การลดต้นทุนโลจิสติกส์การเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์ควีน โดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ[1*]
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
สมยศ เชิญอักษร[2]
ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านโลจิสติกส์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

บทคัดย่อ

สับปะรดในกลุ่มควีนที่ใช้รับประทานผลสดนั้นมีอยู่หลายพันธุ์ แต่มีพันธุ์ใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างยิ่งในกลุ่มนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติ คือ สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี ที่มีลักษณะเด่นที่สามารถแกะผลย่อยออกกินได้ทันทีโดยไม่ต้องปอกเปลือก มีรสหวาน หอมและเนื้อกรอบ ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากเกษตรกรขาดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การจัดหาหน่อสับปะรด การปลูก จนถึงการเก็บเกี่ยว อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การเพาะปลูก หน่อสับปะรดที่ใช้ปลูกมีหลายขนาดซึ่งมีผลกระทบต่อรอบระยะเวลาในการปลูก การใส่ปุ๋ย การฉีดสารเร่งดอกและการเก็บเกี่ยว เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยการสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนการปลูก การเลือกขนาดหน่อลงปลูกในแต่ละไร่ การกำหนดรอบเวลาในการใส่ปุ๋ย และการฉีดสารเร่งดอกให้มีประสิทธิภาพ สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตรงตามเวลาที่ลูกค้าต้องการได้ ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มแสดงให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนการเพาะปลูกได้ถึง 3.64% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนก่อนการใช้แบบจำลอง

คำสำคัญ : สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี / การวางแผนการเพาะปลูก / กำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

* *Corresponding author: E-mail: chaimongkol129@hotmail.com*
1 *อาจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์*
2 *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์*

Cultivation Logistics cost reduction for Queen Pineapple Using Mixed-Integer Linear Programming

Chaimongkol Limpianchob[1*]

Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen, Nakhonpathom 73140

Somyot Chirnaksorn[2]

Center of Excellence in Logistics,

Kasetsart University, Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen, Nakhonpathom 73140

Abstract

Many Queen pineapples are available for consumption, but a new and very popular breed among Thai and foreign tourists is Phetchaburi pineapple; its features include the ability to be tear out without peeling, sweet taste and crispy texture. However, this new breed could not be produced to meet the market demand because the farmers lack effective planning strategy, from pineapple shoot procurement and cultivation through to harvesting planning. Besides, there is limitation of planting area; different sizes of pineapple shoot also impact the growing, fertilization period, injection of florigen and harvesting periods. To solve this problem, a mixed integer linear programming model was developed for cultivation planning, size selection of pineapple shoot in the field, setting the interval time of fertilization, and injection of florigen for efficient harvesting. The results showed that the proposed mixed integer linear programming can be used as a decision supporting tool that could reduce the total cost by up to 3.64% compared with manual planning.

Keywords : Cultivating planning / Mixed-Integer linear programming / Phetchaburi pineapple

* *Corresponding author: E-mail: chaimongkol129@gmail.com*

1 *Lecturer, Department of Industrial, Faculty of Engineering.*

2 *Assoc. Progessor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

สับปะรดเป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้และบริเวณตอนกลางและตอนใต้ของประเทศบราซิล สับปะรดเป็นพืชที่ทำรายได้และชื่อเสียงให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก [1] สับปะรดที่ปลูกในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด สำหรับพันธุ์สับปะรดที่ใช้ในด้านการรับประทานผลสดเป็นหลักจะอยู่ในกลุ่มควีน

สับปะรดพันธุ์เพชรบุรี เป็นพันธุ์หนึ่งที่อยู่ในกลุ่มควีนที่พัฒนามาจากศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบุรี และศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร จนได้สับปะรดพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง มีรสชาติตรงตามความต้องการของตลาด และสามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อม สามารถใช้เป็นพันธุ์ปลูกเพื่อรับประทานผลสดได้ แต่เกษตรกรเมื่อรับพันธุ์จากศูนย์วิจัยพืชสวนหรือซื้อจากเกษตรกรรายอื่นไปปลูก มักจะประสบปัญหาในเรื่องการจัดการวางแผนการเพาะปลูก เนื่องจากหน่อสับปะรดมีหลายขนาด และแต่ละขนาดมีรอบเวลาการใส่ปุ๋ย การฉีดสารเร่งดอก รวมถึงรอบเวลาการเก็บเกี่ยวต่างกัน จึงไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกรในการปลูก ซึ่งตรงข้ามกับความต้องการของตลาดที่มีมาก

ผู้วิจัยจึงได้นำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer linear programming model) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาความยุ่งยากในการตัดสินใจ และข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี เพื่อช่วยทำให้การวางแผนการเพาะปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรมีประสิทธิภาพสูงสุด และเพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรรายอื่นหันกลับมาปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีมากยิ่งขึ้น

สำหรับการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในเรื่องการวางแผนการเพาะปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต ปรากฏในงานวิจัยในต่างประเทศมากมาย เช่น ในโรงงานทำไวน์จากองุ่น [2] ที่ประสบปัญหาการจัดการการป้อนวัตถุดิบเข้าสู่โรงงานหนึ่งไปยังอีกโรงงานหนึ่ง แต่เมื่อสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว พบว่าสามารถลดต้นทุนทั้งหมดในระบบได้ถึง $130,000 หรือเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวผลองุ่นในประเทศชิลี [3] โดยผลองุ่นต้องมีคุณภาพสูงสุด ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวผลองุ่นในไร่ขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี สามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 27% และลดต้นทุนทางด้านแรงงานลง 16% หรือโรงงานบรรจุผลไม้สดในประเทศอาร์เจนตินา [4] ที่ประสบปัญหาในเรื่องรอบเวลาการเก็บเกี่ยวผลไม้ที่มีหลายชนิด และหลายช่วงเวลา เมื่อเก็บเกี่ยวจากสวนแล้วต้องส่งเข้าโรงงานทันที เพื่อลดความสูญเสียของผลไม้แต่ละชนิดโดยมีเป้าหมายการสร้างแบบจำลองเพื่อให้มีกำไรสูงสุด นอกจากนั้นยังใช้ในการวางแผนการปลูกอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลในประเทศเวเนซุเอลา [5] เนื่องจากอ้อยจะเสื่อมคุณภาพเร็ว ทำให้โรงงานไม่สามารถปลูกและเก็บอ้อยเป็นสินค้าคงคลังได้ และด้วยปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศ ทำให้การวางแผนการปลูกอ้อยมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ส่วนประเทศไทยนั้น มีงานวิจัยที่กล่าวถึงความสำเร็จของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในภาคการเกษตร เช่น ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการปลูกและส่งอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [6] เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Grunow, [5] แต่ในงานวิจัยนี้เน้นเฉพาะในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวที่มีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองสามารถเพิ่มการผลิตน้ำตาลได้ถึง 23% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิมที่เกษตรกรและโรงงานผลิตใช้ เป็นต้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนรอบเวลาการปลูก การใส่ปุ๋ย รวมถึงการเก็บเกี่ยว เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด (Minimize total cost) โดยที่ต้นทุนการดำเนินการ ประกอบด้วยต้นทุนค่าหน่อสับปะรด ต้นทุนการเพาะปลูก ต้นทุนค่าปุ๋ยและสารเร่งดอก ในขณะที่ข้อจำกัดในการเพาะปลูกต่างๆ เช่น พื้นที่การเพาะปลูก ขนาดหน่อสับปะรด ความสามารถในการเพาะปลูก และอุปสงค์ของลูกค้าก็ต้องสามารถตอบสนองได้เป็นอย่างดีเช่นเดียวกัน

2. โลจิสติกส์การเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี

โลจิสติกส์ของกระบวนการเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีจากเกษตรกรกรณีศึกษา ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกสับปะรดสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วงฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม เนื่องจากมีระบบการจัดการที่ง่าย เช่น การเตรียมดิน การปลูก เป็นต้น ซึ่งมีกระบวนการดังนี้

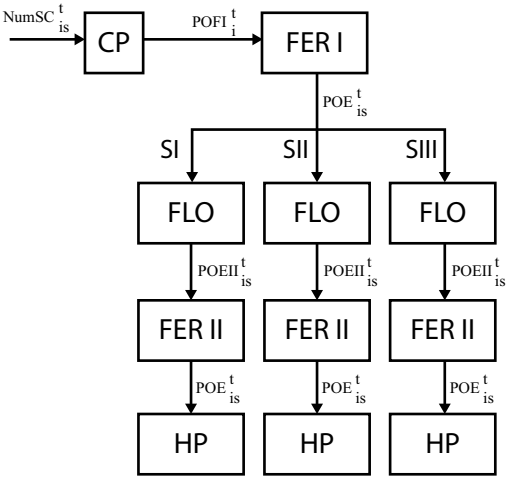
1) เกษตรกรจะสั่งซื้อหน่อสับปะรดจากเกษตรกรที่จำหน่ายหน่อสับปะรดหรือรับจากศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบุรี ซึ่งหน่อที่ซื้อมาจะมีขนาดหน่อแตกต่างกัน ประมาณ 3 ขนาด โดยที่เกษตรกรไม่สามารถเลือกซื้อเฉพาะหน่อขนาดใดขนาดหนึ่งได้ หลังจากที่หน่อสับปะรดมาถึงไร่ เกษตรกรจะคัดแยกหน่อสับปะรดตามขนาด โดยหน่อขนาดใหญ่ (SI) มีน้ำหนักประมาณ 700-900 กรัม โดยที่มีประมาณร้อยละ 30 หน่อ ขนาดกลาง (SII) น้ำหนักประมาณ 500-700 กรัม มีประมาณร้อยละ 30 และหน่อขนาดเล็ก (SIII) มีน้ำหนักประมาณ 300-500 กรัม โดยมีประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณหน่อสับปะรดทั้งหมด เมื่อเกษตรกรคัดขนาดหน่อสับปะรดแล้ว จะนำลงปลูกลงในไร่ (CP) โดยแบ่งการปลูกหน่อสับปะรด ($NumSC^t_{is}$) เป็นแถวคู่ โดยหนึ่งไร่สามารถปลูกสับปะรดได้ประมาณ 8,000 ต้น

2) หลังจากปลูกสับปะรดไปแล้วในเดือนที่ 2 เกษตรกรจะใส่ปุ๋ยทางใบครั้งที่หนึ่ง (FER I) โดยปุ๋ยที่เกษตรกรใส่นั้นมีส่วนประกอบยูเรีย เหล็ก สังกะสีและโพแทสเซียม ($POFI^t_i$) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตให้กับสับปะรด

3) หลังจากนั้นจะมีการฉีดสารเร่งดอกที่เกษตรกรเรียกว่า ฟอร์ซ (POE^t_{is}) เพื่อบังคับให้สับปะรดออกดอกพร้อมกันทั้งหมด โดยหน่อสับปะรดขนาดใหญ่จะฉีดสารเร่งดอกหลังจากปลูกไปแล้ว 6 เดือน หน่อขนาดกลาง 7 เดือน และหน่อขนาดเล็ก 8 เดือนตามลำดับ

4) หลังจากฉีดสารเร่งดอกให้กับสับปะรดไปแล้ว 1 เดือน เกษตรกรจะใส่ปุ๋ยครั้งที่สอง (FER II) ซึ่งเป็นการใส่ปุ๋ยทางดินร่วมกับอาหารเสริมต่างๆ บริเวณโคนต้น ($POFII^t_{is}$)

5) เมื่อใส่ปุ๋ยทางดินแล้วจะต้องรออีก 2 เดือน เกษตรกรจึงจะสามารถเก็บผลผลิตสับปะรดได้ (POP^t_{is}) แต่ก่อนการเก็บผลผลิต 1 เดือน เกษตรกรจะใช้กระดาษหนังสือพิมพ์ห่อผลสับปะรดไว้ทั้งผล เพื่อให้ผิวสับปะรดไม่ถูกกับแสงแดดโดยตรง หลังจากนั้นจะมีลูกค้ามารับสับปะรดจากสวนไปจำหน่ายต่อ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี

กล่าวโดยสรุปคือ หน่อสับปะรดขนาดใหญ่จะให้ผลผลิตได้หลังจากการปลูก 11 เดือน หน่อขนาดกลางจะให้ผลผลิตหลังจากการปลูก 12 เดือน และหน่อขนาดเล็กจะให้ผลผลิตหลังจากการปลูก 13 เดือน ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาในเรื่องการจัดการรอบเวลาการปลูกหน่อสับปะรดในแต่ละขนาด การใส่ปุ๋ย การฉีดสารเร่งดอก เป็นผลทำให้เกษตรกรไม่นิยมปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี เพราะยากในการจัดการกำหนดรอบเวลาการดำเนินการต่างๆ ทำให้สับปะรดพันธุ์นี้มีผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจริงจากเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีรายใหญ่ที่สุดของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นกรณีศึกษา โดยพิจารณารอบการปลูกสับปะรดทั้งหมด 12 เดือน เพื่อให้มีผลผลิตตอบสนองกับอุปสงค์ของลูกค้าได้ตลอดทั้งปี และพิจารณารอบอุปสงค์ของลูกค้าทั้งหมด 14 เดือน ในช่วงที่สับปะรดให้ผลผลิต และมีสมมติฐาน (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์เป็นดังนี้

1) ปริมาณผลผลิตของสับปะรดต่อต้นในขนาดเดียวกันมีอัตราการเจริญเติบโตคงที่ทุกช่วงเวลา และทุกสภาพภูมิอากาศ

2) สับปะรดจะให้ผลผลิตได้ เมื่อเกษตรกรปลูกสับปะรดไปแล้วอย่างน้อย 11 เดือนในขนาดหน่อใหญ่ อย่างน้อย 12 เดือนในขนาดหน่อกลาง และอย่างน้อย 13 เดือนในขนาดหน่อเล็ก

3) กำหนดให้ในแต่ละกระบวนการไม่มีวัสดุคงค้าง (WIP) ตอนเริ่มการคำนวณ

ส่วนถัดไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการจัดหาหน่อสับปะรด การเพาะปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย กลุ่มของตัวแปร (Sets of variables) ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงข้อจำกัด (Constraints) และสมการเป้าหมาย (Objective function)

3.1 เซต (Sets)

AR เซตของไร่ที่ใช้ปลูกของเกษตรกร

CP เซตของเวลา

SC เซตของขนาดหน่อสับปะรด

3.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรเพื่อเป็นตัวแทนที่จะบอกให้เกษตรกรทราบถึงจำนวนหน่อสับปะรดที่จะต้องสั่งซื้อ รวมถึงปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้และปริมาณการสั่งซื้อสารเร่งดอกที่จะต้องฉีดในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

($NumSC^t_{is}$) จำนวนหน่อสับปะรดที่ปลูกในไร่ที่ i หน่อขนาด s เมื่อเวลา t (หน่อ)

(POE^t_{is}) ปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีดในไร่ที่ i หน่อขนาด s เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

($POFI^t_i$) ปริมาณปุ๋ยครั้งที่ 1 ที่ใช้ในไร่ที่ i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

($POFII^t_{is}$) ปริมาณปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่ใช้ในไร่ที่ i หน่อขนาด s เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

(POP^t_{is}) ปริมาณผลผลิตสับปะรดที่ปลูกในไร่ที่ i หน่อขนาด s เมื่อสิ้นสุดเวลา t (กิโลกรัม)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจ เพื่อกำหนดไร่ที่เกษตรกรต้องใช้ในการปลูกสับปะรดในแบบจำลองที่สร้างขึ้น ดังนี้

$$PTA^t_i = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าใช้ไร่ที่ i ในการปลูกสับปะรด เมื่อเวลา t} \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

3.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลค่าคงที่เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยต้นทุนต่างๆ ดังต่อไปนี้

Cap_i จำนวนหน่อสับปะรดที่สามารถปลูกได้ทั้งหมดในไร่ที่ i (หน่อสับปะรด)

CapE ปริมาณสารเร่งดอกทั้งหมดที่สามารถฉีดได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

CapFI ปริมาณปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ในครั้งที่ 1 ที่สามารถใส่ได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

CapFII ปริมาณปุ๋ยทั้งหมดที่ใส่ในครั้งที่ 2 ที่สามารถใส่ได้ในแต่ละไร่ (กิโลกรัม)

$CapS_S$ สัดส่วนปริมาณหน่อแต่ละขนาดที่เกษตรซื้อมาปลูก (หน่อสับปะรด)

$Demand^t$ ปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าเมื่อสิ้นสุดเวลา t

ROE อัตราการใช้สารเร่งดอกต่อหน่อสับปะรด

ROFI อัตราการใช้ปุ๋ยทางใบครั้งที่ 1 ต่อหน่อสับปะรด

ROFII อัตราการใช้ปุ๋ยทางใบครั้งที่ 2 ต่อหน่อสับปะรด

ROG อัตราการเจริญเติบโตของหน่อสับปะรด

SOA ต้นทุนการบำรุงและดูแลรักษาไร่สับปะรด (บาท/ไร่)

SOE ต้นทุนค่าสารเร่งดอก (บาท/กิโลกรัม)

SOFI ต้นทุนค่าปุ๋ยทางใบ (บาท/กิโลกรัม)

SOFII ต้นทุนค่าปุ๋ยทางดิน (บาท/กิโลกรัม)

SOSC ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด (บาท/หน่อ)

3.4 ข้อจำกัด (Constraints)

แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นมีข้อจำกัดสำหรับปริมาณหน่อสับปะรดที่ต้องใช้ จนถึงการเก็บเกี่ยว สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\sum_{t\in CP:t\le 12} PTA_i^t \le 1 \quad , \forall i \in AR \qquad (1)$$

ข้อจำกัด (1) เพื่อกำหนดไร่ที่ใช้ปลูกสับปะรดต้องใช้ปลูกในช่วงเวลา 12 เดือนแรกของเกษตรกรเมื่อเริ่มการปลูก และในแต่ละไร่สามารถใช้ปลูกสับปะรดได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้นในแต่ละรอบการปลูก ส่วนข้อจำกัด (2) เพื่อให้มั่นใจว่าเกษตรกรไม่สามารถปลูกสับปะรดได้หากเลยช่วงกำหนดเวลาการปลูกไปแล้ว

$$PTA_i^t = 0 \quad , \forall i \in AR, \forall t \in CP : t > 12 \qquad (2)$$

เพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อหน่อสับปะรดที่ใช้ปลูกทั้งหมดในแต่ละไร่ต้องไม่เกินปริมาณที่สามารถปลูกได้ในแต่ละไร่ แสดงในข้อจำกัด (3)

$$\sum_{s\in SC} NumSC_{is}^t \le Cap_i PTA_i^t \, , \forall i \in AR, \forall t \in CP \qquad (3)$$

เนื่องจากหน่อสับปะรดที่เกษตรกรสั่งซื้อจะมีการคละกันของขนาดหน่อสับปะรดทั้งสามขนาด ดังนั้นเพื่อกำหนดสัดส่วนของหน่อแต่ละขนาดที่เกษตรกรสั่งซื้อมาปลูกในแต่ละไร่นั้น ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดขนาดหน่อที่ใช้ปลูกต้องไม่เกินสัดส่วนหน่อสับปะรดทั้งหมดที่เกษตรกรสั่งซื้อมาปลูก แสดงในข้อจำกัด (4)

$$NumSC_{is}^t \le CapS_s \, , \forall i \in AR, \forall s \in SC, \forall t \in CP \qquad (4)$$

หลังจากที่เกษตรกรปลูกหน่อสับปะรดไปแล้วในเดือนที่ 2 จะต้องใส่ปุ๋ยทางใบครั้งที่ 1 ดังนั้นเพื่อกำหนดปริมาณการใส่ปุ๋ยในแต่ละไร่และเพื่อให้เกษตรกรสามารถสั่งซื้อปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสมได้ แสดงในข้อจำกัด (5) และ (6)

$$\sum_{s\in SC} (ROFI) NumSC_{is}^t = POFI_i^{t+1} \, , \forall i \in AR, \forall t \in CP \qquad (5)$$

และ $$POFI_i^t \le CapFI \, , \forall i \in AR, \forall t \in CP \qquad (6)$$

ระยะเวลาการฉีดสารเร่งดอกเพื่อให้สับปะรดออกดอก และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 นั้น ขึ้นอยู่กับหน่อแต่ละขนาดดังนี้

สำหรับหน่อสับปะรดขนาดใหญ่ เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 6 เดือนจะต้องฉีดสารเร่งดอก และเพื่อกำหนดให้เกษตรกรสามารถฉีดสารเร่งดอกในปริมาณที่เหมาะสมและถูกต้องตามรอบเวลา ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดดังนี้

$$(ROE) NumSC_{is}^t = POE_{is}^{t+5} \, ,$$
$$\forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SI, \forall t \in CP \qquad (7)$$

สำหรับหน่อสับปะรดขนาดกลาง เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 7 เดือนจะต้องฉีดสารเร่งดอก ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดดังนี้

$$(ROE) NumSC_{is}^t = POE_{is}^{t+6} \, ,$$
$$\forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SII, \forall t \in CP \qquad (8)$$

สำหรับหน่อสับปะรดขนาดเล็ก เมื่อปลูกสับปะรดไปแล้ว 8 เดือนจะต้องฉีดสารเร่งดอก ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดดังนี้

$$(ROE) NumSC_{is}^t = POE_{is}^{t+7} \, ,$$
$$\forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SIII, \forall t \in CP \qquad (9)$$

เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณสารเร่งดอกที่ฉีดให้กับหน่อสับปะรดต้องไม่เกินปริมาณที่สามารถฉีดได้ในแต่ละไร่ สามารถแสดงข้อจำกัดได้ดังนี้

$$\sum_{s\in SC} POE_{is}^t \le CapE \, , \forall i \in AR, \forall t \in CP \qquad (10)$$

การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เกษตรจะใส่ปุ๋ยทางดินหลังจากฉีดสารเร่งดอกไปแล้ว 1 เดือน ดังนั้นเพื่อกำหนดปริมาณการใส่ปุ๋ยในแต่ละไร่ และในแต่ละช่วงเวลาของหน่อสับปะรดแต่ละขนาดในปริมาณที่เหมาะสม แสดงในข้อจำกัด (11), (12) และ (13)

$$(ROFII)NumSC_{is}^{t} = POFII_{is}^{t+6}, \quad \forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SI, \forall t \in CP \qquad (11)$$

$$(ROFII)NumSC_{is}^{t} = POFII_{is}^{t+7}, \quad \forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SII, \forall t \in CP \qquad (12)$$

$$(ROFII)NumSC_{is}^{t} = POFII_{is}^{t+8},$$

และ $$\forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SIII, \forall t \in CP \qquad (13)$$

เพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณปุ๋ยทางดินที่ใส่ให้กับหน่อสับปะรดต้องไม่เกินปริมาณที่สามารถใส่ปุ๋ยได้ในแต่ละไร่ แสดงในข้อจำกัด (14)

$$\sum_{s \in SC} POFII_{is}^{t} \le CapFII, \forall i \in AR, \forall t \in CP \qquad (14)$$

หลังจากที่เกษตรกรใส่ปุ๋ยครั้งที่สองแล้วเป็นเวลา 2 เดือน สับปะรดจะเจริญเติบโตพร้อมเก็บเกี่ยว ข้อจำกัด (15), (16) และ (17) บ่งบอกถึงผลผลิตของสับปะรดที่เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวได้ในแต่ละขนาด

$$(ROG)NumSC_{is}^{t} = POP_{is}^{t+10}, \quad \forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SI, \forall t \in CP \qquad (15)$$

$$(ROG)NumSC_{is}^{t} = POP_{is}^{t+11}, \quad \forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SII, \forall t \in CP \qquad (16)$$

$$(ROG)NumSC_{is}^{t} = POP_{is}^{t+12},$$

และ $$\forall i \in AR, \forall s \in SC : s = SIII, \forall t \in CP \qquad (17)$$

และเพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณผลผลิตสับปะรดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดมีปริมาณเพียงพอต่อปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า เมื่อสิ้นสุดเวลา t แสดงในข้อจำกัด (18) และ (19)

$$\sum_{i \in AR} \sum_{s \in SC} POP_{is}^{t} \ge Demand^{t}, \forall t \in CP : t \ge 11 \qquad (18)$$

และ $$\sum_{i \in AR} \sum_{s \in SC} \sum_{s \in CP} POP_{is}^{t} \ge \sum_{t \in CP} Demand^{t} \qquad (19)$$

$$PTA_{i}^{t} \in \{0,1\}, \forall i, t \qquad (20)$$

$$NumSC_{is}^{t} \ge 0 \text{ and integer}, \forall i, s, t \qquad (21)$$

$$POE_{is}^{t}, POFI_{i}^{t}, POFII_{is}^{t}, POP_{is}^{t} \ge 0, \forall i, s, t \qquad (22)$$

3.5 สมการเป้าหมาย (Objective functions)

ผู้วิจัยได้ตั้งสมการเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดต่ำสุด (Minimize total cost) และยังสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าได้เป็นอย่างดี ต้นทุนการดำเนินการประกอบด้วย

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

ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด (Pineapple shoots cost, C^{suc})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการสั่งซื้อหน่อสับปะรดมาปลูก โดยกำหนดให้ SOSC คือ ราคาหน่อสับปะรด ซึ่งราคาหน่อแต่ละขนาดมีราคาเท่ากัน โดยที่เกษตรกรไม่สามารถเลือกขนาดหน่อชนิดใดชนิดหนึ่งในการสั่งซื้อได้

$$C^{suc} = \sum_{s \in AR} \sum_{s \in SC} \sum_{s \in CP} (SOSC)NumSC_{is}^{t}$$

ต้นทุนการเพาะปลูก (Cultivating cost, C^{cul})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่เกษตรกรใช้พื้นที่ปลูก เช่น ค่าเตรียมดิน ค่าดูแลรักษา ค่าเก็บเกี่ยว เป็นต้น

$$C^{cul} = \sum_{i \in AR} \sum_{t \in CP} (SOA)PTA_{i}^{t}$$

ต้นทุนค่าปุ๋ย (Fertilizer cost, C^{fer})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยให้กับสับปะรด ซึ่งในช่วงการเพาะปลูกเกษตรกรจะใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง คือ หลังปลูกสับปะรดไปแล้ว 2 เดือนเป็นการใส่ปุ๋ยทางใบ โดยกำหนดให้ SOF I เป็นต้นทุนค่าปุ๋ยทางใบ และครั้งที่สองเมื่อฉีดสารเร่งดอกไปแล้ว 1 เดือน โดยกำหนดให้ SOF II เป็นต้นทุนค่าปุ๋ยทางดิน ดังนั้นต้นทุนค่าปุ๋ยทั้งหมดเป็นดังนี้

$$C^{fer} = \left[\sum_{i\in AR}\sum_{t\in CP}(SOFI)POFI_i^t\right] + \left[\sum_{i\in AR}\sum_{s\in SC}\sum_{t\in CP}(SOFII)POFII_{is}^t\right]$$

ต้นทุนค่าสารเร่งดอก (Florigen cost, C^{flo})

เป็นต้นทุนในการซื้อสารเร่งดอกเพื่อฉีดเร่งดอกสับปะรดให้ออกดอกตามเวลาที่กำหนด โดยฉีดสารเร่งดอกไปที่หน่อสับปะรด ต้นทุนค่าสารเร่งดอกทั้งหมดหาได้ดังนี้

$$C^{flo} = \sum_{s\in AR}\sum_{s\in SC}\sum_{s\in CP}(SOE)POE_{is}^t$$

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ ต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดต่ำที่สุด แสดงในสมการ (23)

$$\text{Min}\sum_{i\in AR}\sum_{s\in SC}\sum_{s\in CP}(SOSC)NumSC_{is}^t + \sum_{i\in AR}\sum_{t\in CP}(SOA)PTA_i^t + \left[\sum_{i\in AR}\sum_{t\in CP}(SOFI)POFI_i^t\right] + \left[\sum_{i\in AR}\sum_{s\in SC}\sum_{t\in CP}(SOFII)POFII_{is}^t\right] + \sum_{i\in AR}\sum_{s\in SC}\sum_{t\in CP}(SOE)POE_{is}^t \quad \textbf{(23)}$$

4. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical results)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์พีซี 1 เครื่อง สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา โดยมีรายละเอียดดังนี้

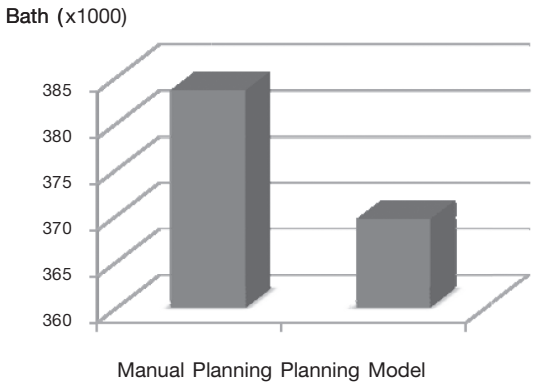
1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core (TM) i5 3.30 GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) 4.00 GB
3. ความจุของฮาร์ดดิสถ์ (Hard disk) 195 GB
4. ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์เซเวน (Microsoft Windows 7)
5. โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรม CPLEX8.0 (http://www.ilog.com) และเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยภาษา AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [7]

ผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อช่วยในการวางแผนการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ย จนถึงการเก็บเกี่ยวสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีทั้งหมดในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์การคำนวณ

1. ต้นทุนการดำเนินการที่เหมาะสม	369,600 บาท/ไร่
2. จำนวนตัวแปรทั้งหมด แบ่งเป็น	2,580
2.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Binary variables)	144
2.2 ตัวแปรจำนวนเต็ม (Integer variables)	828
2.3 ตัวแปรอื่นๆ (Linear variables)	1,680
3. จำนวนข้อจำกัด	1,206
4. เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	3.54 วินาที
5. ค่าความเผื่อ (Gap tolerance)	0.01%

จากตารางที่ 1 มีค่าความเผื่อ (Gap tolerance) อยู่ที่ 0.01% แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ดีที่สุดสูงมาก และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของโปรแกรม CPLEX กับต้นทุนการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual planning) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้น มีต้นทุนการดำเนินการอยู่ที่ 383,568 บาทต่อไร่ ดังแสดงในรูปที่ 2 จากผลลัพธ์ของแบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการได้ถึง 13,968 บาทต่อไร่ หรือคิดเป็น 3.64%



รูปที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมดก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) สัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมายของแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนต่างๆ ของแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นหลังจากหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแล้ว

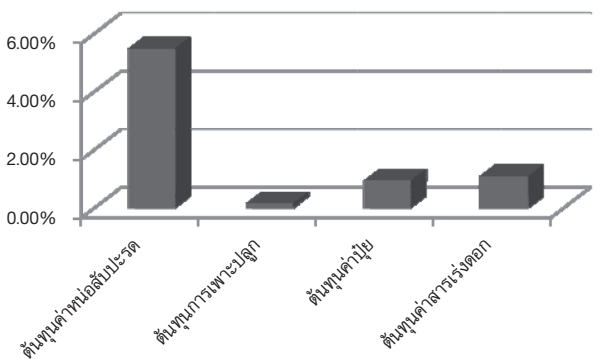
สำหรับการทดสอบความไวสัมประสิทธิ์ในสมการเป้าหมายของแบบจำลอง ผู้วิจัยจะอ้างอิงการทดสอบที่กล่าวไว้ในการวิจัยของ Bligen and Ozkarahan [8] เป็นแนวทางในการทดสอบความไว ซึ่งจากแบบจำลองพบว่ามีต้นุทนที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์การวางแผนการเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีทั้งหมด 4 ประเภท ประกอบด้วย ต้นทุนค่าหน่อสับปะรดที่ใช้ในการปลูกทั้งหมดของเกษตรกร ต้นทุนการเพาะปลูก ต้นทุนค่าปุ๋ย และต้นทุนค่าสารเร่งดอก โดยต้นทุนแต่ละประเภทจะถูกเพิ่มขึ้นครั้งละ 10% จนถึง 50% เพื่อทดสอบความไวของต้นทุนทีละประเภท เพื่อดูผลกระทบของต้นทุนรวมทั้งหมด ผลลัพธ์ของต้นทุนรวม และเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงของต้นทุนรวม แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนหลังวิเคราะห์ความไว

เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด		เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนค่าปุ๋ย	
	ต้นทุนรวมต่ำสุด (บาท/ไร่)	เปลี่ยนแปลง (%)		ต้นทุนรวมต่ำสุด (บาท/ไร่)	เปลี่ยนแปลง (%)
10	376,360	1.82	10	369,933	0.09
20	383,120	3.65	20	370,933	0.36
30	389,880	5.49	30	372,451	0.77
40	396,640	7.31	40	374,948	1.45
50	403,400	9.15	50	377,250	2.06
เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนการเพาะปลูก		เปอร์เซ็นต์เปลี่ยน	ต้นทุนค่าสารเร่งดอก	
	ต้นทุนรวมต่ำสุด (บาท/ไร่)	เปลี่ยนแปลง (%)		ต้นทุนรวมต่ำสุด (บาท/ไร่)	เปลี่ยนแปลง (%)
10	369,800	0.05	10	369,950	0.09
20	370,000	0.11	20	371,842	0.61
30	370,200	0.16	30	373,445	1.04
40	370,400	0.22	40	375,147	1.50
50	370,600	0.27	50	377,846	2.23

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าต้นทุนรวมต่ำสุดของต้นทุนค่าหน่อสับปะรดมีความไวกว่าต้นทุนอื่นๆ เมื่อต้นทุนค่าหน่อสับปะรดเพิ่มขึ้น 10% มีผลทำให้ต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลงไป 1.82% ในขณะที่ต้นทุนอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยไม่เกิน 0.09% เท่านั้น ดังนั้นหากราคาของหน่อสับปะรดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดมากกว่าต้นทุนอื่นๆ

ผู้วิจัยได้สรุปได้สรุปเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของต้นทุนแต่ละประเภทหลังจากการทดสอบความไว แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าหน่อสับปะรดมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อต้นทุนรวมทั้งหมดมากกว่าต้นทุนอื่นๆ ต้นทุนค่าหน่อสับปะรดจึงเป็นส่วนประกอบของต้นทุนที่สำคัญในโครงสร้างแบบจำลองโลจิสติกส์การวางแผนการเพาะปลูกนี้ ดังนั้นการวางแผนการสั่งซื้อหน่อสับปะรดให้มีปริมาณที่เหมาะสมและถูกต้องจะสามารถช่วยลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้อย่างมาก



รูปที่ 3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของต้นทุนแต่ละประเภท

5. สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนรอบการปลูก การใส่ปุ๋ยจนถึงการเก็บเกี่ยว เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจ สามารถนำไปปรับใช้เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี และสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรรายอื่นๆ หันกลับมาปลูกสับปะรดพันธุ์นี้มากยิ่งขึ้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นครอบคลุมต้นทุนการดำเนินการหลักที่เกิดขึ้นจากการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี คือ ต้นทุนค่าหน่อสับปะรด ต้นทุนการเพาะปลูก ต้นทุนค่าปุ๋ยและสารเร่งดอก เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด และเป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรี

ข้อมูลที่ผู้วิจัยใช้นั้นมาจากข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามจากเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CPLEX แสดงให้เห็นต้นทุนการดำเนินการรวมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 369,600 บาทต่อไร่ หรือสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมจากเดิมลงได้ 3.64% แบบจำลองถูกทดสอบกับปัญหาในการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีที่เกิดขึ้นจริง โดยสามารถทดสอบและประเมินผลได้อย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการเพาะปลูกทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต ผู้วิจัยจะพิจารณาขั้นตอนหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากการวิเคราะห์ความไวในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าต้นทุนค่าหน่อสับปะรดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนมากที่สุด ดังนั้นหากสามารถลดต้นทุนค่าหน่อสับปะรดลงได้ก็จะสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้เป็นอย่างดี ซึ่งการปลูกสับปะรดพันธุ์เพชรบุรีนี้ เกษตรกรสามารถเก็บหน่อของสับปะรดไปปลูกใหม่ได้ในไร่ต่อไป โดยผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลองให้สามารถวางแผนการเก็บหน่อสับปะรดไปปลูกในไร่ที่ว่างอยู่ได้ในคราวเดียวกันเพื่อให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในส่วนของการซื้อหน่อสับปะรดใหม่มาปลูกได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. 10400

7. เอกสารอ้างอิง

1. Sombat, T., Somkeard, N., and Sasitorn, W., 2000, “The collection and study of pineapple varieties”, *Proceeding of the Institute of Horticulture, Trang.* (In Thai), pp. 1-10.

2. Schuster, E.W., and Allen, S., 1998, “Raw material management at Welch’s Inc”, *INTERFACE, 28(5)*, pp.13-24.

3. Ferrer, J., Cawly, A.M., Maturana, S., Toloza, S., and Vera J., 2008, “An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations”, *International Journal of Production Economics*, 112(1), pp. 985-999.

4. Blanco, A.M., Masini, G., Petracci, N., and Bandoni, J.A., 2005, “Operations management of a packaging plant in the fruit industry”, *Journal of Food Engineering*, 70, pp. 299-307.

5. Grunow, M., Gunther, H.O., and Westinner, R., 2007, “Supply optimization for the production of raw sugar”, *International Journal of Production Economics*, 110(1), pp. 224-239.

6. Piewthongngam, W., Pathumnakul, S., and Setthanan, K., 2009. “Application of crop growth simulation and mathematical modeling to supply chain management in the Thai sugar industry”, *Agricultural Systems*, 102, pp. 58-66.

7. Fourer, R., Gay, D.M., and Kernighan, B.W., 2003, *AMPL a modeling language for mathematical programming*(2nd ed.). United States: Thomson Learning.

8. Bligen, B., and Ozkarahan, I., 2007, "A mixed-integer linear programming model for bulk grain blending and shipping", *International Journal of Production Economics*, 107(1), pp. 555-571.