แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนการเก็บเกี่ยวผักเพื่อการบริโภค กรณีศึกษา เกษตรกรรายย่อย

ภาณุชิต สายเสมา[1] และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์[2*]
มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

** Corresponding Author: apichair@nu.ac.th*
[1] นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 18 พฤศจิกายน 2562
แก้ไข : 18 พฤษภาคม 2563
ตอบรับ : 27 พฤษภาคม 2563

คำสำคัญ :
การวางแผนการเก็บเกี่ยว /
กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม /
ผัก

บทคัดย่อ

การวางแผนการเก็บเกี่ยวผักหลากหลายชนิดเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเป็นการตัดสินใจวางแผนที่ยุ่งยากสำหรับเกษตรกรรายย่อย และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของผักที่ปลูก เช่น ระยะเวลาการเติบโต เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว และปริมาณการเก็บเกี่ยว เป็นต้น การวางแผนเก็บเกี่ยวผักโดยอาศัยประสบการณ์ของเกษตรกร ซึ่งขาดเครื่องมือช่วยในการวางแผนที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้สูญเสียโอกาสในการขาย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Linear Programming, MILP) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผล โดยมีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลง ผลการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ได้จากแบบจำลอง MILP ลดลง 43.43% เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการของเกษตรกร

A Mixed-Integer Linear Programming Model for Vegetables Harvest Planning: A Case Study of a Small Farmer

Panuchit Saisema[1] and Apichai Ritvirool[2*]

Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000

** Corresponding Author: apichair@nu.ac.th*

[1] Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.

[2] Associated Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.

Article Info

Article History:
Received: November 18, 2019
Revised: May 18, 2020
Accepted: May 27, 2020

Keywords:
Harvest Planning / Mixed-Integer Linear Programming / Vegetables

Abstract

Harvest planning of various vegetables in response to consumer demand is a complex decision making process that may cause difficulties to farmers. This is due to the fact that several factors are related to vegetable plantations such as the growing period, starting and ending times for harvesting as well as harvested volume. A farmer usually plans the vegetable harvesting with his own experience without using any tool for effective planning, resulting in turn in the losses of sales opportunity. To alleviate such a problem, mixed-Integer linear programming (MILP) model has been developed to use as a decision supporting tool for harvest planning and to minimize the total cost. The results showed that the total cost from using the MILP model had reduced by 43.43% compared with that incurred by farmer's own operations.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพันธุ์พืชที่หลากหลาย มีพื้นที่อุดมสมบูรณ์ซึ่งเอื้อต่อการเพาะปลูกพืช ผักเป็นพืชที่มนุษย์ต้องการบริโภคเพื่อการดำรงชีวิตและใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์เพื่อป้องกันและรักษาโรค ผักและผลิตภัณฑ์ของไทยมีมูลค่าการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศประจำปี พ.ศ. 2561 อยู่อันดับที่ 9 ใน 10 อันดับแรกของสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ส่งออก มีมูลค่าการส่งออก 29,040 ล้านบาท ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.86 เมื่อเทียบกับปี 2560 [1]

การผลิตผักเพื่อจำหน่ายมีความยุ่งยากสลับซับซ้อน เพราะความหลากหลายของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เริ่มตั้งแต่ดินซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิตที่ต้องบำรุงเพื่อให้พืชผักได้ธาตุอาหารครบ ศัตรูพืชที่ต้องป้องกันและกำจัด แรงงานที่ใช้ในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว เกษตรกรต้องดำเนินการหลายขั้นตอน เช่น การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ การดูแลพื้นที่เพาะปลูก การใส่ปุ๋ย การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว การบรรจุและส่งมอบผลิตผล เป็นต้น ผลิตผลแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของการดูแล บำรุง และรักษาผลิตผลเพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพ คงความสดและมีความปลอดภัยในการนำไปบริโภค มีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการผลิตผักและการเก็บเกี่ยวผักให้คงคุณภาพดีหลังการเก็บเกี่ยว เช่น Wishon และคณะ [2] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Linear Programming, MILP) เพื่อช่วยในการวางแผนจ้างแรงงานต่างด้าวในช่วงฤดูการผลิตผักของเกษตรกรซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกในเมืองยูม่า มลรัฐอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากต้องจ้างแรงงานภายในประเทศด้วยค่าจ้างสูง และแรงงานมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกรในช่วงฤดูการผลิตผัก รวมถึงช่วยในการวางแผนเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวผัก แบบจำลองถูกทดสอบโดยคัดเลือกเกษตรกร 1 รายใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่สำหรับผลิตผัก 500 เอเคอร์ เลือกผัก 4 ชนิดคือ ผักกาดโรเมน ผักกาดแก้ว กะหล่ำดอก และบรอคโคลี ผลจากการดำเนินตามแผนที่ได้จากแบบจำลอง พบว่าเกษตรกรมีมูลค่าผลกำไรเพิ่มขึ้นจากเดิม $53,000 You และ Hsieh [3] ได้สร้างแบบจำลอง MILP สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการผลิตผัก เพื่อให้ได้ทราบถึงชนิดและปริมาณผักที่จะปลูกเวลาและแปลงที่จะเพาะปลูกในแต่ละรอบการผลิตผัก รวมถึงช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยมีเป้าหมายให้ได้รายรับสูงที่สุด ทำการทดสอบแบบจำลองโดยเลือกฟาร์มขนาดใหญ่กรณีศึกษาในไต้หวัน และผักจำนวน 27 ชนิด นอกจากนี้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ยังถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการจัดการโลจิสติกส์ ในระดับอุตสาหกรรมผักและผลไม้ เช่น Etemadnia และคณะ [4] ได้สร้างแบบจำลอง MILP ช่วยในการหาตำแหน่งของสถานที่ตั้งศูนย์กระจายผลิตผลผักและผลไม้ซึ่งส่งตรงจากแหล่งผลิตเพื่อรอกระจายภายในโซ่อุปทานอาหารของประเทศสหรัฐอเมริกาไปสู่ผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว Lamsal และคณะ [5] ได้สร้างแบบจำลอง MIP ช่วยในการจัดการโลจิสติกส์เพื่อวางแผนเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร ผลที่ได้จากแบบจำลองทำให้ลดจำนวนรถขนส่งที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายผลิตผลที่เก็บเกี่ยวได้จากฟาร์มไปยังโรงงานแปรรูปและคลังจัดเก็บ Limpianchob และ Chirnaksorn [6] ได้สร้างแบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนรอบการปลูก การใส่ปุ๋ยจนถึงการเก็บเกี่ยว เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการวางแผนและการตัดสินใจเพื่อเป็นแนวทางการลดต้นทุนโลจิสติกส์การเพาะปลูกสับปะรดพันธุ์ควีน จะเห็นได้ว่าแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่กล่าวในข้างต้นสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการตัดสินใจวางแผนดำเนินการผลิตผัก

2. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

2.1 ปัญหาการเก็บเกี่ยวผัก

โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ มีจำนวนเตียงมากกว่า 500 เตียง หน่วยโภชนาการของโรงพยาบาลดังกล่าวมีหน้าที่ประกอบอาหารสำหรับผู้ป่วยที่นอนพักรักษาตัวในโรงพยาบาล ในแต่ละปีหน่วยโภชนาการต้องทำการจัดหาผักสำหรับประกอบอาหารให้ผู้ป่วยมากกว่า 60 ชนิด เพื่อให้ได้สารอาหารอย่างครบถ้วนในแต่ละมื้อและเหมาะสมกับโรคของผู้ป่วย สวนผักของเกษตรกรรายย่อยกรณีศึกษาได้ทำการผลิตผักหลากหลายชนิดเพื่อสนองความต้องการของหน่วยโภชนาการและผู้บริโภคหลากหลายกลุ่มซึ่งมีความต้องการแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นชนิดหรือปริมาณของผัก จากการเก็บข้อมูลพบว่า หน่วยโภชนาการทำการสั่งซื้อผักทุก 2 สัปดาห์ต่อครั้ง เกษตรกรจะได้รับคำสั่งซื้อผักล่วงหน้า 2 สัปดาห์ หลังจากที่ได้รับคำสั่งซื้อ เกษตรกรจะ

ทำการวางแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผลโดยอาศัยประสบการณ์ แต่เนื่องด้วยผักแต่ละชนิดมีช่วงระยะเวลาที่สามารถเก็บเกี่ยวได้แตกต่างกัน เช่น คะน้ามีดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvesting index) หรือระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว 45-55 วัน หลังปลูก ผักกาดขาวมีระยะเวลา 40-45 วัน หลังปลูก เป็นต้น [7] ในการเก็บเกี่ยวต้องจ้างแรงงานซึ่งหาได้ยากและบางครั้งไม่ได้วางแผนการเก็บเกี่ยวล่วงหน้า ทำให้ขาดแคลนแรงงานในช่วงระยะเวลาที่ผลิตผลพร้อมเก็บเกี่ยว ส่งผลให้ระยะเวลาที่ผลิตผลคงค้างในแปลงล่วงเลยระยะที่เหมาะสมกับการบริโภค หรือที่เรียกว่า ระยะความบริบูรณ์ทางพืชสวน (Horticultural maturity) [7] จึงทำให้ผลิตผลสิ้นอายุและหมดสภาพ ซึ่งนำไปสู่การถอนทิ้ง หรือนำไปทำปุ๋ย ดังนั้นผลิตผลที่เก็บเกี่ยวได้จึงมีปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการตอบสนองคำสั่งซื้อ เกษตรกรจำเป็นต้องสั่งซื้อผักจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกรหรือผู้จำหน่ายผักรายย่อยในราคาที่สูงขึ้นเนื่องจากไม่ได้มีการตกลงซื้อขายกันไว้ล่วงหน้า

เพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้สร้างเครื่องมือช่วยในการวางแผนการเก็บเกี่ยว เพื่อให้เกษตรกรมีผักในปริมาณที่สามารถตอบสนองความต้องการของหน่วยโภชนาการได้อย่างครบถ้วน สดใหม่ และมีคุณภาพ และช่วยในการวางแผนการเก็บรักษาผลิตผลในตู้เย็นเพื่อรอจำหน่าย รวมถึงช่วยวางแผนการซื้อผักเพิ่มในกรณีที่ผลิตผลจากการปลูกมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP)

2.2 ข้อสมมติในการสร้างแบบจำลอง (Assumptions)

1. ผักทุกชนิดเริ่มเก็บเกี่ยวได้พร้อมกันในช่วงเวลา $t=1$
2. กำลังการผลิตผักทุกชนิดมีค่าคงที่และทราบค่าล่วงหน้า
3. ผลิตผลมีน้ำหนักคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวและจัดเก็บ
4. กลุ่มเครือข่ายเกษตรกรมีผลิตผลพร้อมจำหน่ายตามความต้องการของเกษตรกร
5. ตู้เย็นของเกษตรกรมีความจุในการจัดเก็บผลิตผลได้อย่างไม่จำกัด
6. เมื่อถึงวันสิ้นอายุของผลิตผลชนิดใดๆ ที่จัดเก็บในตู้เย็น ผลิตผลชนิดนั้นต้องนำออกจากตู้เย็นทั้งหมดเพื่อจำหน่ายในราคาถูกหรือนำไปทำปุ๋ย

2.3 เซต (Sets)

I กลุ่มของชนิดผัก, $I=\{1,2,...,i\}$

T กลุ่มของวันที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวและจัดเก็บผลิตผล, $T=\{1,2,...,t\}$

X_i กลุ่มของวันที่ผลิตผลสามารถเก็บเกี่ยวได้สำหรับผักชนิดที่ $i \in I$, $1 \le x_i = t \le X_i^{\max}$

Y_i กลุ่มของวันที่ผลิตผลสามารถคงค้างในแปลงปลูกได้สำหรับผักชนิดที่ $i \in I$, $0 \le y_i = t \le Y_i^{\max}$

Z_i กลุ่มของวันที่ผลิตผลสามารถจัดเก็บในตู้เย็นได้โดยที่ผลิตผลยังคงความสดสำหรับผักชนิดที่ $i \in I$, $1 \le z_i = t \le Z_i^{\max}$

2.4 พารามิเตอร์ (Parameters)

C_1 ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว

C_2 ค่าใช้จ่ายในการดูแลผลิตผลที่พร้อมจำหน่ายแต่ยังคงค้างในแปลงปลูก

C_3 ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผลิตผลในตู้เย็น

C_4 ค่าใช้จ่ายในการจัดหาผักจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร

D_i^t ปริมาณความต้องการผลิตผลของผักชนิดที่ i ในวันที่ t

h_i ปริมาณผลิตผลขั้นต่ำในการเก็บเกี่ยวผักชนิดที่ i

M จำนวนเต็มที่มากพอที่ทำให้อสมการที่ 6 และ 7 เป็นไปตามเงื่อนไขบังคับต่างๆ ในการสร้างแบบจำลอง

P_i ปริมาณผลิตผลของผักชนิดที่ i ที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว

2.5 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

B_i^t มีค่าเป็น 1 เมื่อตัดสินใจทำการเก็บเกี่ยวผลิตผล ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

$H_i^{x_i}$ ปริมาณผลิตผลของผักชนิดที่ i ที่ถูกเก็บเกี่ยวในวันที่ x_i

$L_i^{y_i}$ ปริมาณผลิตผลของผักชนิดที่ i ที่สามารถคงค้างในแปลงปลูกในวันที่ y_i

$R_i^{z_i}$ ปริมาณผลิตผลของผักชนิดที่ i ที่นำไปจัดเก็บในตู้เย็นในวันที่ z_i

SC_i^t ปริมาณผักชนิดที่ i ที่สั่งซื้อจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกรในวันที่ t

2.6 ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

เป้าหมายสำหรับแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผลคือ มีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด และสามารถสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยแสดงได้ดังฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ 1, F, ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ คือ (1) ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว (Harvesting cost) ซึ่งเกิดจากค่าจ้างแรงงานในการเก็บเกี่ยวผลิตผลในแต่ละวัน (2) ค่าใช้จ่ายในการดูแลผลิตผลที่คงค้างในแปลงปลูก (Maintaining cost) ซึ่งต้องทำการดูแลรักษาผลิตผลให้คงคุณภาพไว้ เช่น ค่าน้ำ ค่าจ้างแรงงานในการดูแลรักษา ค่าปุ๋ย เป็นต้น (3) ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผลิตผลในตู้เย็น (Refrigerated storage cost) และ (4) ค่าใช้จ่ายในการจัดหาผักจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร (Procuring cost) ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ผลิตผลของเกษตรกรมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องจัดหาผักเพิ่มจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร

$$\begin{aligned}\text{Min F} = \; & \underbrace{C1\sum_{i\in I}\sum_{x_i\in X_i} H_i^{x_i}}_{\text{Harvesting cost}} \\ & + \underbrace{C2\sum_{i\in I}\sum_{y_i\in Y_i} L_i^{y_i}}_{\text{Maintaining cost}} \\ & + \underbrace{C3\sum_{i\in I}\sum_{z_i\in Z_i} R_i^{z_i}}_{\text{Refrigerated storage cost}} \\ & + \underbrace{C4\sum_{i\in I}\sum_{t\in T} SC_i^t}_{\text{Procuring cost}}\end{aligned} \quad (1)$$

2.7 เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

2.7.1 การเก็บเกี่ยวและจัดหาผลิตผล

1) การเก็บเกี่ยวผลิตผล

สมการที่ 2 และ 3 แสดงถึงผลิตผลที่ถูกเก็บเกี่ยวเพื่อนำมาตอบสนองความต้องการในแต่ละวันและยังมีผลิตผลบางส่วนที่เหลือคงค้างในแปลงปลูก สมการที่ 4 แสดงถึงผลิตผลต้องถูกเก็บเกี่ยวทั้งหมดภายในระยะเวลาที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามอายุของผักแต่ละชนิด

$$L_i^{y_i} = L_i^{y_i-1} - H_i^{x_i} \quad ,\forall i \in I, x_i \in X_i, y_i \in Y_i \quad (2)$$

$$L_i^{y_i} = P_i \quad ,\forall i \in I,\ \mathrm{y}_i = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{x_i\in X_i} H_i^{x_i} = P_i \quad ,\forall \mathrm{i} \in I \quad (4)$$

2) การจัดหาผลิตผล

ผลิตผลที่ได้จากการเก็บเกี่ยวและผักที่ได้ทำการสั่งซื้อจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร สามารถสนองความต้องการของหน่วยโภชนาการได้อย่างเพียงพอ ดังสมการที่ 5

$$\sum_{x_i\in X_i} H_i^{x_i} + \sum_{t\in T} SC_i^t \geq \sum_{t\in T} D_i^t \quad ,\forall i \in I \quad (5)$$

3) ปริมาณขั้นต่ำของการเก็บเกี่ยว

เนื่องด้วยข้อจำกัดของแรงงานในการเก็บเกี่ยวผลิตผลแต่ละครั้ง เกษตรกรจึงกำหนดปริมาณขั้นต่ำในการเก็บเกี่ยวผลิตผลแต่ละชนิด และไม่ทำการเก็บเกี่ยว ถ้าความต้องการผลิตผลมีปริมาณน้อยกว่า ดังอสมการที่ 6 และ 7

$$H_i^{x_i} \leq MB_i^t \quad ,\forall i \in I, t \in T, x_i \in X_i \quad (6)$$

$$h_i - H_i^{x_i} \leq M(1 - B_i^t) \quad ,\forall i \in I, t \in T, x_i \in X_i \quad (7)$$

2.7.2 การจัดเก็บผลิตผล

ผลิตผลที่ถูกจัดเก็บในตู้เย็นประกอบด้วย (1) ผลิตผลที่เก็บเกี่ยวและซื้อจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร เพื่อนำมาสนองความต้องการของหน่วยโภชนาการ (2) ผลิตผลที่ต้องเก็บเกี่ยวตามจำนวนขั้นต่ำซึ่งกำหนดโดยเกษตรกร และ (3)

ผลิตผลที่คงค้างในแปลงปลูกซึ่งต้องเก็บเกี่ยวให้หมดเนื่องจากครบกำหนดอายุ การจัดเก็บผลิตผลแต่ละชนิดในตู้เย็นมีระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยผลิตผลที่เข้าตู้เย็นก่อน จะต้องถูกนำออกไปสนองความต้องการก่อนตามลำดับอายุของการจัดเก็บ ดังแสดงในสมการที่ 8

$$R_i^{z_i} = R_i^{z_i-1} + H_i^{x_i} - D_i^t + SC_i^t \quad , \forall i \in I, t \in T, x_i \in X_i, z_i \in Z_i \tag{8}$$

2.7.3 เงื่อนไขตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ และตัวแปรเป็นตัวแปรทวิภาคดังนี้

$$H_i^{x_i} \geq 0 \ , \forall i \in I, x_i \in X_i \tag{9}$$

$$L_i^{y_i} \geq 0 \ , \forall i \in I, y_i \in Y_i \tag{10}$$

$$R_i^{z_i} \geq 0 \ , \forall i \in I, z_i \in Z_i \tag{11}$$

$$SC_i^t \geq 0, \ B_i^t \in \{0,1\} \ , \forall i \in I, t \in T \tag{12}$$

3. ผลการวิจัย

แบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ถูกนำมาทดสอบโดยใช้ข้อมูลนำเข้าที่รวบรวมได้จากสวนผักกรณีศึกษาซึ่งได้รับคำสั่งซื้อผลิตผลจากหน่วยโภชนาการของโรงพยาบาล โดยสั่งซื้อผักจำนวน 13 รายการ ดังแสดงในตารางที่ 1 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 แบบจำลอง MILP ถูกถ่ายทอดลงในแผ่นงานบนซอฟต์แวร์ Microsoft Excel และหาค่าเหมาะที่สุดด้วย OpenSolver 2.7.1 [8] ซึ่งเป็น Add-ins ในซอฟต์แวร์ Excel

ผลเฉลยเหมาะที่สุดสำหรับแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผลของเกษตรกร เพื่อนำมาตอบสนองความต้องการของหน่วยโภชนาการที่สั่งซื้อผักภายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ต่อรอบการสั่งซื้อ ดังแสดงในตารางที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยเลือกผักบุ้งจีน (ผักชนิดที่ 2 ในตารางที่ 3) เริ่มต้นของการวางแผน เกษตรกรมีผลิตผลปริมาณ 1,000 กิโลกรัมในแปลงปลูกที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยวได้ โดยวันแรก (t=1) ทำการเก็บเกี่ยว 300 กิโลกรัม เพื่อสนองความต้องการจำนวน 100 กิโลกรัม ผลิตผลที่เหลือนำไปเก็บในตู้เย็นจำนวน 200 กิโลกรัม เพื่อเก็บไว้ตอบสนองความต้องการในวันที่ 2 และ 3 ด้วยจำนวนเท่ากันคือ 100 กิโลกรัม รวมเป็น 200 กิโลกรัม จำนวนขั้นต่ำในการเก็บเกี่ยวผักบุ้งจีน คือ 200 กิโลกรัมต่อวัน (ซึ่งผักแต่ละชนิดมีจำนวนขั้นต่ำในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เช่น ถั่วฝักยาว และมะระ คือ 50 และ 150 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ) ดังนั้นในวันที่ 5 (t=5) ต้องเก็บเกี่ยว 200 กิโลกรัม เพื่อสนองความต้องการแค่ 50 กิโลกรัม ส่วนที่เหลือนำไปจัดเก็บในตู้เย็น ในวันที่ 7 ต้องเก็บเกี่ยวให้หมดแปลงจำนวน 500 กิโลกรัม เพราะสิ้นสุดระยะเวลาคงค้างในแปลงปลูกที่เหมาะสมกับการบริโภค จนกระทั่งในวันที่ 9 เหลือผลิตผลจำนวน 350 กิโลกรัม ซึ่งต้องนำออกจากตู้เย็นทั้งหมดเพื่อจำหน่ายในราคาถูก ในวันที่ 10 12 และ 13 ต้องทำการสั่งซื้อผักบุ้งจีนจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร 100 กิโลกรัมต่อวัน ตามความต้องการของลูกค้า

ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเกษตรกรภายใน 1 ปี ก่อนและหลังจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MILP ในการวางแผนการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า แผนที่ได้จากแบบจำลอง โดยเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวผลิตผลในระยะที่เหมาะสมกับการบริโภค แล้วนำมาเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผลิตผลในตู้เย็น ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรตามปริมาณผลิตผลของผักที่จัดเก็บในตู้เย็น ($R_i^{z_i}$) ผลลัพธ์จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ พบว่า ผลผลิตของผักใน 14 วัน (2 สัปดาห์) ที่ถูกจัดเก็บในตู้เย็นมีจำนวน 9,075 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผลผลิตคือ 5 บาทต่อกิโลกรัม ผลลัพธ์เท่ากับ 9,075×5 = 45,375 บาทต่อ 2 สัปดาห์ หรือ 1,134,375 บาทต่อปี (45,375 บาทต่อ 2 สัปดาห์ × 50 สัปดาห์) โดยที่ผลิตผลยังสามารถจำหน่ายได้ตามราคาขายที่กำหนดไว้ ไม่ได้สูญเสียโอกาสในการขาย แต่ถ้าเกษตรกรไม่ได้คำนึงถึงการเก็บรักษาผลิตผลในตู้เย็น ปล่อยให้ผลิตผลคงค้างในแปลงปลูกจนล่วงเลยระยะครบกำหนดการเก็บเกี่ยว ทำให้ต้องนำไปจำหน่ายในราคาที่ต่ำกว่าราคาขาย ผลให้เกิดค่าสูญเสียโอกาสในการขายถึง 1,890,625 บาทต่อปี

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งสองแล้วพบว่า หลังจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MILP แล้วจะทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง 756,250 บาท หรือ ลดลงร้อยละ 40 นอกจากนั้นยังพบว่า ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ลดลงด้วยเช่นกันอันประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว ค่าใช้จ่ายในการดูแลผลิตผลที่คงค้างในแปลงปลูก และค่าใช้จ่ายในการจัดหาผักจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกรลดลงร้อยละ 18.29 4.06 และ 66.32 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณผลิตผลและความต้องการผักในช่วงเวลา 1 รอบการสั่งซื้อ (กิโลกรัม)

ลำดับ	ชนิดผัก	ปริมาณผลิตผล (P_i)	ความต้องการผัก (D_i^t)
1	กระเจี๊ยบเขียว	100	140
2	ถั่วแขก	100	90
3	ถั่วฝักยาว	500	500
4	ถั่วลันเตา	200	240
5	ผักกาดขาว	1,000	1,300
6	ผักบุ้งจีน	1,000	950
7	มะระ	500	700
8	คะน้า	1,200	1,320
9	แตงกวา	1,000	1,240
10	ปวยเล้ง	300	405
11	ผักกาดเขียวกวางตุ้ง	1,100	1,140
12	ผักกาดหอม	900	900
13	ผักบุ้งไทย	1,500	1,400

ตารางที่ 2 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง MILP

ปัญหา	จำนวน
ชนิดผัก (I)	13
ตัวแปรตัดสินใจ	657
- ตัวแปรที่มีค่าไม่เป็นจำนวนเต็ม (Non-integer value)	555
- ตัวแปรทวิภาค	102

ตารางที่ 3 ผลเฉลยเหมาะที่สุดของแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผล (กิโลกรัม)

ชนิดผัก	ตัวแปร	วันที่ t													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ถั่วฝักยาว P_3 = 500	D_3^t	40	-	50	50	50	40	60	60	-	60	40	-	50	-
	$H_3^{x_3}$	50	-	50	50	350									
	$L_3^{y_3}$	450	450	400	350										
	$R_3^{z_3}$	10	10	10	10	310	270	210	150	150	90	50			
	SC_3^t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-
ผักบุ้งจีน P_6 = 1,000	D_6^t	100	100	100	-	50	100	100	-	100	100	-	100	100	-
	$H_6^{x_6}$	300	-	-	-	200	-	500							
	$L_6^{y_6}$	700	700	700	700	500	500								
	$R_6^{z_6}$	200	100	-	-	150	50	450	450	350					
	SC_6^t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	100	100	-
มะระ P_7 = 500	D_7^t	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
	$H_7^{x_7}$	-	150	-	150	-	-	200							
	$L_7^{y_7}$	500	350	350	200	200	200								
	$R_7^{z_7}$	-	50	50	100	100	-	200	100	100	-	-	-	-	
	SC_7^t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	100

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแผนการเก็บเกี่ยวผลิตผล ก่อนและหลังการใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ค่าใช้จ่ายต่อปี	ก่อนใช้ (บาท)	หลังใช้ (บาท)	ผลต่าง	ร้อยละ
ค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยว	205,000	167,500	37,500	18.29
ค่าใช้จ่ายในการดูแลผลิตผลที่คงค้างในแปลงปลูก	1,204,750	1,155,875	48,875	4.06
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บผลิตผลในตู้เย็น	-	1,134,375	756,250	40.0
ค่าสูญเสียโอกาสเนื่องจากผลิตผลคงอยู่ในแปลงปลูกเกินกำหนดระยะที่เหมาะสมในการบริโภค	1,890,625	-		
ค่าใช้จ่ายในการจัดหาผักจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร	2,478,750	811,750	1,667,000	67.25
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	**5,779,125**	**3,269,500**	**2,509,625**	**43.43**

4. สรุปผลการวิจัย

แผนการเก็บเกี่ยวผลิตผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์จะช่วยทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงร้อยละ 43.43 เกษตรกรรายย่อยทำการตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยนำผลิตผลที่จัดเก็บไว้ในตู้เย็นมาจำหน่ายก่อน จากนั้นเก็บเกี่ยวผลิตผลในแปลงปลูกตามปริมาณการเก็บเกี่ยวขั้นต่ำที่กำหนดไว้ ซึ่งหากผลิตผลยังคงเหลืออยู่ในแปลงปลูกจนถึงวันสุดท้ายของช่วงระยะเวลาที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ตามกำหนดอายุ ผลิตผลดังกล่าวจะถูกเก็บเกี่ยวจนหมดแปลงและจัดเก็บเข้าตู้เย็น เพื่อสนองความต้องการในวันถัดไป ผลิตผลสามารถจัดเก็บได้ในตู้เย็นตามช่วงระยะเวลาของอายุการจัดเก็บ หากเกินกำหนดช่วงระยะเวลาดังกล่าว ผลิตผลนั้นจะต้องนำออกจากตู้เย็น หากผลิตผลที่รวบรวมได้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ เกษตรกรสามารถจัดหาเพิ่มจากกลุ่มเครือข่ายเกษตรกร

5. ข้อเสนอแนะ

การจัดจำหน่ายผลิตผลในราคาถูกให้แก่ลูกค้า ก่อนที่ผลิตผลจะเสียคุณภาพนั้น เป็นการลดค่าเสียโอกาสในการจำหน่ายผลิตผล ซึ่งฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้นำการจัดจำหน่ายผลิตผลในราคาถูก มาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งอาจจะมีผลต่อค่าของตัวแปรตัดสินใจต่างๆ ได้ ดังนั้นแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคตจะพิจารณาในประเด็นการจัดจำหน่ายผลิตผลในราคาถูก รวมถึงการวางแผนการจัดหาเมล็ดพันธุ์ และการปลูกผักที่หลากหลายชนิด ในพื้นที่แปลงเพาะปลูกที่จำกัด ความสามารถในการผลิตที่ต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย เช่น ฤดูกาล ภัยธรรมชาติ เป็นต้น

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง อาจมีค่าใช้จ่าย หรือผลกระทบอื่นๆ เพิ่มด้วย เช่น การลงทุนการจัดเก็บผลิตผล จะต้องมีการจัดซื้อจัดหาตู้เย็นเพื่อจัดเก็บผลิตผล การจัดหาจัดจ้างแหล่งผลิตทดแทน จะต้องมีค่าดำเนินการมาเกี่ยวข้องด้วย เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (R2562A140) และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ ภายใต้โครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) ผู้วิจัยขอขอบคุณ เกษตรกรที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. Office of Agricultural Economics, 2019, Thailand Foreign Agricultural Trade Statistics 2018 [Online], Available: http://www.oae.go.th/ assets/portals/1/ files/ebook/2562/tradestat61.pdf. [21 October 2019] (In Thai)

2. Wishon, C., Villalobos, J.R., Mason, N., Flores, H. and Lujan, G., 2015, "Use of MIP for Planning Temporary Immigrant Farm Labor Force," *International Journal of Production Economics*, 170, pp. 25-33.

3. You, P.S. and Hsieh, Y.C., 2017, "A Computational Approach for Crop Production of Organic Vegetables," *Computers and Electronics in Agriculture*, 134, pp. 33–42.

4. Etemadnia, H., Goetza, S.J., Canning, P. and Tavallali, M.S., 2015, "Optimal Wholesale Facilities Location within the Fruit and Vegetables Supply Chain with Bimodal Transportation Options: an LP-MIP Heuristic Approach," *European Journal of Operational Research*, 244, pp. 648–661.

5. Lamsal, K., Jones, P.C. and Thomas, B. W., 2016, "Harvest Logistics in Agricultural Systems with Multiple, Independent Producers and No On-Farm Storage," *Computers and Industrial Engineering*, 91, pp. 129-138.

6. Limpianchob, C. and Chirnaksorn, S., 2013, "Cultivation Logistics Cost Reduction for Queen Pineapple Using Mixed-Integer Linear Programming," *KMUTT Research and Development Journal*, 36 (3), pp. 287-298.

7. Jingtair, S., 2006, Postharvest Physiology and Technology of Vegetable and Fruit, Kasetsart University Press, Bangkok. (In Thai).

8. Mason, A.J. and Dunning, I., 2010, "Opensolver: Open Source Optimisation For Excel," *Proceedings of the 45th Annual Conference Of The ORSNZ*, Auckland, New Zealand, pp. 181-190.