แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อการวางแผนการผลิต และการขนส่งในโซ่อุปทานส้มเขียวหวาน

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ[1,2,3]* วงศ์ผกา วงศ์รัตน์[4] และ ปริญญา พัฒนวสันต์พร[1]

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดการโซ่อุปทานที่เกิดขึ้นกับส้มเขียวหวานเกี่ยวข้องกับปัญหาในด้านการเลือกยานพาหนะในการขนส่งส้มเขียวหวานจากสวนที่มีอยู่หลายรูปแบบให้เหมาะสม เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด และปัญหาอีกด้านหนึ่ง คือการวางแผนการผลิตภายในโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวาน ให้สอดคล้องกับปริมาณส้มที่ขนส่งมาจากสวน เพื่อไม่ให้มีส้มคงค้างอยู่ในโกดัง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ โดยสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยว รวมถึงการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งส้มให้สอดคล้องกับการผลิตในโรงงานคัดบรรจุเพื่อให้มีผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง 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 ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6925-8282 อีเมล: fengckl@ku.ac.th

รับเมื่อ 5 สิงหาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 9 พฤษภาคม 2557

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

Chaimongkol Limpianchob[1,2,3]* Wongphaka Wongrat[4] and Parinya Pattanawasanporn[1]

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

Received 5 August 2013; Accepted 9 May 2014

1. บทนำ

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่พบได้ง่ายในประเทศไทย และเป็นผลไม้กึ่งเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่คนไทยรู้จักคุ้นเคย นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ส้มเขียวหวานนับเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกส้มเขียวหวานรวมกันถึงประมาณ 221,520 ไร่ [1] จากการศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานของโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานในจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเป็นโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานที่ดำเนินการทั้งการปลูก เก็บเกี่ยว และคัดบรรจุส้มเขียวหวานทุกกระบวนการจนถึงขนส่งให้กับลูกค้า ทำให้ทราบว่าปัญหาในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวจะพบอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การขนส่งส้มเขียวหวาน (Transportation Modes) และการวางแผนกระบวนการผลิตในโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวาน (Production Planning)

สำหรับปัญหาการขนส่งส้มเขียวหวานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงการขนส่งส้มจากสวนมายังโรงงาน และช่วงการขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้า ซึ่งทั้งสองช่วงการขนส่งที่กล่าวมานั้นทางโรงงานต้องจัดพาหนะไปขนส้มเขียวหวานเองทั้งหมด โดยพาหนะมีให้เลือกหลายรูปแบบ เช่น รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ หรือรถกระบะ ปัจจุบันโรงงานจะใช้พาหนะที่ว่างอยู่ในการไปขนส้มเขียวหวาน โดยไม่มีการวางแผนการจัดการการใช้พาหนะแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับปริมาณส้มเขียวหวาน ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนด้านการขนส่งสูงมาก

การวางแผนการผลิตในโรงงานคัดบรรจุ พบว่าเกิดปัญหาส้มเขียวหวานค้างอยู่ในโกดังจำนวนมาก เนื่องจากขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และอีกปัญหาหนึ่งที่ผู้วิจัยพบ คือการจัดสรรแรงงานในการทำงานโรงงานมักเกิดปัญหาต้นทุนทางด้านแรงงานสูง ทำให้เพิ่มต้นทุนการดำเนินการโดยรวมให้สูงขึ้นตามไปด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้นำการจัดการโซ่อุปทานมาใช้ โดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและการขนส่งในโซ่อุปทานส้มเขียวหวาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือเพื่อให้ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งพิจารณาถึงในด้านการวางแผนการเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องกับเวลา ในการคัดบรรจุของโรงงาน และปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงพิจารณาการเลือกใช้พาหนะให้เหมาะสมกับปริมาณการขนส่งทั้งสองช่วง โดยการสร้างเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer Linear Programming Model) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจการจัดการวางแผนการผลิตและขนส่งส้มเขียวหวานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการโซ่อุปทาน คือการประสานงานร่วมกันของหน่วยงานในองค์กรตามโซ่อุปทานทั้งการไหลวัตถุดิบ ข้อมูลข่าวสาร เพิ่มเติมเต็มอุปสงค์ของลูกค้าด้วยเป้าหมายการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งโซ่อุปทาน [2] ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาโดยสร้างเป็นรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งเป็นที่แพร่หลายในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศมากมาย ความสำเร็จของการนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านการวางแผนการผลิต รวมถึงการขนส่งสินค้าทั้งโซ่อุปทานนั้น ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดหาวัตถุดิบ และการขนส่งสารเคมีของโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้าต่าง ๆ [3] โดยแบบจำลองพิจารณาการวางแผนการผลิตและเครือข่ายการกระจายผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาข้อกำหนดทางด้านคุณภาพ ด้านการผลิต และด้านอุปสงค์ของลูกค้า เพื่อทำให้การผลิตและกระจายผลิตภัณฑ์เกิดความสมดุลทั้งโซ่อุปทาน สำหรับงานวิจัยทางด้านสินค้าเกษตรแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มก็ถูกใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งในหลายผลิตภัณฑ์เช่นกัน ประกอบด้วย ในโรงงานบรรจุผลไม้สด (Packaging Plant) [4] อุตสาหกรรมอาหารสด (Fresh Food Industry) [5] หรือในอุตสาหกรรมผลิตโยเกิร์ต [6] ส่วนงานวิจัยในประเทศที่กล่าวถึงความสำเร็จของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในภาคการเกษตร

ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนการปลูกและการขนส่งอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [7] โดยเน้นในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวที่มีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก

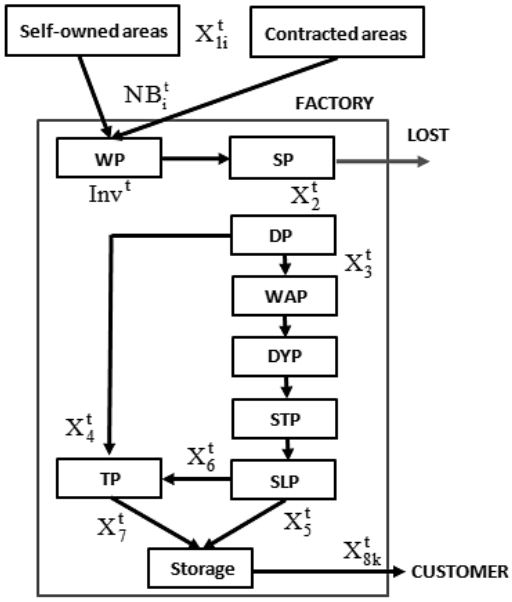
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Mula et al. [8] ได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในแก้ปัญหาทางด้านการวางแผนการผลิตในโซ่อุปทานและการขนส่ง จำนวน 127 เรื่อง ในระยะเวลา 25 ปี ถึงแนวทางการทำวิจัยที่มีความน่าสนใจในอนาคตที่จะมีความโดดเด่น คือพิจารณารูปแบบการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกันในโซ่อุปทาน

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้ทางโรงงานคัดบรรจุและเกษตรกรสามารถวางแผนการเก็บเกี่ยว และการขนส่งส้มเขียวหวาน รวมถึงการวางแผนการผลิตภายในโรงงานคัดบรรจุให้มีความสอดคล้องกับกำลังการผลิต และเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า โดยมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด (Minimize Total Cost)

3. โครงสร้างโซ่อุปทานของส้มเขียวหวาน

โครงสร้างโซ่อุปทานส้มเขียวหวานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานจากสวนจนถึงการคัดบรรจุส้มส่งให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

เริ่มจากโรงงานคัดบรรจุจะสั่งเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวาน (X_{1i}^t) จากสวนต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งสวนของทางโรงงาน (Self-owned Areas) และสวนของเกษตรกรในเครือข่าย (Contracted Areas) เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานจากต้นแล้วจะรวบรวมส้มทั้งหมดใส่ลงในตะกร้า ($NumB_i^t$) เพื่อรอขนส่งเข้าโรงงานคัดบรรจุ โดยทางโรงงานจะต้องจัดพาหนะไปขนส้มจากสวนมายังโรงงานเอง เมื่อส้มเขียวหวานมาถึงโรงงานแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการล้างทำความสะอาด (WP) แล้วเข้าสู่กระบวนการคัดส้มเขียวหวานที่ฟ่ามและไม่ได้คุณภาพออก (SP) ส้มเขียวหวานที่ได้คุณภาพ



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานของส้มเขียวหวาน

จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการเป่าด้วยลมร้อน (X_2^t) หลังจากนั้นส้มจะถูกแบ่งไปเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิว (X_3^t) ส่วนส้มเขียวหวานที่ไม่ต้องการเคลือบผิว (X_4^t) จะถูกส่งเข้าโกดังเก็บผลผลิตเพื่อรอส่งขายให้กับลูกค้าทันที

ส้มเขียวหวานที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว จะผ่านเครื่องเคลือบผิวด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (WAP) แล้วผ่านกระบวนการเป่าแห้ง (DYP) และเข้าสู่กระบวนการติดสติ๊กเกอร์ (STP) หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคัดเกรด (SLP) ในกระบวนการนี้จะมีส้มเขียวหวานที่ได้ตามขนาด (X_5^t) จะถูกส่งให้คนงานคัดบรรจุลงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของทางโรงงาน ส่วนส้มเขียวหวานที่ไม่ได้ขนาด (X_6^t) จะถูกรวมกับส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (X_7^t) แล้วส่งไปยังโกดังเก็บผลผลิตรอจำหน่ายให้กับลูกค้า ส้มเขียวหวานที่ได้ตามขนาดจะถูกคัดบรรจุลงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น กล่อง ตาข่าย และตะกร้าตามอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละราย เมื่อบรรจุเสร็จแล้วส้มจะถูกส่งเข้าสู่โกดังเก็บผลผลิต เมื่อถึงกำหนดที่ต้องส่งส้มเขียวหวานให้กับลูกค้าแต่ละราย (X_{8k}^t) ทางโรงงานจะจัดพาหนะในการขนส่งส้มไปยังลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในรูปที่ 1

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากโรงงานคัดบรรจุส้มเขียวหวานในจังหวัดเชียงใหม่ และกำแพงเพชรเป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นดังนี้

1. ทุกสวนส้มมีความพร้อมในการเก็บเกี่ยวทุกช่วงเวลาตลอดช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว

2. สวนแต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยว

3. พาหนะแต่ละประเภทพร้อมใช้งานทุกเวลา หากโรงงานต้องใช้พาหนะในการขนส่ง

4. กำหนดให้เริ่มต้นการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ในแต่ละกระบวนการไม่มีส้มเขียวหวานคงค้าง (WIP) อยู่ในกระบวนการผลิต

ในส่วนต่อไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการเก็บเกี่ยว และการขนส่งส้มเขียวหวาน สิ่งแรกที่อธิบาย คือกลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงสมการเป้าหมาย (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraints) ตามลำดับ

4.1 ดัชนี (Indices and Sets)

I กลุ่มสวนส้มที่สามารถเก็บเกี่ยวได้

I_P กลุ่มสวนส้มของโรงงาน

I_{PS} กลุ่มสวนส้มเขียวหวานในเครือข่าย

HP กลุ่มรอบเวลาในการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวาน

Cus กลุ่มลูกค้าที่สั่งส้มเขียวหวาน

Prd กลุ่มผลิตภัณฑ์ส้มเขียวหวาน

Typ กลุ่มของประเภทส้มเขียวหวาน

TraI กลุ่มพาหนะที่ใช้ในการขนส่งส้มจากสวนมายังโรงงาน

TraII กลุ่มพาหนะที่ใช้ในการขนส่งส้มจากโรงงานไปยังลูกค้า

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปร X_a โดยที่ a = 1, 2, …, 8 แสดงถึงปริมาณการไหลของส้มเขียวหวาน (Material Flow) ที่ต้องใช้ในแต่ละกระบวนการตั้งแต่การเก็บเกี่ยวผลส้มจากสวนเข้าสู่โรงงานคัดบรรจุจนถึงส่งให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

X^t_{1i} ปริมาณส้มที่เก็บเกี่ยวจากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม); $\forall i \in I_P \cup I_{PS}$

NB^t_i ปริมาณส้มที่เก็บเกี่ยวจากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม); $\forall i \in I_P \cup I_{PS}$

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้ยานพาหนะในการขนส่งส้มเขียวหวาน คือ

TI^t_v พาหนะที่ใช้ขนส่งจากสวนมายังโรงงานด้วยพาหนะ v เมื่อสิ้นสุดเวลา t (จำนวนเที่ยว)

TII^t_{wk} พาหนะที่ใช้ขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้า k ด้วยพาหนะ w เมื่อสิ้นสุดเวลา t (จำนวนเที่ยว)

สุดท้ายเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของส้มเขียวหวานที่ต้องส่งเข้าโรงงานเพื่อทำการผลิตในขั้นตอนต่างๆ (X_2-X_8) เป็นดังนี้

Inv^t ปริมาณส้มที่ถูกส่งเข้าโรงงานและคงค้างอยู่ในโกดังสินค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

LI^t_i ปริมาณแรงงานที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวส้มในสวนที่ i เมื่อเวลา t (ชั่วโมงแรงงาน)

LII^t_i ปริมาณแรงงานที่ใช้ต้องในการบรรจุส้มเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เมื่อเวลา t (ชั่วโมง)

X^t_2 ปริมาณส้มที่ถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตเมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

X^t_3 ปริมาณส้มที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว (กิโลกรัม)

X^t_4 ปริมาณส้มที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิว (กิโลกรัม)

X^t_5 ปริมาณส้มที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิวและได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X^t_6 ปริมาณส้มที่ต้องผ่านกระบวนการเคลือบผิวแต่ไม่ได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X^t_7 ปริมาณส้มที่ไม่ได้เคลือบรวมกับปริมาณส้มที่ไม่ได้ตามเกรดที่ต้องการ (กิโลกรัม)

X^t_{8k} ปริมาณส้มเขียวหวานทั้งหมดที่ต้องส่งให้ลูกค้า k เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

Stg^t ปริมาณส้มที่รอส่งให้ลูกค้าและคงค้างอยู่ในโกดังเก็บผลิตภัณฑ์ เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary Variables) เพื่อเลือกสวนที่จะใช้ในการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวาน ดังต่อไปนี้

$$HA^t_i = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อเลือกสวนที่ i ในการเก็บเกี่ยว} \\ \text{เมื่อเวลา t; } \forall i \in I_P \cup I_{PS} \\ 0 \text{ อื่นๆ} \end{cases}$$

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

CH_i ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้สวน i ในการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวาน (บาท/สวน)

CTI_v ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้พาหนะ v ในการขนส่งส้มจากสวนมายังโรงงาน (บาท/เที่ยว)

$CTII_w$ ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้พาหนะ w ในการขนส่งส้มจากโรงงานไปยังลูกค้า (บาท/เที่ยว)

CI ต้นทุนค่าดูแลส้มที่คงค้างอยู่ในโกดัง (บาท/สัปดาห์)

CII ต้นทุนค่าดูแลส้มที่รอส่งให้ลูกค้าคงค้างอยู่ในโกดัง (บาท/สัปดาห์)

CLI ต้นทุนค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยวส้ม (บาท/สัปดาห์)

CLII ต้นทุนค่าแรงงานในการบรรจุส้ม (บาท/สัปดาห์)

C^t_i ปริมาณส้มที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากสวน i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

CVI_v ปริมาณตะกร้าส้มที่สามารถบรรทุกได้มากที่สุดของพาหนะ v (จำนวนตะกร้า)

$CVII_v$ ปริมาณส้มที่สามารถบรรทุกได้มากที่สุดของพาหนะ w ในการขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละราย (กิโลกรัม)

CCT^t ปริมาณส้มที่สามารถเข้าเครื่องเคลือบได้ในแต่ละช่วงเวลา t (กิโลกรัม)

D^t_{klm} อุปสงค์ส้มผลิตภัณฑ์ m ประเภท l ที่ลูกค้า k ต้องการ เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

RoB อัตราส่วนปริมาณส้มต่อหนึ่งตะกร้า

RoC อัตราส่วนส้มที่ต้องผ่านการเคลือบผิว

RoNC อัตราส่วนส้มที่ไม่ต้องผ่านการเคลือบผิว

RoCI อัตราส่วนส้มเคลือบผิวที่ได้ตามเกรด

RoNCI อัตราส่วนส้มเคลือบผิวที่ไม่ได้ตามเกรด

RoD อัตราส่วนส้มที่ฟ่ามแล้วถูกคัดออก

RoLI อัตราส่วนค่าแรงงานในการเก็บเกี่ยวส้ม

RoLII อัตราส่วนค่าแรงงานในการแยกบรรจุส้ม

4.4 ข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดสำหรับการวางแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่งส้มเขียวหวานเข้าสู่โรงงานแปรรูป รวมถึงการป้อนอุปสงค์ของลูกค้า เป็นดังนี้

ผู้วิจัยได้กำหนดให้ทางโรงงานจะต้องเลือกเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานจากสวนของทางโรงงานที่มีก่อน และในแต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในข้อจำกัด (1)

$$\sum_{t \in HP} HA^t_i = 1; \forall i \in I_P \quad (1)$$

หากปริมาณส้มจากสวนของโรงงานไม่เพียงพอ ทางโรงงานสามารถที่จะเก็บเกี่ยวส้มจากสวนของเกษตรกรในเครือข่ายได้ โดยที่แต่ละสวนสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียง 1 ครั้งตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวเช่นกัน ดังนี้แสดงในข้อจำกัด (2)

$$\sum_{t \in HP} HA^t_i \leq 1; \forall i \in I_{PS} \quad (2)$$

ปริมาณส้มที่ทางโรงงานสามารถเก็บเกี่ยวได้ในแต่ละสวน ในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

$$X^t_{li} \leq C^t_i HA^t_i; \forall i \in I_P \cup I_{PS}, \forall t \in HP \quad (3)$$

ปริมาณแรงงานที่โรงงานต้องจัดหา เพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานในแต่ละสวน ทั้งสวนของทางโรงงานและสวนของเกษตรกรในเครือข่ายในแต่ละช่วงเวลา t สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$X_{li}^{t} = \mathrm{RoLI}(LI_{i}^{t}); \forall i \in I_{P} \cup I_{PS}, \forall t \in HP \qquad (4)$$

เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานจากต้นเรียบร้อยแล้ว เกษตรกรจะนำส้มใส่ถุงกระสอบ เมื่อเต็มถุงกระสอบแล้ว เกษตรกรจะเทส้มทั้งหมดลงในตะกร้าที่วางอยู่ตามทาง เพื่อรอขนส่งเข้าโรงงานต่อไป ดังแสดงในข้อจำกัด (5)

$$X_{li}^{t} = \mathrm{RoB}(NB_{i}^{t}); \forall i \in I_{P} \cup I_{PS}, \forall t \in HP \qquad (5)$$

ลำดับถัดไปเป็นการขนส่งส้มเขียวหวานจากสวนเข้าสู่โรงงานเพื่อทำการคัดบรรจุ โดยในข้อจำกัด (6) เป็นการกำหนดรูปแบบของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

$$\sum_{i \in I_{P} \cup I_{PS}} NB_{i}^{t} \leq \sum_{v \in Tral} \mathrm{CVI}_{v} TI_{v}^{t}; \forall t \in HP \qquad (6)$$

เมื่อตะกร้าส้มเขียวหวานมาถึงโรงงานแล้ว คนงานที่เก็บเกี่ยวผลส้มจะต้องมาทำการเทส้มออกจากตะกร้าเพื่อล้างน้ำทำความสะอาดผิวส้ม และคัดผลส้มที่ฟ่ามและไม่ได้คุณภาพออก แล้วผลส้มจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป หากคนงานทำการล้างส้มไม่เสร็จ ผลส้มจะถูกกองไว้ในตะกร้า เพื่อทำการล้างทำความสะอาดในวันถัดไป

$$\mathrm{Inv}^{t} = \mathrm{Inv}^{t-1} + \sum_{i \in I_{P} \cup I_{PS}} \mathrm{RoD}(NB_{i}^{t}) - X_{2}^{t}; \forall t \in HP \qquad (7)$$

ข้อจำกัด (7) เป็นการจัดสมดุลของส้มเขียวหวาน (Mass Balancing) ผลส้มที่ได้คุณภาพจะถูกส่งเข้ากระบวนการถัดไป หากคนงานทำงานไม่เสร็จจะมีผลส้มคงค้างอยู่ในกระบวนการนี้ เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา t ส้มจะถูกส่งไปเป่าด้วยลมร้อนจนแห้ง หลังจากนั้นส้มจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวส้ม (X_{3}^{t}) แต่จะมีส้มบางส่วนที่ลูกค้าไม่ต้องการให้ทางโรงงานเคลือบผิวส้ม (X_{4}^{t}) ส้มเหล่านี้ก็จะถูกส่งเข้าไปเก็บในโกดัง เพื่อรอส่งให้กับลูกค้าทันที ดังแสดงในข้อจำกัด (8)

$$X_{2}^{t} = \mathrm{RoC}(X_{3}^{t}) + \mathrm{RoNC}(X_{4}^{t}); \forall t \in HP \qquad (8)$$

ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัด (9) และข้อจำกัด (10) เพื่อกำหนดปริมาณส้มเขียวหวานที่เข้าเครื่องเคลือบผิวส้ม จะต้องไม่เกินปริมาณที่เครื่องสามารถทำงานได้ และเพื่อสร้างความมั่นใจว่าเครื่องเคลือบผิวส้มจะไม่ทำงานเกินกำลังของเครื่องจักร

$$X_{3}^{t} \leq \mathrm{CCT}^{t}; \forall t \in HP \qquad (9)$$

และ

$$\sum_{t \in HP} X_{3}^{t} \leq \sum_{t \in HP} \mathrm{CCT}^{t} \qquad (10)$$

ส้มจะถูกเป่าแห้งอีกครั้งหนึ่ง แล้วส่งเข้ากระบวนการติดสติ๊กเกอร์บนผิวส้ม หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคัดเกรดโดยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อแยกขนาดของส้ม ส้มที่ได้ขนาด (X_{5}^{t}) จะถูกรวบรวมเพื่อแยกบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ส่วนส้มที่ไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้ (X_{6}^{t}) จะถูกส่งเข้าโกดังสินค้า เพื่อรอส่งให้กับลูกค้าที่ต้องการส้มเขียวหวานที่มีเกรดรองลงมา ดังแสดงในข้อจำกัด (11) และข้อจำกัด (12)

$$X_{3}^{t} = \mathrm{RoCI}(X_{5}^{t}) + \mathrm{RoNCI}(X_{6}^{t}); \forall t \in HP \qquad (11)$$

และ

$$X_{4}^{t} + X_{6}^{t} = X_{7}^{t}; \forall t \in HP \qquad (12)$$

ข้อจำกัด (12) แสดงปริมาณส้มเขียวหวาน (X_{7}^{t}) ที่ไม่ได้เคลือบผิว และที่ไม่ได้ตามขนาดที่กำหนดไว้จะถูกรวมและส่งเข้าคลังสินค้าเพื่อรอส่งให้กับลูกค้าต่อไป

เมื่อส้มเขียวหวานถูกคัดขนาดแล้ว ส้มจะถูก

รวบรวมแล้วส่งเข้าแผนกแยกบรรจุตามผลิตภัณฑ์ โดยใช้แรงงานคนในการคัดแยกบรรจุ ผู้วิจัยกำหนดข้อจำกัด (13) และข้อจำกัด (14) เพื่อกำหนดปริมาณส้มที่ต้องเคลือบผิว และมีขนาดส้มตรงตามที่ต้องการของลูกค้า โดยทางโรงงานต้องผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลา t ดังนี้

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

และ

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

ส้มที่ไม่ได้ขนาดจะสามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ โดยลูกค้ากลุ่มนี้จะนำส้มไปขายในตลาดทั่วไป จึงไม่ต้องการส้มที่มีราคาแพงมาก ดังนั้น ผู้วิจัยกำหนดข้อจำกัด (15) และข้อจำกัด (16) เพื่อกำหนดปริมาณส้มที่ไม่ได้ตามขนาด ต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ดังนี้

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

และ

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

ปริมาณแรงงานที่โรงงานจะต้องจัดหาเพื่อทำการคัดบรรจุส้มเขียวหวานเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลา t สามารถอธิบายได้ในจ้อจำกัด (17) ดังนี้

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

ส้มเขียวหวานทุกประเภทเมื่อผ่านกระบวนการเสร็จสิ้นแล้ว จะถูกส่งเข้าโกดังเก็บผลผลิตเพื่อรอส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในข้อจำกัด (18) ถึงข้อจำกัด (20)

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

ข้อจำกัด (18) เป็นการจัดสมดุลของส้มที่เข้ามาในโกดังเก็บผลผลิต และส้มที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้ทางโรงงานทราบถึงปริมาณส้มที่คงค้าง เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา t

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

ข้อจำกัด (19) เพื่อให้ทางโรงงานสามารถตรวจสอบปริมาณส้มทั้งหมดที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย ต้องมีปริมาณเพียงพอกับอุปสงค์ที่ลูกค้าแต่ละรายสั่งเมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา ส่วนข้อจำกัด (20) เพื่อสร้างความมั่นใจว่าปริมาณส้มเขียวหวานทั้งหมดที่ส่งให้กับลูกค้าแต่ละรายจะมีเพียงพอกับอุปสงค์ของลูกค้าตลอดช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว

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

เมื่อตรวจสอบปริมาณส้มเขียวหวานที่ต้องส่งให้กับลูกค้าแต่ละรายว่าถูกต้องตามอุปสงค์ของลูกค้าแล้ว โรงงานจะทำการขนส้มทั้งหมดส่งไปยังลูกค้า โดยข้อจำกัด (21) เป็นการกำหนดรูปแบบของพาหนะที่จะต้องใช้ในการขนส่งส้มเขียวหวานจากโรงงานในแต่ละช่วงเวลา t ไปยังลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งส้มเขียวหวานต่ำที่สุด ดังนี้

$$X_{8k}^t \leq \sum_{w\in TraII} CVII_w TII_{wk}^t; \forall k \in Cus, \forall t \in HP \quad (21)$$

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

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

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

$$TranI_v^t, TranII_{wk}^t \geq 0 \text{ and integer}; \forall v,w,k,t \quad (25)$$

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

4.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด (Total Cost Minimization) โดยต้องสามารถวางแผนการเก็บเกี่ยว รวมถึงการขนส่งส้มเขียวหวานทั้งสองช่วงให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด และยังต้องสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ โดยต้นทุนรวมในการดำเนินการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

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

- ต้นทุนจากการเก็บเกี่ยว (Harvesting Cost, C^{Har})

เป็นต้นทุนการเพาะปลูกที่เกิดขึ้นจากการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานสวนที่ i เช่น ค่าเตรียมดิน ค่าบำรุงรักษา ค่ารดน้ำ เป็นต้น ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

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

- ต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation Cost, C^{Trans})

เมื่อส้มถูกเก็บเกี่ยวเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องส่งเข้าโรงงานคัดบรรจุ โดยผู้วิจัยกำหนดให้ $COTI_v$ คือต้นทุนค่าขนส่งส้มจากสวนมายังโรงงาน เมื่อโรงงานใช้พาหนะ v ในการขนส่ง ส่วน $COTII_w$ คือต้นทุนค่าขนส่งส้มจากโรงงานไปยังลูกค้า เมื่อใช้พาหนะ w ในการขนส่ง ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการขนส่งส้มเขียวหวาน สามารถอธิบายได้ดังนี้

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

- ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง (Inventory Cost, C^{Inv})

ให้ COI เป็นต้นทุนค่าวัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในกระบวนการล้างทำความสะอาด ส่วน COII เป็นต้นทุนค่าพัสดุคงคลังที่คงค้างอยู่ในโกดังเก็บผลผลิต ดังนั้นต้นทุนค่าพัสดุคงคลังสามารถอธิบายได้ดังนี้

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

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

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการใช้แรงงานในการเก็บเกี่ยวส้ม โดยกำหนดให้ CLI คือต้นทุนค่าแรงงานที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวส้ม ส่วน CLII คือต้นทุนค่าแรงงานในการคัดบรรจุส้ม ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงานรวมสามารถอธิบายได้ดังนี้

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

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือเพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด แสดงในสมการที่ (27)

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

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

จากหัวข้อที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [9] ในการเขียนแบบจำลองการวางแผนการผลิตและการขนส่งในโซ่อุปทานส้มเขียวหวาน โดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 (http://www.ilog.com) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อคุณภาพของผลลัพธ์ ผู้วิจัยได้มีการใช้ Default Setting โดยการเพิ่ม Termination Criteria กำหนดให้โปรแกรม CPLEX 8.0 หาผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ดีที่สุด (Optimal Integer Solution) จนกว่า

ผลลัพธ์ที่ได้จะให้ค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) มีค่าน้อยที่สุด

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

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของแบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นกับต้นทุนการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีต้นทุนการดำเนินการอยู่ที่ 13,041,091 บาท/ปี จากผลลัพธ์แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 174,979 บาท/ปี หรือสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึงร้อยละ 1.36 โดยผลลัพธ์ของคำตอบสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานคัดบรรจุทั้งสองด้าน กล่าวคือ สามารถวางแผนการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งส้มทั้งสองช่วง 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 ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาโซ่อุปทานของส้มเขียวหวานที่ประสบปัญหา 2 ด้านใหญ่ๆ คือการขนส่งส้มเขียวหวาน ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานไม่มีการวางแผนการจัดการการใช้พาหนะแต่ละประเภทให้เหมาะสมกับปริมาณส้มเขียวหวาน ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนด้านการขนส่งสูงมาก และอีกปัญหาหนึ่ง คือการวางแผนการผลิตในโรงงานคัดบรรจุที่มีการผลิตไม่สอดคล้องกับปริมาณส้มที่เก็บเกี่ยวมา ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือคำนึงถึงในด้านการวางแผนการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวาน การขนส่ง จนถึงกระบวนการคัดบรรจุส้มภายในโรงงาน เพื่อให้มีสัดส่วนการเก็บเกี่ยวและการผลิตสอดคล้องกับเวลา และปริมาณความต้องการของลูกค้า และเพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนการผลิต รวมถึงการตัดสินใจของโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบระบบการเก็บเกี่ยวรวมถึงการขนส่งส้มเขียวหวาน เพื่อให้ทางโรงงานเห็นต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดได้ และช่วยในการปรับแผนการเก็บเกี่ยวและขนส่ง ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการวางแผนการคัดบรรจุส้มส่งให้กับลูกค้าได้ ซึ่งโปรแกรม CPLEX 8.0 ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของจำนวนเต็มที่เหมาะสมที่สุด คุณภาพของผลลัพธ์สูงมาก โดยมีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียง 0.05% เท่านั้น จากแบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำกว่าก่อนการใช้แบบจำลอง 1.36% โดยสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ 4.79% และสามารถลดต้นทุนภายในโรงงานคัดบรรจุลงได้ 0.52%

ปัญหาในเรื่องของขนาดถนนที่พาหนะสามารถวิ่งได้ก็เป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะดำเนินการต่อเนื่องจากในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาในงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้พิจารณาขนาดถนนที่พาหนะแต่ละขนาดสามารถใช้วิ่งเพื่อการขนส่งส้มเขียวหวานจากสวนมายังโรงงาน ซึ่งในแต่ละสวนที่โรงงานเก็บเกี่ยวส้มก็มีขนาดถนนที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้พาหนะให้เหมาะสมกับขนาดถนนในการขนส่งจึงเป็นสิ่งสำคัญอีกด้านหนึ่งที่จะมีส่วนช่วยให้โรงงานสามารถเลือกขนาดพาหนะให้เหมาะสมกับถนนด้วยต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะพิจารณาเส้นทางการขนส่งส้มเขียวหวานไปส่งยังจังหวัดต่างๆ 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 thoughout 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.