การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของโรงงานเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อย โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ*
อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ประเทือง อุษาบริสุทธิ์
รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6925-8282 อีเมล: fengckl@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.003
รับเมื่อ 24 มีนาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 14 สิงหาคม 2558 เผยแพร่ออนไลน์ 9 กุมภาพันธ์ 2559
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีการส่งออกเครื่องจักรกลการเกษตรไปในกลุ่มประเทศอาเซียนเป็นจำนวนมาก เครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยเป็นหนึ่งในเครื่องจักรกลที่มีการส่งออกที่สูง โรงงานผลิตและประกอบกว่าร้อยละ 80 เป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งส่วนใหญ่ประสบปัญหาในเรื่องการวางแผนการผลิตและประกอบชิ้นส่วน โดยในการผลิตจะมีชิ้นส่วนบางชิ้นต้องผ่านกระบวนการบางกระบวนการก่อนถึงจะประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้ได้ การขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีบางชิ้นส่วนผลิตไม่ทัน หรือผลิตเกินความต้องการ ทำให้มีชิ้นส่วนคงค้างอยู่ในแต่ละกระบวนการเป็นผลให้เกิดต้นทุนทางด้านวัสดุคงคลัง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งวัตถุประสงค์หลัก คือ คำนึงถึงในด้านการวางแผนการผลิตและประกอบ เพื่อให้ทางโรงงานสามารถสั่งซื้อชิ้นส่วน การจัดสมดุลสายการผลิตและประกอบ ให้สอดคล้องกับเวลา และปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า เครื่องมือที่นำเสนอสามารถช่วยในการวางแผนและตัดสินใจของโรงงานผลิตในการวางแผนการผลิตให้มีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองมีต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรวมต่ำกว่าที่บริษัทดำเนินการอยู่ถึง 14.81%

คำสำคัญ: การวางแผนการผลิต เครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อย แบบจำลองเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม

การอ้างอิงบทความ: ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ และ ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, "การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของโรงงานเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2, หน้า 209–221, พ.ค.–ส.ค. 2559

Optimal Production Planning of Sugarcane Machinery Plant by Mixed Integer Linear Programming Model

Chaimongkol Limpianchob*
Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

Prathuang Usaborisut
Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-6925-8282, E-mail: fengckl@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2015.08.003
Received 24 March 2015; Accepted 14 August 2015; Published online: 9 February 2016
© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Many types of agricultural machine were produced in Thailand and exported to ASEAN countries. One of them that have a high volume of exports is machinery for sugarcane production. More than 80 percent of manufacturing and assembly factories are small and medium enterprises that are often facing problem in production and assembly planning. Some parts of the machinery need to pass through a certain production process before assembly causing a complexity in planning. Therefore, a lack of effective planning will cause problems such as lack of parts for assembly or left over parts remain in the process, resulting in a cost of inventory. To solve this problem, a mixed-integer linear programming was applied to solve production and assembly planning problems in the sugarcane machinery production. The main objective is to schedule part orders with manufacturing and assembling processes under time and demand constraints. This proposed tool can help in planning decision making to minimize manufacturing cost. The result shows that the model contributes to reduction of the total operation cost by 14.81%.

Keywords: Production Planning, Sugarcane Machinery, Mixed-integer Linear Programming

Please cite this article as: C. Limpianchob and P. Usaborisut, "Optimal production planning of sugarcane machinery plant by mixed integer linear programming model," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 26, no. 2, pp. 209–221, May.–Aug. 2016 (in Thai).

1. บทนำ

อ้อยเป็นพืชที่สำคัญของประเทศไทย ผลผลิตอ้อยที่ได้จากเกษตรกรเป็นวัตถุดิบที่นำเข้าโรงงานเพื่อใช้ในการแปรรูปเป็นน้ำตาล นอกจากจะให้น้ำตาลที่ใช้บริโภคเป็นอาหารประจำวันแล้วยังสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ผลิตแอลกอฮอล์ และเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้น้ำตาลยังใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตสารเคมีหลายชนิด ปัจจุบันประเทศไทยส่งออกน้ำตาลทรายเป็นอันดับ 4 ของโลก รองจากประเทศบราซิล อินเดีย จีน ตามลำดับ [1] จากการคาดการณ์การปลูกอ้อยจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เป็นผลทำให้อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรเข้ามาเป็นส่วนจำเป็นสำคัญในกระบวนการผลิตอ้อย เพราะเครื่องจักรกลการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตอ้อยตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูกอ้อย การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว และรวมไปถึงการขนส่ง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยมีการดำเนินการหรือการบริหารกิจการในรูปแบบครอบครัวและมีการพัฒนาค่อนข้างน้อย ประกอบกับมีการแข่งขันทางตลาดสูงทั้งในประเทศ และจากคู่แข่งนอกประเทศที่มีการพัฒนาทั้งทางด้านการบริหารจัดการการผลิต และเทคโนโลยีที่สูงกว่า ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรผลิตอ้อยได้เองเป็นส่วนใหญ่

โรงงานผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรในประเทศไทยส่วนมากจะใช้เทคโนโลยีการผลิตระดับปานกลาง (Middle-End Technology) ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นโรงงานผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรขนาดกลาง ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร เช่น ไถบุกเบิกหรือไถจานแบบสามผาล (Disc Ploughs) ไถจานจำนวนเจ็ดผาล (Disc Ploughs Tiller) และเครื่องปลูกอ้อย (Cane Planter) เป็นต้น ซึ่งมักประสบปัญหาใน 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ปัญหาทางด้านการสั่งซื้อชิ้นส่วนในการผลิต ซึ่งใช้วิธีการสั่งซื้อชิ้นส่วนมาทีเดียวหลายๆ ชิ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้นเมื่อชิ้นส่วนถูกส่งเข้ามาที่โรงงาน ทำให้โรงงานต้องจัดหาโกดังเพื่อเก็บชิ้นส่วนเหล่านี้ไว้ เป็นผลให้เพิ่มต้นทุนทางด้านวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น ปัญหาในส่วนที่สองคือ การวางแผนการผลิตและประกอบชิ้นส่วน การขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีบางชิ้นส่วนผลิตไม่ทัน หรือผลิตเกินความต้องการ ทำให้มีชิ้นส่วนคงค้างอยู่ในแต่ละกระบวนการ และปัญหาสุดท้ายที่ทุกโรงงานประสบอยู่คือ แรงงานที่ใช้ในการผลิตที่มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนแรงงานที่มีในแต่ละวัน และการควบคุมต้นทุนทางด้านแรงงานเป็นไปได้ยาก

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบการวางแผนการผลิตและประกอบเครื่องจักรกลการเกษตร เพื่อให้ทางโรงงานสามารถสั่งซื้อชิ้นส่วน การจัดสมดุลสายการผลิตและประกอบ รวมถึงทราบปริมาณแรงงานที่ต้องใช้ให้สอดคล้องกับเวลา และปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนและตัดสินใจของโรงงานผลิตในการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการโซ่อุปทาน คือ การประสานงานร่วมกันของหน่วยงานในองค์กรตามโซ่อุปทานทั้งการไหลวัตถุดิบ ข้อมูลข่าวสาร เพิ่มเติมเต็มอุปสงค์ของลูกค้าด้วยเป้าหมายการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งโซ่อุปทาน [2] ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาโดยสร้างเป็นรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งเป็นที่แพร่หลายในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศมากมาย

การนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม ปรากฏในงานวิจัยในต่างประเทศมากมาย ยกตัวอย่างเช่น ในงานอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า [3] ได้นำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผน และจัดตารางการหล่อเหล็กกล้าให้มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยรวมข้อจำกัดทางด้านแรงงาน และระดับของเทคโนโลยีที่ใช้ไว้ในแบบจำลอง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tang *el al.*

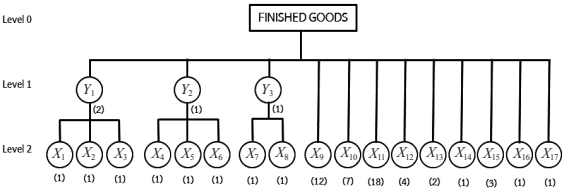
[4] ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตเหล็กกล้า แต่ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มแบบจำลองเชิงพลวัตเข้ามาในการคำนวณเพิ่มเติม

ในด้านปัญหาการวางแผนและจัดตารางการผลิตโดยทั่วไปจะมีสมการเป้าหมายเพื่อให้มีต้นทุนการผลิตและเวลาที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งกลยุทธ์การผลิตที่นักวิจัยสนใจ คือ การผลิตแบบทันเวลา (JIT) [5] โดยมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มในการวางแผนการผลิตแบบทันเวลาเพื่อลดต้นทุนทางด้านวัสดุคงคลัง ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kejia [6] ได้นำมาใช้ในการวางแผนการผลิตแบบ Shop Floor โดยพิจารณาข้อจำกัดทางด้านการผลิต วัสดุคงคลังที่คงค้าง ลำดับการทำงาน ช่วงเวลานำ และช่วงเวลาในการนำส่งเพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ [7] ที่มีหลายผลิตภัณฑ์ และมีหลายกระบวนการผลิต และในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมี [8] ได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มในการวางแผนการผลิต การวางแผนวัสดุคงคลัง และการขนส่งเพื่อให้มีต้นทุนต่ำที่สุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการผลิตและประกอบเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อใช้ผลิตอ้อย โดยมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด (Minimize Total Cost) และเพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้ได้กับเครื่องจักรกลการเกษตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

3. โครงสร้างกระบวนการผลิตและประกอบเครื่องจักรกลการเกษตรภายในโรงงานผลิต

เครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นต้นแบบในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ไถจานแบบสามผาล เนื่องจากโรงงานส่วนใหญ่ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรประเภทนี้ และยังเป็นเครื่องจักรกลพื้นฐานในกระบวนการผลิตอ้อย นอกจากนี้ไถจานแบบสามผาลสามารถนำไปใช้ในการบุกเบิกดินใหม่ในการปลูกข้าวได้อีกด้วย



รูปที่ 1 โครงสร้างแผนการประกอบไถจานแบบสามผาล

กระบวนการผลิตและประกอบไถจานแบบสามผาลสามารถแบ่งกระบวนการผลิตและประกอบออกเป็น 3 ชิ้นส่วนใหญ่คือขาไถหน้าขาไถหลัง และหางคัดเพลาคัดท้าย โดยแบ่งการวางแผนการผลิตและประกอบได้เป็น 3 ระดับ (Levels) ดังนี้

1) ระดับ 2 ซึ่งเป็นระดับต่ำสุด เป็นระดับที่แสดงชิ้นส่วน (X_i) ทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตและประกอบเป็นไถจานแบบสามผาล โดยสามารถแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นทั้งหมด 17 หมายเลข (X_1–X_{17}) ซึ่งบางชิ้นส่วนต้องใช้มากกว่าหนึ่งชิ้นในกระบวนการประกอบ เมื่อทางโรงงานสั่งซื้อชิ้นส่วนมาแล้ว ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในคลังสินค้า และจะถูกนำมาใช้เมื่อต้องมีการผลิตและประกอบไถจานแบบสามผาล

2) ระดับ 1 เป็นกระบวนการประกอบ 1 เพื่อประกอบเป็นชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน (Y_1–Y_3) คือ ขาไถหน้า ขาไถหลัง และหางคัดเพลาคัดท้ายซึ่งต้องใช้ชิ้นส่วนจากระดับ 2 จำนวน 8 ชิ้นส่วน (X_1–X_8) โดยแบ่งเป็นขาไถหน้าใช้ทั้งหมด 3 ชิ้น ขาไถหลังจำนวน 3 ชิ้น และหางคัดจำนวน 2 ชิ้น

3) ระดับ 0 เป็นกระบวนการประกอบ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายในการประกอบเป็นไถจานแบบสามผาล โดยใช้ชิ้นส่วนจากกระบวนการประกอบ 1 (ระดับ 1) จำนวน 4 ชิ้น แบ่งเป็นขาไถหน้า 2 ชิ้น ขาไถหลังและหางคัดอย่างละ 1 ชิ้น และชิ้นส่วนจากระดับ 2 ที่เหลือทั้งหมด (X_9–X_{17}) นำมาประกอบกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

ในส่วนถัดไปผู้วิจัยจะอธิบายถึงรายละเอียดของปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตและประกอบ และสามารถเป็นเครื่องมือ

ช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย

3.1 การสั่งซื้อชิ้นส่วน (Parts Ordering)

ในปัจจุบันโรงงานใช้วิธีการสั่งซื้อชิ้นส่วนมาทีเดียวหลายๆ ชิ้นพร้อมๆ กัน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดปัญหามีชิ้นส่วนที่ไม่ได้ใช้งานคงค้างในคลังสินค้าเกินความจำเป็น ทำให้โรงงานต้องเสียค่าวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น และในบางครั้งเกิดปัญหาชิ้นส่วนไม่เพียงพอต่อการผลิต ซึ่งต้องรอการสั่งซื้อชิ้นส่วนเข้ามาใหม่เป็นผลให้สายการผลิตและประกอบต้องหยุดการผลิต และผลที่ตามมาคือโรงงานไม่สามารถผลิตไถจานแบบสามผาลส่งตามเวลาที่ลูกค้าต้องการได้ ทำให้โรงงานสูญเสียความน่าเชื่อถือไป

3.2 การผลิตและประกอบชิ้นส่วน (Part Assemblies)

จากรูปที่ 1 ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าชิ้นส่วนต้องผ่านกระบวนการประกอบถึงสองครั้ง ดังนั้นหากขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดปัญหาบางชิ้นส่วนผลิตไม่ทัน หรือทำให้มีชิ้นส่วนคงค้างอยู่ในแต่ละกระบวนการทำให้เกิดต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น

3.3 แรงงานที่ใช้ในการผลิต

แรงงานถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิตและประกอบในโรงงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกกระบวนการล้วนแล้วจะต้องใช้แรงงานในการผลิตทั้งหมด ซึ่งโรงงานมีข้อจำกัดในเรื่องของแรงงานที่ไม่แน่นอนในแต่ละวัน จนบางครั้งต้องมีการจ้างแรงงานเพิ่มหรือต้องให้แรงงานทำงานล่วงเวลาเป็นผลทำให้การควบคุมต้นทุนทางด้านแรงงานเป็นไปได้ยาก หากไม่มีการวางแผนทางด้านแรงงานที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้มีความเพียงพอต่อการผลิต และเกิดต้นทุนทางด้านแรงงานน้อยที่สุด

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ข้อสมมติฐานที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วย

1) ทุกชิ้นส่วนไม่มีปัญหาในการสั่งซื้อ กล่าวคือ หากทางโรงงานสั่งซื้อชิ้นส่วนใด ผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นๆ สามารถส่งมอบชิ้นส่วนให้กับทางโรงงานได้ทันที

2) ต้นทุนค่าขนส่งชิ้นส่วนรวมอยู่ในต้นทุนค่าสั่งซื้อชิ้นส่วน ซึ่งคงที่ทุกช่วงเวลาที่พิจารณา

3) กำหนดให้ในแต่ละกระบวนการไม่มีวัสดุคงค้าง (Work In Process, WIP) ในคลังสินค้าตอนเริ่มการคำนวณ

4) กำหนดให้ชั่วโมงการทำงานของแรงงานปกติเท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน

ในส่วนถัดไปผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตไถจานแบบสามผาล ซึ่งประกอบด้วย กลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ข้อจำกัด (Constraints) และสมการเป้าหมาย (Objective Function) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ดัชนี (Indices and Sets)

t รอบเวลาในการประกอบ

p รอบเวลาในการส่งมอบสินค้า

i ชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ

j ชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการประกอบ

PP กลุ่มของเวลาที่ใช้ในการผลิต (Production Periods)

CP กลุ่มเวลาที่ส่งสินค้าให้กับลูกค้า (Customer Periods)

Part I กลุ่มชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ 1

Part II กลุ่มชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ 2

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ในส่วนของตัวแปรตัดสินใจที่ผู้วิจัยจะนำเสนอต่อไปนี้เป็นตัวแปรตัดสินใจเพื่อเป็นตัวแทนในการกำหนดชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการวางแผนการผลิตและประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรที่ใช้ในการผลิตอ้อย ในแต่ละช่วงเวลา $t \in PP$ และเพื่อให้สามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามช่วงเวลาที่ลูกค้าต้องการ $p \in CP$ ดังนี้

OR_i^t ปริมาณชิ้นส่วน *i* ที่ทางโรงงานจะต้องสั่งซื้อเพื่อใช้ในการผลิต เมื่อช่วงเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

X_i^t ปริมาณชิ้นส่วน *i* ที่ต้องใช้ในการประกอบ 1 เมื่อเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

Y_j^t ปริมาณชิ้นส่วน *j* ที่ประกอบเสร็จสิ้นหลังผ่านกระบวนการประกอบ 1 เมื่อเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

$Y1_j^t$ ปริมาณชิ้นส่วน *j* ที่ส่งเข้ากระบวนการประกอบ 2 เมื่อเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

FG^t เครื่องจักรกลที่ประกอบเสร็จสิ้นหลังผ่านกระบวนการประกอบ 2 เมื่อเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

$FG1^t$ เครื่องจักรกลที่ส่งมอบให้กับลูกค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา *t* (เครื่อง)

ส่วนตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่เมื่อสิ้นสุดเวลา $t \in PP$ เป็นดังนี้

$In1^t$ ปริมาณชิ้นส่วนที่โรงงานสั่งซื้อมาแล้วคงค้างไว้ในคลังสินค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

$In2^t$ ปริมาณชิ้นส่วนที่คงค้างในกระบวนการประกอบ 1 เมื่อสิ้นสุดเวลา *t* (ชิ้นส่วน)

$In3^t$ เครื่องจักรที่ประกอบสำเร็จที่รอส่งให้กับลูกค้าและคงค้างในคลังสินค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา *t* (เครื่อง)

ในส่วนสุดท้ายผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณการจ้างแรงงาน รวมถึงปริมาณการจ้างแรงงานนอกเวลาที่ใช้ในการผลิตและประกอบในแต่ละช่วงเวลา $t \in PP$ ดังนี้

$LB1^t$ ปริมาณแรงงานในกระบวนการประกอบ 1 ที่โรงงานมีเมื่อเวลา *t* (ชั่วโมง)

$LB2^t$ ปริมาณแรงงานในกระบวนการประกอบ 2 ที่โรงงานมีเมื่อเวลา *t* (ชั่วโมง)

$OT1^t$ ปริมาณแรงงานล่วงเวลาในกระบวนการประกอบ 1 ที่โรงงานมีจะต้องจ้างเพิ่มเติมเมื่อเวลา *t* (ชั่วโมง)

$OT2^t$ ปริมาณแรงงานล่วงเวลาในกระบวนการประกอบ 2 ที่โรงงานมีจะต้องจ้างเพิ่มเติมเมื่อเวลา *t* (ชั่วโมง)

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

$COPI_i$ ต้นทุนค่าวัสดุคงคลังของชิ้นส่วน *i* ที่คงค้างอยู่ในคลังสินค้า (บาท/วัน)

COPII ต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในกระบวนการประกอบ (บาท/วัน)

COL ต้นทุนค่าแรงงานปกติที่โรงงานใช้ในการผลิต (บาท/ชั่วโมง)

COT ต้นทุนค่าแรงงานล่วงเวลาที่โรงงานต้องจ่ายเพิ่มเมื่อแรงงานปกติมีไม่เพียงพอ (บาท/ชั่วโมง)

COR_i ต้นทุนในการสั่งซื้อชิ้นส่วน *i* เพื่อใช้ในการผลิตและประกอบ (บาท/ชิ้น)

$LW1^t$ ปริมาณชั่วโมงแรงงานในกระบวนการประกอบ 1 ที่โรงงานมีอยู่ในช่วงเวลา *t* (ชั่วโมง)

$LW2^t$ ปริมาณชั่วโมงแรงงานในกระบวนการประกอบ 2 ที่โรงงานมีอยู่ในช่วงเวลา *t* (ชั่วโมง)

$LD1^t$ ปริมาณชั่วโมงแรงงานที่หายไปในกระบวนการประกอบ 1 ในช่วงเวลา *t* (ชั่วโมง)

$LD2^t$ ปริมาณชั่วโมงแรงงานที่หายไปในกระบวนการประกอบ 2 ในช่วงเวลา *t* (ชั่วโมง)

$AS1_j$ เวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน *j* ในกระบวนการประกอบ 1 (ชั่วโมง/ชิ้น)

AS2 เวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนเป็นเครื่องจักรกล (ชั่วโมง/ชิ้น)

RoT อัตราส่วนของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตร

QA_i อัตราส่วนการใช้ชิ้นส่วน *i* เพื่อใช้ในการผลิตและประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตร

Dem^p ปริมาณเครื่องจักรกลการเกษตรที่ลูกค้าสั่งซื้อในช่วงเวลา p

4.4 ข้อจำกัด (Constraints)

แบบจำลองการวางแผนการผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นประกอบด้วยข้อจำกัดและข้อกำหนดเกี่ยวกับการสั่งซื้อชิ้นส่วนเพื่อใช้ในกระบวนการประกอบ ปริมาณแรงงานปกติ รวมถึงปริมาณแรงงานล่วงเวลาที่โรงงานต้องใช้ เพื่อให้สามารถตอบสนองกับปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ ดังนี้

4.4.1 การสั่งซื้อชิ้นส่วน (Income Parts Scenario)

ในส่วนแรก ผู้วิจัยจะอธิบายถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อชิ้นส่วน และชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการผลิตและประกอบในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในข้อจำกัด (1)

$$OR_i^t \geq QA_i Dem^p ; \forall i \in PartI, \forall t \in PP, \forall p \in CP : t = p \quad (1)$$

ข้อจำกัด (1) เป็นการกำหนดปริมาณชิ้นส่วนที่ทางโรงงานจะต้องสั่งซื้อเพื่อใช้ในการผลิตและประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตร จะต้องมีปริมาณเพียงพอในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อชิ้นส่วนที่สั่งซื้อมาถึงโรงงาน ชิ้นส่วนบางชิ้นจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการประกอบในทันที ส่วนชิ้นส่วนที่ยังไม่ใช้ในการประกอบจะถูกเก็บไว้ในคลังสินค้า ข้อจำกัดด้านล่างเป็นการจัดสมดุลของชิ้นส่วนที่เข้ามาเก็บและถูกใช้ไปในการผลิตและประกอบเมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

$$In1^t = In1^{t-1} + \sum_{i \in PartI} OR_i^t - \sum_{i \in PartI} X_i^t ; \forall t \in PP \quad (2)$$

4.4.2 กระบวนการประกอบ 1

ในกระบวนการประกอบ 1 จะมีการประกอบชิ้นส่วนเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลัก 3 ส่วน คือ ชุดขาไถหน้า ชุดขาไถหลัง และชุดหางคัดเพลาคัดท้าย ซึ่งแต่ละส่วนมีข้อจำกัดในการประกอบและการเลือกใช้ชิ้นส่วน ดังแสดงในข้อจำกัด (3)–(5)

$$\sum_{i \in PartI : i=1}^{3} X_i^t = Y_j^t ; \forall j \in PartII : j = 1, \forall t \in PP \quad (3)$$

$$\sum_{i \in PartI : i=4}^{6} X_i^t = Y_j^t ; \forall j \in PartII : j = 2, \forall t \in PP \quad (4)$$

และ

$$\sum_{i \in PartI : i=7}^{8} X_i^t = Y_j^t ; \forall j \in PartII : j = 3, \forall t \in PP \quad (5)$$

ข้อจำกัด (3) เป็นการประกอบชุดขาไถหน้า ซึ่งมีชิ้นส่วนประกอบกันทั้งหมดสามชิ้นส่วน ข้อจำกัด (4) เป็นการประกอบชุดขาไถหลัง โดยที่ใช้ชิ้นส่วนสามชิ้นส่วนมาประกอบกัน และข้อจำกัด (5) เป็นการประกอบชุดหางคัดและเพลาคัดท้าย ซึ่งประกอบจากชิ้นส่วนสองชิ้น

เมื่อคนงานประกอบชิ้นส่วนครบทั้งสามส่วนหลักแล้ว ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการประกอบ 2 เพื่อประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรต่อไป ถ้าหากชิ้นส่วนประกอบไม่เสร็จ ชิ้นส่วนเหล่านั้นจะถูกเก็บไว้ในคลังสินค้าเพื่อรอการประกอบในวันถัดไป ดังนั้นเพื่อเป็นการจัดสมดุลชิ้นส่วนที่คงค้างในคลังสินค้าของกระบวนการประกอบ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$In2^t = In2^{t-1} + \sum_{j \in PartII} Y_j^t - \sum_{j \in PartII} Y1_j^t ; \forall t \in PP \quad (6)$$

ปริมาณแรงงานที่ใช้ในกระบวนการประกอบ 1 รวมถึงปริมาณแรงงานล่วงเวลาที่ทางโรงงานจะต้องจ้างเพิ่มเพื่อให้สามารถประกอบชิ้นส่วนได้ตรงตามเวลา แสดงในข้อจำกัด (7)–(8) ดังนี้

$$LB1^t = LB1^{t-1} + LW1^t - LD1^t ; \forall t \in PP \quad (7)$$

และ

$$OT1^t = \sum_{j \in PartII} AS1_j Y_j^t - LB1^t ; \forall t \in PP \quad (8)$$

ข้อจำกัด (7) ผู้วิจัยระบุมาเพื่อให้ทางโรงงานทราบปริมาณแรงงานจริงในกระบวนการประกอบ 1 ที่ทางโรงงานมีอยู่เมื่อหักด้วยปริมาณแรงงานที่หายไปในแต่ละช่วงเวลา ส่วนข้อจำกัด (8) แสดงให้เห็นปริมาณแรงงานล่วงเวลาที่ทางโรงงานต้องจ้างเพิ่ม เนื่องจากปริมาณแรงงานที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการประกอบชิ้นส่วนในกระบวนการประกอบ 1 และนอกจากนี้เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับทางโรงงาน ว่าจะมีปริมาณแรงงานเพียงพอในการประกอบเครื่องจักรกลการเกษตร

4.4.3 กระบวนการประกอบ 2

กระบวนการประกอบ 2 เป็นกระบวนการสุดท้ายในการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อย ซึ่งประกอบด้วยชุดขาไถหน้า จำนวน 2 ชุด ชุดขาไถหลังและชุดหางคัดเพลาคัดท้าย อย่างละ 1 ชุด และมีชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบอื่นๆ เช่น โครงไถ จานไถ เป็นต้น ดังแสดงในข้อจำกัด (9)

$$\sum_{j\in PartII} Y1_j^t + \sum_{i\in PartI:i=9}^{17} X_i^t = FG^t ; \forall t \in PP \qquad (9)$$

ข้อจำกัด (9) เป็นการระบุชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการประกอบซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ได้จากกระบวนการประกอบ 1 รวมกับชิ้นส่วนอื่นๆ ประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตร

ปริมาณแรงงานที่ต้องใช้ในกระบวนการประกอบ 2 รวมถึงปริมาณแรงงานล่วงเวลา แสดงในข้อจำกัด (10)–(11) ดังนี้

$$LB2^t = LB2^{t-1} + LW2^t - LD2^t ; \forall t \in PP \qquad (10)$$

และ

$$OT2^t = (AS2)(FG^t) - LB2^t ; \forall t \in PP \qquad (11)$$

ข้อจำกัด (10) แสดงปริมาณแรงงานจริงที่ทางโรงงานมีอยู่ในกระบวนการประกอบ 2 เมื่อหักด้วยปริมาณแรงงานที่หายไปในแต่ละช่วงเวลา ส่วนข้อจำกัด (11) เป็นระบุปริมาณแรงงานล่วงเวลาที่โรงงานจะต้องจ้างเพิ่มเติม เนื่องจากปริมาณแรงงานที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการผลิตเพื่อให้สามารถประกอบชิ้นส่วนได้ทันตามเวลาที่กำหนด

หลังจากที่คนงานประกอบชิ้นส่วนเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยเสร็จแล้ว เครื่องจักรกลจะถูกส่งเข้าไปเก็บที่คลังสินค้าเพื่อรอส่งให้กับลูกค้าต่อไป

$$In3^t = In3^{t-1} + FG^t - FG1^t ; \forall t \in PP \qquad (12)$$

ข้อจำกัด (12) เป็นการจัดสมดุล สำหรับเครื่องจักรกลการเกษตรที่เข้ามาและออกจากคลังสินค้า เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา

สุดท้ายผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัด (13) เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าว่าทางโรงงานจะส่งเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยได้ครบและตรงตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$FG1^t \geq (RoT)Dem^p ; \forall t \in PP, \forall p \in CP, t = p \qquad (13)$$

ข้อจำกัด (13) กำหนดมาเพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบชิ้นส่วนทั้งหมดที่ใช้ในการประกอบเป็นไถจานแบบสามผาลได้ในแต่ละช่วงเวลาจะต้องถูกต้องตามแผนการประกอบของทางโรงงาน

$$OR_i^t, X_i^t \geq 0 \text{ and integer}; \forall i, j \qquad (14)$$

$$Y_j^t, Y1_j^t, FG^t, FG1^t \geq 0 \text{ and integer}; \forall j, t \qquad (15)$$

$$In1^t, In2^t, In3^t \geq 0, \forall t \qquad (16)$$

$$LB1^t, LB2^t, OT1^t, OT2^t \geq 0, \forall t \qquad (17)$$

4.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตั้งสมการเป้าหมายสำหรับให้โรงงานสามารถวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ การวางแผนการผลิตและประกอบเครื่องจักรกลการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถส่งสินค้าได้อย่างถูกต้องและตรงตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้สูงขึ้น โดยสมการเป้ามาย คือ ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด (Minimize Total Cost) ตั้งแต่การวางแผนการสั่งซื้อชิ้นส่วน การวางแผนการประกอบ รวมถึงปริมาณแรงงานที่โรงงานต้องจ้างในการผลิต ซึ่งจะต้องไม่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า ต้นทุนการดำเนินการที่พิจารณาประกอบด้วย

$$z = C^{lab} + C^{inv} + C^{ord}$$

ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor cost, C^{lab})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่โรงงานต้องใช้แรงงานในการประกอบชิ้นส่วนเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อ

การผลิตอ้อย ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนค่าแรงงานปกติ และต้นทุนค่าแรงงานล่วงเวลา ดังนี้

$$C^{lab} = \sum_{t\in PP} COL(LB1^t + LB2^t) + \sum_{t\in PP} COT(OT1^t + OT2^t)$$

ในเทอมแรกเป็นต้นทุนค่าแรงงานปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบ 1 และกระบวนการประกอบ 2 ส่วนในเทอมที่สองเป็นต้นทุนค่าแรงงานล่วงเวลาที่โรงงานต้องจ้างเพิ่ม เนื่องจากแรงงานปกติไม่เพียงพอในการผลิต

ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง (Inventory Cost, C^{inv})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่โรงงานมีชิ้นส่วนคงค้างอยู่ในคลังสินค้า และในกระบวนการประกอบต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{inv} = \sum_{i\in PartI}\sum_{t\in PP} COPI_i In1^t + \sum_{t\in PP} COPII(In2^t + In3^t)$$

ในเทอมแรกเป็นต้นทุนค่าชิ้นส่วนต่างๆ ที่คงค้างอยู่ในคลังสินค้า เมื่อโรงงานสั่งชิ้นส่วนเข้ามาแล้วยังไม่ได้ใช้งาน ชิ้นส่วนเหล่านั้นจะถูกเก็บไว้ในคลังสินค้าเพื่อใช้ในการผลิตครั้งต่อไป ส่วนในเทอมที่สองเป็นต้นทุนค่าชิ้นส่วนที่คงค้างอยู่ในกระบวนการประกอบ 1 และกระบวนการประกอบ 2 ตามลำดับ

ต้นทุนค่าสั่งซื้อชิ้นส่วน (Ordering Cost, C^{ord})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นทันทีเมื่อโรงงานสั่งซื้อชิ้นส่วนเพื่อใช้ในการผลิตและประกอบเป็นเครื่องจักรกลการเกษตร โดยที่ต้นทุนการสั่งซื้อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีต้นทุนแตกต่างกันไป ดังนี้

$$C^{ord} = \sum_{i\in PartI}\sum_{t\in PP} COR_i OR_i^t$$

ดังนั้นสมการเป้าหมายในงานวิจัยนี้คือ ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Min & \sum_{t\in PP} COL(LB1^t + LB2^t) + \sum_{t\in PP} COT(OT1^t + OT2^t) \\ & + \sum_{i\in PartI}\sum_{t\in PP} COPI_i In1^t + \sum_{t\in PP} COPII(In2^t + In3^t) \\ & + \sum_{i\in PartI}\sum_{t\in PP} COR_i OR_i^t \end{aligned} \quad (18)$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้ ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์พีซีสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core^{tm} i5 3.30 GHz

2) หน่วยความจำหลัก (RAM) 4.00 GB

3) ความจุฮาร์ดดิส (Hard Disk) 195 GB

4) ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 7

5) โปรแกรมหรือซอฟแวร์ที่ใช้ในการหาค่าผลลัพธ์ของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรม CPLEX 8.0 [9] และเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [10]

ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจริงจากโรงงานผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรไถจานแบบสามผาลสำหรับการปลูกอ้อยในจังหวัดนครปฐมเป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 มีค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) จากการคำนวณของโปรแกรมอยู่ที่ 0.05% แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ดีที่สุดสูงมาก และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดจากการใช้แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นกับต้นทุนการดำเนินงานก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลของผู้วิจัยนั้นมีต้นทุนการดำเนินการรวมอยู่ที่ 20,010 บาท/เครื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจากผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 2,950 บาท/เครื่อง หรือคิดเป็น 14.81%

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การคำนวณ

ผลลัพธ์การคำนวณ	
1) ต้นทุนการดำเนินงานรวม	17,060 บาท/เครื่อง
ต้นทุนค่าแรงงาน	14,354 บาท/เครื่อง
ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง	1,436 บาท/เครื่อง
ต้นทุนค่าสั่งซื้อชิ้นส่วน	1,270 บาท/เครื่อง
2) จำนวนตัวแปรทั้งหมด	5,686
2.1) ตัวแปรตัดสินใจ (Binary Variables)	0
2.2) ตัวแปรจำนวนเต็ม (Integer Variables)	5,446
2.3) ตัวแปรอื่นๆ (Linear Variables)	240
3) จำนวนข้อจำกัด (Constraints)	5,824
4) เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	124.41 วินาที
5) ค่าความเผื่อ (Gap Tolerance)	0.05%

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะแสดงถึงตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณของแบบจำลอง เมื่อมีผู้สั่งซื้อไถจานแบบสามผาล 1 เครื่อง ($Dem^t = 1$) โดยที่ลูกค้าสั่งซื้อไถจานแบบสามผาลในช่วงเวลาสัปดาห์ที่ $p = 1$ ผลลัพธ์การคำนวณเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปร OR_i^t และ $In1^t$

สัปดาห์	ตัวแปร						
t	OR_1^t	OR_2^t	OR_3^t	...	OR_{16}^t	OR_{17}^t	$In1^t$
1	2	2	2	...	1	1	0

จากตารางที่ 2 เมื่อมีคำสั่งซื้อไถจานแบบผาลจำนวน 1 เครื่อง แบบจำลองจะคำนวณปริมาณการสั่งซื้อชิ้นส่วนและจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการผลิตและประกอบในช่วงเวลาที่ $t = 1$ จากตัวอย่างไถจานแบบสามผาล 1 เครื่อง ประกอบด้วยชิ้นส่วน 17 หมายเลข รวม 60 ชิ้นส่วน ($i = 1, \ldots, 17$) โดยแบบจำลองจะคำนวณชิ้นส่วนที่ต้องใช้ทั้งหมดจากจำนวนไถจานที่ลูกค้าสั่งซื้อ ($Dem^t = 1$) จากอัตราส่วนการใช้แต่ละชิ้นส่วน i ในการประกอบ (QA_i) แสดงในข้อจำกัด (1)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปร X_i^t และ Y_j^t

สัปดาห์	ตัวแปร					
t	X_1^t	X_2^t	X_3^t	Y_1^t	Y_2^t	Y_3^t
1	6	3	2	6	3	2

จากตารางที่ 3 เป็นกระบวนการประกอบ 1 ซึ่งจะมีการประกอบเป็นชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ชุดขาไถหน้า (Y_1^t) ชุดขาไถหลัง (Y_2^t) และชุดหางคัดเพลาคัดท้าย (Y_3^t) โดยในการประกอบชุดขาไถหน้า 1 ชุด จะต้องประกอบจากชิ้นส่วน 3 ชิ้น ($i = 1, \ldots, 3$) แต่ไถจานแบบสามผาล 1 เครื่อง ต้องใช้ชุดขาไถหน้า 2 ชุด ดังนั้น ในการประกอบเป็นชุดขาไถหน้าจึงประกอบด้วยชิ้นส่วน 6 ชิ้น ($Y_1^t = 6$) ส่วนชุดขาไถหลังและชุดหางคัดเพลาคัดท้ายประกอบด้วยชิ้นส่วน 3 ชิ้น ($Y_2^t = 3$) และ 2 ชิ้น ($Y_3^t = 2$) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปร YI_j^t และ X_i^t

สัปดาห์	ตัวแปร						
t	YI_1^t	YI_2^t	YI_3^t	X_9^t	X_{10}^t	...	X_{17}^t
1	6	3	2	12	7	...	1

จากตารางที่ 4 เป็นกระบวนการประกอบ 2 ซึ่งประกอบด้วยชุดขาไถหน้า 2 ชุด ($Y_1^t = 6$) ชุดขาไถหลัง 1 ชุด ($Y_2^t = 3$) ชุดหางคัดเพลงคัดท้าย 1 ชุด ($Y_3^t = 2$) และชิ้นส่วนอื่นอีก 49 ชิ้นส่วน ($i = 9, \ldots, 17$) รวมชิ้นส่วนทั้งหมด 60 ชิ้น ($FG^t = 60$) เพื่อประกอบเป็นไถจานแบบสามผาล 1 เครื่อง

ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปร FG^t และ $FG1^t$

สัปดาห์	ตัวแปร	
t	FG^t	$FG1^t$
1	60	60

จากตารางที่ 5 เป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบทั้งหมดต้องครบตามจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องใช้จากตัวอย่างลูกค้าสั่งซื้อไถจานจำนวน 1 เครื่อง แบบจำลอง

จะคำนวณชิ้นส่วนที่ต้องใช้ทั้งหมดจากอัตราส่วนของชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการประกอบ (*RoT*) เช่น ลูกค้าสั่งซื้อไถจาน 1 เครื่อง แบบจำลองจะคำนวณการใช้ชิ้นส่วนได้เท่ากับ 60 ชิ้นส่วน ($FG1^t = 60$) เพื่อตรวจสอบกับชิ้นส่วนที่ทางโรงงานประกอบเสร็จ ($FG^t = 60$) ต้องเท่ากันก่อนส่งให้กับลูกค้า ดังแสดงในข้อจำกัด (13)

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึง การวิเคราะห์ความไวของสัมประสิทธิ์สมการเป้าหมาย (Coefficients in the Objective Function) เพื่อใช้ในการทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงต้นทุน (Costs) ต่างๆ ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นหลังจากได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแล้ว

การทดสอบความไวสัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมายของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้อ้างอิงการทดสอบที่กล่าวไว้ในการวิจัยของ Bligen and Ozkarahan [11] เป็นแนวทางในการทดสอบความไว ซึ่งจากแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา จะพบว่ามีต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไถจานแบบสามผาลของโรงงานกรณีศึกษามีอยู่ 3 ประเภท ประกอบด้วย ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้แรงงาน (Labor Cost) ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง (Inventory Cost) และต้นทุนในการสั่งซื้อชิ้นส่วน (Ordering Cost) โดยต้นทุนแต่ละประเภทจะถูกเพิ่มขึ้นครั้งละ 10% จนถึง 50% เพื่อทดสอบความไวของต้นทุนทีละประเภท เพื่อดูผลกระทบของต้นทุนรวมทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงของต้นทุนรวมแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของต้นทุน

เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนแรงงาน
	ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลง (%)
10	9.95
20	19.91
30	29.86
40	39.81
50	49.76

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของต้นทุน (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง
	ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลง (%)
10	0.01
20	0.03
30	0.05
40	0.07
50	0.09
เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนค่าสั่งซื้อชิ้นส่วน
	ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลง (%)
10	0.02
20	0.08
30	0.13
40	0.17
50	0.19

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าต้นทุนรวมต่ำสุดของต้นทุนค่าแรงงานที่โรงงานต้องใช้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่มากกว่าต้นทุนอื่นๆ เมื่อต้นทุนค่าแรงงานถูกเพิ่มขึ้นถึง 30% มีผลทำให้ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลงไปถึง 29.86% ซึ่งในขณะที่ต้นทุนค่าสั่งซื้อชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงเพียง 0.13% เท่านั้น สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานมีผลกระทบต่อความไวในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์สูงกว่าต้นทุนอื่นๆ เนื่องจากในการผลิตและประกอบไถจานแบบสามผาล ต้องใช้แรงงานในการผลิตและประกอบทุกขั้นตอน ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงต้นทุนค่าแรงงานเพียงเล็กน้อย มีผลทำให้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าต้นทุนอื่นๆ ต้นทุนค่าแรงงานจึงเป็นส่วนประกอบของต้นทุนที่สำคัญในโครงสร้างแบบจำลองการวางแผนการผลิตนี้ ดังนั้นการวางแผนการจ้างแรงงานที่เหมาะสมและถูกต้องจะสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้เป็นอย่างมาก

6. สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นครอบคลุมการวางแผนการผลิตและประกอบ ตั้งแต่การสั่งซื้อชิ้นส่วน จนถึงการประกอบชิ้นส่วนเป็นไถจานแบบสามผาลส่งให้กับลูกค้าเพื่อให้ทางโรงงานสามารถวางแผนการจัดการการผลิตที่เข้ามาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นต้นแบบให้กับเครื่องจักรกลการเกษตรอื่นๆ นำไปปรับใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์มาจากข้อมูลจริงจากโรงงานผลิตและประกอบไถจานแบบสามผาล โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตและประกอบเพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งสมการเป้าหมายของแบบจำลองคือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CPLEX 8.0 แสดงให้เห็นต้นทุนการดำเนินการรวมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 17,060 บาท/เครื่อง หรือสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมจากเดิมได้ถึง 14.81% โดยแบบจำลองสามารถทดสอบและประเมินผลได้อย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแบบจำลองนี้สามารถเป็นเครื่องมือ และต้นแบบที่สำคัญที่ช่วยให้ทางโรงงานผลิตและประกอบเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อย โดยเฉพาะไถจานแบบสามผาลสามารถวางแผนการผลิต รวมถึงการวางแผนปริมาณแรงงานที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลการเกษตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาต่อ คือ ขยายการวางแผนการการผลิตและประกอบให้ครอบคลุมเครื่องจักรกลการเกษตรอื่นๆ ที่มีการผลิตและประกอบใกล้เคียงกับไถแบบสามผาล ยกตัวอย่างเช่น ไถจานแบบเจ็ดผาล เป็นต้น เพื่อให้ทางโรงงานสามารถใช้ประโยชน์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

7. กิตติกรรมประกาศ

จากวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Kullapapruk and S. Kanchana, *Quantitative Analysis of Sugarcane Industry*. Khon Kaen: Khon Kaen University, 2006.

[2] H. Stadtler and C. Kilger, Supply Chain Management and Advanced planning: *Concepts, Models, Software and Case studies*, 4th ed. Germany: Springer, 2008.

[3] A. Bellabdaoui and J. Teghem, "A mixed-integer linear programming model for continuous casting planning," *International Journal of Production Economics*, vol. 104, pp. 260–270, 2006.

[4] L. Tang, P.B. Luh, J. Liu, and L. Fang, "Steel-marking process scheduling using lagrangian relaxation," *International Journal of Production Research*, vol. 40, pp. 55–70, 2002.

[5] V. Gordon, J.M. Proth, and C.B. Chu, "A survey of the state of the art of common due date assignment and scheduling research," *European Journal of Operations Research*, vol. 139, no. 1, pp. 1–25, 2002.

[6] K. Chen and P. Ji, "A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS)," *European Journal of Operations Research*, vol. 181, no. 1 , pp. 515–522, 2007.

[7] R. Oastor, J. Altimiras, and M. Mateo, "Planning production using mathematical programming: The case of woodturning company," *Computers and*

Operations Research, vol. 36, pp. 2173–2178, 2009.

[8] J. Kallrath, "Mixed integer optimization in the chemical process industry," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 78, no. 6, pp. 809–822, 2000.

[9] CPLEX Optimizer: IBM [Online]. Available: http://www.ilog.com

[10] R. Fourer, D.M. Gay, and B.W. Kernighan, *AMPL A Modeling Language for Mathematical Programming*, 2nd ed. United States: Thomson Learning, 2003.

[11] B. Bilgen and I. Ozkarahan, "A mixed-integer linear programming model for bulk grain blending and shipping," *International Journal of Production Economics*, vol. 107, no. 2 , pp. 555–571, 2007.