

นิพนธ์ต้นฉบับ

กำหนดการเชิงเส้นสำหรับการจัดการสวนป่าอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาสวนป่าไม้พะยุง
ในสวนป่าท่ากุ่มโนโบรุ อุเมตะ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ จังหวัดตราด

Linear Programming towards a Sustainable Management
of Forest Plantations: A Case Study of Siamese Rosewood
at Tha Kum Noboru Umeda Plantation
under the Forest Industry Organization, Trat Province

ปิยะพฤกษ์ วงศ์นาม*

ปัสสิ ประสมสินธ์

กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ

Piyapruet Wongnam*

Patsi Prasomsin

Kritsadapan Palakit

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

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

*Corresponding Author, E-mail: piyapruet@outlook.co.th

รับต้นฉบับ 4 กุมภาพันธ์ 2563

รับแก้ไข 18 มีนาคม 2563

รับลงพิมพ์ 20 มีนาคม 2563

ABSTRACT

The objective of this study was to apply linear programming (LP) to determine the scheduling of a sustainable timber harvest of Siamese rosewood (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre) at the Tha Kum Noboru Umeda plantation, Trat province. The methodology in this study consisted of 3 stages namely data preparation, data analysis, and design of timber harvest scheduling. This data covered a productive area of 742.56 rai under Siamese rosewood over a 60 year period of planned management with 6 cutting periods spaced 10 years apart. The rotation must be done at periods equal and greater than 30 years. The objective function of the LP model was maximization of the net present value of the profit from forest logging. The constraints of the LP model should follow a sustainable plantation management as prescribed under the Forest Industry Organization (FIO) policy. In addition, the age class distribution of productive area and the harvested volume should be equal or approximately equal during each of the scheduled cutting period. The LP solution indicated that the value of objective function at an optimal solution was 276,651,700 Baht with a harvested volume of 10,647 cubic metres, approximately 1,774 cubic metres during each cutting period and a remaining merchantable volume of 4,021.5 cubic metres, at par with the FIO guidelines. The age class distribution of forest plantation consisted of 6 classes with an approximately equal productive area of 123.76 rai. This can ensure that the forest plantation produces a sustainable yield.

Keywords: Linear programming, Siamese rosewood, Forest Industry Organization

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นในการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้พะยูน (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre) เพื่อให้เกิดความยั่งยืน โดยมีพื้นที่ศึกษา คือ สวนป่าท่ากุ่มโนโบรู อูเมตะ จังหวัดตราด ซึ่งขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนของการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้ในสวนป่า สำหรับการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้พะยูนในครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ 742.56 ไร่ และกำหนดระยะเวลาในแผน 60 ปี โดยแบ่งออกเป็น 6 ระยะคาบ คาบละ 10 ปี กำหนดอายุตัดฟันอย่างน้อย 30 ปี โดยมีเป้าหมายในการจัดการเพื่อให้สวนป่าสามารถจัดสรรผลผลิตไม้ให้ได้มูลค่าสูงสุดสอดคล้องไปกับนโยบายขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ มีการปรับโครงสร้างป่าให้ในแต่ละชั้นอายุมีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน และควบคุมปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ใกล้เคียงกันในแต่ละคาบ ผลการวิเคราะห์หาค่าแบบกำหนดการเชิงเส้นพบว่า มูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิสูงสุดที่ได้รับตลอดระยะเวลาในแผน 60 ปี คือ 276,651,700 บาท มีปริมาตรไม้ที่ทำได้ทั้งหมด 10,647 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณใกล้เคียงกันที่ 1,774 ลูกบาศก์เมตร ในแต่ละคาบ และเหลือปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ไว้ 4,021.5 ลูกบาศก์เมตร ตามนโยบายขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ โครงสร้างป่าประกอบด้วยทั้งหมด 6 ชั้นอายุ ที่มีขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน ชั้นอายุละ 123.76 ไร่ ซึ่งจะทำให้สวนป่าสามารถให้ผลผลิตได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงเส้น ไม้พะยูน องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้

คำนำ

จุดมุ่งหมายสำคัญของการจัดการป่าไม้ คือ จัดการเพื่อให้สามารถอำนวยผลผลิตได้อย่างถาวร ซึ่งป่าที่ให้ผลผลิตได้ถาวรจะต้องอยู่ในสภาพของป่าสมบูรณ์ (Davis, 1966) ป่าสมบูรณ์ (normal forest) คือ ป่าที่สามารถบรรลุและรักษาไว้ซึ่งความสมบูรณ์พร้อมของคุณลักษณะในทุกด้าน ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจสำหรับวัตถุประสงค์ในการจัดการ สามารถกำหนดกำลังผลิตได้อย่างสมบูรณ์ (Osmaston, 1968) ป่าสมบูรณ์ประกอบไปด้วยคุณลักษณะที่มีการกระจายของชั้นอายุ ความเพิ่มพูน และมีปริมาณไม้ยืนต้นอยู่อย่างสม่ำเสมอ กล่าวคือ ป่าประกอบด้วยชั้นอายุตั้งแต่เริ่มกระบวนการทดแทนจนถึงอายุตัดฟันต่อเนื่องครบทุกชั้นอายุและในแต่ละชั้นอายุมีปริมาณไม้ยืนต้นอยู่อย่างสม่ำเสมอเพียงพอที่จะให้ความเพิ่มพูนในปริมาณเท่ากัน ปริมาณผลผลิตที่จะเก็บเกี่ยวได้เมื่อถึงอายุตัดฟันจึงเท่ากับหรือไม่เกินผลรวมความเพิ่มพูนของหมู่ไม้ทั่วทั้งป่า ชั้นอายุที่ถูกตัดฟันดังกล่าวจะกลับไปเริ่มในกระบวนการทดแทนและมีชั้น

อายุถัดไปที่ถึงอายุตัดฟันถูกเก็บเกี่ยวผลผลิตในลักษณะเดียวกันต่อเนื่องไปตามลำดับทุกปีหรือช่วงปีไปจนชั้นอายุที่ถูกตัดฟันครั้งแรกเวียนถึงกำหนดอายุตัดฟันอีกครั้ง ซึ่งหากคงสภาพของป่าไม้ให้อยู่ในลักษณะดังกล่าวไว้ได้ตลอด กระบวนการทั้งหมดจะยังคงดำเนินต่อเนื่องไปและสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างไม่สิ้นสุด อย่างไรก็ตาม หมู่ไม้ในแต่ละชั้นอายุไม่จำเป็นต้องมีจำนวนต้นหรือเติบโตจากแหล่งไม้บริเวณเดียวกัน แต่หากสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างต่อเนื่องในปริมาณที่เท่ากันทุกปีหรือช่วงปีก็ถือว่ามีการกระจายของคุณลักษณะต่างๆ อย่างสม่ำเสมอตามทฤษฎีได้ (Mechuthon, 1954) ซึ่งป่าโดยทั่วไปมักไม่ได้อยู่ในลักษณะดังกล่าว ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการปฏิบัติที่เรียกว่า การกำหนดกำลังผลิต ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมปริมาณไม้ในป่าให้เกิดความเหมาะสมสามารถระบุถึงปริมาณไม้ที่สามารถตัดฟัน บริเวณพื้นที่ตัดฟัน และช่วงเวลาที่สามารถตัดฟันได้ (Meyer *et al.*, 1952) โดยทั่วไปมีเกณฑ์ในการจำแนกวิธีการกำหนดกำลังผลิตด้วยกันอยู่ 3 เกณฑ์ ได้แก่ การกำหนดกำลังผลิตโดยใช้

เนื้อที่เป็นเกณฑ์ คือ การควบคุมผลผลิตป่าไม้โดยกำหนดขนาดพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละปีหรือช่วงปีให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน การกำหนดกำลังผลิตโดยใช้ปริมาตรเป็นเกณฑ์ คือ การควบคุมผลผลิตป่าไม้ โดยกำหนดปริมาตรที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละปีหรือช่วงปีให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน และการกำหนดกำลังผลิตโดยรวมทั้งเกณฑ์เนื้อที่และปริมาตร (Davis *et al.*, 2001) ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ที่สามารถวัดได้ในการควบคุมและปรับคุณลักษณะของป่าไม่ว่าใกล้เคียงกับสภาพของป่าสมบูรณ์แล้วหรือไม่ เนื่องจากการใช้ระบบวนวัฒนบางชนิดในการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น ระบบเลือกตัด อาจทำให้โครงสร้างของหมู่ไม้มีอายุไม่สม่ำเสมอ (uneven-aged stand) โดยหมู่ไม้หลายชั้นอายุจะขึ้นปะปนอยู่ในพื้นที่เดียวกันคล้ายคลึงกับป่าธรรมชาติ จนไม่อาจจำแนกเป็นขนาดพื้นที่ของแต่ละชั้นอายุได้ แตกต่างจากป่าที่มีการใช้ระบบอื่นๆ ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น ระบบตัดหมด ระบบแม่ไม้ ระบบไ้วร์ม ซึ่งทำให้สามารถจำแนกโครงสร้างของขนาดพื้นที่ในแต่ละชั้นอายุได้ง่ายเนื่องจากหมู่ไม้มีอายุสม่ำเสมอ (even-aged stand) คือ หมู่ไม้ที่มีช่วงชั้นอายุเดียวกันหรือใกล้เคียงกันจะขึ้นอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกัน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการทำไม้ในลักษณะของงานสวนป่าที่มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการผลิตไม้และการค้าไม่อาจจะพิจารณาเฉพาะส่วนของความถูกต้องตามทฤษฎีเท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ สังคม นโยบาย ตลอดจนปัจจัยอื่นร่วมด้วยตามสถานการณ์อย่างเหมาะสม ซึ่งการจะจัดการป่าภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่ซับซ้อนเหล่านี้ได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีเครื่องมือเข้ามาช่วยประเมินทางเลือกในการตัดสินใจให้เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อสร้างแผนจัดการ

เทคนิคกำหนดการเชิงเส้น คือ เทคนิคการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไข โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแทนลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นจริงที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น สามารถประยุกต์

เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและให้ผลเฉลยเป็นค่าผลลัพธ์สูงสุดหรือต่ำสุดของปัญหา (Hillier and Lieberman, 2010) ถูกใช้อย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดการทรัพยากรหรือปัญหาอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ (Dykstra, 1984) อย่างไรก็ตาม กำหนดการเชิงเส้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีความแน่นอนถูกต้อง และครอบคลุมในขั้นตอนของการกำหนดปัญหา รวมถึงความเข้าใจของผู้กำหนดปัญหาเพื่อสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับสภาพปัญหาในความเป็นจริงที่สุดก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการแก้ปัญหาต่อไป ปัจจุบันประเทศไทยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาวิธีการประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นในการจัดการสวนป่า และส่วนใหญ่ยังให้ความสำคัญกับชนิดไม้ที่นิยมปลูก เช่น Duangsathaporn (2005) ศึกษาไม้สัก (*Tectona grandis* Linn.f.) หรือ Taweeshoop (2008) ศึกษายูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) โดยได้ตั้งข้อสังเกตว่า ตัวแบบที่เคยมีการศึกษามาก่อนนั้นไม่มีเงื่อนไขการควบคุมปริมาตรที่สามารถตัดฟันได้ ดังนั้น จึงต้องกำหนดกำลังผลิตด้วยเกณฑ์ของเนื้อที่และใช้ระบบตัดหมดในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งแม้จะเป็นวิธีการที่ปัจจุบันใช้กันอย่างมากในประเทศไทย เพราะมีความสะดวก ง่ายต่อการจัดการ สามารถให้ปริมาณผลผลิตต่อครั้งจำนวนมาก แต่ก็ยังเป็นวิธีที่อาจไม่เหมาะสมในบางพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ทั้งยังเป็นการเพิ่มความเสี่ยงและอันตรายจากโรคระบาด แมลง การกร่อนของดินและสูญเสียอินทรีย์วัตถุในดิน กล่าวคือ การถางพื้นที่ออกโล่งเตียนทำให้ไม่มีต้นไม้อุปถัมภ์และยึดหน้าดิน อินทรีย์วัตถุบนพื้นที่ป่าจึงสลายตัวไปอย่างรวดเร็วและเสี่ยงที่ดินจะกร่อนได้ง่าย นอกจากนี้ การใช้ระบบตัดหมดในการเก็บเกี่ยวผลผลิตยังทำให้โครงสร้างของหมู่ไม้มีชั้นอายุอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันขึ้นอยู่ร่วมกัน ดังนั้น เมื่อเกิดโรคระบาดหรือแมลงเข้าทำลายจึงเสี่ยง

ที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงต่อหมู่ไม้ในชั้นอายุดังกล่าวนี้ทั้งหมด (Matthews, 1989) ในขณะที่ต่างประเทศได้ประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นในการสร้างแผนการจัดการโดยหลักเลี้ยงที่จะให้มีการกำหนดกำลังผลิตด้วยเนื้อที่เพียงอย่างเดียว และยังให้ความสำคัญมากขึ้นกับการจัดการสวนป่าเพื่อผลผลิตที่ไม่ใช่เนื้อไม้และนิเวศบริการด้านอื่นๆ เช่น การอนุรักษ์ดิน น้ำ ทัศนียภาพ (Keleş *et al.*, 2007) การกักเก็บคาร์บอนสูงสุด (An *et al.*, 2019) มูลค่าสูงสุดจากการกักเก็บคาร์บอนที่คำนวณจากราคาคาร์บอน (Kucuker, 2019) ซึ่งมักจะมีการกำหนดกำลังผลิตด้วยปริมาตรรวมด้วยเสมอเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณผลผลิต มวลชีวภาพ หรือใช้คำนวณปริมาณคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้

ดังนั้น การสร้างแผนจัดการที่มีเงื่อนไขต้องการให้ปรับโครงสร้างป่าจนมีสภาพใกล้เคียงหรือตรงตามคุณลักษณะของป่าสมบูรณ์ สามารถที่จะให้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องยั่งยืนตลอดไปได้ภายใต้ข้อกำหนดทางนโยบายและเงื่อนไขด้านการจัดการ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายและเงื่อนไขอันซับซ้อนในสร้างแผนการจัดการดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะแสดงให้เห็นอยู่ในรูปของตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปปฏิบัติ สามารถระบุถึงบริเวณที่ควรตัดฟัน ช่วงเวลาขนาดเนื้อที่ รวมถึงปริมาณที่สามารถตัดฟันได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ในการกำหนดกำลังผลิตจะใช้เกณฑ์ของเนื้อที่และปริมาตรรวมกัน จึงทำให้แผนการจัดการสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับระบบเลือกตัดในการเก็บเกี่ยวผลผลิต และสามารถควบคุมปริมาตรไม้ในป่าหรือใช้คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ได้ ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการวางแผนจัดการสวนป่าในอนาคต การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นในการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้พะยุงให้เกิดความยั่งยืน โดยมีสวนป่าท่ากุ่มโนโบรู อุเมดะ เป็นพื้นที่ศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการ

การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมจากข้อมูลทุติยภูมิที่สำคัญสำหรับใช้ในการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิต ประกอบด้วยแผนที่แปลงปลูกไม้พะยุง ข้อมูลประชากรไม้พะยุงทั้งหมด ข้อมูลการบริหารจัดการภายในสวนป่า รวมไปถึงข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคม ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการทำไม้ (Forest Industry Organization, 2006) ต้นทุนการปลูกและดูแลรักษาสวนป่า (Budgeting Standard 1 Division, 2018) ราคาไม้พะยุง (Nathalang, 2012) และนโยบายการจัดการสวนป่าเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน (Forest Industry Organization, 2018)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประเมินปริมาณผลผลิตที่มีในปัจจุบันโดยใช้ตารางปริมาตรไม้และคาดคะเนผลผลิตที่จะได้รับในอนาคตด้วยอัตราความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี จากนั้นกำหนดแนวทางการจัดการโดยให้แผนจัดการจะต้องได้รับมูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิสูงสุดภายในระยะเวลาของแผน 60 ปี แบ่งเป็น 6 ระยะคาบ คาบละ 10 ปี สามารถตัดฟันไม้พะยุงได้เมื่อไม่มีอายุตั้งแต่ 30 ปี ขึ้นไป (Visaratana *et al.*, 2016) ไม่มีการตัดขยายระยะ และกำหนดให้มีการทดแทนเกิดขึ้นทันทีหลังมีการทำไม้ออก สามารถสร้างแนวทางจัดการที่เป็นไปได้ทั้งหมด 13 แนวทาง พร้อมทั้งคำนวณมูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิที่จะได้รับด้วยอัตราคิดลดที่ร้อยละ 3.05 (Notification of the Ministry of Finance, 2019) จัดให้อยู่ในโครงสร้างของกำหนดการเชิงเส้นและคำนวณหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \text{NPV}_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} = T_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ij} = A_H^{\text{age}} \quad (3)$$

$$(1-\alpha) \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ijk} X_{ij} - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N V_{ij(k+1)} X_{ij} \leq 0 \quad (4)$$

$$(1+\beta)\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N v_{ijk} X_{ij} - \sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N v_{ij(k+1)} X_{ij} \geq 0 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N v_{ijH}^m X_{ij} \geq E^m \quad (6)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

สมการ (1) กำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีตัวแปร X_{ij} คือ ขนาดพื้นที่ที่ตัดฟันได้ของหน่วยจัดการ i ภายใต้แนวทางจัดการ j เป็นตัวแปรตัดสินใจ และกำหนดให้ NPV_{ij} คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของหน่วยจัดการ i ภายใต้แนวทางจัดการ j เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจ สมการ (2) เป็นเงื่อนไขที่จำกัดให้ผลรวมของพื้นที่ในแต่ละหน่วยจัดการจะต้องไม่เกินขนาดพื้นที่จริง กำหนดให้ T_i คือ พื้นที่ทั้งหมดของหน่วยจัดการ i สมการ (3) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้พื้นที่ในแต่ละชั้นอายุมีขนาดเท่ากันเมื่อสิ้นสุดแผนจัดการ กำหนดให้ คือ ขนาดพื้นที่ของหมู่ไม้ในแต่ละชั้นอายุเมื่อสิ้นสุดแผนจัดการ โดยมีสัญลักษณ์ age เพื่อแสดงถึง ช่วงชั้นอายุของหมู่ไม้ และ H แสดงถึงระยะเวลาเมื่อแผนจัดการสิ้นสุดไปแล้ว อสมการ (4) และ (5) เป็นการควบคุมปริมาณไม้ที่สามารถตัดได้ในแต่ละคาบ โดยจะกำหนดให้อัตราเก็บเกี่ยวเท่ากับ ความเพิ่มพูนที่เกิดขึ้น ($\alpha = \beta = 0$) กำหนดให้ v_{ijk} คือ ปริมาณไม้ของหน่วยจัดการ i ภายใต้แนวทางจัดการ j

ในระยะคาบ k อสมการ (6) เป็นการกำหนดปริมาณไม้ขั้นต่ำที่ต้องการเหลือไว้เมื่อสิ้นสุดแผนจัดการ โดยมีสัญลักษณ์ m ที่หมายถึงปริมาณไม้ดังกล่าวเป็นปริมาตรไม้ที่มาจากหมู่ไม้อายุ 30 ปีขึ้นไปสามารถใช้ทำเป็นสินค้าได้ และอสมการ (7) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าไม่ติดลบ

การสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้ในสวนป่า

นำผลลัพธ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาจัดทำให้อยู่ในรูปของตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้พะยุงในสวนป่าที่กำหนดกำลังผลิตด้วยเกณฑ์เนื้อที่และปริมาตรร่วมกัน แสดงรายละเอียดของขนาดพื้นที่ ปริมาตร และช่วงเวลาที่สามารถตัดฟันได้

ผลและวิจารณ์

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับพื้นที่สวนป่า แสดงขอบเขตของแปลงปลูกที่ให้ผลผลิตไม้พะยุงในสวนป่าท่ากุ่มโนโบรุ อุเมตะ พบว่า มีขนาดพื้นที่รวม 742.56 ไร่ จากทั้งหมด 5 หน่วยจัดการประกอบด้วย หน่วยจัดการ 2522/1, 2522/2, 2523/1, 2523/2 และ 2526 (Figure 1)

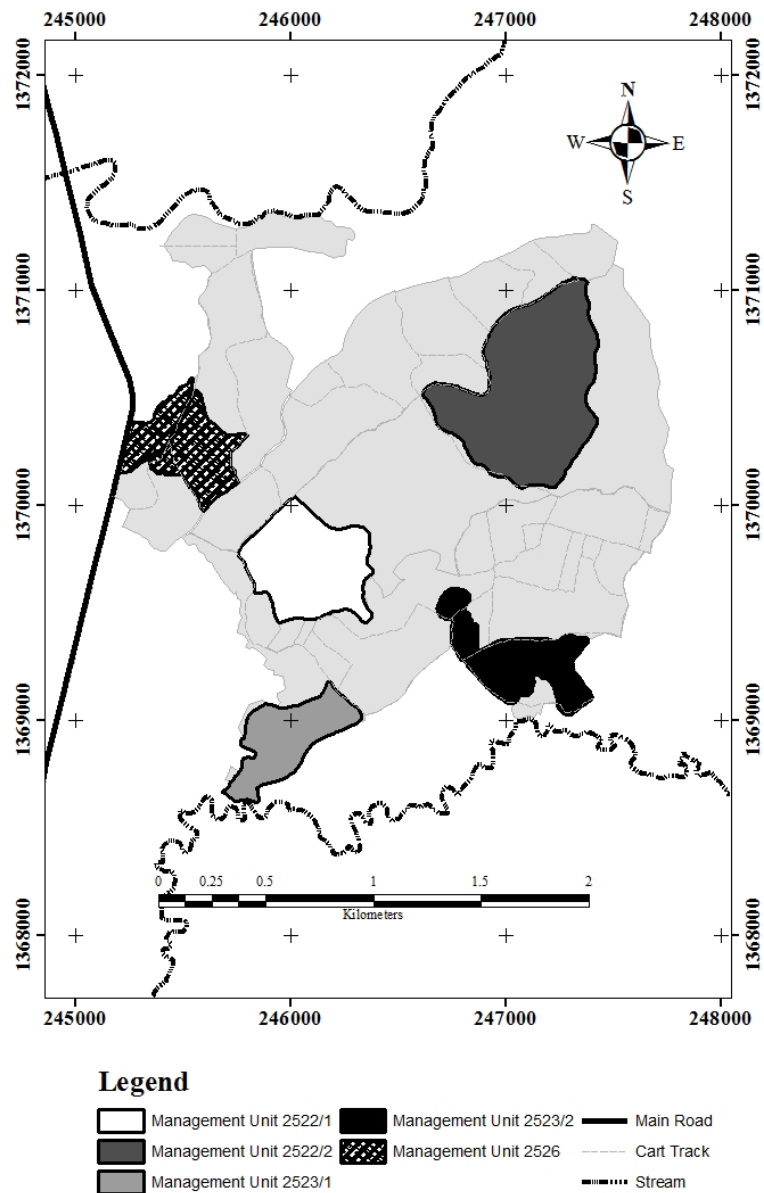


Figure 1 Map of the management unit of Siamese rosewood at the Tha Kum Noboru Umeda plantation.

นอกจากนี้ยังได้แสดงข้อมูลสถานภาพปัจจุบันของแต่ละหน่วยจัดการ (Table 1) พบว่า ทุกหน่วยจัดการไม่เคยมีการตัดขยายระยะมาก่อน เนื่องจากไม่ปรากฏหลักฐานการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการ

ตัดขยายระยะ ประกอบกับไม้พะยูงยังไม่ได้รับความนิยมปลูกเพื่อทำเป็นสวนป่า เนื่องจากสีและลวดลายของแก่นไม้มีความไม่แน่นอน (Eiadthong *et al.*, 2014)

Table 1 Management units and the present state.

Management unit	Year of planting	Silvicultural treatment		Volume (cu.m.)	Area (rai)	Number of trees	Mean annual increment (cu.m. rai ⁻¹ yr ⁻¹)
		Spacing (m)	Thinning				
2522/1	1979	4×4	-	1,602.83	150.47	3,261	0.266
2522/2	1979	4×4	-	530.07	291.58	1,106	0.045
2523/1	1980	4×6	-	1,342.60	94.62	2,237	0.364
2523/2	1980	4×6	-	1,123.14	103.48	2,362	0.278
2526	1983	4×4	-	1,477.10	102.41	2,132	0.401
Total				6,075.74	742.56	11,098	

จาก Table 1 พบว่า ชั้นอายุของหมู่ไม้ในแต่ละหน่วยจัดการมีอายุอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันที่ประมาณ 35-40 ปี ซึ่งการปล่อยให้ไม้พะยูนมีอายุมากและขาดการดูแลรักษายังทำให้มีอัตราการตายที่สูงขึ้น (Nhutep *et al.*, 2017) ทำการคาดคะเนปริมาณผลผลิตที่จะได้รับในอนาคตโดยใช้อัตราความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี อย่างไรก็ตาม การคาดคะเนด้วยวิธีดังกล่าวนั้นอาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงเนื่องจากความสามารถในการเติบโตของต้นไม้ไม่ได้เติบโตในอัตราเฉลี่ยที่เท่ากันทุกปี ต้นไม้ส่วนมากเมื่อพัฒนาเรือนยอดและระบบรากจนถึงระยะเวลาหนึ่งจะเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเติบโต โดยอาจพบว่าขนาดวงเติบโตของต้นไม้ที่เพิ่งเริ่มปลูกจะมีความกว้างมากและเมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มขึ้นวงนั้นจึงค่อยๆ แคบลง เนื่องจากมีอัตราการเติบโตที่ช้าลงไม่เท่ากันตามแต่ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและความสามารถของชนิดพันธุ์ (Baker, 1934) ทั้งนี้อาจใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยาในการศึกษา (Duangsathaporn, 2005) หรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคาดคะเนการเติบโต เช่น โปรแกรม SISPINUS (Mello *et al.*, 2005) BWINPro-s (Yousefpour *et al.*, 2010) ดังนั้น ในอนาคตควรเร่งให้มีการศึกษาในส่วนของการคาดคะเนผลผลิตที่จะได้รับเพิ่มเติม เพราะยังมีข้อมูลของอัตราการเติบโตที่แม่นยำ ผลลัพธ์จากการกำหนดกำลังผลิตก็จะมีประสิทธิภาพ ทั้งยังทำให้

สามารถกำหนดวนวัฒนวิธีที่เหมาะสมแก่ไม้พะยูนได้ดีขึ้นอีกด้วย

ข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคมที่รวบรวมไว้จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหามูลค่าปัจจุบันสุทธิที่จะได้รับอย่างไรก็ตาม ต้นทุนหรือผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตเมื่อสิ้นสุดแผนจัดการในแต่ละแนวทางจะต้องถูกปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบันก่อนที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน โดยการกำหนดอัตราคิดลดที่ร้อยละ 3.05 เป็นการกำหนดตามอัตราดอกเบี้ยต่ำสุดสำหรับพันธบัตรระยะยาว เพื่อสะท้อนอัตราความพอใจในการบริโภคต่างเวลาของกลุ่มคนในสังคม อัตราคิดลดยังสามารถกำหนดตามอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ได้เช่นกัน (Tubpun, 2008) อย่างไรก็ตาม อัตราคิดลดที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อค่าที่ประเมินได้ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่ปรากฏแน่ชัดว่าควรกำหนดอัตราคิดลดในการประเมินโครงการไว้ที่อัตราเท่าใด ดังนั้น ในแผนการจัดการอาจกำหนดให้มีการแสดงผลลัพธ์จากอัตราคิดลดไว้หลายอัตรา (Başkent and Keleş, 2006)

เมื่อนำตัวแบบไปคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถสร้างกราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิจำแนกตามหน่วยจัดการและกำไรสุทธิรวมที่ได้รับจากการทำไม้ในแต่ละคาบ (Figure 2) โดยผลเฉลยดังกล่าวให้มูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิสูงสุดที่จะได้รับเท่ากับ 276,651,700 บาท เมื่อสิ้นสุดแผนการจัดการ

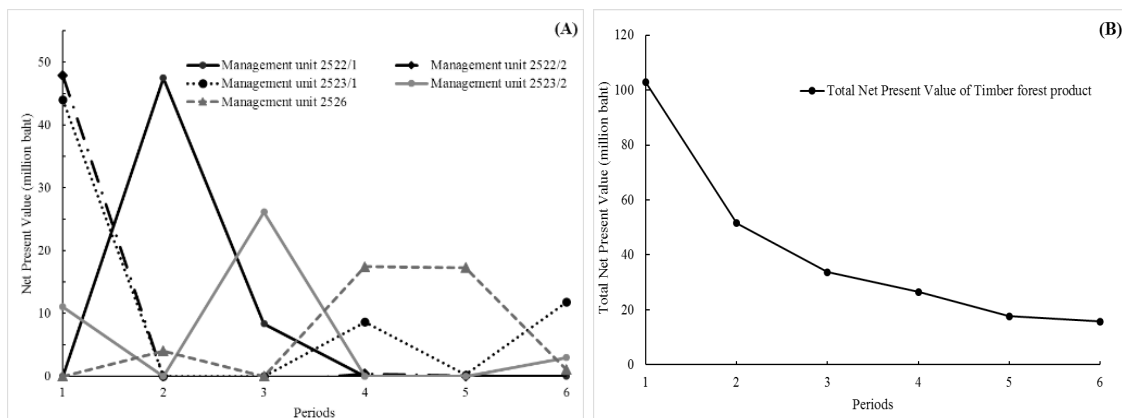


Figure 2 The optimal solution; (A) Net present values of timber forest product according to various management units during each period; (B) Total net present values of timber forest product during each period.

จาก Figure 2 แสดงให้เห็นว่า ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันสุทธิในแต่ละคาบที่ได้จากการทำไม้ออกจากสวนป่าสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องตลอดแผนจัดการ โดยทำไม้ออกจากป่าได้ปริมาตรรวมทั้งหมด 10,647 ลูกบาศก์เมตร และควบคุมให้สามารถตัดฟันไม้ได้ในปริมาตรที่ใกล้เคียงกันประมาณคาบละ 1,774 ลูกบาศก์เมตร เหลือปริมาตรที่ทำเป็นสินค้าได้ 4,021.5

ลูกบาศก์เมตรหรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.7 ของปริมาตรไม้ที่สามารถทำออกได้ตลอดระยะเวลาของแผน ทั้งนี้ ได้แสดงกราฟผลรวมของปริมาตรไม้และขนาดพื้นที่ตัดฟันในแต่ละคาบ รวมถึงขนาดพื้นที่ของหมู่ไม้เมื่อสิ้นสุดแผนจัดการ โครงสร้างป่ายังถูกปรับให้มี 6 ชั้นอายุในขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกันที่ 123.76 ไร่ต่อชั้นอายุ (Figure 3)

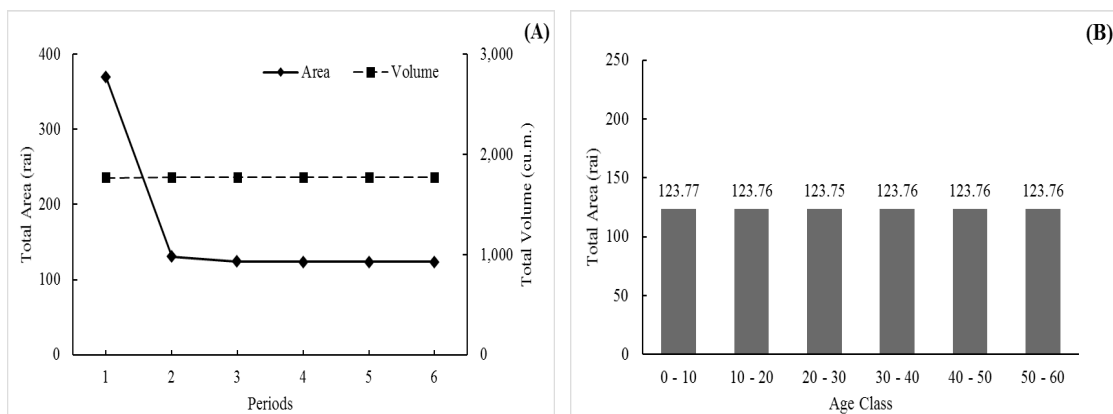


Figure 3 Model Results of even-flow and regulation constraints; (A) allowable cut and cutting area during each period; (B) age class distributions at the end of a planning horizon.

แม้ว่าผลเฉลี่ยจะสามารถนำไปสร้างเป็นตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้ในสวนป่าได้ตาม Table 2 แต่ค่าสูงสุดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ได้รับอาจมีการเปลี่ยนแปลง

ได้ หากข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีความไม่คงที่แน่นอน โดยเฉพาะข้อมูลด้านป่าไม้ซึ่งอาจต้องมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าประชากรตามหลักสถิติทำให้

ข้อมูลมีความไม่แน่นอนแฝงมาด้วย ข้อมูลในลักษณะนี้อาจทำการประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) ร่วมกับการวางแผนจัดการได้ (Mendoza *et al.*, 1993) รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับราคาซื้อขายไม้พะยูนซึ่งยังไม่มีหลักเกณฑ์ซื้อขายที่แน่นอนและมักพิจารณาราคาจากส่วนของขนาดแก่นไม้เป็นหลัก สีและลวดลายของแก่นยังมีการแปรผันสามารถจำแนกออกได้ถึง 4 กลุ่ม ซึ่งให้มูลค่าที่แตกต่างกัน (Eiadthong *et al.*, 2014) นอกจากนี้ ต้นทุนยังเป็นข้อมูลที่ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยทางเศรษฐกิจในช่วงเวลาต่างๆ ที่มีความไม่แน่นอน รวมถึงหากต้องพิจารณาด้านทุนจากการใช้ระบบเลือกตัดในการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยแล้วอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าที่ได้คำนวณไว้และในทางปฏิบัติอาจต้องมีการลดค่าใช้จ่ายด้วยการกำหนดพื้นที่ตามรอบตัดฟัน (cutting cycle) แทนที่จะเลือกตัดไม้ให้กระจาย

ทั่วทั้งผืนป่าในทุกปีหรือช่วงปี (Matthews, 1989) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าในทางทฤษฎีสมมติฐานของกำหนดการเชิงเส้นระบุว่าข้อมูลที่นำมาใช้จะต้องมีความคงที่แน่นอนและไม่เปลี่ยนแปลง (Hillier and Lieberman, 2010) แต่การประยุกต์ปัญหาทางคณิตศาสตร์กับสภาพปัญหาจริงที่ปรากฏในปัจจุบันทั้งในภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และธุรกิจ ส่วนมากก็ไม่อาจควบคุมให้ใช้เฉพาะข้อมูลที่คงที่แน่นอนได้ทั้งหมด ดังนั้น ปัจจุบันการประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นจึงมักมีการวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) ร่วมด้วยเสมอ เพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ในเงื่อนไขได้ตามช่วงที่มีการวิเคราะห์ โดยที่ค่าของตัวแปรตัดสินใจจากผลเฉลยจะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ใหม่ทุกครั้งแม้ว่าข้อมูลจะมีความไม่คงที่แน่นอนก็ตาม

Table 2 The optimal timber harvest scheduling of Siamese rosewood at the Tha Kum Noboru Umeda plantation.

MU	MR	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		End inv.		Age
		Area.	Vol.	Area.	Vol.	Area.	Vol.	Area.	Vol.	Area.	Vol.	Area.	Vol.	Mer.	Unmer.	
2522/1	6	-	-	123.76	1,647.9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,645.2	-	40-50
9	-	-	-	-	-	26.71	426.8	-	-	-	-	-	-	283	-	30-40
2522/2	2	123.76	224.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	336.46	-	50-60
3	22.47	40.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.47	51.1	-	10.2	0-10
4	68.91	124.27	-	-	-	-	-	-	-	68.91	125.3	-	-	-	62	10-20
5	58.49	106.33	-	-	-	-	-	58.49	79.7	-	-	-	-	79.42	-	20-30
9	-	-	-	-	-	17.95	48.9	-	-	-	-	-	-	40.63	-	30-40
2523/1	3	70.04	993.79	-	-	-	-	-	-	-	-	70.04	1,274.1	-	254.79	0-10
4	1.31	18.58	-	-	-	-	-	-	-	1.31	19.1	-	-	-	9.56	10-20
11	-	-	-	-	-	-	-	23.27	584.2	-	-	-	-	253.1	-	20-30
2523/2	3	24.39	264.6	-	-	-	-	-	-	-	-	24.39	339.2	-	67.86	0-10
9	-	-	-	-	-	79.1	1,298.8	-	-	-	-	-	-	879.27	-	30-40
2526	7	-	-	6.87	126.6	-	-	-	-	-	-	6.87	110.1	-	27.52	0-10
11	-	-	-	-	-	-	-	42	1,110.6	-	-	-	-	504.46	-	20-30
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.54	1,630.2	-	-	-	428.98	10-20
Total		369.37	1,773.4	130.63	1,774.5	123.76	1,774.5	123.76	1,774.5	123.76	1,774.6	123.77	1,774.5	4,021.5	860.9	

Remarks: MU = Management unit End inv. = Ending inventory

MR = Management regime Mer. = Merchantable volume (cu.m.)

P_k = Cutting period k Unmer. = Unmerchantable volume (cu.m.)

Area. = Cutting area (rai) Age = Age class at the end of a planning horizon (years)

Vol. = Allowable cutting (cu.m.) k = 1, 2, 3, ..., 6

สรุป

การศึกษาในครั้งนี้สามารถสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้พะยุงที่สามารถบรรลุผลผลิตที่เหมาะสมของการกำหนดกำลังผลิตและปรับโครงสร้างป่าจนใกล้เคียงกับป่าสมบูรณ์ (normal forest) ร่วมกับการพิจารณาเงื่อนไขทางชีววิทยา เศรษฐศาสตร์ และนโยบาย สามารถแบ่งวิธีการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตไม้ในสวนป่า โดยประยุกต์เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาผลลัพธ์ เมื่อสิ้นสุดแผนการจัดการ 60 ปี ได้ผลโดยสรุปดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันของกำไรสุทธิสูงสุดที่จะได้รับเท่ากับ 276,651,700 บาท เมื่อสิ้นสุดแผนการจัดการ 60 ปี

2. หมู่ไม้มีการกระจายครบ 6 ชั้นอายุ ในขนาดพื้นที่ใกล้เคียงกัน ประกอบด้วยชั้นอายุ 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 และ 50-60 ปี ประมาณชั้นอายุละ 123.76 ไร่

3. ควบคุมอัตราการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้เท่ากับความเพิ่มพูน และเมื่อสิ้นสุดแผนการจัดการ มีปริมาตรไม้ที่สามารถทำออกได้ทั้งหมด 10,647 ลูกบาศก์เมตร ในปริมาณใกล้เคียงกันที่ 1,774.5 ลูกบาศก์เมตรในแต่ละระยะคาบ

4. เหลือปริมาตรที่ทำเป็นสินค้าได้สำหรับให้ชุมชนใช้ประโยชน์ตามนโยบาย 4,021.5 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.7 ของปริมาตรไม้ที่สามารถทำออกได้ตลอดระยะเวลาของแผน

5. ลำดับการเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยการตัดฟันไม้ที่ได้ขนาดจำแนกตามหน่วยจัดการและช่วงเวลาตามแผนการจัดการ 60 ปี ในรูปตารางการเก็บเกี่ยวผลผลิตสามารถกำหนดกำลังผลิตโดยใช้เกณฑ์เนื้อที่และปริมาตรร่วมกันได้ มีการปรับโครงสร้างสวนป่าให้ใกล้เคียงกับสภาพป่าสมบูรณ์สามารถให้ผลผลิตถาวร

เทคนิคกำหนดการเชิงเส้นสามารถนำไปประยุกต์ร่วมกับการวางแผนจัดการกับสวนป่าในลักษณะเดียวกันกับไม้ชนิดอื่นๆ ได้ ทั้งนี้ ยังสามารถปรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้เป็นการหาผลลัพธ์สูงสุดของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมวลชีวภาพ รวมถึงการกำหนดเงื่อนไขเชิงปริมาณอื่นๆ เพิ่มเติมลงในฟังก์ชันเงื่อนไข เช่น เงื่อนไขข้อจำกัดด้านงบประมาณ เงื่อนไขการสงวนพื้นที่บางส่วนไว้เพื่อการอนุรักษ์ เงื่อนไขการกำหนดปริมาณการกักเก็บคาร์บอนขั้นต่ำ รวมถึงการกำหนดให้มีช่วงเวลาในการตัดขยายระยะไว้ในส่วนของกำหนดแนวทางจัดการ แผนการจัดการยังสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจสำหรับการลงทุนในการปลูกสร้างสวนป่าว่ามีความคุ้มค่าอย่างน้อยเพียงใด นอกจากนี้ การที่สามารถควบคุมและคาดคะเนปริมาณไม้ที่สามารถผลิตได้นั้น จะมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เนื่องจากสามารถทราบปริมาณผลผลิตที่จะได้รับในแต่ละช่วงเวลา

คำนิยาม

ขอขอบพระคุณ คุณวัชรินทร์ สีนวล และคุณพชร ครองธรรมดี รวมถึงองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงขอให้ทุกท่านจงมีแต่ความสุขสวัสดิ์และสุขภาพดี

REFERENCES

- An, H., H.D. Seok, S.-M. Lee and J. Choi. 2019. Forest management practice for enhancing carbon sequestration in national forests of Korea. *Forest Science and Technology* 15(2): 80-91.
- Baker, F.S. 1934. *Theory and Practice of Silviculture*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
- Başkent, E.Z. and S. Keleş. 2006. Developing Alternative Wood Harvesting Strategies with Linear Programming in Preparing

- Forest Management Plans. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 30(1): 67-79.
- Budgeting Standard 1 Division. 2018. **Unit Cost**. Available Source: <https://www.yotathai.com/passadu/unit-cost-2561>, June 10, 2019. (in Thai)
- Davis, K.P. 1966. **Forest Management: Regulation and Valuation**. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Davis, L.S., K.N. Johnson, P. Bettinger and T.E. Howard. 2001. **Forest Management: To Sustain Ecological, Economic, and Social Values**. 4th ed. McGraw Hill Publishing Co., New York.
- Duangstaporn, K. 2005. **Management Planning for Teak Plantation: A Case Study of Thong Pha Phum Plantation, Changwat Kanchanaburi**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University.
- Dykstra, D.P. 1984. **Mathematical Programming for Natural Resource Management**. McGraw-Hill, New York.
- Eiadthong, W., O. Chankaew, S. Tangmitcharoen and K. Tangjaipitak. 2014. Note on color and tracery variation of Siamese rosewood (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre)'s heartwood in northeastern part of Thailand. **Journal of Forest Management** 8(15): 23-36. (in Thai)
- Forest Industry Organization. 2006. **Cost of Logging Operations at Tha Kum Noboru Umeda Plantation**. Forest Industry Organization. (Unpublished manuscript). (in Thai)
- _____. 2018. **Sustainable Forest Plantation Management Policy**. Available Source: <http://www.janjc84.com/fioWebdoc61/611121-5.pdf>, May 13, 2019. (in Thai)
- Hillier, F.S. and G.J. Lieberman. 2010. **Introduction to Operations Research**. McGraw-Hill, New York.
- Keleş, S., H.A. Yolaşmaz and E.Z. Başkent. 2007. Long-term modelling and analyzing of some important forest ecosystem values with linear programming. **Fresenius Environmental Bulletin** 16(8): 963-972.
- Kucuker, D.M. 2019. Analyzing the effects of various forest management strategies and carbon prices on carbon dynamics in western Turkey. **Journal of Environmental Management** 249: 1-10.
- Matthews, J.D. 1989. **Silvicultural Systems**. Oxford University Press, USA.
- Mechuthon, S. 1954. **Forest Working Plan**. Bangkok Printing, Bangkok. (in Thai)
- Mello, A.A. de., C. Carnieri, J.E. Arce and C.R. Sanquetta. 2005. Forest planning for maximizing the forest revenue, taking into account the stocked carbon. **Cerne** 11(3): 205-217.
- Mendoza, G.A., B.B. Bare and Z. Zhou. 1993. A fuzzy multiple objective linear programming approach to forest planning under uncertainty. **Agricultural Systems** 41(3): 257-274.
- Meyer, H.A., A.B. Recknagel and D.D. Stevenson. 1952. **Forest Management**. The Ronald Press Company, New York.
- Nathalang, K. 2012. Research excellence. **Mahidol University Newsletter** 37(10): 18-19.
- Nhutep, P., S. Maelim, W. Suanpaga and S. Tangmitcharoen. 2017. Variation in

- growth, stem form and heartwood of *Dalbergia cochinchinensis* Pierre at 29-years-old in a progeny trials at Mu Si silvicultural research station, Nakhon Ratchasima province, pp. 7-15. In **Forest Conference 2017**. Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok. (in Thai)
- Notification of the Ministry of Finance. 2019. **Issuance of Ministry of Finance's Saving Bond 2019**. Available Source: https://www.bot.or.th/Thai/DebtSecurities/SalestoIndividuals/GOVBond/Doc_LibCFFiscalYear/Announced-SB62-2.pdf, May 8, 2019. (in Thai)
- Osmaston, F.C. 1968. **The Management of Forests**. George Allen and Unwin Ltd., London.
- Taweeshoop, S. 2008. **Application of Linear Programming Technique to Management Planning for Eucalyptus Plantation: A Case Study of Mancha Khiri Plantation, Khon Kaen Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University. (in Thai)
- Tubpun, Y. 2008. **Economics Project Evaluation Theory**. 3rd ed. Thammasat University Press, Bangkok.
- Visaratana, T., A. Pinthong and C. Hutasangchai. 2016. Heartwood estimation of *Dalbergia cochinchinensis* Pierre in the Royal Forest Department plantation, pp. 33-50. In **10th Silvicultural Seminar**. Ideol Digital Print Co., Ltd., Bangkok. (in Thai)
- Yousefpour, R., M. Hanewinkel and G.L. Moguédec. 2010. Evaluating the suitability of management strategies of pure Norway spruce forests in the Black Forest area of southwest Germany for adaptation to or mitigation of climate change. **Environmental Management** 45(2): 387-402.
-