

การวางแผนการผลิตผงมะรุมโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

นัสมล บุตรวิเศษ¹, พศิน มรุพันธ์ธร², กุลิสรา มรุพันธ์ธร³, อุปริฐา อินทรสาต⁴, วิศิษฐ์ เกตุปัญญาพงศ์⁵

บทคัดย่อ

ใบมะรุมอบแห้งและบด สามารถส่งขายเพื่อเป็นธุรกิจในเชิงพาณิชย์ได้ทั้งในตลาดไทยและตลาดโลก ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม เพื่อช่วยในการวางแผนการผลิตที่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค คณะผู้วิจัยได้ทำการจำลองขั้นตอนการผลิต โดยใช้สมการเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์และใช้ชุดคำสั่งใช้ในภาษาอาร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลอง วิธีที่ใช้หาผลเฉลย คือ วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต โดยกำหนดเวลาการจำลองการผลิตเป็น 12 สัปดาห์ ผู้วิจัยแบ่งการจำลองเป็นสองกรณี โดยมุ่งเน้นในการจัดการต้นทุนของสินค้าคงคลัง คือ กรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำซึ่งเป็นกรณีศึกษาจริงจากกรณีศึกษาการผลิตผงมะรุมในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา และกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงซึ่งเป็นกรณีสมมุติของธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่ต้องเช่าคลังสินค้าเพื่อเก็บผงมะรุม ผลการจำลองที่ได้ คือ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ 7.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตโดยไม่มีการวางแผนสำหรับกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ และ 14.30% ในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้ถูกออกแบบสำหรับการผลิตเพื่อจัดเก็บในการนำแบบจำลองไปใช้ ผู้ผลิตต้องตรวจสอบก่อนว่ากระบวนการผลิตของตนสอดคล้องกับเงื่อนไขของแบบจำลองหรือไม่ ธุรกิจขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ที่ต้องบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานควรมีการวางแผนการผลิตและจัดการห่วงโซ่อุปทานในสายการผลิตเนื่องจากกระบวนการผลิตมีความซับซ้อนและมีต้นทุนมากกว่าธุรกิจขนาดเล็ก

คำสำคัญ: แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม, มะรุม, การจัดการสินค้าคงคลัง

ชื่อผู้ติดต่อบทความ: กุลิสรา มรุพันธ์ธร

E-mail: kulisara_mar@cmru.ac.th

(Received: November 18, 2021; Revised: April 28, 2022; Accepted: May 31, 2022)

¹ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี E-mail: nassamon.b@rmutsb.ac.th

² นักเรียนทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ E-mail: quantifilab@gmail.com

³ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ E-mail: kulisara_mar@cmru.ac.th

⁴ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ E-mail: uparittha.i@rmutsb.ac.th

⁵ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ E-mail: pay_wisit@hotmail.com

Moringa Leaf Powder Production Planning using Mixed-Integer Linear Programming

Nassamon Bootwisas¹, Pasin Marupanthon², Kulisara Marupanthorn³, Uparittha Intarasat⁴,
Wisit Ketpanyapong⁵

Abstract

Hydrated and granulated Moringa oleifera leaf are commercial productions in Thai the global markets. In this work, we proposed mixed-integer linear programming for managing the production of Moringa oleifera leaf powder. The models can generate the production plane to minimize production costs and serve all demands from customers. The models were solved by branch and bound algorithm coded in R language with twelve weeks of simulation. We simulated two cases of the situation focusing on inventory cost management. The first case is a low inventory cost that represents Moringa oleifera leaf powder production in Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Ayutthaya campus. The second is a high inventory cost that mimics middle or large business management. The results showed that planning using the models reduced the overall production cost by 7.06% compared to unplanned production for the low investor cost and 14.30% for the high investor cost. However, the conditions of the model must be satisfied before making a decision. Large-sized and middle-sized businesses should employ the model for managing production processes because their processed and costs are more complicated than the small-sized business. The proposed model can enhance competitiveness for entrepreneurs who run a business on the Moringa leaf powder production.

Keywords: Mixed-Integer Linear Programming; Moringa Oleifera; Inventory Management

Corresponding Author: Kulisara Marupanthorn

E-mail: kulisara_mar@cmru.ac.th

¹ Lecturer in Faculty of Science and Technology, RMUTSB. E-mail: nassamon.b@rmutsb.ac.th

² OCSC Scholar Student in Faculty of Science, Maejo University. E-mail: quantfilab@gmail.com

³ Assistant Professor in Chiangmai Rajabhat University. E-mail: kulisara_mar@cmru.ac.th

⁴ Lecturer in Faculty of Science and Technology, RMUTSB. E-mail: uparittha.i@rmutsb.ac.th

⁵ Assistant Professor in Faculty of Agricultural Technology and Agro-industry, RMUTSB. E-mail: pay_wisit@hotmail.com

การวางแผนการผลิตมะรุ้มโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

1. บทนำ

ผงใบมะรุ้มมีโปรตีนมากถึง 27.1% (Prabsattroo et al., 2015) อีกทั้งมะรุ้มยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่จำเป็น ได้แก่ แคลเซียม และเหล็ก (Prabsattroo et al., 2015) รวมถึงกรดอะมิโน กรดไขมัน และวิตามิน ในทางด้านเภสัชวิทยา พบว่า มะรุ้มมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Prabsattroo et al., 2012) และช่วยต้านการอักเสบ (Srisukh, 2009) นอกจากนี้ ความต้องการผลิตภัณฑ์จากพืชที่มีโปรตีนสูงยังเป็นที่ต้องการตลาดโลกยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ตลาดพืชโปรตีนของยุโรปมีมูลค่าถึง 5.8 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 9.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี 2027 (Gonzalez & Van Der Maden, 2015) ยิ่งไปกว่านั้นในปัจจุบันจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 ยังเป็นปัจจัยที่เพิ่มความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์สุขภาพเสริมภูมิคุ้มกัน รวมถึงผลิตภัณฑ์จากใบมะรุ้มมากขึ้นอย่างก้าวกระโดด (Boopathi & Raveendran, 2021) ดังนั้น จึงเป็นโอกาสของผู้ประกอบการธุรกิจในประเทศไทยที่จะขยายการผลิตสู่ตลาดโลก

กระบวนการตรวจสอบเอกลักษณ์ทางเภสัชเวท และการควบคุมคุณภาพของสารสกัดจากใบมะรุ้ม การเตรียมสมุนไพร และการเพิ่มขนาดการผลิตด้วยเครื่องมือหนักเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลา ค่าใช้จ่าย และทรัพยากรที่แตกต่างกัน ขั้นตอนต่างๆ เรียงเป็นลำดับขั้นจะทำงานสลับกันไม่ได้ ซึ่งถ้ามีการส่งสินค้าเข้ามาจะต้องมีการผลิตหรือการเก็บสินค้าคงคลังไว้เพื่อไม่ให้เกิดสินค้าขาดมือ (Stock-Out) อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนต่างๆ มีความซับซ้อน และมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายทางการค้าหากไม่มีการวางแผนการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาสินค้าขาดมืออาจส่งผลเชิงลบถึงความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตและการตัดสินใจสั่งซื้อในครั้งต่อไปของผู้บริโภค (Ding et al., 2015) เนื่องจากผงมะรุ้มหรือสารสกัดต้องใช้เวลาในการผลิตตามขั้นตอน และผงมะรุ้มที่ผ่านการอบแล้วสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 2 ปี ผู้ผลิตมักจะใช้ระบบการผลิตเพื่อจัดเก็บ (Make to Stock) ซึ่งต้นทุนสำคัญของการผลิตเพื่อจัดเก็บ คือ ต้นทุนของสินค้าคงคลัง (Inventory Cost) (Rajagopalan, 2002) นอกจากนี้ ใบมะรุ้มสดมีราคาถูกในฤดูกาลเก็บเกี่ยวและราคาจะปรับตัวสูงขึ้นเมื่อผ่านช่วงเก็บเกี่ยวไปแล้ว ผู้ผลิตจึงต้องพิจารณาต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการรับซื้อใบมะรุ้มสดนอกฤดูกาลอีกด้วย จากที่กล่าวมาผู้ผลิตควรวางแผนในการสร้างสมดุลของต้นทุนหลายประเภทเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์

เมื่อมีการนำผลการศึกษามาประยุกต์ในเชิงพาณิชย์ ผู้ผลิตควรวางแผนการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) เป็นเครื่องมือเชิงปริมาณที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programing) (Ahumada & Villalobos, 2009) เป็นแบบจำลองที่มักจะถูกเลือกใช้สำหรับช่วยตัดสินใจและวางแผนการผลิตและเป็นหัวใจของวิทยาการจัดการ (Management Science) หลายงานวิจัยพบว่า การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นสามารถลดต้นทุนและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ เช่น Sae-lee and Ritvirool (2014) สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 5.06% นอกจากนี้ ในเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้ในการจัดการห่วงโซ่อุปทานและการผลิตยังใช้กำหนดการเชิงเส้นเป็นเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจอีกด้วย เช่นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Zhichkin et al., 2019) และแอปพลิเคชันสำหรับวิเคราะห์แผนการผลิต (Vieira et al., 2019) ดังนั้น การสร้างแบบจำลองในงานนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเทคโนโลยีส่วนนี้ด้วย

คณะผู้วิจัยจึงเสนอแบบจำลองกำหนดการแข่งขันจำนวนเต็มผสม เพื่อเป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพการวางแผนการผลิตงบประมาณ รวมถึงลดต้นทุนการผลิตให้น้อยที่สุด และสามารถตอบสนองความต้องการซื้อของผู้บริโภคได้อย่างครบถ้วน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแบบจำลองกำหนดการแข่งขันจำนวนเต็มผสมสำหรับวางแผนลดต้นทุนการผลิตงบประมาณ และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ครบถ้วน

3. การทบทวนวรรณกรรม และกรอบแนวคิด และสมมติฐานการวิจัย

3.1 การทบทวนวรรณกรรม

มะรุม (*Moringa oleifera*) เป็นพืชสมุนไพรไทยที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งใบและลำต้น โดยมีงานวิจัยได้ทดสอบสรรพคุณของมะรุมกับหนูทดลองพบว่า มีผลลดความดันเลือด ด้านเนื้องอกและมะเร็ง ลดระดับคอเลสเตอรอล ด้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ป้องกันโรคตับอักเสบ ด้านออกซิเดชัน ด้านเชื้อแบคทีเรีย ลดระดับน้ำตาล และด้านการอักเสบ (Srisukh, 2009) สารสกัดจากใบมะรุมสามารถกระตุ้นการเจริญพัฒนาไปเป็นเซลล์กระดูกของเซลล์ต้นกำเนิดที่แยกได้จากไขกระดูกสุกร (Marupanthorn, 2018) นอกจากนี้ Prabsattroo et al. (2012) รายงานว่าสารสกัดขึ้นเอทานอลจากใบมะรุมสามารถเพิ่มสมรรถนะทางเพศและคุณภาพของน้ำเชื้อ ช่วยเพิ่มพฤติกรรมผสมพันธุ์และระดับฮอร์โมนเทสโตสเตอโรนในหนูแรทที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียด (Prabsattroo et al., 2015) ซึ่งกล่าวได้ว่ามีประโยชน์ทั้งทางด้านการแพทย์และปศุสัตว์ หลายงานวิจัยบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์จากมะรุมสามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ได้และเสนอให้มันโยบายส่งเสริมการผลิตในหลายพื้นที่ เช่น อินเดีย (Rajendran, 2017) และแอฟริกาใต้ (Mollet et al., 2021)

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน คือ การบริหารจัดการเพื่อจับคู่อุปสงค์และอุปทานอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางปฏิบัติการจัดการห่วงโซ่อุปทานมักสัมพันธ์กับการจัดการคลังสินค้า โดยทั่วไปความเสี่ยงของสินค้าคงคลังเกิดจากสองกรณี (Cachon, 2004) ได้แก่ การมีอุปทานมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนเช่าคลังสินค้าที่ไม่เกิดประโยชน์ และการมีอุปสงค์มากเกินไป ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสและปัญหาสินค้าขาดมือ การจัดการสินค้าคงคลังจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวและลดต้นทุนของสินค้าคงคลังในการผลิตลงได้ (Pourmohammad-Zia, 2021) การจัดการห่วงโซ่อุปทานยังมีโครงสร้างสัมพันธ์กับปัญหาเฉพาะ เช่น การจัดการห่วงโซ่อุปทานสำหรับสินค้าการเกษตรมักจะเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการแปรรูป และระยะเวลาในการเก็บรักษาผลผลิต (Liu et al., 2018)

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เป็นกุญแจสำคัญในการจัดการห่วงโซ่อุปทานและสินค้าคงคลังเชิงปริมาณ (Ahumada & Villalobos, 2009) โดยเฉพาะกำหนดการแข่งขัน กำหนดการแข่งขันจำนวนเต็มและกำหนดการแข่งขันจำนวนเต็มผสม เป็นตัวแบบที่มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น จึงมีงานวิจัยมากมายในฐานข้อมูล

การวางแผนการผลิตมังงะโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

เช่น Lakhdar et al. (2005) ได้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม เพื่อจัดแผนการผลิตตามความต้องการของลูกค้า เพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด โดยพิจารณาวิธีการที่สามารถลดต้นทุนจากการเปลี่ยนกลุ่มการผลิตภายใต้เงื่อนไข คือ ลูกค้าสามารถรอสินค้าได้ในเวลาจำกัด ถ้าไม่ได้สินค้าตามวันที่กำหนด และได้ต่อยอดงานวิจัย (Lakhdar et al., 2008) โดยปรับปรุงให้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสามารถใช้ได้เมื่อเกิดความไม่แน่นอนของอัตราการผลิต

Ritvirool (2012) ได้ศึกษาการผลิตมังงะในโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง และได้เสนอตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อแก้ปัญหาการผลิตที่มังงะสมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนรวมที่น้อยที่สุดและตารางการผลิตที่เหมาะสม การผลิตมังงะเป็นแบบผลิตเพื่อจัดเก็บ โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ประกอบด้วยผลรวมของต้นทุนสมุนไพรสด ต้นทุนของสินค้าคงคลัง และค่าใช้จ่ายในการผลิตมังงะเพิ่มเมื่อสมุนไพรในคลังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ตัวแปรตัดสินใจ คือ ปริมาณสมุนไพรที่รับซื้อในคลังสินค้าและที่ต้องผลิตเพิ่ม ตัวแปรเวลาในแบบจำลองแทนวันในหนึ่งสัปดาห์ และจะไม่มีการผลิตในวันเสาร์และอาทิตย์ ผู้วิจัยหาผลเฉลยโดยใช้โปรแกรม OpenSolver ผลลัพธ์ คือ สามารถลดความยุ่งยากในการตัดสินใจรับสมุนไพรสด การอบ การบด และจัดเก็บมังงะสมุนไพร และสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้อย่างไรในกรณีที่สมุนไพรไม่เพียงพอต่อความต้องการ ผู้ผลิตจะต้องผลิตเพิ่มด้วยตนเอง ซึ่งต้องใช้เวลาน้อย 2 วัน และมีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต ดังนั้น แบบจำลองนี้จึงไม่รองรับในกรณีที่มีอุปสงค์มากกว่ากำลังการผลิตหรือไม่รองรับในกรณีสินค้าขาดมือ

ปัญหาสินค้าขาดมือเกิดจากผู้ผลิตไม่สามารถตอบสนองความต้องการสินค้าของผู้บริโภคได้ ซึ่งมีผลกระทบกับการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคและความน่าเชื่อถือของผู้ผลิต Fitzsimons (2020) ศึกษาผลกระทบจากการเกิดปัญหาสินค้าขาดมือกับทั้งความพอใจของผู้บริโภคและพฤติกรรมการเลือกร้านค้าหลังจากพบปัญหาสินค้าขาดมือจากการศึกษาพบว่า ในกลุ่มผู้บริโภคที่มีมุมมองกับปัญหาสินค้าขาดมือในเชิงลบมีโอกาสสูงที่จะไม่พอใจผู้ผลิตและมีแนวโน้มที่จะหันไปซื้อสินค้าจากผู้ผลิตรายอื่น Ding et al. (2015) ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคที่ตอบสนองต่อปัญหาสินค้าขาดมือสำหรับผู้ค้ารายย่อยในระบบออนไลน์ ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคมีความพอใจต่อสินค้าลดลงเมื่อเกิดการขาดตลาด (Short Supply) ผู้ผลิตสามารถวางแผนเพื่อป้องกันปัญหาขาดมือได้ เช่น ในงานวิจัย (Sae-lee & Ritvirool, 2014) เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อป้องกันปัญหาสินค้าขาดมือ

คณะผู้วิจัยปรับปรุงงานวิจัย (Ritvirool, 2012) เพื่อออกแบบแบบจำลองในการอบผลิตมังงะและเพิ่มเงื่อนไขบังคับเพื่อป้องกันสินค้าขาดมือจากงานวิจัย ซึ่งงานวิจัย (Ritvirool, 2012) มีกรอบแนวคิดและวิธีการกำหนดตัวแปรคล้ายกับงานวิจัยชิ้นนี้ อย่างไรก็ตาม รูปแบบการผลิตมังงะมีความแตกต่างกับกระบวนการผลิตสมุนไพรที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยที่กล่าวมา ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการและเงื่อนไขการผลิต

3.2 กรอบแนวคิด

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยประยุกต์และปรับปรุงกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม โดยดัดแปลงจากงานวิจัย (Ritvirool, 2012) เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตมังโอบมะรุมจากกระบวนการผลิตในโครงการวิจัย การพัฒนาสารสกัดมังโอบมะรุมผงและแกรนูลเพื่อใช้ผสมอาหารสุกร (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021) ข้อแตกต่างแบบจำลองในงานวิจัยนี้แตกต่างกับงานวิจัยของ Ritvirool (2012) คือ การผลิตไม่มีวันหยุดและอนุญาตให้มีการสั่งซื้อสินค้าจากผู้ประกอบการอื่นในกรณีสินค้าขาดมือ ในขณะที่กรณีศึกษาในงานวิจัยของ Ritvirool (2012) ผู้ผลิตหยุดการผลิตในวันสุดสัปดาห์และแบบจำลองไม่ครอบคลุมกรณีสินค้าขาดมือ เป้าหมายของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น คือ การตอบสนองความต้องการซื้อของผู้บริโภคได้ทั้งหมดหรือการแก้ไขปัญหาสินค้าขาดมือและหากกลยุทธ์การผลิตที่ใช้ต้นทุนน้อยที่สุด โดยผู้วิจัยพิจารณาต้นทุน 4 ประเภท คือ ต้นทุนการซื้อมังโอบมะรุมสด ซึ่งเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ต้นทุนการเก็บรักษามังโอบมะรุมในคลัง ต้นทุนการซื้อมังโอบมะรุมสำเร็จรูปจากผู้ผลิตอื่นมาทดแทนความต้องการซื้อส่วนที่เกินมา และต้นทุนการจัดการ ซึ่งประกอบด้วย ค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าในการอบมังโอบมะรุม

ตัวแปรของแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะถูกกล่าวในหัวข้อที่ 4.2. กรอบการวิจัยสำหรับการสร้างแบบจำลอง คือ การแทนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อมูลในงานวิจัย (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021) ที่กำหนดในหัวข้อ 4.2. ซึ่งเทียบเท่ากับตัวแปรอิสระในงานวิจัยในแบบจำลองและหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขตเพื่อหาแผนการผลิตที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด เนื่องจากตัวแปรตัดสินใจและจำนวนเงื่อนไขบังคับในการจำลองมีจำนวนไม่มาก โดยผลเฉลยจากแบบจำลองจะเป็นค่าของตัวแปรตัดสินใจซึ่งเทียบเท่ากับตัวแปรตามในงานวิจัย จากทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Bernhard & Vygen, 2008) ยืนยันว่าผลเฉลยจากวิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขตคือค่าต่ำสุดสมบูรณ์ภายใต้เงื่อนไขของแบบจำลอง ดังนั้น ผลลัพธ์จากงานวิจัยจะถูกยืนยันว่าเป็นแผนการผลิตที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

คณะผู้วิจัยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็นสองกรณี คือ ต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ ซึ่งเป็นการผลิตจริงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้าต่ำมากและอาจจะไม่ใกล้เคียงกับการผลิตโดยภาคเอกชน อีกกรณีคือ กรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง ในกรณีนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่าจัดเก็บสินค้าให้มากกว่าการเก็บในคลังของมหาวิทยาลัยพารามิเตอร์และต้นทุนอื่นๆ ในแบบจำลองทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากัน ยกเว้นค่าจัดเก็บสินค้า อีกหนึ่งเหตุผลที่ทำการศึกษา 2 กรณี คือ ผู้วิจัยต้องการแสดงแนวโน้มของร้อยละของต้นทุนของสินค้าคงคลังที่แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถช่วยลดต้นทุนได้เมื่อต้นทุนของสินค้าคงคลังเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ต้นทุนของกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลองจะถูกนำไปเทียบกับต้นทุนของการผลิตโดยไม่มีการวางแผนเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของร้อยละของต้นทุนในแต่ละแผนการผลิต

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยคาดว่าแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตมังโอบมะรุมได้ เมื่อเทียบการผลิตโดยไม่มีการวางแผนการผลิต

การวางแผนการผลิตมังงะโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กระบวนการผลิตมังงะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยอ้างอิงกระบวนการผลิตจากรายงานการวิจัยโครงการวิจัย “การพัฒนาสารสกัดใบมะรุมผงและแกรนูโลเพื่อใช้ผสมอาหารสุกร” (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรสารสกัดมังงะที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มน้ำเชื้อให้กับสุกรเพศผู้ อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการผลิตมังงะทั่วไป โดยไม่ได้เจาะจงการใช้งานในสุกร (กระบวนการผลิตมังงะใช้ในมนุษย์และสัตว์ไม่แตกต่างกัน) การผลิตมังงะเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตสารสกัด เนื่องจากผู้ผลิตจะต้องนำมังงะมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อสกัดเอาเฉพาะสารอาหารที่สำคัญ สำหรับการผลิตมังงะ ผู้ผลิตจะรับคำสั่งซื้อล่วงหน้าเพื่อเตรียมการผลิต โดยส่วนมากจะรับเป็นรายปีในปริมาณมาก ผู้ผลิตอาจจำเป็นต้องคาดการณ์ปริมาณความต้องการของการสั่งซื้อโดยไม่แจ้งล่วงหน้าและส่งผลิตล่วงหน้าเนื่องจากมีการรับคำสั่งซื้อระหว่างการผลิต การผลิตเป็นไปตามวิธีการผลิตเพื่อจัดเก็บ (Make to Stock) ดังนั้น จึงมีต้นทุนของสินค้าคงคลังระหว่างผลิตจะไม่มีวันหยุดระหว่างสัปดาห์ หลังจากรับคำสั่งซื้อการผลิตมังงะจากใบมะรุมสดมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้

1. รับซื้อใบมะรุม รับซื้อใบมะรุมสดจากผู้ขาย ฤดูเก็บเกี่ยวมังงะ คือ ฤดูร้อน ดังนั้น เราจะรับซื้อใบมะรุมเพียง 4 - 8 สัปดาห์ในช่วงฤดูร้อน ใบมะรุมสดไม่สามารถเก็บได้นานหากไม่ตากแห้งหรืออบแห้ง อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตยังคงสามารถรับซื้อใบมะรุมสดนอกฤดูกาลได้ แต่ราคาซื้อจะสูงกว่าในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว
 2. ล้างและทำความสะอาด หลังจากสั่งซื้อให้ล้างทำความสะอาดเพื่อเตรียมอบแห้งหรือตากแห้ง
 3. อบแห้ง เพื่อรักษาความสดของใบมะรุมหลังจากสั่งซื้อให้ทำการล้างและอบแห้งภายในหนึ่งวัน การอบใบมะรุมสดจำเป็นต้องใช้เครื่องอบแห้ง ทั่วไปแล้วเครื่องอบแห้งจะมีหลายขนาดให้เลือกซึ่งราคาจะเพิ่มตามขนาดของตู้อบ ทำให้ในการผลิตมีเครื่องอบแห้งจำนวนจำกัด การอบแห้งทำให้เก็บใบมะรุมไว้ได้นานถึง 2 ปี ขั้นตอนการอบแห้งใช้เวลา 2 วันต่อ 1 ครั้ง ผงมังงะที่ได้จากการอบจะมีน้ำหนักน้อยกว่าใบมะรุมสด
 4. บดผง หลังจากอบแห้งให้ทำการบดใบมะรุมแห้งด้วยเครื่องบด ในขั้นตอนนี้จะได้ผลผลิตคือผงมังงะที่สามารถเก็บได้นานถึง 2 ปี ขั้นตอนการบดใช้เวลา 1 วัน ในขั้นตอนการบดอาจใช้เครื่องจักรหรือกำลังคนในการบดก็ได้
 5. เก็บผงมังงะเข้าคลังรอการนำออกขายตามกำหนดส่งมอบที่ตกลงไว้ข้างต้น ในกรณีที่มีการสั่งซื้อมากกว่าปริมาณผงมังงะในคลัง ผู้ผลิตต้องรับซื้อผงมังงะเพิ่มจากผู้ผลิตรายอื่นซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าการผลิตเอง
- สำหรับการรับซื้อ ทำความสะอาด และอบแห้งใบมะรุมสดจะทำในวันเดียวกัน เมื่อเริ่มการอบแห้งต้องรอ 2 วันก่อนจะเริ่มอบแห้งใบมะรุมสดชุดถัดไป ตัวอย่างตารางการรับซื้อและอบแห้ง เช่น รับซื้อมังงะสดเมื่อวันจันทร์จะไม่สามารถรับซื้อในวันอังคารได้ เนื่องจากเครื่องอบแห้งถูกใช้งานอยู่

4.2 แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการผลิตผงมะรุม

เซตของดัชนี

j วันที่รับซื้อใบมะรุมสด วันจันทร์คือ 1 วันอังคารคือ 2 ตามลำดับจนถึงวันอาทิตย์คือ 7
 t สัปดาห์ที่รับซื้อใบมะรุมสด และ t_{end} คือสัปดาห์สุดท้ายของการผลิต ในงานวิจัยนี้
 $t = 1, 2, \dots, t_{end} = 12$

พารามิเตอร์

Cap ความจุหรือความสามารถในการทำงานรวมของตูบในการอบสมุนไพรหนึ่งครั้ง (กิโลกรัม)
 CX ค่าใบมะรุมสด (บาท/กิโลกรัม)
 CA ค่าใช้จ่ายเมื่อต้องสั่งซื้อผงมะรุมเพิ่มในกรณีที่ในคลังมีผงมะรุมไม่เพียงพอ (บาท/กิโลกรัม)
 CI ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผงในมะรุมบดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (บาท/กิโลกรัม)
 De^t ความต้องการผงมะรุมบดหรือปริมาณการสั่งซื้อในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม) ซึ่งผู้ผลิตจะต้องส่งมอบ
 ผงมะรุมให้ครบตามความต้องการ
 L เปอร์เซ็นของน้ำหนักที่เหลือของใบมะรุมหลังอบแห้งและบด
 Q จำนวนบวกที่มีค่ามากกว่าความจุรวมของตูบ
 CC ค่าใช้จ่ายในการล้างและบดใบมะรุมสด (บาท/กิโลกรัม)

ตัวแปรตัดสินใจ

G^{jt} ปริมาณผงมะรุมที่บดเสร็จแล้ววันที่ j สัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
 I^t ปริมาณผงมะรุมที่เก็บในคลังสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
 A^t ปริมาณผงมะรุมสดที่ต้องสั่งซื้อเพิ่มในกรณีที่ในคลังมีผงมะรุมไม่เพียงพอในสัปดาห์ที่ t
 (กิโลกรัม)
 X^{jt} ปริมาณที่รับซื้อใบมะรุมสดในวันที่ j สัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
 M^{jt} มีค่าเป็น 1 ถ้ารับซื้อใบมะรุมสดในวันที่ j สัปดาห์ที่ t และจะไม่รับซื้อในวันที่ถัดไป มีค่าเป็น 0
 ถ้าไม่รับซื้อในวันที่ j สัปดาห์ที่ t แต่จะรับซื้อในวันถัดไปแทน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองคือการจัดการการผลิตโดยใช้ต้นทุนน้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ
 คำนวณจากค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงการวิจัย (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับต้นทุนใน
 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นสำหรับการผลิตสมุนไพรในงานวิจัย (Ritvirool, 2012) และ (Sae-
 lee & Ritvirool, 2014)

การวางแผนการผลิตผงมะรุมนโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

1. ค่าใช้จ่ายในการซื้อไบมะรุมนสด $= CX \sum_t \sum_j X^{jt}$
2. ค่าจัดเก็บผงมะรุมนในคลัง $= CI \sum_t I^t$
3. ค่าใช้จ่ายในการซื้อผงมะรุมนเพิ่มในกรณีในคลังมีผงมะรุมนไม่พอ $= CA \sum_t A^t$
4. ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด บดไบมะรุมนสด และอบแห้ง $= CC \sum_t \sum_j X^{jt}$

ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด (แรงงานและน้ำ) และค่าบด คัดจากการเฉลี่ยจากการจ้างแรงงานในอัตราเหมาจ่าย ค่าอบแห้งประมาณค่าจากอัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอบต่อการอบไบมะรุมน 1 กิโลกรัม ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแผนการนี้ คือ การหาค่าที่น้อยที่สุดของต้นทุนรวม กำหนดเป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์โดย

$$\min (CX + CC) \sum_t \sum_j X^{jt} + CI \sum_t I^t + CA \sum_t A^t \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ

1. จำนวนไบมะรุมนสดที่รับเข้ามาในวันที่ j ของสัปดาห์ที่ t ต้องไม่เกินความจุของเครื่องอบในแต่ละรอบ

$$X^{jt} \leq Cap, \quad \forall j, t \quad (2)$$

2. เมื่อรับซื้อไบมะรุมนสดมาในวันถัดไปจะไม่สามารถรับซื้อได้เนื่องจากเครื่องอบถูกใช้งานเป็นเวลา 2 วัน เช่น ถ้ารับซื้อวันจันทร์ วันอังคารจะรับซื้อไม่ได้ สมการต่อไปนี้จะถูกจับคู่ ถ้าสมการหนึ่งทำงานอีกสมการหนึ่งจะไม่ทำงาน ถ้ารับซื้อวันที่ j หรือรับซื้อวันที่ $j + 1$ อย่างใดอย่างหนึ่ง สำหรับวันจันทร์ถึงเสาร์

$$X^{jt} \leq QM^{jt}, \quad \forall t, j = 1, 6 \quad (3)$$

$$X^{j+1,t} \leq Q(1 - M^{jt}), \quad \forall t, j = 1, 6 \quad (4)$$

และสำหรับวันอาทิตย์

$$X^{jt} \leq QM^{jt}, \quad \forall t, j = 7 \quad (5)$$

$$X^{j-6,t+1} \leq Q(1 - M^{jt}), \quad \forall t, j = 7 \quad (6)$$

3. ปริมาณผงมะรุมนในคลังที่สัปดาห์ที่ t เกิดจากผลรวมของปริมาณผงมะรุมนในคลังที่สัปดาห์ที่ $t - 1$ ปริมาณผงมะรุมนที่ผ่านการบดในสัปดาห์ที่ t ปริมาณผงมะรุมนที่สั่งซื้อมาในสัปดาห์ที่ t หักออกด้วยความต้องการในสัปดาห์ที่ t และปริมาณผงมะรุมนที่สั่งซื้อมาในสัปดาห์ที่ $t - 1$ ในที่นี้ I^0, A^0 เป็นค่าคงที่ หรือ 0 เมื่อเริ่มกระบวนการครั้งแรกไม่มีผงคงคลังไว้ก่อน เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขสำคัญที่กำหนดให้ผู้ผลิตจะต้องมีผงมะรุมนเพียงพอสำหรับความต้องการในสัปดาห์ที่ t เสมอ

$$I^t = I^{t-1} + \sum_j G^{jt} + A^t - De^t - A^{t-1}, \quad \forall t \quad (7)$$

$t = 1; j = 3, \dots, 7$ และ $t = 2, \dots, t_{end}; j = 1, \dots, 7$

4. หลังจากผ่านการรอบและบด น้ำหนักของใบมะรุมจะน้อยลงเหลือ $L\%$ ของใบมะรุมสด เราจะบดเสร็จ 2 วันหลังจากรับซื้อใบมะรุมสด

$$X^{jt} = \frac{G^{j+2,t}}{L}, \quad \forall t, j = 1, \dots, 5 \quad (8)$$

$$X^{jt} = \frac{G^{j-5,t+1}}{L}, \quad \forall t, j = 6, 7 \quad (9)$$

5. ตัวแปรตัดสินใจไม่ติดลบ และบางตัวเป็นตัวแปรทวิภาค

$$X^{jt}, A^t, G^{jt}, I^t \geq 0, \quad \forall j, t \quad (10)$$

$$M^{jt} \in \{0, 1\} \quad (11)$$

4.3 การใช้ชุดคำสั่งในอาร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในกำหนดการเชิงเส้น

งานวิจัยนี้ใช้กำหนดการแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic Programming) ที่มีตัวแปรตัดสินใจจะเป็นค่าที่แน่นอนทั้งหมด ดังนั้น ขั้นตอนวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound Algorithm) เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยแม่นยำ (Exact Solution) กล่าวคือผลเฉลยที่ได้คือค่าที่สอดคล้องกับเงื่อนไขโดยไม่มีการประมาณค่า อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขตมีข้อจำกัด คือ ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเมื่อตัวแปรในแบบจำลองเพิ่มมากขึ้น วิธีการนี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม NP Hard ที่ไม่สามารถแก้ได้ในเวลาระดับพหุนาม (Korte et al., 2011)

"lpSolve" เป็นชุดคำสั่งในโปรแกรมภาษา R ผู้สนใจสามารถอ่านคู่มือการใช้ชุดคำสั่งได้จาก CRAN (Package 'lpSolve', 2021) ชุดคำสั่งนี้เป็นที่นิยมใช้เพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดของกำหนดการเชิงเส้นและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ขั้นตอนวิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต และวิธีการซิมแพคก็ถูกบรรจุอยู่ในชุดคำสั่งนี้ด้วย

ข้อได้เปรียบของการใช้ภาษาอาร์ในการแก้ปัญหา (Kronthaler & Zöllner, 2021) ประการแรก คือ โปรแกรม RStudio เป็นซอฟต์แวร์แบบเปิด ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ประการที่สอง คือ ภาษาอาร์เป็นภาษาที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน ทำให้มีชุดคำสั่งให้เลือกใช้งานมากมาย อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ควรหมั่นตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง เนื่องจากชุดคำสั่งเหล่านี้ไม่ได้ถูกตรวจสอบความถูกต้องอย่างเป็นทางการ เว้นแต่คู่มือของชุดคำสั่งถูกตีพิมพ์ใน

การวางแผนการผลิตผงมะรุมโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

วารสารทางวิชาการ ประการสุดท้าย ภาษาอาร์สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายและพัฒนาไปเป็นแอปพลิเคชันได้ง่าย ผู้ประกอบการยังสามารถใช้งานแบบจำลองผ่านทาง Application Programming Interface (API) ได้ด้วย

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิจัย

จากแบบจำลองขั้นต้น ผู้วิจัยทำการจำลองสถานการณ์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็นสองกรณี คือ กรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำและกรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง เนื่องจากค่าเก็บรักษาเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้กลยุทธ์ในการรับซื้อใบมะรุมสดเปลี่ยนไป ในกรณีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่ำเป็นกรณีศึกษาจากโครงการวิจัยการสร้างนวัตกรรมจากใบมะรุมในเชิงพาณิชย์ ซึ่งนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตจริง ส่วนกรณีศึกษาต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงคือกรณีสมมติสำหรับผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและใหญ่ที่จำเป็นต้องเข้าคลังเพื่อเก็บผงมะรุม

5.1.1 กรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ

การจำลองการผลิตในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำถูกจำลองมาจากโครงการเพื่อศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021) ต้นทุนของสินค้าคงคลังเท่ากับ 1 บาทต่อกิโลกรัมสำหรับการจำลอง เพื่อรักษานัยทั่วไปของการจำลองกระบวนการผลิตมีดังนี้ ในการผลิตมีเครื่องอบแห้งจำนวนสองเครื่องและสามารถอบแห้งใบมะรุมสดประมาณ 70 กิโลกรัมต่อครั้งต่อเครื่อง การรับใบมะรุมสดทำในฤดูกาลรับซื้อเมื่อสัปดาห์ที่ 1-8 ในฤดูร้อนจะรับซื้อได้ในราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม ใบมะรุมจะมีราคาถูกกว่าการรับซื้อนอกฤดูกาลนับตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 ใบมะรุมสดจะหายากขึ้นเป็นผลให้ราคาซื้อสูงขึ้นเป็น 50 บาทต่อกิโลกรัม ผงมะรุมแห้งสำเร็จรูปสามารถหาได้ตามตลาดทั่วไป จากราคาร้านค้ามีราคาเฉลี่ยประมาณ 120 บาทต่อกิโลกรัม เราจำเป็นต้องรับซื้อผงมะรุมบดจากผู้ประกอบการอื่นเพิ่มในกรณีที่ในคลังมีผงมะรุมบดไม่พอต่อความต้องการซื้อ ค่าใช้จ่ายในการทำความสะดวกและบดใบมะรุมเป็นค่าแรงและค่าน้ำประมาณ 20 บาทต่อกิโลกรัม สมมติว่าใน 8 สัปดาห์แรกจะไม่มีคำสั่งซื้อเข้ามา แต่จากสัปดาห์ที่ 9 เป็นต้นไปจนถึงสัปดาห์ที่ 12 จะมีการสั่งซื้อสัปดาห์ละ 300 กิโลกรัม เมื่ออบและบดเสร็จน้ำหนักของผงมะรุมจะเหลือเพียงประมาณ 80% ของใบมะรุมสด เวลาจำลอง คือ 12 สัปดาห์ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองถูกกำหนดดังต่อไปนี้

$$Cap = 70 \times 2 = 140, CA = 120, CI = 1, CC = 20, L = 0.8, Q = 1,000$$

$$CX = \begin{cases} 30 & \text{เมื่อ } t = 1, \dots, 8 \\ 50 & \text{เมื่อ } t = \text{มีค่าอื่น ๆ} \end{cases} \text{ และ } De^t = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } t = 1, \dots, 8 \\ 300 & \text{เมื่อ } t = 9, \dots, 12 \end{cases}$$

หมายเหตุ: พารามิเตอร์ De^t เป็นปริมาณความต้องการที่สมมติขึ้น Q เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดให้มากกว่าความจุของเครื่องอบแห้ง พารามิเตอร์อื่น ๆ ผู้วิจัยอ้างอิงจากการผลิตในงานวิจัย (Ketpanyapong & Marupanthon, 2021)

ตารางที่ 1 ปริมาณใบมะรุมนสด (กิโลกรัม) ที่รับซื้อในแต่ละวัน (X^{jt}) ปริมาณคงคลัง (I^t) สั่งซื้อเพิ่ม (A^t) และความต้องการซื้อ (D_e^t) สำหรับกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ

วัน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จันทร์	0	0	0	0	0	140	140	140	0	0	0	0
อังคาร	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
พุธ	0	0	0	0	0	100	140	140	0	0	0	0
พฤหัสบดี	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ศุกร์	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0
เสาร์	0	0	0	0	140	140	140	0	0	0	0	0
อาทิตย์	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0
คงคลัง	0	0	0	0	0	304	640	1,088	900	600	300	0
สั่งซื้อเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ปริมาณความต้องการ	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300

ปริมาณในตารางที่ 1 ตามแถวตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ คือ ปริมาณการรับซื้อใบมะรุมนสดในวันนั้น เมื่อผ่านการอบแห้งปริมาณของผงมะรุมนสดจะเหลือเพียงร้อยละ 80 ของใบมะรุมนสดซึ่งถูกแสดงใน 3 แถวสุดท้ายของตาราง

แผนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในกรณีนี้ คือ รับซื้อใบมะรุมนสดวันแรกในวันเสาร์ของสัปดาห์ที่ 5 ในปริมาณ 140 กิโลกรัมและอบแห้งจนถึงวันอาทิตย์ในสัปดาห์เดียวกัน จากนั้นทำการบดในวันจันทร์ของสัปดาห์ที่ 6 พร้อมกับรับซื้อใบมะรุมนสดอีก 140 กิโลกรัม ทำความสะอาดและเริ่มอบแห้งใบมะรุมนสดชุดใหม่ ผงมะรุมนสดจะถูกเก็บไว้ในคลังจนกว่าจะมีคำสั่งซื้อ การรับซื้อจะทำทุกวันจันทร์ พุธ และเสาร์ โดยรับซื้อใบมะรุมนสดปริมาณ 140 กิโลกรัม ยกเว้นในวันพุธของสัปดาห์ที่ 6 ให้รับซื้อเพียง 100 กิโลกรัม ทำซ้ำเป็นเวลาสองสัปดาห์จนถึงสัปดาห์ที่ 7 ในสัปดาห์ที่ 8 ทำการรับซื้อ 4 ครั้ง จันทร์ พุธ ศุกร์ และอาทิตย์ ในสัปดาห์ที่ 9 จะไม่มีการรับซื้อและกระบวนการผลิตจะหยุดในวันจันทร์ของสัปดาห์ที่ 9 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 เป็นต้นไปคือการกระจายส่งสินค้าตามความต้องการ โดยหักออกจากปริมาณคงเหลือในคลังทั้งหมด

ในแผนการผลิตนี้ ปริมาณผงในคลังเพียงพอต่อความต้องการซื้อในแต่ละสัปดาห์ จึงไม่จำเป็นต้องสั่งซื้อผงมะรุมนสดจากผู้ประกอบการรายอื่น จะสังเกตเห็นว่าการผลิตจะไม่เริ่มก่อนวันส่งมอบเป็นเวลานาน การเริ่มการผลิตใกล้วันส่งมอบจะช่วยลดต้นทุนของสินค้าคงคลัง ใบมะรุมนสดทั้งหมดถูกสั่งซื้อในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเนื่องจากสั่งซื้อได้ในราคาถูก จากตารางที่ 1 สิ่งที่น่าสังเกต คือ ปริมาณการรับซื้อใบมะรุมนสดในวันพุธของสัปดาห์ที่ 6 เหตุผลที่รับซื้อเพียง 100 กิโลกรัมในขณะที่วันอื่นๆ รับซื้อ 140 กิโลกรัม คือ การรับซื้อปริมาณน้อยในช่วงเริ่มต้นการผลิตจะช่วยลดต้นทุนของสินค้าคงคลังได้มากกว่า ปริมาณคงเหลือในคลังถูกคำนวณรายสัปดาห์ ดังนั้น จะมีการรับซื้อเป็นจำนวนน้อยหนึ่งวันในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 นับจากเริ่มต้นการผลิต

การวางแผนการผลิตมังงะโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของแผนการจัดการที่ใช้แบบจำลองและไม่ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจในกรณีที่เสียต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำหรือไม่เสียเลย ตารางที่ 2 คือ แผนการผลิตกรณีที่ไม่มีกรวางแผนโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ แผนการผลิตที่ใช้ปกติ คือ การเริ่มผลิตให้เร็วที่สุดและเก็บมังงะรวมไว้ในคลังเพื่อรอการส่งมอบ เนื่องจากต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำหรือไม่มี ผู้ผลิตจึงมักจะเลยการคำนวณต้นทุนของสินค้าคงคลัง

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการผลิตโดยไม่มีการวางแผนกับการผลิตที่ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ช่วยในการวางแผนในกรณีที่ต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ ตัวเลขในวงเล็บ คือ ร้อยละเทียบกับต้นทุนจากการผลิตโดยที่ไม่มีกรวางแผนก่อนการผลิต ในกรณีใช้แบบจำลองต้นทุนรวมอยู่ที่ 78,832 บาท โดยรับซื้อมังงะสดทั้งหมด 1,500 กิโลกรัม เพื่อผลิตมังงะรวมบดปริมาณ 1,200 กิโลกรัม นอกจากนี้ การจำลองการผลิตยังช่วยในการตัดสินใจกำหนดราคาสินค้า ในกรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำจะต้องขายมังงะรวมบดในราคามากกว่า 65.70 บาทต่อกิโลกรัมเพื่อสร้างกำไร เมื่อเทียบกับราคาดลาดขั้นต่ำที่ 120 บาทต่อกิโลกรัมในประเทศไทย (ผู้วิจัยสำรวจราคาจากแหล่งสินค้าออนไลน์ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีราคากลางอย่างเป็นทางการ) ผู้ผลิตสามารถเพิ่มขีดจำกัดการแข่งขันทางการค้าได้อย่างมากจากการลดต้นทุนการผลิต จากตารางจะพบว่า การวางแผนก่อนการผลิตโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ 7.06%

ตารางที่ 2 ปริมาณมังงะรวมสด (กิโลกรัม) ที่รับซื้อในแต่ละวัน (X^{J^t}) ปริมาณคงคลัง (I^t) สั่งซื้อเพิ่ม (A^t) และความต้องการซื้อ (De^t) ในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงและไม่ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจ

วัน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จันทร์	140	140	140	140	0	0	0	0	0	0	0	0
อังคาร	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
พุธ	140	140	140	100	0	0	0	0	0	0	0	0
พฤหัสบดี	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ศุกร์	140	140	140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เสาร์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
อาทิตย์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
คงคลัง	336	672	1,008	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	900	600	300	0
สั่งซื้อเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ความต้องการ	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบต้นทุน (บาท) ระหว่างแผนการจัดการโดยไม่ใช้แบบจำลองและใช้แบบจำลองของกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ

แผนการจัดการ	ต้นทุนใบมะรุมนสด	ต้นทุนค่าทำความสะอาด บด และอบ	ต้นทุนคงคลัง	ต้นทุนผงมะรุมนที่ซื้อเพิ่ม	ต้นทุนรวม
	$CX \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X^{ij}$	$CC \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X^{ij}$	$CI \sum_{i=1}^I I^i$	$CA \sum_{i=1}^I A^i$	C
ไม่ใช้แบบจำลอง (ตารางที่ 2)	45,000 (100%)	30,000 (100%)	9,816 (100%)	0 (100%)	84,816 (100%)
ใช้แบบจำลอง (ตารางที่ 1)	45,000 (100%)	30,000 (100%)	3,832 (39.04%)	0 (100%)	78,832 (92.94%)

5.1.2 กรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง

ในส่วนที่ได้อ้างอิงถึงการผลิตในโครงการวิจัยเพื่อศึกษา แต่ในการผลิตขนาดใหญ่หรือการผลิตเชิงพาณิชย์ ต้นทุนของสินค้าคงคลังย่อมมากขึ้นจากการผลิตเพื่อวิจัย งานส่วนนี้จะนำเสนอแบบจำลองสำหรับการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนในแบบจำลอง คือ ต้นทุนของสินค้าคงคลัง $CI = 10$ ตัวเลขดังกล่าวเป็นการประมาณการจากค่าเช่าคลังสินค้าจากสำนักข่าวกรุงเทพธุรกิจ (Poosea, 2021) โดยค่าเช่าคลังสินค้าในพื้นที่กรุงเทพฯ อยู่ที่ 200 บาทต่อตารางเมตรต่อเดือน ซึ่งอาจจะต้องเหลือพื้นที่เพื่อนำสินค้าเข้าออกประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่ ค่าเช่าคลังคิดเป็น 100 บาทต่อตารางเมตรต่อสัปดาห์ ในพื้นที่ 1 ตารางเมตรผู้ผลิตอาจเก็บผงมะรุมนได้มากกว่า 10 กิโลกรัมขึ้นอยู่กับความละเอียดของการบดและความสูงของคลังสินค้า ผู้วิจัยได้ประมาณการว่าต้นทุนของสินค้าคงคลัง คือ 10 บาทต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ อย่างไรก็ตาม เมื่อรวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงานบริหารคลังสินค้าและภาษี ต้นทุนของสินค้าคงคลังอาจจะมากกว่า 10 บาทต่อกิโลกรัมต่อสัปดาห์ ตัวอย่างในกรณีการผลิตที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงเป็นเพียงแค่การประมาณค่าเท่านั้น ส่วนพารามิเตอร์ที่เหลือให้คงไว้เหมือนแบบจำลองในหัวข้อที่แล้ว

ตารางที่ 4 ปริมาณใบมะรุมนสด (กิโลกรัม) ที่รับซื้อในแต่ละวัน (X^{ij}) ปริมาณคงคลัง (I^i) สั่งซื้อเพิ่ม (A^i) และความต้องการซื้อ (D^{ij}) สำหรับกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง

วัน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จันทร์	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	140	95
อังคาร	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
พุธ	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	95	0
พฤหัสบดี	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ศุกร์	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	140

การวางแผนการผลิตมังงะโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

ตารางที่ 4 ปริมาณใบมังงะสด (กิโลกรัม) ที่รับซื้อในแต่ละวัน (X^{jt}) ปริมาณคงคลัง (I^t) สั่งซื้อเพิ่ม (A^t) และความต้องการซื้อ (De^t) สำหรับกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง (ต่อ)

วัน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
เสาร์	0	0	0	0	0	0	140	0	50	140	140	0
อาทิตย์	0	0	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0
คงคลัง	0	0	0	0	0	0	0	448	260	0	0	0
สั่งซื้อเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ความต้องการ	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300

ปริมาณในตารางที่ 4 ตามแถวตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ คือปริมาณการรับซื้อใบมังงะสดในวันนั้น เมื่อผ่านการอบแห้งปริมาณของมังงะสดจะเหลือเพียง 80% ของใบมังงะสดซึ่งถูกแสดงใน 3 แถวสุดท้ายของตาราง

แผนการผลิตมังงะที่เหมาะสมที่สุดในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงจากการจำลอง 12 สัปดาห์ คือ เริ่มรับซื้อใบมังงะสดปริมาณ 140 กิโลกรัมในวันเสาร์ของสัปดาห์ที่ 7 ทำการอบแห้งจนถึงวันอาทิตย์และบดในวันจันทร์ของสัปดาห์ที่ 8 ในสัปดาห์ที่ 8 มีการรับซื้อใบมังงะสดทั้งหมด 4 ครั้ง คือ วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ และวันอาทิตย์ ในปริมาณ 140 กิโลกรัม จากนั้นรับซื้อในสัปดาห์ที่ 9 เพียงครั้งเดียวในวันเสาร์ปริมาณ 50 กิโลกรัม เช่นเดียวกันในสัปดาห์ที่ 10 มีการรับซื้อเพียงครั้งเดียว คือ วันเสาร์ปริมาณ 140 กิโลกรัม สัปดาห์ที่ 11 มีการรับซื้อทั้งหมด 3 ครั้ง ในวันจันทร์ วันพุธ และวันเสาร์ ในปริมาณ 140 95 และ 140 กิโลกรัมตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 12 มีการรับซื้อสองครั้ง คือ วันจันทร์และวันศุกร์ ในปริมาณ 95 และ 140 กิโลกรัม

ตารางที่ 5 ปริมาณใบมังงะสด (กิโลกรัม) ที่รับซื้อในแต่ละวัน (X^{jt}) ปริมาณคงคลัง (I^t) สั่งซื้อเพิ่ม (A^t) และความต้องการซื้อ (De^t) ในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงและไม่ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจ

วัน/สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
จันทร์	0	0	0	0	0	100	140	140	0	0	0	0
อังคาร	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
พุธ	0	0	0	0	0	140	140	140	0	0	0	0
พฤหัสบดี	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ศุกร์	0	0	0	0	0	140	140	140	0	0	0	0
เสาร์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
อาทิตย์	0	0	0	0	0	140	0	140	0	0	0	0
คงคลัง	0	0	0	0	0	304	752	1,088	900	600	300	0
สั่งซื้อเพิ่ม	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ความต้องการ	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300

การผลิตจะหยุดในวันอาทิตย์สุดท้ายของการผลิตและส่งมอบในวันที่หยุดผลิตเพื่อลดต้นทุนของสินค้าคงคลัง จะสังเกตว่าการผลิตจะเริ่มใกล้กับวันส่งมอบมากและยังคงมีการผลิตในวันส่งมอบ ต่างจากแผนการสำหรับกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ ข้อสังเกตสำหรับแผนการผลิตนี้ คือ การรับซื้อใบมะรุมนสดถูกแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรก คือ ในฤดูเก็บเกี่ยวก่อนสัปดาห์ที่ 9 จะสังเกตว่า มีการรับซื้อใบมะรุมนสดในช่วงสัปดาห์ที่ 8 และ 9 เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการรับซื้อใบมะรุมนสด หลังจากนั้นรับซื้อปริมาณน้อยในสัปดาห์ที่ 9 และ 10 เพื่อลดต้นทุนของสินค้าคงคลังจากนั้นเริ่มเพิ่มความถี่ในการรับซื้อในช่วง 2 สัปดาห์สุดท้ายเพื่อตอบสนองความต้องการซื้อในสัปดาห์นั้น ในกรณีนี้การเสียต้นทุนสินค้าคงคลังและการค่าใช้จ่ายส่วนเพิ่มจากการรับซื้อใบมะรุมนสดนอกฤดูยังไม่แพงกว่าราคาผงบะรุมนสำเร็จรูปจากผู้ค้ารายอื่น จึงไม่มีการซื้อผงบะรุมนจากผู้ค้าอื่นเพื่อนำมาเก็บในคลัง

จากการจำลองพบว่า แผนการผลิตในกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงมีความซับซ้อนมากกว่ากรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ การปรากฏปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการผลิตจะเพิ่มความซับซ้อนในการค้นหาแผนการที่ดีที่สุด จากการจำลองจะพบว่า แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสามารถช่วยในการวางแผนการผลิตที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุดและสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนของแผนการจัดการที่ใช้แบบจำลองและไม่ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจในกรณีที่เสียต้นทุนสินค้าคงคลังสูง ตารางที่ 5 คือ แผนการผลิตกรณีที่ไม่มีวางแผนโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ แผนการผลิตที่มักจะพบในการจัดการคือการเริ่มผลิตใกล้วันส่งมอบและรับซื้อใบมะรุมนสดในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเพื่อลดต้นทุนค่าวัตถุดิบ

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบต้นทุน (บาท) ระหว่างแผนการจัดการโดยไม่ใช้แบบจำลองและใช้แบบจำลองของกรณีต้นทุนสินค้าคงคลังสูง

แผนการจัดการ	ต้นทุนใบมะรุมนสด	ต้นทุนค่าทำความสะอาดและบด	ต้นทุนคงคลัง	ต้นทุนผงบะรุมนที่ซื้อเพิ่ม	ต้นทุนรวม
	$CC \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} X^{f,j}$	$CF \sum_{f \in F} F^f$	$CA \sum_{f \in F} A^f$	$CX \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} X^{f,j}$	C
ไม่ใช้แบบจำลอง ตารางที่ 5	45,000 (100%)	30,000 (100%)	39,440 (100%)	0 (100%)	114,440 (100%)
ใช้แบบจำลอง ตารางที่ 4	61,000 (135.56%)	30,000 (100%)	7,080 (17.95%)	0 (100%)	98,080 (85.70%)

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแผนการจัดการโดยไม่ใช้แบบจำลองและใช้แบบจำลองของกรณีต้นทุนของสินค้าคงคลังสูง ปริมาณในวงเล็บ คือ ร้อยละเทียบกับต้นทุนจากการผลิตที่ไม่มีการวางแผนก่อนการผลิต ในส่วนของแผนการจัดการที่ใช้แบบจำลองช่วย ต้นทุนในส่วนของใบมะรุมนสดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรับซื้อนอกฤดูเก็บเกี่ยว ต้นทุนรวมของการผลิต คือ 98,080 บาท ดังนั้น จุดคุ้มทุนจะอยู่ที่ 81.73 บาทต่อกิโลกรัม ราคาขายที่ได้ยังคงห่างกับราคาตลาด 120 บาท ดังนั้น ผู้ผลิตสามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันได้ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ช่วยในการ

การวางแผนการผลิตมังงะโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

ลดต้นทุนการผลิตพบว่า ต้นทุนของแผนการที่ใช้แบบจำลองช่วยในการตัดสินใจสามารถลดต้นทุนการผลิตรวมลงได้ประมาณ 14.30%

5.2 อภิปรายผล

จากผลการจำลองสถานการณ์การผลิตในเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม สามารถลดต้นทุนในการผลิตมังงะได้ โดยเฉพาะต้นทุนของสินค้าคงคลัง แบบจำลองช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ 7.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตโดยไม่มีการวางแผนสำหรับกรณีศึกษาต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ ซึ่งเป็นการจำลองการผลิตโดยใช้พารามิเตอร์และกระบวนการจากการผลิตจริงในงานวิจัย (Ketpanyapong & Marupanthong, 2021) โดยโครงการวิจัยใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเป็นคลังสินค้าจึงมีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำมาก กลยุทธ์ที่ดีที่สุดจากแบบจำลอง คือ การสั่งซื้อใบมังงะสดในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวและนำมาทำความสะอาด อบแห้ง บด และเก็บไว้ในคลัง โดยการสั่งซื้อจะสั่งซื้อใกล้วันส่งมอบมากที่สุดและสามารถส่งมอบสินค้าได้ตามกำหนด ในขณะที่การผลิตแบบไม่ใช้แบบจำลองในการวางแผนจะสั่งซื้อใบมังงะสดตั้งแต่เริ่มฤดูกาลเก็บเกี่ยวและเก็บไว้ในคลังเป็นเวลานาน ซึ่งมีเป็นการเพิ่มต้นทุนการจัดเก็บ อย่างไรก็ตาม ถ้าวันส่งมอบสินค้าไกลจากฤดูกาลเก็บเกี่ยวมาก แบบจำลองจะคำนวณกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากการเปรียบเทียบราคารับซื้อใบมังงะนอกฤดูกาลเก็บเกี่ยว ราคาสินค้าคงคลังต่อหน่วย และราคารับซื้อมังงะสำเร็จรูปจากผู้ผลิตอื่น ซึ่งผู้ผลิตต้องทำการจำลองอีกครั้ง เนื่องจากพารามิเตอร์ของแบบจำลองไม่เหมือนกับกรณีศึกษา

สำหรับกรณีศึกษาต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงซึ่งเป็นการจำลองในกรณีที่ผู้ผลิตไม่ได้จัดเก็บสินค้าในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเหมือนในกรณีแรก แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการผลิต 14.30% โดยกลยุทธ์การผลิตที่เหมาะสมที่สุดคือ เราจะรับซื้อใบมังงะนอกฤดูกาลเพื่อหลีกเลี่ยงการเก็บมังงะไว้ในคลัง เนื่องจากต้นทุนค่าเก็บรักษาสูงกว่าส่วนต่างของราคาในการรับซื้อใบมังงะสดนอกฤดูกาลและในฤดูกาล ในขณะที่การผลิตโดยไม่วางแผนในกรณีที่ผู้ผลิตจะรับซื้อใบมังงะสดมาแปรรูปและเก็บไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากไม่ต้องการให้สินค้าขาดมือ

แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการผลิตสำหรับกรณีศึกษาต้นทุนของสินค้าคงคลังสูงได้มากกว่ากรณีศึกษาต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ เนื่องจากการผลิตเป็นแบบการผลิตเพื่อจัดเก็บ ซึ่งต้นทุนของการผลิตประเภทนี้ได้รับผลกระทบจากต้นทุนของสินค้าคงคลังเป็นอย่างมากดังผลการทดลองในตารางที่ 3 และ 6 ภาพรวมของกลยุทธ์การผลิตสัมพันธ์กับสามปัจจัยหลักคือ ต้นทุนค่าเช่าคลังเก็บสินค้า ต้นทุนการรับซื้อมังงะในกรณีที่ไม่สามารถผลิตมังงะได้ตามความต้องการบริโภค และต้นทุนการรับซื้อใบมังงะสด เมื่อทำการคำนวณในแบบจำลองแบบจำลองจะหากลยุทธ์ที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยที่กลยุทธ์ที่ได้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ทั้งหมด ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัย (Sae-lee & Ritvirool, 2014) และ (Ritvirool, 2012) ที่ยืนยันว่าแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสมุนไพรได้

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับวางแผนลดต้นทุนการผลิตผงมะรุมและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ครบถ้วน และในทางปฏิบัติเพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ให้กับผู้ประกอบการที่ผลิตผงมะรุมบดและสารสกัดมะรุมชนิดผง

ผลการวิจัยสำหรับการวางแผนการผลิตผงมะรุมบดโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ 1) กรณีที่ผลิตเพื่อการทำวิจัยหรือกรณีที่มีต้นทุนของสินค้าคงคลังต่ำ พบว่า การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการผลิตผงมะรุมบดสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 7.06% เมื่อเทียบกับการผลิตที่ไม่มีการวางแผน โดยมีราคาต้นทุนของผงมะรุมบดของการผลิตอยู่ที่ 65.70 บาทต่อกิโลกรัม และ 2) กรณีที่ผลิตเพื่อการพาณิชย์ที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเก็บสูง จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 14.30% โดยมีราคาต้นทุนของผงมะรุมบดของการผลิตอยู่ที่ 81.73 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่ราคาผงมะรุมบดในตลาดชั้นต่ำจะอยู่ที่ 120 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งแผนการผลิตที่ได้สามารถเพิ่มศักยภาพการแข่งขันเชิงพาณิชย์ให้กับผู้ประกอบการได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตและแข่งขันในตลาด ผู้ผลิตโดยเฉพาะในธุรกิจขนาดกลางและขนาดใหญ่ ควรวางแผนการผลิตก่อนทำการผลิต แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเป็นเครื่องมือที่ช่วยการวางแผนที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกระบวนการผลิตเชิงอุตสาหกรรม แบบจำลองที่นำเสนอสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตสมุนไพรทั่วไปนอกจากมะรุม อย่างไรก็ตาม ผู้นำไปใช้จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของแบบจำลองว่าตรงกับเงื่อนไขการผลิตของตนก่อนจึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.2.1 ในการจำลองระยะยาวจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรในการคำนวณมาก เนื่องจากการแก้แบบจำลองเป็นปัญหาในชั้น NP-Complete ซึ่งเป็นไปได้ยากที่ผู้ที่อยู่นอกหน่วยงานวิจัยจะเข้าถึงเทคโนโลยี เมื่อทำการจำลองในระยะยาวในช่วง 1-2 ปีเป็นต้นไป จำเป็นต้องใช้วิธีการฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหา ในอนาคตควรจะนำเสนอวิธีการฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหา

7.2.2 สร้างแอปพลิเคชันจากภาษาอาร์ เพื่อให้ผู้ประกอบการที่ไม่มีความพื้นฐานคณิตศาสตร์และการเขียนโปรแกรมสามารถเข้าถึงแบบจำลองได้ง่ายขึ้น

7.2.3 ศึกษาอุปสงค์ของผงมะรุมเพื่อหาปริมาณผงมะรุมที่ควรจัดเก็บในคลังสินค้า โดยผู้วิจัยอาจใช้แบบจำลองสินค้าคงคลัง (Inventory Model) และการจำลองทางสถิติ (Statistical Simulation) ควบคู่กับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น

การวางแผนการผลิตผัสมะรุ่มโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

7.3 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และการถ่ายโอนสู่เทคโนโลยีดิจิทัลมากขึ้นและการระบาดใหญ่ของโควิด 19 ยังเป็นตัวเร่งการเข้าสู่สังคมดิจิทัลให้เร็วขึ้นอย่างก้าวกระโดด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้ในธุรกิจมากขึ้น ผ่านทางแอปพลิเคชันระบบอัตโนมัติและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ข้อดีของเทคโนโลยีเหล่านี้ คือ ผู้ใช้ทั่วไปที่ไม่มีความชำนาญทางด้านคณิตศาสตร์สามารถเข้าถึงแบบจำลองที่ช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับธุรกิจได้ และจากผลงานวิจัยนี้พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้ ดังนั้น ภาครัฐและภาคเอกชนควรมีการประชาสัมพันธ์ อบรม และสนับสนุนให้ผู้ประกอบการที่ไม่มีเชี่ยวชาญเทคโนโลยีได้เข้าถึงเทคโนโลยีเหล่านี้

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายงานโครงการวิจัยย่อยเรื่อง แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตผลิตภัณฑ์จากสารสกัดใบมะรุ่ม โดยมีโครงการหลักเรื่อง การสร้างนวัตกรรมจากใบมะรุ่มในเชิงพาณิชย์ ซึ่งโครงการวิจัยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากงบประมาณแผนบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ผ่านทางสำนักงานวิจัยแห่งชาติและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

9. เอกสารอ้างอิง

- Ahumada, O. & Villalobos, J.R. (2009). Application of Planning Models in the Agri-Food Supply Chain: A Review. *European Journal of Operational Research*, 196, 1-20.
- Bernhard, K. O. R. T. E. & Vygen, J. E. N. S. (2008). *Combinatorial optimization: Theory and algorithms*. Springer Science & Business Media.
- Boopathi, N. M., Raveendran, M., & Kole, C. (2021). *Moringa and Its Genome: Future Prospects*. In *The Moringa Genome* (pp. 181-185). Springer.
- Cachon, G. P. (2004). The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts. *Management Science*, 50(2), 222-238.
- Ding, J., Lu, Q., & Chu, X. (2015). The effect of stockout cause and brand equity on consumer preference in online retailing. In *Industrial Engineering, Management Science and Applications 2015* (pp. 599-608). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fitzsimons, G. J. (2000). Consumer response to stockouts. *Journal of consumer research*, 27(2), 249-266.
- Gonzalez, Y. S., & Van Der Maden, E. C. L. J. (2015). *Opportunities for development of the Moringa sector in Bangladesh: Desk-based review of the Moringa value chains in developing countries*

- and end-markets in Europe* (No. 15-102). Centre for Development Innovation, Wageningen UR.
Centre for Development Innovation, Wageningen UR.
- Ketpanyapong, W. & Marupanthorn, K. (2021). *Commercial Innovative of Moringa oleifera leaf extract as feed additive in pigs*. Research Report, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.
- Korte, B. H., Vygen, J., Korte, B., & Vygen, J. (2011). *Combinatorial optimization* (Vol. 1). Berlin: Springer.
- Kronthaler, F., & Zöllner, S. (2021). *Data Analysis with RStudio*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- Lakhdar, K. & Papageorgiou, L.G. (2008). An iterative mixed integer optimisation approach for medium term planning of biopharmaceutical manufacture under uncertainty, *Chemical Engineering Research and Design*, 86(3), 259-267.
- Lakhdar, K., Zhou, Y., Savery, J., Titchener Hooker, N.J. & Papageorgiou, L.G. (2005), Medium term planning of biopharmaceutical manufacture using mathematical programming, *Biotechnology Progress*, 21(5), 1478-1489.
- Liu, H., Zhang, J., Zhou, C., & Ru, Y. (2018). Optimal purchase and inventory retrieval policies for perishable seasonal agricultural products. *Omega*, 79, 133-145.
- Marupanthorn, K. (2018). Efficiency of Moringa Oleifera Leaves Extract on Osteogenic Differentiation of Porcine Bone Marrow Derived Mesenchymal Stem Cells using Response Surface Methodology. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 2(46), 227 – 236.
- Mollet, M. H., Mujuru, M., Mjimba, V., Darangwa, N., & Nyanzi, R. (2021). Moringa oleifera noise: Science or quackery and the way forward. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 13(3), 273-281.
- Package 'lpSolve'. (2021). <https://cran.r-project.org/web/packages/lpSolve/lpSolve.pdf>
- Poosea, B. (2021, August 23). *Real estate enters the rental business 'Factory-Warehouse' a new treasure!!*. Bangkokbiznews. <https://www.bangkokbiznews.com/business/956075>
- Pourmohammad-Zia, N. (2021). A review of the research developments on inventory management of growing items. *Journal of Supply Chain Management Science*, 2(3-4), 71-84.
- Prabsattroo T., Wattanathorn J., Iamsaard S., Muchimapura S. & Thukhammee W. (2012). Moringa oleifera leaves extract attenuates male sexual dysfunction. *American Journal of Neuroscience*, 3, 17-24.
- Prabsattroo T., Wattanathorn J., Iamsaard S., Somsap P., Sritragool O., Thukhammee W. & Muchimapura S. (2015). Moringa oleifera extract enhances sexual performance in stressed rats. *Journal of Zhejiang University Science B*, 16, 179-190.
- Rajagopalan, S. (2002). Make to order or make to stock: model and application. *Management Science*, 48(2), 241-256.

การวางแผนการผลิตมังงะรุ้มโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

- Rajendran, T. (2017). Economic Analysis of Moringa in Tamil Nadu. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 1(4), 250-253.
- Ritvirool, A. (2012). *Linear Programming and Integer Programming and Their Applications in Agro-Industry*. Bangkok: AK SORN SOPHON COMPANY LIMITED.
- Sae-lee, P. & Ritvirool, A. (2014). An integer linear programming model for herbal cosmetic production planning. *KMUTT Research and Development Journal*. 37(3), 347 – 360.
- Srisukh, V. (2009). Moringa Oleifera: Salutory Herb, *Medicinal plant newsletter*, 26(4).
- Vieira, M., Pinto-Varela, T. & Barbosa-Póvoa, A. P. (2019). A model-based decision support framework for the optimisation of production planning in the biopharmaceutical industry. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 354-367.
- Zhichkin, K., Nosov, V., Zhichkina, L., Dibrova, Z., & Cherepova, T. (2019). Development of evaluation model effectiveness of modern technologies in crop production. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 315, No. 2, p. 022023). IOP Publishing.

ประวัติแนบท้ายบทความ



Name and Surname: Nassamon Bootwisas
Highest Education: M.Sc. Applied Statistics
University or Agency: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Field of Expertise: Statistical Data Analysis, and Censored Data
Address: Division of Mathematics, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: nassamon.b@rmutsb.ac.th



Name and Surname: Pasin Marupanthorn
Highest Education: M.Sc. Mathematical Modelling, M.Sc. Financial Engineering,
M.Sc. Mathematics
University or Agency: Maejo University
Field of Expertise: Quantitative Economics, Actuarial Mathematics,
Financial Mathematics, Management Mathematics, and
Computational Statistics
Address: Department of Mathematics, Faculty of Science, Maejo University,
E-mail: oporkabbb@hotmail.com

การวางแผนการผลิตผสมโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม



Name and Surname: Kulisara Marupanthorn
Highest Education: Ph.D. Medical Sciences
University or Agency: Chiang Mai Rajabhat University
Field of Expertise: Cells, Molecular Biology and Veterinary Medicine
Address: Department of Agricultural Technology and Development,
Faculty of Agricultural Technology, Chiangmai Rajabhat University
E-mail: kulisara_mar@cmru.ac.th



Name and Surname: Uparittha Intarasat
Highest Education: M.Sc. Applied Statistics
University or Agency: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Field of Expertise: Statistical Data Analysis, and Statistical Variance Test
Address: Division of Mathematics, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: uparittha.i@rmutsb.ac.th



Name and Surname: Wisit Ketpanyapong

Highest Education: Ph.D. Medical Sciences

University or Agency: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Field of Expertise: Traditional Medicine in Animal Production

Address: Department of Animal Science, Faculty of Agricultural
Technology and Agro-industry,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

E-mail: pay_wisit@hotmail.com