แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตรวมในโซ่อุปทานสับปะรดพันธุ์ควีน

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ[1,2]* วงศ์ผกา วงศ์รัตน์[3] ปริญญา พัฒนวสันต์พร[1] และ สมยศ เชิญอักษร[4,5]

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นกับสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มสับปะรดพันธุ์ควีน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ด้านหลัก คือ ด้านการจัดการด้านแปลงปลูก ซึ่งเกษตรกรสามารถใช้แปลงปลูกได้เพียงปีละหนึ่งครั้งเท่านั้น โดยเกษตรกรต้องรอเก็บเกี่ยวและเก็บหน่อสับปะรดเสร็จเรียบร้อยแล้วถึงสามารถใช้เป็นแปลงปลูกสับปะรดในรุ่นถัดไป รวมถึงการวางแผนการใส่ปุ๋ยและฉีดสารเร่งดอกให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการและสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่สับปะรดกำลังเจริญเติบโต ปัญหาอีกด้านหนึ่ง คือ การหมุนเวียนใช้แปลงปลูก ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่เกษตรกรรายใหม่ประสบอยู่ หากเกษตรกรมีจำนวนแปลงปลูกมาก การหมุนเวียนใช้แปลงปลูกให้มีผลผลิตออกมาอย่างต่อเนื่องก็เป็นเรื่องที่ลำบากเช่นกัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มโดยสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการวางแผนการการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ยและฉีดสารเร่งดอก ตลอดจนการหมุนเวียนใช้แปลงปลูกให้มีผลผลิตออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากโปรแกรม CPLEX แสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 2.47% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนก่อนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ: การจัดการโซ่อุปทาน โลจิสติกส์ สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี แบบจำลองเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม

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

รับเมื่อ 20 กันยายน 2555 ตอบรับเมื่อ 27 ธันวาคม 2555

Mixed-integer Linear Programming for Aggregate Planning in Queen Pineapple's Supply Chain

Chaimongkol Limpianchob[1,2]* Wongphaka Wongrat[3] Parinya Pattanawasanporn[1] and Somyot Chirnaksorn[4,5]

Abstract

The problems of supply chain and logistics for Phetchaburi pineapple, which is one of the Queen pineapple species, consists mainly of planting management and the land plantation cycle. Farmers can use the land for planting only once a year and must wait for harvesting to be completed before the land can be used for the next crop. In addition, balancing the planning of fertilization and the injection of florigen period planning is important since it is related to the time the plant needs to grow. The land planting cycle is another main problem faced by new farmers. If farmers have many planting areas, cycling the fields for successive production is difficult as well. To solve the above problems, mixed-integer linear programming models were developed by creating mathematical models, starting from the planning of planting to fertilizing and the injection of florigen, including cycling the fields for successive production. Optimum results were obtained from the CPLEX 8.0 program, which showed that total cost qA reduced to 2.47% when compared to the cost before using the models.

Keywords: Supply Chain Management, Logistics Phetchaburi Pineapple, Mixed-integer Linear Programming

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

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

3 Lecturer, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University.

4 Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University.

5 Center of Excellence-Logistics, Kasetsart University.

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

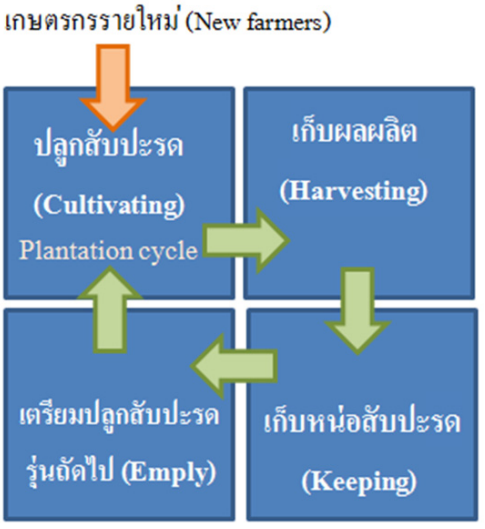
Received 20 September 2012; Accepted 27 December 2012

1. บทนำ

สับปะรดเป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้และบริเวณตอนกลางและตอนใต้ของประเทศบราซิล สับปะรดเป็นพืชที่ทำรายได้และชื่อเสียงให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก [1] สับปะรดที่ปลูกในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด สำหรับพันธุ์สับปะรดที่ใช้ในด้านการรับประทานผลสดเป็นหลักจะอยู่ในกลุ่มควีน

สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี เป็นพันธุ์หนึ่งที่อยู่ในกลุ่มควีนที่พัฒนามาจากศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบุรี และศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จนได้สับปะรดพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง มีรสชาติตรงตามความต้องการของตลาด และสามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อม สามารถใช้เป็นพันธุ์ปลูกเพื่อรับประทานผลสดได้ มีความต้องการสูงจากลูกค้า ราคาขายต่อผลสดสูงกว่าพันธุ์สวีและภูเก็ตที่อยู่ในกลุ่มควีนเหมือนกัน แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่นิยมปลูกสับปะรดพันธุ์นี้ เนื่องจากเกษตรกรขาดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพตั้งแต่การจัดหาหน่อสับปะรด การปลูก จนถึงการเก็บเกี่ยว รวมถึงการวางแผนการใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรด ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี กล่าวคือ การวางแผนการใช้ที่ดินที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้สามารถมีผลผลิตสับปะรดออกได้ทุกปีอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับเกษตรกรรายใหม่เมื่อปลูกสับปะรดในไร่ที่ 1 (Cultivating) แล้วนั้น ไร่ที่ 1 จะสามารถเก็บผลผลิต (Harvesting) ได้ในอีก 1 ปี และสามารถเก็บหน่อสับปะรด (Keeping) ไปปลูกได้ในอีกปีถัดไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้องใช้เวลาถึง 2 ปี เกษตรกรจึงจะสามารถใช้ไร่ที่ 1 ในการปลูกสับปะรดในรุ่นถัดไปได้ หากเกษตรกรมีจำนวนไร่ที่มาก การจัดการการใช้ที่ดินให้หมุนเวียนแล้วมีผลผลิตออกมาอย่างต่อเนื่องก็เป็นเรื่องที่ลำบากเช่นกัน

ดังนั้น การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิผลจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เนื่องจากทุกส่วนภายในองค์กร รวมถึงภายนอกองค์กรมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยง และมีผลกระทบซึ่งกันและกัน [2]



รูปที่ 1 การเวียนใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการจัดการโซ่อุปทานมาใช้โดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตรวมสำหรับโซ่อุปทานสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อให้ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด ซึ่งพิจารณาถึงในด้านการวางแผนการปลูกสัดส่วนและรอบเวลาการใส่ปุ๋ย การฉีดสารเร่งดอกและการเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องกับเวลา และปริมาณของอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงพิจารณาการเวียนใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรดให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างต่อเนื่อง โดยการสร้างเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer Linear Programming Model) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ที่เหมาะสมของสับปะรดพันธุ์ควีน และสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกสับปะรดพันธุ์นี้ให้มากยิ่งขึ้น

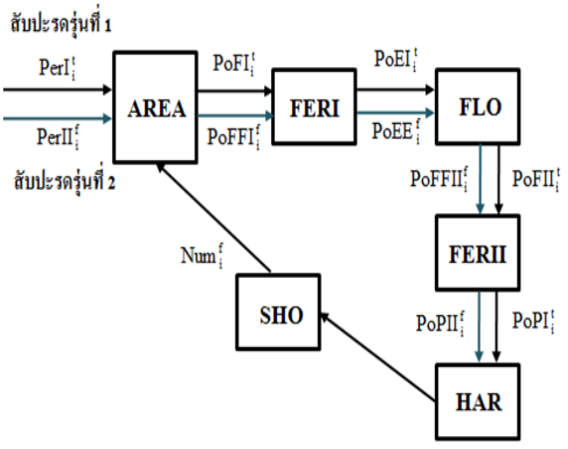
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยด้านการจัดการโซ่อุปทานได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบันนี้ ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนในการพัฒนาระบบการจัดการโซ่อุปทาน [3] หากจะกล่าวถึงการนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาที่มีความยุ่งยากในการตัดสินใจ และข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อการบริโภค เพื่อช่วยให้การวางแผนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้น เป็นที่แพร่หลายอย่างมากในงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ประกอบด้วย แบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มผสมที่นำไปใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยววัตถุดิบจากแปลงปลูกเข้าสู่โรงงานผลิต เช่น ในโรงงานบรรจุผลไม้สด (Packaging Plant) [4] โรงงานทำน้ำองุ่น (Grape Processing) [5] เพื่อแก้ปัญหาการเก็บผลไม้แต่ละชนิดที่มีช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวไม่เท่ากัน และเพื่อหาปริมาณการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ

เมื่อกล่าวถึงการวางแผนการปลูกและการเก็บเกี่ยว สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ การวางแผนการใช้ประโยชน์ของแปลงปลูกควบคู่ไปด้วย เนื่องจากว่าทั้งแปลงปลูก การปลูก และการเก็บเกี่ยวล้วนมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน หากสามารถจัดการระบบได้ดีก็สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น [6] ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดตารางการปลูกและการเก็บเกี่ยว เช่น งานวิจัยของ Luis, et al. [7] โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการใช้ที่ดินปลูกต้นยูคาลิปตัสให้เกิดการหมุนเวียนของการเก็บเกี่ยวและปลูกต้นยูคาลิปตัสให้มากที่สุดในประเทศสเปน ซึ่งขาดการพิจารณาการหมุนเวียนการใช้ที่ดินในการปลูกต้นยูคาลิปตัสซ้ำในช่วงฤดูกาลปลูก และจากการวางแผนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถเพิ่มการเก็บเกี่ยวต้นยูคาลิปตัสได้ถึง 64% เมื่อเทียบกับการจัดการก่อนการใช้แบบจำลอง

ดังนั้นผู้วิจัยจะใช้งานวิจัยของ Luis, et al. [7] ที่ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการใช้ที่ดินแบบหมุนเวียนให้เกิดการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้มากที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้น สามารถช่วยพิจารณาการหมุนเวียนการใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีให้มีการเก็บเกี่ยวมากที่สุดในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว



รูปที่ 2 โครงสร้างโซ่อุปทานของสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี

3. โครงสร้างโซ่อุปทานของสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตั้งแต่เกษตรกรรายใหม่เริ่มปลูกหน่อสับปะรดรุ่นที่ 1 ($PerI_i^t$) ลงในแปลงปลูก (AREA) ต่างๆ หลังจากทำการปลูกสับปะรดไปแล้ว 2 เดือนก็จะทำการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 ($PoFI_i^t$) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของสับปะรด เมื่อผ่านไป 6 เดือนหลังจากปลูก เกษตรกรจะฉีดสารเร่งดอก (FLO) เพื่อเร่งให้สับปะรดออกดอกพร้อมกัน ($PoEI_i^t$) ทั้งแปลง และเมื่อผ่านไป 7 เดือนหลังจากการปลูกสับปะรด เกษตรกรจะหว่านปุ๋ยอีกครั้งหนึ่ง ($PoFII_i^t$) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผลผลิต หลังจากนี้เกษตรกรจะปล่อยให้ผลสับปะรดเจริญเติบโตตามธรรมชาติ และเพื่อขจัดสารตกค้างที่มีอยู่ในสับปะรดให้หมดไปก่อน การเก็บเกี่ยว (HAR) จนครบ 12 เดือนหลังจากการปลูก สับปะรดพันธุ์เพชรบุรีจะเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ($PoPI_i^t$) ส่งขายให้กับลูกค้า

เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลสับปะรดแล้ว เกษตรกรจะปล่อยให้ต้นสับปะรดเจริญเติบโตต่อไปอีก 12 เดือน เพื่อเก็บหน่อสับปะรด (Num_i^f) ไปปลูกเป็นสับปะรดรุ่นที่ 2 ต่อไป แต่ปริมาณหน่อที่สามารถเก็บไปปลูกได้ในบางครั้งมีไม่เพียงพอ เกษตรกรสามารถสั่งซื้อหน่อสับปะรดมา ($PerII_i^f$) ปลูกเพิ่มได้เช่นกัน เกษตรกรจะปลูกหมุนเวียนแบบนี้ไปเรื่อยๆ เป็นวงจร แสดงในรูปที่ 2

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นกรณีศึกษา โดยผู้วิจัยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นดังนี้

1) ทุกแปลงปลูกมีความพร้อมในการลงหน่อ และผลผลิตที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จะต้องคงที่ทุกช่วงเวลาตลอดช่วงฤดูการปลูก โดยกำหนดให้แปลงปลูก 1 ไร่ สามารถปลูกหน่อสับปะรดได้จำนวน 8,000 ต้น

2) หน่อสับปะรดทุกขนาดให้ผลผลิตคงที่เสมอทุกช่วงเวลา และปริมาณหน่อที่สามารถเก็บไปปลูกได้คงที่ทุกช่วงเวลา

3) กำหนดให้ในการคำนวณเริ่มต้นในแต่ละแปลงปลูกไม่มีต้นสับปะรดคงค้าง (WIP) อยู่ในแปลงปลูก

ในส่วนต่อไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการเก็บเกี่ยว และการเวียนใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรด สิ่งแรกที่อธิบายคือ กลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงสมการเป้าหมาย (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraints)

4.1 ดัชนี (Indices and Sets)

AR กลุ่มของแปลงปลูก

CPI กลุ่มของรอบเวลาการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 1

CPII กลุ่มของรอบเวลาการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 2

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

เพื่อเป็นตัวแทนในการปลูกและเก็บเกี่ยวสับปะรดในแต่ละช่วงเวลา สำหรับการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 1 โดยที่ $t \in CPI$ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$PerI^t_i$ จำนวนหน่อสับปะรดรุ่นที่ 1 ที่สั่งซื้อและปลูกลงในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก t (หน่อสับปะรด)

$PoFI^t_i$ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 1 สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 1 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก t (กิโลกรัม)

$PoFII^t_i$ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 2 สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 1 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก t (กิโลกรัม)

PoE^t_i ปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีด สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 1 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก t (กิโลกรัม)

$PoPI^t_i$ ปริมาณผลผลิตสับปะรดรุ่นที่ 1 ที่ปลูกในไร่ที่ i เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการปลูกและเก็บเกี่ยวสับปะรดรุ่นที่ 2 โดยที่ $f \in CPII$ เป็นดังต่อไปนี้

Num^f_i จำนวนหน่อสับปะรดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวเพื่อปลูกเป็นสับปะรดรุ่นที่ 2 จากไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก f (หน่อสับปะรด)

$PerII^f_i$ จำนวนหน่อสับปะรดรุ่นที่ 2 ที่สั่งซื้อและปลูกลงในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก f (หน่อสับปะรด)

$PoFFI^f_i$ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 1 สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 2 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก f (กิโลกรัม)

$PoFFII^f_i$ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ครั้งที่ 2 สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 2 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก f (กิโลกรัม)

$PoEE^f_i$ ปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีด สำหรับหน่อสับปะรดรุ่นที่ 2 ในไร่ที่ i เมื่อเวลาการปลูก f (กิโลกรัม)

$PoPII^f_i$ ปริมาณผลผลิตสับปะรดรุ่นที่ 2 ที่ปลูกในไร่ที่ i เมื่อสิ้นสุดเวลา f (กิโลกรัม)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary Variables) เพื่อเลือกแปลงที่จะใช้ในการปลูกสับปะรดในแต่ละรุ่น ดังต่อไปนี้

$$AreaI^t_i = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อเลือกไร่ที่ i ในการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 1 เมื่อเวลา t } ; \forall i \in AR \\ 0 \text{ อื่นๆ} \end{cases}$$

$$AreaII^f_i = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อเลือกไร่ที่ i ในการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 2 เมื่อเวลา f}; \forall i \in AR \\ 0 \text{ อื่นๆ} \end{cases}$$

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

Cap_i จำนวนหน่อสับปะรดที่สามารถปลูกได้ทั้งหมดในไร่ที่ i (หน่อสับปะรด)

CapE ปริมาณสารเร่งดอกทั้งหมดที่สามารถฉีดได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

CapFI ปริมาณปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ในครั้งที่ 1 ที่สามารถใส่ได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

CapFII ปริมาณปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ในครั้งที่ 2 ที่สามารถใส่ได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

$DemandI^t$ ปริมาณอุปสงค์สับปะรดรุ่นที่ 1 ของลูกค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

$DemandII^t$ ปริมาณอุปสงค์สับปะรดรุ่นที่ 2 ของลูกค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

RoE อัตราการใช้สารเร่งดอกต่อหน่อสับปะรด (เปอร์เซ็นต์)

RoFI อัตราการใช้ปุ๋ยทางใบครั้งที่ 1 ต่อหน่อสับปะรด (เปอร์เซ็นต์)

RoFII อัตราการใช้ปุ๋ยทางดินครั้งที่ 2 ต่อหน่อสับปะรด (เปอร์เซ็นต์)

RoG อัตราการเจริญเติบโตของหน่อสับปะรด (เปอร์เซ็นต์)

RoL อัตราการเก็บเกี่ยวหน่อสับปะรดที่สามารถใช้ปลูกได้ในรุ่นที่ 2 (เปอร์เซ็นต์)

SOA ต้นทุนการบำรุงและดูแลรักษาไร่สับปะรด (บาท/ไร่)

SOC ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด (บาท/หน่อ)

SOF ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใส่ให้กับต้นสับปะรด (บาท/กิโลกรัม)

SOE ต้นทุนค่าสารเร่งดอก (บาท/กิโลกรัม)

4.4 ข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดหรือข้อกำหนดสำหรับการวางแผนการปลูกและเก็บเกี่ยวสับปะรด และการป้อนอุปสงค์ของลูกค้า รวมถึงการเวียนใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรด เป็นดังนี้

แปลงปลูกแต่ละแปลงที่เกษตรกรจะใช้ในการปลูกหน่อสับปะรดจะสามารถปลูกได้เพียง 1 ครั้งในการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 1 ดังแสดงในข้อจำกัด (1)

$$\sum_{t\in CPI:t\le 23} AreaI_i^t \le 1 \; ; \forall i \in AR \qquad (1)$$

หากเมื่อพ้นกำหนดช่วงเวลาในการปลูกสับปะรดรุ่นที่ 1 ไปแล้ว เกษตรกรจะไม่สามารถปลูกสับปะรดได้อีกจนกว่าจะเริ่มต้นการปลูกในรุ่นที่ 2 แสดงได้ดังนี้

$$AreaI_i^t = 0 \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI : t > 23 \qquad (2)$$

ปริมาณหน่อสับปะรดที่ใช้ในการปลูกในแต่ละไร่ ต้องไม่เกินจำนวนที่สามารถปลูกได้ เพื่อให้เกษตรกรมั่นใจได้ว่าจำนวนหน่อสับปะรดที่สั่งซื้อแล้วปลูกในแต่ละไร่จะไม่เกินความต้องการ ซึ่งสามารถเขียนเป็นข้อจำกัดได้ดังนี้

$$PerI_i^t \le Cap_i AreaI_i^t \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI \qquad (3)$$

เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 2 เดือน เกษตรจะต้องใส่ปุ๋ยทางใบให้กับต้นสับปะรด และเพื่อให้เกษตรกรทราบถึงปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ในแต่ละไร่ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรปริมาณการใส่ปุ๋ยขึ้นมาเพื่อหาปริมาณปุ๋ยที่เกษตรกรจะต้องใส่ และเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับเกษตรกรว่าปริมาณปุ๋ยที่ใส่ให้กับต้นสับปะรดจะไม่เกินความต้องการของต้นสับปะรด ดังแสดงในข้อจำกัด (4) และข้อจำกัด (5)

$$(RoFI)PerI_i^t = PoFI_i^{t+1} \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI \qquad (4)$$

และ

$$PoFI_i^t \le CapFI \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI \qquad (5)$$

เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 6 เดือนเกษตรกรจะฉีดสารเร่งดอกที่เรียกว่าอีทีฟอน เพื่อให้ต้นสับปะรดออกดอกพร้อมๆ กันทั้งไร่ ปริมาณสารเร่งดอกที่เกษตรกรต้องใช้ในแต่ละไร่ แสดงในข้อจำกัด (6) ส่วนในข้อจำกัด (7) เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับเกษตรกรว่าปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีดให้กับสับปะรดจะไม่เกินปริมาณที่ต้นสับปะรดต้องการ

$$(RoE)PerI_i^t = PoE_i^{t+5} \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI \qquad (6)$$

และ

$$PoE_i^t \le CapE \; ; \forall i \in AR, \forall t \in CPI \qquad (7)$$

เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 7 เดือน เกษตรกรจะต้องใส่ปุ๋ยทางดินให้กับต้นสับปะรด เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผลสับปะรด ดังแสดงในข้อจำกัด (8) และข้อจำกัด (9)

$$(\mathrm{RoFII})\mathrm{PerI}_i^t = \mathrm{PoFII}_i^{t+6} \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall t \in \mathrm{CPI} \quad (8)$$

และ

$$\mathrm{PoFII}_i^t \le \mathrm{CapFII} \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall t \in \mathrm{CPI} \quad (9)$$

หลังจากที่เกษตรกรปลูกสับปะรดครบ 12 เดือนแล้ว สับปะรดก็พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรปริมาณผลผลิตสับปะรดที่ได้ในแต่ละไร่ เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบถึงปริมาณผลผลิตของสับปะรดที่สามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ แสดงในข้อจำกัด (10)

$$(\mathrm{RoG})\mathrm{PerI}_i^t = \mathrm{PoPI}_i^{t+11} \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall t \in \mathrm{CPI} \quad (10)$$

ส่วนในข้อจำกัด (11) ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาเพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณผลผลิตสับปะรดรุ่นที่ 1 ทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อสิ้นสุดเวลา t จะมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

$$\sum_{i \in \mathrm{AR}} \mathrm{PoPI}_i^t \ge \mathrm{DemandI}^t \; ; \forall t \in \mathrm{CPI} \quad (11)$$

สำหรับการปลูกสับปะรดในรุ่นที่ 2 เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตสับปะรดในรุ่นที่ 1 เสร็จเรียบร้อยแล้ว เกษตรกรจะปล่อยให้ต้นสับปะรดเจริญเติบโตไปอีก 12 เดือน เพื่อเก็บหน่อไปปลูกเป็นสับปะรดในรุ่นที่ 2 ต่อไป เมื่อเกษตรกรเก็บหน่อสับปะรดแล้ว จะทำการตีป่นลำต้นและเปลือกสับปะรดเป็นปุ๋ย แล้วทำการไถกลบปรับหน้าดิน เพื่อเตรียมลงหน่อปลูกสับปะรดในรุ่นที่ 2 ดังนั้นไร่ที่ใช้ปลูกสับปะรดในรุ่นที่ 1 (CPI) ก็พร้อมที่จะใช้ปลูกสับปะรดในรุ่นที่ 2 (CPII) ดังแสดงในข้อจำกัด (12)

$$\mathrm{AreaI}_i^t = \mathrm{AreaII}_i^t \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall t \in \mathrm{CPI}, \forall f \in \mathrm{CPII} : t = f \quad (12)$$

หลังจากเกษตรกรปล่อยให้ต้นสับปะรดเจริญเติบโตจนครบ 12 เดือนหลังจากการเก็บเกี่ยว เกษตรกรจะเก็บหน่อสับปะรดไปปลูกใหม่เป็นรุ่นที่ 2 ปริมาณหน่อดินที่เกษตรกรสามารถเก็บได้ และได้คุณภาพ สามารถนำไปปลูกเป็นสับปะรดในรุ่นที่ 2 แสดงในข้อจำกัด (13)

$$(\mathrm{RoL})\mathrm{PerI}_i^t = \mathrm{Num}_i^f \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall t \in \mathrm{CPI}, \forall f \in \mathrm{CPII} : t = f \quad (13)$$

ปริมาณหน่อดินของต้นสับปะรดที่เกษตรกรสามารถเก็บมาเพื่อปลูกเป็นสับปะรดในรุ่นที่ 2 นั้นในบางครั้งมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะใช้ปลูกในแต่ละไร่ได้ เกษตรกรสามารถสั่งซื้อหน่อสับปะรดมาปลูกเพิ่มเติมได้แสดงในข้อจำกัด (14)

$$\mathrm{Num}_i^f + \mathrm{PerII}_i^f \le \mathrm{Cap}_i \mathrm{AreaII}_i^f \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall f \in \mathrm{CPII} : f \le 23 \quad (14)$$

การใส่ปุ๋ยทางใบครั้งที่ 1 จะใส่เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 2 เดือน เช่นเดียวกับการปลูกสับปะรดในรุ่นที่ 1 ดังแสดงในข้อจำกัด (15) และข้อจำกัด (16)

$$\mathrm{RoFI}\left(\mathrm{Num}_i^f + \mathrm{PerII}_i^f\right) = \mathrm{PoFFI}_i^{f+1} \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall f \in \mathrm{CPII} \quad (15)$$

และ

$$\mathrm{PoFFII}_i^f \le \mathrm{CapFI} \; ; \forall i \in \mathrm{AR}, \forall f \in \mathrm{CPII} \quad (16)$$

เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 6 เดือนเกษตรกรจะฉีดสารเร่งดอก แสดงในข้อจำกัด (17) ส่วนในข้อจำกัด (18) เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับเกษตรกรว่าปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีดให้กับสับปะรดจะไม่เกินปริมาณที่ต้นสับปะรดต้องการ

$$\mathrm{RoE}\left(\mathrm{Num}_i^f + \mathrm{PerII}_i^f\right) = \mathrm{PoEE}_i^{f+5} \quad ;\forall i \in AR, \forall f \in CPII \tag{17}$$

และ

$$\mathrm{PoE}_i^f \le \mathrm{CapE} \;;\forall i \in AR, \forall f \in CPII \tag{18}$$

เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 7 เดือน เกษตรจะต้องใส่ปุ๋ยทางดินให้กับต้นสับปะรดดังแสดงในข้อจำกัด (19) และข้อจำกัด (20)

$$\mathrm{RoFII}\left(\mathrm{Num}_i^f + \mathrm{PerII}_i^f\right) = \mathrm{PoFFII}_i^{f+6} \quad ;\forall i \in AR, \forall f \in CPII \tag{19}$$

และ

$$\mathrm{PoFFII}_i^f \le \mathrm{CapFII} \;;\forall i \in AR, \forall f \in CPII \tag{20}$$

หลังจากที่เกษตรกรปลูกสับปะรดครบ 12 เดือนแล้ว สับปะรดรุ่นที่ 2 ก็พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรปริมาณผลผลิตสับปะรดที่ได้ในแต่ละไร่ เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบถึงปริมาณผลผลิตของสับปะรดที่สามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ แสดงในข้อจำกัด (21)

$$\mathrm{RoG}\left(\mathrm{Num}_i^f + \mathrm{PerII}_i^f\right) = \mathrm{PoPII}_i^{f+11} \quad ;\forall i \in AR, \forall f \in CPII \tag{21}$$

ส่วนในข้อจำกัด (22) ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาเพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณผลผลิตสับปะรดรุ่นที่ 2 ทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อสิ้นสุดเวลา f จะมีปริมาณเพียงพอกับที่ลูกค้าต้องการ

$$\sum_{i \in AR} \mathrm{PoPII}_i^f \ge \mathrm{DemandII}^f \;;\forall f \in CPII \tag{22}$$

3.5 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายสำหรับงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้เกษตรกรมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด (Total Cost Minimization) โดยต้องสามารถวางแผนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการเวียนใช้ที่ดินให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และต้องสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ ต้นทุนรวมในการดำเนินการในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$Z = C^{cul} + C^{ord} + C^{fer} + C^{flo}$$

ต้นทุนจากการเพาะปลูก (Cultivating cost, C^{cul})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการเพาะปลูกเมื่อมีการใช้ไร่ที่ i ในการลงหน่อสับปะรด เช่น ค่าเตรียมดิน ค่าบำรุงรักษา ค่ารดน้ำ สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{cul} = \sum_{i \in AR} \sum_{t \in CPI} (\mathrm{SOA}) \mathrm{Areal}_i^t + \sum_{i \in AR} \sum_{f \in CPII} (\mathrm{SOA}) \mathrm{AreaII}$$

ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด (Ordering cost, C^{ord})

เป็นต้นทุนค่าหน่อสับปะรดที่เกษตรกรต้องสั่งซื้อ ผู้วิจัยกำหนดให้ SOC คือ ต้นทุนของหน่อสับปะรดหนึ่งหน่อ ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการสั่งซื้อหน่อสับปะรด สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{cul} = \sum_{i \in AR} \sum_{t \in CPI} (\mathrm{SOA}) \mathrm{Areal}_i^t + \sum_{i \in AR} \sum_{f \in CPII} (\mathrm{SOA}) \mathrm{AreaII}$$

ต้นทุนค่าปุ๋ย (Fertisizer cost, C^{fer})

ให้ SOF เป็นต้นทุนค่าปุ๋ยทั้งหมดที่เกษตรกรต้องใช้ในแต่ละไร่ทั้งสองครั้งในการปลูกแต่ละรุ่น ต้นทุนค่าปุ๋ยทั้งหมดสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{fer} = \sum_{i \in AR} \sum_{t \in CPI} \mathrm{SOF}\left(\mathrm{PoFI}_i^t + \mathrm{PoFII}_i^t\right) + \sum_{i \in AR} \sum_{f \in CPII} \mathrm{SOF}\left(\mathrm{PoFFI}_i^f + \mathrm{PoFFII}_i^f\right)$$

ต้นทุนค่าสารเร่งดอก (Injection flowing cost, C^{flo})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการฉีดสารเร่งดอก เพื่อให้สับปะรดออกดอกพร้อมกันทั้งไร่ โดยกำหนดให้ SOE คือ ต้นทุนค่าสารเร่งดอก หรืออีทีฟอน สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{flo} = \sum_{i\in ART\in CPI}\sum (SOE)PoE_i^t + \sum_{i\in ARf\in CPII}\sum (SOE)PoEE$$

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด แสดงในสมการที่ (23)

$$\begin{aligned} \text{Min} & \sum_{i\in ART\in CPI}\sum (SOA)AreaI_i^t + \sum_{i\in ARf\in CPII}\sum (SOA)AreaII \\ & + \sum_{i\in ART\in CPI}\sum (SOC)PerI_i^t + \sum_{i\in ARf\in CPII}\sum (SOC)PerI \\ & + \sum_{i\in ART\in CPI}\sum SOF\left(PoFI_i^t + PoFII_i^t\right) \\ & + \sum_{i\in ARf\in CPII}\sum SOF\left(PoFFI_i^f + PoFFII_i^f\right) \\ & + \sum_{i\in ART\in CPI}\sum (SOE)PoE_i^t + \sum_{i\in ARf\in CPII}\sum (SOE)PoEE \quad (23) \end{aligned}$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical Results)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [8] ในการเขียนแบบจำลองการวางแผนการผลิตรวมสำหรับโซ่อุปทานสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี 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) จนกว่าจะให้ค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) มีค่าน้อยที่สุด

ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตรวมสำหรับสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี ตั้งแต่การปลูก การใส่ปุ๋ย การฉีดสารเร่งดอก และการเก็บเกี่ยว ตลอดจนการเวียนใช้ที่ดินในการปลูกเพื่อให้มีผลผลิตออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้นทุนการดำเนินการที่เหมาะสม (Objective Function) อยู่ที่ 5,974,250 บาท/ปี มีค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) อยู่ที่ 0.01% แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ดีที่สุดสูงมาก และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของโปรแกรม CPLEX 8.0 กับต้นทุนการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีต้นทุนการดำเนินการอยู่ที่ 6,125,800 บาท/ปี จากผลลัพธ์แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการได้ถึง 151,550 บาท/ปี หรือคิดเป็น 2.47%

6. สรุป

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาด้านการวางแผนการเพาะปลูกรวมที่เกิดขึ้นกับสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี ซึ่งเกษตรกรไม่นิยมปลูกสับปะรดพันธุ์นี้เนื่องจากมีความยุ่งยากในการปลูก ทำให้มีผลผลิตออกมาไม่เพียงพอต่อความต้องการ และจากการศึกษาพบว่าปัญหาจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ด้านใหญ่ๆ คือปัญหาแรกเป็นการจัดการด้านแปลงปลูก ซึ่งเกษตรกรสามารถใช้แปลงปลูกในการปลูกสับปะรดได้เพียงปีละหนึ่งครั้งเท่านั้น เกษตรกรต้องรอเก็บเกี่ยวผลผลิตและเก็บหน่อสับปะรดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ถึงจะสามารถใช้แปลงปลูกนี้ในการปลูกสับปะรดในรุ่นถัดไปได้ส่วนปัญหาที่สองคือการใช้ประโยชน์จากที่ดิน ซึ่งการเวียนใช้ที่ดินเป็นปัญหาที่เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีต้องประสบอยู่เสมอ เนื่องจากการใช้ที่ดินในการปลูกสับปะรดนั้นจะต้องจัดสรรให้สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตให้มีความต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งวัตถุประสงค์หลัก คือคำนึงถึงในด้านการวางแผนการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ย จนถึงการเก็บเกี่ยว รวมทั้งการหมุนเวียนใช้ที่ดิน

ผู้วิจัยได้กำหนดปัญหารูปแบบระบบการเพาะปลูกเพื่อให้เกษตรกรเห็นต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดได้ เพื่อช่วยในการปรับแผนการเพาะปลูก และเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการวางแผนการเพาะปลูก โปรแกรม CPLEX 8.0 ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์จำนวนเต็มที่เหมาะสมที่สุด คุณภาพของผลลัพธ์ของระบบการเพาะปลูกสูงมาก ค่าผลลัพธ์ของสมการเป้าหมายมีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียง 0.01% เท่านั้น และระบบการวางแผนการเพาะปลูกนี้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุดคือ 5,974,250 บาทต่อปี ซึ่งต่ำกว่าก่อนการใช้แบบจำลองถึง 2.47%

เพื่อให้การตัดสินใจของเกษตรกรในการวางแผน

การเพาะปลูกให้สามารถครอบคลุมการตัดสินใจสำหรับลูกค้าที่เข้ามาสั่งซื้อโดยไม่ได้วางแผนล่วงไว้ ปัจจุบันเกษตรกรต้องปฏิเสธลูกค้าเหล่านี้ เนื่องจากไม่ได้วางแผนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวสำหรับลูกค้าประเภทนี้ไว้ ทำให้เกษตรกรต้องสูญเสียรายได้ในส่วนนี้ไป ดังนั้นในงานวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาต่อ คือการวางแผนการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องและสามารถตอบสนองกับลูกค้าที่เข้ามาสั่งซื้อโดยไม่ได้สั่งไว้ล่วงหน้าได้ และเพื่อให้เกษตรกรสามารถขยายและรองรับการเติบโตของอุปสงค์ของลูกค้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปีได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] Agricultural Research and Development Center, *Phetchaburi pineapple*, Phetchaburi, 2545.

[2] B.M. Beamon, "Supply chain design andanalysis: models and methods," *International Journal of Production economics*, vol. 55, no.1, pp.281-294, 1998.

[3] H. Gunnarsson, M. Ronnqvist, and J.T. Lundgren, "Supply chain modeling of forest fuel," *European journal of Operational research*, vol. 158, pp. 103-123, 2004.

[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] E.W. Schuster and S. Allen, "Raw material management at Welch's Inc," *INTERFACE*, vol.28, no.5, pp.13-24, 1998.

[6] E.W. Robak, "Sustainable forest management for Galicia," *Forestry Chronicle*, vol.84, pp.530-533, 2008.

[7] Luis Diaz-Balterio, Mercedes Bertomea, and Manuel Bertomeu, "Optimal harvest scheduling in Eucalyptus plantations A case study in Galicia (Spain)," *Forest policy and Economics*, vol. 11, pp.548-554, 2009.

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