แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการเพาะปลูกและการเลือกรูปแบบการขนส่งของโซ่อุปทานผักกาดหอม

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

บทคัดย่อ

ผักกาดหอมเป็นผักสลัดที่คนไทยนิยมรับประทานมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ผักกาดหอมเป็นผักที่มีความต้องการตลอดทั้งปี เกษตรกรนิยมปลูกเป็นจำนวนมากเนื่องจากใช้เวลาในการปลูกสั้น และในช่วงฤดูหนาวที่เป็นช่วงที่เกษตรกรนิยมปลูกผักกาดหอมกันมากที่สุด ศูนย์รวบรวมผักกาดหอมจึงมักประสบปัญหาในเรื่องการจัดการผักกาดหอมที่เข้ามาเป็นจำนวนมากในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ทำให้ผลผลิตเกิดการเน่าเสียสูญเสียรายได้ นอกจากนี้ศูนย์รวบรวมยังประสบปัญหาการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีหลายขนาดในการขนส่งผักกาดหอม ซึ่งมีการขนส่งอยู่สองช่วง คือ ช่วงที่หนึ่งจากแปลงปลูกมายังศูนย์รวบรวบและช่วงที่สองจากศูนย์รวบรวมไปยังลูกค้า ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อใช้ในการวางแผนตั้งแต่การสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ในการปลูก ช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว รวมถึงการเลือกใช้ยานพาหนะในการขนส่งผักกาดหอมทั้งสองช่วงให้สอดคล้องกันด้วยต้นทุนการดำเนินการรวมที่ต่ำที่สุด ผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็มแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 23.77% เมื่อเทียบกับก่อนการใช้แบบจำลอง

คำสำคัญ: ผักกาดหอม, การจัดการโซ่อุปทาน, แบบจำลองเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม

* Corresponding author. E-mail: fengckl@ku.ac.th
[1] อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A mixed-integer linear programming model for cultivating planning and choosing the transportation mode for the lettuce supply chain

Chaimongkol Limpianchob [*1]

Kasetsart University, Kumphaengsaen campus, Nakhonpathom 73140

Center of Excellence in Logistics, Kasetsart University

Abstract

Lettuce is a high nutritional salad for Thais and has demand throughout the year. Many farmers are interested in planting lettuce due to its short time of growing. Lettuce is most commonly grown during the winter period. The distribution centers for lettuce often face problems in managing the large volume of lettuce during that season. Moreover, the centers are still having problems with multiple use of vehicles to transport the lettuce. The transportation has two phases. The first is transportation from the planting areas to the centers and the second phase is transportation from the centers to the customers. To solve this problem, therefore, a mixed integer linear programming model was developed for planning all activities in the supply chain, including ordering seeds, setting the interval time of fertilization and harvesting, and choosing a vehicle for both phases of the transportation in order to meet consistency and minimum cost. The results showed that the proposed mixed integer linear programming could be used as a decision supporting tool with a 23.77% cost reduction compared to manual planning.

Keywords: Lettuce, Supply chain management, Mixed integer linear programming

. * Corresponding author. E-mail: fengckl@ku.ac.th

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kumphaengsaen , Kasetsart University

1. บทนำ

ผักกาดหอมเป็นผักที่ใช้บริโภคส่วนใบ เป็นผักจำพวกผักสลัดที่มีคุณค่าทางอาหารสูง นิยมบริโภคกันแพร่หลายที่สุดในบรรดาผักสลัดด้วยกัน ผักกาดหอมเป็นผักที่มีความต้องการตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลต่าง ๆ จึงนับเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่นับวันจะทวีความต้องการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ [1]

จากการที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมปลูกกันมากในช่วงฤดูหนาวซึ่งผักกาดหอมจะให้ผลผลิตดีกว่าในช่วงฤดูกาลอื่น ๆ ทำให้เกิดปัญหามีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมากในเวลาใกล้เคียงกัน ศูนย์รวบรวมผักกาดหอมมีปริมาณผลผลิตเกินความต้องการ ทำให้ผักกาดหอมเกิดการเน่าเสีย ไม่สามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ เนื่องจากผักกาดหอมเป็นสินค้าสด เสื่อมคุณภาพได้ง่ายและอายุการเก็บรักษาสั้น เกษตรกรต้องสูญเสียรายได้ไป นอกจากนี้ศูนย์รวมรวบยังประสบปัญหาการเลือกยานพาหนะในการขนส่งผักกาดหอม ซึ่งมีอยู่สองช่วง คือช่วงจากแปลงปลูกมายังศูนย์รวบรวม และช่วงที่สองจากศูนย์รวบรวมไปยังลูกค้า โดยเฉพาะในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกที่มีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก การจัดการการขนส่งจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก

ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ได้ทำต่อยอดงานวิจัยของ [2] โดยในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ทำเพียงการออกแบบการวางแผนการเพาะปลูกผักกาดหอมส่งให้กับศูนย์รวบรวมโดยไม่ได้รวมการขนส่งไว้ด้วยกัน ดังนั้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล จึงต้องมีการวางแผนตั้งแต่การปลูกผักกาดหอม วางแผนช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว และช่วงเวลาในการขนส่งผักกาดหอมเข้าศูนย์รวบรวม รวมถึงช่วงเวลาการขนส่งผักกาดหอมไปยังลูกค้าให้สอดคล้องกันทั้งโซ่อุปทาน

ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม (Mixed integer linear programming model) มาใช้เพื่อออกแบบการวางแผนตั้งแต่การสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ ช่วงเวลาที่เกษตรกรจะต้องหว่านเมล็ดพันธุ์ ช่วงเวลาที่ต้องเก็บเกี่ยวผักกาดหอมเข้าศูนย์รวบรวม รวมถึงการเลือกใช้พาหนะในการขนส่งผักกาดหอมทั้งสองช่วงของการขนส่งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ครอบคุลมทั้งโซ่อุปทาน

การนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว รวมถึงการขนส่งสินค้าทางการเกษตรนั้น ปรากฏในงานวิจัยในต่างประเทศมากมาย ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ [3] โดยออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานถั่วลิสงในประเทศเนเธอร์แลนด์ ตั้งแต่การปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว ซึ่งรวมรูปแบบในการขนส่งถั่วลิสงให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด หรือการสร้างแบบจำลองเพื่อวางแผนการเก็บเกี่ยวผลไม้เข้าสู่โรงงานคัดผลไม้ [4] ซึ่งผลไม้แต่ละชนิดมีช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวต่างกัน เพื่อลดความสูญเสียของผลไม้แต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีบริษัทส่งออกข้าวสาลี [5] ได้ใช้แบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มผสม เพื่อหาปริมาณการขนส่งวัตถุดิบไปยังกระบวนการผลิตต่าง ๆ รวมไปถึงการส่งมอบให้กับลูกค้าให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการด้วยต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองสำหรับการผลิตอาหารประเภทถั่วลิสง สามารถลดต้นทุนลงได้ถึง 1,000 ยูโร เมื่อเปรียบเทียบกับยังไม่ได้ใช้แบบจำลอง ส่วนบริษัทผลิตน้ำตาล [6] ก็เช่นเดียวกันสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 1 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ต่อปี

เมื่อกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาในด้านการจัดการโซ่อุปทานและการขนส่ง [7] ได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตโซ่อุปทานและการขนส่ง จำนวน 127 เรื่องในระยะเวลา 25 ปี ถึงแนวทางการทำวิจัยที่มีความน่าสนใจในอนาคตที่จะมีความโดดเด่น คือ พิจารณารูปแบบการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกันในโซ่อุปทาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยเกษตรกรและศูนย์รวบรวมในการวางแผนการเพาะปลูกและขนส่งผักกาดหอมครอบคลุมทั้งโซ่อุปทาน

และเพื่อลดความสูญเสียจากปัญหาผลผลิตมีปริมาณเกินความต้องการในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก โดยมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด (Minimize total cost) และเพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

2. โซ่อุปทานการเพาะปลูกและขนส่งผักกาดหอม

โซ่อุปทานการเพาะปลูกและการขนส่งผักกาดหอมจากเกษตรกรกรณีศึกษา ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นผักกาดหอมสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกที่เหมาะสมที่สุดคือ ฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยโครงสร้างภายในโซ่อุปทานประกอบด้วย

1. เกษตรกรผู้ปลูกผักกาดหอมจะทำการสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ (Seed) จากผู้จำหน่ายในกรุงเทพฯ (Suppliers) ที่มีให้เลือกถึง 7 ราย ซึ่งแต่ละรายจะมีราคาเมล็ดพันธุ์และปริมาณการสั่งซื้อได้มากที่สุดแตกต่างกันไป เมื่อเมล็ดพันธุ์มาถึงเกษตรกรจะทำการแจกจ่ายเมล็ดพันธุ์ไปยังแปลงปลูกต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งแปลงปลูกของเกษตรกรเองและแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย

2. เมื่อเกษตรกรได้รับเมล็ดพันธุ์แล้ว เกษตรกรจะทำการหว่านเมล็ดพันธุ์ลงในแปลงปลูกทันทีไปเรื่อยๆ จนครบทุกแปลงปลูก (Planting) หลังจากทำการหว่านเมล็ดพันธุ์แล้วในสัปดาห์ที่ 3 เกษตรกรจะทำการแยกต้นกล้าผักกาดหอมที่เจริญเติบโตเป็นกลุ่มออกจากกัน เพื่อไม่ให้ผักกาดหอมแยกธาตุอาหารกัน หลังจากนั้นเกษตรกรจะทำการหว่านปุ๋ย (Fertilization I) ครั้งที่ 1 (QoFI)

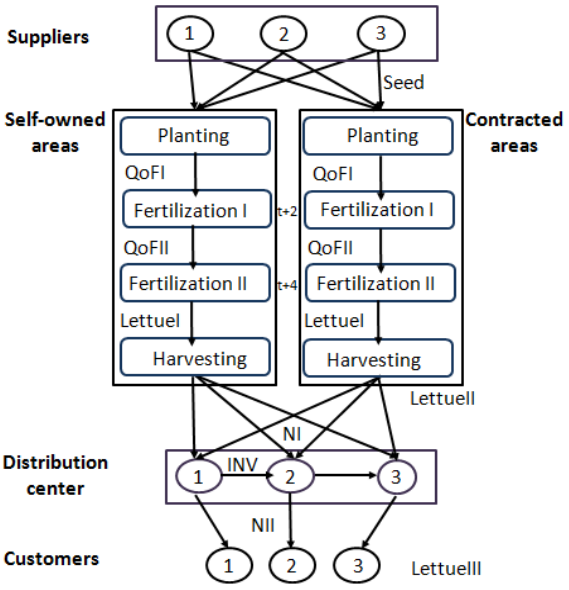
3. ในสัปดาห์ที่ 5 หลังจากที่เกษตรกรหว่านเมล็ดพันธุ์ไปแล้ว เกษตรกรจะต้องหว่านปุ๋ย (Fertilization II) ครั้งที่ 2 (QoFII) เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

4. เกษตรกรจะปล่อยให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตไปอีก 2 สัปดาห์ เพื่อให้ปุ๋ยสลายตัวไปก่อนการเก็บเกี่ยว และเพื่อกำจัดสารพิษที่ตกค้างอยู่ในผักกาดหอม เมื่อครบ 7 สัปดาห์ผักกาดหอมจะเจริญเติบโตพร้อมเก็บเกี่ยว (Lettuel) เกษตรกรจะถอนผักกาดหอม (Harvesting) ขึ้นมา แล้วล้างทำความสะอาด ใส่เข่งรอส่งเข้าศูนย์รวบรวมผักกาดหอม

5. ศูนย์รวบรวมจะนำพาหนะ (NI) ไปขนผักกาดหอมจากแปลงปลูกของเกษตรกร พาหนะที่ใช้ขนประกอบด้วย รถบรรทุกหกล้อ รถกระบะ และรถมอเตอร์ไซค์ในกรณีที่ระยะทางไม่ไกล โดยศูนย์รวบรวมจะเลือกใช้พาหนะที่ว่างอยู่ในการไปขนผักกาดหอม

6. เมื่อผักกาดหอมมาถึงศูนย์รวบรวม (Distribution center) ผักกาดหอมจะถูกคัดคุณภาพ โดยตัดส่วนที่เน่าเสียออกจนได้ผักกาดหอมที่มีคุณภาพ (LettueII) รอส่งให้กับลูกค้า ในกรณีที่มีปริมาณผักกาดหอมเกินความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน ศูนย์รวบรวมจะเก็บผักกาดหอมไว้ในโกดัง (INV) ซึ่งศูนย์รวบรวมจะนำมาส่งให้ลูกค้าในวันถัดไป โดยที่จะไม่นำผักกาดหอมเก็บไว้ที่ศูนย์รวบรวมเกิน 1 วัน เพราะผักกาดหอมจะเน่าเสียไม่สามารถส่งให้กับลูกค้าได้

7. หลังจากที่ทางศูนย์รวบรวมได้ปริมาณผักกาดหอม (LettueIII) ตรงตามปริมาณที่ลูกค้าต้องการแล้ว ทางศูนย์รวบรวมก็จะเลือกใช้พาหนะในการขนส่งผักกาดหอมไปยังลูกค้าแต่ละราย (NII) ประกอบด้วย รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกหกล้อ รถกระบะ โดยเลือกใช้จากพาหนะที่ว่างอยู่เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานผักกาดหอม

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

จากที่กล่าวมา งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ทำต่อเนื่องของผู้วิจัยเอง โดยใช้ข้อมูลจริงจากเกษตรกรผู้ปลูกผักกาดหอมในจังหวัดกาญจนบุรีเป็นกรณีศึกษา โดยพิจารณารอบการปลูกผักกาดหอมในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกหลัก (ฤดูหนาว) 16 สัปดาห์ และพิจารณารอบอุปสงค์ของลูกค้าทั้งหมด 16 สัปดาห์เช่นเดียวกัน สำหรับสมมติฐาน (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองเป็นดังนี้

1. ทุกไร่มีความพร้อมในการหว่านเมล็ด และผลผลิตที่ได้คงที่ทุกช่วงเวลา พิจารณารอบการเพาะปลูกในช่วงฤดูหนาว 4 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์
2. ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งผักกาดหอมทั้งสองช่วงมีความพร้อมในการใช้งาน
3. อุปสงค์ของลูกค้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการสั่งซื้อผักกาดหอมแล้ว
4. กำหนดให้ในแต่ละกระบวนการไม่มีวัสดุคงค้าง (Work in process, WIP) ตอนเริ่มการคำนวณ

ส่วนถัดไป ผู้วิจัยจะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับโซ่อุปทานผักกาดหอม ตั้งแต่การสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ การเก็บเก็บเกี่ยว รวมถึงการเลือกยานพาหนะในการขนส่งผักกาดหอม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย กลุ่มของตัวแปร (Sets of variables) ข้อจำกัด (Constraints) และสมการเป้าหมาย (Objective function) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ดัชนี (Indices and sets)

CP	กลุ่มเวลาที่ใช้สำหรับการเพาะปลูก (Cultivating periods)
Cus	กลุ่มลูกค้าที่สั่งซื้อผักกาดหอม
HP	กลุ่มเวลาที่ใช้สำหรับการเก็บเกี่ยวและส่งมอบผักกาดหอม (Harvesting periods)
I_P	กลุ่มแปลงปลูกของเกษตรกรเอง (Self-owned areas)
I_{PS}	กลุ่มแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย (Contracted areas)
Sup	กลุ่มของบริษัทที่จำหน่ายเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม
tpmI	กลุ่มยานพาหนะที่ใช้ขนผักกาดหอมจากแปลงปลูกมายังศูนย์รวบรวม
tpmII	กลุ่มยานพาหนะที่ใช้ขนผักกาดหอมจากศูนย์รวบรวมไปยังลูกค้า

3.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการกำหนดตัวแปรตัดสินใจต่างๆ เพื่อเป็นตัวแทนในการสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ รวมถึงปริมาณการใส่ปุ๋ยที่เกษตรกรจะต้องหว่านในแต่ละช่วงเวลา $t \in CP$ ดังนี้

$Seed^t_{ij}$ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่หว่านในแปลงปลูกที่ i โดยสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์จากบริษัท j เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

$QoFI^t_i$ ปริมาณปุ๋ยที่หว่านในครั้งที่ 1 ในแปลงปลูกที่ i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

$QoFII^t_i$ ปริมาณปุ๋ยที่หว่านในครั้งที่ 2 ในแปลงปลูกที่ i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

ส่วนตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวผักกาดหอมรวมถึงการขนส่งผักกาดหอมให้ลูกค้าแต่ละรายเมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา $h \in HP$ ดังนี้

$LettueI^h_i$ ปริมาณผักกาดหอมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในแปลงปลูกที่ i เมื่อสิ้นสุดเวลา f (กิโลกรัม)

$LettueII^h$ ปริมาณผักกาดหอมที่สามารถส่งขายได้หลังจากการคัดคุณภาพเมื่อสิ้นสุดเวลา f (กิโลกรัม)

$LettueIII^h_k$ ปริมาณผักกาดหอมที่ส่งให้กับลูกค้า k เมื่อสิ้นสุดเวลา f (กิโลกรัม)

INV^h ปริมาณผักกาดหอมที่คงค้างอยู่ที่ศูนย์รวบรวมเมื่อสิ้นสุดเวลา f (กิโลกรัม)

NI^h_m จำนวนเที่ยวของยานพาหนะ m ที่ใช้ขนผักกาดหอมจากแปลงปลูกมาที่ศูนย์รวบรวมเมื่อสิ้นสุดเวลา f (เที่ยว)

NII^h_{nk} จำนวนเที่ยวของยานพาหนะ n ที่ใช้ขนผักกาดหอมจากศูนย์รวบรวมไปยังลูกค้า k เมื่อสิ้นสุดเวลา f (เที่ยว)

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Binary variables) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดแปลงปลูกที่เกษตรกรจะต้องหว่านเมล็ดพันธุ์ และส่วนอีกตัวแปรหนึ่งกำหนดมาเพื่อเลือกบริษัทที่จำหน่ายเมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรจะต้องสั่งซื้อ ดังต่อไปนี้

$$Plant^t_i = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อแปลงที่ i ถูกใช้สำหรับหว่านเมล็ดพันธุ์เมื่อเวลา t } ; \forall i \in I_P \cup I_{PS} \\ 0 \text{ อื่นๆ} \end{cases}$$

$$SupP^t_j = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์จากผู้จำหน่าย j เมื่อเวลา t } ; \forall j \in Sup \\ 0 \text{ อื่นๆ} \end{cases}$$

3.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะอธิบายการกำหนดค่าคงที่ต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยต้นทุนต่างๆ ดังนี้

COD_j ต้นทุนค่าเมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย j (บาท/กิโลกรัม)

COFI ต้นทุนค่าปุ๋ยที่เกษตรกรหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 (บาท/กิโลกรัม)

COFII ต้นทุนค่าปุ๋ยที่เกษตรกรหว่านปุ๋ยครั้งที่ 2 (บาท/กิโลกรัม)

COI ต้นทุนผักกาดหอมที่คงค้างอยู่ที่ศูนย์รวบรวมในแต่ละวัน (บาท/วัน)

COP_i ต้นทุนในการเพาะปลูก (บาท/แปลง)

$COTI_m$ ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้ยานพาหนะ m ในการขนส่งผักกาดหอม (บาท/เที่ยว)

$COTII_n$ ต้นทุนค่าขนส่งเมื่อใช้ยานพาหนะ n ในการขนส่งผักกาดหอม (บาท/เที่ยว)

$CapA_i$ ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่สามารถหว่านได้มากที่สุดในแปลงปลูก i (กิโลกรัม/แปลง)

CapFI ปริมาณการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 ที่เกษตรกรสามารถหว่านได้มากที่สุด (กิโลกรัม)

$CapFII$ ปริมาณการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่เกษตรกรสามารถหว่านได้มากที่สุด (กิโลกรัม)

$CapS_j$ ปริมาณการสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรสามารถสั่งซื้อได้มากที่สุดจากผู้จำหน่าย j (กิโลกรัม)

$CapVI_m$ ปริมาณผักกาดหอมที่สามารถบรรทุกได้มากที่สุดของยานพาหนะ m (กิโลกรัม)

$CapVII_n$ ปริมาณผักกาดหอมที่สามารถบรรทุกได้มากที่สุดของยานพาหนะ n (กิโลกรัม)

$Demand^h_k$ ความต้องการผักกาดหอมของลูกค้า k เมื่อเวลา h (กิโลกรัม)

$RoFI$ อัตราการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 ของเกษตรกรต่อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 1 กิโลกรัม

$RoFII$ อัตราการหว่านปุ๋ยครั้งที่ 2 ของเกษตรกรต่อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 1 กิโลกรัม

RoG อัตราการเจริญเติบโตของผักกาดหอมต่อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม 1 กิโลกรัม

$RoDI$ อัตราการสูญเสียผักกาดหอมที่ไม่ได้คุณภาพที่คัดออกก่อนส่งให้ลูกค้าต่อผักกาดหอม 1 กิโลกรัม

$RoDII$ อัตราการสูญเสียผักกาดหอมที่ไม่ได้คุณภาพที่ถูกคัดออกโดยลูกค้าต่อผักกาดหอม 1 กิโลกรัม

3.4 ข้อจำกัด (Constraints)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมานั้นประกอบด้วยข้อจำกัดหรือข้อกำหนด เพื่อใช้ในการวางแผนการเพาะปลูกและขนส่งผักกาดหอม ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย

ในส่วนแรก ผู้วิจัยจะอธิบายถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับแปลงปลูกผักกาดหอมที่จะใช้ในการหว่านเมล็ดพันธุ์ ทั้งแปลงของเกษตรกรเองและแปลงของเกษตรกรในเครือข่าย ดังแสดงในข้อจำกัด (1) และ (2)

$$\sum_{t \in CP: t \le 16} Plant_i^t = 1 \quad ; \forall i \in I_P \tag{1}$$

ข้อจำกัด (1) เป็นข้อจำกัดที่แสดงเพื่อให้เกษตรที่จะหว่านเมล็ดพันธุ์ จะต้องทำการหว่านในแปลงของเกษตรกรเองก่อน และตลอดช่วงเวลาการเพาะปลูกเกษตรกรสามารถใช้แต่ละแปลงปลูกได้เพียงครั้งเท่านั้น เนื่องจากเหตุผลทางด้านคุณภาพดินและศัตรูพืช

$$\sum_{t \in CP: t \le 16} Plant_i^t \le 1 \quad ; \forall i \in I_{PS} \tag{2}$$

ข้อจำกัด (2) เป็นการระบุว่าหากแปลงปลูกของเกษตรกรไม่เพียงพอในการหว่านเมล็ดพันธุ์ ดังนั้น เพื่อให้มีผักกาดหอมเพียงพอต่อความต้องการเกษตรกรสามารถใช้แปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่ายปลูกได้ตลอดช่วงเวลาการเพาะปลูกในส่วนถัดไป ผู้วิจัยจะอธิบายเกี่ยวการสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมจากบริษัทผู้จำหน่ายรายต่าง ๆ ดังนี้

$$\sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} Seed_{ij}^t \le CapS_j SupP_j^t$$

$$; \forall j \in Sup, \forall t \in CP: t \le 16 \tag{3}$$

ข้อจำกัด (3) เป็นการกำหนดให้เกษตรกรสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมที่ใช้ในแปลงปลูกทั้งหมดในช่วงเวลาการเพาะปลูกจากผู้จำหน่าย j และต้องสั่งซื้อไม่เกินปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่ผู้จำหน่ายแต่ละรายสามารถสั่งซื้อได้ หากปริมาณเมล็ดพันธุ์จากผู้จำหน่าย j ไม่เพียงพอ เกษตรกรสามารถสั่งซื้อจากผู้จำหน่ายรายอื่นได้จนกว่าจะได้ปริมาณเมล็ดพันธุ์เพียงพอที่ใช้ในการหว่านแต่ละแปลง และในแต่ละช่วงเวลาการเพาะปลูก

เมื่อเกษตรกรได้รับเมล็ดพันธุ์จากผู้จำหน่ายที่สั่งซื้อแล้วนั้น เกษตรกรจะทำการแจกจ่ายเมล็ดพันธุ์ไปตามแปลงปลูกต่าง ๆ ดังนี้

$$\sum_{j \in Sup} Seed_{ij}^t \le CapA_i Plant_i^t$$

$$; \forall i \in I_P \cup I_{PS}, \forall t \in CP: t \le 16 \tag{4}$$

ข้อจำกัด (4) ผู้วิจัยระบุมาเพื่อกำหนดปริมาณการหว่านเมล็ดพันธุ์ในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกที่สั่งซื้อจากผู้จำหน่าย j โดยในแต่ละแปลงปลูก เกษตรกรจะต้องไม่หว่านเมล็ดพันธุ์เกินปริมาณที่สามารถหว่านได้ในแต่ละแปลง i โดยถ้าเกษตรกรหว่านเมล็ดพันธุ์จนเต็มปริมาณการหว่านได้ของแปลง i แล้ว เกษตรกรจะต้องหว่านเมล็ดพันธุ์ในแปลงอื่น

ในสัปดาห์ที่ 3 หลังจากเกษตรกรหว่านเมล็ดพันธุ์ไปแล้ว จะต้องทำการหว่านปุ๋ยเพื่อเร่งการเจริญเติบโต ดังนั้นในข้อจำกัด (5) และ (6) เป็นการกำหนดปริมาณปุ๋ยที่เกษตรกรจะต้องหว่านในแต่ละแปลง i และเพื่อป้องกันไม่ให้เกษตรกรหว่านปุ๋ยเกินปริมาณความต้องการของผักกาดหอม

$$\sum_{j\in Sup}(RoFI)Seed_{ij}^{t}=QoFI_{i}^{t+2}$$

$$;\forall i\in I_P\cup I_{PS},\forall t\in CP:t\le 16 \qquad (5)$$

และ

$$\mathrm{QoFI}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{t}}\le \mathrm{CapFI}$$

$$;\forall i\in I_P\cup I_{PS},\forall t\in CP:t\le 16 \qquad (6)$$

หลังจากเกษตรกรหว่านปุ๋ยครั้งที่ 1 ในสัปดาห์ที่ 3 ไปแล้วนั้น เมื่อครบสัปดาห์ที่ 5 หลังจากหว่านเมล็ดพันธุ์ เกษตรกรจะต้องหว่านปุ๋ยครั้งที่ 2 เพื่อบำรุงต้นผักกาดหอมให้สมบูรณ์ โดยในข้อจำกัด (7) และ (8) กำหนดมาเพื่อให้เกษตรกรทราบถึงปริมาณปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่จะต้องหว่านในแต่ละแปลง i และเพื่อสร้างความมั่นใจว่าปริมาณปุ๋ยที่เกษตรหว่านจะไม่เกินความต้องการของผักกาดหอม ดังนี้

$$\sum_{j\in Sup}(RoFII)Seed_{ij}^{t}=QoFII_{i}^{t+4}$$

$$;\forall i\in I_P\cup I_{PS},\forall t\in CP:t\le 16 \qquad (7)$$

และ

$$\mathrm{QoFII}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{t}}\le \mathrm{CapFII}$$

$$;\forall i\in I_P\cup I_{PS},\forall t\in CP:t\le 16 \qquad (8)$$

เมื่อเกษตรกรหว่านปุ๋ยครั้งที่ 2 เสร็จแล้ว เกษตรกรจะปล่อยให้ผักกาดหอมเจริญเติบโตไปอีกประมาณ 2 สัปดาห์ และเพื่อให้ปุ๋ยสลายไปก่อนการเก็บเกี่ยว ป้องกันสารพิษตกค้างอยู่ในผักกาดหอม

หลังจากการหว่านเมล็ดพันธุ์ไปแล้ว 7 สัปดาห์ ผักกาดหอมก็พร้อมที่จะเก็บเกี่ยวส่งขายให้กับลูกค้า ดังนี้

$$\sum_{j\in Sup}(RoG)Seed_{ij}^{t}=LettueI_{i}^{h}\quad ;\forall i\in I_P\cup I_{PS}$$

$$,\forall \mathrm{t}\in \mathrm{CP},\forall \mathrm{h}\in \mathrm{HP}:\mathrm{t}\le 16 \text{ and } \mathrm{t}=\mathrm{h} \qquad (9)$$

ข้อจำกัด (9) ผู้วิจัยกำหนดมาเพื่อให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบผลผลิตผักกาดหอมในแต่ละแปลงก่อนขนส่งเข้าศูนย์รวบรวม

เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผักกาดหอมในแต่ละแปลงแล้ว ผักกาดหอมจะถูกรวบรวมและขนส่งเข้าสู่ศูนย์รวบรวมเพื่อคัดคุณภาพ โดยข้อจำกัด (10) ผู้วิจัยกำหนดมาเพื่อให้เกษตรกรสามารถเลือกใช้ยานพาหนะแต่ละประเภทในการขนส่งได้อย่างถูกต้อง และเพื่อช่วยประหยัดค่าขนส่ง ดังนี้

$$\sum_{i\in I_P\cup I_{PS}}LettueI_{i}^{h}\le\sum_{m\in tpmI}CapVI_{m}NI_{m}^{h}\quad ;\forall h\in HP \qquad (10)$$

ข้อจำกัด (10) เพื่ออธิบายการเลือกใช้ยานพาหนะในการขนส่งผักกาดหอมจากแปลงปลูกมายังศูนย์รวบรวมในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก และเพื่อให้มั่นใจว่าปริมาณผักกาดหอมที่ขนส่งด้วยพาหนะ m จะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะที่สามารถขนได้ในช่วงเวลาเดียวกัน

เมื่อผักกาดหอมถูกขนส่งมายังศูนย์รวบรวมแล้ว จะทำการล้างทำความสะอาดผักกาดหอมและคัดส่วนที่ไม่ได้คุณภาพออก หลังจากนั้นจะนำผักกาดหอมใส่เข่งเพื่อเตรียมขนส่งไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ

$$INV^h = INV^{h-1} + \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} (1 - RoDI) LettueI_i^h - LettueII^h$$

$$; \forall h \in HP \quad (11)$$

ข้อจำกัด (11) เป็นการจัดสมดุล (Balancing constraints) สำหรับผักกาดหอมที่เข้ามาและออกจากศูนย์รวบรวม เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา

ในขนส่งผักกาดหอมไปยังลูกค้า จะมีผักกาดหอมส่วนหนึ่งไม่ได้คุณภาพเนื่องจากการขนส่ง ดังนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัด (12) ขึ้นมาเพื่อให้ทางศูนย์รวบรวมสามารถทราบถึงปริมาณผักกาดหอมที่ลูกค้าทั้งหมดจะได้รับเมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

$$(1 - \mathrm{RoDII})\mathrm{LettueII}^{h} \geq \sum_{k \in Cus} \mathrm{LettueIII}_{k}^{h} \; ; \forall h \in HP \quad (12)$$

ข้อจำกัด (12) เพื่อระบุปริมาณผักกาดหอมที่จะต้องส่งไปยังลูกค้าต้องมีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณผักกาดหอมที่ลูกค้าสั่ง เนื่องจากมีผักกาดหอมบางส่วนที่ไม่ได้คุณภาพจากการขนส่ง

ส่วนในข้อจำกัด (13) และ (14) กำหนดมาเพื่อให้สามารถทราบปริมาณผักกาดหอมที่ส่งไปยังลูกค้าเมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา จะต้องตรงตามอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายและเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าว่าทางศูนย์รวบรวมมีปริมาณผักกาดหอมเพียงพอตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\sum_{k \in Cus} LettueIII_k^h \geq \sum_{k \in Cus} Demand_k^h \quad ; \forall h \in HP \quad (13)$$

และ

$$\sum_{k \in Cus} \sum_{h \in HP} LettueIII_k^h \geq \sum_{k \in Cus} \sum_{h \in HP} Demand_k^h \quad (14)$$

เมื่อศูนย์รวบรวมมีปริมาณผักกาดหอมตรงตามปริมาณที่ลูกค้าต้องการแล้ว ผักกาดหอมจะถูกขนส่งไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ เมื่อสิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

$$LettueIII_k^h \leq \sum_{n \in tpmII} CapVII_n NII_{kn}^h$$

$$; \forall k \in Cus, \forall h \in HP \quad (15)$$

$$Plant_i^t, SupP_j^t \in \{0,1\} \; ; \forall i \in I_P \cup I_{PS}, t \in CP \quad (16)$$

$$\mathrm{NI}_{m}^{h}, \mathrm{NII}_{kn}^{h} \geq 0 \text{ and integer}$$

$$; \forall m \in tpmI, n \in tpmII, k \in Cus, h \in HP \quad (17)$$

$$\mathrm{Seed}_{ij}^{t}, \mathrm{QoFI}_{i}^{t}, \mathrm{QoFII}_{i}^{t} \geq 0$$

$$; \forall i \in I_P \cup I_{PS}, j \in Sup, t \in CP \quad (18)$$

$$\mathrm{INV}, \mathrm{LettueI}_{i}^{h}, \mathrm{LettueII}^{h}, \mathrm{LettueIII}_{k}^{h}$$

$$; \forall i \in I_P \cup I_{PS}, k \in Cus, h \in HP \quad (19)$$

3.5 สมการเป้าหมาย (Objective function)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตั้งสมการเป้าหมายสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกผักกาดหอมและศูนย์รวบรวม คือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำสุด (Minimize total cost) ตั้งแต่การวางแผนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว รวมถึงการขนส่งผักกาดหอมไปยังลูกค้าแต่ละราย ซึ่งต้องไม่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า โดยต้นทุนการดำเนินการประกอบด้วย

$$Z = C^{Raw} + C^{Cul} + C^{Fer} + C^{Tra} + C^{Inv}$$

ต้นทุนค่าเมล็ดพันธุ์ (Raw material cost, C^{Raw})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่เกษตรกรสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์จากผู้จำหน่ายเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ดังนี้

$$C^{Raw} = \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{j \in Sup} \sum_{t \in CP} COD_j Seed_{ij}^t$$

ต้นทุนการเพาะปลูก (Cultivating cost, C^{Cul})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการที่เกษตรกรใช้แปลงปลูกในการปลูกผักกาดหอม เช่น ค่าเตรียมดิน ค่าดูแลรักษา ค่าเก็บเกี่ยว เป็นต้น โดยต้นทุนการเพาะปลูกจะแตกต่างกันในแต่ละแปลง และระหว่างแปลงของเกษตรกรเองหรือแปลงของเกษตรกรในเครือข่าย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Cul} = \sum_{i \in I_P} \sum_{t \in CP} COP_i Plant_i^t + \sum_{i \in I_{PS}} \sum_{t \in CP} COP_i Plant_i^t$$

ในเทอมแรกเป็นต้นทุนการเพาะปลูกที่เกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรใช้แปลงปลูกของเกษตรกรเองในการเพาะปลูกส่วนในเทอมที่สองเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรต้องใช้แปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่ายเพื่อปลูกผักกาดหอม

ต้นทุนค่าปุ๋ย (Fertilization cost, C^{Fer})

เป็นต้นทุนค่าปุ๋ยทั้งหมดที่เกษตรใช้ในการหว่านตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งในการปลูกผักกาดหอมเกษตรกรจะหว่านปุ๋ยทั้งหมด 2 ครั้ง ในสัปดาห์ที่ 3 และ 5 ตามลำดับ โดยที่ต้นทุนค่าปุ๋ยที่หว่านทั้งสองครั้งไม่เท่ากัน ดังนั้นสามารถอธิบายต้นทุนค่าปุ๋ยได้ดังนี้

$$C^{Fer} = \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{t \in CP} (COFI) QoFI_i^t + \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{t \in CP} (COFII) QoFII_i^t$$

ต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation cost, C^{Tra})

เป็นต้นทุนค่าขนส่งผักกาดหอมทั้งหมดตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก

$$C^{Tra} = \sum_{m \in tpmI} \sum_{h \in HP} COTI_m NI_m^h + \sum_{n \in tpmII} \sum_{k \in Cus} \sum_{h \in HP} COTII_n NII_{kn}^h$$

โดยในเทอมแรกเป็นต้นทุนค่าขนส่งที่เกิดขึ้นจากการขนส่งผักกาดหอมจากแปลงปลูกมายังศูนย์รวบรวม ส่วนในเทอมที่สองเป็นต้นทุนค่าขนส่งผักกาดหอมจากศูนย์รวบรวมไปยังลูกค้า

ต้นทุนค่าวัสดุคงคลัง (Inventory cost, C^{Inv})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากผักกาดหอมที่คงค้างอยู่ในศูนย์รวบรวมเมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลาตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ดังนั้น หากมีผักกาดหอมคงค้างอยู่จะมีต้นทุนดังนี้

$$C^{Inv} = \sum_{h \in HP} (COI) INV^h$$

$$\text{Min} \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{j \in Sup} \sum_{t \in CP} COD_j Seed_{ij}^t + \sum_{i \in I_P} \sum_{t \in CP} COP_i Plant_i^t$$

$$+ \sum_{i \in I_{PS}} \sum_{t \in CP} COP_i Plant_i^t + \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{t \in CP} (COFI) QoFI_i^t$$

$$+ \sum_{i \in I_P \cup I_{PS}} \sum_{t \in CP} (COFII) QoFII_i^t + \sum_{m \in tpmI} \sum_{h \in HP} COTI_m NI_m^h$$

$$+ \sum_{n \in tpmII} \sum_{k \in Cus} \sum_{h \in HP} COTII_n NII_{kn}^h + \sum_{h \in HP} (COI) INV^h$$

ดังนั้นสมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

4. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical results)

ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้ ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์พีซี 1 เครื่อง สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาค่าคำตอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core^{tm} i5 3.30 GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) 4.00 GB
3. ความจุฮาร์ดดิส (Hard disk) 195 GB
4. ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์เซเว่น (Microsoft Windows 7)

5. โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรม CPLEX 8.0 (http://www.ilog.com) และเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) [8]

ผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้น เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อช่วยให้เกษตรกรและศูนย์รวบรวมผักกาดหอมสามารถวางแผนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และขนส่งผักกาดหอมในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกด้วยต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำที่สุด แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณ

ผลลัพธ์การคำนวณ	
1. ต้นทุนการดำเนินงานรวม	2,165 บาท/แปลง
2. จำนวนตัวแปรทั้งหมด	5,968
2.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Binary variables)	592
2.2 ตัวแปรจำนวนเต็ม (Integer variables)	240
2.3 ตัวแปรอื่นๆ (Linear variables)	5,136
3. จำนวนข้อจำกัด (Constraints)	2,198
4. เวลาที่ใช้ในการคำนวณ	208.41 วินาที
5. ค่าความเผื่อ (Gap tolerance)	0.05 %

จากตารางที่ 1 มีค่าความเผื่อ (Gap tolerance) จากการคำนวณของโปรแกรม CPLEX 8.0 อยู่ที่ 0.05% แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ดีที่สุดสูงมาก และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการดำเนินการรวมทั้งหมดจากการใช้แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นกับต้นทุนการดำเนินงานก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual planning) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลของผู้วิจัยนั้น มีต้นทุนการดำเนินการรวมอยู่ที่ 2,840 บาท/แปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมได้ถึง 675 บาท/แปลง หรือคิดเป็น 23.77%

5. สรุป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อแก้ไขปัญหาผลผลิตผักกาดหอมที่มีมากเกินความต้องการของศูนย์รวบรวมผักกาดหอมในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก เป็นผลทำให้ผลผลิตเกิดการเน่าเสีย ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องมีการวางแผนตั้งแต่การปลูกผักกาดหอม ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว รวมถึงช่วงเวลาในการขนส่งผักกาดหอมเข้าศูนย์รวบรวม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นครอบคลุมการจัดการโซ่อุปทานผักกาดหอมตั้งแต่การวางแผนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว จนถึงการขนส่งผักกาดหอมไปยังลูกค้า เพื่อให้ศูนย์รวบรวมสามารถวางแผนการจัดการผลผลิตที่เข้ามาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นต้นแบบให้เกษตรกรหรือศูนย์รวบรวมผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ นำไปปรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการโซ่อุปทานได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์มาจากข้อมูลจริงของเกษตรกรผู้ปลูกผักกาดหอม โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการปลูกผักกาดหอมเพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งสมการเป้าหมายของแบบจำลองคือ เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CPLEX 8.0 แสดงให้เห็นต้นทุนการดำเนินการรวมที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 2,165 บาท/แปลง หรือสามารถลดต้นทุนการดำเนินการรวมจากเดิมได้ถึง 23.77% โดยแบบจำลองสามารถทดสอบ และประเมินผลได้อย่างรวดเร็ว

ผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแบบจำลองนี้สามารถเป็นเครื่องมือ และต้นแบบที่สำคัญที่ช่วยให้เกษตรกร และศูนย์รวบรวมผลผลิตสามารถวางแผนการเพาะปลูก และขนส่งผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาต่อ คือ ขยายการวางแผนการเพาะปลูกให้ครอบคลุมตลอดทั้งปี เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ดาเรศร์ กิตติโยภาส และคณะ. *"การปลูกผักกาดหอม"* กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2010.

[2] ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ และสมยศ เชิญอักษร. *"แบบจำลองการวางแผนการเพาะปลูปรวมสำหรับโซ่อุปทานผักกาดหอม"*. ใน The 12th Thai Value Chain Management and Logistics (ThaiVCML). 22-23 พฤศจิกายน เชียงใหม่: หน้า 134-143, 2012.

[3] R.K. Apaiah and E.X.T. Hendrix, "Design of supply chain network for a pea-based novel protein foods," *Journal of Food Engineerin,* Vol. 70, pp. 383-391, 2005.

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

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

[6] G. Ioannou, "Streamlining the supply chain of the hellennic sugar industry," *Journal of Food distribution*, Vol. 70 (3), pp. 323-332, 2005.

[7] J. Mula, D. Peidro, M. Diaz-Madronero, and E. Vicens, "Mathematical programming models for supply chain production and transport planning," *European Journal of Operational Research*, Vol. 204, pp. 377-390, 2010.

[8] M. Fourer, D.M. Gay, and B.W. Kernighan, "*AMPL a modeling language for mathematical programming"* 2nd ed. Newyork: Thomson Learning, 2003.