

การวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบและจัดสรรทรัพยากรในอุตสาหกรรมแปรรูปขิง โดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

Purchasing and Resource Allocation Planning in Pickled Ginger Industry Using Mixed-Integer Linear Programming

เอกชัย แผ่นทอง¹ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์^{2*}
Aekachai Pantong¹ and Apichai Ritvirool^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการจัดซื้อและการแปรรูปขิงสดให้เป็นขิงดองในอุตสาหกรรมแปรรูปขิงโดยทำการศึกษาปัญหาของโรงงานแห่งหนึ่งพบว่า ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดขึ้นจากการจัดซื้อขิงอ่อนสด และจัดสรรบ่อดองที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันมากเกินไปเนื่องจากขาดเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการดำเนินงานดังกล่าว ขิงอ่อนสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีช่วงเวลาการปลูกเพียง 2 เดือนใน 1 ปี คือเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม อีกทั้งยังมีโรงงานแปรรูปขิงหลายแห่งที่มีความต้องการขิงสดเช่นเดียวกัน จึงทำให้เกิดปัญหาในการจัดหาขิงสด นอกจากนี้หลังจากรับซื้อขิงสดแล้ว ต้องทำการดองให้เสร็จสิ้นภายใน 1 วัน เพื่อให้ได้ขิงดองที่มีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อจำนวนบ่อดองที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ผู้จัดการฝ่ายผลิตประสบปัญหาการวางแผนจัดสรรบ่อที่ใช้ในการดองขิงเพื่อให้สอดคล้องกับการจัดซื้อขิงสด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น

จำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการจัดซื้อขิงสดและจัดสรรบ่อดองภาษาAMPL ถูกนำมาใช้ในการเขียนแบบจำลอง MILP และทำการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ CPLEX 11.1.0 ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่า ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดจากการดำเนินการตามแผนการจัดซื้อขิงสดและแผนการจัดสรรบ่อดองที่ได้จากแบบจำลอง MILP ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงร้อยละ 15.09 เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการในปัจจุบันของโรงงาน

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ขิงสด การจัดสรรทรัพยากร

Abstract

This research studies the problems of purchasing and processing fresh ginger of a pickled-ginger case study plant. The total cost of purchasing and brine tank allocating is ineffective due to the lack of a decision support tool for purchasing and tank allocating plans.

¹ นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

* Corresponding Author, Tel. 08-1533-6420, 0-5596-4219, E-mail: apichairit@yahoo.com

A fresh quality ginger could be planted only 2 months a year, between April and May. Moreover, the fresh ginger demand of pickled ginger plants is very high at same time for each year. This causes the purchasing problem. To make a good quality pickled ginger conforming to the customer specifications, a fresh ginger is immediately pickled in a brine tank within one day after receiving and cleaning. This affects a limited number of brine tanks. The tank allocation associated with purchasing plan is a complicated problem for a production manager to deal with. A Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model is developed to solve these problems and used as a decision support tool for purchasing and tank allocating plans. The MILP model is written in AMPL language and solved with CPLEX 11.1.0 solver to determine the optimal solution. The results show that the total cost of operating under purchasing and tank allocating plans from MILP model is reduced by 15.09% compared with current operations.

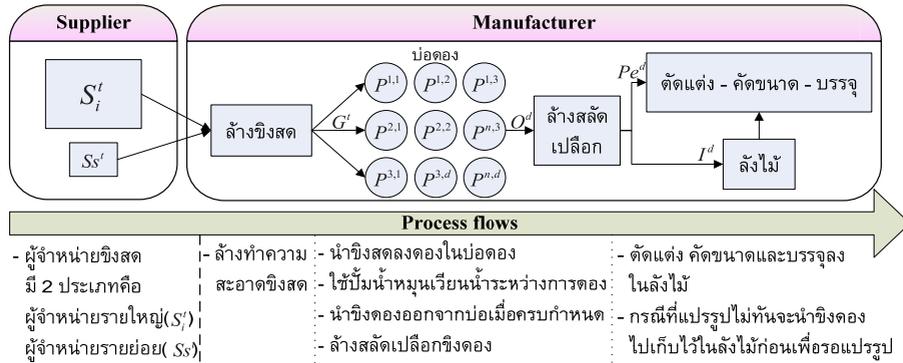
Keywords: Mixed-Integer Linear Programming (MILP), Fresh Ginger Rhizomes, Resource Allocation

1. บทนำ

ขิงต้องเป็นอาหารที่อยู่คู่กับวัฒนธรรมการกินของชาวญี่ปุ่นมาอย่างช้านาน โดยชาวญี่ปุ่นส่วนมากนิยมรับประทานขิงดอง แต่เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นมีพื้นที่ทำการเกษตรจำกัด ทำให้ปริมาณขิงสดที่ปลูกได้ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด โรงงานแปรรูปขิงในญี่ปุ่นจึงต้องนำเข้าขิงดองสำเร็จรูปจากต่างประเทศ โรงงานกรณีศึกษาทำการส่งขิงดองไปขายยังประเทศญี่ปุ่นเป็นตลาดหลักส่วนตลาดรองคือประเทศสหรัฐอเมริกา ขิงดองจากประเทศไทยส่วนมากเป็นขิงดองสำเร็จรูป คือขิงดองที่นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

ขิงที่ใช้ในการแปรรูปคือ ขิงอ่อนสดที่มีอายุระหว่าง 4 ถึง 6 เดือน [1] พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกขิงส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีลักษณะภูมิอากาศที่เหมาะสมกับการปลูกขิงมากที่สุด ช่วงเวลาการเพาะปลูกขิงเพื่อใช้ในการผลิตขิงดอง มีเพียงประมาณสองเดือนในหนึ่งปี คือในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม ทำให้ช่วงเวลาในการจัดซื้อขิงสดเพื่อแปรรูปสำหรับตอบสนองความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปีนั้น มีช่วงเวลาสองเดือน คือระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ดังนั้นขิงสดจึงเข้าสู่โรงงานภายในช่วงระยะเวลาที่จำกัด ทำให้ขิงสดที่รับซื้อมามีปริมาณมากเกินความสามารถในการดองขิงของโรงงาน และเมื่อรับซื้อขิงสดแล้วจะต้องนำขิงสดลงบ่อดองให้เสร็จภายใน 1 วัน จึงทำให้เกิดปัญหาในการจัดสรรบ่อดองที่มีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังมีโรงงานแปรรูปขิงตั้งอยู่เป็นจำนวนมากบริเวณทางภาคเหนือซึ่งต้องการขิงอ่อนสดเป็นจำนวนมากในช่วงเวลาเดียวกัน จึงทำให้เกิดปัญหาในการจัดซื้อวัตถุดิบเข้าสู่โรงงาน

กระบวนการจัดหาขิงอ่อนสดเริ่มจากการจัดซื้อขิงอ่อนสด (รูปที่ 1) ผู้จำหน่ายขิงสดแบ่งเป็น 2 ประเภทตามปริมาณขิงสดที่ตกลงซื้อขาย คือ ผู้จำหน่ายขิงสดรายใหญ่ (S_j) และผู้จำหน่ายขิงสดรายย่อย (S_s) ผู้จำหน่ายขิงสดรายใหญ่แต่ละรายจะได้รับการจัดสรรปริมาณขิงที่รับซื้อแตกต่างกัน โดยราคารับซื้อขิงสดจากผู้จำหน่ายขิงสดขึ้นอยู่กับคุณภาพของขิงสด ทางโรงงานจะต้องตัดสินใจเลือกผู้จำหน่ายขิงสดและปริมาณที่ต้องสั่งซื้อ เมื่อได้รับขิงสดแล้วนำไปล้างทำความสะอาด จากนั้นนำลงดองในบ่อ (G^d) โดยใช้เวลาในการดองอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ผู้จัดการฝ่ายผลิตต้องการทราบจำนวนบ่อในการดองขิงสด ($P^{n,d}$) และจำนวนขิงดองที่ต้องนำไปแปรรูปในแต่ละสัปดาห์ (O^d) ก่อนทำการแปรรูปต้องทำความสะอาดและนำไปเลือกขิงดองออกด้วยเครื่องล้างสลัดเปลือก จากนั้นนำขิงดองเข้าสู่กระบวนการตัดแต่ง คัดขนาด และบรรจุลงในลังไม้ (Pe^d) แต่เนื่องจากบางสัปดาห์มีขิงที่ผ่านการดองเสร็จแล้วเป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถแปรรูปได้ทัน จึงต้องนำขิงดองบรรจุลงในลังไม้ (I^d) เพื่อรอการแปรรูป



รูปที่ 1 กระบวนการจัดซื้อ และแปรรูปซิงสดให้เป็นซิงดอง

ซึ่งถือว่าเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการแปรรูปซิงเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันมีการนำกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาอุตสาหกรรมทางการเกษตร โดยงานวิจัยของ Ahumada และ Villalobos [2] ได้แบ่งลักษณะงานวิจัยด้านอุตสาหกรรมทางการเกษตรเป็น 3 ส่วน คือ

1. ขอบเขตการตัดสินใจในโซ่อุปทาน

การวางแผนในโซ่อุปทานการเกษตรเพื่อการบริโภคจะแบ่งระดับการตัดสินใจออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับกลยุทธ์ (Strategic) ระดับยุทธวิธี (Tactical) และระดับดำเนินการ (Operations)

2. ผลกระทบทางการเกษตร

ผลกระทบทางการเกษตรแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) โซ่อุปทานผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เน่าเสียเร็ว (Perishable) เช่น ผักสด ผลไม้สด เป็นต้น และ 2) โซ่อุปทานผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เน่าเสียช้า (Non-Perishable) เช่น ข้าว ถั่ว มันสำปะหลัง เป็นต้น

3. ลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลักษณะของแบบจำลองจำแนกตามวิธีการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ภาคดีเทอร์มินิสติก คือกำหนดการเชิงเส้น และกำหนดการไดนามิกส์ (Dynamics Programming, DP) และ 2) ภาคสโตคาสติก คือ กำหนดการสโตคาสติก (Stochastic

Programming, SP) และกำหนดการไดนามิกส์สโตคาสติก (Dynamics Stochastic Programming, SDP)

ตัวอย่างการนำกำหนดการเชิงเส้นไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในอุตสาหกรรมทางการเกษตร อาทิ งานวิจัยของ Grunow et al. [3] ได้นำกำหนดการเชิงเส้นไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมน้ำตาลที่โรงงานแห่งหนึ่งในประเทศเวเนซุเอลา โดยสร้างกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Linear Programming, MILP) เพื่อช่วยวางแผนการจัดซื้อวัตถุดิบอ้อยสดเข้าสู่โรงงาน ขอบเขตการตัดสินใจของแบบจำลองอยู่ในระดับดำเนินการ งานวิจัยของ Schuster และ Allen [4] ได้นำ LP ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดหาอุน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมผลิตไวน์ โรงงานมีปัญหาในการจัดหาวัตถุดิบป้อนเข้าสู่โรงงานผลิต โดยสร้าง LP ซึ่งขอบเขตการตัดสินใจของแบบจำลองน้อยอยู่ในระดับยุทธวิธี และระดับการดำเนินการ โดยพิจารณาช่วงของการผลิตเป็นรายเดือน และหาค่าใช้จ่ายการผลิตรวมที่ต่ำที่สุดในรอบการผลิต 1 ปี งานวิจัยของ Blanco et al. [5] ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ LP ในการแก้ปัญหาของโรงงานบรรจุผลไม้ในประเทศอาร์เจนตินา ปัญหาคือ โรงงานต้องจัดหาผลไม้สดเพื่อนำมาบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งผลไม้ที่จำหน่ายนั้นมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลายขนาดทำให้เกิดปัญหาในการจัดหาวัตถุดิบ แบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นแบบจำลอง

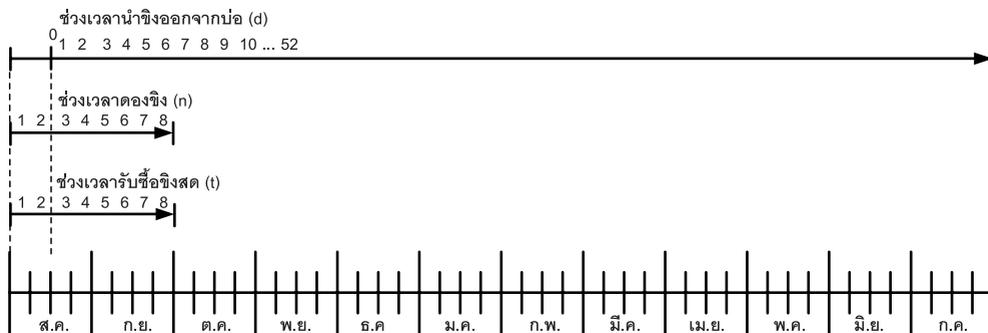
MILP ที่มีขอบเขตการตัดสินใจอยู่ในระดับกลยุทธ์ งานวิจัยของ Apaiyah และ Hendrix [6] ได้ประยุกต์ใช้ LP ในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานสำหรับอาหารที่ผลิตมาจากถั่วลิสงในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยการสร้าง LP เพื่อหาปริมาณการขนส่งวัตถุดิบไปยังส่วนต่างๆ ในโซ่อุปทาน ให้เพียงพอต่อการผลิตและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งขอบเขตการตัดสินใจของแบบจำลองนี้อยู่ในระดับกลยุทธ์และระดับยุทธวิธี งานวิจัยของ Bligen และ Ozkarahan [7] ได้ใช้แบบจำลอง MILP ในการแก้ปัญหาการผสมข้าวสาลีของโรงงานแห่งหนึ่ง โดยขอบเขตตัดสินใจของแบบจำลองอยู่ในระดับกลยุทธ์ ปัญหาคือ การจัดสรรข้าวสาลีให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าที่มีความหลากหลาย รวมทั้งการวางแผนการขนส่งทางเรือ ซึ่งโรงงานมีเรืออยู่หลายขนาด ดังนั้นต้องตัดสินใจเลือกขนาดเรือให้เหมาะสมและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด จะเห็นได้ว่า LP ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการเกษตรต่างๆ อย่างกว้างขวาง โดยสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนสำหรับส่วนต่างๆ ของโซ่อุปทานได้

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนต่างๆ ภายในโซ่อุปทาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบและการจัดสรรบ่อตองชิง

ในอุตสาหกรรมแปรรูปชิงซึ่งมีความยุ่งยากและซับซ้อน โดยการสร้างแบบจำลอง MILP ซึ่งขอบเขตการตัดสินใจอยู่ในระดับยุทธวิธี โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายการจัดซื้อวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายการตองชิง และค่าใช้จ่ายของคงคลัง โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ ขอบเขตของงานวิจัยคือ ตั้งแต่การสั่งซื้อชิงสด การจัดสรรบ่อตองชิงในตองชิงตองเพื่อรอการตัดแต่ง คัดขนาด และบรรจุลงในลังไม้สำหรับส่งมอบให้ลูกค้า

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การสร้างแบบจำลอง MILP ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลของโรงงานแปรรูปชิง ผลิตภัณฑ์ซึ่งดองกิ่งสำเร็จรูปของโรงงาน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ชิงดองเค็มและชิงดองจืด โดยชิงดองแต่ละประเภทแบ่งเป็นผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ ตามขนาดและความอ่อนแก่ของชิงดอง ลักษณะความอ่อนแก่ของชิงดองพิจารณาจากปริมาณของเส้นใยชิง โดยแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ ชิงเส้นใยน้อย ชิงเส้นใยปานกลาง และชิงเส้นใยมาก รอบอุปสงค์ของลูกค้าพิจารณาในช่วง 1 ปี โดยช่วงของการรับซื้อชิงสดคือ เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงสิ้นเดือนกันยายน และช่วงเวลากการตองชิงก็เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการตองชิงตองในบ่อตองอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ดังนั้นช่วงเวลาของการนำชิงดองออกจากบ่อคือ เริ่มตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของเดือนสิงหาคม ไปจนครบรอบหนึ่งปี



รูปที่ 2 ช่วงเวลาของการรับซื้อชิงสด ตองชิง และนำชิงดองออกจากบ่อตอง

ข้อสมมติในการสร้างแบบจำลอง MILP มีดังนี้

1. อุปสงค์ของลูกค้าจะไม่มีเปลี่ยนแปลง หลังจากโรงงานสอบถามความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งปี เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

2. นำหนักของขิงตองหลังจากที่ทำการดองครบกำหนดแล้วจะไม่เปลี่ยนแปลง

ต่อไปจะกล่าวถึงแบบจำลอง MILP เพื่อวางแผนการจัดซื้อและจัดสรรบ่อดองขิง ซึ่งประกอบด้วย เซต (Sets) พารามิเตอร์ (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints)

แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

เซต (Sets)

- D กลุ่มเวลาของการนำขิงตองออกจากบ่อดอง
- I กลุ่มของผู้จำหน่ายขิงสด
- N กลุ่มเวลาของการดองขิง
- T กลุ่มเวลาของการรับซื้อขิงสด

พารามิเตอร์ (Parameters)

- A_i^t สัดส่วนขิงสดหลังจากทำความสะอาดพร้อมดองของผู้จำหน่าย i ในสัปดาห์ที่ t (%)
- B^t สัดส่วนขิงสดหลังจากทำความสะอาดพร้อมดองของผู้จำหน่ายรายย่อย ในสัปดาห์ t (%)
- C_i^t ราคาซื้อขิงสดจากผู้จำหน่ายรายที่ i (บาท/กิโลกรัม)
- C^2 ราคาสั่งซื้อขิงสดจากผู้จำหน่ายรายย่อย (บาท/กิโลกรัม)
- C_d^3 ค่าใช้จ่ายปั้มน้ำหมุนเวียนบ่อดองในสัปดาห์ที่ d (บาท)
- C^4 ค่าใช้จ่ายในการล้างขิงสดและดองขิง (บาท/บ่อ)
- C^5 ค่าใช้จ่ายในการล้างขิงตอง (ล้างสลัดเปลือก) (บาท/กิโลกรัม)
- C^6 ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาขิงตองไว้ในลังไม้ (บาท/ลัง/สัปดาห์)
- De^d ความต้องการขิงตองในการแปรรูปสัปดาห์ที่ d (ลัง)
- E^1 ความจุของบ่อดอง (กิโลกรัม)

E^2 ความจุของลังไม้ (กิโลกรัม)

E^3 สัดส่วนขิงตองหลังจากล้างสลัดเปลือก (%)

$PeCap$ ความสามารถในการแปรรูปขิงต่อสัปดาห์ (ลัง)

$SCap_i$ ปริมาณการจัดสรรขิงสดที่จะรับซื้อจากผู้จำหน่ายรายที่ i (กิโลกรัม)

$SsCap^t$ จำนวนขิงสดที่รับซื้อได้จากผู้จำหน่ายรายย่อยในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)

$StCap^t$ จำนวนขิงสดที่รับซื้อได้จากผู้จำหน่ายรายที่ i ในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- G^t จำนวนขิงสดที่สั่งซื้อรวม ในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
- O^d จำนวนขิงตองทั้งหมดที่ออกจากบ่อ ในสัปดาห์ที่ d (กิโลกรัม)
- S_i^t จำนวนขิงสดที่สั่งซื้อจากผู้จำหน่ายรายที่ i ในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
- Ss^t จำนวนขิงสดที่สั่งซื้อจากผู้จำหน่ายรายย่อยรวมในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)
- I^d จำนวนขิงตองที่เก็บรักษาไว้ในลังไม้เพื่อรอการแปรรูป (การตัดแต่ง และคัดขนาด) ในสัปดาห์ที่ d (ลัง)
- Pn^d จำนวนบ่อที่ใช้ดองขิงสด ในสัปดาห์ที่ n และสัปดาห์ที่ d ที่ขิงตองออกจากบ่อ (บ่อ)
- Pe^d จำนวนขิงตองที่นำไปใช้ในการแปรรูป (การตัดแต่ง และคัดขนาด) ในสัปดาห์ที่ d (ลัง)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function)

เป้าหมายสำหรับการวางแผนจัดซื้อและการจัดสรรการดองขิง คือ เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุดและสามารถตอบสนองความต้องการขิงตองของลูกค้า ซึ่งค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. ค่าใช้จ่ายการซื้อขิงสด (Purchasing Cost)

ค่าใช้จ่ายในการซื้อวัตถุดิบประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการซื้อจากผู้จำหน่ายรายใหญ่ และรายย่อยรวมกัน ซึ่งราคาซื้อขิงจะแตกต่างกันไปตามผู้จำหน่ายแต่ละราย

$$C^{Purchase} = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} C_i^1 S_i^t + C^2 \sum_{t \in T} Ss^t$$

2. ค่าใช้จ่ายการดองซิง (Pickled Cost)

ค่าใช้จ่ายการดองซิงประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการล้างซิงและดองซิง รวมกับค่าใช้จ่ายสำหรับบิ๊มน้ำหมุนเวียนบ่อดองในแต่ละสัปดาห์ และค่าใช้จ่ายในการล้างสลัดเปลือกซิงดองที่ออกจากบ่อดอง

$$C^{Pickled} = C^4 \sum_{n \in N} \sum_{d \in D} P^{n,d} + \sum_{d \in D} C_d^3 \sum_{n \in N}^{d+n-1 \leq D} P^{n,d+n-1} + C^5 \sum_{d \in D} O^d$$

3. ค่าใช้จ่ายของคงคลัง (Inventory Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการนำซิงดองไปเก็บไว้ในลังไม้เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการตัดแต่ง คัดขนาด และบรรจุลงในลังไม้

$$C^{Inventory} = C^6 \sum_{d \in D} I^d$$

ฟังก์ชันจุดประสงค์ มีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ดังแสดงในฟังก์ชันที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} C_i^1 S_i^t + C^2 \sum_{t \in T} Ss^t \\ + \sum_{d \in D} C_d^3 \sum_{n \in N}^{d+n-1 \leq D} P^{n,d+n-1} + C^5 \sum_{d \in D} O^d \\ + C^4 \sum_{n \in N} \sum_{d \in D} P^{n,d} + C^6 \sum_{d \in D} I^d \end{aligned} \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

1. จำนวนซิงสดที่ซื้อรวมในสัปดาห์ที่ t เท่ากับจำนวนซิงสดที่ซื้อจากผู้จำหน่ายรายที่ i ในสัปดาห์ที่ t รวมกันจำนวนซิงสดที่ซื้อจากผู้จำหน่ายรายย่อยรวมในสัปดาห์ที่ t

$$G^t = A_i^t S_i^t + B^t Ss^t, \quad \forall_{t \in T, i \in I} \quad (2)$$

2. จำนวนซิงสดที่ซื้อจากผู้จำหน่ายรายที่ i รวม ต้องไม่เกินปริมาณการจัดสรรซิงสดที่จะรับซื้อของผู้จำหน่ายรายที่ i ในรอบปี

$$\sum_{t \in T} S_i^t \leq SCap_i, \quad \forall_{i \in I} \quad (3)$$

3. จำนวนซิงสดที่ซื้อจากผู้จำหน่ายรายที่ i รวมกันในแต่ละสัปดาห์ที่ t ต้องไม่เกินจำนวนที่โรงงานกำหนด

$$\sum_{i \in I} S_i^t \leq StCap^t, \quad \forall_{t \in T} \quad (4)$$

4. จำนวนซิงสดที่ซื้อจากผู้จำหน่ายรายย่อยในสัปดาห์ที่ t ต้องไม่เกินจำนวนที่โรงงานกำหนดในแต่ละสัปดาห์

$$Ss^t \leq SsCap^t, \quad \forall_{t \in T} \quad (5)$$

5. จำนวนบ่อที่ใช้ดองซิง ในสัปดาห์ที่ n เท่ากับจำนวนซิงสดที่ซื้อรวมในสัปดาห์ที่ t หาวด้วยความจุของบ่อดอง

$$\left(\frac{G^t}{E^1} \right) = \sum_{d=n}^{52} P^{n,d}, \quad \forall_{t \in T, n \in N}; t = n \quad (6)$$

6. จำนวนซิงดองที่ออกจากบ่อดองแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ

6.1 ในฤดูกาลรับซื้อซิงสด คือ ระหว่างสัปดาห์ที่ 1 ถึง 8 ดังนั้นจำนวนซิงดองที่ออกจากบ่อในช่วงนี้จะเท่ากับผลรวมของบ่อที่ดองซิงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ซิงออกจากบ่อในสัปดาห์นั้นๆ คูณกับความจุบ่อดอง

$$O^d = E^1 \sum_{n=1}^d P^{n,d}, \quad \text{for } 1 \leq d \leq 8 \quad (7)$$

6.2 นอกฤดูการรับซื้อซิงสด คือ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 9 เป็นต้นไป เพราะฉะนั้นจำนวนซิงดองที่ออกจากบ่อในช่วงนี้จะเท่ากับผลรวมของบ่อที่ดองซิงทั้งหมดในช่วงการรับซื้อซิงสด คูณกับความจุบ่อดอง

$$O^d = E^1 \sum_{n=1}^8 P^{n,d}, \quad \text{for } d \geq 9 \quad (8)$$

7. จำนวนซิงดองที่แปรรูปรวมกับจำนวนซิงดองที่เก็บรักษาไว้ในลังไม้เพื่อรอแปรรูป เท่ากับจำนวนซิงดอง

ที่ออกจากบ่อในแต่ละสัปดาห์ คุณกับสัดส่วนของตอง หลังจากล้างสลัดเปลือกแล้วหารด้วยความจุของถังไม้

$$\frac{E^3 O^d}{E^2} = Pe^d + I^d, \forall_{d \in D} \quad (9)$$

8. จำนวนขิงตองที่แปรรูปรวมในแต่ละสัปดาห์ต้องน้อยกว่าความสามารถในการแปรรูปของโรงงาน

$$Pe^d \leq PeCap, \forall_{d \in D} \quad (10)$$

9. จำนวนขิงตองที่เก็บรักษาไว้ในถังไม้ ในสัปดาห์ที่ d เท่ากับจำนวนขิงตองที่เก็บรักษาไว้ในถังไม้ในสัปดาห์ที่แล้วรวมกับปริมาณขิงตองที่แปรรูปและลบออกด้วยปริมาณความต้องการขิงตองในแต่ละสัปดาห์

$$I^d = I^{d-1} + Pe^d - De^d, \forall_{d \in D} \quad (11)$$

$$G^t, S_i^t, Ss^t, O^d \geq 0, \forall_{t \in T, d \in D, i \in I} \quad (12)$$

$$P^{n,d}, Pe^d, I^d \geq 0 \text{ and Integer}, \forall_{n \in N, d \in D} \quad (13)$$

3. ผลลัพธ์การคำนวณ

การวางแผนการจัดซื้อขิงสดและจัดสรรการตอง เริ่มจากการจัดซื้อขิงสดจากผู้จำหน่ายรายต่างๆ จากนั้นนำขิงสดไปล้างแล้วตองในบ่อตอง โดยมีเงื่อนไขคือต้องทำการตองอย่างน้อย 2 สัปดาห์ หลังจากที่ต้องครบกำหนดแล้ว นำขิงตองไปล้างสลัดเปลือก และทำการแปรรูป ซึ่งเป้าหมายของการวางแผน คือ ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด ในการคำนวณผู้วิจัยได้พิจารณารอบความต้องการของลูกค้าใน 1 ปี โดยขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1

หลังจากสร้างแบบจำลอง MILP เสร็จแล้วผู้วิจัยได้ใช้ภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [8] ในการเขียนแบบจำลองลงในคอมพิวเตอร์และใช้ซอฟต์แวร์ CPLEX 11.1.0 [9] ในการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลเฉลยที่ได้ทำให้ทราบปริมาณขิงสดที่ต้องซื้อจากผู้จำหน่ายรายต่างๆ ในแต่ละ

สัปดาห์ดังแสดงในตารางที่ 2 เช่น สัปดาห์ที่ 6 ซื้อขิงสดจากผู้จำหน่ายรายย่อย 1,075.27 กิโลกรัม ผู้จำหน่ายรายใหญ่รายที่ 2 จำนวน 2,105.26 กิโลกรัม และผู้จำหน่ายรายใหญ่รายที่ 4 จำนวน 4,210.53 กิโลกรัม เป็นต้น ขิงสดที่รับซื้อไว้ต้องนำไปล้าง และทำการตองต่อไป โดยมีเงื่อนไขว่าต้องนำขิงสดตองในบ่อให้เสร็จภายใน 1 วันหลังจากที่รับขิงสดแผนการจัดสรรบ่อตองประกอบด้วย จำนวนบ่อตองที่ใช้ตองขิง และจำนวนขิงตองที่ออกจากบ่อตองในแต่ละสัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 3 เช่น ในสัปดาห์ที่ 8 ใช้บ่อตองในการตองขิงสดทั้งหมดจำนวน 21 บ่อ และจำนวนบ่อตองที่ถูกเลือกให้นำขิงออกจากบ่อ ในสัปดาห์ที่ 8, 9, 10 และ 12 เป็นจำนวน 4, 10, 5 และ 2 บ่อ ตามลำดับ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดของปัญหา	จำนวน
จำนวนสัปดาห์ของการรับซื้อขิงสด	8
จำนวนสัปดาห์ของการตองขิง	8
จำนวนสัปดาห์ของการนำขิงตองออกจากบ่อ	52
จำนวนสัปดาห์ความต้องการของลูกค้า	52
จำนวนผู้จำหน่ายขิงสดรายใหญ่	5
จำนวนผู้จำหน่ายขิงสดรายย่อย	1
จำนวนตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด	637
จำนวนเงื่อนไขบังคับ	186

หลังจากที่นำขิงตองออกจากบ่อตองแล้ว ทำการล้างสลัดเปลือกขิงตอง ผู้จัดการฝ่ายผลิตต้องทำการตัดสินใจว่า ควรนำขิงตองเข้าสู่การแปรรูปทันที หรือเก็บรักษาไว้ในถังไม้เพื่อรอแปรรูป เช่น ในสัปดาห์ที่ 6 (ดังแสดงในตารางที่ 4) จำนวนขิงตองที่ออกจากบ่อตองมีทั้งหมด 140 ถัง (7,000 กิโลกรัม) นำเข้าสู่การแปรรูปจำนวน 90 ถัง และเก็บรักษาไว้ในถังไม้จำนวน 50 ถัง

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของแผนการจัดซื้อขิงสด (กิโลกรัม)

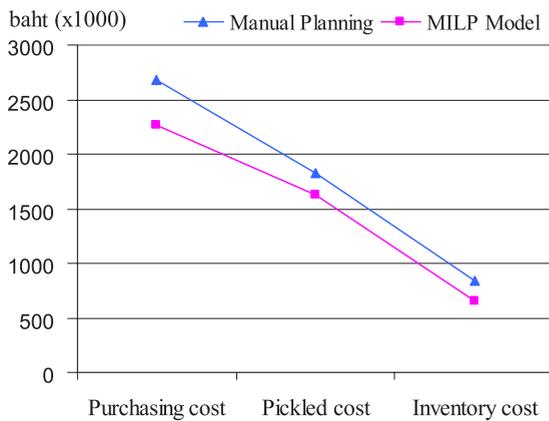
สัปดาห์ที่ t	ผู้จำหน่ายขิงสดรายย่อย (S_t)	ผู้จำหน่ายขิงสดรายใหญ่รายที่ i (S_i)				
		1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0	0
2	1,075.27	0	0	0	0	0
3	0	8,510.64	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	8,163.27
5	0	0	0	10,416.67	0	3,061.22
6	1,075.27	0	2,105.26	0	4,210.53	0
7	0	2,127.66	3,157.89	0	0	0
8	1,075.27	0	0	10,416.67	6,315.79	4,081.63
		10,638.30	5,263.16	20,833.33	10,526.32	15,306.12

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของแผนการจัดสรรบ่อตอง

สัปดาห์ที่ t ($t = n$)	ขิงสดที่รับซื้อรวมในสัปดาห์ที่ t (กิโลกรัม)	จำนวนบ่อที่ใช้ตองขิง ($P^{n,t}$) ในแต่ละสัปดาห์ (บ่อ)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,075.27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8,510.64	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8,163.27	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	13,477.89	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0
6	7,391.06	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
7	5,285.55	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
8	21,889.36	0	0	0	0	0	0	0	4	10	5	0	2

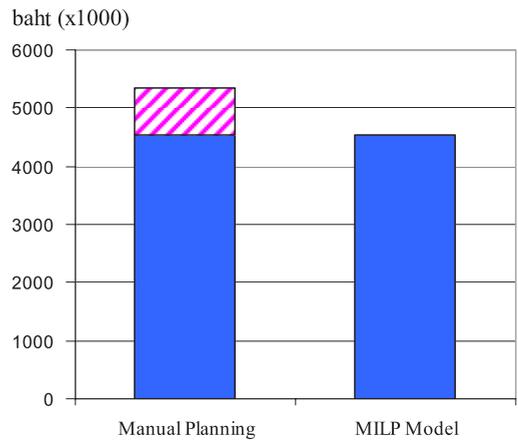
ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของการเก็บรักษาขิงตองที่ออกจากบ่อตอง (ลิ้ง)

สัปดาห์ที่ d	ขิงตองที่ออกจากบ่อ (O^d)		ปริมาณขิงตองที่นำไปแปรรูป (P^d)	ปริมาณขิงตองที่เก็บรักษาในลิ้งไม้ (I^d)	ปริมาณความต้องการขิงตอง (D^d)
	กิโลกรัม	ลิ้ง			
1	0	0	0	0	0
2	1,000	20	10	10	10
3	8,000	160	100	60	50
4	8,000	160	100	60	100
5	13,000	260	100	160	0
6	7,000	140	90	50	200
7	5,000	100	100	0	150
8	4,000	80	40	40	0
9	10,000	200	100	100	40
10	5,000	100	100	0	200
11	0	0	0	0	0
12	2,000	40	40	0	40



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายแต่ละส่วนของการจัดซื้อ และการจัดสรรบ่อตอง

ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดจากการใช้โปรแกรม CPLEX เปรียบเทียบกับการดำเนินการของทางโรงงาน (Manual Planning) จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายการซื้อขิงสด (Purchasing Cost) ลดลง 404,040 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.09 เนื่องจากการซื้อขิงสดในปริมาณที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า และส่วนของกระบวนการตองขิงนั้นก็จะสามารถจัดการนำขิงเข้าและออกบ่อตองได้ตรงตามปริมาณความต้องการในแต่ละสัปดาห์ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายการตองขิง (Pickled Cost) ได้ 208,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 11.37 ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 3 เมื่อนำขิงตองออกจากบ่อได้ตรงตามความต้องการและไม่เกินความสามารถในการผลิตแล้วทำให้ปริมาณของคงคลังลดลงด้วย โดยทำให้ค่าใช้จ่ายของคงคลัง (Inventory Cost) ลดลง 195,500 บาท คิดเป็นร้อยละ 23.13 และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายโดยรวมจะเห็นได้ว่าก่อนใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ค่าใช้จ่ายโดยรวมมีค่าเท่ากับ 5,351,360 บาท และหลังจากที่ใช้แบบจำลอง (MILP Model) ช่วยในการวางแผนแล้ว ค่าใช้จ่ายโดยรวมมีค่าเท่ากับ 4,543,820 บาท ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้ 807,540 บาท หรือร้อยละ 15.09 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง (บาท)

ค่าใช้จ่าย	ก่อนใช้	หลังใช้	ลดลง	ร้อยละ
การซื้อขิงสด	2,677,360	2,273,320	404,040	15.09
การตองขิง	1,829,000	1,621,000	208,000	11.37
ของคงคลัง	845,000	649,500	195,500	23.13
รวม	5,351,360	4,543,820	807,540	15.09

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนสั่งซื้อขิงสด และจัดสรรบ่อตองขิง โดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยรวมอันประกอบด้วย 3 ส่วน คือค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อขิงอ่อนสด ค่าใช้จ่ายการตองขิง และค่าใช้จ่ายของคงคลัง แบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นได้ใช้ข้อมูลของโรงงานแปรรูปขิงกรณีศึกษา ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรม CPLEX 11.1.0 พบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงร้อยละ 15.09 เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานของโรงงาน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าแผนจัดซื้อขิงอ่อนสด และแผนจัดสรรบ่อตองขิงที่ได้จากการใช้แบบ

จำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเป็นแผนที่เหมาะสมในการนำไปดำเนินการ

สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต ผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยวางแผนให้ครอบคลุมทั้งโซ่อุปทานโดยเริ่มตั้งแต่ต้นน้ำ (Upstream) คือการปลูกซิง การเก็บเกี่ยว การแปรรูป จนถึงปลายน้ำ (Downstream) คือการกระจายสินค้าไปยังลูกค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมในดำเนินการทั้งหมดต่ำที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสีบชัย ชุณหสุทธิวัฒน์ คุณชัยยุทธ นุชนารถ และคุณสมพงษ์ กำเนิดทอง ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Matshaship, *Economic Crops in Thailand (1st ed.)*, Bangkok: Phraepittaya, 1992. (in Thai).
- [2] O. Ahumada and J. Villalobos, "Application of planning models in the agri-food supply chain: a review," *European journal of Operational research*, vol. 195, pp. 1-20, 2009.
- [3] M. Grunow, H.O. Gunther, and R. Westinner, "Supply optimization for the production of raw sugar," *International Journal of Production economics*, vol. 110, pp. 224-239, 2007.
- [4] E.W. Schuster and S. Allen, "Raw material management at Welch's Inc.," *Interface*, vol.28, pp. 13-24, 1998.
- [5] A.M. Blanco, G. Masini, and N. Petracci, "Operations management of a packaging plant in the fruit industry," *Journal of Food Engineering*, vol.70, pp. 299-307, 2005.
- [6] R.K. Apaiah and E.M.T. Hendrix, "Design of supply chain network for a pea-based novel protein foods," *Journal of Food Engineering*, vol. 70, pp. 383-391, 2005.
- [7] B. Bligen and I. Ozkarahan, "A mixed-integer linear programming model for bulk grain blending and shipping," *International Journal of Production economics*, vol. 107, pp. 555-571, 2007.
- [8] R. Fourer, D.M. Gay, and B.W. Kernighan, *AMPL a Modeling Language for Mathematical Programming (2nd ed.)*, New York: Thomson Learning, 2003.