

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการวางแผนโซ่อุปทานอย่างยั่งยืน สำหรับการผลิตกล้วยน้ำว้าด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

ปิ่นฉัตร จันทะรัส¹, พินรชา คล้ายเชย² และ ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ^{3,*}

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Received: 11 February 2023; Revised: 20 March 2023; Accepted: 25 April 2023

บทคัดย่อ

กล้วยน้ำว้าจัดเป็นกล้วยพันธุ์หนึ่งที่พบได้ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศไทยและนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นกล้วยที่ให้พลังงานและมีแร่ธาตุรวมถึงวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณมาก อีกทั้งยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย จากการศึกษาการเพาะปลูกกล้วยน้ำว้าในปัจจุบันพบว่ากลุ่มเกษตรกรยังคงประสบปัญหาในการขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพตลอดทั้งโซ่อุปทาน ตั้งแต่ก่อนการเพาะปลูกไปจนถึงการเก็บเกี่ยว ผลผลิตส่งให้กับลูกค้า ทำให้กล้วยน้ำว้าที่เกษตรกรผลิตได้นั้นมีผลผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ ขายได้ในราคาต่ำ เกษตรกรสูญเสียรายได้ไป ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เพื่อใช้ในการวางแผนโซ่อุปทานการเพาะปลูกกล้วยน้ำว้าได้อย่างยั่งยืนตั้งแต่การวางแผนปรับปรุงคุณภาพดิน การเลือกซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าในการเพาะปลูก ช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ย รวมถึงช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวให้สอดคล้องกันเพื่อให้เกษตรกรมีผลกำไรในการปลูกกล้วยน้ำว้าเหมาะสมที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถเพิ่มผลกำไรสุทธิให้แก่เกษตรกรได้ถึงร้อยละ 10.52 เมื่อเทียบกับก่อนการใช้แบบจำลอง

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า, การวางแผนการผลิต, โซ่อุปทาน, แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม

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

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หน่วยวิจัยวิศวกรรมระบบโซ่อุปทานขนาดใหญ่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Optimization of a Sustainable Supply Chain Planning System for Cultivated Banana Production with a Mixed-integer Linear Programming Approach

Pinchat Chantaros¹, Rinracha Klaychey² and Chaimongkol Limpianchob^{3,*}

Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom 73140, Thailand

Received: 11 February 2023; Revised: 20 March 2023; Accepted: 25 April 2023

Abstract

Cultivated bananas are one of the most common types of bananas found in all regions of Thailand. They are widely consumed because cultivated bananas contain helpful nutrients that energize the body. Moreover, they can be processed into a variety of other products. But from the study of the cultivation of bananas at present, it is found that the farmers still face the problems of lack of effective production planning. The problems are found in cultivating, harvesting, and delivering to customers. This causes the farmers to produce poor quality banana yield, sell at a low price, and lose their income. To solve this problem, therefore, a mixed-integer linear programming model was developed for planning all activities in the supply chain, including soil quality improvement planning, banana shoot ordering, and setting the interval time of fertilization and harvesting. In order to meet consistency and maximum total profit surplus. The results showed that the proposed mixed-integer linear programming model could be used as a decision support tool with a 10.52% increase in profit compared to manual planning.

Keywords: cultivated banana, production planning, supply chain management, mixed-integer linear programming

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

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

³ Assistant Professor in Large Scale Supply Chain Systems Engineering Research Unit, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

1. บทนำ

กล้วยน้ำว้า (Cultivated banana) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Musa sapientum* Linn. โดยเป็นกล้วยที่เกิดจากการผสมข้ามพันธุ์ของกล้วยป่า 2 ชนิด คือ *Musa acuminate* และ *Musa balbisaina* ซึ่งในประเทศไทยกล้วยน้ำว้า จัดเป็นกล้วยพื้นเมืองที่พบได้ทั่วไปในทุกภาค นิยมปลูกไว้ในทุกครัวเรือนเพื่อรับประทานผลและแปรรูปไปทำอาหารชนิดอื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย รวมถึงการนำส่วนต่างๆ มาใช้ประโยชน์ [1]

จากการศึกษาระบบการผลิตกล้วยน้ำว้าในพื้นที่ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยน้ำว้า พบว่าปัญหาในการเพาะปลูกกล้วยน้ำว้าประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ปัญหาคุณภาพดินที่เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ความสนใจ เพราะยังไม่ได้ตระหนักถึงการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการลงหน่อพันธุ์กล้วย ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ น้ำหนักผลกล้วยน้อย และขายได้ในราคาต่ำ และปัญหาอีกส่วน คือ เกษตรกรยังขาดระบบการวางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตตรงตามเวลาที่ราคาของกล้วยน้ำว้ามีมูลค่าสูงที่สุด ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากการที่เกษตรกรที่เพาะปลูกกล้วยน้ำว้ายังไม่มียุทธศาสตร์การวางแผนการจัดการที่เหมาะสมจึงทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ และยังทำให้เกิดต้นทุนโดยรวมที่สูงขึ้นตามไปด้วย

ระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิผลจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เนื่องจากทุกกระบวนการภายในองค์กร รวมถึงภายนอกองค์กรมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงและมีผลกระทบซึ่งกันและกัน [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำระบบการวางแผนการจัดการโซ่อุปทานมาประยุกต์ใช้ โดยนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นตรงผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer linear programming model) เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนระบบโซ่อุปทานการเพาะปลูกกล้วยน้ำว้าได้อย่างยั่งยืน ซึ่งแบบจำลองจะครอบคลุมตั้งแต่การปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่การเพาะปลูก การเลือกซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า การดูแลพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้า ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้า ซึ่งมีสมการเป้าหมายของแบบจำลอง คือ เพื่อให้เกษตรกรมีกำไรในการปลูกกล้วยน้ำว้าเหมาะสมที่สุด (Maximize total profit surplus) โดยที่ผลลัพธ์ของแบบจำลองนั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและความพึงพอใจของลูกค้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทุกวันนี้ระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิต (Supply chain production planning system) มีความท้าทายอย่างมากในตลาดโลกที่มีการแข่งขันกันค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสินค้าเกษตร (Agricultural products) [3] เนื่องจากระบบการผลิตแบบดั้งเดิมนั้นไม่สามารถตอบสนองกับอุปสงค์ที่มีความผันผวนและมีการดำเนินการที่มีความซับซ้อนได้ [4] นอกจากนี้การวางแผนโซ่อุปทานการผลิตของสินค้าเกษตรก็ยังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถกำหนดกลยุทธ์และวางแผนการผลิตตลอดทั้งโซ่อุปทานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] ดังนั้นการทบทวนงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องอย่างครอบคลุมในส่วนนี้จึงถูกนำเสนอ เพื่อสร้างความเข้าใจถึงวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตของสินค้าเกษตร ซึ่งปรากฏในงานวิจัยในต่างประเทศมากมาย ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Mula et al. [6] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมจำนวนทั้งสิ้น 127 ชิ้นที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตสินค้าเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการวิจัย คือ เพื่อเตรียมนักวิจัยที่สนใจจะเริ่มต้นศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาในระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตสินค้าเกษตร นอกจากนี้ Huang et al. [7] ได้อธิบายถึงระบบที่ใช้ในการวางแผนในแต่ละช่วงของโซ่อุปทานการผลิต ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างโซ่อุปทาน (Supply chain structure) ระดับการตัดสินใจ (Decision level) วิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองโซ่อุปทาน (Supply chain analytical modelling approach) และการแบ่งปันข้อมูล (Shared information)

สำหรับงานวิจัยที่มีการนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในระบบการวางแผนการเพาะปลูก รวมถึงการเก็บเกี่ยวสินค้าทางการเกษตรประเภทต่างๆ นั้น มีอยู่ด้วยกันหลายงานวิจัย ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Sriramee and Routray [8] ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นตรงสำหรับโซ่อุปทานผลไม้ในประเทศไทยตั้งแต่เกษตรกรจนถึงผู้บริโภค เพื่อให้มีเส้นทางการขนส่งผลไม้ที่สั้นที่สุด Limpianchob [9,10] ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการเก็บเกี่ยวส้มเขียวหวานในภาคเหนือและมะพร้าว น้ำหอมส่งเข้าโรงงานผลิตก่อนส่งมอบให้ลูกค้า โดยได้รวมระบบการวางแผนการเก็บเกี่ยวและการผลิตไว้ในแบบจำลองเดียวกัน Kazancoglu et al. [11] ได้สร้าง

แบบจำลองโซ่อุปทานการผลิต รวมถึงขนส่งน้ำนมจากฟาร์มปศุสัตว์ไปยังโรงงานแปรรูปน้ำนมดิบ เพื่อลดความสูญเสียส่วนในงานวิจัยของ Soto-Silva et al. [12] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มในการวางแผนการขนส่งผลแอปเปิลสดจากสวนไปยังโรงงานผลิต ซึ่งแบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Sanjay and Marcus [13] ที่ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มในการวางแผนการตัดอ้อยเข้าโรงงานผลิตน้ำตาลเพื่อให้อ้อยมีค่าดัชนีความหวานมากที่สุด และ Hu et al. [14] สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อใช้ในการวางแผนการปลูกและเก็บเกี่ยวข้าวสาลีจากไร่ไปที่โรงสีข้าว เป็นต้น

จากความสำเร็จของการนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาประยุกต์ใช้ในสินค้าทางการเกษตรดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาประยุกต์ใช้สำหรับระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า เพื่อให้การผลิตกล้วยน้ำว้ามีการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มนี้ไปเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจสำหรับเกษตรกรในการวางแผนการผลิตกล้วยน้ำว้าตลอดทั้งโซ่อุปทาน นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือช่วยในการจัดการการทำงานในแต่ละกระบวนการ เพื่อให้มีกำไรจากการดำเนินการรวมเหมาะสมที่สุด

3. โครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า

ผู้โครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้าจากกลุ่มเกษตรกรกรณศึกษา ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างภายในโซ่อุปทานดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย

1) เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยน้ำว้าจะทำการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วย (Sho_{ij}^t) จากผู้จำหน่ายทั้งในพื้นที่และนอกพื้นที่ตำบลกุยบุรี ซึ่งมีให้เลือกถึง 15 ราย โดยแต่ละรายจะมีราคาของหน่อพันธุ์และปริมาณการสั่งซื้อได้มากที่สุดแตกต่างกันไป เมื่อหน่อพันธุ์มาถึงแปลงปลูกเกษตรกรจะทำการแจกจ่ายหน่อพันธุ์ไปยังแปลงปลูกต่างๆ ซึ่งมีทั้งแปลงปลูกของเกษตรกรเองและแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย

2) เกษตรกรจะทำการหว่านปุ๋ยเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการลงหน่อกล้วย ซึ่งเกษตรกรจะสั่งซื้อปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงดินโดยเฉพาะ (QoF_{ik}^t) จากบริษัทผู้จำหน่ายโดยตรงที่มีอยู่ด้วยกัน 3 ราย เมื่อเกษตรกรได้รับปุ๋ยแล้ว เกษตรกรจะทำการหว่านปุ๋ยลงในแปลงปลูกและไถกลบจนครบทุกแปลงปลูก

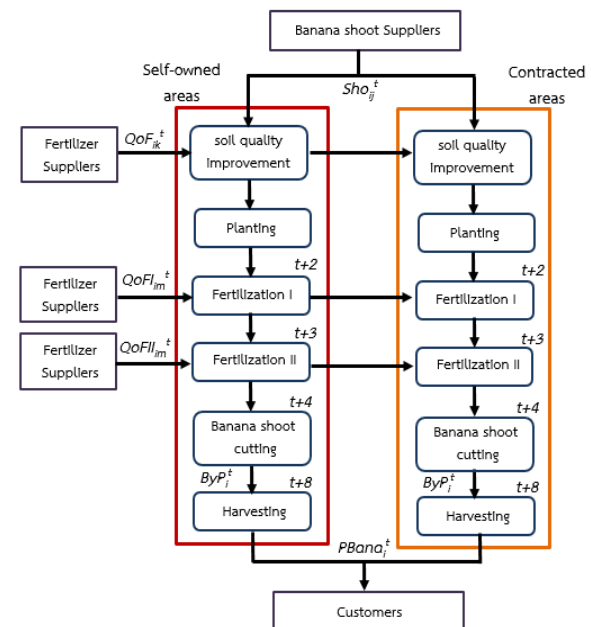
3) หลังจากนั้นเกษตรกรจะทำการลงหน่อพันธุ์กล้วยในแต่ละแปลงปลูก โดยชุดหลุมปลูกขนาด $50 \times 50 \times 50$ เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างหลุม 3×3 เมตร เพื่อช่วยในเรื่องของระบบรากของต้นกล้วยน้ำว้า

4) ในเดือนที่ 3 หลังจากเกษตรกรลงหน่อกล้วย เกษตรกรจะทำการหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 (QoF_{im}^t) เพื่อบำรุงต้น ใบ และดอก โดยเกษตรกรจะสั่งซื้อปุ๋ยจากผู้ค้าปุ๋ยในตัวอำเภอ ซึ่งมีให้เลือกถึง 3 ร้านและในระหว่างนี้เกษตรกรจะทำการดูแลให้น้ำ และกำจัดวัชพืชด้วย

5) ในเดือนที่ 4 หลังจากเกษตรกรลงหน่อกล้วย เกษตรกรจะทำการหว่านปุ๋ยสูตร 16-16-16 (QoF_{im}^t) เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า

6) ในเดือนที่ 5 ต้นกล้วยน้ำว้าจะมีหน่อกล้วยส่วนเกินเกิดขึ้น เกษตรกรจำเป็นต้องตัดหน่อกล้วย (ByP_i^t) ส่วนเกินนี้ออก เพื่อไม่ให้แย่งอาหารและการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า

7) หลังจากนั้นเกษตรกรจะปล่อยให้ต้นกล้วยน้ำว้าเจริญเติบโตต่อไป โดยในระหว่างนี้เกษตรกรจะทำการดูแลให้น้ำ และกำจัดวัชพืช จนเมื่อครบ 9 เดือน ต้นกล้วยน้ำว้าจะเจริญเติบโตพร้อมเก็บเกี่ยว ($PBana_i^t$) เกษตรกรจะตัดเครือกล้วยน้ำว้าใส่ตะกร้ารอส่งขายให้กับลูกค้า



รูปที่ 1 โครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจริงจากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยน้ำว้าในตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นกรณีศึกษา โดยมีข้อสมมติ (Assumptions) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

1) ทุกแปลงปลูกมีความพร้อมในการลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าทุกช่วงเวลาตลอดช่วงในการเพาะปลูก

2) ต้นทุนค่าขนส่งหน่อพันธุ์กล้วย รวมถึงปัจจัยการผลิตอื่นๆ รวมอยู่ในราคาขายของผู้จำหน่ายแต่ละราย

3) สภาพภูมิอากาศ และศัตรูพืชไม่นำมาพิจารณาในการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงกลุ่มของตัวแปร (Sets of Variables) ต่อจากนั้นจะเป็นข้อจำกัด (Constraints) และสมการเป้าหมาย (Objective Function) ตามลำดับ

4.1 ดัชนี (Indices and sets)

CT	กลุ่มเวลาที่ใช้สำหรับการเพาะปลูก (Cultivating periods)
I_B	กลุ่มแปลงปลูกของเกษตรกรเอง (Self-owned areas)
I_{BC}	กลุ่มแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย (Contracted areas)
SFA	กลุ่มผู้จำหน่ายปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดิน
SFI	กลุ่มผู้จำหน่ายปุ๋ยสูตร 15-15-15 และสูตร 16-16-16
SUP	กลุ่มผู้จำหน่ายหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

สำหรับการกำหนดตัวแปรตัดสินใจ เพื่อเป็นตัวแทนในการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าและปุ๋ยจากผู้ค้ารายต่างๆ ปริมาณการหว่านปุ๋ยที่เกษตรกรจะต้องหว่าน แรงงานที่ใช้ในกระบวนการ รวมไปถึงปริมาณกล้วยน้ำว้าที่ควรเก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงเวลา $\forall t \in CT$ ดังนี้

ByP_i^t	ปริมาณหน่อกล้วยน้ำว้าที่ถูกตัด แล้วนำไปจำหน่าย จากแปลงปลูก i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)
Lab^t	จำนวนแรงงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าเมื่อเวลา t (คน)
$Labl^t$	จำนวนแรงงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 เมื่อเวลา t (คน)
$Labll^t$	จำนวนแรงงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการหว่านปุ๋ยสูตร 16-16-16 เมื่อเวลา t (คน)
$Lablll^t$	จำนวนแรงงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการตัดหน่อกล้วยน้ำว้าเมื่อเวลา t (คน)

$LabIV^t$ จำนวนแรงงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าเมื่อเวลา t (คน)

$PBana_i^t$ ปริมาณผลผลิตกล้วยน้ำว้าของแปลงปลูก i เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

QoF_{ik}^t ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินที่เกษตรกรหว่านในแปลงปลูก i โดยสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย k เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

QoF_{lim}^t ปริมาณปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่หว่านในแปลงปลูก i โดยสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย m เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

QoF_{llim}^t ปริมาณปุ๋ยสูตร 16-16-16 ที่หว่านในแปลงปลูก i โดยสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย m เมื่อเวลา t (กิโลกรัม)

Sho_{ij}^t ปริมาณหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่ปลูกในแปลงปลูก i โดยสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย j เมื่อเวลา t (หน่อกล้วย)

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจฐานสอง (Binary variables) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ เพื่อกำหนดแปลงปลูกที่เกษตรกรจะต้องใช้ในการลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าในแต่ละช่วงเวลาทั้งแปลงปลูกของเกษตรกรเอง และแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย $\forall i \in I_B \cup I_{BC}$ และส่วนอีกตัวแปรหนึ่งกำหนดมาเพื่อให้เกษตรกรสามารถเลือกผู้จำหน่ายหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่จะต้องสั่งซื้อในแต่ละช่วงเวลา ดังต่อไปนี้

$$Ban_i^t = \begin{cases} 1, & \text{แปลงปลูก } i \text{ ถูกใช้ในการลงหน่อพันธุ์ใน} \\ & \text{ช่วงเวลา } t \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$SupS_j^t = \begin{cases} 1, & \text{เกษตรกรสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าจาก} \\ & \text{ผู้จำหน่าย } j \text{ ในช่วงเวลา } t \\ 0, & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

4.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะอธิบายการกำหนดค่าคงที่ต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

$CapFi$	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินที่เกษตรกรสามารถหว่านได้มากที่สุดในแต่ละแปลงปลูก i (กิโลกรัม/แปลง)
$CapFli$	ปริมาณปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่เกษตรกรสามารถหว่านได้มากที่สุดในแต่ละแปลงปลูก i (กิโลกรัม/แปลง)
$CapFlli$	ปริมาณปุ๋ยสูตร 16-16-16 ที่เกษตรกรสามารถหว่านได้มากที่สุดในแต่ละแปลงปลูก i (กิโลกรัม/แปลง)
$CapFS_k$	ปริมาณการสั่งซื้อปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดินที่เกษตรกรสามารถสั่งซื้อได้มากที่สุดจากผู้จำหน่าย k (กิโลกรัม)

$CapFSI_m$	ปริมาณการสั่งซื้อปุ๋ยสูตร 15-15-15 ที่เกษตรกรสามารถสั่งซื้อได้มากที่สุดจากผู้จำหน่าย m (กิโลกรัม)
$CapFSII_m$	ปริมาณการสั่งซื้อปุ๋ยสูตร 16-16-16 ที่เกษตรกรสามารถสั่งซื้อได้มากที่สุดจากผู้จำหน่าย m (กิโลกรัม)
$CapP$	ปริมาณหน่อกล้วยที่เกษตรกรต้องตัดทิ้ง (กิโลกรัม)
$CapS_j$	ปริมาณการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่เกษตรกรสามารถสั่งซื้อได้มากที่สุดจากผู้จำหน่าย j (หน่อกล้วย)
$CapSH_i$	ปริมาณหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าที่เกษตรกรสามารถปลูกได้มากที่สุดในการแปลงปลูก i (หน่อกล้วย)
CoF_k	ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินที่เกษตรกรสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย k (บาท/กิโลกรัม)
$CoFI_m$	ต้นทุนค่าปุ๋ยที่สูตร 15-15-15 ที่เกษตรกรสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย m (บาท/กิโลกรัม)
$CoFII_m$	ต้นทุนค่าปุ๋ยที่สูตร 16-16-16 ที่เกษตรกรสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย m (บาท/กิโลกรัม)
CoL	ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการลงหน่อกล้วยน้ำว้า (บาท/คน)
$CoLI$	ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 (บาท/คน)
$CoLII$	ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการหว่านปุ๋ยสูตร 16-16-16 (บาท/คน)
$CoLIII$	ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการตัดหน่อกล้วยน้ำว้า (บาท/คน)
$CoLIV$	ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในการตัดกล้วยน้ำว้าส่งขาย (บาท/คน)
CoP_i	ต้นทุนในการจัดการเพาะปลูกในการแปลงปลูก i (บาท/แปลง)
CoS_j	ต้นทุนค่าหน่อกล้วยน้ำว้าที่เกษตรกรสั่งซื้อจากผู้จำหน่าย j (บาท/หน่อ)
$RoBI_i$	อัตราการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ในการตัดหน่อกล้วยน้ำว้าในการแปลงปลูก i
RoG	อัตราการเจริญเติบโตของกล้วยน้ำว้าต่อหน่อกล้วย 1 หน่อ
RoL_i	อัตราการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ในการลงหน่อกล้วยน้ำว้าในการแปลงปลูก i
$RoLI_i$	อัตราการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ในการหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในการแปลงปลูก i
$RoLII_i$	อัตราการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ในการหว่านปุ๋ยสูตร 16-16-16 ในการแปลงปลูก i

$RoPI_i$	อัตราการจ้างแรงงานที่ต้องใช้ในการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าในการแปลงปลูก i
RvB^t	ราคาขายหน่อกล้วยน้ำว้าในช่วงเวลา t (บาท/กิโลกรัม)
RvP^t	ราคาขายกล้วยน้ำว้าในช่วงเวลา t (บาท/กิโลกรัม)

4.4 ข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดหรือข้อกำหนดสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้าให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสร้างผลกำไรที่เหมาะสมที่สุดให้กับเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยน้ำว้า ประกอบด้วย

ในส่วนแรก คณะผู้วิจัยจะอธิบายถึงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการเลือกใช้แปลงปลูกลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าทั้งแปลงปลูกของเกษตรกรเองและแปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่าย ดังแสดงในข้อจำกัด (1) และ (2)

$$\sum_{t \in CT} Ban_i^t = 1; \forall i \in I_B \quad (1)$$

และ

$$\sum_{t \in CT} Ban_i^t \leq 1; \forall i \in I_{BC} \quad (2)$$

ข้อจำกัด (1) เป็นข้อจำกัดที่กำหนดให้เกษตรกรจะต้องทำการลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าในการแปลงปลูกของเกษตรกรเองก่อนเป็นลำดับแรก ส่วนข้อจำกัด (2) นั้นเป็นการระบุว่าหากแปลงปลูกของเกษตรกรไม่เพียงพอในการลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า เกษตรกรสามารถใช้แปลงปลูกของเกษตรกรในเครือข่ายลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าได้ตลอดช่วงระยะเวลาในการเพาะปลูก เพื่อให้มีผลผลิตกล้วยน้ำว้าเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

ในส่วนถัดไปจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในการผลิตกล้วยน้ำว้า โดยเริ่มตั้งแต่เมื่อเกษตรกรเลือกแปลงที่จะลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าแล้ว จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนเสมอ ซึ่งเกษตรกรจะสั่งซื้อปุ๋ยจากผู้จำหน่ายปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดินโดยเฉพาะ โดยการกำหนดปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน รวมถึงการเลือกซื้อปุ๋ยจากผู้จำหน่ายแสดงในข้อจำกัด (3) และ (4)

$$\sum_{k \in SFA} QoF_{ik}^t = CapF_i \bullet Ban_i^t; \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (3)$$

และ

$$\sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} QoF_{ik}^t \leq CapFS_k; \quad \forall k \in SFA, \forall t \in CT \quad (4)$$

ในข้อจำกัด (5) และ (6) เป็นการกำหนดปริมาณหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว่าทั้งหมดที่เกษตรกรจะต้องซื้อจากผู้จำหน่ายหน่อพันธุ์ในแต่ละช่วงเวลา และจะต้องสั่งซื้อไม่เกินปริมาณหน่อพันธุ์ที่ผู้จำหน่ายแต่ละรายสามารถส่งซื้อได้ หากปริมาณหน่อพันธุ์จากผู้จำหน่าย j ไม่เพียงพอ เกษตรกรสามารถสั่งซื้อจากผู้จำหน่ายรายอื่นได้จนกว่าจะได้ปริมาณที่เพียงพอในการลงหน่อพันธุ์กล้วยในแต่ละช่วงเวลา

$$\sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} Sho_{ij}^t \leq CapS_j \cdot SupS_j^t; \quad \forall j \in SUP, \forall t \in CT \quad (5)$$

และ

$$\sum_{j \in SUP} Sho_{ij}^t \leq CapSH_i \cdot Ban_i^t; \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (6)$$

จำนวนแรงงานที่เกษตรกรต้องจ้าง เพื่อลงหน่อพันธุ์กล้วยในแต่ละช่วงเวลา แสดงในข้อจำกัด (7)

$$Lab^t = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} (RoL_i \cdot Ban_i^t); \quad \forall t \in CT \quad (7)$$

เมื่อผ่านไป 2 เดือนหลังจากที่เกษตรกรลงหน่อพันธุ์กล้วยแล้ว เกษตรกรจะต้องหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 เพื่อบำรุงต้น ใบ และดอก โดยปริมาณปุ๋ยที่เกษตรกรต้องหว่านในแต่ละแปลงปลูก รวมถึงการเลือกซื้อปุ๋ยจากผู้จำหน่าย แสดงในข้อจำกัด (8) และ (9)

$$\sum_{m \in SFI} QoFI_{im}^{t+2} = CapFI_i \cdot Ban_i^t; \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (8)$$

และ

$$\sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} QoFI_{im}^t \leq CapFSI_m; \quad \forall m \in SFI, \forall t \in CT \quad (9)$$

จำนวนแรงงานที่เกษตรกรต้องจ้าง เพื่อหว่านปุ๋ยในแต่ละช่วงเวลา แสดงในข้อจำกัด (10)

$$LabI^t = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} (RoLI_i \cdot Ban_i^t); \quad \forall t \in CT \quad (10)$$

หลังจากเกษตรกรหว่านปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในเดือนที่ 3 ไปแล้วนั้น เมื่อครบเดือนที่ 4 หลังจากลงหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว่า เกษตรกรจะต้องหว่านปุ๋ยสูตร 16-16-16 เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้วยให้มีความสมบูรณ์พร้อมออกผล โดยในข้อจำกัด (11) และ (12) เป็นระบุปริมาณปุ๋ยที่เกษตรกรจะต้องหว่านในแต่ละแปลงปลูก เพื่อสร้างความมั่นใจว่าปริมาณปุ๋ยที่เกษตรกรหว่านนั่นจะไม่เกินความ

ต้องการของต้นกล้วยน้ำว่า ส่วนข้อจำกัด (13) แสดงจำนวนแรงงานที่ใช้ในการหว่านปุ๋ยในแต่ละช่วงเวลา

$$\sum_{m \in SFI} QoFII_{im}^{t+3} = CapFII_i \cdot Ban_i^t; \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} QoFII_{im}^t \leq CapFSII_m; \quad \forall m \in SFI, \forall t \in CT \quad (12)$$

และ

$$LabII^t = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} (RoLII_i \cdot Ban_i^t); \quad \forall t \in CT \quad (13)$$

เมื่อต้นกล้วยมีอายุ 5 เดือนหลังจากลงหน่อกล้วยแล้ว ต้นกล้วยน้ำว่าจะมีหน่อกล้วยส่วนเกินเกิดขึ้น เกษตรกรจำเป็นต้องตัดหน่อกล้วยนี้ออก แต่หน่อกล้วยที่ตัดออก (ByP_i^t) นี้เกษตรกรสามารถนำไปจำหน่ายเป็นรายได้อีกทางหนึ่ง โดยข้อจำกัด (14) และ (15) เป็นการระบุอัตราการตัดหน่อกล้วยส่วนเกิน รวมถึงจำนวนแรงงานที่ต้องใช้ในการตัดหน่อกล้วย ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$ByP_i^{t+4} = \sum_{j \in SUP} (CapP \cdot Sho_{ij}^t); \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (14)$$

และ

$$LabIII^t = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} (RoBI_i \cdot Ban_i^t); \quad \forall t \in CT \quad (15)$$

หลังจากที่เกษตรกรลงหน่อพันธุ์กล้วยไปแล้ว 9 เดือน กล้วยน้ำว่าก็พร้อมจะเก็บเกี่ยวส่งขายให้กับลูกค้า แสดงในข้อจำกัด (16)

$$\sum_{j \in SUP} RoG \cdot Sho_{ij}^t = PBand_i^{t+8}; \quad \forall i \in I_B \cup I_{BC}, \forall t \in CT \quad (16)$$

สุดท้ายเป็นจำนวนแรงงานที่เกษตรกรต้องจ้างในการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว่า ซึ่งแสดงในข้อจำกัด (17)

$$LabIV^t = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} (RoPI_i \cdot Ban_i^t); \quad \forall t \in CT \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Ban_i^t, SupS_j^t &\in \{0,1\}; \forall i, \forall j, \forall t \\ ByP_i^t, PBand_i, QoF_{ik}^t &\geq 0; \forall i, \forall k, \forall t \\ QoFI_{im}^t, QoFII_{im}^t &\geq 0; \forall i, \forall m, \forall t \\ Lab^t, LabI^t &\geq 0 \text{ and integer}; \forall t \\ LabII^t, LabIII^t &\geq 0 \text{ and integer}; \forall t \\ LabIV^t, Sho_{ij}^t &\geq 0 \text{ and integer}; \forall i, \forall j, \forall t \end{aligned}$$

4.5 สมการเป้าหมาย (Objective functions)

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ตั้งสมการเป้าหมายสำหรับเกษตรกรใช้เป็นระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า คือ เพื่อให้มีกำไรในการปลูกกล้วยน้ำว้าเหมาะสมที่สุด (Maximize total profit surplus) ตั้งแต่การวางแผนการจัดหาหน่อพันธุ์กล้วย การเลือกใช้แปลงปลูก การเลือกซื้อปุ๋ย รวมไปถึงการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าให้มีรายได้จากการขายเหมาะสมที่สุด ซึ่งต้องไม่กระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า โดยสมการเป้าหมายประกอบด้วย

$$\text{Max } z = \text{Total revenue} - \text{Total cost} \quad (18)$$

จากสมการเป้าหมายกำหนดให้ Total revenue คือ รายได้รวมทั้งหมดจากการขายกล้วยน้ำว้า ($PBana_i^t$) และหน่อกล้วยน้ำว้า (ByP_i^t) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Total revenue} = & \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{t \in CT} (RvP^t \cdot PBana_i^t) \\ & + \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{t \in CT} (RvB^t \cdot ByP_i^t) \end{aligned}$$

ในส่วนของเทอมที่สองนั้น กำหนดให้ Total cost คือ ต้นทุนรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการปลูกกล้วยน้ำว้า ซึ่งประกอบด้วยต้นทุน 4 ประเภท คือ ต้นทุนในการดำเนินการเพาะปลูก (c^{Ope}) ต้นทุนในการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า (c^{Sho}) ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการ (c^{Fer}) และต้นทุนค่าแรงงาน (c^{Lab}) ดังนี้

$$\text{Total cost} = c^{Ope} + c^{Sho} + c^{Fer} + c^{Lab}$$

ต้นทุนในการดำเนินการเพาะปลูก (c^{Ope})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรมีการเลือกใช้แปลงปลูกในการลงหน่อกล้วยน้ำว้าตลอดช่วงเวลาในการเพาะปลูก ประกอบด้วย ต้นทุนการเตรียมดิน การดูแลและบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายที่จำเป็นอื่นๆ เป็นต้น โดยต้นทุนจะแตกต่างกันไปในแต่ละแปลง และระหว่างแปลงของเกษตรกรเองหรือแปลงของเกษตรกรในเครือข่าย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} c^{Ope} = & \sum_{i \in I_B} \sum_{t \in CT} (CoP_i \cdot Ban_i^t) \\ & + \sum_{i \in I_{BC}} \sum_{t \in CT} (CoP_i \cdot Ban_i^t) \end{aligned}$$

ต้นทุนในการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า (c^{Sho})

เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเมื่อเกษตรกรมีการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าจากผู้จำหน่ายหน่อพันธุ์ตลอดช่วงเวลาในการเพาะปลูก ดังนี้

$$c^{Sho} = \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{j \in SUP} \sum_{t \in CT} (CoS_j \cdot Sho_{ij}^t)$$

ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการ (c^{Fer})

เป็นต้นทุนค่าปุ๋ยทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดช่วงการเพาะปลูก ซึ่งในการปลูกกล้วยน้ำว้าเกษตรกรจะหว่านปุ๋ยทั้งหมด 3 ครั้ง โดยเริ่มตั้งแต่การหว่านปุ๋ยเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการลงหน่อพันธุ์กล้วย จนไปถึงการหว่านปุ๋ยเพื่อบำรุงต้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} c^{Fer} = & \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{k \in SFA} \sum_{t \in CT} (CoF_k \cdot QoF_{ik}^t) \\ & + \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{m \in SFI} \sum_{t \in CT} (CoFI_m \cdot QoFI_{im}^t) \\ & + \sum_{i \in I_B \cup I_{BC}} \sum_{m \in SFI} \sum_{t \in CT} (CoFII_m \cdot QoFII_{im}^t) \end{aligned}$$

ต้นทุนค่าแรงงาน (c^{Lab})

เป็นต้นทุนค่าจ้างแรงงานที่เกษตรกรจะต้องว่าจ้างตลอดช่วงการเพาะปลูก ดังนี้

$$\begin{aligned} c^{Lab} = & \sum_{t \in CT} (CoL \cdot Lab^t) \\ & + \sum_{t \in CT} (CoLI \cdot LabI^t) + \sum_{t \in CT} (CoLII \cdot LabII^t) \\ & + \sum_{t \in CT} (CoLIII \cdot LabIII^t) \\ & + \sum_{t \in CT} (CoLIV \cdot LabIV^t) \end{aligned}$$

5. ผลลัพธ์การคำนวณ (Numerical results)

จากแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มในหัวข้อที่ผ่านมา นั้น คณะผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม CPLEX Solver โดยใช้ภาษา GAMS Studio (Version 27.3.0) ในการเขียนแบบจำลองระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับข้อมูลขนาดของปัญหา (The size of the test problem) แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดของปัญหา

ขนาดของปัญหา	
1) กลุ่มเวลาที่ใช้สำหรับการเพาะปลูก	12 เดือน
2) กลุ่มแปลงปลูกของเกษตรกรเอง	123 แปลง
3) กลุ่มแปลงปลูกเกษตรกรในเครือข่าย	106 แปลง
4) กลุ่มผู้จำหน่ายปุ๋ยปรับปรุงคุณภาพดิน	3 ราย
5) กลุ่มผู้จำหน่ายปุ๋ยสูตร 15-15-15 และสูตร 16-16-16	3 ราย
6) กลุ่มผู้จำหน่ายหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า	15 ราย

5.1 ผลลัพธ์จากการศึกษา (Basic case study result)

ในส่วนนี้คณะผู้วิจัยจะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลจริงของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยน้ำว้ากรณีศึกษาในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อใช้สำหรับระบบการวางแผนการผลิตตั้งแต่การปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่การเพาะปลูก การเลือกซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า การเลือกพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้า ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้า โดยจะต้องสามารถตอบสนองต่ออุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองนั้นแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การคำนวณ

ผลลัพธ์การคำนวณ	
1) ผลกำไรสุทธิรวม	34,046 บาท
2) จำนวนตัวแปรทั้งหมด	3,938
2.1) ตัวแปรตัดสินใจฐานสอง (Binary variables)	641
2.2) ตัวแปรจำนวนเต็ม (Integer variables)	2,240
2.3) ตัวแปรอื่นๆ (Linear variables)	1,057
3) จำนวนข้อจำกัด (Constraints)	1,198
4) เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)	126.32
5) ค่าความเผื่อ (Gap tolerance)	0.1 %

จากตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มเพื่อใช้สำหรับระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า ตั้งแต่การวางแผนการจัดหาหน่อพันธุ์กล้วย การเลือกใช้แปลงปลูก การเลือกซื้อปุ๋ย รวมไปถึงการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าให้มีรายได้จากการขายเหมาะสมที่สุด โดยสามารถตอบสนองต่ออุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้ ซึ่งผลกำไรสุทธิของการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 34,046 บาท มีค่าความเผื่อ (Gap Tolerance) อยู่ที่ 0.1% และใช้เวลาในการคำนวณเพียง 126.32 วินาที แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของผลลัพธ์จำนวนเต็มที่ได้จากการคำนวณสูงมาก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์กำไรสุทธิการดำเนินการทั้งหมดจากการคำนวณของแบบจำลองที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นกับกำไรจากการดำเนินการก่อนการใช้แบบจำลอง (Manual Planning) ซึ่งมีกำไรสุทธิอยู่ที่ 30,822 บาท จากผลลัพธ์ของแบบจำลองสามารถเพิ่มผลกำไรสุทธิจากการดำเนินการรวมได้ถึง 3,224 บาท หรือสามารถเพิ่มผลกำไรสุทธิได้ถึงร้อยละ 10.52 ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยผลลัพธ์ของคำตอบสามารถวางแผนระบบการผลิตกล้วยน้ำว้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเลือกซื้อ

ปัจจัยการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าให้เป็นที่พึงพอใจได้

5.2 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)

สำหรับการตรวจสอบผลกระทบของค่าคงที่ต่างๆ (Parameters) ต่อแบบจำลองในกรณีศึกษา คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความไว โดยพิจารณาความแปรผันต่างๆ ของแบบจำลองในขอบเขตของค่าคงที่ที่กำหนด [15]

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความไว

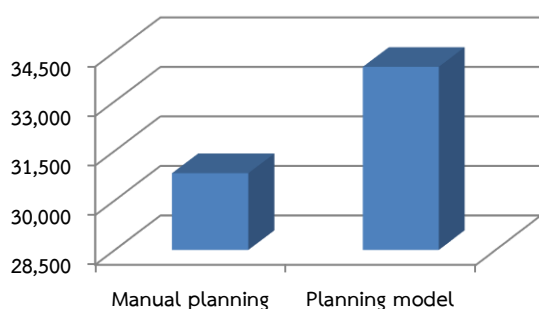
เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลง	ต้นทุนในการดำเนินการเพาะปลูก	
	ผลกำไรสุทธิ	เปลี่ยนแปลง (%)
10	30,535.52	10.311
20	27,977.64	17.824
30	25,798.02	24.226
40	23,305.17	31.548
50	20,282.56	40.426
เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลง	ต้นทุนในการสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า	
	ผลกำไรสุทธิ	เปลี่ยนแปลง (%)
10	33,584.68	1.355
20	33,123.02	2.711
30	32,661.68	4.066
40	32,190.49	5.450
50	31,738.70	6.777
เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลง	ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการ	
	ผลกำไรสุทธิ	เปลี่ยนแปลง (%)
10	28,041.99	17.635
20	23,780.45	30.152
30	19,518.91	42.669
40	15,257.03	55.187
50	10,995.50	67.704
เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนแปลง	ต้นทุนค่าแรงงาน	
	ผลกำไรสุทธิ	เปลี่ยนแปลง (%)
10	32,202.07	5.416
20	30,738.43	9.715
30	28,934.33	15.014
40	27,470.70	19.313
50	25,666.94	24.611

การวิเคราะห์ความไวเพื่อดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของต้นทุนที่มีต่อผลกำไรรวมสุทธิ ซึ่งต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับระบบการวางแผนการผลิตกล้วยน้ำว้าประกอบด้วยต้นทุน 4 ประเภท คือ ต้นทุนในการดำเนินการเพาะปลูก ต้นทุนใน

การสั่งซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า ต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการ และต้นทุนค่าแรงงาน โดยคณะผู้วิจัยจะเพิ่มต้นทุนแต่ละประเภทครั้งละ 10% จนถึง 50% [16] โดยผลลัพธ์ของผลกำไรรวมสุทธิ และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของผลกำไรรวมแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มขึ้น 10% จะส่งผลให้ผลกำไรเปลี่ยนแปลงถึง 17.635% ในขณะที่หากเพิ่มต้นทุนในการซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้า 10% จะส่งผลให้ผลกำไรเปลี่ยนแปลงเพียง 1.355% เนื่องจากต้นทุนค่าปุ๋ยมีการซื้อตามช่วงเวลาที่ใช้ต่างกัน และมีการใช้ปุ๋ยถึงสามช่วงในรอบฤดูกาลปลูก จึงส่งผลต่อความไวต่อการเปลี่ยนแปลงผลกำไรมากกว่าต้นทุนอื่นๆ ดังนั้นต้นทุนค่าปุ๋ยที่ใช้ในกระบวนการเป็นต้นทุนที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างผลกำไรรวมสุทธิทั้งหมดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้น

ในขณะที่ต้นทุนในการซื้อหน่อพันธุ์กล้วยน้ำว้าเกษตรกรสามารถใช้หน่อพันธุ์จากการปลูกรอบแรกมาใช้เป็นหน่อพันธุ์ในรอบการปลูกถัดไปได้ ซึ่งจะทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการซื้อหน่อพันธุ์กล้วยลงได้ จึงทำให้ต้นทุนในการซื้อหน่อพันธุ์กล้วยความไวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดหากต้นทุนประเภทนี้มีต้นทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากเกษตรกรมีระบบการวางแผนการผลิตกล้วยน้ำว้าที่มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดต้นทุน และเพิ่มผลกำไรให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ผลกำไรรวมสุทธิทั้งหมดก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง

6. สรุป

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้าของกลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาในพื้นที่ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าเกษตรกรประสบปัญหาอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ปัญหา

คุณภาพดินที่เกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่ได้ให้ความสนใจทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่มีคุณภาพ น้ำหนักผลกล้วยน้อย และขายได้ในราคาต่ำ และปัญหาระบบการวางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมเพื่อให้เกษตรกรสามารถขายผลผลิตได้ในเวลาที่ราคากล้วยน้ำว้ามีมูลค่าสูงที่สุด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มมาใช้สำหรับระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้า ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มาจากการข้อมูลจริงของเกษตรกร โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นเป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการปลูกกล้วยน้ำว้า เพื่อให้สามารถทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองและสามารถนำแบบจำลองไปใช้ได้จริง ซึ่งโปรแกรม CPLEX Solver โดยใช้ภาษา GAMS Studio (Version 27.3.0) ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด โดยผลลัพธ์มีค่าความเผื่อจากค่าที่เหมาะสมที่สุดเพียง 0.1% เท่านั้น และสามารถออกแบบระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ผลกำไรสุทธิรวมมากกว่าก่อนการใช้แบบจำลองถึงร้อยละ 10.52

นอกจากนี้เพื่อให้ระบบการวางแผนโซ่อุปทานการผลิตกล้วยน้ำว้าสามารถครอบคลุมการตัดสินใจและตรงกับสถานการณ์ปัจจุบันมากยิ่งขึ้น สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาต่อ คือ การวางแผนการผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (Post-harvest planning) โดยศึกษาระบบตั้งแต่หลังจากการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้าในแต่ละพื้นที่ ขนส่งไปยังศูนย์รวบรวมผลผลิตของหมู่บ้าน จนถึงขนส่งไปยังศูนย์รับซื้อผลไม้ในตัวจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เนื่องจากการขนส่งจากแปลงปลูกจนถึงศูนย์รับซื้อมีรูปแบบยานพาหนะในการขนส่งอยู่หลายรูปแบบที่สามารถใช้ได้ เช่น รถสามล้อ รถกระบะ รถกระบะแบบมีที่กั้นด้านข้าง และรถบรรทุกเล็ก เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรพื้นบ้านกลุ่มเพาะปลูกกล้วยน้ำว้าในพื้นที่ตำบลกุยบุรี อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำหรับสถานที่เก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้งานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธวัชชัย ศรีภักดี, กล้วยน้ำว้า สรรพคุณ และ การปลูกกล้วยน้ำว้า, กรุงเทพมหานคร: อักษรโสภณ, 2557.
- [2] B. M. Beamon, "Supply chain design and analysis: models and methods," *International*

- Journal of Production Economics.*, vol. 55, pp. 281-294, 1998.
- [3] S. S. Erenguc, N. C. Simpson and A. J. Vakharia, "Integrated production/ distribution planning in supply chains: An invited review," *European Journal of Operational Research.*, vol. 115, pp. 219-236, 1999.
- [4] N. K. Tsolakis, C. A. Keramydas, A. K. Toka, D. A. Aidonis and E. T. Lakovou, "Agi-food supply chain management: a comprehensive hierarchical decision-making framework and critical taxonomy," *Biosystems Engineering.*, vol. 120, no. 1, pp. 46-64, 2014.
- [5] O. Ahumad and J. R. Villalobos, "Application of planning models in the agri-food supply chain: a review," *European Journal of Operational Research.*, vol. 195, no. 1, pp. 1-20, 2009.
- [6] J. Mula, D. Peodro, 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.
- [7] G. O. Huang, J. S. K. Lau and K. L. Mak, "The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature," *International Journal of Production Research.*, vol. 41, pp. 1483-1517, 2003.
- [8] Y. Srimanee and J. K. Routray, "The fruit and vegetable marketing chains in Thailand: policy impacts and implications," *International Journal of Retail & Distribution Management.*, vol. 40, pp. 656-675, 2012.
- [9] C. Limpianchob, "A mixed integer linear programming model for optimal production planning in tangerine supply chain," *Kasetsart Journal (Natural Science).*, vol.49, pp. 1001-1011, 2015.
- [10] C. Limpianchob, "Integrated of harvesting and production planning in aromatic coconut supply chain using mixed-integer linear programming," *International Journal of Operational Research.*, vol.30, No.3, pp. 360-374, 2017.
- [11] Y. Kazancoglu, D. O. Yesim and M. Ozbiltekin, "Minimizing losses in milk supply chain with sustainability: an example from emerging economy," *Resources, Conservation and Recycling.*, vol. 139, no. 3, pp. 270-279, 2018.
- [12] W. E. Soto-Silva, M. Gonzalez-Araya, M. A. Oliva-Fernandez and L.M. Pla-Aragones, "Optimizing fresh food logistics for processing: application for large Chilean apple supply chain," *Computers and Electronics in Agriculture.*, vol. 136, no. 1, pp. 42-57, 2017.
- [13] D. J. Sanjay and P. Marcus, "Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming," *European Journal of Operational Research.*, vol. 230, no.2, pp. 374-384, 2013.
- [14] Y. Hu, Y. Liu, Z. Wang, J. Wen, J. Li and J. Lu, "A two-stage dynamics capacity planning approach for agricultural machinery maintenance service with demand uncertainty," *Biosystems Engineering.*, vol. 190, pp. 201-217. 2020.
- [15] B. A. Yousefi, M. A. Tavakkoli, A. A. Bozorgi and S. Seifi, "Designing a reliable multi-objective queuing model of a petrochemical supply chain network under uncertainty: a case study," *Computers and Chemical Engineering.*, vol. 100, pp. 177-197, 2017.
- [16] B. Bilgen and I. Ozkarahan, "A mixed-integer linear programming model for bulk grain blending and shipping," *International Journal of Production Economics.*, vol. 107, pp. 555-571, 2007.