

แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อการวางแผนการผลิต และการขนส่งในโซ่อุปทานส้มเขียวหวาน

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ^{1,2,3*} วงศ์ผกา วงศ์รัตน์⁴ และ ปริญญา พัฒนวิวัฒน์พร¹

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดการโซ่อุปทานที่เกิดขึ้นกับส้มเขียวหวาน เกี่ยวข้องกับปัญหาในด้านการเลือกยานพาหนะในการขนส่งส้มเขียวหวานจากสวนที่มีอยู่หลายรูปแบบให้เหมาะสม เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด และปัญหาอีกด้านหนึ่ง คือการวางแผนการผลิตภายในโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานให้สอดคล้องกับปริมาณส้มที่ขนส่งมาจากสวน เพื่อไม่ให้มีส้มคงค้างอยู่ในโกดัง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ โดยสร้างเป็น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยว รวมถึงการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งส้มให้สอดคล้องกับการผลิตในโรงงานคัดบรรจุเพื่อให้มีผลิตภัณ์ที่ออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 4.79% และสามารถลดต้นทุนภายในโรงงานได้ 0.52% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนก่อนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ: การวางแผนการผลิต การขนส่ง ส้มเขียวหวาน
แบบจำลองเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม

¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
² ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
³ ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
⁴ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6925-8282 อีเมล: fengckl@ku.ac.th



Mixed Integer Linear Programming Approaches to Production Planning and Transportation in Tangerine Supply Chain

Chaimongkol Limpianchob^{1,2,3*} Wongphaka Wongrat⁴ and Parinya Pattanawanporn¹

Abstract

One problem of supply chain management of tangerines is selecting a suitable vehicle type from available choices to minimize transportation cost. The other is the production planning in packaging plant which suits the amount of transported tangerines from the harvested areas in order to reduce the tangerines stored in the warehouse. Therefore, to solve these problems, mixed integer linear programming was applied by creating a mathematical model for harvested

planning, transportation of tangerines, and production planning in packaging plant for continuous production. The optimum results showed that the transportation cost could be reduced by 4.79% and the operation cost in the plant by 0.52% when compared to the normal operation before using the mathematical model.

Keywords: Production Planning, Transportation, Tangerine, Mixed-integer Linear Programming.

¹ Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

² Postharvest Technology Innovation Center, Office of the Higher Education Commission.

³ Center of Excellence in Logistics, Kasetsart University.

⁴ Lecturer, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

* Corresponding Author, Tel. 08-6925-8282, E-mail: fengckl@ku.ac.th

1. บทนำ

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่พบได้ง่ายในประเทศไทย และเป็นผลไม้กิ่งเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่คนไทยรู้จักคุ้นเคย นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ส้มเขียวหวาน นับเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ไทย โดยในปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานรวมกันถึง ประมาณ 221,520 ไร่ [1] จากการศึกษาและเก็บข้อมูล เกี่ยวกับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานของ โรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานในจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเป็น โรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานที่ดำเนินการทั้งการปลูก เก็บเกี่ยว และคัดบรรจุส้มเขียวหวานทุกกระบวนการ จนถึงขนส่งให้กับลูกค้า ทำให้ทราบว่าปัญหาในการ จัดการหลังการเก็บเกี่ยวจะพบอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ การขนส่งส้มเขียวหวาน (Transportation Modes) และการ วางแผนกระบวนการผลิตในโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวาน (Production Planning)

สำหรับปัญหาการขนส่งส้มเขียวหวานสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงการขนส่งส้มจากสวนมายัง โรงงาน และช่วงการขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้า ซึ่งทั้ง สองช่วงการขนส่งที่กล่าวมานั้นทางโรงงานต้องจัดหาพาหนะ ไปขนส้มเขียวหวานเองทั้งหมด โดยพาหนะมีให้เลือก หลายรูปแบบ เช่น รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ หรือรถกระบะ ปัจจุบันโรงงานจะใช้พาหนะที่วางอยู่ใน การไปขนส้มเขียวหวาน โดยไม่มีการวางแผนการจัดการ ใช้พาหนะแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับปริมาณ ส้มเขียวหวาน ทำให้เกิดปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งสูงมาก

การวางแผนการผลิตในโรงงานคัดบรรจุพบว่าเกิด ปัญหาส้มเขียวหวานค้างอยู่ในโกดังจำนวนมาก เนื่องจาก ขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และอีกปัญหา หนึ่งที่ผู้วิจัยพบ คือการจัดสรรแรงงานในการทำงาน โรงงานมักเกิดปัญหาด้านต้นทุนทางด้านแรงงานสูง ทำให้เพิ่ม ต้นทุนการดำเนินการโดยรวมให้สูงขึ้นตามไปด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดการโซ่อุปทานมาใช้ โดย นำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการวางแผนการผลิตและการขนส่งในโซ่อุปทาน

ส้มเขียวหวาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อให้ต้นทุน การดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งพิจารณาถึงในด้านการวางแผน การเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องกับเวลา ในการคัดบรรจุของ โรงงาน และปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงพิจารณา การเลือกใช้พาหนะให้เหมาะสมกับปริมาณการขนส่ง ทั้งสองช่วง โดยการสร้างเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสม จำนวนเต็ม (Mixed-integer Linear Programming Model) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเป็นเครื่องมือช่วย ในการตัดสินใจการจัดการวางแผนการผลิตและขนส่ง ส้มเขียวหวานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการโซ่อุปทาน คือการประสานงานร่วมกัน ของหน่วยงานในองค์กรตามโซ่อุปทานทั้งการไหลวัตถุดิบ ข้อมูลข่าวสาร เพิ่มเติมเติมอุปสงค์ของลูกค้าด้วยเป้าหมาย การปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งโซ่อุปทาน [2] ซึ่งสามารถ นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาโดยสร้างเป็นรูปแบบของ แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งเป็น ที่แพร่หลายในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ มากมาย ความสำเร็จของการนำมาใช้ในการแก้ปัญหา ทางด้านการวางแผนการผลิต รวมถึงการขนส่งสินค้าทั้ง โซ่อุปทานนั้น ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดการหา วัตถุดิบ และการขนส่งสารเคมีของโรงงานไปยังศูนย์กระจาย สินค้าต่างๆ [3] โดยแบบจำลองพิจารณาการวางแผน การผลิตและเครือข่ายการกระจายผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณา ข้อกำหนดทางด้านคุณภาพ ด้านการผลิต และด้านอุปสงค์ ของลูกค้า เพื่อให้การผลิตและกระจายผลิตภัณฑ์เกิด ความสมดุลทั้งโซ่อุปทาน สำหรับงานวิจัยทางด้านสินค้า เกษตรแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ก็ถูกใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งในหลาย ผลิตภัณฑ์เช่นกัน ประกอบด้วย ในโรงงานบรรจุผลไม้สด (Packaging Plant) [4] อุตสาหกรรมอาหารสด (Fresh Food Industry) [5] หรือในอุตสาหกรรมผลิตโยเกิร์ต [6] ส่วนงานวิจัยในประเทศที่กล่าวถึงความสำเร็จของการนำ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในภาคการเกษตร

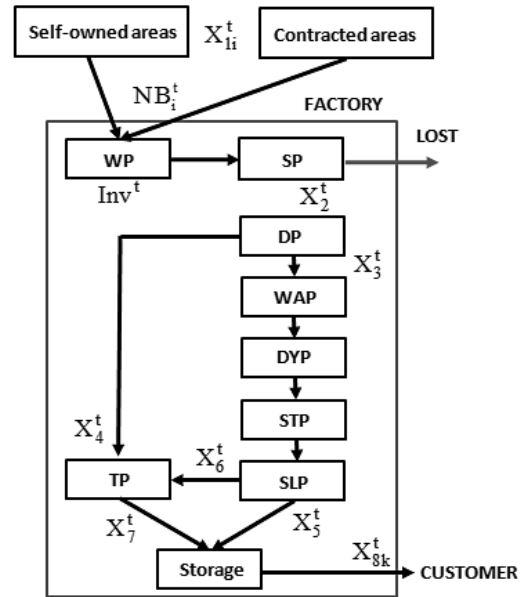
ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนการปลูกและการขนส่งอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [7] โดยเน้นในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวที่มีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Mula et al. [8] ได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในแก้ปัญหาทางการวางแผนการผลิตในโซ่อุปทานและการขนส่ง จำนวน 127 เรื่อง ในระยะเวลา 25 ปี ถึงแนวทางการทำวิจัยที่มีความน่าสนใจในอนาคตที่จะมีความโดดเด่น คือพิจารณารูปแบบการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกันในโซ่อุปทาน

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้ทางโรงงานคัดบรรจุและเกษตรกรสามารถวางแผนการเก็บเกี่ยว และการขนส่งสัมเขี้ยวหวาน รวมถึงการวางแผนการผลิตภายในโรงงานคัดบรรจุให้มีความสอดคล้องกับกำลังการผลิต และเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า โดยมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด (Minimize Total Cost)

3. โครงสร้างโซ่อุปทานของสัมเขี้ยวหวาน

โครงสร้างโซ่อุปทานสัมเขี้ยวหวานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวานจากสวนจนถึงการคัดบรรจุสัมส่งให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

เริ่มจากโรงงานคัดบรรจุจะสั่งเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวาน (X_1^t) จากสวนต่างๆ ซึ่งมีทั้งสวนของทางโรงงาน (Self-owned Areas) และสวนของเกษตรกรในเครือข่าย (Contracted Areas) เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวานจากต้นแล้วจะรวบรวมสัมทั้งหมดใส่ลงในตระกร้า ($NumB_i^t$) เพื่อรอขนส่งเข้าโรงงานคัดบรรจุ โดยทางโรงงานจะต้องจัดหาหนะไปขนสัมจากสวนมายังโรงงานเอง เมื่อสัมเขี้ยวหวานมาถึงโรงงานแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการล้างทำความสะอาด (WP) แล้วเข้าสู่กระบวนการคัดสัมเขี้ยวหวานที่ฟามและไม่ได้คุณภาพออก (SP) สัมเขี้ยวหวานที่ได้คุณภาพ



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานของสัมเขี้ยวหวาน

จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการเป่าด้วยลมร้อน (X_2^t) หลังจากนั้นสัมจะถูกแบ่งไปเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิว (X_3^t) ส่วนสัมเขี้ยวหวานที่ไม่ต้องการเคลือบผิว (X_4^t) จะถูกส่งเข้าโกดังเก็บผลผลิตเพื่อรอส่งขายให้กับลูกค้าทันที

สัมเขี้ยวหวานที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว จะผ่านเครื่องเคลือบผิวด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (WAP) แล้วผ่านกระบวนการเป่าแห้ง (DYP) และเข้าสู่กระบวนการตัดสติกเกอร์ (STP) หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคัดเกรด (SLP) ในกระบวนการนี้จะมีสัมเขี้ยวหวานที่ได้ตามขนาด (X_5^t) จะถูกส่งให้คนงานคัดบรรจุลงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ของทางโรงงาน ส่วนสัมเขี้ยวหวานที่ไม่ได้ขนาด (X_6^t) จะถูกรวมกับสัมที่ไม่ได้เคลือบผิว (X_4^t) แล้วส่งไปยังโกดังเก็บผลผลิตรอจำหน่ายให้กับลูกค้า สัมเขี้ยวหวานที่ได้ตามขนาดจะถูกคัดบรรจุลงผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กล่อง ตาข่าย และตะกร้า ตามอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละราย เมื่อบรรจุเสร็จแล้วสัมจะถูกส่งเข้าสู่โกดังเก็บผลผลิต เมื่อถึงกำหนดที่ต้องส่งสัมเขี้ยวหวานให้กับลูกค้าแต่ละราย (X_{8k}^t) ทางโรงงานจะจัดหาหนะในการขนส่งสัมไปยังลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในรูปที่ 1

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากโรงงานคัดบรรจุ สัมเขียวหวานในจังหวัดเชียงใหม่ และกำแพงเพชรเป็นกรณีศึกษาโดยผู้วิจัยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นดังนี้

1. ทุกสวนสัมมีความพร้อมในการเก็บเกี่ยวทุกช่วงเวลาตลอดช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว
2. สวนแต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว
3. พาหนะแต่ละประเภทพร้อมใช้งานตลอดเวลา หากโรงงานต้องใช้พาหนะในการขนส่ง
4. กำหนดให้เริ่มต้นการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ในแต่ละกระบวนการไม่มีสัมเขียวหวานคงค้าง (WIP) อยู่ในกระบวนการผลิต

ในส่วนต่อไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการเก็บเกี่ยว และการขนส่งสัมเขียวหวาน สิ่งแรกที่ต้องอธิบาย คือกลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงสมการเป้าหมาย (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraints) ตามลำดับ

4.1 ดัชนี (Indices and Sets)

- I กลุ่มสวนสัมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้
- I_p กลุ่มสวนสัมของโรงงาน
- I_{ps} กลุ่มสวนสัมเขียวหวานในเครือข่าย
- HP กลุ่มรอบเวลาในการเก็บเกี่ยวสัมเขียวหวาน
- Cus กลุ่มลูกค้าที่สั่งสัมเขียวหวาน
- Prd กลุ่มผลิตภัณฑ์สัมเขียวหวาน
- Typ กลุ่มของประเภทสัมเขียวหวาน
- TraI กลุ่มพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสัมจากสวนมายังโรงงาน
- TraII กลุ่มพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสัมจากโรงงานไปยังลูกค้า

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปร X_a โดยที่ $a = 1, 2, \dots, 8$

แสดงถึงปริมาณการไหลของสัมเขียวหวาน (Material Flow) ที่ต้องใช้ในแต่ละกระบวนการตั้งแต่การเก็บเกี่ยวผลสัมจากสวนเข้าสู่โรงงานคัดบรรจุจนถึงส่งให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

X_{ii}^1 ปริมาณสัมที่เก็บเกี่ยวจากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม); $\forall i \in I_p \cup I_{ps}$

NB_i^1 ปริมาณสัมที่เก็บเกี่ยวจากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม); $\forall i \in I_p \cup I_{ps}$

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้งานพาหนะในการขนส่งสัมเขียวหวาน คือ

TP_v^1 พาหนะที่ใช้ขนส่งจากสวนมายังโรงงานด้วยพาหนะ v เมื่อสิ้นสุดเวลา t (จำนวนเที่ยว)

TP_{wk}^1 พาหนะที่ใช้ขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้า k ด้วยพาหนะ w เมื่อสิ้นสุดเวลา t (จำนวนเที่ยว)

สุดท้ายเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของสัมเขียวหวานที่ต้องส่งเข้าโรงงานเพื่อทำการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ($X_2 - X_8$) เป็นดังนี้

Inv^1 ปริมาณสัมที่ถูกส่งเข้าโรงงานและคงค้างอยู่ในโกดังสินค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

LP_i^1 ปริมาณแรงงานที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวสัมในสวนที่ i เมื่อเวลา t (ชั่วโมงแรงงาน)

LII_i^1 ปริมาณแรงงานที่ใช้ต้องในการบรรจุสัมเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมื่อเวลา t (ชั่วโมง)

X_2^1 ปริมาณสัมที่ถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตเมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

X_3^1 ปริมาณสัมที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว (กิโลกรัม)

X_4^1 ปริมาณสัมที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว (กิโลกรัม)

X_5^1 ปริมาณสัมที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว และได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X_6^1 ปริมาณสัมที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว แต่ไม่ได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X_7^1 ปริมาณสัมที่ไม่ได้เคลือบรวมกับปริมาณสัมที่ไม่ได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X_{sk}^t ปริมาณสัมเขี้ยวหวานทั้งหมดที่ต้องส่งให้ลูกค้า k เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

Stg^t ปริมาณสัมที่รอส่งให้ลูกค้าและคงค้างอยู่ในโกดังเก็บผลิตภัณฑ์ เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary Variables) เพื่อเลือกสรรที่จะใช้ในการเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวาน ดังต่อไปนี้

$$HA_i^t = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเลือกสรรที่ } i \text{ ในการเก็บเกี่ยว} \\ & \text{เมื่อเวลา } t; \forall i \in I_p \cup I_{ps} \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

CH_i ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้สวน i ในการเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวาน (บาท/สวน)

CTI_v ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้พาหนะ v ในการขนส่งสัมจากสวนมายังโรงงาน (บาท/เที่ยว)

$CTII_w$ ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้พาหนะ w ในการขนส่งสัมจากโรงงานไปยังลูกค้า (บาท/เที่ยว)

CI ต้นทุนค่าดูแลสัมที่คงค้างอยู่ในโกดัง (บาท/สัปดาห์)

CII ต้นทุนค่าดูแลสัมที่รอส่งให้ลูกค้าคงค้างอยู่ในโกดัง (บาท/สัปดาห์)

CLI ต้นทุนค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยวสัม (บาท/สัปดาห์)

$CLII$ ต้นทุนค่าแรงงานในการบรรจุสัม (บาท/สัปดาห์)

C_i^t ปริมาณสัมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

CVI_v ปริมาณตะกร้าสัมที่สามารถบรรจุทุกได้มากที่สุดของพาหนะ v (จำนวนตะกร้า)

$CVII_w$ ปริมาณสัมที่สามารถบรรจุทุกได้มากที่สุดของพาหนะ w ในการขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละราย (กิโลกรัม)

CCT^t ปริมาณสัมที่สามารถเข้าเครื่องเคลือบได้ในแต่ละช่วงเวลา t (กิโลกรัม)

D_{klm}^t อุปสงค์สัมผลิตภัณฑ์ m ประเภท l ที่ลูกค้า k ต้องการ เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

RoB อัตราส่วนปริมาณสัมต่อหนึ่งตะกร้า

RoC อัตราส่วนสัมที่ต้องผ่านการเคลือบผิว

RoNC อัตราส่วนสัมที่ไม่ต้องผ่านการเคลือบผิว

RoCI อัตราส่วนสัมเคลือบผิวที่ได้ตามเกรด

RoNCI อัตราส่วนสัมเคลือบผิวที่ไม่ได้ตามเกรด

RoD อัตราส่วนสัมที่ฟามแล้วถูกคัดออก

RoLI อัตราส่วนค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยวสัม

RoLII อัตราส่วนค่าแรงงานในการแยกบรรจุสัม

4.4 ข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดสำหรับการวางแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งสัมเขี้ยวหวานเข้าสู่โรงงานแปรรูป รวมถึงการป้อนอุปสงค์ของลูกค้า เป็นดังนี้

ผู้วิจัยได้กำหนดให้ทางโรงงานจะต้องเลือกเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวานจากสวนของทางโรงงานที่มีก่อน และในแต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในข้อจำกัด (1)

$$\sum_{i \in HP} HA_i^t = 1; \forall i \in I_p \quad (1)$$

หากปริมาณสัมจากสวนของโรงงานไม่เพียงพอทางโรงงานสามารถที่จะเก็บเกี่ยวสัมจากสวนของเกษตรกรในเครือข่ายได้ โดยที่แต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวเช่นกัน ดังนี้แสดงในข้อจำกัด (2)

$$\sum_{i \in HP} HA_i^t \leq 1; \forall i \in I_{ps} \quad (2)$$

ปริมาณสัมที่ทางโรงงานสามารถเก็บเกี่ยวได้ในแต่ละสวน ในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

$$X_{ii}^t \leq C_i^t HA_i^t; \forall i \in I_p \cup I_{ps}, \forall t \in HP \quad (3)$$

ปริมาณแรงงานที่โรงงานต้องจัดหา เพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวานในแต่ละสวน ทั้งสวนของทางโรงงานและสวนของเกษตรกรในเครือข่ายในแต่ละช่วงเวลา t สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$X_{ii}^t = \text{RoLI}(LI_i^t); \forall i \in I_p \cup I_{ps}, \forall t \in \text{HP} \quad (4)$$

เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวสัมเขี้ยวหวานจากต้นเรียบร้อยแล้ว เกษตรกรจะนำสัมใส่ถุงกระสอบ เมื่อเต็มถุงกระสอบแล้ว เกษตรกรจะเทสัมทั้งหมดลงในตะกร้าที่วางอยู่ตามทาง เพื่อรอขนส่งเข้าโรงงานต่อไป ดังแสดงในข้อจำกัด (5)

$$X_{ii}^t = \text{RoB}(NB_i^t); \forall i \in I_p \cup I_{ps}, \forall t \in \text{HP} \quad (5)$$

ลำดับถัดไปเป็นการขนส่งสัมเขี้ยวหวานจากสวนเข้าสู่โรงงานเพื่อทำการคัดบรรจุ โดยในข้อจำกัด (6) เป็นการกำหนดรูปแบบของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

$$\sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} NB_i^t \leq \sum_{v \in \text{Tral}} \text{CVI}_v \text{TI}_v^t; \forall t \in \text{HP} \quad (6)$$

เมื่อตะกร้าสัมเขี้ยวหวานมาถึงโรงงานแล้ว คนงานที่เก็บเกี่ยวผลสัมจะต้องมาทำการเทสัมออกจากตะกร้าเพื่อล้างน้ำทำความสะอาดผลสัม และคัดผลสัมที่ฟ้ามและไม่ได้คุณภาพออก แล้วผลสัมจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป หากคนงานทำการล้างสัมไม่เสร็จ ผลสัมจะถูกกองไว้ในตะกร้า เพื่อทำการล้างทำความสะอาดในวันถัดไป

$$\text{Inv}^t = \text{Inv}^{t-1} + \sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} \text{RoD}(NB_i^t) - X_2^t; \forall t \in \text{HP} \quad (7)$$

ข้อจำกัด (7) เป็นการจับสมดุลของสัมเขี้ยวหวาน (Mass Balancing) ผลสัมที่ได้คุณภาพจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป หากคนงานทำงานไม่เสร็จจะมีผลสัมคงค้างอยู่ในกระบวนการนี้ เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา t

สัมจะถูกส่งไปแปดด้วยลมร้อนจนแห้ง หลังจากนั้นสัมจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวสัม (X_3^t) แต่จะมีสัมบางส่วนที่ลูกค้าไม่ต้องการให้ทางโรงงานเคลือบผิวสัม (X_4^t) สัมเหล่านี้ก็จะถูกส่งเข้าไปเก็บในโกดัง เพื่อรอส่งให้กับลูกค้าทันที ดังแสดงในข้อจำกัด (8)

$$X_2^t = \text{RoC}(X_3^t) + \text{RoNC}(X_4^t); \forall t \in \text{HP} \quad (8)$$

ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัด (9) และข้อจำกัด (10) เพื่อกำหนดปริมาณสัมเขี้ยวหวานที่เข้าเครื่องเคลือบผิวสัม จะต้องไม่เกินปริมาณที่เครื่องสามารถทำงานได้ และเพื่อสร้างความมั่นใจว่าเครื่องเคลือบผิวสัมจะไม่ทำงานเกินกำลังของเครื่องจักร

$$X_3^t \leq \text{CCT}^t; \forall t \in \text{HP} \quad (9)$$

และ

$$\sum_{i \in \text{HP}} X_3^t \leq \sum_{i \in \text{HP}} \text{CCT}^t \quad (10)$$

สัมจะถูกแปดอีกครั้งหนึ่ง แล้วส่งเข้าสู่กระบวนการติดสติ๊กเกอร์บนผิวสัม หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคัดเกรดโดยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อแยกขนาดของสัมสัมที่ได้ขนาด (X_5^t) จะถูกรวบรวมเพื่อแยกบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ส่วนสัมที่ไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้ (X_6^t) จะถูกส่งเข้าโกดังสินค้า เพื่อรอส่งให้กับลูกค้าที่ต้องการสัมเขี้ยวหวานที่มีเกรดรองลงมา ดังแสดงในข้อจำกัด (11) และข้อจำกัด (12)

$$X_3^t = \text{RoCI}(X_5^t) + \text{RoNCI}(X_6^t); \forall t \in \text{HP} \quad (11)$$

และ

$$X_4^t + X_6^t = X_7^t; \forall t \in \text{HP} \quad (12)$$

ข้อจำกัด (12) แสดงปริมาณสัมเขี้ยวหวาน (X_7^t) ที่ไม่ได้เคลือบผิว และที่ไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้จะถูกรวมและส่งเข้าคลังสินค้าเพื่อรอส่งให้กับลูกค้าต่อไป เมื่อสัมเขี้ยวหวานถูกคัดขนาดแล้ว สัมจะถูก

รวบรวมแล้วส่งเข้าแผนกแยกบรรจุตามผลิตภัณฑ์ โดยใช้แรงงานคนในการคัดแยกบรรจุ ผู้วิจัยกำหนดข้อจำกัด (13) และข้อจำกัด (14) เพื่อกำหนดปริมาณสัมที่ต้องเคลือบผิว และมีขนาดสัมตรงตามที่ต้องการของลูกค้า โดยทางโรงงานต้องผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

$$X_5^t \geq \sum_{k \in \text{Cus}} \sum_{m \in \text{Prd}} D_{klm}^t; \forall l \in \text{Typ} : l = C, \forall t \in \text{HP} \quad (13)$$

และ

$$\sum_{t \in \text{HP}} X_5^t \geq \sum_{k \in \text{Cus}} \sum_{m \in \text{Prd}} \sum_{t \in \text{HP}} D_{klm}^t; \forall l \in \text{Typ} : l = C \quad (14)$$

สัมที่ไม่ได้ขนาดจะสามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ โดยลูกค้ากลุ่มนี้จะนำสัมไปขายในตลาดทั่วไป จึงไม่ต้องการสัมที่มีราคาแพงมาก ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดข้อจำกัด (15) และข้อจำกัด (16) เพื่อกำหนดปริมาณสัมที่ไม่ได้ตามขนาด ต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ดังนี้

$$X_7^t \geq \sum_{k \in \text{Cus}} \sum_{m \in \text{Prd}} D_{klm}^t; \forall l \in \text{Typ} : l = \text{NC}, \forall t \in \text{HP} \quad (15)$$

และ

$$\sum_{t \in \text{HP}} X_7^t \geq \sum_{k \in \text{Cus}} \sum_{m \in \text{Prd}} \sum_{t \in \text{HP}} D_{klm}^t; \forall l \in \text{Typ} : l = \text{NC} \quad (16)$$

ปริมาณแรงงานที่โรงงานจะต้องจัดหาเพื่อทำการคัดบรรจุสัมเขียวหวานเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา t สามารถอธิบายได้ในข้อจำกัด (17) ดังนี้

$$X_5^t + X_7^t = \text{RoLII}(\text{LII}^t); \forall t \in \text{HP} \quad (17)$$

สัมเขียวหวานทุกประเภทเมื่อผ่านกระบวนการเสร็จสิ้นแล้ว จะถูกส่งเข้าโกดังเก็บผลผลิตเพื่อรอส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในข้อจำกัด (18) ถึงข้อจำกัด (20)

$$\text{Stg}^t = \text{Stg}^{t-1} + (X_5^t + X_6^t) - \sum_{k \in \text{Cus}} X_{8k}^t; \forall t \in \text{HP} \quad (18)$$

ข้อจำกัด (18) เป็นการจัดสมดุลของสัมที่เข้ามาใน

โกดังเก็บผลผลิต และสัมที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้ทางโรงงานทราบถึงปริมาณสัมที่คงค้าง เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา t

$$X_{8k}^t \geq \sum_{l \in \text{Typ}} \sum_{m \in \text{Prd}} D_{klm}^t; \forall k \in \text{Cus}, \forall t \in \text{HP} \quad (19)$$

ข้อจำกัด (19) เพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบปริมาณสัมทั้งหมดที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ต้องมีปริมาณเพียงพอกับอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายส่งเมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา ส่วนข้อจำกัด (20) เพื่อสร้างความมั่นใจว่าปริมาณสัมเขียวหวานทั้งหมดที่ส่งให้กับลูกค้าแต่ละรายจะมีเพียงพอกับอุปสงค์ของลูกค้าตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว

$$\sum_{t \in \text{HP}} X_{8k}^t \geq \sum_{l \in \text{Typ}} \sum_{m \in \text{Prd}} \sum_{t \in \text{HP}} D_{klm}^t; \forall k \in \text{Cus} \quad (20)$$

เมื่อตรวจสอบปริมาณสัมเขียวหวานที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละรายว่าถูกต้องตามอุปสงค์ของลูกค้าแล้ว โรงงานจะทำการขนส่งสัมทั้งหมดส่งไปยังลูกค้า โดยข้อจำกัด (21) เป็นการกำหนดรูปแบบของพาหนะที่จะต้องใช้ในการขนส่งสัมเขียวหวานจากโรงงานในแต่ละช่วงเวลา t ไปยังลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งสัมเขียวหวานต่ำที่สุด ดังนี้

$$X_{8k}^t \leq \sum_{w \in \text{TraII}} \text{CVII}_w \text{III}_{wk}^t; \forall k \in \text{Cus}, \forall t \in \text{HP} \quad (21)$$

$$\text{HA}_i^t \in \{0, 1\}; \forall i, t \quad (22)$$

$$X_{1i}^t, \text{LabI}_i^t, \text{LabII}_i^t \geq 0; \forall i, t \quad (23)$$

$$\text{NumB}_i^t \geq 0 \text{ and integer}; \forall i, t \quad (24)$$

$$\text{TranI}_v^t, \text{TranII}_{wk}^t \geq 0 \text{ and integer}; \forall v, w, k, t \quad (25)$$

$$X_2^t, X_3^t, X_4^t, X_5^t, X_6^t, X_7^t, X_{8k}^t, \text{Stog}^t \geq 0; \forall k, t \quad (26)$$

4.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด (Total Cost Minimization) โดยต้องสามารถวางแผนการเก็บเกี่ยว รวมถึงการขนส่ง สัมเขี้ยวหวานทั้งสองช่วงให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และยังสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็น ที่พึงพอใจได้ โดยต้นทุนรวมในการดำเนินการในแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$Z = C^{Har} + C^{Trans} + C^{Inv} + C^{Lab}$$

- ต้นทุนจากการเก็บเกี่ยว (Harvesting Cost, C^{Har}) เป็นต้นทุนการเพาะปลูกที่เกิดขึ้นจากการเก็บเกี่ยว สัมเขี้ยวหวานสวนที่ i เช่น ค่าเตรียมดิน ค่าบำรุงรักษา ค่ารดน้ำ เป็นต้น ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

$$C^{Har} = \sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} \sum_{t \in HP} CH_i HA_i^t$$

- ต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation Cost, C^{Trans}) เมื่อสัมถุกเก็บเกี่ยวเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องส่งเข้า โรงงานคัดบรรจุ โดยผู้วิจัยกำหนดให้ $COTI_v$ คือต้นทุนค่า ขนส่งสัมจากสวนมายังโรงงาน เมื่อโรงงานใช้พาหนะ v ในการขนส่ง ส่วน $COTII_w$ คือต้นทุนค่าขนส่งสัมจาก โรงงานไปยังลูกค้า เมื่อใช้พาหนะ w ในการขนส่ง ดังนั้น ต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการขนส่งสัมเขี้ยวหวาน สามารถ อธิบายได้ดังนี้

$$C^{Trans} = \sum_{v \in TraI} \sum_{t \in HP} COTI_v TI_v^t + \sum_{w \in TraII} \sum_{k \in Cus} \sum_{t \in HP} COTII_w TII_{wk}^t$$

- ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง (Inventory Cost, C^{Inv}) ให้ COI เป็นต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ใน กระบวนการล้างทำความสะอาด ส่วน $COII$ เป็นต้นทุนค่า วัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในโกดังเก็บผลผลิต ดังนั้นต้นทุน ค่าวัสดุคงคลังสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Inv} = \sum_{t \in HP} CI(Inv^t) + \sum_{t \in HP} CII(Stg^t)$$

- ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost, C^{Lab})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้แรงงานในการ เก็บเกี่ยวสัม โดยกำหนดให้ CLI คือต้นทุนค่าแรงงาน ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวสัม ส่วน $CLII$ คือต้นทุนค่าแรงงาน ในการคัดบรรจุสัม ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงานรวมสามารถ อธิบายได้ดังนี้

$$C^{Lab} = \sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} \sum_{t \in HP} CLI(LI_i^t) + \sum_{t \in HP} CLII(LII^t)$$

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้มีต้นทุน การดำเนินการรวมต่ำสุด แสดงในสมการที่ (27)

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} \sum_{t \in HP} CH_i HA_i^t + \sum_{v \in TraI} \sum_{t \in HP} COTI_v TI_v^t \\ & + \sum_{w \in TraII} \sum_{k \in Cus} \sum_{t \in HP} COTII_w TII_{wk}^t \\ & + \sum_{t \in HP} CI(Inv^t) + \sum_{t \in HP} CII(Stg^t) \\ & + \sum_{i \in I_p \cup I_{ps}} \sum_{t \in HP} CLI(LI_i^t) + \sum_{t \in HP} CLII(LII^t) \end{aligned} \quad (27)$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

จากหัวข้อที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [9] ในการเขียนแบบจำลองการวางแผน การผลิตและการขนส่งในโซ่อุปทานสัมเขี้ยวหวาน โดย ใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 (<http://www.ilog.com>) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และเนื่องจากแบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นแบบจำลอง เชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อคุณภาพของผลลัพธ์ ผู้วิจัย ได้มีการใช้ Default Setting โดยการเพิ่ม Termination Criteria กำหนดให้โปรแกรม CPLEX 8.0 หาผลลัพธ์ จำนวนเต็มที่ดีที่สุด (Optimal Integer Solution) จนกว่า

ผลลัพธ์ที่ได้จะให้ค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) มีค่าน้อยที่สุด

ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต และขนส่งในโซ่อุปทานสัมชิวหวานตั้งแต่การเก็บเกี่ยวส่งเข้าโรงงานคัดบรรจุตลอดจนการเลือกพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสัมชิวหวานทั้งสองช่วงเพื่อให้มีผลผลิตออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้นทุนการดำเนินการที่เหมาะสม (Objective Function) อยู่ที่ 12,866,112 บาท/ปี มีค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) อยู่ที่ 0.05% และใช้เวลาในการคำนวณเพียง 242.03 วินาที แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ได้จากการคำนวณสูงมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของแบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับต้นทุนการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีต้นทุนการดำเนินการอยู่ที่ 13,041,091 บาท/ปี จากผลลัพธ์แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 174,979 บาท/ปี หรือสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึงร้อยละ 1.36 โดยผลลัพธ์ของคำตอบสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานคัดบรรจุทั้งสองด้าน กล่าวคือ สามารถวางแผนการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งสัมชิวหวานทั้งสองช่วง ซึ่งสามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ 119,655 บาท จากเดิมอยู่ที่ 2,497,869 บาท หรือสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ 4.79% และสามารถลดต้นทุนภายในโรงงานคัดบรรจุลงได้ 55,324 บาท จากเดิมอยู่ที่ 10,543,222 บาท หรือสามารถลดต้นทุนภายในโรงงานคัดบรรจุได้ 0.52%

6. สรุป

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาโซ่อุปทานของสัมชิวหวานที่ประสบปัญหา 2 ด้านใหญ่ ๆ คือการขนส่งสัมชิวหวาน ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานไม่มีการวางแผนการจัดการการใช้พาหนะแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับปริมาณสัมชิวหวาน ทำให้เกิดปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งสูงมาก และอีกปัญหาหนึ่ง คือการวางแผนการผลิต

ในโรงงานคัดบรรจุที่มีการผลิตไม่สอดคล้องกับปริมาณสัมชิวหวานที่เก็บเกี่ยวมา ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือคำนึงถึงในด้านการวางแผนการเก็บเกี่ยวสัมชิวหวาน การขนส่ง จนถึงกระบวนการคัดบรรจุสัมชิวหวานในโรงงาน เพื่อให้มีสัดส่วนการเก็บเกี่ยวและการผลิตสอดคล้องกับเวลา และปริมาณความต้องการของลูกค้า และเพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนการผลิต รวมถึงการตัดสินใจของโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบระบบการเก็บเกี่ยวรวมถึงการขนส่งสัมชิวหวาน เพื่อให้ทางโรงงานเห็นต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดได้ และช่วยในการปรับแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการวางแผนการคัดบรรจุสัมชิวหวานให้กับลูกค้าได้ ซึ่งโปรแกรม CPLEX 8.0 ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของจำนวนเต็มที่เหมาะสมที่สุด คุณภาพของผลลัพธ์สูงมาก โดยมีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียง 0.05% เท่านั้น จากแบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำกว่าก่อนการใช้แบบจำลอง 1.36% โดยสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ 4.79% และสามารถลดต้นทุนภายในโรงงานคัดบรรจุลงได้ 0.52%

ปัญหาในเรื่องของขนาดถนนที่พาหนะสามารถวิ่งได้ ก็เป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะดำเนินการต่อเนื่องจากในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาในงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้พิจารณาขนาดถนนที่พาหนะแต่ละขนาดสามารถใช้วิ่งเพื่อการขนส่งสัมชิวหวานจากสวนมายังโรงงาน ซึ่งในแต่ละสวนที่โรงงานเก็บเกี่ยวสัมชิวหวานมีขนาดถนนที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้พาหนะให้เหมาะสมกับขนาดถนนในการขนส่งจึงเป็นสิ่งสำคัญอีกด้านหนึ่งที่จะมีส่วนช่วยให้โรงงานสามารถเลือกขนาดพาหนะให้เหมาะสมกับถนนด้วยต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะพิจารณาเส้นทางการขนส่งสัมชิวหวานไปยังจังหวัดต่างๆ เพื่อให้เป็นแบบจำลองที่มีความละเอียดยิ่งขึ้น และเพื่อให้ทางโรงงานสามารถ

พิจารณาช่องทางการจัดจำหน่ายเองได้ โดยสามารถเลือกเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Ampaiwan, T. Nipon, and H. Pranee, *Production technology and Management for Tangerine*, Thailand: Kasetsart University, 2011.
- [2] H. Stadtler and C. Kilger, *Supply Chain Management and Advanced planning: Concepts, Models, Software and Case studies*, 4th ed., Germany: Springer, 2008.
- [3] T. Panagiotis and G.P. Lazaros, "Optimal production allocation and distribution supply chain networks," *International Journal of Production economics*, vol. 111, no. 1, pp. 468-483, 2008.
- [4] A.M. Blanco, G. Masini, N. Petracci, and J.A. Bandoni, "Operations management of a packaging plant in the fruit industry," *Journal of Food Engineering*, vol. 70, pp. 299-307, 2005.
- [5] R. Aiying, A. Renzo, and G. Martin, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain," *International Journal of Production economics*, vol. 131, no. 1, pp. 421-429, 2011.
- [6] E. Lutke, H. Gunther, Van Beek., G. Martin, and T. Seiler, "Mixed integer linear programming approaches to shelf-life-integrated planning and scheduling in yoghurt production," *International Journal of Production Research*, vol. 43, no. 23, pp. 5071-5100, 2005.
- [7] W. Piewthongngam, S. Pathumnakul, and K. Setthanan, "Application of crop growth simulation and mathematical modeling to supply chain management in the Thai sugar industry," *Agricultural Systems*, vol. 102, pp. 58-66, 2009.
- [8] J. Mula, D. Peidro, M. Diaz-Madronero, and E. Vicens, "Mathematical programming models for supply chain production and transport planning," *European Journal of Operational Research*, vol. 204, pp. 377-390, 2010.
- [9] R. Fourer, D.M. Gay, and B.W. Kernighan, *AMPL A Modeling Language for Mathematical Programming*, 2nd ed., United States: Thomson Learning, 2003.