

การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของโรงงานแปรรูปภายใต้ระบบ  
เกษตรพันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน



นายอภิชา โคตรค้ำพู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2566

CASSAVA HARVEST SCHEDULING FOR PROCESSING PLANT UNDER  
CONTRACT FARMING AND CROP YIELD UNCERTAINTY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Industrial Systems and  
Environmental Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2023

การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของโรงงานแปรรูปภายใต้ระบบเกษตร  
พันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.นิวิท เจริญใจ)

ประธานกรรมการ



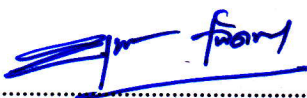
(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.จงดล ศรีธร)

กรรมการ



(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงดล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิชา โคตรค่างพู : การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของโรงงานแปรรูปภายใต้ระบบ  
เกษตรพันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน (CASSAVA HARVEST SCHEDULING  
FOR PROCESSING PLANT UNDER CONTRACT FARMING AND CROP YIELD  
UNCERTAINTY)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์, 94 หน้า.

คำสำคัญ : การจัดตารางการเก็บเกี่ยว/เมตะฮิวริสติกส์/มันสำปะหลัง

ปัญหาการขาดแคลนผลผลิตมันสำปะหลังในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อตารางแผนผลผลิตที่ใช้  
ในการแปรรูปของโรงงาน การทำเกษตรพันธสัญญาเป็นนโยบายหนึ่งที่ช่วยให้โรงงานได้จัดหาผลผลิต  
มาอย่างเพียงพอ เกษตรกรบางพื้นที่อาจได้รับการคัดเลือกทำพันธสัญญาโดยตัดสินใจจากการสร้าง  
ตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตหรือทรัพยากร  
ของโรงงาน พื้นที่เกษตรกรจำนวน 50 ตำบลในจังหวัดนครราชสีมาได้รับการศึกษาเพื่อสร้างสมการ  
พยากรณ์ผลผลิตสะสมโดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนสะสม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์  
เพื่อให้โรงงานแปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยโรงงานจะได้รับปริมาณ  
ผลผลิตมันสำปะหลังตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวสูงสุด แบบจำลองการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังถูกดัดแปลง  
ให้อยู่ในรูปแบบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผลการจัดตารางการ  
เก็บเกี่ยวรายวันพบว่า อัลกอริทึมมีการลู่เข้าของคำตอบอย่างรวดเร็วเทียบเท่ากับการใช้โปรแกรม  
สำเร็จรูป GAMS เนื่องจากการพิจารณาจุดตัดของเมทริกซ์ที่สามารถป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่น  
โดยโรงงานจะได้รับผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด 3,875.1 ตัน รวมทั้งได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุด  
1,125,371.97 บาท ตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว 90 วัน ซึ่งเกษตรกรจำนวน 110 แปลงได้รับการยอมรับ  
ทำพันธสัญญากับโรงงาน สำหรับผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายวันรายสัปดาห์ อัลกอริทึมดังกล่าว  
มีประสิทธิภาพเหนือกว่าโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ทั้งในด้านของคำตอบและเวลา โรงงานแปรรูปได้  
คัดเลือกพื้นที่เกษตรกรจำนวน 36 แปลงเข้าร่วมทำพันธสัญญา โดยโรงงานจะได้รับผลผลิตมัน  
สำปะหลังสูงสุด 16,407.59 ตัน และได้รับผลตอบแทนสูงสุด 4,548,580.06 บาท ตลอดฤดูกาลเก็บ  
เกี่ยวทั้ง 17 สัปดาห์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา ..... อภิชา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... hu .....  
hu





APICHA KOTEKANGPOO : CASSAVA HARVEST SCHEDULING FOR PROCESSING PLANT  
UNDER CONTRACT FARMING AND CROP YIELD UNCERTAINTY.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAVEE SIRIRUK, Ph.D., 94 PP.

Keyword: HARVEST SCHEDULING/METAHEURISTICS/CASSAVA

Nowadays, processing plants face a shortage of cassava supplies, which has a significant impact on production planning. Contract farming is a policy that helps them to obtain sufficient yields. Some farmers may be selected to enter into contracts based on a cassava harvest schedule that must be in line with the plant's production capacity or resources. A study was conducted on 50 sub-districts in Nakhon Ratchasima Province to create a cumulative yield prediction equation that compares the relationship with cumulative rainfall. This research aims to maximize the profits of processing plants during the harvest season, while the plant will obtain the highest cassava production throughout the harvest season. The harvest scheduling mathematical model was modified into the algorithm using the fruit fly optimization algorithm (FOA) to find the optimal solution. The results of daily harvest scheduling showed that the algorithm converged extremely fast on the solution since the matrix intersection technique escaped local optima. The obtained optimal solution has the same value as formulating mathematical models through GAMS software within a reasonable time. The processing plant will obtain a maximum cassava production of 3,875.1 tons and the highest return of 1,125,371.97 baht during 90 days of the harvest season, with 110 farmers' plots accepted into contracts with the plants. For weekly harvest scheduling results, the algorithm outperforms GAMS software in terms of both answer and time. The processing plant selected 36 farmers' plots to enter into contract farming. Finally, the plant will obtain a maximum cassava production of 16,407.59 tons, with the highest return of 4,548,580.06 baht, during 17 weeks of the harvest season.

School of Industrial Engineering  
Academic Year 2023

Student's Signature .....  .....  
Advisor's Signature .....  .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษา รวมทั้งให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านวิชาการเป็นอย่างดีจนกระทั่งผลการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มอบทุนกิตติบัณฑิตให้แก่ผู้วิจัยได้พัฒนาตนเองในด้านการศึกษาลดระยะเวลาทุนการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิเวศ เจริญใจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จنگล ศรีธร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสามารถเสร็จสิ้นเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่เมตตาและมอบความรู้ด้านเทคนิคและประสบการณ์ต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ข้อมูลการทำวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่เป็นที่ปรึกษา คอยให้ความช่วยเหลือด้านการใช้ชีวิตและการเรียน

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งสนับสนุนและไม่เคยปิดกั้นเรื่องการศึกษา ผลักดันจนกระทั่งผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาดังใจหวัง ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแรงบันดาลใจแก่ผู้ที่สนใจไม่มากก็น้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อภิชา โคนรงค์พู

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>5</b>
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 การวางแผนเพาะปลูกพืช.....	5
2.1.2 ไซ้อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....	7
2.1.3 ระบบเกษตรพันธสัญญา.....	9
2.1.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis).....	11
2.1.4.1 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear regression).....	11
2.1.4.2 สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียล (Polynomial Regression).....	12
2.1.5 วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA).....	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร.....	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA).....	20
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>26</b>
3.1 การรวบรวมข้อมูล.....	26
3.1.1 ข้อมูลปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง.....	26
3.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน.....	26
3.1.3 ข้อมูลจากโรงงานแปรรูป.....	27
3.2 การแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง.....	27
3.2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืช.....	27
3.2.1.1 ดัชนีและเซต (Indices and Sets).....	27
3.2.1.2 ตัวแปรทราบค่า (Parameters).....	28
3.2.1.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables).....	28
3.2.1.4 สมการเป้าหมาย (Objective Function).....	28
3.2.1.5 สมการข้อจำกัด (Constrains).....	29
3.2.2 การออกแบบและปรับปรุงอัลกอริทึม.....	30
3.3 การเขียนโปรแกรม.....	35
3.4 การสรุปผลและนำเสนอผลการวิจัย.....	36
<b>4 ผลการดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>37</b>
4.1 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง.....	37
4.2 ผลการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA).....	47
4.2.1 กรณีศึกษาที่ 1: การวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง รายวัน.....	47
4.2.2 กรณีศึกษาที่ 2: การวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง รายสัปดาห์.....	61
<b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>71</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	72

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	78
ประวัติผู้วิจัย.....	94





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	เนื้อที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และจำนวนคร้วเรือนที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง..... 1
2.1	ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร..... 22
3.1	ตัวอย่างเมทริกซ์การเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง..... 31
3.2	ตัวอย่างการสำรวจจุดตัดที่เป็นไปได้..... 32
3.3	การสุ่มเลือกแปลงเก็บเกี่ยวเพิ่มเติม..... 32
3.4	การสลับเปลี่ยนเมทริกซ์ของมันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง..... 35
4.1	การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 10 ของตำบลบึงปรือ..... 38
4.2	การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 11 ของตำบลบึงปรือ..... 38
4.3	การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 12 ของตำบลบึงปรือ..... 39
4.4	การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 13 ของตำบลบึงปรือ..... 40
4.5	ปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในแต่ละปีของตำบลบึงปรือ..... 41
4.6	ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือ..... 42
4.7	ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล..... 44
4.8	ข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ของแต่ละตำบลและระยะทางจากโรงงานแปรรูป..... 45
4.9	ข้อมูลพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาที่ 1..... 48
4.10	หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมทั้งโรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1..... 49
4.11	ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1..... 55
4.12	ผลการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS สำหรับกรณีศึกษาที่ 1..... 61
4.13	ข้อมูลพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาที่ 2..... 62
4.14	หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมทั้งโรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละสัปดาห์ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2..... 64

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	67
4.16 ผลการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	70



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างโรงงานแปรรูป จำนวนพาหนะ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว และพื้นที่แปลง มันสำปะหลัง.....	4
2.1	โซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง.....	7
2.2	ตัวอย่างของเส้นโค้งโพลีโนเมียล.....	12
2.3	แผนภาพวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA).....	13
3.1	ขั้นตอนในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA).....	31
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสม และสมการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือ.....	41
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสม และสมการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4.3	พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 ตำบล.....	47
4.4	พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 130 ครัวเรือน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	49
4.5	พื้นที่คัดเลือกทำพันธสัญญากับโรงงาน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	53
4.6	การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	59
4.7	การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 18 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1.....	60
4.8	พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 หมู่บ้าน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	64
4.9	พื้นที่คัดเลือกทำพันธสัญญากับโรงงาน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	66
4.10	การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 6 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	69
4.11	การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 17 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2.....	70

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FOA	=	วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm)
MILP	=	กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming)
MAD	=	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation)
MAPE	=	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error)



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเขตร้อน เป็นพืชหัวที่มีรากสะสมอาหารในรูปแบบแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นสารอาหารพลังงานสูงของสิ่งมีชีวิต อีกทั้งอุดมไปด้วยวิตามินซี ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย สามารถบริโภคโดยตรงหรือแปรรูปเป็นอาหารหลากหลายชนิด นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตไซรัป กระดาษ สิ่งทอ กาว และแอลกอฮอล์ (Verma et al., 2022) มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก ในปี พ.ศ. 2565 มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 152,178.68 ล้านบาท และมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2565) การขยายพื้นที่การเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้รับการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับความต้องการของตลาดในอนาคต ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีเนื้อที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลังทั้งหมด 10,406,314 ไร่ มีปริมาณผลผลิต 35,094,485 ตัน สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรกว่า 760,228 ครัวเรือน โดยจังหวัดนครราชสีมามีจำนวนพื้นที่เก็บเกี่ยวคิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ข้อมูลพื้นที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และจำนวนครัวเรือนที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง แยกตามรายจังหวัด แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เนื้อที่เก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และจำนวนครัวเรือนที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง

จังหวัด	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	จำนวนครัวเรือน
กำแพงเพชร	761,358	2,403,525	37,892
นครสวรรค์	479,065	1,472,476	26,332
อุดรธานี	418,325	1,484,884	39,625
อุบลราชธานี	503,740	1,759,654	51,531
บุรีรัมย์	373,106	1,394,821	33,247
ชัยภูมิ	731,837	2,533,502	52,355
นครราชสีมา	1,548,240	5,507,286	98,700



ในปัจจุบัน ความต้องการใช้มันสำปะหลังในตลาดโลกยังคงมีทิศทางเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมเอทานอลและแอลกอฮอล์ ความต้องการสินค้าเพื่อความมั่นคงทางอาหาร รวมทั้งการใช้มันสำปะหลังเป็นสินค้าทดแทนพืชชนิดอื่น ส่งผลให้ราคาหัวมันสดในประเทศเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยมีทิศทางลดลง เนื่องจากปัจจัยด้านภัยธรรมชาติ และโรคพืชระบาด ส่งผลให้เกิดความไม่สอดคล้องระหว่างอุปสงค์และอุปทานของตลาดมันสำปะหลัง โดยโรงงานอาจต้องรับความเสี่ยงจากการแข่งขันวัตถุดิบตามความต้องการใช้มันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้น (ชัยวัช โขวเจริญสุข, 2566) ในการควบคุมผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการนั้น เป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก ใช้เวลานาน และไม่สามารถจัดการแก้ไขทันทีเพื่อให้ได้ผลผลิตตามความต้องการ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางเกษตรจึงจำเป็นต้องปรับตัวให้สามารถรองรับอุปทานของสินค้า (กาญจนา สงวนวงศ์วาน, 2548)

จากปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการวางแผนการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ในการลดความเสี่ยงด้านผลผลิตจากเกษตรกรนั้น โรงงานแปรรูปสามารถชักชวนเกษตรกรเข้าร่วมระบบเกษตรพันธสัญญา (Contract farming) ซึ่งเป็นรูปแบบการทำสัญญาที่สนับสนุนให้เกษตรกรเข้าถึงตลาดที่มีความมั่นคงด้านราคา และได้รับความช่วยเหลือด้านเทคนิคทางการเกษตรอย่างเต็มรูปแบบ โดยโรงงานแปรรูปจะทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมสัญญาอย่างรอบคอบ สนับสนุนปัจจัยการผลิตหรือให้สินเชื่อเพื่อการลงทุนแก่เกษตรกร รวมทั้งจัดหาแนวทางปฏิบัติทางการเกษตรที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับผลผลิตที่มีคุณภาพสูงในขณะที่มีต้นทุนที่ต่ำลง (Sriboonchitta and Wiboonpoongse, 2008) จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าโรงงานแปรรูปสามารถเข้าไปมีบทบาทสำคัญในการวางแผนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของเกษตรกรได้ ในการขจัดปัญหาความต้องการผันผวนของโรงงานที่เป็นผลมาจากปัจจัยภายนอกต่าง ๆ โดยเฉพาะปัญหาช่วงเวลาในการให้ผลผลิตของเกษตรกรนั้นมักไม่สอดคล้องกับความต้องการของโรงงาน ผู้วิจัยมีแนวคิดในการวางแผนการจัดการการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังภายใต้แนวคิดระบบเกษตรพันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน ซึ่งแนวทางแก้ไขเมื่อโรงงานมีความต้องการเพิ่มขึ้นในขณะที่ผลผลิตลดลง คือ การรวบรวมปริมาณผลผลิตจากพื้นที่ต่าง ๆ ในช่วงเวลาระยะเวลาเก็บเกี่ยวให้ได้มากที่สุดผ่านนโยบายเกษตรพันธสัญญา โรงงานแปรรูปจะทำการวางแผนตัดสินใจคัดเลือกพื้นที่แปลงเกษตรกรเข้าร่วมทำสัญญา โดยผลรวมปริมาณผลผลิตจากพื้นที่แปลงต่าง ๆ ต้องเพียงพอต่อการแปรรูปของโรงงานในแต่ละช่วงเวลาและสอดคล้องกับปัจจัยการผลิตของโรงงานที่มีอยู่ นอกจากนี้ โรงงานจะได้รับปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังต่อช่วงเวลาสูงสุด ส่งผลให้โรงงานได้รับปริมาณผลผลิตและผลกำไรสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวด้วย การทำเกษตรพันธสัญญาดังกล่าวถือเป็นกลไกในการสร้างโอกาสและการสร้างผลประโยชน์ที่ยั่งยืนร่วมกันระหว่างโรงงานแปรรูปและเกษตรกร

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ภายใต้ระบบเกษตรพันธสัญญา เพื่อให้โรงงานแปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว

1.2.2 เพื่อศึกษาและสร้างกระบวนการหาคำตอบผ่านอัลกอริทึมที่พัฒนาโดยวิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เก็บข้อมูลระดับตำบลในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาศึกษาพื้นที่เก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพื่อพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และกำหนดให้แปลงมันสำปะหลังของเกษตรกรรายหนึ่งมีปริมาณผลผลิตเท่ากับปริมาณผลผลิตโดยรวมจากหนึ่งตำบลใด ๆ

1.3.2 ศึกษาการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นรายวันและรายสัปดาห์สำหรับโรงงานแปรรูป 1 แห่ง โดยพิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของผลผลิต (Crop yield uncertainty) คือ ช่วงเวลาในการให้ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของเกษตรกรไม่สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของโรงงาน

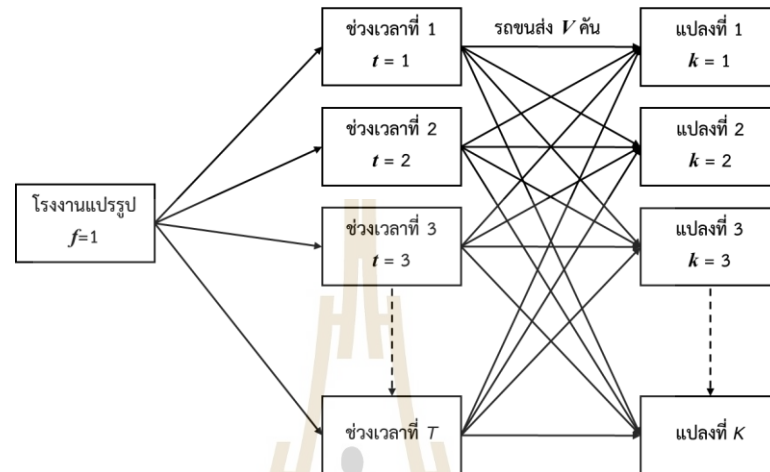
1.3.3 โรงงานแปรรูปจะทำการคัดเลือกเกษตรกรเพื่อทำสัญญาการซื้อขายผลผลิตมันสำปะหลังในระบบเกษตรพันธสัญญา (Contract farming) โดยพิจารณาจากปริมาณของผลผลิตในแต่ละพื้นที่

## 1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ก่อนช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวในแต่ละปี โรงงานแปรรูปจะสร้างกำหนดการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้รับปริมาณผลผลิตและผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว จากสถานการณ์ความไม่แน่นอนในปริมาณผลผลิต นโยบายเกษตรพันธสัญญาได้รับการพิจารณาเพื่อคัดเลือกเกษตรกรผู้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการจำหน่ายผลผลิตทางการเกษตรป้อนเข้าสู่โรงงาน การเก็บข้อมูลเพื่อทำนายปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังและการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างตารางการเก็บเกี่ยว เมื่อเกษตรกรได้รับการตกลงทำสัญญากับโรงงานแปรรูปแล้ว เกษตรกรจะทำการเพาะปลูกโดยอาศัยคำแนะนำ การจัดสรรทรัพยากร หรือเงินลงทุนจากทางโรงงาน รวมทั้งจะเก็บเกี่ยวผลผลิตตามปริมาณและคุณภาพที่โรงงานได้กำหนดไว้ ซึ่งโรงงานแปรรูปจะเป็นผู้จัดสรรรถบรรทุกไปรับผลผลิตมันสำปะหลังจากแปลงของเกษตรกรโดยตรง

ในการศึกษานี้จะพิจารณาโรงงานแปรรูป 1 แห่ง ซึ่งการตัดสินใจในการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังของโรงงานแปรรูป ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การคัดเลือกพื้นที่แปลงเกษตรกรเพื่อทำพันธ

สัญญา การเก็บเกี่ยวผลผลิตในปริมาณที่เหมาะสม และการกำหนดจำนวนพาหนะและจำนวนเที่ยวรถที่เหมาะสม แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างโรงงานแปรรูป จำนวนพาหนะ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว และพื้นที่แปลงมัน แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโรงงานแปรรูป จำนวนพาหนะ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว และพื้นที่แปลงมัน  
สำหรับป่าหลัง

จากรูปที่ 1.1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีต่าง ๆ ที่มีความยากต่อการตัดสินใจ การศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการแก้ปัญหาผ่านการสร้างอัลกอริทึมด้วยวิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้โรงงานแปรรูปได้ดำเนินการเก็บเกี่ยว ขนส่ง และผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างตารางการเก็บเกี่ยวมันสำหรับป่าหลังได้รับการพิจารณาเป็นรายวันและรายสัปดาห์ กำหนด 1 ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวของทุก ๆ ปีอยู่ระหว่างเดือนมกราคม ถึง เดือนเมษายน เนื่องจากช่วงเวลานี้สามารถให้ปริมาณผลผลิตมันสำหรับป่าหลังสูงกว่าช่วงเวลาเก็บเกี่ยวอื่น โดยการประเมินผลผลิตมันสำหรับป่าหลังสะสมนั้นได้รับเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนเท่านั้น

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้รับแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำหรับป่าหลังโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.2 ได้รับอัลกอริทึมที่พัฒนาโดยวิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์ ซึ่งสามารถให้ผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำหรับป่าหลังที่มีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง “การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของโรงงานแปรรูปภายใต้ระบบเกษตรพันธสัญญา และปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน” นี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาให้สามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยหัวข้อต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 การวางแผนเพาะปลูกพืช

การวางแผนเพาะปลูกพืช (Crop Planning) คือ กระบวนการในการตัดสินใจว่าจะปลูกพืชชนิดใด ในพื้นที่เท่าใด เมื่อใดที่จะปลูกและเก็บเกี่ยวพืชผลเหล่านั้น วัตถุประสงค์ของการวางแผนเพาะปลูกพืช คือ การเพิ่มอัตรากำไรขั้นต้นให้สูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ข้อกำหนดด้านแรงงาน ที่ดินที่มีอยู่ ข้อกำหนดด้านเงินทุนหมุนเวียน ตัวแปรในการตัดสินใจของเกษตรกร ได้แก่ การกำหนดรูปแบบการปลูกพืชที่เหมาะสม และการบริหารจัดการทรัพยากรในพื้นที่เพาะปลูก ในการวางแผนระดับภูมิภาค วัตถุประสงค์อาจเปลี่ยนแปลงไปเพื่อเพิ่มสวัสดิการสังคมสูงสุด (Verderame, Elia, Li, and Floudas, 2010)

ปัญหาที่สำคัญการวางแผนเพาะปลูกคือ ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ไม่อาจทราบ ประเมินค่าไม่ได้ หรือไม่สามารถวัดผลอย่างแม่นยำได้ แต่สามารถจัดการได้โดยใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ เช่น การวางแผนสถานการณ์และการปรับตัว ในแต่ละวันเกษตรกรจะต้องทำการวิเคราะห์และตัดสินใจในการวางแผนเพาะปลูกพืชเพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้น ในปัจจุบัน อันตรายจากความไม่แน่นอนทางเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรจึงจำเป็นต้องเสริมสร้างทักษะในการจัดการความไม่แน่นอนเพื่อให้สามารถคาดการณ์ปัญหาและจัดการกับผลกระทบอย่างทันทั่วทั้งที่ ความไม่แน่นอนทางการเกษตรแบ่งเป็น 5 ประเภทหลัก (Priyanka, Naresh, Manisha, and Madhu, 2023) ได้แก่

1) ความแปรปรวนของสภาพอากาศ โดยมีสาเหตุสำคัญมาจากภูมิอากาศและภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น ความแห้งแล้งของพื้นที่เพาะปลูกและอุทกภัย สามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศในอดีต การใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ และการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

2) การระบาดของโรคพืชและแมลงศัตรูพืช เป็นปัจจัยทางชีวภาพที่ประเมินค่าด้วยการเฝ้าระวัง การตรวจสอบภาคสนาม และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อควบคุมสัตว์รบกวนรวมทั้งโรคพืชต่าง ๆ

3) ราคาขายผลผลิตและราคาปัจจัยการผลิต เป็นผลมาจากความไม่แน่นอนในด้านอุปสงค์และอุปทานของตลาดรวมทั้งการหยุดชะงักของห่วงโซ่อุปทาน ความไม่แน่นอนนี้สามารถประเมินจากการสำรวจและวิเคราะห์แนวโน้มของตลาดตลาดเพื่อรวบรวมข้อมูลการกำหนดราคา การติดตามดัชนีราคาสินค้าโภคภัณฑ์ของตลาดโลกเพื่อตรวจสอบการความผันผวนของราคา

4) ความแปรปรวนของผลผลิต เกิดจากความไม่แน่นอนในสภาพอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งศัตรูพืชและโรคพืช ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตในอดีต การสร้างแบบจำลองและอัลกอริทึมทางการเกษตร และการใช้เทคโนโลยีสำรวจข้อมูลระยะไกลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

5) ความพร้อมของแรงงาน เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางประชากรและความพร้อมด้านแรงงาน สามารถประเมินได้จากการสำรวจในตลาดแรงงานและพื้นที่เกษตรกรรมโดยตรง

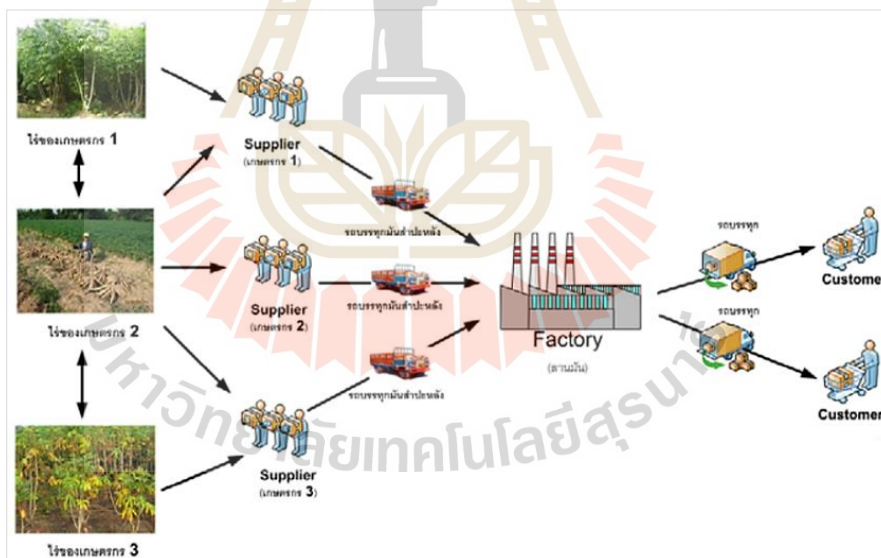
6) การเปลี่ยนแปลงนโยบาย เช่น กฎระเบียบของรัฐบาล และข้อตกลงทางการค้า ภายจนา สงวนวงค์วาน (2548) ได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับจุดอ่อนของผลผลิตทางการเกษตรในแง่ของการผลิต โดยกิจกรรมทางการเกษตรทั่วไปมักมีรูปแบบในการผลิตที่แตกต่างจากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ประเทศไทยเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพารายได้จากการจำหน่ายผลผลิตทางการเกษตรเป็นหลัก มีจุดอ่อนสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการหารายได้ของเกษตรกรไทย คือ ความไม่แน่นอนทางด้านอุปทานของผลผลิตทางการเกษตรซึ่งต้องพึ่งพาปัจจัยทางธรรมชาติที่มนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้ ปัญหานี้ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมากเนื่องจากเกษตรกรไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณผลผลิตที่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยเมื่อเกษตรกรได้ดำเนินการเพาะปลูกแล้วจะถือว่าผลิตผลที่ได้รับนั้นเป็นสินค้าประเภทปริมาณคงที่ตามระยะเวลา (Periodically fixed supplies) เพราะเมื่อเกษตรกรได้ลงมือทำการเพาะปลูกในช่วงฤดูกาลผลิตใด ๆ แล้ว จะไม่สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณผลผลิตได้แม้ว่าความต้องการของตลาดจะสูงขึ้นหรือลดลงก็ตาม การปรับตัวต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจะสามารถทำได้เมื่อเริ่มฤดูกาลผลิตถัดไปเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลผลิตพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงฤดูกาลผลิตมีปริมาณมากหรือน้อยเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้น เกษตรกรจึงไม่สามารถเพาะปลูกพืชให้ได้ปริมาณผลผลิตเท่าเดิมในทุก ๆ ปี อีกหนึ่งจุดอ่อนสำคัญของผลผลิตทางการเกษตร คือ ความไม่สมดุลระหว่างปริมาณผลผลิตและความต้องการของตลาด ความทำท่ายนี้อาจทำให้เกิดปัญหาในวงกว้างตามมา โดยเฉพาะปัญหาการบริหารเศรษฐกิจด้านการเกษตรของประเทศเนื่องด้วยผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่มักมาจากเกษตรกรรายย่อยที่กระจุกกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งได้รับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมแตกต่างกันและมีความเป็นอิสระต่อกัน การควบคุมปริมาณ



ผลผลิตให้เพียงพอความต้องการของตลาดจึงเป็นสิ่งทำได้ยาก

### 2.1.2 โซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

โซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเริ่มจากเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง โดยส่วนใหญ่แล้วเกษตรกรจะขายผลผลิตให้กับลานมันหรือโรงงานแปรรูปในเขตพื้นที่ใกล้เคียง เกษตรกรที่มีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังน้อยจะขายผลผลิตให้กับพ่อค้าคนกลาง เพื่อรวบรวมหัวมันสดไปขายต่อให้กับลานมันและโรงงานแปรรูป ในขณะที่เกษตรกรที่มีผลผลิตมากจะสามารถขายให้กับลานมันและโรงงานแปรรูปได้โดยตรง รถบรรทุกขนพืชผลทางการเกษตรจะถูกใช้ในการขนส่งมันสดจากแปลงของเกษตรกรไปยังลานมันและโรงงานแปรรูป หากเกษตรกรมีปริมาณมันสดน้อยอาจใช้รถจักรยานยนต์ในการขนส่ง เมื่อลานมันได้รับซื้อผลผลิตดังกล่าวจากเกษตรกรหรือจากพ่อค้าคนกลางแล้ว ลานมันหรือโรงงานจะนำมันสำปะหลังสดมาแปรรูปเป็นมันเส้นเพื่อจัดจำหน่ายให้กับผู้ส่งออก โดยใช้รถบรรทุกสิบล้อและรถบรรทุกพ่วงในการขนส่ง (อดิเทรค ชัยนวกุล, ธณิดา โชนงนุช, และอลงกรณ์ เมืองไหว, 2562) แผนภาพโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

มันสดที่โรงงานได้รับมาจากเกษตรกร ลานมัน หรือพ่อค้าแปรรูป สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลักได้ 3 ชนิด (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2561) ได้แก่

1) มันเส้น (Cassava chips) เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ทำได้ง่ายที่สุด เกษตรกรบางรายอาจมีลานมันเป็นของตัวเอง หัวมันสดที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวจะถูกนำมาแปรรูปโดยใช้เครื่องตัด

หัวมันสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำมันเส้นที่ได้ไปตากบนลานซีเมนต์ เมื่อแห้งดีแล้วจะทำการจัดเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หรืออุตสาหกรรมมันอัดเม็ด

2) มันอัดเม็ด (Cassava pellets) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดมันเส้นซึ่งต้องใช้เครื่องอัดภายใต้ความร้อนและแรงดัน เมื่อทำการอัดแล้วจะได้มันท่อนยาว 2 - 3 เซนติเมตร และมีศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร เนื่องจากมันอัดเม็ดมีปริมาณแป้งสูงจึงถูกใช้เป็นแหล่งอาหารที่ให้พลังงานแก่สัตว์ มันอัดเม็ดส่วนใหญ่จะถูกส่งออกไปขายในต่างประเทศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ นอกจากนี้ มันเส้นและมันอัดเม็ดสามารถนำไปผลิตเป็นเอทานอลหรือผลิตแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตสุราและยาฆ่าเชื้อโรค

3) แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตแป้งที่มีคุณภาพและราคาถูก กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเริ่มจากการนำหัวมันสดมาล้างน้ำ เสร็จแล้วนำไปขูดเปลือกออกและสับให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำมันที่ได้ไปบดย่อยเพื่อแยกน้ำแป้งและกากมันสำปะหลังออกจากกัน กากมันสำปะหลังที่ได้จะถูกแยกไปตากแห้ง เมื่อกากมันสำปะหลังแห้งดีแล้วสามารถนำไปขายได้โดยตรงหรือผสมกับมันเส้นเพื่อผลิตเป็นมันอัดเม็ด ในส่วนน้ำแป้งที่แยกออกมาจะถูกทำให้แห้งเพื่อผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลัง โดยหัวมันสด 1 กิโลกรัม สามารถแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังได้ประมาณ 0.20 กิโลกรัม ซึ่งจะมีกากมันสำปะหลังอยู่ 0.40-0.90 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม สารให้ความหวาน อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน ผงชูรสและไลซีน ยารักษาโรค และอื่น ๆ

อุตสาหกรรมมันสำปะหลังเป็นตัวอย่างที่ดีในการเพิ่มมูลค่าสินค้าทางการเกษตรแก่อุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยในปี พ.ศ. 2552 ห่วงโซ่อุตสาหกรรมมันสำปะหลังรวมทั้งอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมีมูลค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า 300,000 ล้านบาท ก่อให้เกิดการจ้างงานประมาณ 3.6 ล้านคน อย่างไรก็ตามห่วงโซ่อุตสาหกรรมมันสำปะหลังมียังจุดอ่อนที่ต้องปรับปรุง คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาผลิตภัณฑ์รักษ์โลก การเพิ่มปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และการปรับปรุงพันธุ์ (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2553)

ในกระบวนการศึกษาโซ่คุณค่าของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังจำเป็นต้องทราบถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เกษตรกรผู้ค้ามักมีแนวโน้มที่ในความเสี่ยงจากตลาดและการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเป็นความเสี่ยงสำคัญสำหรับผู้ค้า หากความต้องการในตลาดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสะสมของสต็อกซึ่งต้องการพื้นที่จัดเก็บเพิ่มเติม โดยถ้าหากไม่สามารถจัดการได้จะส่งผลให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเน่าเสียได้ และเมื่อตลาดมีความต้องการที่ลดลงจะส่งผลให้ระยะเวลาในการจัดเก็บนานและเกิดความเสียหายในการเน่าเสียเช่นกัน (Xanthavanij and Amornsawadwatana,

2019) ปริมาณผลผลิตที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศยังคงเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญ โดยหากปีใดมีผลผลิตมันสำปะหลังมากอาจทำให้ผลผลิตล้นตลาดและราคามันตกต่ำลง และถ้าหากพื้นที่ปลูกลดลงอาจทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอและส่งผลให้ราคามันสูงขึ้น อีกหนึ่งปัญหาสำคัญ คือ การดำเนินการผลิตมีประสิทธิภาพต่ำ โดยมีสาเหตุมาจากการกระจายพันธุ์ที่ไม่ทั่วถึง การดูแลรักษาอย่างผิดวิธี การขาดการบำรุงดิน การใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นและดินเสื่อมสภาพเร็ว นอกจากนี้ ความไม่แน่นอนของตลาดต่างประเทศเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณา ประเทศไทยมีการส่งออกมันเส้นและมันอัดเม็ดสำหรับการเลี้ยงสัตว์ในแถบประเทศยุโรปปริมาณมาก หากในปีใดประเทศเหล่านี้สามารถผลิตธัญพืชในการเลี้ยงสัตว์มากอาจจะตัดสินใจซื้อมันสำปะหลังจากไทยน้อยลงหรือลดราคาต่ำลง และหากปีใดขาดแคลนธัญพืชก็จะหันมานำเข้ามันสำปะหลังจากไทยมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ราคาสูงขึ้นตาม (จำลอง เจริญจรรย์จรูญ, 2538) ในส่วนของปัญหาและอุปสรรคของระบบโลจิสติกส์มันสำปะหลังพบว่า การขนส่งทางถนนมีค่าขนส่งสูงกว่าการขนส่งทางรถไฟ เนื่องจากการขนส่งทางรถไฟมีการยกตู้สินค้าขึ้นลงซึ่งต้องจ่ายค่าแรงงานยกสินค้ามากขึ้น อีกทั้งการขนส่งทางรถไฟมีหัวรถจักรไม่เพียงพอต่อการให้บริการ ความถี่จำนวนเที่ยวต่อวันจึงลดลง โรงงานที่อยู่ไกลจากสถานีรถไฟจำเป็นต้องจ้างรถบรรทุกเพื่อขนส่งในระยะสั้น โดยเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายทางรถไฟรวมกับค่ารถบรรทุกนี้แล้วพบว่า การขนส่งทางถนนมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ การถือครองสินค้าคงคลังยาวนานและความเสียหายของสินค้าในระหว่างการจัดเก็บและขนส่งยังเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ก่อให้เกิดต้นทุนเพิ่มเติมได้ การที่ผู้ส่งออกสามารถลดจำนวนวันในการถือครองสินค้าจะสามารถลดต้นทุนเสียโอกาสได้มากขึ้น การส่งออกสินค้าแปรรูปไปต่างประเทศสามารถลดเวลาส่งมอบลงได้หากมีการบริหารจัดการเวลาอย่างเหมาะสมตั้งแต่เวลาในการเสนอขาย รับคำสั่งซื้อ การเตรียมสินค้า และขนส่งระหว่างประเทศ (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2553)

### 2.1.3 ระบบเกษตรพันธสัญญา

ระบบเกษตรพันธสัญญา (Contract farming) เป็นข้อตกลงระหว่างเกษตรกรและประกอบธุรกิจทางการเกษตร โดยเกษตรกรจะทำการตกลงเพื่อผลิต จัดจำหน่าย หรือรับจ้างผลิตผลผลิตทางการเกษตร ตามจำนวน คุณภาพ ราคา และระยะเวลาที่ผู้ประกอบการทางการเกษตรกำหนดไว้ ผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรจะเป็นผู้ตกลงรับซื้อผลผลิตและจะจ่ายค่าตอบแทนแก่เกษตรกรตามราคาประกันที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ ผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรสามารถสนับสนุนเงินทุนและเข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมการผลิตต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่เกษตรกร เช่น การกำหนดวิธีการผลิต การจัดหาพันธุ์และเมล็ดพันธุ์ การจัดหาปัจจัยการผลิต และคำปรึกษาด้านเทคโนโลยีการผลิต ดังนั้น ระบบเกษตรพันธสัญญาจึงเป็นเครื่องมือในการจัดหาผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณที่เหมาะสมของผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตร อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนด้านรายได้และการ

ป้องกันความเสี่ยงด้านตลาดของเกษตรกร เนื่องจากมีตลาดรองรับการรับซื้อผลผลิตอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตาม เกษตรกรในระบบเกษตรพันธสัญญาต้องลงทุนในปัจจุบันการผลิตสูงถึงแม้มีรายได้เพิ่มขึ้น การขาดความรู้ความชำนาญในการทำการเกษตรเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกษตรกรต้องเผชิญกับความเสี่ยงทางภัยพิบัติและโรคระบาดที่สามารถสร้างความเสียหายแก่ผลผลิตและทำให้เกิดปัญหาหนี้สินตามมา อีกทั้งการขาดความรู้ด้านสัญญาทำให้เกษตรกรไม่มีอำนาจในการต่อรองกับบริษัทผู้รับซื้อ เกษตรกรสามารถเข้าไปมีส่วนร่วมในระบบเกษตรพันธสัญญาซึ่ง 3 รูปแบบ (อริยพร โพธิ์ใส, 2559) ได้แก่

1) การประกันรายได้ เกษตรกรมีความเสี่ยงต่ำ เหมาะกับเกษตรกรที่ไม่มีประสบการณ์ในการผลิตและการตลาด โดยบริษัทจะเข้ามาดูแลให้คำปรึกษา สนับสนุน หรือลงทุน ปัจจุบันในการผลิตแก่เกษตรกรโดยเฉพาะ โดยเกษตรกรมีบทบาทเสมือนผู้รับจ้างผลิต

2) การประกันราคา เกษตรกรมีบทบาทเป็นผู้ร่วมทุน ซึ่งไม่มีความเสี่ยงเรื่องราคาและตลาด เนื่องจากมีการตกลงในราคากับบริษัทไว้ล่วงหน้า บริษัทจะชำระส่วนต่างของรายได้และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการผลิต โดยต้นทุนปัจจุบันในการผลิตที่รับมาจะถูกหักเป็นค่าใช้จ่ายเมื่อมีการส่งมอบผลผลิตสู่บริษัท อย่างไรก็ตาม เกษตรกรยังคงรับความเสี่ยงจากความผิดพลาดในการผลิต

3) การประกันตลาด เกษตรกรเป็นผู้ลงทุนเองทั้งหมดและไม่ต้องทำตลาดเอง ผลผลิตที่ได้มีตลาดรองรับแน่นอน แต่เกษตรกรต้องรับความเสี่ยงในการผันผวนของราคาและความเสี่ยงในกระบวนการผลิตทั้งหมด การประกันตลาดจึงเป็นรูปแบบที่ให้ผลตอบแทนสูงซึ่งเหมาะกับเกษตรกรที่มีประสบการณ์สูง

พระราชบัญญัติส่งเสริมและพัฒนาระบบเกษตรพันธสัญญา พ.ศ. 2560 เป็นกฎหมายการส่งเสริมและพัฒนาระบบเกษตรพันธสัญญา มีการกำหนดให้สัญญาเกิดขึ้นระหว่างผู้ประกอบการทางการเกษตรกับบุคคลธรรมดาซึ่งประกอบอาชีพเกษตรกรรมตั้งแต่ 10 รายขึ้นไป หรือกับสหกรณ์การเกษตร หรือกับวิสาหกิจ ชุมชน สำหรับการจัดแจ้งการประกอบธุรกิจ ผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรจะต้องแจ้งการประกอบธุรกิจหรือการเลิกประกอบธุรกิจต่อสำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยทะเบียนผู้ประกอบการทางการเกษตรนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบและเปิดเผยต่อสาธารณะชนได้ สำหรับการทำสัญญาในระบบเกษตรพันธสัญญา กำหนดให้ผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรจัดทำเอกสารเพื่อการชี้ชวนและต้องร่างสัญญาให้เกษตรกรรับทราบล่วงหน้าก่อนทำสัญญา ทั้งนี้เพื่อป้องกันความไม่เป็นธรรมในการทำสัญญาที่ผู้ประกอบการทางการเกษตรสามารถเอาเปรียบเกษตรกรโดยใช้ช่องว่างจากการขาดความรู้ด้านกฎหมายและการใช้อำนาจเหนือทางเศรษฐกิจ โดยสำเนาเอกสารต่าง ๆ นั้นจะถูกส่งให้สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ทำการตรวจสอบ โดยสัญญาที่ร่างขึ้นควรใช้ภาษาเข้าใจง่ายเพื่อให้คู่สัญญาได้รับทราบข้อมูลที่สำคัญ เช่น แผนการผลิต เงิน

ลงทุน ความคุ้มค่าในการผลิต หรือภาวะความเสี่ยง เป็นต้น การสร้างความเป็นธรรมระหว่างเกษตรกรและผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรสามารถบรรลุผลได้โดยการสนับสนุนความคุ้มครองตามกฎหมายแก่เกษตรกร โดยที่ผู้ประกอบธุรกิจทางการเกษตรยังคงได้รับผลิตผลในปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมและมีต้นทุนโดยรวมลดลง (ปรมาภรณ์ วีระพันธ์, 2562)

มันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตไบโอเอทานอล (bio-ethanol) ของประเทศไทย มันสำปะหลังได้รับการส่งเสริมให้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลเนื่องจากมีปัจจัยการผลิตในเพาะปลูกน้อยที่สุด ให้ผลผลิตสูง สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวตลอดทั้งปี ปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการผลิตเอทานอลโดยใช้น้ำมันสำปะหลัง คือ ราคาวัตถุดิบมันสำปะหลัง การทำเกษตรพันธสัญญาเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังเนื่องจากสามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพในตลาด ให้อัตราดอกเบี้ยต่ำลง ลดความเสี่ยง และสร้างความเท่าเทียมในการเข้าถึงข้อมูลตลาด เกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังมีตลาดที่รับประกันพืชผลอย่างแน่นอนเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจะเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ อีกทั้งมันสำปะหลังยังเป็นตลาดใหม่ที่อาจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอนาคตเมื่อปริมาณสำรองเชื้อเพลิงในอนาคตหมดไป (Tongchure and Hoang, 2013)

## 2.1.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

### 2.1.4.1 การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear regression)

การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหนึ่งว่ามีผลกระทบต่ออีกตัวแปรหนึ่งหรือไม่ โดยทั้งสองตัวแปรต้องมีลักษณะเป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง เช่น อิทธิพลของน้ำหนักแรกเกิดต่ออัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม วิธีการนี้มีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient,  $b$ ) เพื่อนำมาทำนายค่าในรูปแบบสมการเส้นตรง ตัวแปรที่ต้องการทำนาย คือ ตัวแปรตาม (dependent variable:  $y$ ) ส่วนแปรที่กำหนดค่า คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable:  $x$ ) การวิเคราะห์การถดถอยสามารถแบ่งออกเป็นการทดสอบอิทธิพลของตัวแปร  $x$  ต่อตัวแปร  $y$  และถ้าตัวแปร  $x$  มีอิทธิพลต่อตัวแปร  $y$  จะต้องทำการตรวจสอบระดับและทิศทางของตัวแปร เช่น เมื่อ  $x$  เพิ่มขึ้น 5 หน่วย  $y$  จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงในปริมาณเท่าใด ในการสร้างสมการพยากรณ์อย่างง่ายสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการที่ (2.1)

$$y = a + bx \quad (2.1)$$

เมื่อ  $y$  คือ ตัวแปรตามหรือค่าที่ต้องการทำนาย

$x$  คือ ตัวแปรอิสระ

$a$  คือ จุดตัดบนแกน  $y$  (intercept)



b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือความชัน (slope)

ความแม่นยำของสมการนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination,  $R^2$ ) ซึ่งจะแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (x) ที่มีต่อตัวแปรตาม (y) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสองตัวแปรว่ามีระดับความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด และมีทิศทางความสัมพันธ์เป็นอย่างไร สามารถตรวจสอบได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) ซึ่งอยู่ระหว่างช่วง -1 ถึง +1 การที่ค่า r เป็นบวก หมายถึง ตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อค่า r เป็นลบ ความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรจะเป็นไปในทิศทางตรงข้าม และถ้าหากยิ่งค่า r เข้าใกล้ +1 หรือ -1 มากเท่าใด ตัวแปร x และ y จะยิ่งมีความสัมพันธ์กันที่ใกล้เคียงเส้นตรงมากขึ้น และถ้าหากค่า r มีค่าเข้าใกล้ 0 ตัวแปร x และ y จะไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นที่ไม่ใช่เส้นตรง (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2567)

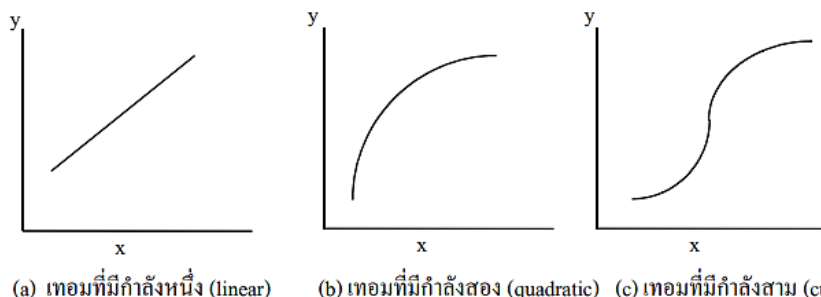
#### 2.1.4.2 สมการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression)

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรตาม (y) 1 ตัว และตัวแปรต้น (x) มากกว่า 1 ตัว (วิเคราะห์มากกว่า 1 ปัจจัย) ในบางชุดข้อมูลอาจไม่เหมาะสมในการแทนด้วยเส้นตรง จึงอาจแทนชุดข้อมูลนั้นด้วยสมการถดถอยแบบพหุนาม ซึ่งจัดเป็นการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Regression) (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2567) รูปแบบสมการพหุนามแสดงดังสมการที่ (2.2) และกราฟตัวอย่างของเส้นโค้งพหุนามแสดงดังรูปที่ 2.2

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_p x^p + e \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\beta_0, \beta_1$  คือ สัมประสิทธิ์ที่แสดงจุดตัดแกนและความชัน

e คือ ค่าผิดพลาดระหว่างค่าที่ได้จากฟังก์ชันและข้อมูลจริง



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของเส้นโค้งพหุนาม

จากรูปที่ 2.2 กราฟของเส้นโค้งโพลีโนเมียลมีลักษณะที่แตกต่างกันตามความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม จึงสามารถจำแนกออกตามทอมต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) ทอมที่มีกำลังหนึ่ง เป็นลักษณะเส้นตรง (Linear) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (2.3)$$

2) ทอมที่มีกำลังสอง เป็นลักษณะเส้นโค้ง (Quadratic) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

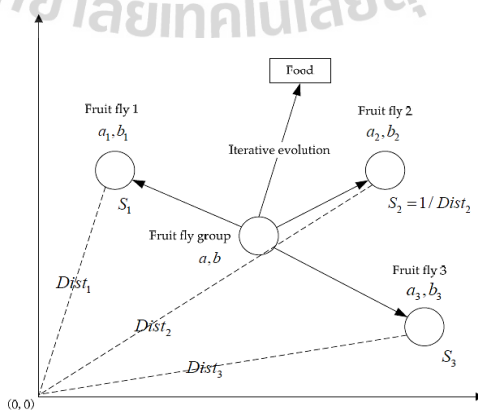
$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 \quad (2.4)$$

3) ทอมที่มีกำลังสอง เป็นลักษณะเส้นโค้ง (Cubic) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 \quad (2.5)$$

### 2.1.5 วิธีค้นหาแบบแมลงหิว (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA)

วิธีค้นหาแบบแมลงหิว หรือ FOA เป็นอัลกอริทึมการคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบใหม่ ซึ่งจำลองกิจกรรมการหาแหล่งอาหารของแมลงหิวเพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สำหรับกระบวนการหาอาหาร แมลงหิวจะบินหาอาหารตามความเข้มข้นของกลิ่นและใช้วิสัยทัศน์ในการมองเห็นเพื่อบินเข้าใกล้ตำแหน่งของแหล่งอาหาร โดยข้อมูลของกลิ่นอาหารรวมทั้งพิกัดที่เหมาะสมนั้นจะถ่ายทอดไปยังแมลงหิวที่อยู่ในพื้นที่รอบ ๆ เพื่อค้นหาตำแหน่งของแหล่งอาหารที่ดีที่สุด (Li, Geng, Hong and Zhang, 2018) แผนภาพวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (Li, Lu, Liang, and Wang 2019) แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยรายละเอียดขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 แผนภาพวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)

1) เริ่มต้นการทำงานของอัลกอริทึม กำหนดให้  $IR_h = 1, \dots, IR_{max}$  โดยที่  $IR_{max}$  คือ จำนวนรอบการทำงานสูงสุด สำหรับการคำนวณรอบแรก ให้กำหนดตำแหน่งพิกัดเริ่มต้นของฝูงประชากรแมลงหิวเป็นแบบสุ่ม โดยที่  $a$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

$$X-axis = a * rand(0,1) \quad (2.6)$$

$$Y-axis = a * rand(0,1) \quad (2.7)$$

2) กำหนดให้แมลงหิวแต่ละตัวมีทิศทางการบินจากตำแหน่งเดิมที่แตกต่างกัน โดยเป็นการบินแบบแบบสุ่ม เพื่อช่วยกันค้นหาอาหารตามกลิ่นในพื้นที่โดยรอบ กำหนดให้  $m = 1, 2, \dots, PN_{max}$  โดยที่  $PN_{max}$  คือ จำนวนแมลงหิวสูงสุด เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0 และค่า  $b$  และ  $c$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

$$X_m = X-axis + b * rand(0,1) - c \quad (2.8)$$

$$Y_m = Y-axis + b * rand(0,1) - c \quad (2.9)$$

3) คำนวณระยะห่างจากตำแหน่งเริ่มต้น ( $Dist_m$ ) และหาค่าความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_m$ ) ของแมลงหิวแต่ละตัว

$$Dist_m = \sqrt{x_m^2 + y_m^2} \quad (2.10)$$

$$S_m = \frac{1}{Dist_m} \quad (2.11)$$

4) คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) จากความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_m$ ) และเก็บค่าไว้ใน  $Smell_m$

$$Smell_m = Function(S_m) \quad (2.12)$$

5) ค่า  $Smell_m$  ของแมลงหิวตัวที่ให้ค่ามากที่สุดจะถูกเก็บไว้ใน  $bestSmell$  และค่าตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ใน  $bestIndex$  เพื่อใช้ค้นหาแหล่งอาหารของกลุ่มแมลงหิวในรอบถัดไป

$$[bestSmell, bestIndex] = Max(Smell_m) \quad (2.13)$$

6) เก็บค่า  $bestSmell$  ไว้ในตัวแปรใหม่ คือ  $smellBest$  รวมทั้งอัปเดตตำแหน่งใหม่เพื่อใช้คำนวณในรอบถัดไป

$$smellBest = bestSmell \quad (2.14)$$

$$X\text{-axis} = X(\text{bestIndex}) \quad (2.15)$$

$$Y\text{-axis} = Y(\text{bestIndex}) \quad (2.16)$$

7) วนซ้ำในขั้นตอนที่ 2) ถึง 5) หากในรอบการคำนวณใดมีค่า *bestSmell* มากขึ้นจากรอบก่อนหน้า ให้กลับไปอัปเดตค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ 6) และกระบวนการทำซ้ำจะสิ้นสุดลงเมื่อครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร

Li, Rodriguez, Zhang, and Ma (2015) นำเสนอแบบจำลองการเขียนโปรแกรมแบบไบนารี (BILP) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการปลูกพืชหมุนเวียนในระบบเกษตรพันธสัญญาเพื่อเพิ่มรายได้และลดช่องว่างกำไรของเกษตรกรในประเทศจีน แบบจำลองได้พิจารณากำหนดการปลูกพืชหมุนเวียนสำหรับนักลงทุนที่เสนอสัญญาให้กับเกษตรกรรายย่อยหลายพื้นที่ โดยผลกำไรของเกษตรกรขึ้นอยู่กับการจัดตารางการหมุนเวียนพืชผลและราคาที่ได้รับ แบบจำลองถูกปรับให้สามารถแก้ไขโดยฮิวริสติกอัลกอริทึม ผลลัพธ์บ่งชี้ให้เห็นว่า แบบจำลองและอัลกอริทึมที่เสนอสามารถปรับปรุงผลกำไรอย่างมีนัยสำคัญและทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่เท่าเทียมกัน

Varas, Basso, Bosch, Contreras, and Pezoa (2022) นำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับการจัดการการเก็บเกี่ยวของงุ่นในอุตสาหกรรมการผลิตไวน์ แบบจำลองคำนึงถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับกำลังคน เครื่องจักร และคุณภาพของงุ่นที่เกิดจากการเก็บเกี่ยวก่อนหรือหลังเวลาอันควร แบบจำลองนี้รวมการตัดสินใจเกี่ยวกับเส้นทางเก็บเกี่ยวซึ่งมีผลต่อคุณภาพของงุ่น ผลการทดลองพบว่า แบบจำลองที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานลง 27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปฏิบัติงานจริง และทำให้ต้นทุนค่าแรงงานลดลง 16 เปอร์เซ็นต์ ถือเป็นการสนับสนุนการใช้แรงงานให้มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น

Carvajal, Sarache, and Costa (2018) เสนอแบบจำลองการวางแผนห่วงโซ่อุปทานอ้อยของโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแห่งใหม่ในประเทศโคลอมเบีย โดยมีการวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการลงทุนระยะยาวและการวางแผนเชิงยุทธวิธีสำหรับการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว เพื่อให้โรงงานได้รับปริมาณผลผลิตอ้อยสูงสุดและมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของผลกำไรที่คาดหวังสูงสุด แบบจำลองได้พิจารณาถึงความไม่แน่นอนที่เกิดจากสภาพอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อความไม่แน่นอนของปริมาณผลผลิตและจำนวนวันในการเก็บเกี่ยวอ้อย แบบจำลองได้แก้ไขโดยการสร้างและใช้ตัวแปรสุ่มผ่านวิธีการ Sample Average Approximation (SAA) เพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุด ผลแบบจำลองแสดงการผลิตเอทานอลเฉลี่ยปีละ 62 ล้านลิตรต่อปี โดยที่ค่า NPV ผันผวนอยู่ระหว่าง 34 ถึง 37 พันล้านเปโซโคลอมเบีย

Sudtachat (2016) พิจารณาปัญหาการกำหนดแบ่งพื้นที่รับผลิตขอบและปัญหาปริมาณขนส่งอ้อยที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการ Two - Stage Stochastic Programming แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ได้สร้างขึ้นโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนของผลผลิตตลอดช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิตจริงที่ไม่แน่นอนได้รับการพยากรณ์เพื่อนำมาสร้างเป็นแผนการขนส่ง (Scenarios) ต่าง ๆ แบบจำลองดังกล่าวได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การตัดสินใจแบ่งพื้นที่รับผลิตขอบ โดยเมื่อผลผลิตจริงได้เกิดขึ้นในฤดูกาลเก็บเกี่ยวแล้วจะมีการตัดสินใจเรื่องปริมาณขนส่งที่ประหยัดสุดต่อไป ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าการกำหนดแบ่งพื้นที่รับผลิตขอบและกำหนดปริมาณการขนส่งร่วมกันภายใต้ความไม่แน่นอนทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำลงและปรับสมดุลในการใช้รถบรรทุก

Fikry, Gheith, and Eltawil (2021) นำเสนอแบบจำลองปัญหาห่วงโซ่อุปทานของน้ำตาลหัวผักกาด แบบจำลองนี้ประกอบด้วย การตัดสินใจด้านการเกษตร อุตสาหกรรม และการขนส่งพืชผลจากพื้นที่เกษตรกรรมไปยังโรงงานแปรรูป การตัดสินใจทางการเกษตรเกี่ยวข้องกับการปลูกพืชและการเก็บเกี่ยวเพื่อตอบสนองความต้องการในการแปรรูป การตัดสินใจในขั้นตอนอุตสาหกรรมเป็นแผนการผลิตเพื่อการแปรรูป การขนส่ง และการจัดเก็บในโรงงาน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (BILP) เพื่อลดต้นทุนการดำเนินงาน ได้แก่ ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนสินค้าคงคลังของหัวผักกาดที่แปรรูปและยังไม่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ กำหนดการมีการพิจารณาเรื่องรอบเวลาเพื่อวางแผนการปลูกพืชหมุนเวียนในฤดูกาลที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าจำนวนแปลงที่มากขึ้นมีผลชัดเจนต่อเวลาในการคำนวณที่มากขึ้นและต้นทุนโดยรวมที่สูงขึ้น

Liu, Shen, and You (2020) ศึกษาการประสานงานของห่วงโซ่อุปทานทางการเกษตรในระบบเกษตรพันธสัญญา โดยพิจารณาตัวแปรสุ่มของสองปัจจัยที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ ปัจจัยความผันผวนของผลผลิตและปัจจัยความผันผวนของความต้องการของตลาด บริษัทจะคาดการณ์ความต้องการของตลาดสำหรับรอบการขายถัดไป โดยพิจารณาจากยอดขายสินค้าเกษตรที่มีการทำสัญญาสั่งซื้อกับผลผลิตกับเกษตรกร ฟังก์ชันรายได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อเพิ่มผลตอบแทนที่คาดหวังสูงสุดสำหรับเกษตรกรและบริษัท แบบจำลองมีการนำเสนอการกระจายรายได้ระหว่างทั้งสองฝ่ายในห่วงโซ่อุปทานผ่านค่าสัมประสิทธิ์การแบ่งรายได้และอัตรากำไรขั้นต่ำ ซึ่งจะช่วยให้สามารถคาดการณ์ผลตอบแทนที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองฝ่ายได้

Durand, Mele, Guillén-Gosálbez, and Bandoni (2012) ใช้วิธี Simulation-based Optimization optimization (SbO) เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตไบโอเอทานอลจากอ้อยในประเทศอาร์เจนตินา แบบจำลองถูกปรับให้เหมาะสมโดยรวมกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เข้ากับวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) และวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) กรอบการทำงานได้รับรองพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้องการผลิตภัณฑ์ในแต่ละพื้นที่ที่มีความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา โดยแบบจำลองจะตัดสินใจความสามารถในการผลิตและการจัดเก็บผลผลิตของแต่ละพื้นที่ รวมทั้ง



ปริมาณขนส่งและระยะเวลาในการจัดตั้งโรงงานเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์สองประการ คือ การเพิ่มมูลค่า ปัจจุบันสุทธิสูงสุดและการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า ผลการคำนวณแสดงค่าปัจจุบันสุทธิ 227.7 ล้านดอลลาร์สหรัฐ

Motevalli-Taher, Paydar, and Emami (2020) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพห่วงโซ่อุปทานของข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์ข้าวสาลี โดยเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวม ลดการใช้น้ำ และเพิ่มโอกาสการทำงานเกี่ยวกับการผลิตข้าวสาลีและการเปิดไซโลใหม่ แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ซึ่งประกอบด้วยปัญหาหลายวัตถุประสงค์ถูกดัดแปลงให้เป็นปัญหาวัตถุประสงค์เดียวโดยใช้วิธี Meta-Goal programming นอกจากนี้ ปัจจัยความไม่แน่นอนของความต้องการแปงสาลีได้รับการพิจารณา โดยความต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์มาจากข้อมูลย้อนหลังที่แจกแจงแบบปกติ ผลการวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความสำคัญของการใช้น้ำ จะส่งผลให้ต้นทุนและโอกาสในการทำงานในห่วงโซ่อุปทานลดลง

Putri, Mardhiyyah, and Rusdiansyah (2019) พัฒนาอัลกอริทึมจากแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น Linear programming (LP) เพื่อสร้างตารางการเพาะเมล็ดของพืชของศูนย์เพาะเมล็ดที่ทำเกษตรพันธสัญญากับเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ให้ได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดและตอบสนองความต้องการในการผลิตของโรงงานในแต่ละสัปดาห์ แบบจำลองดังกล่าวมีการพิจารณา ระยะทางของลูกค้าที่ใกล้ที่สุด ความพร้อมของโรงเรือน และพื้นที่เพาะปลูก ผลการจัดตารางสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง โดยคำสั่งซื้อทั้งหมดได้ดำเนินการอย่างตรงเวลาและไม่เกิดการเสียโอกาสในการขายสินค้าแก่บริษัทผู้ผลิต

Silva, Marins, and Dias (2015) เสนอการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณผลผลิต กลยุทธ์การตัด และการขนส่งจากแปลงอ้อยไปยังบริษัท โดยพิจารณาความไม่แน่นอนในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อย ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียค่า POL น้ำตาลและลดต้นทุนรวม แบบจำลอง revised multi-choice goal programming (RMCGP-LHS) ได้สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหามหาตัวแปรที่มีความรวดเร็วยิ่งขึ้น แบบจำลองดังกล่าวสามารถให้ผลตารางการเก็บเกี่ยวแก่เกษตรกร โดยมีการระบุพื้นที่แปลง ปริมาณ สภาพของอ้อย เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ บริษัทจะได้รับกำหนดการสำหรับการแปรรูปในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งระบุปริมาณรับซื้อและวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่เหมาะสม

Chouhan, Shahul Hamid Khan, and Hajiaghaei-Keshteli (2022) ได้สร้างอัลกอริทึมซึ่งพิจารณาของเสียและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของอุตสาหกรรมอ้อย รวมทั้งก๊าซคาร์บอนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยไฮบริดวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ร่วมกับวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) และวิธี Social Engineering Optimizer (SEO) เพื่อป้องกันการติดค่าตอถังและบรรลุ



วัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนรวมของบริษัท วิธี SEO และ SA เป็นการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่จะช่วยค้นหาผลลัพธ์เหมาะสมที่สุด ผลการทดสอบพบว่า วิธี SEO ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด สำหรับการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่พบว่า วิธีไฮบริด Genetic-Simulated Annealing (GASA) ให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีไฮบริด Genetic-Social Engineering Optimizer (GASEO) ในปัญหาขนาดกลางและใหญ่

Neungmatcha and Sethanan (2015) ใช้วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO) สำหรับการวางแผนเส้นทางรถเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อย เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและทำให้โรงงานน้ำตาลมีผลกำไรมากขึ้น อีกทั้งช่วยให้โรงงานปริมาณอ้อยสำหรับการผลิตอย่างสม่ำเสมอ วิธีการ PSO ได้ถูกดัดแปลงให้เป็น GLNPSO เพื่อป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่น ผลลัพธ์บ่งชี้ว่า วิธี GLNPSO สามารถให้ผลกำไรดีกว่าแนวทางปฏิบัติในปัจจุบันและสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในปัญหาขนาดเล็ก สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น วิธี GLNPSO ทำให้ประหยัดเวลาในการคำนวณและให้คำตอบที่ดีกว่าการแก้ปัญหาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 0.736 ถึง 1.412 เปอร์เซ็นต์

Rath, Biswal, Samantaray, and Swain (2017) สร้างแบบจำลองการวางแผนพืชผลโดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น พื้นที่เพาะปลูก เมล็ดพันธุ์พืช ปุ๋ย กำลัคน ค่าน้ำ ความต้องการใช้น้ำและปริมาณน้ำที่มีอยู่ เพื่อให้ได้รูปแบบการปลูกพืชที่เหมาะสมที่สุดและได้รับผลตอบแทนสูงสุด ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้เกษตรกรมีฐานะทางการเงินดีขึ้น วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (CS) ได้นำมาใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้น ผลการทดลองพบว่า วิธีการ CS สามารถให้ผลกำไรดีกว่าวิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป 1.86 เปอร์เซ็นต์

Filho, Florentino, and Pato (2012) สร้างแบบจำลองและใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) แก้ไขปัญหาการปลูกพืชหมุนเวียนเพื่อสร้างกำไรสูงสุดเกษตรกร การเพาะปลูกจะพิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น การไหลกลับพืชสด ระยะเวลาการปล่อยแปลงว่าง การปลูกในพื้นที่แปลงใกล้เคียง ลำดับการปลูกพืช และอุปสงค์ของผลผลิต การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมได้พิจารณาพื้นที่เพาะปลูกขนาดกลางในประเทศบราซิล ซึ่งจะทำการเพาะปลูกพืชนาชนิดจากตระกูลพฤษศาสตร์ที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่เสนอวิธี GA สามารถให้ผลคำตอบที่เป็นไปได้ภายในเวลาเหมาะสม โดยค่าเฉลี่ยของกำไรเพิ่มขึ้น 23 เปอร์เซ็นต์

Ketsripongsa, Pitakaso, Sethanan, and Srivarapongse (2018) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) สำหรับการวางแผนเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มผลกำไรสูงสุดแก่เกษตรกร ผลลัพธ์บ่งชี้ให้เห็นว่าวิธีการ DE สามารถให้ผลคำตอบเร็วกว่าการทดสอบปัญหาด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปแม้ว่าวิธีการทั้งสองจะให้ค่าผลกำไรเท่ากัน อัลกอริทึมของวิธี PSO ได้รับการปรับปรุงและพบว่า วิธี DE-KV ซึ่งเป็นการพัฒนาคำตอบด้วยวิธีการกำหนดค่า K ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการหาคำตอบและ

สามารถให้ผลคำตอบดีกว่าวิธี DE ทั่วไปในทุกขนาดปัญหา

Thuankaewsing, Khamjan, Piewthongngam, and Pathumnakul (2015) ศึกษาปัญหาคำหนดการเก็บเกี่ยวของกลุ่มผู้ปลูกอ้อยในประเทศไทย โดยสมาชิกแต่ละคนในกลุ่มนั้น ต้องจัดหาอ้อยให้กับโรงงานอย่างสม่ำเสมอตลอดฤดูเก็บเกี่ยว วิธี Artificial Neural Networks (ANN) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินผลผลิตอ้อยตลอดฤดูเก็บเกี่ยว จากนั้นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) และฮิวริสติกส์อัลกอริทึมได้พัฒนาขึ้น เพื่อให้โรงงานได้รับผลผลิตอ้อยจากเกษตรกรในปริมาณสูงสุด และทำให้เกิดผลประโยชน์อันยุติธรรมสำหรับผู้ปลูกทุกราย ผลการทดลองพบว่า ในการแก้ปัญหาขนาดเล็ก ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในขณะที่การแก้ปัญหาขนาดใหญ่โดยใช้ชุดข้อมูลจากโรงงานจริงจำเป็นต้องใช้ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมในการหาคำตอบเท่านั้น

Sarimehmet, Pinarbaşı, Alakaş, and Eren (2023) ศึกษาปัญหาคำหนดการเก็บเกี่ยวใบชา โดยคำนึงถึงโควต้าของเกษตรกรตามสถานที่จัดซื้อและกำลังการผลิตของโรงงานแบบจำลองได้พิจารณาการลดจำนวนการเดินทางของรถขนส่งของโรงงานตามปริมาณใบชาที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวในแต่ละวัน และการเพิ่มอัตราการปฏิบัติตามข้อกำหนดของเกษตรกรต่อความต้องการเก็บเกี่ยวได้ถูกสร้างขึ้นและแก้ไขโดยใช้วิธีการ Goal programming ผลการวิจัยพบว่า จำนวนการเดินทางของรถขนส่งต่อสัปดาห์ คือ 87 เที่ยว ส่วนอัตราการปฏิบัติตามข้อกำหนดเพิ่มขึ้น 45 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เกษตรกรมีกำลังใจในการทำเกษตรกรรมมากขึ้น

Afifah, Alamsyah, and Sugiharti (2018) พัฒนาอัลกอริทึมการอบเหนียวจำลอง (SA) สำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล เพื่อกำหนดปริมาณการเก็บเกี่ยวอ้อยให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวางแผนดั้งเดิมของโรงงานกับวิธีการนี้พบว่า วิธีการ SA ทำให้ปริมาณการเก็บเกี่ยวอ้อยสูงขึ้น 18 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยการเก็บเกี่ยวอ้อยต่อวันจึงสูงขึ้น 18 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้จำนวนรถบรรทุกเก็บเกี่ยวอ้อยเฉลี่ยต่อวันลดลงกว่า 23 เปอร์เซ็นต์

ณัฐนันท์ เหลืองธิชัยวานิช และศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ (2552) ศึกษาการวางแผนการเพาะปลูกและจัดหามันสำปะหลังสดให้เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานในแต่ละวัน เพื่อนำไปผลิตแป้งมันสำปะหลังและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากที่สุด รวมทั้งทำให้เกษตรกรมีรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตเพิ่มมากขึ้น แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ได้สร้างขึ้นเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีการพิจารณาเงื่อนไขการทำพันธสัญญา ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าโรงงานได้รับผลกำไรมากขึ้นเมื่อเทียบกับการดำเนินงานในปัจจุบัน

Kommadath, Maharana, Anandalakshmi, and Kotecha (2023) แก้ปัญหาการจัดตารางการแปรรูปและบรรจุกรรมภัณฑ์หลายประเภทโดยใช้เครื่องจักรคู่ขนานที่แตกต่างกัน

เทคนิคเมตะฮิวริสติกส์ ได้แก่ วิธีอาณานิคมผึ้งเทียม (ABC) วิธีหมาป่าโคโยตี (COA) วิธีหมาป่าสีเทา (GWO) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างด้วยกลยุทธ์การกลายพันธุ์ที่มีประชากรหลายกลุ่ม (MPEDE) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมตามการเรียนรู้การสอน (sTLBO) ได้นำมาใช้ในการกำหนดตารางเวลาเพื่อลดต้นทุนรวมและทำให้เวลาการผลิตโดยรวมต่ำที่สุด ผลการทดลองพบว่า วิธี COA มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งแง่ของต้นทุนและเวลาในการคำนวณ ในขณะที่วิธี ABC มีประสิทธิภาพต่ำสุด

## 2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)

Tapao and Cheerarot (2021) ใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA) เพื่อออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กให้เกิดต้นทุนต่ำสุดตามมาตรฐานการออกแบบของ (วสท.1008-38) โดยวิธีกำลัง ตัวอย่างทดสอบ ประกอบด้วย ฐานรากตื้นและฐานรากลึก สำหรับขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมของ FOA นั้น การเลือกจำนวนรอบการทำงานและจำนวนแมลงหิวที่เหมาะสมส่งผลให้ได้รับผลการทดสอบทางสถิติที่ดีที่สุด โดยทุกตัวอย่างทดสอบได้รับผลการออกแบบที่เหมาะสม ซึ่งมีความประหยัดมากกว่าวิธีทั่วไปเฉลี่ยร้อยละ 23

Mhudtongon (2018) พัฒนารูปแบบขั้นตอนแบบแมลงหิวที่ถูกปรับปรุงด้วยลำคับเคโอดิก (CFOA) เพื่อกำหนดพารามิเตอร์แอมพลิจูดของสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นในช่องว่างอิสระให้ได้ระดับลำคลื่นย่อยด้านข้างต่ำที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นวิธี CFOA มีการลู่เข้าของค่าตอบที่เหมาะสมและมีความแม่นยำในค้นหาค่าตอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีขั้นตอนแมลงหิวแบบดั้งเดิม

Iscan and Gunduz (2017) สร้างอัลกอริทึม FOA เพื่อแก้ไขปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem) กำหนดให้แมลงหิวแต่ละตัวเป็นตัวแทนของเมืองต่าง ๆ ส่วนประชากร ของแมลงหิวทั้งหมดนั้นอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ที่สามารถให้ผลคำตอบที่เป็นไปได้ ผลคำนวณเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า วิธี FOA มีความสามารถในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล อย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมที่เสนอเหมาะกับปัญหาที่มีจำนวนเมืองน้อย ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นยังคงต้องปรับปรุงวิธีการให้ดียิ่งขึ้น

Babaoğlu (2017) แก้ปัญหาการบรรจุแถบสองมิติ (2DSPP) โดยใช้ FOA เพื่อค้นหาลำดับที่เหมาะสมที่สุดของการบรรจุวัตถุสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงในกล่องที่มีความกว้างคงที่และความสูงไม่มีที่สิ้นสุด โดยวัตถุดังกล่าวจะถูกวางโดยวิธีการเติมด้านซ้ายล่าง (BLF) เพื่อให้ได้ความสูงที่น้อยที่สุด คำตอบที่ดีที่สุดได้มาจากการคำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) ของลำดับกล่องที่ถูกเรียงตามค่าความหนาแน่นของกลิ่นของแมลงหิว (Smell density) จากน้อยไปหามาก

Zhang, Liu, Tang, Królczyk, and Li (2019) พัฒนาอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพแมลงหิวแบบแยกส่วน (DFOA) เพื่อลดต้นทุนในระบบการผลิตที่ประกอบด้วยโรงงานกระจายสินค้าหลายแห่ง โดยโรงงานแต่ละแห่งนั้นมีการผลิตแบบ Flow-shop และมีข้อจำกัดในการ

บล็อก วิธี DFOA ได้พัฒนาร่วมกันกับการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Descent: VND) เพื่อปรับปรุงการค้นหาคำตอบ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า DFOA มีความแม่นยำและการลู่เข้าของคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าวิธีการอื่น ๆ

Bustamam, Mujtahidah, and Lestari (2018) รวมวิธีการ Markov clustering algorithms (MCL) เข้ากับวิธี FOA เป็น FOA-MCL เพื่อศึกษาเครือข่ายปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและโปรตีนในไวรัส HIV โดยกลิ่นที่ดีที่สุด (Smell) นั้น ถูกกำหนดให้เป็นค่า inflate parameter ที่ดีที่สุดของ MCL ผลการทดลองใช้ข้อมูลจากเครือข่าย PPI ของ HIV ซึ่งแสดงจำนวนกลุ่มปฏิสัมพันธ์ของโปรตีนทั้งหมดภายในระยะเวลาอันสั้น

Zhou, Peng, Wen and Su (2024) ออกแบบแบบจำลองการวางแผนเส้นทางการท่องเที่ยวของยานยนต์เชื่อมต่ออัจฉริยะ (ICV) โดยใช้การจัดกลุ่มคุณลักษณะจุดสนใจ (Points of Interest) เชิงพื้นที่แบบสมมาตรร่วมกับวิธี FOA ซึ่งอัลกอริทึมนี้สามารถชี้จุดสนใจที่ตรงกับความสนใจของนักท่องเที่ยวอย่างแม่นยำ รวมทั้งทำให้การค้นหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด วิธีการที่เสนอสามารถลดต้นทุนการเดินทางได้ร้อยละ 15.22 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวางแผนแบบปกติ

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชสามารถให้ผลคำตอบได้โดยวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (BLIP) แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (MILP) โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถดัดแปลงและแก้ไขด้วยวิธีการเมตาฮีริสติกส์ (Metaheuristics) เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) วิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) วิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA) เพื่อลดเวลาและความซับซ้อนในการหาคำตอบของแบบจำลอง สำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชสามารถพิจารณาปัจจัยที่ทำให้ปริมาณผลผลิตเกิดความไม่แน่นอนร่วมด้วย เช่น ความต้องการของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ที่ไม่คงที่ตามระยะเวลา นอกจากนี้ ยังพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำเกษตรพันธสัญญาซึ่งประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชหรือประยุกต์กับปัญหาความไม่แน่นอนในผลผลิตอีกด้วย ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร

ที่	ผู้แต่ง	ชนิดพืช	ปัจจัย			วิธีการ		
			Harvest Scheduling	Contract Farming	Crop Yield Uncertainty	Mathematical Model	Metaheuristics	Others
1	Li, Rodriguez, Zhang, and Ma (2015)	-	✓	✓		✓		
2	Varas, Basso, Bosch, Contreras, and Pezoa (2022)	องุ่น	✓			✓		
3	Carvajal, Sarache, and Costa (2018)	อ้อย	✓		✓			Sample Average
4	Sudtachat (2016)	อ้อย	✓		✓	✓		
5	Fikry, Gheith, and Eltawil (2021)	ซูการ์บีท	✓	✓		✓		
6	Liu, Shen, and You (2020)	-		✓	✓			Newsvendor Model
7	Durand, Mele, Guillén-Gosálbez, and Bandoni (2012)	อ้อย			✓	✓	✓	Monte Carlo
8	Motevalli-Taher, Paydar, and Emami (2020)	ข้าวสาลี			✓	✓		Meta-Goal

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร (ต่อ)

ที่	ผู้แต่ง	ชนิดพืช	ปัจจัย			วิธีการ		
			Harvest Scheduling	Contract Farming	Crop Yield Uncertainty	Mathematical Model	Metaheuristics	Others
9	Putri, Mardhiyyah, and Rusdiansyah (2019)	-	✓	✓		✓		
10	Silva, Marins, and Dias (2015)	อ้อย	✓		✓	✓		Goal programming
11	Chouhan, Shahul Hamid Khan, and Hajiaghayi-Keshteli (2022)	อ้อย	✓				✓	Hybrid Metaheuristics
12	Neungmatcha and Sethanan (2015)	อ้อย	✓				✓	
13	Rath, Biswal, Samantaray, and Swain (2017)	-	✓				✓	
14	Filho, Florentino, and Pato (2012)	-	✓				✓	
15	Ketsripongse, Pitakaso, Sethanan, and Srivarapongse (2018)	ข้าว, อ้อย, มันสำปะหลัง	✓				✓	



ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร (ต่อ)

ที่	ผู้แต่ง	ชนิดพืช	ปัจจัย			วิธีการ		
			Harvest Scheduling	Contract Farming	Crop Yield Uncertainty	Mathematical Model	Metaheuristics	Others
16	Thuankaewsing, Khamjan, Piewthongngam, and Pathumnakul (2015)	อ้อย	✓			✓		Artificial Neural Networks
17	Sarimehmet, Pinarbaşı, Alakaş, and Eren (2023)	ใบชา	✓	✓				Goal Programming
18	Affifah, Alamsyah, and Sugiharti (2018)	อ้อย	✓				✓	
19	ณัฐนันท์ เหลืองศิษย์ วาณิช และศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ (2552)	มันสำปะหลัง	✓	✓		✓		
20	Kommadath, Maharana, Anandalakshmi, and Kotecha (2023)	-	✓				✓	
	งานวิจัยนี้	มันสำปะหลัง	✓	✓	✓	✓	✓	Fruit Fly Optimization Algorithm

จากการสรุปผลงานวิจัยข้างต้น ยังไม่พบผู้วิจัยศึกษาเรื่องการวางแผนการ จัดตาราง การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเกษตรพันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ ไม่แน่นอน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming: MILP) เพื่อวางแผนการ จัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังภายใต้ แนวคิดระบบเกษตรพันธสัญญาและปริมาณผลผลิตที่ไม่แน่นอน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้โรงงาน แปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งผลรวมของปริมาณผลผลิตจากพื้นที่ แปลงต่าง ๆ จะต้องเพียงพอต่อความต้องการในการแปรรูปของโรงงานในแต่ละช่วงเวลาด้วย แบบจำลองดังกล่าวสามารถแก้ไขด้วยวิธีการทางเมตาสิวริสติกส์เมื่อปัญหาความซับซ้อนขึ้น จากการ ทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมพบว่า วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA) เป็นอัลกอริทึมการคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบใหม่ที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และถูกนำไปประยุกต์กับปัญหาในแวดวงต่าง ๆ อย่างมากมาย อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่กับปัญหาการจัดตารางทาง การเกษตร ผู้วิจัยจึงประยุกต์วิธีการนี้เข้ากับปัญหาการวางแผนการ จัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ซึ่งจะช่วยให้บริษัทแปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดเช่นกัน

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง และการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ในส่วนแรกเป็นการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลจากโรงงานแปรรูป เพื่อนำไปศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิต และสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสมในฤดูกาลเก็บเกี่ยวถัดไป ในส่วนที่สองเป็นการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืช ซึ่งมีการประยุกต์ใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังให้เกิดประสิทธิภาพทางด้านค่าตอบและเวลา ตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามระยะเวลาที่พิจารณา คือ รายวันและรายสัปดาห์

#### 3.1 การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตโดยใช้หลักการวิเคราะห์การถดถอย และสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสมที่จะเกิดขึ้นในรอบฤดูกาลเก็บเกี่ยวถัดไป ข้อมูลสำคัญในการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังมีดังต่อไปนี้

##### 3.1.1 ข้อมูลปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังภายในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา จากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศการผลิตทางการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลจำนวนคร่าวเรือนและปริมาณผลผลิตพืชชนิดต่าง ๆ แบ่งตามชั้นข้อมูลพื้นที่และช่วงเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างข้อมูลย้อนหลังจำนวน 13 ปี ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 ตำบลในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อศึกษาข้อมูลปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยข้อมูลเหล่านี้จะคำนวณออกมาเป็นผลผลิตสะสมในแต่ละรอบฤดูกาลเก็บเกี่ยว เพื่อนำไปศึกษาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมและสร้างสมการพยากรณ์ผลผลิตในฤดูกาลเก็บเกี่ยวถัดไป

##### 3.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ผู้วิจัยได้ขอข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง โดยเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนแยกรายเดือนที่ประเมินจากสถานีวัดน้ำฝนซึ่งกระจายอยู่ตาม

พื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลังจำนวน 13 ปี ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 ตำบลในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อหาค่าปริมาณน้ำฝนสะสมของแต่ละพื้นที่ ในแต่ละรอบฤดูกาลเก็บเกี่ยว

### 3.1.3 ข้อมูลจากโรงงานแปรรูป

ผู้วิจัยได้ติดต่อผู้ที่มีส่วนร่วมในโรงงานแปรรูป ได้แก่ ผู้จัดการโรงงาน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่สำคัญของโรงงาน เช่น วิธีการรับซื้อผลผลิต วิธีการเก็บเกี่ยวผลผลิต พื้นที่ที่เก็บเกี่ยวผลผลิต กำลังการผลิต การขยายพื้นที่ตั้งของโรงงาน และการทำเกษตรพันธสัญญา

## 3.2 การแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง

การแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืช และการออกแบบและปรับปรุงอัลกอริทึม อัลกอริทึมที่ดัดแปลงจากวิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์ ได้แก่ วิธีค้นหาแบบแมลงหิว โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

### 3.2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืช

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้เป็นกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming) สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชและทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว โดยมีสมมุติฐานมีดังต่อไปนี้

- 1) พิจารณาโรงงานแปรรูปจำนวน 1 แห่ง
- 2) กำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นรายวันและรายสัปดาห์ โดยเกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในปริมาณคงที่และต้องเก็บเกี่ยวภายในระยะเวลา 120 วันหลังโตเต็มที่
- 3) ปริมาณมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมาจะถูกขนส่งจากแปลงมันไปยังโรงงานโดยรถบรรทุกของโรงงานแปรรูป

#### 3.2.1.1 ดัชนีและเซต (Indices and Sets)

$i$  คือ ดัชนีของแปลงพืช เมื่อ  $i \in I$  โดยที่  $i = \{1, 2, \dots, I\}$

$t$  คือ ดัชนีของช่วงเวลาเก็บเกี่ยว เมื่อ  $t \in T$  โดยที่  $t = \{1, 2, \dots, T\}$

$f$  คือ ดัชนีของโรงงาน เมื่อ  $f \in F$  โดยที่  $f = \{1, 2, \dots, F\}$

$v$  คือ ดัชนีของรถขนส่ง เมื่อ  $v \in V$  โดยที่  $v = \{1, 2, \dots, V\}$

## 3.2.1.2 ตัวแปรทราบค่า (Parameters)

$PC_{min\ ft}$  คือ กำลังการผลิตต่ำสุดของโรงงาน  $f$  ในช่วงเวลา  $t$  (ตัน)

$PC_{max\ ft}$  คือ กำลังการผลิตสูงสุดของโรงงาน  $f$  ในช่วงเวลา  $t$  (ตัน)

$TP_i$  คือ ปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากแปลง  $i$  (ตัน)

$SP_f$  คือ ราคาขายสินค้าแปรรูปของโรงงาน  $f$  (บาทต่อตัน)

$PH_f$  คือ ราคาซื้อผลผลิตของโรงงาน  $f$  (บาทต่อตัน)

$TC_v$  คือ ต้นทุนการขนส่งโดยรวมของรถขนส่ง  $v$  (บาทต่อตันต่อกิโลเมตร)

$TCAP_{fv}$  คือ ความจุสูงสุดของรถขนส่ง  $v$  ของโรงงาน  $f$  สูงสุด (ตันต่อคัน)

$TRIP_{fv}$  คือ ปริมาณเที่ยวรถสูงสุดที่อนุญาตให้ขนส่งของรถ  $v$  ซึ่งเป็นทรัพยากรของ  $f$  (เที่ยวต่อคัน)

$DIST_{fi}$  คือ ระยะทางจากโรงงาน  $f$  ไปแปลง  $i$  (กิโลเมตร)

$YLD$  คือ เปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวที่คาดหวัง (เปอร์เซ็นต์)

$RP$  คือ อัตราการแปรรูปมันสำปะหลัง (เปอร์เซ็นต์)

## 3.2.1.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$HQ_{ti} \geq 0$  คือ ปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวในช่วงเวลา  $t$  จากแปลง  $i$  (ตัน)

$NT_{ti} \geq 0$  คือ ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเวลา  $t$  จากแปลง  $i$  (เที่ยวต่อคัน)

$SS_{ti} \geq 0$  คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์แปรรูปในช่วงเวลา  $t$  ที่มาจากผลผลิตแปลง  $i$  (ตัน)

$X_{ti} \begin{cases} 1, & \text{ผลผลิตจะถูกเก็บเกี่ยวในช่วงเวลา } t \text{ จากแปลง } i \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$

## 3.2.1.4 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\begin{aligned} \text{Maximize Profit} = & \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I SS_{ti} SP_f - \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I HQ_{ti} PH_f \\ & - \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V HQ_{ti} TC_v DIST_{fi} \end{aligned} \quad (3.4)$$

สมการเป้าหมายที่ (3.4) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้โรงงานแปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว โดยโรงงานจะได้รับผลรวมของปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังใน

แต่ละช่วงเวลาและตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวสูงสุดเช่นกัน รายได้ของโรงงานคำนวณจากปริมาณผลิตรภัณฑ์แปรรูปและราคาขายสินค้าแปรรูป โดยมีต้นทุนในการดำเนินงาน 2 ส่วน คือ ต้นทุนการรับซื้อและต้นทุนการขนส่งผลผลิต

### 3.2.1.5 สมการข้อจำกัด (Constrains)

$$\sum_{t=1}^T X_{ti} \leq 1 \quad ; \forall i \in I \quad (3.5)$$

สมการที่ (3.5) รับประกันว่าผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละแปลงสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น

$$HQ_{ti} = YLD TP_i X_{ti} \quad ; \forall t \in T, \forall i \in I \quad (3.6)$$

สมการที่ (3.6) กำหนดให้ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมามีค่าเท่ากับปริมาณผลผลิตที่ขึ้นอยู่กับจำนวนการเก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงและเปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวที่คาดหวัง ถ้าหากค่า  $YLD$  เท่ากับ 1 หมายความว่า มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งแปลง (100 เปอร์เซ็นต์)

$$HQ_{ti} = \sum_{v=1}^V NT_{ti} TCAP_{fv} \quad ; \forall f \in F, \forall t \in T, \forall i \in I \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.7) ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมาต้องสอดคล้องกับปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมและความจุสูงสุดของรถขนส่ง โดยปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมานั้นต้องสามารถบรรจุลงในรถขนส่งและวิ่งรถตามผลการตัดสินใจของปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม

$$\sum_{i=1}^I NT_{ti} \leq TRIP_{fv} \quad ; \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.8)$$

สมการที่ (3.8) รถแต่ละคันจะต้องมีผลรวมของปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมไม่เกินปริมาณเที่ยวรถขนส่งที่อนุญาตสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา

$$\sum_{i=1}^I HQ_{ti} \geq PC_{min ft} \quad ; \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.9)$$

สมการที่ (3.9) ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่ได้เก็บเกี่ยวและจัดส่งไปยังโรงงานแปรรูปในแต่ละเวลานั้น ต้องมีค่ามากกว่าปริมาณที่รองรับกำลังการผลิตของโรงงานต่ำสุด



$$\sum_{i=1}^I HQ_{ii} \leq PC_{max\ ft} \quad ; \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.10)$$

สมการที่ (3.10) ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่ได้เก็บเกี่ยวและจัดส่งไปยังโรงงานแปรรูปในแต่ละเวลานั้น ต้องมีค่าไม่เกินปริมาณที่รองรับกำลังการผลิตของโรงงานสูงสุด

$$SS_{ii} = HQ_{ii}RP \quad ; \forall t \in T, \forall i \in I \quad (3.11)$$

สมการที่ (3.11) ปริมาณผลิตภัณฑ์แปรรูปของโรงงานเกิดจากผลคูณของผลผลิตมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวมากับอัตราการแปรรูปมันสำปะหลัง ( $RP$ ) ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1

### 3.2.2 การออกแบบและปรับปรุงอัลกอริทึม

จากตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น สามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของอัลกอริทึมที่ประยุกต์ใช้วิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์ใหม่ คือ วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA) เพื่อให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ขั้นตอนในการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่อธิบายได้ดังนี้

- 1) กำหนดจำนวนประชากรแมลงหวี่  $m$  สูงสุด ( $PN_{max}$ ) และจำนวนรอบการทำงานสูงสุด ( $IR_{max}$ )
- 2) เริ่มสร้างคำตอบเริ่มต้นในรอบที่ 1 โดย 1 คำตอบ จะได้จากแมลงหวี่ 1 ตัว ขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งพิกัดเริ่มต้น ( $X$ -axis และ  $Y$ -axis) ของฝูงแมลงหวี่ ดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)
- 3) กำหนดทิศทางในการบินแบบสุ่มของแมลงหวี่ ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) และคำนวณระยะทางจากจุดเริ่มต้น ( $Dist_m$ ) จากนั้นคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_m$ ) ดังสมการที่ (2.10) และ (2.11) เพื่อเชื่อมโยงกับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง โดยค่า  $S_m$  จะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ซึ่งประกอบด้วยค่าสุ่ม  $S_{t,m,i}$  แตกต่างกัน ดังสมการที่ (3.12) กำหนดให้  $i = 1, \dots, I$  โดยที่  $I$  คือ จำนวนแปลงมันทั้งหมด และ  $t = 1, \dots, T$  โดยที่  $T$  คือ ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวทั้งหมด

$$S_{t,m,i} = S_m * rand(0,1) \quad ; \forall t \in T, \forall m \in PN_{max} \quad (3.12)$$

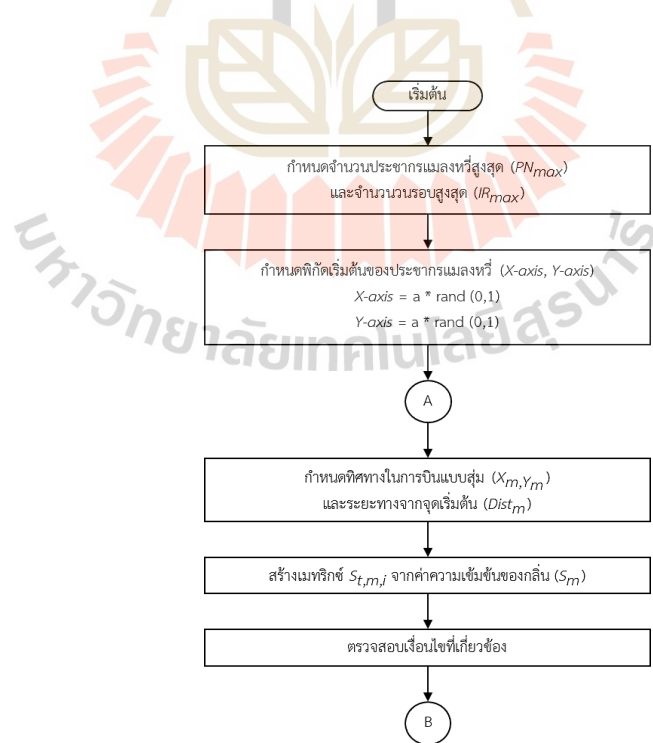
ในแต่ละช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว  $t$  จะสร้างเมทริกซ์ของค่า  $S_{t,m,i}$  ตามจำนวนแปลงมัน  $i$  ที่พิจารณา โดยค่า  $S_{t,m,i}$  ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดการสับเปลี่ยนหรือจัดลำดับความสำคัญในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังของแมลงหวี่ตัวที่  $m$  ในแปลงที่  $i$  โดยแปลงมันที่มีค่า  $S_{t,m,i}$  มากจะมีโอกาสในการเก็บเกี่ยว

มากกว่าแปลงที่มีค่า  $S_{t,m,i}$  น้อย ตัวอย่างการจัดลำดับแปลงมันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง ( $i = 1$ ) ถึง ( $i = 12$ ) ในวันที่ 1 ( $t = 1$ ) ของแปลงหัวที่ตัวที่ 1 ( $m = 1$ ) แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยแปลงมันสำปะหลังลำดับที่ 9 จะถูกเก็บเกี่ยวเป็นแปลงแรกในปริมาณ 500 ตัน เนื่องจากมันแปลงนี้ได้รับปริมาณค่าสุ่ม  $S_{t,m,i}$  มากที่สุด คือ 0.99

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างเมทริกซ์การเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง

	$S_{1,1,1}$	$S_{1,1,2}$	$S_{1,1,3}$	$S_{1,1,4}$	$S_{1,1,5}$	$S_{1,1,6}$	$S_{1,1,7}$	$S_{1,1,8}$	$S_{1,1,9}$	$S_{1,1,10}$	$S_{1,1,11}$	$S_{1,1,12}$
ค่าสุ่ม	0.35	0.18	0.23	0.12	0.82	0.39	0.04	0.41	0.99	0.58	0.29	0.76
ปริมาณ	1000	700	500	200	500	100	1000	400	500	1000	300	1000
ลำดับ	7	10	9	11	2	6	12	5	1	4	8	3

4) เมื่อได้ผลจัดเรียงจากเมทริกซ์  $S_{t,m,i}$  ข้างต้นครบทุกช่วงเวลาที่จะพิจารณา แปลงหัวจะถูกตรวจสอบเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวจนกระทั่งผ่านครบทุกเงื่อนไข จากสมมุติฐานที่กำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปริมาณคงที่และเงื่อนไขที่มีการเก็บเกี่ยวเพียงหนึ่งครั้ง เปอร์เซ็นต์การเก็บเกี่ยวที่คาดหวัง ( $YLD$ ) จึงเท่ากับ 1 หรือมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตเต็มจำนวน ผลคำตอบที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปแบบของตารางเมทริกซ์ (0, 1) ที่ระบุแปลงและปริมาณเก็บเกี่ยวในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหัว (FOA)

5) แม้ว่าเมทริกซ์คำตอบจากขั้นตอนที่ 4) จะผ่านครบทุกเงื่อนไข แต่สามารถตรวจพบได้ว่าโรงงานยังไม่สามารถจัดหาผลผลิตได้ครบทุกวัน ขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์คำตอบจึงเกิดขึ้น โดยผลเมทริกซ์คำตอบที่ได้จะถูกดึงมาสำรวจช่วงเวลา  $t$  ที่โรงงานยังไม่ได้รับปริมาณผลผลิต (แถว) และพื้นที่แปลง  $i$  ที่ยังไม่ถูกเลือกในการเก็บเกี่ยว (คอลัมป์) เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดตัดระหว่างช่วงเวลาและแปลงมัน กำหนดให้  $d = 1, \dots, IN_{max}$  โดยที่  $IN_{max}$  คือ จุดตัดที่เป็นไปได้สูงสุดที่อาจถูกสุ่มค่าเป็น 1 เพื่อรับซื้อผลผลิตเพิ่มเติม ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างจุดตัดสูงสุด 4 ตำแหน่ง ( $IN_{max} = 4$ ) ที่ถูกค้นพบในวันที่ 2 ( $t = 2$ ) (สีแดง)

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการสำรวจจุดตัดที่เป็นไปได้

	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$	$i = 7$	$i = 8$	$i = 9$	$i = 10$	$i = 11$	$i = 12$
$t = 1$	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
$t = 2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t = 3$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0

จากตารางที่ 3.2 จุดตัดสีแดงทั้งหมด 4 ตำแหน่งนี้อาจถูกสุ่มค่าเป็น 1 บางส่วนหรือทั้งหมดก็ได้ โดยแต่ละจุดตัดนั้นมีโอกาสถูกสุ่มเป็น 0 หรือ 1 เท่า ๆ กัน ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการสุ่มเลือกแปลงเก็บเกี่ยวเพิ่มเติม 2 จุดตัด (สีฟ้า)

ตารางที่ 3.3 การสุ่มเลือกแปลงเก็บเกี่ยวเพิ่มเติม

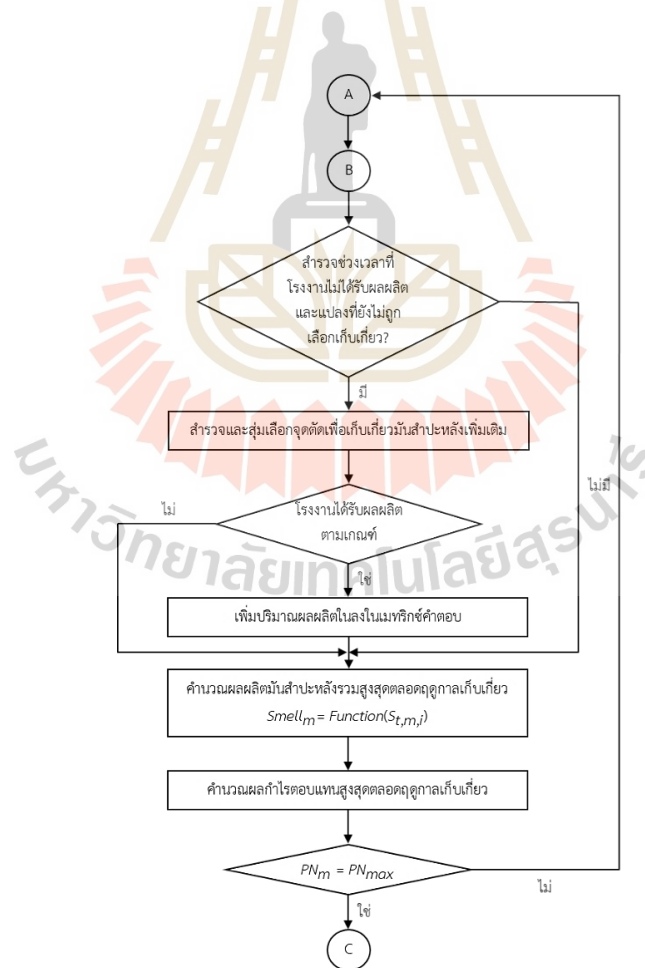
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$	$i = 7$	$i = 8$	$i = 9$	$i = 10$	$i = 11$	$i = 12$
$t = 1$	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
$t = 2$	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$t = 3$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0

จากตารางที่ 3.3 ในวันที่ 2 ( $t = 2$ ) มีการสุ่มค่าเป็น 1 ในแปลงที่ 1 ( $i = 1$ ) และแปลงที่ 6 ( $i = 6$ ) โดยขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์นี้ตัดแปลงมาจากวิธีของ (Díaz and Fernandez, 2001) ซึ่งเป็นการพัฒนาผลลัพธ์เมทริกซ์คำตอบด้วยวิธีการแทรก (Insertion Move Algorithm) ที่มีการสุ่มค่าและเปลี่ยนตำแหน่งของแปลงมัน  $i$  ภายในจุดตัดที่เป็นไปได้ให้สอดคล้องกับเกณฑ์ปริมาณรับซื้อที่กำหนดไว้ วิธีการนี้เป็นการเพิ่มโอกาสให้โรงงานได้รับซื้อผลผลิตจากแปลงของเกษตรกรครบทุกช่วงเวลา รวมทั้งเป็นการป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่นด้วย เมื่อเมทริกซ์คำตอบได้รับการปรับปรุงแล้ว ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังจากทั้งสองแปลงจะถูกดึงออกมาเพื่อประเมินว่าผลรวมของปริมาณมันจากสอง

แปลงนี้ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดไว้หรือไม่ หากอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณผลผลิตจากทั้งสองแปลงจะถูกบันทึกเพิ่มเติมลงในเมทริกซ์ของคำตอบเดิม และถ้าหากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณผลผลิตจากทั้งสองจะไม่ถูกบันทึกลงในเมทริกซ์ของคำตอบเดิม

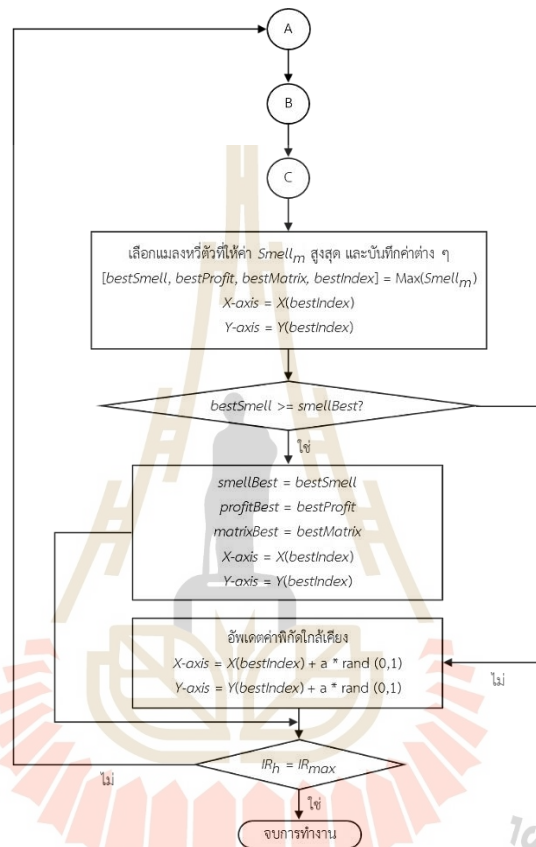
6) จากสมการที่ (2.12) ค่าฟิตเนสฟังก์ชันเป็นผลจากการใช้ค่าสุ่ม  $S_{t,m,i}$  ชักนำให้เกิดการจัดเรียงเมทริกซ์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการตัดสินใจในการคัดเลือกแปลง  $i$  ในช่วงเวลา  $t$  ที่แตกต่างกัน กำหนดให้ค่าฟิตเนสฟังก์ชันเก็บไว้ในตัวแปร  $Smell_m$  เป็นปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดที่โรงงานสามารถรับซื้อจากเกษตรกรตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งเกิดจากผลรวมของปริมาณมันสำปะหลังที่ต้องเก็บเกี่ยวสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา เมื่อได้ผลคำนวณปริมาณผลผลิตรวมสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวแล้ว โรงงานจะสามารถประเมินผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว

7) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3) ถึง 6) จนครบจำนวนแมลงหวี่สูงสุด ( $PN_{max}$ ) โดยแมลงหวี่ 1 ตัวสามารถให้ผลคำตอบ คือ ปริมาณผลผลิตและผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ตารางการเก็บเกี่ยว และพิกัดที่เหมาะสม



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA) (ต่อ)

8) เมื่อได้คำตอบจากแมลงหิวทุกตัว เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ให้ตรวจสอบว่าแมลงหิวตัวใดให้ค่า  $Smell_m$  สูงสุด และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดได้แก่ ผลผลิตสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ผลกำไรสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ตารางการเก็บเกี่ยว และพิกัดที่เหมาะสมไว้ในตัวแปร  $bestSmell$   $bestProfit$   $bestMatrix$  และ  $bestIndex$  ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA) (ต่อ)

9) ในการคำนวณรอบแรกให้เก็บค่า  $bestSmell$  ไว้ในตัวแปร  $smellBest$  ดังสมการที่ (2.14) และเก็บค่าพิกัดที่ดีที่สุดไว้ใน  $bestIndex$  ดังสมการที่ (2.15) และ (2.16) รวมทั้งเก็บค่า  $bestProfit$  และ  $bestMatrix$  ในตัวแปร  $profitBest$  และ  $matrixBest$  ตามลำดับ จากนั้นทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3) ถึง 8) สำหรับรอบการคำนวณถัดไป หากพบค่า  $bestSmell$  เพิ่มขึ้นจากรอบก่อนหน้าให้อัปเดตค่านี้ในตัวแปร  $smellBest$  รวมทั้งเก็บค่าอื่น ๆ ที่ดีกว่าใน  $bestIndex$   $profitBest$  และ  $matrixBest$  ในกรณีที่รอบการคำนวณใดพบค่า  $bestSmell$  ลดลงจากรอบก่อนหน้า ให้สุ่มค่าตำแหน่งใหม่เก็บไว้ใช้ในรอบถัดไป ดังสมการที่ (3.13) และ (3.14) การทำงานของอัลกอริทึมจะสิ้นสุดลงเมื่อครบจำนวนรอบการทำงานสูงสุดที่กำหนดไว้ ( $IR_{max}$ )

$$X\text{-axis} = X(\text{bestIndex}) + a * \text{rand}(0,1) \quad (3.13)$$

$$Y\text{-axis} = Y(\text{bestIndex}) + a * \text{rand}(0,1) \quad (3.14)$$

10) จากขั้นตอนที่ 9 ในกรณีที่ค่า  $bestSmell$  เพิ่มขึ้นจากรอบก่อนหน้า ผุงแมลงหิวในรอดัดไปจะได้รับข้อมูลพิกัดผ่านตัวแปร  $bestIndex$  ส่งผลให้ค่าระยะทางจากจุดเริ่มต้น ( $Dist_m$ ) และค่าความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_m$ ) มีค่าเท่ากัน ซึ่งทำให้เมทริกซ์  $S_{t,m,i}$  มีรูปแบบเดียวกัน การส่งผ่านข้อมูลของแมลงหิวในระหว่างรอบการคำนวณสามารถประยุกต์ใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Local Search) ด้วยการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap) ของค่าสุ่มที่อยู่ภายในเมทริกซ์  $S_{t,m,i}$  เพื่อเป็นการพัฒนาคำตอบและป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่น ตัวอย่างการสลับเปลี่ยนเมทริกซ์ของพื้นที่มันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง แสดงดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 การสลับเปลี่ยนเมทริกซ์ของมันสำปะหลังจำนวน 12 แปลง

	$S_{1,1,1}$	$S_{1,1,2}$	$S_{1,1,3}$	$S_{1,1,4}$	$S_{1,1,5}$	$S_{1,1,6}$	$S_{1,1,7}$	$S_{1,1,8}$	$S_{1,1,9}$	$S_{1,1,10}$	$S_{1,1,11}$	$S_{1,1,12}$
ค่าสุ่ม	0.18	0.35	0.23	0.12	0.82	0.39	0.04	0.41	0.99	0.58	0.29	0.76
ปริมาณ	1000	700	500	200	500	100	1000	400	500	1000	300	1000
ลำดับ	10	7	9	11	2	6	12	5	1	4	8	3

เมื่อเปรียบเทียบตารางที่ 3.4 กับตารางที่ 3.1 และ 3.2 ค่าสุ่มของแปลงที่ 1 ( $i = 1$ ) และแปลงที่ 2 ( $i = 2$ ) ได้รับการสลับเปลี่ยนตำแหน่งกัน ดังนั้น การจัดลำดับความสำคัญในการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังจึงเปลี่ยนแปลงไป วิธีการนี้อาจส่งผลให้แมลงหิวได้รับคำตอบที่พัฒนาขึ้นจากรอบการคำนวณที่ผ่านมา

การแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังโดยใช้อัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ การวางแผนการเก็บเกี่ยวรายวันและรายสัปดาห์ โดยแต่ละกรณีศึกษามีการกำหนดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป ในการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว ผลคำตอบที่ได้จะถูกเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่แก้ปัญหาผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS

### 3.3 การเขียนโปรแกรม

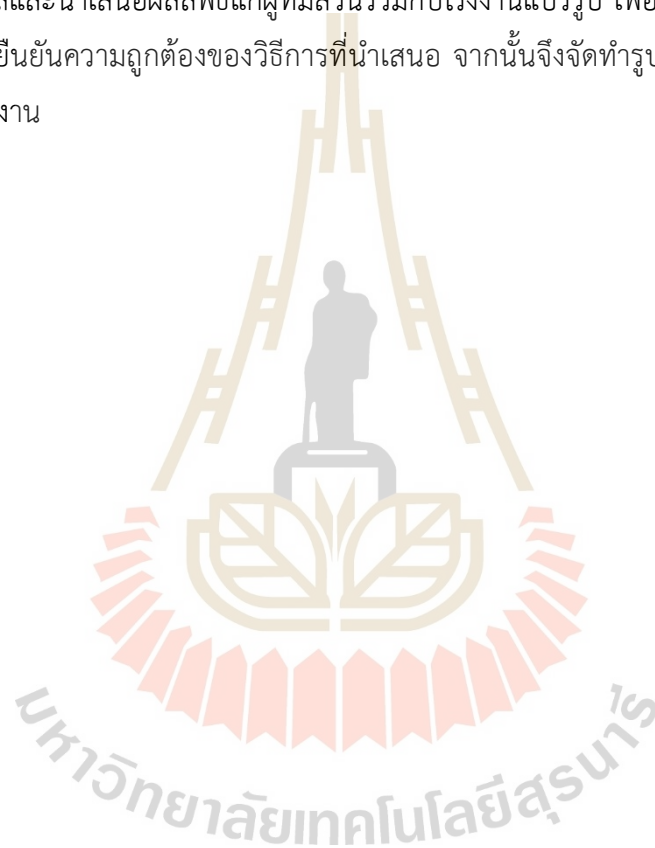
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตสะสมและปริมาณน้ำฝนสะสม ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และสร้างสมการพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยผ่านโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการทดสอบอัลกอริทึมในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมภาษาไพทอน (Python) ในโปรแกรม Anaconda ผ่าน



เครื่องมือ Jupyter Notebook นอกจากนี้ โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS 39.3.0 solver CPLEX ได้นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว ผู้วิจัยใช้โปรแกรมดังกล่าวผ่านคอมพิวเตอร์แบบพกพา AMD Ryzen 7 3700U CPU @ 2.30 กิกะเฮิรตซ์ หน่วยความจำแรม 8 กิกะไบต์ บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 11 แบบ 64 บิต

### 3.4 การสรุปผลและนำเสนอผลการวิจัย

หลังจากการทดสอบผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีการต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการสรุปผลและนำเสนอผลลัพธ์แก่ผู้ที่มีส่วนร่วมกับโรงงานแปรรูป เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของปัญหาและยืนยันความถูกต้องของวิธีการที่นำเสนอ จากนั้นจึงจัดทำรูปเล่มรายงานวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงาน



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้แบ่งผลการดำเนินการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก คือ ผลการพยากรณ์ ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลในอดีตของปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังได้รับการศึกษาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสม โดยผลผลิตมันสำปะหลังสะสมที่ได้นั้นจะถูกเปรียบเทียบกับผลผลิตสะสมจริงเพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการทำนาย สำหรับส่วนที่สอง คือ การแสดงผลลัพธ์การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษาตามกรอบระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ได้แก่ รายวันและรายสัปดาห์ แบบจำลองการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้รับการทดสอบผ่าน อัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว โดยผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมนั้นจะถูกเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่แก้ปัญหาผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของวิธีการและวัดประสิทธิภาพทั้งด้านคำตอบและเวลา

#### 4.1 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง

จากสถานการณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังไม่แน่นอน (Crop yield uncertainty) ในแต่ละช่วงเวลา การคาดการณ์ปริมาณผลผลิตที่สำหรับการแปรรูปในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจึงเป็นเรื่องที่ยากและท้าทาย การศึกษาปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังจากพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่แน่นอนผ่านการทำพันธุ์สัญญาจึงเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตสะสมและปริมาณน้ำฝนสะสมของแต่ละปี และสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตมันสำปะหลังสะสมในปีถัดไป ขั้นตอนในการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) กำหนดให้ 1 ช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวของทุก ๆ ปีมีการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นรายวันระหว่างช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนเมษายน รวมทั้งสิ้น 120 วัน ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังของ 1 ฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะเริ่มสะสมจากเดือนพฤษภาคมของปีที่แล้วเป็นต้นไป และจะพร้อมเก็บเกี่ยวในช่วงสี่เดือนดังกล่าว เนื่องจากผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 13 ปี จึงมีจำนวนฤดูกาลเก็บเกี่ยวทั้งหมด 13 ครั้ง ตัวอย่างตารางการคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 10 ปีที่ 11 และปีที่ 12 ของตำบลบึงปรือ แสดงดังตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 10 ของตำบลบึงปรือ

ปีที่	เดือน-ปี	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)
10	พ.ค.-63	2.78	0	2.78	0
10	มิ.ย.-63	3.44	0	6.22	0
10	ก.ค.-63	5.71	0	11.93	0
10	ส.ค.-63	7.42	0	19.35	0
10	ก.ย.-63	6.34	8,295	25.69	8,295
10	ต.ค.-63	5.61	28,076	31.30	36,371
10	พ.ย.-63	0.11	7,020	31.40	43,391
10	ธ.ค.-63	0.00	33,790	31.40	77,181
10	ม.ค.-64	0.00	2,000	31.40	79,181
10	ก.พ.-64	0.36	0	31.76	79,181
10	มี.ค.-64	1	0	32.76	79,181
10	เม.ย.-64	4.31	0	37.07	79,181

จากตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตในปีที่ 10 ของตำบลบึงปรือได้เริ่มสะสมจากเดือนพฤษภาคม 2563 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2564 โดยช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวได้อยู่ระหว่างเดือนมกราคม 2564 ถึงเดือนเมษายน 2564 ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ในปีที่ 10 เท่ากับ 37.07 มิลลิเมตร และปริมาณผลผลิตสะสม (y) เท่ากับ 79,181 ตัน

ตารางที่ 4.2 การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 11 ของตำบลบึงปรือ

ปีที่	เดือน-ปี	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)
11	พ.ค.-64	1.95	0	1.95	0
11	มิ.ย.-64	1.85	0	3.80	0
11	ก.ค.-64	6.39	0	10.19	0
11	ส.ค.-64	6.44	0	16.63	0
11	ก.ย.-64	8.79	0	25.42	0
11	ต.ค.-64	5.25	0	30.67	0
11	พ.ย.-64	0.00	31,392	30.67	31,392

ตารางที่ 4.2 การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 11 ของตำบลบึงปรือ  
(ต่อ)

ปีที่	เดือน-ปี	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำฝน สะสม (x)	ปริมาณผลผลิต สะสม (y)
11	ธ.ค.-64	0.00	12,000	30.67	43,392
11	ม.ค.-65	0.51	0	31.18	43,392
11	ก.พ.-65	0.45	0	31.63	43,392
11	มี.ค.-65	1.30	0	32.93	43,392
11	เม.ย.-65	3.68	0	36.61	43,392

จากตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตในปีที่ 11 ของตำบลบึงปรือได้เริ่มสะสมจากเดือนพฤษภาคม 2564 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2565 โดยช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวได้อยู่ระหว่างเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนเมษายน 2565 ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ในปีที่ 11 เท่ากับ 36.61 มิลลิเมตร และปริมาณผลผลิตสะสม (y) เท่ากับ 43,392 ตัน

ตารางที่ 4.3 การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 12 ของตำบลบึงปรือ

ปีที่	เดือน-ปี	ปริมาณ น้ำฝน (มม.)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำฝน สะสม (x)	ปริมาณผลผลิต สะสม (y)
12	พ.ค.-65	8.36	0	8.36	0
12	มิ.ย.-65	3.79	0	12.15	0
12	ก.ค.-65	13.01	5,272	25.16	5,272
12	ส.ค.-65	5.42	0	30.58	5,272
12	ก.ย.-65	10.68	0	41.25	5,272
12	ต.ค.-65	4.06	22,316	45.32	27,588
12	พ.ย.-65	5.35	16,000	50.66	43,588
12	ธ.ค.-65	0.00	6,316	50.66	49,904
12	ม.ค.-66	1.19	10,000	51.85	59,904
12	ก.พ.-66	0.02	0	51.87	59,904
12	มี.ค.-66	0.12	0	52.00	59,904
12	เม.ย.-66	3.46	0	55.45	59,904

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตในปีที่ 12 ของตำบลบึงปรือได้เริ่มสะสมจากเดือนพฤษภาคม 2565 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2566 โดยช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวได้อยู่ระหว่างเดือนมกราคม 2566 ถึงเดือนเมษายน 2566 ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ในปีที่ 12 เท่ากับ 55.45 มิลลิเมตร และปริมาณผลผลิตสะสม (y) เท่ากับ 59,904 ตัน

สมมติให้ปัจจุบันเป็นที่ 13 ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคม 2566 โรงงานต้องเร่งสร้างกำหนดการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังและคำนวณหาผลผลิตสะสมในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนมกราคม 2567 ถึง เมษายน 2567 เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงฤดูแล้ง มีฝนตกน้อย อีกทั้งข้อมูลการพยากรณ์อากาศส่วนใหญ่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้ามาถึง 120 วันได้ จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนของช่วงเวลา 4 เดือนนี้เท่ากับปริมาณน้ำฝนในช่วง 4 เดือนของปีที่ผ่านมา ดังนั้น โรงงานจะสามารถคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสม (x) นำไปใส่สมการพยากรณ์เพื่อทำนายปริมาณผลผลิตสะสม ( $\hat{Y}$ ) ตลอดปีที่ 13 ที่กำลังจะมาถึง ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณปริมาณผลผลิตสะสมและปริมาณน้ำฝนสะสมในปีที่ 13 ของตำบลบึงปรือ โดยปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ของปีที่ 13 คำนวณได้เท่ากับ 38.06 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.4 การคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 13 ของตำบลบึงปรือ

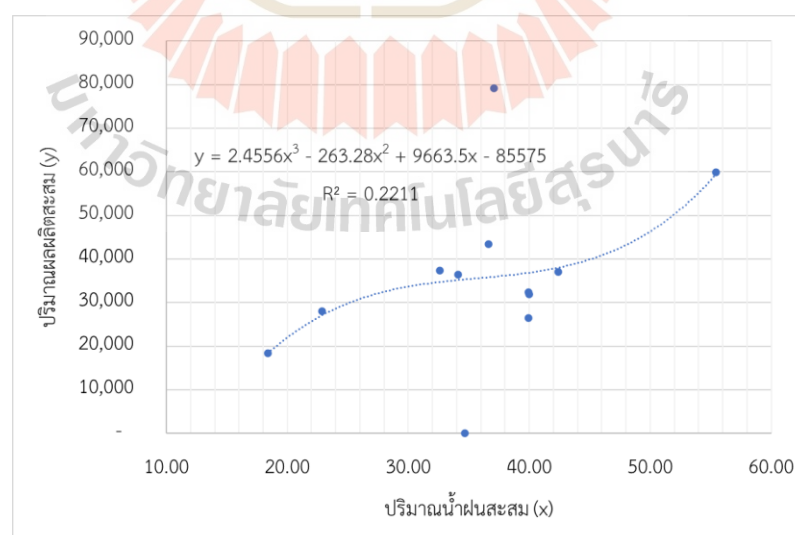
ปีที่	เดือน-ปี	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/เดือน)	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)
13	พ.ค.-66	4.63	0	4.63	
13	มิ.ย.-66	3.81	300	8.43	
13	ก.ค.-66	2.75	21,030	11.18	
13	ส.ค.-66	6.48	0	17.66	
13	ก.ย.-66	5.65	0	23.31	
13	ต.ค.-66	8.78	0	32.09	
13	พ.ย.-66	0.77	40	32.86	
13	ธ.ค.-66	0.41	840	33.27	
13	ม.ค.-67	1.19	0	34.46	
13	ก.พ.-67	0.02	0	34.48	
13	มี.ค.-67	0.12	0	34.60	
13	เม.ย.-67	3.46	0	38.06	ใช้การพยากรณ์

2) รวบรวมผลการคำนวณปริมาณน้ำฝนสะสม (x) และปริมาณผลผลิตสะสม (y) ทั้งหมด 13 ปี ดังสรุปในตารางที่ 4.5 เพื่อนำไปพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรและสร้างสมการ

พยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสม ( $\hat{Y}$ ) ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.5 ปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสมในแต่ละปีของตำบลบึงปรือ

ปีที่	ช่วงเวลา	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)
1	พ.ค. 54 – เม.ษ. 55	40.00	31,879
2	พ.ค. 55 – เม.ษ. 56	42.39	37,009
3	พ.ค. 56 – เม.ษ. 57	32.63	37,419
4	พ.ค. 57 – เม.ษ. 58	39.93	32,431
5	พ.ค. 58 – เม.ษ. 59	34.09	36,500
6	พ.ค. 59 – เม.ษ. 60	39.94	26,494
7	พ.ค. 60 – เม.ษ. 61	34.65	8
8	พ.ค. 61 – เม.ษ. 62	22.89	28,000
9	พ.ค. 62 – เม.ษ. 63	18.40	18,396
10	พ.ค. 63 – เม.ษ. 64	37.07	79,181
11	พ.ค. 64 – เม.ษ. 65	36.61	43,392
12	พ.ค. 65 – เม.ษ. 66	55.45	59,904
13	พ.ค. 66 – เม.ษ. 67	38.06	ใช้การพยากรณ์



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสม และสมการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือ

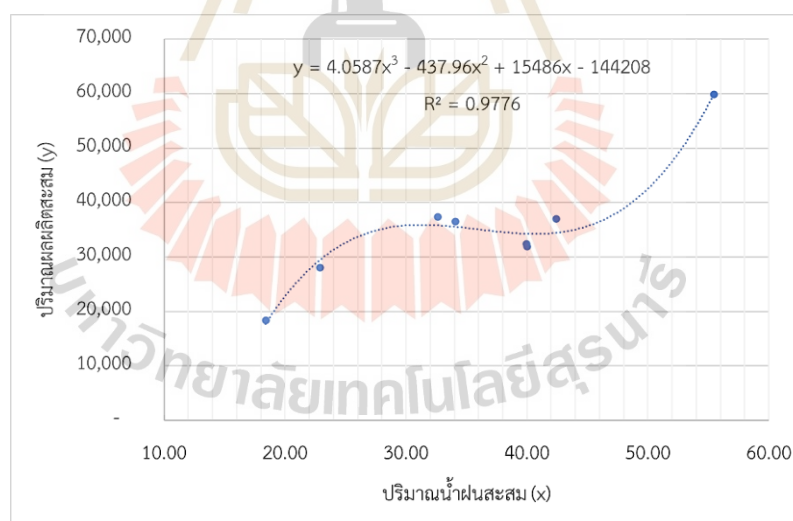


เนื่องด้วยปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตมีความผันผวนไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ตัวแปรทั้งสองนี้อาจไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเสมอไป จากการศึกษาพบว่า สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลมีความสามารถในการปรับข้อมูลจริงตามเส้นโค้ง โดยที่โพลีโนเมียลเทอมกำลังสาม (Cubic) สามารถทำให้สมการมีค่า  $R^2$  สูง ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการทำนาย จากรูปที่ 4.1 สมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสม คือ  $\hat{Y} = 2.4556x^3 - 263.28x^2 + 9663.5x - 85575$  มีลักษณะเป็นโพลีโนเมียลเทอมกำลังสาม ซึ่งให้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.2211 หรือ 22.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแทนค่าปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ของปีที่ 13 ลงในสมการ ส่งผลให้พื้นที่ตำบลบึงปรือมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสมตลอดปี 36,222.56 ตัน จากตัวอย่างแสดงค่า  $R^2$  เท่ากับ 22.11 เปอร์เซ็นต์ สามารถตีความได้ว่า ตัวแปรอิสระ (x) ไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (y) มีสาเหตุมาจากความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับข้อมูลทำนายหรือสมการมีความผิดพลาดในการทำนาย (Error) สูง ส่งผลให้ค่า  $R^2$  ลดลง ดังนั้น ข้อมูลจากตารางที่ 4.5 ควรมีการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ระหว่างข้อมูลผลผลิตสะสมจริงและผลผลิตสะสมพยากรณ์โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error: MAPE) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและตัดข้อมูลบางส่วนออกให้ค่า  $R^2$  สูงขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือ

ปีที่	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)	ผลผลิตสะสมพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ )	MAD	MAPE
1	40.00	31,879	36,877	4,998	15.68%
2	42.39	37,009	38,018	1,009	2.73%
3	32.63	37,419	34,738	2,681	7.17%
4	39.93	32,431	36,849	4,419	13.63%
5	34.09	36,500	35,172	1,328	3.64%
6	39.94	26,494	36,850	10,357	39.09%
7	34.65	8	35,322	35,314	441,422.17%
8	22.89	28,000	27,132	868	3.10%
9	18.40	18,396	18,387	9	0.05%
10	37.07	79,181	35,946	43,235	54.60%
11	36.61	43,392	35,825	7,567	17.44%
12	55.45	59,904	59,428	476	0.80%
ค่าเฉลี่ย				9,355	36,798.34%

จากตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) เท่ากับ 9,355 และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 36,798.34% ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่สูงเช่นนี้เกิดจากข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมจริง (y) ในบางปีเบี่ยงเบนจากข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ ) ที่คำนวณได้จากสมการ โดยเฉพาะข้อมูลในปีที่ 6, 7, 10, และ 11 ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) สูง ข้อมูลเหล่านี้เป็นค่าสุดโต่ง (Outlier) ซึ่งไม่มีความเหมาะสมในการนำมาสร้างสมการ ข้อมูลที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงควรได้รับการพิจารณาและกำจัดออกก่อน เช่น ข้อมูลในปีที่ 6 เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ใหม่ที่มีค่า  $R^2$  สูงขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) มีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (Thuankaewsing, Khamjan, Piewthonggam, and Pathumnakul, 2015) เมื่อได้ดำเนินการวิเคราะห์และตัดข้อมูลจริงบางส่วนออกแล้ว จะสามารถสร้างสมการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ต่ำลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่า  $R^2$  ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าปริมาณน้ำฝนสะสม (x) มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ผลผลิตสะสม ( $\hat{Y}$ ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสม และสมการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือ หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมและปริมาณผลผลิตสะสม และสมการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล

3) จากรูปที่ 4.2 สมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสม คือ  $\hat{Y} = 4.0587x^3 - 437.96x^2 + 15486x - 144208$  มีลักษณะเป็นพหุนามกำลังสาม ซึ่งให้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9776 หรือ 97.76 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแทนค่าปริมาณน้ำฝนสะสม (x) ของปีที่ 13 ลงในสมการ ส่งผลให้

พื้นที่ตำบลบึงปรือมีปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสมตลอดปี 34,542.11 ตัน สมการดังกล่าวมีค่า  $R^2$  สูงขึ้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าปริมาณน้ำฝนสะสม (x) มีความสามารถสูงในการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตสะสม ( $\hat{Y}$ )

4) ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) เท่ากับ 1,441 ตัน และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (MAPE) เท่ากับ 4.49 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับค่า  $R^2$  ที่สูงขึ้น (97.76 เปอร์เซ็นต์) แสดงถึงความแม่นยำของสมการพยากรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับการทำนายปริมาณผลผลิตสะสมในปีที่ 13

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของตำบลบึงปรือหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูล

ปีที่	ปริมาณน้ำฝนสะสม (x)	ปริมาณผลผลิตสะสม (y)	ผลผลิตสะสมพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ )	Diff	MAPE
1	40.00	31,879	34,253	2,373	7.45%
2	42.39	37,009	34,424	2,584	6.98%
3	32.63	37,419	35,803	1,616	4.32%
4	39.93	32,431	34,258	1,827	5.63%
5	34.09	36,500	35,537	963	2.64%
8	22.89	28,000	29,480	1,480	5.29%
9	18.40	18,396	17,731	665	3.61%
12	55.45	59,904	59,883	21	0.04%
ค่าเฉลี่ย				1,441	4.49%

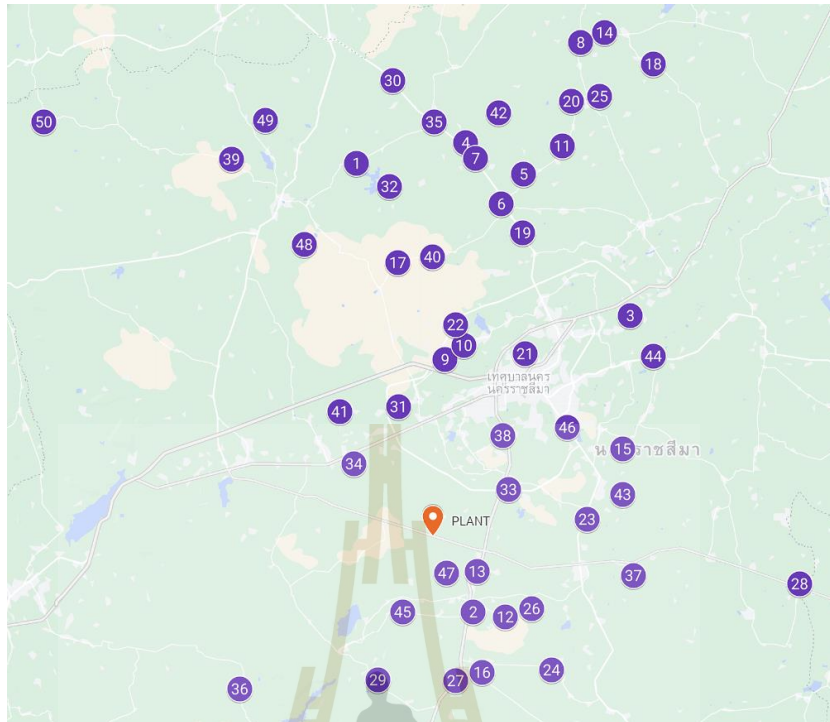
ตัวอย่างข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ ) นี้เป็นการทำนายผลผลิตสะสมตลอดปีที่ 13 ของตำบลบึงปรือ โดยแต่ละตำบลจะมีการรูปแบบสมการพยากรณ์ที่แตกต่างกัน โรงงานแปรรูปได้มีการศึกษาพื้นที่เกษตรกรที่เพาะปลูกมันสำปะหลังจำนวน 50 พื้นที่ตำบล โดยประเมินจากปริมาณผลผลิตสะสมและระยะทางจากโรงงานที่อยู่ภายในรัศมี 100 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สำหรับข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ของแต่ละตำบลและระยะทางจากโรงงานแปรรูป แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยระยะทางได้คำนวณจากจุดศูนย์กลางของตำบลใด ๆ ไปยังโรงงาน สำหรับการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังนั้นกำหนดให้อยู่ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนมกราคม 2567 ถึง เมษายน 2567 เท่านั้น

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ของแต่ละตำบลและระยะทางจากโรงงานแปรรูป

ตำบล	ผลผลิตสะสมพยากรณ์ (ตัน)	ระยะทางจากโรงงาน แปรรูป (กิโลเมตร)
1	695.09	87.1
2	727.79	18
3	1,178.17	61.6
4	1,647.86	75.2
5	2,038.56	70.4
6	2,413.90	63.7
7	2,428.55	72.5
8	2,416.30	93.1
9	2,473.12	43.3
10	2,680.09	41.3
11	2,826.42	77.6
12	2,944.23	25.8
13	3,029.81	14.2
14	3,511.51	97.6
15	3,704.12	42.9
16	4,016.30	28.1
17	4,131.85	63.5
18	4,170.03	102
19	4,325.82	59.6
20	4,869.75	85.1
21	4,914.34	41.7
22	5,109.14	41.5
23	5,221.52	32.6
24	5,654.63	38.8
25	5,834.18	86.9
26	6,075.75	25.9
27	6,338.27	27.9
28	6,414.40	54.9

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลปริมาณผลผลิตสะสมพยากรณ์ของแต่ละตำบลและระยะทางจากโรงงานแปรรูป  
(ต่อ)

ตำบล	ผลผลิตสะสมพยากรณ์ (ตัน)	ระยะทางจากโรงงาน แปรรูป (กิโลเมตร)
29	6,493.55	40.1
30	6,500.92	88.7
31	6,530.75	42.1
32	6,706.31	71
33	6,941.23	32.6
34	7,094.06	23.3
35	7,288.74	80.4
36	7,836.36	49.8
37	8,102.63	39.6
38	8,142.80	26.4
39	8,342.19	83.5
40	8,408.83	61.7
41	8,425.17	32.3
42	8,810.44	81.2
43	8,950.54	38.5
44	9,154.92	56.7
45	9,246.67	21.1
46	9,316.45	34.6
47	9,985.89	8.9
48	10,280.13	74
49	10,477.59	86.8
50	34,542.11	96.8



รูปที่ 4.3 พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 ตำบล

## 4.2 ผลการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)

### 4.2.1 กรณีศึกษาที่ 1: การวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังรายวัน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.2.1 สามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA) เพื่อการค้นหาคำตอบที่รวดเร็วยิ่งขึ้น กำหนดให้มีการศึกษาโรงงานแปรรูป ( $f$ ) 1 แห่ง ซึ่งมีค่าปริมาณผลผลิตรองรับกำลังการผลิตต่ำสุด ( $PC_{min\ f}$ ) 39 ตัน ค่าปริมาณผลผลิตรองรับกำลังการผลิตสูงสุด ( $PC_{max\ f}$ ) 50 ตัน และอัตราการแปรรูปมันสำปะหลัง ( $RP$ ) เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.2 โรงงานมีต้นทุนการรับซื้อผลิตมันสำปะหลังสด ( $PH_f$ ) 3,500 บาทต่อตัน และราคาขายสินค้าแปรรูป ( $SP_f$ ) 19,000 บาทต่อตัน สำหรับทรัพยากรรถขนส่ง กำหนดให้โรงงานแปรรูปมีรถขนส่ง ( $v$ ) 2 คัน คือ รถ 10 ล้อ ซึ่งมีความจุสูงสุด ( $TCAP_v$ ) 25 ตัน แต่ละคันอนุญาตให้วิ่งได้ ( $TRIP_v$ ) ไม่เกิน 1 เที่ยวต่อวัน โดยมีต้นทุนการขนส่งโดยรวม ( $TC_v$ ) 0.46 บาทต่อกิโลเมตรต่อตัน สำหรับข้อมูลปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ ( $TP_i$ ) ได้มาจากการพยากรณ์ผลผลิตสะสมในหัวข้อที่ 4.1 โดยโรงงานแปรรูปแต่ละแห่งจะได้รับผลการคัดเลือกพื้นที่ทำพันธสัญญาผ่านตัวแปรตัดสินใจ  $HQ_{ii}$  ซึ่งได้ระบุปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละวันด้วย สำหรับผลตารางการตัดสินใจปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม ( $NT_{ii}$ ) จะต้องมีความสอดคล้องกับผล

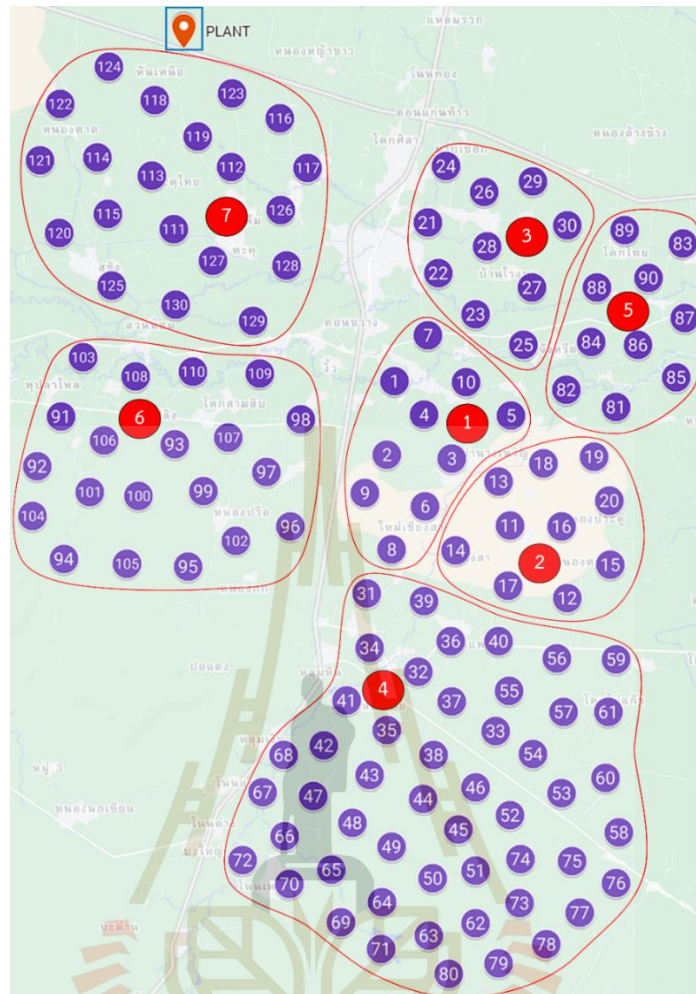


ตารางปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวดังกล่าว โดยปกติแล้วเกษตรกรที่เน้นปลูกพืชเพื่อการค้ามักเก็บเกี่ยวผลผลิตเพียงหนึ่งครั้งเพื่อประหยัดแรงงานและใช้ประโยชน์จากที่ดินให้คุ้มค่ามากที่สุด (มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, 2567) ผู้วิจัยจึงกำหนดให้แต่ละพื้นที่แปลงมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตมันสำปะหลังเพียงหนึ่งครั้ง ในกรณีศึกษานี้กำหนดให้มีการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวเป็นรายวัน ซึ่งอยู่ภายในระยะเวลาการเก็บเกี่ยว 90 วัน การศึกษาข้อมูลในระดับครัวเรือนจึงมีความเหมาะสมมากกว่าระดับตำบล เนื่องจากปริมาณผลผลิตจากพื้นที่ครัวเรือนรายย่อยนั้นเพียงพอต่อการแปรรูปของโรงงานในแต่ละวัน อีกทั้งความจุของรถขนส่งมีความสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตดังกล่าว ข้อมูลพื้นที่ศึกษาในการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ได้แก่ ผลผลิตสะสมพยากรณ์ จำนวนครัวเรือน ผลผลิตต่อครัวเรือน และระยะทาง แสดงดังตารางที่ 4.9 โดยข้อมูลระยะทางจากแต่ละครัวเรือนนี้ได้ประเมินจากจุดศูนย์กลางของตำบล

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

กลุ่มพื้นที่	หมายเลขแปลง	ผลผลิตสะสมพยากรณ์ (ตัน)	จำนวนครัวเรือน (ครัวเรือน)	ผลผลิตต่อครัวเรือน (ตัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	1-10	727.79	18	40.43	18
2	11-20	2,944.23	64	46	25.8
3	21-30	3,029.81	32	94.68	14.2
4	31-80	4,016.30	206	19.5	28.1
5	81-90	6,075.75	122	49.8	25.9
6	91-110	9,246.67	200	46.7	21.1
7	111-130	9,985.89	250	39.94	8.9

ผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลผลผลิตสะสมพยากรณ์ในแต่ละตำบลออกตามจำนวนครัวเรือนเกษตรกร และได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่กระจายตัวใกล้เคียงกับโรงงานภายในรัศมี 30 กิโลเมตร จำนวน 7 ตำบล (130 ครัวเรือน) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยวงกลมสีแดงแทนกลุ่มพื้นที่ตำบลซึ่งประกอบด้วยครัวเรือนต่าง ๆ ที่มีแปลงมันสำปะหลัง พร้อมเก็บเกี่ยว ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาครัวเรือนในแต่ละกลุ่มพื้นที่นั้นได้คัดเลือกตามสัดส่วนของจำนวนครัวเรือน เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a$  และ  $c$  เท่ากับ 1 และ  $b$  เท่ากับ 2 โดยที่จำนวนประชากรแมลงหวี่สูงสุด ( $PN_{max}$ ) เท่ากับ 5 และจำนวนรอบการทำงานสูงสุด ( $IR_{max}$ ) เท่ากับ 1,000 รอบ ผลการจัดตารางซึ่งระบุหมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมทั้งโรงงานต้องเก็บเกี่ยวระหว่างวันที่ 1 ถึง 90 แสดงดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.4 พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 130 ครัวเรือน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 4.10 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมทั้งโรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
1	109	46.7
2	85	49.8
3	129	39.94
4	32, 35	39
5	16	46
6	122	39.94
7	33, 37	39

ตารางที่ 4.10 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวใน  
แต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
8	5	40.43
9	105	46.7
10	120	39.94
11	112	39.94
12	93	46.7
13	116	39.94
14	83	49.8
15	113	39.94
16	19	46
17	36, 38	39
18	31, 43	39
19	124	39.94
20	39, 41	39
21	9	40.43
22	125	39.94
23	100	46.7
24	97	46.7
25	104	46.7
26	121	39.94
27	62, 69	39
28	44, 61	39
29	110	46.7
30	56, 77	39
31	96	46.7
32	40, 47	39
33	45, 48	39
34	118	39.94

ตารางที่ 4.10 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวใน  
แต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
35	99	46.7
36	1	40.43
37	17	46
38	101	46.7
39	130	39.94
40	123	39.94
41	64, 65	39
42	81	49.8
43	2	40.43
44	107	46.7
45	102	46.7
46	10	40.43
47	119	39.94
48	7	40.43
49	114	39.94
50	70, 73	39
51	111	39.94
52	91	46.7
53	6	40.43
54	4	40.43
55	98	46.7
56	18	46
57	108	46.7
58	86	49.8
59	126	39.94
60	128	39.94
61	3	40.43
62	34, 57	39

ตารางที่ 4.10 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวใน  
แต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
63	84	49.8
64	115	39.94
65	94	46.7
66	12	46
67	127	39.94
68	106	46.7
69	72, 75	39
70	14	46
71	89	49.8
72	92	46.7
73	8	40.43
74	20	46
75	117	39.94
76	103	46.7
77	90	49.8
78	13	46
79	87	49.8
80	95	46.7
81	59, 78	39
82	15	46
83	50, 54	39
84	79, 80	39
85	11	46
86	82	49.8
87	42, 49	39
88	67, 71	39
89	46, 51	39
90	88	49.8





จากรูปที่ 4.5 พบว่า มีพื้นที่เกษตรกรจำนวน 10 แปลงจากกลุ่มพื้นที่ตำบลที่ 3 และพื้นที่เกษตรกรจำนวน 10 แปลงจากกลุ่มพื้นที่ตำบลที่ 4 บางส่วน ถูกปฏิเสธในการเก็บเกี่ยวและทำพันธสัญญากับโรงงานแปรรูป เนื่องจากปริมาณผลผลิตในพื้นที่เหล่านี้ไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน รวมทั้งไม่สอดคล้องกับความจุสูงสุดของรถขนส่งและปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม สำหรับแปลงมันสำปะหลังที่ห่างไกลจากโรงงาน เช่น กลุ่มพื้นที่ตำบลที่ 4 อาจส่งผลให้ต้นทุนค่าขนส่งสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีการคิดต้นทุนค่าขนส่งแบบทางตรงเพื่อป้องกันมันสำปะหลังเน่าเสียระหว่างการขนส่ง

สำหรับพื้นที่แปลงที่ได้คัดเลือกทำพันธสัญญา โรงงานจะต้องติดต่อเกษตรกรเพื่อแจ้งกำหนดวันที่ต้องส่งมอบผลผลิตสำหรับการแปรรูป ผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังพบว่า โรงงานจะได้รับปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว 3,875.1 ตัน ปริมาณผลิตภัณฑ์แปรรูป 775.02 ตัน ซึ่งทำให้เกิดรายได้ 14,725,380 บาท สำหรับต้นทุนรวม ประกอบด้วย ต้นทุนค่าขนส่ง 37,158.03 บาท และต้นทุนการรับซื้อ 13,562,850 บาท ส่งผลให้ผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 1,125,371.97 บาท จากเงื่อนไขที่กำหนดให้มีการเก็บเกี่ยวหนึ่งครั้ง ในปริมาณคงที่ หรืออัตราการเก็บเกี่ยวผลผลิต 100 เปอร์เซ็นต์ ถือเป็นการสนับสนุนให้เกษตรกรได้จำหน่ายผลผลิตในพื้นที่ของตนในปริมาณที่มากที่สุดและไม่เสียโอกาสในการเก็บเกี่ยว ในแต่ละวัน โรงงานจะได้รับผลผลิตจาก 1 หรือ 2 แปลงในปริมาณที่สอดคล้องกับกำลังการผลิตที่กำหนดไว้ คือ 50 ตัน ยกตัวอย่างเช่น ในวันที่ 1 โรงงานจะได้รับผลผลิตจากแปลงที่ 109 จำนวน 46.7 ตัน หรือ ในวันที่ 18 โรงงานจะได้รับผลผลิตจากแปลงที่ 31 และ 43 อย่างละ 19.5 ตัน รวมเป็น 39 ตัน

ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่ต่าง ๆ นั้น ต้องสอดคล้องกับความจุสูงสุดของรถขนส่งและปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม จากปัญหาที่กำหนดให้โรงงานแปรรูปมีรถขนส่งขนาดความจุ 25 ตัน จำนวน 2 คัน ซึ่งแต่ละคันอนุญาตให้วิ่งได้ไม่เกิน 1 เที่ยวต่อวัน ผลการจัดตารางปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 90 ของรถคันที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

วันที่	คันที่ 1		คันที่ 2	
	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)
1	109	1	109	0.87
2	85	1	85	0.99
3	129	1	129	0.60
4	32	0.78	35	0.78
5	16	1	16	0.84
6	122	1	122	0.60
7	33	0.78	37	0.78
8	5	1	5	0.62
9	105	1	105	0.87
10	120	1	120	0.60
11	112	1	112	0.60
12	93	1	93	0.87
13	116	1	116	0.60
14	83	1	83	0.99
15	113	1	113	0.60
16	19	1	19	0.84
17	36	0.78	38	0.78
18	31	0.78	43	0.78
19	124	1	124	0.60
20	39	0.78	41	0.78
21	9	1	9	0.62
22	125	1	125	0.60
23	100	1	100	0.87
24	97	1	97	0.87
25	104	1	104	0.87
26	121	1	121	0.60
27	62	0.78	69	0.78

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1  
(ต่อ)

วันที่	คันที่ 1		คันที่ 2	
	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)
28	44	0.78	61	0.78
29	110	1	110	0.87
30	56	0.78	77	0.78
31	96	1	96	0.87
32	40	0.78	47	0.78
33	45	0.78	48	0.78
34	118	1	118	0.60
35	99	1	99	0.87
36	1	1	1	0.62
37	17	1	17	0.84
38	101	1	101	0.87
39	130	1	130	0.60
40	123	1	123	0.60
41	64	0.78	65	0.78
42	81	1	81	0.99
43	2	1	2	0.62
44	107	1	107	0.87
45	102	1	102	0.87
46	10	1	10	0.62
47	119	1	119	0.60
48	7	1	7	0.62
49	114	1	114	0.60
50	70	0.78	73	0.78
51	111	1	111	0.60
52	91	1	91	0.87
53	6	1	6	0.62

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1  
(ต่อ)

วันที่	คันที่ 1		คันที่ 2	
	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)
54	4	1	4	0.62
55	98	1	98	0.87
56	18	1	18	0.84
57	108	1	108	0.87
58	86	1	86	0.99
59	126	1	126	0.60
60	128	1	128	0.60
61	3	1	3	0.62
62	34	0.78	57	0.78
63	84	1	84	0.99
64	115	1	115	0.60
65	94	1	94	0.87
66	12	1	12	0.84
67	127	1	127	0.60
68	106	1	106	0.87
69	72	0.78	75	0.78
70	14	1	14	0.84
71	89	1	89	0.99
72	92	1	92	0.87
73	8	1	8	0.62
74	20	1	20	0.84
75	117	1	117	0.60
76	103	1	103	0.87
77	90	1	90	0.99
78	13	1	13	0.84
79	87	1	87	0.99

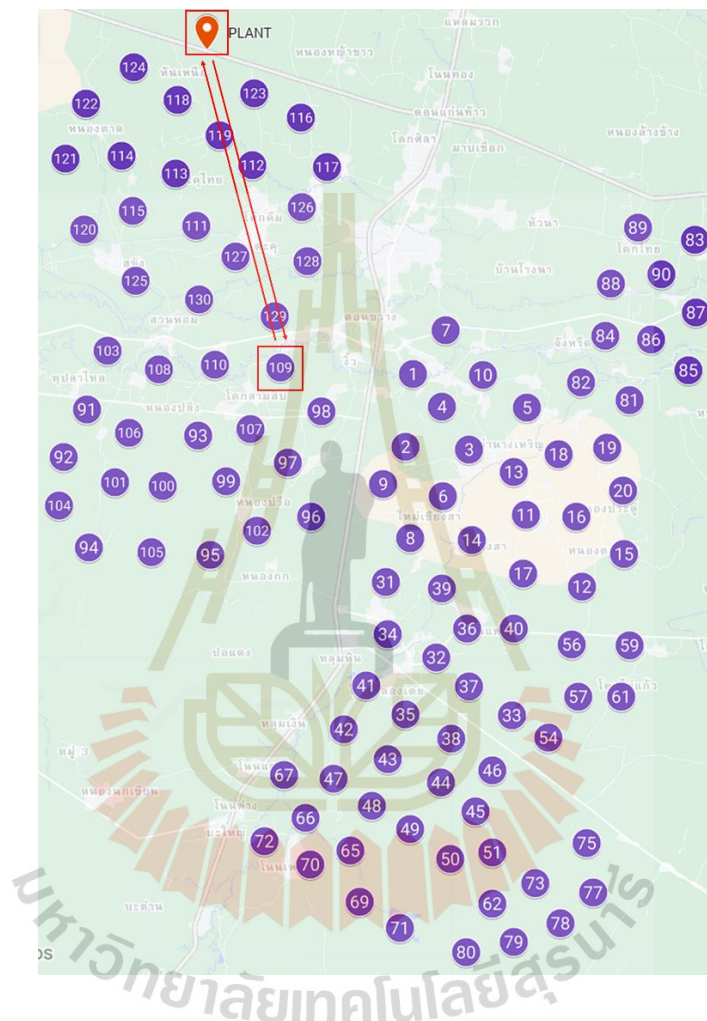
ตารางที่ 4.11 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 1  
(ต่อ)

วันที่	คันที่ 1		คันที่ 2	
	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลขแปลง	ปริมาณเที่ยวรถ (เที่ยว)
80	95	1	95	0.87
81	59	0.78	78	0.78
82	15	1	15	0.84
83	50	0.78	54	0.78
84	79	0.78	80	0.78
85	11	1	11	0.84
86	82	1	82	0.99
87	42	0.78	49	0.78
88	67	0.78	71	0.78
89	46	0.78	51	0.78
90	88	1	88	0.99

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 สามารถบ่งชี้ได้ว่า รถขนส่งของโรงงานจะต้องมีปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน โดยปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมนั้นต้องสอดคล้องกับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยว ความจุสูงสุดของรถขนส่ง และปริมาณเที่ยวรถขนส่งสูงสุด ดังนั้น ผลตารางปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวของโรงงานจะต้องสอดคล้องกับผลตารางปริมาณเที่ยวที่รถเหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น ในวันที่ 1 โรงงานจะได้รับผลผลิตรวมจากแปลงที่ 109 ทั้งหมด 46.7 ตัน โดยแบ่งเป็นการวิ่งรถคันที่ 1 แบบเต็มคัน 1 เที่ยว เพื่อรับผลผลิตจากแปลงนี้จำนวน 25 ตัน ส่วนผลผลิตที่เหลืออีก 21.7 ตันจากแปลงเดียวกัน จะถูกบรรจุในรถคันที่ 2 ซึ่งเป็นการวิ่งแบบไม่เต็ม หรือในวันที่ 18 โรงงานจะได้รับผลผลิตจากแปลงที่ 31 และ 43 แปลงละ 19.5 ตัน โดยรถแต่ละคันจะมีการวิ่งแบบไม่เต็มคัน 1 เที่ยว จากตารางที่ 4.11 สามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ว่า โดยส่วนใหญ่แล้วรถคันที่ 1 จะมีการวิ่งรถแบบเต็มคัน ในขณะที่รถคันที่ 2 ต้องรับปริมาณผลผลิตที่เหลือจากรถคันที่ 1 ซึ่งอาจมีการวิ่งรถแบบไม่เต็มคัน วิธีการนี้จึงสนับสนุนให้โรงงานได้วางแผนการใช้ทรัพยากรรถขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงตัวอย่างการคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 1 และ 18 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณปริมาณการขนส่งผลผลิตแสดงได้ดังนี้

วันที่ 1 โรงงานรับผลผลิตจากเกษตรกรแปลงที่ 109 จำนวน 46.7 ตัน โดยใช้รถทั้งหมด 2 คัน ดังนี้

- คันที่ 1:  $25 \times 1 = 25$  ตัน
- คันที่ 2:  $25 \times 0.87 = 21.7$  ตัน

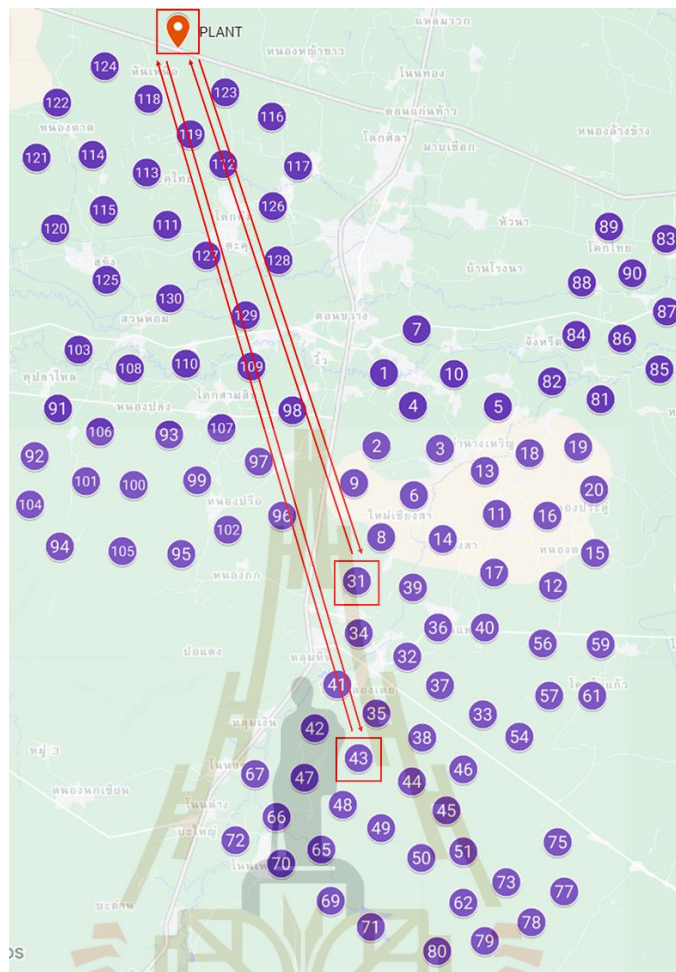


รูปที่ 4.6 การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 1 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

วันที่ 18 โรงงานรับผลผลิตจากเกษตรกรแปลงที่ 18 จำนวน 39 ตัน โดยใช้รถทั้งหมด 2 คัน ดังนี้

- คันที่ 1:  $25 \times 0.78 = 19.5$  ตัน (แปลงที่ 31)
- คันที่ 2:  $25 \times 0.78 = 19.5$  ตัน (แปลงที่ 43)





รูปที่ 4.7 การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในวันที่ 18 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม ผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวจะถูกเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS โดยผลปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว (90 วัน) ที่ได้จากอัลกอริทึม นั้นมีค่าเท่ากันกับการแก้ไขปัญหผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS โดยอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ในรอบการคำนวณแรก คือ รอบที่ 2 จาก 1,000 รอบการคำนวณ ซึ่งใช้เวลาเพียงแค่ 1.06 วินาที ซึ่งถือว่ามีความรวดเร็วเทียบเท่ากับการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS สำหรับรูปแบบการจัดตารางปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวและปริมาณที่ควรตัดที่เหมาะสมที่ได้จากทั้งสองวิธีการนั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม จำนวนพื้นที่ที่โรงงานคัดเลือกทำพันธสัญญาที่มีจำนวน 110 แปลงเท่ากัน จึงทำให้ต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมและต้นทุนการรับซื้อของทั้งสองวิธีเท่ากัน ส่งผลให้ผลกำไรตอบแทนตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวสูงสุดเท่ากัน โดยปกติแล้วโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS จะสามารถสร้างแผนการจัดตารางที่ดีที่สุดได้เพียงหนึ่งรูปแบบเท่านั้น

ในขณะที่วิธีค้นหาแบบแมลงหิวสามารถสร้างแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวได้หลายรูปแบบ เนื่องจากด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวมีความยืดหยุ่นในการค้นหาคำตอบวงกว้างขึ้น จำนวนแผนการที่ดีที่สุดอาจมีมากกว่า 1 แผนการ ซึ่งจะขึ้นประโยชน์ต่อโรงงานแปรรูปในการสร้างทางเลือกทำสัญญากับเกษตรกร ผลการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด ผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว และเวลาที่ใช้ในการทดสอบปัญหาระหว่างอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวและโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

วิธีการ	ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด (ตัน)	ผลกำไรตอบแทนสูงสุด (บาท)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
วิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)	3,875.1	1,125,371.97	1.06
โปรแกรม GAMS	3,875.1	1,125,371.97	3.26

#### 4.2.2 กรณีศึกษาที่ 2: การวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังรายสัปดาห์

กรณีศึกษาเป็นการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายสัปดาห์ ซึ่งขอบเขตในการศึกษาพื้นที่มีขนาดใหญ่กว่าการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายวัน ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณผลผลิตจากหัวข้อที่ 4.1 มาทำการวิเคราะห์ในระดับหมู่บ้านเพื่อคัดเลือกพื้นที่เกษตรกรเข้าร่วมทำพันธสัญญา รวมทั้งวางแผนการจัดตารางปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวและปริมาณที่ยารถที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ การวางแผนดังกล่าวกำหนดให้อยู่ในช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวทั้งหมด 120 วัน หรือประมาณ 17 สัปดาห์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้รับการพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA) สำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ กำหนดให้มีการศึกษาโรงงานแปรรูป ( $f$ ) 1 แห่ง ซึ่งมีค่าปริมาณผลผลิตรองรับกำลังการผลิตต่ำสุด ( $PC_{min,f}$ ) 900 ตัน ค่าปริมาณผลผลิตรองรับกำลังการผลิตสูงสุด ( $PC_{max,f}$ ) 1,000 ตัน และอัตราการแปรรูปมันสำปะหลัง ( $RP$ ) เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.2 โดยโรงงานมีต้นทุนการรับซื้อผลผลิตมันสำปะหลัง ( $PH_f$ ) 3,500 บาทต่อตัน และราคาขายสินค้าแปรรูป ( $SP_f$ ) 19,000 บาทต่อตัน สำหรับทรัพยากรรถขนส่ง กำหนดให้โรงงานแปรรูปมีรถขนส่ง ( $v$ ) 2 คัน ซึ่งมีความจุสูงสุดโดยรวมต่อสัปดาห์ ( $TCAP_f$ ) 500 ตัน แต่ละคันอนุญาตให้วิ่งได้ ( $TRIP_f$ ) ไม่เกิน 1 เที่ยวต่อสัปดาห์ โดยมีต้นทุนการขนส่งโดยรวม ( $TC_v$ ) 0.46 บาทต่อกิโลเมตรต่อตัน ผู้วิจัยได้จำแนกข้อมูลผลผลิตสะสมพยากรณ์ในแต่ละตำบลออกตามจำนวนหมู่บ้านของเกษตรกร ข้อมูลพื้นที่ศึกษาในการทดสอบ

อัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ได้แก่ ผลผลิตสะสมพยากรณ์ จำนวน หมู่บ้าน ผลผลิตต่อหมู่บ้าน และระยะทาง แสดงดังตารางที่ 4.13 โดยข้อมูลระยะทางจากหมู่บ้านได้ ประเมินจากจุดศูนย์กลางของตำบล

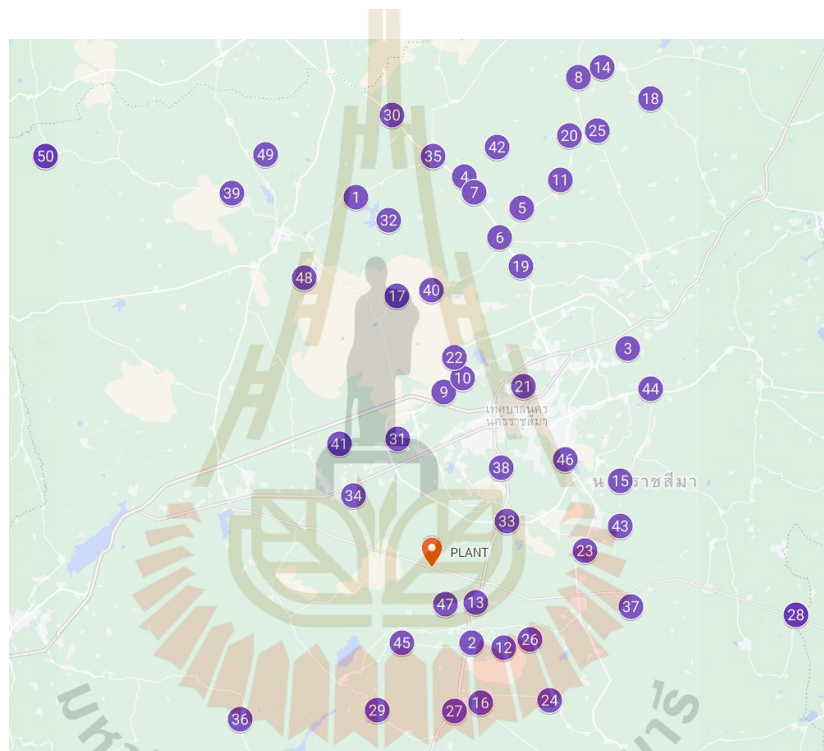
ตารางที่ 4.13 ข้อมูลพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

พื้นที่	ผลผลิตสะสม พยากรณ์ (ตัน)	จำนวนหมู่บ้าน (หมู่บ้าน)	ผลผลิตต่อ หมู่บ้าน (ตัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	695.09	9	77.23	87.1
2	727.79	10	72.78	18
3	1,178.17	15	78.54	61.6
4	1,647.86	20	82.39	75.2
5	2,038.56	10	203.86	70.4
6	2,413.90	17	141.99	63.7
7	2,428.55	11	220.78	72.5
8	2,416.30	7	345.19	93.1
9	2,473.12	10	247.31	43.3
10	2,680.09	8	335.01	41.3
11	2,826.42	9	314.05	77.6
12	2,944.23	9	327.14	25.8
13	3,029.81	18	168.32	14.2
14	3,511.51	9	390.17	97.6
15	3,704.12	10	370.41	42.9
16	4,016.30	15	267.75	28.1
17	4,131.85	11	375.62	63.5
18	4,170.03	10	417.00	102
19	4,325.82	13	332.76	59.6
20	4,869.75	10	486.97	85.1
21	4,914.34	11	446.76	41.7
22	5,109.14	18	283.84	41.5
23	5,221.52	10	522.15	32.6
24	5,654.63	14	403.90	38.8

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลพื้นที่ศึกษาสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 (ต่อ)

พื้นที่	ผลผลิตสะสม พยากรณ์ (ตัน)	จำนวนหมู่บ้าน (หมู่บ้าน)	ผลผลิตต่อ หมู่บ้าน (ตัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
25	5,834.18	15	388.95	86.9
26	6,075.75	12	506.31	25.9
27	6,338.27	10	633.83	27.9
28	6,414.40	8	801.80	54.9
29	6,493.55	9	721.51	40.1
30	6,500.92	8	812.62	88.7
31	6,530.75	8	816.34	42.1
32	6,706.31	19	352.96	71
33	6,941.23	10	694.12	32.6
34	7,094.06	15	472.94	23.3
35	7,288.74	11	662.61	80.4
36	7,836.36	14	559.74	49.8
37	8,102.63	16	506.41	39.6
38	8,142.80	5	1,628.56	26.4
39	8,342.19	11	758.38	83.5
40	8,408.83	10	840.88	61.7
41	8,425.17	13	648.09	32.3
42	8,810.44	15	587.36	81.2
43	8,950.54	12	745.88	38.5
44	9,154.92	10	915.49	56.7
45	9,246.67	11	840.61	21.1
46	9,316.45	10	931.64	34.6
47	9,985.89	21	475.52	8.9
48	10,280.13	13	790.78	74
49	10,477.59	15	698.51	86.8
50	34,542.11	11	3,140.19	96.8

ในกรณีศึกษานี้มิได้มีการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาในระดับหมู่บ้านซึ่งกระจายตัวใกล้เคียงกับโรงงานภายในรัศมี 100 กิโลเมตร จำนวน 50 ตำบล (50 หมู่บ้าน) โดย 1 จุดแทน 1 หมู่บ้านในตำบลใด ๆ ซึ่งคิดเป็นจุดศูนย์กลางในการรวบรวมผลผลิตที่มาจากครัวเรือนต่าง ๆ เพื่อส่งมอบให้กับโรงงานแปรรูปในแต่ละสัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a$  และ  $c$  เท่ากับ 1 และ  $b$  เท่ากับ 2 โดยที่จำนวนประชากรแมลงหวี่สูงสุด ( $PN_{max}$ ) เท่ากับ 5 และจำนวนรอบการทำงานสูงสุด ( $IR_{max}$ ) เท่ากับ 5,000 รอบ ผลการจัดตารางซึ่งระบุหมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานต้องเก็บเกี่ยวระหว่างสัปดาห์ 1 ถึง 17 แสดงดังตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.8 พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 50 หมู่บ้าน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 4.14 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละสัปดาห์ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
1	2,45	913.39
2	5,39	962.24
3	12,17,22	986.60
4	7,29	942.29

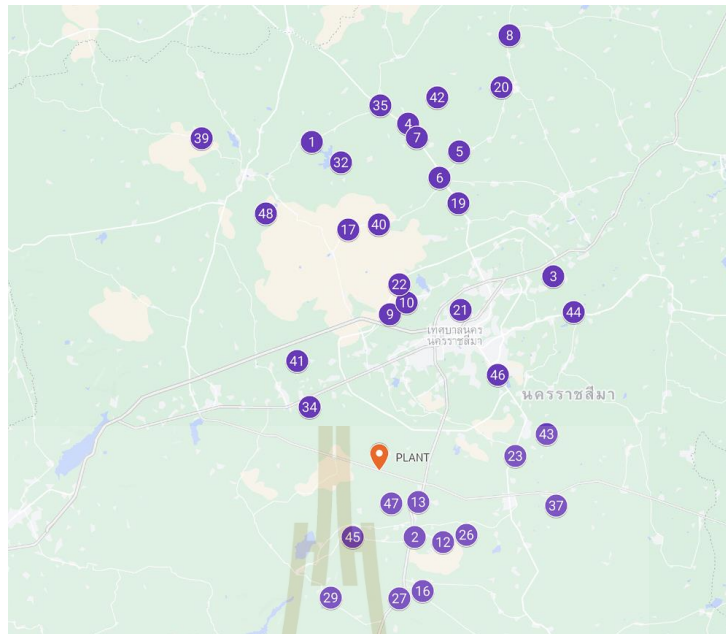
ตารางที่ 4.14 หมายเลขแปลงและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังรวมที่โรงงานแปรรูปต้องเก็บเกี่ยวในแต่ละสัปดาห์ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 (ต่อ)

วันที่	หมายเลขแปลง	ปริมาณผลผลิตรวม (ตัน)
5	27,32	986.79
6	9,43	993.19
7	1,40	918.11
8	8,41	993.28
9	44	915.49
10	21,23	968.91
11	34,37	979.35
12	3,4,10,47	971.46
13	13,48	959.10
14	46	931.64
15	20,26	993.29
16	19,35	995.37
17	6,16,42	997.10

ผลการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่จำนวน 50 แปลง พบว่าฝูงแมลงหวี่สามารถหาผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวของโรงงานแปรรูปภายในระยะเวลาอันสั้น โดยปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดที่โรงงานสามารถรับซื้อจากเกษตรกรตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวซึ่งเก็บค่าในไว้ตัวแปร *smellBest* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการทำงานเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการพิจารณาจุดตัดของเมทริกซ์ที่สามารถป้องกันการติดค่าตอบท้องถิ่นและทำให้การค้นหาคำตอบมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น

จากผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่รายสัปดาห์พบว่า มีพื้นที่เกษตรกรจำนวน 36 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 29, 32, 34, 35, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 ได้รับการคัดเลือกเก็บเกี่ยวและทำพันธสัญญากับโรงงานแปรรูป ดังแสดงในรูปที่ 4.9





รูปที่ 4.9 พื้นที่คัดเลือกทำพันธสัญญากับโรงงาน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

จากรูปที่ 4.9 พบว่า มีพื้นที่เกษตรกรจำนวน 14 แปลงถูกปฏิเสธในการเก็บเกี่ยวและทำพันธสัญญา เนื่องจากปริมาณผลผลิตในพื้นที่ดังกล่าวไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน รวมทั้งไม่สอดคล้องกับความจุสูงสุดของรถขนส่งและปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม จากผลคำนวณตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง โรงงานจะได้รับปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว 16,407.59 ตัน ปริมาณผลิตภัณฑ์แปรรูป 3,281.52 ตัน ซึ่งทำให้เกิดรายได้ 62,348,836.25 บาท สำหรับต้นทุนรวม ประกอบด้วย ต้นทุนค่าขนส่ง 373,696.48 บาท และต้นทุนการรับซื้อ 57,426,559.70 บาท ส่งผลให้ผลกำไรต่อบาทสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 4,548,580.06 บาท ในแต่ละสัปดาห์โรงงานจะได้รับผลผลิตจากพื้นที่ต่าง ๆ หนึ่งพื้นที่หรือมากกว่าหนึ่งพื้นที่ในปริมาณที่สอดคล้องกับกำลังการผลิตที่กำหนดไว้ คือ ระหว่าง 900 ถึง 1,000 ตัน ยกตัวอย่างเช่น ในสัปดาห์ที่ 6 โรงงานจะได้รับผลผลิตจาก 2 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 9 จำนวน 247.31 ตัน และแปลงที่ 43 จำนวน 745.88 ตัน หรือในสัปดาห์ที่ 17 โรงงานจะได้รับผลผลิตจาก 3 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 6 จำนวน 141.99 ตัน แปลงที่ 16 จำนวน 267.75 ตัน และแปลงที่ 42 จำนวน 587.36 ตัน

ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังดังกล่าวต้องสอดคล้องกับความจุสูงสุดของรถขนส่งและปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสม จากปัญหาที่กำหนดให้โรงงานแปรรูปมีรถขนส่งขนาด ความจุสูงสุดโดยรวมต่อสัปดาห์ 500 ตัน จำนวน 2 คัน แต่ละคันอนุญาตให้วิ่งได้ไม่เกิน 1 เที่ยวต่อสัปดาห์ ผลการจัดตารางปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 17 ของรถคันที่ 1 และ 2 แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

ลำดับ	คันที่ 1			คันที่ 2		
	หมายเลข แปลง	ปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	รวมปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลข แปลง	ปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	รวมปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)
1	45	1	1	2	0.15	0.83
				45	0.68	
2	39	1	1	5	0.41	0.93
				39	0.52	
3	12	0.25	1	12	0.41	0.98
	17	0.75		22	0.57	
4	29	1	1	7	0.44	0.88
				9	0.44	
5	27	1	1	27	0.27	0.98
				32	0.71	
6	43	1	1	43	0.49	0.98
				9	0.49	
7	40	1	1	1	0.15	0.83
				40	0.68	
8	41	1	1	8	0.69	0.99
				41	0.30	
9	44	1	1	44	0.83	0.83
10	23	1	1	21	0.89	0.93
				23	0.04	
11	37	1	1	34	0.95	0.96
				37	0.01	
12	3	0.16	0.99	47	0.95	0.95
	4	0.16				
	10	0.67				
13	48	1	1	13	0.34	0.92
				48	0.58	

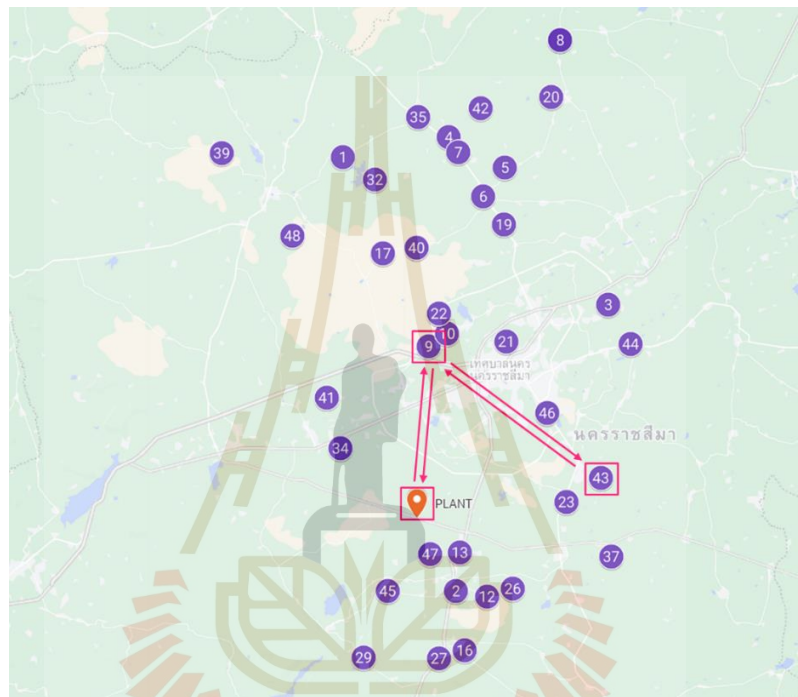
ตารางที่ 4.15 ปริมาณเที่ยวรถที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละวัน สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 (ต่อ)

สัปดาห์	คันที่ 1			คันที่ 2		
	หมายเลข แปลง	ปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	รวมปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	หมายเลข แปลง	ปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)	รวมปริมาณ เที่ยวรถ (เที่ยว)
14	46	1	1	46	0.86	0.86
15	26	1	1	20	0.97	0.98
				26	0.01	
16	35	1	1	19	0.67	1
				35	0.33	
17	42	1	1	6	0.28	0.99
				16	0.54	
				42	0.17	

จากตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ผลตารางปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวของโรงงานจะต้องสอดคล้องกับผลตารางปริมาณเที่ยวที่รถเหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น ในสัปดาห์ที่ 6 โรงงานจะได้รับผลผลิตรวมทั้งสิ้น 993.19 ตัน โดยแบ่งเป็นการวิ่งรถคันที่ 1 แบบเต็มคัน 1 เที่ยว เพื่อรับผลผลิตจากแปลงที่ 43 จำนวน 500 ตัน ผลผลิตที่เหลืออีก 245.88 ตัน จะถูกบรรจุในรถคันที่ 2 นอกจากนี้ รถคันที่ 2 ยังมีการวิ่งรถแบบไม่เต็มคันเพื่อรับผลผลิตจากแปลงที่ 9 จำนวน 247.31 ตัน หรือในสัปดาห์ที่ 17 โรงงานจะได้รับผลผลิตรวมทั้งสิ้น 997.10 ตัน โดยแบ่งเป็นการวิ่งรถคันที่ 1 แบบเต็มคัน 1 เที่ยว เพื่อรับผลผลิตจากแปลงที่ 42 จำนวน 500 ตัน ส่วนผลผลิตที่เหลืออีก 87.36 ตัน จากแปลงเดียวกันจะถูกบรรจุในรถคันที่ 2 นอกจากนี้ รถคันที่ 2 ยังมีการวิ่งรถแบบไม่เต็มคันเพื่อรับผลผลิตจากแปลงที่ 6 จำนวน 141.99 ตัน และแปลงที่ 16 จำนวน 267.75 ตัน เนื่องจากปัญหานี้เป็นการวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายสัปดาห์ ผลผลิตมันสำปะหลังได้รับการรวบรวมจากพื้นที่คร้วเรือนต่าง ๆ เพื่อส่งมอบให้กับโรงงานแปรรูปในแต่ละสัปดาห์ ดังนั้น ความจุสูงสุดของรถขนส่ง 500 ตันต่อสัปดาห์ จึงเกิดจากการขนส่งรายวันของรถแต่ละคันซึ่งอาจมีปริมาณเที่ยวรถที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4.15 พบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วรถคันที่ 1 มีการวิ่งรถแบบเต็มคัน ในขณะที่รถคันที่ 2 ต้องรับปริมาณผลผลิตที่เหลือจากรถคันที่ 1 ซึ่งอาจมีการวิ่งรถแบบไม่เต็มคัน รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงตัวอย่างการคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 1 และ 3 ตามลำดับ สำหรับการคำนวณปริมาณการขนส่งผลผลิตแสดงได้ดังนี้

สัปดาห์ที่ 6 โรงงานจะได้รับผลผลิตมันสำปะหลังทั้งหมด 993.19 ตัน ซึ่งมาจากเกษตรกรแปลงที่ 9 จำนวน 247.31 ตัน และแปลงที่ 43 จำนวน 745.88 ตัน โดยใช้รถทั้งหมด 2 คัน ดังนี้

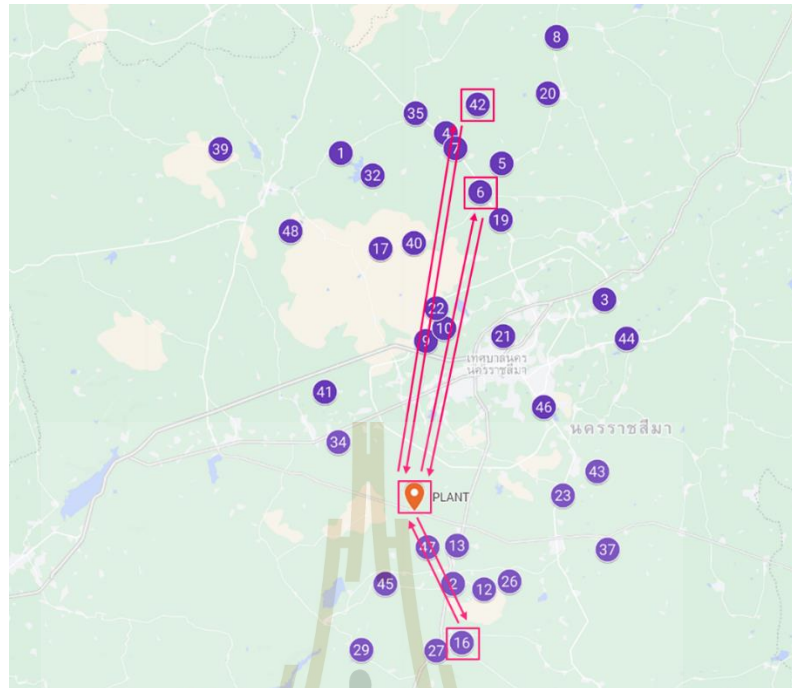
- คันที่ 1:  $500 \times 1 = 500$  ตัน (แปลงที่ 43)
- คันที่ 2:  $500 \times 0.4946 = 247.31$  ตัน (แปลงที่ 9)
- คันที่ 2:  $500 \times 0.4918 = 245.88$  ตัน (แปลงที่ 43)



รูปที่ 4.10 การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 6 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

สัปดาห์ที่ 17 โรงงานจะได้รับผลผลิตมันสำปะหลังทั้งหมด 997.10 ตัน ซึ่งมาจากเกษตรกรแปลงที่ 6 จำนวน 141.99 ตัน แปลงที่ 16 จำนวน 267.75 ตัน และแปลงที่ 42 จำนวน 87.36 ตัน โดยใช้รถทั้งหมด 2 คัน ดังนี้

- คันที่ 1:  $500 \times 1 = 500$  ตัน (แปลงที่ 42)
- คันที่ 2:  $500 \times 0.2840 = 141.99$  ตัน (แปลงที่ 6)
- คันที่ 2:  $500 \times 0.5355 = 267.75$  ตัน (แปลงที่ 16)
- คันที่ 2:  $500 \times 0.1747 = 87.36$  ตัน (แปลงที่ 42)



รูปที่ 4.11 การคำนวณการเก็บเกี่ยวผลผลิตในสัปดาห์ที่ 17 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

ในการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม ผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่จะถูกเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS โดยอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถค้นหารูปแบบการจัดตารางที่ดีที่สุดภายใน 228.39 วินาที หรือ 2.25 นาที ในขณะที่โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ได้ค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้หลายแผนการอย่างต่อเนื่องภายใต้เงื่อนไขกำลังการผลิตที่มีขอบเขตจำกัด จึงใช้เวลานานมากกว่า 6 ชั่วโมงในการแก้ไขปัญหา ดังนั้น อัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA) จึงมีประสิทธิภาพในด้านคำตอบและเวลาสูงกว่าการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ผลการเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด ผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว และเวลาที่ใช้ในการทดสอบปัญหาระหว่างอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่และโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

วิธีการ	ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด (ตัน)	ผลกำไรตอบแทนสูงสุด (บาท)	เวลาที่ใช้
วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA)	16,407.59	4,548,580.06	2.25 นาที
โปรแกรม GAMS	-	-	มากกว่า 6 ชั่วโมง



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากสถานการณ์ผลผลิตมันสำปะหลังที่มีปริมาณลดลง การจัดหาผลผลิตให้เพียงพอต่อการแปรรูปของโรงงานจึงเป็นสิ่งที่ท้าทาย นโยบายเกษตรพันธสัญญาเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยโรงงานได้รับผลผลิตที่มีคุณภาพดีในปริมาณที่เหมาะสม ในการคัดเลือกเกษตรกรผู้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้าทำเกษตรพันธสัญญา โรงงานแปรรูปจะทำการสร้างตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่อใกล้ถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวพืชผลเพื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตที่ต้องเก็บเกี่ยวจากพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตและการขนส่ง ทั้งนี้เพื่อให้ได้รับปริมาณผลผลิตและผลกำไรตอบแทนสูงสุดตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว การวางแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังจำเป็นต้องทราบปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังที่มีอยู่ในแต่ละพื้นที่ การศึกษานี้ได้พิจารณาพื้นที่เกษตรกรจำนวน 50 ตำบลในจังหวัดนครราชสีมา และใช้การวิเคราะห์ถดถอยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรคือ ปริมาณน้ำฝนและปริมาณผลผลิตมันสำปะหลัง เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังสะสมของฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่จะมาถึง การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ได้นำมาใช้เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างข้อมูลผลผลิตสะสมจริงและผลผลิตสะสมพยากรณ์และปรับปรุงสมการให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

แบบจำลองการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบอัลกอริทึมที่เสนอวิธีการทางเมตเฮิวริสติกส์ คือ วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA) ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่สามารถประยุกต์กับปัญหาการเก็บเกี่ยวพืชได้ ปัญหานี้ได้มีการพิจารณาโรงงานแปรรูป 1 แห่ง ซึ่งในแต่ละช่วงเวลามีกำลังการผลิตคงที่และสามารถเก็บเกี่ยวได้หนึ่งครั้ง การจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษาตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ได้แก่ รายวันและรายสัปดาห์ สำหรับการศึกษาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายวันได้พิจารณาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวทั้งหมด 90 วัน และจำแนกข้อมูลผลผลิตสะสมออกเป็นระดับครัวเรือน เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้เทียบเท่ากับผลคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS โดยผลคำตอบที่ได้มีการลู่เข้าอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการพิจารณาจุดตัดของเมทริกซ์ที่สามารถป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่น โดยพื้นที่เกษตรกรจำนวน 110 จาก 130 แปลง ได้รับการคัดเลือกเก็บเกี่ยวและทำพันธสัญญากับโรงงานแปรรูป ตลอด



ฤดูกาลเก็บเกี่ยวโรงงานจะได้รับผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด 3,875.1 ตัน และได้รับผลตอบแทนสูงสุด 1,125,371.97 บาท นอกจากนี้ ผลการตัดสินใจปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละวันต้องมีความสอดคล้องกับความจุของรถ การศึกษาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวรายวันได้รับการขยายผลเป็นรายสัปดาห์ ซึ่งมีการจำแนกข้อมูลผลผลิตสะสมออกตามจำนวนหมู่บ้าน รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวทั้งหมด 17 สัปดาห์ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ใช้เวลานานกว่า 6 ชั่วโมงในการแก้ไขปัญหา อัลกอริทึมดังกล่าวจึงมีประสิทธิภาพเหนือกว่าโปรแกรมสำเร็จรูปทั้งในด้านของคำตอบและเวลา จากผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังพบว่า พื้นที่เกษตรกรจำนวน 36 จาก 50 แปลง ได้รับการคัดเลือกเก็บเกี่ยวและทำพันธสัญญากับโรงงานแปรรูป โดยตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยวโรงงานจะได้รับผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด 16,407.59 ตัน และได้รับผลตอบแทนสูงสุด 4,548,580.06 บาท

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืชสามารถพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริงมากขึ้น เช่น การจัดสรรแรงงาน หรือการกำหนดจุดรับซื้อ

5.2.2 ใช้วิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์อื่น ๆ เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) และวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเก็บเกี่ยวพืชเพื่อวัดประสิทธิภาพในด้านคำตอบและเวลาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA)

5.2.3 การจัดสรรทรัพยากรรถขนส่งของโรงงานสามารถประยุกต์ใช้ตัวแบบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งผลผลิตมันสำปะหลังในแต่ละช่วงเวลาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## รายการอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2561). *ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้เรื่องมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์*. สืบค้นจาก <http://siweb1.dss.go.th/repack/fulltext/IR44.pdf>
- กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (2565). *ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง*. สืบค้นจาก [https://oldweb.ditp.go.th/contents\\_attach/961666/961666.pdf](https://oldweb.ditp.go.th/contents_attach/961666/961666.pdf)
- กาญจนา สวงวนวงศ์วาน (2548). *ประวัติศาสตร์เศรษฐกิจ*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- จำลอง เจียมจันรรจา. (2538). *เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชเศรษฐกิจ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยวัช โขวเจริญสุข (2566). *แนวโน้มนวัตกรรม/อุตสาหกรรม ปี 2566-68 อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง*. สืบค้นจาก [https://www.krungsri.com/getmedia/863b0aec-1bf1-449b-9b6b-1235a3a05650/IO\\_Cassava\\_230203\\_TH\\_EX.pdf](https://www.krungsri.com/getmedia/863b0aec-1bf1-449b-9b6b-1235a3a05650/IO_Cassava_230203_TH_EX.pdf)
- ณัฐนันท์ เหลืองธิชัยวานิช และศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ (2552). *การวางแผนการปลูกและจัดหามันสำปะหลังสดสำหรับโรงงานแป้งมันสำปะหลัง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สืบค้นจาก <https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace>
- ปรมาภรณ์ วีระพันธ์. (2562). *การคุ้มครองสิทธิเกษตรกรในระบบเกษตรพันธสัญญา*. *วารสารรัชต์ภาคย์*, 13(31), 139-156.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2567). *การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง*. สืบค้นจาก <https://pirun.ku.ac.th/~faasatp/734415/data/chapter6.pdf>
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2567). *การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายและสหสัมพันธ์*. สืบค้นจาก <https://ag2.kku.ac.th/eLearning/100402/Doc%5CLab12.pdf>
- มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. (2567). *การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว*. สืบค้นจาก <http://oservice.skru.ac.th/ebookft/374/chapter8.pdf>
- ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2560). *การเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์ของภาคการส่งออกมันสำปะหลัง ภาคอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลัง และเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ในเขตจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบุรีรัมย์*. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/6997/2/Fulltext.pdf>
- สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2553). *โครงการศึกษาแนวทางการจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของสินค้าเกษตร*. สืบค้นจาก <https://tdri.or.th/wpcccontent/uploads/2012/a1>

48.pdf

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2564). *มันสำปะหลังโรงงาน : เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ระดับประเทศ ภาค จังหวัดและอำเภอ ปี 2564*. สืบค้นจาก <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/มันสำปะหลังปี%2064%20รายอำเภอ.pdf>
- อดิเทรท ชัยนวกุล, ธนิตา โชนงนุช, และอลงกรณ์ เมืองไหว. (2562). การศึกษาระบบโลจิสติกส์ของมันสำปะหลังในจังหวัดพิษณุโลกเพื่อการส่งออกผ่านเขตการค้าชายแดนไทย-ลาวตามเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจแนวตะวันออก-ตะวันตก. *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, 1(1), 19-31.
- อริยพร โพธิ์ใส. (2559). ระบบเกษตรพันธสัญญา : แนวทางแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจหรือรายได้ของผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรไทย. *วารสารจตุรนิติ*, 157-167.
- Affiah, E., Alamsyah, A., & Sugiharti, E. (2018). Scheduling Optimization of Sugarcane Harvest Using Simulated Annealing Algorithm. *Scientific Journal of Informatics Informatics*, 5(2), 138-147.
- Babaoğlu, İ. (2017). Solving 2D strip packing problem using fruit fly optimization algorithm. *Procedia Computer Science*, 111, 52-57.
- Bustamam, A., Lestari, D., Mujtahidah, I., & Lestari, D. (2018). Applications of fruit fly optimization algorithm for analyzing protein-protein interaction through Markov clustering on HIV virus. *AIP Conf. Proc.*, 2023(1).
- Carvajal, J., Sarache, W., & Costa, Y. (2018). Addressing a robust decision in the sugarcane supply chain: Introduction of a new agricultural investment project in Colombia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 77-89.
- Chouhan V., Shahul Hamid Khan, B., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2022). Sustainable planning and decision-making model for sugarcane mills considering environmental issues. *Journal of Environmental Management*, 303(8).
- Díaz, J. A., & Fernández, E. (2001). A Tabu search heuristic for the generalized assignment problem. *European Journal of Operational Research*, 132(1), 22-38.
- Durand, G., Mele, F., Guillén-Gosálbez, G., & Bandoni, A. (2012). Design and Planning of the Bioethanol Supply Chain Via Simulation-Based Optimization: The Case of Argentina. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 4(8), 72-81.
- Fikry I., Gheith, M., & Eltawil, A. (2021). An integrated production-logistics-crop rotation planning model for sugar beet supply chains. *Computers and Industrial*

*Engineering*, 157(1).

Filho, A., Florentino, H., & Pato, M. (2012). A genetic algorithm for crop rotation. *Proceedings ICORES*, 454-457.

Iscan, H., & Gunduz, M. (2017). An application of fruit fly optimization algorithm for traveling salesman problem. *Procedia Computer Science*, 111(16), 58-63.

Ketsripongsa, U., Pitakaso, R., Sethanan, K., & Srivarapongse, T. (2018). An Improvement Differential Evolution Algorithms for the Crop Planning in the Northeastern Region of Thailand. *Mathematical and Computational Applications*, 23(3).

Kommadath, R., Maharana D., Anandalakshmi, R., & Kotecha, P. (2023). Multi-objective scheduling in the vegetable processing and packaging facility using metaheuristic-based framework, *Food and Bioproducts Processing*, 137(10), 1-19.

Li, J., Rodriguez, D., Zhang, D., & Ma, K. (2015). Crop rotation model for contract farming with constraints on similar profits. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 12-18.

Li, K., Lu, W., Liang, C., & Wang, B. (2019). Intelligence in Tourism Management: A Hybrid FOA-BP Method on Daily Tourism Demand Forecasting with Web Search Data. *Mathematics*, 7(6).

Li, M.-W., Geng, J., Hong, W.-C., & Zhang, Y. (2018). Hybridizing Chaotic and Quantum Mechanisms and Fruit Fly Optimization Algorithm with Least Squares Support Vector Regression Model in Electric Load Forecasting. *Energies*, 11(9).

Liu, X., Shen, X., & You, M. (2020). Study on Coordination and Optimization of Contract Farming Supply Chain Based on Uncertain Conditions. *Scientific Programming*, 2020(10), 1-9.

Mhudtongon, N. (2018). Linear Array Pattern Synthesis Using Chaotic Sequence Enhanced FOA Method. *Engineering and Technology Horizons*, 35(3-4), 47-54.

Motevalli-Taher, F., Paydar, M. M., & Emami, S. (2020). Wheat sustainable supply chain network design with forecasted demand by simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178.

Neungmatcha, W., & Sethanan, K. (2015). Optimal mechanical harvester route planning for sugarcane field operations using particle swarm optimization. *Engineering and Applied Science Research*, 42(2), 125-133.

- Priyanka, P., Naresh, Manisha, V. D. D., & Madhu, D. M. (2023). An Overview of Risks in Crop Planning, *Krishi science*, 4(6), 5-8.
- Putri, M. M., Mardhiyyah, Y. S., & Rusdiansyah, A. (2019). Development of Seeding and Planting Scheduling Algorithms for Contract Farming of Organic Vegetable with Multi Seeding and Planting Center. *Journal of Physics: Conference Series*, 1376 (1).
- Rath, A., Biswal S., Samantaray S., & Swain, P. (2017). Derivation of Optimal Cropping Pattern in Part of Hirakud Command using Cuckoo Search. *International Conference on Materials, Alloys and Experimental Mechanics*, 225(1).
- Sarimehmet, B., Pınarbaşı, M., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2023). Harvest optimization for sustainable agriculture: The case of tea harvest scheduling. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 10(1), 35-45.
- Silva, A. F., Marins, F. A. S., & Dias, E. X. (2015). Addressing uncertainty in sugarcane harvest planning through a revised multi-choice goal programming model. *Applied Mathematical Modelling*, 39(18), 5540-5558.
- Sriboonchitta, S., & Wiboonpoongse, A. (2008). Overview of Contract Farming in Thailand: Lessons Learned. Retrieved from <http://www.adb.org/sites/default/files/publication/156751/adbi-dp112.pdf>
- Sudtachat, K. (2016). A Two-stage Stochastic Programming Model for Districting and Transportation Lot-size of Sugarcane. In *6th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 39-49.
- Tapao, A., & Cheerarot, R. (2021). Optimum design of reinforced concrete foundations by fruit fly optimization algorithm. *The Journal of KMUTNB*, 31(1), 16-24.
- Thuankaewsing, S., Khamjan, S., Piewthongngam, K., & Pathumnakul, S. (2015). Harvest scheduling algorithm to equalize supplier benefits: A case study from the Thai sugar cane industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110, 42-55.
- Tongchure, S., & Hoang, N. (2013). Cassava Smallholders' Participation in Contract Farming in Nakhon Ratchasima Province, Thailand. *Journal of Social and Development Sciences*, 4(7), 332-338.
- Varas, M., Basso, F., Bosch, P., Contreras, J.-P., & Pezoa, R. (2022). A horizontal collaborative approach for planning the wine grape harvesting. *Operational*

*Research*, 22(5), 4965-4998.

Verderame, P., Elia, J., Li, J., & Floudas, C. (2010). Planning and Scheduling under Uncertainty: A Review Across Multiple Sectors. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 49(9), 3993-4017.

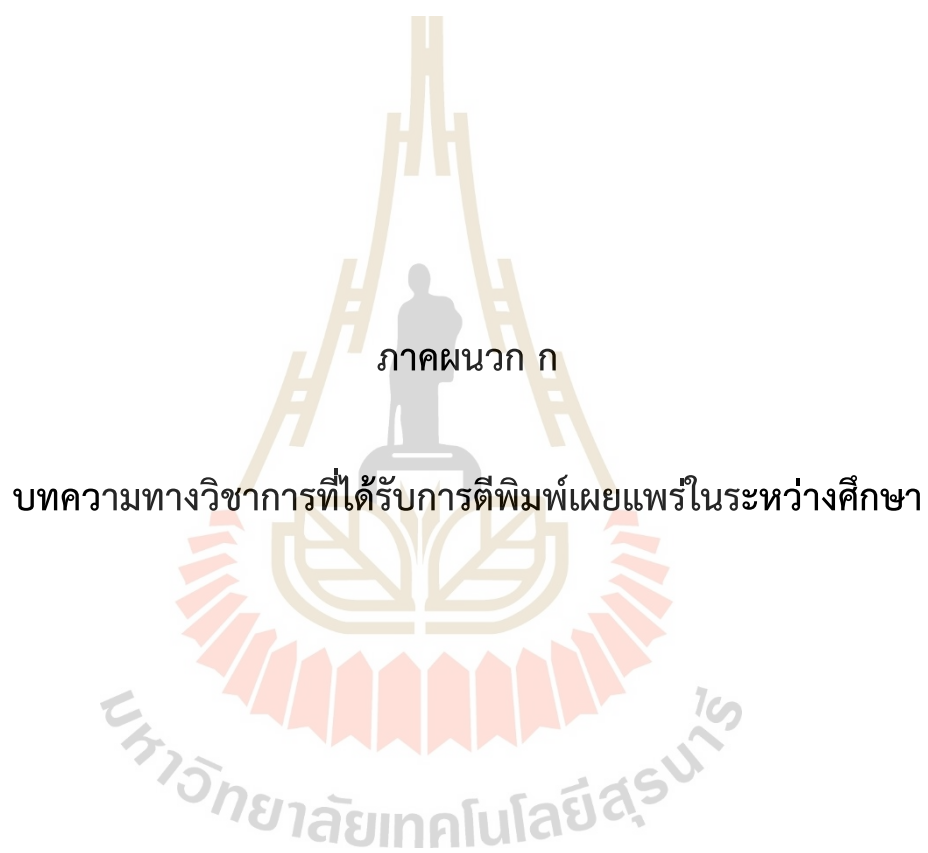
Verma, R., Chauhan, N., Singh, B., Chandra, S., Author, C., & Sengar, R. (2022). Cassava processing and its food application. *The Pharma Innovation Journal*, 11(1), 415-422.

Xanthavanij, A., & Amornsawadwatana, S. (2019). A Review of Cassava Supply Chain Performance Improvement: A Case of Cassava Supply Chain in Thailand. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 6-15.

Zhang, X., Liu, X., Tang, S., Królczyk, G., & Li, Z. (2019). Solving Scheduling Problem in a Distributed Manufacturing System Using a Discrete Fruit Fly Optimization Algorithm. *Energies*, 12(17).

Zhou, X., Peng, J., Wen, B., & Su, M. (2024). Navigation Route Planning for Tourism Intelligent Connected Vehicle Based on the Symmetrical Spatial Clustering and Improved Fruit Fly Optimization Algorithm. *Symmetry*, 16(2).





ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

### รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Siriruk, P., & Kotekangpoo, A. (2025). The Modified Fruit Fly Optimization Algorithm for Solving Harvest Scheduling. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 35(3).





## การปรับปรุงขั้นตอนวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช

ปวีร์ ศิริรักษ์\* และ อภิชา โคตรค่างฟู

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 6152 5165 อีเมล: pavee@e.sut.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชของบริษัทแปรรูปสินค้าเกษตรให้มีผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุด ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ถูกปรับให้เหมาะสมในรูปแบบของเมทริกซ์เพื่อกำหนดพื้นที่เก็บเกี่ยวในแต่ละเดือนให้มีปริมาณผลผลิตสูงสุดต่อปี ตัวอย่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเก็บเกี่ยวพืชจำนวน 12 ถึง 60 แปลง นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบความสามารถของอัลกอริทึมในปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เมทริกซ์คำตอบได้รับการปรับปรุงโดยการพิจารณาจุดตัดเพื่อป้องกันการตัดคำตอบที่ซ้อนกันและเพิ่มขีดความสามารถในการค้นหาคำตอบ ผลการทดลองพบว่า วิธีการค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถทำให้บริษัทได้รับปริมาณผลผลิตเพียงพอต่อการแปรรูปในแต่ละเดือน รวมทั้งได้รับผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุดเทียบเท่ากับการจำลองปัญหาผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในทุก ๆ ขนาดปัญหา

**คำสำคัญ:** วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ การจัดตารางการเก็บเกี่ยว เมตะฮิวริสติก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## The Modified Fruit Fly Optimization Algorithm for Solving Harvest Scheduling

Pavee Siriruk\* and Apicha Kotekangpoo

Department of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 09 6152 5165, E-mail: pavee@g.sut.ac.th

### Abstract

This research develops the fruit fly optimization algorithm (FOA) to achieve the objectives of maximizing annual profits in a processing company's crop harvest scheduling problem. The fruit fly algorithm is adapted as a matrix to determine the monthly harvest area with the highest annual yield. The crop harvesting problems ranging from 12 - 60 plots are used to verify the algorithm's capability in small, medium, and large-scale problems. The matrix intersection technique is used to test different problem sizes in order to escape local optima and develop better answers. The results show that the fruit fly optimization algorithm allows the company to obtain sufficient monthly crops for processing. In addition, the highest annual profit has the same optimal value as formulating mathematical models through GAMS in all problem sizes.

**Keywords:** Fruit Fly Optimization Algorithm, Harvest scheduling, Meta-heuristics

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## 1. บทนำ

การเก็บเกี่ยวพืชควรทำในช่วงเวลาที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การบริโภคสดหรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ คุณค่าทางอาหาร และความสดสูงสุด โดยทั่วไปการทยอยเก็บเกี่ยวพืชตลอดฤดูการเพาะปลูกจะให้ผลดีกว่าการเก็บเกี่ยวหมดในครั้งเดียว อย่างไรก็ตาม เกษตรกรที่เน้นปลูกพืชเพื่อการค้ามักเก็บเกี่ยวผลผลิตเพียงหนึ่งครั้งเพื่อประหยัดแรงงานและใช้ประโยชน์ที่ดินให้คุ้มค่ามากที่สุด ในระหว่างการเก็บเกี่ยวพืชนั้นจำเป็นต้องมีความระมัดระวังอย่างสูง เพราะอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้ [1] ในภาคการผลิตขนาดใหญ่ ปริมาณผลผลิตพืชจะถูกจำกัดด้วยกำลังการผลิตของโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ สำหรับการบริโภค การกำหนดตารางการเก็บเกี่ยวพืชเพื่อการแปรรูปจะสามารถช่วยลดความสูญเสียจากการผลิตมากหรือน้อยเกินไป เนื่องจากการควบคุมการจัดหาปริมาณวัตถุดิบให้เกิดความสม่ำเสมอในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนด้านแรงงานและเครื่องจักรลดลง [2]

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตมักมีความยุ่งยากซับซ้อน เช่น ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง (Job Shop Scheduling) ซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-hard ใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) [3] วิธีการเมตาเฮิวริสติก (Meta-heuristics Method) จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหามีความซับซ้อนและค้นหาคำตอบอย่างรวดเร็ว โดยจะนิยมใช้เลขสุ่มค้นหาพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ [4] ในการแก้ปัญหาการจัดตารางทางการเกษตรมีผู้เสนอวิธีการต่าง ๆ ใหม่มากมาย เช่น Richards และ Gunn [5] เสนอแบบจำลองการกำหนดการในการเก็บเกี่ยวไม่และการก่อสร้างถนนให้มีต้นทุนต่ำสุด ใน ค.ศ. 2000 โดยใช้วิธีการค้นหาแบบทาบ (TS) ต่อมาใน ค.ศ. 2010 Pant และคณะ [6] แสดงให้เห็นว่าวิธีวิวัฒนาการ (PSO) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) และวิธีเชิงวิวัฒนาการ (EP) สามารถให้ประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดย

นำไปประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนพืชผลที่พิจารณาการใช้ประโยชน์จากชลประทาน ใน ค.ศ. 2012 Stray และคณะ [7] พัฒนาระบบการเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศแอฟริกาใต้บนพื้นที่แปลงขนาดใหญ่ซึ่งมีเงื่อนไขการปลูกพืชเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง โดยใช้วิธีการค้นหาแบบทาบ (TS) ที่สามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม Filho และคณะ [8] นำเสนออัลกอริทึมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เพื่อแก้ปัญหาการปลูกพืชหมุนเวียนที่คำนึงถึงการไหลกลับพืชสด ระยะเวลาการปล่อยแปลงว่าง รวมทั้งข้อจำกัดด้านอุปสงค์เพื่อทำกำไรสูงสุด อัลกอริทึมนี้สามารถแสดงผลคำตอบที่เป็นไปได้ในเวลาที่สมเหตุสมผล ต่อมาใน ค.ศ. 2015 Neungmacha และคณะ [9] วางแผนเส้นทางสำหรับรถเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อยโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO) ทำให้สามารถประหยัดต้นทุนค่าขนส่งและช่วยให้โรงงานได้รับปริมาณผลผลิตอ้อยอย่างสม่ำเสมอ อีกสองปีถัดมา Rath และคณะ [10] ได้ประยุกต์ใช้การค้นหาแบบนกกาเหว่า (CS) สำหรับการวางแผนการปลูกพืชในฤดูฝน โดยคำนึงถึงความต้องการน้ำระบบชลประทาน และความพร้อมของพื้นที่ เมื่อทดสอบเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าให้ผลกำไรมากกว่า 1.9 เปอร์เซ็นต์ ใน ค.ศ. 2018 Afifah และคณะ [11] พัฒนาอัลกอริทึมการรอบเหนียวจำลอง (SA) ในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อย เพื่อจำกัดปริมาณการเก็บเกี่ยวอ้อยให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน อัลกอริทึมนี้ยังสามารถลดค่าเฉลี่ยจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้ในการเก็บเกี่ยวอ้อยในแต่ละวัน นอกจากนี้ Ketsripongsa [12] สร้างอัลกอริทึมสำหรับการวางแผนเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) เพื่อเพิ่มกำไรสูงสุดแก่เกษตรกร ผลลัพธ์บ่งชี้ให้เห็นว่าวิธีการ DE สามารถคำนวณได้ในระยะเวลาที่เร็วกว่าแม้ว่าจะให้ค่าผลกำไรเท่ากันเมื่อทดสอบปัญหาด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป และล่าสุดใน ค.ศ. 2023 Kommadath และคณะ [13] ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างด้วยกลยุทธ์การกลายพันธุ์ที่มีประชากรหลายกลุ่ม (MPEDE) แก้ปัญหาการจัดตารางการ



แปรรูปผักและการบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนและลดเวลาการผลิตโดยรวมให้ต่ำที่สุด

วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นวิธีการที่รวมข้อดีของหลาย ๆ อัลกอริทึมไว้ด้วยกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพทั้งในแง่ของความเร็วและความแม่นยำในการคำนวณมากยิ่งขึ้น [14] สามารถพบได้ในหลายงานวิจัย เช่น ใน ค.ศ. 2019 Mogale และคณะ [15] นำเสนอวิธี NK Hybrid Genetic Algorithm (NKHGA) มาใช้ในปัญหาการจัดกลุ่มหมู่บ้าน เพื่อพัฒนาโยบายจัดซื้อวัตถุดิบในอินเดีย ผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าผู้กำหนดนโยบายควรมุ่งเน้นการสร้างจุดรับซื้อให้เพียงพอก่อนเริ่มฤดูกาลเก็บเกี่ยว ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรได้รับการประกันราคาที่เหมาะสมผล ต่อมาใน ค.ศ. 2022 Chouhan และคณะ [16] ได้ทำการพิจารณาของเสียและผลิตภัณฑ์พลอยได้ของอุตสาหกรรมอ้อยเพื่อลดต้นทุนรวมของบริษัท สำหรับการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่พบว่า วิธี Genetic-Social Engineering Optimizer (GASEO) ให้ผลลัพธ์ดีกว่าอัลกอริทึม Genetic-Simulated Annealing (GASA) และในปีเดียวกัน Florentino และคณะ [17] ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ร่วมกับการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงแบบแปรผัน (VNS) แก้ปัญหาการคัดเลือกพันธุ์อ้อยและกำหนดช่วงเวลาในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อยที่เหมาะสมวิธีการแบบไฮบริดนี้ส่งผลให้เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method)

จากการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมพบว่าวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit Fly Optimization Algorithm; FOA) เป็นวิธีการที่อยู่ในกลุ่มเมตาฮิวริสติกใหม่ ซึ่งมีจุดเด่นคือพารามิเตอร์ไม่ซับซ้อน มีหลักการชัดเจน และใช้งานง่าย [18] จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดหลายปัญหา เช่น Tapao and Cheerarot [19] ศึกษาการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธี FOA โดยผลการออกแบบส่งผลให้ประหยัดต้นทุนมากกว่าวิธีทั่วไปถึง 23 เปอร์เซ็นต์ Babaoğlu [20] ใช้ FOA แก้ไขปัญหาการบรรจุสินค้าทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงในกล่องแบบสองมิติ เพื่อลดความสูงในการบรรจุให้น้อยที่สุด FOA ได้พิสูจน์ว่าเป็นหนึ่งในวิธีที่มี

ประสิทธิภาพด้านคำตอบเมื่อมีการจัดเรียงแบบมุมล่างซ้าย Iscan และ Gunduz [21] นำวิธี FOA ไปแก้ไขปัญหาการเดินทางของพนักงานขายให้มีระยะทางสั้นที่สุด โดย FOA สามารถให้คำตอบในปัญหาขนาดเล็กและกลาง อีกทั้ง Wang และคณะ [22] สนับสนุนว่าวิธี FOA สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ โดยนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการทดสอบแบบหลายมิติที่ต้องบรรจุสินค้าได้อย่างเพียงพอและสร้างผลกำไรสูงสุด นอกจากนี้ การปรับปรุงวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ เช่น Mhuadthongon [23] ใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ที่ถูกปรับปรุงด้วยลำดับเคโอดิกแบบ Tent ในการออกแบบสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลู่ออกของคำตอบและการค้นหาคำตอบที่มีความแม่นยำ Zhang และคณะ [24] นำเสนออัลกอริทึมแมลงหวี่แบบไม่ต่อเนื่อง ร่วมกับการค้นหาหาค่าตอบข้างเคียง และ Variable Neighborhood Descent (VND) เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางผลิตแบบไหลเลื่อนให้มิต้นทุนการผลิตต่ำสุด วิธีการนี้สามารถป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่นและแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าปัญหาการจัดตารางทางการเกษตร เช่น การจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช สามารถใช้วิธีการทางเมตาฮิวริสติกในการหาผลเฉลยได้ โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่หรือมีเงื่อนไขซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับเงื่อนไขต่าง ๆ แม้ว่าวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เป็นหนึ่งในวิธีการเมตาฮิวริสติกใหม่ที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่นำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช งานวิจัยครั้งนี้จึงพัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (Fruit-Fly Optimization Algorithm; FOA) ให้มีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) เพื่อสร้างแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชให้โรงงานแปรรูปได้รับปริมาณผลผลิตจากเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อปีสูงสุด และเพียงพอต่อการ





แปรรูปในแต่ละเดือน ซึ่งจะส่งผลให้บริษัทได้รับผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุดด้วย ผู้วิจัยได้ศึกษาค่าตัวแปรที่เหมาะสม และวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมด้วยการเปรียบเทียบค่าตอบที่ได้กับโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS โดยใช้ตัวอย่างแบบจำลองการเก็บเกี่ยวพืชตั้งแต่ 12 ถึง 60 แปลง เป็นกรณีศึกษา

## 2. วิธีคิด อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

### 2.1 วิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)

วิธีค้นหาแบบแมลงหิว หรือ FOA เป็นอัลกอริทึมการคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบใหม่ที่จำลองกิจกรรมการหาอาหารของแมลงหิวเพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในกระบวนการหาอาหารนั้น แมลงหิวจะบินหาอาหารตามความเข้มข้นของกลิ่นอาหาร และอาศัยการมองเห็นในการบินเข้าใกล้ตำแหน่งของแหล่งอาหาร ซึ่งข้อมูลของกลิ่นอาหารรวมทั้งฟังก์ชันที่เหมาะสมจะถูกส่งผ่านไปยังแมลงหิวที่อยู่รอบ ๆ เพื่อค้นหาตำแหน่งของแหล่งอาหารที่ดีที่สุด [18], [25] โดยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เริ่มต้นการทำงานของอัลกอริทึม กำหนดให้  $IR_i = 1, \dots, IR_{max}$  โดยที่  $IR_{max}$  คือ จำนวนรอบการทำงานสูงสุดสำหรับการคำนวณรอบแรก กำหนดตำแหน่งฟังก์ชันเริ่มต้นของประชากรแมลงหิว ( $X$ -axis และ  $Y$ -axis) ให้เป็นแบบสุ่ม โดยที่  $a$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

$$X\text{-axis} = a * \text{rand}(0,1) \quad (1)$$

$$Y\text{-axis} = a * \text{rand}(0,1) \quad (2)$$

2) แมลงหิวแต่ละตัวมีทิศทางการบินเป็นแบบสุ่มจากตำแหน่งเดิม เพื่อการค้นหาอาหารตามกลิ่นในพื้นที่ที่แตกต่างกัน กำหนดให้  $i = 1, \dots, PN_{max}$  โดยที่  $PN_{max}$  คือ จำนวนแมลงหิวสูงสุด เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

$$X_i = X\text{-axis} + b * \text{rand}(0,1) - c \quad (3)$$

$$Y_i = Y\text{-axis} + b * \text{rand}(0,1) - c \quad (4)$$

$b$  และ  $c$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับค่าได้ เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

3) คำนวณระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้น ( $Dist_i$ ) และหาความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_i$ ) ของแมลงหิวแต่ละตัว

$$Dist_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (5)$$

$$S_i = \frac{1}{Dist_i} \quad (6)$$

4) คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) จากความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_i$ ) เพื่อเก็บค่าไว้ใน  $Smell_i$

$$Smell_i = \text{Function}(S_i) \quad (7)$$

5) แมลงหิวตัวใดที่ให้ค่า  $Smell_i$  มากที่สุดจะถูกเก็บค่าไว้ใน  $bestSmell$  และเก็บค่าตำแหน่งไว้ใน  $bestIndex$  เพื่อพัฒนาการค้นหาแหล่งอาหารของกลุ่มแมลงหิวในรอบถัดไป

$$[bestSmell, bestIndex] = \text{Max}(Smell_i) \quad (8)$$

6) เก็บค่า  $bestSmell$  ไว้ในตัวแปรใหม่ คือ  $smellBest$  รวมทั้งอัปเดตตำแหน่งใหม่เพื่อใช้คำนวณในรอบถัดไป

$$smellBest = bestSmell \quad (9)$$

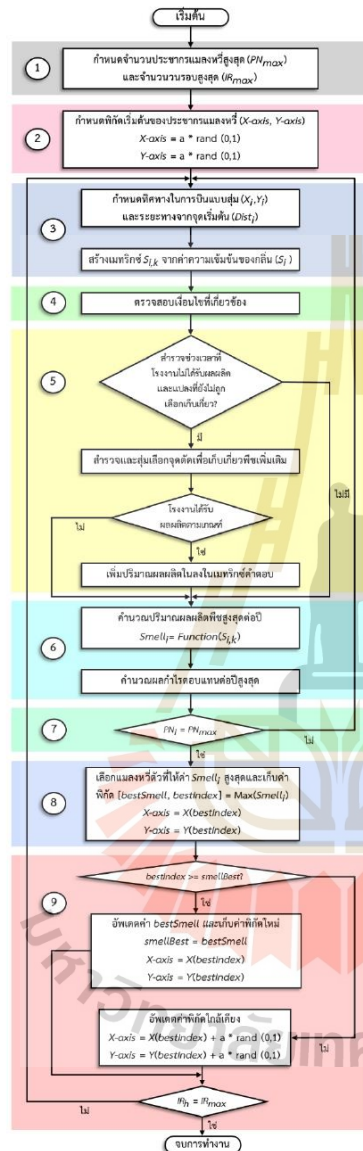
$$X\text{-axis} = X(bestIndex) \quad (10)$$

$$Y\text{-axis} = Y(bestIndex) \quad (11)$$

7) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2) ถึง 5) หากในรอบการคำนวณใดพบค่า  $bestSmell$  เพิ่มขึ้นจากรอบก่อนหน้าให้กลับไปอัปเดตค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ 6) โดยกระบวนการทำซ้ำนี้จะจบลงเมื่อครบจำนวนรอบการทำงานสูงสุด

### 2.2 การปรับปรุงขั้นตอนวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (Modified Fruit Fly Algorithm)

อัลกอริทึมวิธีค้นหาแบบแมลงหิวได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหาระจัดตาราง



รูปที่ 1 รูปแบบอัลกอริทึมสำหรับการวางแผนการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว (FOA)

การเก็บเกี่ยวพืชได้หลายประเภท รูปแบบอัลกอริทึมสำหรับการวางแผนการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น ได้แก่ จำนวนประชากรแมลงหิว  $i$  สูงสุด ( $PN_{max}$ ) และจำนวนรอบการทำงาน  $h$  สูงสุด ( $IR_{max}$ )
- 2) สร้างค่าตอบเริ่มต้นในรอบที่ 1 โดย 1 คำตอบ จะได้รับจากแมลงหิว 1 ตัว กระบวนการเริ่มต้นจากการกำหนดตำแหน่งพิกัดเริ่มต้น ( $X$ -axis และ  $Y$ -axis) ของแมลงหิวทุกตัว ตามสมการที่ (1) และ (2)
- 3) กำหนดทิศทางในการบินแบบสุ่มของแมลงหิวตามสมการที่ (3) และ (4) จากนั้นคำนวณระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้น ( $Dist_i$ ) และคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกลิ่น ( $S_j$ ) ตามสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ ในการเชื่อมโยงวิธีค้นหาแบบแมลงหิวกับปัญหาการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืชนั้น ค่า  $S_j$  จะถูกปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยค่าสุม  $S_{i,k}$  แตกต่างกัน โดยการคำนวณแสดงดังสมการที่ 12 ซึ่งกำหนดให้  $k = 1, \dots, p$  โดยที่  $p$  คือ จำนวนแปลงพืชทั้งหมด และ  $j = 1, \dots, r$  โดยที่  $r$  คือ ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวทั้งหมด (เดือน)

$$S_{i,k} = S_j * rand(0,1) \quad (12)$$

ในแต่ละเดือน  $j$  ที่มีการเก็บเกี่ยวพืช จะต้องสร้างเมทริกซ์ที่ประกอบด้วยค่า  $S_{i,k}$  ตามจำนวนแปลงพืชที่พิจารณา โดยค่า  $S_{i,k}$  ดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดการปรับเปลี่ยนหรือจัดลำดับความสำคัญในการเก็บเกี่ยวของแปลงพืชของแมลงหิวตัวที่  $i$  ในแปลงที่  $k$  โดยแปลงพืชที่มีค่า  $S_{i,k}$  มากจะมีโอกาสในการเก็บเกี่ยวมากกว่าแปลงที่มีค่า  $S_{i,k}$  น้อย ตัวอย่างการจัดลำดับพืชจำนวน 12 แปลง ( $k=12$ ) ของแมลงหิวตัวที่ 1 ( $i=1$ ) ในเดือนที่ 1 ( $j=1$ ) แสดงดังตารางที่ 1 โดยพืชแปลงที่ 8 ได้รับค่าสุม  $S_{i,k}$  มากที่สุด จึงถูกเก็บเกี่ยวเป็นแปลงแรกในปริมาณ 1,000 ต้น ส่วนพืชแปลงที่ 7 จะถูกเก็บเกี่ยวเป็นแปลงสุดท้าย เนื่องจากได้รับสุม  $S_{i,k}$  น้อยที่สุด



ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลจัดลำดับเมทริกซ์ของพืช 12 แปลง

	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$	$S_{1,7}$	$S_{1,8}$	$S_{1,9}$	$S_{1,10}$	$S_{1,11}$	$S_{1,12}$
ค่าสัม	0.34	0.17	0.22	0.11	0.56	0.38	0.09	0.96	0.41	0.84	0.28	0.77
ปริมาณ	1000	0	500	0	500	1000	0	1000	0	500	0	0
ลำดับ	7	10	9	11	4	6	12	1	5	2	8	3

4) เมื่อได้ผลการจัดเรียงจากเมทริกซ์  $S_{i,k}$  ช่วงต้นครบทุกเดือนแล้ว แมลงหรือจะถูกตรวจสอบเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวจนกระทั่งผ่านครบทุกเงื่อนไข ผลคำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์คำตอบที่ระบุแปลงพืชและปริมาณเก็บเกี่ยวในแต่ละเดือน

5) แม้ว่าเมทริกซ์คำตอบจากขั้นตอนที่ 4) จะผ่านครบทุกเงื่อนไข แต่สามารถตรวจพบได้ว่าโรงงานยังไม่สามารถจัดหาผลผลิตได้ครบทุกเดือน ขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์คำตอบจึงเกิดขึ้น โดยผลเมทริกซ์คำตอบที่ได้จะถูกดึงมาสำรวจเดือน  $j$  ที่โรงงานยังไม่ได้รับปริมาณผลผลิตในแนวแถวและแปลง  $k$  ที่ยังไม่ถูกเลือกในการเก็บเกี่ยวในแนวคอลัมน์ เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดตัดของคูเดือนและแปลงพืช กำหนดให้  $d = 1, \dots, IN_{max}$  โดยที่  $IN_{max}$  คือ จุดตัดที่เป็นไปได้สูงสุดที่อาจถูกสุ่มค่าเป็น 1 เพื่อรับซื้อผลผลิตเพิ่มเติม ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างที่มีจุดตัดสูงสุด 4 ตำแหน่ง ( $IN_{max}=4$ ) ที่ถูกค้นพบในเดือนที่ 2 ( $j=2$ ) (สีแดง)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการสำรวจจุดตัดที่เป็นไปได้

	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$
$j=1$	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
$j=2$	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
$j=3$	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

จุดตัดสีแดงทั้งหมด 4 ตำแหน่งนี้อาจถูกสุ่มค่าเป็น 1 บางส่วนหรือทั้งหมดก็ได้ โดยที่แต่ละจุดตัดนั้นมีโอกาสที่จะสุ่มเป็น 0 หรือ 1 เท่า ๆ กัน ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างการสุ่มเลือกแปลงเก็บเกี่ยวเพิ่มเติม 2 จุดตัด (สีน้ำเงิน)

ตารางที่ 3 การสุ่มเลือกแปลงเก็บเกี่ยวเพิ่มเติม

	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$	$k=11$	$k=12$
$j=1$	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
$j=2$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
$j=3$	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

จากตารางที่ 3 ในเดือนที่ 2 ( $j=2$ ) มีการสุ่มค่าเป็น 1 ในแปลงที่ 4 ( $k=4$ ) และแปลงที่ 11 ( $k=11$ ) โดยขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์นี้ตัดแปลงมาจากวิธีของ Diaz และ Fernandez [27] ซึ่งเป็นการพัฒนาผลลัพธ์เมทริกซ์คำตอบด้วยวิธีการแทรก (Insertion Move Algorithm) ที่มีการสุ่มค่าและเปลี่ยนตำแหน่งของแปลงพืช  $k$  ภายในจุดตัดที่เป็นไปได้ให้สอดคล้องกับเกณฑ์ปริมาณรับซื้อที่กำหนดไว้ วิธีการนี้เป็นการเพิ่มโอกาสให้โรงงานได้รับซื้อผลผลิตจากแปลงของเกษตรกรครบทุกเดือน รวมทั้งเป็นป้องกันการติดคำตอบท้องถิ่นด้วย เมื่อเมทริกซ์คำตอบได้รับการปรับปรุงแล้ว ปริมาณผลผลิตพืชจากแปลงที่ 4 และ 11 จะถูกดึงออกมาเพื่อประเมินว่าผลรวมของปริมาณพืชทั้งสองแปลงนี้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดไว้หรือไม่ หากอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณผลผลิตจากทั้งสองแปลงจะถูกบันทึกเพิ่มเติมลงในเมทริกซ์ของคำตอบเดิม และถ้าหากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ปริมาณผลผลิตจากทั้งสองแปลงจะถูกบันทึกลงในเมทริกซ์ของคำตอบเดิม

6) จากสมการที่ (7) ค่าพิตเนสฟังก์ชันเป็นผลจากการใช้ค่าสุ่ม  $S_{i,k}$  ชักนำให้เกิดการจัดเรียงเมทริกซ์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการตัดสินใจในการคัดเลือกแปลง  $k$  ในเดือน  $j$  ที่แตกต่างกัน กำหนดให้ค่าพิตเนสฟังก์ชันเก็บไว้ในตัวแปร  $Smell_i$  เป็นปริมาณผลผลิตพืชสูงสุดทั้งหมดที่โรงงานสามารถรับซื้อจากเกษตรกรทั้งปี ซึ่งเกิดจากผลรวมของปริมาณพืชที่ต้องเก็บเกี่ยวสูงสุดในแต่ละเดือน และเมื่อได้ผลคำนวณปริมาณผลผลิตสูงสุดต่อปีแล้ว จะสามารถประเมินผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุดของโรงงานได้

7) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2) ถึง 6) จนกระทั่งครบจำนวนแมลงหรือสูงสุด ( $PN_{max}$ ) ดังนั้น แมลงหรือ 1 ตัว จะมีผลคำนวณปริมาณผลผลิตต่อปีสูงสุด ( $Smell_i$ ) 1 คำตอบ และผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุด 1 คำตอบ

8) เมื่อได้คำตอบจากแมลงหรือทุกตัวแล้ว เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชของโรงงานแปรรูปให้ได้รับปริมาณผลผลิตจากเกษตรกรในพื้นที่ต่าง ๆ ต่อปีสูงสุด และเพียงพอต่อการแปรรูปในแต่ละเดือน ให้ตรวจสอบว่าแมลงหรือตัวใดมีค่า  $Smell_i$  สูงสุด และจะเก็บ



ค่านี้ไว้ในตัวแปร  $bestSmell$  ตามสมการที่ (8) สำหรับการเปรียบเทียบในรอบถัดไป

9) สำหรับรอบการคำนวณแรก ให้เก็บค่า  $bestSmell$  ไว้ในตัวแปร  $smellBest$  ตามสมการที่ (9) และเก็บตำแหน่งที่ดีที่สุดไว้ใน  $bestIndex$  ตามสมการที่ (10) และ (11) เสมอ สำหรับรอบการคำนวณถัดไป ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3) ถึง 8) โดยหากรอบการคำนวณโคพบค่า  $bestSmell$  เพิ่มขึ้นจากรอบก่อนหน้า ให้เก็บค่าในตัวแปร  $smellBest$  รวมทั้งเก็บตำแหน่งที่ดีกว่าไว้ใน  $bestIndex$  และในกรณีในรอบการคำนวณโคพบค่า  $bestSmell$  ลดลงจากรอบก่อนหน้า ให้สุ่มค่าตำแหน่งพิกัดใหม่ที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งพิกัดเดิมเก็บไว้ในรอบถัดไป ตามสมการที่ (13) และ (14)

$$X\text{-axis} = X(bestIndex) + a * rand(0,1) \quad (13)$$

$$Y\text{-axis} = Y(bestIndex) + a * rand(0,1) \quad (14)$$

### 2.3 แบบจำลองและตัวอย่าง

ในแต่ละรอบปีการผลิต โรงงานแปรรูปจะวางแผนการเก็บเกี่ยวและรับซื้อพืชจากเกษตรกร โดยเริ่มจากการประเมินปริมาณผลผลิตของแปลงพืชที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และสร้างแผนกำหนดการรายเดือนออกมาในรูปแบบของตารางให้มีผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุดในแต่ละเดือนโรงงานจะมีการคัดเลือกแปลงพืชที่ต้องเก็บเกี่ยวโดยคำนึงถึงปริมาณผลผลิต เงื่อนไขในการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร รวมทั้งกำลังการผลิตของโรงงาน เมื่อได้แผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวมาแล้ว เกษตรกรแต่ละรายจะต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตตามช่วงเวลาที่โรงงานได้กำหนดไว้ โรงงานจะมีรถบรรทุกออกไปรับผลผลิตยังแปลงพืชของเกษตรกรโดยตรง โดยต้นทุนค่าขนส่งนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางจากแปลงพืชไปยังโรงงาน เมื่อกระบวนการจัดหาผลผลิตเสร็จสมบูรณ์แล้ว โรงงานจะจ่ายค่ารับซื้อผลผลิตแก่เกษตรกรเป็นค่าตอบแทน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้ประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Fiky และคณะ [26] ซึ่งได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยจึงนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการทดสอบอัลกอริทึมในการจัด

ตารางการเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิว ซึ่งมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดให้มีการปลูกพืชหนึ่งชนิด โดยมีการปลูกเพียงหนึ่งครั้งต่อปี
  - 2) พืชจากทุกแปลงมีลักษณะและคุณภาพเหมือนกัน
  - 3) เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวพืชในปริมาณคงที่ได้ภายในระยะเวลาสี่เดือนหลังโตเต็มที่
  - 4) ปริมาณผลผลิตพืชที่เก็บเกี่ยวมาจะถูกขนส่งไปยังโรงงานแปรรูปโดยรถบรรทุก โดยการขนส่งจะดำเนินการภายในระยะเวลาที่จำกัดเพื่อลดการเสื่อมคุณภาพ
  - 5) ปริมาณผลผลิตพืชที่รับซื้อจะถูกแปรสภาพเป็นสินค้าแปรรูปในปริมาณเท่ากัน
  - 6) กำหนดให้มีโรงงานแปรรูป 1 แห่ง
- แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (BILP) ประกอบด้วย เซตและดัชนี พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ สมการเป้าหมายและเงื่อนไขดังต่อไปนี้

#### เซตและดัชนี

- $j$  คือ เซตของช่วงเวลา (เดือน)
- $k$  คือ เซตของแปลงพืช
- $f$  คือ เซตของโรงงานแปรรูป
- $v$  คือ เซตของยานพาหนะ

#### พารามิเตอร์

- $PC_{min,jf}$  คือ ปริมาณพืชที่รองรับกำลังการผลิตต่ำสุดในเดือน  $j$  ของโรงงาน  $f$  (ตัน)
- $PC_{max,jf}$  คือ ปริมาณพืชที่รองรับกำลังการผลิตสูงสุดในเดือน  $j$  ของโรงงาน  $f$  (ตัน)
- $DIST_{kf}$  คือ ระยะทางระหว่างแปลง  $k$  ไปยังโรงงาน  $f$  (กิโลเมตร)
- $TC_v$  คือ ต้นทุนค่าขนส่งที่บรรทุกโดยยานพาหนะ  $v$  (บาท/กิโลเมตร-ตัน)
- $PH_{jf}$  คือ ต้นทุนการรับซื้อพืชของโรงงาน  $f$  ในเดือน  $j$  (บาท/ตัน)





$TP_{jk}$  คือ ปริมาณผลผลิตพืชทั้งหมดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ในเดือน  $j$  จากแปลง  $k$  (ตัน)

$SP_{jf}$  คือ ราคาขายสินค้าของโรงงาน  $f$  ซึ่งแปรรูปจากพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวในเดือน  $j$  (บาทต่อตัน)

**ตัวแปรตัดสินใจ**

$SQ_{jkn} \geq 0$  คือ ปริมาณการขนส่งพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวในเดือน  $j$  จากแปลง  $k$  ไปยังโรงงาน  $f$  โดยยานพาหนะ  $n$  (ตัน)

$HQ_{jk} \geq 0$  คือ ปริมาณการเก็บเกี่ยวพืชในเดือน  $j$  จากแปลง  $k$  (ตัน)

$$X_{jk} \begin{cases} 1, & \text{พืชจะถูกเก็บเกี่ยวในเดือน } j \text{ จากแปลง } k \\ 0, & \text{พืชจะไม่ถูกเก็บเกี่ยวในเดือน } j \text{ จากแปลง } k \end{cases}$$

**สมการเป้าหมาย**

$$\begin{aligned} \text{Maximize} = & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{f=1}^F SP_{jf} HQ_{jk} \\ & - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^V DIST_{jfn} TC_n HQ_{jk} \\ & - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K HQ_{jk} PH_{jf} \end{aligned} \quad (15)$$

**เงื่อนไข**

$$\sum_{j=1}^J X_{jk} = 1 \quad ; \forall k \in K \quad (16)$$

$$HQ_{jk} = TP_{jk} X_{jk} \quad ; \forall j \in J, \forall k \in K \quad (17)$$

$$HQ_{jk} = SQ_{jkn} \quad ; \forall j \in J, \forall k \in K, \forall f \in F, \forall n \in V \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^K SQ_{jkn} \geq PC_{minjf} \quad ; \forall j \in J, \forall f \in F, \forall n \in V \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^K SQ_{jkn} \leq PC_{maxjf} \quad ; \forall j \in J, \forall f \in F, \forall n \in V \quad (20)$$

สมการที่ (15) เป็นสมการเป้าหมายมีวัตถุประสงค์เพื่อให้โรงงานแปรรูปได้รับผลกำไรตอบแทนต่อปีสูงสุด โดยพิจารณาจากรายได้จากการจำหน่ายสินค้าที่แปรรูปจากพืชรวมทั้งพิจารณาด้านต้นทุนค่าขนส่งรวมและต้นทุนในการรับซื้อซึ่งเปรียบเสมือนค่าพิตเนตฟังก์ชันตามสมการที่ (7) โดยสมการเงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ สมการที่ (16) รับประกันว่าในแต่ละแปลงสามารถเก็บเกี่ยวพืชได้เพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น

สมการที่ (17) กำหนดให้ปริมาณการเก็บเกี่ยวพืชเท่ากับปริมาณผลผลิตทั้งหมดที่มีอยู่ในแปลงนั้น สมการที่ (18) ปริมาณพืชที่ถูกเก็บเกี่ยวทั้งหมดจะถูกขนส่งจากแปลงพืชไปยังโรงงานแปรรูปโดยตรง สมการที่ (19) และ สมการที่ (20) กำหนดช่วงปริมาณความต้องการในการรับซื้อพืชให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน โดยปริมาณรวมผลผลิตพืชที่ถูกจัดส่งไปยังโรงงานแปรรูปในแต่ละเดือนนั้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาณที่รองรับกำลังการผลิตสูงสุดและไม่มากกว่าปริมาณที่รองรับกำลังการผลิตสูงสุด ในการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมจะใช้ตัวอย่างข้อมูลขนาดเล็กของแปลงพืชชนิดหนึ่งจำนวน 18 แปลง ข้อมูลระยะทางจากแปลงพืชต่าง ๆ ไปยังโรงงานแปรรูป 1 แห่ง ( $DIST_{jfn}$ ) และข้อมูลปริมาณผลผลิตพืชในแต่ละแปลงที่สามารถเลือกเก็บเกี่ยวได้ในแต่ละเดือน ( $TP_{jk}$ ) แสดงดังตารางที่ 4 โดยเกษตรกรในแต่ละแปลงจะสามารถทำการเก็บเกี่ยวพืชในปริมาณคงที่ได้ภายในระยะเวลาสี่เดือนหลังจากที่พืชโตเต็มที่แล้ว เช่น เกษตรกรในแปลงที่ 16 อาจเลือกเก็บเกี่ยวพืชหนึ่งครั้งจากเดือนที่ 5, 6, 7 หรือ 8 ได้ในปริมาณที่เท่ากัน 1,000 ตัน

**ตารางที่ 4** ตัวอย่างข้อมูลแปลงพืชทั้ง 18 แปลง

แปลง	ผลผลิต	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	175	2000	2000	2000	2000								
2	278		1000	1000	1000	1000							
3	143			1500	1500	1500	1500						
4	149				2000	2000	2000	2000					
5	103				1500	1500	1500	1500					
6	179				1000	1000	1000	1000					
7	202					2000	2000	2000	2000				
8	99								1500	1500	1500	1500	
9	151						1000	1000	1000	1000			
10	186									1500	1500	1500	1500
11	170								1000	1000	1000	1000	
12	122										2000	2000	2000
13	248		2000	2000	2000	2000							
14	313			1000	1000	1000	1000						
15	272					500	500	500	500				
16	204						1000	1000	1000	1000			
17	316	1000	1000	1000	1000								
18	421									1500	1500	1500	1500

ผู้วิจัยได้แบ่งขนาดปัญหาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก มีจำนวนแปลงพืช 12 และ 18 แปลง ปัญหาขนาดกลาง มีจำนวนแปลงพืช 24 30 และ 36 แปลง และปัญหาขนาดใหญ่ มีจำนวนแปลงพืช 45 50 และ 60







จากตารางที่ 6 สามารถสรุปได้ว่า ในทุก ๆ เดือน โรงงานแปรรูปจะได้รับผลผลิตพืชจากพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด 16 จาก 18 แปลงตามเกณฑ์ปริมาณที่ได้กำหนดไว้ โดยโรงงานจะได้รับผลผลิตสูงสุดโดยรวมต่อปี 22,500 ตัน โดยมีต้นทุนค่าขนส่งรวม 7,338,400 บาท และต้นทุนการรับซื้อ 123,750,000 บาท ส่งผลให้ผลกำไรต่อปีสูงสุดอยู่ที่ 48,911,600 บาท นอกจากนี้ ยังพบผลการจัดตารางในรูปแบบอื่น ๆ ที่คำนวณให้ค่าปริมาณผลผลิตและผลกำไรรวมสูงสุดต่อปีเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** การจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืช 18 แปลง ด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA) รูปแบบที่ 2

แปลง	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2000											
2				1000								
3												
4					2000							
5			1500									
6			1000									
7						2000						
8										1500		
9								1000				
10									1500			
11								1000				
12												2000
13		2000										
14					1000							
15									500			
16					1000							
17												
18											1500	

ในการทดสอบตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชในพื้นที่แปลงที่ขนาดต่าง ๆ จะใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับตัวอย่างข้างต้น กำหนดให้จำนวนรอบการทำงานสูงสุด ( $IR_{max}$ ) ในปัญหาขนาดเล็ก เท่ากับ 5,000 รอบ ปัญหาขนาดกลาง 10,000 รอบ และปัญหาขนาดใหญ่ 20,000 รอบ ผลการทดสอบปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชขนาดต่าง ๆ โดยใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่และวิธีโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS แสดงดังตารางที่ 8

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชในขนาดต่าง ๆ ด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่และโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS พบว่าวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งโรงงานจะได้รับซื้อผลผลิตพืชจากพื้นที่แปลง

เกษตรกรรมต่าง ๆ ทุก ๆ เดือน ในปริมาณที่สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน โดยผลกำไรต่อปีสูงสุดต่อปีมีค่าเทียบเท่ากับผลกำไรต่อปีที่ดีที่สุดเมื่อใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS แก้ไขปัญหา สำหรับผลการจัดตารางการเก็บเกี่ยวของทั้งสองวิธีนั้น พบจำนวนแปลงเก็บเกี่ยวที่เหมือนกันในจำนวนที่เท่ากัน ดังในตัวอย่างข้างต้นที่มีการคัดเลือกแปลงพืชทั้งหมด 16 จาก 18 แปลง ซึ่งได้มีการปฏิเสธการเก็บเกี่ยวและรับซื้อจากแปลงที่ 3 และ 17 เช่นเดียวกัน จึงทำให้ต้นทุนค่าขนส่งรวมจากแปลงพืชต่าง ๆ ไปยังโรงงานและต้นทุนการรับซื้อของทั้งสองวิธีนั้นเท่ากัน และส่งผลให้ผลกำไรต่อปีสูงสุดเท่ากันด้วย

อย่างไรก็ตาม วิธีการทั้งสองนี้สามารถสร้างแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลการตัดสินใจในแต่ละเดือนมีการกำหนดแปลงพืชที่ต้องเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน เช่น ในเดือนที่ 8 หากใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะต้องเก็บเกี่ยวพืชจากแปลงที่ 11 และ 16 และหากใช้วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่จะต้องเก็บเกี่ยวพืชจากแปลงที่ 9 และ 11 โดยปกติแล้วโปรแกรมสำเร็จรูป GAMS จะสามารถสร้างแผนการจัดตารางที่ดีที่สุดได้เพียงหนึ่งรูปแบบเท่านั้น ในขณะที่วิธีค้นหาแบบแมลงหวี่สามารถสร้างแผนการจัดตารางการเก็บเกี่ยวได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งอาจมีหลายแผนคำตอบที่สามารถคำนวณปริมาณผลผลิตสูงสุดและผลกำไรรวมสูงสุดต่อปีเทียบเท่ากับการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เนื่องด้วยวิธีการอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้มีความยืดหยุ่นในการค้นหาคำตอบที่กว้างขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานแปรรูปเมื่อมีการวางแผนและสร้างทางเลือกในการทำข้อตกลงกับเกษตรกรที่จะต้องเก็บเกี่ยวผลผลิตมาให้โรงงานในช่วงเวลาที่เหมาะสม

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวพืชด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหวี่ (FOA) ให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การสร้างผลกำไรต่อปีสูงสุดแก่โรงงานแปรรูป การทดสอบอัลกอริทึมขนาดต่าง ๆ



ตารางที่ 8 ผลการทดสอบด้วยวิธีค้นหาแบบแมลงหิวเปรียบเทียบกับโปรแกรม GAMS

กลุ่ม ปัญหา	จำนวน แปลง	วิธีการทดสอบ								% ความ ต่าง ของกำไร
		GAMS				FOA				
		จำนวน แปลง เก็บเกี่ยว	ปริมาณ ผลผลิตสูงสุด ต่อปี (ตัน)	ผลกำไรตอบ แทนต่อปีสูงสุด (บาท)	จำนวน แผน เก็บเกี่ยว	จำนวน แปลง เก็บเกี่ยว	ปริมาณ ผลผลิตสูงสุด ต่อปี (ตัน)	ผลกำไรตอบ แทนต่อปีสูงสุด (บาท)	เวลา คำนวณ (นาที)	
ขนาด เล็ก	12	12	18,000	40,407,200	4	12	18,000	40,407,200	00:01:12	0.00
	18	16	22,500	48,911,600	4	16	22,500	48,911,600	00:02:33	0.00
ขนาด กลาง	24	18	23,500	52,893,200	2	18	23,500	52,893,200	00:10:07	0.00
	30	18	24,000	54,816,800	4	18	24,000	54,816,800	00:11:37	0.00
	36	18	24,000	55,118,400	2	18	24,000	55,118,400	00:12:39	0.00
ขนาด ใหญ่	45	20	24,000	55,242,400	2	20	24,000	55,242,400	00:14:53	0.00
	50	19	24,000	55,436,800	5	19	24,000	55,436,800	00:17:07	0.00
	60	20	24,000	55,503,200	4	20	24,000	55,503,200	00:22:20	0.00

ได้ใช้ตัวอย่างข้อมูลที่ชนิดหนึ่งจากพื้นที่แปลงขนาด 12 ถึง 60 แปลง เพื่อคำนวณและสร้างตารางการเก็บเกี่ยวพืชให้มีปริมาณผลผลิตสูงสุดต่อปี รวมทั้งมีผลผลิตเพียงพอต่อการการแปรรูปในแต่ละเดือน ขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์คำตอบถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการติดค่าตอบท้องถิ่นและพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น อัลกอริทึมที่เสนอวิธีการค้นหาแบบแมลงหิวนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าหนึ่งแผนการเก็บเกี่ยว โดยมีความสามารถให้ผลกำไรตอบแทนสูงสุดต่อปีเทียบเท่ากับการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GAMS ในทุก ๆ ขนาดปัญหา ดังนั้น อัลกอริทึมที่ประยุกต์วิธีการค้นหาแบบแมลงหิวจึงเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถช่วยให้โรงงานแปรรูปได้ผลการจัดตารางเก็บเกี่ยวพืชอย่างเหมาะสม

ในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคต สามารถนำอัลกอริทึมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นในระดับ NP hard โดยอาจเพิ่มเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมอื่น ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน เช่น การจัดเก็บ การขนส่ง และการกระจายสินค้า รวมทั้งเปรียบเทียบผลลัพธ์กับอัลกอริทึมอื่น ๆ เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอมากขึ้น

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Songkhla Rajabhat University (SKRU). [Online]. Available: <http://oservice.skru.ac.th/ebook/ft/374/chapter8.pdf>.
- [2] C. S. Chen, "Scheduling of planting and harvesting programmes for processing vegetables," *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 19, no. 1, pp. 51–57, 1974.
- [3] M. R. Garey, D. S. Johnson, and R. Sethi, "The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling," *Mathematics of Operations Research*, vol. 1, no. 2, pp. 117–129, 1976.
- [4] S. Bandaru and K. Deb, "Metaheuristic techniques," in *Decision Sciences*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2016, pp. 693–750.
- [5] E. W. Richards and E. A. Gunn, "A Model and Tabu Search Method to Optimize Stand Harvest and Road Construction Schedules," *Forest Science*, vol. 46, no. 2, pp. 188–203, 2000.



- [6] M. Pant, R. Thangaraj, D. Rani, A. Abraham, and D. Srivastava, "Estimation of optimal crop plan using nature inspired meta-heuristics," *World Journal of Modelling and Simulation*, vol. 6, pp. 97–109, 2010.
- [7] B. J. Stray, J. H. van Vuuren, and C. N. Bezuidenhout, "An optimisation-based seasonal sugarcane harvest scheduling decision support system for commercial growers in South Africa," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 83, pp. 21–31, 2012.
- [8] A. Filho, H. Florentino, and M. Pato, "A genetic algorithm for crop rotation," in *Proceedings ICORES*, 2012, pp. 454–457.
- [9] W. Neungmatcha and K. Sethanan, "Optimal mechanical harvester route planning for sugarcane field operations using particle swarm optimization," *Engineering and Applied Science Research*, vol. 42, no. 2, pp. 125–133, 2015.
- [10] A. Rath, S. Biswal, S. Samantaray, and P. Swain, "Derivation of Optimal Cropping Pattern in Part of Hirakud Command using Cuckoo Search," in *Proceedings ICMAEM*, 2017.
- [11] E. Affah, A. Alamsyah, and E. Sugiharti, "Scheduling Optimization of Sugarcane Harvest Using Simulated Annealing Algorithm," *Scientific Journal of Informatics*, vol. 5, pp. 138–147, 2018.
- [12] U. Ketsripongsa, R. Pitakaso, K. Sethanan, and T. Srivarapongse, "An Improvement Differential Evolution Algorithms for the Crop Planning in the Northeastern Region of Thailand," *Mathematical and Computational Applications*, vol. 23, no. 3, 2018.
- [13] R. Kommadath, D. Maharana, R. Anandalakshmi, and P. Kotecha, "Multi-objective scheduling in the vegetable processing and packaging facility using metaheuristic-based framework," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 137, pp. 1–19, 2023.
- [14] S. Bhupender and K. Ashwani, "Introduction to Hybrid algorithm," *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, vol. 8, no. 3, 2022.
- [15] D. Mogale, D. A. Ghadge, S. Kumar, and M. Tiwari, "Modelling supply chain network for procurement of food grains in India," *International Journal of Production Research*, vol. 58, 2019.
- [16] V. Chouhan, B. Shahul Hamid Khan, and M. Hajiaghahi-Keshteli, "Sustainable planning and decision-making model for sugarcane mills considering environmental issues," *Journal of Environmental Management*, vol. 303, 2022.
- [17] H. d. O. Florentino, D. F. Jones, C. A. Irawan, D. Ouelhadj, B. Khosravi, and D. R. Cantane, "An optimization model for combined selecting, planting and harvesting sugarcane varieties," *Annals of Operations Research*, vol. 314, no. 2, pp. 451–469, 2022.
- [18] Y. Li and M. Han, "Improved fruit fly algorithm on structural optimization," *Brain informatics*, vol. 7, no. 1, 2020.
- [19] A. Tapao and R. Cheerarat, "Optimum design



- of reinforced concrete foundations by fruit fly optimization algorithm," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 1, pp. 16-24, 2021 (in Thai).
- [20] İ. Babaoğlu, "Solving 2D strip packing problem using fruit fly optimization algorithm," *Procedia Computer Science*, vol. 111, pp. 52-57, 2017.
- [21] H. Iscan and M. Gunduz, "An application of fruit fly optimization algorithm for traveling salesman problem," *Procedia Computer Science*, vol. 111, pp. 58-63, 2017.
- [22] L. Wang, X.-l. Zheng, and S.-y. Wang, "A novel binary fruit fly optimization algorithm for solving the multidimensional knapsack problem," *Knowledge-Based Systems*, vol. 48, pp. 17-23, 2013.
- [23] N. Mhuadthongon, "Linear Array Pattern Synthesis Using Chaotic Sequence Enhanced FOA Method," *Eng. & Technol. Horiz*, vol. 35, no. 3-4, pp. 47-54, 2018 (in Thai).
- [24] X. Zhang, X. Liu, S. Tang, G. Królczyk, and Z. Li, "Solving Scheduling Problem in a Distributed Manufacturing System Using a Discrete Fruit Fly Optimization Algorithm," *Energies*, vol. 12, no. 17, 2019.
- [25] F. Xu and Y. Tao, "The Improvement of Fruit Fly Optimization Algorithm-Using Bivariable Function as Example," *Advanced Materials Research*, vol. 756-759, pp. 2952-2957, 2013.
- [26] I. Fikry, M. Gheith, and A. Eltawil, "An integrated production-logistics-crop rotation planning model for sugar beet supply chains," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 157, pp. 1-13, 2021.
- [27] J. A. Diaz and E. Fernandez, "A Tabu Search Heuristic for the Generalized Assignment Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 132, no. 1, pp. 22-38, 2001.

## ประวัติผู้วิจัย

นายอภิชา โคตร้างฟู เกิดวันพฤหัสบดีที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2541 มีภูมิลำเนาอยู่ในจังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลสามเสน (สำนักงานสลากกินแบ่งรัฐบาลอุปถัมภ์) จังหวัดกรุงเทพมหานคร จากนั้นศึกษาต่อในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนศรีอยุธยา ในพระอุปถัมภ์ฯ และระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จังหวัดกรุงเทพมหานคร ผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ หลักสูตรนานาชาติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จนสำเร็จการศึกษาและได้รับเกียรตินิยมอันดับ 2 ในปีการศึกษา 2564 ต่อมาผู้วิจัยได้รับทุนกิตติบัตินิติตเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2565 โดยในระหว่างการศึกษาได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยผู้วิจัย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี