจากดาวเทียมไทยโชต ซึ่งผลการศึกษาพบว่า วิธีการจำแนกการจำแนกเชิงวัตถุให้ค่าความถูกต้องโดยรวมสูงกว่าค่าความถูกต้องโดยรวมของวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพถึงร้อยละ 20

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาแนวทางในการนำเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุมาใช้ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง และนำเทคนิคที่ได้ไปประยุกต์ในการจัดทำแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าไม้ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับในโอกาสต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ดังนี้ จัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ จัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาจากการแปลด้วยสายตา วิเคราะห์จำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลขด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพและเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ และเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ปรากฏตาม Figure 1

การจัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

1. จัดทำภาพถ่ายสีเชิงเลข โดยนำเข้าภาพถ่ายพื้นที่ศึกษาที่บันทึกภาพจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยกล้องบันทึกภาพชนิดแถบความถี่ RGB บันทึกภาพเมื่อวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ภายใต้ความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและกรมป่าไม้ จำนวน 146 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณ บ้านป่าน็อต ตำบลแม่ทา อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ เนื้อที่ 1,182.47 ไร่ ปรากฏตาม Figure 2 ด้วยโปรแกรม Agisoft Photoscan กำหนดค่าพิกัดให้แก่ภาพถ่ายจากการรังวัดจุดยึดโยงภาพถ่ายทางอากาศ Ground Control Point (GCP) ด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกความละเอียดสูงชนิดสองความถี่ GNSS Trimble R6 โดยการรังวัดแบบสถิต (static survey) ในระบบพิกัด WGS 1984 Zone 47N โดยทำการรังวัดบนพื้นที่จริงในตำแหน่งที่ปรากฏบนภาพเด่นชัด นำค่าพิกัดและ ค่าความสูง ประมวลผลด้วยโปรแกรม Trimble Business Center

2. ตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยแผนที่ภูมิประเทศ ลำดับชุด L7018 ระวาง 4846 II และภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข โครงการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2545 ระวาง 4846 II 2654 และ 4846 II 2854

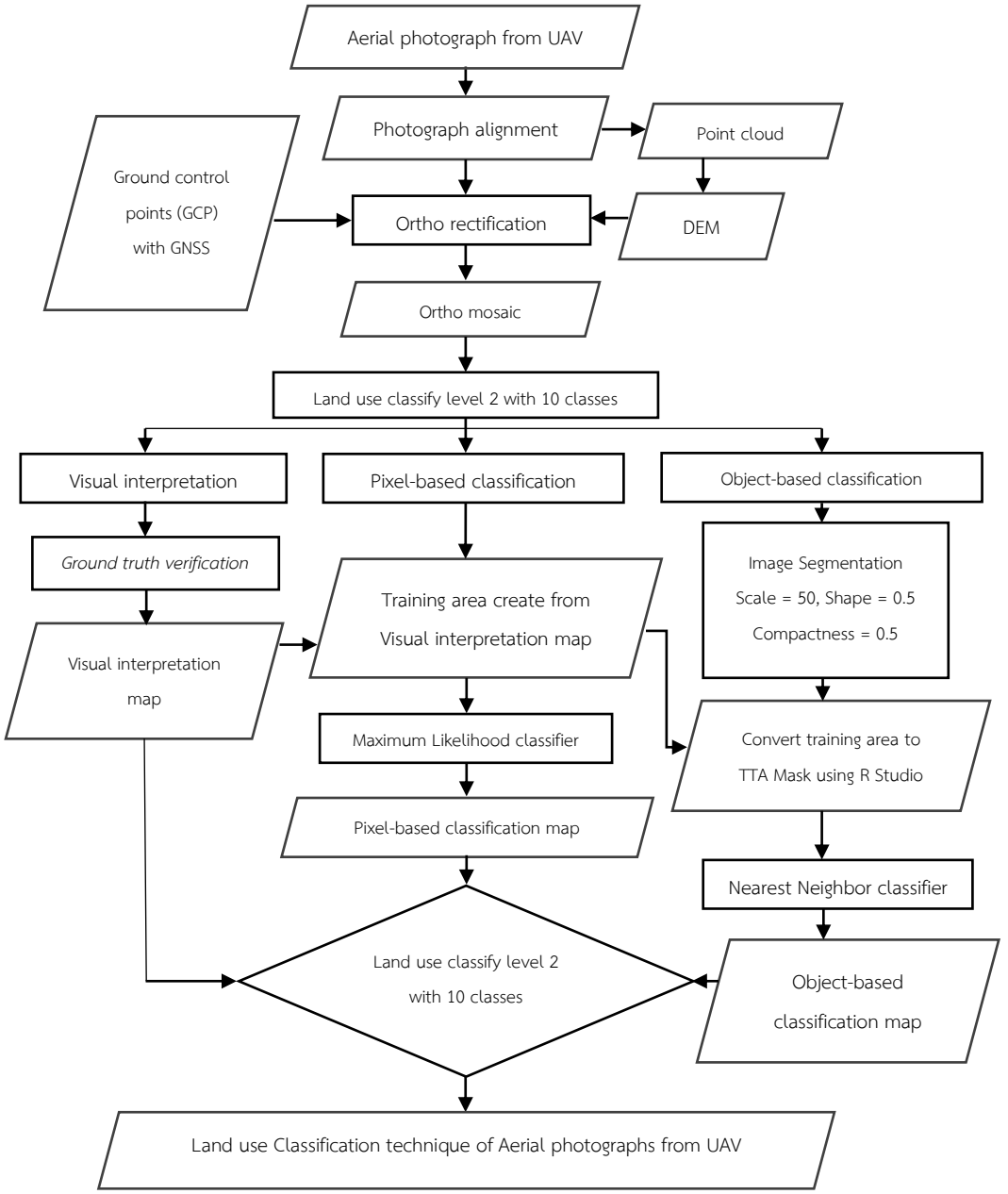


Figure 1 Research process flow chart.

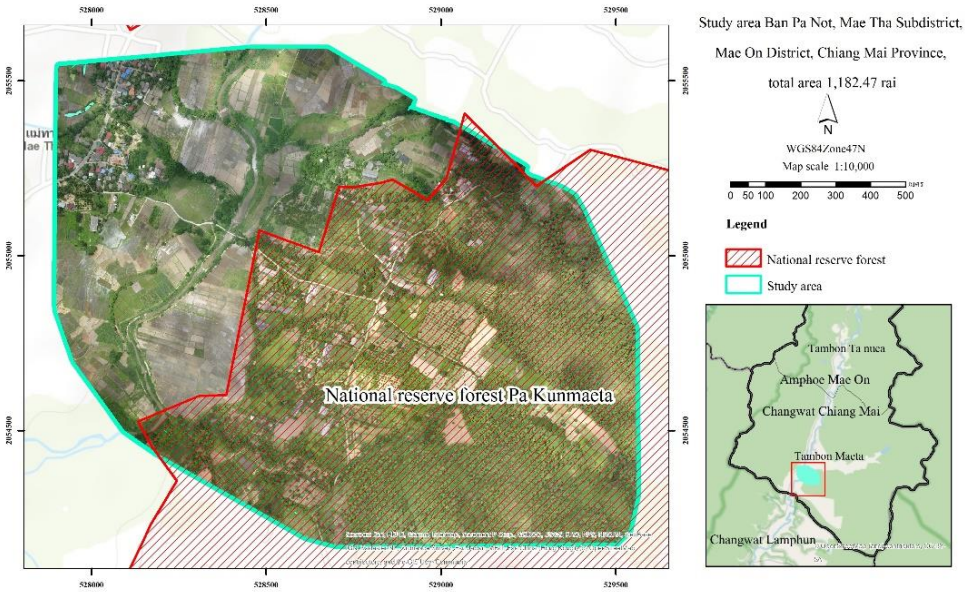


Figure 2 Study area in the Ban Pa Not, Mae Tha subdistrict, Mae On district, Chiang Mai province, with some parts encroaching the Pa Khun Mae Tha national reserved forest.

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับใช้เทคนิคการจำแนกด้วยสายตา (visual interpretation) ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยวิธี On Screen Digitizing ในระบบพิกัด UTM WGS 84 Zone47N โดยจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในลำดับที่ 2 ทั้งหมด 10 ประเภท อ้างอิงสัญลักษณ์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินตาม คณะอนุกรรมการอ่านภาพถ่ายทางอากาศ (Office of the State Land Management under Office of the Permanent Secretary, 2013) ดังนี้ นาข้าว ไม้ผล ป่าไม่ผลัดใบ ป่าผลัดใบ พื้นที่เบ็ดเตล็ด ทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ไม้พุ่ม บ้าน/หมู่บ้าน สถานีคมนาคม (ถนน) แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งน้ำสร้างขึ้น

จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกด้วยสายตากับข้อมูลจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ปี พ.ศ. 2560 จากกรมพัฒนาที่ดิน รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องในพื้นที่จริงด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก Garmin Map 60csx

การวิเคราะห์การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. จำแนกเชิงจุดภาพ ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยใช้วิธีจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล ด้วยพื้นที่ตัวอย่าง (training area) เป็นตัวแทนของค่าทางสถิติในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ปรากฏในภาพ นำผลการจำแนกด้วยสายตาสร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่างโดยทำการสุ่มจุดพื้นที่ตัวอย่าง ด้วยคำสั่ง Systematic Random Point ให้กระจายแบบเป็นระบบในทุกชั้นข้อมูลและครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด

จากนั้นทำการแปลงจุดพื้นที่ตัวอย่างให้เป็น Polygon เพื่อคำนวณค่าทางสถิติของภาพในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกข้อมูลในการจำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแล ใช้ตัวจำแนกแบบโอกาสความน่าจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood classification) ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

2. จำแนกเชิงวัตถุ ด้วยโปรแกรม eCognition จำแนกข้อมูลโดยใช้กระบวนการแยกส่วนภาพ (segmentation) โดยทำการแบ่งกลุ่มของข้อมูลจุดภาพที่มีค่าทางสถิติใกล้เคียงกันและอยู่ติดกันเพื่อสร้างเป็นวัตถุ พิจารณาจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบด้วย Scale (มาตราส่วน) Color (สี) Shape (รูปร่าง) Smoothness (ความราบเรียบ) และ Compactness (การเกาะกลุ่ม) ใช้พื้นที่ตัวอย่างเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพ เพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกข้อมูลในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวจำแนกใช้ตัวจำแนกข้อมูลแบบ Nearest Neighbor ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับข้อมูลเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพ

การเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. เปรียบเทียบผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพและเชิงวัตถุ กับผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสายตา โดยวิธีการซ้อนทับข้อมูล (overlay) ด้วยโปรแกรม ArcGIS

2. การประเมินความถูกต้องการวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

2.1. กำหนดจำนวนจุดตรวจสอบความถูกต้อง ด้วยการคำนวณจุดตรวจสอบ (Congalton and K. Green, 1999) กำหนดให้โอกาสที่จะเกิดความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 85 และกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มยอมรับได้ไม่เกินร้อยละ 5 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจำนวนจุดตรวจสอบกระจายทุกชั้นข้อมูล ใช้การสุ่มแบบชั้นภูมิ (stratified random sampling) ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และไม่ซ้ำกับจุดที่ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่าง

$$n = \frac{Z^2(p)(q)}{e^2}$$

เมื่อ n คือ จำนวนจุดตรวจสอบ

p คือ โอกาสที่จะเกิดความถูกต้อง

Z คือ ค่ามาตรฐาน

q คือ โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด (1 – p)

e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสุ่ม

2.2. ประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพและเชิงวัตถุ ด้วยการสร้างตาราง Error Matrix และทำการคำนวณด้วยสมการ ดังต่อไปนี้

2.2.1 คำนวณความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม (overall accuracy) เพื่อแสดงความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลที่มีความสอดคล้องตรงกันระหว่างจุดตรวจสอบกับข้อมูลอ้างอิง คิดเป็นร้อยละของจุดตรวจสอบทั้งหมด

$$OA = \frac{Tc}{Ta} \times 100$$

เมื่อ OA คือ ความถูกต้องโดยรวม (%)

Tc คือ ผลรวมของจุดที่จำแนกถูกต้อง

Ta คือ จำนวนจุดทั้งหมด

2.2.2 คำนวณสัมประสิทธิ์ Kappa เพื่อแสดงความถูกต้องโดยรวมของการจำแนก พิจารณาลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน Error

Matrix โดยใช้สัมประสิทธิ์ Kappa มาประเมินความถูกต้อง โดยพิจารณาทั้งความสอดคล้องระหว่างข้อมูลอ้างอิงกับข้อมูลจำแนก วิเคราะห์ควบคู่ไปกับค่าความถูกต้องผลการจำแนกโดยรวม (Lillesand *et al.*, 2015)

$$K = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_i * x_j)}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_i * x_j)}$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ Kappa

N คือ จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด

x_i คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละแถว

x_{ii} คือ ค่าในแถวที่ i และคอลัมน์ที่ i

x_j คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละคอลัมน์

r คือ จำนวนแถวของตาราง Error Matrix

ผลและวิจารณ์

การจัดทำภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ

การนำเข้าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ ใช้ภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 146 ภาพ เข้าสู่โปรแกรม Agisoft Photoscan กำหนดค่าพิกัดทางตำแหน่งให้แก่ภาพถ่ายด้วยจุดยึดโยงภาพถ่ายทางอากาศกระจายรอบพื้นที่ จำนวน 11 จุด ประมวลผลได้ภาพมีความละเอียดจุดภาพ 0.094 เมตร (≈ 10 cm) ตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งกับแผนที่ภูมิประเทศ ลำดับชุด L7018 พบว่าเส้นถนนตรงกันเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข โครงการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2545 ภาพซ้าย และภาพถ่ายเชิงเลข ภาพขวา พบว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง โดยสังเกตจากเส้นถนนหลัก เส้นลำน้ำ และกระทงนาที่ปรากฏมีความต่อเนื่องกัน ไม่มีการเหลื่อมของภาพ ปรากฏตาม Figure 3(a) บริเวณขอบภาพถ่ายเชิงเลขมีความบิดเบี้ยวปรากฏ เนื่องจากบริเวณขอบภาพมีการซ้อนทับของภาพ (overlap) ที่น้อยไม่เพียงพอต่อการประมวลผลภาพถ่ายเชิงเลข ปรากฏตาม Figure 3(b)

(a) (b)

Figure 3 Sample UAV Orthophoto; (a) Imagery precision (b) Imagery distortion.

การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับด้วยสายตา นำผลการจำแนกด้วยสายตาตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกรมพัฒนาที่ดิน และทำการตรวจในพื้นที่จริงในตำแหน่งที่สงสัย จำนวน 10 จุด พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผลมีเนื้อที่มากสุด จำนวน 418.71 ไร่ นาข้าว จำนวน 309.17 ไร่ ป่าผลัดใบ จำนวน 267.02 ไร่ ป่าไม่ผลัดใบ จำนวน 60.77 ไร่ ทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ไม้พุ่ม จำนวน 52.1 ไร่ บ้าน/หมู่บ้าน จำนวน 47.33 ไร่ สถานีคมนาคม/ถนน จำนวน 10.87 ไร่ แหล่งน้ำธรรมชาติ จำนวน 9.64 ไร่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด จำนวน 3.82 ไร่ และพื้นที่แหล่งน้ำสร้างขึ้น มีเนื้อที่น้อยที่สุด จำนวน 3.04 ไร่ ปรากฏตาม Figure 4

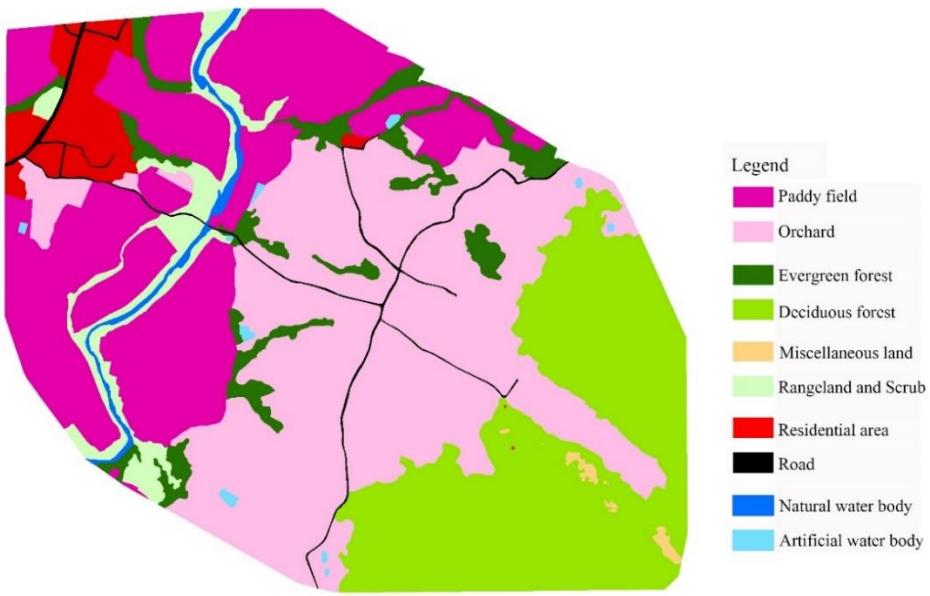


Figure 4 Land use classification through visual interpretation.

การวิเคราะห์การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

1. การจำแนกเชิงจุดภาพ ดำเนินการสร้างพื้นที่ตัวอย่างโดยนำผลการจำแนกด้วยสายตา สร้างเป็นพื้นที่ตัวอย่างในโปรแกรม ArcGIS ด้วยคำสั่ง Systematic Random Point กระจายในทุกชั้นข้อมูลแบบเป็นระบบและครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ได้จุดตัวอย่างทั้งหมด 1,310 จุด โดยแบ่งออกเป็น นาข้าว 200 จุด ไม้ผล 250 จุด ป่าไม่ผลัดใบ 150 จุด ป่าผลัดใบ 300 จุด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 20จุด ทุ่งหญ้าหรือไม้พุ่ม 100 จุด บ้านหรือหมู่บ้าน 100 จุด สถานีคมนาคมและถนน 100 จุด แหล่งน้ำตามธรรมชาติ 80 จุด แหล่งน้ำสร้างขึ้น 10 จุด จากนั้นทำการแปลงจุดตัวอย่างให้เป็น Polygon กำหนดให้มีขนาด 2x2 เมตร

เพื่อให้ครอบคลุมภาพอย่างน้อย 400 Pixel และมีขนาดไม่ใหญ่เกินความกว้างของถนน (ถนนคอนกรีตกว้าง 4 เมตร)

ทำการจำแนกข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือ Image Classification ในโปรแกรม ArcGIS ด้วยพื้นที่ตัวอย่างที่สร้างขึ้น จำแนกประเภทข้อมูลแบบกำกับดูแลใช้ตัวจำแนกแบบโอกาสความน่าจะเป็นสูงสุดด้วยค่าสถิติของแถบความถี่ RGB พบว่าพื้นที่ตัวอย่างไม่สามารถจำแนกแหล่งน้ำออกจากนาข้าวและบริเวณอื่น ๆ ที่เป็นแหล่งน้ำได้ ไม่สามารถจำแนกพื้นที่ป่าไม้ออกจากพื้นที่ไม้ผลได้ นอกจากนี้พื้นที่ถนนพบไปปรากฏในพื้นที่นาข้าวและพื้นที่ไม้ผลเป็นจำนวนมาก ปรากฏตาม Figure 5(a)

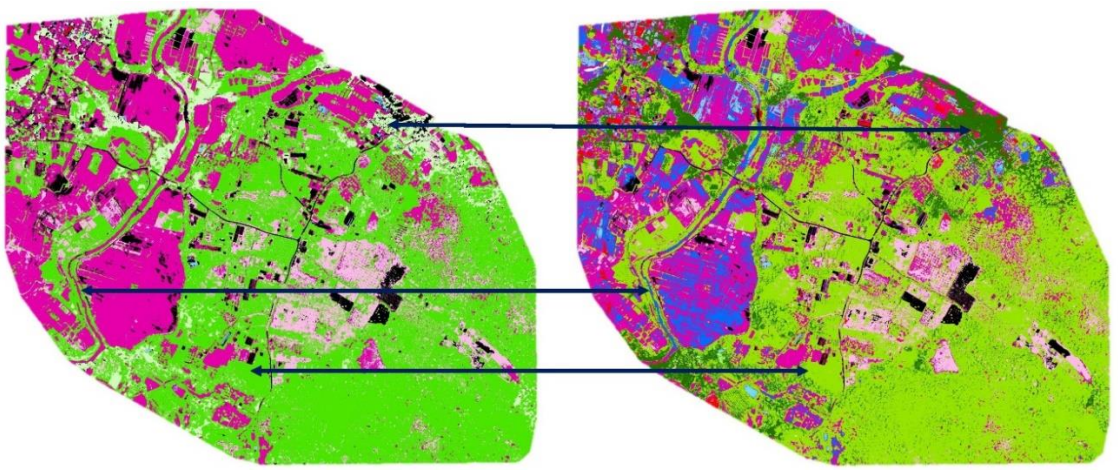
จากผลการจำแนกข้างต้น พบว่าไม่สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภทออกจากกันได้ จึงนำดัชนี Green-Red Vegetation Index (GRVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์ระหว่างแถบความถี่สีแดง และแถบความถี่สีเขียว ซึ่งเป็นแถบความถี่ที่ประกอบอยู่ในภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ เข้ามาช่วยเพื่อให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความถูกต้องยิ่งขึ้น โดยหาก GRVI เป็นบวกแสดงว่าเป็น พืชพรรณ หากเป็นลบแสดงว่าเป็น ดิน และหากเป็น ศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์เป็นน้ำ (Motohka *et al*., 2010)

$$\mathrm{GRVI} = \frac{\rho_{\mathrm{green}} - \rho_{\mathrm{red}}}{\rho_{\mathrm{green}} + \rho_{\mathrm{red}}}$$

เมื่อ ρ_{green} คือ แถบความถี่ green

ρ_{red} คือ แถบความถี่ red

ทำการคำนวณดัชนี GRVI ด้วยโปรแกรม Erdas Imagine ด้วยคำสั่ง Band Math นำผลการคำนวณดัชนี GRVI รวมเข้ากับข้อมูลแถบความถี่จากภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นแถบความถี่ที่ 4 ประกอบด้วย แถบความถี่ RGB และ GRVI และทำการจำแนกข้อมูลอีกครั้ง พบว่าการเพิ่มแถบความถี่ GRVI เข้าไปในภาพช่วยให้การจำแนกข้อมูลดีขึ้น ปรากฏตาม Figure 5(b)

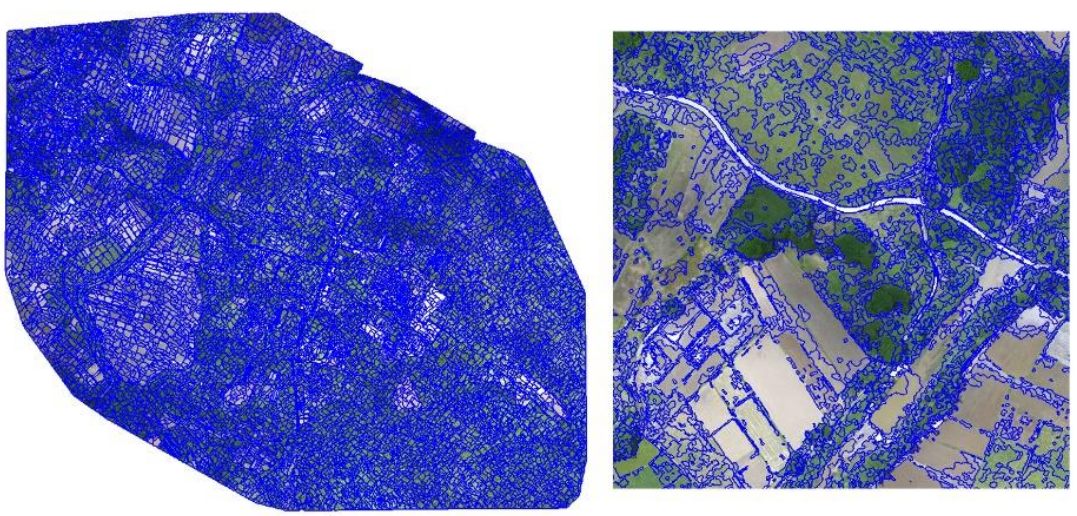


(a) (b)

Figure 5 Pixel-based classification (a) without GRVI (b) with GRVI.

2. การจำแนกเชิงวัตถุ ดำเนินการจำแนกด้วยโปรแกรม eCognition ทำการแบ่งส่วนของวัตถุด้วยคำสั่ง Multi-Resolution Segmentation ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ค่า ได้แก่ Scale, Shape และ Compactness โดยค่า Scale เป็นค่าที่แสดงขนาดของวัตถุบนภาพขนาดเล็กและใหญ่ ค่า Shape เป็นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณรูปร่างวัตถุภาพร่วมกับค่า Color ซึ่งเป็นค่าที่แปรผกผันกัน (color = 1 – shape) กล่าวคือ หากกำหนดค่าใดมากจะให้ความสำคัญกับค่านั้นมากกว่าอีกค่าหนึ่ง โดยผลรวมของค่าไม่เกินหนึ่ง ค่า Compactness เป็นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณความเป็นกลุ่มก้อนของวัตถุภาพร่วมกับค่า Smoothness ซึ่งเป็นค่าแปรผกผันกัน (compactness = 1 – smoothness) (Kanta *et al*., 2014)

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งส่วนวัตถุใช้ค่า Scale ที่ระดับละเอียดเนื่องจากภาพถ่ายเชิงเลขมีความละเอียดจุดภาพที่สูง การกำหนดค่า Shape และ Color ใช้ระดับที่เท่ากัน เนื่องจากหากกำหนดค่าของ Color มากกว่า Shape ทำให้เกิด Polygon ขนาดเล็กซึ่งเป็นเงาของวัตถุในภาพขึ้นจำนวนมาก ในส่วนของค่า Compactness กับค่า Smoothness กำหนดในระดับที่เท่ากัน เนื่องจากหากกำหนดค่า Compactness มากในบริเวณที่เปิดโล่ง เช่น นาผืนใหญ่จะเกิดการแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จำนวนมาก ดังนั้นการแบ่งวัตถุภาพใช้ค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งส่วนวัตถุ Scale, Shape, และ Compactness เป็น 50, 0.5, และ 0.5 ตามลำดับ ปรากฏตาม Figure 6(a) เมื่อทำการขยายตรวจสอบผลการแบ่งส่วนวัตถุภาพ พบว่าการแบ่งข้อมูลมีความเหมาะสม ในบริเวณนาข้าวไม่ปรากฏ Polygon ขนาดเล็กจำนวนมากขึ้น บริเวณลำน้ำและถนนมีรูปร่างตามภูมิประเทศ บริเวณพื้นที่ป่าไม้มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนตามลักษณะที่ปรากฏในภาพถ่ายเชิงเลข ปรากฏตาม Figure 6(b)



(a) (b)

Figure 6 (a) Result of segmentation with 50 scales, 0.5 shape, and 0.5 compactness. (b) Enlarged segmentation.

การนำเข้าพื้นที่ตัวอย่างใช้พื้นที่ตัวอย่างเดียวกับการจำแนกเชิงจุดภาพที่จัดเก็บในรูปแบบ Shapefile แต่ด้วยโปรแกรม eCognition ไม่สามารถใช้ Shapefile เป็นพื้นที่ตัวอย่างได้ โดยในโปรแกรมจะใช้ข้อมูลในรูปแบบ Sample เป็น พื้นที่ตัวอย่างที่เก็บอยู่ในรูปแบบ TTA Mask ดังนั้นจำเป็นต้องแปลงข้อมูล Shapefile ให้เป็น Sample โดยใช้โปรแกรม R Studio ในการแปลงข้อมูล จากนั้นทำการจำแนกข้อมูล ด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับด้วยค่าเฉลี่ยทางสถิติของแถบความถี่ (Mean : red green blue GRVI) โดยใช้ตัวจำแนกข้อมูลแบบ Nearest Neighbor

การเปรียบเทียบและการประเมินความถูกต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายเชิงเลข

การเปรียบเทียบผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุและเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพกับผลการจำแนกด้วยสายตา พบว่า การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างพื้นที่ไม้ผลและพื้นที่ป่าไม้ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ทั้งสองเทคนิค มีการปะปนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นเป็นจำนวนมาก พื้นที่แหล่งน้ำตามธรรมชาติพบว่าไปปรากฏบนพื้นที่นาข้าว ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาที่บันทึกภาพ เกษตรกรได้มีการเตรียมพื้นที่เพื่อทำการเกษตรโดยผันน้ำเข้าไปในพื้นที่เพื่อเตรียมทำนาข้าว กรณีที่พบพื้นที่ถนนไปปรากฏในพื้นที่ไม้ผล พบว่าเกษตรกรมีการเตรียมพื้นที่เพื่อปลูกไม้ผลขึ้นใหม่โดยทำการเปิดโล่งพื้นที่ ทำให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องปรากฏตาม Figure 7 โดยมีรายละเอียดปรากฏตาม Table 1

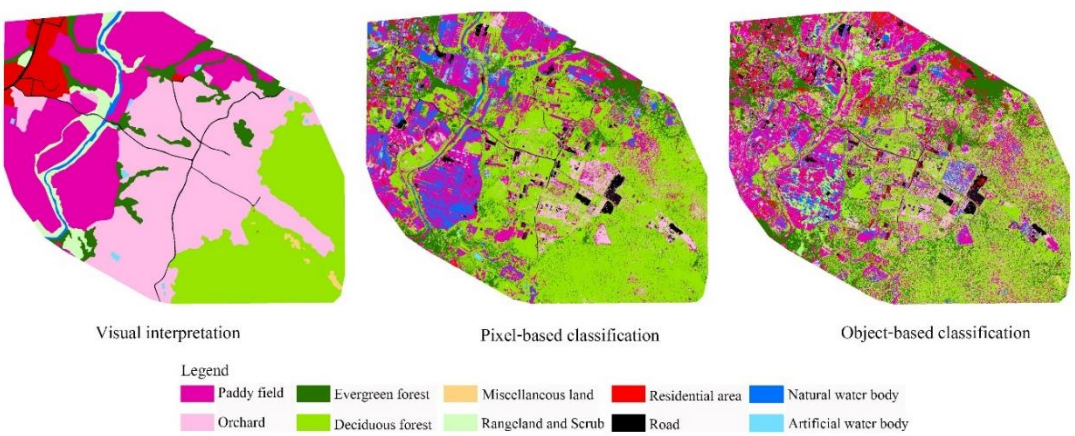


Figure 7 Comparison of various land use classification techniques.

Table 1 Comparative quantification of various land use classification techniques.

Land use type	Area (Rai)		
	Visual interpretation	Pixel-based classification	Object-based classification
Paddy field	309.17	265.55	301.03
Orchard	418.71	79.21	158.30
Evergreen forest	60.77	117.70	177.42
Deciduous forest	267.02	571.94	364.56
Miscellaneous land	3.82	0.91	12.98
Rangeland and shrub	52.10	4.53	50.67
Residential area	47.33	17.41	41.41
Road	10.87	31.38	31.01
Natural water body	9.64	74.98	45.09
Artificial water body	3.04	18.85	0.00
Total	1,182.47	1,182.47	1,182.47

การกำหนดจำนวนจุดตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งสองเทคนิคเปรียบเทียบกับการจำแนกด้วยสายตาในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยไม่ซ้ำกับจุดที่ใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่างจำนวน 500 จุด แบ่งออกเป็น นาข้าว 100 จุด ไม้ผล 100 จุด ป่าไม่ผลัดใบ 50 จุด ป่าผลัดใบ 100 จุด พื้นที่เบ็ดเตล็ด 10จุด ทุ่งหญ้า/ไม้พุ่ม 50 จุด บ้าน/หมู่บ้าน 50 จุด สถานีคมนาคม (ถนน) 20 จุด แหล่งน้ำธรรมชาติ 10 จุด แหล่งน้ำสร้างขึ้น 10 จุด

ผลการวิเคราะห์ตาราง Error Matrix และคำนวณผลการประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละเทคนิคได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ ค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4 และมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.28 จากค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) คือ ค่าที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของตัวจำแนกข้อมูลว่าสามารถจำแนกข้อมูลได้ดีเพียงใด โดยป่าผลัดใบให้ค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 80 และทุ่งหญ้าธรรมชาติ/ไม้พุ่มให้ค่าที่ต่ำสุด คือ ร้อยละ 4 แต่ทุกการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ค่าที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างขนาด 2x2 เมตร ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี เนื่องจากมีการปนของการจำแนกประเภทที่ดินอื่นเป็นจำนวนมาก หากมองถึงความถูกต้องของผู้ใช้งาน (user's accuracy) เป็นค่าที่แสดงถึงผลของการจำแนกว่ามีความน่าเชื่อถือในการนำข้อมูลไปใช้เป็นอย่างไร โดยค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ยกเว้นพื้นที่เบ็ดเตล็ด ให้ค่าสูงถึงร้อยละ 100 แต่ไม่สัมพันธ์กับค่าความถูกต้องของผู้ผลิต ซึ่งได้แค่

ร้อยละ 10 ดังนั้น การนำผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงจุดภาพไปใช้งานถือว่า ไม่มีความน่าเชื่อถือ ผลปรากฏตาม Table 2

เทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ ค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 34.2 และมีค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.22 จากค่าความถูกต้องของผู้ผลิต ป่าไม่ผลัดใบให้ค่าสูงที่สุดที่ร้อยละ 64 แหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำสร้างขึ้นให้ค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างของแหล่งน้ำทั้งสองประเภทนั้นไม่เหมาะสมในการจำแนก ซึ่งเกิดจากพื้นที่ตัวอย่างขนาด 2x2 เมตรมีขนาดไม่เหมาะสมกับการแบ่งส่วนภาพ ทำให้ได้ค่าทางสถิติที่ไม่ดีหรือไปใกล้เคียงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น และทุกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินให้ค่าความถูกต้องของผู้ผลิตที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี หากมองถึงความถูกต้องของผู้ใช้งานแล้ว ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นให้ค่าเท่ากับ 0 ดังนั้น การนำผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงวัตถุไปใช้งานถือว่า ไม่มีความน่าเชื่อถือ ผลปรากฏตาม Table 3

Table 2 Accuracy assessment of pixel-based classification.

		Reference (Visual interpretation)											
	Lu_type	A1	A4	F1	F2	M	M1	U2	U4	W1	W2	Total	User's accuracy
Pixel-based classification	A1	49	26	0	5		7	10	7	1	2	107	46%
	A4	4	13	0	9	1	3	1	1	0	0	32	41%
	F1	1	6	26	5		14	13	1	0	0	66	39%
	F2	20	48	22	80	7	24	12	3	1	1	218	37%
	M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	100%
	M1	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	4	50%
	U2	1	2	0	0	0	0	7	0	0	1	11	64%
	U4	4	2	1	1	1	0	1	7	1	0	18	39%
	W1	19	0	0	0	0	0	2	0	6	0	27	22%
	W2	2	2	0	0	0	0	4	1	1	6	16	38%
	Total	100	100	50	100	10	50	50	20	10	10	500	
	Producer's accuracy	49%	13%	52%	80%	10%	4%	14%	35%	60%	60%		

overall accuracy = 39.4 % KHAT = 0.28

Table 3 Accuracy assessment of object-based classification

		Reference (Visual interpretation)											
	Lu_type	A1	A4	F1	F2	M	M1	U2	U4	W1	W2	Total	user's accuracy
Object-based classification	A1	58	26	1	13	1	6	8	4	4	3	124	47%
	A4	6	17	4	16	1	4	1	2	0	2	53	32%
	F1	4	11	32	16	0	11	20	1	1	0	96	33%
	F2	12	33	11	44	5	20	5	1	1	2	134	33%
	M	0	2	0	5	2	2	0	0	0	0	11	18%
	M1	7	3	1	1	0	2	1	2	2	0	19	11%
	U2	3	2	1	1	0	4	9	1	1	0	22	41%
	U4	4	2	0	0	1	0	3	7	1	3	21	33%
	W1	6	4	0	4		1	3	2	0	0	20	0%
	W2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
	Total	100	100	50	100	10	50	50	20	10	10	500	
Producer's accuracy		58%	17%	64%	44%	20%	4%	18%	35%	0%	0%		
overall accuracy =		34.2 %		KHAT =	0.22								

จากผลการประเมินความถูกต้องเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพและเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ ค่าสัมประสิทธิ์ Kappaซึ่งเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa (Landis and Koch ,1977) อยู่ที่ ระดับพอใช้ทั้งสองเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องของผู้ผลิตและความถูกต้องของผู้ใช้ไปในทิศทางเดียวกัน คือได้ความถูกต้องในระดับต่ำ แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างขนาด 2x2 เมตร ไม่เหมาะสมในการจำแนกข้อมูล เนื่องจากการเป็นกลุ่มเดียวกันหรือการเป็นเนื้อเดียวกันของพื้นที่ตัวอย่าง (homogeneous) มีขนาดเล็กเกินไป และด้วยภาพถ่ายเชิงเลขมีความละเอียดสูง ทำให้มีเงาในภาพ หากพื้นที่ตัวอย่างไปตกในเงาของภาพอาจทำให้การจำแนกเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นควรมีการกำหนดขนาดของพื้นที่ตัวอย่างในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินขนาดที่เหมาะสมและใหญ่ขึ้น เพื่อให้การเป็นเนื้อเดียวกันของพื้นที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น

ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับมีความละเอียดที่สูงแต่ด้วยมีแถบความถี่เพียง RGB ทำให้การจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยได้ความถูกต้องในระดับ พอใช้ เนื่องจากการไม่มีแถบความถี่ Near Infrared และแถบความถี่อื่นๆเช่นเดียวกับดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาช่วยในการจำแนกข้อมูล ถึงแม้มีการนำดัชนี GRVI เข้ามาช่วย แต่ดัชนี GRVI มีความสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างพืชพรรณ ดิน และน้ำได้เท่านั้น ยังไม่สามารถแยกชนิดของพืชพรรณแต่ละประเภทได้ละเอียดเท่าดัชนี NDVI ซึ่งใช้แถบความถี่ Near Infrared ในการจำแนกข้อมูล

สรุป

จากการศึกษาเทคนิคการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับ จำแนกข้อมูลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย สรุปผลได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพและเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุพบว่า สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภทขนาดเนื้อที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องของผู้ผลิต แล้วให้ค่าที่ต่ำไม่ถึงร้อยละ 80 ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน แสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างที่ขนาด 2x2 เมตร ไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของการจำแนกข้อมูลที่ดี หากมองถึงการนำข้อมูลไปใช้งาน ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งานของผลการจำแนกข้อมูลทั้งสองเทคนิคอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าร้อยละ 80 กล่าวคือ การนำข้อมูลไปใช้งานถือว่า ไม่มีความน่าเชื่อถือ

2. เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ มีค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 39.4 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.27 และเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ มีค่าร้อยละความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม เท่ากับ 34.2 ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa เท่ากับ 0.22 ไม่สามารถจำแนกแหล่งน้ำสร้างขึ้น ซึ่งเทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพให้ค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาระดับความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์ Kappa ระดับพอใช้ ทั้งสองเทคนิค แสดงว่าภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย

ข้อเสนอแนะ

1. การบินถ่ายภาพ ภาพถ่ายทางอากาศหากวางแผนไม่ครอบคลุมพื้นที่ เช่น พื้นที่ที่ต้องการภาพถ่ายเชิงเลขอยู่บริเวณขอบภาพ หลังจากทำการดัดแก้ภาพถ่ายเชิงเลขแล้วพบว่าบริเวณขอบภาพมีความบิดเบี้ยวทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้งานได้ ดังนั้นการบินถ่ายภาพควรวางแผนการบินให้กว้างกว่าพื้นที่ที่ต้องการใช้ภาพถ่ายเชิงเลข การกำหนดช่วงเวลาในการบินถ่ายภาพควรเลือกช่วงเวลาให้ตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น การศึกษาพื้นที่ป่าผลัดใบ ควรอยู่ในช่วงที่ต้นไม้ยังไม่ทิ้งใบ หากเป็นช่วงที่ต้นไม้ทิ้งใบแล้วทำให้ยากต่อการจำแนกข้อมูลและอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการจำแนกได้

2. ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบช่วงคลื่น RGB ไม่เหมาะกับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย ดังนั้น ควรเลือกใช้ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีกล้องบันทึกภาพแบบหลายแถบความถี่ (multispectral camera) มีแถบความถี่ Near Infrared ช่วยในการจำแนกพืชพรรณมาพร้อมตัวอากาศยานซึ่งมีราคาไม่สูง สามารถช่วยให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยให้ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินดีขึ้น

3. ภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับเป็นภาพที่มีความละเอียดสูง มีความสามารถในการเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กถึงระดับที่สามารถจำแนกชนิดต้นไม้ได้ ดังนั้นการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับ 2 อาจจะไม่เหมาะสม ควรจะเป็นการจำแนกวัตถุแต่ละชนิดที่ปรากฏอยู่บนพื้นดินหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับที่ละเอียดขึ้น

4. ในการศึกษาการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยด้วยภาพถ่ายเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับที่มีเพียงแถบความถี่ RGB พบว่านอกจากดัชนี GRVI แล้วยังมีดัชนีอีกจำนวนมาก เช่น Modified GRVI (MGRVI) New Red–Green–Blue Vegetation Index (RGBVI)

Green Leaf Index (GLI) ซึ่งหากนำมาประยุกต์เพื่อศึกษาเทคนิคและวิเคราะห์ความถูกต้อง อาจช่วยให้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความถูกต้องที่สูงขึ้น

REFERENCES

Congalton, R. G. and K. Green. 1999. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices.** CRC Press Taylor and Francis Droup, Boca Raton.

Defence Technology Institute. 2018. Defence technology institute and Royal Forest Department Developing unmanned aerial vehicle technology improve innovation to thailand 4.0. **Thailand Defence Technology Journal** 7(29): 6. (In Thai)

Kanta, K., J. Jantakomut, P. Sangrawee and P. Phutong. 2014. **Forest Cover Classification from Thaichote Imageries Using Object-based Classification with Multi-parameters.** Available source: http://research.gistda.or.th, January 10, 2019. (In Thai)

Landis, J. R. and G. G. Koch. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics** 33(2): 363–374.

Lillesand, T., R. W. Kiefer and J. Chipman. 2015. **Remote Sensing and Image Interpretation.** Wiley.

Motohka, T., K. Nasahara, O. Hiroyuki and S. Tsuchida. 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. **Remote Sens.** 2(10): 2369-2387.

Office of the State Land Management under Office of the Permanent Secretary. 2013. **Handbook for Aerial Interpretation of Aerial Interpretation Subcommittee.** Bangkok. (In Thai)

Suttinon, S., K. Piyathamrongchai and J. Payakpate. 2014. **Comparison Classification Procedure between Pixel-based and Object-based Image Classification Methods Using Thaichote Satellite Pan-Sharpening Imagery**. Available source: https:// www.researchgate.net, January 10, 2019. (In Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อการดำเนินการป่าไม้ ของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา

Designing a Geospatial Database for Forest Operations in Lat Krathing Plantation, Chachoengsao Province

พนัส ศรีนวลแก้ว[1,2*] **Panas Srinualkaew**[1,2*]

พยัตติพล ณรงคะชวนะ[1] **Payattipol Narangajavana**[1]

นพรัตน์ คัคคุริวาระ[1] **Nopparat Kaakkurivaara**[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
[2]องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพฯ 10100
Forest Industry Organization, Pom Prap Sattru Phai, Bangkok 10100, Thailand
*Corresponding Author, Email: panus.sr@ku.th

รับต้นฉบับ 23 มิถุนายน 2564 **รับแก้ไข** 23 กรกฎาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 28 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The important thing of the harvesting in a plantation management is the utilization of wood timber from forest operations. Forest inventory, timber procurement, harvesting, and the planned planting area must all be assessed annually to get the greatest benefits from a forest plantation. Previously, forestry operations relied on the experience of park supervisors familiar with a plantation's geography. However, geospatial technology has made great advances. Getting spatial information has become more convenient but extracting descriptive information can still have difficulties while relating with the geospatial data. The purpose of this research is to design and build a spatial database using the annual data collected from the Lat Krathing plantation in Chachoengsao province. We used spatial and descriptive data to create a database to examine and analyze the operations of the forest plantation.

The results show that the estimated timber volume of *Eucalyptus spp.* and *Acacia mangium* during the logging period (2006-2018) had a root mean square error (RMSE) value of 2,082.03 and 1,997.78 ton, respectively. From the comparison, it was found that there was no statistically significant difference (at a 95% confidence level), with p-values of 0.181 and 0.071. As for the forest area under plantation during the same period, the RMSE value was 396.05 rai. We

found no statistically significant difference (at 95% confidence level) with a p-value of 0.126. The designed geospatial database can be put into practice and can be further developed with additional studies to analyze the system requirements, database design, program design, development test and their evaluation.

Keywords: Geospatial, Database, Lat Krathing plantation

บทคัดย่อ

สิ่งสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ได้จากการจัดการสวนป่า คือ การดำเนินงานด้านป่าไม้ เช่น การสำรวจกำลังผลิต การพยากรณ์ผลผลิต การทำไม้ และการวางแผนการปลูก ซึ่งจะต้องดำเนินการทุกปีเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการปลูกป่า ในอดีตการดำเนินงานด้านป่าไม้อาศัยประสบการณ์ของหัวหน้างานสวนป่าที่คุ้นเคยกับสภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่า ปัจจุบันตามเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมีความก้าวหน้าอย่างมาก การรับข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำได้อย่างสะดวกมากขึ้น แต่ข้อมูลเชิงบรรยาย ยังมีอุปสรรคในการเชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงพื้นที่ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลประจำปีจากสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งนำข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายมาสร้างฐานข้อมูล ตรวจสอบและวิเคราะห์การดำเนินงานของสวนป่า

ผลการศึกษา พบว่า การคำนวณปริมาณไม้ที่สวนป่าลาดกระทิงดำเนินการทำไม้ ชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา ปี พ.ศ. 2549-2561 พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 2,082.03 และ 1,997.78 ตัน ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.181 และ 0.071 ส่วนพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าช่วงเวลาเดียวกัน ค่า RMSE เท่ากับ 396.05 ไร่ จากการเปรียบเทียบ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.126 ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่ได้ออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้จริง สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ โดยจะต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ความต้องการระบบฯ ออกแบบฐานข้อมูล ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม ทดสอบและประเมินผล

คำสำคัญ: ภูมิสารสนเทศ ฐานข้อมูล สวนป่าลาดกระทิง

คำนำ

องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (อ.อ.ป.) เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจที่มีหน้าที่ดำเนินกิจกรรมด้านธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมไม้ การปลูกสร้างสวนป่า การคุ้มครองรักษาป่าไม้ เพื่อประโยชน์กับงานด้านป่าไม้ ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการเอง หรือเป็นการดำเนินการเพื่อช่วยเหลือรัฐบาล (The Secretariat of the Prime Minister, 1956) ลักษณะงานของ อ.อ.ป. อาจเรียกได้ว่า เป็นงานดำเนินการป่าไม้ (forest operations) หมายถึง การมีกิจกรรมที่ต้องปฏิบัติอย่างต่อเนื่องทุกปี ประกอบด้วย การวางแผนปลูกป่า การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต การสำรวจกำลังผลิตไม้ การจัดหาไม้และทำบัญชีไม้ที่จะตัดออก การวางแผนทำไม้ การปลูกป่าในแปลงที่ตัดไม้ไปแล้ว และงานอื่น ๆ

ที่เกี่ยวข้อง (Corvanich, 1986) อย่างไรก็ตาม งานหลักที่จำเป็นในทุกสวนป่า คือ งานสำรวจจำนวนและปริมาตรไม้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน งานวางแผนที่จะตัดไม้ออกตามเป้าหมาย และงานปลูกป่าทดแทนไม้ที่ตัดออกไป ในงานดำเนินการป่าไม้มักมีคำถามอยู่เสมอว่า การดำเนินการทำไม้ออกจากพื้นที่สวนป่าจะต้องดำเนินการบริเวณแปลงใด มีผลผลิตจากการทำไม้เท่าไหร่ ควรมีการปลูกสร้างสวนป่าบริเวณแปลงใด มีพื้นที่ในการดำเนินการเท่าใด และใช้ระยะเวลาเท่าใด จึงจะสามารถดำเนินการทำไม้ออกได้ สิ่งเหล่านี้ในการวางแผนต้องมีข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจซึ่งข้อมูลจากระบบภูมิสารสนเทศสามารถตอบโจทย์เหล่านี้ได้ การสร้างฐานข้อมูลภูมิศาสตร์จึงมีความจำเป็นสำหรับงานดำเนินการป่าไม้ในทุกสวนป่า ในอดีตงานดำเนินการป่าไม้อาศัยความสามารถส่วนตัวและประสบการณ์ของหัวหน้าสวนป่าที่มีความคุ้นเคยกับสภาพทางภูมิศาสตร์ของสวนป่านั้นๆ แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมีการพัฒนามากขึ้น ข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างสะดวก (Jirakajohnkool, 2006) แต่ข้อมูลเชิงบรรยายยังมีอุปสรรคในการเชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะข้อมูลในระดับแปลงย่อย (sub-compartment; block) ที่มีกิจกรรมตัดไม้ ปลูกไม้ ส่วนใหญ่มักจะมีข้อมูลเชิงบรรยายในระดับแปลงใหญ่หรือแปลงปีที่เริ่มปลูก (compartment) ขาดการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในสวนป่า ไม่มีแผนที่ชั้นคุณภาพของไม้ (site quality map) ทำให้การพัฒนาฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศขาดความสมบูรณ์หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ตัดสินใจได้

ผู้วิจัยจึงมีความต้องการออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อช่วยสนับสนุนข้อมูลในงานดำเนินการป่าไม้ โดยใช้ข้อมูลจากสวนป่าลาดกระทิงเป็นต้นแบบ ซึ่งเป็นสวนป่าที่มีข้อมูลพื้นฐานทางวนวัฒนวิทยาที่สมบูรณ์ (Lat Krathing plantation, 2016) มีการจัดการแบ่งเขตแปลงปีเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ชัดเจน ปลูกไม้โตเร็ว เช่น ยูคาลิปตัส กระถินเทพา การตัดไม้และการปลูก ส่วนใหญ่จะตัดหมดทั้งแปลง มีฐานข้อมูลเชิงบรรยายที่สมบูรณ์และเชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับแปลงย่อยได้ดี

พื้นที่ศึกษา

สวนป่าลาดกระทิงมีเนื้อที่ทั้งหมด 21,097.29 ไร่ ประกอบด้วยแปลงทั้งหมด 197 แปลง และประกอบด้วยแปลงย่อย 540 แปลงย่อย ตั้งอยู่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา อำเภอสนามชัยเขต ตำบลลาดกระทิง ทางทิศเหนือติดกับ ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต ทางทิศตะวันออกติดกับ ตำบลท่าตะเกียบ อำเภอท่าตะเกียบ และ ตำบลคลองตะเกรา จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2561 สวนป่าลาดกระทิงมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็น “ป่าปลูก” เนื้อที่ 20,709.32 ไร่ (ร้อยละ 98.16 ของพื้นที่สวนป่า) ดัง Figure 1

บริเวณโดยรอบพื้นที่สวนป่าลาดกระทิงประกอบไปด้วย หมู่บ้าน จำนวน 21 หมู่บ้าน โรงเรียน จำนวน 3 โรงเรียน และวัด จำนวน 2 แห่ง เส้นทางคมนาคมแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ประกอบด้วย ทางหลวงแผ่นดิน ทางหลวงชนบท ทางสายหลัก ทางตรวจการหลัก ทางตรวจการรอง และทางขนส่งไม้ ในพื้นที่สวนป่าลาดกระทิงประกอบด้วยชุดดิน จำนวน 5 ชุดดิน คือ ชุดดินบางคล้า ร้อยละ 65.41 ชุดดินดอนไร่ ร้อยละ 26.93 ชุดดินเกาะขนุน ร้อยละ 6.38 และชุดดินกำแพงเพชร ร้อยละ 1.28

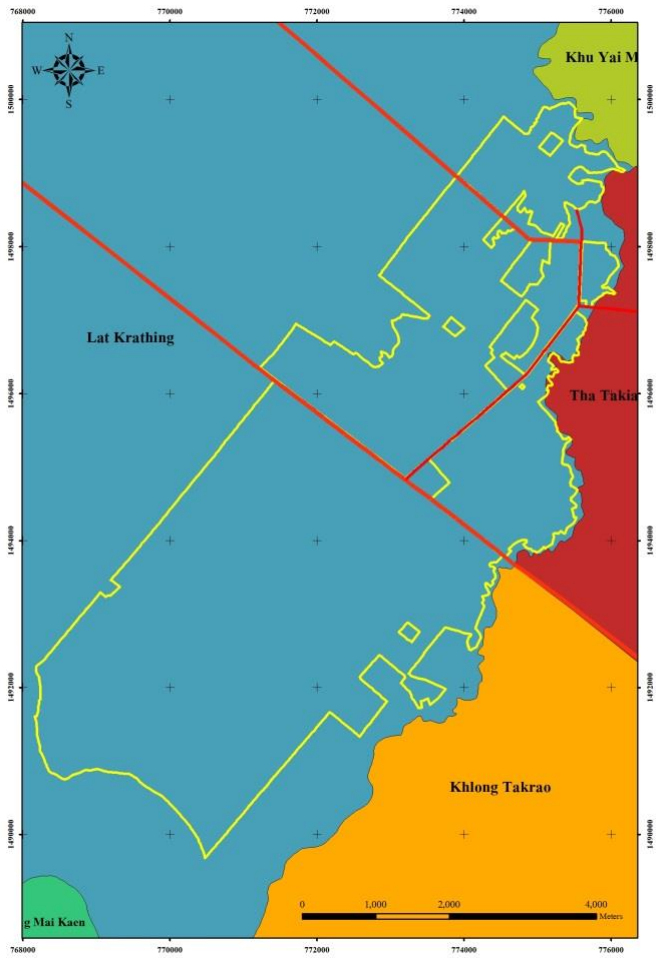


Figure 1 Map of the administrative boundaries of Lat Krathing plantation.

สวนป่าลาดกระทิง ตั้งอยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าแควระบม-สียัด อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ภายใต้การควบคุมของบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด เริ่มปลูกได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 โดยกำหนดโครงการเป็นระยะ ๆ ละ 5 ปี ขยายพื้นที่ปลูกแห่งละ 1,000 ไร่ ต่อปี และมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อจัดเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิต ไม้อัดสลับชั้นให้ได้ภายในระยะเวลาประมาณ 20 ปี และในปี พ.ศ. 2555 คณะรัฐมนตรีมีมติเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2555 ให้เลิกกิจการบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด โดยดำเนินการให้เป็นไปตามกฎหมายและระเบียบหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง จึงได้มีการโอนสวนป่าลาดกระทิงให้อยู่ภายใต้การดูแลขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ หรือ อ.อ.ป. ซึ่งเป็นผู้ถือหุ้นในบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด ร้อยละ 100

อุปกรณ์และวิธีการ

การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิในการจัดทำข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม พ.ศ. 2560 (ทำแผนที่แปลงย่อย แผนที่การใช้ที่ดิน ฯลฯ) ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลเชิงบรรยายของสวนป่า ประกอบด้วย ข้อมูลสต็อกไม้ (2551-

2555) ข้อมูลการตัดไม้ (พ.ศ. 2549-2552 และ พ.ศ. 2556-2561) ข้อมูลการปลูกป่า (พ.ศ. 2550-2555 และ พ.ศ. 2559-2561) จากสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา, องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ภาคกลาง กรุงเทพฯ ข้อมูลอยู่ในรูปแบบเอกสาร และไฟล์ดิจิทัล และนำเข้าข้อมูลโดยใช้โปรแกรมประมวลผลด้านภูมิสารสนเทศ และโปรแกรมจัดการระบบฐานข้อมูล กำหนดข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย ดังแสดงใน Table 1

Table 1 List of the spatial and attributes data

Layer	Type	Attribute data	Source
Road	line	Type Width Length Speed	Forest Industry Organization (2015)
Point Of Interest	point	Type Name Population	Forest Industry Organization (2015)
Boundary	polygon	Plantation name Division Area	Lat Krathing plantation (2017)
Compartment	polygon	Name Area	Lat Krathing plantation (2017)
Block	polygon	BlockID Area	Lat Krathing plantation (2017)
Land use	polygon	Type Name	Forest Industry Organization (2015)
Stream	polygon	Type Name Length	Forest Industry Organization (2015)
Soil	polygon	Type Name Feature	Land Development Department (2018)

การออกแบบฐานข้อมูล

ออกแบบโครงสร้างของฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสวนป่าลาดกระทิง โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมจากสวนป่าลาดกระทิง องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ภาคกลาง เพื่ออธิบายโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลซึ่งเขียนออกมาในลักษณะของรูปภาพ (E-R diagram) (Samanthai, 2003) และนำเอนทิตี (entity) มากำหนดข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute) และชนิดของข้อมูล (data type) ในข้อมูลเชิงบรรยาย

หลังจากที่ได้ปรับแก้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ทำการตรวจสอบความถูกต้อง และตรวจสอบว่าข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูลมีความสอดคล้องกันหรือไม่ (topology checking) และสร้างฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสร้างและจัดการฐานข้อมูล และทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลลง โดยวิธี Normalization (Kaewkungwal, 1995)

การใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

นำฐานข้อมูลที่ได้สร้างขึ้นจากโครงสร้างฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ มาทำการสร้างแบบสอบถาม (query) เพื่อค้นหาข้อมูลของสวนป่าลาดกระทิง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภูมิ แสดงข้อมูลจากการสร้างแบบสอบถาม

1. ข้อมูลพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าสะสมรายปี ชนิดไม้กระถินเทพา และยูคาลิปตัส

2. ข้อมูลปริมาณไม้สะสมรายปี ชนิดไม้กระถินเทพา และยูคาลิปตัส

3. ข้อมูลพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่ารายปี ชนิดไม้กระถินเทพา และยูคาลิปตัส

(4) ข้อมูลผลผลิตจากการทำไม้รายปี ชนิดไม้กระถินเทพา และยูคาลิปตัส

การทดสอบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

1. ยกตัวอย่างการคำนวณพื้นที่ที่ดำเนินการทำไม้ ชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา เปรียบเทียบกับข้อมูลการทำไม้ของสวนป่าลาดกระทิง ปี พ.ศ. 2549-2561 และนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่า Root Mean Square Error (RMSE) ดังสมการ

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)^2}{n}}$$

เมื่อ RMSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

Pi คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณหรือพยากรณ์

Oi คือ ค่าจากข้อมูลสวนป่าที่วัดจริง

n คือ จำนวนปี

และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลกับข้อมูลการปลูกสร้างสวนป่าของสวนป่าลาดกระทิง ปี พ.ศ. 2549-2561 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

(2) ยกตัวอย่าง การคำนวณพื้นที่ที่สวนป่าลาดกระทิงดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าจากฐานข้อมูลเปรียบเทียบกับข้อมูลการปลูกสร้างสวนป่า ปี พ.ศ. 2549-2561 และนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่า RMSE และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลกับข้อมูลการปลูกสร้างสวนป่าของสวนป่าลาดกระทิง ปี พ.ศ. 2549-2561 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

การออกแบบฐานข้อมูล

การสร้างฐานข้อมลภูมิสารสนเทศของสวนป่าลาดกระทิง ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) มี 8 ชั้นข้อมูล ประกอบด้วย ขอบเขตแปลงย่อย (block) ขอบเขตแปลง (compartment) ขอบเขตการปกครอง (administrative) ตำแหน่งสถานที่ต่างๆ (point of interest) เส้นทางคมนาคม (road) ลำห้วย (stream) การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2561 (landuse2561) และชุดดิน (soil) ข้อมูลตาราง (table) ที่ได้จากการกำหนดเอนทิตี ประกอบด้วย 13 ตาราง และออกแบบโครงสร้างของฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศสวนป่าลาดกระทิง เพื่ออธิบายโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลซึ่งเขียนออกมาในลักษณะของรูปภาพ E-R Diagram ดัง Figure 2 และนำเอนทิตีมากำหนดชนิดของข้อมูล (data type) และคำอธิบายในข้อมูลเชิงบรรยาย แสดงใน Table 2

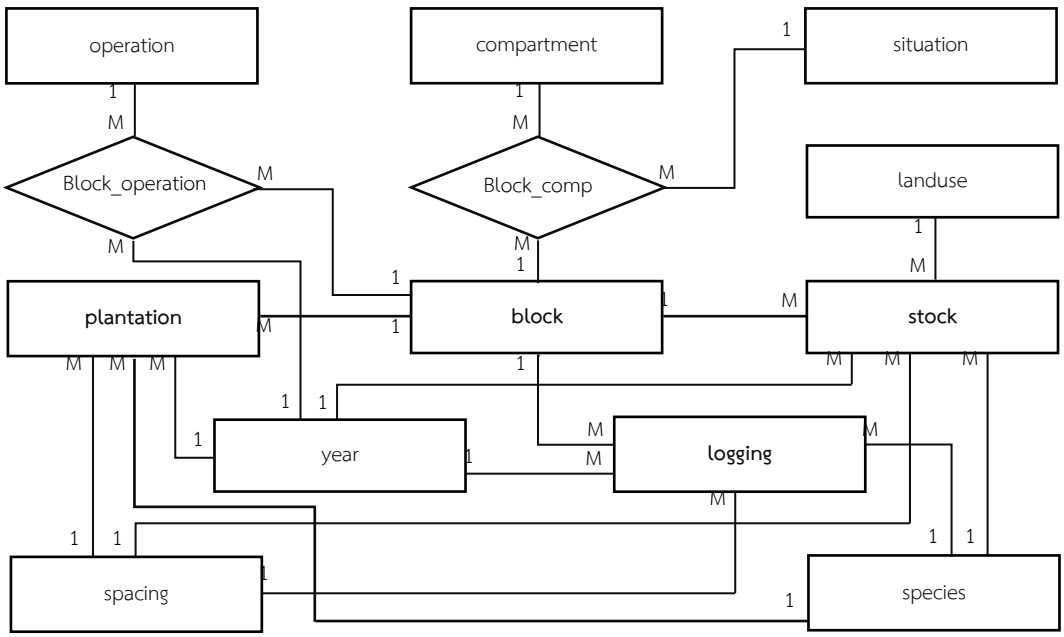


Figure 2 E-R or entity relationship diagram of the Lat Krathing plantation attributes database.

Table 2 Attributes table of each entity listed in Figure 2.

Entity	Field name	Data type	Attributes
Block	BC_ID	Text	Block ID
	BC_CODE	Text	Block Name
	AREA	Number	Area (rai)
Compartment	COM_ID	Text	Compartment ID
	COM_Name	Text	Compartment Name
	COM_Area	Number	Area (rai)
Stock	ST_ID	Text	Stock ID
	Age	Number	Age (year)
	Volume	Number	Volume (m^3)
	Weight	Number	Weight (ton)
	Density_v	Number	Density (m^3/ rai)
	Density_w	Number	Density (ton/ไwai)
Plantation	PT_ID	Text	Plantation ID
	Tree	Number	Tree Survey
	Cost_P	Number	Cost rate (bath/rai)

Table 2 (Continued)

Entity	Field name	Data type	Attributes
Logging	LG_ID	Text	Logging ID
	Vol_L	Number	Volume (m^3)
	Weight_L	Number	Weight (ton)
	Cost_L	Number	Cost rate (bath/rai)
	Profit_L	Number	Profit (bath)
Year	Year_ID	Text	Year ID
	year	Text	Year Name
Land use	LU_ID	Text	Landuse ID
	Landuse	Text	Landuse Name
Operation	OP_ID	Text	Operation ID
	Operation_T	Text	Operation Name Thai
	Operation_E	Text	Operation Name English
Situation	SIT_ID	Text	Situation ID
	SIT_Name	Text	Situation Name
	SIT_No	Text	Situation Number
	SIT_Date	Text	Situation Date
	Remark	Text	Remark
Species	SP_ID	Text	Species ID
	Com_Name	Text	Common Name
	Sci_Name	Text	Scientific Name
Spacing	SC_ID	Text	Spacing ID
	SC_Name	Text	Spacing Name

จาก Table 2 ข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) มี 13 entities ประกอบด้วย ขอบเขตแปลงย่อย (block) สต็อกไม้ (stock) ข้อมูลปลูกสร้างสวนป่า (plantation) ข้อมูลทำไม้ (logging) ขอบเขตแปลง (compartment) ข้อมูลปี (year) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (landuse) การดำเนินการ (operation) เงื่อนไขพื้นที่ (situation) ชนิดไม้ (species) ระยะปลูก (spacing) ข้อมูลเชื่อมความสัมพันธ์การดำเนินการ (block_operation) และข้อมูลเชื่อมความสัมพันธ์แปลง (block_comp)

การเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และฐานข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) กำหนดให้มีการเชื่อมโยงกันของขอบเขตแปลง (compartment) ผ่าน COM_ID และการเชื่อมโยงของขอบเขตแปลงย่อย (block) ผ่าน BC_CODE

ซึ่งทำให้ข้อมูลมีการเชื่อมโยงกันระหว่างฐานข้อมูล

สร้างฐานข้อมูลจากโครงสร้างฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้โปรแกรมระบบฐานข้อมูล Microsoft Access 2010 ดังแสดงใน Figure 3

องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้มีการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน พื้นที่สวนป่าลาดกระทิง ได้ผลจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-7 และสำรวจในสนามเมื่อ พ.ศ. 2560 เพื่อใช้ในการจัดการพื้นที่แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Productive Area หมายถึง พื้นที่ให้ผลผลิตตามแผนการปลูกสร้างสวนป่า และการใช้ประโยชน์สวนป่า

2. Non-Productive Area หมายถึง พื้นที่ที่ไม่ให้ผลผลิตตามแผนการปลูกสร้างสวนป่า และการใช้ประโยชน์สวนป่า

3. Conservation Area หมายถึง พื้นที่อนุรักษ์ ตามแนวทางการจัดการสวนป่าอย่างยั่งยืน

4. Other Area หมายถึง พื้นที่ที่หน่วยงานราชการใช้ประโยชน์ แต่ยังไม่กันออกจากเขตสวนป่า รายละเอียดต่างๆ ดังแสดงใน Table 3

จากการเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และฐานข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) สามารถแสดงข้อมูลปริมาณไม้ ปี 2561 ในรูปแบบของแผนที่ มีการแบ่งช่วงชั้นของข้อมูลปริมาณไม้เป็น 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 และ >40 ตันต่อไร่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อกันของฐานข้อมูล ดังแสดงใน Figure 4

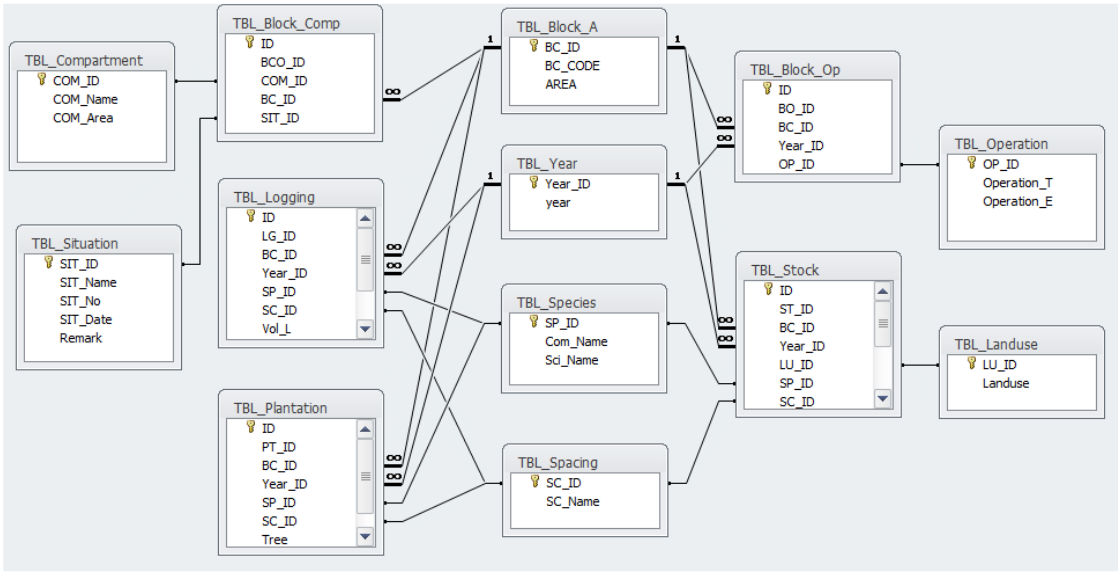


Figure 3 Relational attributes database of the Lat Krathing plantation.

Table 3 Land use at the Lat Krathing plantation during 2017.

Landuse	Area (Rai)	%
Productive Area	18,876.36	89.47
Non-Productive Area	1,116.62	5.29
Conservation Area	1,015.13	4.82
Other Area	89.18	0.42

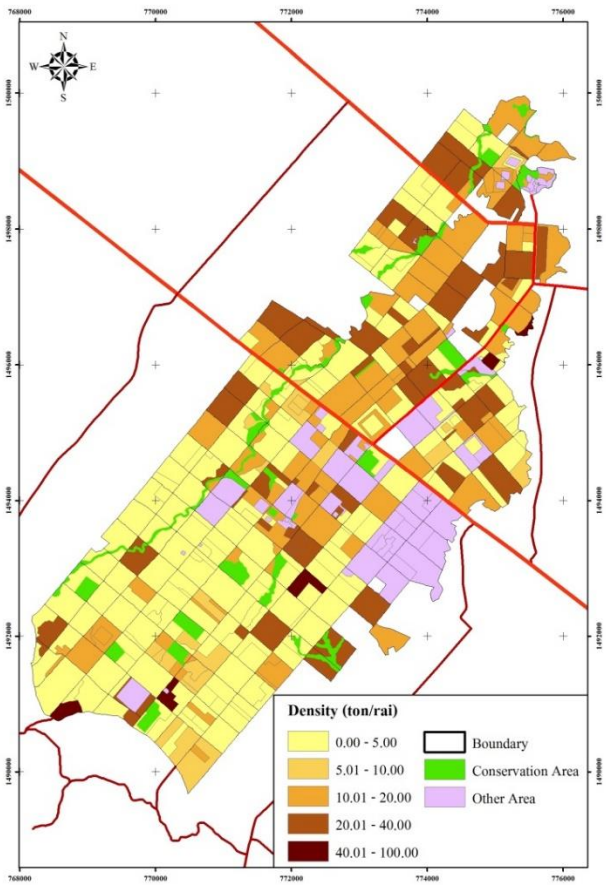


Figure 4 Map of the estimated volumetric density of wood in 2018.

การใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

1. ข้อมูลพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าสะสมรายปี : ชนิดไม้กระถินเทพา มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดปี 2550 มีพื้นที่ 7,340.74 ไร่ และชนิดไม้ยูคาลิปตัส มีพื้นที่ปลูกมากที่สุดปี 2552 มีพื้นที่ 8,674.13 ไร่ ดัง Figure 5 พื้นที่ปลูกสร้างสวนป่า ชนิดไม้กระถินเทพา มีพื้นที่สะสมลดลงอย่างต่อเนื่อง เป็นเพราะถึงแม้การลงทุนปลูกสร้างสวนป่า ทั้ง 2 ชนิด จะมีต้นทุนที่ใกล้เคียงกัน แต่ผลตอบแทนที่ได้รับจากการปลูกสร้างสวนป่าชนิดไม้ยูคาลิปตัสสูงกว่าชนิดไม้กระถินเทพา (Royal Forest Department, 2015)

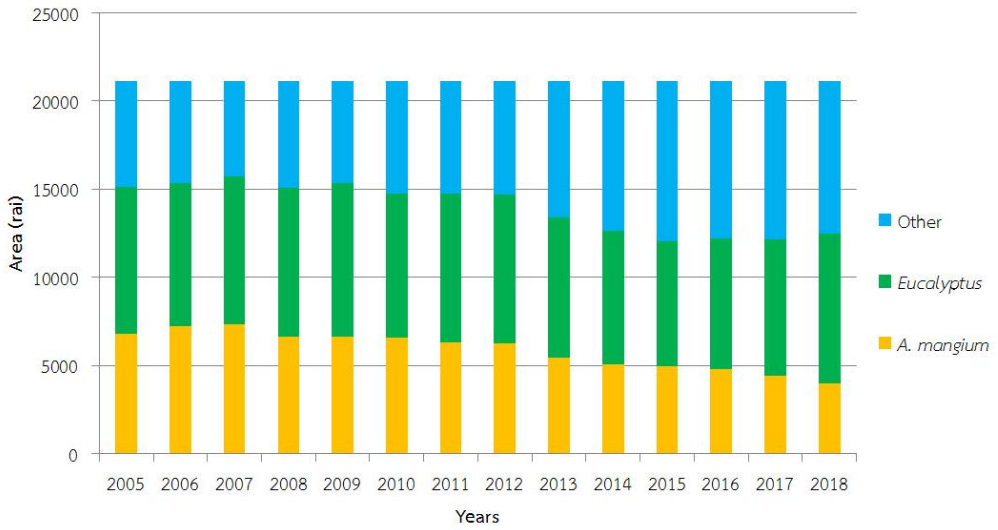


Figure 5 Annual chart of the total area under forest plantation.

2. ข้อมูลปริมาณไม้สะสมรายปี:ชนิดไม้กระถินเทพา มีปริมาณสะสมมากที่สุด ปี 2551 น้ำหนัก 57,115.28 ตัน และชนิดไม้ยูคาลิปตัส มีปริมาณสะสมมากที่สุด ปี 2561 น้ำหนัก 128,090.50 ตัน เห็นได้ว่าช่วงเวลาที่สวนป่าลาดกระทิงอยู่ภายใต้การดำเนินงานขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ชนิดไม้ยูคาลิปตัสปริมาณไม้สะสมสูงกว่า ช่วงของบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด เป็นเพราะในช่วงของบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด (ปี พ.ศ. 2549 – 2554) มีการทำไม้สูงกว่าช่วงของ อ.อ.ป. (ปี พ.ศ. 2556 – 2561) มีค่าเฉลี่ย 10,616.55 ตัน/ปี ส่วนของ อ.อ.ป. มีค่าเฉลี่ย 5,092.12 ตัน/ปี ส่งผลให้ปริมาณไม้สะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงใน Figure 6

Figure 6 The estimated yield of *Eucalyptus spp.* and *Acacia mangium* during the years 2005-2018.

3. ข้อมูลผลผลิตจากการทำไม้รายปี:ชนิดไม้กระถินเทพา มีผลผลิตจากการทำไม้มากที่สุดปี 2551 น้ำหนัก 18,859.47 ตัน ชนิดไม้ยูคาลิปตัส ผลผลิตจากการทำไม้มากที่สุดปี 2550 น้ำหนัก 19,665.26 ตัน (Figure 7)

4. ข้อมูลพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่ารายปี : ชนิดไม้กระถินเทพา มีการปลูกมากที่สุดในปี 2550 พื้นที่ 1,089.00 ไร่ และชนิดไม้ยูคาลิปตัส มีการปลูกมากที่สุดในปี 2550 พื้นที่ 3,223.94 ไร่ (Figure 8)

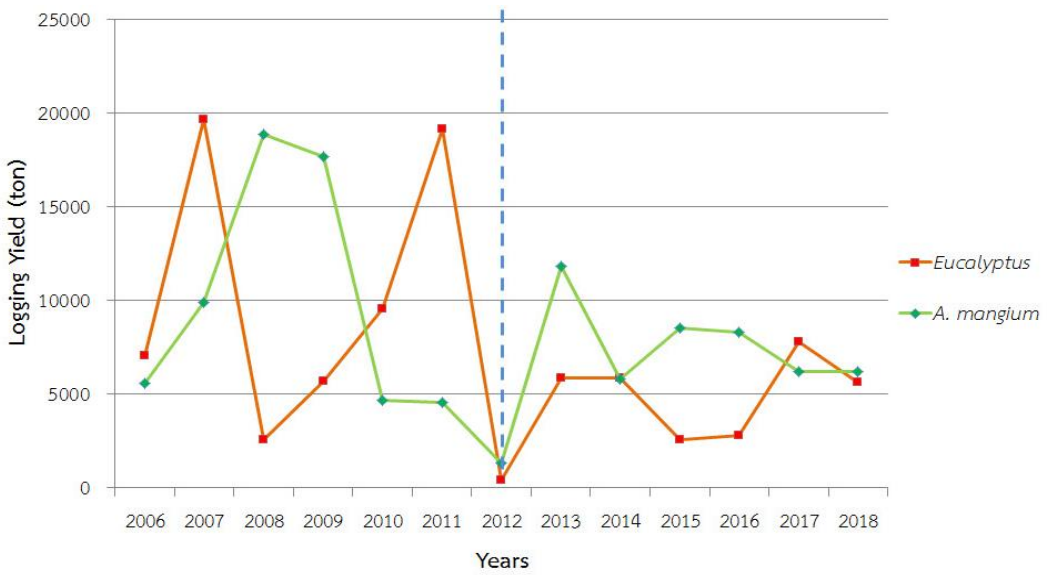


Figure 7 Logging yield of *Eucalyptus spp.* and *Acacia mangium* during the years 2006-2018.

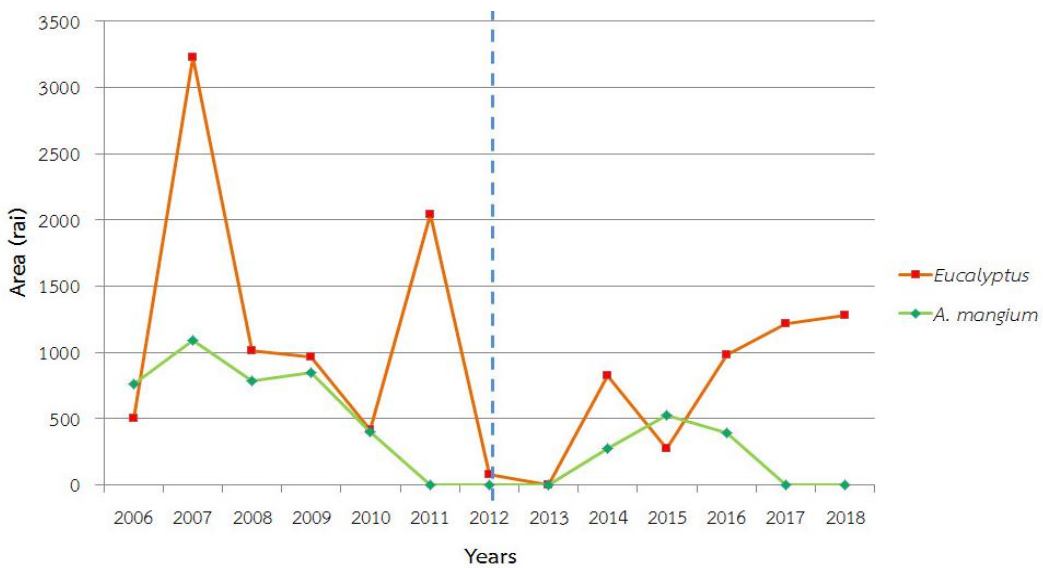


Figure 8 Plantation area under *Eucalyptus spp.* and *Acacia mangium* during the years 2006-2018.

จาก Figure 7 และ Figure 8 สวนป่าลาดกระทิง มีพื้นที่ที่ดำเนินการทำไม้ และผลผลิตจากการทำไม้ชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา ในช่วงปี พ.ศ. 2550 - 2554 จำนวนมาก ในช่วงเวลาดังกล่าวสวนป่าลาดกระทิง อยู่ภายใต้ความควบคุมของบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด และขณะนั้นบริษัทฯ เกิดสภาวะขาดทุน มีหนี้สินเป็นจำนวนมาก และประสบปัญหาขาดสภาพล่องทางการเงินอย่างรุนแรง (Wikipedia, 2017)

การทดสอบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ

(1) การคำนวณปริมาณไม้จากการดำเนินการทำไม้ ชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา เปรียบเทียบกับข้อมูลการทำไม้ของสวนป่าลาดกระทิง ปี พ.ศ. 2549-2561 ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Logging product of *Eucalyptus spp.* and *Acacia mangium* during 2006-2018.

Year	from Database (ton)		from reported data (ton)	
	Eucalyptus spp.	*Acacia mangium*	*Eucalyptus spp.*	*Acacia mangium*
2006	8,021.67	4,965.40	7,074.94	6,645.66
2007	20,545.42	12,430.87	19,665.26	11,318.37
2008	6,024.28	16,010.14	2,554.18	18,859.47
2009	6,121.77	19,259.78	5,680.16	20,935.95
2010	9,529.17	4,562.41	9,542.76	4,664.72
2011	15,843.09	4,393.53	19,181.99	4,558.45
2012	530.96	1,467.15	401.40	1,347.42
2013	4,921.35	5,986.75	5,872.51	11,853.14
2014	6,318.08	6,457.68	5,884.69	5,811.47
2015	7,652.56	7,513.73	2,583.23	8,552.93
2016	4,709.62	7,410.55	2,815.04	8,303.77
2017	8,289.01	5,894.98	7,776.12	6,224.90
2018	6,419.26	6,033.63	5,621.12	6,191.12

จาก Table 4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณปริมาณไม้ ของชนิดไม้ยูคาลิปตัส และกระถินเทพานั้น พบว่า ชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา มีค่า RMSE เท่ากับ 2,082.03 และ 1,997.78 ตัน ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบ (แบบ paired t-test) ระหว่างปริมาณไม้ที่ได้จากการทำไม้ออกที่ได้จากฐานข้อมูลและผลผลิตที่ได้จากการดำเนินการจริงที่ผ่านมา พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) ทั้งของชนิดไม้ยูคาลิปตัส และชนิดไม้กระถินเทพา โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.181 และ 0.071 ตามลำดับ

(2) การคำนวณพื้นที่ที่สวนป่าลาดกระทิงดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าจากฐานข้อมูล เปรียบเทียบกับข้อมูลการปลูกสร้างสวนป่า ปี พ.ศ. 2549-2561 ดังแสดงใน Table 5

Table 5 Area under plantation at the Lat Krathing plantation during 2006-2018.

Year	Plantation Area (rai)	
	from Database	from reported data
2006	1,277.61	1,291.72
2007	3,727.51	4,312.94
2008	1,758.54	1,793.67
2009	1,564.97	1,816.49
2010	1,070.63	808.10
2011	2,234.82	2,037.58
2012	553.84	160.33
2013	884.00	223.35
2014	1,523.34	1,476.29
2015	1,245.52	1,285.87
2016	1,789.46	1,507.46
2017	1,944.94	1,216.47
2018	1,845.55	1,281.20

จาก Table 5 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่านั้น พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 396.05 ไร่ จากการเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าจากฐานข้อมูล และพื้นที่ที่ดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าจริงที่ผ่านมา พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95) โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.126

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการนำข้อมูลทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมจากสวนป่าลาดกระทิง องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ภาคกลางมาใช้ ประกอบไปด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงบรรยาย ซึ่งปัญหาสำคัญของการออกแบบฐานข้อมูลนี้ คือ แต่เดิมข้อมูลดังกล่าวนั้นอยู่ในรูปแบบของเอกสารหรือไฟล์ดิจิทัลที่แยกส่วนกัน เป็นข้อมูลที่จัดเก็บเป็นระยะเวลานานมาก ทำให้ข้อมูลบางส่วนเสียหาย และสูญหาย ทำให้มีความยุ่งยากในการนำข้อมูลมาใช้งาน การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยนำข้อมูลมาออกแบบฐานข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ โดยมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตารางข้อมูล กำหนดรหัสเพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บและสะดวกในการเรียกใช้ข้อมูล และมีความเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บครอบคลุมรายละเอียดตามวัตถุประสงค์อย่างเป็นระบบ จะช่วยลดเวลาในการค้นหาข้อมูล รวมทั้งสามารถเรียกใช้ข้อมูลในรูปแบบของสารสนเทศได้เป็นอย่างดี ผู้ใช้ข้อมูลสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการกำหนดแผนงานหรือตัดสินใจในการดำเนินการเพื่อบริหารงานเกี่ยวกับพื้นที่สวนป่าได้รวดเร็วขึ้น การนำฐานข้อมูลมาใช้ พบว่า ช่วงเวลาที่สวนป่าลาดกระทิงอยู่ภายใต้การดำเนินงานของบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด โดยส่วนใหญ่บริษัทฯ จะดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าทดแทนในแปลงที่ได้มีการดำเนินการทำไม้ออกในปีนั้นๆ ซึ่งแตกต่างกับช่วงเวลาที่อยู่ภายใต้การ

ดำเนินงานขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ที่การดำเนินการปลูกสร้างสวนป่า จะขึ้นอยู่กับผู้บริหารที่เป็นผู้กำหนดเป้าหมายของการปลูกสร้างสวนป่าในปีนั้นๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2557 เป็นต้นมา มีจำนวนพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าชนิดไม้กระถินเทพาลดลงอย่างต่อเนื่อง และพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าชนิดไม้ยูคาลิปตัสมีพื้นที่เพิ่มขึ้น เพราะผู้บริหารขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ได้มีการเปลี่ยนแปลงนโยบายเกี่ยวกับการกำหนดชนิดไม้ในการดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าให้เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบัน เช่น ต้นทุนการปลูกสร้างสวนป่า ความต้องการของตลาด ศักยภาพของแต่ละพื้นที่ เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิต และรายได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิต จากการฐานข้อมูลมาใช้ค้นหาข้อมูลจะเห็นได้ว่าฐานข้อมูลสามารถตอบสนองความต้องการข้อมูลของผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามผู้ใช้ฐานข้อมูลนี้จำเป็นต้องเข้าใจวิธีการ และการกำหนดเงื่อนไขในการสืบค้นข้อมูล หากผู้ใช้ไม่เข้าใจหรือกำหนดเงื่อนไขในการสืบค้นข้อมูลไม่ถูกต้อง ข้อมูลที่ได้รับจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการสร้างหน้าต่าง Graphic User Interface (GUI) เพื่อช่วยในการสอบถามและสร้างเงื่อนไขในการวิเคราะห์ข้อมูล Pithumachotiwat (2007) กล่าวว่า ข้อดีของการจัดทำฐานข้อมูล คือ ลดการซ้ำซ้อนของข้อมูล การแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้ที่จุดเดียว จะช่วยให้ระบบฐานข้อมูลทันสมัยขึ้นและมีการบันทึกข้อมูลไว้อย่างดี Kordi *et al*. (2016) กล่าวว่า ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตัดสินใจ เนื่องจากสามารถสนับสนุนข้อมูลในทางปฏิบัติแก่ผู้ปฏิบัติงานในการดำเนินงานตามแผนงาน ซึ่งจะช่วยกำหนดทิศทางของนโยบายการจัดการในอนาคต จากค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูล กับข้อมูลที่สวนป่าดำเนินการจริงมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่การดำเนินงานของสวนป่าลาดกระทิงในการดำเนินการจำเป็นต้องใช้ปัจจัยหลายปัจจัย เช่น ปริมาณน้ำฝน ชนิดไม้ที่ปลูก แรงงาน รวมทั้งนโยบายของผู้บริหาร เป็นต้น ซึ่งหลายๆ ปัจจัย หากสามารถนำข้อมูลมาออกแบบฐานข้อมูลร่วมกับฐานข้อมูลที่สร้าง เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ช่วงเดือนที่เหมาะสมในการปลูก ชั้นข้อมูลการจัดชั้นคุณภาพของพื้นที่สวนป่าลาดกระทิงแต่ละแปลงย่อย จะช่วยในการวิเคราะห์ว่าพื้นที่บริเวณใดมีคุณภาพในการปลูก เป็นต้น ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์และได้ผลลัพธ์ที่นำมากำหนดแผนงานในการดำเนินการพื้นที่สวนป่าได้ดีมากขึ้น Goushegir and Feghhi (2009) กล่าวว่า สิ่งสำคัญในการออกแบบฐานข้อมูล คือ จะต้องกำหนดแนวคิดและความต้องการที่ชัดเจน ซึ่งจะส่งผลต่อระดับของฐานข้อมูลและความซับซ้อนในการออกแบบ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเอนทิตีใหม่ให้กับฐานข้อมูล โดยจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของการจัดการ

สรุป

การออกแบบฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของสวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้ทำการการออกแบบฐานข้อมูล จากข้อมูลทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมจากสวนป่าลาดกระทิง องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ภาคกลาง ในส่วนของข้อมูลเชิงพื้นที่ จำนวน 8 ชั้นข้อมูล และข้อมูลเชิงบรรยาย จัดทำให้อยู่ในรูปแบบของตาราง จำนวน 13 ตาราง และมีการนำมาทดลองใช้งาน พบว่า ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศที่ได้ออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูล มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับข้อมูลจริง สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ ทั้งนี้จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการข้อมูลอย่าง

เป็นระบบ มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ การรวบรวมและตรวจสอบข้อมูล การประมวลผลข้อมูล และการดูแลรักษาข้อมูล ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำเข้าไปยังฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้กับสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ได้ โดยจะต้องมีการศึกษาวิเคราะห์ความต้องการระบบฐานข้อมูล ออกแบบฐานข้อมูล ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม ทดสอบและประเมินผล จะช่วยให้การพัฒนาเป็นระบบฐานข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานทุกระดับ และครอบคลุมกับงานหลายๆ ด้าน เช่น ด้านการปลูกสร้างสวนป่า การเก็บเกี่ยวผลผลิต การรายงานผลการดำเนินงาน การจัดทำแผนงานประจำปี การติดตามและประเมินผลการดำเนินงาน เป็นต้น

คำนิยม

ขอขอบพระคุณผู้จัดการองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา หัวหน้างานสวนป่าลาดกระทิง เจ้าหน้าที่งานสวนป่าลาดกระทิง ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ในการสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจ ตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัยครั้งนี้

REFERENCES

Corvanich, A. 1986. **Logging Plan.** Department of Forest Engineering. Faculty of Forestry Kasetsart University.(in Thai)

Goushegir S.Z. and J. Feghhi. 2009. An entity-relationship model for forest management unit case study: Kheiroud Forest. **J. Applied Sci.** 9(3): 578-582.

Jirakajohnkool, S. 2006. **GIS and Using ArcGIS Desktop Version 9.1.** Faculty of Science and Technology, Thammasat University. (in thai)

Kaewkungwal, J. 1995. **Database Design and Management.** SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok. (in thai)

Kordi M.N., L.B. Collins, M. O'Leary and A. Stevens. 2016. ReehKIM: An integrated geodatabase for sustainable management of the Kimberley Reefs, North West Australia. **Ocean & Coastal Management** 119(2016): 234-243.

Lat Krathing Plantation. 2016. **Lat Krathing Plantation Progress Report in 2015.** Forest Industry Organization, Bangkok. (in thai)

Pithumachotiwat, P. 2 007. **GIS Database of Plants in Rama IX Botanical Garden.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Royal Forest Department. 2015. Knowledge of Economic Planting. **Private Reforestation.** Available Source: http://forestinfo.forest.go.th/pfd/km.aspx, April 23, 2021. (in thai)

The Secretariat of the Prime Minister. 1956. Royal Decree Establishing the Forest Industry Organization. Royal Thai Government Gazette. July 24, 1956. Vol. 73 Part 57, P. 881-895. Legislative Institutional Repository of Thailand. (in Thai) Samanthai, M. 2003. **Beginner's**

Guide to Database Design and SQL Language. 1st ed. Infopress Publisher, Bangkok. (in thai)

Wikipedia, 2017. Thaiplywood. **Wikipedia.** Available Source: https://th.wikipedia.org/wiki/Thaiplywood, April 23, 2021. (in thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

โครงสร้างประชากรและกิจกรรมออกหากินของช้างป่า (*Elephas maximus*) ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จังหวัดกาญจนบุรี

Population Structure and Foraging Activity of Wild Elephants (*Elephas maximus*) in the Salakpra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi Province

ประวิทย์ อินทร์น้อย[1,2*] **Prawit Ainnoi**[1,2*]

ยงยุทธ ไตรสุรัตน์[1] **Yongyut Trisurat**[1]

รองลาภ สุขมาสรวง[1] **Ronglap Sukmasuang**[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand

[2] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand

*Corresponding Author, E-mail: prawit.ainnoi@gmail.com

รับต้นฉบับ 18 มิถุนายน 2564 **รับแก้ไข** 19 กรกฎาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 28 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

The objectives of this study were to investigate the population structure and activities of Asian elephants (*Elephas maximus*) at the Salakpra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi province, Thailand and to recommend guidance and planning strategies to better manage the wild elephant population. Camera traps were used to capture and classify the elephants by gender and age groups. Data were collected over a six-month period, from March to September 2020.

Elephants were categorized into five groups: adult males, adult females, sub-adults, juvenile, and calves. The detection ratios for the five groups as mention above were 1:5.7:0.8:3:1.3 respectively, with an overall sex ratio of 1:5.7 and a reproductive ratio between adult females, adolescents, and juveniles of 1:0.5:0.2, respectively. The Relative Abundance Index (RAI) was calculated at 11.6% and the Relative Frequency (RF) was 100%. The observed activity during the daytime was significantly greater than the nighttime (χ^2 2 = 57.019, df = 17, $p < 0.001$). The two periods of highest recorded activity was 8:00 a.m. to 10:00 a.m. and 3:00 p.m. to 5:00 p.m.

This research found that the population structure of wild elephants in Thung Salakpra has changed. The proportion of adult females, subadults, juveniles, and calves has increased compared to past studies. Therefore, if the structure of wild elephant population is surveyed every 5-10 years, it can be possible to better monitor the changes in population structure of wild elephants in the Salakpra Wildlife Sanctuary.

Keywords: Population structure, Activity, Wild elephants, Salakpra Wildlife Sanctuary

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างประชากรและกิจกรรมของช้างป่า (*Elephas maximus*) เพื่อวางแผนการจัดการประชากรช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้การติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าเพื่อศึกษาสัดส่วนของเพศและจำแนกชั้นอายุ ช่วงเวลาในการทำกิจกรรมออกหากินของช้างป่า ตั้งแต่เดือนมีนาคมจนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2563 รวมเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการศึกษา โครงสร้างประชากรของช้างป่า แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ช้างเพศผู้โตเต็มวัย ช้างเพศเมียโตเต็มวัย ช้างใกล้โตเต็มวัย ช้างวัยรุ่น และลูกช้างเล็กเท่ากับ 1:5.7:0.8:3:1.3 อัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย เท่ากับ 1:5.7 และอัตราการสืบพันธุ์ระหว่างช้างเพศเมียโตเต็มวัย ช้างวัยรุ่น และลูกช้างเล็ก เท่ากับ 1: 0.5: 0.2 มีค่าดัชนีความมากมายสัมพัทธ์ (RAI) ร้อยละ 11.6 และค่าความถี่สัมพัทธ์ (RF) ร้อยละ 100 กิจกรรมการออกหากินในช่วงเวลากลางวันมากกว่าช่วงเวลากลางคืนอย่างมีนัยสำคัญ (χ^2 = 57.019, df = 17, p < 0.001) ช่วงเวลาที่ช้างป่าทำกิจกรรมออกหากินมากที่สุดมี 2 ช่วงเวลาได้แก่ 08.00 น. ถึง 10.00 น. และช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 17.00 น.

จากงานวิจัยนี้ พบว่า โครงสร้างประชากรช้างป่าในทุ่งสลักพระมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีสัดส่วนตัวเมียโตเต็มวัย ช้างวัยรุ่น และลูกช้างเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในอดีตที่ผ่านมา ดังนั้น หากมีการสำรวจโครงสร้างประชากรช้างป่าทุก 5-10 ปี จะทำให้สามารถเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรของช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: โครงสร้างประชากร กิจกรรม ช้างป่า เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ

คำนำ

ช้างป่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศป่าเขตร้อน เพราะช่วยสร้างแหล่งอาหารให้แก่สัตว์ป่าชนิดอื่นๆ และช่วยกระจายพันธุ์ไม้ที่เป็นอาหารของสัตว์ป่าบางชนิด จากการสำรวจช้างป่าในเมืองไทยของนายแพทย์บุญส่ง เลขะกุล ปี พ.ศ. 2520 พบว่ามีช้างประมาณ 2,600 ถึง 4,450 เชือก ต่อมาในปี พ.ศ. 2534 พบว่าช้างป่าไทยเหลืออยู่เพียง 1,450 ถึง 1,600 เชือก (Lekakul, 1994) และจากการศึกษาของ Sukmasuang *et al.* (2014) ในช่วงระหว่างปี 2553-2556 ได้มีการรายงานจำนวนช้างทั่วประเทศไทย โดยแบ่งเป็นช้างเลี้ยงจำนวน 4,238 เชือก และช้างป่าจำนวนประมาณ 4,000 ตัว อย่างไรก็ดี นับตั้งแต่มีกระแสการอนุรักษ์ช้างและสัตว์ป่าอย่างเข้มข้น ส่งผลให้มีการควบคุมดูแลการล่าสัตว์ป่าอย่างเข้มงวดที่ได้ผลมากขึ้นและประชาชนให้ความร่วมมือ

กับภาครัฐในการส่งเสริมการอนุรักษ์สัตว์ป่าดีขึ้นตลอดมา จึงมีแนวโน้มที่จำนวนประชากรช้างป่าจะมีจำนวนที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ

จากการรายงานสถานภาพช้างป่าในพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทยจำนวน 68 แห่ง ใน 16 กลุ่มป่า ได้รวบรวมพื้นที่ป่าอนุรักษ์ที่มีช้างป่าอาศัยอยู่คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด จำนวน 53,710 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 49.36 ของพื้นที่ป่าอนุรักษ์ทั้งหมด (Winitpornsawan and Banchonrat, 2017) ในขณะที่พื้นที่ป่าอนุรักษ์ในปี พ.ศ. 2561 มีการเพิ่มขึ้นเพียงแค่ร้อยละ 4 เมื่อเทียบกับข้อมูลในปี พ.ศ. 2556 (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2021) อีกทั้งยังมีลักษณะแบ่งแยกจากกันเป็นพื้นที่มีลักษณะเป็นกลุ่มป่าไม่ได้เชื่อมติดต่อกัน ส่งผลให้พื้นที่อาจจะไม่เพียงพอที่จะรองรับจำนวนประชากรสัตว์ป่าโดยเฉพาะช้างป่าซึ่งเป็นสัตว์ป่าที่มีขนาดใหญ่และอาศัยอยู่รวมกันเป็นฝูง ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้พื้นที่หากินขนาดใหญ่และมีความต้องการปริมาณอาหารและน้ำเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน ประกอบกับพื้นที่ราบซึ่งเป็นพื้นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของช้างป่าได้ถูกบุกรุกทำลายไปเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรและที่อยู่อาศัยของมนุษย์เป็นจำนวนมาก

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการสำรวจสัตว์ป่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้กล้องดักถ่ายภาพมาใช้ในการศึกษาสัตว์ป่าหลายชนิด เพื่อมาใช้ศึกษาแทนการจับสัตว์ป่าหรือติดตามตัวสัตว์ป่าโดยตรง จึงเป็นสิ่งที่ปฏิบัติได้ง่าย และยังได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เช่น การประเมินโครงสร้างประชากรช้างป่าในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย (Varma *et al.,* 2006)

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างประชากรและกิจกรรมออกหากินของช้างป่าในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลการลาดตระเวนของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ที่ได้ทำการลาดตระเวนเชิงคุณภาพ (smart patrol) ซึ่งได้ทำการสำรวจการพบเจอตัวและร่องรอยสัตว์ป่าเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้และสัตว์ป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จากฐานข้อมูลที่ได้พบว่ามีการกระจายของสัตว์ป่าอยู่เป็นจำนวนมาก และโดยเฉพาะช้างป่าพบมีอยู่ทั่วไปบริเวณทั้งในและนอกพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ โดยได้นำข้อมูลมาจัดทำเป็นแผนที่การกระจายของช้างป่าของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ เพื่อให้เห็นการกระจายของช้างป่าในแต่ละปี โดยได้นำเอาข้อมูล ในปี พ.ศ. 2552 และ ปี พ.ศ. 2563 มาเปรียบเทียบเพื่อทำการเลือกพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้

เมื่อนำข้อมูลการเจอตัวและร่องรอยของช้างป่าในปี พ.ศ. 2552 มีการกระจายตัวของช้างป่าเกือบทั่วทั้งพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระตามเส้นทางเคลื่อนที่ของฝูงช้างป่า หากแต่เมื่อพิจารณาผลการพบเจอตัวและร่องรอยของช้างป่าในปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีปริมาณการพบเจอตัวและร่องรอยที่มากขึ้นอย่างชัดเจนและมีการกระจุกตัวอยู่บริเวณทุ่งสลักพระอย่างหนาแน่นพร้อมทั้งมีการกระจายออกนอกพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ ทางบริเวณทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออกซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงกับทุ่งสลักพระมากที่สุด

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกพื้นที่เฉพาะบริเวณทุ่งสลักพระเป็นพื้นที่ศึกษา โดยมีขนาดพื้นที่ 40 ตารางกิโลเมตร และเลือกใช้กล้องดักถ่ายภาพสัตว์ป่าเป็นอุปกรณ์หลักในการสำรวจ ซึ่งมี

ข้อดี คือ มีความเหมาะสมที่สุดต่อการสำรวจสัตว์ป่าโดยเฉพาะช้างป่าในทุกสภาพแวดล้อม และภาพถ่ายที่ได้สามารถใช้เป็นหลักฐานยืนยันการปรากฏของช้างป่าได้อย่างชัดเจน รวมถึงยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการปรากฏนำมาจำแนกระดับชั้นอายุเพื่อศึกษาโครงสร้างประชากรช้างป่าได้เป็นอย่างดีและเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ตรงต่อความเป็นจริงในครั้งนี้ (Figure 1)

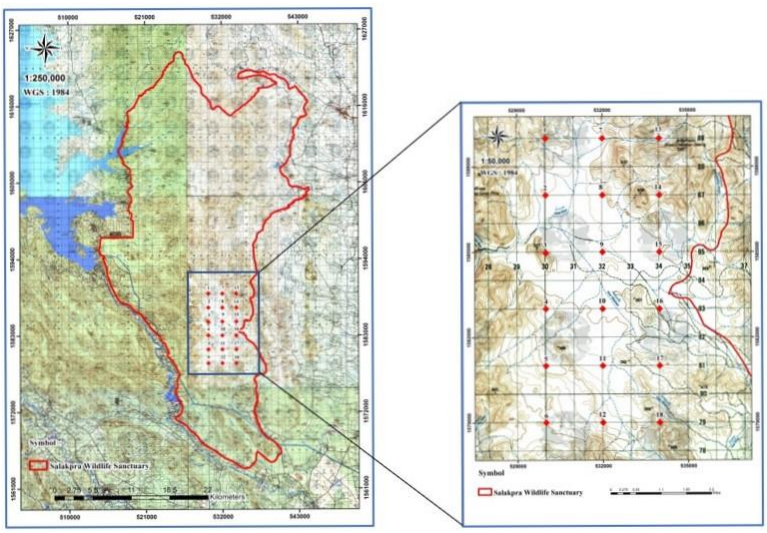


Figure 1 The location of 18 cameras trap installed at Thung Salakpra in Salakpra Wildlife Sanctuary from March 30th until September 30th, 2020.

วิธีการศึกษา

1. ดำเนินการการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ราบทั้งหมดของทุ่งสลักพระที่อยู่กึ่งกลางตอนล่างของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ รวม 40 ตารางกิโลเมตร ในแต่ละตำแหน่งตั้งกล้องจะใช้กล้องดักถ่ายภาพตำแหน่งละ 1 ตัว แต่ละตำแหน่งห่างกันประมาณ 2 กิโลเมตร ใช้กล้องดักถ่ายภาพทั้งหมดจำนวน 18 ตำแหน่ง โดยใช้ตำแหน่งต้นไม้ที่มีขนาดโตแข็งแรงและเหมาะสมเพียงพอ เพื่อติดตั้งกล้องให้สูงจากพื้นดินประมาณ 0.75 เมตร ใช้การตั้งค่ารูปแบบการทำงานให้กล้องถ่ายภาพเป็นภาพนิ่งตลอด 24 ชั่วโมง เลือกโหมดถ่ายภาพทีละ 3 ภาพ และตั้งเวลาหน่วง 5 วินาที ภาพที่ถ่ายได้ถูกบันทึกวันที่ เวลา ความสูง และค่าพิกัดดาวเทียม ในแต่ละเดือนเข้าทำการเก็บข้อมูล 1 ครั้ง ดำเนินการจนครบกำหนดเวลารวม 6 เดือน โดยไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งตั้งกล้อง

2. ทำการจำแนกโครงสร้างประชากรช้างป่าโดยใช้ภาพที่ได้จากกล้องดักถ่าย ใช้หลักเกณฑ์การจัดโครงสร้างประชากรของช้างป่า โดยดัดแปลงมาจากหลักการแบ่งกลุ่มของ Arivazhagan and Sukumar (2008) และ Varma *et al.* (2012) กำหนดให้ช้างป่าที่ได้รับการบันทึกภาพทั้งหมดแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

2.1 ช้างเพศผู้โตเต็มวัย (Adult-Male; AM) คือ ช้างเพศผู้ที่มีขนาดลำตัวสูงใหญ่ ซึ่งมีขอบบนของใบหูม้วนพับลงมา และสังเกตเห็นกระสีแดงที่บริเวณใบหูได้อย่างชัดเจน มีอายุมากกว่า 15 ปี

2.2 ช้างเพศเมียโตเต็มวัย (Adult-Female; AF) คือ ช้างเพศเมียที่มีขนาดลำตัวสูงใหญ่ ซึ่งมีขอบบนของใบหูม้วนพับลงมา และสังเกตเห็นกระสีแดงที่บริเวณใบหูได้อย่างชัดเจน มีอายุมากกว่า 15 ปี

2.3 ช้างใกล้โตเต็มวัย (Sub-Adult; SA) คือ ช้างที่มีขนาดความสูงเกือบเท่าตัวเต็มวัย ขอบใบหูด้านบนเริ่มม้วนพับลงมา และสังเกตเห็นกระสีแดงที่ใบหูชัดเจน มีอายุอยู่ในช่วง 5 จนถึง 15 ปี

2.4 ช้างวัยรุ่น (Juvenile; J) คือ ช้างที่มีขนาดโครงสร้างลำตัวที่มีขนาดยังไม่เต็มวัย มีความสูงประมาณกลางลำตัวของช้างโตเต็มวัย และไม่พบกระสีแดงที่ใบหูและใบหูด้านบนยังไม่งอหรือพับลง มีอายุอยู่ในช่วง 1 จนถึง 5 ปี

2.5 ลูกช้างเล็ก (Calf; C) คือ ช้างที่มีขนาดโครงสร้างลำตัวขนาดเล็ก มีความสูงประมาณท้องด้านล่างของช้างโตเต็มวัย มีอายุโดยประมาณที่ 0-1 ปี

3. นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่ศึกษามาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์เพศและชั้นอายุโครงสร้างประชากรช้างป่าทั้ง 5 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์ของ Varma *et al.* (2006) ซึ่งมีรายละเอียดของภาพถ่ายครบทั้ง 3 ลักษณะดังนี้ (1) คุณภาพ ต้องสามารถจำแนกถึงชนิด เพศ และอายุ ของช้างป่า (2) ความชัดเจน แสงแฟลตส่องไปถึงตัวช้างป่าได้และมีการโฟกัสภาพนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี และ (3) ตำแหน่งของภาพ ต้องเห็นได้ตั้งแต่หัวจนถึงหางจำแนกลักษณะรูปร่างช้างป่าได้อย่างละเอียดชัดเจน

4. การคำนวณค่าดัชนีความมากมายสัมพัทธ์ (Relative Abundance Index; RAI) ความมากมายสัมพัทธ์ของช้างป่าที่ถ่ายภาพได้ โดยประเมินจากอัตราการถ่ายภาพเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับจำนวน หรือความหนาแน่นของประชากรช้างป่า โดยค่าดัชนีนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อช้างป่ามีความหนาแน่นมากขึ้น อัตราการถ่ายภาพในแต่ละจุดตั้งกล้องมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อ 100 วันตั้งกล้อง สามารถคำนวณได้จากสูตร (Mohd and Sharma, 2006)

$$\text{ดัชนีความมากมายสัมพันธ์ (RAI; \%)} = \frac{\text{จำนวนวันถ่ายภาพช้างป่าได้} \; x \; 100}{\text{จำนวนวันตั้งกล้อง}}$$

5. การคำนวณค่าดัชนีความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency; RF) โดยประเมินการกระจายของช้างป่าในพื้นที่โดยใช้ค่าความถี่สัมพัทธ์เป็นค่าที่สัมพันธ์กับความมากมายและการกระจายของช้างป่าในพื้นที่ศึกษาสามารถคำนวณได้จากสูตร (Kawanishi *et al*., 1999)

$$\text{ดัชนีความถี่สัมพัทธ์ (RF; \%)} = \frac{\text{จำนวนจุดที่ถ่ายภาพช้างป่าได้} \; x \; 100}{\text{จำนวนจุดตั้งกล้องทั้งหมด}}$$

6. วิเคราะห์ช่วงเวลาการทำกิจกรรมออกหากินของช้างป่าในรอบวัน โดยแบ่งคำนวณเวลาเป็นรายชั่วโมง ใช้เหตุการณ์กรณีพบภาพช้างป่ากำลังยืนกินไผ่อยู่ไม่เกินเวลา 30 นาที ให้ถือว่าเป็นตัวเดียวกันนับเป็นหนึ่งเหตุการณ์ (O'Brien *et al*., 2003)

7. การวิเคราะห์ความถี่และการทำกิจกรรมจะใช้โปรแกรม R version 4.1.0 วิเคราะห์สถิติด้วย Pearson's Chi-squared test เพื่อพิสูจน์ว่าช้างป่าทำกิจกรรมออกหากินและการเคลื่อนย้ายฝูงในช่วงเวลากลางวันหรือช่วงเวลากลางคืนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ผลและวิจารณ์

ตำแหน่งตั้งกล้องและจำนวนภาพช้างป่า

ผลการจากศึกษาที่ได้ดำเนินการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพช้างป่าทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษาในบริเวณทุ่งสลักพระ (พื้นที่ 40 ตารางกิโลเมตร) โดยใช้ตำแหน่งตั้งกล้องทั้งหมด 18 ตำแหน่ง จำนวนคืนตั้งกล้องทั้งหมดที่กล้องถ่ายได้ 2,431 คืน (trap night) จำนวนคืนตั้งกล้องทั้งหมดที่กล้องถ่ายภาพช้างได้ 281 คืน จำนวนภาพทั้งหมดที่มีรูปช้าง 10,788 ภาพ และจำนวนภาพทั้งหมดที่มีรูปช้างและไม่มีรูปช้าง 54,443 ภาพ โดยตำแหน่งตั้งกล้องที่ 13 เป็นตำแหน่งกล้องที่ถ่ายภาพช้างได้น้อยที่สุดจำนวน 2 คืน และตำแหน่งตั้งกล้องที่ 12 เป็นตำแหน่งกล้องที่สามารถถ่ายภาพช้างได้มากที่สุดจำนวน 35 คืน เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจำนวนคืนตั้งกล้องทั้งหมดที่มีรูปช้างได้ร้อยละ 15.61 คืน

ตำแหน่งตั้งกล้องที่ 13 เป็นตำแหน่งตั้งกล้องที่ถ่ายภาพช้างได้น้อยสุด 15 ภาพ และตำแหน่งตั้งกล้องที่ 14 เป็นตำแหน่งตั้งกล้องที่สามารถถ่ายภาพช้างได้มากที่สุด 2,260 ภาพ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากจำนวนภาพที่มีรูปช้างที่ได้จากกล้องทั้ง 18 ตำแหน่งพบว่าได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 599.33 ภาพ

โครงสร้างประชากร

สัดส่วนโครงสร้างประชากร

ผลจากการศึกษาการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพทั้ง 18 ตำแหน่ง ในระยะเวลา 6 เดือน (30 มีนาคม จนถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2563) โดยได้ดำเนินการจำแนกช้างป่าแต่ละตัวจากภาพถ่าย ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ (1) ช้างเพศผู้โตเต็มวัย จำนวน 1,685 ภาพ (2) ช้างเพศเมียโตเต็มวัย จำนวน 9,644 ภาพ (3) ช้างใกล้โตเต็มวัย จำนวน 1,361 ภาพ (4) ช้างวัยรุ่น จำนวน 5,051 ภาพ และ (5) ลูกช้างเล็ก จำนวน 2,162 ภาพ รวมจำนวนภาพที่มีรูปช้างที่ถ่ายได้ทั้งหมดเป็นจำนวน 19,903 ภาพ จากภาพที่ถ่ายได้ทั้งหมดจำนวน 54,443 ภาพ

การหาสัดส่วนโครงสร้างประชากรช้างป่าในพื้นที่ศึกษาบริเวณทุ่งสลักพระ ทำได้โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของโครงสร้างประชากรช้างป่าทั้ง 5 กลุ่ม คือ ช้างเพศผู้โตเต็มวัยต่อช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างใกล้โตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่น ต่อลูกช้างเล็กได้เท่ากับ 1:5.72:0.81:3:1.28 ตามลำดับ (Table 1)

เมื่อนำเอาผลการศึกษาในครั้งนี้เปรียบเทียบกับรายงานการศึกษาวิจัยของ Chairat (2011) ที่เคยทำการศึกษาสัดส่วนโครงสร้างประชากรช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระเอาไว้ในปี 2554 เฉพาะในส่วนพื้นที่บริเวณทุ่งสลักพระ ที่ได้มีการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพในพื้นที่บริเวณทุ่งสลักพระรวมทั้งสิ้น 19 จุด (แหล่งน้ำ จำนวน 7 จุด แหล่งโป่ง จำนวน 7 จุด และด่านสัตว์ จำนวน 5 จุด) พบว่าสัดส่วนโครงสร้างประชากรช้างป่าในทุ่งสลักพระของช้างเพศผู้โตเต็มวัยต่อช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างเพศผู้ใกล้โตเต็มวัยต่อช้างเพศเมียใกล้โตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่นต่อช้างเล็ก เฉลี่ยเท่ากับ1:3.58:0.07:0.17:1.1:0.66:1:0.31 พบว่าผลการศึกษาในครั้งนี้มีสัดส่วนของช้างเพศเมียโตเต็มวัย ช้างเพศใกล้โตเต็มวัย ช้างวัยรุ่น และช้างเล็กที่สูงกว่าการศึกษาของ Chairat (2011) (Table 2)

นอกจากนี้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้เปรียบเทียบกับการศึกษาของ Youngpoy (2012) ที่ได้ทำการศึกษาสัดส่วนโครงสร้างประชากรในภาพรวมของทั้งเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระใน 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) บริเวณทุ่งสลักพระ 2) บริเวณหน่วยพิทักษ์ป่าหม่องกระแทะ-แก่งแคบ 3) บริเวณหน่วยพิทักษ์แม่ละมุ่น-แม่ปลาสร้อย โดยได้ผลในภาพรวมเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่มีค่าสัดส่วนโครงสร้างประชากรของ

ช้างเพศผู้โตเต็มวัยต่อช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างใกล้โตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่นต่อลูกช้างเล็กในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระเท่ากับ 1:1.09:0.51:0.33:0.3 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ที่ทำการศึกษาในพื้นที่เดียวกัน พบว่า ผลการศึกษาครั้งนี้มีค่าสัดส่วนโครงสร้างประชากรช้างป่าในทุ่งสลักพระในสัดส่วนของช้างเพศเมียโตเต็มวัย ช้างวัยรุ่น และลูกช้างเล็กที่สูงกว่าการศึกษาของ Youngpoy (2012) (Table 2)

Table 1 Sex and age class proportions of wild elephants in Thung Salakpra.

Camera position	Proportion				
	Adult-Male (AM)	Adult-Female (AF)	Sub-Adult (SA)	Juvenile (JU)	Calf (C)
1	1	8.84	0.63	5.11	0.53
2	1	1.57	1.37	0.78	0.73
3	1	0.13	0.06	0.20	0.05
4	1	6.40	2.24	2.76	1.89
5	1	1.76	0.12	0.76	0.50
6	1	7.74	1.16	1.84	2.26
7	-	-	-	-	-
8	1	6.22	0.66	1.96	0.98
9	1	5.98	3.22	4.63	1.14
10	1	26.74	7.71	16.29	9.26
11	1	8.80	0.79	4.49	1.65
12	1	3.28	0.45	1.70	0.94
13	-	-	-	-	-
14	1	13.31	0.38	8.31	2.17
15	1	3.84	0.32	2.60	0.86
16	1	4.14	0.61	0.57	1.45
17	1	32.50	3.50	10.50	1.00
18	1	2.59	0.97	0.66	0.00
	1	5.72	0.81	3.00	1.28

Table 2 Comparison of sex and age classes in the population structure of wild elephants in Thung Salakpra between the previous and present study.

Study area	Number of camera	Proportion						References
		AM	AF	SM	SF	JU	C	
				SA				
Average of Thung Salakpra	19	1	3.38	0.01	0.23	1.19	0.76	Chairat (2011)
Water source	7	1	4.56	0.00	0.20	2.10	1.02	
Salt-lick area	7	1	3.03	0.03	0.26	0.26	0.49	
Animal trail	5	1	3.81	0.01	0.23	1.20	0.76	
Average of Thung Salakpra, Maung Kratae - Kaeng Khaem unit and Mae Lamun-Mae Plasoi unit	19	1	1.09	0.51		0.33	0.35	Youngpoy (2012)
Average of Thung Salakpra	18	1	5.72	0.81		3.00	1.28	This study (2020)

Remarks AM = Adult Male, AF = Adult Female, SM = Subadult Male, SF = Subadult Female, SA = Sub-Adult (both Male and Female), JU = Juvenile, C = Calf.

Source: Chairat (2011) and Youngpoy (2012)

สัดส่วนโครงสร้างของประชากรช้างป่า

จากผลการศึกษาการติดตั้งกล้องดักถ่ายภาพช้างป่า ได้นำข้อมูลมาจำแนกโดยใช้จำนวนภาพทั้งหมดของช้างเพศเมียโตเต็มวัย จำนวน 9,644 ภาพ ช้างวัยรุ่น จำนวน 5,051 ภาพ ลูกช้างเล็ก จำนวน 2,162 ภาพ มาคำนวณหาสัดส่วนของช้างป่า โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างช้างเพศเมียโตเต็มวัย ต่อ ช้างวัยรุ่น ต่อ ลูกช้างเล็ก มีค่าเท่ากับ 1:0.52:0.22

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรายงานของ Chairat (2011) ที่ได้ผลการศึกษาวิจัยสัดส่วนของช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่นต่อลูกช้าง บริเวณแหล่งน้ำในทุ่งสลักพระ มีค่าเท่ากับ 1:0.08:0.16 และบริเวณแหล่งโป่ง มีค่าเท่ากับ 1:0.46:0.22 พบว่า ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าสัดส่วนของช้างวัยรุ่นและลูกช้างที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรายงานของ Youngpoy (2012) ที่ได้ค่าสัดส่วนของช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่นต่อช้างเล็ก เท่ากับ 1:0.35:0.35 พบว่า การศึกษาครั้งนี้ก็มีค่าสัดส่วนของช้างวัยรุ่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนสัดส่วนของลูกช้างน้อยกว่าเล็กน้อย แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Chairat (2011) (Table 3)

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวนี้ พบว่าสอดคล้องกับบันทึกผลการปฏิบัติงานการลาดตระเวนเชิงคุณภาพ smart patrol ของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ ที่ได้เก็บข้อมูลการพบเจอตัวและร่องรอยของช้างป่าและสัตว์ป่าชนิดต่างๆ ในทุ่งสลักพระของพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระที่พบว่ามีการรายงานการพบเจอตัวและร่องรอยการกระจายของช้างป่าอยู่อย่างหนาแน่นในปี พ.ศ. 2563 มากกว่าในปี พ.ศ. 2552 อย่างชัดเจน

Table 3 Ratio of adult female elephants to juveniles to calves of wild elephants.

Study area	Number of cameras	Duration (months)	Adult-Female (AF)	Juvenile (J)	Calf (C)	References
Thung Salakpra						
Water source	6	3	1	0.08	0.16	Chairat (2011)
Salt-lick area	3	3	1	0.46	0.22	
Animal trail	1	3	N/A	N/A	N/A	
Thung Salakpra Maung Kratae - Kaeng Khaem unit and Mae Lamun-Mae Plasoi unit	19	3	1	0.35	0.35	Youngpoy, (2012)
Thung Salakpra	18	6	1	0.52	0.22	This study (2020)

ความมากมายสัมพัทธ์ของช้างป่า

ผลการศึกษาเพื่อประเมินความมากมายของประชากรช้างป่าโดยใช้ค่าดัชนีความมากมายสัมพัทธ์ (RAI) โดยใช้ข้อมูลที่ทำการถ่ายภาพช้างป่าได้จำนวน 10,788 ภาพ จำนวนคืนตั้งกล้อง 2,431 คืน และพบมีการเข้าใช้พื้นที่ของช้างป่า จำนวน 281 คืน คิดเป็นค่าดัชนีความมากมายสัมพัทธ์ของประชากรช้างป่าปรากฏว่าได้ร้อยละ 11.6 ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลการศึกษาของ Youngpoy (2012) ที่ได้ร้อยละ 10.3 แสดงให้เห็นว่า ประชากรช้างป่ามีการเข้าใช้พื้นที่บริเวณทุ่งสลักพระเพิ่มขึ้นกว่าการศึกษาในอดีต (Table 4)

ความถี่สัมพัทธ์ของช้างป่า

จากผลการศึกษาเพื่อประเมินการปรากฏของประชากรช้างป่าโดยใช้ค่าความถี่สัมพัทธ์ (RF) จากตำแหน่งตั้งกล้องทั้งหมด 18 ตำแหน่ง (Figure 1) พบการเข้าใช้พื้นที่ของช้างป่าครบทุกตำแหน่งที่ทำการตั้งกล้องคิดเป็นค่า

ดัชนีความถี่สัมพัทธ์ของประชากรช้างป่า ได้ร้อยละ 100 เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Youngpoy (2012) ที่มีค่าความถี่สัมพัทธ์ร้อยละ 72 ชี้ให้เห็นว่าช้างป่ามีการเข้าใช้ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาในบริเวณทุ่งสลักพระ (Table 4) จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ประชากรช้างป่าที่ใช้พื้นที่ในทุ่งสลักพระมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นในปี 2563 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการศึกษาในปี 2554 ซึ่งสอดคล้องกับฐานข้อมูลการลาดตระเวนเชิงคุณภาพของเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ

Table 4 Total number of nights using camera trap, number of nights that captured the picture of an elephant, Relative Abundance Index (RAI), and Relative Frequency (RF) in this study.

Camera No.	Total number of nights using camera trap	Number of nights that got elephant pictures	RAI	RF
1	170	8	4.7	1
2	168	24	14.3	1
3	121	9	7.4	1
4	166	29	17.5	1
5	133	17	12.8	1
6	114	19	16.7	1
7	68	5	7.4	1
8	159	22	13.8	1
9	71	10	14.1	1
10	133	19	14.3	1
11	155	32	20.7	1
12	150	35	23.3	1
13	170	2	1.2	1
14	165	7	4.2	1
15	109	23	21.1	1
16	169	13	7.7	1
17	107	4	3.7	1
18	103	3	2.9	1
	2,431	281	11.6	100

กิจกรรมออกหากินในรอบวันของช้างป่า

จากผลการศึกษาช่วงเวลาการทำกิจกรรมออกหากินในรอบวันของช้างป่าและการเคลื่อนย้ายฝูงระหว่างใน ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน พบว่าการทำกิจกรรมออกหากินของช้างป่าส่วนใหญ่จะเริ่มในช่วงเวลากลางวันมากกว่าในช่วงเวลากลางคืนอย่างมีนัยสำคัญ (χ^2=57.019, df = 17, p<0.001) โดยในช่วงเวลากลางวันเริ่มนับตั้งแต่ 06.00 น. ถึง 18.00 น. และหลังจากนั้นให้นับเป็นช่วงเวลากลางคืน ช้างป่าเริ่มทำกิจกรรมออกหากินมากที่สุดแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ 1) เริ่มตั้งแต่เวลาประมาณ 08.00 น. ถึง 10.00 น. และ 2) เริ่มตั้งแต่เวลาประมาณ 15.00 น. ถึง 18.00 น. ดังแสดงใน Figure 2

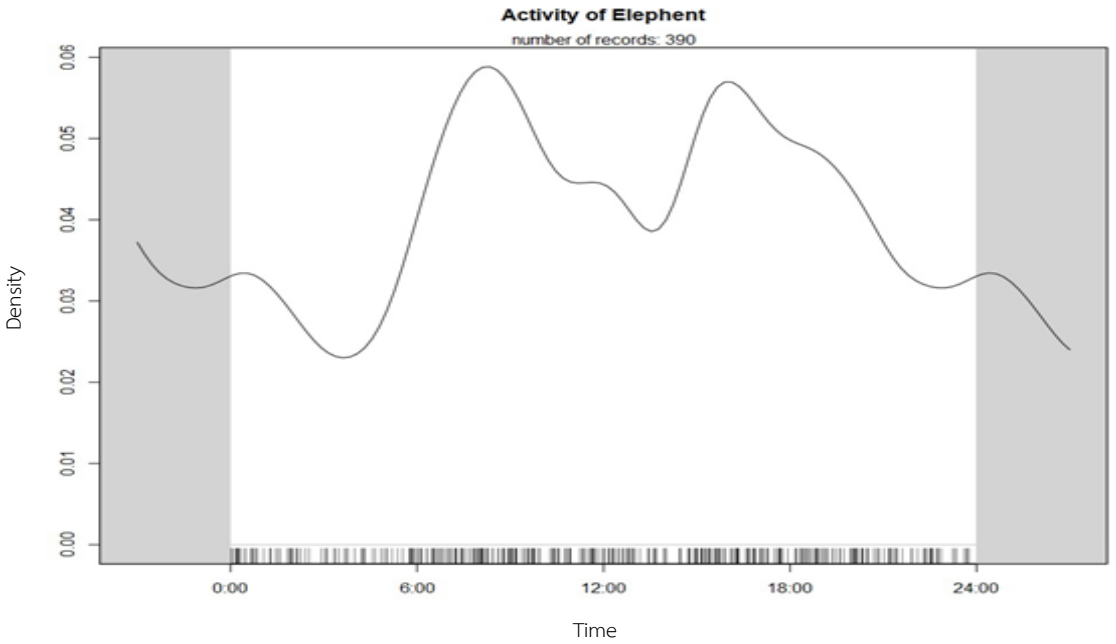


Figure 2 The 24 hour frequency of wild elephants' foraging activities in Thung Salakpra.

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ได้ผลตรงข้ามกับการศึกษาของ Winitpornsawan *et al.* (2015) ที่ทำการศึกษาช้างป่าในกลุ่มป่ารอยต่อ 5 จังหวัดภาคตะวันออก ซึ่งได้รายงานไว้ว่าช้างป่ามีพฤติกรรมการออกหากินในช่วงเย็นตั้งแต่เวลา 17.30 น. ไปจนถึงช่วงก่อนเช้าตรู่ของวันถัดไป โดยช้างป่าใช้เวลาในการปรากฏตัวและออกหากินที่เข้มข้นที่สุดในช่วงตั้งแต่เวลา 19.30 น. ถึง 22.00 น. การทำกิจกรรมออกหากินในรอบวันของช้างป่าแสดงให้เห็นว่า ช้างป่าทำกิจกรรมมากที่สุดในช่วงเวลากลางคืน และลดลงในช่วงเวลากลางวัน อันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีมากในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ช้างป่าต้องเปลี่ยนพฤติกรรมการออกหากินในพื้นที่ป่ารอยต่อ 5 จังหวัดภาคตะวันออก และต้องปรับกิจกรรมการออกหากินมาใช้ในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากในเวลากลางวันมีกิจกรรมของมนุษย์รบกวนมาก ทำให้ฝูงของช้างป่ารู้สึกถึงความไม่ปลอดภัยและมีภัยคุกคามซึ่งอาจจะเกิดขึ้นกับฝูงของช้างป่าได้

สรุป

สรุป

จากการศึกษาโครงสร้างประชากรและกิจกรรมออกหากินของช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จังหวัดกาญจนบุรี ตั้งแต่วันที่ 30 มีนาคม จนถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2563 พบว่าโครงสร้างประชากรของช้างป่าในบริเวณทุ่งสลักพระที่ทำการศึกษา คือ ช้างเพศผู้โตเต็มวัยต่อช้างเพศเมียโตเต็มวัยต่อช้างใกล้โตเต็มวัยต่อช้างวัยรุ่นต่อลูกช้างเล็ก ได้เท่ากับ 1:5.7:0.2:3:1.3 ชี้ให้เห็นว่า สัดส่วนโครงสร้างประชากรช้างป่าในบริเวณทุ่งสลักพระสูงกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาในอดีต

สัดส่วนระหว่างช้างเพศผู้โตเต็มวัย ต่อช้างเพศเมียโตเต็มวัย ได้เท่ากับ 1:5.7 ชี้ให้เห็นว่ามีการพบช้างเพศเมียโตเต็มวัยในพื้นที่ทุ่งสลักพระเป็นจำนวนมาก แสดงว่าฝูงช้างป่าที่มีช้างเพศเมียโตเต็มวัยได้เลือกใช้พื้นที่ราบทุ่งสลักพระ เนื่องด้วยพื้นที่ดังกล่าวมีหน่วยพิทักษ์ป่าตั้งอยู่รอบพื้นที่และคอยดูแลมิให้มีภัยคุกคามจากมนุษย์เข้ามาในพื้นที่

สัดส่วนของช้างเพศเมียโตเต็มวัย ต่อช้างวัยรุ่น ต่อลูกช้างเล็ก ได้เท่ากับ 1:0.5:0.2 ซึ่งมีสัดส่วนที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมาซึ่งอาจจะมีผลมาจากพื้นที่ราบมีความเหมาะสมในการอุ้มท้องและเลี้ยงลูกเล็ก และการรบกวนจากภัยคุกคามที่ลดน้อยลง ทำให้ฝูงช้างป่าเลือกที่จะมาอาศัยหากินในพื้นที่ดังกล่าว

ค่าความมากมายสัมพัทธ์จากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ามีการกระจายของช้างป่าทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และค่าความถี่สัมพัทธ์ซึ่งแสดงถึงการปรากฏของช้างป่าในทุกตำแหน่งตั้งกล้องทั้ง 18 ตำแหน่งของพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ อันเป็นผลมาจากการอาศัยออกหากินของฝูงช้างป่าทั่วทั้งพื้นที่บริเวณทุ่งสลักพระ

จากผลการศึกษาพฤติกรรมออกหากินพบว่าช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ มีการทำกิจกรรมออกหากินในช่วงเวลากลางวันมากกว่าในช่วงเวลากลางคืนอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีช่วงการทำกิจกรรมออกหากินมากที่สุดอยู่ในช่วงเช้าเวลาประมาณ 08.00น. ถึง 10.00 น. และในช่วงบ่ายประมาณ 15.00 น. ถึง 17.00 น. อันเนื่องมาจากผลของการลาดตระเวนเชิงคุณภาพทำให้ลดกิจกรรมการรบกวนจากมนุษย์ในพื้นที่ทุ่งสลักพระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้มีการดำเนินการศึกษาวิจัยโครงสร้างประชากรช้างป่าอย่างน้อยทุก 5-10 ปี ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรของช้างป่าที่ปกติจะอุ้มท้องและดูแลลูกช้างไม่น้อยกว่า 5 ปี ทำให้สามารถติดตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของประชากรช้างป่าในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ

2. การลาดตระเวนเชิงคุณภาพที่มีประสิทธิภาพส่งผลทำให้ภัยคุกคามลดลงอย่างเด่นชัด จึงเห็นควรให้มีการสนับสนุนและพัฒนาการลาดตระเวนเชิงคุณภาพเพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์สัตว์ป่าในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต่อไป

3. ควรเร่งดำเนินการเพิ่มพื้นที่ป่าอนุรักษ์โดยปัจจุบันมีพื้นที่ป่าไม้ที่ติดกับเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระบริเวณทางด้านทิศตะวันออก ในท้องที่อำเภอบ่อพลอย อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งยังคงเป็นพื้นที่ป่าไม้ที่ยังคงความอุดมสมบูรณ์ มีเนื้อที่ประมาณ 60,000 ไร่ และได้มีการสำรวจพื้นที่ไว้แล้วใน ปี พ.ศ. 2557 จึงขอเสนอให้มีการเร่งการสำรวจและประกาศจัดตั้งเป็นพื้นที่เขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขาสลอบ เพื่อรองรับประชากรช้างป่าที่เพิ่มขึ้นโดยเร็ว

คำนิยม

ขอขอบพระคุณคุณไพฑูรย์ อินทรบุตร หัวหน้าเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ, Asst. Prof.

Dr. Joshua Plotnik จาก Hunter College, USA, US Fish and Wildlife Service Asian Elephant Conservation Fund, คุณเสรี นาคบุญ หัวหน้าหัวหน้าศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าเขาน้ำพุ และ น.ส.น้ำผึ้ง ยังโป๊ย จากมหาวิทยาลัยมหิดล ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อย่างสูงในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

REFERENCES

Arivazhagan, C. and R. Sukumar. 2008. Constructing age structures of asian elephant (*Elephas maximus*) populations: A comparison of two field methods of Age Estimation. **Gajah-The Journal of Asian Elephant Specialist Group** 29**:** 11-16.

Chairat. R. 2011. Ecological effects of human activities on distribution and ecology of red bull (*Bos javanicus*), bull (*Bos gaurus*) and wild elephant (*Elephas maximus*) in Salakpra Wildlife Sanctuary, 2010-2011. **The Complete Research Reports.** Faculty of Environment and Resources. Mahidol University (in Thai)

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

Lekakul, B. 1994. **Survey of Wild Elephants in Thailand**. Matichon Publisher, Bangkok.

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2021. **Thailand Environmental Quality Reporting Database.** Thailand Environmental Quality Report Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok. (in Thai)

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. **Anim. Conserv.** 6: 131-139.

Mohd, A.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.

Sukmasuang, R., V. Kapilakanchana, S. Thanisawanyangkura, W. Arunpraparat, W. Wajjwalku, P. Janekarnkit, N. Thongtip, N. Bhumpakphan, Y. Trisurat and P. Sunthornha. 2014. The studies of ecology, population, distribution and health to solve elephant problems in Thailand. **A Complete Research Reports.** Kasetsart University Research and Development Institute. Bangkok. (in Thai)

Varma, S., A. Pittet and H.S. Jamadagni. 2006. Experimenting usage of camera-traps for population dynamics study of the Asian Elephant (*Elephas maximus*) in Southern India. **Malays. J. Sci.** 6: 81-95.

Verma, S., N. Baskaran and R. Sukumar. 2012. **Field Key for Elephant Population Estimation and Age and Sex Classification**. **Asian Nature Conservation Foundation, Innovation Center.** Indian Institute of Science, Bangalore, 560012, Karnataka.

Winitpornsawan, S., A. Pu-Kruea and K. Banchonrat. 2015. Population and age structure of wild asian elephants in the Eastern Forest Complex, pp. 89-111. *In* research and work progress reports. **Wildlife Yearbook 15** (2013-15). Wildlife Conservation Office. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)

Winitpornsawan, S. and K. Banchonrat. 2017. **Guide to Knowledge of Elephant.** Wildlife Conservation Office. Department of National Park, Wildlife and Plant conservation. (in Thai)

Youngpoy, N. 2012. **Population and Activities of Wild Elephant (*Elephas maximus*) in Salakpra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi Province.** M.S. Thesis, Mahidol University. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนและระบุตำแหน่งในการติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์

The Application of Vibration Sensors and Position Tracking in the Use of Chainsaws

เกียรติศักดิ์ บุญเดช[1*] **Kiattisak Bundet**[1*]

นพรัตน์ คัคคุริวาระ[1] **Nopparat Kaakkurivaara**[1]

ศุภกิตต์ สายสุนทร[2] **Supakit Sayasoonthorn**[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

[2]ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

[*]Corresponding Author; E-mail: Kiattisak.bu@ku.th

รับต้นฉบับ 1 สิงหาคม 2564 **รับแก้ไข** 27 กันยายน 2564 **รับลงพิมพ์** 5 ตุลาคม 2564

ABSTRACT

This study reports on the development of a chainsaw tracking device to monitor worker behavior, measure the vibrations in the device, and track their location. The device incorporates a microcontroller board, a 3-axis vibration sensor, a GPS module, a data logging module, a power switch, and a status LED as its main components. The device uses a Print Circuit Board (PCB) of dimensions 50 mm x 70 mm as its base and is installed on the right-hand guard of the chainsaw. The results show that the positioning error of the device was most the most in the morning. The inclination value can be used to clearly distinguish between the work activities. The vibration was tested with two different species: *Pterocarpus macrocarpus* and *Litsea glutinosa*. It was found that the felling of *Pterocarpus macrocarpus* had an average vibration of 9.9 m/s^2 and vibration force in falling *Litsea glutinosa* was 8.9 m/s^2. It was concluded that the hardwood exhibited a higher level of vibration than softwood, and that the vibration force could depend on the tree species and the sharpness of chain teeth. The measured data can be used to plan forest management, timber harvesting monitoring, and in improving timber traceability.

Keywords: Microcontroller, Chainsaw, Vibration, GPS, Traceability

บทคัดย่อ

การพัฒนาอุปกรณ์ติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ เพื่อตรวจสอบลักษณะการทำงาน ตรวจวัดแรงสั่นสะเทือน ตลอดจนติดตามตำแหน่งการใช้งาน อุปกรณ์ต้นแบบถูกพัฒนาขึ้นจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือน 3 แกน โมดูลจีพีเอส โมดูลบันทึกข้อมูล สวิทช์ปิด-เปิด และหลอดไฟแสดงสถานะ ชิ้นส่วนหลักเชื่อมต่อลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ขนาด 50 x 70 มิลลิเมตร ติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับเลื่อยโซ่ยนต์บริเวณด้ามจับด้านขวา การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์พบว่า ช่วงเช้ามีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด นอกจากนี้ค่าความเอียงสามารถแยกกิจกรรมการทำงานของเลื่อยโซ่ยนต์ได้อย่างชัดเจน การทดสอบวัดค่าแรงสั่นสะเทือนขณะใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ล้มไม้จำนวน 2 ชนิด คือไม้ประดู่ป่าและหมีเหม็น พบว่าแรงสั่นสะเทือนในการตัดต้นประดู่ป่ามีค่าแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ย 9.9 m/s^2 และต้นหมีเหม็นเฉลี่ย 8.9 m/s^2 จากค่าเฉลี่ยเห็นว่าไม้ประดู่ป่าซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งมีค่าแรงสั่นสะเทือนมากกว่าไม้หมีเหม็นที่เป็นไม้เนื้ออ่อน แสดงให้เห็นว่าค่าแรงสั่นสะเทือนของเลื่อยโซ่ยนต์อาจแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดไม้และปัจจัยอื่น เช่น ความคมของฟันเลื่อย ข้อมูลที่ตรวจวัดได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการสวนป่า ติดตามแผนการทำไม้และการตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของไม้ได้

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์ เลื่อยโซ่ยนต์ แรงสั่นสะเทือน ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก การตรวจสอบย้อนกลับ

คำนำ

งานสวนป่าโดยเฉพาะการนำไม้ออกมาใช้ประโยชน์นิยมใช้ “เลื่อยโซ่ยนต์” เป็นเครื่องมือหลักในการทำไม้ ไม่ว่าจะเป็นการล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดทอน หรือการแปรรูปไม้ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยผ่อนแรงได้ดี หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย (Kowanich, 1983) จึงทำให้เลื่อยโซ่ยนต์เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อเป็นควบคุมการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์และป้องกันการใช้งานอย่างผิดกฎหมาย หน่วยงานราชการจึงได้มีการออกกฎหมาย พระราชบัญญัติเลื่อยโซ่ยนต์ พ.ศ. 2545 ขึ้น โดยกำหนดให้ผู้ที่มีเลื่อยโซ่ยนต์ในครอบครองที่มีเครื่องยนต์ต้นกำลังตั้งแต่ 1 แรงม้า และแผ่นบังคับโซ่ยาวตั้งแต่ 12 นิ้ว ต้องมีการขึ้นทะเบียนกับเจ้าหน้าที่ในพื้นที่นั้น ๆ และการเคลื่อนย้ายเลื่อยโซ่ยนต์ออกไปใช้นอกพื้นที่ที่ได้ลงทะเบียนไว้ จักต้องมีการแจ้งเคลื่อนย้ายกับเจ้าหน้าที่เสียก่อน (RG, 2002) ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการควบคุมพื้นที่การใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์และง่ายในการตรวจสอบแหล่งที่มาของไม้หรือพื้นที่ทำไม้ หลังจากได้ออกกฎหมายมาควบคุมแล้วยังมีการกระทำความผิดเกี่ยวกับการลักลอบใช้งานหรือการใช้งานนอกพื้นที่ลงทะเบียนไว้ เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการขออนุญาตออกนอกพื้นที่ทั้งในเรื่องของเอกสารและระยะเวลาในการดำเนินการ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัย จึงมีแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถระบุตำแหน่งการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์เพื่อตอบโจทย์การตรวจสอบย้อนกลับดังกล่าว ให้สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เข้ามาช่วยในการดำเนินงาน (Phacharoen, 2019) มีการบูรณาการร่วมกับเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือน 3 แกน ใช้ในการวัดแรงสั่นสะเทือนและความเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ เพื่อหาความสัมพันธ์กับการระบุตำแหน่งของเลื่อย

โซ่ยนต์ ทั้งนี้ลักษณะการทำงานของเลื่อยโซ่ยนต์ในการล้มไม้แต่ละรอบ ประกอบด้วย การเดินไปยังต้นไม้ การกำหนดทิศทางที่ไม้จะล้ม การทำความสะอาดรอบโคนต้น การล้มไม้ ลิดกิ่ง ตัดปลาย และการเดินไปยังต้นต่อไป หากสามารถจำแนกแรงสั่นสะเทือนและความเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ในแต่ละองค์ประกอบของงาน (work element) ได้ ในอนาคตก็จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการจำแนกลักษณะการทำงานแบบอัตโนมัติ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ติดตามการใช้งานของเลื่อยโซ่ยนต์ ทดสอบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ หาความสัมพันธ์ค่าความเอียงของอุปกรณ์กับลักษณะการใช้เลื่อยโซ่ยนต์ และทดสอบวัดค่าความเอียงและค่าแรงสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ขณะใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ในการล้มไม้

อุปกรณ์และวิธีการ

ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

1. ศึกษาการทำงานของซอฟต์แวร์โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นโปรแกรมของ Arduino ที่เปิดให้ใช้งานฟรี ใช้ภาษา C และ C++ ในการเขียนโค้ดคำสั่ง (Warin, 2019) ส่วนฮาร์ดแวร์ทำการศึกษาหลักการทำงานของบอร์ดที่เป็นส่วนควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และเซ็นเซอร์แต่ละชิ้น ทั้งตำแหน่งการต่อขาต่าง ๆ แรงดันไฟฟ้าที่บอร์ดและเซ็นเซอร์สามารถรับได้ เป็นต้น

2. ศึกษาลักษณะรูปร่างของเลื่อยโซ่ยนต์ ขนาด น้ำหนัก รวมถึงลักษณะการใช้งานล้มไม้ของคนงาน เช่น ตำแหน่งการจับเลื่อยโซ่ยนต์ ลักษณะการทำงาน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ออกแบบอุปกรณ์และตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่คนงานล้มไม้

3. ใช้ซอฟต์แวร์ Fritzing 1 ในการออกแบบการเชื่อมต่อขาต่าง ๆ ของอุปกรณ์ จนได้ชนิดเซ็นเซอร์และตำแหน่งการต่อที่เหมาะสม (Figure 1) หลังจากนั้นทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์จริงเข้าด้วยกัน แล้วเขียนโค้ดคำสั่งการทำงานของอุปกรณ์

4. แนวคิดในการเขียนคำสั่งคือ เมื่อมีการเปิดใช้งานอุปกรณ์ ให้กดปุ่ม Reset 1 ครั้งเพื่อให้บอร์ดพร้อมทำงาน หลังจากนั้นให้เปิด Rocker Switch ของ GPS และ 3-axis accelerometer sensor เพื่อเป็นการอ่านค่าและบันทึกค่า ลงใน SD Card หลังจากล้มไม้เสร็จให้ปิด Rocker Switch ของ GPS เพื่อให้หยุดบันทึกค่าลง SD Card ตำแหน่งการล้มไม้ที่ได้จะแม่นยำขึ้น หลังจากนั้นให้ทำการลิดกิ่งตัดทอนต่อเพื่อทำการบันทึกค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียงจากการทำงาน หลังจากลิดกิ่งตัดทอนเสร็จให้ปิด Rocker Switch ของ 3-axis accele romete sensor เพื่อให้หยุดการบันทึกค่าลง SD Card เป็นการเสร็จสิ้นการล้มไม้ 1 ต้น (Figure 2)

5. เชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตผ่านระบบ WiFi เพื่อดูข้อมูลการทำงานแบบเวลาจริง (real time) สามารถตรวจสอบการทำงานของคนงานได้ การทำงานรับส่งข้อมูลจะใช้งานร่วมกับแอพพลิเคชั่น Blynk บนสมาร์ทโฟน ที่ทำหน้าที่รายงานผลการทำงานของอุปกรณ์

6. หลังจากทดสอบการเชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ดและได้โค้ดคำสั่งการทำงานที่เหมาะสมแล้ว นำชิ้นส่วนทั้งหมดมาเชื่อมต่อลงบนแผ่น PCB ขนาด 50 x 70 มิลลิเมตร ทำการปิดด้วยแผ่นอะคริลิคใสทุกด้านเพื่อป้องกันละลองน้ำและฝุ่น

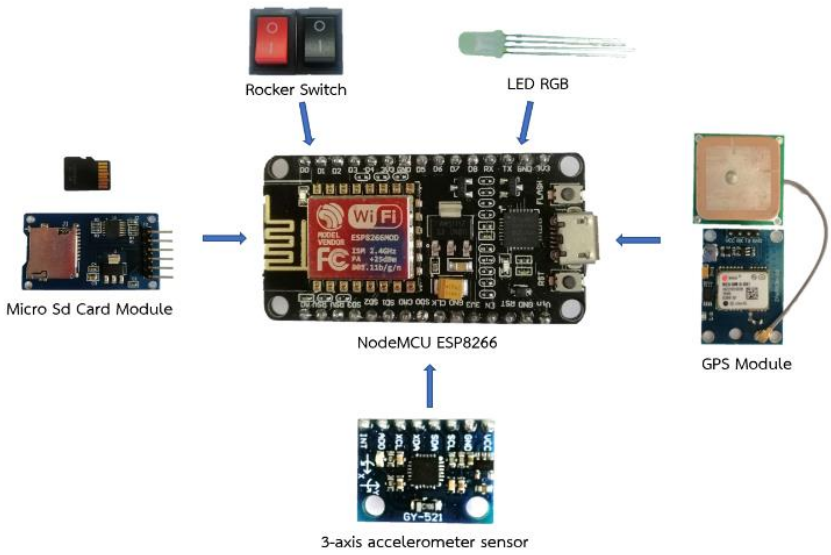


Figure 1 NodeMCU and sensors used for device development.

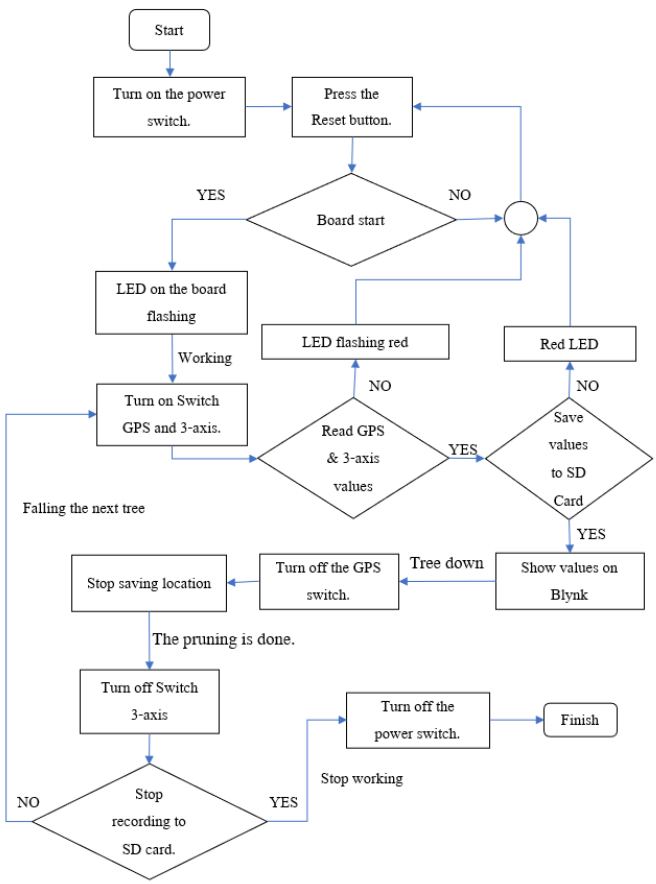


Figure 2 The work flow diagram showing the functionality of the device.

การเก็บข้อมูล

1. การทดสอบภาพรวมของระบบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตรงตามแบบที่ออกแบบไว้ ทั้งการสั่นสะเทือน ความเอียง และ พิกัด อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อรายงานข้อมูลแบบเวลาจริง และบันทึกข้อมูลลงใน Micro SD Card การทดสอบภาพรวมนี้ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2. การทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งด้วย GPS ของอุปกรณ์ต้นแบบ ทำการเปรียบเทียบระยะความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งใช้หมุดหลักฐานแผนที่ของกรมชลประทานเป็นหมุดอ้างอิง จำนวน 4 หมุด ได้แก่ หมุด สรธ.GPS.571083 สรธ.GPS.571084 สรธ.GPS.571085 และ สรธ.GPS.571086 ทำการเก็บข้อมูล 3 ช่วงเวลา คือ เช้า กลางวัน และ เย็น บันทึกค่าตำแหน่งหมุดละ 10 นาที การศึกษานี้ได้พัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมา 2 เครื่อง กำหนดให้เป็น T1 และ T2 ซึ่งประกอบขึ้นจากวัสดุที่เหมือนกันทุกประการ เพื่อศึกษาว่าอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นแต่ละเครื่องนั้นมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมากน้อยเพียงใด ใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งระหว่างหมุดหลักฐานอ้างอิงกับอุปกรณ์ต้นแบบ

3. ทดสอบการบันทึกค่าแรงสั่นสะเทือนและค่าความเอียงในการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ แบ่งเป็น 4 รูปแบบการทำงาน คือ การวางเลื่อยโซ่ยนต์อยู่กับที่ การเคลื่อนย้ายเลื่อยโซ่ยนต์ การติดเครื่องเลื่อยโซ่ยนต์ และ การใช้งานขณะตัดไม้ขนาด DBH ประมาณ 16 เซนติเมตร ทำการเปรียบเทียบไม้ 2 ชนิด ได้แก่ ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) ตัวแทนของไม้เนื้อแข็ง และ หมีเหม็น (*Litsea glutinosa* (Lour.) C.B. Rob.) ตัวแทนของไม้เนื้ออ่อน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ และคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุปกรณ์ด้วยค่า Independent – Samples t-test และเปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงเวลาด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – Way ANOVA)

2. การวิเคราะห์ค่าความเอียงโดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างท่าทางการทำงานกับลักษณะการขึ้นลงของเส้นกราฟความเอียง 3 แกน

3. การวิเคราะห์ค่าแรงสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่ง การศึกษาในครั้งนี้จะใช้แรงสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่ง 3 แกน คือ แกน x แกน y แกน z การหาขนาดแรงสั่นสะเทือน 3 แกนสามารถคำนวณได้ดังสมการ [1] (Nitami *et al.*, 2019) แล้วนำข้อมูลไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าสูงสุดต่ำสุดความถี่ของเส้นกราฟ

$$AC3 = \sqrt{acx^2 + acy^2 + acz^2} \qquad [1]$$

เมื่อ AC3 คือ ขนาดของแรงสั่นสะเทือน 3 แกน
acx คือ ความเร่งในแกน x
acy คือ ความเร่งในแกน y
acz คือ ความเร่งในแกน z

ผลและวิจารณ์

ผลการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์

การออกแบบอุปกรณ์ จากการศึกษาการทำงานของบอร์ดและเซนเซอร์ทำให้ทราบถึงความต้องการเฉพาะของเซนเซอร์บางประเภทที่มีข้อจำกัดเชื่อมต่อกับบอร์ดได้เพียงขาเดียวเท่านั้น เค้าโครงการ

ต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ดเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ดังแสดงใน Figure 3 หลังจากนั้นขึ้นรูปอุปกรณ์โดยเชื่อมต่อลงแผ่น PCB สำหรับเป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการทดสอบการทำงานติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับเลื่อยโซ่ยนต์ไว้บริเวณด้ามจับด้านขวาของเลื่อยโซ่ยนต์ (Figure 4) เนื่องเป็นตำแหน่งที่คนงานได้รับแรงสั่นสะเทือนจากการทำงานโดยตรง การติดตั้งอุปกรณ์ในบริเวณดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อระบบความปลอดภัยของเลื่อยโซ่ยนต์และการทำงานของคนงานล้มไม้ การศึกษาของ Gallo *et al.* (2017) ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ลักษณะคล้ายกันบริเวณเหนือฝาครอบกรองอากาศของเลื่อยโซ่ยนต์ ซึ่งเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกัน การติดตั้งอุปกรณ์มีการใช้เหล็กเสริมเพื่อความแข็งแรงและสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ นอกจากนี้อุปกรณ์ต้นแบบใช้แหล่งพลังงานจาก Power Blank เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถใช้ได้ยาวนานซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Prasetyo *et al.* (2018)

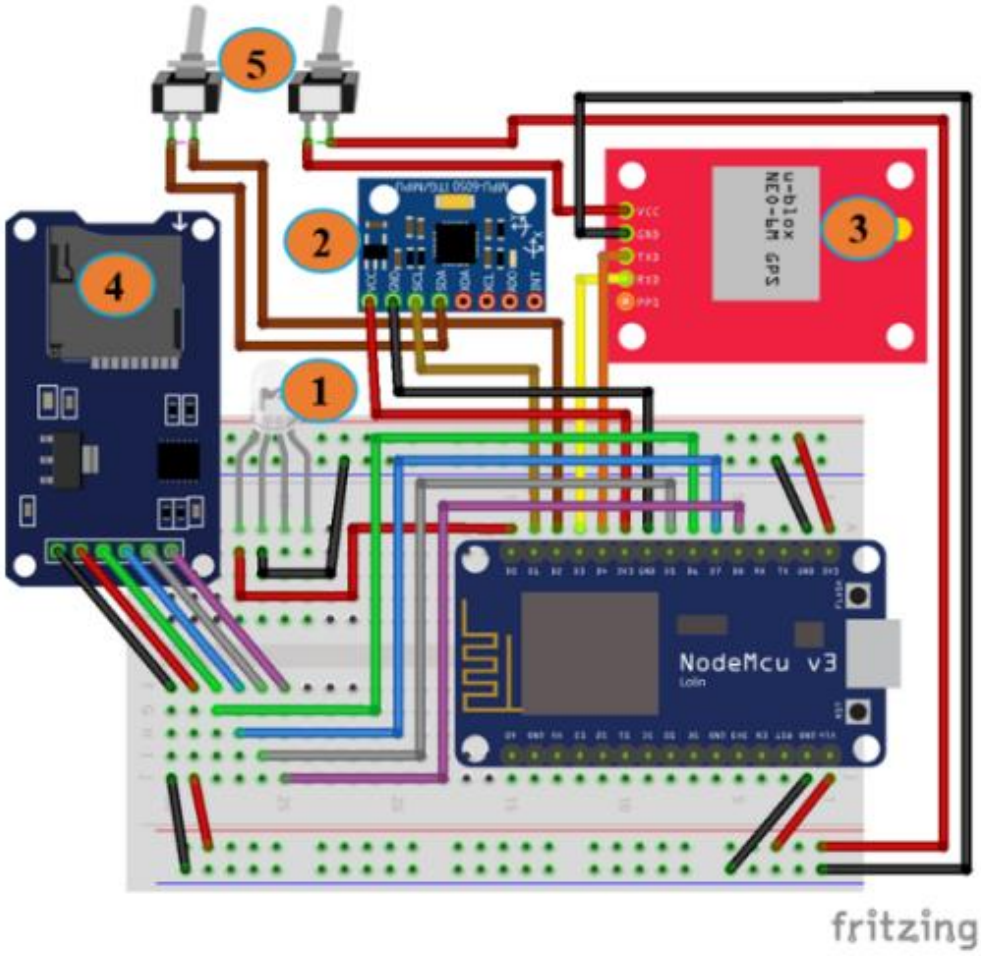


Figure 3 Connection of various sensors to the pins on the board (Remark 1:LED RGB, 2:3-axis accelerometer sensor, 3:GPS Module, 4:Micro Sd Card Module, 5:Rocker switch).

Figure 4 Installation and testing of the sensor.

ผลการทดสอบการทำงานภาพรวมของอุปกรณ์

ค่าที่อุปกรณ์สามารถบันทึกได้ประกอบด้วย ค่าพิกัด Latitude Longitude วัน/เดือน/ปี เวลา ความเร็ว (km/h) แรงสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่งแกน X Y Z ความเอียงแกน X Z Y ตามลำดับ (Figure 5A) หากกรณีที่ GPS ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ แต่ยังสามารถบันทึกค่าลง SD Card ได้ ค่าที่ได้จาก SD Card ประกอบด้วย Latitude Longitude วัน/เดือน/ปี เวลา ความเร็ว (km/h) จะแสดงเป็น No GPS (Figure 5B) และจะมีไฟ LED สีแดงกระพริบเตือนผู้ใช้งาน กรณีปิดเซนเซอร์ทั้งสองค่า GPS จะแสดงเป็น No GPS ส่วนค่าแรงสั่นสะเทือนจะแสดงค่าเป็น -1 ทุกค่า (Figure 5C) และในกรณีที่ไม่สามารถบันทึกค่าลง SD Card ได้ จะมีไฟ LED สีแดงติดค้างเพื่อแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้งานได้ทราบว่า SD Card มีปัญหาหรือไม่สามารถบันทึกค่าลงได้

การเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตไร้สาย (WiFi) เพื่อส่งข้อมูลไปแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เช่น ตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์ ค่าแรงสั่นสะเทือนและค่าความเอียงจากการใช้งานในรูปของกราฟ ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งแบบ Live 15 นาที 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 1 วัน 1 สัปดาห์ และ 3 เดือน Figure 6 แสดงให้เห็นหน้าจอรายงานผลของอุปกรณ์บนสมาร์ทโฟน

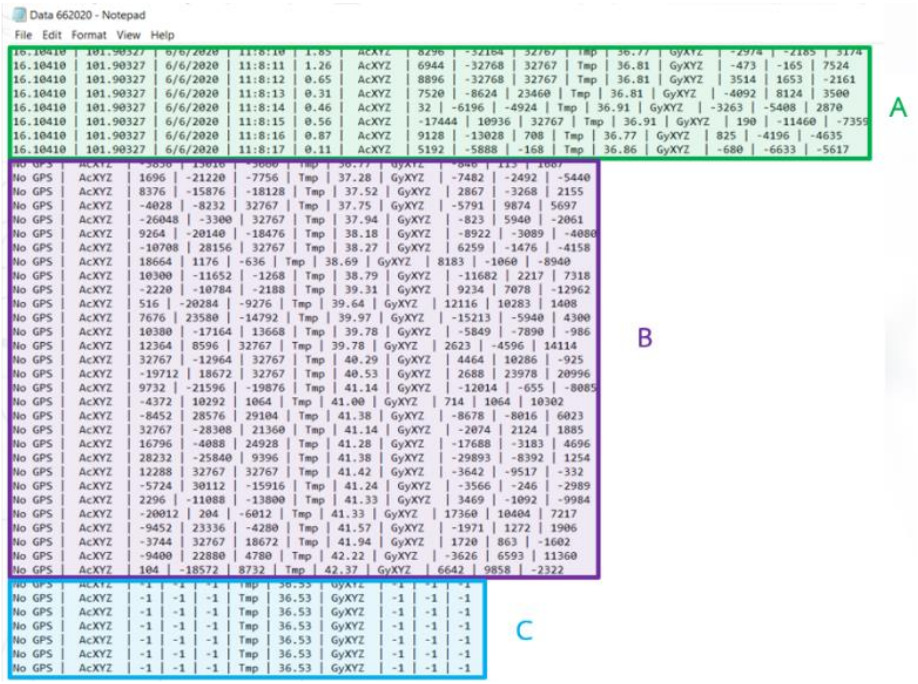


Figure 5 Values obtained from the device's SD card (A) if the device was working normally (B) if GPS was off or no signal (C) if GPS was off or no signal and the vibration sensor was turned off

Figure 6 Displaying the values on the Blynk application installed on a smartphone.

ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วย GPS ของอุปกรณ์

การทดสอบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง อุปกรณ์ต้นแบบทั้ง 2 เครื่อง มีค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งอยู่ระหว่าง 0.2 – 3.6 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.46 เมตร S.D. เท่ากับ 0.84 ซึ่งความคลาดเคลื่อนมีความใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันในระดับ ±10 เซนติเมตร ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Gallo *et al.* (2017) ที่ได้ศึกษาความแตกต่างในการระบุตำแหน่งของ GPS Module พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.7 เมตร ค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์พัฒนาขึ้นถือว่าอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ระบุตำแหน่งการล้มไม้ได้ เนื่องจากสวนป่าเศรษฐกิจ เช่น ไม้สัก นิยมใช้ระยะปลูก 3 x 3 เมตร หรือ 4 x 4 เมตร (Phusudsawaeng, 2010) ทิศทางความคลาดเคลื่อนพบว่าในการเก็บพิกัดเพียง 1 ค่า มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้ในทุกทิศทาง เนื่องจากการระบุตำแหน่งด้วย GPS ในแต่ละครั้งนั้นย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ เช่น กรณีดาวเทียมที่โคจรในอวกาศนั้นมีแรงต่าง ๆ มากระทำตลอดเวลาจึงทำให้ตำแหน่งที่คำนวณเกิดความคลาดเคลื่อนได้ (GISTDA, 2009) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – Way ANOVA) ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% เปรียบเทียบช่วงเวลาการเก็บข้อมูลในช่วง เช้า กลางวัน และเย็น ผลการทดสอบพบว่า ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความเอียงกับลักษณะการใช้เลื่อยโซ่ยนต์

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าความเอียงกับลักษณะการใช้เลื่อยโซ่ยนต์ สามารถแยกลักษณะการทำงานของเลื่อยโซ่ยนต์ ในกรณีที่ไม่มีการใช้งาน เลื่อยโซ่ยนต์ถูกวางไว้ในลักษณะ 0 องศา (Figure 7A) กรณีการล้มไม้มักมีการเอียงเลื่อยโซ่ยนต์ไปทางขวา ในการบากหน้าเพื่อกำหนดทิศทางการล้มไม้ ซึ่งจะต้องเอียงเลื่อยโซ่ยนต์ 45 องศา (Figure 7B) และ 90 องศา (Figure 7C) การลัดหลังเพื่อตัดให้ไม้ล้ม ต้องเอียงเลื่อยโซ่ยนต์ 90 องศา ในทิศทางตรงข้ามกับการบากหน้า จากนั้นลิดกิ่งตัดทอนโดยใช้ใบเลื่อยทอนขึ้นหรือลง 45 องศา (Figure 7D and 7E)

เมื่อได้ลักษณะการทำงานที่สัมพันธ์กับการเอียงของของเลื่อยโซ่ยนต์แล้ว ได้ทำการทดสอบบันทึกค่าความเอียง 3 แกน (AcX , AcY , AcZ) ทั้งแบบไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ และ แบบสตาร์ทเครื่องยนต์ (Figure 8) จะเห็นว่าเส้นกราฟแบบไม่สตาร์ทเลื่อยโซ่ยนต์และแบบสตาร์ทเลื่อยโซ่ยนต์มีลักษณะค่าการเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ที่คล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันที่ค่าแรงสั่นสะเทือน ค่าความเอียงจาก Figure 8 พบว่าก่อนสตาร์เลื่อยโซ่ยนต์เส้นกราฟทั้ง 3 แกนอยู่ในลักษณะเส้นตรง และเปลี่ยนค่าไปตามลักษณะการเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ แต่เมื่อสตาร์ทเลื่อยโซ่ยนต์จากกราฟเส้นตรงจะมีรอยหยักเพิ่มขึ้นเป็นเส้นสูงสุดต่ำสุด สามารถสรุปลักษณะการเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ทั้ง 3 แกนได้ดัง Table 1 จากข้อมูลข้างต้นเป็นข้อมูลที่แสดงให้เห็นทิศทางการเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ แกน x แสดงให้เห็นลักษณะของการทอนไม้ซึ่งค่าเปลี่ยนอย่างเห็นได้ชัดขณะทอนขึ้น (D45^{o}) ค่าเป็นบวก และทอนลง (U45^{o}) ค่าเป็นลบ ส่วนลักษณะการเอียงแบบอื่นแกน X จะมีค่าใกล้เคียง 0 ส่วนแกน Y และแกน Z แสดงให้เห็นลักษณะของการล้มไม้ เส้นแกนทั้ง 2 จะขนานกัน ยิ่งเอียงเลื่อยโซ่ยนต์มากเท่าไหร่ ค่าของแกนจะยิ่งน้อยลง สังเกตได้จากการเอียงเลื่อยโซ่ยนต์ 90 องศา Y และแกน Z มีค่าต่ำที่สุดของเส้นแกน

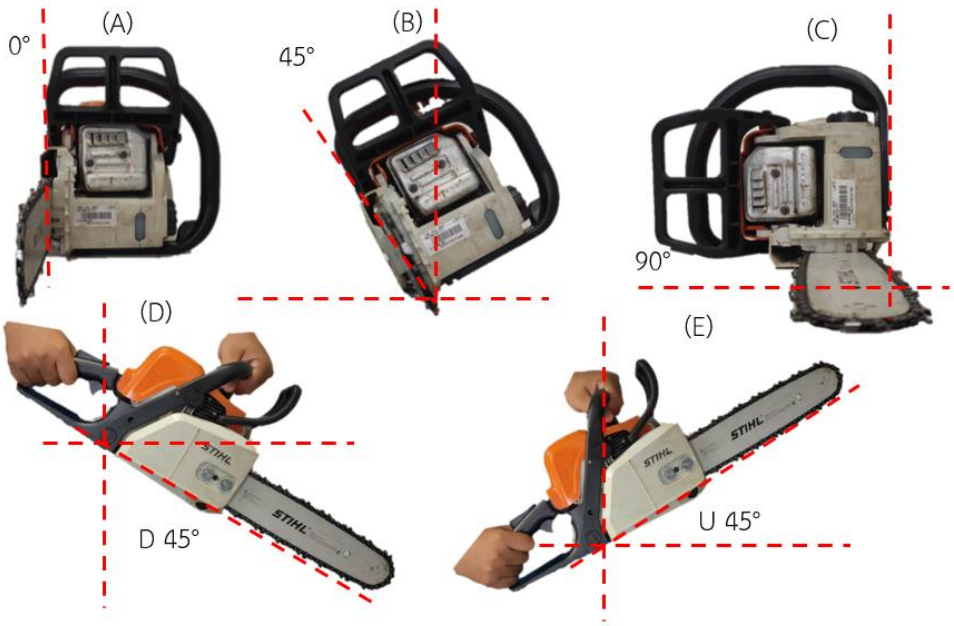


Figure 7 The tilt of the chainsaw (A) chainsaw at 0 degrees (B) the tilt of the chainsaw at 45 degrees (C) the tilt of the chainsaw at 90 degrees (D) chainsaw blade at 45 degrees (E) chainsaw blade at 45 degrees

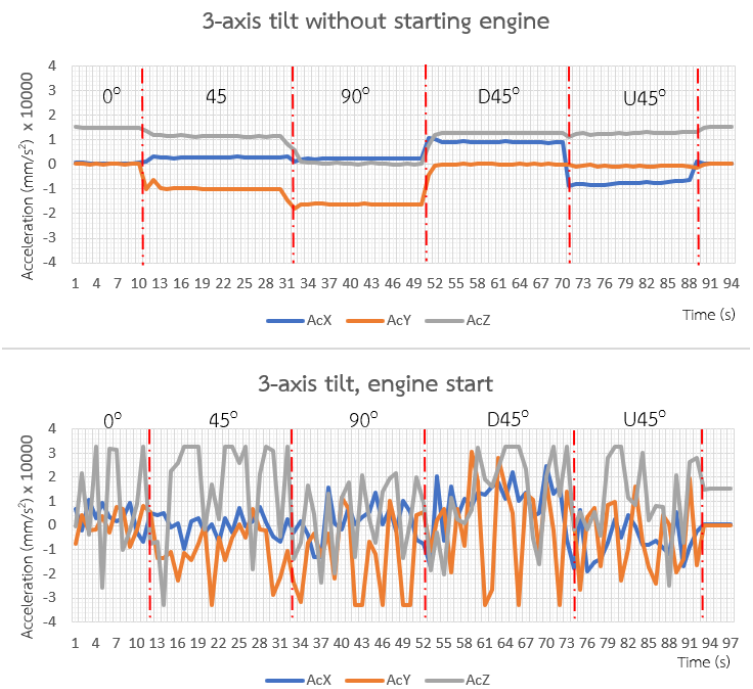


Figure 8 The relationship of the inclination angle with the work involving a turned off chainsaw and turned on chainsaw.

Table 1 Summary of the 3-axis tilt characteristics of the chainsaw.

3-axis inclination value	0°	45°	90°	D45°	U45°
maximum	Z	Z	X	Z	Z
minimal	-	Y	Y	Y	X

ผลการทดสอบการวัดแรงสั่นสะเทือนขณะใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์

หลังจากใช้อุปกรณ์วัดค่าแรงสั่นสะเทือนในรูปแบบของความเร่งจากการใช้งานของเลื่อยโซ่ยนต์ สามารถแบ่งรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 4 รูปแบบ คือ การวางเลื่อยโซ่ยนต์อยู่กับที่ (M_1) การเคลื่อนย้ายเลื่อยโซ่ยนต์ (M_2) การติดเครื่องเลื่อยโซ่ยนต์ (M_3) และ การใช้งานล้มไม้ (M_4) (Figure 9)จาก Figure 9 แสดงให้เห็นลักษณะของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงานล้มไม้ โดย GyX คือ ค่าความเร่งในแกน X GyY คือ ค่าความเร่งในแกน Y และ GyZ คือ ค่าความเร่งในแกน Z กราฟแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทั้งหมดเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของอุปกรณ์ในการติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ เริ่มตั้งแต่การที่วางเลื่อยโซ่ยนต์ไว้กับที่ แสดงให้เห็นค่าแรงสั่นสะเทือนขณะไม่มีการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ (M_1) ปกติแล้วจะไม่มีค่าแรงสั่นสะเทือน จากนั้นเป็นการเคลื่อนย้ายเลื่อยโซ่ยนต์ (M_2) ค่าแรงสั่นสะเทือนขณะเคลื่อนย้ายมีเส้นกราฟที่แตกต่างกับขณะใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ตัดไม้ ขั้นตอนการเตรียมสตาร์ท (M_3) กราฟมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย ส่วนการใช้งานล้มไม้ (M_4) สังเกตเห็นเส้นกราฟแรงสั่นสะเทือนได้อย่างชัดเจน จากการทดสอบล้มไม้ 2 ชนิด คือ ประดู่ป่า และ หมีเหม็น ที่มีขนาด DBH 16 เซนติเมตร จำนวนชนิดละ 2 ต้น พบว่ามีความแตกต่างของค่าแรงสั่นสะเทือนระหว่างการล้มไม้ประดู่ป่าและไม้หมีเหม็น (Figure 10) สิ่งที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คือ ระยะเวลาในการล้มไม้ การล้มไม้ประดู่ป่าซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งนั้นใช้ระยะเวลาในการล้มไม้มากกว่าไม้หมีเหม็น และแรงสั่นสะเทือนจากการล้มไม้ประดู่ป่ามีมากกว่าการล้มไม้หมีเหม็น จากการศึกษาของ Nitami *et al.* (2019) พบว่าความเร่งของเลื่อยโซ่ยนต์อยู่ในช่วง 4 ถึง 5 m/s^2 จากกราฟเห็นได้ว่า ค่าแรงสั่นสะเทือนของต้นประดู่ป่าที่ต่ำกว่า 5 m/s^2 มีทั้งหมด 1 ค่า จากจำนวน 39 ค่า คิดเป็นร้อยละ 2.5 ส่วนค่าแรงสั่นสะเทือนของต้นหมีเหม็นที่มีค่าต่ำกว่า 5 m/s^2 จำนวน 6 ค่า จากทั้งหมด 23 ค่า คิดเป็นร้อยละ 26 สังเกตได้ว่าค่าแรงสั่นสะเทือนในการล้มไม้ของต้นประดู่ป่า มีค่ามากกว่าการล้มไม้หมีเหม็นประมาณ 10 เท่า ภายใต้ข้อจำกัดการล้มไม้ด้วยเลื่อยโซ่ยนต์ยี่ห้อ Stihl รุ่น MS 180

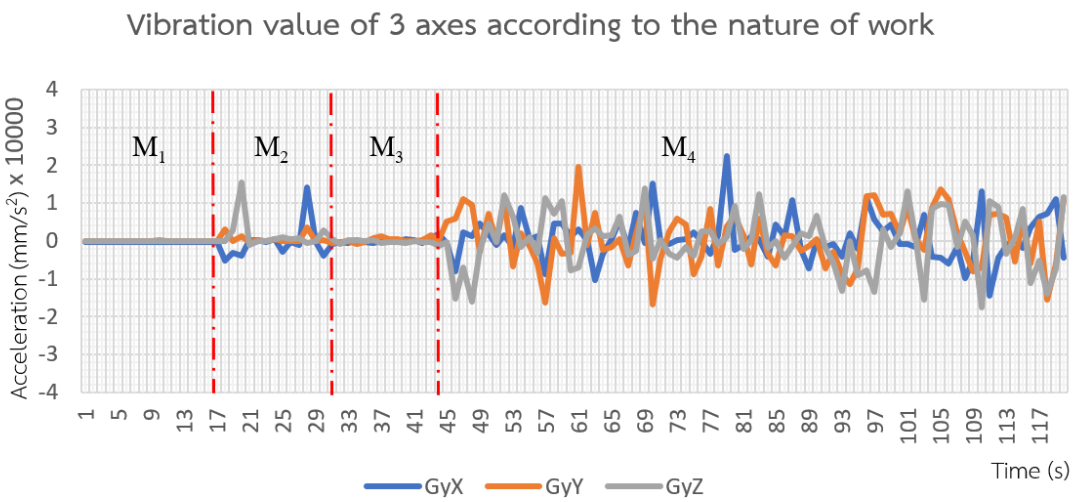


Figure 9 Characteristics of the vibrations arising from the use of chainsaws.

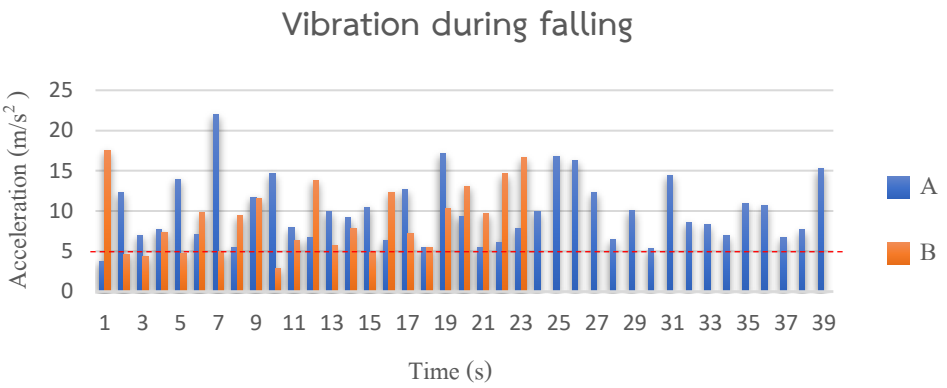


Figure 10 Comparison of the vibrations of a chainsaw during a felling of A) *Pterocarpus macrocarpus* and B) *Litsea glutinosa.*

สรุป

จากผลการศึกษา ทำให้ได้อุปกรณ์ที่สามารถติดตามการใช้งานเลื่อยโซ่ยนต์ได้ สามารถระบุตำแหน่งการใช้งาน การตรวจวัดค่าแรงสั่นสะเทือนและความเอียง และการรายงานผลแบบเวลาจริงไปยังแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ทโฟนได้สำเร็จ ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง พบว่าทั้งช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล และอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นทั้ง 2 เครื่อง มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดของเซนเซอร์และลักษณะงานทำไม้ในสวนป่า

ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเอียงและค่าแรงสั่นสะเทือนพบว่า เซนเซอร์สามารถจำแนกลักษณะการทำงานได้จากกราฟความเอียง ทั้งก่อนสตาร์ทเลื่อยโซ่ยนต์และระหว่างสตาร์ทเลื่อยโซ่ยนต์ การทดสอบวัดค่าแรงสั่นสะเทือนขณะใช้งานล้มไม้ทั้ง 2 ชนิด พบว่า การล้มไม้ประดู่ป่ามีค่า

แรงสั่นสะเทือนมากกว่าไม้หมีเหม็น ทั้งนี้ค่าแรงสั่นสะเทือนอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความคมของเลื่อยโซ่ยนต์ ชนิดของเลื่อยโซ่ยนต์ และชนิดของไม้ที่ทำการล้ม เป็นต้น ค่าแรงสั่นสะเทือนจากการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน ดังนั้นค่าแรงสั่นสะเทือนที่ได้จากอุปกรณ์ถูกนำมาใช้เพื่อแยกลักษณะการทำงานและท่าทางการทำงานเลื่อยโซ่ยนต์เท่านั้น ไม่สามารถนำค่าไปคำนวณหรือวิเคราะห์ร่วมกับค่าที่ได้จากเครื่องมาตรฐานอื่นได้

ในภาพรวมสามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำอุปกรณ์ไปใช้บันทึกข้อมูลตำแหน่งการล้มไม้ แรงสั่นสะเทือน และการเอียงของเลื่อยโซ่ยนต์ก่อนใช้งานหรือขณะใช้งานได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้ในการระบุแหล่งที่มาของไม้ ช่วยในเรื่องการศึกษาเวลาการทำงาน (time study) และผลิตภาพการทำงาน (productivity) การวิเคราะห์ข้อมูลทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และใช้ในการวางแผนการจัดการสวนป่า เป็นต้น

REFERENCES

Gallo, R., F. Nallia, L. Corteseb, D. Knollseisenc, W. Nogglerc and F. Mazzettoa. 2017. Chainsaw vibrations, a useful parameter for the automatic tree volume estimations and production assessment of felling operations. **Chem. Eng. Trans.** 58: 2283-9216.

GISTDA. 2009. **Space Technology and Geo-Informatics.** First Edition Amarin Printing and Publishing Public Company Limited, Bangkok. (in Thai)

Kowanich, A. 1983. **Rural Forestry Tools.** Third Edition, The Forestry Association of Thailand, Bangkok. (in Thai)

Nitami, T., S. Suk, Y. Maruyama and T. Matsumura. 2019. **Acquire and Management of Chainsaw Tree Felling and Bucking Work by ICT.** The University of Tokyo.

Phacharoen, P. 2019. **Develop IoT on Arduino Platform with NodeMCU.** Provision Company Limited, Bangkok. (in Thai)

Phusudsawaeng, A. 2010. **Economic Teak Planting and Management for Armers and the Private Sector.** Forest Economics Group Office of Forest Research and Development Royal Forest Department, Bangkok. (in Thai)

Prasetyo, D. C., G. A. Mutiara and R. Handayani. 2018. **Chainsaw Sound and Vibration Detector System for Illegal Logging.** Telkom University.

RG. 2002. **Chainsaw Act.** Volume 119, chapter 95 A, pages 4-10. (in Thai)

Warin, J. 2019. **Arduino Uno Fundamentals for IOT.** 2nd printing. Pro Design Co., Ltd., Bangkok. (in Thai)

นิพนธ์ต้นฉบับ

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อความเหมาะสมของการกระจายต้นเสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi* Powell) ในประเทศไทย

Environmental Factors Affecting the Distribution Suitability of Cajuput Tree (*Melaleuca cajuputi* Powell) in Thailand

จันทิมา อยู่ถาวร[1] **Janthima Yoothaworn**[1]

ยงยุทธ ไตรสุรัตน์[1*] **Yongyut Trisurat**[1*]

วัฒนชัย ตาเสน[1] **Wattanachai Tasen**[1]

อัชฎา ชิตโชติ[2] **Auschada Chitechote**[2]

[1] คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

2 สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Protected Area Rehabilitation and Development Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chatuchak, Bankok 10900, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: fforyyt@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 5 สิงหาคม 2564 **รับแก้ไข** 4 ตุลาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 10 ตุลาคม 2564

ABSTRACT

We aimed to study the environmental factors affecting the suitability distribution of Cajuput tree (*Melaleuca cajuputi* Powell) in Thailand and to determine the relationship between ecological factors and or occurrence of Cajuput tree. Suitable areas for its distribution across Thailand were assessed using plant specimens at the Forest Herbarium-BKF, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation and the Botanical Garden Organization. These included the occurrence data from BIEN (Botanical Information and Ecology Network). A predicted distribution map was constructed using the Maximum Entropy (MaxEnt) method.

The research indicated that 5 related ecological factors were important to determine the occurrence of Cajuput tree. These included the mean sea level (41.5%), the distance from the sea (15.8%), relative humidity (15.1%), soil group (5%), and the rainfall (4.8%). The areas suitable for the distribution of Cajuput tree were determined based on an AUC value of 0.98 indicating high reliability, while the accuracy of prediction was 84%.

The distribution of total suitability area of the tree was 13,451 square kilometers, located in 24 provinces (2.64% of the country area). The area on the South Eastern coast covered 9,012 square kilometers (67% of the suitable distribution area), followed by the Eastern region (2,360 square kilometers or 17.55%), Southern Western coast (1,984 square kilometers or 14.75%), and other areas estimated at around 95 square kilometers. The most suitable area for the distribution of Cajuput tree is located in Nakhon Si Thammarat province, with a total area of 2,206 square kilometers, with the conservation status of the Cajuput tree as a vulnerable species as determined by the extent of occurrence (EOO) of less than 20,000 square kilometers.

Keywords: Environmental factors, *Melaleuca cajuputi* Powell, Species distribution modelling, MaxEnt

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อความเหมาะสมของการกระจายต้นเสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi* Powell) ในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านนิเวศกับการปรากฏของต้นเสม็ดขาว และประเมินพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวทั้งประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจุดปรากฏของพรรณไม้แห้งจาก สำนักหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ฐานข้อมูลพรรณไม้องค์การสวนพฤกษศาสตร์ BIEN (botanical information and ecology network) และจุดปรากฏจากการสำรวจ วิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยด้านนิเวศ ด้วยแบบจำลอง Maximum Entropy (MaxEnt) ในการสร้างแผนที่การกระจาย

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญ 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (41.5%) 2) ระยะห่างจากทะเล (15.8%) 3) ความชื้นสัมพัทธ์ (15.1%) 4) กลุ่มชุดดิน (5%) 5) ปริมาณน้ำฝนรายปี (4.8%) โดยแบบจำลอง MaxEnt มีค่า AUC เท่ากับ 0.98 หมายถึง แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสูง และให้ค่าความถูกต้องแผนที่ เท่ากับ ร้อยละ 84

พื้นที่ที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวในประเทศไทย มีขอบเขตการกระจาย 13,451 ตารางกิโลเมตร ใน 24 จังหวัด (ร้อยละ 2.64 ของพื้นที่ประเทศ) ปรากฏทางภาคใต้ฝั่งตะวันออก 9,012 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 67 ของพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจาย) ภาคตะวันออก 2,360 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 17.55) ภาคใต้ฝั่งตะวันตก 1,984 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 14.75) และพื้นที่อื่น ๆ 95 ตารางกิโลเมตร จังหวัดที่พบพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวมากที่สุด คือ จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 2,206 ตารางกิโลเมตร และสถานภาพการอนุรักษ์เสม็ดขาวอยู่ในเกณฑ์ มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์เนื่องจากมีขอบเขตการกระจายน้อยกว่า 20,000 ตารางกิโลเมตร

คำสำคัญ: ปัจจัยแวดล้อม เสม็ดขาว แบบจำลองการกระจาย โปรแกรม MaxEnt

คำนำ

ยุทธศาสตร์และแผนการส่งเสริมไม้เศรษฐกิจแบบครบวงจร มีวิสัยทัศน์ว่า “ไม้เศรษฐกิจนำประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน บนฐานการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม” เป็นความต่อเนื่องจากยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านการสร้างความเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กำหนดเป้าหมายการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ได้ร้อยละ 55 ของพื้นที่ประเทศ ภายใน 20 ปี ทั้งนี้ต้องเพิ่มพื้นที่ป่าเศรษฐกิจอีกประมาณ 26 ล้านไร่ (Royal Forest Department, 2017) รวมทั้งความต้องการใช้ไม้ภายในประเทศที่เพิ่มสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดย ปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณการใช้ไม้ 58 ล้านตัน และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 156 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2579 อีกทั้งในตลาดไม้เศรษฐกิจไทยมีมูลค่าการนำเข้าไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ประมาณ 44,000 ล้านบาท จึงเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะขาดแคลนวัตถุดิบไม้มากยิ่งขึ้นในอนาคต (Royal Forest Department, 2017)

การทำสวนป่าเศรษฐกิจเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีแนวทางปลูกสวนป่าสามารถตัดไปใช้ประโยชน์ได้ภายใน 3 -5 ปี โดยไม่ต้องมีการขออนุญาตตัดด้วยการปลูกไม้โตเร็ว 5 ชนิด ประกอบด้วย กระถินเทพา กระถินยักษ์ สนประดิพัทธ์ ยูคาลิปตัส และเสม็ดขาว (Haruthaithanasan *et al*., 2016)

เสม็ดขาว มีชื่อพฤษศาสตร์ว่า *Melaleuca cajuputi* Powell เป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ สูงประมาณ 5-25 เมตร เป็นชนิดไม้โตเร็วที่มีค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของสกุล Melaleuca เติบโตได้และทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น พื้นที่ดินกรด ดินเค็ม พื้นที่น้ำท่วมขัง และเติบโตได้ดีในพื้นที่พรุ (Bunyavejchevin and Buasalee, 2011) ซึ่งพื้นที่เหล่านี้การปลูกพืชเกษตรจะให้ผลผลิตที่ไม่คุ้มค่า และหากใช้ประโยชน์พื้นที่ไม่ถูกต้องจะเกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศ ดังนั้นจึงควรปล่อยให้เป็นป่าธรรมชาติหรือปลูกพรรณไม้ที่ขึ้นได้ (Land Development Department, 2020A) ซึ่งต้นเสม็ดขาวสามารถเติบโตได้ในพื้นที่ดังกล่าว จึงนับว่าเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงเหมาะสำหรับการที่จะส่งเสริมให้ปลูกไม้เสม็ดขาวในพื้นที่เหล่านี้ เพื่อเปลี่ยนพื้นที่รกร้างให้เกิดประโยชน์ด้วยการพัฒนาเป็นสวนป่าเศรษฐกิจหรือป่าเพื่อการอนุรักษ์ เพราะเกือบจะทุกส่วนของเสม็ดขาวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ เนื้อไม้ ประชาชนในท้องถิ่นนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน งานก่อสร้าง งานประดิษฐกรรมไม้ (Sonthivanit and Benjachaya, 1999) เปลือกลำต้นใช้ทำขี้ไต้ให้แสงสว่าง ใช้มุงหลังคา ใบใช้ชงดื่มแทนน้ำชา

ในธรรมชาติต้นเสม็ดขาวขึ้นกระจายบริเวณพื้นที่ต่ำ ปลูกได้ในพื้นที่พรุเสื่อมโทรม พื้นที่ลุ่มน้ำขังได้โดยไม่จำเป็นต้องทำโคก ซึ่งมีผู้ปลูกเสม็ดขาวเป็นสวนป่าเศรษฐกิจแล้วในจังหวัดนครศรีธรรมราช ปัจจุบันจังหวัดนครศรีธรรมราชมีผู้ปลูกไม้เสม็ดขาวเป็นสวนป่าเศรษฐกิจแล้ว (Nuyim, 2001) และยังมีจังหวัดอื่นที่มีศักยภาพเช่นเดียวกันนี้ แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับต้นเสม็ดขาวในภาพรวมของทั้งประเทศ เพื่อเป็นการส่งเสริมการปลูกต้นเสม็ดขาว จึงดำเนินการศึกษา ดังนั้นการประยุกต์ Species Distribution Modeling (SDM) ด้วยแบบจำลอง Maximum Entropy (MaxEnt) จะทำให้เห็นถึงภาพรวมของพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของเสม็ดขาวในประเทศไทยได้ด้วย ทั้งนี้สามารถจะเป็นนำไปใช้ในเรื่องของการส่งเสริมการปลูกป่าเศรษฐกิจ ป่าเพื่อการอนุรักษ์และการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติของต้นเสม็ดขาว รวมถึงเป็นข้อมูลเชิงวิชาการให้แก่เกษตรกร ประชาชนทั่วไป องค์กรหรือหน่วยงานที่สนใจได้

อุปกรณ์และวิธีการ

การรวบรวมข้อมูลการปรากฏและลักษณะทางนิเวศ

1. ข้อมูลการปรากฏ

จุดปรากฏต้นเสม็ดขาวจากตัวอย่างพรรณไม้แห้ง ของหอพรรณไม้ สำนักหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช รวมทั้งจากฐานข้อมูลพรรณไม้ องค์การสวนพฤกษศาสตร์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และจุดตัวอย่างการปรากฏของต้นเสม็ดขาวจาก BIEN : Botanical Information and Ecology Network (http://bien.nceas.ucsb.edu/bien/)

2. ลักษณะทางนิเวศ

ข้อมูลลักษณะทางนิเวศ วิเคราะห์จากลักษณะทางกายภาพของการปรากฏ และลักษณะสัณฐานต้นเสม็ดขาวของตัวอย่างพรรณไม้แห้ง จากการที่ผู้พบการปรากฏได้บันทึกข้อมูลไว้ รวมทั้งการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับต้นเสม็ดขาว

การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจ 1) ดำเนินการสำรวจในตำบลที่เคยพบการปรากฏของต้นเสม็ดขาว และตำบลใกล้เคียง 2) พื้นที่ตามลักษณะภูมิประเทศ ดำเนินการสำรวจในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศตรงตามลักษณะนิเวศ คือ พื้นที่ราบต่ำมีน้ำท่วมขัง พื้นที่ชั้นดินอินทรีย์หรือพีทขอบพรุ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ระหว่าง 0-14 เมตร ปริมาณน้ำฝน 1,000 ถึง มากกว่า 4,000 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ย 26–28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 60–96 โดยสำรวจตำบลที่ติดกับชายฝั่งทะเล (Sasaki *et al*., 1995; Nuyim and Boonchub, 1999; Forestry Research Center, 1999; Pholpoke, 2001; Santisuk and Larsen, 2002; Gradner *et al*., 2018) ต้นเสม็ดขาวสามารถเติบโตได้ในดินแทบทุกประเภท แต่พื้นที่เหล่านั้นต้องมีน้ำท่วมขัง ทั้งชั่วคราวหรือตลอดเวลา และมีการระบายน้ำเลว (Boland *et al*., 1997)

พื้นที่สำรวจทั้งสิ้น 21 จังหวัด 350 ตำบล ชายฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน การสำรวจจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1) 8 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด สมุทรปราการ สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม

ส่วนที่ 2) 7 จังหวัด ได้แก่ เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา

ส่วนที่ 3) 6 จังหวัด ได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล

โดยเมื่อพบต้นเสม็ดขาวจะทำการบันทึกตำแหน่งพิกัด สำรวจลักษณะสภาพแวดล้อม โดยทั่วพื้นที่บริเวณนั้น พร้อมถ่ายภาพและบันทึกข้อมูล

การจัดเตรียมข้อมูลปัจจัยด้านนิเวศ

การจัดเตรียมปัจจัยด้านนิเวศ ดำเนินการด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) จัดเตรียมข้อมูล (Table 1) ให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ขนาดรายละเอียดข้อมูล 1x1 กิโลเมตร จากนั้นบันทึกข้อมูลในรูปแบบของ ASCII (.asc) แล้วนำเข้าแบบจำลอง MaxEnt (maximum entropy) Version 3.4.0 จากนั้นนำผลที่ได้ กลับเข้าสู่ Arc GIS เพื่อวิเคราะห์ผล และนำเสนอในรูปแบบแผนที่

Table 1 Ecological factors used to assess the distribution of *Melaleuca cajuputi* Powell.

No	Ecological factors	Reference
Geographical factors		
1	Mean Sea Level[1]	NASA Alaska satellite facility (2020)
2	Slope[1]	NASA Alaska satellite facility (2020)
3	Distance from the sea	Land Development Department (2019B)
4	Coordinate Universal Transverse Mercator (X)	Land Development Department (2019A)
5	Soil Group	Land Development Department (2020C)
6	Soil texture	Land Development Department (2020B)
7	Soil drainage	Land Development Department (2020C)
8	Soil Reaction	Land Development Department (2020C)
9	Soil Depth	Land Development Department (2020C)
10	Nutrient (N)	Land Development Department (2020C)
11	Nutrient (P)	Land Development Department (2020C)
12	Nutrient (K)	Land Development Department (2020C)
Climate factors		
13	Average temperature	Meteorological Department of Thailand (2020B)
14	Annual fainfall	Meteorological Department of Thailand (2020A)
15	Relative humidity	Meteorological Department of Thailand (2020C)
Other factors		
16	Land Use	Land Development Department (2020B)
17	NDVI	USGS Earth explorer (2020)

[1] Estimated using the Digital Elevation Model.

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จุดพบการปรากฏ แบ่งข้อมูลจุดพบการปรากฏของต้นเสม็ดขาวเป็น 2 ชุด ด้วยวิธีการสุ่มเลือก (stratified random sampling) 1) ข้อมูลร้อยละ 80 สำหรับนำไปวิเคราะห์และสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจาย (training data) 2) ข้อมูลร้อยละ 20

สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ (testing data) จากนั้นนำเข้าจุดพบการปรากฏ ชุดที่ 1 และปัจจัยทางด้านนิเวศสู่แบบจำลอง MaxEnt (Phillips *et al*, 2006) เพื่อประมาณความน่าจะเป็นของแผนที่การกระจาย กำหนดการแสดงผลแบบ logistic ส่วนอื่น ๆ กำหนดตามค่าของแบบจำลอง และวิเคราะห์ข้อมูล จำนวน 5 ครั้ง (replication) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจำลองข้อมูล (Trisurat *et al*., 2014) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการปรากฏ (probability of presence) มีค่าระหว่าง 0-1 ค่าบทบาทของปัจจัยแวดล้อมต่อการกระจาย และค่าความน่าเชื่อถือแบบจำลอง area under curve (AUC) ของสมการถ้าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองจะมีความน่าเชื่อถือมาก (Philips and Dudik, 2008)

2. ความน่าจะเป็นการกระจายของต้นเสม็ดขาว ได้จากค่าจุดตัดของการวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ (logistic thresholds) ที่ได้จากแบบจำลอง MaxEnt ตามวิธีของ Liu *et al.* (2005) จำนวน 4 ค่า มาแบ่งชั้นการปรากฏและไม่ปรากฏ เพื่อสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจายของต้นเสม็ดขาว 1) Minimum Training Presence 2) 10 Percentile Training Presence 3) Equal Training Sensitivity and Specificity และ 4) Maximum Training Sensitivity Plus Specificity

3. การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้ข้อมูลจุดพบการปรากฏ ชุดที่ 2 ที่สุ่มเลือกไว้ร้อยละ 20 มาซ้อนทับกับแผนที่ความน่าจะเป็นขอบเขตการกระจาย ให้ผลออกมาในรูปแบบของสัดส่วนร้อยละ และเลือกแผนที่ที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดในการจัดทำแผนที่พื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวในประเทศไทย

ผลและวิจารณ์

จุดพบการปรากฏต้นเสม็ดขาว

จากการสำรวจต้นเสม็ดขาวในพื้นที่เป้าหมายทั้งสิ้น 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 พบการปรากฏของต้นเสม็ดขาว 41 จุด ในพื้นที่ 5 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด โดยลักษณะพื้นที่เป็นราบลุ่มแม่น้ำและที่ราบลอนลาดและพื้นที่ราบชายฝั่งทะเล

ส่วนที่ 2 พบการปรากฏของต้นเสม็ดขาว 184 จุด ในพื้นที่ 6 จังหวัด ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา และนราธิวาส โดยพื้นที่เป็นที่ราบชายฝั่งทะเลอ่าวไทยบริเวณชายฝั่งทะเลจากจังหวัดชุมพรเป็นที่ราบลงไปจนถึงจังหวัดนราธิวาส เนื่องจากชายฝั่งอ่าวไทยเป็นลักษณะของฝั่งทะเลแบบยกตัว บริเวณที่เคยเป็นทะเลตื้นริมฝั่งได้เปลี่ยนสภาพเป็นพื้นดินโดยการทับถมของโคลนตะกอนที่แม่น้ำและกระแสน้ำในทะเลพัดพามาจนเกิดเป็นที่ราบขึ้น อีกทั้งลักษณะของชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยมีแนวค่อนข้างเรียบตรง ที่มีบริเวณน้ำตื้นกว้างขวาง ชายหาดหลายแห่งเป็นหาดทราย เนื่องจากธรณีวิทยาเป็นหินทรายในหมู่หินโคราช และตั้งแต่บริเวณจังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไปจะเป็นหาดโคลน โดยมีป่าชายเลนปกคลุมตามบริเวณริมฝั่ง และพบหาดทรายที่สวยงามอีกบริเวณแหลมสมิหรา อำเภอเมืองจังหวัดสงขลา เนื่องจากมีหินแกรนิตอยู่ในบริเวณนั้น

ส่วนที่ 3 พบการปรากฏของต้นเสม็ดขาว 26 จุด ในพื้นที่ 4 จังหวัด ได้แก่ พังงา กระบี่ ตรัง และสตูล โดยเป็นพื้นที่ราบชายฝั่งทะเลอันดามันเป็นชายฝั่งทะเลแบบยุบตัว จึงมีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างจากฝั่งทะเลอ่าวไทยอย่างชัดเจน คือ บริเวณที่ราบชายฝั่งอันดามันมีลักษณะแคบ บางแห่งพบภูเขา

จรดชายฝั่ง ทำให้ตามแนวฝั่งทะเลมีหน้าผาชันและมีลักษณะเว้าแหว่งมาก มีอ่าวใหญ่น้อยและเกาะต่าง ๆ มากมาย นอกแนวฝั่งออกไปในทะเลพื้นทะเลลาดชันลึกลงอย่างรวดเร็วจึงไม่ค่อยมีบริเวณน้ำตื้นกว้างขวาง เช่นฝั่งทะเลอ่าวไทย นอกจากนี้จะเห็นได้จากการพบปากแม่น้ำที่มีความกว้างมากกว่าปกติ (ชะวากทะเล) จนมีลักษณะคล้ายอ่าวมากกว่าปากแม่น้ำและจะพบลำน้ำเป็นแม่น้ำสายสั้น ๆ จากการยุบตัวของชายฝั่งทำให้พื้นแผ่นดินหลายบริเวณถูกน้ำทะเลไหลท่วมกลายเป็นพื้นน้ำที่มีน้ำตื้น เช่น อ่าวพังงา และจะมีส่วนยอดของภูเขาหินปูนโผล่พ้นน้ำขึ้นมา กลายเป็นเกาะขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก

รวมตำแหน่งพบปรากฏของต้นเสม็ดขาว 251 จุด โดยพบการปรากฏของเสม็ดขาวมากที่สุดในส่วนการสำรวจที่ 2 ประกอบไปด้วย 7 จังหวัด บริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก (Table 2)

Table 2 Point presence of *Melaleuca cajuputi* Powell.

Survey	Point presence		Total
	Training data	Testing data	
Part 1	33	8	41
Part 2	147	37	184
Part 3	21	5	26

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านนิเวศและการกระจายของต้นเสม็ดขาว

เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละความสำคัญ (percent contribution) ของปัจจัยด้านนิเวศที่มีความสัมพันธ์ต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวโดยมีอิทธิพลที่แตกต่างกัน และสามารถจัดลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลมาก 5 ลำดับแรก ได้แก่ 1) ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ร้อยละความสำคัญ 41.70 2) ระยะห่างจากทะเล ร้อยละความสำคัญ 15.8 รองมาคือ 3) ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละความสำคัญ 15.1 4) กลุ่มดิน ร้อยละความสำคัญ 5 และ 5) ปัจจัยปริมาณน้ำฝน ร้อยละความสำคัญ 4.8 ตามลำดับ

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลปานกลาง ได้แก่ ลักษณะเนื้อดินและปัจจัยที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (x:ละติจูด) ร้อยละความสำคัญ 3.2 ปฏิกิริยาของดิน (pH) ร้อยละความสำคัญ 2.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ร้อยละความสำคัญ 2.5 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี ร้อยละความสำคัญ 1.3 และความลึกของดิน ร้อยละความสำคัญ 1

3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลน้อย คือ มีค่าร้อยละความสำคัญ น้อยกว่า 1 ได้แก่ ธาตุอาหารของดิน (P) การระบายในดิน ดัชนีพืชพรรณ NDVI (normalized difference vegetation index) ความลาดชันของพื้นที่ ธาตุอาหารดิน (N) และธาตุอาหารดิน (K) (Figure 1)

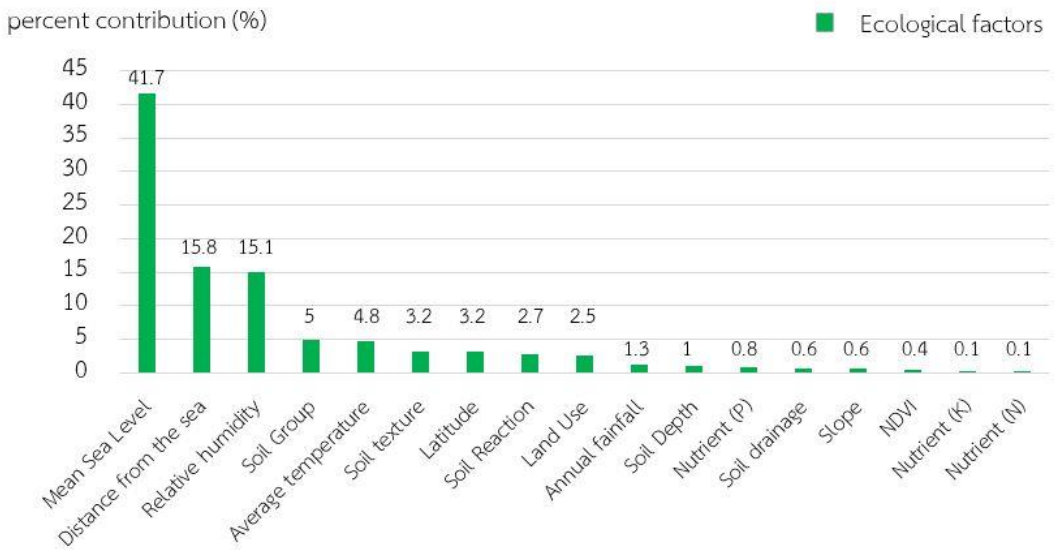


Figure 1 Relative percent contribution of various ecology variables to the occurrence distribution of *Melaleuca cajuputi* Powell.

ผลการวิเคราะห์ระหว่างความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านนิเวศ เมื่อพิจารณาจากกราฟโอกาสความน่าจะเป็นของความเหมาะสมพื้นที่ต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาว พบว่า แต่ละปัจจัยมีช่วงความเหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาว ดังนี้

1. ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Figure 2A) ระหว่าง 0-20 เมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ Forestry Research Center (1999) และ Thai Engineering Consultants (1998) รายงานว่าเสม็ดขาวขึ้นในพื้นที่ราบมีความสูงเหนือระดับทะเล 0-14 เมตร เนื่องจากต้นเสม็ดขาวเป็นชนิดไม้ที่มีความต้องการที่อยู่เฉพาะ (ecological niche) ในสังคมนิเวศของลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ราบต่ำ

2. ระยะห่างจากทะเล (Figure 2B) ระหว่าง 0–14 กิโลเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมต่อการกระจายและมีแนวโน้มที่สามารถพบการกระจายของต้นเสม็ดขาวได้อยู่ในระยะห่างจากทะเลไปจนถึง 30 กิโลเมตร เนื่องจากเสม็ดขาวเป็นชนิดพรรณไม้ที่เมล็ดมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ปลิวไปตามลมหรือลอยน้ำได้ไกล อัตราการงอกสูง ทนทานต่อดินเค็ม น้ำกร่อย ไอเค็มจากทะเล รวมทั้งเติบโตได้ดีในพื้นที่ท่วมขังตื้น ๆ หรือน้ำทะเลท่วมถึงเป็นครั้งคราว ตรงกับการศึกษาของ Bunyavejchevin and Buasalee (2011) ที่ระบุว่านิเวศวิทยาของเสม็ดขาวมีลักษณะทางภูมิศาสตร์อยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเล แนวชายเขตป่าชายเลนรอยต่อป่าบก

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Figure 2 C) ร้อยละ 81–83 เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาว อยู่ใกล้ทะเลซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณไอน้ำในอากาศมาก จึงส่งผลให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง

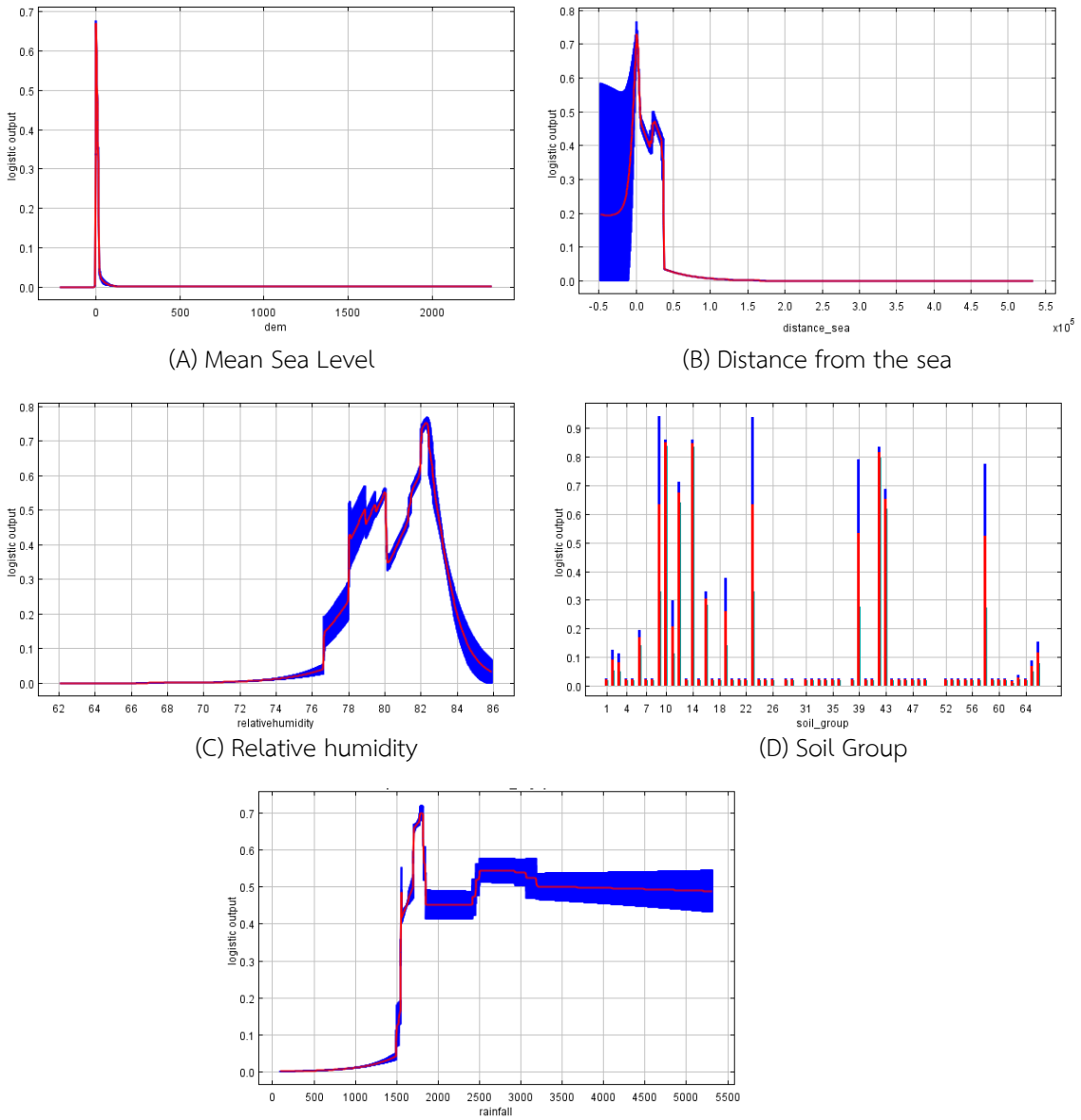
4. กลุ่มชุดดิน (Figure 2 D) ชุดดินที่ 10 ชุดดินที่ 14 และชุดดินที่ 42 เป็นกลุ่มดินที่เหมาะสมต่อการกระจายของเสม็ดขาว มีลักษณะเป็นดินเปรี้ยว ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 เซนติเมตร ค่า pH 5.5-6.0 มีสภาพเป็นกรดอย่าง

รุนแรง (ดินแห้งมี pH ต่ำกว่าดินเปียก) ซึ่งสภาพการณ์นี้มีเพียงเสม็ดขาวที่สามารถขึ้นได้ เป็นกลุ่มดินที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเลและน้ำกร่อยพามาทับถมบนที่ราบน้ำทะเลท่วมถึง เป็นที่ราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ที่ลุ่มต่ำหรือพื้นที่พรุ พบตามบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายเก่า ตามแนวชายฝั่งทะเล ด้านตะวันออกของภาคใต้และพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

5. ปริมาณน้ำฝนรายปี (Figure 2 E) ช่วงระหว่าง 1,650 ถึงมากกว่า 2,500 มิลลิเมตรต่อปี เนื่องจากเสม็ดขาวเป็นชนิดพรรณในชีวนิเวศ (biome) ของภูมิอากาศเขตร้อน (tropical climate) กล่าวคือมีฝนตกมากและมีอุณหภูมิสูงตลอดปี ส่งผลให้ในพื้นที่ต่ำมีน้ำท่วมขัง พื้นที่ใกล้ชายฝั่งมีน้ำทะเลท่วมถึง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นคุณสมบัติเหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวตามธรรมชาติ

นอกจากนี้ยังพบต้นเสม็ดขาวในที่สูงเหนือระดับน้ำทะเล 400 เมตร สำหรับการนำไปปลูกโดยมนุษย์ พบว่าในหลายพื้นที่ถึงแม้ว่าจะมีบางปัจจัยแวดล้อมที่ไม่มีความเหมาะสมกับเสม็ดขาวและไม่พบการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ หลังจากปลูกก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี (Nuyim, 2002) อีกทั้งมีการทดลองนำเสม็ดขาวไปปลูกในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งเป็นดินเค็ม ค่าความเค็ม 5.56 ppt มีค่า pH 7.8 เมื่อปลูกได้อายุ 32 เดือน การเจริญเติบโตทางความสูง 2.32 เมตร มีอัตราการรอดตายร้อยละ 44 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าต้นเสม็ดขาวสามารถเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากเสม็ดขาวสามารถปรับตัวได้ดี แม้ในที่พื้นที่แห้งแล้งและมีความเค็ม (Aksornkoae, 1992)

ผลการวิเคราะห์ระหว่างความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านนิเวศต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาว ด้วยแบบจำลอง MaxEnt พบว่า AUC มีค่าเท่ากับ 0.98 หมายถึง แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือสูง กล่าวคือปัจจัยด้านนิเวศมีความสัมพันธ์ต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวเป็นอย่างยิ่ง โดยแผนที่ความน่าจะเป็นในการกระจายของต้นเสม็ดขาวที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.00–0.93



(A) Mean Sea Level

(B) Distance from the sea

(C) Relative humidity

(D) Soil Group

(E) Annual fainfall

Figure 2 Response curves indicating the ecological factors affecting the MaxEnt prediction of *Melaleuca cajuputi* Powell.

การตรวจสอบความถูกต้องแผนที่ขอบเขตการกระจาย

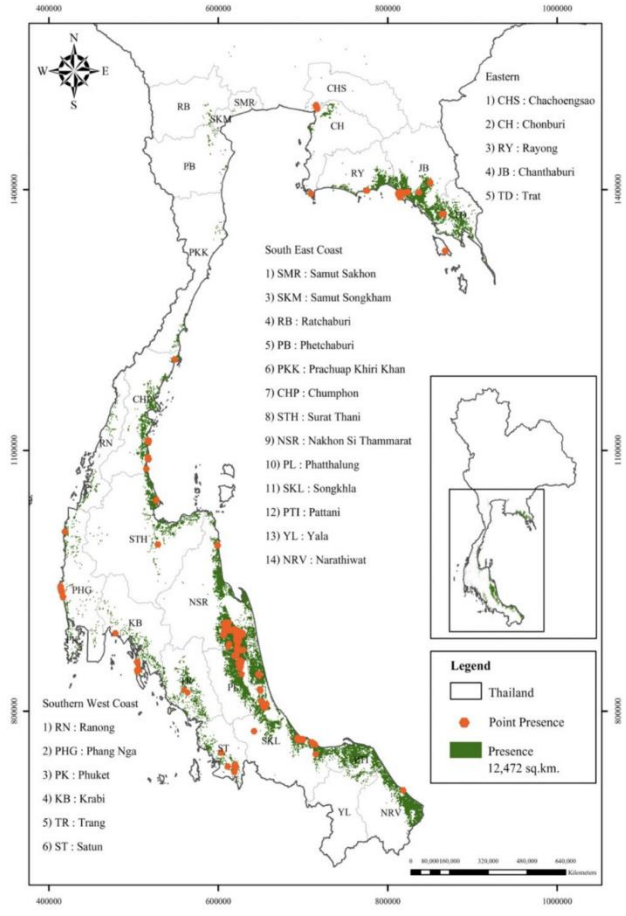
การนำแผนที่ความน่าจะเป็นขอบเขตการกระจายมาตรวจสอบความถูกต้อง ด้วยข้อมูลจุดพบการปรากฏ ชุดที่ 2 ที่สุ่มเลือกไว้ร้อยละ 20 จำนวน 50 จุด มาซ้อนทับกับแผนที่ความน่าจะเป็นขอบเขตการกระจาย ปรากฏว่า จุดพบการปรากฏซ้อนทับกับแผนที่จาก Minimum Training Presence จำนวน

43 จุด ให้ความถูกต้องของแผนที่ เท่ากับร้อยละ 86 ซึ่งเป็นค่าความถูกต้องที่สูง แต่เนื่องจากพารามิเตอร์ (logistic threshold) มีค่าเท่ากับ 0.023 ทั้งนี้ ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าน้อยกว่า 0.1 จะไม่นิยมนำมาทำแผนที่ ดังนั้นในการจัดทำแผนที่ความเหมาะสมพื้นที่การกระจายของต้นเสม็ดขาวในประเทศไทยจึงเลือกใช้แผนที่ความน่าจะเป็นขอบเขตการกระจายที่ให้ค่าความถูกต้องลำดับถัดไป คือ Equal Training Sensitivity and Specificity และ Maximum Training Sensitivity Plus Specificity ให้ค่าความถูกต้องเท่ากัน เท่ากับร้อยละ 84 จุดพบการปรากฏซ้อนทับกับแผนที่การกระจาย 42 จุด

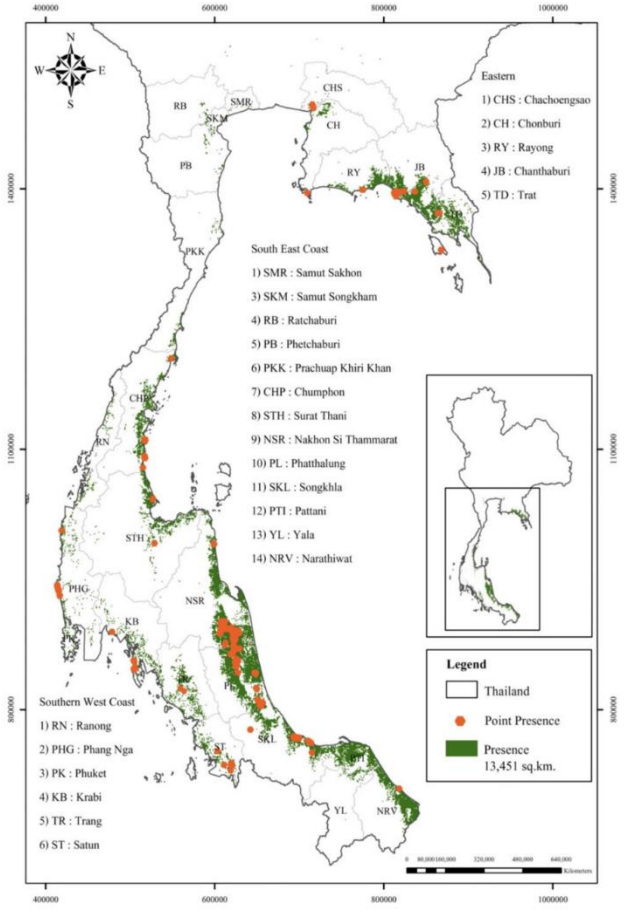
โดยพบพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวในประเทศไทย มีขอบเขตการกระจาย เท่ากับ 13,451 ตารางกิโลเมตร ใน 24 จังหวัด (ร้อยละ 2.64 ของพื้นที่ประเทศ) ปรากฏทางภาคใต้ฝั่งตะวันออก 9,012 ตารางกิโลเมตร ภาคตะวันออก 2,360 ตารางกิโลเมตร ภาคใต้ฝั่งตะวันตก 1,984 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่อื่น ๆ 95 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ (Table 3 และ Figure 3)

Table 3 Logistic threshold and probability scope of the presence and absence of *Melaleuca cajuputi* Powell as determined by MaxEnt.

Description	Logistic threshold	Presence Point	Accuracy (%)	Area (sq.km.)
Minimum training presence	0.023	43	86	26,419
10 percentile training presence	0.306	40	80	4,906
Equal training sensitivity and specificity	0.119	42	84	12,472
Maximum training sensitivity plus specificity	0.107	42	84	13,451



(A) Map of Distribution Suitability Areas by Equal training sensitivity and specificity.



(B) Map of Distribution Suitability Areas by Maximum training sensitivity plus specificity.

Figure 3 The Distribution areas of *Melaleuca cajuputi* Powell in Thailand as determined by MaxEnt model.

สถานภาพอนุรักษ์เสม็ดขาว

จากรายงานในระดับโลกของ IUCN ปี 1994-2001 Version 3.1-2001 เสม็ดขาวจัดอยู่ในสถานภาพ **“มีความเสี่ยงน้อย (least concerned)”** โดยแนวโน้มประชากร “กำลังลดลง (decreasing)” การประเมินล่าสุด เมื่อ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2561 จากขอบเขตการประเมินทั่วโลก ทั้งนี้การดำเนินการอนุรักษ์ระบุว่า เสม็ดขาวสำหรับพื้นที่สามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขงกำลังลดลง เนื่องจากไม่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ถูกทำลายอย่างรุนแรงต่อโครงสร้างและการเติบโตของต้นไม้ ขอแนะนำให้มีการปรับปรุงพันธุกรรมสำหรับเพาะปลูกเชิงพาณิชย์ การอนุรักษ์ในแหล่งกำเนิด มีความสำคัญสำหรับการใช้งานและวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงพันธุ์ในอนาคต และภัยคุกคามจาก 3 สาเหตุหลัก ได้แก่ 1) การใช้ทรัพยากรชีวภาพ คือ การตัดไม้และการเก็บเกี่ยวไม้ 2) การปรับเปลี่ยนระบบธรรมชาติ คือ อัคคีภัยหรือไฟป่า 3) สายพันธุ์ยีนและโรคที่รุกรานและมีปัญหาอื่น ๆ ยังไม่มีการบันทึกโรคในสายพันธุ์นี้ (IUCN, 2021)

สถานภาพการอนุรักษ์เสม็ดขาวของประเทศไทยจัดว่า **“ยังไม่ได้รับการประเมิน”** อาจเนื่องมาจากการศึกษาด้านพรรณพืชที่มีอยู่อย่างจำกัดทั้งบุคลากรความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน งบประมาณ ตลอดจนนโยบาย ส่งผลการจัดทำบัญชีรายชื่อชนิดพรรณพืชตามสถานภาพการอนุรักษ์ยังไม่เป็นระบบ (Royal Forest Department, 2021; Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2021A; Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2021B)

การศึกษาครั้งนี้ด้วยหลักเกณฑ์ IUCN Red List Categories and Criteria Version 3.1 โดยหลักเกณฑ์ตามข้อ B ขอบเขตการกระจายทางภูมิศาสตร์ (geographic range) รูปแบบ B1 ขอบเขตการแพร่กระจาย (extent of occurrenec) พบว่าขอบเขตการแพร่กระจายของเสม็ดขาว จากแผนที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง MaxEnt มีพื้นที่การกระจายของเสม็ดขาวมีขอบเขต เท่ากับ 13,451 ตารางกิโลเมตร และเมื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์การกำหนดสถานภาพการอนุรักษ์ IUCN Red List Categories and Criteria Version 3.1 (IUCN, 2014) พบว่า สถานภาพการอนุรักษ์ของเสม็ดขาวในประเทศอยู่ในเกณฑ์ **“มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable)”** เนื่องจากขอบเขตการแพร่กระจายของเสม็ดขาวมีพื้นที่น้อยว่า 20,000 ตารางกิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการศึกษาเฉพาะในประเทศไทยจึงได้ค่าประมาณการเพียงเท่านี้

เมื่อเทียบผลการศึกษาครั้งนี้กับการศึกษาในอดีต (1991-2019) ทำให้ทราบว่าพื้นที่การกระจายของเสม็ดขาวลดลงเป็นอย่างมาก อาจเป็นผลสืบเนื่องจากโครงการพัฒนาด้านต่าง ๆ การขยายตัวของเศรษฐกิจ สังคมเมือง ความต้องการใช้เนื้อไม้โดยปราศจากความเข้าใจถึงคุณค่า บทบาทความสำคัญการบริหารจัดการ และปลูกทดแทนไม่ว่าจะด้วยวิธีการถูกกฎหมายอย่างการใช้ในชีวิตประจำวันของประชาชนท้องถิ่น หรือวิธีการผิดกฎหมายอย่างการลักลอบตัดไม้เสม็ดขาว ดังเช่น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่เพิ่มขึ้น 900,000 ไร่ ในระยะเวลา 20 ปี (Land Development Department, 2020) การรุกป่าเสม็ดขาวด้วยการระบายน้ำออกเพื่อทำสวนปาล์มกว่า 1,626 ไร่ (Thairathonline, 2015; Forest Protection and Fire Control Office, 2015)

รวมทั้งลักษณะดินของป่าเสม็ดเป็นดินพรุ หรือ ดินอินทรีย์ หรือ ดินพีต (peat soil) ในชั้นดินจะมีกรดฮิวมิกทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดรุนแรงมาก มีซากพืชที่ผุพังและยังสลายตัวไม่หมดปะปนอยู่ ทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ช่วยในการติดไฟและยากต่อการดับ

ที่สร้างความเสียหายให้แก่พรุควนเคร็ง ในปี 2562 ซึ่งเกิดไฟไหม้ถึง 88 ครั้ง สูญเสียพื้นป่าไปกว่า 5,000 ไร่ โดยครั้งสำคัญเกิดในปี 2540 ที่ป่าพรุบาเจาะมีพื้นที่พรุถูกไฟไหม้ประมาณ 7,000 ไร่ และในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ปี 2541 เกิดไฟไหม้ป่าพรุโต๊ะแดง เสียหายไปถึง 14,837 ไร่ (Thai Environmental Corporation Foundation, 2011)

ทั้งนี้ต้นเสม็ดขาวเป็นพรรณไม้ที่ยังไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก รวมทั้งไม่มีกฎหมายคุ้มครองจึงถูกมองข้ามความสำคัญ ทำให้เกิดการแผ้วถางป่าเสม็ดขาวเพื่อการใช้ประโยชน์พื้นที่หรือการตัดโค่นเพื่อใช้ประโยชน์ไม้เสม็ดขาวโดยตรงที่ไม่มีการบริหารจัดการ การปลูกทดแทน ส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของป่าเสม็ดขาว

สรุป

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อม และพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของต้นเสม็ดขาวในประเทศไทย

การสร้างแผนที่ความน่าจะเป็นความของเหมาะสมพื้นที่ต่อการกระจายของเสม็ดขาวในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง MaxEnt มีขอบเขตพื้นที่เหมาะสมต่อกระจายสูงสุด เท่ากับ 13,451 ตารางกิโลเมตร ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 84 พบการกระจายใน 24 จังหวัด โดยภาคตะวันออก 5 จังหวัด ภาคใต้ฝั่งตะวันออก 13 จังหวัด ภาคใต้ฝั่งตะวันตก 6 จังหวัด และจังหวัดที่พบพื้นที่เหมาะสมต่อการกระจายของเสม็ดขาวมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ปัจจัยทางด้านนิเวศที่มีความสำคัญต่อการกระจายของเสม็ดขาวมากที่สุด คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล รองลงมาคือความไกลใกล้จากทะเล ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อมาความชื้นสัมพัทธ์สูง กลุ่มชุดประเภทดินเปรี้ยว ดินทราย ที่มีชั้นดินอินทรีย์ภายในความลึก 100 เซนติเมตร ดินพรุ ลักษณะเป็นดินที่พบตามบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายเก่าตามแนวชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของภาคใต้และพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก รวมทั้งมีปริมาณน้ำฝนรายปีมาก

การประเมินสถานภาพการเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของเสม็ดขาว พบว่าในระดับโลกอยู่ในเกณฑ์ “มีความเสี่ยงน้อย (least concerned)” ส่วนในประเทศไทยความเดิม “ยังไม่ได้รับการประเมิน (not evaluated)” สำหรับการศึกษาครั้งนี้เสม็ดขาวในประเทศไทยจัดอยู่ในเกณฑ์ “มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (vulnerable)” เนื่องจากขอบเขตการแพร่กระจายของเสม็ดขาวมีพื้นที่น้อยว่า 20,000 ตารางกิโลเมตร

REFERENCES

Aksornkoae, S., 1992. **Mangrove.** Chalongrat Company Limited, Bangkok.

Boland, B.V., D.R. Zak, S.R. Denton and S.H. Spurr. 1997. **Forest Ecology**. 4 ed., Wiley and Sons, Inc. New York.

Bunyavejchewin, S. and R. Buasalee, 2011. **Ecology and Flora of Mangrove Forests**. The Rabbit in the Moon Foundation, Thailand.

Forest Protection and Fire Control Office. 2015. **Manual Guidelines for Solving Forest Fires and Smog Thale Noi Waterfowl Reserve**, Phatthalung. (in Thai)

Forestry Research Center. 1999. **Management Plan Wildlife Refuges Pa Phru To Daeng Narathiwat**, Faculty of Forestry Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Gradner, S., P. Sittisuntorn, and K. Chayamit, 2018. **Mai Pa Pak Tai (3).** Amarin Printing and Publishing Public Company Limited, Bangkok. (in Thai)

Haruthaithanasan, M., R. Punsiri, P. Kuntuangkul, W. Supamitmongkol, and V. Luangviriyasaeng, 2016. **Literature Review of Fast Growing Species Planting for Establishment of Road Map of Research on Fast Growing Species Planting for Energy**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

International Union for Conservation of Nature. 2014. Red List Categories and Criteria: **Version 3.1. IUCN Species Survival Commission.** IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.

International Union for Conservation of Nature. 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species *Melaleuca cajuputi***. Available Source: https:// www.iucnredlist.org/species/73231040/ 135987383, July 17, 2021.

Land Development Department. 2019A. **Coordinate Universal Transverse Mercator (X)** (Shape file). Land Development Department, Bankok.

Land Development Department. 2019B. **Distance from the sea** (Shape file). Land Development Department, Bangkok.

Land Development Department. 2020A. **Management of Soil Data.** Available Source: https:// www.ldd.go.th/Web _Soil/organic.htm, December 4, 2020. December 4, 2020.

Land Development Department. 2020B. **Map Land Use**. Land Development Department, Bankok.

Land Development Department. 2020C. **Map Soil**. Land Development Department, Bankok.

Liu, C., P.M. Berry, T.P. Dawson and R.G. Pearson. 2005. Selecting threshold of occurrence in the prediction of species distribution. **Ecography** 28: 385-393.

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2021A. **List of Critically Endangered and Rare Plant Species and Endemic Species.** Available Source: http://chm-thai.onep .go.th/resourcs/red_plant.php, April 14, 2021. (in Thai)

Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. 2021B. **Management Plan Biological Diversity**. Available Source: http://www.oic.go.th/ FILEWEB/CABINFOCENTER38/DRAWER 027/GENERAL/DATA0000/00000134.PD F, April 14, 2021. (in Thai)

Meteorological Department of Thailand. 2020A. **Average Temperature** (Microsoft Excel). Meteorological Department of Thailand, Bangkok.

Meteorological Department of Thailand. 2020B. **Annual Fainfall** (Microsoft Excel). Meteorological Department of Thailand, Bangkok.

Meteorological Department of Thailand. 2020C. **Relative Humidity** (Microsoft Excel). Meteorological Department of Thailand.

NASA Alaska Satellite Facility. 2020. **Digital Elevation Model**. Available Source: https://asf.alaska.edu/, January 01, 2020.

Nuyim, T, and B. Boonchub, 1999. ***Melaleuca cajuputi* Powell**. Academic Press, Pa Phru To Daeng Sunwichai Lae Sueksa Thammachat Pa Phru Sirindhorn. Narathiwat. (in Thai)

Nuyim, T. 2001. **Potentiality of *Melaleuca cajuputi* Powell Cultivation to Develop for Economic Plantation Purpose**, Royal Forest Department, Bangkok.

Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecolo. Model.** 190(3-4): 231-259.

Phillips, J. S. and M. Dudik. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: New extensions and a comprehensive evaluation. **Ecography** 31: 756-769.

Pholpoke, S. 2001. **Morphological Variation and Natural Regeneration Ability of *Melaleuca cajuputi* Powell in Different Sites, Eastern Part of Thailand**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Royal Forest Department. 2017. **Atrategics of Royal Forest Department (2017-2032)**. Available Source: http://forestinfo.forest.go.th/Content/file/stategic_20year_2560-2579.pdf, November 13, 2019.

Santisuk T. and K. Larsen, 2002. **Flora of Thailand vol. 7 part 4**, The Forest Herbarium, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Bangkok.

Sasaki, S., H. Yagi, T. Yamanoshita, M. Masumori, K. Kojima, T. Tange, T. Nuyim, T. and C. Niyomdham. 1995. Reforestation trial of degraded peat swamp forest and sand dune in Narathiwat, Thailand. pp. 55-61 *In* P. Vijarnsorn, ed. **the International Workshop on Global Environmental Studies on Greenhouse Gas Emission and Tropical Peat Swamp in Southeast Asia,** Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan.

Sonthivanit, V. and S. Benjachaya, 1999. **Utilization of *Melaleuca cajuputi* Powell. for Wood-Working in Community**. Royal Forest Department of Thailand, Bangkok. (in Thai)

Thairathonine. 2015. **DSI Attached to 700 Rai of Samet Forest by Capitalists**.

Available Source: https://www.thairath.co.th/news/local/533675, February 11, 2021. (in Thai)

Thai Engineering Consultants. 1998. **Study Project Conservation and Protected Area Wetland Thale Noi Waterfowl Reserve**. Bangkok. (in Thai)

Thai Environmental Corporation Foundation. 2011. **Swamp Fire**. Available Source: http://www.envcorpthai.com/news/detail.php?id=37, June 24, 2021. (in Thai)

Trisurat, Y., B. Kanchanasaka, and H. Kreft, 2014. Assessing potential effects of land use and climate change on mammal distributions in northern Thailand. **Wildl. Res.** 41: 522-536.

USGS Earth Explorer. 2020. **Satellite Imagery from Terra MODIS**. Available Source: https://earthexplorer.usgs.gov/, January 01, 2020.

นิพนธ์ต้นฉบับ

การใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบจุดในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณไม้ในสวนป่า : กรณีศึกษาสวนป่าไม้พะยูง จังหวัดตราด

Application of Point Sampling in Forest Inventory for Timber Assessment: A Case Study of Siamese Rosewood Plantation, Trat Province

ภาณุพงศ์ แก้วบรรจง[1*] **Phanuphong Kaewbanjong**[1*]

ปัสสี ประสมสินธ์[1] **Patsi Prasomsin**[1]

พิชิต ลำใย[1] **Pichit Lumyai**[1]

วัชรินทร์ สีนวล[2] **Watcharin Seenuil**[2]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

[2]สวนป่าลาดกระทิง 2 องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เขตศรีราชา ศรีราชา ชลบุรี 20110

Lat Krathing 2 Plantation, Si Racha Sub-division Forest Industry Organization, Si Racha, Chon Buri 20110, Thailand

[*]Corresponding Author, E-mail: Phanuphong_Dome@live.com

รับต้นฉบับ 28 กันยายน 2564 **รับแก้ไข** 26 ตุลาคม 2564 **รับลงพิมพ์** 29 ตุลาคม 2564

ABSTRACT

Forest resource inventory estimation to assess timber in a forest using the point sampling method is more convenient than the plot sampling method because it does not measure the plot dimensions. However, proper selection of the size of an appropriate point sampling basal area factor (BAF) is essential. This study tested various BAF sizes to assess the timber at a Siamese Rosewood (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre.) plantation in the Tha Kum Noboru Umeda plantation, Trat province. Four BAFs of size 1, 2, 3, and 4 were established using a wedge prism in the plantation within a total area 450.98 rai. This plantation was divided into three age classes of 38, 41, and 42 years (representing different tree sizes and stand densities), with an area of 102.41 rai, 198.10 rai, and 150.47 rai, respectively. In total, 42 sampling points were inventoried. The data were analysed by comparing the timber basal area per hectare from the point sampling inventory using the various BAF sizes with the timber basal area based on census.

The results showed insignificant differences in average basal area per hectare among the various BAFs. The results also showed that the BAF of size 1 was appropriate for the inventory of plantations with an average diameter at breast height (DBH) between 25.32 - 29.32 cm and a stand

density between 130 - 137 trees per hectare. The BAFs 2, 3, and 4 were found to be appropriate for plantations with an average DBH between 26.41 - 30.09 cm and a stand density between 129 - 133 trees per hectare. The results can be used as a guideline for decision-making during the selection for an appropriate BAF size to assess the timber in other plantations with a similar average DBH and tree density.

Keywords: Forest resource inventory, Point sampling, Basal area factor, Forest plantation

บทคัดย่อ

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้โดยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุด (point sampling) เพื่อประเมินปริมาณไม้ในป่ามีความสะดวกมากกว่าการสำรวจแบบวางแปลงตัวอย่าง (plot sampling) เนื่องจากไม่ต้องวัดขนาดของแปลงตัวอย่าง อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องเลือกค่าคงที่ของเครื่องมือหรือค่าแฟคเตอร์พื้นที่หน้าตัด (basal area factor, BAF) ของวิธีการชักตัวอย่างแบบจุดให้เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบ BAF ขนาดต่าง ๆ สำหรับประเมินปริมาณไม้ในสวนป่าไม้พะยูง ณ สวนป่าท่ากุ่ม โนโบรุ อุเมดะ จังหวัดตราด ด้วยเครื่องมือ Wedge prism ขนาด BAF 1, 2, 3 และ 4 ในสวนป่าไม้พะยูงเนื้อที่ทั้งหมด 450.98 ไร่ โดยสวนป่าแบ่งออกเป็น 3 ชั้นอายุ ได้แก่ อายุ 38, 41 และ 42 ปี (แสดงถึงขนาดและความหนาแน่นของต้นไม้ที่แตกต่างกัน) มีเนื้อที่ 102.41, 198.10 และ 150.47 ไร่ ตามลำดับ ทำการสำรวจทั้งหมด 42 จุดสุ่ม และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้ต่อเฮกตาร์จากการสำรวจด้วยการชักตัวอย่างแบบจุดที่ใช้เครื่องมือขนาด BAF ต่าง ๆ กับขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้จากการสำมะโนประชากร

ผลการศึกษาพบว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้เฉลี่ยต่อเฮกตาร์ของ BAF ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าแตกต่างจากค่าประชากรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่า BAF ที่ 1 มีความเหมาะสมในการสำรวจสวนป่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 25.32 - 29.32 เซนติเมตร และความหนาแน่นของหมู่ไม้ 130 - 137 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่วนขนาด BAF ที่ 2, 3 และ 4 มีความเหมาะสมสำหรับสวนป่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 26.41 - 30.09 เซนติเมตร และความหนาแน่น 129 - 133 ต้นต่อเฮกตาร์ โดยผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเพื่อเลือกใช้ขนาด BAF ที่เหมาะสมในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณไม้ในพื้นที่สวนป่าอื่น ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและความหนาแน่นของหมู่ไม้ที่คล้ายคลึงกัน

คำสำคัญ: การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ การชักตัวอย่างแบบจุด ค่าคงที่ของเครื่องมือ สวนป่า

คำนำ

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้เป็นกระบวนการหนึ่งของการวางแผนการจัดการทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับป่าไม้ รวมถึงข้อมูลสภาพภูมิประเทศ โดยข้อมูลเหล่านี้ถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่ใช้ในการวางแผนจัดการป่าไม้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ป่าไม้มักมีขนาดใหญ่ การสำรวจแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้ระยะเวลา กำลังคน และงบประมาณ

จำนวนมาก และในทางปฏิบัติค่อนข้างเป็นไปได้ยาก จึงมีการศึกษาคิดค้นการสำรวจวิธีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถรวบรวมข้อมูลได้ง่ายขึ้น รวดเร็ว ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำ และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ทำการสำรวจ (Wacharakitti, 1982; Prasomsin, 2005) เนื่องจากการสำรวจด้วยการสุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าประชากรนั้นมักมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเกิดขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาในการวางแผนการจัดการป่าไม้ (Mendoza *et al*., 1993) โดยสามารถลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วยการระมัดระวังและควบคุมการทำงานในกระบวนการสำรวจให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Thammincha, 1983) ดังนั้น เมื่อการสำรวจในตัวอย่างนั้นทำได้อย่างถูกต้อง จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งข้อมูลที่ดีจะช่วยนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่ป่าไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถลดความเสี่ยงที่อาจเกิดปัญหาหรือความผิดพลาดจากแผนจัดการที่วางไว้ได้

การสำรวจสวนป่าเพื่อประเมินปริมาณไม้ในปัจจุบันมีทั้งวิธีการสำรวจแบบเป็นแถวเป็นแนว (strip system) และการสำรวจแบบวางแปลงตัวอย่างบนแนวเส้น (line plot system) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อเด่นและข้อจำกัดแตกต่างกันไป (Wacharakitti, 1982) อย่างวิธีสำรวจแบบเป็นแถวเป็นแนวมีวิธีปฏิบัติที่ง่าย เหมาะกับหมู่ไม้ที่มีลักษณะเป็นแถว และให้ความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าประชากร (Lakarnchua, 2004 *Cited* Attebring and Jonsson, 1999) เพียงแค่สำรวจไปตามแถวปลูกนั้น ๆ แล้วเว้นระยะไปตามที่กำหนด แต่วิธีนี้จะประสบปัญหาเมื่อสวนป่าที่สำรวจนั้นมีการตัดขยายระยะ (thinning) ทำให้ต้นไม้ที่เหลือไม่อยู่ในลักษณะเป็นแถวเป็นแนวชัดเจน ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการสำรวจได้ง่าย และยังทำให้ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง จึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้สำรวจในสวนป่าที่มีการตัดขยายระยะแล้ว ส่วนวิธีสำรวจแบบวางแปลงตัวอย่างบนแนวเส้นซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Forest Industry Organization, 2018) เป็นวิธีที่ทำให้ได้ข้อมูลกระจายทั่วพื้นที่ สามารถใช้แปลงตัวอย่างเป็นแปลงสำรวจถาวรเพื่อศึกษาแบบต่อเนื่องได้ และเป็นวิธีการสำรวจที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการสำรวจมาก เนื่องจากต้องใช้เวลาในการหมายขอบเขตของแปลงตัวอย่าง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่าย และแรงงานจำนวนมาก ซึ่งในอีกทางหนึ่งมีวิธีการสำรวจที่มีจุดเด่นในด้านความสะดวกรวดเร็วในการสำรวจ สามารถประเมินขนาดพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ได้โดยที่ไม่ต้องวางแปลงตัวอย่างและวัดขนาดของต้นไม้ (Department of National Park Wildlife and Plant Conservation, 2014) คือ วิธีการชักตัวอย่างแบบจุด (point sampling) เป็นวิธีการหนึ่งของการสำรวจแปลงตัวอย่างแบบแปรผัน (variable sample plot) มีหลักการคือ โอกาสของต้นไม้แต่ละต้นที่ถูกสุ่มเลือกเป็นตัวอย่างจะแปรผันตามขนาดของตัวเอง กล่าวคือขนาดความโตของต้นไม้ต้นนั้น และระยะห่างระหว่างต้นไม้กับจุดสุ่มตัวอย่าง (sampling point) คือ ต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ และอยู่ใกล้กับตำแหน่งของจุดสุ่มจะมีโอกาสถูกเลือกเป็นตัวอย่างมากกว่าต้นไม้ที่มีขนาดเล็กและมีระยะห่างไกลออกไป (Sukwong, 1974; Hovind and Rieck, 1961) อย่างไรก็ตามการสำรวจวิธีนี้มีข้อควรระวังคือ การเลือกขนาดของช่องส่องหรือค่าคงที่ของเครื่องมือ (basal area factor, BAF) ที่ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพหมู่ไม้ที่ทำการสำรวจ มิเช่นนั้นอาจทำให้ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาเพื่อทดสอบหาขนาด BAF ที่เหมาะสมกับสถานภาพของหมู่ไม้ในลักษณะต่าง ๆ เป็นกรณีศึกษาหากมีการนำวิธีชักตัวอย่างแบบจุดไปใช้ในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณไม้ในป่า

การศึกษาครั้งนี้จึงต้องการทดสอบขนาด BAF ที่เหมาะสมในการสำรวจเพื่อประเมินปริมาณไม้ในรูปของขนาดพื้นที่หน้าตัด โดยใช้พื้นที่สวนป่าไม้พะยูงของสวนป่าท่ากุ่ม โนโบรุ อุเมดะ เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากมีจำนวนแปลงปลูกหลายแปลง แต่ละแปลงมีสภาพหมู่ไม้แตกต่างกัน และมีหลายชั้นอายุ รวมทั้งมีข้อมูลประชากรไม้พะยูงที่ได้มีการสำรวจประชากรไว้ก่อนแล้ว นำมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจตัวอย่าง จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นพื้นที่ศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 1) ปริซึมรูปลิ่ม (wedge prism) ขนาด BAF ที่ 1, 2, 3 และ 4 2) เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) 3) เครื่องมือวัดความสูงต้นไม้ คือ ฮากา แอลติมิเตอร์ 4) เทปวัดระยะทาง 5) แผนที่แสดงขอบเขตสวนป่าไม้พะยูงและตำแหน่งจุดสุ่มตัวอย่าง 6) เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก และ 7) แบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม

การรวบรวมข้อมูล

1. ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลประชากรไม้พะยูงในสวนป่าท่ากุ่ม โนโบรุ อุเมดะ สำหรับวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่จะทำการสำรวจด้วยวิธีชักตัวอย่างแบบจุด และแผนที่สวนป่าไม้พะยูง (Figure 1) เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่และตำแหน่งของจุดสำรวจ โดยข้อมูลประชากรไม้พะยูงได้มีการทำสำมะโนประชากรไว้เมื่อปี พ.ศ. 2561 จนถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 มีวิธีในการสำรวจคือ ทำการวัดขนาดเส้นรอบวงที่ความสูงระดับอกและวัดความสูงทั้งหมดของไม้พะยูงทุกต้น รวมถึงนับจำนวนกิ่งและความสูงที่ทำเป็นสินค้าได้เฉพาะต้นที่มีขนาดเส้นรอบวงตั้งแต่ 80 เซนติเมตรขึ้นไป และต้นที่ตาย

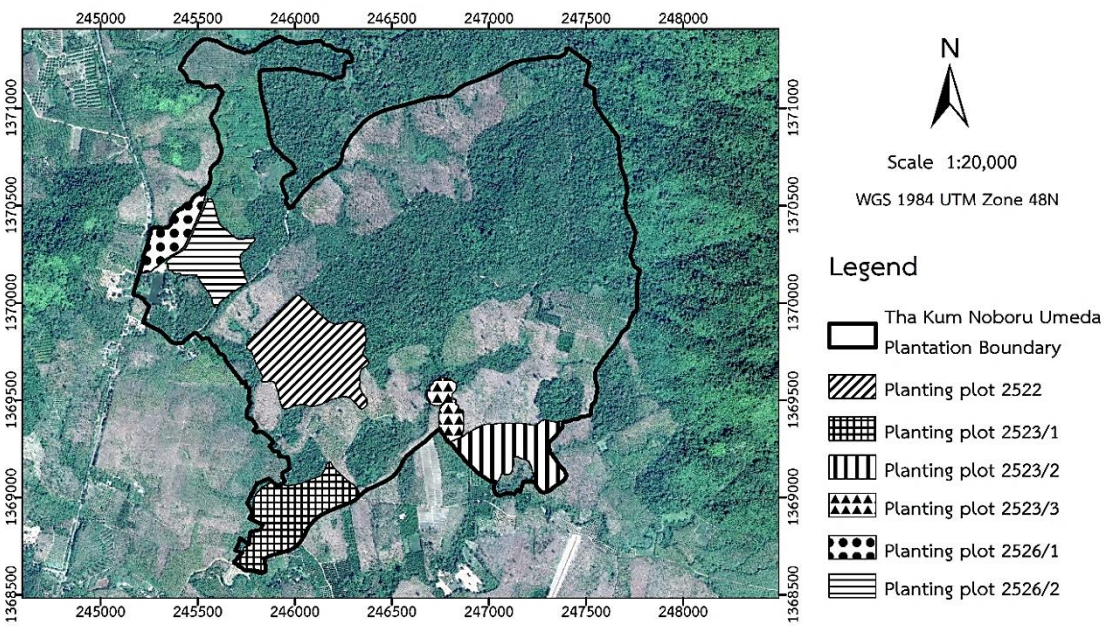


Figure 1 Location of Siamese Rosewood plantation at the Tha Kum Noboru Umeda Plantation.

2. ข้อมูลปฐมภูมิ ทำการสำรวจไม้พะยูงด้วยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุด โดยการกำหนดตำแหน่งของจุดสำรวจหรือจุดสุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ (systematic random sampling) ในแผนที่ด้วยโปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) กำหนดปริมาณการสำรวจที่ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และคำนวณหาระยะห่างของจุดสุ่มตัวอย่างโดยใช้หลักการสำรวจแบบวางแปลงบนแนวเส้นตรง (line plot system) แต่เนื่องจากจุดสุ่มตัวอย่างของวิธีการชักตัวอย่างแบบจุดไม่สามารถกำหนดขนาดพื้นที่เพื่อนำมาใช้คำนวณหาระยะห่างได้ จึงแทนด้วยการกำหนดให้จุดสุ่มตัวอย่างมีพื้นที่เท่ากับ 0.1 เฮกตาร์ โดยคำนวณจากสมการ (Wacharakitti, 1982) ดังนี้

$$\frac{\text{ขนาดของแปลงตัวอย่าง}}{\text{เนื้อที่ที่แปลงตัวอย่างเป็นตัวแทน (กว้าง×ยาว)}} = \frac{\text{เนื้อที่ที่ทำการสำรวจ (\%การสำรวจ)}}{\text{เนื้อที่ทั้งหมด (100\%)}}$$

จากสมการข้างต้น คำนวณเนื้อที่ที่แปลงตัวอย่างเป็นตัวแทนได้เท่ากับ 20,000 ตารางเมตร ดังนั้นระยะห่างของจุดสุ่มตัวอย่างจึงเท่ากับ 200 X 100 เมตร โดยกำหนดจุดสุ่มตัวอย่างได้ทั้งหมด 42 จุด ครอบคลุมพื้นที่สวนป่าไม้พะยูงอายุ 38, 41 และ 42 ปี ดัง Figure 2 การสำรวจไม้พะยูงตัวอย่างโดยทำการใช้เครื่องมือ Wedge Prism ทีละขนาดตั้งแต่ BAF 1 ถึง 4 ยืนที่ตำแหน่งจุดสุ่มตัวอย่าง และใช้สายตาเล็งผ่าน Wedge prism ไปยังไม้พะยูงแต่ละต้นเพื่อพิจารณาว่าต้นใดที่อยู่ในแปลง (in) อยู่นอกแปลง (out) หรือเป็นไม้ขอบแปลง (borderline tree) โดยหมุนตัวสำรวจไม้ต้นถัดไปรอบ ๆ จุดสุ่มเป็นวงกลมจนครบ ซึ่งต้นไม้ที่อยู่ในแปลงและไม้ขอบแปลงที่พิจารณาแล้วว่าเป็นต้นไม้ในแปลงเท่านั้นที่ถูกนับเป็นตัวอย่าง โดยต้นที่ถูกนับได้ทำการเก็บข้อมูลโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height) ความสูงทั้งหมด (total height) และความสูงที่ทำเป็นสินค้าได้ (merchantable height)

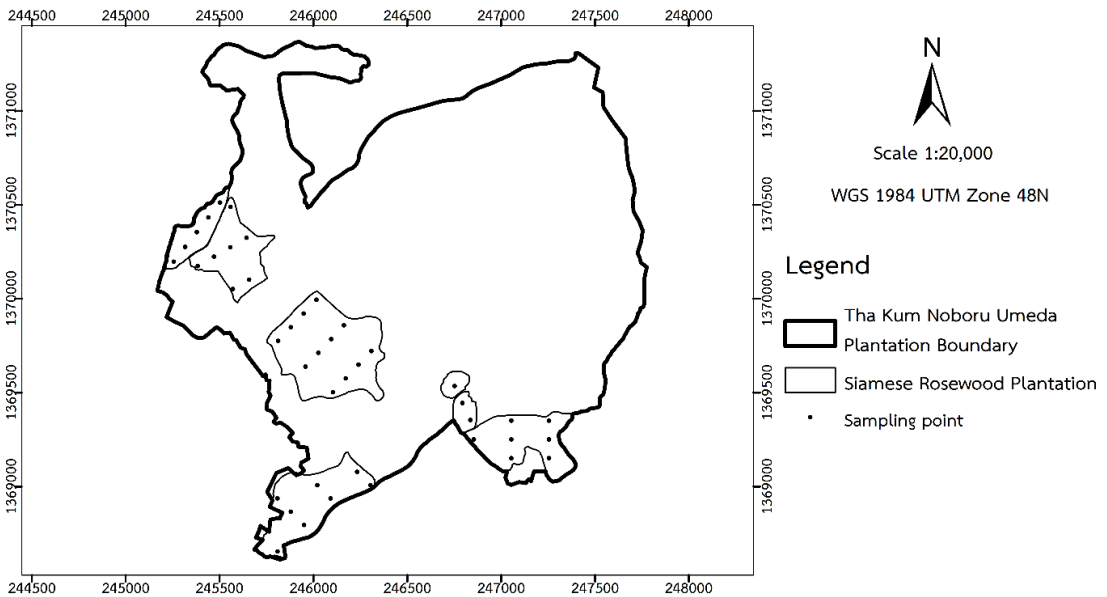


Figure 2 The distribution of sampling points in the Siamese Rosewood plantation.

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จำแนกข้อมูลประชากรตามขนาดความโตและคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้พะยูงที่ได้จากการสำมะโนประชากร โดยทำการสร้างตารางข้อมูลเบื้องต้นของสวนป่าไม้พะยูง และสร้างตารางหมู่ไม้ (stand table) แบ่งตามชั้นขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก รวมถึงทำการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัด (basal area) ของไม้พะยูง

2. คำนวณจำนวนต้นของไม้พะยูงในแต่ละชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุด โดยใช้วิธีการคำนวณของ Prasomsin and Duangsathaporn (2005) ดังนี้

$$NA_i = BAF\left(\sum \frac{1}{B_{ij}}\right)$$

BA_i = จำนวนต้นไม้ตัวอย่างในจุดสำรวจที่ i $\times$BAF

กำหนดให้ NA_i คือ จำนวนต้นไม้ของจุดสำรวจที่ i (ต้นต่อเฮกตาร์)

BA_i คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้พะยูงในจุดสำรวจที่ i (ตารางเมตรต่อเฮกตาร์)

BAF คือ ค่าคงที่หรือขนาดช่องส่องของเครื่องมือที่ใช้

B_{ij} คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้พะยูงต้นที่ j ในจุดสำรวจที่ i

J คือ ไม้พะยูงต้นที่ 1, 2, 3, ...

i คือ จุดสำรวจที่ 1, 2, 3, ...

3. เปรียบเทียบข้อมูลจากการสำมะโนประชากร และข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้เทคนิคการทดสอบค่าเฉลี่ย (one sample t-test) ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสำมะโนประชากรเป็นค่ามาตรฐานในการทดสอบ และการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากการสำมะโนประชากรและข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธีชักตัวอย่างแบบจุด โดยคำนวณได้จากสมการ (Nunak and Suesut, 2012)

Relative error (%)

$$= \left| \frac{\text{ค่าจากการประมาณ} - \text{ค่าประชากร}}{\text{ค่าประชากร}} \right| \times 100$$

ผลและวิจารณ์

ข้อมูลการสำมะโนประชากร

ข้อมูลเบื้องต้นของสวนป่าไม้พะยูงสามารถแบ่งออกตามปีที่ปลูกได้เป็น 3 ปีปลูก ได้แก่ พ.ศ. 2522 พ.ศ. 2523 และ พ.ศ. 2526 แต่ละปีปลูกมีอายุเท่ากับ 42, 41 และ 38 ปี ตามลำดับ โดยที่ปีปลูก พ.ศ. 2522 และ พ.ศ. 2526 มีระยะปลูกที่ 4 × 4 เมตร ส่วนปีปลูก พ.ศ. 2523 มีระยะปลูก 4 × 6 เมตร ซึ่งในแต่ละปีปลูกแบ่งออกเป็นแปลงปลูกย่อย ๆ เนื่องจากในบางปีปลูกพื้นที่ของแปลงกระจายตัวอยู่ห่างกัน ทำให้แบ่งออกได้เป็นแปลงปลูกย่อยทั้งหมด 6 แปลง ได้แก่ แปลงปลูก 2522/1, 2523/1, 2523/2, 2523/3, 2526/1 และ 2526/2 คิดเป็นพื้นที่รวมทั้งหมด 450.98 ไร่ หรือ 72.16 เฮกตาร์ โดยแปลงปลูก 2522/1 มีพื้นที่มากที่สุดเท่ากับ 24.08 เฮกตาร์ ส่วนแปลงปลูก 2523/3 มีพื้นที่น้อยที่สุดเท่ากับ 3.68 เฮกตาร์ ดัง Table 1

Table 1 Information regarding the age of trees, spacing, and area of the Siamese Rosewood plantation.

Planting plot	Age (years)	Spacing (m)	Area (ha)
2522/1	42	4 × 4	24.08
2523/1	41	4 × 6	15.14
2523/2	41	4 × 6	12.88
2523/3	41	4 × 6	3.68
2526/1	38	4 × 4	5.36
2526/2	38	4 × 4	11.02

จากข้อมูลประชากรไม้พะยูงที่ได้มีการสำรวจไว้โดยสวนป่าท่ากุ่ม โนโบรุ อุเมดะ นำมาจำแนกข้อมูลจำนวนต้นตามชั้นขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งแบ่งตามอายุไม้ พบว่าไม้พะยูงมีจำนวนมากที่สุดในชั้นความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 - 30 เซนติเมตร ในทุกชั้นอายุ โดยแปลงปลูกไม้พะยูงอายุ 38 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยใหญ่ที่สุดเท่ากับ 30.09±11.03 เซนติเมตร และมีความหนานแน่นเท่ากับ 129 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่วนแปลงปลูกอายุ 41 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 25.45±9.30 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมากที่สุดเท่ากับ 137 ต้นต่อเฮกตาร์ และแปลงปลูกอายุ 42 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 26.41±9.06 เซนติเมตร และมีความหนานแน่นท่ากับ 133 ต้นต่อเฮกตาร์ โดยความแตกต่างของจำนวนไม้พะยูงในแต่ละชั้นเส้นผ่านศูนย์กลางพบว่า แปลงปลูกอายุ 41 ปี มีความแปรปรวนมากที่สุด รองลงมาคืออายุ 42 และ 38 ปี มีค่าเท่ากับ 452,594.20, 218,577.00 และ 63,017.89 ตามลำดับ ดัง Table 2

ปริมาณผลผลิตในรูปของขนาดพื้นที่หน้าตัด พบว่า สวนป่าท่ากุ่ม โนโบรุ อุเมดะ มีขนาดพื้นที่หน้าตัดของไม้พะยูงรวมทั้ง 3 ชั้นอายุเท่ากับ 615.15 ตารางเมตร โดยแปลงปลูกไม้อายุ 38 ปี มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 10.36 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ รองลงมาคือ แปลงปลูกอายุ 42 และ 41 ปี มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 และ 7.90 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดัง Table 3

Table 2 Diameter at breast height (DBH) classes of Siamese Rosewood plantation.

DBH class (cm)	Number of trees		
	38 years	41 years	42 years
10 - 20	405	1,337	858
20 - 30	710	1,767	1,277
30 - 40	598	943	788
40 - 50	289	230	234
50 - 60	78	52	26
> 60	24	11	1
total	2,104	4,340	3,184
Average DBH (cm)	30.09±11.03	25.45±9.30	26.41±9.06
Tree density (trees ha^{-1})	129	137	133
Variance	63,017.89	452,594.20	218,577.00

Table 3 Basal area of the Siamese Rosewood plantation under various DBH classes.

DBH Class	Basal area (m^2)		
	38 years	41 years	42 years
10 - 20	8.27	25.85	17.71
20 - 30	35.27	87.53	62.53
30 - 40	56.83	86.90	73.19
40 - 50	44.02	34.18	35.31
50 - 60	17.67	11.92	6.00
> 60	7.70	3.96	0.31
total	169.76	250.34	195.05
Average (m^2 ha^{-1})	10.36	7.90	8.10

ข้อมูลการสำรวจด้วยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุด

การประเมินจำนวนต้นของไม้พะยูงจากการสำรวจด้วยวิธีชักตัวอย่างแบบจุด พบว่า จำนวนต้นที่ประเมินได้มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับโครงสร้างหมู่ไม้ของประชากร โดยไม้พะยูงส่วนใหญ่อยู่ในชั้นขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 - 30 เซนติเมตร เพียงแต่ในแปลงปลูกอายุ 38 และ 41 ปี มีความแตกต่างเนื่องจากจำนวนต้นไม้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 - 20 เซนติมเมตร มีปริมาณมากกว่าในชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 – 30 เซนติเมตร ในบาง BAF ส่วนแปลงปลูกอายุ 42 ปี พบว่าไม่มีไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตร ใน BAF ทุกขนาด เพราะจากข้อมูลประชากรในแปลงปลูกนี้มีไม้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 เซนติเมตร มีเพียง 1 ต้น ทำให้โอกาสสำรวจพบจากการสุ่มเลือกตัวอย่างนั้นมีน้อยมาก ขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยในแปลงปลูกอายุ 38 ปี BAF 2 มีขนาดใกล้เคียงกับประชากรมากที่สุดเท่ากับ 27.33±10.8 เซนติเมตร ส่วนแปลงปลูกอายุ 41 และ 42 ปี BAF 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยใกล้เคียงที่สุดเท่ากับ 24.00±9.8 และ 26.40±7.6 เซนติเมตร ส่วนความหนาแน่นของไม้พะยูงจากการประเมินด้วย BAF 2, 1 และ 4 มีค่าใกล้เคียงกับค่าประชากรในแต่ละแปลงปลูกมากที่สุดเท่ากับ 131, 201 และ 157 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ และความแปรปรวนของจำนวนต้นในแต่ละชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าสูงกว่าค่าประชากรในทุก BAF โดยค่าของ BAF ขนาดเดียวกันในแปลงปลูกแต่ละชั้นอายุมีลำดับความแปรปรวนเหมือนกับข้อมูลประชากร คือ แปลงปลูกอายุ 41 ปี มีความแปรปรวนมากที่สุดแต่ละขนาด BAF มีค่าเท่ากับ 1,359,657, 1,580,989, 1,823,404 และ 1,952,004 ตามลำดับ รองลงมาคืออายุ 42 และ 38 ปี ดัง Table 4

Table 4 Diameter at breast height (DBH) classes determined through the point sampling method.

DBH class (cm)	Number of trees											
	38 years				41 years				42 years			
	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4
10 - 20	926	638	801	853	2,703	2,799	3,101	3,102	1,258	870	705	940
20 - 30	705	770	1,218	838	2,227	2,603	2,692	2,905	1,557	1,755	1,863	1,798
30 - 40	465	484	783	259	1,107	1,234	1,496	1,408	1,017	1,003	909	836
40 - 50	125	168	247	227	295	388	422	483	344	462	317	216
50 - 60	52	81	119	77	34	43	65	32	18	37	0	0
> 60	5	11	16	21	12	24	36	21	0	0	0	0
total	2,278	2,151	3,184	2,275	6,377	7,090	7,811	7,811	4,194	4,126	8,024	3,790
Average*	24.55±10.4	27.33±10.8	25.92±11.3	25.04±11.7	23.19±9.4	23.76±9.6	23.72±10.1	24.00±9.8	26.11±9.2	27.52±9.2	27.34±7.8	26.40±7.6
Density**	139	131	194	139	201	224	246	253	174	171	158	157
Variance	144,894	99,556.46	224,780	138,361	1,359,657	1,580,989	1,823,404	1,952,004	445,589	444,024	498,986	493,609

Remark * : Average DBH (centimeter) ** : Tree density (trees/hectare)

จากการประเมินปริมาณไม้ในรูปของขนาดพื้นที่หน้าตัด พบว่า ในแปลงปลูกไม้พะยูงอายุ 38 ปี ขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยจาก BAF 2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 8.17 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ส่วน BAF 1 และ 3 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 7.50 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ แปลงปลูกอายุ 41 ปี ขนาด BAF 3 มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยมากที่สุด ส่วน BAF 1 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 13.17 และ 10.11 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ตามลำดับ และแปลงปลูกอายุ 42 ปี BAF 2 มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11.33 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ขณะที่ BAF 4 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 9.33 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ดัง Table 5

Table 5 Basal area determined using the point sampling method.

Age class	Basal area ($m^2 ha^{-1}$)			
	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4
38	7.50	8.17	7.50	7.67
41	10.11	11.78	13.17	13.11
42	10.50	11.33	10.00	9.33

การเปรียบเทียบข้อมูลการสำรวจ

ขนาดพื้นที่หน้าตัดจากการสำมะโนประชากรและการสำรวจด้วยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุดโดยใช้ BAF ขนาดต่าง ๆ พบว่าในแปลงปลูกอายุ 38 ปี BAF 2 มีความแตกต่างน้อยที่สุดเท่ากับ 2.19 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ ส่วนแปลงปลูกอายุ 41 ปี BAF 1 มีความแตกต่างน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.21 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ และแปลงปลูกอายุ 42 ปี BAF 4 มีความแตกต่างน้อยที่สุดเท่ากับ 1.23 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ (Table 6) จากนั้นทำการทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของประชากรและตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จาก BAF 1 ถึง 4 ในแปลงปลูกอายุ 38 และ 42 ปี กับค่าประชากรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนในแปลงปลูกอายุ 41 ปี พบว่าขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยจาก BAF 2, 3 และ 4 กับค่าประชากรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เนื่องจากมีจุดสำรวจที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามขนาด BAF ที่ใหญ่ขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีไม้พะยูงที่ถูกนับเป็นตัวอย่างจำนวนมากถึงแม้จะใช้ BAF ที่ขนาดใหญ่ขึ้นแล้วก็ตาม อาจเป็นเพราะตำแหน่งของจุดสำรวจอยู่ในบริเวณที่มีจำนวนไม้พะยูงค่อนข้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของแปลงปลูกอายุ 41 ปี ที่สูงกว่าแปลงอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยจึงได้ผลลัพธ์ที่มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง (overestimates) ค่อนข้างมาก โดยค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของ BAF 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 49.12, 66.71 และ 68.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 7)

Table 6 The differences between the basal area estimates obtained from census and point sampling method.

Age class	Difference value (m^2 ha^{-1})			
	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4
38	2.86	2.19	2.86	2.69
41	2.21	3.88	5.29	5.21
42	2.40	3.23	1.90	1.23

Table 7 Results of one sample t-test analysis and relative error of the basal area data.

Age class	p-value				Relative error (%)			
	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4	BAF 1	BAF 2	BAF 3	BAF 4
38	0.189	0.436	0.317	0.292	27.61	21.18	27.61	26.00
41	0.144	0.022*	0.006**	0.004**	28.02	49.12	66.71	68.82
42	0.425	0.315	0.537	0.711	29.60	39.89	23.43	15.20

Remark * : significant difference at $p<0.05$ ** : significant difference at $p<0.01$.

จากค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของ BAF ขนาดต่าง ๆ ที่แสดงถึงความแตกต่างของผลการสำรวจจากการสำมะโนประชากรและการสำรวจด้วยวิธีชักตัวอย่างแบบจุด พบว่าแปลงปลูกอายุ 38 ปี คือ BAF 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 21.18 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณเท่ากับ 88.33 และ 2.71 ตามลำดับ ส่วนแปลงปลูกอายุ 41 ปี BAF 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 28.02 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 37.52 และ 1.44 ตามลำดับ และแปลงปลูกอายุ 42 ปี พบว่า BAF 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 15.20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 126.06 และ 3.24 ซึ่งเมื่อพิจารณาระหว่างข้อมูลสถิติคือ ค่าความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ กับผลการประเมินขนาดพื้นที่หน้าตัด พบว่ามีความไม่สอดคล้องกัน โดยชั้นอายุที่ขนาด BAF มีค่าความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานน้อยกว่า กลับไม่ได้ให้ผลการประเมินที่ใกล้เคียงกับค่าประชากรมากที่สุด สาเหตุอาจเป็นเพราะตำแหน่งของจุดสุ่มตัวอย่างในบางแปลงปลูกอยู่ในบริเวณที่หมู่ไม้มีชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดความแปรปรวนของข้อมูลน้อย แต่ไม่ได้ครอบคลุมข้อมูลทุกลักษณะของประชากร ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละงานสำรวจว่าสามารถยอมรับได้หรือไม่ แต่เนื่องจากงานด้านการสำรวจทรัพยากรป่าไม้โดยทั่วไปเป็นเพียงการสำรวจตัวอย่างเท่านั้น

เกณฑ์ระดับความคลาดเคลื่อนที่มีการกำหนดขึ้นมาจึงเป็นการกำหนดค่าประมาณความผิดพลาดในการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (allowable error) ซึ่งแตกต่างจากค่าความคลาดเคลื่อนในการศึกษาครั้งนี้ที่เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากการสำรวจตัวอย่างและการสำรวจประชากร ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างขนาด BAF กับสถานภาพของหมู่ไม้ ขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นอายุ ในความเป็นจริงแล้วขนาดความโตดังกล่าวนั้นอาจไม่ได้แตกต่างกันมากอย่างชัดเจนจนส่งผลถึงการเลือกขนาด BAF แต่เป็นลักษณะการกระจายตัวของต้นไม้ที่ส่งผลมากกว่า สังเกตได้จากค่าความแปรปรวนของ BAF 4 ที่มีค่ามากกว่า BAF 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าต้นไม้ในแปลงปลูกอายุ 38 และ 41 ปี กระจายตัวอยู่มสม่ำเสมอมากกว่าแปลงปลูกอายุ 42 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Temchai (1998) ที่ใช้วิธีการชักตัวอย่างแบบจุดในการสำรวจป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง ป่าดงดิบแล้ง และสวนป่าสัก พบว่า BAF 2 นั้นเหมาะกับการใช้ประเมินพื้นที่หน้าตัดในสวนป่าสัก ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับ BAF ที่ใช้ในป่าเต็งรัง ป่าดงดิบแล้ง และป่าเบญจพรรณ ที่เหมาะกับ BAF 3, 4 และ 8 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Prongpreecha *et al*. (2019) ที่ทำการเปรียบเทียบโดยใช้เครื่องมือ Relascope ขนาดตั้งแต่ BAF 1 ถึง 10 สำรวจสวนป่าสักแปลงปลูกปี พ.ศ. 2526 ในพื้นที่สงวนชีวภาคห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง และพบว่า BAF 1 นั้นเหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นว่าสวนป่าหรือพื้นที่ที่มีหมู่ไม้ขึ้นอยู่สม่ำเสมอการเลือกใช้ BAF ขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเหมาะสมมากกว่า

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินขนาดพื้นที่หน้าตัดจากการสำรวจทั้ง 2 วิธี เพื่อพิจารณาขนาด BAF ที่เหมาะสม พบว่า BAF 1 เหมาะสมกับสวนป่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25.45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นของหมู่ไม้ 137 ต้นต่อเฮกตาร์ ขณะที่สวนป่าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 26.41 และ 30.09 เซนติเมตร มีความหนาแน่น 133 และ 129 ต้นต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ขนาด BAF 1, 2, 3 และ 4 มีความเหมาะสมในการใช้สำรวจเช่นเดียวกัน โดยผลการสำรวจที่ได้จาก BAF ที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่แตกต่างจากค่าประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการสำรวจครั้งนี้พบจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 8 ต้นหรือประมาณ 2 – 14 ต้นต่อจุดสำรวจ ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าที่ Husch *et al*. (2003) อธิบายไว้ว่าควรมีต้นไม้ที่ถูกนับเป็นตัวอย่าง 10 - 20 ต้นต่อจุดสำรวจ หรือ 6 - 16 ต้นต่อจุดสำรวจ จากการศึกษาของ West (2004) เนื่องจากจุดสำรวจที่พบต้นไม้ตัวอย่างส่วนใหญ่พบเพียง 1 - 5 ต้น คิดเป็นสัดส่วน 46.99 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าทำการเลือกใช้ขนาด BAF เหมาะสมกับสภาพหมู่ไม้ในพื้นที่ที่จะทำการสำรวจแล้ว การสำรวจด้วยตัวอย่างย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ซึ่งในแต่ละพื้นที่ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นหากต้องการผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงอาจต้องทำการสำรวจให้ละเอียดมากขึ้น แต่อาจเพิ่มมาด้วยการลงทุนที่สูงขึ้นทั้งด้านงบประมาณ ระยะเวลา หรือกำลังคน

สรุป

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้ที่ได้จากการสำมะโนประชากรและการสำรวจด้วยวิธีการชักตัวอย่างแบบจุดพบว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยต่อเฮกตาร์ของ BAF 1, 2, 3 และ 4 มีค่าแตกต่างจากค่าประชากรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถสรุปการเลือกใช้ขนาด BAF ได้ว่า BAF 1 มีความเหมาะสมในการสำรวจสวนป่าที่มีขนาดความ

โตเฉลี่ย 25.32 - 29.32 เซนติเมตร ความหนาแน่น 130 - 137 ต้นต่อเฮกตาร์ ส่วนขนาด BAF 2, 3 และ 4 เหมาะกับสวนป่าที่มีความโตเฉลี่ย 26.41 - 30.09 เซนติเมตร และความหนาแน่น 129 - 133 ต้นต่อเฮกตาร์ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสำรวจพื้นที่สวนป่าอื่น ๆ ได้จากการพิจารณาสถานภาพของสวนป่าที่ต้องการสำรวจเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาด BAF ให้เหมาะสม เพื่อประเมินปริมาณผลผลิตในรูปของขนาดพื้นที่หน้าตัดไม้ ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดต่อหน่วยเนื้อที่กับปริมาณผลผลิตในรูปอื่น ๆ เช่น ปริมาตรของเนื้อไม้หรือน้ำหนักสด เพื่อเพิ่มความสะดวกในการประเมินปริมาณไม้ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

REFERENCES

Department of National Park Wildlife and Plant Conservation. 2014**. Forest Inventory and Assessment of Carbon Sequestration Forest Area.** The Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Bangkok. (in Thai)

Forest Industry Organization. 2018. **Logging in Teak Plantation Handbook.** Forest Industry Organization. (Unpublished manuscript). (in Thai)

Hovind, H.J. and C.E. Rieck**.** 1961. **Basal Area and Point Sampling Interpretation and Application.** The Wisconsin Conservation Department, Wisconsin.

Husch, B., T.W. Beers and J.A. Kershaw. 2003**. Forest Mensuration**. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Lakarnchua, S. 2004. **Log Grading and Merchantable Volume of Teak: A Case Study of Thong Pha Phum Plantation, Amphoe Thong Pha Phum, Changwat Kanchanaburi.** M.S. Thesis, Kasetsart University**.** *Cited* Attebring, J. and T. Jonsson. 1999. FIO organizational development project forest certification. *In* **Executive Status Report September 29.** Bangkok. (in Thai)

Mendoza, G.A., B.B. Bare and Z. Zhou. 1993. A fuzzy multiple objective linear programming approach to forest planning under uncertainty. **Agric. Syst.** 41 (3): 257-274

Nunak, N. and T. Suesut. 2012. **Measurement and Instrumentation**. Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. (in Thai)

Prasomsin, P. 2005. **Sampling Techniques in Forest Resources Inventory**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Prasomsin, P. and K. Duangsathaporn. 2005. **Field Forest Mensuration Handbook.** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Prongpreecha, K., P. Lumyai, K. Palakit and P. Prasomsin. 2019. Comparison of basal area factor (BAF) in teak plantation inventory planted in 2526 B.E.: a case study of Huai Thak biosphere reserve,

Ngao district, Lampang province, pp. 525-533. *In* **Forest Conference 2019.** August 19–21, 2019. Forest Industry Organization. Bamgkok. (in Thai)

Sukwong S. 1974. **Sampling Techniques of Forest Inventory**. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Temchai, T. 1998**. Application of Point Sampling in Forest Resource Inventory at Mae Ngao Demonstration Forest, Amphoe Ngao, Changwat Lampang.** M. S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Thammincha, S. 1983. **Sampling Method in Forest Resource.** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Wacharakitti, S. 1982**. Forest Resources Inventory.** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok (in Thai)

West, P.W. 2004. **Tree and Forest Measurement.** Springer-Verlag Berlin, Germany

นิพนธ์ต้นฉบับ

แบบจำลองการเติบโต และผลผลิต ของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 อายุ 4 ปี ณ สวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว

Growth and Yield Models of Four Year Old Eucalyptus Clones K7 and K62 at the Sa Kaeo Plantation, Sa Kaeo Province

บุลกิจ แสวงผล[1,2] **Boonkit Sawiangphon**[1,2]

พิชิต ลำใย[1*] **Pichit Lumyai**[1*]

สมพร แม่ลิ่ม[1] **Somporn Maelim**[1]

ชลเทพ บัวแก้ว[3] **Chonlathep Boukaew**[3]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

[2]สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Protected Area Rehabilitation and Development Office, Department of National Parks Wildlife and Plant conservation, Bangkok 10900, Thailand

[3]สวนป่าสระแก้ว องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ เขตศรีราชา ชลบุรี 20110

Sa Kaeo Plantation, Si Racha, Sub-division Forest Industry Organization, Chon Buri, 20110, Thailand

[*]Corresponding Author, E-mail: fforpcl@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 29 กันยายน 2564 **รับแก้ไข** 1 พฤศจิกายน 2564 **รับลงพิมพ์** 4 พฤศจิกายน 2564

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the survival rate and construct a growth-yield model of Eucalyptus clones K7 and K62 at the Sa Kaeo plantation located in the Sa Kaeo province. The sampling fraction of the forest resource inventory, as estimated by the systematic sampling rows method, was 1.125%. The mean survival rate of eucalyptus clones K7 was found to be 97.15±1.37%, the mean height was 12.61±0.06 m., and the average diameter at breast height (DBH) was 8.63±0.08 cm. The eucalyptus clones K62 had a mean survival rate of 93.53±5.28%, an average height of 12.91±0.07 m., and DBH of 8.77±0.10 cm. Best fit equations from the statistical analysis were used to assess the fresh weight (Mt), biomass (Wt), and volume (V) of eucalyptus. The optimal equations for estimating the growth and yield of K7 were: fresh weight (Mt) = $0.0993(D^2Ht)^{0.8661}$ (R^2 = 0.991), biomass (Wt) = $0.0527(D^2Ht)^{0.8661}$ (R^2 = 0.991), and volume (V) = $0.0001(D^2Ht)^{0.852}$ (R^2 = 0.989). The best fit equations for eucalyptus clone K62 were: fresh weight (Mt) = $0.0854(D^2Ht)^{0.9127}$ (R^2 = 0.998), biomass (Wt) = $0.0542(D^2Ht)^{0.9127}$ (R^2 = 0.984), and volume (V)=

0.00009$(D^2Ht)^{0.871}$ (R^2 = 0.995). The mean weights of K7 and K62 clones were 10.662±0.383 tons/rai and 13.367±0.481 tons/rai, respectively. The mean volumes of K7 and K62 clones were 0.033 and 0.048 cubic meters/tree, respectively. The average volume of the sample plots were 10.340±0.035 and 12.3850±0.043 m^3/rai, respectively. The t-test was used to compare the weight and volume of the K7 and K62 clones and we found a significant difference ($P<0.05$). We conclude that the eucalyptus clone K62 can be recommended to farmers as their fresh weight, biomass, and volume was higher than the K7 clone.

Keywords: Growth models, Yield models, Eucalyptus clones K7 and K62

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาอัตราการรอดตาย แบบจำลองการเติบโตและผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 อายุ 4 ปี สวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ใช้วิธีการสำรวจแบบ Systematic Sampling Rows ซึ่งกำหนดเปอร์เซ็นต์สำรวจ 1.125 % ผลการศึกษาพบว่ายูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ย 97.15±1.37 มีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.61±0.06 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 8.63±0.08 เซนติเมตร ส่วนสายพันธุ์ K62 มีอัตราการรอดตายเฉลี่ย 93.53±5.28 เปอร์เซ็นต์ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.91±0.07 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยเท่ากับ 8.77±0.10 เซนติเมตร โดยมีแบบจำลองการเติบโตและผลผลิตดังนี้ ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 น้ำหนักสด (Mt) = 0.0993$(D^2Ht)^{0.8661}$ (R^2 = 0.991) มวลชีวภาพ (Wt) = 0.0527$(D^2Ht)^{0.8661}$ (R^2 = 0.991) และปริมาตร (V) = 0.0001$(D^2Ht)^{0.852}$ (R^2 = 0.989) ส่วนยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K62 น้ำหนักสด (Mt) = 0.0854$(D^2Ht)^{0.9127}$ (R^2 = 0.998) มวลชีวภาพ (Wt) = 0.0542$(D^2Ht)^{0.9127}$ (R^2 = 0.984) และปริมาตร (V) = 0.00009$(D^2Ht)^{0.871}$ (R^2 = 0.995) โดยพบว่าน้ำหนักสดเฉลี่ยของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 เท่ากับ 10.662±0.383 ตัน/ไร่ และ น้ำหนักสดเฉลี่ยของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 เท่ากับ 13.367±0.481 ตัน/ไร่ ปริมาตรไม้เฉลี่ยยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 0.033 และ 0.048 ลูกบาศก์เมตร/ต้น ปริมาตรไม้เฉลี่ยในแปลงตัวอย่างเท่ากับ 10.340±0.035 และ 12.3850±0.043 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ โดยค่าน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตร มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยสายพันธุ์ K62 ควรส่งเสริมการปลูกกับเกษตรกร เนื่องจากมีผลผลิตที่มากกว่าสายพันธุ์ K7

คำสำคัญ การเติบโต ผลผลิต ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62

คำนำ

ยูคาลิปตัส อยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีถิ่นกำเนิดในทวีปออสเตรเลียเป็นส่วนใหญ่ มีชนิดพันธุ์มากกว่า 700 ชนิด (Royal Forest Department, 2013) ประเทศไทยได้เริ่มนำไม้ยูคาลิปตัสมาปลูกตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2493 โดยไม้ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 เป็นสายพันธุ์ที่พัฒนามาจากยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส *Eucalyptus camaldulensis* กับยูคาลิปตัสสายพันธุ์ดีกลุปต้า *Eucalyptus deglupta* สามารถนำไปปลูกด้วยระยะปลูกที่แคบ และภายใต้ร่มเงาได้ดี

(Srilert and Diloksumpun, 2011) ส่วนยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K62 เป็นยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า พัฒนาโดยบริษัทสวนกิตติ จำกัด (Klangprapan, 2019) สามารถเติบโตได้ดีในแทบทุกสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่น้ำฝนน้อยจนถึงปานกลาง จึงนิยมปลูกกันมากอย่างแพร่หลาย โดยยูคาลิปตัสที่ได้รับความนิยมปลูกได้แก่สายพันธุ์ K7 และ สายพันธุ์ K62 เป็นสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตและสามารถเติบโตได้ดีในพื้นที่ภาคตะวันออก ซึ่งพื้นที่ราบ และที่ราบต่ำ ที่อุ้มน้ำดีหรือดินร่วนปนลูกรัง ผลผลิตของสายพันธุ์ K7 และ K62 ที่ระยะปลูก 2x3 เมตร มีน้ำหนักเฉลี่ย 17 ตันต่อไร่ และ 15 – 20 ตันต่อไร่ตามลำดับ (Department of Agriculture, 2012)

ป่าเศรษฐกิจถือเป็นพื้นที่ป่าที่กำหนดไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของพื้นที่ประเทศ เพื่อการผลิตไม้และของป่าเพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ตามนโยบายป่าไม้แห่งชาติ (Royal Forest Department, 2013) ยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งที่มีการส่งเสริมให้ปลูกในสวนป่ามากขึ้น เนื่องจากเนื้อไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง (Srilert and Diloksumpun, 2011) การเติบโตของไม้ชนิดต่างๆ คือการเพิ่มขึ้นของขนาดปริมาตร หรือมวลชีวภาพต้นไม้ด้วยกระบวนการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ สามารถวัดได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง น้ำหนักแห้ง เป็นต้นผลผลิตมีความหมาย 2 ด้าน ผลผลิตทางการค้า เช่น ไม้ท่อน ไม้แปรรูป วัดจากน้ำหนัก และผลิตทางชีวภาพซึ่งเป็นผลจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและการดูดซับธาตุอาหารมักบอกเป็นมวลชีวภาพ นับว่าเป็นตัวชี้วัดถึงศักยภาพของป่าในประเทศไทยในเรื่องของขนาด ปริมาณ คุณภาพการผลิต รวมทั้งความเหมาะสมของพื้นที่ป่านั้นๆ ด้วย นอกจากนั้นยังใช้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบเพื่อหาทางเลือกในการจัดการและวนวัฒนวิธีต่างๆ ดังนั้นข้อมูลการเติบโต และผลผลิตของต้นไม้มีความสำคัญยิ่งในการจัดการทรัพยากรป่าไม้อย่างยั่งยืน (Siritachchayetch, 2008) การศึกษาเกี่ยวกับตัวแบบการเติบโตและผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตรไม้ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตไม้และตัวแปรอิสระ และสร้างตัวแบบจากการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ เพื่อใช้คำนวณผลผลิตที่ถูกต้องนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในสวนป่าและป่าธรรมชาติ (Ounban *et al.*, 2016; Khunsathien *et al.*, 2021; Wongnam and Prasomsin, 2020; Pornleesangsuwan *et al.*, 2014)

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการรอดตาย การเติบโตของไม้ยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 และ K62 ผลผลิตในรูปน้ำหนักสดและมวลชีวภาพและปริมาตรของลำต้น กิ่ง และใบ โดยการคัดเลือกสมการที่เหมาะสมเพื่อประมาณหาผลผลิตของไม้ดังกล่าว เพื่อประเมินสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการปลูก สำหรับส่งเสริมการปลูกไม้เศรษฐกิจที่มีรอบตัดฟันเร็ว และสร้างมูลค่าในประชาชนในท้องที่ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

สวนป่าสระแก้ว มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 74 เมตร มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 858.8 มิลลิเมตร อุณหภูมิระหว่าง 24.66 – 36.93 องศาเซลเซียส ตั้งอยู่ริมทางหลวงหมายเลข 317 (จันทบุรี - สระแก้ว) อยู่ระหว่างหลักกิโลเมตรที่ 117 – 118 ตำบลวังน้ำเย็น อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว สวนป่าสระแก้วตั้งอยู่ทางทิศใต้ของจังหวัดสระแก้ว ห่างจากอำเภอเมืองสระแก้วประมาณ 37 กิโลเมตร ห่างจากกรุงเทพ ประมาณ 240 กิโลเมตร

(Klangprapan, 2019) ดังแผนที่ตั้งของสวนป่าสระแก้ว ในกรณีศึกษามีพื้นที่จำนวน 94 ไร่ โดยแบ่งสายพันธุ์ K7 จำนวน 102 แถวและสายพันธุ์ K62 จำนวน 114 แถว มีการปลูกแบบแถวเดี่ยว ระยะการปลูก 2x3 เมตร ดัง Figure 1

Figure 1 Planting area under the eucalyptus clones K7 and K62 at Sa Kaeo plantation, Sa Kaeo province.

การรวบรวมข้อมูล

โดยใช้วิธีวางแปลงสำรวจแบบ Systematic Sampling Rows ซึ่งกำหนดเปอร์เซ็นต์สำรวจ เท่ากับ 1.125 % โดยการการวางเส้นฐาน (base line) ซึ่งเป็นถนนเพื่อใช้เป็นฐานในการสำรวจ (Duangsathaporn and Lumyai, 2016) ดังแสดงใน Figure 2

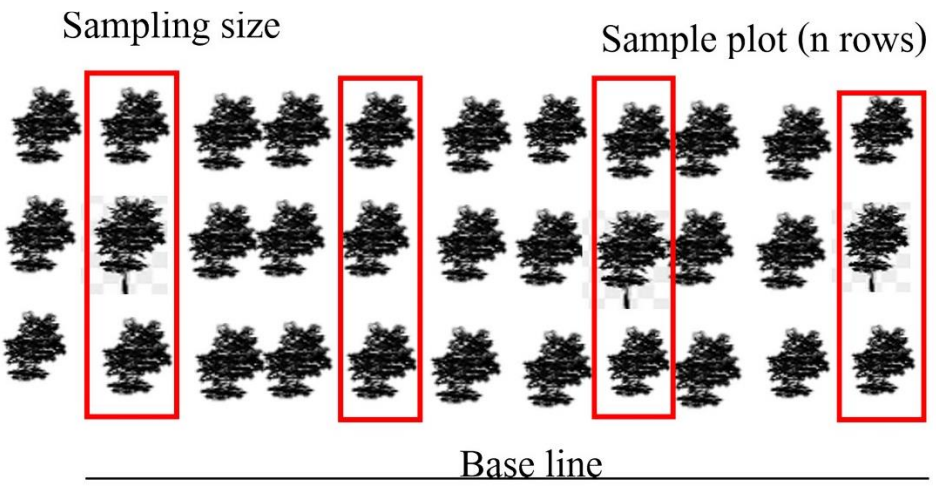


Figure 2 Systematic sampling rows in the sample plot.

การหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม (n) โดยใช้สูตรของ (Niyamangkoon, 2000) ดังสมการที่ 1

$$n = \frac{t^2(CV^2)}{(AE)^2} \quad (1)$$

กำหนดให้ n คือจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม (ต้น)

t คือ ค่าคะแนนมาตรฐานที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 1.96

CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของหน่วยตัวอย่าง (coefficient of variation)

AE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดในการประมาณค่าประชากร (10%) (allowable error)

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

เก็บข้อมูลโดยวัดความสูงทั้งหมด (H) ของไม้ยูคาลิปตัสในแปลงตัวอย่างทุกต้นโดยใช้ Haga Altimeter วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height; DBH) ของไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้ Diameter Tape และนับจำนวนต้นที่รอดตายในแต่ละแถวเพื่อหาอัตราการรอดตาย ดังสมการ (2) จากข้อมูลการเติบโตที่วัดได้ นำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ทุกต้นมาจัดแบ่งอันตรภาคชั้น 5 อันตรภาคชั้น แล้วกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละอันตรภาคชั้นนั้น จากนั้นเลือกต้นไม้ตามขนาดที่กำหนดแล้วตัดที่ระดับชิดดิน จำนวนสายพันธุ์ละ 30 ต้น

$$\text{อัตราการรอดตาย} = \left(\frac{\text{จำนวนต้นที่เหลืออยู่}}{\text{จำนวนต้นทั้งหมด}}\right) \times 100 \quad (2)$$

การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลผลิต

บันทึกความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ดับชิดดิน (D_0) ที่ระดับ 0.30 เมตร (D_{30}) ที่ระดับ 1.30 เมตร และทุกๆ 1 เมตรจนถึงปลายยอด จากนั้นบันทึกน้ำหนักสดลำต้น กิ่ง ใบ แยกเป็นรายท่อน นำส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ ไปชั่งน้ำหนักสดแต่ละท่อน จากนั้นสุ่มเก็บตัวอย่างลำต้น กิ่ง ใบ โดยสุ่มเก็บตัวอย่างแต่ละส่วนลำต้นขนาด 2-5 เซนติเมตร ของกิ่ง

และใบ ไม่น้อยกว่า 500 กรัม โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในทุกๆ ส่วนของลำต้นนำไปชั่งน้ำหนักสดแล้ว แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างอยู่ในระดับคงที่ แล้วนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแห้งเพื่อคำนวณหามวลชีวภาพต่อไป (Hnukaew *et al*., 2015)

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ของตัวอย่างลำต้น กิ่ง ใบ ดังสมการที่ 3

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad (3)$$

นำเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้ในแต่ละส่วนไปหาน้ำหนักสดของส่วนต่างๆ ให้เป็นมวลชีวภาพ ดังสมการที่ 4

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100+\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}} \quad (4)$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

การคำนวณปริมาตรไม้ การวิเคราะห์ข้อมูลในรูปปริมาตรไม้ที่ได้ค่าต่างๆ แล้ว ได้แก่ ความโตที่ระดับความสูงเพียงอก ความสูงทั้งหมด นำความโตที่ได้ไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วน แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรไม้จากสูตร Smalian' s Formula (Duangsathaporn, 2005) ดังสมการที่ 5 - 6

$$V = \left(\frac{B+b}{2}\right) L \quad (5)$$

ส่วนท่อนสุดท้ายของลำต้นสามารถคำนวณได้จากสูตรรูปทรงกรวย (Duangsathaporn, 2005) ดังสมการที่ 6

$$V_{top} = 1/3(Ba \times L_{top}) \quad (6)$$

กำหนดให้ V คือปริมาตรไม้ (m^3)

V_{top} คือ ปริมาตรของลำต้นช่วงสุดท้าย (m^3)

B คือ พื้นที่หน้าตัดโคนท่อน (m^2)

b คือ พื้นที่หน้าตัดปลายท่อน (m^2)

V_{top} คือ ปริมาตรของลำต้นช่วงสุดท้าย

L คือ ความยาวท่อนไม้ (m)

Ba คือ พื้นที่หน้าตัดของส่วนโคนต้นที่เหลือเมื่อแบ่งเป็นท่อน ท่อนละ 1 เมตร สามารถวิเคราะห์ ดังสมการ (7)

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = \frac{(\text{เส้นรอบวง})^2}{4\pi} \quad (7)$$

เลือกสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปรตาม (Y) ได้แก่ ปริมาตรไม้ น้ำหนักสด และมวลชีวภาพไม้ส่วนต่างๆ ของต้นไม้ และ X คือ ค่าตัวแปรอิสระ DBH, Ht และ Hm เลือกสมการสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of determination: R^2) สูงที่สุด แสดงว่าเป็นสมการที่ดีและเหมาะสม เนื่องจาก R^2คือค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดใช้ในการอธิบายระหว่างตัวแปรอิสระ คือขนาดความเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงและตัวแปรตามคือผลผลิต คือมวลชีวภาพ และปริมาตร หากมีค่าสูงที่สุดแสดงว่าสามารถอธิบายสัมพันธ์ตัวแปรดังกล่าวข้างต้นได้ดีที่สุด และค่า F-test สูงกว่าจะเหมาะสมกว่า และตัวแปรอิสระมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error: SE) ต่ำกว่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า สมการที่ประมานน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตร (Prowmasorn., 2019 Suksamran, 2005; Sukwong, 2009) ดัง Table 1

นำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ ไปคำนวณหาน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตรไม้ของยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 และ K62 จำนวน 30 ต้น และทำการเปรียบเทียบความโต ความสูง น้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตรของแต่ละสายพันธุ์โดยใช้การทดสอบ t-test โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

Table 1 Weight, biomass, and volume equations determined using multiple regression analysis of the eucalyptus clones.

No.	equation
1	$Y = a+ b\ DBH^2Ht$
2	$Y = a+ b\ DBH + cD^2$
3	$Log\ Y = log\ a + b\ logDBH + c\ logHm$ หรือ $Y = a\ D^bHm^c$
4	$Log\ Y = log\ a + b\ logDBH + c\ logHt$ หรือ $Y = a\ D^bHt^c$
5	$Log\ Y = log\ a + b\ log\ DBH^2Hm$ หรือ $Y = a\ Hm^b$
6	$Y = a + b\ DBH + c\ Hm$
7	$Y = a + b\ DBH + c\ Ht$
8	$Y = log\ a + b\ logDBH^2Ht$ หรือ $Y = a\ DBH^2Ht^b$

Remark Y =Yield (Weight, Biomass Volume), Ht = Total Height, in metres, a – c = constant of equations, D= Dimeter at breast height, in centimetres, Hm = merchantable height, in metres

Reference: (Spurr,1952; Wongnam and Prasomsin, 2020; Kira and Shidei, 1967)

ผลและวิจารณ์

การเติบโต

จากการศึกษาพบว่า ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 จำนวน 415 ต้น และยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 จำนวน 383 ต้น มีความสูงเฉลี่ยน้อยกว่า สายพันธุ์ K62 โดยยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 มีความสูงระหว่าง 7.1 - 18.75 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกระหว่าง 2.86 - 12.72 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.61±0.06 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 8.63±0.08 เซนติเมตร ส่วนยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 มีความสูงระหว่าง 7.90 – 18.60 เมตร มีระดับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกระหว่าง 2.51 - 13.14 เมตร ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.91±0.07 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยเท่ากับ 8.77±0.10 เซนติเมตร และอัตราการรอดตายยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เฉลี่ย 97.15±1.37 และ 93.53±5.28 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีค่า P-value ของความสูงเท่ากับ 0.04^{*} แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ P-value ของความโตเท่ากับ 0.31^{ns} แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ สอดคล้องกับ Klangprapan (2019) ที่ศึกษาการเติบโตของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K58 และ K62 อายุ 4 ปี ณ สวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว พบว่าความสูงและความโตมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ และ Pantawong (2004) ได้ศึกษาการเติบโตของต้นไม้ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ซึ่งในการศึกษายูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 1 - 6 ปี โดยในอายุ 4 ปี มีอัตราการรอดตายสูงที่สุด เท่ากับ 98.13±0.99 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

Table 2 Comparison between height and diameter at breast height of the eucalyptus clones**.**

	Height (H) (metres)			Diameter at breast height (DBH) (centimetres)		
Clone	Mean	SD	P-value	Mean	SD	P-value
K7	12.61	0.06	0.04*	8.63	0.08	0.31ns
K62	12.91	0.07		8.77	0.10	

Remark * = Significance difference at (P<0.05), ns = nonsignificant (at a level of 95%).

ผลผลิต

น้ำหนักสด

จากการศึกษาแบบจำลองทั้ง 8 รูปแบบ ในความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสดของลำต้น กิ่ง ใบ กับตัวแปรอิสระ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมด (Ht) ทั้ง 2 สายพันธุ์ การศึกษาแสดงค่าสถิติดัง Table 1 ยกตัวอย่างสมการที่ 1, 7 และ 8 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด R^2 สูงกว่า 0.9 มีค่า P<0.001 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด (P<0.05) พิจารณาสมการที่ 8 จะพบ R^2 ของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดิน เท่ากับ 0.990, 0.968, 0.963 และ 0.991 หมายความว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงสามารถอธิบายการแปรผันของน้ำหนักสด มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับ 0.047, 0.094, 0.082 และ 0.052 ตามลำดับ ค่า F มีค่าเท่ากับ 1282.23, 396.82, 342.60, 1431.310 ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ 8 มีค่าสถิติเหมาะสมสุดเมื่อเทียบกับสมการอื่น ดังTable 3 ส่วนยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 ยกตัวอย่างสมการที่ 1, 7 และ 8 ที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.9 มีค่า P<0.001 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด (P<0.05) โดยพิจารณาสมการที่ 8 จะพบ R^2 ของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดิน เท่ากับ 0.978, 0.952, 0.900 และ 0.988 หมายความว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงสามารถอธิบายการแปรผันของน้ำหนักสด ของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินได้ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับ 0.046, 0.152, 0.195 และ 0.053 ตามลำดับ ค่า F มีค่าเท่ากับ 370.14, 241.86, 100.500, 106.000 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสถิติเหมาะสมสุดเมื่อเทียบกับสมการอื่น ดัง Table 3 ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ Klangprapan (2019) ในการเลือกสมการน้ำหนักสดของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K58 และ K62 อายุ 4 ปี ณ สวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ที่พิจารณาเลือกสมการความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีของน้ำหนักสด โดยรูปแบบที่เลือกตัวแปรอิสระ คือ DBH^2Ht เช่นกัน

Table 3 Weight equations from regression analysis of the eucalyptus clones K7 and K62.

Clone	Equations	R^2	R^2-adj	SE	F	P-value
K7	1.Ms = -0.16 + 0.033070DBH^2Ht	0.991	0.990	2.620	1246.040	<0.001*
	7.Ms = -0.67 + 17.87DBH-8.83Ht	0.940	0.939	7.05	94.850	<0.001*
	8.Ms = 0.0670$(DBH^2Ht)^{0.8952}$	**0.990**	**0.989**	**0.047**	**1282.23**	**<0.001***
	1.Mb = -0.085 + 0.001888DBH^2Ht	0.971	0.970	0.088	463.470	<0.001*
	7.Mb = 0.39 + 2.223DBH - 1.262Ht	0.918	0.917	0.867	66.740	<0.001*
	8.Mb = 0.0104$(DBH^2Ht)^{0.8383}$	**0.968**	**0.967**	**0.094**	**396.82**	**<0.001***
	1.Ml = 0.1824+ 0.001317DBH^2Ht	0.970	0.968	0.968	291.630	<0.001*
	7.Ml = 0.431 + 1.730DBH - 0.950Ht	0.943	0.941	0.580	99.750	<0.001*
	8.Ml = 0.0322$(DBH^2Ht)^{0.6710}$	**0.963**	**0.960**	**0.082**	**342.60**	**<0.001***
	1.Mt = 0.28 + 0.03920DBH^2Ht	0.981	0.980	3.357	1239.35	<0.001*
	7.Mt = -5.9 + 21.82DBH - 11.04Ht	0.942	0.941	8.280	96.950	<0.001*
	8.Mt = 0.0993$(DBH^2Ht)^{0.8661}$	**0.991**	**0.990**	**0.052**	**1431.310**	**<0.001***
K62	1.Ms = 0.70 + 0.039704DBH^2Ht	0.992	0.991	3.955	1371.770	<0.001*
	7.Ms = -28.6 + 21.26DBH - 7.70Ht	0.949	0.948	10.464	117.370	<0.001*
	8.Ms = 0.0636$(D^2Ht)^{0.9367}$	**0.978**	**0.976**	**0.046**	**370.14**	**<0.001***
	1.Mb = 0.040 + 0.003378DBH^2Ht	0.948	0.946	0.665	239.100	<0.001*
	7.Mb = -1.20 + 2.255DBH - 1.082Ht	0.918	0.917	0.867	66.740	<0.001*
	8.Mb = 0.0027$(DBH^2Ht)^{0.998}$	**0.952**	**0.948**	**0.152**	**241.86**	**<0.001***
	1.Ml = 0.402 + 0.00754DBH^2Ht	0.807	0.806	0.261	291.920	<0.001*
	7.Ml = -1.69 - 0.657Ht + 1.664DBH	0.919	0.917	0.976	64.480	<0.001*
	8.Ml = 0.0322$(DBH^2Ht)^{0.9135}$	**0.900**	**0.884**	**0.195**	**100.50**	**<0.001***
	1.Mt = 0.57 + 0.04584DBH^2Ht	0.990	0.989	4.633	153.590	<0.001*
	7.Mt = -31.5 - 9.43Ht + 25.18DBH	0.948	0.946	12.190	109.370	<0.001*
	8.Mt = 0.0854$(DBH^2Ht)^{0.9127}$	**0.988**	**0.987**	**0.053**	**106.000**	**<0.001***

Remarks: Ms = stem fresh weight (kilograms), Mb = branch fresh weight (kilograms), Ml = leaf fresh weight (kilograms), Mt = weight above ground (kilograms), Ht = Total height (metres), D = Diameter at breast height (centimetres).

* = Significant difference at P<0.05.

มวลชีวภาพ

ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างลำต้น กิ่ง ใบ สายพันธุ์ K7 เฉลี่ยเท่ากับ 89.45, 65.83 และ 109.66 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างลำต้น กิ่ง ใบ สายพันธุ์ K62 เฉลี่ยเท่ากับ 78.37, 59.66 และ 106.21 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาแบบจำลองทั้ง 8 รูปแบบ ในความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ กับตัวแปรอิสระ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมด (Ht) ทั้ง 2 สายพันธุ์ ผลการศึกษาแสดงค่าสถิติ Table 1 ยกตัวอย่างสมการที่ 1, 7 และ 8 ที่มีค่า R^2สูงกว่า 0.9 มีค่า P<0.001 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด (P<0.05) พิจารณาสมการที่ 8 จะพบ R^2ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับ 0.992, 0.969, 0.960 และ 0.991 หมายความว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงสามารถอธิบายการแปรผันของมวลชีวภาพยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินได้ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับ 0.052, 0.087, 0.084 และ 0.052 ตามลำดับ ค่า F มีค่าเท่ากับ 1550.95, 414.87, 306.41, 1429.95 ตามลำดับซึ่งสมการที่ 8 มีค่าสถิติเหมาะสมสุดเมื่อเทียบกับสมการอื่น ดังTable 4 ส่วนสายพันธุ์ K62 ยกตัวอย่างสมการที่ 1, 7 และ 8 ที่มีค่า R^2สูงกว่า 0.9 มีค่า P<0.001 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด (P<0.05) พิจารณาสมการที่ 8 จะพบ R^2 ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับเท่ากับ 0.986, 0.920, 0.901 และ 0.984 หมายความว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงสามารถอธิบายการแปรผันของมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K62 ได้ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) ส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่เหนือพื้นดินเท่ากับ 0.069, 0.203, 0.190 และ 0.062 ตามลำดับ ค่า F มีค่าเท่ากับ 684.01, 55.95, 98.76, 750.29 ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ 8 มีค่าสถิติเหมาะสมสุดเมื่อเทียบกับสมการอื่น ดัง Table 4 Jamroenprucksa (1987) ศึกษาสมการประมานผลผลิตไม้ยูคาลิปตัสสมการที่เลือกมี D^2Ht เป็นตัวแปรอิสระ โดยการใช้ D^2Ht ย่อมลดข้อผิดพลาดในการประมาณอันเนื่องจากการแปรผัน ระหว่างขนาดความโตกับความสูงด้วย สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ เช่นเดียวกับ การศึกษาของ Jundang (2010) ได้ศึกษาสมการมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ได้วิเคราะห์สมการแอลโลเมตรีของความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพในส่วนต่างๆ (ลำต้น กิ่ง ใบ) และตัวแปรอิสระ parabolic volume คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์เพียงอกยกกำลังสองคูณด้วยความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (D^2Ht) โดยเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ตัวแปรอิสระที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงทั้งหมด คือ (DBH^2Ht) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนอื่นๆ ของลำต้น รวมถึง Petmark *et al*. (1987) ทำการศึกษามวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 2 - 7 ปี กล่าวว่าในการศึกษาการเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์มีอัตราการเติบโตที่ไม่คงที่เปลี่ยนแปลงตามอายุ โดยจะมีอัตราการเติบโตสูงในช่วงแรก และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงจุดสูงสุดของการเติบโต ดังนั้นรูปแบบที่เหมาะสมในการประมาณหามวลชีวภาพนั้นอยู่ในรูป $\text{Log } Y = \log a + b \log(X)$ หรือ $Y = a (X)^b$ แต่ความโตและความสูงคือตัวกำหนดซึ่งมวลชีวภาพ หรือปริมาตร ดังนั้นในการประมาณมวลชีวภาพ หรือ

ปริมาตรที่เป็นตัวแปรตามจะเกิดความถูกต้องมากที่สุด นั้นต้องนำความโตและความสูงมาเป็นตัวแปรอิสระในการประมาณ และครั้งนี้เป็นการประมาณผลผลิตไม้เฉพาะถิ่น ไม่แนะนำให้ใช้นอกพื้นที่ศึกษา เพราะอาจทำให้มวลชีวภาพคลาดเคลื่อนได้ (Khunsathien *et al.,* 2021)

Table 4 Biomass equations from the regression analysis of eucalyptus clones K7 and K62.

Clone	Equations	R^2	R^2-adj	SE	F	P-value
K7	1.Ws = 0.266 + 0.017071DBH^2Ht	0.994	0.992	1.107	1465.880	<0.001*
	7.Ws = -4.16 + 8.95DBH-8.83Ht	0.957	0.956	3.095	133.130	<0.001*
	8.Ws = 0.0338$(DBH^2Ht)^{0.9029}$	**0.992**	**0.991**	**0.052**	**1550.95**	**<0.001***
	1.Wb = 0.085 + 0.00188DBH^2Ht	0.960	0.959	0.321	313.960	<0.001*
	7.Wb = 0.203 + 21.225DBH – 0.687Ht	0.939	0.938	0.414	92.390	<0.001*
	8.Wb = 0.0086$(DBH^2Ht)^{0.7889}$	**0.969**	**0.967**	**0.087**	**414.870**	**<0.001***
	1.Wl = 0.1824+ 0.001317DBH^2Ht	0.969	0.968	0.196	211.500	<0.001*
	7.Wl = 0.174 + 0.813DBH - 0.443Ht	0.935	0.941	0.580	99.750	<0.001*
	8.Wl = 0.0175$(DBH^2Ht)^{0.6496}$	**0.960**	**0.959**	**0.084**	**306.41**	**<0.001***
	1.Wt = 0.533 + 0.020277DBH^2Ht	0.991	0.990	1.324	1133.320	<0.001*
	7.Wt = 3.79 + 10.99DBH – 5.41Ht	0.958	0.956	3.648	135.250	<0.001*
	8.Wt = 0.0527$(DBH^2Ht)^{0.8661}$	**0.991**	**0.990**	**0.052**	**1429.95**	**<0.001***
K62	1.Ws = -0.051 + 0.0023123DBH^2Ht	0.987	0.985	2.134	798.230	<0.001*
	7.Ws = -16.51 + 12.51DBH – 4.61Ht	0.951	0.948	0.011	115.090	<0.001*
	8.Ws = 0.0344$(DBH^2Ht)^{0.8952}$	**0.986**	**0.984**	**0.069**	**684.010**	**<0.001***
	1.Wb = -0.018 + 0.001946DBH^2Ht	0.948	0.946	0.510	234.890	<0.001*
	7.Wb = -0.207 + 0.75DBH - 1.467Ht	0.911	0.909	0.693	61.290	<0.001*
	8.Wb = 0.0086$(DBH^2Ht)^{0.7839}$	**0.920**	**0.918**	**0.203**	**55.950**	**<0.001***
	1.Wl = 0.199 + 0.001293DBH^2Ht	0.875	0.873	0.319	106.590	<0.001*
	7.Wl = -0.584 - 0.762Ht – 0.309DBH	0.902	0.900	0.430	64.480	<0.001*
	8.Wl = 0.0322$(DBH^2Ht)^{0.6710}$	**0.901**	**0.892**	**0.190**	**98.760**	**<0.001***
	1.Wt = 0.13 + 0.026361DBH^2Ht	0.982	0.980	2.766	852.800	<0.001*
	7.Wt = -17.30 – 12.39Ht + 2.96DBH	0.942	0.940	7.406	97.390	<0.001*
	8.Wt = 0.0542$(D^2Ht)^{0.9127}$	**0.984**	**0.982**	**0.062**	**750.29**	**<0.001***

Remark Ws =stem biomass (kg), Wb =branch biomass (kg), Ht = total height (metres), Wl =leaf biomass (kg), Wt = aboveground (kg), D=diameter at breast height (centimetres).

* = Significance difference at (P<0.05).

ปริมาตร

จากการศึกษาแบบจำลองทั้ง 8 รูปแบบ ในความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของลำต้น กิ่ง ใบ กับตัวแปรอิสระ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมด (Ht) ทั้ง 2 สายพันธุ์ ผลการศึกษาแสดงค่าสถิติ Table 1 ยกตัวอย่างสมการที่ 1, 7 และ 8 ที่มีค่า R^2สูงกว่า 0.9 มีค่า $p<0.001$ มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ($P<0.05$) พิจารณาสมการที่ 8 จะพบ R^2ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 0.991 และ 0.996 ตามลำดับ หมายความว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงสามารถอธิบายการแปรผันของปริมาตรยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7และ K62 ได้ มีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SE) เท่ากับ 0.055 และ 0.029 ตามลำดับ พิจารณาค่า F มีค่าเท่ากับ 1178.080 และ 1257.230 ตามลำดับ ซึ่งสมการที่ 8 มีค่าสถิติเหมาะสมสุดเมื่อเทียบกับสมการอื่น ดัง Table 5 ส่วน Petmark *et al*. (1987) ได้ทำการศึกษามวลปริมาตรของไม้ยูคาลิปตัสอายุ 2 - 7 ปี โดยมี R^2 ของยูคาลิปตัสอายุ 4 ปี เท่ากับ 0.97 และ Vacharangkura and Himmapan (2018) ได้ศึกษาสมการ 4 แบบจำลอง ในการประมาณปริมาตรไม้ ซึ่งแบบจำลอง (1) Allometric Relation ที่จัดอยู่ในรูปของ Power Model พบว่าแบบจำลองแบบยกกำลังให้ค่าทางสถิติมากที่สุด ค่า (R^2) สูงกว่ารูปแบบอื่น เช่น Simple Linear Regression หรือ Multiple Linear Regression เช่นเดียวกับผลการศึกษาครั้งนี้ดัง Table 5 จะเห็นให้ว่าสมการที่ 8 เป็นแบบยกำลังซึ่งจะมีค่า R^2 สูงกว่าสมการในรูปแบบอื่น

Table 5 Volume equations for eucalyptus clones K7 and K62.

Clone	Equations	R^2	R^2-adj	SE	F	P-value
	1.V = 0.002316 + 0.00036DBH²Ht	0.990	0.989	1.107	1286.690	<0.001*
K7	7.V = -0.0114 9- 0.00741DBH + 0.01708Ht	0.948	0.937	0.007	110.13	<0.001*
	8.V= 0.0001$(DBH^2Ht)^{0.852}$	**0.991**	**0.989**	**0.055**	**1178.080**	**<0.001***
	1.V = 0.002180 + 0.00041DBH²Ht	0.994	0.989	1.107	1286.690	<0.001*
K62	7.V = -0.0263 - 0.00883DBH + 0.02310Ht	0.967	0.962	0.008	178.13	<0.001*
	8.V = 0.000090$(DBH^2Ht)^{0.871}$	**0.996**	**0.996**	**0.029**	**1257.230**	**<0.001***

Remark V = volume (cubic meter), Ht = Total height (metres).

* = Significance difference at ($P<0.05$).

การประยุกต์แบบจำลองการเติบโตและผลผลิต

เมื่อนำสมการที่ 8 จาก Table 3 มาใช้ประมาณน้ำหนักสดลำต้น กิ่ง ใบ ของยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 พบว่าค่าน้ำหนักสดของลำต้น กิ่ง ใบ ของสายพันธุ์ K7 เท่ากับ 8.645±0.644, 0.901±0.022 และ 0.633±0.023 ตัน/ไร่ ตามลำดับ โดยน้ำหนักเฉลี่ยสดเท่ากับ 10.662±0.383 ตัน/ไร่ และน้ำหนักสดลำต้น กิ่ง ใบ สายพันธุ์ K62 เท่ากับ 11.632±0.966, 0.795±0.006 และ 0.793±0.034 ตัน/ไร่ ตามลำดับ น้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 13.367± 0.481 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ค่า t-test น้ำหนักสดส่วนลำต้น กิ่ง ใบของ

ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 0.00 ทั้งหมด ดัง Table 6 และ Kietvuttinon (2009) พบว่าแนวโน้มของผลผลิตในรูปน้ำหนักสดต่อต้นจะมีทิศทางเช่นเดียวกับผลผลิตมวลชีวภาพต่อต้น สอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่ยูคาลิปตัสมีผลผลิตในรูปแบบน้ำหนักสดสูง ส่งผลให้มีมวลชีวภาพต่อต้นที่สูงเช่นเดียวกัน

Table 6 Fresh Weight and aboveground biomass of eucalyptus clones K7 and K62.

Clone	Sample plot.	Fresh Weight (ton/rai)				Aboveground biomass (ton/rai)			
		Stem	Branch	Leaf	Total	Stem	Branch	Leaf	Total
K7	1	8.910	0.891	0.661	11.013	4.834	0.496	0.414	5.800
	2	7.846	0.784	0.558	9.544	4.195	0.423	0.365	5.040
	3	8.700	0.870	0.635	10.647	4.675	0.477	0.402	5.611
	4	9.115	1.058	0.680	11.289	4.955	0.509	0.423	5.943
mean		8.645	0.901	0.633	10.662	4.664	0.476	0.401	5.598
SD		0.644	0.022	0.023	0.383	0.166	0.018	0.012	0.198
K62	1	11.206	0.755	0.762	12.874	6.403	0.440	0.414	7.319
	2	12.456	0.777	0.854	14.317	7.132	0.571	0.455	8.150
	3	10.675	0.900	0.724	12.262	6.095	0.410	0.396	6.968
	4	12.193	0.757	0.835	14.015	6.980	0.504	0.446	7.976
mean		11.623	0.795	0.793	13.367	6.652	0.481	0.428	7.603
SD		0.966	0.006	0.034	0.481	0.243	0.020	0.014	0.277
p-value		0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	0.03*	0.02*	0.00*

Remarks * Significant difference at P<0.05.

เมื่อนำสมการที่ 8 จาก Table 4 มาประมาณหามวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบของยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 มีค่า 4.664±0.166, 0.476±0.018 และ 0.401±0.012 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 5.598±0.198 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และสายพันธุ์ K62 เท่ากับ 6.652±0.243, 0.481±0.020 และ 0.428±0.014 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มีค่าเท่ากับ 7.603±0.277 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ดัง Table 6 ค่า t-test มวลชีวภาพส่วนลำต้น กิ่ง ใบของยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 0.00, 0.03, 0.02 และ 0.00 ตามลำดับ จากการศึกษาของ Chernkunthod (2007) พบว่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า อายุ 4 ปี ระยะปลูก 3x3 เมตร เท่ากับ 12.42 ตัน/ไร่ โดยแบ่งเป็นมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ เท่ากับ 10.45, 1.21 และ 0.76 ตัน/ไร่ ตามลำดับ จากการศึกษาของ Jundang (2010) พบว่า ไม้ยูคาลิปตัส อายุ 4 ปี ระยะปลูก 2x3 เมตร บริเวณสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น มีมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ เท่ากับ 4.98, 0.52 และ0.64 ตัน/ไร่ ตามลำดับ

และมวลชีวภาพรวมเหนือพื้นดินเท่ากับ 7.45 ตัน/ไร่ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของมวลชีวภาพส่วนใบจะมากกว่ากิ่ง แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่ามวลชีวภาพส่วนกิ่งมากกว่าใบ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับ Klangprapan (2019) คือ มวลชีวภาพในส่วนกิ่ง และใบ เท่ากับ 0.59 และ 0.41 ตัน/ไร่ ตามลำดับ สายพันธุ์ K58 เท่ากับ 0.75 และ 0.47 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลมาจากความแตกต่างของพันธุกรรม สภาพพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ Viriyabuncha *et al*. (2002) กล่าวว่ามวลชีวภาพของไม้มีความแตกต่างกันตามสภาพของพื้นที่ปลูก ปริมาณน้ำฝนรายปีมีผลโดยตรงต่อมวลชีวภาพ กล่าวคือ พื้นที่มีปริมาณน้ำฝนมาก ไม้จะมีมวลชีวภาพมากขึ้น และไม้ยูคาลิปตัสที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์อย่างต่อเนื่องจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าไม้ชนิดอื่นเมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาเท่ากัน

เมื่อนำสมการที่ 8 จาก Table 5 มาคำนวณหาปริมาตรไม้ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 ปริมาตรไม้เฉลี่ยในแปลงตัวอย่างเท่ากับ 10.340±0.035 และ 12.385±0.043 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ ค่า t-test ของปริมาตรยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7 และ K62 p<0.001 พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดัง Table 7 ส่วน Petmak *et al* (1987) ได้สร้างตารางปริมาตรไม้และผลผลิตมวลชีวภาพของลำต้น พบว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของปริมาตรลำต้น ±1.3 กิโลกรัม ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าในการศึกษาครั้งนี้ และ Pantawong (2004) กล่าวว่าในการศึกษาผลผลิตไม้ในรูปของปริมาตรของยูคาลิปตัสอายุ 4 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.26 ลบ.ม./ไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาตรไม้ของแต่ละสายพันธุ์ของสายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 10.304 และ 11.590 ลบ.ม./ไร่

Table 7 Volume of eucalyptus clones K7 and K62.

Clone	Volume (cubic meter)				mean	SD	p-value
	1	2	3	4			
K7	10.674	9.328	10.327	10.916	10.340	0.035	<0.001***
K62	11.949	13.235	11.397	12.959	12.385	0.043	

Remark ** Significant difference at P<0.01.

สรุป

1. การศึกษาการเติบโตของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 น้อยกว่า K62 โดยมีอัตราการอดตายเฉลี่ย เท่ากับ 97.15±1.37 และ 93.53±5.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สายพันธุ์ K7 ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.61±0.06 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 8.63±0.08 เซนติเมตร สายพันธุ์ K62 ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 12.91±0.07 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยเท่ากับ 8.77±0.10 เซนติเมตร ผลผลิตน้ำหนักสด ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 เท่ากับ 8.645±0.644, 0.863±0.022 และ 0.693±0.023 ตัน/ไร่ ตามลำดับ โดยน้ำหนักเฉลี่ยสดเท่ากับ

10.662±0.383 ตัน/ไร่ และน้ำหนักสดลำต้น กิ่ง ใบ สายพันธุ์ K62 เท่ากับ 11.632± 0.966, 1.007± 0.036 และ 0.793± 0.034 ตัน/ไร่ ตามลำดับ น้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 13.367±0.481 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพของ ลำต้น กิ่ง ใบ ของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 มีค่า 4.664± 0.166, 0.476± 0.018 และ 0.401±0.012 ตัน/ไร่ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 5.598±0.198 ตัน/ไร่ และสายพันธุ์ K62 เท่ากับ 6.652± 0.243, 0.481± 0.020 และ 0.428±0.014 ตัน/ไร่ ตามลำดับ มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มีค่าเท่ากับ 7.603± 0.277 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ปริมาตรไม้เฉลี่ยยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เท่ากับ 0.033 และ 0.048 ลูกบาศก์เมตร/ต้น ตามลำดับ ปริมาตรไม้เฉลี่ยในแปลงตัวอย่างเท่ากับ 10.340±0.035 และ 12.3850± 0.043 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ตามลำดับ เมื่อนำปริมาตรของยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เมื่อนำค่าน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตรไปเปรียบเทียบ

2. แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งนี้สมการดังกล่าวสามารถประมาณน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตร ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 ของสวนป่าได้อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงการใช้สมการดังกล่าวในการประมาณผลผลิตไม้ นอกพื้นที่สวนป่าซึ่งอาจจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้ จากการศึกษาสรุปได้ว่ายูคาลิปตัสสายพันธุ์ K62 ควรส่งเสริมการปลูกให้กับเกษตรกร เนื่องจากมีผลผลิตในรูปน้ำหนัก มวลชีวภาพ และปริมาตรที่สูงกว่ายูคาลิปตัสสายพันธุ์ K7

2. สมการที่เหมาะสมที่ประเมินผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 และ K62 เป็นสมการของ Allometric Relation ที่จัดอยู่ในรูปของ Power Model สำหรับการประเมินน้ำหนักสด มวลชีวภาพ และปริมาตรของแต่ละสายพันธุ์ ดังนี้ ยูคาลิปตัส สายพันธุ์ K7 น้ำหนักสด (Mt) = $0.0993(D^2Ht)^{0.8661}$ ค่า R^2 = 0.991 มวลชีวภาพ (Wt) = $0.0527(D^2Ht)^{0.8661}$ ค่า R^2 = 0.991 และปริมาตร (V) = $0.0001(D^2Ht)^{0.852}$ ค่า R^2 = 0.989 ส่วนยูคาลิปตัสสายพันธุ์ K62 น้ำหนักสด (Mt) = $0.0854(D^2Ht)^{0.9127}$ ค่า R^2 = 0.998 มวลชีวภาพ (Wt) = $0.0542(D^2Ht)^{0.9127}$ ค่า (R^2 = 0.984) และปริมาตร (V) = $0.00009(D^2Ht)^{0.871}$ ค่า R^2 = 0.995 พบว่าสมการดังกล่าวให้ค่าทางสถิติมากที่สุด ค่า (R^2) สูงกว่ารูปแบบอื่น

คำนิยม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ งานสวนป่าสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ภาคกลาง องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ และผู้มีส่วนร่วมทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล จนงานวิจัยลุล่วงสำเร็จไปได้ด้วยดี

REFERENCES

Chernkunthod, C. 2007. **Aboverground Carbon Strorage in *Eucalyptus urophylla* Plantation at Sakaerat Sivicultural Rechearch Station, Nakhon Rachasima**

Province. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Department of Agriculture, 2012. **Plant Database.** Available source:http://www.doa.go.th /pvp/wp content /uploads /2019/08/1euca.pdf, November 25, 2020.

Duansathaporn, K. and P. Lumyai, 2016. **Sustainable Forest Plantation Management.** Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Duansathaporn, 2005. **Forest Mensuration I**. Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Kasetsart University. Bangkok. (in Thai)

Hnukaew, M., R. Poolsiri and P. Chompoowiset. 2015. Yield and nutrients of various 5-year- old Eucalyptus clones in the Upper Northeast. **Thai J. For.** 34(2): 11-22. (in Thai)

Jundang, W. 2010. **Evaluation of Carbon Sequestration in Dry Dipterocarp Forest and Eucalyptus Plantation at Mancha Khiri Plantation, Khon kaen Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Jamroenprucksa, M. 1987. The Production of *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh. established under the agroforestry scheme**. Thai J. For.** 6: 268-278. (in Thai)

Kira, T. and T. Shidei, 1967. Primary production and Turnover of organic matter in difference forest ecosystems of the Western Pacific. **Jpn. J. Ecol**. 17(2): 70–87.

Khunsathien, C., P. Prasomsin and K. Palakit. 2021. Timber volume assessment of rubber Tree: a case study of the Kanchanadit Plantation, Surat Thani Province. **Thai J. For**. 40(1): 95-107. (in Thai)

Kietvuttinon, B. 2009. Effect of different spacing on growth and yield of *Eucalyptus Camaldulensis* planted on paddy bunds. **Thai J. For.** 28: 13-23. (in Thai)

Klangprapan, A. 2019. **Growth and Yields of 4 Year-Old Eucalyptus clone K58 and K62 Plantation in Sa Kaeo Plantation, Sa Kaeo Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Niyamangkoon, S. 2000. **Sampling Techniques**. Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Ounban, W., L. Puangchit. And S. Diloksumpun. 2016. Development of general biomass allometric equation for *Tectona grandis* Linn.f. and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Plantations in Thailand. **Agric. Nat. Resour.** 50: 48-53.

Pantawong, A. 2004. **Growth and Yields of *Eucalyptus cammaldulensis* Dehnh. Plantation of Lao-ADB Forestry Project** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Pornleesangsuwan, A., S. Nongnuang and W. Khambai. 2014. Estimate of the stem volume in dry dipterocarp forest. **Journal of Forest Manangement.** 8(15): 1-22.

Prowmasorn, P. 2019. **Yield Assesment and Financial Analysis of *Chukrasia tabularis* A.Juss. at Prachuap Khiri Khan Sivicultural Research Station, Prachuap Khiri Khan Province.** M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Petmak, P., B. Boontawee, S. Kriratiprayoon and S. Boonyuen. 1987. Stem biomass and volume table of *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh**. Thai J. For.** 6: 399-416. (in Thai)

Royal Forest Department, 2013. ***Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh**. Reforestation Promotion Office, Royal Forest Department. Bangkok. (in Thai)

Siritachchayetch, J. 2008. **Growth and Yield Models for Teak in Mae Mo Plantation, Lampang Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)

Srilert, N. and S. Diloksumpun. 2011. Growth performance and physiological characteristics of four clones of eucalyptus seedings under different light intensities. **Thai J. For.** 30(2): 12-26. (in Thai)

Spurr, S.H. 1952. **Forest Inventory.** The Ronald Press Co., New York.

Suksamran, R. 2005. **Estimate of Volume and Biomass Mangrove Forest.** Department of Marine and Coastal Resource, Bangkok. (in Thai)

Sukwong, S. 2009. Method of regression for research of forestry. **Journal of Forest Management** 3(5) :89-98. (in Thai)

Vacharangkura, T. and W. Himmapan. 2018. Variable-top Merchanable volume equations for Teak (*Tectona grandis* Linn.F) in Thailand. **Journal of Forest Management.** 12(24): 1-13. (in Thai)

Viriyabuncha, C., P. Chittachummonk, C. Sutthisrisin and S. Samrarn 2002. Peawsa-ad adjust equation to estimate the above-ground biomass teak plantation in Thailand. **Proceeding of the 7 Technical Seminar on Siviculture.** December 12-14, 2001. Bangkok. Kasetsart University. (in Thai)

Wongnam, P. and P. Prasomsin. 2020. Local merchanable volume table of *Dalbergia cochinchinensis* Pierre: a case study at the Kum Noboru Umeda Plantation, Trat Province. **Thai J. For.** 39(2): 164-175 (in Thai)

บทความวิจัยสั้น

การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของประเทศไทย

Wildlife Tourism Management: Case Study of the Kruger National Park, South Africa as a Guideline for Wildlife Tourism Management in Thailand

แสงสรรค์ ภูมิสถาน[1] **Sangsan Phumsathan**[1]

นันทชัย พงศ์พัฒนานุรักษ์[2*] **Nantachai Pongpattananurak**[2*]

[1]ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

[2]ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Department of Forest Biology, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900

Corresponding author email: fforncp@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 10 มิถุนายน 2564 **รับแก้ไข** 26 มิถุนายน 2564 **รับตีพิมพ์** 8 กรกฎาคม 2564

ABSTRACT

Wildlife tourism is a form of nature-based tourism that is growing rapidly due to an increased interest in the conservation attitudes and behavior of tourists. The development of wildlife tourism in Thailand has been proposed in Thai Tourism Strategy 2017–2021 to promote tourism in the country. The main objectives of this article are to 1) present the management principles employed in wildlife tourism in natural areas, 2) analyze the management of wildlife tourism in Kruger National Park South Africa, which is one of the famous wildlife destinations in the world, and 3) provide guidelines for wildlife tourism in protected areas of Thailand to develop the standards of wildlife tourism and promote sustainable tourism. Based on the analysis, the management guidelines for wildlife tourism are presented and include wildlife and habitat management, setting vehicle standards for game drive activity, developing specialized training courses for wildlife tour guides, establishing management mechanisms for wildlife tourism, promoting local participation in wildlife tourism management, and studying the various marketing strategies in wildlife tourism.

Keywords: Wildlife tourism, Kruger national park, South Africa

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวสัตว์ป่า เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวทางธรรมชาติรูปแบบหนึ่งที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วในระดับสากล อันเนื่องมาจากพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวที่หันมาให้ความสนใจต่อการเรียนรู้เกี่ยวกับสัตว์ป่ามากขึ้น แนวคิดการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในประเทศไทยได้ถูกบรรจุในแผนการพัฒนาการท่องเที่ยวเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวของประเทศ บทความนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำเสนอ 1) หลักการและแนวคิดการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติ 2) วิเคราะห์การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีชื่อเสียงในระดับโลก และ 3) เพื่อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครองของประเทศไทยให้มีมาตรฐานและส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน โดยได้นำเสนอแนวทางการจัดการ ประกอบด้วย การจัดการสัตว์ป่าและถิ่นที่อยู่อาศัย การกำหนดมาตรฐานพาหนะสำหรับใช้นำเที่ยวชมสัตว์ป่า การฝึกอบรมมัคคุเทศก์หรือผู้นำเที่ยวเฉพาะ กลไกการบริหารจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าอย่างเป็นรูปธรรม และการศึกษาการตลาดการท่องเที่ยวสัตว์ป่า

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวสัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้

คำนำ

การท่องเที่ยวสัตว์ป่า (wildlife tourism) เป็นการท่องเที่ยวทางธรรมชาติรูปแบบหนึ่งที่อาศัยทรัพยากรสัตว์ป่าเป็นฐานหรือองค์ประกอบที่สำคัญในการประกอบกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ การพัฒนาตลอดจนนำไปสู่การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสัตว์ป่าให้ยั่งยืนต่อไปได้ในอนาคต (Newsome *et al*., 2005) โดยรูปแบบของการท่องเที่ยวสัตว์ป่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (ecotourism) ที่มุ่งเน้นการท่องเที่ยวอย่างมีความรับผิดชอบในแหล่งธรรมชาติที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่นและแหล่งวัฒนธรรมที่เกี่ยวเนื่องกับระบบนิเวศ โดยมีกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันของผู้ที่เกี่ยวข้อง ภายใต้การจัดการสิ่งแวดล้อม และการท่องเที่ยวอย่างมีส่วนร่วมของท้องถิ่น เพื่อมุ่งให้เกิดจิตสำนึกต่อการรักษาระบบนิเวศอย่างยั่งยืน และการท่องเที่ยวเชิงผจญภัย (adventure tourism) ที่มีจุดเด่นในมิติของประสบการณ์ใหม่ ๆ ที่นักท่องเที่ยวจะได้รับจากการไปเยือนแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีลักษณะพิเศษ ที่ตอบสนองความต้องการในแง่ความท้าทาย ประสบการณ์แปลกใหม่ และในขณะเดียวกันก็ได้สัมผัสความสวยงามของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความสนุกสนานตื่นเต้น มีความรู้สึกได้ผจญภัย ได้พึ่งพาตนเอง (Reynolds and Braithwaite, 2001; Sustainable Tourism Cooperative Research Centre, 2009)

การท่องเที่ยวสัตว์ป่ายังมีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับสัตว์ป่า ในปัจจุบันสัตว์ป่าและความหลากหลายทางชีวภาพถูกคุกคามมากขึ้นจากการสูญเสียถิ่นที่อยู่โดยเฉพาะพื้นที่ป่า ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการแผ้วถางให้เป็นพื้นที่การเกษตรและการขยายพื้นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ (Woodroffe *et al*., 2005) ส่งผลให้พื้นที่ถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าลดลง และนำมาซึ่งปัญหาความขัดแย้งระหว่างมนุษย์กับสัตว์ป่า ซึ่งได้มีความพยายามแก้ปัญหาดังกล่าวตามสภาพปัญหาและข้อกฎหมายของแต่ละประเทศที่มีการอนุรักษ์สัตว์ป่าอย่างเข้มข้น

แตกต่างกันออกไป การพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาหนึ่งที่ได้รับการยอมรับจากหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะเจ็ดประเทศในแอฟริกาและประเทศในเอเชียใต้ ได้แก่ เคนยา แทนซาเนีย บอตสวานา แอฟริกาใต้ นามิเบีย อินเดีย ศรีลังกา และ เนปาล ซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในลำดับต้น ๆ ของดัชนีการอนุรักษ์สัตว์ขนาดใหญ่ (Megafauna Conservation Index: MCI) ซึ่งประเมินจาก 1) สัดส่วนของประเทศที่ครอบครองโดยสัตว์ป่าขนาดใหญ่แต่ละชนิด หรือสัดส่วนของพื้นที่ประเทศที่เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า 2) สัดส่วนของช่วงชนิดพันธุ์สัตว์ป่าที่ได้รับการคุ้มครองอย่างเคร่งครัดในแต่ละประเทศ และ 3) จำนวนเงินที่ใช้ในการอนุรักษ์ของแต่ละประเทศทั้งในประเทศหรือต่างประเทศเทียบกับผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) (Lindsey *et al.*, 2017) นอกจากนี้ประเทศดังกล่าวนี้เป็นประเทศที่สามารถใช้การท่องเที่ยวสัตว์ป่าเป็นเครื่องมือการจัดการสัตว์ป่าเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์และส่งเสริมเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เคนยา บอตสวานา และแอฟริกาใต้ ที่ประสบความสำเร็จในด้านการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า ทั้งในด้านของการอนุรักษ์และทางด้านเศรษฐกิจที่ในปัจจุบันการท่องเที่ยวสัตว์ป่าเป็นสัดส่วนที่สำคัญของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (World Bank, 2018) ซึ่งผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้นจากการท่องเที่ยวสัตว์ป่านี้มีส่วนช่วยในการอนุรักษ์สัตว์ป่าทั้งในด้านของงบประมาณสนับสนุนกิจกรรมการอนุรักษ์ การวิจัย รวมถึงการปรับทัศนคติและการให้คุณค่าต่อสัตว์ป่าของชุมชนท้องถิ่นและนักท่องเที่ยว (Higginbottom, 2004; Tisdel, 2012)

แนวคิดการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในประเทศไทยได้ถูกหยิบยกขึ้นมาเพื่อส่งเสริมการพัฒนาการท่องเที่ยวทางเลือกของประเทศ ทั้งในกลุ่มของการท่องเที่ยวเฉพาะกลุ่ม (niche market) การท่องเที่ยวเชิงความรู้ (knowledge tourism) เพื่อส่งเสริมให้เกิดสังคมเพื่อการเรียนรู้ รวมไปถึงการส่งเสริมการพัฒนาประเทศตามแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจแบบใหม่ ที่เรียกว่า “BCG Economy” ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม ที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติไปพร้อมกัน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (bioeconomy) ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยเน้นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง เชื่อมโยงกับเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) รวมถึงการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าเพื่อเป็นทางเลือกในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน และจัดการความขัดแย้งของชุมชนท้องถิ่นในพื้นที่กันชน โดยเฉพาะชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานอยู่ในพื้นที่กันชนของพื้นที่คุ้มครองที่สำคัญ เช่น เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤาไน ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่รอยต่อ 5 จังหวัดภาคตะวันออก อันได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสระแก้ว จังหวัดจันทบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดชลบุรี และเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี

สำหรับประเทศไทยการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในแหล่งธรรมชาติที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน โดยมากเป็นกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่อยู่บนพื้นฐานของการพบเห็นสัตว์ป่าตามโอกาส ดังที่เห็นได้จากกิจกรรมส่องสัตว์ในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา การนั่งรถชมสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ การดูกระทิงในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขาแผงม้า จังหวัดนครราชสีมา การท่องเที่ยวสัตว์ป่าในรูปแบบดังกล่าวยังไม่มีการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่ส่งเสริมให้เกิดประสบการณ์การท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ ดังที่เป็นอยู่ในทวีปแอฟริกาและในกลุ่มประเทศเอเชียใต้ ที่มีการพัฒนาจนเป็นที่ยอมรับของนักท่องเที่ยวทั่วโลกว่าเป็นจุดหมายปลายทางของการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในระดับโลก ทั้งในส่วนของการจัด

กิจกรรมที่มีการกำหนดมาตรฐานและกฎระเบียบในการดำเนินการที่ชัดเจน นอกจากนี้กิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในประเทศไทย (โดยเฉพาะการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติ) ไม่มีรูปแบบของกิจกรรมที่สามารถส่งเสริมการเรียนรู้การจัดการสัตว์ป่าของนักท่องเที่ยว เป็นเพียงแค่การชื่นชมสัตว์ป่า ซึ่งแตกต่างจากอุทยานแห่งชาติในต่างประเทศที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าระดับโลก ที่ได้มีการพัฒนาโปรแกรมสื่อความหมายธรรมชาติที่จะสื่อสารให้นักท่องเที่ยวมีความรู้และเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการสัตว์ป่า ทั้งในมิติของการจัดการถิ่นที่อยู่อาศัยและการจัดการประชากร โดยผ่านสื่อและมัคคุเทศก์นำเที่ยว ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่ง การบริหารจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่เป็นมาตรฐานในระดับที่สร้างผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจในประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากในต่างประเทศที่มีการกำหนดรูปแบบของการแบ่งปันผลประโยชน์ที่มีโครงสร้างชัดเจน ทั้งนี้สำหรับการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของประเทศไทยเพื่อให้เกิดความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวกับต่างประเทศ และไม่สร้างผลกระทบต่อสัตว์ป่าและระบบนิเวศในพื้นที่ จำเป็นต้องมีการศึกษาแนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางในการเสนอแนะการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าสำหรับประเทศไทย ที่สามารถสร้างประสบการณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่าตามธรรมชาติที่ถูกต้องให้กับนักท่องเที่ยว รวมทั้งยกระดับการบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกให้มีมาตรฐานซึ่งสอดคล้องกับ ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาคุณภาพแหล่งท่องเที่ยว สินค้า และการบริการด้านการท่องเที่ยว ให้เกิดความสมดุลและยั่งยืน ในแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (2560 - 2564)

บทความนี้ได้นำเสนอหลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า การวิเคราะห์การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีชื่อเสียงในระดับโลก (Expedition Wildlife, 2021; Safari Destinations, 2021) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำเสนอหลักการและแนวคิดการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติ และวิเคราะห์การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าตามองค์ประกอบหลักของการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประกอบด้วย การจัดการสัตว์ป่าและถิ่นที่อยู่อาศัย นักท่องเที่ยว และสิ่งอำนวยความสะดวกและการบริการ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการจัดการสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติของประเทศไทยไม่ว่าจะเป็นพื้นที่อุทยานแห่งชาติ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า เขตห้ามล่าสัตว์ป่า หรือพื้นที่ธรรมชาติอื่นๆ เพื่อให้เกิดการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่ยกระดับการท่องเที่ยวของประเทศ และลดผลกระทบที่จะเกิดกับสัตว์ป่าในพื้นที่ อีกทั้งพัฒนามาตรฐานการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในประเทศไทย

วิธีการศึกษา

บทความนี้มีกระบวนการศึกษาใน 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1) การศึกษาด้วยการทบทวนวรรณกรรมจากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปหลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า รวมทั้งเอกสาร และบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์

2) การสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการ (informal interview) เจ้าหน้าที่ของอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว จำนวน

7 คน บุคลากรของสถานประกอบการ เช่น สถานประกอบการที่พัก ร้านค้า ร้านอาหาร ในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ จำนวน 5 คน และนักท่องเที่ยวที่ไปเยือนพื้นที่ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา จำนวน 12 คน (เก็บข้อมูลในช่วงวันที่ 10 – 15 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562)

3) การสังเกตแบบมีส่วนร่วม (participant observation) ซึ่งผู้วิจัยเข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่า โดยเข้าร่วมกิจกรรมการนั่งรถส่องสัตว์ (game drive) ในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ จำนวน 6 รอบ (วันที่ 11 - 14 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2562) เพื่อศึกษาการบริหารจัดการ และประสบการณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่นักท่องเที่ยวได้รับ โดยระหว่างการประกอบกิจกรรมได้ศึกษาความความชุกชุมของสัตว์ป่าระหว่างการประกอบกิจกรรมทั้ง 6 รอบ

ผลการศึกษา

องค์ประกอบหลักการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า

1. แหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่า (wildlife tourism destination)

แหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าสามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทหลัก ตามลักษณะของพื้นที่ (Reynolds and Braithwaite, 2001; Orams, 2002) ได้แก่ 1) แหล่งท่องเที่ยวที่สัตว์ป่าอยู่ในพื้นที่กักขัง/กรงเลี้ยง (captive setting) เช่น สวนสัตว์ (zoo) สวนนกที่มีลักษณะเป็นกรงนกขนาดใหญ่ (aviary) พิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำ (oceanarium) เป็นต้น 2) แหล่งท่องเที่ยวที่สัตว์ป่าอยู่ในพื้นที่กึ่งเลี้ยงกึ่งปล่อย (semi-captive setting) เป็นพื้นที่ที่มีการเลี้ยงสัตว์ป่าไว้ในพื้นที่ที่มีอาณาบริเวณกว้าง มีรั้วหรือคอกล้อมไว้ เช่น สวนสัตว์เปิด ศูนย์ฟื้นฟูสภาพสัตว์ป่า (wildlife rehabilitation center) พื้นที่ปิดล้อมขนาดใหญ่ที่ใช้รองรับสัตว์ป่า (wildlife park) พื้นที่สำหรับการปล่อยสัตว์ป่าอย่างละมุนละม่อม (soft-release area for wildlife) 3) แหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติ (wild setting) เช่น อุทยานแห่งชาติ (national park) เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า (wildlife sanctuary) เขตห้ามล่าสัตว์ป่า (wildlife non-hunting area) พื้นที่จัดการถิ่นที่อาศัยของสัตว์ป่า (wildlife management area) โดยแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าในกลุ่มนี้เป็นแหล่งท่องเที่ยวหลักของการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่สามารถตอบสนองแรงจูงใจของนักท่องเที่ยวทั้งในส่วนของการได้ผจญภัยและการศึกษาเรียนรู้พฤติกรรมสัตว์ป่าได้เป็นอย่างดี

ในการจัดการแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติจำเป็นต้องจัดการให้มีสัตว์ป่าในพื้นที่ และมีจุดที่เป็นพื้นที่เปิดโล่งที่สามารถมองเห็นสัตว์ป่าได้โดยง่ายเพื่อส่งเสริมประสบการณ์การพบเห็นสัตว์ป่าตามธรรมชาติ โดยไม่รบกวนการแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติของสัตว์ป่า รวมทั้งจัดการแหล่งน้ำ แหล่งอาหาร ที่สามารถดึงดูดให้สัตว์ป่าเข้ามาใช้พื้นที่ และจัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถประกอบกิจกรรมได้อย่างปลอดภัย (Reynolds and Braithwaite, 2001; Newsome *et al*., 2005; Pongpattananurak, 2020)

2. นักท่องเที่ยวสัตว์ป่า (wildlife tourist)

นักท่องเที่ยวสัตว์ป่าเป็นกลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจเฉพาะ (niche characters) ลักษณะที่สำคัญของนักท่องเที่ยวสัตว์ป่า ได้แก่ การให้ความสำคัญกับแรงจูงใจจากปัจจัยภายใน (intrinsic motivation) มากกว่าสิ่งจูงใจจากปัจจัยภายนอก (extrinsic motivation) นั่นก็คือนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าแสวงหาประสบการณ์ที่ส่งเสริมการเรียนรู้ และได้สำรวจ และค้นหาประสบการณ์การท่องเที่ยวใหม่ๆ มากกว่าประสบการณ์ทางด้านความบันเทิง ซึ่ง

สอดคล้องกับการศึกษาของ Gianna and Saltzer (2004) ที่ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของประสบการณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่นักท่องเที่ยวคาดหวัง โดยลักษณะของประสบการณ์ที่นักท่องเที่ยวคาดหวังที่จะได้พบและส่งผลต่อความพึงพอใจและคุณภาพของประสบการณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่า 5 ลำดับแรก ได้แก่ การได้เห็นสัตว์ป่าในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ การได้เห็นสัตว์ป่าแสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ การได้เห็นสัตว์ป่าหายากและมีเอกลักษณ์ การได้เห็นสัตว์ป่าหลากหลายชนิด และการได้เรียนรู้เกี่ยวกับสัตว์ป่าผ่านสื่อต่างๆ โดยเฉพาะจากผู้นำเที่ยวตามลำดับ

สำหรับนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าแล้ว สัตว์ป่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ดึงดูดให้นักท่องเที่ยวมาเยือนพื้นที่ ทั้งนี้ Reynolds and Braithwaite (2001) ได้จำแนกกลุ่มนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าออกเป็น 4 กลุ่มตามระดับความสนใจสัตว์ป่า ได้แก่ 1) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับสัตว์ป่าอย่างลึกซึ้ง (serious/ dedicated interest in wildlife) โดยพฤติกรรมนักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีวัตถุประสงค์หลักในการท่องเที่ยวคือการได้พบเห็นสัตว์ป่า โดยเฉพาะสัตว์ป่าที่มีความสำคัญ/บทบาทสำคัญ ต่อเอกลักษณ์หรือลักษณะเด่นของพื้นที่นั้นๆ (iconic species) และการเข้าร่วมกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าอย่างเข้มข้น 2) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าแบบบางครั้งบางคราว (casual interest in seeing wildlife) โดยพฤติกรรมนักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความสนใจอยากจะพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ แต่การพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ไม่ใช่แรงจูงใจหลักในการเดินทางมาเยือนพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามยังมีความสนใจและตื่นเต้นในการพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ 3) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าแบบผิวเผิน (passing interest in seeing wildlife) โดยพฤติกรรมนักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความสนใจอยากจะพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่แต่ให้ความสนใจเฉพาะชนิดพันธุ์ที่มีความน่ารักในพื้นที่นั้นๆ (charismatic species) นักท่องเที่ยวกลุ่มนี้โดยมากไม่ได้มีการเตรียมความพร้อมมาก่อน เช่น การเตรียมเครื่องแต่งกาย การเตรียมอุปกรณ์เฉพาะ เป็นต้น และ 4) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่ไม่ได้มีความสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าโดยตรง (no interest in seeing wildlife) โดยพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้ไม่ได้มีความสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าหรือการได้พบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ โดยมาเยือนพื้นที่เพื่อการประกอบกิจกรรมอย่างอื่น หรือมาด้วยวัตถุประสงค์อื่น แต่ก็มีความตื่นเต้นในการพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Phumsathan *et al*. (2018) ที่ได้สังเคราะห์พฤติกรรมเด่นของนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าในแต่ละกลุ่ม ดังแสดงใน Table 1

นอกจากนี้ Duffus and Dearden (1990) ยังได้จำแนกประเภทของนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าตามพฤติกรรมนันทนาการ ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจเจาะจง (wildlife specialists) นักท่องเที่ยวกลุ่มนี้มีความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกเท่าที่จำเป็น ไม่จำเป็นต้องมีการจัดการมาก ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ และโปรแกรมสื่อความหมาย นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่จะนำอุปกรณ์เฉพาะติดตัวไปด้วยขณะประกอบกิจกรรม เช่น กล้องสองตา กล้องถ่ายภาพและเลนส์ที่มีคุณภาพสูง กล้องส่องทางไกลประเภท Spotting Scope เป็นต้น และ 2) กลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจทั่วไป (wildlife generalists) นักท่องเที่ยวกลุ่มนี้มีความสนใจในกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในระดับหนึ่ง แต่ต้องได้รับความสะดวกสบายระหว่างประกอบกิจกรรมพอสมควร และมีความต้องการสิ่ง

อำนวยความสะดวกและการบริการเพื่อสนับสนุนการประกอบกิจกรรม ทั้งการจัดกิจกรรม การจัดสถานที่ และการบริการจากเจ้าหน้าที่ นิยมไปเยือนแหล่งท่องเที่ยวในกลุ่ม Captive Destination เช่น สวนสัตว์

Table 1 Classification of wildlife tourists based on their behavior.

Wildlife tourist behavior	Group 1 No interest in seeing wildlife	Group 2 Passing interest in seeing wildlife	Group 3 Casual interest in seeing wildlife	Group 4 Serious interest in wildlife
Level of interest in wildlife tourism	High	Fairly high	Fairly high	Moderate
Preparing specific equipment for wildlife tourism	Complete equipment preparation	The necessary equipment is prepared.	No specific equipment is prepared.	No specific equipment is prepared.
Proper planning and preparation	Always Almost always	Frequently Often	Sometimes	Sometimes
Desirable features in a wildlife tourist experience	Seeing rare and iconic wildlife	Seeing wildlife in their natural environment	Seeing wildlife in their natural environment	Seeing variety of wildlife
Knowledge about the impact of tourism on wildlife	High	Fairly high	Fairly high	Fairly high

3. กิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่า (wildlife tourism activities)

รูปแบบกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่ามีความหลากหลาย ทั้งในกลุ่มของรูปแบบกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากรสัตว์ป่าแบบไม่สิ้นเปลือง (non-consumptive use of wildlife) เช่น การสังเกตสัตว์ป่าทั่วไป การดูนก การถ่ายภาพสัตว์ป่า เป็นต้น และในกลุ่มของกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากรสัตว์ป่าแบบสิ้นเปลือง (consumptive use of wildlife) เช่น การล่าสัตว์ การตกปลา ทั้งนี้ Reynolds and Braithwaite (2001) ได้จำแนกกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าออกเป็น 7 กลุ่ม ตามลักษณะของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง

นักท่องเที่ยวและสัตว์ป่า (spectrum of tourist–wildlife opportunities) ได้แก่ 1) การท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีสัตว์ป่าเป็นส่วนประกอบ (nature-based tourism with wildlife component) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวทางธรรมชาติทั่วไปที่มีสัตว์ป่าเป็นองค์ประกอบในแหล่งท่องเที่ยว แต่สัตว์ป่าก็ยังไม่ใช่องค์ประกอบหลักของพื้นที่ 2) การไปเยือนพื้นที่ที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า (locations with good wildlife opportunities) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่เข้าไปพักในที่พักแรมที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า เช่น ซาฟารีลอดจ์ (safari lodge) เป็นลักษณะของกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของนักท่องเที่ยวสัตว์ป่าในกลุ่มที่มีกำลังซื้อสูง (high - end) ซึ่งเป็นกลุ่มนักท่องเที่ยวที่ต้องการความสะดวกสบายแต่ในขณะเดียวกันก็มีโอกาสได้เห็นสัตว์ป่าอย่างใกล้ชิด 3) การท่องเที่ยวที่เข้าไปในพื้นที่ที่จัดสร้างขึ้น/แหล่งท่องเที่ยวที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยมีสัตว์ป่าเป็นทรัพยากรหลักของกิจกรรมต่าง ๆ (artificial attractions based on wildlife) เช่น Sea World Resort & Water Park ซึ่งมีจุดเด่นที่การชมการแสดงของสัตว์น้ำที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี 4) การดูสัตว์ (specialist animal watching) เป็นลักษณะการดูสัตว์ที่ให้ความสนใจเฉพาะในสัตว์สายพันธุ์หรือกลุ่มของสายพันธุ์นั้นๆ เช่น การดูนก การดูวาฬที่ไอซ์แลนด์ซึ่งเป็นหนึ่งในจุดหมายปลายทางการดูวาฬชั้นนำของยุโรป การชมเพนกวิน ที่เกาะฟิลลิป เมืองเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย 5) การเยี่ยมชมสัตว์ป่าในแหล่งที่อยู่อาศัยเฉพาะ (habitat specific tour) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่เน้นการได้เห็นสัตว์ป่าที่หลากหลายในแหล่งที่อาศัยตามธรรมชาติ ซึ่งในบางแหล่งจำเป็นต้องมีการจัดหายานพาหนะเพื่อนำนักท่องเที่ยวเข้าไปในพื้นที่กิจกรรมในกลุ่มนี้ เช่น กิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ (game drive) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มประเทศแอฟริกาใต้ อินเดีย เป็นต้น 6) การท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่เน้นความตื่นเต้น (thrill-offering tour) เป็นรูปแบบกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่เน้นความตื่นเต้นที่จะได้รับจากสัตว์ป่าที่มีความดุร้าย นักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้จะมีความกระตือรือร้นที่จะมีส่วนร่วมในกิจกรรมที่น่าตื่นเต้นที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงทางกายภาพ (thrill seeker) กิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในกลุ่มนี้ เช่น Shark Cage Diving ในประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ และ 7) การล่าสัตว์ป่า (hunting) เป็นกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในกลุ่มของกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากรสัตว์ป่าแบบสิ้นเปลือง (consumptive use of wildlife) วัตถุประสงค์ของกิจกรรมนี้มีหลากหลาย เช่น การสะสมซากสัตว์/ชิ้นส่วนของสัตว์ เช่น เขาสัตว์ หนังสัตว์ และการล่าเพื่อเกมกีฬา โดยนักท่องเที่ยวจะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมใบอนุญาตการล่าสัตว์ (hunting license) ซึ่งในปัจจุบันกิจกรรมล่าสัตว์สามารถสร้างรายได้ที่ช่วยสนับสนุนกิจกรรมการอนุรักษ์สัตว์ป่าในหลายประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แคนนาดา และเยอรมันนี

การท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้

1. ประวัติความเป็นมาของอุทยานแห่งชาติและการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่า

อุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ประเทศสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ (เดิมคือ เขตสงวนล่าสัตว์ชาบี) เป็นหนึ่งในพื้นที่คุ้มครองที่ใหญ่ที่สุดในทวีปแอฟริกา ครอบคลุมพื้นที่ 19,485 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศแอฟริกาใต้ ได้รับการประกาศจัดตั้งเป็นพื้นที่คุ้มครองโดยรัฐบาลของสาธารณรัฐแอฟริกาใต้ในปี พ.ศ. 2441 และประกาศ

เป็นอุทยานแห่งชาติแห่งแรกของแอฟริกาใต้ในปี พ.ศ. 2469 อุทยานแห่งชาตินี้เป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ที่องค์การการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (UNESCO) กำหนดให้เป็นเขตสงวนชีวมณฑล อุทยานแห่งชาติครูเกอร์ได้กลายมาเป็นอุทยานแห่งชาติที่มีนักท่องเที่ยวเดินทางมาเยือนมากที่สุดในประเทศแอฟริกาใต้ โดยนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีแรงจูงใจที่สำคัญคือการมาดูสัตว์ป่า โดยเฉพาะสัตว์ป่าเป้าอนุรักษ์ ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อ บิ๊กไฟว์ (Big Five) ประกอบด้วยสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ของแอฟริกาทั้ง 5 ชนิด คือ สิงโต เสือดาว แรด ช้าง และควายป่าแอฟริกัน อุทยานแห่งชาติครูเกอร์เริ่มเปิดรับนักท่องเที่ยวในปี พ.ศ. 2470 และมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของจำนวนนักท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปี พ.ศ. 2560 มีจำนวนนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาเยือนพื้นที่มากถึง 1.82 ล้านคน (Joubert, 1986; Kruger National Park, 2018) ซึ่งจากสถิติดังกล่าว จำนวนนักท่องเที่ยวของอุทยานแห่งชาติครูเกอร์เพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 6 ต่อปี และในแผนการจัดการอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่า ได้แก่ 1) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและภูมิภาคอย่างยั่งยืน 2) สนับสนุนการพัฒนาชุมชนท้องถิ่นที่อยู่รอบพื้นที่คุ้มครอง 3) การพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการเรียนรู้แก่นักท่องเที่ยว และ 4) พัฒนาการท่องเที่ยวเพื่อเป็นเครื่องมือส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์สัตว์ป่าและพื้นที่คุ้มครอง

การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของ Kruger National Park ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อแก้ไขปัญหาระหว่างมนุษย์และสัตว์ป่าได้กลายเป็นต้นแบบให้ประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกานำไปประยุกต์ใช้ในประเทศตนเอง ได้แก่ ประเทศเคนยา บอตสวาน่า โมซัมบิก นามิเบีย ราวันด้า แทนซาเนีย และอูกันดา จนปัจจุบันการท่องเที่ยวสัตว์ป่าได้แพร่กระจายไปในหลายประเทศทั่วโลกที่มีปัญหาคล้ายคลึงกัน ดังเห็นได้จากการเกิดการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่เกิดขึ้นในประเทศเอเชียใต้ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้แก่ อินเดีย เนปาล และศรีลังกา โดยทั่วไปการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าเกิดขึ้นในพื้นที่ชายขอบป่าเพื่อส่งเสริมให้เกิดการมีส่วนร่วมและการพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชนท้องถิ่น ดังตัวอย่างที่เห็นได้จากพื้นที่สงวนทาโดบา (Tadoba Andhari Tiger Reserve) ในประเทศอินเดียที่มีการเริ่มการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในปี พ.ศ. 2555 จนปัจจุบันสามารถจัดการพื้นที่ชายขอบป่าให้มีความชุกชุมของสัตว์ป่าจนกลายเป็นแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีชื่อเสียงแห่งหนึ่งของประเทศในปัจจุบัน

ประวัติการพัฒนาการท่องเที่ยวของอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ เริ่มต้นในปี พ.ศ. 2470 โดยในปีแรกมีรถเพียง 3 คันเท่านั้นที่เข้ามาท่องเที่ยวในอุทยานฯ อย่างไรก็ตามภายในระยะเวลาเพียงหนึ่งทศวรรษถนนกว่า 3,600 กิโลเมตร และที่ตั้งแคมป์พักแรมของนักท่องเที่ยวจำนวนมากได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการจากการท่องเที่ยวเพื่อชมสัตว์ป่าตามธรรมชาติ ต่อมาในปี พ.ศ. 2493 สถานีวิจัย แคมป์ที่พักนักท่องเที่ยว และศูนย์บริการนักท่องเที่ยว ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่ Skukuza (Skukuza Rest Camp) ซึ่งเดิมเป็นพื้นที่ของหน่วยพิทักษ์ป่า และได้พัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในปัจจุบัน Skukuza Rest Camp ได้มีการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ได้แก่ สำนักงานศูนย์บริการนักท่องเที่ยว ธนาคาร ไปรษณีย์ สถานีบริการน้ำมัน ศูนย์ประชุม พิพิธภัณฑ์ ห้องสมุด สปา สถานพยาบาล ร้านอาหาร ร้านค้า ร้านขายของที่ระลึก ที่พัก ค่ายเยาวชน ครอบคลุมพื้นที่ 5 ตารางกิโลเมตร และกลายเป็นพื้นที่ส่วนบริการหลักของอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ในปัจจุบัน

ช่วงทศวรรษที่ 70 – 80 แนวคิดการพัฒนาการท่องเที่ยวซาฟารีสมัยใหม่ได้เกิดขึ้นที่ The Sabie Reserve ซึ่งเป็นพื้นที่สงวนที่อยู่ติดกับอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ แนวคิดหลักของการพัฒนาดังกล่าวเป็นการกำหนดมาตรฐานการท่องเที่ยวซาฟารีตั้งแต่สถานที่พักไปจนถึงการบริการที่มีมาตรฐาน เพื่อตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวที่มีกำลังซื้อสูง ปัจจุบันถือได้ว่าแนวคิดดังกล่าวประสบความสำเร็จอย่างยิ่งในแง่ของการสร้างเศรษฐกิจทั้งต่อนักลงทุนและการสร้างงานของชาวบ้านที่อยู่โดยรอบพื้นที่อุทยานแห่งชาติ ในปัจจุบัน อุทยานแห่งชาติครูเกอร์ มีเขตบริการนักท่องเที่ยว 12 แห่ง ลานกางเต็นท์ 6 แห่ง รับนักท่องเที่ยวพักค้างได้ 4,000 คน นักท่องเที่ยวที่มาเยือนอุทยานแห่งชาติส่วนใหญ่จะพักค้างในอุทยาน 3 - 4 คืน มีการจ้างงานในพื้นที่ มากกว่า 3,500 ตำแหน่ง (Valsson, 2018) แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าตามวัตถุประสงค์ที่ทางอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ได้ตั้งไว้

2. การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์

สำหรับการจัดกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติครูเกอร์มีความหลากหลาย นักท่องเที่ยวสามารถเลือกประกอบกิจกรรมได้ตามความสนใจ ไม่ว่าจะเป็น การนั่งรถส่องสัตว์แบบต่างๆ (Game Drives, 4WD Adventure Trail) การเดินศึกษาธรรมชาติและชีวิตสัตว์ป่า (wilderness trails, guided walk, backpacking trails, eco-trails, bush walk) เส้นทางจักรยานแบบผจญภัย การดูนก การพักค้างแรมในป่า ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเลือกประกอบกิจกรรมตามความสนใจ โดยกิจกรรมที่ถือได้ว่าเป็น highlight ของพื้นที่ คือกิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ป่า (game drive and wildlife sighting) นักท่องเที่ยวสามารถเลือกใช้บริการทั้งที่เป็นของอุทยานแห่งชาติดำเนินการเอง และส่วนที่ดำเนินการโดยภาคเอกชน ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงแต่นักท่องเที่ยวจะได้รับการบริการที่มากกว่า และกำหนดค่าธรรมเนียมในการประกอบกิจกรรม (conservation fee) เพื่อสร้างแรงจูงใจในทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการจัดกิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ได้มีการกำหนดแนวทางการจัดการที่สำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสัตว์ป่า เช่น การกำหนดระยะเวลาการประกอบกิจกรรมในแต่ละฤดูกาล (ในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เดือนกุมภาพันธ์ นักท่องเที่ยวสามารถประกอบกิจกรรมได้ตั้งแต่เวลา 5.30 – 19.00 น. เดือนมีนาคม– เดือนเมษายน เวลา 6.00 – 18.30 น. เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม เวลา 6.30 – 18.00 น. และเดือนกันยายน – เดือนตุลาคม เวลา 6.00 – 18.30 น.) การกำหนดพื้นที่ประกอบกิจกรรมเฉพาะเส้นทางที่กำหนดไว้เท่านั้น และมีการกำหนดจำนวนรถในการประกอบกิจกรรม 0.75 คัน/1 กิโลเมตร หรือ ระยะทาง 1.3 กิโลเมตร/รถ 1 คัน นอกจากนี้ยังได้มีการกำหนดข้อปฏิบัติ (code of conduct) สำหรับนักท่องเที่ยวระหว่างการประกอบกิจกรรม ได้แก่ 1) นักท่องเที่ยวจะต้องอยู่ในยานพาหนะของตนเว้นแต่จะอยู่ในพื้นที่ที่กำหนด ห้ามมิให้มีส่วนใดของร่างกายยื่นออกมาจากหน้าต่างหลังคา หรือส่วนอื่นใดของรถ ควรปิดประตูรถตลอดเวลา 2) จำกัดความเร็วไว้ที่ 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง สำหรับการวิ่งบนถนนหลัก และ 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนถนนลูกรัง 3) ประกอบกิจกรรมได้เฉพาะในช่วงระยะเวลาที่กำหนด ไม่อนุญาตให้เดินทางก่อนหรือหลังเวลาดังกล่าว เวลาเข้าออกต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด 4) ห้ามเข้าในพื้นที่ที่ไม่ได้รับ

อนุญาต 5) ห้ามให้อาหารสัตว์หรือรบกวนสัตว์ 6) นักท่องเที่ยวจะได้รับอนุญาตให้เข้าพักในสถานที่พักที่จองไว้เท่านั้น 7) ยานพาหนะที่มีที่นั่งมากกว่า 25 ที่นั่งจะถูกจำกัดให้อยู่ในถนนหลักเท่านั้น 8) จำกัดการส่งเสียงรบกวนอย่างเข้มงวดระหว่างเวลา 21:30 น. - 06:00 น. และ 9) ห้ามนักท่องเที่ยวใช้โรลเลอร์สเก็ต สเก็ตบอร์ด จักรยาน และจักรยานยนต์

สำหรับการจัดการประชากรสัตว์ป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติครูเกอร์ จากการศึกษาดูงานในช่วงระหว่างวันที่ 11 -14 มีนาคม 2562 ซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของพื้นที่ คณะนักวิจัยได้ประกอบกิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ป่า จำนวน 6 ครั้ง (drive) (โดยเลือกใช้บริการของเอกชน โดยรถ 1 คัน สามารถรับนักท่องเที่ยวได้ 6 คน และรถแต่ละคันมีผู้นำเที่ยวที่เรียกว่า Game Guide ที่ผ่านการฝึกอบรมตามมาตรฐานที่กำหนด ทำหน้าที่ขับรถและให้ความรู้แก่นักท่องเที่ยวประจำรถละ 1 คน) ระยะทางต่อครั้งอยู่ระหว่าง 37.8 - 74.2 กิโลเมตร (ค่าเฉลี่ย 52.38 กิโลเมตร) เวลาที่ใช้ในการนั่งรถชมสัตว์ป่าในแต่ละครั้ง 3 - 4 ชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมง 26 นาที) การพบเห็นสัตว์ป่าอยู่ในช่วงระยะทาง 1.4 -2.5 กิโลเมตร/ครั้ง (ค่าเฉลี่ย 1.8 กิโลเมตร/ครั้ง) ระยะเวลาเฉลี่ยที่พบ 4 - 12 นาที/ครั้ง (ค่าเฉลี่ย 8 นาที/ครั้ง) จำนวนสัตว์ป่าที่พบ 3 - 11 ตัว/กิโลเมตร (ค่าเฉลี่ย 6 ตัว/กิโลเมตร) (Table 2, Figure 1) ตัวเลขที่กล่าวมาถือได้ว่าเป็นมาตรฐานการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่สามารถสร้างประสบการณ์นันทนาการจนทำให้นักท่องเที่ยวเกิดการทำกิจกรรมซ้ำและมาเยือนซ้ำได้ ซึ่งจากการสัมภาษณ์นักท่องเที่ยวที่ไปเยือนพื้นที่ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่านักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการพบเห็นสัตว์ป่าในพื้นที่ ทั้งความหลากหลายและความถี่ในการพบเห็นสัตว์ป่า นักท่องเที่ยว 1 คน ประกอบกิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ป่าอยู่ที่ประมาณ 5 - 6 ครั้ง ต่อการมาเยือน 1 ครั้ง และมีความต้องการที่จะกลับมาอีกในอนาคต

Table 2 Wildlife sightings and game drive activities at the Kruger National Park, South Africa.

Details	Game drive trip					
	Trip 1	**Trip 2**	**Trip 3**	**Trip 4**	**Trip 5**	**Trip 6**
Duration	evening	morning	evening	morning	evening	morning
Number of individuals	161	633	446	102	158	259
Detection frequencies	23	108	27	22	19	30
Distance (km.)	54.3	69.7	39.8	38.5	37.8	74.2
Duration/trip	3:18:28	3:58:30	3:21:36	3:11:46	3:31:56	3:16:34
Average number of individuals per kilometer	2.97	9.08	11.21	4.10	2.70	3.49
Average detection time (minutes/one time)	8.77	4.65	9.46	11.9	9.46	7.66

Remark: Data from field observations undertaken during March 11-14, 2019.

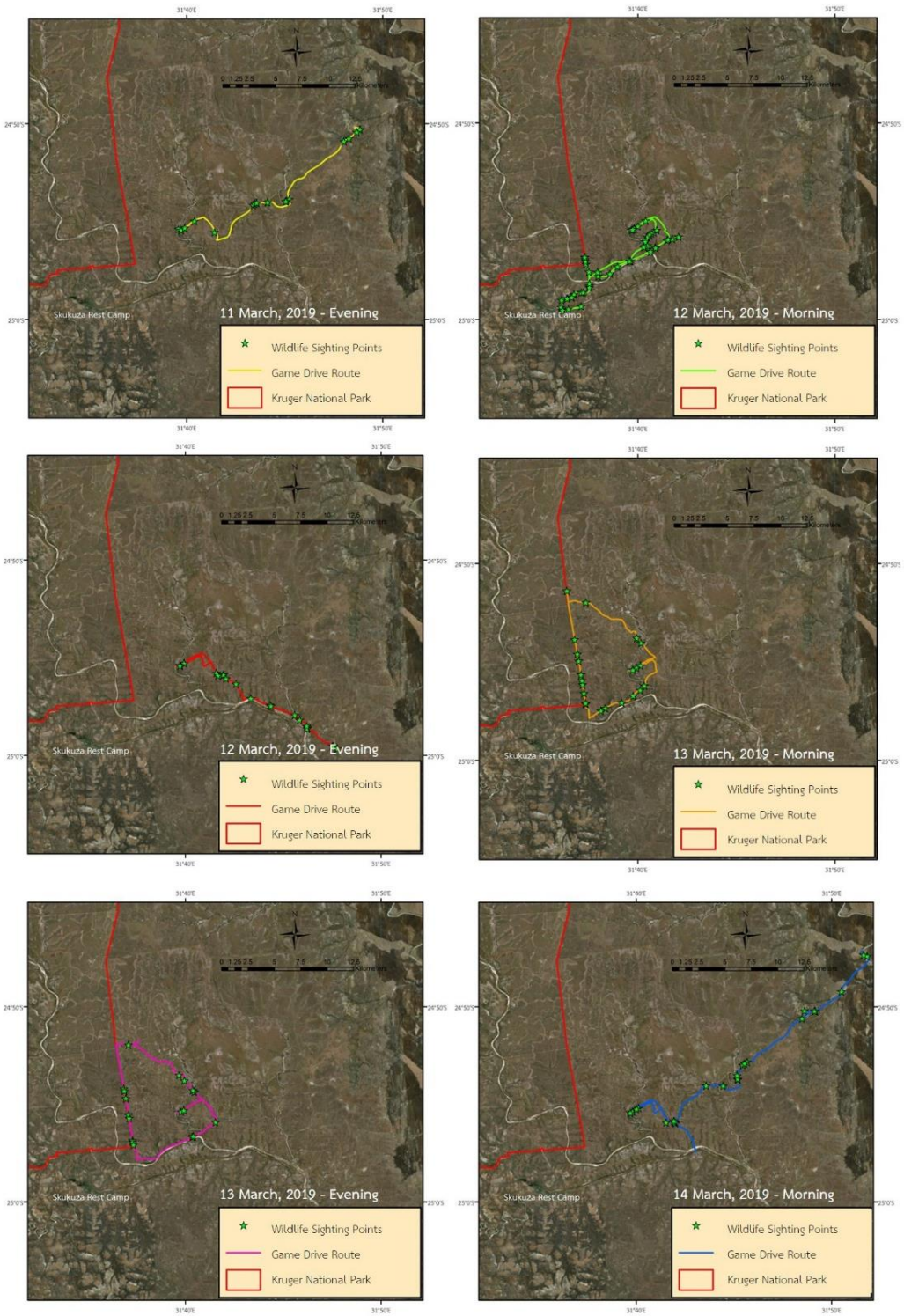


Figure 1 Wildlife sighting routes at the Kruger National Park, South Africa.

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่นำเสนอ การจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าของอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ ไม่ได้เกิดขึ้นจากการปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ หากแต่เกิดจากการจัดการสัตว์ป่า การจัดการการท่องเที่ยว และการจัดการพื้นที่คุ้มครองอย่างมีแบบแผนเพื่อส่งเสริมให้เกิดประสบการณ์ที่ดีและความปลอดภัยแก่นักท่องเที่ยว โดยคำนึงถึงสวัสดิภาพของสัตว์ป่า เช่น กำหนดให้มีการประกอบกิจกรรมในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้เท่านั้นเพื่อลดผลกระทบต่อสัตว์ป่า มีการกำหนดมาตรฐานรถนำเที่ยวเพื่อส่งเสริมให้นักท่องเที่ยวได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีคุณภาพและมีความปลอดภัย มีการกำหนดความเร็วของรถนำเที่ยวและจำนวนรถนำเที่ยวที่เหมาะสม รวมถึงมาตรฐานของสิ่งอำนวยความสะดวกและการบริการต่างๆ ที่ทำให้นักท่องเที่ยวรับรู้ถึงเอกลักษณ์ของการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติ นอกจากนี้มัคคุเทศก์นำเที่ยว (game guide/safari guide) ต้องผ่านการอบรมจากอุทยานแห่งชาติหรือหน่วยงานที่ผ่านการรับรอง

จากการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในอุทยานแห่งชาติครูเกอร์ นำมาสู่ข้อเสนอแนะในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครองของประเทศไทยให้มีมาตรฐาน ตามองค์ประกอบการท่องเที่ยว ดังนี้

1. การจัดการสัตว์ป่าและถิ่นที่อยู่อาศัย: สำหรับการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครอง ก่อนที่จะมีการพัฒนาจะต้องกำหนดพื้นที่ที่สามารถประกอบกิจกรรมการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครองให้ชัดเจน ทั้งเส้นทางการท่องเที่ยวสัตว์ป่า พื้นที่สำหรับโซนบริการ และพื้นที่ที่กันไว้ให้เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าโดยปราศจากการรบกวนเพื่อลดผลกระทบต่อสัตว์ป่า มีการจัดการพื้นที่ที่เหมาะสมกับการเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการส่งเสริมโอกาสการพบเห็นสัตว์ป่า ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาและจัดทำแหล่งพืชอาหาร แหล่งน้ำ และแหล่งดินโป่ง ควบคู่ไปกับการจัดการภัยคุกคามที่มีต่อสัตว์ป่า นอกจากนี้ในพื้นที่คุ้มครองแต่ละแห่งจำเป็นต้องมีการกำหนดชนิดสัตว์ป่าที่เป็นเป้าหมายสำหรับการท่องเที่ยวสัตว์ป่า โดยเฉพาะสัตว์ป่าที่เป็นเป้าหมายของการอนุรักษ์และเป็นสัตว์ป่าชนิดพันธุ์เด่นของพื้นที่ (iconic species) เพื่อจัดทำแผนการจัดการเฉพาะ

2. พาหนะสำหรับใช้นำเที่ยวชมสัตว์ป่า: การกำหนดมาตรฐานรถยนต์นำเที่ยวและยานพาหนะอื่นๆ เช่น เรือนำเที่ยว เป็นสิ่งจำเป็นต่อความปลอดภัยของนักท่องเที่ยวและสวัสดิภาพของสัตว์ป่า การออกแบบควรต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนของคนในท้องถิ่น และต้องไม่ทำลายอัตลักษณ์ของแหล่งท่องเที่ยวสัตว์ป่าที่มีมาตรฐาน รวมถึงมาตรฐานการท่องเที่ยวที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานเรือรับจ้างนำเที่ยว (tourist boat standard) ที่กำหนดโดยกรมการท่องเที่ยว ทั้งนี้เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและพัฒนาภาพลักษณ์การท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่ธรรมชาติแต่ละแห่งของประเทศไทย การบริการนำเที่ยวโดยใช้รถยนต์ขับเคลื่อน 4 ล้อ ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อรองรับกิจกรรมนั่งรถชมสัตว์ป่าเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการในระยะต่อไปเพื่อให้สามารถบริการกลุ่มนักท่องเที่ยวกลุ่มตลาดระดับสูง (high - end) ที่มีศักยภาพในการใช้จ่ายได้ในอนาคตอันใกล้ ทั้งนี้หน่วยงานที่ดูแลพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่า และพันธุ์พืช และกรมป่าไม้ควรมีการพัฒนาเพื่อกำหนดมาตรฐานยานพาหนะสำหรับการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครองที่พิจารณาทั้งในด้านความ

ปลอดภัย สวัสดิภาพของสัตว์ป่า และมาตรฐานสิ่งอำนวยความสะดวก

3. มัคคุเทศก์หรือผู้นำเที่ยว: การท่องเที่ยวสัตว์ป่าเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่เน้นการส่งเสริมการเรียนรู้ให้กับนักท่องเที่ยว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างมาตรฐานของมัคคุเทศก์นำเที่ยวในระดับท้องถิ่น และมัคคุเทศก์นำเที่ยวในระดับสูงเพื่อให้สามารถรองรับนักท่องเที่ยวที่มีเป้าหมายในการมาเยือนที่ต่างกัน ทั้งนี้กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช จำเป็นต้องมีการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมสำหรับมัคคุเทศก์นำเที่ยวสัตว์ป่าโดยเฉพาะ โดยกำหนดคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับสัตว์ป่าในพื้นที่ ความรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม การจัดการถิ่นที่อาศัยสัตว์ป่า การใช้ชีวิตและเรียนรู้ในธรรมชาติ เป็นต้น โดยประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของการพัฒนาการท่องเที่ยว (เช่น กรมการพัฒนาการท่องเที่ยว) และสถาบันการศึกษาต่างๆ

4. กลไกการบริหารจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่า: ในการบริหารจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าในพื้นที่คุ้มครองรวมถึงพื้นที่ธรรมชาติอื่นๆ ของประเทศไทยให้เป็นไปตามเป้าหมายของการพัฒนาการท่องเที่ยวของประเทศ ที่เน้นให้เกิดการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องมีการบูรณาการการทำงานร่วมกันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งในระดับนโยบายและหน่วยงานในระดับพื้นที่ ดังนั้นการจัดตั้งองค์กรที่รวบรวมหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะในท้องถิ่นมาทำหน้าที่บริหารและจัดการการท่องเที่ยวและสัตว์ป่า เพื่อให้เกิดการพัฒนาการท่องเที่ยวสัตว์ป่าอย่างต่อเนื่องและบรรลุเป้าหมายของการเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางด้านสัตว์ป่าเชิงอนุรักษ์ในระดับนานาชาติเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการ รวมทั้งการกำหนดการจัดสรรผลประโยชน์ที่ได้จากการท่องเที่ยวสู่การพัฒนาชุมชนท้องถิ่นให้เห็นเป็นรูปธรรม

5. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าอย่างเป็นรูปธรรม: หน่วยงานภาครัฐที่มีหน้าที่หลักในการดูแลพื้นที่ โดยเฉพาะกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ควรกำหนดแนวทางในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการจัดการการท่องเที่ยวสัตว์ป่าให้ชัดเจน ซึ่งอาจทำได้หลายรูปแบบ เช่น 1) Passive Engagement การมีส่วนร่วมในลักษณะนี้ชุมชนจะเป็นเจ้าของที่ดินและทรัพยากรในการท่องเที่ยว และให้ภาคธุรกิจหรือองค์กรสาธารณะหรือรัฐบาลเช่าใช้เพื่อหารายได้จากทรัพยากรนั้น และนำรายได้มาจัดสรรหรือแบ่งปันคืนแก่ชุมชน (มีการทำข้อผูกผันทางกฎหมายในบางประเทศ เช่น ประเทศเคนยา แทนซาเนีย และ แซมเบีย 2) Active Engagement การมีส่วนร่วมในลักษณะนี้ชุมชนจะได้รับการเสริมสร้างความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและสังคมผ่านทางการจ้างงานในกิจกรรมการท่องเที่ยวทั้งในลักษณะที่เป็นอิสระหรือเป็นพันธมิตรกับภาคธุรกิจหรือองค์กรสาธารณะหรือ NGO และ 3) Co - Management การมีส่วนร่วมในลักษณะนี้ชุมชนจะมีสิทธิในการตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรในการท่องเที่ยวเทียบเท่ากับเจ้าของ การกำหนดสิทธิในการเป็นเจ้าของทรัพยากร การกำหนดการให้บริการ และกระบวนการตัดสินใจและกำหนดกฎระเบียบในการใช้ทรัพยากรจะเป็นปัจจัยสำคัญของการมีส่วนร่วมรูปแบบนี้ (World Bank, 2018)

6. การตลาดการท่องเที่ยว: เพื่อให้การจัดการการท่องเที่ยวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หน่วยงานที่ดูแลรับผิดชอบในการจัดการพื้นที่ ควรมีการศึกษาวิเคราะห์ถึง อุปสงค์ พฤติกรรม

และความเต็มใจจ่ายของนักท่องเที่ยวเพื่อนำไปสู่การกำหนดกลุ่มนักท่องเที่ยวเป้าหมาย และการกำหนดค่าธรรมเนียมในการเข้าใช้พื้นที่เพื่อเป็นการระดมเงินทุนเพื่อใช้ในการอนุรักษ์และการจัดการสัตว์ป่าและการจัดการถิ่นที่อยู่อาศัย ควบคู่กับการพัฒนาการท่องเที่ยวให้เกิดขึ้นในพื้นที่อันจะเป็นการสนับสนุนให้การพัฒนาเศรษฐกิจและการอนุรักษ์สามารถเติบโตพร้อมกันตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้เกิดขึ้นในพื้นที่คุ้มครองของประเทศไทย

REFERENCES

Duffus, D. A. and P. Dearden. 1990. Non-consumptive wildlife-oriented recreation: a conceptual framework. **Biol. Conserv.** 53 (3): 213-231.

Expedition Wildlife. 2021. **Explore our Wild World One Destination at a Time**. Retrieved from: https://www. Expedition wildlife.com/, May 1, 2021.

Gianna, M. and R. Saltzer. 2004. Understanding wildlife tourism markets. pp. 167-185.*In* K. Higginbottom, ed. **Wildlife Tourism: Impacts, Management and Planning**. Common Ground Publishing, Altona, VIC, Australia,

Higginbottom, K. 2004. **Wildlife Tourism: Impacts, Management and Planning**. Cooperative Research Center for Sustainable Tourism. University Press, Australia.

Joubert, S.C.J. 1986. The Kruger national park – an introduction. **Koedoe** 29: x-y (1986)

Kruger National Park. 2018. **Kruger National Park – Park Management Plan for the Period 2018-2028**. SANParks Board, Ministry of Environmental Affairs, South Africa.

Lindsey, P. A., G. Chapron, L. S Petracca, D. Burnham, M.W. Hayward, P. Henschel, E. Hinks, S.T. Garnetti, D.W. Macdonald, E.A. Macdonald, W.J. Ripple, K. Zander, A. Dickman. 2017. Relative efforts of countries to conserve world' s megafauna. **Glob. Ecol. Conserv.** 10(2017): 243-252.

Newsome, D., R.K. Dowling and S.A. Mooew. 2005. **Wildlife Tourism**. Channel View Publications, NY, USA.

Orams, M.B. 2002. Feeding wildlife as a tourism attraction: A review of issues and impacts. **Tour. Manag.** 23: 281-293.

Phumsathan, S., N. Pongpattananurak, S. Udomwitid and T. Chaisawataree. 2018. Wildlife - based ecotourism scenario for Huai Kha Khaeng Buffer Zone Area, Uthai Thani Province, Thailand. *In* **The 8th Advances in Hospitality and Tourism Marketing and Management (AHTMM) Conference,** Bangkok Thailand.

Pongpattananurak, N. 2020. **Habitat Management Plan for Large Herbivore in the Nang Ram and Huai Thap Salao Area, Huai Kha**

Khaeng Wildlife Sanctuary. Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

Reynolds, P.C. and D. Braithwaite. 2001. Towards a conceptual framework for wildlife tourism. **Tour. Manag.** (22): 31-42.

Safari Destinations. 2021. **Safari Destinations.** Retrieved from: https://www.safaridestinations.net/the-experts, May 1, 2021.

Sustainable Tourism Cooperative Research Centre. 2009. **Wildlife Tourism: Challenges, Opportunities and Managing the Future**. Gold Coast Campus Griffith University, Queensland, Australia.

Tisdel, C. 2012. **Economics, Ecology and the Environment: Economic Benefits, Conservation and Wildlife Tourism**. The University of Queensland. Australia.

Valsson, S.H. 2018. National parks and reserves as tourist destinations. **African Conference on Linear Infrastructure and Ecology**. Skukuza, South Africa.

Woodroffe, R., S. Thirgood and A. Rabinowitz. 2005. **People and Wildlife, Conflict or Co-existence? Conservation Biology** (9). Cambridge University Press, UK.

World Bank. 2018. **Growing Wildlife-Based Tourism Sustainably: A New Report and Q&A.** Available Source: https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/ 03/ 01/ growing-wildlife-based-tourism-sustainably-a-new-report-and-qa, February 15, 2020.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนวารสารวนศาสตร์ไทย

https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjf

วารสารวนศาสตร์ เป็นวารสารทางวิชาการป่าไม้ จัดทาโดยศูนย์วิจัยป่าไม้ 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 ทั้งนี้เรื่องที่เป็นนิพนธ์ต้นฉบับและ บทความวิจัยสั้น จะได้รับพิจารณาให้ลงตีพิมพ์ก่อนเรื่องที่เป็นบทวิจารณ์

การเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับ

ต้นฉบับเขียนเป็นภาษาไทย ควรมีการตรวจทานการใช้ภาษาและคำสะกดต่างๆ อย่างถี่ถ้วนก่อนนำเสนอ ความยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4 (ไม่รวมหน้าแรก)

การพิมพ์

1. การพิมพ์ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาด 14 สำหรับภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ

2. หัวข้อหลักใช้ ขนาด 18 ตัวหนาและจัดกึ่งกลางหน้า เช่น คำนำ อุปกรณ์และวิธีการ ฯลฯ ถ้าเรื่องที่เขียนเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ เช่น **ABSTRACT INTRODUCTION REFERENCES** เป็นต้น

3. หัวข้อย่อยแรก ใช้อักษรตัวหนาและจัดชิดซ้าย ขนาด 16 และเริ่มใส่หมายเลขข้อ ในหัวข้อย่อยถัดไปโดยใช้อักษร ตัวหนา ขนาด 14

4. ใส่หมายเลขหน้า มุมขวา ด้านบน

5. ใส่หมายเลขบรรทัด (เริ่มแต่ละหน้าใหม่)

6. รายละเอียดใน Table และ Figure เป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาด 14

รายละเอียดของเนื้อหา

หน้าแรก (Title page) *เป็นหน้าที่แยกออกจากเนื้อหาอื่นๆ* ประกอบด้วย

1. ชื่อเรื่อง เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ให้ระบุชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับและตรงกับเนื้อเรื่อง จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ

2. ชื่อผู้เขียน เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ใช้ชื่อเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องระบุเพศ ยศ ตำแหน่ง

3. สถานที่ทำงานของผู้เขียน ให้ระบุสถานที่ทางานและที่อยู่ของผู้เขียนทุกท่านทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พร้อมระบุที่อยู่ที่ติดต่อได้ของผู้เขียน โดยระบุชื่อหน่วยงาน สถานที่ทำงาน เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์ และ Corresponding Author E-mail

เนื้อหา ประกอบด้วยหัวข้อหลัก ดังนี้

1. บทคัดย่อ สรุปสาระสำคัญของผลงานไว้โดยครบถ้วน และมีความยาวไม่เกิน 300 คำ เรื่องที่เขียนเป็นภาษาไทย ต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาอังกฤษ (**ABSTRACT**) ด้วย (ภาษาอังกฤษก่อนและตามด้วยภาษาไทย) ให้ระบุ Keywords จำนวนไม่เกิน 5 คำไว้ในตอนท้ายบทคัดย่อภาษาอังกฤษด้วย

2. คำนำ อธิบายความสาคัญของปัญหา การตรวจเอกสาร (literature review) เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเท่านั้น และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ในกรณีงานวิจัยทางสังคมศาสตร์อาจเพิ่มเติมขอบเขตการวิจัย กรอบแนวคิดการวิจัย และสมมติฐานการวิจัย (ถ้ามี)

3. อุปกรณ์และวิธีการ เขียนให้รัดกุม ไม่พรรณนาวิธีการวิเคราะห์ ใช้วิธีการอ้างอิงชื่อหรือองค์กร เช่น ใช้ตามวิธีของ AOAC (1990)

4. ผลและวิจารณ์ ผลการทดลองและวิจารณ์ผลเขียนรวมกัน ภาพและตาราง ต้องมีเนื้อหาและคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ให้แสดงเฉพาะข้อมูลสำคัญและจำเป็น แทรกภาพและตารางตามลำดับในเนื้อหา โดยใช้คำว่า Figure ในการอ้างอิงภาพและใช้คำว่า Table ในการอ้างอิงตาราง

5. สรุป ให้กระชับ ยกใจความสาคัญที่ได้จากการวิจัย

6. คำนิยม (ถ้ามี) ไม่ควรเกิน 50 คำ

7. เอกสารและสิ่งอ้างอิง หลักเกณฑ์และรูปแบบการเขียน REFERENCES เรียบเรียงโดยใช้ภาษาอังกฤษทั้งหมดในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทยให้ปรับเป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai)

8. ก่อนส่งต้นฉบับควรตรวจทานการอ้างอิงในเนื้อหาและในท้ายบทให้ตรงกัน และถูกต้องตามหลักเกณฑ์ที่ระบุไว้ดังต่อไปนี้

8.1 การอ้างอิง (citation) ในเนื้อหาใช้ระบบ name-and-year system

8.2 การเรียงลำดับ REFERENCES เรียงตามลำดับตัวอักษร เอกสารทั้งหมดที่ถูกอ้างอิงในเนื้อหาต้องปรากฏใน
รายการเอกสารและสิ่งอ้างอิง

8.3 การเขียน REFERENCES ชื่อผู้เขียนให้เขียนนามสกุลก่อนและตามด้วยชื่ออื่นๆ ซึ่งย่อเฉพาะอักษรตัวแรก

8.4 ตัวอย่างการเขียน REFERENCES

ตัวอย่างการเขียน REFERENCES

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 J. For.** *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.

การแจ้งจำนงผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

ผู้เขียนต้องแจ้งจำนงถึงความต้องการให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาบทความจำนวน 3 ท่าน โดยลงรายละเอียดในแบบเสนอต้นฉบับ

ข้อแนะนำในการใช้ภาษา

1. ใช้คำศัพท์ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานและประกาศของราชบัณฑิตยสถาน
2. การใช้ศัพท์บัญญัติทางวิชาการ ควรใช้ควบคู่กับศัพท์ภาษาอังกฤษ ในครั้งแรกที่ปรากฏในเอกสาร
3. การเขียนชื่อเฉพาะหรือคำแปลจากภาษาต่างประเทศ ควรพิมพ์ภาษาเดิมของชื่อนั้นๆ ไว้ในวงเล็บ ในครั้งแรกที่ปรากฏในเอกสาร
4. ไม่ควรใช้ภาษาต่างประเทศในกรณีที่มีภาษาไทยอยู่แล้ว
5. รักษาความสม่ำเสมอในการใช้คำศัพท์และตัวย่อ โดยตลอดทั้งบทความ

กระบวนการพิจารณาบทความ

การพิจารณากลั่นกรองบทความ (peer review) ทุกบทความจะได้รับการกลั่นกรองเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ เพื่อพิจารณาถึงความสำคัญของบทความ ความเหมาะสมต่อวารสารวนศาสตร์ไทย รวมถึงคุณภาพเนื้อหาทางด้านวิทยาศาสตร์และข้อมูลที่นำเสนอ บทความที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจะถูกปฏิเสธ (reject) โดยไม่

จำเป็นต้องส่งพิจารณาตรวจทาน ส่วนบทความที่ผ่านเกณฑ์เบื้องต้นจะถูกส่งให้ผู้เชี่ยวชาญ (reviewer) ในแต่ละสาขาทำการพิจารณากลั่นกรอง (peer review) โดยชื่อของผู้ประพันธ์และผู้เชี่ยวชาญจะถูกปิดเป็นความลับ ข้อเสนอแนะจากผู้ทรงเชี่ยวชาญจะได้รับการทบทวนจากกองบรรณาธิการ และส่งต่อไปยังผู้ประพันธ์เพื่อดำเนินการเปลี่ยนแปลงบทความตามคำแนะนำดังกล่าวและส่งผลงานที่ปรับแก้ไขแล้วมายังกองบรรณาธิการเพื่อตัดสินใจขั้นสุดท้ายสำหรับการยอมรับ (accept) หรือ (reject) บทความ ปกติการพิจารณาทบทวนบทความใช้เวลาประมาณ 3 เดือน นับจากวันที่ส่งบทความ หากเกินกว่ากำหนดนี้ผู้ประพันธ์สามารถสอบถามมายังกองบรรณาธิการเพื่อทราบความเหตุผลได้

บทความที่ได้รับการยอมรับ (accepted manuscripts) ทางกองบรรณาธิการจะส่งร่างบทความสำหรับตีพิมพ์ให้กับผู้ประพันธ์เพื่อพิสูจน์ความถูกต้อง (corrected proof) จากนั้นผู้ประพันธ์จะได้รับแจ้งกำหนดเวลาการตีพิมพ์บทความนั้น

บทความที่ถูกปฏิเสธ (rejected manuscripts) ทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเอกสารทั้งหมดรวมถึงข้อคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญให้กับผู้ประพันธ์ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและส่งผลงานไปตีพิมพ์ยังวารสารอื่นๆ ที่มีความเหมาะสม

การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนจัดส่งรายละเอียดดังนี้

1. ต้นฉบับ (manuscript) 1 ชุด ในรูป Microsoft Office Word 2003/2007/xp
2. แบบเสนอต้นฉบับ (submission form) 1 ชุด ในรูป Microsoft Office Word 2003/2007/xp
3. ไฟล์ตารางในรูป Microsoft Office Word 2003/2007/xp
4. ไฟล์ภาพต้นฉบับที่สามารถปรับแก้ไขได้

ดาวน์โหลดแบบฟอร์มแบบเสนอต้นฉบับได้ที่ https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjf/information/authors ส่งทุกไฟล์ผ่านระบบ ThaiJO (Thai Journal Online) http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjf สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมที่ กองบรรณาธิการ วารสารวนศาสตร์ไทย ศูนย์วิจัยป่าไม้ ชั้น 5 อาคารวนศาสตร์ 72 ปี คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 02-942-8899, 094-885-5992

หมายเหตุ

1. เอกสารที่มีการเตรียมต้นฉบับไม่ถูกต้องตามข้อเสนอแนะนำจะไม่ได้รับการพิจารณา
2. ทางสารสารฯ ขอสงวนสิทธิ์ที่จะไม่คืนเอกสารข้างต้นให้ผู้เขียนไม่ว่ากรณีใดๆ

THAI JOURNAL OF FORESTRY

Owner

Faculty of Forestry, Kasetsart University

Editor - in - Chief

Assist.Prof.Dr.Roongreang Poolsiri *Kasetsart University*

Editorial Board

Prof.Dr.Nipon Tangtham
Forestry Alumni Association

Assoc.Dr.Utis Kutintara
Forestry Alumni Association

Prof.Dr.Dokrak Marod
Kasetsart University

Assoc.Prof.Dr.San Kaitpraneet
Forestry Alumni Association

Assoc.Prof.Dr.Decha Wiwatwitaya
Kasetsart University

Assoc.Prof.Dr.Santi Suksard
Kasetsart University

Assoc.Prof.Dr.Prateep Duengkae
Kasetsart University

Assist.Prof.Dr.Nikhom Laemsak
Kasetsart University

Assist.Prof.Dr.Sapit Diloksumpun
Kasetsart University

Assist.Prof.Dr.Kobsak Wanthongchai
Kasetsart University

Assist.Prof.Dr.Pasuta Sunthornhao
Kasetsart University

Assoc.Prof.Dr.Soontorn Khamyong
Chiang Mai University

Assoc.Prof.Dr.Sura Pattanakiat
Mahidol University

Assoc.Prof.Dr.Kriangsak Sri-Ngernyuang
Maejo University

Assoc.Prof.Dr.Dusit Wechkit
Sukhothai Thammathirat Open University

Assist.Prof.Dr.Chirdsak Thapyai
Naresuan University

Assist.Prof.Dr.Bunvong Thaiutsa
Royal Project Foundation

Assist.Prof.Dr.Kansri Boonprakob
Ramkhamhaeng University

Prof.Dr.Olavi Luukkanen
University of Helsinki, Finland

Prof.Dr.Hiroshi Takeda
Kyoto University, Japan

Prof.Dr.Roger Kjelgren
Utah State University, USA

Dr.Andrew J. Warner
Kasetsart University

Manager

Ms. La-ongdao Thaopimai

Assistant Manager

Mrs. Waraporn Lumyai

Journal Office

Forestry Research Center, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, THAILAND

Phone : 0-2942-8899 E-mail: frc@ku.th Web site: tci.thaijo.org/index.php/tjf

Thai Journal of Forestry (TJF) was established in 1982 under Faculty of Forestry, Kasetsart University, Thailand, and publishes paper concerning on forestry research of special interest articles are dealing with forest ecology, forest management, forest economic, silvilculture, watershed, biological diversity conservation, morphology and physiology of vegetation and wildlife, etc. To better circulate the research from Thai and international researchers and contributing scientists to a wider audience. All submitted manuscripts have been reviewed by at least two expert reviewers via the double-blinded review system. TJF is published semi-annually (January-June and July-December). The submission can be done by direct contact to editorial office or by email: frc@ku.th

วารสารวนศาสตร์ไทย

THAI JOURNAL OF FORESTRY

Original article

Application of Geo-informatics Data to Determine Suitable Areas for the Establishment of National Reserved Forest at Koh Larn, Bang Lamung District, Chon Buri Province 1
.....Radklao Au-ngern, Piyawat Diloksumpun and Weeraphart Khunrattanasiri

Health assessment of *Avicennia* spp. forest through an Unmanned Aerial Vehicle located at the Upper Gulf of Thailand 17
.....Peeruch Poommirat, Athit Sengtan, Pasin Maprasop, Naludol Limpanasittichai and Aor Pranchai

Properties of Charcoal from Five Exotic High Land Tree Species Using a Modified Two-Step Carbonization Method 29
.....Kritin Suttiwarinkul, Pongsuk Hengniran and Trairat Neimsuwan

Application of SWAT and CLUE-S Models in Streamflow and Land Use Prediction in the Upper Khwae-Noi Subwatershed, Nakhonthai District, Phitsanulok Province 39
.....Pimnipa Baiku, Piyapong Tongdeenok and Naruemol Kaewjampa

Economic Zoning of Teak in Thailand..... 56
.....Panyaporn Samretfueangfu and Adis Israngkura

Improvement of Drought Tolerance in *Shorea roxburghii* and *Shorea siamensis* Seedlings with *Astraeus odoratus* as Ectomycorrhiza..... 69
.....Parichat Saengngam, Chanthipha Sridawon, Sulfa Yeerahem, Oraya Burakai, Jetsada Wongprom, Nisa Leksungnoen and Tharnrat Kaewgrajang

Effect of Planting Material and Spore Preservation Temperature of *Astraeus odoratus* on the Growth and Ectomycorrhizal Root Formation in *Dipterocarpus alatus* seedlings 83
.....Thapana Chabthaisong and Tharnrat Kaewgrajang

Land Use Classification Technique Using Unmanned Aerial Vehicle Orthophotos 95
.....Kraiwut Siri-on, Piyawat Diloksumpun and Weeraphart Khunrattanasiri

Designing a Geospatial Database for Forest Operations in Lat Krathing Plantation, Chachoengsao Province 111
.....Panas Srinualkaew, Payattipol Narangajavana and Nopparat Kaakkurivaara

Population Structure and Foraging Activity of Wild Elephants (*Elephas maximus*) in the Salakpra Wildlife Sanctuary, Kanchanaburi Province 128
.....Prawit Ainnoi, Yongyut Trisurat and Ronglap Sukmasuang

The Application of Vibration Sensors and Position Tracking in the Use of Chainsaws 142
.....Kiattisak Bundet, Nopparat Kaakkurivaara and Supakit Sayasoonthorn

Environmental Factors Affecting the Distribution Suitability of Cajuput Tree (*Melaleuca cajuputi* Powell) in Thailand 155
.....Janthima Yoothaworn, Yongyut Trisurat, Wattanachai Tasen and Auschada Chitechote

Application of Point Sampling in Forest Inventory for Timber Assessment: A Case Study of Siamese Rosewood Plantation, Trat Province 172
.....Phanuphong Kaewbanjong, Patsi Prasomsin, Pichit Lumyai and Watcharin Seenuil

Growth and Yield Models of Four Year Old Eucalyptus Clones K7 and K62 at the Sa Kaeo Plantation, Sa Kaeo Province..... 187
.....Boonkit Sawiangphon, Pichit Lumyai, Somporn Maelim and Chonlathep Boukaew

Short communication

Wildlife Tourism Management: Case Study of the Kruger National Park, South Africa as a Guideline for Wildlife Tourism Management in Thailand 204
.....Sangsan Phumsathan and Nantachai Pongpattananurak

THE OFFICIAL JOURNAL OF THE FACULTY OF FORESTRY, KASETSART UNIVERSITY

PUBLISHED BY FORESTRY RESEARCH CENTER, KASETSART UNIVERSITY, BANGKOK, THAILAND