แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ของระบบเกษตรกรรมที่สนับสนุนโดยชุมชน กรณีศึกษา บริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์

อภิชัย ฤตวิรุฬห์[1*] ประเสริฐ จันทรมณฑล[2] ชัยณรงค์ คงทน[2] และ กฤตภาส สายเสมา[2]
มหาวิทยาลัยนเรศวร ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

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

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 25 กุมภาพันธ์ 2565
แก้ไข : 9 มกราคม 2566
ตอบรับ : 30 มกราคม 2566
DOI : 10.14456/kmuttrd.2023.2

คำสำคัญ :
การวางแผนจัดสรร / กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม / เกษตรกรรมที่สนับสนุนโดยชุมชน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรผักหลากหลายชนิดลงในตะกร้าผักอินทรีย์ โดยเลือกบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์เป็นบริษัทกรณีศึกษา บริษัทฯ จำหน่ายตะกร้าผักอินทรีย์ภายใต้ระบบเกษตรกรรมที่สนับสนุนโดยชุมชน (Community Supported Agriculture, CSA) โดยส่งตรงถึงบ้านสมาชิก การวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์เป็นการดำเนินงานที่ซับซ้อนและยุ่งยาก เนื่องจากมีเงื่อนไขและข้อจำกัดดังนี้ (1) ความต้องการเฉพาะเจาะจงที่ลูกค้าได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิกตะกร้าผัก CSA และ (2) บริษัทฯ กำหนดขอบเขตมูลค่ารวมของผักในแต่ละตะกร้า พนักงานใช้เวลานานในการวางแผนจัดสรร เนื่องจากพนักงานอาศัยประสบการณ์ในการดำเนินงานโดยไม่มีเครื่องมือช่วย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming, ILP) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ ผลการวิจัยพบว่า เวลาที่ใช้ในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ลดลงจากเดิมร้อยละ 61.14 และมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนรวมทั้งหมดลดลงจากเดิมร้อยละ 95.50 เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานของพนักงานในปัจจุบัน

An Integer Linear Programming Model for Organic Vegetable Basket Allocation Planning of a Community Supported Agriculture System: A Case Study of Organic-Produce Distributing Company

Apichai Ritvirool1[1*], Prasert Juntaramonthon[2] , Chainarong Kongton[2] and Krittapas Saisema[2]

Naresuan University, Phitsanulok-Nakornsawan, Tharpoa, Muang, Phitsanulok 65000

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

[1] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.

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

Article Info

Article History:
Received: February 25, 2022
Revised: January 9, 2023
Accepted: January 30, 2023
DOI : 10.14456/kmuttrd.2023.2

Keywords : Allocation Planning / Integer Linear Programming / Community Supported Agriculture (CSA)

Abstract

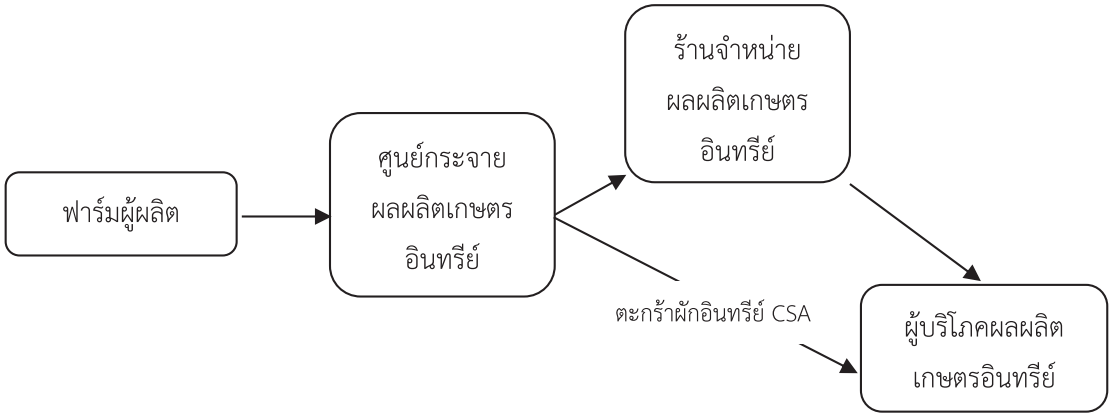
The present research developed a mathematical model as a supporting tool to perform allocation planning of organic vegetables into a basket; an organic-produce distributing company was used as a case study. The company, which is operated by the community supported agriculture (CSA) system, directly sells organic vegetable baskets to home members. Allocation planning of a variety of vegetables into an organic vegetable basket is a complicated and cumbersome operation. This happens because there are several conditions and restrictions as follows: (1) each customer specifically requires different vegetables in the CSA basket subscription form and (2) the distributing company sets the boundary value of the total vegetable value in each basket. Employees took a long time to perform the allocation planning, usually relying only on their own experiences. No support tool was used to help with such an operation. To solve the problem, Integer Linear Programming (ILP) model was developed as a support tool for the organic vegetable basket allocation planning. The results showed that the time spent for planning the allocation of organic vegetable baskets reduced by 61.14%; the total deviated allocation value also reduced by 95.50% when compared with the results of the current operations.

1. บทนำ

เครือข่ายเกษตรอินทรีย์ก่อตั้งขึ้นโดยการรวมกลุ่มกันของเกษตรกรและผู้ที่สนใจปลูกพืชผักตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตและจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์ของสมาชิกถึงผู้บริโภคในท้องถิ่นให้ได้บริโภคอาหารที่ปลอดภัย โดยมีกระบวนการปลูกที่ไม่ใช้สารเคมี ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี รวมทั้งส่งเสริมให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนจากเกษตรที่ใช้สารเคมีมาเป็นเกษตรอินทรีย์ โดยฟาร์มของสมาชิกในเครือข่ายทั้งหมดได้ผ่านการตรวจรับรองแปลงตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems, PGS) หรือเรียกว่า ระบบชุมชนรับรอง ผลผลิตเกษตรอินทรีย์จากฟาร์มในเครือข่ายประกอบด้วย พืชผัก ผลไม้ ไข่ ข้าวกล้อง และอาหารแปรรูป มีจำนวนสินค้ารวมมากกว่า 150 รายการ การไหลผลผลิตเกษตรอินทรีย์จากผู้ผลิตจนถึงมือผู้บริโภค ภายในโซ่อุปทานของเครือข่ายฯ ดังแสดงในรูปที่ 1 สินค้าจากทุกฟาร์มจะถูกรวบรวม ณ ศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์กรณีศึกษา ก่อนจัดส่งไปยังจุดจำหน่ายซึ่งเป็นส่วนปลายน้ำของโซ่อุปทาน หรือส่งตรงถึงบ้านสมาชิกที่ได้ชำระเงินล่วงหน้าในการสมัครสมาชิกระบบตะกร้าผักอินทรีย์เกษตรกรรมที่สนับสนุนโดยชุมชน (Community Supported Agriculture, CSA) โดยเลือกรับตะกร้าผัก CSA ในระยะเวลา 8, 16 หรือ 24 สัปดาห์

Samoggia และคณะ [1] ได้ให้ความหมายของระบบเกษตรกรรมที่สนับสนุนโดยชุมชน (CSA) คือ การเป็นหุ้นส่วนโดยตรงและความร่วมมือกันระหว่างกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นสมาชิก และกลุ่มฟาร์มผู้ผลิต ในลักษณะการมีส่วนร่วมในข้อตกลงระยะยาวเกี่ยวกับ ความรับผิดชอบ ความเสี่ยง และผลตอบแทนในกิจกรรมต่าง ๆ ของฟาร์มผู้ผลิต โดยสมาชิกยอมรับในเงื่อนไขการชำระเงินและการจัดส่งผลผลิตเกษตรอินทรีย์ เกษตรกรมุ่งสร้าง CSA ให้เป็นระบบทางเลือกในการกระจายผลผลิตการเกษตรซึ่งไม่เหมือนกับระบบการตลาดทั่วไป โดยมุ่งให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงสินค้าเกษตรที่ดีต่อสุขภาพ และสามารถติดต่อโดยตรงกับเกษตรกรผู้ผลิตตัวจริง CSA เป็นระบบที่ช่วยให้การดำเนินกิจการของผู้ผลิตโดยเฉพาะผู้ผลิตเกษตรอินทรีย์สามารถอยู่รอดได้ สามารถผลิตผลผลิตที่ปลอดภัยต่อการบริโภคโดยไม่ขาดทุน ในขณะที่ผู้บริโภคสามารถรู้แหล่งผลิตอาหารที่ดีต่อสุขภาพ ปลอดภัยและมีคุณภาพ นำมาซึ่งการได้ประโยชน์ร่วมกันทั้งสองฝ่าย [2-3]

บริษัทกรณีศึกษาในฐานะตัวกลางระหว่างกลุ่มผู้ผลิตและผู้บริโภค ต้องดำเนินงานจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA เพื่อเอื้อประโยชน์ให้กับทั้งสองฝ่าย การวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก พนักงานมีความต้องการเครื่องมือช่วยใน



รูปที่ 1 แสดงการไหลของผลผลิตเกษตรอินทรีย์จากผู้ผลิตถึงมือผู้บริโภค

การวางแผนจัดสรรผักอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ลงตะกร้าผัก CSA เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าและอุปทานจากฟาร์มซัพพลายเออร์ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เป็นหนึ่งในเครื่องมือช่วยในการแก้ปัญหาการวางแผนจัดสรรผลผลิตหรือทรัพยากรเพื่อการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร Filippi และคณะ [4] ได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming, MILP) สำหรับเป็นเครื่องมือช่วยเกษตรกรในประเทศอิตาลีเพื่อการตัดสินใจวางแผนจัดสรรการผลิตพืชเศรษฐกิจหมุนเวียนในแต่ละรอบของการปลูก การวางแผนจัดสรรการผลิตพืชเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน และมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์การเกษตร นอกจากนี้ระบบการเพาะปลูกในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตและช่วงเวลาการเก็บผลผลิตของพืชแต่ละชนิดที่มีความแตกต่างกัน เกษตรกรต้องดำเนินการเพื่อให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ราคารับซื้อในตลาดสูงขึ้นในการสร้างกำไรสูงสุด การประมวลผลแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6 ผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้เกษตรกรเลือกผลิตพืชและเก็บเกี่ยวผลผลิตขายได้ในช่วงเวลาที่ได้กำไรเพิ่มขึ้นจากเดิมและช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

Brulard และคณะ [5] ได้ศึกษาระบบฟาร์มผลิตผักและผลไม้สดที่หลากหลายซึ่งเป็นสินค้าที่เน่าเสียง่ายเพื่อจำหน่ายภายในพื้นที่ชุมชนเมือง เนื่องจากที่ตั้งของฟาร์มส่วนใหญ่อยู่ในเขตเมืองจึงมีข้อจำกัด คือพื้นที่ว่างที่มีขนาดเล็ก ค่าเช่าและต้นทุนการจ้างงานที่สูง รวมถึงสินค้ามีข้อจำกัดในการเน่าเสียได้ในระยะเวลาอันสั้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาแบบจำลอง MILP ในการแก้ปัญหาการเลือกกลยุทธ์ที่เหมาะที่สุดในการเลือกขนาดและระบบการผลิตของฟาร์มรวมถึงการวางแผนกิจกรรมการเพาะปลูกเพื่อจัดสรรชนิดของผักและผลไม้ให้สอดคล้องกับทรัพยากรและระบบการผลิตที่มี โดยพิจารณาช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว การจัดเก็บไว้ในแปลงหรือเก็บรักษาในห้องเย็น รวมถึงการลดราคาเมื่อสภาพสินค้ามีความสดลดลง เพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์ในการดำเนินการคือได้รับกำไรสูงสุด ภายใต้ทรัพยากรแรงงานที่จำกัดและสามารถตอบสนองความต้องการสินค้าที่หลากหลายของลูกค้า การประมวลผลแบบจำลองเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ CPLEX 12.6 Floresa และคณะ [6] ได้พัฒนาแบบจำลอง MILP เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจเลือกพืชผักที่ควรปลูก ระยะเวลาในการปลูกและการเก็บเกี่ยว การจัดสรรพืชผักให้สอดคล้องกับลักษณะการผลิตที่เหมาะสม (เช่น พื้นที่โล่ง พื้นที่กึ่งร่มเงา หรือในโรงเรือน เป็นต้น) การเลือกโหมดการขนส่ง การเลือกตลาดค้าส่งที่จะจำหน่าย เพื่อให้ผลกำไรสูงสุดสำหรับเกษตรกรในประเทศเม็กซิโก การประมวลผลแบบจำลองเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ CPLEX 12.5.0.0 ผลจากกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีการเกษตรอย่างรอบคอบสามารถเพิ่มผลกำไร

อุปสงค์ของพืชผักตามฤดูกาลในประเทศออสเตรเลียเป็นที่ต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้นทุกปี สภาพแวดล้อมในการผลิตผักตามฤดูกาลแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ ผู้วางแผนผลิตจะต้องวางแผนผลิตผักแต่ละชนิดให้สามารถตอบสนองอุปสงค์ได้ตลอดทั้งปี โดยมีเงื่อนไขที่ซับซ้อนคือ ต้องคำนึงถึงการจัดสรรการปลูกผักให้สอดคล้องกับฤดูกาลของผักที่สามารถผลิตได้ในแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศ โดยพิจารณากำลังการผลิตภายในโซ่อุปทานทั้ง 3 ส่วน คือ (1) ฟาร์มผู้ผลิต (2) การเก็บเกี่ยวโดยคนและเครื่องจักร และ (3) โรงงานตัดแต่งและบรรจุผลิตภัณฑ์ผัก เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น Sisley และคณะ [7] ได้พัฒนาแบบจำลอง MILP เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยวางแผนโดยมีเป้าประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยให้จำนวนอุปทานได้ใกล้เคียงกับจำนวนอุปสงค์ของทุกรายการผักตามฤดูกาลตลอดทั้งปีมากที่สุด การวางแผนเพาะปลูกโดยผู้จัดการศูนย์บริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานพืชผักของกลุ่มเกษตรกร เพื่อสร้างผลกำไรโดยรวมจากทุกส่วนของโซ่อุปทานให้ได้มากที่สุด แต่ผลลัพธ์ที่ได้กลับไม่เป็นธรรมเนื่องจากการกระจายผลกำไรที่ไม่เท่าเทียมกันระหว่างเกษตรกร ซึ่งส่งผลให้เกษตรกรไม่เต็มใจที่จะร่วมมือกันในการดำเนินการตามแผนที่ได้ตกลงร่วมกันในตอนต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว Esteso และคณะ [8] จึงได้พัฒนาแบบจำลอง MILP แบบหลายวัตถุประสงค์เพื่อช่วยตัดสินใจในการวางแผนการเพาะปลูกอย่างยั่งยืนให้บรรลุ 3 ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือ (1) กำไรสูงสุด (2) สินค้าผักเน่าต้องทิ้งน้อยที่สุด และ (3) การกระจายผลกำไรที่ไม่เท่าเทียมกันระหว่างเกษตรกรน้อยที่สุด ผลลัพธ์

ที่ได้สามารถช่วยตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูกในการจัดสรรชนิดผักที่จะปลูกและปลูกโดยเกษตรกรรายใด ในปริมาณเท่าใดเพื่อให้สอดคล้องกับอุปสงค์ การวางแผนการเก็บเกี่ยวที่สัมพันธ์กับการขนส่งเพื่อส่งมอบให้ลูกค้าโดยสินค้าต้องมีคุณภาพความสดใหม่ รวมถึงการสร้างแผนดำเนินการในกรณีที่สินค้าเสื่อมสภาพโดยการขายลดล้างสต๊อก เพื่อให้ต้นทุนที่เกิดจากการทิ้งสินค้าที่เน่าเสียน้อยที่สุด ผู้วิจัยใช้ภาษา MPL 5.0.8 ในการเขียนแบบจำลองและประมวลผลหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ Gurobi 8.1.1

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่างานวิจัยที่สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยการดำเนินงานในระบบ CSA มีเพียง 1 บทความ คืองานวิจัยของ Brulard และคณะ [9] งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลอง MILP ในการแก้ปัญหาการจัดสรรผลผลิตผักที่ผลิตได้จากฟาร์มผู้ผลิตให้เหมาะกับประเภทของลูกค้า โดยต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดของจำนวนแรงงานและกำลังการผลิตของฟาร์ม ลูกค้ามี 4 ประเภท คือ (1) ตลาดเกษตรกร (Farmers' markets) (2) CSA (3) อุปสงค์พันธสัญญา (Contract demand) และ (4) ผู้ค้าส่ง กลุ่มเกษตรกรขาดเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการแก้ปัญหาดังนี้ (1) ลูกค้าแต่ละประเภทมีความต่างกันในประเด็นของปริมาณสินค้า ความหลากหลายของรายการสินค้าที่ต้องการ และ ราคาขาย กล่าวคือ ลูกค้าประเภทสมาชิก CSA เป็นลูกค้าที่ใส่ใจเรื่องสุขภาพ มีความต้องการสินค้าที่มีความหลากหลายและมูลค่าสูง แต่อุปสงค์น้อย ในขณะที่ลูกค้าประเภทผู้ค้าส่ง ต้องการซื้อสินค้าราคาถูก เพียงไม่กี่รายการ แต่สั่งซื้อในปริมาณมาก เป็นต้น (2) ค่าจ้างแรงงาน เนื่องด้วยฟาร์มกลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาตั้งอยู่ในประเทศฝรั่งเศสซึ่งมีค่าจ้างแรงงานที่สูงมาก ดังนั้นการผลิตสินค้าที่หลากหลาย และการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าเฉพาะรายส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงงานและค่าขนส่งเพิ่มสูงขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลอง MILP และทำการประมวลผลหาค่ากำไรจากการขายผลผลิตมากที่สุด ด้วยซอฟต์แวร์ ILOG CPLEX เวอร์ชัน 12.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนเลือกชนิดผักที่ควรผลิตเพื่อส่งมอบให้กับลูกค้าประเภทต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาภายในระยะเวลา 1 ปีของแผน

จากผลงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยลดความยุ่งยากในการตัดสินใจวางแผนการดำเนินงานในธุรกิจการผลิตและจำหน่ายผัก งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรผักอินทรีย์ลงตะกร้าผัก CSA ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า และอุปทานจากฟาร์มผู้ผลิต โดยพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้ลดเวลาที่ใช้ในการจัดสรรผักลงตะกร้า ลูกค้าได้รับผลผลิตในตะกร้าตรงตามความต้องการที่ได้ระบุไว้ตอนสมัครสมาชิก และมูลค่าผักในตะกร้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่บริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดไว้

2. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

2.1 ปัญหาการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA

เครือข่ายเกษตรอินทรีย์ได้ก่อตั้งบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์กรณีศึกษา มีศูนย์กระจายสินค้าเพื่อเป็นศูนย์รวมในการรับผลผลิตอินทรีย์จากฟาร์มผู้ผลิต และกระจายผลผลิตอินทรีย์ไปยังร้านค้าและลูกค้า บริษัทฯ มีระบบ CSA ในการจำหน่ายตะกร้าผักอินทรีย์ซึ่งเป็นอีกหนึ่งช่องทางในการสนับสนุนสมาชิกผู้ผลิตของเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ ลูกค้าต้องทำการสมัครเป็นสมาชิกตะกร้าผักอินทรีย์ รายละเอียดสำคัญในใบสมัครสมาชิกตะกร้าผักอินทรีย์ คือ (1) เงื่อนไขความต้องการที่ลูกค้าสามารถระบุได้ เช่น ผักที่ชอบเป็นพิเศษ และผักที่ไม่ต้องการรับ ตัวอย่างเงื่อนไขความต้องการของลูกค้า เช่น นาย ก ชอบทานผักกาดขาวเป็นพิเศษ แต่ไม่ชอบทานคะน้าและกุยช่ายขาว เป็นต้น (2) จำนวนสัปดาห์ที่ลูกค้าต้องการรับตะกร้า ซึ่งมีให้เลือก 3 ช่วงเวลา คือ 8, 16 หรือ 24 สัปดาห์ ตามลำดับ บริษัทฯ อนุญาตให้ลูกค้าสามารถรับตะกร้าไม่ต่อเนื่องทุกสัปดาห์ได้ ลูกค้าต้องชำระเงินล่วงหน้า ถ้าลูกค้าเลือกรับ 8 สัปดาห์ ชำระเงิน 2,400 บาท (เฉลี่ย 300 บาทต่อสัปดาห์) ปัญหาที่พบคือรายการผักที่ลูกค้าได้รับจากการจัดตะกร้าผัก CSA ไม่ตรงตามความต้องการพิเศษของลูกค้าที่ได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก พนักงานผู้จัดตะกร้าต้องใช้เวลาในการทบทวนและตรวจสอบในระหว่างการจัดตะกร้าเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของลูกค้าในแต่ละรายการผักที่ได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก ส่งผลให้การจัดตะกร้าผักใช้เวลานานมาก รวมถึงความยุ่งยากซับซ้อนในการตัดสินใจจัดสรรตะกร้าผัก CSA

คือ (1) จำนวนของลูกค้าแต่ละสัปดาห์ไม่เท่ากัน เนื่องจากลูกค้างดรับตะกร้าผักในบางสัปดาห์ (2) รายการผักที่แต่ละฟาร์มผู้ผลิตจำหน่ายและส่งผักอินทรีย์มายังศูนย์กระจายสินค้าเพื่อนำไปจัดสรรลงตะกร้า CSA มีจำนวนและรายการสินค้าที่หลากหลายไม่เหมือนกันในแต่ละสัปดาห์ (3) พนักงานต้องพยายามจัดสรรให้ได้ตามเงื่อนไขของบริษัทฯ กล่าวคือ มูลค่าแต่ละตะกร้าผักอินทรีย์ต้องไม่เกินขอบเขตมูลค่ารวมที่บริษัทฯ กำหนดไว้ ในแต่ละสัปดาห์ของการวางแผนจัดสรรผักอินทรีย์พนักงานใช้วิธีคำนวณด้วยมือและบันทึกลงบนกระดาษ โดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงาน ทำให้เกิดความล่าช้าและความยุ่งยากในการจัดสรร ซึ่งบริษัทฯ ยังไม่มีเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA

เพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยจัดสรรผักอินทรีย์ลงตะกร้าผัก CSA ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าสมาชิกตะกร้าผัก CSA และอุปทานจากฟาร์มผู้ผลิต โดยสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming, ILP) และประมวลผลหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver [10] ซึ่งเป็น Add-ins ในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel

2.2 ข้อสมมติในการสร้างแบบจำลอง (Assumptions)

1. การกำหนดจำนวนถุงในแต่ละรายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้าได้รับ เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขความต้องการของลูกค้าที่ได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิกตะกร้าผักอินทรีย์ CSA มีดังนี้

1.1 รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้าชอบเป็นพิเศษ คือ ผักอินทรีย์ชนิดที่ลูกค้าต้องการรับจำนวน 2 ถุงต่อสัปดาห์ และมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละสัปดาห์

1.2 รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้าไม่ได้ระบุในใบสมัครสมาชิก คือ ผักอินทรีย์ชนิดที่ลูกค้ารับได้ไม่เกิน 1 ถุงต่อสัปดาห์

2. จำนวนรวมผักจากทุกฟาร์มและจำนวนผักทุกชนิดต้องมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละสัปดาห์

3. การจัดส่งตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ให้ลูกค้า 1 ครั้งต่อสัปดาห์

2.3 เซต (Sets)

I	กลุ่มของชนิดผักอินทรีย์, $I=\{1,2,3,...,i\}$
I_k^a	รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้ารายที่ k ไม่ต้องการรับ, $I_k^a \subset I$
I_k^b	รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้ารายที่ k ไม่ปฏิเสธในการรับ, $I_k^b \subset I$
I_k^c	รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้ารายที่ k ชื่นชอบเป็นพิเศษ, $I_k^c \subset I$
K	กลุ่มของลูกค้าสมาชิกตะกร้าผักอินทรีย์ CSA, $K=\{1,2,3,...,k\}$

2.4 พารามิเตอร์ (Parameters)

C_i	ราคาต่อหน่วยของผักอินทรีย์ชนิดที่ i (บาท/ถุง)
C^{low}	มูลค่าตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ขั้นต่ำที่บริษัทประมาณการจัดสรรให้ลูกค้าแต่ละรายตามประเภทตะกร้าที่สมัครสมาชิกไว้ (บาท)
C^{up}	มูลค่าตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ที่จัดสรรให้ลูกค้าแต่ละรายไม่เกินมูลค่าที่บริษัทกำหนด (บาท)
Q_{ij}	ผลผลิตผักอินทรีย์ชนิดที่ i ของฟาร์มที่ j (ถุง)

2.5 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

X_{ik}	จำนวนผักอินทรีย์ชนิดที่ i ที่ถูกเลือกจัดสรรให้ลูกค้ารายที่ k (ถุง)
Y_{ij}	จำนวนผักอินทรีย์ชนิดที่ i ซึ่งผลิตโดยฟาร์ม j ที่บริษัทฯ นำไปจัดสรรให้ลูกค้า (ถุง)

2.6 แบบจำลองการจัดสรรผักอินทรีย์จากฟาร์มให้กับลูกค้า

2.6.1 ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

เพื่อให้การจัดสรรผักอินทรีย์สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า และเป็นไปตามเงื่อนไขของแผนกจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA เป้าหมายของแบบจำลองคือ สินค้าผักอินทรีย์จากฟาร์มที่บริษัทฯ ได้จัดสรรให้ลูกค้าทุกรายมีมูลค่ารวมต่ำที่สุด ดังแสดงในฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ (1), F, คือ มูลค่ารวมของตะกร้าผักอินทรีย์ที่บริษัทฯ จัดสรรให้ลูกค้าสมาชิกตะกร้าผัก CSA

$$\text{Min F} = \sum_{i\in I}\sum_{k\in K} C_i X_{ik} \quad (1)$$

2.6.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

1) ข้อจำกัดการจัดสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน

จำนวนผักอินทรีย์แต่ละชนิดที่จัดสรรให้ลูกค้าทั้งหมดต้องไม่เกินจำนวนผักอินทรีย์จากทุกฟาร์มที่ศูนย์กระจายสินค้าพร้อมส่งมอบ ดังอสมการที่ (2)

$$\sum_{k\in K} X_{ik} \le \sum_{j\in J} Q_{ij} \ , \ \forall_{i\in I} \quad (2)$$

จำนวนผลผลิตผักอินทรีย์ของแต่ละฟาร์ม ต้องมีเพียงพอต่อการจัดสรร ดังอสมการที่ (3)

$$Y_{ij} \le Q_{ij} \ , \ \forall_{i\in I, j\in J} \quad (3)$$

2) ข้อจำกัดขอบเขตของมูลค่าการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์

จำนวนผักอินทรีย์ที่จัดสรรให้ลูกค้าแต่ละรายต้องมีมูลค่าไม่น้อยกว่าประเภทตะกร้าผัก CSA ที่สมัครสมาชิกไว้ ดังอสมการที่ (4)

$$\sum_{i\in I} C_i X_{ik} \ge C^{low} \ , \ \forall_{k\in K} \quad (4)$$

จำนวนผักอินทรีย์ที่จัดสรรให้กับลูกค้าแต่ละรายต้องมีมูลค่าไม่เกินเงื่อนไขที่บริษัทกำหนด ดังอสมการที่ (5)

$$\sum_{i\in I} C_i X_{ik} \le C^{up} \ , \ \forall_{k\in K} \quad (5)$$

3) ข้อจำกัดด้านความต้องการของลูกค้าที่ได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก

ความต้องการรับสินค้าผักอินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์ที่ลูกค้าได้ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิกตะกร้าผัก CSA แบ่งเป็น 3 ลักษณะคือ

3.1) ผักอินทรีย์รายการใดที่ลูกค้าไม่ต้องการ บริษัทฯ จะไม่จัดสรรผักรายการดังกล่าวให้ลูกค้า ดังสมการที่ (6)

$$X_{ik} = 0 \ , \ \forall_{i\in I_k^a, k\in K} \quad (6)$$

3.2) รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้าไม่ปฏิเสธในการรับ บริษัทฯ จะจัดสรรผักรายการดังกล่าวให้ลูกค้าไม่เกิน 1 ถุง ดังอสมการที่ (7)

$$X_{ik} \le 1 \ , \ \forall_{i\in I_k^b, k\in K} \quad (7)$$

3.3) รายการผักอินทรีย์ที่ลูกค้าต้องการเป็นพิเศษ บริษัทฯ จัดสรรผักรายการดังกล่าวให้ลูกค้าจำนวน 2 ถุง ดังสมการที่ (8)

$$X_{ik} = 2 \ , \ \forall_{i\in I_k^c, k\in K} \quad (8)$$

4) มูลค่าที่ได้รับการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ของบริษัทฯ จากฟาร์มผู้ผลิตไปสู่ลูกค้า

มูลค่ารวมของผักอินทรีย์ที่บริษัทฯ เลือกหยิบผักจากแต่ละฟาร์มลงตะกร้าผัก CSA ต้องมีมูลค่าเท่ากับมูลค่ารวมของผักอินทรีย์ที่ถูกจัดสรรให้ลูกค้า ดังสมการที่ (9)

$$\sum_{j\in J} C_i Y_{ij} = \sum_{k\in K} C_i X_{ik} \ , \ \forall_{i\in I} \quad (9)$$

5) เงื่อนไขตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์และเป็นจำนวนเต็มดังอสมการที่ (10) และ (11)

$$Y_{ij} \geq 0 \text{ and Integer }, \forall_{i\in I, j\in J} \quad \textbf{(10)}$$

$$X_{ik} \geq 0 \text{ and Integer }, \forall_{i\in I, k\in K} \quad \textbf{(11)}$$

3. ผลการวิจัย

3.1 แบบจำลองการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์

การทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ด้วยข้อมูลนำเข้าที่รวบรวมจากบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์กรณีศึกษา มีลูกค้าจำนวน 10 รายที่สมัครและจ่ายค่าสมาชิกรับตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ในเวลา 8 สัปดาห์ เป็นจำนวนเงิน 2,400 บาทต่อราย เงื่อนไขความต้องการผักแต่ละชนิดของลูกค้าที่ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิกดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีฟาร์มผู้ผลิตจำนวน 5 ราย ในรอบ 1 สัปดาห์ได้จำหน่ายผักอินทรีย์ทั้งหมดจำนวน 555 ถุง ให้กับบริษัทฯ ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 585 ตัวแปร แบบจำลองถูกถ่ายทอดลงในตารางทำการบนซอฟต์แวร์ Microsoft Excel และใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver 2.9.0 ซึ่งเป็น Add-ins ในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel หาค่าเหมาะที่สุด

ตารางที่ 1 ตัวอย่างเงื่อนไขความต้องการของลูกค้าที่ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก

ลำดับ	รายการผัก	ลูกค้ารายที่									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Bush Basil	-	✗	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Rose Mary	-	✗	-	-	-	-	✗	-	-	-
3	Sweet Basil	✓	-	-	✗	-	✓	-	-	✗	-
4	กรีนโอ๊ค	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-
5	กวางตุ้ง	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-
6	กะเพรา	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	ต้นหอม	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	-	-
8	ตำลึง	✗	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-
9	ผักกาดขาว	-	-	✗	-	-	-	-	✓	-	-
11	ผักปลังเขียว	-	-	-	-	✗	-	-	-	-	-
12	ผักหวานบ้าน	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	✓
13	ผักเหลียง	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	✓
14	ยอดถั่วลันเตา	-	-	-	-	✗	-	-	-	-	✗
15	เรดโอ๊ค	-	-	-	✓	-	✓	-	-	✓	-

หมายเหตุ : ✗ คือ รายการผักที่ลูกค้าไม่ต้องการ ✓ คือ รายการผักที่ลูกค้าต้องการเป็นพิเศษ

ตารางที่ 2 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

รายการ	จำนวน	หน่วย
รายการสินค้า (SKU)	39	รายการ
ฟาร์มซัพพลายเออร์	5	ราย
สมาชิกตะกร้าผักอินทรีย์ CSA	10	ราย
สินค้าผักอินทรีย์พร้อมจำหน่าย	555	ถุง
ตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม (Integer Value)	585	ตัวแปร

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการจัดสรรผักอินทรีย์ให้กับลูกค้า โดยพิจารณาผลเฉลยเหมาะที่สุดจากแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า มีเพียง 28 รายการผัก รวมจำนวน 123 ถุง ที่ถูกเลือกจากจำนวนทั้งหมด 555 ถุง 39 รายการผัก ผลลัพธ์ที่ได้ตรงตามเงื่อนไขในแบบจำลอง คือ จำนวนผักที่ถูกจัดสรรให้กับลูกค้าไม่เกินจำนวนที่รับจากฟาร์ม ($123 \leq 555$) รายการผักที่ลูกค้าชอบทานเป็นพิเศษ (ได้รับ 2 ถุงต่อคน) และที่ไม่ต้องการ (เลข 0) ถูกจัดสรรได้ตามเงื่อนไขความต้องการซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 1 และมูลค่าผักอินทรีย์ในแต่ละตะกร้าที่ลูกค้าได้รับไม่ต่ำกว่า C^{low} หรือ 300 บาท (ตารางที่ 3) และไม่เกินค่า C^{up} หรือ 330 บาท (คำนวณด้วยสูตร $1.1\times C^{low}$) โดยมีมูลค่ารวมของการจัดสรรผักให้ลูกค้า 3,000 บาท (ตารางที่ 3) บริษัทฯ เลือก 28 รายการผัก รวมจำนวน 123 ถุงจากทั้ง 5 ฟาร์มที่นำไปจัดสรรให้ลูกค้า โดยมีมูลค่ารวมของการเลือกผักจากฟาร์ม 3,000 บาท (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลเฉลยเหมาะที่สุดของการจัดสรรผักอินทรีย์ให้กับลูกค้า (หน่วย: ถุง)

ลำดับ	รายการผัก	ราคา	ผู้ผลิต (ถุง)	จัดสรร (ถุง)	ลูกค้ารายที่									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	โหระพา	10	15	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	กะเพรา	10	9	9	2	1	1	-	1	1	1	1	1	-
3	ต้นหอม	15	12	8	-	2	-	2	-	-	2	1	1	-
4	กระเจี๊ยบเขียว	20	18	7	-	1	1	1	1	1	-	-	1	1
5	มะเขือกรอบ	20	12	7	-	1	1	-	1	1	1	1	-	1
6	Sweet Basil	30	10	6	2	1	-	0	-	2	-	-	0	1
7	กวางตุ้ง	35	39	6	2	-	2	-	-	2	-	-	-	-
8	ผักโขมแดง	35	14	6	-	-	2	-	2	-	-	2	-	-
9	ผักหวานบ้าน	35	21	6	-	-	-	-	2	-	2	-	-	2
10	มะกรูด	20	10	6	-	1	1	-	1	1	-	1	1	-
11	เรดโอ๊ค	35	48	6	-	-	-	2	-	2	-	-	2	-
12	ผักเหลียง	40	23	5	-	-	-	-	2	-	-	1	-	2
13	ยอดมะรุม	20	5	5	-	1	1	1	-	1	1	-	-	-
14	กรีนโอ๊ค	35	35	4	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-
15	ตำลึง	25	15	4	0	2	-	-	-	-	2	-	-	-
16	Bush Basil	30	5	3	1	0	1	-	-	-	-	1	-	-
17	กุยช่ายเขียว	25	18	3	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-
18	เบบี้แครอท	20	3	3	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-
19	ผักบุ้งนา	10	3	3	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-
20	ยอดถั่วลันเตา	30	20	3	1	1	-	-	0	-	-	-	1	0
21	ยอดฟักทอง	30	15	3	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-
22	ผักกาดขาว	30	3	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
23	มะเขือเครือ	25	22	2	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-
24	มะระขี้นก	25	12	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
25	กวางตุ้งดอก	35	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
26	ต้นอ่อนทานตะวัน	30	5	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
27	บวบเหลี่ยม	35	10	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
28	ผักสลัดรวม	35	8	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
จำนวนรวม			420	123	12	15	13	13	11	12	13	12	12	10
มูลค่ารวม				3,000	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลเฉลยเหมาะที่สุดของการจัดสรรผักจากแต่ละฟาร์มลงตะกร้าผัก (หน่วย: ถุง)

ลำดับ	รายการผัก	ราคา	ผู้ผลิต (ถุง)	จัดสรร (ถุง)	ฟาร์มที่				
					1	2	4	3	5
1	โหระพา	10	15	10	0	7	1	2	0
2	กะเพรา	10	9	9	9	0	0	0	0
3	ต้นหอม	15	12	8	3	5	0	0	0
4	กระเจี๊ยบเขียว	20	18	7	6	1	0	0	0
5	มะเขือกรอบ	20	12	7	0	0	6	0	1
6	Sweet Basil	30	10	6	6	0	0	0	0
7	กวางตุ้ง	35	39	6	0	3	1	0	2
8	ผักโขมแดง	35	14	6	0	1	0	5	0
9	ผักหวานบ้าน	35	21	6	0	4	2	0	0
10	มะกรูด	20	10	6	0	0	4	0	2
11	เรดโอ๊ค	35	48	6	0	0	0	0	6
12	ผักเหลียง	40	23	5	0	0	0	5	0
13	ยอดมะรุม	20	5	5	5	0	0	0	0
14	กรีนโอ๊ค	35	35	4	0	0	2	0	2
15	ตำลึง	25	15	4	0	4	0	0	0
16	Bush Basil	30	5	3	3	0	0	0	0
17	กุยช่ายเขียว	25	18	3	0	1	2	0	0
18	เบบี้แครอท	20	3	3	0	0	0	3	0
19	ผักบุ้งนา	10	3	3	3	0	0	0	0
20	ยอดถั่วลันเตา	30	20	3	0	0	0	3	0
21	ยอดฟักทอง	30	15	3	0	0	0	0	3
22	ผักกาดขาว	30	3	2	2	0	0	0	0
23	มะเขือเครือ	25	22	2	0	0	2	0	0
24	มะระขี้นก	25	12	2	0	0	2	0	0
25	กวางตุ้งดอก	35	10	1	1	0	0	0	0
26	ต้นอ่อนทานตะวัน	30	5	1	1	0	0	0	0
27	บวบเหลี่ยม	35	10	1	0	1	0	0	0
28	ผักสลัดรวม	35	8	1	1	0	0	0	0
จำนวนรวม			420	123	40	27	22	18	16
มูลค่ารวม				3,000	815	605	535	545	500

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการแก้ปัญหาที่หลากหลายกรณี โดยแสดงลักษณะปัญหาที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 10 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 5 ในแต่ละตัวอย่างได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน คือ ฟาร์มมีจำนวนระหว่าง 10 ถึง 30 ฟาร์ม ลูกค้ามีจำนวนระหว่าง 10 ถึง 30 ราย ชนิดผักอินทรีย์มีจำนวน 39 ถึง 100 ชนิด ผลผลิตจากทุกฟาร์มมีจำนวนระหว่าง 610 ถึง 4,693 ถุง และรายการผักที่ลูกค้าชื่นชอบเป็นพิเศษมีจำนวนไม่เกิน 3 รายการต่อคน ถ้าค่าพารามิเตอร์นี้มีจำนวนมากกว่า 3 รายการต่อคน จะทำให้การประมวลผลแบบจำลองไม่สามารถหาเฉลยได้ (Infeasible solution) ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ยกตัวอย่างเช่น ลูกค้าได้ระบุผักที่ชอบเป็นพิเศษ 4 รายการ คือ กะหล่ำดอก, ผักหวานป่า, ผักเหลียง และผักหวานบ้าน ซึ่งราคาถุงละ 50, 45, 40 และ 35 บาท ตามลำดับ มูลค่าผักรวมที่ได้รับการจัดสรรเท่ากับ 340 บาท ซึ่งเกินค่า C^{up} = 330 บาท (คำนวณด้วยสูตร $1.1\times C^{low}$) ผลเฉลยจากการประมวลผลหาค่าเหมาะที่สุดทั้ง 10 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 6 ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver บนเครื่อง

ตารางที่ 5 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของแบบจำลอง

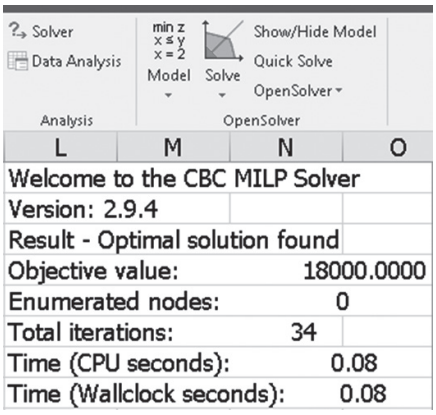
พารามิเตอร์	ขนาดของปัญหาที่ทดสอบ
1. ฟาร์มผู้ผลิตผัก	5-30 ฟาร์ม
2. ลูกค้าตะกร้าผัก CSA	10-30 คน
3. รายการผัก (SKU) ที่ฟาร์มจัดส่ง	39-100 รายการต่อสัปดาห์
4. ผักทั้งหมดจากทุกฟาร์มที่ผลิตได้	610-4,693 ถุงต่อสัปดาห์
5. รายการผัก (SKU) ที่ลูกค้าระบุความชอบเป็นพิเศษ	ไม่เกิน 3 รายการต่อคน
6. มูลค่า C^{low}	300 บาท
7. มูลค่า C^{up}	10% ที่เพิ่มขึ้นจากค่า C^{low}

ตารางที่ 6 แสดง 10 ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง และผลการวิเคราะห์ผลเฉลยจากแบบจำลอง

ลำดับ	ตัวแปรตัดสินใจ X_{ik}, Y_{ij} (ตัวแปร)	ลูกค้า (ราย)	ฟาร์ม (ราย)	รายการผักอินทรีย์ (SKU)	ผักจากทุกฟาร์ม (ถุง) $\sum_{j\in J} Q_{ij}$	ผักทั้งหมดที่ถูกจัดสรร (ถุง) $\sum_{i\in I}\sum_{k\in K} X_{ik}$	มูลค่ารวมที่ลูกค้าทุกคนได้รับจัดสรร (บาท สัปดาห์) $\sum_{i\in I}\sum_{k\in K} C_i X_{ik}$	ผลรวมของค่าผลต่างระหว่างมูลค่าที่ลูกค้าได้รับจัดสรรและ C^{low}		มูลค่าของลูกค้ารายที่ได้รับจัดสรรมากสุดในสัปดาห์นั้น ๆ (บาท/คน/สัปดาห์)	เวลาในการประมวลผล (CPU seconds)
								(บาท/สัปดาห์)**	ลูกค้า (ราย)		
1	975	10	15	39	891	103	3,025	25	3	315	0.10
2	1,200	20	10	40	610	217	6,000	0	-	-	0.07
3	1,400	20	15	40	913	218	6,060	60	6	320	0.09
4	1,600	25	15	40	913	252	7,510	10	1	310	0.09
5	2,000	30	10	50	772	321	9,005	5	1	305	0.31
6	2,500	30	20	50	1,553	325	9,015	15	2	315	0.15
7	3,000	30	30	50	2,372	367	9,000	0	-	-	0.13
8	4,000	30	10	100	1,529	350	9,070	70	10	315	0.38
9	5,000	30	20	100	3,107	365	9,000	0	-	-	0.34
10	6,000	30	30	100	4,693	367	9,000	0	-	-	0.08
							ค่าเฉลี่ย	16.82	-	-	0.16

หมายเหตุ **สูตรคำนวณคือ $\sum_{k}(\sum_{i\in I} C_i X_{ik} - C^{low})$

แล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผล Intel Core i5 ความเร็ว 2.11 GHz และหน่วยความจำ 16 GB ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Pro พบว่าสามารถหาค่าเหมาะที่สุดได้ทั้ง 10 ตัวอย่าง ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 0.16 วินาที มูลค่าที่ลูกค้าได้รับจัดสรรสูงสุดคือ 320 บาท ซึ่งมีมูลค่าไม่เกิน C^{up} (ลำดับที่ 3 ของตารางที่ 6) และเป็นไปตามเงื่อนไขของแบบจำลอง หรือกล่าวได้ว่า ค่าผลต่างสูงสุดระหว่างมูลค่าที่ลูกค้าได้รับจัดสรรและ C^{low} คือ 20 บาทต่อคน และผลรวมของค่าผลต่างระหว่างมูลค่าที่ลูกค้าแต่ละรายได้รับจัดสรรและ C^{low} มีค่าสูงสุดคือ 70 บาท (ลำดับที่ 8 ของตารางที่ 6) ซึ่งเกิดจากผลรวมของผลต่างที่ได้จากลูกค้าจำนวน 10 ราย มูลค่า 10, 5, 5, 5, 5, 5, 10, 5, 15 และ 5 บาท ตามลำดับ และรูปที่ 2 แสดงผลการหาค่าเหมาะที่สุดของตัวอย่างลำดับ 10 ของตารางที่ 6



รูปที่ 2 ผลการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver ของตัวอย่างลำดับ 10 ในตารางที่ 6

3.3 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานปัจจุบันและผลจากแบบจำลอง

3.3.1 การรวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงานปัจจุบันและการใช้แบบจำลอง

การรวบรวมข้อมูลการดำเนินงานปัจจุบันเริ่มตั้งแต่กิจกรรมตรวจรับผักจากฟาร์มจนถึงการจัดสรรตะกร้าผักพร้อมส่งมอบให้ลูกค้าซึ่งดำเนินการ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยจับเวลาในแต่ละกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 7 เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ ในช่วงเวลาดังกล่าวมีลูกค้าสมาชิกจำนวน 12 คน ฟาร์มผู้ผลิตทั้งหมด 12 ฟาร์ม และรายการผักเฉลี่ย 141 ชนิด

การปรับกิจกรรมการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์โดยใช้แบบจำลองในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผัก โดยจับเวลาในแต่ละกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 8 เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ สำหรับขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและสร้างไฟล์แม่แบบ (Template) สำหรับการประมวลผลการจัดสรรตะกร้าผักที่ทำซ้ำในขั้นตอนเดิมทุกสัปดาห์บนซอฟต์แวร์ Microsoft Excel ในตารางทำการชื่อ “ผลการจัดสรร” ได้อธิบายในตารางที่ 9

ตารางที่ 7 กิจกรรมการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ที่ดำเนินการในปัจจุบัน

ลำดับ	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	ตรวจรับผลผลิตจากฟาร์ม โดยตรวจสอบคุณภาพและจำนวนสินค้า	15
2*	วางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์ลงบนกระดาษ มีขั้นตอนดังนี้ 2.1 เขียนรายการผักภายใต้ชื่อลูกค้าแต่ละราย โดยประมาณการในมูลค่ารวม โดยจัดสรรผักให้ลูกค้าที่ไม่งดรับในสัปดาห์นั้น 2.2 พิจารณาเงื่อนไขของลูกค้าแต่ละรายตามที่ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก 2.3 พิจารณาเงื่อนไขของบริษัทฯ ในการจัดสรรมูลค่าสินค้าในแต่ละตะกร้า 2.4 คำนวณราคาผักในแต่ละตะกร้าและปรับแก้รายการผักของลูกค้าแต่ละรายให้เป็นไปตามเงื่อนไขข้อ 2.2 และ 2.3	50*
3	เลือกหยิบผักจากแต่ละฟาร์มให้ได้ตามจำนวนและรายการผักที่บันทึกไว้ในข้อ 2 ทำการจัดผักอินทรีย์ลงแต่ละตะกร้าผัก และเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า	15
4	บันทึกผลการจัดส่งตะกร้า และแจ้งแผนกบัญชี	10

หมายเหตุ* กิจกรรมที่นำมาเปรียบเทียบเวลาระหว่างการดำเนินการปัจจุบันและการใช้แบบจำลองในการจัดสรร

ตารางที่ 8 การวางแผนการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ใน Microsoft Excel

ลำดับ	กิจกรรม	เวลาที่ใช้ (นาที)	ชื่อตารางทำการ (Worksheet)
1	ตรวจรับผลผลิตจากฟาร์ม โดยตรวจสอบคุณภาพและจำนวนสินค้า	15	-
2*	วางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์ โดยประมวลผลแบบจำลองในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel มีขั้นตอนดังนี้ 2.1 บันทึกข้อมูลลูกค้าจากใบสมัครสมาชิก ตัวอย่างเช่น ชื่อ ที่อยู่ เบอร์ติดต่อ ผักที่ชื่นชอบและผักที่ไม่ต้องการรับ และมูลค่าตะกร้าผัก เป็นต้น	30**	ข้อมูลลูกค้า
	2.2 บันทึกข้อมูลผลผลิต ที่แต่ละฟาร์มได้ส่งข้อมูลผลผลิตผ่านแอพพลิเคชันไลน์ ลงในตารางทำการ	5*	รับผลผลิตจาก DC
	2.3 เชื่อมข้อมูลลูกค้าจากกิจกรรมที่ 2.1 ลงในตารางทำการ ประกอบด้วย ชื่อลูกค้า ผักที่ชื่นชอบ (ใส่เลข 2) และผักที่ไม่ต้องการรับ (ใส่เลข 0) และมูลค่าตะกร้าผักรายสัปดาห์	2*	การจัดสรรให้ลูกค้า
	2.4 พิจารณาจัดสรรเฉพาะลูกค้าที่ไม่งดรับผักในสัปดาห์นี้ โดยลูกค้าที่งดรับผัก ข้อมูลมูลค่าตะกร้าผักป้อนเข้าเท่ากับศูนย์	1*	
	2.5 ป้อนข้อมูลมูลค่าตะกร้าผักที่ยอมรับได้ตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนดในตารางทำการ	1*	
	2.6.1 เตรียมข้อมูลและสร้าง Template ไว้สำหรับการประมวลผลการจัดสรรตะกร้าผัก (รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในตารางที่ 9)	102**	ผลการจัดสรร
	2.6.2 เชื่อมข้อมูลนำเข้าจากตารางทำการชื่อ “รับผลผลิตจาก DC” และ “การจัดสรรให้ลูกค้า” ลงในตารางทำการ จากนั้นประมวลผลแบบจำลองและบันทึกข้อมูล	1*	
3	เลือกหยิบผักจากแต่ละฟาร์ม ให้ได้จำนวนและรายการผักตามผลเฉลยเหมาะที่สุดจากข้อ 2.6 จากนั้นทำการจัดผักอินทรีย์ลงแต่ละตะกร้าผักและเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า	15	-
4	บันทึกผลการจัดส่งตะกร้า และแจ้งแผนกบัญชี	10	-

หมายเหตุ * กิจกรรมที่นำมาเปรียบเทียบเวลาระหว่างการดำเนินการปัจจุบันและการใช้แบบจำลองในการจัดสรร

** กิจกรรมที่ 2.1 เนื่องจากเป็นกิจกรรมการบันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียวต่อการสมัครสมาชิกของลูกค้าแต่ละราย ซึ่งในบางสัปดาห์ถ้าไม่มีลูกค้ารายใหม่จะไม่มีกิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้น และกิจกรรมที่ 2.6.1 เป็นการสร้างเพียงครั้งเดียว

ตารางที่ 9 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลและสร้าง Template ไว้สำหรับการประมวลผลการจัดสรรตะกร้าผักบนซอฟต์แวร์ Microsoft Excel และ OpenSolver ในตารางทำการชื่อ “ผลการจัดสรร”

ลำดับ	ขั้นตอน	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	สร้างตารางข้อมูล ประกอบด้วยแถวและคอลัมน์ดังนี้ แถว : รายชื่อลูกค้า รายชื่อฟาร์ม มูลค่าตะกร้าผักตามที่สมัครสมาชิกไว้ มูลค่าตะกร้าผักตามเงื่อนไขบริษัทกำหนด และมูลค่ารวมของตะกร้าผัก คอลัมน์ : รายการผักทั้งหมด ปริมาณผักจากแต่ละฟาร์ม ราคาจำหน่ายผัก และข้อมูลอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับข้อมูลแถวและคอลัมน์ เช่น ความต้องการพิเศษของลูกค้าแต่ละราย	60
2	แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอุปสงค์และอุปทานด้วยฟังก์ชัน Conditional Formatting	5
3	สร้างตารางผลลัพธ์ของแบบจำลอง (Variable Cells) ซึ่งประกอบด้วย ตารางปริมาณผักที่ถูกจัดสรรให้ลูกค้า และตารางปริมาณผักที่ฟาร์มจัดส่งให้บริษัท และกำหนดเซลล์ฟังก์ชันเป้าประสงค์ของแบบจำลอง (Objective Cell) คือ มูลค่ารวม (Total Cost) ของทั้งสองตารางข้างต้น	5
4	ใช้ฟังก์ชัน SUM และ SUMPRODUCT ในการคำนวณผลรวมในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ถ่ายทอดลงในตารางทำการ	5
5	บันทึกสมการและอสมการและฟังก์ชันเป้าประสงค์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ลงในซอฟต์แวร์ OpenSolver	25
6	ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver	2

3.3.2 ผลการเปรียบเทียบ

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดำเนินการปัจจุบันและการใช้แบบจำลองในกิจกรรมการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ดังนี้

3.3.2.1 เวลาที่ใช้ในการวางแผนจัดสรร

จากการรวบรวมข้อมูลเวลาที่พนักงานใช้ในการจัดสรรตะกร้าผักและมูลค่าการจัดสรรตะกร้าผัก พบว่าเวลารวมที่ใช้ในกิจกรรมการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์บนกระดาษเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ (50x14) คือ 700 นาที ดังตารางที่ 7 (กิจกรรมลำดับที่ 2) ในขณะที่การดำเนินการในกิจกรรมนี้โดยการป้อนข้อมูลนำเข้าลงในโปรแกรม Microsoft Excel และทำการประมวลผลแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเดียวกันกับการดำเนินการปัจจุบันเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าใช้เวลารวม 272 นาที เมื่อนำผลดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับการดำเนินการของพนักงานในปัจจุบันดังแสดงในตารางที่ 10 พบว่าเวลาที่ใช้ในกิจกรรมการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ลดลงจากเดิม (700-272) เท่ากับ 428 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 61.14

3.3.2.2 มูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบน

มูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบน คือ มูลค่าตะกร้าผักที่ได้รับจัดสรรซึ่งเบี่ยงเบนไปจากค่า C^{low} ทั้งด้านต่ำกว่าหรือสูงกว่า กล่าวคือ มูลค่าจัดสรรที่สูงกว่า C^{low} เพิ่มขึ้น ทำให้รายรับที่บริษัทควรได้รับลดลง เช่น กำหนดให้ C^{low} = 300 บาท ลูกค้าได้รับจัดสรรผักมูลค่า 310 บาท ส่งผลให้รายรับที่บริษัทควรได้รับลดลง 10 บาท ในทางกลับกัน มูลค่าจัดสรรที่ต่ำกว่า C^{low} เพิ่มขึ้นทำให้มูลค่าที่ลูกค้าควรได้รับลดลง เช่น ลูกค้าได้รับจัดสรรผักมูลค่า 290 บาท ดังนั้น มูลค่าที่ลูกค้าควรได้รับลดลง 10 บาท จะเห็นได้ว่ามูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนควรมีค่าต่ำที่สุด

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานปัจจุบันและการใช้แบบจำลองในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผัก CSA ภายในระยะเวลา 14 สัปดาห์ (นาที)

ลำดับ	กิจกรรม	ปัจจุบัน	การใช้แบบจำลอง
1	วางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ในเวลา 14 สัปดาห์	700 (50x14)	140 (10x14)
2	บันทึกข้อมูลลูกค้าจากใบสมัครสมาชิก	-	30
3	การสร้างแผ่นแบบ (Template) ไว้เพื่อการประมวลผล	-	102
รวม		700	272

ตารางที่ 11 ผลการเปรียบเทียบมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนระหว่างการดำเนินการปัจจุบันและผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผัก CSA ในระยะเวลา 14 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	ปัจจุบัน		แบบจำลอง		สัปดาห์ที่	ปัจจุบัน		แบบจำลอง	
	ต่ำกว่า (บาท)	สูงกว่า (บาท)	ต่ำกว่า (บาท)	สูงกว่า (บาท)		ต่ำกว่า (บาท)	สูงกว่า (บาท)	ต่ำกว่า (บาท)	สูงกว่า (บาท)
1	-55	30	0	0	8	-175	20	0	0
2	-5	65	0	5	9	-35	60	0	5
3	-5	45	0	0	10	-15	130	0	10
4	-40	45	0	5	11	-40	120	0	10
5	-20	145	0	10	12	-20	125	0	10
6	-5	40	0	0	13	-15	35	0	0
7	-15	190	0	15	14	-40	20	0	0
รวมทั้งหมด						-485	1,070	0	70

ผลการดำเนินการปัจจุบัน มีมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบน 1,555 บาท โดยคิดเป็นมูลค่าที่ต่ำกว่า 485 บาท และมูลค่าที่สูงกว่า 1,070 บาท ในขณะที่ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองมีมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนเพียง 70 บาท โดยมีมูลค่าที่สูงกว่า 70 บาท ดังแสดงในตารางที่ 11 ซึ่งผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองมีมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนรวมทั้งหมดน้อยกว่าการดำเนินการในปัจจุบันเท่ากับ 1,485 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 95.50 ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปการเปรียบเทียบมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนรวมระหว่างการดำเนินการในปัจจุบันและผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองในการวางแผนจัดสรรตะกร้าผัก CSA ในระยะเวลา 14 สัปดาห์

รายการ	มูลค่ารวมของผลต่างที่ลูกค้าได้รับจัดสรรเทียบกับค่า C^{low} (บาท)		มูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนรวม (บาท)
	ผลรวมที่ต่ำกว่า C^{low} (บาท)	ผลรวมที่สูงกว่า C^{low} (บาท)	
การดำเนินการในปัจจุบัน	485	1,070	1,555
ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลอง	0	70	70

4. สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ของพนักงานบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์เป็นงานที่ยุ่งยากและใช้เวลานาน การแก้ปัญหาการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA โดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการจัดสรร ส่งผลให้พนักงานใช้เวลาในการดำเนินการวางแผนจัดสรรตะกร้าผักลดลงจากเดิมร้อยละ 61.14 รวมถึงมูลค่าจัดสรรที่เบี่ยงเบนรวมทั้งหมดลดลงจากเดิมร้อยละ 95.50 เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานของพนักงานในปัจจุบัน โดยที่ลูกค้าได้รับสินค้าในตะกร้าผักตรงตามที่ระบุไว้ในใบสมัครสมาชิก และมูลค่าผักในตะกร้าผักอินทรีย์ CSA เป็นไปตามเงื่อนไขที่บริษัทฯ กำหนดและเป็นมูลค่าที่ลูกค้าควรได้รับ

ปัจจุบันลูกค้ามีความต้องการบริโภคผักอินทรีย์เพิ่มขึ้น เนื่องด้วยลูกค้าทำอาหารทานเองเพิ่มขึ้น และกำลังการผลิตของเครือข่ายเกษตรอินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาจึงนำเสนอสินค้าตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ที่มีรอบการจัดส่งสินค้ามากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ สำหรับตอบโจทย์ลูกค้าที่ต้องการเพิ่มความถี่ในการรับสินค้า ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการวางแผนการจัดสรรตะกร้าผักอินทรีย์ CSA ภายใต้การเพิ่มรอบการจัดส่งที่มีความถี่มากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ โดยทำการประมวลผลเพียง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เพื่อรองรับโจทย์ปัญหาการวางแผนจัดสรรผักดังนี้ (1) ลูกค้าจำนวนมากรายมีความชื่นชอบเป็นพิเศษในรายการผักชนิดเดียวกัน ถึงแม้ว่ารายการผักชนิดดังกล่าวมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ แต่มีจำนวนไม่เพียงพอในการจัดสรรให้ลูกค้าทุกรายที่ต้องการพร้อมกันในรอบการจัดส่งนั้น ๆ เนื่องจากฟาร์มผู้ผลิตทะยอยเก็บเกี่ยวและจัดส่งจนครบภายในระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ตามที่ได้แจ้งยอดผลผลิตล่วงหน้ากับบริษัทฯ รายการผักดังกล่าวจึงจัดเป็นสินค้าคงคลังขาดมือที่ลูกค้าสามารถรอการส่งมอบในรอบการจัดส่งถัดไป (Backorder) และ (2) รายการผักที่มีระยะเวลาสั้นในการเก็บรักษาให้ได้คุณภาพหลังจากเก็บเกี่ยวโดยพิจารณาระยะเวลาจากความสดของผัก เพื่อให้ผักรายการดังกล่าวที่ฟาร์มเก็บเกี่ยวได้ถูกจัดสรรให้ลูกค้าในรอบการจัดส่งนั้นทันที แทนการจัดเก็บไว้ในคลังสินค้า ข้อจำกัดนี้จึงเป็นหนึ่งในเงื่อนไขบังคับของแบบจำลองเพื่อให้บรรลุฟังก์ชันจุดประสงค์คือกำไรสูงสุด โดยลดต้นทุนค่าเสื่อมสภาพและเน่าเสียของสินค้าผักอินทรีย์

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทจัดจำหน่ายผลผลิตเกษตรอินทรีย์กรณีศึกษา ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (R2562A140) และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ ภายใต้โครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility)

6. เอกสารอ้างอิง

1. Samoggia, A., Perazzolo, C., Kocsis, P. and Del Prete, M., 2019, "Community Supported Agriculture Farmers' Perceptions of Management Benefits and Drawbacks," *Sustainability*, 11, pp. 3262-3283.

2. Cooley, P. and Lass, A., 1998, "Consumer Benefits from Community Supported Agriculture Membership," *Review of Agricultural Economics*, 20, pp. 227-232.

3. Hunter, E., Norrman, A. and Bergc, E., 2022, "Quantifying Differences in Alternative Food Network Supply Chain Activities and their Relationship with Socio-economic Outcomes," *International Food and Agribusiness Management Review*, 25, pp. 83-101.

4. Filippi, C, Mansini, R. and Stevanato, E., 2017, "Mixed Integer Linear Programming Models for Optimal Crop Selection," *Computers and Operations Research*, 81, pp. 26–39.

5. Brulard, N., Cung, V., Catusse, N. and Dutrieux, C., 2019, "An Integrated Sizing and Planning Problem in Designing Diverse Vegetable Farming Systems," *International Journal of Production Research*, 57 (4), pp. 1018-1036.

6. Floresa, H., Villalobosa, R., Ahumadab, R., Uchanskic, M., Menesesd, C. and Sanchezd, O., 2019, "Use of Supply Chain Planning Tools for Efficiently Placing Small Farmers into High-Value, Vegetable Markets," *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, pp. 205-217.

7. Sisley, H., Dik, G., McGree, J. and Corry, P., 2022, "Multi-Product Multi-Region Supply Chain Optimisation for Seasonal Crops," *International Journal of Production Research*, 60, pp. 1-19.

8. Esteso, A., Alemany, M., Bas, A. and Liu, S., 2022, "Optimization Model to Support Sustainable Crop Planning for Reducing Unfairness Among Farmers," *Central European Journal of Operations Research*, 30, pp. 1101–1127.

9. Brulard, N., Dat, V. and Catusse, N., 2017, "Client Selection and Combination for Farm Perishable Products," *IFAC-PapersOnLine*, 50, pp. 5006-5011.

10. 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.