



การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่พิจารณน้ำหนักของสินค้า  
ด้วยวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

SOLVING THE ORDER BATCHING PROBLEM WITH WEIGHT  
CONSIDERATION BY A SET-BASED MAYFLY ALGORITHM

นางสาวชนิสรา หนูกุลชัย รหัสนิสิต 63361344  
นายสุรเชษฐ์ ชินบุตร รหัสนิสิต 63367087

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2566



## ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่พิจารณาน้ำหนักของสินค้า ด้วยวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชนิสรา หนูกล้วย รหัส 63361344 นายสุรเชษฐ์ ชินบุตร รหัส 63367087
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2566

.....  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรือรัมย์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณุ บุรณจารุกร)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่พิจารณาน้ำหนักของสินค้า ด้วยวิธีแมลงซีปะชาวเซเชล
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชนิสรา หนูกล้วย รหัส 63361344 นายสุรเชษฐ์ ชินบุตร รหัส 63367087
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2566

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อสำหรับคลังสินค้ามีวัตถุประสงค์เพื่อหาความล่าช้ารวมน้อยที่สุด ซึ่งสาเหตุการเกิดความล่าช้ามาจากคำสั่งซื้อบางคำสั่งซื้อที่มีสินค้ามากกว่าหนึ่งประเภทและมีตำแหน่งการจัดวางของสินค้าที่ห่างกัน จึงต้องมีการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขด้านหมวดหมู่ เงื่อนไขด้านน้ำหนัก และเงื่อนไขด้านความเปราะ โดยสินค้าจะมีทั้งประเภทที่เป็นอาหารและไม่เป็นอาหาร มีน้ำหนักแตกต่างกันและมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักที่แตกต่างกัน จึงเป็นปัญหาที่หาคำตอบได้ยากเพราะมีเงื่อนไขต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต้องมีวิธีการแก้ปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้ารวมในการหยิบสินค้าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก

โดยวิธีเมตาฮิวริสติกที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อคือ วิธีแมลงซีปะชาว ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่มีจุดเด่นคือใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของกลุ่มประชากรของแมลงซีปะชาวตัวผู้และตัวเมียและมีวิธีการหลีกเลี่ยงคำตอบที่ตีเฉพาะที่โดยการเดินรำของตัวผู้และการบินสุ่มของตัวเมีย แต่เนื่องจากวิธีการนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับปัญหาแบบต่อเนื่อง ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงการจึงมีการนำวิธีเซเชลเข้ามาประยุกต์ใช้กับวิธีการนี้เพื่อที่จะสามารถแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่เป็นปัญหาแบบไม่ต่อเนื่องได้ คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ออกแบบวิธีแมลงซีปะชาวเซเชลมาแก้ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าความล่าช้ารวมน้อยที่สุดในเวลาที่เหมาะสม

เนื่องจากวิธีแมลงซีปะชาวเซเชล ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหาที่ทำการทดลองทั้งหมด 6 ข้อ จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่อย่างละ 2 ข้อ แล้ว นำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้มาพิจารณาความแตกต่างของค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดและค่าคำตอบเฉลี่ยที่ดีที่สุด และได้มีการนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ได้แก่ วิธีผู้ล่าทางทะเลเซเชล และวิธีการค้นหาของกระรอกเซเชล

<b>Project title</b>	Solving the Order Batching Problem with Weight Consideration By a Set-Based Mayfly Algorithm	
<b>Name</b>	Miss Chanisara	ID. 63361344
	Mr. Surachet Chinnabut	ID. 63367087
<b>Project advisor</b>	Assistant Professor Dr.Kwanniti Khammuang	
<b>Major</b>	Industrial Engineering	
<b>Department</b>	Industrial Engineering	
<b>Academic year</b>	2023	

---

## Abstract

This research proposes a novel approach to the order batching problem in a warehouse with the objective of minimizing total tardiness. The tardiness occurs when an order contains multiple items with different locations, requiring careful order batching to optimize picking routes. The proposed method considers category, weight, and fragility constraints for both food and non-food items with varying weights and weight capacities. This problem is challenging due to the complex constraints and requires an efficient solution to minimize total picking tardiness. Therefore, metaheuristic approach is utilized in the work.

To address this problem, we propose a metaheuristic approach based on the Mayfly Algorithm (MA). The MA is a powerful technique that benefits from the movement and behavior of male and female mayfly populations, including their mating dances and random flights, which help avoid getting stuck in local optima. However, it was originally designed for continuous problems. Therefore, we adapt the MA using a set-based approach to tackle the discrete nature of the order batching problem. The proposed Set-based Mayfly Algorithm (SBMA) aims to minimize the total tardiness while considering the aforementioned constraints.

The SBMA requires parameter tuning to achieve optimal performance. We conducted an extensive experimental study on six problem instances, including small, medium, and large-sized problems. We evaluated the performance of the SBMA and compared it with two other set-based metaheuristics: the Set-based Marine Predator Algorithm (SBMPA) and the Set-based Squirrel Search Algorithm (SBSSA). The results demonstrate the effectiveness of the SMA in achieving the lowest total tardiness compared to the other methods.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ หัวข้อ การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อในการหีบสินค้าจากคลังสินค้าด้วยวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ผู้ดำเนินโครงการต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นในด้านต่าง ๆ ตลอดจนแนะนำแนวคิดและวิธีการแก้ไขปัญหาในการจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้จนถูกต้องและสมบูรณ์ นอกจากนี้ผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ คณะกรรมการทั้งสองท่าน อันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาณุ บุรณจากรุท ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขและให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ และผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณ นางสาวประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร ที่มีส่วนช่วยทำให้โครงการในครั้งนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น จนสามารถออกมาเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้สิ่งที่ขาดไม่ได้คือครอบครัว อันประกอบไปด้วย บิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนและให้กำลังใจในทุก ๆ เรื่องตลอดมา ทางผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวชนิสรา หนูกล้วย

นายสุรเชษฐ์ ชินบุตร

มีนาคม 2567

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบโปรแกรม.....	3
1.7 คำสำคัญ.....	3
1.8 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	4
1.9 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
1.10 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ปฏิบัติการในคลังสินค้า.....	7
2.1.1 การรับเข้าสินค้า.....	8
2.1.2 การจัดเก็บสินค้า.....	8

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.3 การหีบคำสั่งซื้อ.....	10
2.1.4 การจัดส่งสินค้า.....	14
2.2 ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ของสินค้า.....	15
2.3 วิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา.....	15
2.3.1 วิธีเมตาฮิวริสติก .....	15
2.3.2 วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต .....	17
2.4 การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน (Python).....	25
วิธีดำเนินงานวิจัย .....	28
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้า.....	29
3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	29
3.2.1 ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับคลังสินค้า.....	29
3.2.2 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ.....	29
3.2.3 ศึกษาข้อตกลงเบื้องต้นที่นำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	29
3.2.4 ศึกษาคุณสมบัติของสินค้า.....	30
3.2.5 คุณลักษณะเฉพาะหรือเงื่อนไขที่นำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	31
3.2.6 ลักษณะและข้อมูลคลังสินค้า.....	34
3.2.7 ตัวอย่างการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	37
3.3 ศึกษาเมตาฮิวริสติกวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต .....	46
3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน .....	46
3.5 ออกแบบและเขียนการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต .....	46
3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม .....	46
3.7 ดำเนินการทดลองและหาประสิทธิภาพของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตสำหรับปัญหาการจัด กลุ่มคำสั่งซื้อ .....	47
3.8 สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลการดำเนินโครงการ .....	48
4.1 การทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวกับวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขต.....	49
4.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย .....	49
4.1.2 วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขต.....	55
4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีแมลงซีปะขาว.....	64
4.2.1 สร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นของตัวผู้และตัวเมีย .....	64
4.2.2 สร้างตัวสร้างความเร็วเริ่มต้นของตัวผู้และตัวเมีย .....	64
4.2.3 ปรับปรุงความเร็ว.....	65
4.3 Psuedo code.....	67
4.4 การทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขตสำหรับการแก้ปัญหา การ จัดกลุ่มคำสั่งซื้อ.....	68
4.4.1 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง.....	69
4.4.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์.....	70
4.4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขตจำนวน 5 รอบ.....	71
4.4.4 ผลการทดลองจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขตจำนวน 10 รอบ.....	104
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาที่ใช้ในการทดลองของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขตกับวิธีผู้ล่า ทางทะเลเชิงเขตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเขต.....	119
4.6 สรุปผลการดำเนินการทดลองวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเขต.....	120
บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	121
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	121
5.2 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการ.....	124
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา .....	125
5.4 ข้อเสนอแนะ .....	125

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง .....	126
ภาคผนวก ก.....	129
ภาคผนวก ข.....	137
ภาคผนวก ค.....	147
ประวัติผู้จัดทำ.....	172

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 อธิบายปฏิบัติการในคลังสินค้า .....	7
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการหยิบแบบจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	11
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการหยิบแบบคู่ขนาน .....	12
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการหยิบแบบอนุกรม .....	12
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการหยิบแบบรูปคลื่น .....	13
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Exploitation และ Exploration .....	16
รูปที่ 2.7 ภาพแมลงซีปะขาว .....	18
รูปที่ 2.8 ภาพแสดงพฤติกรรมการจับคู่ของแมลงซีปะขาว .....	18
รูปที่ 2.9 โค้ดจำลองแสดงกระบวนการทำงานของ Mayfly algorithm .....	23
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนโค้ดวิธีแมลงซีปะขาว .....	26
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการของปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	28
รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ .....	32
รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านน้ำหนัก .....	33
รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านความเปราะ .....	34
รูปที่ 3.5 แผนผังคลังสินค้าแบบล็อกเดียว .....	34
รูปที่ 3.6 ขนาดต่าง ๆ ภายในคลังสินค้า .....	35
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลสินค้า .....	37
รูปที่ 3.8 ข้อมูลสินค้านำเข้า .....	38
รูปที่ 3.9 การมอบหมายและจัดลำดับกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	43
รูปที่ 3.10 เส้นทางการเดินทางของกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8 .....	44
รูปที่ 3.11 การพิจารณาเวลาล่าช้าในการจัดส่ง .....	45
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการเดินทางไปหยิบสินค้า .....	50
รูปที่ 4.2 การมอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อ .....	53
รูปที่ 4.3 การเดินทางไปหยิบกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 .....	54
รูปที่ 4.4 สมการปรับปรุงความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวผู้ .....	56

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ผังแสดงการทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต.....	64
รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	77
รูปที่ 4.7 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	78
รูปที่ 4.8 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	78
รูปที่ 4.9 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	79
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	85
รูปที่ 4.11 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	86
รูปที่ 4.12 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	86
รูปที่ 4.13 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	87
รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1.....	89
รูปที่ 4.15 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1.....	90
รูปที่ 4.16 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1.....	90
รูปที่ 4.17 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1.....	91
รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2.....	93
รูปที่ 4.19 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2.....	94
รูปที่ 4.20 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2.....	94
รูปที่ 4.21 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2.....	95
รูปที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	97
รูปที่ 4.23 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	98
รูปที่ 4.24 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	98
รูปที่ 4.25 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	99
รูปที่ 4.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	101
รูปที่ 4.27 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	102
รูปที่ 4.28 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	102
รูปที่ 4.29 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	103

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก.....	107
รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก.....	108
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง.....	111
รูปที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง.....	111
รูปที่ 4.34 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่.....	114
รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่.....	115
รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา.....	116
รูปที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา.....	117
รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา.....	118
รูปที่ 4.39 กราฟเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา.....	119

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน ..... 4	4
ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 ..... 39	39
ตารางที่ 3.2 พิจารณาคำสั่งซื้อใหม่ ..... 39	39
ตารางที่ 3.3 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 2..... 40	40
ตารางที่ 3.4 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3 ..... 40	40
ตารางที่ 3.5 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4..... 40	40
ตารางที่ 3.6 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 5..... 41	41
ตารางที่ 3.7 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 6..... 41	41
ตารางที่ 3.8 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 7..... 41	41
ตารางที่ 3.9 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8..... 41	41
ตารางที่ 3.10 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9..... 42	42
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ..... 49	49
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ..... 50	50
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างกลุ่มคำสั่งซื้อ..... 51	51
ตารางที่ 4.4 การหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการจัดส่ง..... 52	52
ตารางที่ 4.5 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4..... 53	53
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการใช้การเดินร่าของผู้..... 66	66
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างการใช้การบินสู่ของผู้เมีย..... 67	67
ตารางที่ 4.8 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง..... 69	69
ตารางที่ 4.9 การตั้งค่าพารามิเตอร์ $a_1, a_2, a_3, g_{max}, g_{min}, \alpha, Num/Pop$ ..... 70	70
ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1..... 71	71
ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2..... 80	80
ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1..... 88	88
ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2..... 92	92
ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1..... 96	96

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	100
ตารางที่ 4.16 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละโจทย์.....	104
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	106
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	106
ตารางที่ 4.19 สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก .....	108
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหขนาดกลางข้อที่ 1.....	109
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหขนาดกลางข้อที่ 2.....	110
ตารางที่ 4.22 สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหขนาดกลาง .....	112
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	113
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	114
ตารางที่ 4.25 สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ .....	115
ตารางที่ 4.26 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองการหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี.....	120
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1.....	121
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2.....	121
ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหขนาดกลางข้อที่ 1.....	122
ตารางที่ 5.4 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหขนาดกลางข้อที่ 2.....	122
ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1.....	122
ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2.....	122

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันคลังสินค้าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมของประเทศไทย คลังสินค้าจึงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการธุรกิจและโลจิสติกส์โดยส่วนใหญ่คลังสินค้ามักจะมีหลายหน้าที่และหลายขั้นตอนในกระบวนการธุรกิจที่รวมถึงการจัดหาวัตถุดิบ การผลิตสินค้า และกระจายสินค้าให้ถึงผู้บริโภค จากข้อมูลที่ได้ศึกษามานั้นพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในคลังสินค้า ได้แก่ ปัญหาการบริหารจัดการข้อมูล ปัญหาความหนาแน่นของสินค้าและปัญหาค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ (ไอฟาร กิตติธีรพรชัย และ นระเกณท์ พุ่มชูศรี, 2557:51) การดำเนินกิจกรรมในคลังสินค้าจะเริ่มต้นจากกระบวนการรับคำสั่งซื้อ กระบวนการจัดการและเก็บข้อมูลคำสั่งซื้อ กระบวนการหยิบคำสั่งซื้อ และกระบวนการตรวจสอบและทอหุ้มสินค้าในคลังสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้า ซึ่งกระบวนการหยิบคำสั่งซื้อมีการใช้เวลานานและต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการสูง เนื่องจากคลังสินค้ามักจะได้รับปริมาณคำสั่งซื้อจำนวนมากจึงส่งผลต่อปริมาณการหยิบในแต่ละวันและต้องส่งมอบสินค้าสินค้าไปยังลูกค้าให้ทันภายในกรอบเวลาที่กำหนด ทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลคำสั่งซื้อที่นานและอาจทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งมอบไปยังลูกค้า

ปัญหาที่ผู้ดำเนินโครงการสนใจคือปัญหาการหยิบสินค้าโดยใช้วิธีการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ โดยความพิเศษของปัญหานี้ที่ผู้ดำเนินโครงการสนใจคือการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยมีเงื่อนไขเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเงื่อนไขที่จะทำการพิจารณามีอยู่ 3 เงื่อนไขหลักคือ 1. เงื่อนไขด้านหมวดหมู่สินค้า โดยจะทำการแบ่งสินค้าเป็นสินค้าที่เป็นอาหารกับสินค้าที่ไม่เป็นอาหาร โดยสินค้าที่เป็นอาหารจะต้องวางไว้บนสินค้าที่ไม่เป็นอาหารเสมอ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสินค้าที่เป็นอาหารจากสินค้าที่ไม่เป็นอาหาร 2. เงื่อนไขในการรับน้ำหนักของพนักงานและอุปกรณ์ขนสินค้าโดยพนักงานและอุปกรณ์จะมีขีดความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้า หากว่าเกินขีดความสามารถนี้สินค้าที่วางในลำดับถัดไปจะต้องเป็นสินค้าที่มีน้ำหนักเบา เพื่อป้องกันการบาดเจ็บหรือความเมื่อยล้าจากการยกสินค้าหนักและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ขนสินค้า 3. เงื่อนไขด้านความเปราะโดยสินค้าแต่ละชนิดหรือแต่ละประเภทจะมีปริมาณในการรับน้ำหนักได้แตกต่างกัน โดยสินค้าที่วางด้านบนจะต้องมีน้ำหนักไม่เกินขีดความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้าที่อยู่ด้านล่างเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสินค้าเมื่อมีน้ำหนักเกินขีดจำกัด ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้มักจะถูกใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภท

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปัญหานี้เป็นปัญหาที่ยากและซับซ้อนเนื่องจากมีเงื่อนไขตามที่กล่าวไปเพิ่มเข้ามา ทำให้ผู้ดำเนินโครงการสนใจที่จะแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก ซึ่งผู้ดำเนินโครงการสนใจวิธีที่มีชื่อว่าวิธีการแมลงชิปะขาวที่เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกวิธีการใหม่ แต่เนื่องจากแต่เดิมวิธีการนี้

ออกแบบมาเพื่อให้ใช้กับปัญหาแบบต่อเนื่อง (Continuous Problem) คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงเซตมาประยุกต์ใช้กับวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต จึงกลายมาเป็นวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตเพื่อให้สามารถนำมาแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อซึ่งเป็นปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Problem) ได้ โดยจุดเด่นของวิธีนี้จะเป็นการจำลองพฤติกรรมทางสังคมในฤดูผสมพันธุ์ของแมลงซีปะขาว โดยจะมีการจับคู่ของตัวผู้และตัวเมียเพื่อสร้างลูกที่มีค่าตอบที่คาดหวังไว้ว่าจะดีกว่ารุ่นพ่อแม่ เพื่อแทนค่าตอบที่ดีกว่าของรุ่นลูกในแมลงซีปะขาวรุ่นพ่อและรุ่นแม่ โดยความพิเศษของวิธีการนี้คือจะมีการเลียนแบบพฤติกรรมการเดินร่าบนผิวน้ำของแมลงซีปะขาวตัวผู้เพื่อเพิ่มความสามารถในการสำรวจหาค่าตอบ ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการจึงมุ่งหวังว่าวิธีการนี้จะช่วยให้ เวลาในการหาค่าตอบมีความล่าช้ารวมในการจัดส่งให้น้อยที่สุดภายใต้เวลาในการหาค่าตอบที่เหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อเพื่อลดเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุดภายใต้เวลาในการหาค่าตอบที่เหมาะสม โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านหมวดหมู่ ด้านน้ำหนัก ด้านความเปราะบางของสินค้าเท่านั้น โดยประยุกต์ใช้วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต (Set-based Mayfly Algorithm, SBMA)

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ใช้วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อภายใต้เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ ด้านน้ำหนัก ด้านความเปราะบางของสินค้าเท่านั้น เพื่อลดเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุดภายใต้เวลาในการหาค่าตอบที่เหมาะสม

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สามารถใช้วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตช่วยในการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อภายใต้เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ ด้านน้ำหนัก ด้านความเปราะบางของสินค้าเท่านั้น ในการลดเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุดภายใต้เวลาในการหาค่าตอบที่เหมาะสม ไปประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมที่มีลักษณะงานที่ตรงกับเงื่อนไข

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

ศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดกลุ่มสินค้าในลักษณะคลังสินค้าแบบบล็อกเดียว โดยมีปัญหาากลุ่มคำสั่งซื้อขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ จากการทดลองเบื้องต้น แบ่งขนาดปัญหาตามขนาดที่ใช้เวลาหาค่าตอบ โดยมีการจัดแบ่งไว้จากงานวิจัยของนิสิตระดับปริญญาเอก ซึ่งอยู่ระหว่างทำการทดลองเพื่อเตรียมเผยแพร่ (ประภัสสร ประจักษ์พงษ์เพชร, 2565) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1 ปัญหากลุ่มคำสั่งซื้อขนาดเล็ก 20 รายการสินค้า
- 2 ปัญหากลุ่มคำสั่งซื้อขนาดกลาง 50 รายการสินค้า
- 3 ปัญหากลุ่มคำสั่งซื้อขนาดใหญ่ 100 รายการสินค้า
4. กำหนดขอบเขตของตัวแปร (Parameter) ในการทดลองในการหาคำตอบของวิธีแมลงซีปะชาวเชิงเซตโดยได้ทำการกำหนดขอบเขตไว้ดังนี้ (Zervoudakis., et al., 2020)
  - 4.1. ค่า  $g$  คือค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย กำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งได้ทำการอธิบายเพิ่มเติมไว้ในสมการที่ 2.5
  - 4.2. ค่า  $a_1$  คือค่าคงที่การดึงดูดเชิงบวกสำหรับองค์ประกอบส่วนตัว กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2 ในสมการที่ 4.2 และ 4.3
  - 4.3. ค่า  $a_2$  คือค่าคงที่การดึงดูดเชิงบวกสำหรับองค์ประกอบสังคม กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2 ในสมการที่ 4.2 และ 4.3
  - 4.4. ค่า  $a_3$  คือค่าคงที่การดึงดูดเชิงบวกสำหรับองค์ประกอบสังคม กำหนดให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2 ในสมการที่ 4.4 และ 4.5

## 1.6 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบโปรแกรม

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบโปรแกรมของผู้จัดทำโครงการเพื่อเอาไว้ทดสอบโปรแกรมและเก็บค่าต่าง ๆ ของโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

OS Name : Microsoft Windows 11 Home Single Language

Version : 10.0.22631 Build 22631

CPU : Processor AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics, 3201 Mhz, 8 Core(s), 16 Logical Processor(s)

RAM : 16.0 GB

## 1.7 คำสำคัญ

**Order Batching** หมายถึง การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการรวบรวมหรือจัดเรียงคำสั่งซื้อให้อยู่ในกลุ่มหรือหมวดหมู่ตามความเหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการจัดซื้อ ช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อ การจัดเก็บรักษา และสามารถจัดส่งสินค้าได้ในคราวเดียว ซึ่งจะช่วยลดจำนวนรอบการจัดส่ง และสามารถจัดส่งในปริมาณมากได้ ซึ่งจะส่งผลให้ลดระยะทางและเวลาของพนักงานในการเดินทางไปหยิบสินค้าทั้งหมดให้น้อยที่สุด ทำให้การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อมีประสิทธิภาพมากกว่าการหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อทีละรายการ โดยในแต่ละชุดคำสั่งซื้อนั้นจะมีรายการสินค้าที่มีรายละเอียดแตกต่างกัน เช่น ขนาดของสินค้า หมายเลขของสินค้า หรือจำนวนชิ้นที่ต้องการจะหยิบ ตามลำดับการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่เหมาะสม



ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

ลำดับ	การดำเนิน โครงการ	ช่วงเวลา										
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
2.	ศึกษาทฤษฎีที่ เกี่ยวกับการ แก้ปัญหาค่า จัดกลุ่มคำ สั่งซื้อ			←→								
3.	ศึกษาเมตาฮีริ สติกวีซีแมลง ซีปะขาวเชิง เซต		←→									
4.	ศึกษาการเขียน โปรแกรมด้วย ภาษาไพทอน		←→									
5.	ออกแบบและ เขียนการ แก้ปัญหาค่า จัดกลุ่มคำ สั่งซื้อ โดยวิธี แมลงซีปะขาว เชิงเซต					←→						
6.	ตรวจสอบ ความถูกต้อง ของโปรแกรม							←→				



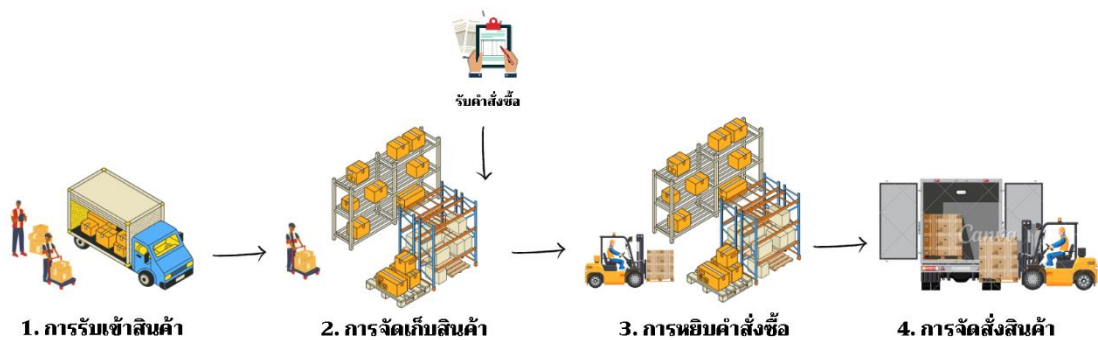
## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงปฏิบัติการหรือกิจกรรมในคลังสินค้า (Warehouse activities) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของธุรกิจที่มีสินค้าที่ต้องจัดเก็บเพื่อรองรับการผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าให้กับลูกค้า จากนั้นจะกล่าวถึงกิจกรรมที่โครงการนี้จะทำการศึกษาคือ อธิบายถึงภาพรวมของปัญหาที่ผู้จัดทำโครงการสนใจคือ ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่จะมีการพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่จะแตกต่างจากการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อปกติ เช่น เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ ด้านการรับน้ำหนักของพนักงาน และอุปกรณ์ ด้านความเปราะ เป็นต้น และในหัวข้อถัดมาจะทำการอธิบายถึงวิธีการเมตาฮิวริสติกวิธีแมลงซีปะขาวเซิงเซต ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ผู้ดำเนินโครงการจะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในโครงการครั้งนี้

#### 2.1 ปฏิบัติการในคลังสินค้า

การปฏิบัติการในคลังสินค้าเป็นปฏิบัติการการรับเข้าสินค้า (Receiving) การจัดเก็บสินค้า (Storage) การหยิบคำสั่งซื้อ (Order Picking) และการจัดส่งสินค้า (Shipping) ให้กับลูกค้า โดยมุ่งเน้นให้กระบวนการเหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อรองรับการจัดการคลังสินค้าและบริการลูกค้าในช่วงเวลาการจัดส่งที่เหมาะสมและรวดเร็วที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (BARTHOLDI, et al., 2019)



รูปที่ 2.1 อธิบายปฏิบัติการในคลังสินค้า

### 2.1.1 การรับเข้าสินค้า

การรับสินค้าเริ่มต้นด้วยการแจ้งล่วงหน้าเกี่ยวกับการมาถึงของสินค้า โดยจะทราบถึงประเภทของสินค้า จำนวนสินค้า ลักษณะและสภาพของสินค้า เป็นต้น เพื่อประสานกับกิจกรรมในคลังสินค้า สินค้าจะถูกจัดเตรียมไว้ จากนั้นจะทำการสแกนเพื่อลงทะเบียนการมาถึงเพื่อรับรองความเป็นเจ้าของ สินค้าจะถูกตรวจสอบเทียบกับเอกสารและบันทึกข้อมูลสินค้า เช่น ความเสียหาย จำนวนสินค้า คำอธิบายรายละเอียดสินค้า ฯลฯ สินค้ามักจะมาในหน่วยขนาดใหญ่ เช่น พาเลท (BARTHOLDI, et al., 2019)

### 2.1.2 การจัดเก็บสินค้า

กิจกรรมการจัดเก็บสินค้าเป็นการนำสินค้าที่ได้รับจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย ไปวางไว้ในตำแหน่งจัดเก็บสินค้า ซึ่งเป็นพื้นที่ที่กำหนดไว้ในคลังสินค้า เพื่อให้สามารถหยิบสินค้าได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้องเมื่อลูกค้าสั่งซื้อ โดยที่ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าจะถูกเรียกว่า “หน่วยจัดเก็บสินค้า (Stock Keeping unit; SKU)” ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็นหลายหน่วย โดยแต่ละหน่วยจะมีรหัสของตัวเอง เช่น A001, B002, C003 เป็นต้น รหัสนี้จะช่วยให้พนักงานที่เลือกรายการคำสั่งซื้อหรือผู้ที่ต้องการตรวจสอบสินค้า สามารถค้นหาและบันทึกข้อมูลของสินค้าได้ ซึ่งในกระบวนการจัดเก็บสินค้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสินค้าและความต้องการของลูกค้า เช่น ความนิยม ขนาด ปริมาณและคุณภาพ เป็นต้น การบริหารจัดการสินค้าที่ถูกต้องและทันสมัยจะต้องมีการติดตามแล้วอัปเดตข้อมูลของสินค้าในคลังสินค้า โดยจะคำนึงถึงจำนวนทุกครั้งที่มีการเพิ่มหรือลด เพื่อให้รู้ว่าสินค้าเพียงพอหรือไม่ บันทึกตำแหน่งของสินค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้พนักงานหยิบสินค้าได้อย่างถูกต้อง และความเหมาะสมของน้ำหนักในการจัดเก็บ โดยต้องพิจารณาว่าตำแหน่งที่จัดวางรับน้ำหนักของสินค้าได้เท่าไร เพื่อป้องกันการวางสินค้าเกินขีดจำกัดและความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักเกิน เป็นต้น เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วในการจัดเก็บและการหยิบสินค้า ในปี ค.ศ 1998 James A. Tomkins and Jerry D. Smith ได้อธิบายถึงกลยุทธ์การจัดเก็บสินค้าไว้ทั้งหมด 6 กลยุทธ์ ได้แก่ ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ (Informal system) ระบบจัดเก็บโดยการกำหนดตำแหน่งตายตัว (Fixed location) ระบบการจัดเก็บโดยจัดเรียงตามรหัสสินค้า (Part Number system) ระบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้า (Commodity system) ระบบการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว (Random location system) และการจัดเก็บสินค้าแบบผสม (Combination system) (James A & Jerry D, 1998) เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1.2.1 ระบบการจัดเก็บโดยไร้รูปแบบ

เป็นการจัดเก็บสินค้าที่ไม่มีการกำหนดชั้นตอนหรือกฎระเบียบที่เข้มงวด ในระบบนี้ การจัดเก็บสินค้าจะเป็นไปตามความสะดวกและความเหมาะสมของพนักงานหรือผู้ดูแลคลังสินค้า พนักงานมีความอิสระในการตัดสินใจว่าจะจัดเก็บสินค้าในที่ไหนและอย่างไร โดยไม่มีกฎหรือแนวทางที่ตายตัวในการจัดเก็บเป็นแบบเฉพาะเจาะจง ระบบนี้มักใช้ในบริษัทที่มีขนาดเล็ก เช่น

ร้านค้าออนไลน์ ร้านค้าขนาดเล็ก จึงอาจส่งผลให้เกิดปัญหาการจัดเก็บสินค้าหรือความยากในการค้นหาสินค้า

#### 2.1.2.2 ระบบการจัดเก็บโดยการกำหนดตำแหน่งตายตัว

เป็นการจัดเก็บสินค้าที่มีลักษณะเด่นคือการกำหนดตำแหน่งเฉพาะ และคงที่สำหรับสินค้าในคลังสินค้าหรือโกดัง กลยุทธ์นี้มีการกำหนดตำแหน่งที่จะจัดเก็บสินค้าล่วงหน้าและคงที่เพื่อให้สามารถตรวจพบสินค้าได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการค้นหาสินค้าเมื่อต้องการใช้งานหรือจัดส่งลูกค้า ระบบนี้เหมาะกับคลังสินค้าที่มีจำนวนสินค้าที่จัดเก็บน้อย แต่จะไม่เหมาะกับสินค้าที่มีลำดับการเข้าออกที่แปรปรวนหรือมีความเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง

#### 2.1.2.3 ระบบการจัดเก็บโดยการจัดเรียงตามรหัสสินค้า

เป็นการจัดเก็บสินค้าที่ใช้รหัสสินค้าเป็นหลักในกระบวนการจัดเก็บ ในระบบนี้สินค้าแต่ละชนิดจะถูกกำหนดรหัสสินค้าที่เป็นเอกลักษณ์ เมื่อจัดเก็บลงในคลังสินค้าระบบจะใช้รหัสนี้ในการติดตามสินค้าและจัดเก็บสินค้าที่มีรหัสเดียวกันรวมกันหรือใกล้เคียงกันในพื้นที่เดียว เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและจัดเก็บสินค้าที่คล้ายกันในคลังสินค้า เช่น รหัสสินค้า S001 สำหรับเสื้อไซส์ S M001 สำหรับเสื้อไซส์ M เมื่อมีการรับเสื้อทั้งสองขนาดเข้าคลังสินค้า จะนำสินค้าที่ได้รับไปจัดเก็บไว้ในช่องที่มีป้าย S001 M001 ตามรหัสที่ได้ตั้งไว้ และเมื่อต้องการที่จะนำสินค้าออกมาใช้งานระบบจะใช้รหัสสินค้าเพื่อค้นหาตำแหน่งของเสื้อไซส์นั้น ๆ เป็นต้น

#### 2.1.2.4 ระบบการจัดเก็บสินค้าตามประเภทของสินค้า

เป็นการจัดเก็บสินค้าที่มุ่งเน้นการจัดเก็บและจัดหมวดหมู่สินค้าตามลักษณะหรือประเภทของสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาและจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า ระบบนี้มักจะนำมาใช้ในธุรกิจหรือองค์กรที่มีสินค้าหลายประเภทและต้องการให้การจัดเก็บสินค้ามีระเบียบและชัดเจน เพื่อลดเวลาในการค้นหาและเพิ่มความเรียบร้อยในคลังสินค้า เช่น ร้านค้าหรือคลังสินค้า มีการจัดเก็บ ทีวี ตู้เย็น เครื่องซักผ้า โน้ตบุ๊กเครื่องใช้ไฟฟ้า ตามประเภทของสินค้า เป็นต้น

#### 2.1.2.5 ระบบการจัดเก็บที่ไม่ได้กำหนดตำแหน่งตายตัว

เป็นการจัดเก็บสินค้าที่ไม่กำหนดตำแหน่งเฉพาะในการจัดเก็บสินค้า ในระบบนี้สินค้าจะถูกจัดเก็บในพื้นที่ว่าง ๆ ที่สามารถรับสินค้าได้ตามความเหมาะสมในขณะนั้น โดยไม่มีการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนให้แก่ละชั้นของสินค้า ระบบนี้มีข้อดีในการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดเก็บและจัดส่งสินค้า แต่อาจทำให้การค้นหาสินค้าเป็นไปอย่างล่าช้าหากไม่มีระบบการติดตามที่ดีและการวิเคราะห์ข้อมูลที่แม่นยำ

#### 2.1.2.6 ระบบการจัดเก็บแบบผสมผสาน

เป็นกลยุทธ์การจัดเก็บสินค้าที่ใช้การผสมผสานหลากหลายวิธีการหรือระบบการจัดเก็บเข้าด้วยกันในคลังสินค้าหรือโกดังเดียว การจัดเก็บแบบผสมนี้มุ่งเน้นการเลือกใช้วิธีการจัดเก็บที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชนิดหรือกลุ่มของสินค้า เพื่อให้การจัดเก็บสินค้ามีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์และความต้องการของธุรกิจ โดยจะพิจารณาเงื่อนไข

หรือข้อจำกัดของสินค้าชนิดนั้น ๆ เช่น คลังสินค้านั้นมีสินค้าที่เป็นวัตถุดิบอันตรายหรือสารเคมีต่าง ๆ รวมอยู่กับสินค้าอาหาร จึงควรแยกพื้นที่การจัดเก็บสินค้าอันตรายให้อยู่ห่างจากสินค้าประเภทอาหาร และเครื่องดื่ม เป็นต้น

### 2.1.3 การหยิบคำสั่งซื้อ

การหยิบคำสั่งซื้อเป็นกระบวนการที่สำคัญในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกสินค้าที่ถูกต้องจากพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้า เพื่อตอบสนองต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า การหยิบสินค้ามีผลต่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของการจัดส่งสินค้า และมีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า การหยิบสินค้าเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาและแรงงานมาก เนื่องจากผู้ทำการหยิบสินค้าต้องเดินทางไปมาในพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อค้นหาและเก็บสินค้าตามรายการ

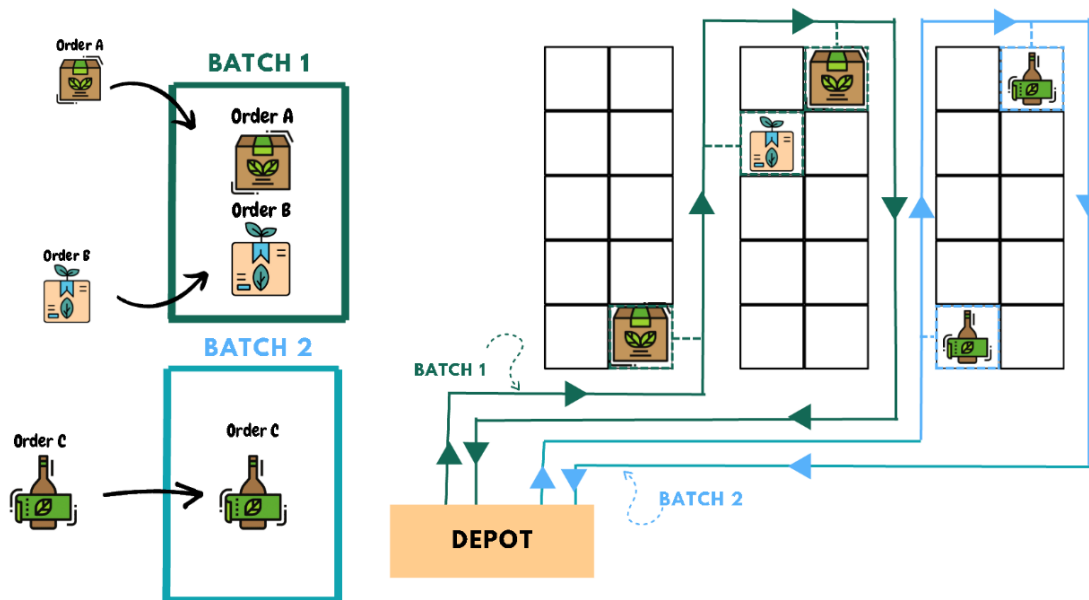
#### 2.1.3.1 การหยิบแบบทีละคำสั่งซื้อ

เป็นการหยิบสินค้าที่ง่ายที่สุด โดยจะทำการหยิบตามใบสั่งซื้อหรือคำสั่งซื้อของลูกค้าทีละคำสั่งจนครบทุกคำสั่งซื้อ เช่น สมมติว่าคลังสินค้ามีคำสั่งซื้อทั้งหมด 3 คำสั่งซื้อ ได้แก่ คำสั่งซื้อ A, คำสั่งซื้อ B และคำสั่งซื้อ C โดยคำสั่งซื้อ A ต้องการสินค้า A จำนวน 5 ชิ้น, คำสั่งซื้อ B ต้องการสินค้า B จำนวน 3 ชิ้น และคำสั่งซื้อ C ต้องการสินค้า C จำนวน 2 ชิ้น พนักงานจะต้องเดินไปหยิบสินค้า A จำนวน 5 ชิ้น จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้า A แล้วหยิบสินค้า B จำนวน 3 ชิ้น จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้า B หยิบและสินค้า C จำนวน 2 ชิ้น จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้า (Ostermeier et al., 2022) โดยสรุปแล้วการหยิบแบบทีละคำสั่งซื้อเป็นวิธีการหยิบสินค้าที่ง่าย เหมาะกับคลังสินค้าที่มีสินค้าหลากหลายประเภทและคำสั่งซื้อไม่มาก อย่างไรก็ตามการหยิบแบบทีละคำสั่งซื้ออาจใช้เวลาในการหยิบสินค้านานและมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการหยิบสินค้าได้มาก หากคลังสินค้าไม่ได้จัดเก็บสินค้าอย่างเหมาะสมและพนักงานไม่มีทักษะในการหยิบสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

#### 2.1.3.2 การหยิบแบบจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

เป็นการหยิบสินค้าตามใบสั่งซื้อหรือคำสั่งซื้อพร้อม ๆ กันครั้งละหลายคำสั่งซื้อ โดยทำการหยิบสินค้าในรายการที่เหมือนกันพร้อม ๆ กันในคราวเดียวเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเดินหยิบสินค้าให้น้อยลง (Cergobozan & Tasan, 2019) โดยทั่วไปแล้วกลุ่มคำสั่งซื้อจะมีสินค้าที่อยู่ใกล้กันหรือมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างเช่น สมมติให้คลังสินค้ามีคำสั่งซื้อมา 3 คำสั่งซื้อ ได้แก่ คำสั่งซื้อ A, คำสั่งซื้อ B และคำสั่งซื้อ C โดยคำสั่งซื้อ A และคำสั่งซื้อ B เป็นสินค้าประเภทเดียวกัน และคำสั่งซื้อ C เป็นสินค้าประเภทอื่น พนักงานจะทำการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อและเดินไปหยิบสินค้าตามกลุ่มคำสั่งซื้อที่ได้จัดไว้ โดยคำสั่งซื้อ A และคำสั่งซื้อ B จะอยู่ในตะกร้าเดียวกัน และคำสั่งซื้อ C จะอยู่ในตะกร้าอีกใบหนึ่ง พนักงานจะออกจากจุดรับคำสั่งซื้อ (Depot) และเดินไปหยิบสินค้าตามกลุ่มคำสั่งซื้อที่ได้จัดไว้เมื่อหยิบครบแล้วก็จะกลับมาที่จุดเก็บสินค้า โดยกลุ่มที่ 1 จะประกอบด้วยคำสั่งซื้อ A, B (สีเขียว) และกลุ่มที่ 2 ประกอบไปด้วยคำสั่งซื้อ C (สีฟ้า) และพนักงานจะทำการเดินไปหยิบสินค้าตามที่ได้จัดกลุ่มเอาไว้ดังรูปที่ 2.2 การหยิบแบบจัดกลุ่มคำสั่งซื้อช่วยลดระยะทางที่พนักงานต้องเดินและเวลาในการหยิบสินค้าให้น้อยลง โดยผู้ควบคุมคลังสินค้าจะทำการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อให้พร้อมกัน

แล้วส่งให้กับทีมหยิบสินค้าที่จะดำเนินการหยิบสินค้าในคราวเดียว หากมีคำสั่งซื้อหลาย ๆ รายการในคลังสินค้าเดียวกันหรือพื้นที่เดียวกัน การหยิบแบบจัดกลุ่มคำสั่งซื้อจะช่วยลดการรอคอยและการหยิบสินค้าที่บ่อยครั้ง



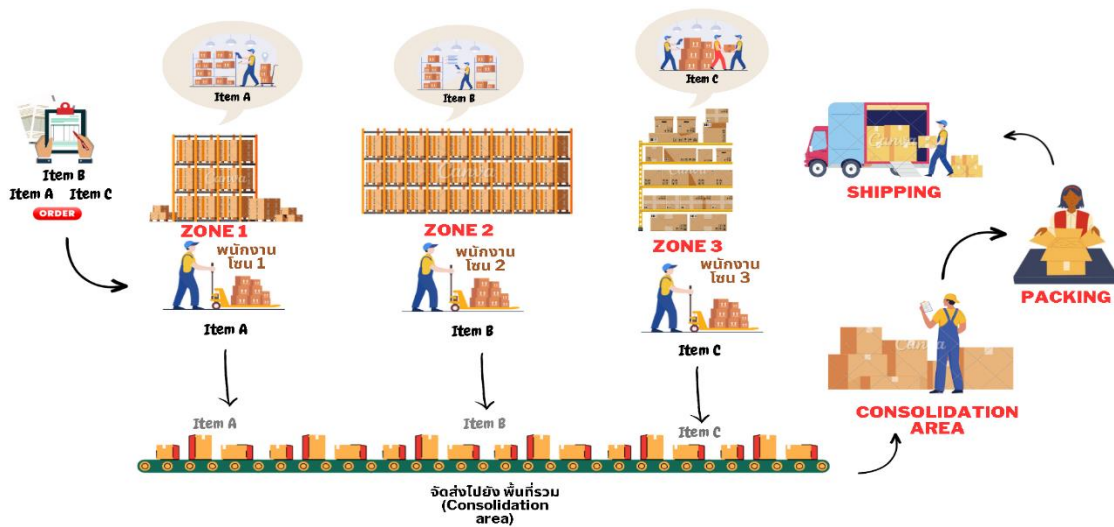
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการหยิบแบบจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

### 2.1.3.3 การหยิบแบบโซน

เป็นวิธีการหยิบสินค้าที่ผู้ทำการหยิบสินค้าจะถูกกำหนดให้อยู่ในพื้นที่จัดเก็บแบบแบ่งโซน โดยไม่ได้ไปหยิบสินค้าในโซนอื่น (Ostermeier et al., 2022) วิธีการนี้ช่วยลดเวลาในการเดินทางไปมาในพื้นที่จัดเก็บ แต่มักจะต้องใช้ระบบสายพานลำเลียงหรืออุปกรณ์อัตโนมัติอื่น ๆ เพื่อย้ายสินค้าจากโซนหนึ่งไปยังอีกโซนหนึ่ง มีข้อดีในการลดความซ้ำซ้อนของการเดินทางของผู้ทำการหยิบสินค้า และเพิ่มความเชี่ยวชาญของผู้ทำการหยิบสินค้าในโซนของตนเอง แต่มีข้อเสียในการต้องประสานงานระหว่างผู้ทำการหยิบสินค้าในแต่ละโซน มักจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงและการต้องใช้พื้นที่เพื่อจัดเก็บสินค้าที่ถูกหยิบระหว่างรอการจัดส่ง วิธีการการหยิบแบบโซนมีหลายรูปแบบดังนี้

#### ก. การหยิบแบบคู่ขนาน

การหยิบแบบคู่ขนาน (Parallel zone picking) เป็นรูปแบบที่ผู้ทำการหยิบสินค้าในแต่ละโซน จะทำการหยิบสินค้าในคำสั่งซื้อเดียวกันในเวลาเดียวกัน และจะส่งสินค้าไปยังพื้นที่รวม (Consolidation area) เพื่อจัดส่งดังรูปที่ 2.3

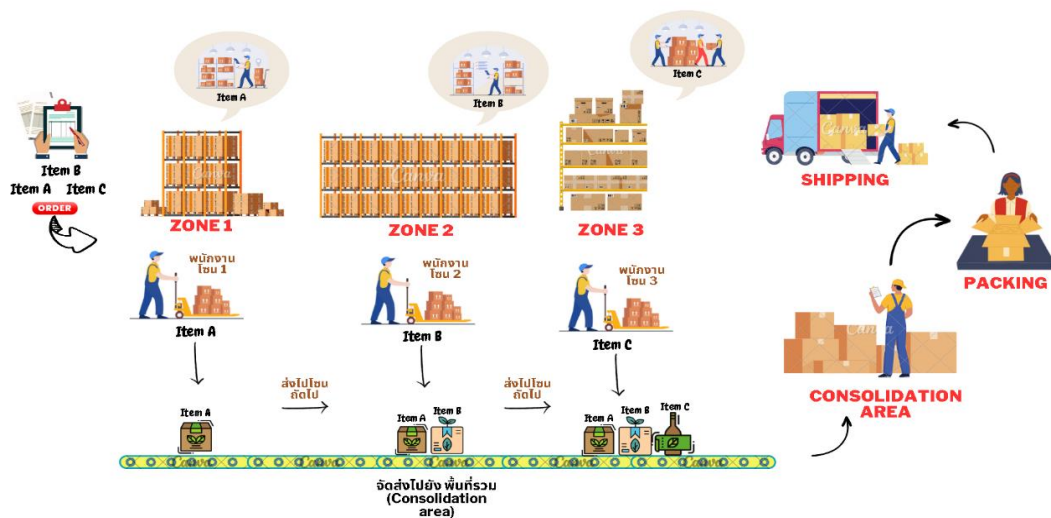


รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการหยิบแบบคู่ขนาน

ดังที่เห็นในรูปจะเห็นได้ว่ามีโซนสำหรับเก็บสินค้าอยู่ 3 โซน ได้แก่ Zone 1, Zone 2, Zone 3 โดยพนักงานจะทำการหยิบสินค้าในชุดคำสั่งซื้อเดียวกันพร้อมกันในหลาย ๆ โซนที่มีสินค้าชนิดนั้นอยู่ และลำเลียงสินค้าไปยังพื้นที่รวมจนกระทั่งไปถึงพื้นที่จัดส่ง

#### ข. การหยิบแบบอนุกรม

การหยิบแบบอนุกรม (Serial zone picking) เป็นรูปแบบที่ผู้ทำการหยิบสินค้าในแต่ละโซนจะทำการหยิบสินค้าในคำสั่งซื้อเดียวกันตามลำดับของโซน และส่งสินค้าไปยังผู้ทำการหยิบสินค้าในโซนถัดไป จนกระทั่งไปถึงพื้นที่จัดส่งดังรูปที่ 2.4

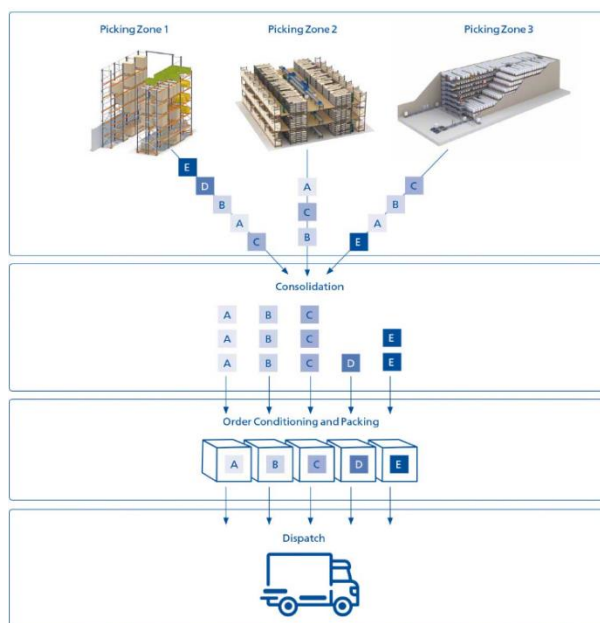


รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการหยิบแบบอนุกรม

ดังที่เห็นในรูปจะเห็นได้ว่ามีโซนสำหรับเก็บสินค้าอยู่ 3 โซน Zone 1, Zone 2, Zone 3 โดยพนักงานจะทำการหยิบสินค้าในชุดคำสั่งนั้นที่ละโซนตามลำดับ โดยพนักงานคนที่ 1 จะทำการหยิบสินค้า Item A แล้วส่งต่อให้พนักงานในโซนที่ 2 หยิบสินค้า Item B และส่งต่อให้พนักงานคนที่ 3 หยิบสินค้า Item C ตามลำดับของโซนไปจนครบ และลำเลียงสินค้าไปยังพื้นที่รวมจนกระทั่งไปถึงพื้นที่จัดส่ง

#### 2.1.3.4 การหยิบแบบรูปคลื่น

การหยิบแบบรูปคลื่น (Wave picking) เป็นวิธีการหยิบสินค้าที่ผู้ทำการหยิบสินค้าจะทำการเลือกสินค้าเพื่อเตรียมรายคำสั่งซื้อหลายรายการในครั้งเดียว (Gademann et al., 2001) โดยจะจับกลุ่มคำสั่งซื้อให้มีขนาดเล็กและมีเวลาในการจัดส่งใกล้เคียงกัน วิธีการนี้ช่วยลดเวลาในการหยิบสินค้า แต่ต้องใช้กระบวนการผสมผสานคำสั่งซื้ออย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาด วิธีการการหยิบแบบรูปคลื่น มีข้อดีในการปรับตัวได้ตามความต้องการของลูกค้าและการจัดส่งสินค้าได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียในการต้องใช้ทรัพยากรมาก เช่น พื้นที่, แรงงาน, อุปกรณ์, และ ดังที่เห็นในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่ในการหยิบสินค้า 3 แห่งได้แก่ Picking Zone 1, Picking Zone 2, Picking Zone 3, โดยทั้ง 3 แห่งมีการจัดเก็บสินค้าประเภท A,B,C,D,E จากรูปจะเห็นได้ว่าการหยิบแบบรูปคลื่นจะมีการจัดเตรียมสินค้าแยกเป็นกลุ่ม ๆ ล่วงหน้าก่อนการจัดส่ง โดยจะแยกเป็น 5 กลุ่มคือ กลุ่ม A, กลุ่ม B, กลุ่ม C, กลุ่ม D, และกลุ่ม E, จากพื้นที่หยิบสินค้าทั้ง 3 แห่ง



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการหยิบแบบรูปคลื่น

(ที่มา: <https://www.mecalux.com/blog/wave-picking>)

## 2.1.4 การจัดส่งสินค้า

การจัดส่งสินค้าเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการย้ายสินค้าไปยังที่หมาย โดยใช้หลายวิธี เช่น ทางน้ำ, ทางถนน, ทางรถไฟ, หรือทางเครื่องบิน (V.hovelaque et al., 2007) การจัดส่งสินค้ามีผลต่อการสร้างเสริมการค้าระหว่างประเทศ, การแข่งขันในตลาด, และความพึงพอใจของลูกค้า การจัดส่งสินค้าต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ระยะทาง, เวลา, ต้นทุน, ความปลอดภัย, ความน่าเชื่อถือ, และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนของการจัดส่งสินค้า มีหลายเครื่องมือและเทคโนโลยีที่ถูกใช้ เช่น เครื่องมือติดตามและตรวจสอบสินค้า, เครื่องมือวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทางขนส่ง, เครื่องมือป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติ, เครื่องมือปรับปรุงการบริหารจัดการและการตัดสินใจ นอกจากนี้ การจัดส่งสินค้ายังมีกระบวนการย่อย ๆ ที่ต้องให้ความสำคัญ

### 2.1.4.1 การแพ็คสินค้า

การแพ็คสินค้าเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมและห่อหุ้มสินค้าให้พร้อมในการขนส่ง โดยใช้วัสดุและกล่องที่เหมาะสม การแพ็คสินค้ามีผลต่อคุณภาพและปริมาณของสินค้า และผลกระทบต่อต้นทุนและผลประโยชน์ของการขนส่ง

### 2.1.4.2 การจำแนกและจัดเรียงสินค้า

การจำแนกและจัดเรียงสินค้า (Sorting and Consolidation) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการจับกลุ่มและจัดเรียงสินค้าตามประเภทของสินค้า และปลายทางที่จะทำการจัดส่งสินค้าหรือเวลาในการจัดส่ง โดยใช้เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสม การจำแนกและจัดเรียงสินค้ามีผลต่อความเร็วและความถูกต้องของการจัดส่งสินค้า และผลกระทบต่อการใช้พื้นที่และการบริหารจัดการ

### 2.1.4.3 การขนส่งสินค้า

การขนส่งสินค้า (Transportation) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยใช้หลายวิธี เช่น ทางน้ำ, ทางถนน, ทางรถไฟ, หรือทางเครื่องบิน การขนส่งสินค้ามีผลต่อเวลาและต้นทุนในการจัดส่งสินค้า และผลกระทบต่อความปลอดภัย, ความเชื่อถือได้, และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

### 2.1.4.4 การกระจายสินค้าและจำหน่ายสินค้า

การกระจายและจำหน่ายสินค้า (Distribution and Delivery) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการกระจายและจำหน่ายสินค้าจากผู้ขนส่งไปยังผู้รับ โดยใช้เอกสารและระบบที่เหมาะสม การจ่ายและจำหน่ายสินค้ามีผลต่อความเร็วและความถูกต้องของการจัดส่งสินค้า และผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า

## 2.2 ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ของสินค้า

ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อเป็นปัญหาที่พบในขั้นตอนการหยิบสินค้าจากคำสั่งซื้อของลูกค้าโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละคำสั่งซื้อมาจัดรวมกันเป็นกลุ่มเพื่อให้พนักงานที่ทำหน้าที่หยิบสินค้าสามารถเดินไปหยิบสินค้าของหนึ่งกลุ่มคำสั่งซื้อภายในหนึ่งรอบได้ ซึ่งเกณฑ์ในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของคำสั่งซื้อของลูกค้า เช่น เวลาที่ต้องส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้า ปริมาณของสินค้า ตำแหน่งที่จัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า และการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อสามารถสร้างกระบวนการหยิบสินค้าที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากกว่าการหยิบทีละคำสั่งซื้อ เนื่องจากการรวมคำสั่งซื้อเป็นกลุ่มคำสั่งซื้อจะช่วยลดระยะทางการเดินหยิบสินค้าในกลุ่มคำสั่งซื้อหรือเวลาที่ทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง (J. A. Cano et al., 2020)

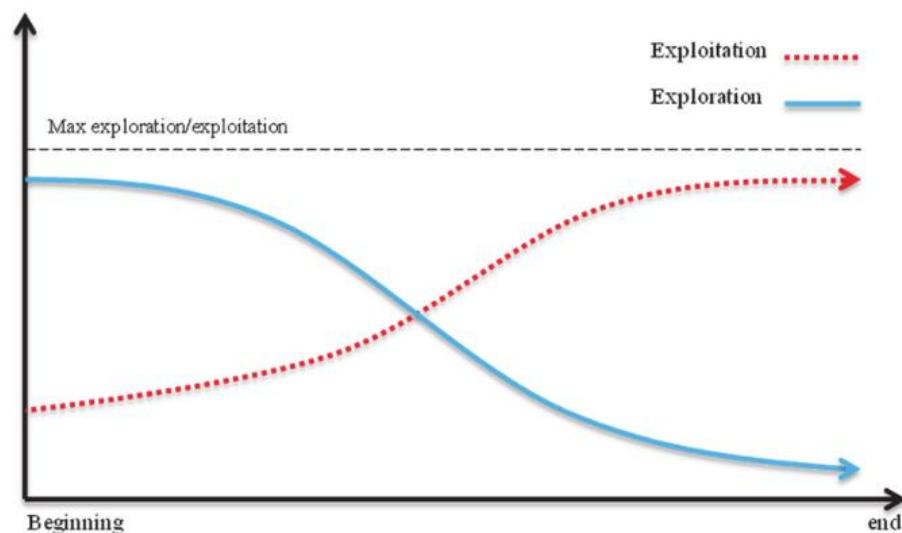
แต่การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยนำเงื่อนไขต่าง ๆ ของสินค้ามาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อนั้นทำให้เกิดความซับซ้อนในการจัดกลุ่มมากขึ้น จึงอาจส่งผลให้ต้องพิจารณาสินค้า (Item) ในคำสั่งมาทำการจัดกลุ่มแทนคำสั่งซื้อ เพราะในบางกรณีสินค้าที่รวมอยู่ในคำสั่งซื้อนั้น ๆ อาจละเมิดเงื่อนไขที่ได้วางเอาไว้ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำให้จัดกลุ่มคำสั่งซื้อได้ จึงอาจส่งผลกระทบต่อการจัดลำดับการหยิบของพนักงาน ระยะทางในการหยิบและสุดท้ายจะทำให้เกิดความล่าช้ารวมในการจัดส่งในที่สุด โดยปัญหานี้จะมีการพิจารณาเงื่อนไขหลัก ๆ อยู่ 3 เงื่อนไข คือ 1. เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ คือสินค้าที่เป็นอาหาร และสินค้าที่ไม่ใช่อาหาร โดยจะห้ามให้สินค้าที่ไม่ใช่อาหารวางไว้บนสินค้าที่เป็นอาหารเพื่อป้องกันการปนเปื้อน 2. เงื่อนไขด้านการรับน้ำหนักของรถขนส่งสินค้าโดยหากว่าเกินกว่าเกณฑ์น้ำหนักที่กำหนดไว้จะไม่สามารถรับของหนักได้โดยจะรับได้แต่ของเบาเท่านั้น 3. ความเปราะบางของสินค้าหรือความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้า โดยสินค้าที่วางซ้อนกันสินค้าที่วางอยู่ด้านล่างจะเงื่อนไขในการรับน้ำหนักระบุไว้โดยคำนึงถึงการสะสมของน้ำหนักของสินค้าที่อยู่ด้านบนของสินค้าชนิดนั้น โดยจากปัญหานี้จะเห็นได้ว่า กลุ่มคำสั่งซื้อหนึ่งกลุ่มอาจจะประกอบไปด้วยสินค้าที่มาจากหลาย ๆ กลุ่มคำสั่งซื้อรวมกันตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดลำดับการหยิบของพนักงาน และสุดท้ายจะทำให้การความล่าช้ารวมในการจัดส่งในที่สุด ทำให้ปัญหานี้จัดเป็นปัญหาที่ยากต่อการแก้ปัญหา (ประภัสสร ประจักษ์เพชร, 2565)

## 2.3 วิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา

### 2.3.1 วิธีเมตาฮิวริสติก

เมตาฮิวริสติก (Meta-heuristics) เป็นคำนามที่ประกอบด้วย "เมต้า" ซึ่งหมายถึง "เหนือ" และ "ฮิวริสติก" ซึ่งหมายถึงวิธีการหรือกฎที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเพิ่มการตัดสินใจหรือการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้หรือประสบการณ์ที่มีอยู่มาช่วยในการหาคำตอบและนำมาผสมรวมกัน (Christian Blum, et al., 2003) ที่มาของวิธีนั้นมาจากแนวคิดต่าง ๆ มากมาย เช่น แนวคิดทางธรรมชาติวิทยา แนวคิดทางคณิตศาสตร์ และแนวคิดทางวิศวกรรม ตัวอย่างแนวคิดทางธรรมชาติ

วิทยาที่นำมาประยุกต์ใช้กับวิธีเมตาฮิวริสติก ได้แก่ แนวคิดการคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Natural selection) แนวคิดการอพยพของสัตว์ (Animal migration) และแนวคิดการแพร่กระจายของไฟ (Fire spread) หลักการของวิธีเมตาฮิวริสติก นั้นมาจากแนวคิดในการค้นหาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Solution space) โดยวิธีเมตาฮิวริสติก จะไม่พยายามค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยตรง แต่จะใช้วิธีการค้นหาแบบวนซ้ำ (Iterative search) โดยเริ่มจากคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) จากนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนคำตอบนั้นไปเรื่อย ๆ โดยใช้หลักการบางอย่างเพื่อหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในจุดที่คำตอบไม่ดี (Local optimum) โดยหัวใจสำคัญของเมตาฮิวริสติกคือสมดุลระหว่างการค้นหาคำตอบที่ดี (Exploitation) และการสำรวจคำตอบใหม่ ๆ (Exploration) โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.6 (Carlos A, et al., 2007)



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Exploitation และ Exploration

(ที่มา Mahdi Bidar, et al. (2018) )

#### 2.3.1.1 การค้นหาคำตอบที่ดี

การค้นหาคำตอบที่ดี หมายถึงกระบวนการค้นหาคำตอบที่ดีอยู่แล้วหรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีเมตาฮิวริสติกมักใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงคำตอบที่มีอยู่ เช่น การย้ายไปยังคำตอบใกล้เคียงที่มีค่าเป้าหมายดีกว่าหรือการทำซ้ำคำตอบที่มีอยู่และทำการเปลี่ยนแปลงคำตอบเพียงเล็กน้อย

#### 2.3.1.2 การสำรวจคำตอบ

การสำรวจคำตอบหมายถึงการสำรวจพื้นที่การค้นหาทั้งหมดหรือการสำรวจคำตอบใหม่ ๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีเมตาฮิวริสติกที่ดีจะต้องมีการสำรวจพื้นที่คำตอบ

เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น การยอมรับคำตอบที่แย่กว่าคำตอบเดิมเพื่อเพิ่มโอกาสในการค้นพบคำตอบใหม่ๆ หรือการค้นหาคำตอบแบบสุ่มหรือการใช้เทคนิคต่าง ๆ เพื่อสร้างคำตอบใหม่

ความสัมพันธ์ระหว่างการค้นหาคำตอบที่ดีและการสำรวจคำตอบนั้นมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของวิธีเมตาฮีริสติก หากเน้นที่การค้นหาคำตอบที่ดีมากเกินไป วิธีเมตาฮีริสติกอาจติดอยู่ในค่าคำตอบท้องถิ่นหรือค่าคำตอบใกล้เคียง ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีแต่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด หากเน้นที่การสำรวจคำตอบมากเกินไปวิธีเมตาฮีริสติกอาจใช้เวลานานเกินไปในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optima)

ในการใช้วิธีเมตาฮีริสติกในการแก้ปัญหาซึ่งมักนิยมใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากร ปัญหาการขนส่งและปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ ซึ่งการแก้ปัญหาของวิธีเมตาฮีริสติกโดยมากแล้ว มักเริ่มต้นด้วยการสำรวจพื้นที่ค้นหาทั้งหมดหรือบางส่วน สำหรับทุกคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับปัญหา ต่อมาจะเป็นการปรับปรุงคำตอบที่มีอยู่และสุดท้ายจะเป็นการวนซ้ำเพื่อสุ่มหาและสำรวจคำตอบที่เป็นไปได้เพื่อหลีกเลี่ยงการติดค่าคำตอบท้องถิ่นหรือค่าคำตอบใกล้เคียงเพื่อที่จะเข้าใกล้หรือได้คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด

### 2.3.2 วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

เมตาฮีริสติกวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต นั้นได้แนวคิดจากพฤติกรรมทางสังคมของแมลงซีปะขาวในฤดูผสมพันธุ์ ส่วนใหญ่แมลงซีปะขาวตัวผู้จะรวมกันอยู่บนผิวน้ำและดึงดูดแมลงซีปะขาวตัวเมียให้มาผสมพันธุ์ด้วยการเต้นรำที่เป็นเอกลักษณ์ของแมลงซีปะขาว แมลงซีปะขาวตัวผู้จะได้รับผลกระทบจากกลุ่มประชากรและตำแหน่งของตัวเอง และสามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้ตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดได้เรื่อย ๆ ในหลาย ๆ กรณีในหมู่ของลูกแมลงซีปะขาวที่ได้จากการผสมพันธุ์อาจจะมีแมลงซีปะขาวที่มีคำตอบที่ดีกว่ารุ่นก่อน และสามารถเข้าร่วมการหาคำตอบที่ดีที่สุดกับแมลงซีปะขาวรุ่นพ่อแม่ หลังจากนั้นสมาชิกทุกคนในประชากรจะใช้กลยุทธ์การเก็บรักษาที่ดีที่สุดเพื่อสร้างประชากรใหม่สำหรับการวนซ้ำครั้งถัดไป (Zervoudakis., et al., 2020)



รูปที่ 2.7 ภาพแมลงชีปะขาว

(ที่มา <https://www.bbc.com/news/world-europe-40326102>)

วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตเริ่มต้นโดยสุ่มสร้างประชากรของแมลงชีปะขาวสองกลุ่ม คือ แมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย และแต่ละแมลงชีปะขาวในสองกลุ่มจะถูกสุ่มให้อยู่ในพื้นที่การค้นหา ตำแหน่งของแมลงชีปะขาวจะถูกแทนด้วยเวกเตอร์ D-มิติ  $X_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_D\}$  และความเร็วจะถูกแทนด้วย  $V_i = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_D\}$  ในการวนซ้ำแต่ละครั้ง แมลงชีปะขาวจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุด ในระแวกใกล้เคียง (pbest) และตำแหน่งที่ดีที่สุด (gbest)



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงพฤติกรรมการจับคู่ของแมลงชีปะขาว

(ที่มา <https://www.bbc.com/news/world-europe-40326102>)

### 2.3.2.1 การเคลื่อนไหวของแมลงชีปะขาวตัวผู้

การเคลื่อนไหวของแมลงชีปะขาวตัวผู้ (Mayfly algorithm movement of male mayflies) คือวิธีการที่ใช้แนวคิดจากการเคลื่อนที่ของแมลงชีปะขาวตัวผู้ในการปรับตำแหน่งของตัวเองให้เข้าใกล้ตำแหน่งที่ดีที่สุด แมลงชีปะขาวตัวผู้จะรวมกันและปรับตำแหน่งของตัวเองโดยอิงจากตำแหน่งปัจจุบันและข้อมูลตำแหน่งของประชากร สมมุติว่า  $x_i^t$  เป็นตำแหน่งของ

แมลงซีปะขาวตัวผู้ที่  $i$  ในรอบที่  $t$  ในพื้นที่การค้นหา (Search space) และเพิ่มความเร็ว  $V_i^{t+1}$  เข้าไปในตำแหน่งปัจจุบันเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองซึ่งมีสมการดังนี้

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (2.1)$$

จากการศึกษาพบว่าความเร็วของแมลงซีปะขาวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อแมลงซีปะขาวอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของประชากร (Global best position) หรือตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง (Personal best position) ซึ่งอาจทำให้แมลงซีปะขาวบินออกไปนอกพื้นที่ปัญหาได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ลูกหลานแมลงซีปะขาวมีความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์ ซึ่งอาจเป็นคำตอบสำหรับปัญหานี้ เนื่องจากจะมีแมลงซีปะขาวที่มีค่าความเร็วต่ำที่ยังช่วยให้การลู่เข้า (Convergence) เกิดขึ้นได้ เราสมมุติว่าแมลงซีปะขาวแต่ละตัวสามารถพัฒนาความเร็วสูงสุดได้  $V_{max}$  เท่านั้นในกรณีนี้ความเร็วจะถูกปรับให้เป็น

$$v_{ij}^{t+1} = \begin{cases} V_{max}, & \text{if } v_{ij}^{t+1} > V_{max} \\ -V_{max}, & \text{if } v_{ij}^{t+1} < -V_{max} \end{cases} \quad (2.2)$$

สิ่งที่สำคัญคือถึงแม้ว่า  $V_{max}$  จะควบคุมการสำรวจของพื้นที่การค้นหา แต่ถ้าค่า  $V_{max}$  เล็กเกินไป จะทำให้ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เกินจุดที่ดีที่สุดในห้องถิ่น ได้ค่า  $V_{max}$  สามารถเลือกได้โดยใช้สูตร

$$V_{max} = rand * (x_{max} - x_{min}) \quad (2.3)$$

โดยที่  $rand \in (0,1]$

สูตรการหาความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวผู้ :

$$v_{ij}^{t+1} = g * v_{ij}^t + a_1 e^{-\beta r_p^2} (pbest_{ij} - x_{ij}^t) + a_2 e^{-\beta r_g^2} (gbest_j - x_{ij}^t) \quad (2.4)$$

โดยที่  $V_{ij}^{t+1}$  เป็นความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  ในรอบที่  $t+1$  ในมิติที่  $j$  และ  $x_{ij}^t$  เป็นตำแหน่งของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  ในรอบที่  $t$  ในมิติที่  $j$  ในพื้นที่การค้นหาแล้ว  $a_1$  และ  $a_2$  คือค่าคงที่การดึงดูดเชิงบวกสำหรับองค์ประกอบส่วนตัวและสังคมตามลำดับ  $\beta$  เป็น

สัมประสิทธิ์การมองเห็น  $g$  เป็น ค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย (Gravity coefficient) ที่ปรับเปลี่ยนได้ เพื่อสมดุลการค้นหาคำตอบใกล้เคียง และคำตอบที่ดีที่สุด (Global optimum) อย่างรวดเร็วซึ่งมีสมการดังนี้

$$g = g_{max} - \frac{g_{max} - g_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (2.5)$$

โดยที่  $g$  เป็นค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อย  $g_{max}$  เป็นค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อยสูงสุด  $g_{min}$  เป็นค่าถ่วงน้ำหนักความเฉื่อยต่ำสุด  $iter$  เป็นจำนวนรอบการวนซ้ำ  $iter_{max}$  เป็นจำนวนรอบการวนซ้ำสูงสุด และ  $r_p$  เป็นระยะห่างคาร์ทีเซียน (Cartesian distance) ระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับ  $pbest_{ij}$  และ  $r_g$  เป็นระยะห่างคาร์ทีเซียนระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับ  $gbest_j$ ;  $r$  เป็นเลขสุ่มที่อยู่ในช่วง  $[-1, 1]$  ซึ่งระยะห่างคาร์ทีเซียนสามารถหาได้จาก

$$\|x_i - X_{ij}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - X_{ij})^2} \quad (2.6)$$

โดยที่  $x_{ij}$  เป็นตำแหน่งของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  ในมิติที่  $j$  และ  $X_{ij}$  เป็นค่าของ  $pbest$  หรือ  $gbest$  ในมิติที่  $j$  และการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของแมลงซีปะขาวแต่ละตัวในรอบถัดไปการวนซ้ำถัดไปโดยจะใช้สูตร

$$pbest_i = \begin{cases} x_i^{t+1}, & \text{if } f(x_i^{t+1}) < f(pbest_i) \\ \text{is kept the same,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.7)$$

โดยที่  $pbest_{ij}$  เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของแมลงซีปะขาวที่  $i$  ในมิติ  $j$   $x_{ij}$  เป็นตำแหน่งปัจจุบันของแมลงซีปะขาวที่  $i$  ในมิติ  $j$   $f(x)$  เป็นฟังก์ชันเป้าหมายที่ใช้ประเมินค่าเหมาะสม (fitness) ของแมลงซีปะขาว  $t$  เป็นจำนวนรอบการวนซ้ำปัจจุบัน

สูตรนี้หมายความว่า ถ้าแมลงซีปะขาวที่  $i$  ไปยังตำแหน่งใหม่ที่มีค่าเหมาะสม ดีกว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดเดิมของตัวเองก็จะเก็บตำแหน่งใหม่นั้นเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง แต่ถ้าไม่ใช่ก็จะยังคงใช้ตำแหน่งเดิม

### 2.3.2.2 สัมประสิทธิ์การเต้นรำ

หากว่าแมลงชีปะขาวตัวผู้ตัวนั้นเป็นผู้ที่มีค่าเหมาะสมที่สุดดีที่สุดในกลุ่ม ดังนั้นเพื่อให้ยังคงทำการเต้นรำ (Nuptial dance) ขึ้นลงได้ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของการทำงานของวิธีการนี้ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของแมลงชีปะขาวตัวผู้จะคำนวณโดยใช้สูตร

$$v_{ij}^{t+1} = v_{ij}^t + d * r \quad (2.8)$$

เมื่อ  $d$  คือสัมประสิทธิ์การเต้นรำ (nuptial dance coefficient) และ  $r$  คือค่าการสุ่มระหว่าง  $[-1, 1]$  การเคลื่อนไหวขึ้นลงนี้จะเพิ่มปัจจัยสุ่ม (stochastic element) เข้าไปในวิธีการ

### 2.3.2.3 การเคลื่อนไหวของแมลงชีปะขาวตัวเมีย

การเคลื่อนไหวของแมลงชีปะขาวตัวเมีย (Mayfly algorithm movement of female mayflies) คือวิธีการที่ใช้แนวคิดจากการเคลื่อนที่และการผสมพันธุ์ของแมลงชีปะขาวตัวเมียในการหาคำตอบที่ดีที่สุด แมลงชีปะขาวตัวเมียจะไม่รวมกันเป็นกลุ่ม และจะเข้าหาแมลงชีปะขาวตัวผู้ที่มีค่าเหมาะสม ที่ดีกว่าและผสมพันธุ์กับตัวผู้ตัวนั้น สมมุติว่า  $y_i^t$  เป็นตำแหน่งของแมลงชีปะขาวตัวเมียที่  $i$  ในรอบที่  $t$  ในพื้นที่การค้นหาและเพิ่มความเร็ว  $v_i^{t+1}$  เข้าไปในตำแหน่งปัจจุบันเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองดังนี้

$$y_i^{t+1} = y_i^t + v_i^{t+1} \quad (2.9)$$

นอกจากนี้การดึงดูดกันระหว่างแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมียเป็นกระบวนการที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในกระบวนการนี้ แมลงชีปะขาวตัวเมียที่ดีที่สุดจะถูกดึงดูดโดยแมลงชีปะขาวตัวผู้ที่ดีที่สุด แมลงชีปะขาวตัวเมียอันดับสองจะถูกดึงดูดโดยแมลงชีปะขาวตัวผู้อันดับสอง และอย่างไรก็ตาม ถ้าค่าเหมาะสมของแมลงชีปะขาวตัวผู้ไม่ดี แมลงชีปะขาวตัวเมียที่สอดคล้องกับตัวผู้ตัวนั้นจะบินรอบ ๆ ไปโดยสุ่ม สูตรสำหรับการคำนวณความเร็วของแมลงชีปะขาวตัวเมียคือ

$$v_{ij}^{t+1} = \begin{cases} g * v_{ij}^t + a_2 e^{-\beta r_{mf}^2} (x_{ij}^t - y_{ij}^t), & \text{if } f(y_i) > f(x_i) \\ g * v_{ij}^t + f_l * r, & \text{if } f(y_i) \leq f(x_i) \end{cases} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $r_{mf}$  คือระยะทางคาเทเซียนระหว่างตัวแมลงตัวเมียและแมลงตัวผู้ และ  $f_l$  คือการบินแบบสุ่มซึ่งมีค่าคือ  $[-1, 1]$  และค่า  $g$  สามารถมีค่าคงที่อยู่ที่ในช่วง  $(0, 1]$  หรือค่อย ๆ ลดจำนวนลงจากการวนซ้ำจากสูตรที่ (2.5)

### 2.3.2.4 การจับคู่ของแมลงชีปะขาว

วิธีการจับคู่ของแมลงชีปะขาว (Mayfly mating) ใช้แนวคิดจากการผสมพันธุ์ของแมลงชีปะขาวในการสร้างลูกหลานใหม่ แมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมียจะถูกเลือกเพื่อผสมพันธุ์เพื่อสร้างลูกหลานสองตัว ผลการผสมพันธุ์จะประกอบด้วยสมการดังนี้

$$offs1 = L * male + (1 - L) * female \quad (2.11)$$

$$offs2 = L * female + (1 - L) * male \quad (2.12)$$

โดยที่ offs1 และ offs2 เป็นลูกหลานสองตัว male เป็นแมลงชีปะขาวตัวผู้ female เป็นแมลงชีปะขาวตัวเมีย และ L เป็นเลขสุ่มที่อยู่ในช่วง  $[-1, 1]$

### 2.3.2.5 การกลายพันธุ์ของลูกแมลงชีปะขาว

การกลายพันธุ์ของลูกแมลงชีปะขาว คือวิธีการที่ใช้เพื่อจัดการกับปัญหาการเข้าสู่ค่าตอบที่ดีที่สุดในแต่ละวงใกล้เคียงหรือท้องถิ่น โดยลูกหลานแมลงชีปะขาวที่กลายพันธุ์จะปรากฏขึ้นโดยสุ่มในมิติใดมิติหนึ่งซึ่งใช้สมการคือดังนี้

$$offspring'_n = offspring_n + \sigma N_n(0, 1) \quad (2.13)$$

โดยที่ n เป็นมิติของลูกหลานแมลงชีปะขาว  $\sigma$  เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกลายพันธุ์  $N_n(0,1)$  เป็นการแจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard normal distribution) ที่มีค่าคาดหวังเป็น 0 และค่าความแปรปรวนเป็น 1

### 2.3.2.6 การลดค่าของสัมประสิทธิ์การเดินรำและสัมประสิทธิ์การบินสุ่ม

สัมประสิทธิ์การเดินรำและสัมประสิทธิ์การบินสุ่ม (Reduction of nuptial dance and random flight) คือวิธีการที่ใช้สัมประสิทธิ์การเดินรำและสัมประสิทธิ์การบินรอบ ๆ (Random flight coefficient) เพื่อหาค่าตอบที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็วและแม่นยำขึ้น สัมประสิทธิ์เหล่านี้จะเพิ่มความสามารถในการค้นหาในระดับท้องถิ่นตามจำนวนรอบการวนซ้ำ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงความแม่นยำในการลู่อูเข้าซึ่งมีสูตรคือดังนี้

$$d_t = d_0 \delta^t, 0 < \delta < 1 \quad (2.14)$$

$$fl_t = fl_0 \delta^t, 0 < \delta < 1 \quad (2.15)$$

โดยที่  $d_t$  และ  $fl_t$  เป็นสัมประสิทธิ์การเต้นรำและสัมประสิทธิ์การบินรอบๆในรอบที่  $t$  และ  $\delta$  เป็นค่าคงที่ในช่วง  $(0,1)$

### 2.3.2.7 กระบวนการทำงานของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

กระบวนการทำงานของแมลงชีปะขาวสามารถอธิบายโดยใช้โค้ดจำลอง (Pseudocode) เพื่อแสดงรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสม (Optimization problem) โดยอิงจากพฤติกรรมของแมลงชีปะขาวในช่วงผสมพันธุ์ โค้ดจำลองของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตดังรูปที่ 2.9

Mayfly Algorithm	
ก	Objective function $f(\mathbf{x})$ , $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_d)^T$
ข	Initialize the male mayfly population $x_i (i = 1, 2, \dots, N)$ and velocities $v_{mi}$
ค	Initialize the female mayfly population $y_i (i = 1, 2, \dots, M)$ and velocities $v_{fi}$
ง	Evaluate solutions
จ	Find global best $gbest$
ฉ	<b>Do While</b> stopping criteria are not met
ช	Update velocities and solutions of males and females
ฌ	Evaluate solutions
ฎ	Rank the mayflies
ต	Mate the mayflies
ถ	Evaluate offspring
ท	Separate offspring to male and female randomly
ธ	Replace worst solutions with the best new ones
น	Update $pbest$ and $gbest$
บ	<b>end while</b>

รูปที่ 2.9 โค้ดจำลองแสดงกระบวนการทำงานของ Mayfly algorithm

(ที่มา Zervoudakis, et al. (2020) )

ดังที่เห็นในภาพสามารถอธิบายกระบวนการทำงานของวิธีการทำของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตจากรูปที่ 2.9 ได้ดังนี้

### 2.3.2.8 การทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

ก. กำหนดฟังก์ชันเป้าประสงค์ (Objective function)  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$  ประเมินค่าเหมาะสมของแมลงซีปะขาว โดย  $x$  เป็นตำแหน่งของแมลงซีปะขาวในพื้นที่การค้นหา

ข. กำหนดค่าตอบเริ่มต้นของแมลงซีปะขาวตัวผู้  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) และความเร็วของแมลงซีปะขาว ตัวผู้  $v_{mi}$

ค. กำหนดค่าตอบเริ่มต้นของแมลงซีปะขาวตัวเมีย  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) และความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวเมีย  $v_{fi}$

ง. ประเมินค่าเหมาะสมของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมียโดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์

จ. หาคำตอบที่ดีที่สุดที่ใน  $g_{best}$  โดยเปรียบเทียบค่าเหมาะสมของแมลงซีปะขาวทุกตัว

ฉ. วนซ้ำกระบวนการใน ก-จ จนกว่าจะเข้าเงื่อนไขการหยุด เช่น จำนวนรอบการวนซ้ำถึงค่าสูงสุด หรือค่าเหมาะสม ของคำตอบที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย

ช. ปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของตัวผู้โดยใช้สูตร (2.1) , (2.4) และปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งตัวเมียโดยใช้สูตร (2.9) , (2.10)

ฌ. ประเมินค่าเหมาะสมของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมียโดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์

ด. เรียงลำดับแมลงซีปะขาวตามค่าเหมาะสม จากดีไปหาแย่

ต. เลือกแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมียที่มีค่าเหมาะสมที่ดีกว่าผสมพันธุ์กันโดยใช้สูตร (2.11) , (2.12)

ถ. ประเมินค่าเหมาะสมของรุ่นลูกแมลงซีปะขาวโดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์

ท. แบ่งรุ่นลูกเป็นแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมียโดยการสุ่ม

ธ. แทนที่แมลงซีปะขาวที่มีค่าเหมาะสมที่แย่ที่สุดด้วยรุ่นลูกที่มีค่าเหมาะสมดีที่สุดในรุ่น

น. ปรับปรุงคำตอบ  $p_{best}$  ของแมลงซีปะขาวแต่ละตัว และ  $g_{best}$  ของกลุ่มแมลงซีปะขาว โดยเปรียบเทียบค่าเหมาะสม ของแมลงปะขาวปัจจุบันกับค่าเหมาะสมของ  $p_{best}$

บ. จบกระบวนการและคืนค่าตำแหน่งที่ดีที่สุด (Best position) เป็นคำตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะสม

## 2.4 การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน (Python)

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน เป็นการใช้ภาษาโปรแกรมมิ่งระดับสูง (high-level programming language) ที่มีความยืดหยุ่น ง่ายต่อการเรียนรู้ และมีความสามารถในการประยุกต์ใช้กับหลากหลายปัญหา (Millman et al., 2011) ภาษาไพทอนมีลักษณะเป็นภาษาตีความ (interpreted language) ที่ไม่จำเป็นต้องคอมไพล์ (compile) ก่อนการรัน (run) และมีลักษณะเป็นภาษาออบเจกต์ออเรียนเต็ด (object-oriented language) ที่สนับสนุนการสร้างและใช้งานออบเจกต์ (object) และคลาส (class) ภาษาไพทอนยังมีคุณสมบัติเป็นภาษาไดนามิก (dynamic language) ที่ไม่จำเป็นต้องประกาศชนิดข้อมูล (data type) ของตัวแปร (variable) ล่วงหน้า การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนมีข้อดีในการใช้ไวยากรณ์ (syntax) ที่ชัดเจน กระชับและใกล้เคียงกับภาษามนุษย์ (natural language) ทำให้โค้ด (code) อ่านและเข้าใจได้ง่าย การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนยังได้รับประโยชน์จากการมีไลบรารี (library) และเฟรมเวิร์ค (framework) เสริมที่มากมาย

ภาษาไพทอนเป็นภาษาโปรแกรมมิ่งที่ถูกสร้างขึ้นโดย Guido van Rossum ในปี ค.ศ. 1989 โดยมีแนวคิดในการออกแบบภาษาที่เน้นความชัดเจน ง่ายต่อการเขียนและอ่าน และสนับสนุนหลายรูปแบบการเขียนโปรแกรม ชื่อภาษาไพทอนมาจากการตั้งชื่อตามรายการตลกบนทีวีของ Monty Python's Flying Circus ภาษาไพทอนได้รับความนิยมและการใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายสาขา เช่น วิทยาศาสตร์, วิศวกรรม, Ai, เว็บ, เกม, และ IoT

จากงานวิจัยของ Ritam Guha และคณะ ปี 2022 ได้พูดถึงการลดมิติของข้อมูล (dimension reduction) ซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยให้สามารถหาข้อมูลที่มีประโยชน์ (features) จากชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีคุณลักษณะ (dimensions) มากๆ ได้ง่ายขึ้น ซึ่งคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการใช้วิธีต่างๆมากมายในการศึกษาในงานวิจัยนี้รวมถึงวิธีแมลงชิปะขาวซึ่งจะแสดงตัวอย่างการใช้วิธีแมลงชิปะขาวในการแก้ปัญหาในงานวิจัยดังรูปที่ 2.10 ( Guha et al., 2022)

```

class MA(Algorithm):
    # Mayfly Algorithm (MA)
    ##### Parameters #####
    #
    # num_agents: number of agents
    # max_iter: maximum number of generations
    # train_data: training samples of data
    # train_label: class labels for the training samples
    # test_data (optional): test samples of data
    # test_label (optional): class labels for the test samples
    # save_conv_graph (optional): True to save conv graph, else False
    # seed (optional): seed for our random number generator
    # default_mode (optional): True to use default values for every
    # user input
    # verbose (optional): True to print simulation, else False
    #####

    Codimate: Test this method
    def __init__(self, num_agents, max_iter, train_data, train_label, test_data=None, test_label=None, save_conv_graph=False, seed=0, default_mode=False, verbose=True):...

    Codimate: Test this method
    def user_input(self):
        # first set the default values for the attributes
        self.default_vals["prob_mut"] = 0.3
        self.default_vals["trans_function"] = 's'
        self.default_vals["a1"] = 1
        self.default_vals["a2"] = 1.5
        self.default_vals["u"] = 0.1
        self.default_vals["fl"] = 0.1
        self.default_vals["g"] = 0.8
        self.default_vals["beta"] = 2
        self.default_vals["delta"] = 0.9

        # accept the parameters as user inputs (if default_mode not set)
        if self.default_mode:
            self.set_default()
        else:
            self.algo_params["prob_mut"] = float(
                input(f'Probability of mutation [0-1] (default={self.default_vals["prob_mut"]}): ') or

```

## รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเขียนโค้ดวิธีแมลงชีปะขาว

(ที่มา Ritam Guha, et al. (2021))

อีกทั้งมีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่ได้นำวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมาใช้ในการแก้ปัญหาโดยใช้ภาษาไพทอน เช่น งานวิจัยของ G. Tamilmani ปี 2022 ได้ใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของ Improved Generative Adversarial Network (DCG-MCNN) ในการช่วยในการวินิจฉัยโรคมะเร็งโดยใช้ข้อมูล miRNA ในการแยกประเภทและค้นหาคุณลักษณะที่สำคัญของมะเร็ง การใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตช่วยให้ DCG-MCNN สามารถแสวงหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในการวินิจฉัยโรคมะเร็งและแก้ปัญหการแยกประเภทของมะเร็งที่ซับซ้อน (Tamilmani et al., 2022) หรืองานวิจัยของ Awei Zou และคณะ ปี 2023 ได้ใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตเพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนเส้นทางของหุ่นยนต์ โดยการปรับแต่งพารามิเตอร์อย่างอัตโนมัติ และใช้วิธีการพัฒนาใหม่เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเร็วในการหาเส้นทางในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงโดยไดนามิกวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตช่วยให้หุ่นยนต์สามารถวางแผนเส้นทางในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้นและมีความแม่นยำมากขึ้นในการหาเส้นทางในที่เสี่ยงงาน โดยใช้ภาษาไพทอนในเขียนโปรแกรม (Zou et al., 2023)

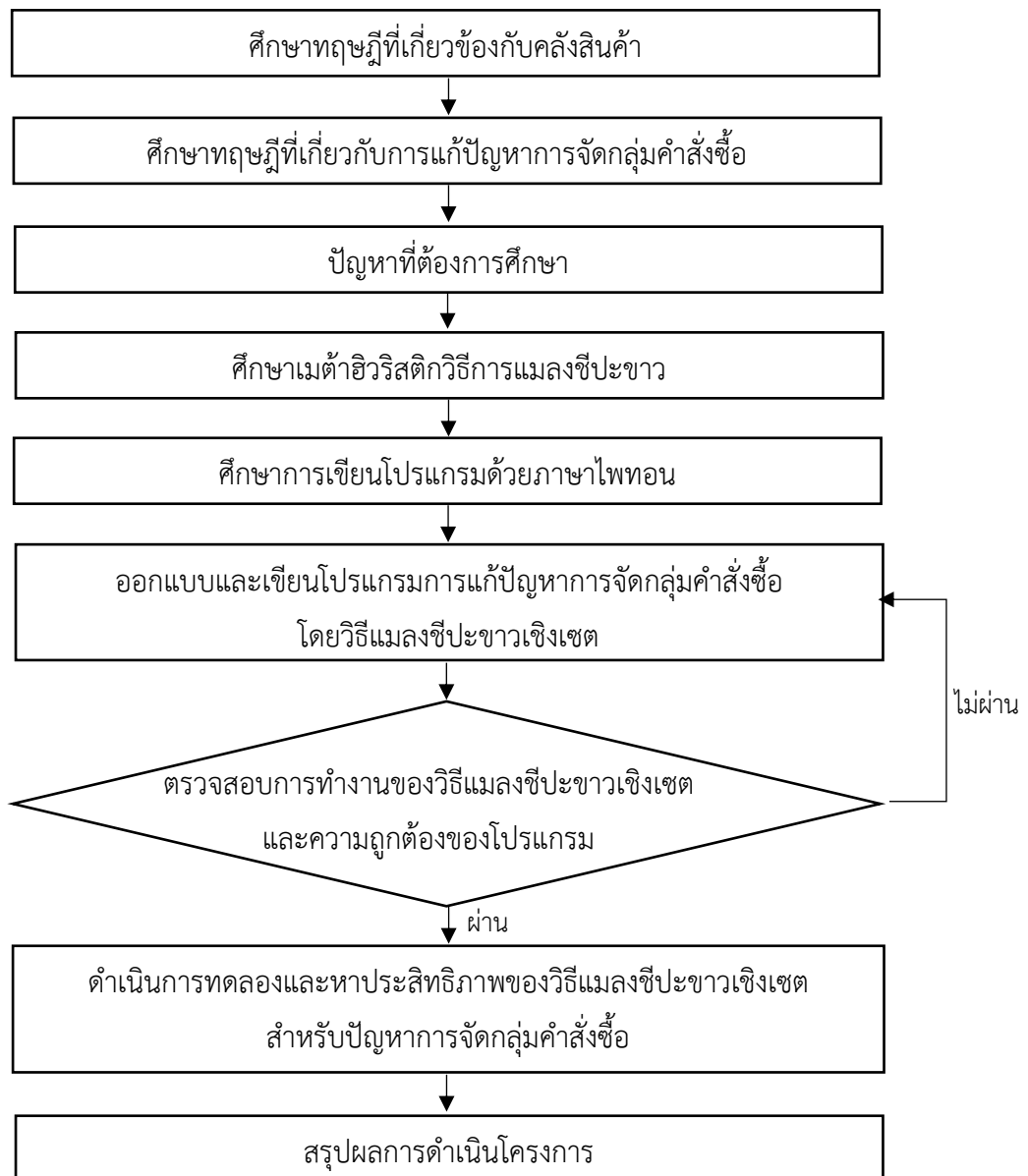
ดังที่เห็นในข้างต้นได้มีการใช้ภาษาไพทอนในการใช้สร้างโมเดลการแก้ปัญหาโดยวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตกันอย่างแพร่หลาย แต่ในโครงการนี้ยังไม่เคยมีการใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมาแก้ปัญหการจับกลุ่มคำสั่งซื้อโดยมีเงื่อนไขต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมาก่อน ผู้จัดทำโครงการจึงสนใจที่

จะใช้ภาษาไพทอนมาสร้างโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยมีเงื่อนไขเข้ามาร่วมพิจารณาโดยใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินโครงการ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ เพื่อลดเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุด โดยใช้วิธีเมตาฮีริสติกส์ที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และบทที่ 2 เพื่อให้การศึกษามีความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงมีการดำเนินงานที่เป็นลำดับขั้นตอนในการดำเนินโครงการ ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการของปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการของปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

### 3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้า

คลังสินค้าประกอบด้วยกระบวนการหลักทั้งหมด 4 กระบวนการ ได้แก่ การรับเข้าสินค้า การจัดเก็บสินค้า การหยิบคำสั่งซื้อ และการจัดส่งสินค้า ซึ่งในกระบวนการหยิบคำสั่งซื้อเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานและมีต้นทุนสูงและในกระบวนการหยิบคำสั่งซื้อมีปัญหาย่อยทั้งหมด 4 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ ปัญหาเส้นทางเดินของพนักงาน ปัญหาการจัดลำดับกลุ่มคำสั่งซื้อและปัญหาการมอบหมายคำสั่งซื้อ ซึ่งปัญหาที่เราต้องการศึกษาคือปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อเพื่อให้เหมาะสมกับการหยิบคำสั่งซื้อของพนักงานและกำหนดเส้นทางการเดินทางของพนักงานตามกลุ่มคำสั่งซื้อที่ได้จัดไว้เพื่อลดเวลาล่าช้าในการส่งมอบคำสั่งซื้อ

### 3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

จุดประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อเพื่อต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการหยิบเพื่อหาเวลาล่าช้ารวมในการส่งมอบทั้งหมดน้อยที่สุด ซึ่งจะมีขั้นตอนในการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับคลังสินค้า

#### 3.2.2 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

#### 3.2.3 ศึกษาข้อตกลงเบื้องต้นที่นำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

การจัดลำดับความสำคัญ ก่อน-หลัง ในกระบวนการหยิบคำสั่งซื้อภายในคลังสินค้า เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเสียหายในกระบวนการหยิบสินค้า และการเพิ่มเงื่อนไขดังกล่าวทำให้เกิดความสมจริงของปัญหามากขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 3.2.3.1 คลังสินค้าแห่งเดียว

##### 3.2.3.2 สินค้าในตำแหน่งจัดเก็บสินค้ามีเพียงพอสำหรับความต้องการของลูกค้า

##### 3.2.3.3 คลังสินค้ามีพื้นที่จัดเก็บเพียงชั้นเดียวและในหนึ่งตำแหน่งสามารถจัดเก็บสินค้า

ได้ประเภทเดียว

3.2.3.4 ผังของคลังสินค้ามีทางเดินด้านหน้าและด้านหลังเท่านั้น หรือเรียกอีกอย่างว่าแบบ Single Block หรือแบบบล็อกเดียว

3.2.3.5 พิจารณาการจัดเรียงแบบ 2D ในด้านกว้างกับสูงเท่านั้น หรือไม่พิจารณาการจัดเรียงสินค้าบนอุปกรณ์หยิบสินค้า

##### 3.2.3.6 ผู้นำสินค้าออกมียานพาหนะในการนำสินค้าออกเพียงคันเดียวเท่านั้น

3.2.3.7 พนักงานจะเริ่มต้นเดินทางหยิบสินค้าที่จุดรับคำสั่งซื้อและเมื่อหยิบสินค้าเรียบร้อยแล้ว พนักงานจะเดินกลับมาที่จุดรับคำสั่งซื้อเท่านั้น

3.2.3.8 ผู้นำสินค้าออกมีความสามารถในการไปหยิบสินค้า โดยมีข้อจำกัดของน้ำหนักสินค้าที่จะเกินความจุในการหยิบสินค้าแต่ละรอบไม่ได้

3.2.3.9 ช่องทางเดินกว้างพอสำหรับพนักงานหลายคนเดินผ่านและสามารถทำงานในช่องทางเดินในเวลาเดียวกันได้

3.2.3.10 ลูกค้าจะได้รับสินค้าครบทุกรายการตามคำสั่งซื้อ

3.2.3.11 ลูกค้าสามารถสั่งสินค้าได้มากกว่า 1 ชนิด ใน 1 รายการคำสั่งซื้อ

3.2.3.12 ลูกค้าไม่สามารถยกเลิกคำสั่งซื้อและเพิ่มหรือลดจำนวนสินค้าในคำสั่งซื้อได้

3.2.3.13 ปริมาณสินค้าในคำสั่งซื้อต้องไม่เกินความสามารถในการหยิบสินค้าของพนักงานและภาวะบรรจุสินค้าที่ได้กำหนดไว้

3.2.3.14 คลังสินค้าจะมีพนักงานมากกว่าหนึ่งคน โดยแบ่งเป็นหลายประเภทตามความสามารถในการหยิบ

### 3.2.4 ศึกษาคุณสมบัติของสินค้า

คุณสมบัติของสินค้าที่สามารถวัดและเปรียบเทียบกันได้มีความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจการค้า เนื่องจากช่วยให้ผู้ซื้อและผู้ขายสามารถเข้าใจและเปรียบเทียบสินค้าจากแหล่งต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณสมบัติของสินค้า ได้แก่

3.2.4.1 ชื่อสินค้า (Product Name) ชื่อสินค้าควรเป็นชื่อที่สั้น กระชับ และจำง่าย ไม่ควรใช้ภาษาท้องถิ่นหรือคำศัพท์เฉพาะที่อาจทำให้ผู้ซื้อจากต่างประเทศเข้าใจผิด

3.2.4.2 ประเภทสินค้า (Product Type) ประเภทสินค้าจะช่วยให้ผู้ซื้อสามารถระบุประเภทของสินค้าได้อย่างง่ายดาย เช่น เสื้อผ้า อาหาร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

3.2.4.3 ขนาดและน้ำหนัก (Size and Weight) ขนาดและน้ำหนักของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการขนส่งและจัดเก็บสินค้า

3.2.4.4 สีและลวดลาย (Color and Pattern) สีและลวดลายของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการดึงดูดความสนใจของลูกค้า

3.2.4.5 วัสดุ (Material) วัสดุของสินค้ามีความสำคัญต่อการใช้งานและการดูแลรักษาสินค้า

3.2.4.6 คุณสมบัติ (Features) คุณสมบัติของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการอธิบายประโยชน์ของสินค้าแก่ลูกค้า

3.2.4.7 การใช้งาน (Usage) การใช้งานของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการอธิบายวิธีใช้สินค้าให้แก่ลูกค้า

3.2.4.8 ความปลอดภัย (Safety) ความปลอดภัยของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการปกป้องผู้ใช้สินค้า

3.2.4.9 ราคา (Price) ราคาของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดความสามารถในการแข่งขันของสินค้า

3.2.4.10 ความเปราะบางของสินค้าในการรองรับน้ำหนัก ความเปราะบางขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น วัสดุที่ใช้ผลิตสินค้า วิธีการขนส่ง และสภาพแวดล้อมที่สินค้าจะถูกนำไปใช้ เช่น สินค้าบางชนิดอาจมีความเปราะบางสูงและไม่สามารถรองรับน้ำหนักได้มาก ยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

- ก. สินค้าที่ทำจากวัสดุที่เปราะ เช่น แก้ว เซรามิก พลาสติกบางประเภท
- ข. สินค้าที่มีขนาดเล็กหรือมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ
- ค. สินค้าที่มีชิ้นส่วนที่เปราะบาง เช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- ง. สินค้าที่มีน้ำหนักมากหรือมีขนาดใหญ่

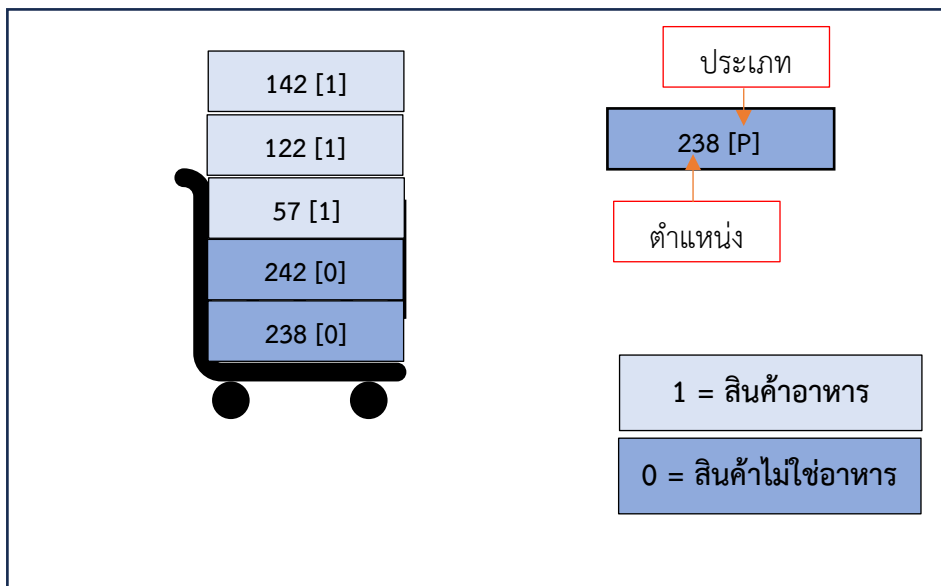
### 3.2.5 คุณลักษณะเฉพาะหรือเงื่อนไขที่นำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

ปัญหาการเก็บสินค้าเป็นปัญหาที่ซับซ้อนพบได้ทั่วไปในคลังสินค้า โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมค้าปลีกของชำ การเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับคลังสินค้า เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มกำไร การจัดเก็บสินค้าคงคลังจะถูกจัดเก็บไว้ในตำแหน่งที่ระบุและเฉพาะเจาะจง สินค้าจะถูกวางไว้ที่ตำแหน่งว่างที่มีอยู่แบบสุ่ม แต่ใกล้กับพื้นที่เก็บและคัดแยกสินค้า พนักงานที่เก็บสินค้าสามารถเข้าถึงเฉพาะพื้นที่เก็บสินค้าเท่านั้น ซึ่งคำสั่งซื้อแต่ละรายการ พนักงานจะเก็บสินค้าตามรายการที่ละรายการเพื่อรวบรวมสินค้าขนส่งไปยังพื้นที่คัดแยกสินค้าด้วยรถเข็นหรืออุปกรณ์หยิบสินค้า ซึ่งจะมีการกำหนดเส้นทางแบบคงที่อาจทำงานได้ดีสำหรับการเก็บสินค้าบางรายการ แต่ไม่สามารถทำงานได้กับรายการอื่น ๆ (Chabot, et al., 2015)

จึงได้อ้างอิงจากสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมค้าปลีกของชำและได้นำเงื่อนไขด้านหมวดหมู่ เงื่อนไขด้านน้ำหนัก และเงื่อนไขด้านความเปราะ มาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อในการจัดลำดับความสำคัญการหยิบสินค้าก่อน-หลัง เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อและเพื่อหาเวลาล่าช้ารวมในการส่งมอบทั้งหมดให้น้อยที่สุด โดยไม่ได้คำนึงถึง First Come, First Serve เนื่องจากไม่มีเวลาที่คำสั่งซื้อมาถึง รวมทั้งค่าใช้จ่ายใด ๆ ทั้งสิ้น โดยมีเงื่อนไขด้านหมวดหมู่ เงื่อนไขด้านน้ำหนัก และเงื่อนไขด้านความเปราะที่นำมาพิจารณาในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.2.5.1 เงื่อนไขด้านหมวดหมู่ (Categorical Constraint)

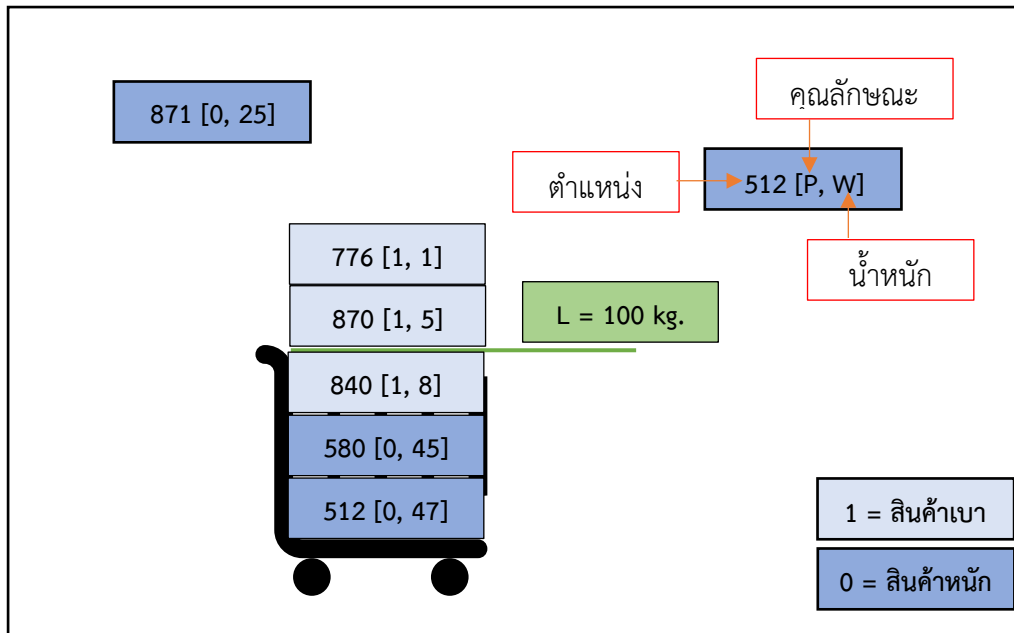
เป็นการพิจารณาจากประเภทหรือหมวดหมู่ของสินค้าเพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการจัดลำดับการหยิบสินค้าก่อน-หลัง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สินค้าที่เป็นอาหาร (Food) และสินค้าที่ไม่ใช่อาหาร (Non-Food) ซึ่งไม่อนุญาตให้วางสินค้าที่ไม่ใช่อาหารบนสินค้าที่เป็นอาหาร



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านหมวดหมู่

### 3.2.5.2 เงื่อนไขด้านน้ำหนัก (Weight Constraint)

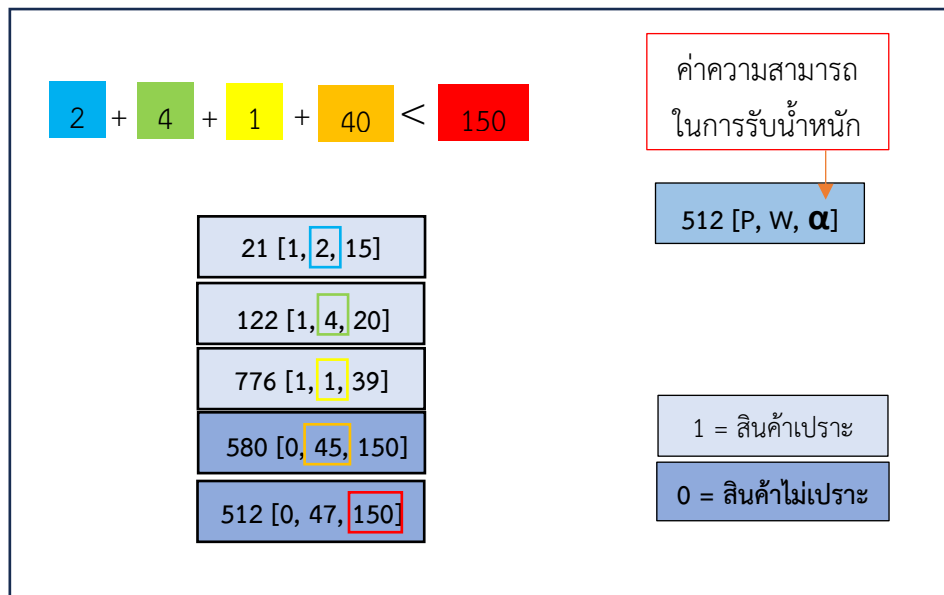
เป็นการพิจารณาถึงน้ำหนักของสินค้าเพื่อนำน้ำหนักสินค้ามาเป็นเงื่อนไขในการจัดลำดับการหยิบสินค้าก่อน-หลัง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ พนักงานหรืออุปกรณ์หยิบสินค้ามีความสามารถในการรับน้ำหนัก (Threshold) ไม่เกิน 100 หรือ 200 กิโลกรัม โดยน้ำหนักสินค้ารวมทั้งหมดบนอุปกรณ์หยิบสินค้าถ้าเกินค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก จะไม่สามารถหยิบสินค้าหนักได้ แต่ถ้าไม่เกินสามารถหยิบสินค้าหนักได้ โดยที่สินค้าเบา มีน้ำหนักน้อยกว่า 40 กิโลกรัม สินค้าหนัก มีน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 40 กิโลกรัม



รูปที่ 3.3 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านน้ำหนัก

### 3.2.5.3 เงื่อนไขด้านความเปราะ (Fragility Constraint)

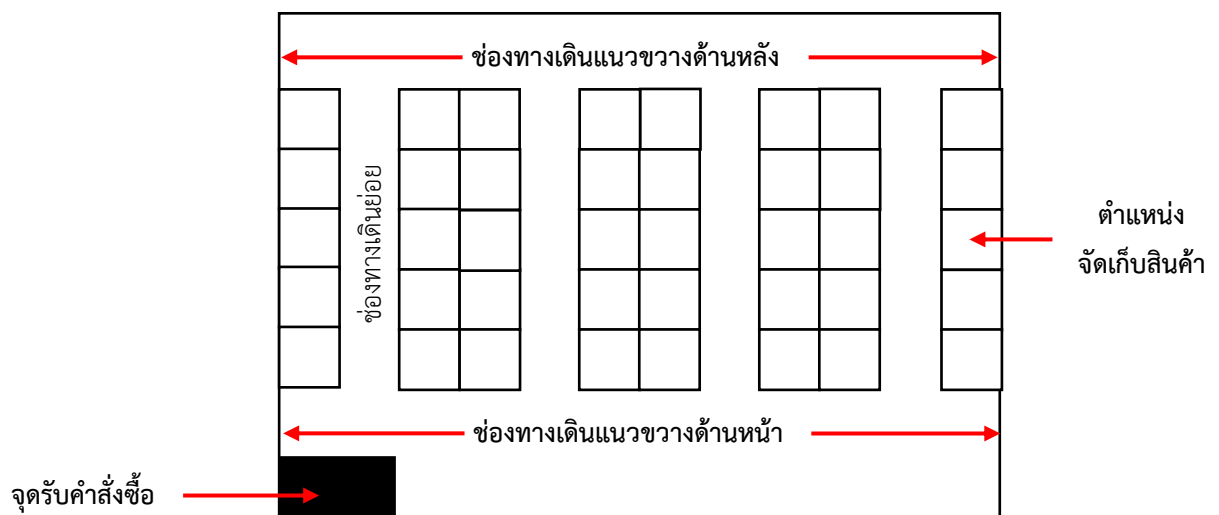
เป็นการพิจารณาคุณลักษณะความเปราะและไม่เปราะของสินค้าเพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการจัดลำดับการหยิบสินค้าก่อน-หลัง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ไม่อนุญาตให้สินค้าไม่เปราะวางบนสินค้าเปราะ และน้ำหนักของสินค้าด้านบนทั้งหมดต้องไม่เกินค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้าด้านล่าง (Self-capacity) โดยที่ สินค้าเปราะมีน้ำหนักเท่ากับ 1-10 กิโลกรัม และความสามารถในการรับน้ำหนักเท่ากับ 5-50 กิโลกรัม สินค้าไม่เปราะมีน้ำหนักเท่ากับ 5-50 กิโลกรัม และความสามารถในการรับน้ำหนักไม่มีขอบเขต



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางสินค้าภายใต้เงื่อนไขด้านความเปราะ

### 3.2.6 ลักษณะและข้อมูลคลังสินค้า

#### 3.2.6.1 คลังสินค้าแบบบล็อกเดียว



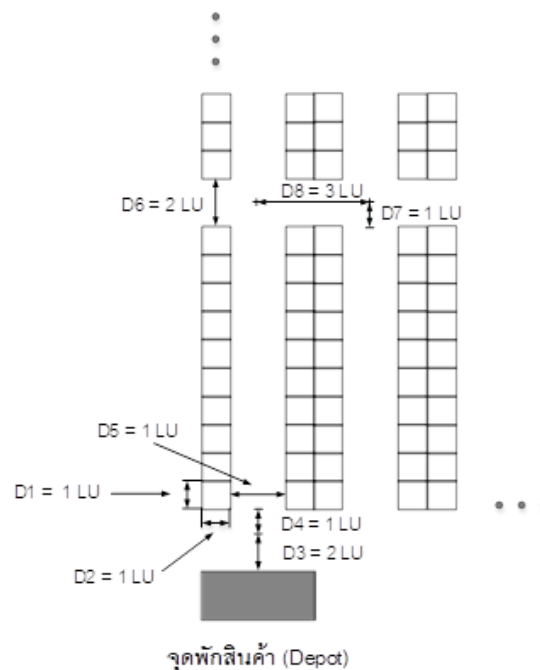
รูปที่ 3.5 แผนผังคลังสินค้าแบบบล็อกเดียว

(ที่มา : ประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร, 2565)

ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

- ก. จุดรับคำสั่งซื้อ 1 ตำแหน่ง
- ข. ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 900 ตำแหน่ง
- ค. แต่ละช่องทางเดิน 90 ตำแหน่ง
- ง. ช่องทางเดินภายในคลังสินค้า ประกอบด้วย
  - ช่องทางเดินแนวขวางด้านหน้า 1 ช่องทางเดิน
  - ช่องทางเดินแนวขวางด้านหลัง 1 ช่องทางเดิน
  - ช่องทางเดินย่อย 10 ช่องทางเดิน

### 3.2.6.2 ขนาดต่าง ๆ ภายในคลังสินค้า



**รูปที่ 3.6** ขนาดต่าง ๆ ภายในคลังสินค้า

(ที่มา : ประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร, 2565)

ขนาดต่าง ๆ ภายในคลังสินค้ามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ก. ความกว้างของตำแหน่งจัดเก็บสินค้า (D1) มีขนาดเท่ากับ 1 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)
- ข. ความยาวของชั้นวางสินค้า (D2) มีขนาดเท่ากับ 1 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)
- ค. ระยะห่างระหว่างจุดรับคำสั่งซื้อ ไปยังตำแหน่งเข้าช่องทางเดินย่อย (Sub Aisle) (D3) มีขนาดเท่ากับ 2 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

ง. ระยะห่างระหว่างตำแหน่งก่อนเข้าช่องทางเดินย่อยกับตำแหน่งชั้นวางสินค้าแรกของช่องทางเดินย่อย (D4) มีขนาดเท่ากับ 1 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

จ. ความกว้างของช่องทางเดินย่อย (D5) มีขนาดเท่ากับ 1 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

ฉ. ความกว้างของช่องทางเดินกลาง (D6) มีขนาดเท่ากับ 2 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

ช. ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางช่องทางเดินย่อยกับกึ่งกลางช่องทางเดินหน้ากลางและหลัง (D7) มีขนาดเท่ากับ 1 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

ณ. ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของช่องทางเดินย่อย 2 ช่องทางเดิน (D8) มีขนาดเท่ากับ 3 หน่วยความยาว (Length Unit : LU)

#### 3.2.6.3 ข้อมูลนำเข้า (Input)

ก. ขนาดคำสั่งซื้อ 20, 40, 60, 80 คำสั่งซื้อ

ข. จำนวนสินค้าต่อคำสั่งซื้อ U[3,5] รายการ

ค. ระยะเวลาส่งมอบแต่ละคำสั่งซื้อ

#### 3.2.6.4 ข้อมูลพารามิเตอร์

ก. จำนวนพนักงาน 2, 3, 4, 5 คน

ข. ความสามารถในการหยิบคำสั่งซื้อ (Capacity Picker) 150, 250 กิโลกรัม

ค. ความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้าหนัก 100, 200 กิโลกรัม

ง. เวลาในกระบวนการหยิบสินค้า ได้แก่

- เวลาเตรียมตัว (Setup time) 3 นาทีต่อกลุ่มคำสั่งซื้อ

- เวลาหยิบและค้นหาสินค้า (Picking and Searching time)

20 วินาทีต่อสินค้า

- เวลาแยกสินค้า (Sorting time) 3 สินค้าต่อนาที

- เวลาเคลื่อนที่ของพนักงาน (Speed Picker) 20 LUต่อนาที

#### 3.2.6.5 ข้อมูลสินค้า

ก. สินค้าที่เป็นอาหารและสินค้าที่ไม่ใช่อาหาร

ข. สินค้าเบา น้ำหนักน้อยกว่า 40 กิโลกรัม และสินค้าหนัก น้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 40 กิโลกรัม

ค. สินค้าเปราะ มีน้ำหนักระหว่าง 1-10 กิโลกรัม และความสามารถในการรับน้ำหนัก 5-50 กิโลกรัม สินค้าไม่เปราะ มีน้ำหนักระหว่าง 5-50 กิโลกรัม และความสามารถในการรับน้ำหนักไม่จำกัด

location	item	category	weight	self_capacity
122	254	1	4	20
534	508	0	6	28
871	716	0	25	5
776	633	0	1	39
806	447	1	2	47
895	322	1	3	20
526	656	0	9	12
109	354	1	7	48
242	856	0	41	150
57	216	1	7	26
499	228	1	4	31
840	583	0	8	18
870	617	0	5	36
21	483	0	2	15
152	215	1	8	23
238	651	0	4	45
485	122	1	9	27
580	846	0	45	150
687	648	0	9	38
512	795	0	47	150

### รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลสินค้า

(ที่มา : ประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร, 2565)

จากรูปที่ 3.7 location คือตำแหน่งที่จัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า, item คือหมายเลขของสินค้า, category คือหมวดหมู่ของสินค้า 1 = อาหาร 0 = ไม่ใช่อาหาร, weight คือน้ำหนักของสินค้า, self-capacity คือค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้า

#### 3.2.7 ตัวอย่างการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

##### 3.2.7.1 กระบวนการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

- Category = 0 (สินค้าไม่ใช่อาหาร), Category = 1 (สินค้าอาหาร)
- สินค้าทั้งหมดบนอุปกรณ์หยิบสินค้าไม่เกิน 50 กิโลกรัม
- ความสามารถในการรับน้ำหนักไม่เกิน 40 กิโลกรัม

Index	order	location	item	category	weight	self_capacity	duedate
7	3	206	20	1	4	13	114.542
18	8	78	444	1	5	7	8.54167
15	7	243	245	1	8	23	138.542
20	8	726	747	0	29	22	8.54167
8	4	540	601	0	6	36	118.542
2	1	624	640	0	6	10	200.542
25	10	160	741	0	31	49	209.542
21	9	41	837	0	41	150	35.5417
9	5	180	350	1	9	34	35.5417
12	6	319	775	0	27	32	105.542
16	7	701	638	0	2	46	138.542
5	2	796	334	1	4	6	100.542
14	7	88	527	0	7	21	138.542
22	9	585	521	0	8	14	35.5417
1	1	512	795	0	47	150	200.542
11	5	477	99	1	5	33	35.5417
6	3	14	273	1	6	35	114.542
26	10	735	892	0	41	150	209.542
3	2	148	779	0	34	28	100.542
13	6	780	749	0	18	31	105.542
4	2	544	282	1	7	34	100.542
24	9	878	888	0	46	150	35.5417
10	5	206	20	1	4	13	35.5417
23	9	620	778	0	10	18	35.5417
17	7	797	231	1	3	29	138.542
19	8	723	760	0	6	35	8.54167

### รูปที่ 3.8 ข้อมูลสินค้านำเข้า

(ที่มา : ประภัสสร ประจักษ์พงษ์เพชร, 2565)

จากรูปที่ 3.8 Index คือเลขดัชนีชนิดสินค้า, order คือหมายเลขคำสั่งซื้อ, location คือตำแหน่งที่จัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า, item คือหมายเลขของสินค้า, category คือหมวดหมู่ของสินค้า 1 = อาหาร 0 = ไม่ใช่อาหาร, weight คือน้ำหนักของสินค้า, self-capacity คือค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้า และ due date คือเวลาที่ต้องจัดส่งสินค้านั้น ๆ

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มคำสั่ง 1

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
7	206	20	1	4	13	114.54	3
18	78	444	1	5	8	8.5417	8
15	243	245	1	8	23	138.54	7
20	726	747	0	29	22	8.5417	8
8	540	601	0	6	36	118.54	4

ในตารางที่ 3.1 เป็นขั้นตอนการจัดเรียงคำสั่งซื้อโดยที่พิจารณาจากหมวดหมู่ น้ำหนัก และค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของสินค้า จะเห็นว่าเมื่อนำคำสั่งซื้อหมายเลข 4 มาใส่ในกลุ่มคำสั่งซื้อแล้วทำให้น้ำหนักรวมของกลุ่มคำสั่งซื้อเกินค่าที่ได้กำหนดไว้ของความสามารถในการรับน้ำหนักของภาชนะบรรจุและพนักงาน

$$\text{เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย} = \frac{114.54+8.5417+138.54+8.5417+138.54}{5} = 87.741 \text{ นาที}$$

ตารางที่ 3.2 พิจารณาคำสั่งซื้อใหม่

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
7	206	20	1	4	13	114.54	3
18	78	444	1	5	8	8.5417	8
15	243	245	1	8	23	138.54	7
20	726	747	0	29	22	8.5417	8
16	701	638	0	2	46	138.54	7

ในตารางที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นว่ามีสินค้าใหม่ที่พิจารณาเข้ามาแทนที่สินค้าเดิม ในตารางที่ 3.1 และแสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 มีคำสั่งซื้อจำนวน 5 คำสั่งซื้อ

$$\text{เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย} = \frac{114.54+8.5417+138.54+8.5417+138.54}{5} = 87.741 \text{ นาที}$$

ตารางที่ 3.3 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 2

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
5	796	334	1	4	6	138.54	2
2	624	640	0	6	10	200.54	1
8	540	601	0	6	36	118.54	4
25	160	741	0	31	49	209.54	10

ในตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 2 มีคำสั่งซื้อจำนวน 4 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{138.54+200.54+118.54+209.54}{4} = 166.790$  นาที

ตารางที่ 3.4 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
9	180	350	1	9	34	35.542	5
21	41	837	0	41	150	35.542	9

ในตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3 มีคำสั่งซื้อจำนวน 2 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{35.542+35.542}{2} = 35.542$  นาที

ตารางที่ 3.5 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
11	477	99	1	5	33	35.542	5
22	585	521	0	8	14	35.542	9
14	88	527	0	7	21	138.54	7
12	319	775	0	27	32	105.54	6

ในตารางที่ 3.5 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 มีคำสั่งซื้อจำนวน 4 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{35.542+35.542+138.54+105.54}{4} = 78.791$  นาที

ตารางที่ 3.6 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 5

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
17	797	231	1	3	29	138.54	7
1	512	795	0	47	150	200.54	1

ในตารางที่ 3.6 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 5 มีคำสั่งซื้อจำนวน 2 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{138.54+200.54}{2} = 169.540$  นาที

ตารางที่ 3.7 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 6

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
6	14	273	1	6	35	114.54	3
26	735	892	0	41	150	209.54	10

ในตารางที่ 3.7 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 6 มีคำสั่งซื้อจำนวน 2 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{114.54+209.54}{2} = 162.040$  นาที

ตารางที่ 3.8 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 7

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
4	544	282	1	7	34	100.54	2
10	206	20	1	4	13	35.542	5
3	148	779	0	34	28	100.54	2

ในตารางที่ 3.8 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 7 มีคำสั่งซื้อจำนวน 3 คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{100.54+35.542+100.54}{3} = 78.874$  นาที

ตารางที่ 3.9 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
19	723	760	0	6	35	8.5417	8
23	620	778	0	10	18	35.542	9
13	780	749	0	18	31	105.54	6

ในตารางที่ 3.9 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8 มีคำสั่งซื้อจำนวน 3  
คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย =  $\frac{8.5417+35.542+105.54}{3} = 49.875$  นาที

### ตารางที่ 3.10 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9

Index	location	item	category	weight	SC	Due date	Order
24	878	888	0	46	150	35.542	9

ในตารางที่ 3.10 แสดงจำนวนคำสั่งซื้อในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9 มีคำสั่งซื้อจำนวน 1  
คำสั่งซื้อ เวลาที่ต้องส่งมอบเฉลี่ย = 35.542 นาที

เวลาที่ใช้ในการหยิบสินค้าแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อ คำนวณตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.2.6.4

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 =  $3+1.67+1.67+9.70 = 16.04$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 2 =  $3+1.33+1.33+5.40 = 11.06$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3 =  $3+0.67+0.67+3.30 = 7.64$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 =  $3+1.33+1.33+10.20 = 15.86$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 5 =  $3+0.67+0.67+5 = 9.34$  นาที




กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 6 =  $3+0.67+0.67+7.40 = 11.74$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 7 =  $3+1+1+8.20 = 13.20$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8 =  $3+1+1+9.70 = 14.70$  นาที

กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9 =  $3+0.33+0.33+4.20 = 7.86$  นาที

## 3.2.7.2 มอบหมายและจัดลำดับกลุ่มคำสั่งซื้อ

พนักงานคนที่ 1 	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3 order 5, 9 เวลาหยิบสินค้า 7.64	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 order 5, 9, 7, 6 เวลาหยิบสินค้า 15.86	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 6 order 3, 10 เวลาหยิบสินค้า 11.74
พนักงานคนที่ 2 	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9 order 9 เวลาหยิบสินค้า 7.86	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 7 order 2, 5, 2 เวลาหยิบสินค้า 13.20	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 5 order 7, 1 เวลาหยิบสินค้า 9.34
พนักงานคนที่ 3 	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8 order 8, 9, 6 เวลาหยิบสินค้า 14.70	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 order 3, 8, 7, 8, 7 เวลาหยิบสินค้า 16.04	กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 2 order 2, 1, 4, 10 เวลาหยิบสินค้า 11.06

รูปที่ 3.9 การมอบหมายและจัดลำดับกลุ่มคำสั่งซื้อ

จากรูปที่ 3.9 จะทำการมอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3, 4 และ 4 ให้กับพนักงานที่ คนที่ 1 มอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 9, 7 และ 5 ให้กับพนักงานที่คนที่ 2 มอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8, 1 และ 2 ให้กับพนักงานที่คนที่ 3 โดยพิจารณาการมอบหมายด้วยเวลาเฉลี่ยที่ต้องส่งมอบสินค้าด้วยการเริ่มมอบหมายจากกลุ่มคำสั่งซื้อที่มีเวลาเฉลี่ยน้อยที่สุดก่อน

คำนวณเวลาล่าช้าแต่ละคำสั่งซื้อ

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 1} = 41.80 - 200.54 = -158.74 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 2} = 41.80 - 100.54 = -58.74 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 3} = 35.24 - 114.54 = -79.30 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 4} = 41.80 - 118.54 = -76.74 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 5} = 23.50 - 35.5417 = -12.04 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 6} = 23.50 - 105.54 = -82.04 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

$$\text{คำสั่งซื้อที่ 7} = 30.74 - 138.54 = -107.80 \text{ นาที (เวลาล่าช้า} = 0)$$

คำสั่งซื้อที่ 8 = 30.74 - 8.5417 = 22.20 นาที (เวลาล่าช้า = 22.20 นาที)

คำสั่งซื้อที่ 9 = 23.50 - 35.5417 = -12.04 นาที (เวลาล่าช้า = 0)

คำสั่งซื้อที่ 10 = 41.80 - 209.54 = -167.74 นาที (เวลาล่าช้า = 0)

1	2	91	92	181	182	271	272	361	362	451	452	541	542	631	632	721	722	811	812
3	4	93	94	183	184	273	274	363	364	453	454	543	544	633	634	723	724	813	814
5	6	95	96	185	186	275	276	365	366	455	456	545	546	635	636	725	726	815	816
7	8	97	98	187	188	277	278	367	368	457	458	547	548	637	638	727	728	817	818
9	10	99	100	189	190	279	280	369	370	459	460	549	550	639	640	729	730	819	820
11	12	101	102	191	192	281	282	371	372	461	462	551	552	641	642	731	732	821	822
13	14	103	104	193	194	283	284	373	374	463	464	553	554	643	644	733	734	823	824
15	16	105	106	195	196	285	286	375	376	465	466	555	556	645	646	735	736	825	826
17	18	107	108	197	198	287	288	377	378	467	468	557	558	647	648	737	738	827	828
19	20	109	110	199	200	289	290	379	380	469	470	559	560	649	650	739	740	829	830
21	22	111	112	201	202	291	292	381	382	471	472	561	562	651	652	741	742	831	832
23	24	113	114	203	204	293	294	383	384	473	474	563	564	653	654	743	744	833	834
25	26	115	116	205	206	295	296	385	386	475	476	565	566	655	656	745	746	835	836
27	28	117	118	207	208	297	298	387	388	477	478	567	568	657	658	747	748	837	838
29	30	119	120	209	210	299	210	389	390	479	480	569	570	659	660	749	750	839	840
31	32	121	122	211	212	301	212	391	392	481	482	571	572	661	662	751	752	841	842
33	34	123	124	213	214	303	304	393	394	483	484	573	574	663	664	753	754	843	844
35	36	125	126	215	216	305	306	395	396	485	486	575	576	665	666	755	756	845	846
37	38	127	128	217	218	307	308	397	398	487	488	577	578	667	668	757	758	847	848
39	40	129	130	219	220	309	310	399	400	489	490	579	580	669	670	759	760	849	850
41	42	131	132	221	222	311	312	401	402	491	492	581	582	671	672	761	762	851	852
43	44	133	134	223	224	313	314	403	404	493	494	583	584	673	674	763	764	853	854
45	46	135	136	225	226	315	316	405	406	495	496	585	586	675	676	765	766	855	856
47	48	137	138	227	228	317	318	407	408	497	498	587	588	677	678	767	768	857	858
49	50	139	140	229	230	319	320	409	410	499	500	589	590	679	680	769	770	859	860
51	52	141	142	231	232	321	322	411	412	501	502	591	592	681	682	771	772	861	862
53	54	143	144	233	234	323	324	413	414	503	504	593	594	683	684	773	774	863	864
55	56	145	146	235	236	325	326	415	416	505	506	595	596	685	686	775	776	865	866
57	58	147	148	237	238	327	328	417	418	507	508	597	598	687	688	777	778	867	868
59	60	149	150	239	240	329	330	419	420	509	510	599	600	689	690	779	780	869	870
61	62	151	152	241	242	331	332	421	422	511	512	601	602	691	692	781	782	871	872
63	64	153	154	243	244	333	334	423	424	513	514	603	604	693	694	783	784	873	874
65	66	155	156	245	246	335	336	425	426	515	516	605	606	695	696	785	786	875	876
67	68	157	158	247	248	337	338	427	428	517	518	607	608	697	698	787	788	877	878
69	70	159	160	249	250	339	340	429	430	519	520	609	610	699	700	789	790	879	880
71	72	161	162	251	252	341	342	431	432	521	522	611	612	701	702	791	792	881	882
73	74	163	164	253	254	343	344	433	434	523	524	613	614	703	704	793	794	883	884
75	76	165	166	255	256	345	346	435	436	525	526	615	616	705	706	795	796	885	886
77	78	167	168	257	258	347	348	437	438	527	528	617	618	707	708	797	798	887	888
79	80	169	170	259	280	349	350	439	440	529	530	619	620	709	710	799	800	889	890
81	82	171	172	261	262	351	352	441	442	531	532	621	622	711	712	801	802	891	892
83	84	173	174	263	264	353	354	443	444	533	534	623	624	713	714	803	804	893	894
85	86	175	176	265	266	355	356	445	446	535	536	625	626	715	716	805	806	895	896
87	88	177	178	267	268	357	358	447	448	537	538	627	628	717	718	807	808	897	898
89	90	179	180	269	270	359	360	449	450	539	540	629	630	719	720	809	810	899	900

Depot

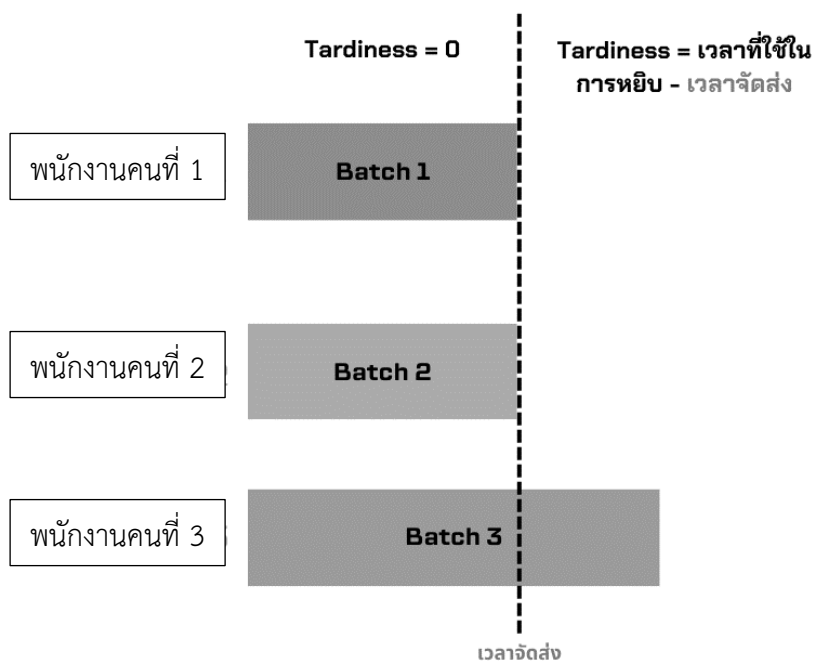
รูปที่ 3.10 เส้นทางการเดินทางของกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8

(ที่มา : ประภัสสร ประจวบพงษ์เพชร, 2565)

ในรูปที่ 3.10 จะแสดงเส้นทางการเดินทางหยิบสินค้าในกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 8 จะเริ่มออกจากจุดรับคำสั่งซื้อ เดินไปหยิบสินค้าที่ตำแหน่ง 780 เป็นที่แรก เดินทางไปหยิบสินค้าที่ตำแหน่ง 620 และตำแหน่งสุดท้ายคือตำแหน่ง 723 เมื่อหยิบสินค้าครบทุกชิ้นในกลุ่มคำสั่งซื้อแล้วจะทำการเดินทางกลับไปจุดรับคำสั่งซื้อ โดยที่เส้นทางเดินได้ถูกกำหนดไว้แล้วตั้งแต่การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อเนื่องจากมีเงื่อนไขในการจัดลำดับการวางสินค้า

### 3.2.7.3 การพิจารณาเวลาล่าช้าในการจัดส่งคำสั่งซื้อ

ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นโครงการนี้มีจุดประสงค์ที่จะทำการลดเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุดเป็นหลัก เพราะฉะนั้นในโครงการนี้ผู้จัดทำจึงมีเกณฑ์ในการเลือกพิจารณาความล่าช้ารวมโดยจะถือว่าสินค้าใดหรือคำสั่งซื้อใดที่มีเวลาที่ใช้ในการหยิบหรือระยะเวลาในการดำเนินการเกินเวลาในการจัดส่ง จะทำการพิจารณาคำนวณความล่าช้ารวมของคำสั่งซื้อนั้นว่ามีความล่าช้าเท่าไร แต่หากว่าสินค้าหรือคำสั่งซื้อนั้นไม่เกินกว่าเวลาจัดส่ง ผู้จัดทำโครงการจะให้เวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งเท่ากับ 0 ไม่ว่าสินค้าหรือคำสั่งซื้อนั้นจะใช้เวลาในการหยิบหรือการดำเนินการเท่าไรก็ตาม ตัวอย่างเช่น สินค้าของแต่ละคำสั่งซื้อได้มีการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อไว้ 3 กลุ่มคือ Batch 1, Batch 2, Batch 3 โดยที่จะสมมุติให้คำสั่งซื้อทุกคำสั่งซื้อมีเวลาในการจัดส่งเท่ากันทุกคำสั่ง ดังรูปที่ 3.11 สมมุติให้ Batch 3 มีเวลาในการดำเนินการหรือเวลาในการหยิบสินค้าเกินกว่าเวลาจัดส่งที่กำหนด เราจะพิจารณาให้คำนวณเวลาล่าช้ารวมในการจัดส่ง แต่ Batch 1 และ Batch 2 ไม่เกินกว่าเวลาจัดส่ง จึงให้เวลาล่าช้ารวมในการจัดส่งเท่ากับ 0



รูปที่ 3.11 การพิจารณาเวลาล่าช้าในการจัดส่ง

### 3.3 ศึกษาเมตาฮีวริสติกวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต

ศึกษาวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซตซึ่งวิธีนี้ถือเป็นวิธีการใหม่ที่ยังไม่เคยนำมาแก้ไขปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อแบบมีเงื่อนไขด้านน้ำหนักและประเภทของสินค้ามาก่อนเป็น ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมการจับคู่กันของแมลงซีปะชาว โดยวิธีการนี้แมลงซีปะชาวตัวผู้และตัวเมียจะเปลี่ยนแปลงความเร็วและตำแหน่งของตัวเองโดยอ้างอิงจากค่าเหมาะสมของตัวเองและของกลุ่ม และจะผสมพันธุ์กันเพื่อสร้างลูกหลานที่มีคุณสมบัติทางพันธุกรรมที่ดีและแทนที่คำตอบที่ดีในคำตอบที่แย่ของรุ่นพ่อแม่ โดยวิธีการนี้มีการเพิ่มการเดินและการบินสุ่มของตัวผู้และตัวเมียเพื่อเพิ่มความหลากหลายในการค้นหาคำตอบและไม่ทำให้ติดอยู่ในคำตอบที่ไม่ดี แล้วจะทำอย่างนี้จนถึงรอบที่กำหนด

### 3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน

ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน ซึ่งเป็นภาษาที่ถูกออกแบบโดยมีปรัชญาที่จะทำให้โค้ดอ่านได้ง่ายขึ้น และโครงสร้างของภาษานั้นจะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าใจแนวคิดการเขียนโค้ดโดยใช้บรรทัดที่น้อยลง ซึ่งจะนำไปใช้ในการแก้ปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ เพื่อลดเวลาล่าช้าในการจัดส่งให้น้อยที่สุด

### 3.5 ออกแบบและเขียนการแก้ปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต

ทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมแก้ปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต โดยจะเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ กำหนดข้อจำกัดในการเขียนโปรแกรม กำหนดแนวทางการแก้ปัญหา และกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน จากนั้นก็ทำการออกแบบกระบวนการหาคำตอบ

### 3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมหลังจากที่ได้เขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต เพื่อใช้ในการแก้ปัญหารจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่มีเงื่อนไขด้านน้ำหนักและประเภทของสินค้ามาเกี่ยวข้อง

### 3.7 ดำเนินการทดลองและหาประสิทธิภาพของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตสำหรับ ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

การดำเนินการทดลองและหาประสิทธิภาพของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตสำหรับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ โดยจะทดลองจากโจทย์ที่สร้างขึ้นและทำการหาคำตอบ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

### 3.8 สรุปผลการดำเนินโครงการ

สรุปผลการดำเนินโครงการ โดยนำคำตอบที่ได้จากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน มาวิเคราะห์ และนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ เพื่อหาเวลาล่าช้าในการจัดส่งสินค้าให้น้อยที่สุดโดยวิธีการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ จากนั้นทำการสรุปผล จัดทำรายงาน และนำเสนอ ต่อคณะกรรมการที่คุมสอบโครงการ

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีที่ใช้ในโครงการนี้ ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบโดยการจำลองพฤติกรรมทางสังคมของแมลงชีปะขาวดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.2 เนื่องจากวิธีแมลงชีปะขาวในรูปแบบดั้งเดิมนั้น ถูกออกแบบมาให้ใช้กับปัญหาแบบต่อเนื่อง แต่ในงานวิจัยนี้คณะผู้จัดทำโครงการได้ตระหนักว่าปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยมีเงื่อนไขเข้ามาเกี่ยวข้องนั้น จัดเป็นปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง จึงต้องมีการปรับปรุงวิธีการทำงานของวิธีแมลงชีปะขาวคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ออกแบบวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต (Set-based Mayfly Algorithm) มาช่วยในการหาคำตอบ ซึ่งเป็นการนำวิธีการเชิงเซตที่ถูกประยุกต์ใช้ในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization) มาประยุกต์ใช้กับโครงการนี้แล้วหลังจากที่กล่าวถึงการทำงานของวิธีการแมลงชีปะขาวแล้วในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของวิธีการแมลงชีปะขาวเชิงเซตในแต่ละโจทย์ปัญหาคือ โจทย์ปัญหามิติขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่อย่างละ 2 ข้อ และในที่สุดท้ายของบทนี้จะทำการนำวิธีการแมลงชีปะขาวเชิงเซตไปทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบกับโครงการอื่นโดยใช้พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละโจทย์ปัญหาในแต่ละขนาด ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ 2 วิธีการคือ วิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต นางสาวชฎาพร กุลมล และนางสาวปพิชญา สมนึก (2566) ได้อธิบายไว้ว่า วิธีการนี้เป็นวิธีการหาคำตอบโดยการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของกระรอกโดยที่กระรอกเคลื่อนที่จากต้นไม้ต้นหนึ่งไปยังอีกต้นหนึ่ง โดยกระรอกจะสามารถอยู่บนต้นไม้ได้เพียงต้นเดียวเท่านั้น ในป่าจะมีต้นไม้ 3 ชนิด คือ ต้นฮิคโครีซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีที่สุด ต้นโอ๊กซึ่งเป็นแหล่งอาหารทั่วไป และต้นไม้ธรรมดาซึ่งไม่มีอาหาร โดยในป่าจะมีต้นฮิคโครีเพียงต้นเดียว มีต้นโอ๊กประมาณร้อยละ 20 ของป่าทั้งหมด ที่เหลือเป็นต้นไม้ธรรมดา และอีกวิธีการหนึ่งคือ วิธีการผู้ล่าทางทะเลเชิงเซต ซึ่งนางสาวจิรนาถ ศิริป่า และนายวรวิทย์ เทศเชียง (2566) ได้อธิบายไว้ว่า เป็นวิธีการหาคำตอบที่เลียนแบบการหาอาหารของสัตว์น้ำที่เป็นผู้ล่าโดยผู้ล่าจะมี การเคลื่อนที่ในการหาอาหารแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่แบบลิวี (Levy) และการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian) โดยมีประชากรที่เป็นไปได้ทั้งเหยื่อและผู้ล่า และมีรูปแบบการเคลื่อนที่ 3 ระยะ คือระยะที่ 1 เหยื่อมีการค้นหาคำตอบโดยการกระจายตัวสำรวจพื้นที่ จึงใช้การเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน ระยะที่ 2 ผู้ล่าและเหยื่อมีความสมดุลระหว่างการสำรวจพื้นที่ค้นหาคำตอบและการใช้ประโยชน์จากคำตอบเฉพาะที่ โดยครึ่งหนึ่งของประชากรมีการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน และอีกครึ่งหนึ่งของประชากรมีการเคลื่อนที่แบบลิวี ระยะที่ 3 ผู้ล่ามีการค้นหาแบบเจาะจงเฉพาะที่ โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากคำตอบจึงใช้การเคลื่อนที่แบบลิวี

#### 4.1 การทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวกับวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตเป็นวิธีเมตาฮีริสติกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีแนวคิดมาจากพฤติกรรมทางสังคมของแมลงซีปะขาวในฤดูผสมพันธุ์ โดยจะแบ่งกลุ่มประชากร (Population) ออกเป็น 2 กลุ่มคือ แมลงซีปะขาวตัวผู้และแมลงซีปะขาวตัวเมียซึ่งมีแนวทางการปรับปรุงคำตอบดังนี้

##### 4.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

ในการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อด้วยวิธีแมลงซีปะขาว ส่วนหนึ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่จะแบ่งประชากรออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มประชากรของเพศผู้และกลุ่มประชากรของเพศเมีย โดยลักษณะของตัวแทนคำตอบในแต่ละตำแหน่งของตัวผู้ และตัวเมีย จะเป็นการนำรายการสินค้า มาเรียงต่อกันเป็นแถวภายใต้เงื่อนไขในการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ เช่น น้ำหนักของสินค้า หมาดหมูของสินค้า เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลถึงหน้าตาหรือลักษณะของรูปแบบของการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อนั้นๆ และมีค่าสมการเป้าประสงค์ (ค่าคำตอบ) ที่แสดงถึงเวลาล่าช้ารวมของคำสั่งซื้อนี้ เพื่อหารูปแบบการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่จะให้ค่าความล่าช้ารวมน้อยที่สุด

การสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นของกลุ่มประชากรของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย จะเป็นการสร้างคำตอบที่มีลักษณะที่เหมือนกันคือเปลี่ยนคำสั่งซื้อของลูกค้าที่เข้ามาในคลังสินค้าเป็นเลขดัชนีชนิดของสินค้า (Index) เพื่อแทนชื่อรายการสินค้า เช่น มีคำสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามา 2 คำสั่งซื้อ ซึ่งภายในคำสั่งซื้อนั้น คำสั่งซื้อแรกของลูกค้าได้ทำการสั่งซื้อสินค้าหมายเลข 12, 34, 72, 38 และคำสั่งซื้อที่สองคือสินค้าหมายเลข 24, 50, 282 หลังจากนั้นทำการแยกรายการสินค้าออกมาเรียงกัน อาจจะได้ 12, 34, 72, 38, 24, 50, 282 การสร้างคำตอบจะทำการนับจำนวนสินค้าทั้งหมดภายในคำสั่งซื้อ จากตัวอย่างจำนวนสินค้าทั้งหมดของทั้งสองคำสั่งซื้อจะเป็น 7 รายการ ดังนั้นการสร้างกลุ่มประชากรจะทำการแทนรายการเหล่านี้ด้วยเลขแทนตำแหน่งหรือในที่นี้จะขอเรียกว่าดัชนีชนิดของสินค้า ชนิดของสินค้า 7 ตัวคือ 0 ถึง 6 ซึ่งจะเป็น 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 จะเป็นตัวแทนคำตอบที่นำไปแทนหมายเลขสินค้าดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ

ชนิดสินค้า	12	34	72	38	24	50	282
คำสั่งซื้อ	1	1	1	1	2	2	2
เลขดัชนีชนิดของสินค้า	0	1	2	3	4	5	6

หลังจากนั้นจะทำการสลับตำแหน่งของเลขดัชนีชนิดของสินค้าแบบสุ่ม ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งทั้งตัวผู้และตัวเมียจะทำเช่นเดียวกันในทุก ๆ คำตอบ

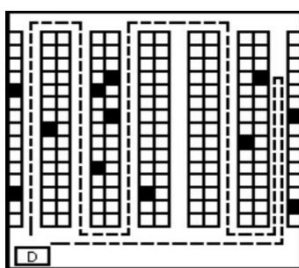
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ

ชนิดสินค้า	72	34	12	282	24	50	38
คำสั่งซื้อ	1	1	1	2	2	2	1
เลขดัชนีชนิดของสินค้า	2	1	0	6	4	5	3

เสร็จแล้วจะทำการแปลงคำตอบนั้นเป็นคู่อันดับในหัวข้อที่ 4.1.2.1 แล้วนำคำตอบที่ได้ไปดำเนินการปรับปรุงต่อไป

#### 4.1.1.1 การประเมินค่าคำตอบ

การประเมินค่าคำตอบ คือการคำนวณความล่าช้ารวมในการเดินทางไปหยิบสินค้าภายในคลังสินค้าของคำสั่งซื้อนั้น ๆ ซึ่งจะสามารถหาได้จากการนำระยะทางในการนำสินค้าออกจากตำแหน่งในแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อโดยจะคำนวณระยะทางตั้งแต่รายการสินค้าออกจากจุดรับคำสั่งซื้อและกลับมายังจุดรับคำสั่งซื้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เพื่อนำไปคำนวณระยะเวลาในการหยิบสินค้ารวม ซึ่งจะสามารถหาความล่าช้ารวมได้จากการนำเวลาที่ได้มาหักลบกับเวลาในการจัดส่งสินค้า (Due date) ที่แนบมากับคำสั่งซื้อนั้น ๆ



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการเดินทางไปหยิบสินค้า

#### 4.1.1.2 วิธีการมอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อ

หลังจากการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อต่อมาจะเป็นการมอบกลุ่มคำสั่งซื้อโดยที่การมอบหมายให้แก่พนักงานนั้น ในแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อนั้นแต่ละสินค้าจะมีเวลาการจัดส่งที่แตกต่างกันของแต่ละคำสั่งซื้อดังนั้นจึงจะทำการหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการจัดส่งของกลุ่มคำสั่งซื้อนั้น ๆ เช่นดังตัวอย่างนี้

กำหนดให้คลังสินค้าจัดกลุ่มคำสั่งซื้อได้ดังตารางที่ 4.3

โดยที่

Index	คือ ดัชนีชนิดสินค้า
Location	คือ ตำแหน่งของสินค้า
Category	คือ หมวดหมู่ของสินค้า 0 คือสินค้าที่เป็นอาหาร 1 คือสินค้าที่ไม่เป็นอาหาร

Weight	คือ น้ำหนักของสินค้า
Self-capacity	คือ ความจุของสินค้า
Due Date	คือ ระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า
Order	คือ คำสั่งซื้อ
Batch	คือ กลุ่มคำสั่งซื้อ

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างกลุ่มคำสั่งซื้อ

index	location	category	weight	Self-capacity	Due date	order	batch
8	242	0	41	150	116.54	3	1
15	238	0	4	45	63.54	5	1
3	776	0	1	39	32.54	1	1
18	687	0	9	38	35.54	6	1
12	870	0	5	36	122.54	4	1
2	871	0	25	5	198.54	0	1
19	512	0	47	150	200.54	7	2
1	534	0	6	28	198.54	0	2
11	840	0	8	18	122.54	4	2
7	109	1	7	48	116.54	3	2
10	499	1	4	31	122.54	4	2
9	57	1	7	26	122.54	4	2
17	580	0	45	150	35.54	6	3
13	21	0	2	15	63.54	5	3
4	806	1	2	47	32.54	1	3
16	485	1	9	27	35.54	6	3
5	895	1	3	20	32.54	1	3
6	526	0	9	12	84.54	2	4
14	152	1	8	23	63.54	5	4
0	122	1	4	20	198.54	0	4

จะเห็นได้ว่าในส่วนของเวลาในการจัดส่งนั้นในแต่ละสินค้านั้นไม่เท่ากันดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการจัดส่ง ตัวอย่างเช่น กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 มีสินค้าอยู่ในกลุ่ม 6

รายการสินค้า เวลาเฉลี่ยของเวลา =  $[116.542 + 63.541 + 32.541 + 35.541 + 122.542 + 198.542] / 6 = 94.875$  โดยจะทำอย่างนี้ในทุกกลุ่มคำสั่งซื้อซึ่งผลลัพธ์จะเป็นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการจัดส่ง

index	location	category	weight	Self-capacity	Due date	order	batch	Average Due date of batch
8	242	0	41	150	116.54	3	1	94.88
15	238	0	4	45	63.54	5	1	94.88
3	776	0	1	39	32.54	1	1	94.88
18	687	0	9	38	35.54	6	1	94.88
12	870	0	5	36	122.54	4	1	94.88
2	871	0	25	5	198.54	0	1	94.88
19	512	0	47	150	200.54	7	2	147.21
1	534	0	6	28	198.54	0	2	147.21
11	840	0	8	18	122.54	4	2	147.21
7	109	1	7	48	116.54	3	2	147.21
10	499	1	4	31	122.54	4	2	147.21
9	57	1	7	26	122.54	4	2	147.21
17	580	0	45	150	35.54	6	3	39.94
13	21	0	2	15	63.54	5	3	39.94
4	806	1	2	47	32.54	1	3	39.94
16	485	1	9	27	35.54	6	3	39.94
5	895	1	3	20	32.54	1	3	39.94
6	526	0	9	12	84.54	2	4	115.54
14	152	1	8	23	63.54	5	4	115.54
0	122	1	4	20	198.54	0	4	115.54

หลังจากนั้นจะทำจัดเรียงเวลาเฉลี่ยของเวลาจัดส่งจากน้อยไปหามาก พบว่ากลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3, 1, 4, 2 สามารถได้ค่าเฉลี่ยกำหนดเวลาส่งมอบน้อยที่สุด (ตามลำดับ) โดยการมอบหมายจะเป็นการมอบหมายแบบสลับ เช่น สมมติให้คลังสินค้ามีพนักงานเดินเก็บสินค้า 2 คน ดังนั้น กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 3 จะถูกมอบหมายให้แก่พนักงานคนที่ 1 ต่อมากลุ่มคำสั่งซื้อที่ 1 จะถูกมอบหมายให้แก่พนักงานคนที่ 2 ดังนั้น กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 และ 2 ก็จะถูกมอบหมายให้แก่พนักงานคนที่ 1 และ 2 ตามลำดับสลับกันไป ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การมอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อ

#### 4.1.1.3 วิธีการเดินเก็บสินค้าของพนักงาน

หลังจากได้ที่มีการมอบหมายคำสั่งซื้อแล้วพนักงานจะทำการเดินไปหยิบสินค้าตามกลุ่มคำสั่งซื้อที่ได้รับมอบหมายโดยพนักงานจะทำการออกไปหยิบสินค้าตามลำดับพร้อมกัน ตัวอย่างการเดินเก็บสินค้าของกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 จากตัวอย่างก่อนหน้า โดยตำแหน่งของสินค้าจะเป็นดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4

index	location	category	weight	Self-capacity	Due date	order	batch	Average Due date of batch
6	526	0	9	12	84.54	2	4	115.54
14	152	1	8	23	63.54	5	4	115.54
0	122	1	4	20	198.54	0	4	115.54

ซึ่งมีลำดับการหยิบสินค้าตามลำดับต่อไปนี้

ตำแหน่งสินค้าที่ Depart → 526 → 152 → 122 → Depart

โดยการเดินเก็บสินค้าจะเป็นดังรูปที่ 4.3

1	2	91	92	181	182	271	272	361	362	451	452	541
3	4	93	94	183	184	273	274	363	364	453	454	543
5	6	95	96	185	186	275	276	365	366	455	456	545
7	8	97	98	187	188	277	278	367	368	457	458	547
9	10	99	100	189	190	279	280	369	370	459	460	549
11	12	101	102	191	192	281	282	371	372	461	462	551
13	14	103	104	193	194	283	284	373	374	463	464	553
15	16	105	106	195	196	285	286	375	376	465	466	555
17	18	107	108	197	198	287	288	377	378	467	468	557
19	20	109	110	199	200	289	290	379	380	469	470	559
21	22	111	112	201	202	291	292	381	382	471	472	561
23	24	113	114	203	204	293	294	383	384	473	474	563
25	26	115	116	205	206	295	296	385	386	475	476	565
27	28	117	118	207	208	297	298	387	388	477	478	567
29	30	119	120	209	210	299	300	389	390	479	480	569
31	32	121	122	211	212	301	302	391	392	481	482	571
33	34	123	124	213	214	303	304	393	394	483	484	573
35	36	125	126	215	216	305	306	395	396	485	486	575
37	38	127	128	217	218	307	308	397	398	487	488	577
39	40	129	130	219	220	309	310	399	400	489	490	579
41	42	131	132	221	222	311	312	401	402	491	492	581
43	44	133	134	223	224	313	314	403	404	493	494	583
45	46	135	136	225	226	315	316	405	406	495	496	585
47	48	137	138	227	228	317	318	407	408	497	498	587
49	50	139	140	229	230	319	320	409	410	499	500	589
51	52	141	142	231	232	321	322	411	412	501	502	591
53	54	143	144	233	234	323	324	413	414	503	504	593
55	56	145	146	235	236	325	326	415	416	505	506	595
57	58	147	148	237	238	327	328	417	418	507	508	597
59	60	149	150	239	240	329	330	419	420	509	510	599
61	62	151	152	241	242	331	332	421	422	511	512	601
63	64	153	154	243	244	333	334	423	424	513	514	603
65	66	155	156	245	246	335	336	425	426	515	516	605
67	68	157	158	247	248	337	338	427	428	517	518	607
69	70	159	160	249	250	339	340	429	430	519	520	609
71	72	161	162	251	252	341	342	431	432	521	522	611
73	74	163	164	253	254	343	344	433	434	523	524	613
75	76	165	166	255	256	345	346	435	436	525	526	615
77	78	167	168	257	258	347	348	437	438	527	528	617
79	80	169	170	259	260	349	350	439	440	529	530	619
81	82	171	172	261	262	351	352	441	442	531	532	621
83	84	173	174	263	264	353	354	443	444	533	534	623
85	86	175	176	265	266	355	356	445	446	535	536	625
87	88	177	178	267	268	357	358	447	448	537	538	627
89	90	179	180	269	270	359	360	449	450	539	540	629

Depot

#### รูปที่ 4.3 การเดินทางไปหยิบกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4

จากรูปที่ 4.3 สามารถอธิบายการคำนวณเส้นทางได้ดังนี้

- 1) จากจุดรับคำสั่งซื้อไปยังตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 526 ระยะทาง 26.5
- 2) จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 526 ไปยัง ตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 152

ซึ่งจะทำการคำนวณระยะทาง 2 เส้นทาง

โดยเส้นทางที่ 1 เดินทางออกจากช่องทางเดินปัจจุบันจากทางช่อง  
ทางเดินด้านหลังไปยังช่องทางเดินที่ 2 (เส้นสีม่วง) มีระยะทางเท่ากับ 82

โดยเส้นทางที่ 2 เดินทางออกจากช่องทางเดินปัจจุบันจากทางช่อง  
ทางเดินด้านหน้าไปยังช่องทางเดินที่ 2 (เส้นสีแดง) มีระยะทางเท่ากับ 38

ทำการเลือกเส้นทางที่ 2 เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด

3) จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 152 ไปยังตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 122 มี  
ระยะทางเท่ากับ 16

4) จากตำแหน่งจัดเก็บสินค้าที่ 122 กลับไปยังจุดรับคำสั่งซื้อ มีระยะทาง  
เท่ากับ 35.5

จากการเดินหยิบสินค้าของกลุ่มคำสั่งซื้อที่ 4 ระยะทางรวมทั้งหมด

$$26.5+38+16+35.5 = 116$$

หลังจากนั้นจะคำนวณค่าความล่าช้ารวมดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่

3.2.7.2

#### 4.1.2 วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะสามารถนำวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมา  
ใช้ในการหาคำตอบในปัญหาแบบไม่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ออกแบบ  
การปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของแมลงซีปะขาวใหม่ โดยตำแหน่งในที่นี่จะอยู่ในรูปแบบของคู่  
อันดับ (arc) และการปรับปรุงคำตอบจะเป็นการปรับปรุงความเร็วหรือในที่นี่จะเป็นค่าความน่าจะเป็น  
เป็นที่คู่อันดับนั้น ๆ จะถูกเลือกมาสร้างคำตอบใหม่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

##### 4.1.2.1 คู่อันดับหรือตำแหน่งในวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

ตำแหน่งในวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต จะอยู่ในรูปแบบของคู่อันดับ เช่น (0,1) ,  
(1,2) , (2,3) โดยคู่อันดับนี้หมายถึงการกำหนดเส้นทางการเดินทางไปหยิบรายการสินค้าหรือการ  
กำหนดลำดับที่จะต้องไปหยิบรายการสินค้านั้นๆ เช่น ตำแหน่งที่ 0 ไปตำแหน่งที่ 1 จะอยู่ในรูป (0,1)  
โดยจากตัวอย่างในคำสั่งซื้อในหัวข้อที่ 4.1.1 ที่ได้ทำการแทนหมายเลขสินค้าด้วยเลขดัชนีชนิดของ  
สินค้า แล้วสามารถนำมาจัดทำเป็นคู่อันดับได้ดังนี้ จาก 6 , 1 , 5 , 4 , 3 , 2 , 0 ได้เป็น (6,1) , (1,5)  
, (5,4) , (4,3) , (3,2) , (2,0) ซึ่งจะมีความหมายว่า จะมีการเดินไปไปหยิบสินค้าตามลำดับ จาก  
ตำแหน่งที่ 6 ไปตำแหน่งที่ 1 แล้วจากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 5 แล้วจากตำแหน่งที่ 5 ไปยัง  
ตำแหน่งที่ 4 ไปเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่งที่ 0 เป็นต้น

##### 4.1.2.2 ความเร็วในวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

ความเร็ว (velocity) ใน Set-based Mayfly Algorithm ถูกออกแบบมา  
เพื่อให้เป็นค่าโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำให้อันดับนั้นถูกเลือกมาใช้ในการสร้างคำตอบใหม่  
สมมติให้ว่ามีตัวแทนคำตอบเป็นคู่อันดับ (0,1) , (1,2) , (2,3) การกำหนดความเร็วเป็นการนำค่า  
ความน่าจะเป็นหรือความน่าจะเป็นที่ถูกสร้างขึ้นมาจับคู่กับคู่อันดับที่สร้างขึ้นโดยจะอยู่ในรูปของ คู่



เนื่องจากการหาค่าต่าง ๆ ของสมการ 4.2 ในเชิงเซตมีความแตกต่างจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ทั่วไปจึงขอแยกอธิบายการคำนวณที่ใช้ในสมการดังนี้

1.) วิธีการคำนวณ  $g * V_{ij}^t$  เป็นการคูณค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์เข้ากับค่าความเร็วซึ่งค่าคงที่ในที่นี้คือค่า  $g$  ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.2.1 ซึ่งสามารถยกตัวอย่างการคำนวณ  $V_i^t$  โดยที่  $V_i^t$  คือค่าความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  ในรอบที่  $t$  ซึ่งการคำนวณ  $g * V_{ij}^t$  จะนำค่า  $g$  ไปคูณกับความน่าจะเป็นของคู่อันดับทุกตัวในความเร็ว นั้น โดยในตัวอย่างนี้จะยกตัวอย่างความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 เช่น

$$\text{สมมติให้ค่า } g = 0.7$$

$$v_1^1 = \{(0,1)/0.07, (1,2)/0.23, (2,3)/0.74\}$$

$$gv_1^1 = \{(0,1)/0.7*0.07, (1,2)/0.7*0.23, (2,3)/0.7*0.74\}$$

จะได้ว่า

$$gv_1^1 = \{(0,1)/0.0049, (1,2)/0.161, (2,3)/0.518\}$$

ดังนั้นความเร็วใหม่ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 ที่ได้จากคูณกับค่า  $g$  ในตำแหน่งที่ 1 ถึง 3 คือ 0.0049, 0.161, 0.518 ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณความเร็ว  $v_{i,j}^t$  ดังนั้นความเร็วใหม่ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 ที่ได้จากคูณกับค่า  $g$  ในตำแหน่งที่ 1 ถึง 3 คือ 0.0049, 0.161, 0.518 ตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณความเร็ว  $v_{i,j}^t$  ของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  ที่เกี่ยวข้องกับดัชนีสินค้าที่  $j$  ในรอบที่  $t$  ได้เป็น

$$v_{1,1}^1 = \{(0,1)/0.07\}$$

$$v_{1,2}^1 = \{(1,2)/0.23\}$$

$$v_{1,3}^1 = \{(2,3)/0.74\}$$

2.) วิธีการคำนวณผลต่างของ  $pbest_{ij} - x_{ij}^t$  และ  $gbest_j - x_{ij}^t$  ซึ่งเป็นการหาผลลัพธ์ของผลต่างของคู่อันดับที่แตกต่างกัน เช่น  $pbest_{ij} - x_{ij}^t$  เป็นการหาว่ามีคู่อันดับไหนบ้างที่มีใน  $pbest_{ij}$  ตัวที่  $i$  ของดัชนีสินค้าที่  $j$  แล้วไม่มีใน  $x_{ij}^t$  ตัวที่  $i$  ของดัชนีสินค้าที่  $j$  ในรอบที่  $t$  หรือ  $gbest_j - x_{ij}^t$  เป็นการหาว่ามีคู่อันดับไหนบ้างที่มีใน  $gbest_j$  ของดัชนีสินค้าที่  $j$  แล้วไม่มีใน  $x_{ij}^t$  โดยจะทำการหาผลต่างในแต่ละดัชนีสินค้าที่  $j$  เช่น ดัชนีสินค้าที่ 2 ของ  $pbest_{1,2}$  ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 นั้นมีคู่อันดับที่เกี่ยวข้องกับ 2 คือ (1,2),(2,3) แล้วดัชนีสินค้าที่ 2 ในรอบที่ 1 ของ  $x_{1,2}^1$  ตัวที่ 1 มีคู่อันดับที่เกี่ยวข้องกับ 2 ซึ่งสมมติว่ามี (2,1) หากว่านำ  $pbest_{1,2}$  และ  $x_{1,2}^1$  มาหาผลต่างจะได้ว่า (1,2) และ (2,1) มีทั้งใน  $pbest_{1,2}$  และ  $x_{1,2}^1$  หมายความว่าลำดับหรือเส้นทางนั้นเท่ากันไม่ว่าจะจากดัชนีสินค้าที่ 1 ไปดัชนีสินค้าที่ 2 หรือว่า ดัชนีสินค้าที่ 2 แล้วไปดัชนีสินค้าที่ 1 จะ

ถือว่าทั้ง 2 คู่อันดับนี้เหมือนกัน ดังนั้นดัชนีสินค้าของ  $pbest_{1,2}$  ที่ไม่มีใน  $x_1^1$  คือ (2,3) ซึ่งการหาผลต่างของ  $pbest_{ij} - x_{ij}^t$  และ  $gbest_j - x_j^t$  นั้นมีวิธีการคำนวณด้วยวิธีเดียวกัน ดังนั้นในตัวอย่างนี้ขอยกตัวอย่างแค่ในส่วนของ การหาผลต่างของ  $pbest_{i,j} - x_{i,j}^t$  ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

สมมติค่า  $pbest_1$  ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 คือ  $\{(0,1),(1,2),(2,3),(3,4)\}$

สมมติค่า  $x_1^1$  ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 คือ  $\{(2,1),(1,0),(0,3),(3,4)\}$

$pbest_1 - x_1^1$  จะเป็น

$$pbest_{1,1} = \{(2,1),(1,0)\}$$

$$x_{1,1}^1 = \{(0,1),(1,2)\}$$

$$pbest_{1,1} - x_{1,1}^1 = \{\}$$

$$pbest_{1,2} = \{(1,2),(2,3)\}$$

$$x_{1,2}^1 = \{(2,1)\}$$

$$pbest_{1,2} - x_{1,2}^1 = \{(2,3)\}$$

$$pbest_{1,3} = \{(2,3),(3,4)\}$$

$$x_{1,3}^1 = \{(0,3),(3,4)\}$$

$$pbest_{1,3} - x_{1,3}^1 = \{(2,3)\}$$

$$pbest_{1,4} = \{(3,4)\}$$

$$x_{1,4}^1 = \{(3,4)\}$$

$$pbest_{1,4} - x_{1,4}^1 = \{\}$$

ดังนั้นผลลัพธ์ของการหาผลต่างของ  $pbest_{ij} - x_{ij}^t = \{\}, \{(2,3)\}, \{(2,3)\}, \{\}$  จะเห็นได้ว่าคู่อันดับที่มีความแตกต่างกันระหว่าง  $pbest_i$  และ  $x_i^t$  มีอยู่ในดัชนีชนิดสินค้าที่ 2 และ 3 ดังนี้

$$pbest_{1,1} - x_{1,1}^1 = \{\}$$

$$pbest_{1,2} - x_{1,2}^1 = \{(2,3)\}$$

$$pbest_{1,3} - x_{1,3}^1 = \{(2,3)\}$$

$$pbest_{1,4} - x_{1,4}^1 = \{\}$$

จะสรุปได้ว่า ในดัชนีสินค้าที่ 1 และ 4 ของ  $pbest_1$  แมลงชีปะขาวตัวที่ 1 และ  $x_1^1$  ของแมลงชีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 นั้นไม่มีความแตกต่างกัน แล้วดัชนีสินค้าที่ 2 และ 3 ของ  $pbest_1$  แมลงชีปะขาวตัวที่ 1 และ  $x_1^1$  ของแมลงชีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 นั้นมีความแตกต่างกัน

3.) การคูณค่าสัมประสิทธิ์  $a_1r_1$  และ  $a_2r_2$  กับผลต่างของ  $(pbest_{ij} - x_{ij}^t)$  และ  $(gbest_j - x_{ij}^t)$  เป็นการนำค่าคงที่หรือค่าสัมประสิทธิ์มาคูณเข้ากับดัชนีสินค้า ซึ่งจะออกมาอยู่ในรูปของ "คู่อันดับ / ความน่าจะเป็น" โดย  $a_1r_1$  และ  $a_2r_2$  นั้นมีวิธีการคำนวณที่เหมือนกันดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการโดยใช้ค่า  $a_1r_1$  ซึ่งจากตัวอย่างในหัวข้อที่แล้วสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้  $a_1 = 2$   $r_1 =$  ค่าสุ่มซึ่งมีค่าเป็น  $r \in [0,1]$

ดังนั้น  $a_1r_1(pbest_{ij} - x_{ij}^t)$  จะเป็น

$$a_1r_1(pbest_{1,1} - x_{1,1}^1) = \{\}$$

$$a_1r_1(pbest_{1,2} - x_{1,2}^1) = \{(2,3)/2*0.2 = 0.40\} \text{ สมมติให้ } r_1 \text{ สุ่มได้ } 0.2$$

$$a_1r_1(pbest_{1,3} - x_{1,3}^1) = \{(2,3)/2*0.1 = 0.20\} \text{ สมมติให้ } r_1 \text{ สุ่มได้ } 0.1$$

$$a_1r_1(pbest_{1,4} - x_{1,4}^1) = \{\}$$

ดังนั้นผลลัพธ์ของ  $a_1r_1(pbest_{ij} - x_{ij}^t)$  จะได้ว่า ความเร็วใหม่ที่ถูคูณด้วย  $a_1r_1$  จะเป็น  $\{\}, \{(2,3)/0.40\}, \{(2,3)/0.20\}, \{\}$

4.) การอัปเดตความเร็วใหม่ ซึ่งหลังจากได้ทำการคำนวณทั้ง 3 พจน์แล้ว จากนั้นจะเป็นการรวมความเร็วใหม่ที่ได้และดัชนีชนิดสินค้าจากผลต่างของ  $pbest$  และ  $gbest$  ของทั้ง 3 พจน์จากรูปที่ 4.2 ซึ่งสามารถทำได้โดยการรวมความเร็วทั้ง 3 พจน์ โดยการนำคู่ "อันดับ/ความเร็ว" ของแต่ละพจน์มาของแต่ละดัชนีชนิดสินค้านำมารวมกัน ดังตัวอย่างนี้

$$\omega V_{1,1}^1 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\}$$

$$a_1r_1(pbest_{1,1} - x_{1,1}^1) = \{\}$$

$$a_2r_2(gbest_1 - x_{1,1}^1) = \{\}$$

$$V_{1,1}^2 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\}$$

$$\omega V_{1,2}^1 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.147\}$$

$$a_1r_1(pbest_{1,2} - x_{1,2}^1) = \{(2,3)/(0.4)\}$$

$$a_2r_2(gbest_2 - x_{1,2}^1) = \{(2,3)/0.8\}$$

$$V_{1,2}^2 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.147, (2,3)/(0.4), (2,3)/0.8\}$$

$$\omega V_{1,3}^1 = \{(2,3)/0.147, (1,2)/0.098\}$$

$$a_1 r_1 (pbest_{1,3} - x_{1,3}^1) = \{(2,3)/0.2\}$$

$$a_2 r_2 (gbest_3 - x_{1,3}^1) = \{(2,3)/0.4\}$$

$$V_{1,3}^2 = \{(2,3)/0.147, (1,2)/0.098, (2,3)/0.2, (2,3)/0.4\}$$

$$\omega V_{1,4}^1 = \{(3,4)/0.098\}$$

$$a_1 r_1 (pbest_{1,4} - x_{1,4}^1) = \{\}$$

$$a_2 r_2 (gbest_4 - x_{4,1}^1) = \{\}$$

$$V_{1,4}^2 = \{(3,4)/0.098\}$$

ดังนั้นความเร็วใหม่ในรอบที่ 2 จะได้ก็คือ

$$V_{1,1}^2 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\},$$

$$V_{1,2}^2 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.147, (2,3)/(0.4), (2,3)/0.8\},$$

$$V_{1,3}^2 = \{(2,3)/0.147, (1,2)/0.098, (2,3)/0.2, (2,3)/0.4\},$$

$$V_{1,4}^2 = \{(3,4)/0.098\}$$

#### 4.1.2.4 การปรับความน่าจะเป็นของคู่อันดับเดียวกันให้เท่า

หลังจากที่ได้มีการสร้างความเร็วใหม่แล้ว มีโอกาสที่คู่อันดับเดียวกันแต่อยู่ในดัชนีชนิดสินค้าที่ต่างกัน จะมีโอกาสที่ความน่าจะเป็นที่จะต่างกัน ดังนั้นการปรับความน่าจะเป็นของคู่อันดับเดียวกันให้เท่า (Checking inconsistency of velocity) จะเป็นการปรับความน่าจะเป็นของคู่อันดับที่เหมือนกัน โดยจะทำการหาคู่อันดับที่เหมือนกันนั้น ค่าความน่าจะเป็นของคู่อันดับคู่นั้นที่มากที่สุด ให้ทำการแทนค่าความน่าจะเป็นนั้นไปในทุกคู่อันดับคู่นั้น ๆ ที่เหมือนกัน เช่น จากตัวอย่างก่อนหน้า

$$V_{1,1}^2 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\}$$

$$V_{2,1}^2 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.147, (2,3)/0.4, (2,3)/0.8\}$$

$$V_{3,1}^2 = \{(2,3)/0.147, (1,2)/0.098, (2,3)/0.2, (2,3)/0.4\}$$

$$V_{4,1}^2 = \{(3,4)/0.098\}$$

โดยคู่อันดับที่เหมือนกัน คือ (1,2)/0.294 , (1,2)/0.294 และ (2,3)/0.147 , (2,3)/0.4, (2,3)/0.8 , (2,3)/0.147 , (2,3)/0.2 , (2,3)/0.4 โดยคู่อันดับ (1,2) ที่เหมือนกันนั้นมีความเร็วเท่ากันจึงไม่จำเป็นต้องปรับความสม่ำเสมอ ดังนั้นคู่อันดับ (1,2) จะมีความเร็วเป็น 0.294

และในส่วนของคู่อันดับ (2,3) จะเห็นว่าความเร็วไม่เท่ากันดังนั้นความเร็วที่มากที่สุดของ คู่อันดับ (2,3) คือ 0.8 ดังนั้นความเร็วของคู่อันดับ (2,3) ทั้งหมดจะเป็น 0.8 ดังนี้

$$V_{1,1}^2 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\}$$

$$V_{2,1}^2 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8\}$$

$$V_{3,1}^2 = \{(2,3)/0.8, (1,2)/0.098, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8\}$$

$$V_{4,1}^2 = \{(3,4)/0.098\}$$

#### 4.1.2.5 การสร้างเซตคัตสรรสำหรับการสร้างคำตอบใหม่

เซตคัตสรร (Cut set) คือเซตของคู่อันดับที่ถูกคัตสรรมาเพื่อเป็นตัวเลือกสำหรับการสร้างคำตอบใหม่ โดยคู่อันดับที่จะนำมาสร้าง เซตคัตสรร นั้นจะเป็นคู่อันดับที่มาจาก การปรับปรุงความเร็วในหัวข้อที่ 4.1.2.3 เพื่อนำคู่อันดับเหล่านั้นมาสร้าง เซตคัตสรร โดยจะทำการคัต จากคู่อันดับที่มีความน่าจะเป็นที่มากกว่าหรือเท่ากับค่า  $\alpha$  ที่กำหนดขึ้นซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.1 ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

$$cut_\alpha(V_{i,j}^{t+1}) = \{e | p(e) \in V_{i,j} \text{ และ } p(e) \geq \alpha\} \quad (4.1)$$

โดยที่

$cut_\alpha(V_{i,j}^{t+1})$  คือ เซตคัตสรรที่ได้จากความเร็วในรูปที่ t+1

ของดัชนีสินค้าที่ j ของแมลงซีปะขาวตัวที่ i

โดยมีการคัตความน่าจะเป็น  $\alpha$

$\alpha$  คือ ค่าคงที่สำหรับการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกมี

ค่า 0 ถึง 1

$e$  คือ คู่อันดับ

$p(e)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของคู่อันดับ

หรือกล่าวได้ว่า เซตคัตสรร คือเซตของคู่อันดับที่ได้จากการพิจารณาคู่อันดับ ที่อยู่ในความเร็วใหม่ที่ได้ที่มีค่าความน่าจะเป็นมากกว่า  $\alpha$  โดยการสร้าง เซตคัตสรร จะพิจารณาได้ ดังนี้

สมมติให้  $\alpha = 0.5$  โดยที่  $\alpha \in (0,1]$

ดังนั้น จากตัวอย่างคำตอบจากการปรับปรุงความน่าจะเป็นในหัวข้อที่

#### 4.1.2.4

$$V_{1,1}^2 = \{(0,1)/0.049, (1,2)/0.294\}$$

$$cut_{0.5}(V_{1,1}^2) = \{\}$$

$$V_{1,2}^2 = \{(1,2)/0.294, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8\}$$

$$cut_{0.5}(V_{1,2}^2) = \{(2,3)/0.8\}$$

$$V_{1,3}^2 = \{(2,3)/0.8, (1,2)/0.098, (2,3)/0.8, (2,3)/0.8\}$$

$$cut_{0.5}(V_{1,3}^2) = \{(2,3)/0.8\}$$

$$V_{1,4}^2 = \{(3,4)/0.098\}$$

$$cut_{0.5}(V_{1,4}^2) = \{\}$$

จะได้ว่าที่ค่า  $\alpha$  เท่ากับ 0.5 จะมี เซตคัตสรร ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 เท่ากับ (2,3) เป็นต้นโดยสรุปได้ว่าการปรับปรุงความเร็วในหัวข้อที่ 4.1.2.3 และ การปรับความน่าจะเป็นให้เท่ากัน ในหัวข้อที่ 4.1.2.4 นั้นมีไว้เพื่อนำมาสร้าง เซตคัตสรร เพื่อให้คำตอบที่อยู่ใน เซตคัตสรร ถูกนำไปสร้างคำตอบใหม่ ดังนั้นการกำหนดค่า  $\alpha$  ไว้นี้สูงหรือต่ำจึงมีความสำคัญต่อคำตอบที่จะผ่านเข้าสู่ เซตคัตสรร

#### 4.1.2.6 การอัปเดตตำแหน่งใหม่ในวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

การอัปเดตตำแหน่งใหม่ในวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต นั้นจะเป็นการคัดเลือกคู่ อันดับหรือตัวแทนคำตอบมาสร้างคำตอบใหม่โดยจะทำการสุ่มเลือกคู่อันดับเริ่มต้นจะมีทั้งหมด 4 ตัวเลือกเพื่อสุ่มทำการสุ่มเลือกโดยทั้งสี่มีความน่าที่จะสุ่มได้เป็นดังต่อไปนี้

##### ก.) การเลือกตำแหน่งเริ่มต้น

1.) ตำแหน่งปัจจุบันของแมลงซีปะขาว  $x_i^t$  มีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0 - 0.25 (25%) เช่น  $x_1^0 = \{(0,1), (1,2), (2,3), (3,4)\}$

2.) ตำแหน่งของ pbest ของแมลงซีปะขาวตัวที่  $i$  มีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.26 - 0.50 (25%) เช่น  $pbest_1 = \{(0,1), (1,2), (2,3), (3,4)\}$

3.) ตำแหน่งของ gbest ของแมลงซีปะขาว มีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.51 - 0.75 (25%) เช่น  $gbest = \{(2,4), (4,3), (3,1), (1,0)\}$

4.) สุ่มจากสมาชิกในเซตที่เป็นไปได้ทั้งหมด (เซต E) ซึ่งคือทุกคู่อันดับที่เป็นไปได้ในตำแหน่งนั้น ๆ มีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.76- 1 (25%) เช่น

$$x_0 = \{(0,1), (1,0), (0,2), (2,0), \dots, (0,4), (4,0)\}$$

$$x_1 = \{(0,1), (1,0), (1,2), (2,1), \dots, (1,4), (4,1)\}$$

$$x_2 = \{(0,2), (2,0), (1,2), (2,1), \dots, (2,4), (4,2)\}$$

$$x_3 = \{(0,3),(3,0),(1,3),(3,1),\dots,(3,4),(4,3)\}$$

$$x_4 = \{(0,4),(4,0),(1,4),(4,1),\dots,(4,3),(3,4)\}$$

ตัวอย่างเช่น สมมติให้มีการสุ่มความน่าจะเป็นในการเลือกคู่อันดับเริ่มต้น โดยที่พิจารณาตำแหน่งที่ 1 ซึ่งสุ่มความน่าจะเป็นได้เท่ากับ 0.8

ดังนั้น การสุ่มจึงเข้าเงื่อนไขที่ 4 คือสุ่มจากสมาชิกในเซตที่เป็นไปได้ทั้งหมด (เซต E) เสร็จแล้วทำการสุ่มเลือกคู่อันดับขึ้นมาจากเซต E เช่น  $x_1^1 = (2,1)$  เป็นต้น

ข.) การเลือกคู่อันดับถัดไปหรือตำแหน่งถัดไป ซึ่งพิจารณาตามลำดับและขั้นตอนต่อไปนี้

1.) เลือกคู่อันดับจาก  $cut_\alpha(V_{ij}^{t+1})$  เช่น สมมติว่าดัชนีสินค้ามีทั้งหมด 5 ตัว ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และให้คู่อันดับของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 ในรอบที่ 1 ในดัชนีสินค้าแรกคือ  $x_{1,1}^1 = (2,1)$  ฉะนั้นคู่อันดับที่จะพิจารณาในดัชนีสินค้าที่ 2 นั้น จะต้องเริ่มต้นด้วย (1,...) เพราะดัชนีสินค้าล่าสุดคือ 1 ดังนั้นดัชนีสินค้าถัดไปคือดัชนีสินค้าที่ 2 ( $x_{1,2}^1$ ) ต้องไม่ซ้ำกับดัชนีสินค้าที่ 1 เช่น (1,2) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ (2,1) และจะไม่อนุญาตให้ใช้คู่อันดับที่ถูกใช้แล้วโดยกำหนดคู่อันดับที่ถูกเลือกด้วยการสุ่มจากคู่อันดับที่เป็นไปได้ของดัชนีสินค้าที่ 1 เช่น สมมติให้ดัชนีสินค้าที่ 1 และดัชนีสินค้าที่ 2 ของแมลงซีปะขาวตัวที่ 1 คือ (2,1),(1,0) ตามลำดับ ดังนั้นคำตอบที่เป็นไปได้คือ (0,3) หรือ (0,4) เท่านั้น เพราะ 3 กับ 4 นั้นยังไม่ถูกใช้งานภายใต้ดัชนีสินค้าของแมลงซีปะขาวสูงสุดที่มี 0 ถึง 4 ดัชนีสินค้า หากตรวจสอบแล้วว่าไม่พบคู่อันดับใดเลยที่ตรงกับเงื่อนไขให้พิจารณาต่อในข้อที่ 2

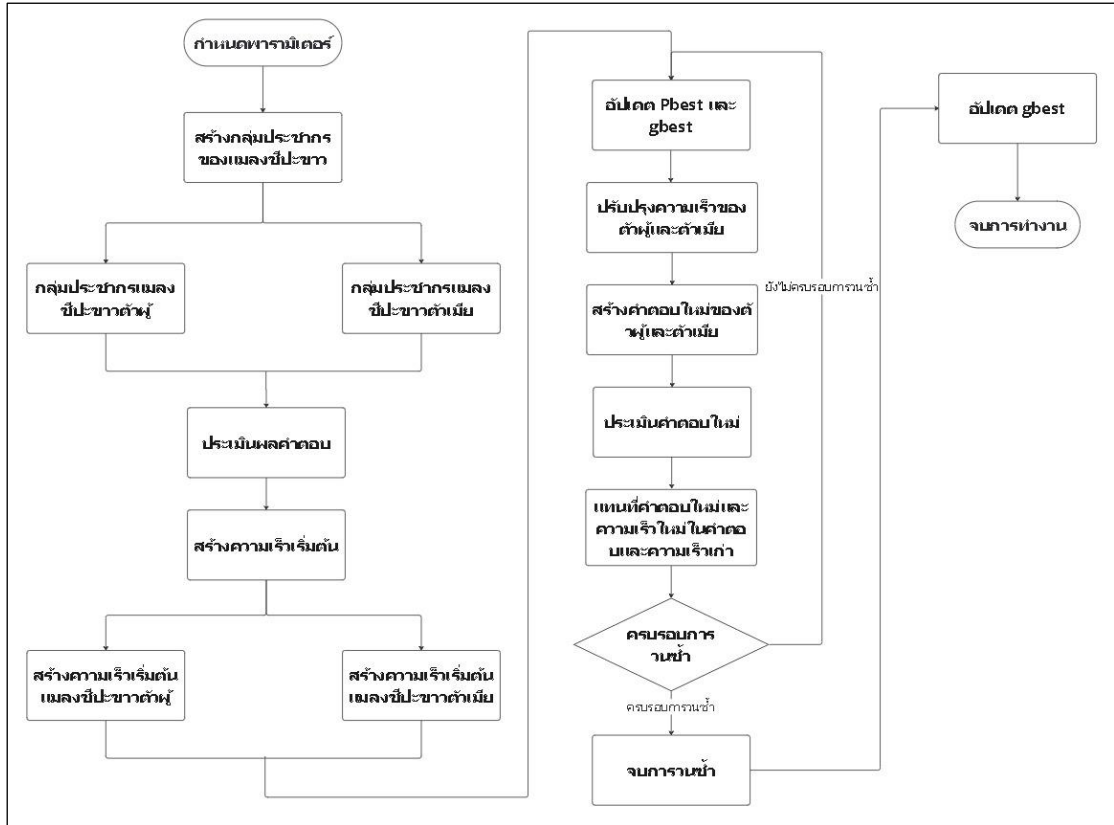
2.) เลือกคู่อันดับจากแมลงซีปะขาวที่ตัว  $i$  ในรอบปัจจุบัน ( $x_i^t$ ) เช่น สมมติให้การเลือกคู่อันดับจากแมลงซีปะขาวในรอบปัจจุบันคือรอบที่ 0 คือ  $x_1^0 = \{(0,1),(1,2),(2,3),(3,4)\}$  โดยสมมติให้คู่อันดับในดัชนีสินค้าแรก คือ  $x_1^1 = (2,1)$  ดังนั้นจากตัวอย่างคำตอบในดัชนีสินค้าที่ 2 นั้นจะเป็น  $x_1^1 = (2,1)(1,0)$  จะเห็นได้ว่าคู่อันดับ (0,1) ไม่ละเมิดเงื่อนไขและอย่างที่ได้อธิบายไปในหัวข้อ 4.1.2.3 คู่อันดับ คู่อันดับ (0,1)(1,0) นั้นมีความหมายเหมือนกันดังนั้นจากตัวอย่าง จึงอนุญาตให้คู่อันดับ (0,1) แปลงเป็นคู่อันดับ (1,0) ได้ แต่หากพบว่าขั้นตอนที่ 2 ไม่สามารถหาคู่อันดับที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขได้ การสร้างคำตอบจะทำการพิจารณาต่อในขั้นตอนที่ 3

3.) เลือกคู่อันดับด้วยการสุ่มจากสมาชิกใน เซต E เช่น หากว่า ขั้นตอนที่ 1 และ 2 นั้นไม่มีคู่อันดับไหนที่ละเมิดเงื่อนไข ที่การพิจารณาดัชนีสินค้าที่ 2 โดยที่ ดัชนีสินค้าที่ 1 คือ  $x_1^1 = (2,1)$  โดยที่การสุ่มจาก เซต E นั้นมีคู่อันดับที่เป็นไปได้คือ  $\{(1,0),(0,1)\}, \{(1,3),(3,1)\}$  และ  $\{(1,4),(4,1)\}$  โดยที่ทำการสุ่มเลือกคู่อันดับจาก 3 ตัวเลือกที่เป็นไปได้มา 1 คู่อันดับ สมมติว่าสุ่มได้ (1,3)หรือ(3,1) จะได้ว่า  $x_1^1 = (2,1),(1,3)$  เป็นต้น

โดยที่การอัปเดตคำตอบใหม่จะทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงดัชนีสินค้าสุดท้ายของคำตอบหรือชนิดของสินค้าทั้งหมดถูกกำหนดลงไปในตัวแทนคำตอบแล้วจะเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการอัปเดตหรือสร้างคำตอบใหม่โดยวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

## 4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีแมลงชีปะขาว

ขั้นตอนการของวิธีการแมลงชีปะขาวเชิงเซตนั้นได้นำวิธีการเชิงเซตมาปรับปรุงและประยุกต์เข้ากับวิธีการแมลงชีปะขาวซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดัง Flowchart ดังรูปที่ 4.5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 ผังแสดงการทำงานของวิธีการแมลงชีปะขาวเชิงเซต

โดยสามารถอธิบายสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

### 4.2.1 สร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นของตัวผู้และตัวเมีย

ทำการสร้างตัวแทนคำตอบหรือดัชนีสินค้าเริ่มต้นของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมียจะทำการสุ่มทั้ง 2 กลุ่มประชากรจะมีขนาดเท่ากันเช่น กำหนดให้ขนาดของกลุ่มประชากร (Population Size) เท่ากับ 50 ดังนั้นตัวแทนคำตอบของตัวผู้และตัวเมียจะมีอย่างละ 25 คำตอบโดยการสร้างคำตอบจะดำเนินไปตาม หัวข้อที่ 4.1.1 และหัวข้อที่ 4.1.2.1 ที่ได้ทำการอธิบายถึงดัชนีสินค้าของแมลงชีปะขาวเอาไว้

### 4.2.2 สร้างตัวสร้างความเร็วเริ่มต้นของตัวผู้และตัวเมีย

หลังจากที่ได้ทำการสร้างกลุ่มประชากรของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมียแล้ว จะทำการสร้างความเร็วเริ่มต้นให้กับคำตอบของแมลงทุกคำตอบทั้งตัวผู้และตัวเมีย โดยที่การสร้างความเร็วเริ่มต้นจะเป็นการสุ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่อันดับแต่ละค่าในคำตอบ

### 4.2.3 ปรับปรุงความเร็ว

#### 4.2.3.1 การปรับปรุงความเร็วของตัวผู้

หลังจากที่ได้ทำการสร้างคำตอบหรือดัชนีสินค้าเริ่มต้นของแมลงชีปะขาวตัวผู้แล้วต่อไปจะเป็นการปรับปรุงความเร็วของแมลงชีปะขาวตัวผู้ โดยที่การปรับปรุงคำตอบนั้นมีเงื่อนไขอยู่ว่า ถ้าคำตอบของตัวผู้ตัวนั้นๆหรือคำตอบของตัวผู้ตัวที่  $i$  มีค่าที่ดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือ  $gbest$  จะทำการปรับเปลี่ยนคำตอบของตัวผู้ตัวนั้นๆใหม่โดยใช้ การเดินร่าของตัวผู้ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ ก ถัดไปและทำการสร้างความเร็วให้ใหม่ แต่หากว่าคำตอบแยกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือ  $gbest$  จะทำการใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต ดังที่อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.2.3 การปรับปรุงคำตอบของตัวผู้จะใช้สมการที่ 4.2 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการปรับปรุงความเร็วของแมลงชีปะขาวตัวผู้

$$V_{ij}^{t+1} = g * V_{ij}^t + a_1 r_1 (pbest_{ij} - x_{ij}^t) + a_2 r_2 (gbest_j - x_{ij}^t) \quad (4.2)$$

#### ก.) การเดินร่าของตัวผู้

วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตนั้นมีวิธีเลี่ยงการติดอยู่กับคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะจุด โดยการเดินร่าหรือการเปลี่ยนดัชนีสินค้าของตัวผู้ เพื่อค้นหาคำตอบใหม่เมื่อพบว่าคำตอบของตัวผู้ที่ดีกว่าค่าที่ดีที่สุด หรือ  $gbest$  ดังสมการที่ 4.3 ที่อาจจะพาไปเจอกับคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม

$$v_{ij}^{t+1} \begin{cases} g * v_{ij}^t + a_1 r_1 (pbest_{ij} - x_{ij}^t) + a_2 r_2 (gbest_j - x_{ij}^t), & \text{if } f(x_i^t) > gbest \\ \text{การเดินร่าของตัวผู้}, & \text{if } f(x_i^t) \leq gbest \end{cases} \quad (4.3)$$

โดยที่วิธีการนี้ได้ทำการปรับปรุงมาจากสมการดั้งเดิมที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.3.2.1 เพื่อให้สามารถใช้กับปัญหาที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่องได้ ในการปรับปรุงนี้คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ใช้วิธีการสลัดดัชนีสินค้าของตัวผู้แทนการเดินร่า และใช้ "ตัวดึงดูด" หรือ attractor เพื่อเลียนแบบพฤติกรรมกรเข้าหาตัวเมียของแมลงชีปะขาวตัวผู้ โดยตัวผู้จะทำการปรับ ดัชนีสินค้าของตัวเองให้เข้าหาตัวดึงดูด ซึ่งตัวดึงดูดจะเป็นแมลงชีปะขาวตัวเมีย  $Y_i$  ตัวที่  $i$  ในดัชนีสินค้าเดียวกันเพื่อใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของแมลงชีปะขาวตัวเมียในการสำรวจคำตอบ โดยที่จะทำการสุ่มดัชนีสินค้าของตัวผู้ตัวที่  $i$  ขึ้นมาหนึ่งค่าแล้วทำการหาว่าดัชนีสินค้าที่สุ่มขึ้นมาอยู่ในดัชนีสินค้าไหนของตัวดึงดูด แล้วทำการสลัดดัชนีสินค้านั้นของตัวผู้จากตัวดึงดูด โดยตัวอย่างการทำงานจะเป็นดังนี้ สมมติให้ คำตอบของตัวผู้ตัวที่ 1 เข้าเงื่อนไขในรูปที่ 4.5 เพื่อใช้การเดินร่าในการเปลี่ยนดัชนีสินค้าคือ  $X1 = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  และตัวดึงดูดหรือดัชนีสินค้าของตัวเมียตัวที่  $Y1 = 2, 1, 4, 6, 3, 5$  สมมติ

ว่าสุมได้ดัชนีสินค้าที่ 5 ในตัวผู้ตัวที่ 1 ซึ่งดัชนีสินค้าที่ 5 มีค่าเป็น 6 ซึ่งอยู่ในตัวตั้งชุดดัชนีสินค้าที่ 3 มีค่าเป็น 6 ทำการสลับดัชนีสินค้า 5 และ 3 ดังนั้นคำตอบหลังสลับจะเป็น 1,2,3,6,5,4 ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการใช้การเดินรำของตัวผู้

ตำแหน่งเดิมของแมลงซีปะขาวตัวผู้	1	2	3	4	5	6	
ตำแหน่งของตัวตั้งชุด	2	1	4	6	3	5	
ตำแหน่งใหม่หลังเดินรำ	1	2	3	6	5	4	

#### ข.) อัปเดตตำแหน่งใหม่ของตัวผู้

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงความเร็วเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นกระบวนการสร้างคำตอบใหม่หรืออัปเดตคำตอบใหม่ซึ่งจะใช้วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2.6

#### 4.2.3.2 การปรับปรุงความเร็วของตัวเมีย

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงตำแหน่งของตัวผู้แล้ว ต่อไปจะเป็นการปรับปรุงความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวเมียโดย ที่การปรับปรุงคำตอบนั้นมีเงื่อนไขอยู่ว่า ถ้าคำตอบของตัวเมียด้านนั้นๆ หรือคำตอบของตัวเมีย  $Y_i$  ตัวที่  $i$  มีค่าคำตอบที่ดีกว่าหรือน้อยกว่าค่าคำตอบของตัวผู้  $X_i$  ตัวที่  $i$  จะทำการปรับเปลี่ยนคำตอบของตัวเมียด้านนั้นๆ ใหม่โดยใช้ การบินสุมของตัวเมียซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ ข ถัดไปและทำการสร้างความเร็วให้ใหม่ แต่หากว่าค่าคำตอบมากกว่าค่าคำตอบของตัวผู้จะทำการใช้วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ดังที่อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.2.3 การปรับปรุงคำตอบจะใช้สมการที่ 4.3 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการปรับปรุงความเร็วของแมลงซีปะขาวตัวผู้

$$V_{ij}^{t+1} = g * V_{ij}^t + a_3 r_3 (x_{ij}^t - y_{ij}^t) \quad (4.4)$$

#### ก.) การบินสุมของตัวเมีย


เช่นเดียวกับตัวผู้แมลงซีปะขาวตัวเมียด้านนั้นก็มีวิธีการเลี้ยงหรือ จุดต่ำสุดเฉพาะที่นั่นคือการบินสุมหรือการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเมียเพื่อค้นหาคำตอบใหม่เมื่อพบว่าคำตอบของตัวเมียด้านนั้นดีกว่าตัวผู้ในตัวที่  $i$  ในตำแหน่งเดียวกัน ดังสมการที่ 4.5 ที่อาจจะพาไปเจอกับคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม

$$v_{ij}^{t+1} \begin{cases} g * v_{ij}^t + a_3 r_3 (x_{ij}^t - y_{ij}^t), & \text{if } f(y_i^t) > f(x_i^t) \\ \text{การบินสุมของตัวเมีย}, & \text{if } f(y_i^t) \leq f(x_i^t) \end{cases} \quad (4.5)$$

โดยที่วิธีการนี้ได้ทำการปรับปรุงมาจากสมการดั้งเดิมที่ได้อธิบายไว้แล้ว ในหัวข้อที่ 2.3.2.3 เพื่อให้สามารถใช้กับปัญหาที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่องได้ ในการปรับปรุงนี้คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้ใช้วิธีการสลับตำแหน่งของตัวผู้แบบสุ่มแทน โดยที่การบินสุ่มของตัวเมียนั้นจะทำการสุ่มเลือกตำแหน่งขึ้นมาเพื่อสลับกัน 2 ตำแหน่งหรือมากกว่า โดยที่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา การสลับตำแหน่งนี้จึงต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับปัญหาเพื่อประสิทธิภาพของการสำรวจคำตอบ เช่น  $Y_1 = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  สมมติว่าวิธีนั้นสุ่มได้ตำแหน่งที่ 0 และ 1 ซึ่งค่าในตำแหน่งที่ 0 และ 1 คือ 1 และ 2 ตามลำดับ จึงทำการสลับค่า 1 กับ 2 ดังนั้นผลลัพธ์หลังการสลับจะเป็น  $Y_i = 2, 1, 3, 4, 5, 6$  ดังที่แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างการใช้การบินสุ่มของตัวเมีย

ตำแหน่งเดิมของแมลงชีปะขาวตัวเมีย	1	2	3	4	5	6
ตำแหน่งใหม่หลังบินสุ่ม	2	1	3	4	5	6



#### 4.2.3.3 อัปเดตตำแหน่งใหม่ของตัวเมีย

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงความเร็วเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นกระบวนการสร้างคำตอบใหม่หรืออัปเดตคำตอบใหม่ซึ่งจะใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2.6

หลังจากเสร็จกระบวนการทั้งหมดแล้วจะทำการวนซ้ำกลับไปในหัวข้อที่ 4.2.3 ใหม่จนกว่าจะครบรอบการวนซ้ำที่กำหนด (Number of Generation) แล้วจบการทำงานของวิธีโดยต่อไปนี่จะเป็นการอธิบายโค้ดจำลอง (Pseudo code) เพื่ออธิบายกระบวนการทำงานของวิธี

### 4.3 Pseudo code

**Algorithm:** Mayfly Optimization

1. กำหนดพารามิเตอร์  $a_1, a_2, a_3, g_{max}, g_{min}, \alpha, num/pop$
2. สร้างคำตอบเริ่มต้นของแมลงชีปะขาวตัวผู้  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )
3. สร้างคำตอบเริ่มต้นของแมลงชีปะขาวตัวเมีย  $Y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ )
4. ประเมินคำตอบของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย
5. สร้างความเร็วเริ่มต้นของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

**วนซ้ำ :** จนกว่าจะครบจำนวนรอบที่กำหนด

# ปรับปรุงคำตอบในส่วนของตัวผู้

6. อัปเดต pbest และ gbest

If คำตอบของตัวผู้ดีกว่า gbest

7. ทำการใช้ Nuptial dance
8. ประเมินคำตอบใหม่
9. สร้างความเร็วให้คำตอบใหม่
10. อัปเดตความเร็วใหม่และคำตอบใหม่

Else:

7. ปรับปรุงความเร็วและคำตอบของตัวผู้โดยใช้วิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต
8. ประเมินคำตอบใหม่
9. อัปเดตความเร็วใหม่ของตัวผู้
10. อัปเดตคำตอบใหม่

# ปรับปรุงคำตอบในส่วนของตัวเมีย

11. อัปเดต pbest และ gbest
- If คำตอบของตัวเมียดีกว่าคำตอบของตัวผู้
12. ทำการใช้ Random Flight
  13. ประเมินคำตอบใหม่
  14. สร้างความเร็วให้คำตอบใหม่
  15. อัปเดตความเร็วใหม่และคำตอบใหม่

Else:

12. ปรับปรุงความเร็วและคำตอบของตัวเมียโดยใช้วิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซต
13. ประเมินคำตอบใหม่
14. อัปเดตความเร็วใหม่ของตัวเมีย
15. อัปเดตคำตอบใหม่

#### จบการทำงาน

#### 4.4 การทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซตสำหรับการแก้ปัญหา การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

การทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะชาวเซิงเซตสำหรับการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่จะทำให้เวลาชำระรวมในการส่งมอบที่น้อยที่สุด โดยจะทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมกับการตั้งค่าพารามิเตอร์ทุกค่าที่เป็นไปได้ ดังที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.9 ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 รอบในแต่ละโจทย์ปัญหาคือ ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่อย่างละ 2 ข้อ และนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุด และค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ยที่น้อยที่สุดกับวิธีการของโครงการอื่น คือ วิธีการค้นหาแบบกระรอกเซิงเซต และวิธีผู้ล่าทางทะเลเซิงเซตเซิงเซต ซึ่งจะทำการทดลองโดยนำ

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละวิธีการไปทำการแก้ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ อย่างละ 2 ข้อ มาทำการทดลองซ้ำ 10 รอบ ในโจทย์แต่ละข้อของปัญหานั้น ๆ โดยจะมีโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง การตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อการทดลอง และผลลัพธ์ของการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.4.1 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตสำหรับในการแก้ปัญหาการจัดการกลุ่มคำสั่งซื้อในโครงการนี้ได้มีการกำหนดโจทย์ปัญหาไว้ 3 ขนาด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดของโจทย์ปัญหา		จำนวนรายการสินค้า	คำสั่งซื้อ	จำนวนพนักงาน
ขนาดเล็ก	ข้อที่ 1	20	8	2
	ข้อที่ 2	20	7	3
ขนาดกลาง	ข้อที่ 1	50	22	2
	ข้อที่ 2	50	22	3
ขนาดใหญ่	ข้อที่ 1	100	43	2
	ข้อที่ 2	100	40	3

โดนรายละเอียดของโจทย์ปัญหาเพิ่มเติมของแต่ละขนาดได้แสดงไว้แล้วในส่วนของภาคผนวก ก โจทย์ปัญหานี้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของนางสาวประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร (2565) ซึ่งโจทย์ปัญหาในแต่ละข้อได้มีการกำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

4.4.1.1 คลังสินค้ามีแห่งเดียว

4.4.1.2 คลังสินค้ามีสินค้าเพียงพอที่จะส่งมอบให้ถึงลูกค้าทุกคน

4.4.1.3 คลังสินค้ามีพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าเพียงชั้นเดียว

4.4.1.4 ผังของคลังสินค้ามีทางเดินด้านหน้าและด้านหลังเท่านั้น หรือเรียกอีกอย่างว่า

แบบ Single Block หรือแบบบล็อกเดียว

4.4.1.5 ผู้นำสินค้าออกมียานพาหนะในการนำสินค้าออกเพียงคันเดียวเท่านั้น

4.4.1.6 ยานพาหนะที่ใช้ในการนำสินค้าออกจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดรับส่งสินค้า (จุดรับสินค้า) เท่านั้น

4.4.1.7 ยานพาหนะที่ใช้ในการนำสินค้าออกมีความจุที่จำกัด โดยที่จะบรรจุทุกสินค้าเกิน ความจุของยานพาหนะไม่ได้

4.4.1.8 ยานพาหนะสำหรับบรรทุกสินค้าออกสามารถเลี้ยวกลับภายในเส้นทางเดินเก็บสินค้าได้

4.4.1.9 ลูกค้าจะได้รับสินค้าครบตามที่ต้องการ

4.4.1.10 ลูกค้าสามารถส่งสินค้าได้มากกว่า 1 ชนิด ใน 1 รายการคำสั่งซื้อ

4.4.1.11 ลูกค้าไม่สามารถส่งสินค้าเกินความจุของยานพาหนะที่ได้กำหนดไว้

#### 4.4.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์

การตั้งค่าพารามิเตอร์ เป็นการตั้งค่าที่ส่งจะส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบและค่าความล่าช้ารวมของวิธีการ การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละโจทย์ปัญหาของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด 7 พารามิเตอร์หลัก โดยแต่ละพารามิเตอร์จะเป็นดังต่อไปนี้

4.4.2.1 Num/Pop (Number of generation / Population size) คือ จำนวนรุ่นหรือรอบในการปรับปรุงคำตอบ / จำนวนประชากรของแมลงซีปะขาว

4.4.2.2  $a_1$  คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่การดึงดูส่วนตัว

4.4.2.3  $a_2$  คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่การดึงดูโดยรวม

4.4.2.4  $a_3$  คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่การดึงดูของตัวผู้และตัวเมีย

4.4.2.5 gmax คือ ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วงสูงสุด

4.4.2.6 gmin คือ ขีดจำกัดของสัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วงต่ำสุด

4.4.2.7 alpha คือ ค่าคงที่การคัดเลือกในการสร้างเซตคัดสรร

ตารางที่ 4.9 การตั้งค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha, Num/Pop

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	
$a_1$	0.5	1
$a_2$	1.5	2
$a_3$	1	2
gmax	0.7	0.9
gmin	0.3	0.5
alpha	0.5	0.7
Num/Pop	100/50	50/100

#### 4.4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตจำนวน 5

##### รอบ

ผลการทดลองจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตในการทดลองซ้ำจำนวน 5 รอบ ทำการทดลองด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์และกำหนดค่า seed เพื่อควบคุมความแปรปรวนจากการการสุ่มของโปรแกรมโดยกำหนดเป็น 1132, 1456, 1975, 2492, 2820 ในแต่ละรอบของการทดลองตามลำดับ

หลังจากนั้นจะมีการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าคำตอบ ได้แก่  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha และ Num/Pop ซึ่งผู้ดำเนินโครงการได้มีการใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัว โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) และการประมวลผลโดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) โดยพิจารณาผลกระทบหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Factors) เพื่อทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของโจทย์ปัญหาแต่ละข้อโดยผลลัพธ์จากการทดลองจะเป็นดังนี้

กำหนดให้

Average คือ ค่าคำตอบหรือค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ย

Max คือ ค่าคำตอบหรือค่าความล่าช้ารวมที่มากที่สุด

Min คือ ค่าคำตอบหรือค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุด

##### 4.4.3.1 ผลการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

ผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 ทั้ง 5 รอบ ในการทดสอบกับทุกพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้จะได้ค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวม ค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุด และค่าความล่าช้ารวมที่มากที่สุด ใน 5 รอบของการทดลองดังตารางที่ 4.10

โดยที่ แถบสีฟ้า แสดงถึงค่า Average หรือค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่น้อยที่สุด

แถบสีเขียว แสดงถึงค่า Min หรือค่าคำตอบที่น้อยที่สุด

แถบสีส้ม แสดงถึงค่า Max หรือค่าคำตอบที่มากที่สุด

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50	5.52	2.88	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.7	50/100	5.56	2.13	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	5.88	3.52	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	6.03	2.17	7.48

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.7	100/50	5.82	2.13	10.72
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.7	50/100	5.69	3.52	7.48
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.7	100/50	5.82	2.13	10.72
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.7	50/100	5.69	3.52	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.5	100/50	5.09	1.62	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.5	50/100	5.67	2.76	7.48
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	5.26	4.92	5.35
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	5.82	4.39	7.48
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.5	100/50	6.06	5.35	7.48
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.5	50/100	6.34	3.67	7.53
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.5	100/50	5.87	3.67	7.48
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.5	50/100	6.44	5.35	7.48
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.7	100/50	7.50	5.35	9.68
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.7	50/100	6.49	3.54	10.72
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	7.33	6.72	7.48
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	5.02	1.23	7.48
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.7	100/50	6.33	5.35	7.48
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.7	50/100	6.49	5.35	7.53
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.7	100/50	6.33	5.35	7.48
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.7	50/100	6.49	5.35	7.53
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.5	100/50	6.29	3.67	7.48
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.5	50/100	6.37	3.52	8.97
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	5.42	2.13	7.48
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	6.10	5.35	7.48
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.5	100/50	8.57	5.35	15.75
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.5	50/100	6.63	5.35	7.48
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.5	100/50	8.59	6.72	13.76
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.5	50/100	5.21	1.37	7.48
0.5	2	1	0.9	0.5	0.7	100/50	5.19	1.23	7.53

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	2	1	0.9	0.5	0.7	50/100	6.20	5.35	7.48
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	5.67	1.23	9.68
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	5.19	1.23	7.48
0.5	2	1	0.7	0.5	0.7	100/50	5.23	2.13	7.48
0.5	2	1	0.7	0.5	0.7	50/100	5.25	3.67	6.52
0.5	2	1	0.7	0.3	0.7	100/50	5.23	2.13	7.48
0.5	2	1	0.7	0.3	0.7	50/100	5.25	3.67	6.52
0.5	2	1	0.9	0.5	0.5	100/50	5.84	3.52	7.48
0.5	2	1	0.9	0.5	0.5	50/100	5.84	3.54	7.48
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	5.69	1.37	7.53
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	5.92	2.76	7.48
0.5	2	1	0.7	0.5	0.5	100/50	7.26	2.13	15.75
0.5	2	1	0.7	0.5	0.5	50/100	4.34	2.13	5.35
0.5	2	1	0.7	0.3	0.5	100/50	5.84	2.13	7.48
0.5	2	1	0.7	0.3	0.5	50/100	4.06	2.13	5.35
0.5	2	2	0.9	0.5	0.7	100/50	6.85	2.76	11.18
0.5	2	2	0.9	0.5	0.7	50/100	8.39	2.88	18.77
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	5.61	2.76	7.53
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	7.20	5.35	8.18
0.5	2	2	0.7	0.5	0.7	100/50	6.41	4.22	7.53
0.5	2	2	0.7	0.5	0.7	50/100	5.04	3.54	5.60
0.5	2	2	0.7	0.3	0.7	100/50	6.41	4.22	7.53
0.5	2	2	0.7	0.3	0.7	50/100	5.04	3.54	5.60
0.5	2	2	0.9	0.5	0.5	100/50	7.92	2.13	13.43
0.5	2	2	0.9	0.5	0.5	50/100	8.60	6.52	14.78
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	7.49	7.48	7.53
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	7.98	2.13	11.58
0.5	2	2	0.7	0.5	0.5	100/50	11.00	5.35	16.18

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	2	2	0.7	0.5	0.5	50/100	6.10	3.67	7.48
0.5	2	2	0.7	0.3	0.5	100/50	6.99	5.35	8.05
0.5	2	2	0.7	0.3	0.5	50/100	5.87	3.67	7.48
1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50	4.59	1.23	7.48
1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	50/100	5.21	3.18	7.48
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	6.71	5.35	7.65
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	5.88	4.22	7.48
1	1.5	1	0.7	0.5	0.7	100/50	6.86	5.35	7.48
1	1.5	1	0.7	0.5	0.7	50/100	5.02	1.37	6.52
1	1.5	1	0.7	0.3	0.7	100/50	6.86	5.35	7.48
1	1.5	1	0.7	0.3	0.7	50/100	5.02	1.37	6.52
1	1.5	1	0.9	0.5	0.5	100/50	5.50	3.54	7.48
1	1.5	1	0.9	0.5	0.5	50/100	5.60	2.13	9.20
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	5.21	2.13	6.72
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	5.25	2.13	7.48
1	1.5	1	0.7	0.5	0.5	100/50	6.44	5.35	7.48
1	1.5	1	0.7	0.5	0.5	50/100	4.81	1.23	6.52
1	1.5	1	0.7	0.3	0.5	100/50	6.27	3.67	7.48
1	1.5	1	0.7	0.3	0.5	50/100	5.68	1.37	7.48
1	1.5	2	0.9	0.5	0.7	100/50	7.49	7.48	7.53
1	1.5	2	0.9	0.5	0.7	50/100	6.91	3.54	10.72
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	7.73	6.52	9.68
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	5.00	1.23	7.48
1	1.5	2	0.7	0.5	0.7	100/50	6.16	3.67	7.80
1	1.5	2	0.7	0.5	0.7	50/100	6.20	3.67	7.53
1	1.5	2	0.7	0.3	0.7	100/50	6.16	3.67	7.80
1	1.5	2	0.7	0.3	0.7	50/100	6.20	3.67	7.53
1	1.5	2	0.9	0.5	0.5	100/50	5.99	2.13	7.48
1	1.5	2	0.9	0.5	0.5	50/100	5.18	2.13	7.48

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	6.63	5.35	7.48
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	6.25	5.35	7.48
1	1.5	2	0.7	0.5	0.5	100/50	6.65	5.35	7.53
1	1.5	2	0.7	0.5	0.5	50/100	7.29	6.52	7.48
1	1.5	2	0.7	0.3	0.5	100/50	5.83	5.35	7.48
1	1.5	2	0.7	0.3	0.5	50/100	5.87	3.67	7.48
1	2	1	0.9	0.5	0.7	100/50	4.40	1.23	6.52
1	2	1	0.9	0.5	0.7	50/100	5.98	4.22	7.48
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	4.75	2.13	6.52
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	6.01	4.39	7.48
1	2	1	0.7	0.5	0.7	100/50	5.81	5.35	6.52
1	2	1	0.7	0.5	0.7	50/100	5.79	2.13	7.48
1	2	1	0.7	0.3	0.7	100/50	5.81	5.35	6.52
1	2	1	0.7	0.3	0.7	50/100	5.79	2.13	7.48
1	2	1	0.9	0.5	0.5	100/50	5.56	2.13	7.48
1	2	1	0.9	0.5	0.5	50/100	4.62	1.37	7.48
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	2.78	1.23	5.60
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	5.78	5.35	7.48
1	2	1	0.7	0.5	0.5	100/50	4.83	1.37	7.80
1	2	1	0.7	0.5	0.5	50/100	5.99	2.13	7.48
1	2	1	0.7	0.3	0.5	100/50	7.19	1.62	14.98
1	2	1	0.7	0.3	0.5	50/100	5.28	2.13	7.48
1	2	2	0.9	0.5	0.7	100/50	6.39	2.76	10.72
1	2	2	0.9	0.5	0.7	50/100	7.63	1.37	17.43
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	5.47	2.76	7.53
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	5.64	1.37	7.48
1	2	2	0.7	0.5	0.7	100/50	6.72	3.67	7.48
1	2	2	0.7	0.5	0.7	50/100	5.63	5.35	6.52
1	2	2	0.7	0.3	0.7	100/50	6.72	3.67	7.48

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.7	0.3	0.7	50/100	5.63	5.35	6.52
1	2	2	0.9	0.5	0.5	100/50	7.81	5.35	11.18
1	2	2	0.9	0.5	0.5	50/100	6.12	3.52	8.52
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	7.13	3.52	9.68
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	5.18	1.23	7.48
1	2	2	0.7	0.5	0.5	100/50	5.91	3.67	7.48
1	2	2	0.7	0.5	0.5	50/100	7.06	5.35	7.48
1	2	2	0.7	0.3	0.5	100/50	8.22	7.48	11.18
1	2	2	0.7	0.3	0.5	50/100	6.67	5.35	7.48

4.4.3.2 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

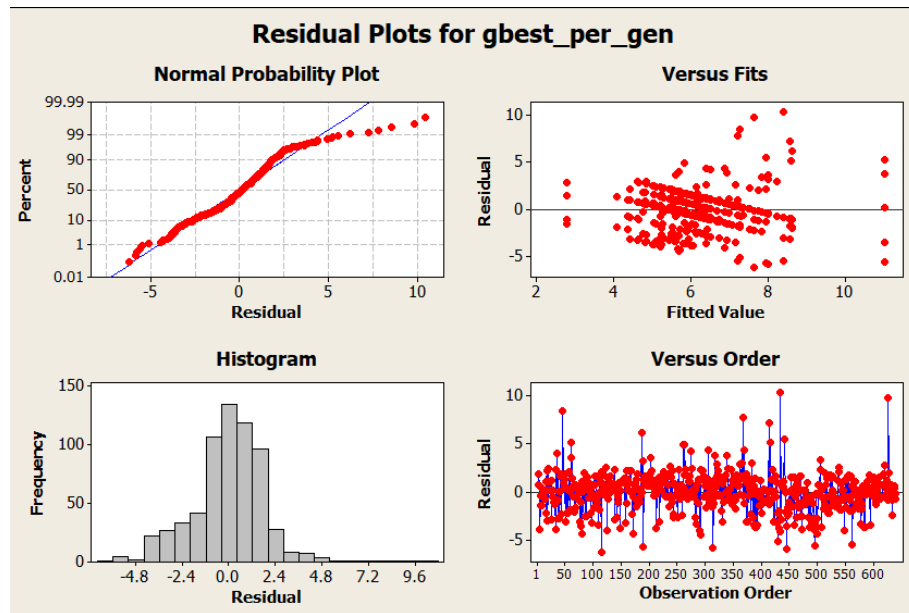
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงชีปะขาวเป็น ดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	9.807	9.807	9.807	2.06	0.151
a2	1	0.039	0.039	0.039	0.01	0.928
a3	1	168.491	168.491	168.491	35.47	0.000
gmax	1	1.782	1.782	1.782	0.38	0.541
gmin	1	8.397	8.397	8.397	1.77	0.184
alpha	1	6.259	6.259	6.259	1.32	0.252
num_pop	1	23.315	23.315	23.315	4.91	0.027
a1*a2	1	1.124	1.124	1.124	0.24	0.627
a1*a3	1	3.365	3.365	3.365	0.71	0.400
a1*gmax	1	6.792	6.792	6.792	1.43	0.232
a1*gmin	1	5.284	5.284	5.284	1.11	0.292
a1*alpha	1	9.933	9.933	9.933	2.09	0.149
a1*num_pop	1	0.513	0.513	0.513	0.11	0.743
a2*a3	1	14.489	14.489	14.489	3.05	0.081
a2*gmax	1	5.328	5.328	5.328	1.12	0.290
a2*gmin	1	3.707	3.707	3.707	0.78	0.377
a2*alpha	1	10.456	10.456	10.456	2.20	0.139
a2*num_pop	1	1.546	1.546	1.546	0.33	0.569
a3*gmax	1	5.757	5.757	5.757	1.21	0.271
a3*gmin	1	13.706	13.706	13.706	2.89	0.090
a3*alpha	1	9.846	9.846	9.846	2.07	0.151
a3*num_pop	1	10.903	10.903	10.903	2.30	0.130
gmax*gmin	1	0.593	0.593	0.593	0.12	0.724
gmax*alpha	1	15.235	15.235	15.235	3.21	0.074
gmax*num_pop	1	31.233	31.233	31.233	6.57	0.011
gmin*alpha	1	0.716	0.716	0.716	0.15	0.698
gmin*num_pop	1	0.803	0.803	0.803	0.17	0.681
alpha*num_pop	1	3.890	3.890	3.890	0.82	0.366
Error	512	2432.211	2432.211	4.750		
Total	639	3149.840				

S = 2.17954    R-Sq = 22.78%    R-Sq(adj) = 3.63%

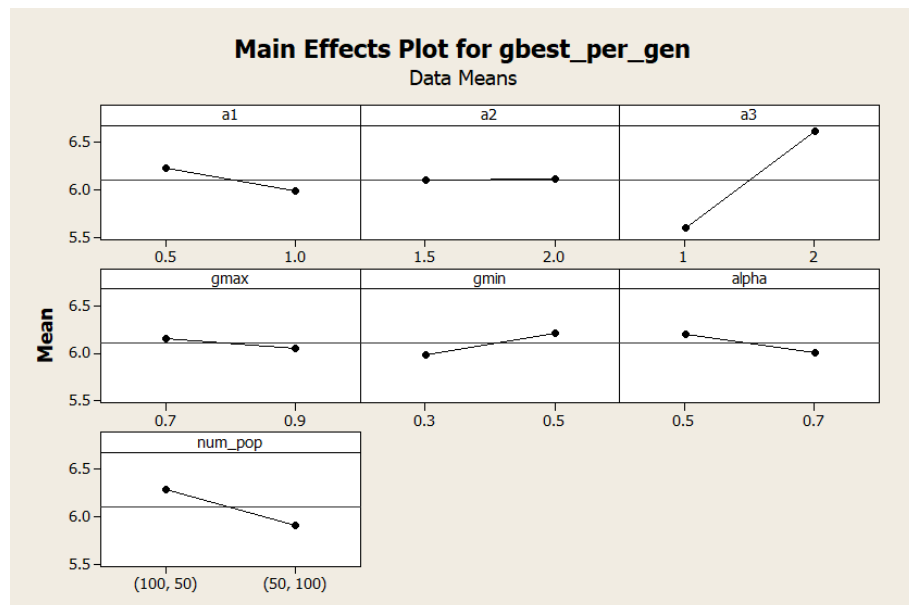
#### รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว คือค่าพารามิเตอร์ของ  $a_3$  และ gmax ที่มีผลกระทบร่วมกับค่า alpha มีผลการทดสอบต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $a_3$ , gmax และ alpha จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความล่าช้ารวมได้ 22.78%



รูปที่ 4.7 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.7 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อพิจารณา ร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.8 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.8 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $a_3$  นั้นส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบอย่างมาก และรองลงมาคือค่าพารามิเตอร์ Num/Pop ,  $a_1$ ,  $a_2$ , gmax, gmin และ alpha ซึ่งส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ  $a_3$



รูปที่ 4.9 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน คือ gmax และ alpha ปัจจัยหลักทั้ง 2 ตัวจะส่งผลต่อปัจจัยร่วมกันทำให้ค่าคำตอบที่ได้มีการเปลี่ยนแปลง

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 พบว่าควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 1,  $a_2$  ที่ 1.5,  $a_3$  ที่ 1, gmax ที่ 0.9, gmin ที่ 0.3, alpha ที่ 0.5 และ Num/Pop ที่ 50/100 จึงจะให้ค่าคำตอบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด

#### 4.4.3.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

ผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 ทั้ง 5 รอบ ในการทดสอบกับทุกพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้จะได้ค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวม ค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุด และค่าความล่าช้ารวมที่มากที่สุดใน 5 รอบของการทดลองดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้า		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	22.33	14.98	25.12
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	23.54	17.73	25.47
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50	19.19	11.00	25.02
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.7	50/100	19.77	14.98	24.47
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.7	100/50	16.28	11.00	24.47
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.7	50/100	18.24	10.70	21.98
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.7	100/50	16.28	11.00	24.47
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.7	50/100	18.24	10.70	21.98
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	21.46	10.70	25.12
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	18.29	10.70	25.12
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.5	100/50	21.00	11.00	25.02
0.5	1.5	1	0.9	0.5	0.5	50/100	22.11	10.70	25.27
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.5	100/50	21.76	18.33	26.02
0.5	1.5	1	0.7	0.3	0.5	50/100	20.74	10.70	25.02
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.5	100/50	22.58	14.98	24.97
0.5	1.5	1	0.7	0.5	0.5	50/100	24.35	21.79	25.87
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	25.99	25.02	27.12
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	21.28	14.98	25.02
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.7	100/50	22.51	18.13	25.12
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.7	50/100	22.67	19.93	25.02
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.7	100/50	23.43	18.13	26.47
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.7	50/100	22.26	19.93	25.02
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.7	100/50	23.43	18.13	26.47
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.7	50/100	22.26	19.93	25.02
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	19.99	10.70	25.70
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	24.98	24.47	25.92
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.5	100/50	21.88	14.98	25.70
0.5	1.5	2	0.9	0.5	0.5	50/100	24.71	24.02	25.02
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.5	100/50	21.60	10.70	25.27

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้า		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	2	0.7	0.3	0.5	50/100	23.55	19.93	25.02
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.5	100/50	25.11	24.47	25.70
0.5	1.5	2	0.7	0.5	0.5	50/100	19.92	10.70	25.02
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	24.78	24.02	25.27
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	21.14	10.70	25.02
0.5	2	1	0.9	0.5	0.7	100/50	24.14	19.93	25.27
0.5	2	1	0.9	0.5	0.7	50/100	20.26	11.00	25.70
0.5	2	1	0.7	0.3	0.7	100/50	18.62	11.00	25.12
0.5	2	1	0.7	0.3	0.7	50/100	19.49	11.00	25.02
0.5	2	1	0.7	0.5	0.7	100/50	18.62	11.00	25.12
0.5	2	1	0.7	0.5	0.7	50/100	19.49	11.00	25.02
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	23.88	19.93	25.02
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	21.35	10.70	25.27
0.5	2	1	0.9	0.5	0.5	100/50	24.06	21.98	26.22
0.5	2	1	0.9	0.5	0.5	50/100	19.08	10.70	24.47
0.5	2	1	0.7	0.3	0.5	100/50	23.65	19.93	25.12
0.5	2	1	0.7	0.3	0.5	50/100	22.13	11.00	25.87
0.5	2	1	0.7	0.5	0.5	100/50	22.76	10.70	27.17
0.5	2	1	0.7	0.5	0.5	50/100	25.09	24.47	26.22
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	25.10	24.47	25.97
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	23.80	19.93	25.12
0.5	2	2	0.9	0.5	0.7	100/50	24.70	24.02	25.02
0.5	2	2	0.9	0.5	0.7	50/100	22.18	14.98	25.97
0.5	2	2	0.7	0.3	0.7	100/50	24.07	19.93	25.70
0.5	2	2	0.7	0.3	0.7	50/100	24.00	19.93	26.02
0.5	2	2	0.7	0.5	0.7	100/50	24.07	19.93	25.70
0.5	2	2	0.7	0.5	0.7	50/100	24.00	19.93	26.02
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	21.86	10.70	25.12
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	21.77	11.00	24.47

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้า		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	2	2	0.9	0.5	0.5	100/50	22.10	11.00	25.02
0.5	2	2	0.9	0.5	0.5	50/100	19.51	10.70	25.70
0.5	2	2	0.7	0.3	0.5	100/50	25.13	25.02	25.27
0.5	2	2	0.7	0.3	0.5	50/100	23.76	21.79	25.27
0.5	2	2	0.7	0.5	0.5	100/50	25.05	22.78	26.47
0.5	2	2	0.7	0.5	0.5	50/100	23.67	21.79	25.12
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	17.69	10.70	25.12
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	20.35	10.70	24.47
1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50	18.44	11.00	24.37
1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	50/100	24.08	21.98	25.02
1	1.5	1	0.7	0.3	0.7	100/50	20.69	10.70	26.02
1	1.5	1	0.7	0.3	0.7	50/100	21.02	14.98	25.02
1	1.5	1	0.7	0.5	0.7	100/50	20.69	10.70	26.02
1	1.5	1	0.7	0.5	0.7	50/100	21.02	14.98	25.02
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	24.59	23.42	25.92
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	21.46	14.98	25.55
1	1.5	1	0.9	0.5	0.5	100/50	21.42	17.53	24.47
1	1.5	1	0.9	0.5	0.5	50/100	22.55	14.98	26.22
1	1.5	1	0.7	0.3	0.5	100/50	21.50	11.00	24.47
1	1.5	1	0.7	0.3	0.5	50/100	21.56	10.70	25.12
1	1.5	1	0.7	0.5	0.5	100/50	22.82	17.73	24.97
1	1.5	1	0.7	0.5	0.5	50/100	22.88	20.77	25.02
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	21.61	10.70	25.12
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	19.44	14.98	24.47
1	1.5	2	0.9	0.5	0.7	100/50	21.67	14.98	25.12
1	1.5	2	0.9	0.5	0.7	50/100	20.87	14.98	25.02
1	1.5	2	0.7	0.3	0.7	100/50	18.38	10.70	25.27
1	1.5	2	0.7	0.3	0.7	50/100	19.34	11.00	21.98
1	1.5	2	0.7	0.5	0.7	100/50	18.38	10.70	25.27

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้า		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	1.5	2	0.7	0.5	0.7	50/100	19.34	11.00	21.98
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	21.26	11.00	25.12
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	22.18	14.98	25.12
1	1.5	2	0.9	0.5	0.5	100/50	23.83	19.93	26.22
1	1.5	2	0.9	0.5	0.5	50/100	17.58	10.70	23.67
1	1.5	2	0.7	0.3	0.5	100/50	21.43	10.70	26.47
1	1.5	2	0.7	0.3	0.5	50/100	21.14	10.70	25.12
1	1.5	2	0.7	0.5	0.5	100/50	24.86	21.98	26.47
1	1.5	2	0.7	0.5	0.5	50/100	23.75	19.93	26.52
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	21.40	10.70	25.02
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	22.43	19.93	25.27
1	2	1	0.9	0.5	0.7	100/50	22.34	18.63	25.02
1	2	1	0.9	0.5	0.7	50/100	20.80	14.98	25.02
1	2	1	0.7	0.3	0.7	100/50	23.63	19.93	24.92
1	2	1	0.7	0.3	0.7	50/100	24.08	21.98	25.02
1	2	1	0.7	0.5	0.7	100/50	23.63	19.93	24.92
1	2	1	0.7	0.5	0.7	50/100	24.08	21.98	25.02
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	19.10	11.00	25.12
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	19.29	11.00	24.47
1	2	1	0.9	0.5	0.5	100/50	22.57	18.63	25.27
1	2	1	0.9	0.5	0.5	50/100	20.99	10.70	25.02
1	2	1	0.7	0.3	0.5	100/50	20.16	10.70	25.12
1	2	1	0.7	0.3	0.5	50/100	19.82	10.70	24.47
1	2	1	0.7	0.5	0.5	100/50	23.91	19.93	25.12
1	2	1	0.7	0.5	0.5	50/100	22.01	11.00	25.12
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	22.34	10.70	25.87
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	21.65	14.98	24.97
1	2	2	0.9	0.5	0.7	100/50	24.32	21.98	25.12
1	2	2	0.9	0.5	0.7	50/100	23.39	19.93	25.12

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดลองปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้า		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.7	0.3	0.7	100/50	22.31	11.00	26.02
1	2	2	0.7	0.3	0.7	50/100	23.21	19.93	25.07
1	2	2	0.7	0.5	0.7	100/50	22.31	11.00	26.02
1	2	2	0.7	0.5	0.7	50/100	23.21	19.93	25.07
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	22.79	14.98	25.02
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	24.32	23.32	25.12
1	2	2	0.9	0.5	0.5	100/50	24.50	19.93	27.15
1	2	2	0.9	0.5	0.5	50/100	18.88	10.70	26.02
1	2	2	0.7	0.3	0.5	100/50	21.37	10.70	25.12
1	2	2	0.7	0.3	0.5	50/100	19.42	14.98	24.47
1	2	2	0.7	0.5	0.5	100/50	24.21	21.98	26.22
1	2	2	0.7	0.5	0.5	50/100	23.86	19.93	25.12

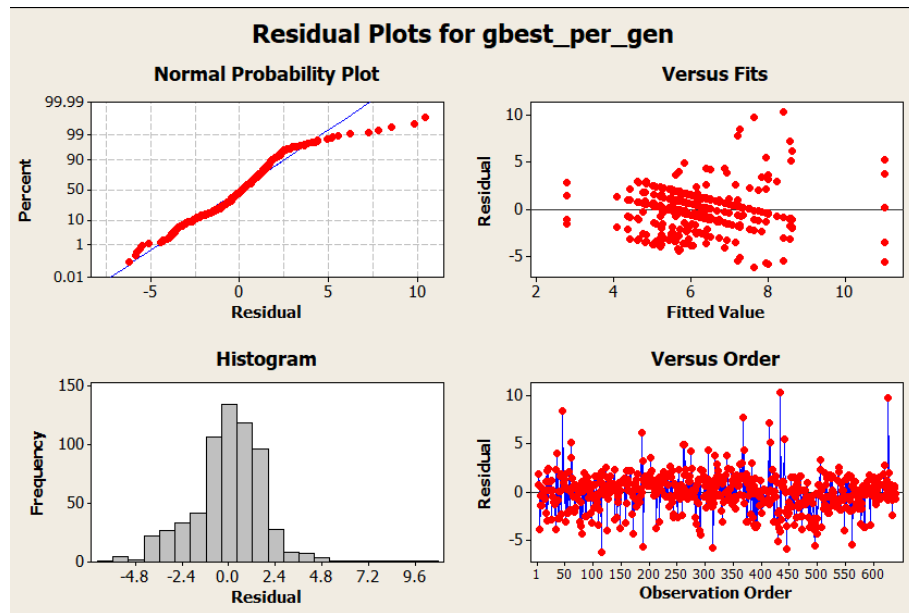
4.4.3.5 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็กร้อยที่ 2  
 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหา  
 ขนาดเล็กร้อยที่ 2 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของ  
 วิธีแมลงชีปะขาวเป็น ดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	24.20	24.20	24.20	1.16	0.283
a2	1	170.97	170.97	170.97	8.17	0.004
a3	1	190.52	190.52	190.52	9.10	0.003
gmax	1	0.17	0.17	0.17	0.01	0.927
gmin	1	20.36	20.36	20.36	0.97	0.324
alpha	1	52.47	52.47	52.47	2.51	0.114
num_pop	1	34.94	34.94	34.94	1.67	0.197
a1*a2	1	0.34	0.34	0.34	0.02	0.898
a1*a3	1	147.63	147.63	147.63	7.05	0.008
a1*gmax	1	12.23	12.23	12.23	0.58	0.445
a1*gmin	1	44.33	44.33	44.33	2.12	0.146
a1*alpha	1	3.07	3.07	3.07	0.15	0.702
a1*num_pop	1	3.62	3.62	3.62	0.17	0.678
a2*a3	1	1.58	1.58	1.58	0.08	0.784
a2*gmax	1	26.19	26.19	26.19	1.25	0.264
a2*gmin	1	0.05	0.05	0.05	0.00	0.962
a2*alpha	1	139.15	139.15	139.15	6.65	0.010
a2*num_pop	1	41.79	41.79	41.79	2.00	0.158
a3*gmax	1	4.10	4.10	4.10	0.20	0.658
a3*gmin	1	1.81	1.81	1.81	0.09	0.769
a3*alpha	1	39.46	39.46	39.46	1.89	0.170
a3*num_pop	1	17.96	17.96	17.96	0.86	0.355
gmax*gmin	1	43.65	43.65	43.65	2.08	0.149
gmax*alpha	1	132.76	132.76	132.76	6.34	0.012
gmax*num_pop	1	27.06	27.06	27.06	1.29	0.256
gmin*alpha	1	34.82	34.82	34.82	1.66	0.198
gmin*num_pop	1	5.30	5.30	5.30	0.25	0.615
alpha*num_pop	1	24.39	24.39	24.39	1.16	0.281
Error	512	10718.42	10718.42	20.93		
Total	639	13561.45				

S = 4.57541    R-Sq = 20.96%    R-Sq(adj) = 1.36%

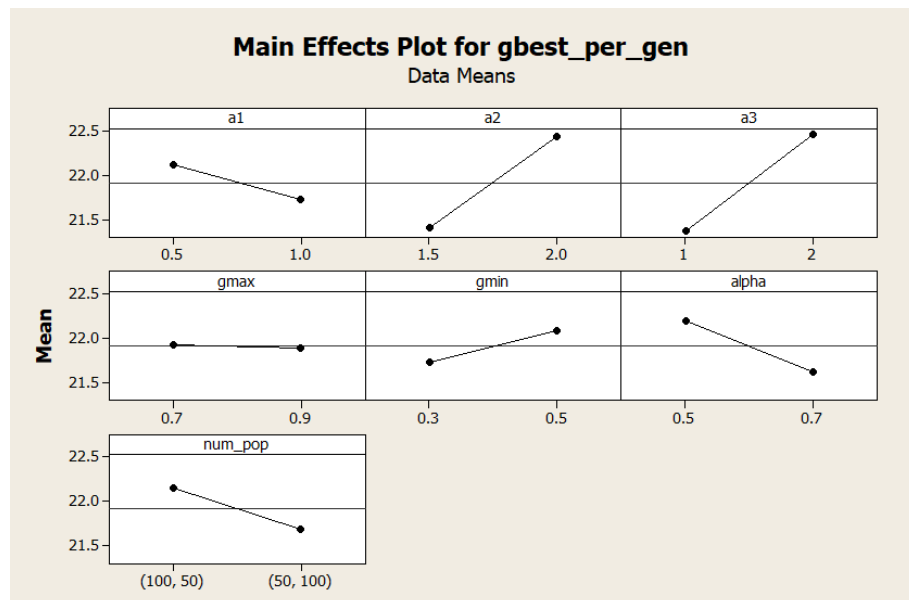
#### รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว มีค่าพารามิเตอร์ของ  $a_2$ ,  $a_3$  และผลกระทบของปัจจัยร่วมคือ  $a_1 * a_3$ ,  $a_2 * \alpha$  และ  $gmax * \alpha$  ที่มีระดับค่านัยสำคัญต่ำกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $gmax$  และ  $\alpha$  จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตาม หรือค่าความล่าช้ารวมได้ 20.96%



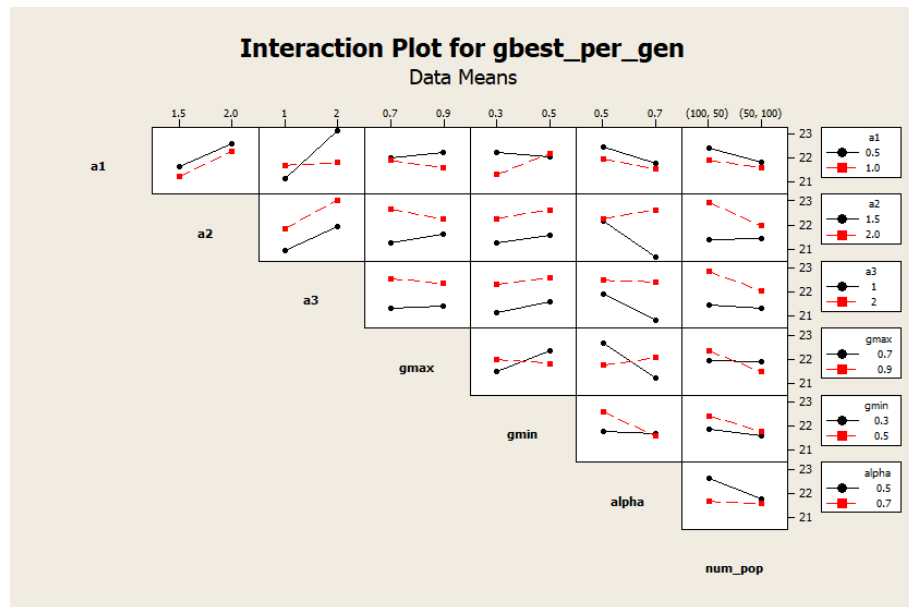
รูปที่ 4.11 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.11 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อพิจารณาพร้อมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.12 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.12 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_2$ ,  $a_3$  และ alpha ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบอย่างมาก และค่าพารามิเตอร์  $a_1$ , gmax, gmin และ Num/Pop ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.13 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน คือ  $a_1$  กับ Num/Pop,  $a_2$  กับ Num/Pop และ alpha กับ Num/Pop ซึ่งจะส่งผลกระทบท่อปัจจัยร่วมกัน ทำให้ค่าคำตอบมีการเปลี่ยนแปลง

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 พบว่าควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 1,  $a_2$  ที่ 1.5,  $a_3$  ที่ 1, gmax ที่ 0.9, gmin ที่ 0.5, alpha ที่ 0.7 และ Num/Pop ที่ 100/50 จึงจะให้ค่าคำตอบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด

#### 4.4.3.6 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

ผลลัพธ์จากการทดลองซ้ำของโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 ทั้ง 5 รอบ ในการทดสอบกับทุกพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้จะได้ค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวม ค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและค่าความล่าช้ารวมที่มากที่สุด ใน 5 รอบของการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	$g_{max}$	$g_{min}$	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	28.69	21.10	40.40
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	33.49	21.50	45.73
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	23.53	19.23	28.02
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	25.32	20.50	41.05
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	27.38	16.42	35.53
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	27.50	13.45	38.03
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	27.72	17.17	45.20
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	27.50	20.50	32.15
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	28.94	19.35	41.68
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	27.36	21.70	36.53
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	20.93	15.97	25.88
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	29.62	22.33	38.71
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	27.43	23.78	33.03
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	21.51	15.12	26.33
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	24.60	16.63	30.47
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	31.92	22.05	40.67
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	33.73	22.68	40.65
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	34.62	19.18	44.80
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	30.25	23.38	41.13
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	32.54	19.15	57.00
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	28.15	22.73	33.07
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	35.03	21.90	45.08
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	29.29	21.40	44.53
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	31.71	23.98	38.73
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	28.10	24.62	36.00
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	30.54	23.58	42.70
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	25.83	22.48	31.57
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	29.56	15.02	43.13
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	34.93	25.63	58.07

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	26.78	17.10	44.31
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	27.38	21.47	35.40
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	26.71	21.00	34.05

#### 4.4.3.7 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

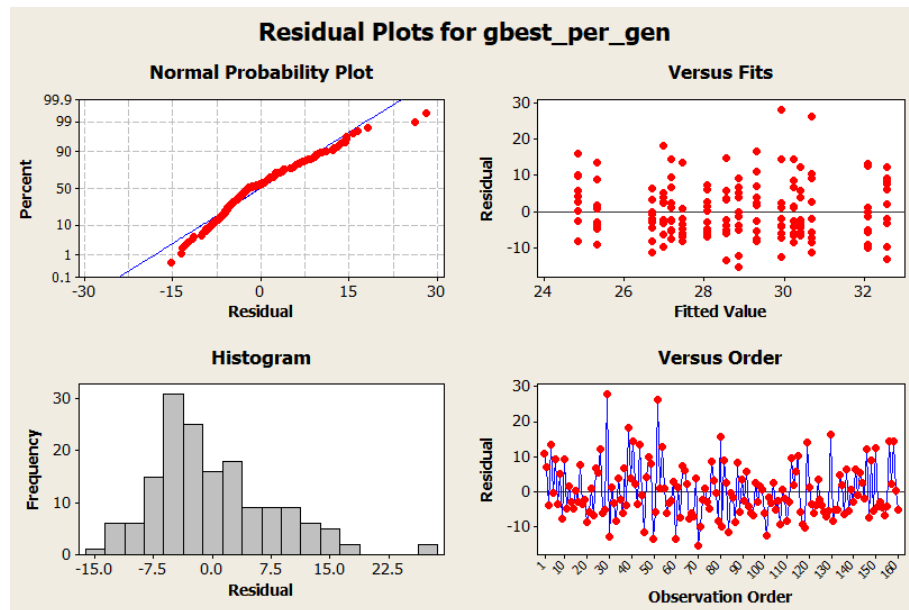
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะขาวเป็นดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	417.68	417.68	417.68	6.48	0.012
a2	1	183.83	183.83	183.83	2.85	0.094
a3	1	8.79	8.79	8.79	0.14	0.713
alpha	1	138.26	138.26	138.26	2.15	0.145
num_pop	1	96.44	96.44	96.44	1.50	0.223
a1*a2	1	43.47	43.47	43.47	0.67	0.413
a1*a3	1	1.28	1.28	1.28	0.02	0.888
a1*alpha	1	8.64	8.64	8.64	0.13	0.715
a1*num_pop	1	4.18	4.18	4.18	0.06	0.799
a2*a3	1	10.69	10.69	10.69	0.17	0.684
a2*alpha	1	21.45	21.45	21.45	0.33	0.565
a2*num_pop	1	27.03	27.03	27.03	0.42	0.518
a3*alpha	1	105.85	105.85	105.85	1.64	0.202
a3*num_pop	1	70.69	70.69	70.69	1.10	0.297
alpha*num_pop	1	104.63	104.63	104.63	1.62	0.205
Error	128	8246.21	8246.21	64.42		
Total	159	10239.17				

S = 8.02643    R-Sq = 19.46%    R-Sq(adj) = 0.00%

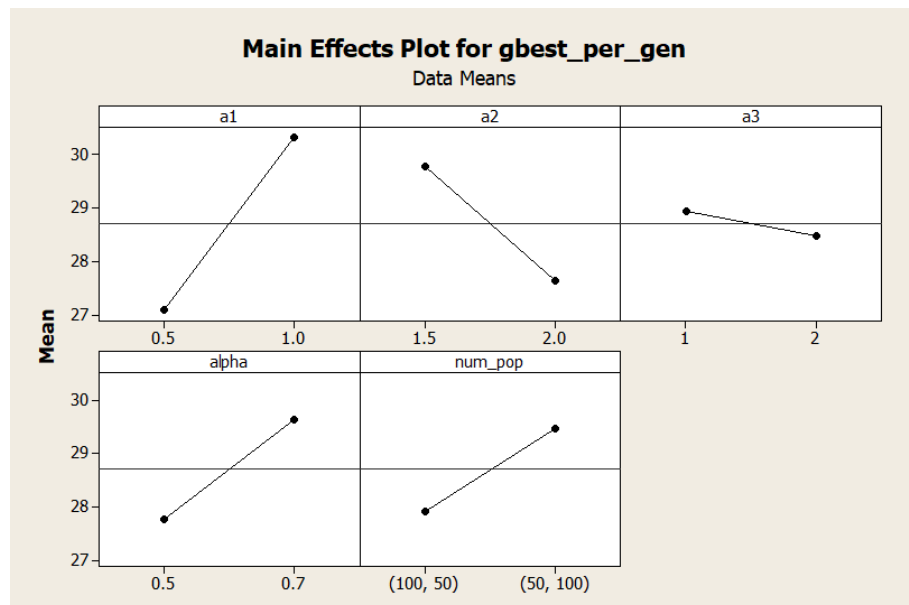
#### รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.14 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว มีค่าพารามิเตอร์ของ a<sub>1</sub> ที่ผลทดสอบต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ a<sub>1</sub> จะส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความล่าช้ารวมได้ 19.46%



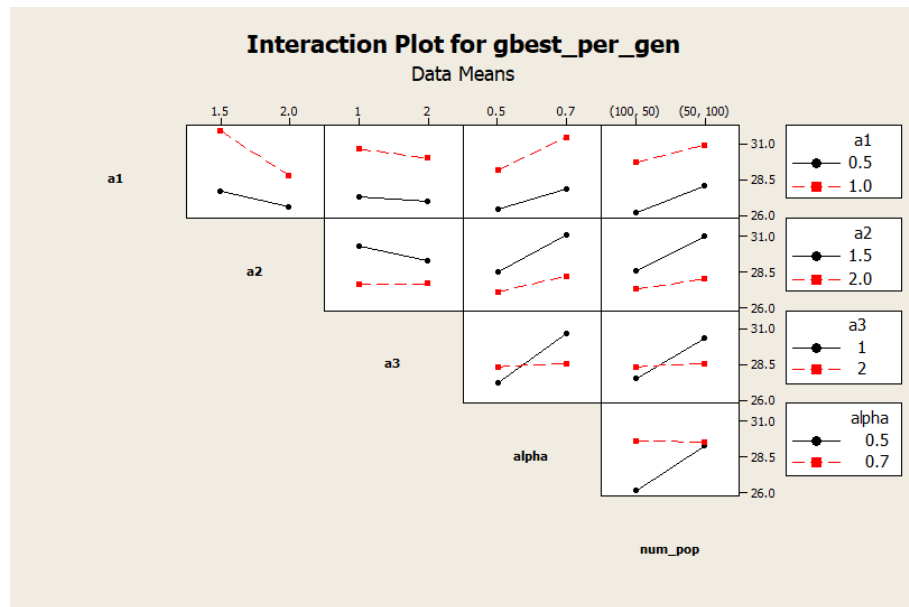
รูปที่ 4.15 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.15 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูปประขังคว่ำ เมื่อพิจารณาพร้อมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.16 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ , alpha และ Num/Pop ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ อย่างมากและค่าพารามิเตอร์  $a_3$  ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.17 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์พบว่า ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 0.5,  $a_2$  ที่ 2,  $a_3$  ที่ 2,  $g_{max}$  ที่ 0.9,  $g_{min}$  ที่ 0.3, alpha ที่ 0.5 และ Num/Pop ที่ 100/50

#### 4.4.3.8 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะขาวเป็นดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	63.30	44.04	75.85
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	63.09	54.07	68.72
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	63.09	53.01	75.42
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	51.73	17.78	85.78
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	65.86	56.51	71.91
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	58.73	49.88	62.63
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	55.81	31.41	75.08
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	60.63	46.01	87.57
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	60.66	44.72	72.53
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	73.49	59.55	88.97
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	65.69	60.73	73.24
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	66.58	54.54	83.13
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	54.66	45.11	60.83
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	49.34	25.71	71.18
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	65.57	47.52	77.84
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	57.10	41.01	84.59
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	66.43	54.50	81.92
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	65.42	52.79	72.53
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	62.41	55.20	76.81
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	59.79	30.46	86.45
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	64.46	55.28	74.45
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	59.54	47.32	72.73
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	46.27	34.14	63.93
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	58.03	42.56	71.04
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	62.35	57.71	73.12
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	58.52	37.02	79.09
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	56.61	49.78	66.75
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	61.97	42.73	75.08
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	63.07	43.37	85.52

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	61.18	50.74	78.73
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	56.89	48.38	78.63
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	67.44	39.18	83.88

#### 4.4.3.9 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

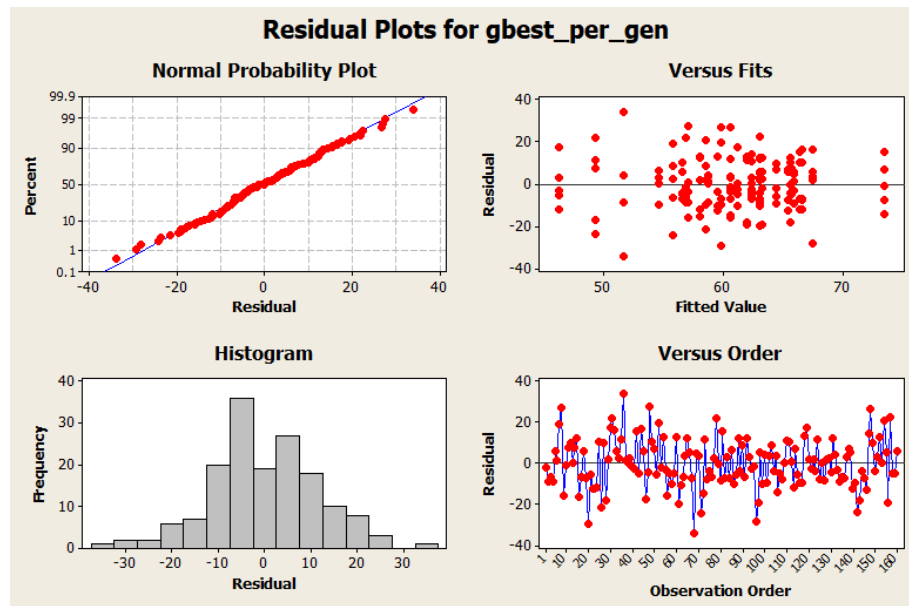
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะขาวเป็นดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	3.8	3.8	3.8	0.02	0.882
a2	1	42.7	42.7	42.7	0.25	0.621
a3	1	499.7	499.7	499.7	2.87	0.093
alpha	1	186.1	186.1	186.1	1.07	0.303
num_pop	1	0.1	0.1	0.1	0.00	0.986
a1*a2	1	4.2	4.2	4.2	0.02	0.877
a1*a3	1	84.8	84.8	84.8	0.49	0.486
a1*alpha	1	128.1	128.1	128.1	0.74	0.392
a1*num_pop	1	116.7	116.7	116.7	0.67	0.414
a2*a3	1	3.4	3.4	3.4	0.02	0.889
a2*alpha	1	632.7	632.7	632.7	3.64	0.059
a2*num_pop	1	67.6	67.6	67.6	0.39	0.534
a3*alpha	1	41.4	41.4	41.4	0.24	0.626
a3*num_pop	1	0.1	0.1	0.1	0.00	0.984
alpha*num_pop	1	78.5	78.5	78.5	0.45	0.503
Error	128	22267.0	22267.0	174.0		
Total	159	27061.4				

S = 13.1894 R-Sq = 17.72% R-Sq(adj) = 0.00%

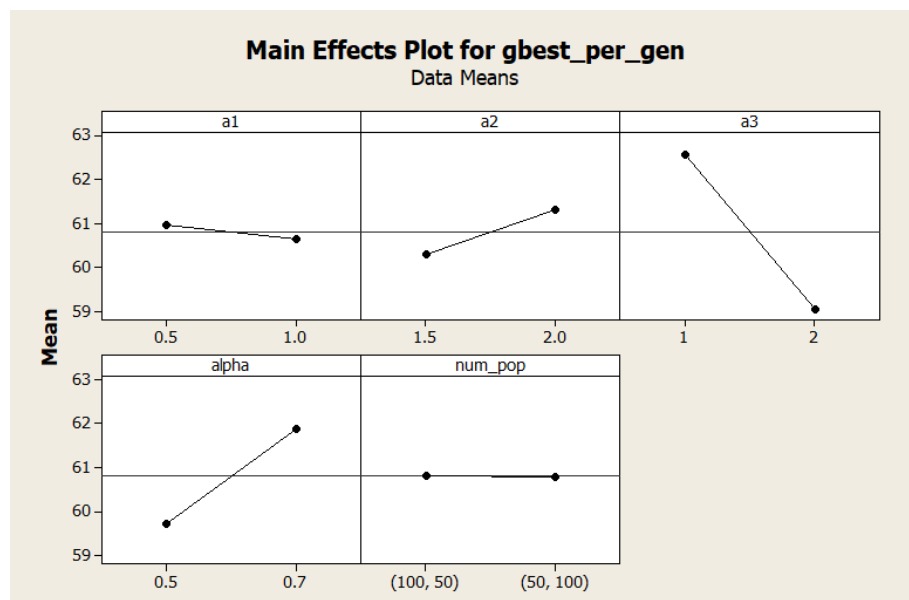
#### รูปที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.18 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว ไม่มีค่าพารามิเตอร์ ที่ผลทดสอบต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความล่าช้ารวมได้ 17.72%



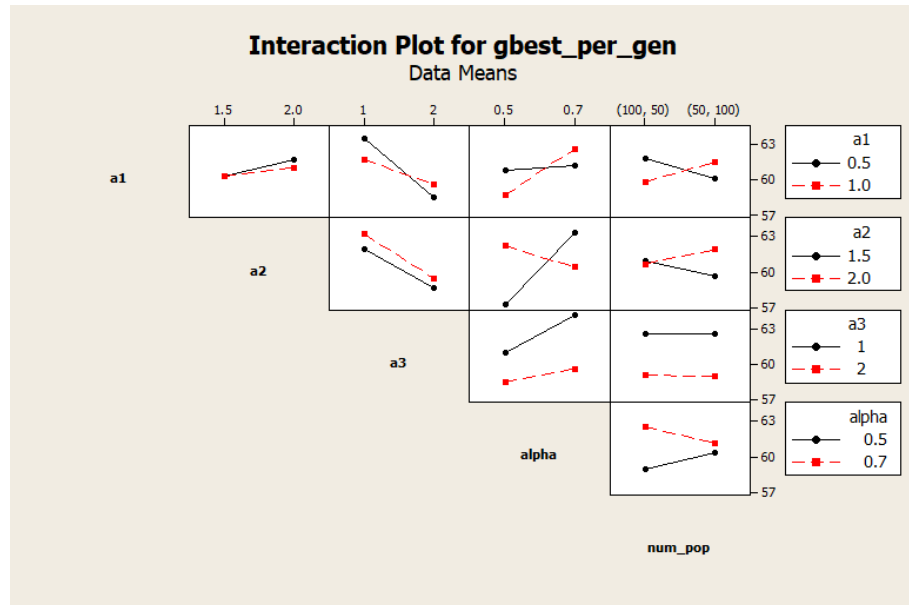
รูปที่ 4.19 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.19 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.20 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_3$  และ alpha ส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบ และการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$  และ Num/Pop ส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบเพียงเล็กน้อย ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าคำตอบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.21 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.21 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์ พบว่า ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 0.5,  $a_2$  ที่ 1.5,  $a_3$  ที่ 2, gmax ที่ 0.9, gmin ที่ 0.3, alpha 0.5 ที่ และ Num/Pop ที่ 100/50

#### 4.4.3.10 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 ซึ่งมีผลการทดสอบโดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงชีปะขาวเป็นดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	237.73	201.48	269.97
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	227.21	166.84	296.22
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	255.46	190.57	296.96
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	223.20	186.55	263.49
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	186.22	130.81	287.10
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	185.85	78.34	259.05
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	269.28	247.63	325.69
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	229.51	148.27	282.81
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	236.72	149.74	292.99
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	190.16	141.48	242.59
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	157.77	133.21	186.12
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	235.12	179.85	273.79
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	154.22	88.36	243.49
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	198.18	136.25	290.64
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	176.72	112.44	276.57
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	230.25	185.67	301.29
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	248.77	214.77	305.04
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	282.68	259.71	310.35
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	258.40	212.75	299.16
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	235.79	188.73	282.94
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	258.76	210.40	335.89
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	265.20	215.39	297.74
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	236.46	186.24	292.97
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	255.15	210.82	283.57
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	219.96	197.02	248.52
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	246.50	118.15	341.18
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	237.89	205.21	298.82
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	216.05	142.94	272.61
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	238.16	121.27	314.35

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	238.70	168.98	335.20
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	244.11	193.22	289.34
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	265.56	190.66	322.98

#### 4.4.3.11 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

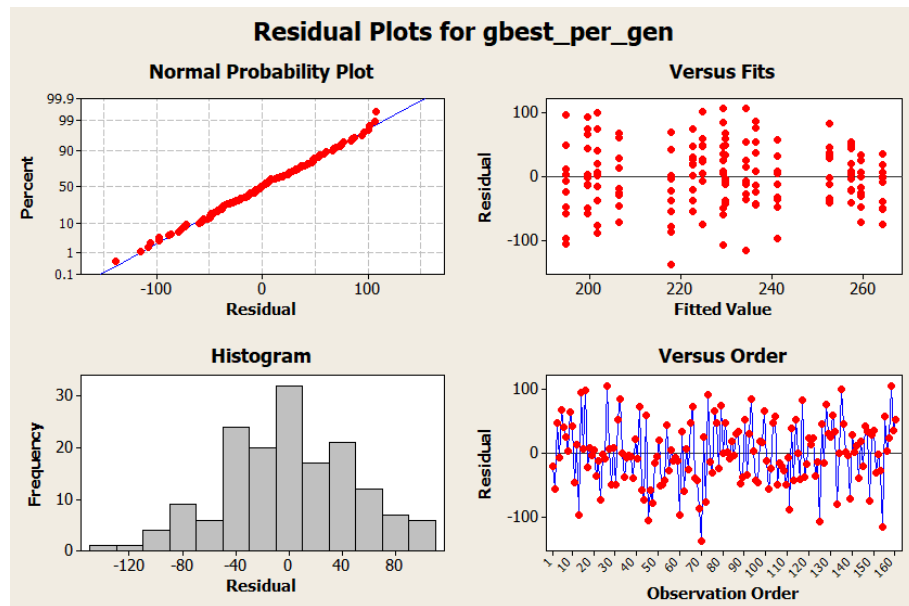
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงชีปะขาวเป็นดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	48045	48045	48045	20.03	0.000
a2	1	21343	21343	21343	8.90	0.003
a3	1	928	928	928	0.39	0.535
alpha	1	1950	1950	1950	0.81	0.369
num_pop	1	1840	1840	1840	0.77	0.383
a1*a2	1	1595	1595	1595	0.67	0.416
a1*a3	1	5593	5593	5593	2.33	0.129
a1*alpha	1	6916	6916	6916	2.88	0.092
a1*num_pop	1	49	49	49	0.02	0.886
a2*a3	1	1224	1224	1224	0.51	0.476
a2*alpha	1	140	140	140	0.06	0.809
a2*num_pop	1	6340	6340	6340	2.64	0.106
a3*alpha	1	9907	9907	9907	4.13	0.044
a3*num_pop	1	1576	1576	1576	0.66	0.419
alpha*num_pop	1	0	0	0	0.00	0.996
Error	128	307024	307024	2399		
Total	159	464895				

S = 48.9758    R-Sq = 33.96%    R-Sq(adj) = 17.96%

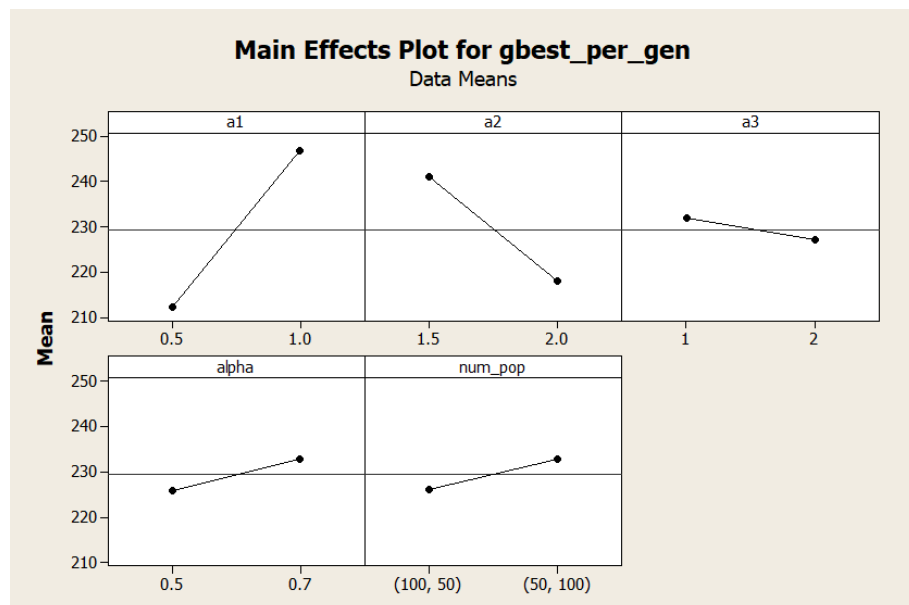
#### รูปที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.22 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว มีค่าพารามิเตอร์ของ  $a_1$ ,  $a_2$  และ  $a_3$ \*alpha ที่ผลทดสอบต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  และ alpha จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความล่าช้ารวมได้ 33.96%



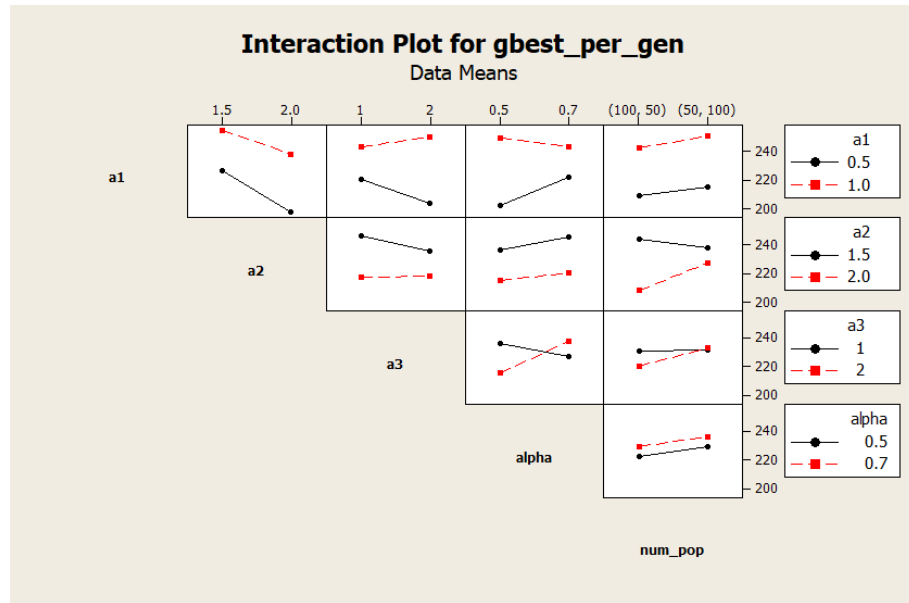
รูปที่ 4.23 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.23 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.24 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.24 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_1$  และ alpha ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ และค่าพารามิเตอร์  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin และ Num/Pop ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.25 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

จากรูปที่ 4.25 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์ พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน คือ a3 กับ alpha

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 0.5,  $a_2$  ที่ 2,  $a_3$  ที่ 2, gmax ที่ 0.9, gmin ที่ 0.3, alpha ที่ 0.5 และ Num/Pop ที่ 100/50

#### 4.4.3.12 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 ซึ่งมีผลการทดสอบโดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงชีปะขาวเป็นดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	206.92	160.68	284.83
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	232.20	174.30	297.65
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	231.69	187.65	277.30
0.5	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	253.51	193.00	301.40
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	198.52	172.38	219.72
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	212.53	171.80	242.23
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	246.21	201.65	288.47
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	246.08	222.43	282.02
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	200.67	132.75	244.17
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	227.66	171.30	257.98
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	211.92	178.05	245.62
0.5	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	214.11	172.57	262.84
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	219.02	195.42	253.92
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	197.70	133.15	247.63
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	228.62	203.55	259.63
0.5	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	237.03	197.42	288.70
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	100/50	246.59	187.07	284.70
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100	238.57	204.48	303.85
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	100/50	273.38	248.96	303.90
1	1.5	1	0.9	0.3	0.7	50/100	271.94	243.30	295.47
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50	241.54	219.53	254.40
1	1.5	2	0.9	0.3	0.5	50/100	243.10	191.67	299.92
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	100/50	247.96	181.25	296.53
1	1.5	2	0.9	0.3	0.7	50/100	235.26	163.67	302.97
1	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50	223.44	152.25	291.22
1	2	1	0.9	0.3	0.5	50/100	269.69	237.25	313.66
1	2	1	0.9	0.3	0.7	100/50	239.08	184.22	279.98
1	2	1	0.9	0.3	0.7	50/100	251.11	214.25	301.21
1	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50	251.78	221.07	284.63

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ผลลัพธ์ของการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ค่าพารามิเตอร์							ค่าความล่าช้ารวม		
$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/Pop	Average	Min	Max
1	2	2	0.9	0.3	0.5	50/100	260.96	225.28	299.28
1	2	2	0.9	0.3	0.7	100/50	241.54	195.67	277.00
1	2	2	0.9	0.3	0.7	50/100	265.26	233.72	290.02

#### 4.4.3.13 วิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

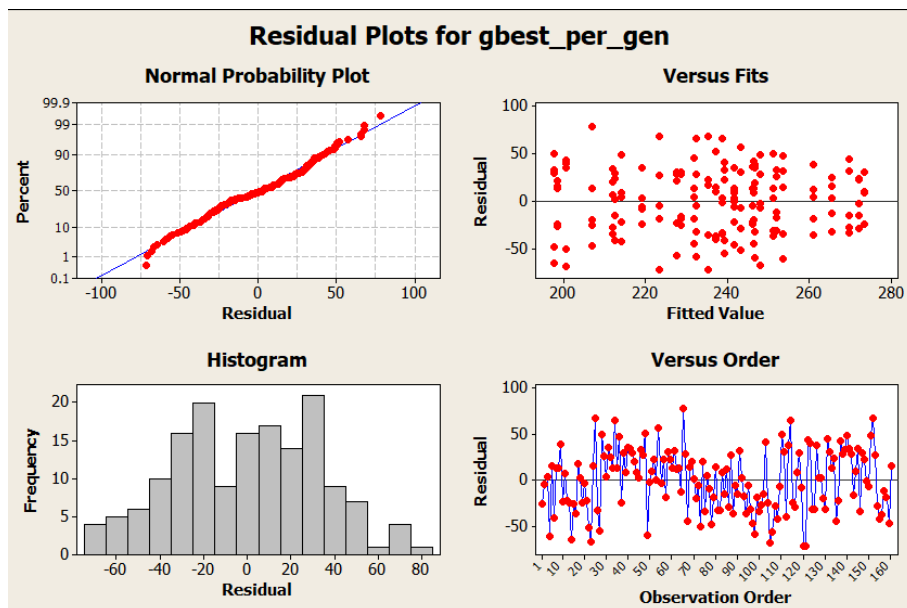
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 ซึ่งมีผลการทดสอบ โดยมีการวิเคราะห์ผลกระทบของความสัมพันธ์พารามิเตอร์ของวิธีแมลงซีปะขาวเป็นดังนี้

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a1	1	29813	29813	29813	21.37	0.000
a2	1	1167	1167	1167	0.84	0.362
a3	1	59	59	59	0.04	0.838
alpha	1	7827	7827	7827	5.61	0.019
num_pop	1	3416	3416	3416	2.45	0.120
a1*a2	1	1424	1424	1424	1.02	0.314
a1*a3	1	174	174	174	0.13	0.724
a1*alpha	1	2407	2407	2407	1.73	0.191
a1*num_pop	1	7	7	7	0.00	0.944
a2*a3	1	3414	3414	3414	2.45	0.120
a2*alpha	1	3437	3437	3437	2.46	0.119
a2*num_pop	1	703	703	703	0.50	0.479
a3*alpha	1	74	74	74	0.05	0.818
a3*num_pop	1	1636	1636	1636	1.17	0.281
alpha*num_pop	1	250	250	250	0.18	0.673
Error	128	178593	178593	1395		
Total	159	247846				

S = 37.3531 R-Sq = 27.94% R-Sq(adj) = 10.49%

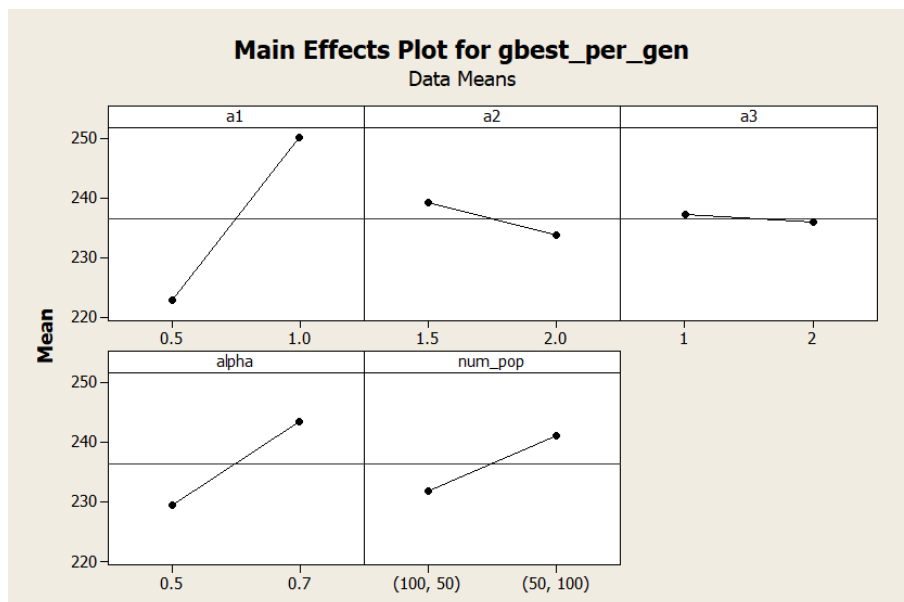
#### รูปที่ 4.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.26 พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 7 ตัว มีค่าพารามิเตอร์ของ  $a_1$  และ alpha ที่ผลทดสอบต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $a_1$  และ alpha จะส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 และจากการทดลองพบว่าตัวแปรอิสระนั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความล่าช้ารวมได้ 27.94%



รูปที่ 4.27 กราฟ Residual Plots ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.27 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงทำให้กราฟ Histogram เป็นรูประฆังคว่ำ เมื่อพิจารณาพร้อมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 แสดงว่าข้อมูลที่ได้เป็นดังสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 4.28 กราฟ Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.28 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์  $a_1$  และ alpha ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ และค่าพารามิเตอร์  $a_2$ ,  $a_3$  และ Num/Pop ส่งผลกระทบท่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.29 กราฟ Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

จากรูปที่ 4.29 เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างค่าพารามิเตอร์พบว่า ไม่มีค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วมกัน

สรุปผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 พบว่าควรกำหนดค่าพารามิเตอร์  $a_1$  ที่ 0.5,  $a_2$  ที่ 2,  $a_3$  ที่ 1, gmax ที่ 0.9, gmin ที่ 0.3, alpha ที่ 0.5 และ Num/Pop ที่ 100/50

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโจทย์ทั้งหมด 6 ข้อ ได้การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 7 พารามิเตอร์ ที่จะนำไปใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโครงการอื่นซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละโจทย์

ปัญหา	พารามิเตอร์						
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	gmax	gmin	alpha	Num/Pop
ขนาดเล็ก ข้อที่ 1	1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100
ขนาดเล็ก ข้อที่ 2	1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50
ขนาดกลาง ข้อที่ 1	0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50
ขนาดกลาง ข้อที่ 2	0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50
ขนาดใหญ่ ข้อที่ 1	0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50
ขนาดใหญ่ ข้อที่ 2	0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50

#### 4.4.4 ผลการทดลองจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตจำนวน 10 รอบ

ผลการทดสอบจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตจำนวน 10 รอบ ทำการทดสอบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดสอบจากโปรแกรมจำนวน 5 รอบ และมีการกำหนดค่า seed เป็น 1111, 2222, 3333, 4444, 5555, 6666, 7777, 8888, 9999, 11110 เพื่อควบคุมความแปรปรวนที่เกิดจากการสุ่มหลังจากนั้นจากนั้นจะทำการสรุปผลที่ได้เป็นค่าความล่าช้ารวมต่ำที่สุด (Minimize) ความล่าช้ารวมมากที่สุด (Maximize) ความล่าช้ารวมเฉลี่ย (Average : AVG) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation : C.V.) อัตราส่วนระหว่างช่วงสูงสุดและต่ำสุด (Range Ratio) โดย สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนและอัตราส่วนระหว่างช่วงสูงสุดและต่ำสุด สามารถหาได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน สามารถหาค่า C.V. ได้จากสมการที่ 4.6

$$\text{Coefficient of Variation (C.V.)} = \frac{\text{Standard Deviation (S.D.)}}{\text{Average}} \times 100\% \quad (4.6)$$

โดยที่ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความล่าช้ารวม  
Average คือ ค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวม

แล้วหลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโครงการอื่น โดยจะมีการสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าต่ำสุดโดยการนำค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดมาเปรียบเทียบ แล้วจะทำการสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมโดยการนำค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของแต่ละวิธีการมาเปรียบเทียบ โดยทั้ง 2 กราฟจะมีการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความแตกต่างของความล่าช้ารวม (Total Tardiness Difference Rate : TDR) และอัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวม (Average Total Tardiness Difference Rate : ATDR) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.7

$$\text{ค่าอัตราส่วนความแตกต่าง} = \frac{f_{MA} - f_{best}}{f_{best}} \quad (4.7)$$

โดยที่  $f_{MA}$  = ค่าคำตอบของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต  
 $f_{best}$  = ค่าคำตอบของเวลาล่าช้ารวมที่ดีที่สุด

โดยที่ผลลัพธ์ของการทดสอบหาประสิทธิภาพของวิธีการของโจทย์ปัญหาในแต่ละข้อ และผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโครงการอื่นเป็นดังต่อไปนี้

4.4.4.1 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโจทย์ปัญหามิติเล็กในการหาค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยรวมน้อยที่สุด

ก.) ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบ

โจทย์ปัญหามิติเล็กข้อที่ 1 :

โจทย์ปัญหามิติเล็กข้อที่ 1 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $g_{max}$ ,  $g_{min}$ ,  $\alpha$ ,  $num/pop$  โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

จำนวนรอบ		Tardiness		
1		4.92		
2		7.48		
3		1.62		
4		7.80		
5		2.13		
6		1.23		
7		11.18		
8		5.35		
9		7.48		
10		5.35		
Min	Max	Average	S.D.	C.V.
1.23	11.18	5.45	3.01	0.55

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 :

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $g_{max}$ ,  $g_{min}$ ,  $\alpha$ ,  $num/pop$  โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.18

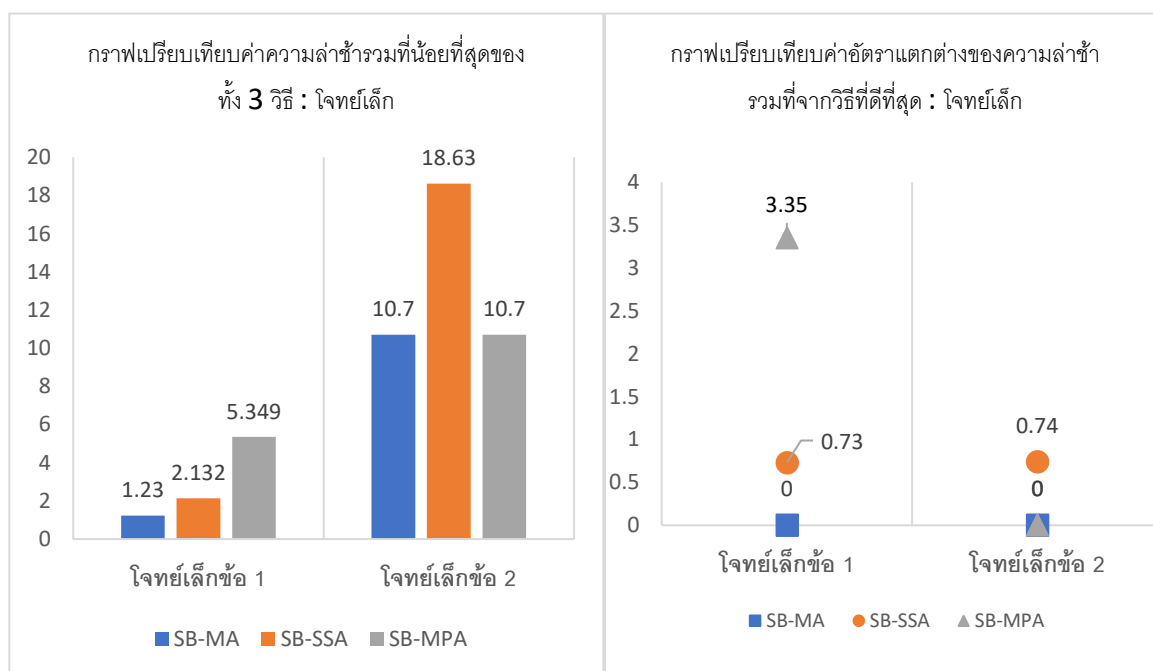
ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

จำนวนรอบ	Tardiness
1	10.7
2	25.12
3	24.47
4	20.77
5	24.47
6	24.37
7	25.02
8	14.98
9	11.00
10	22.75

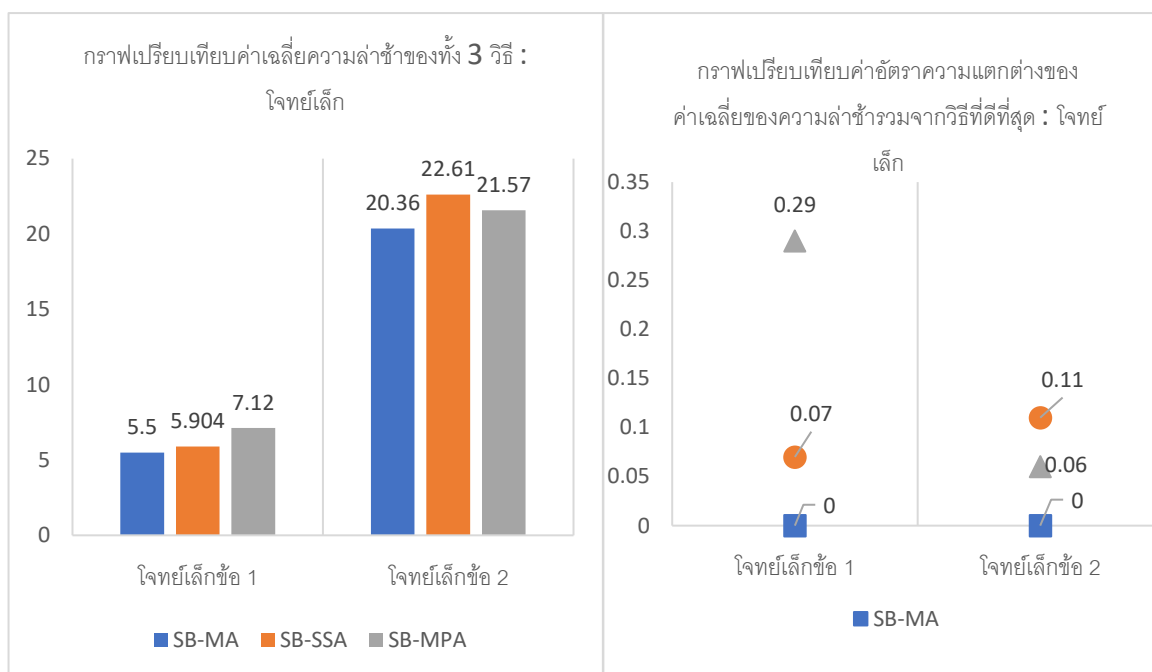
ตารางที่ 4.18 (ต่อ) ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

Min	Max	Average	S.D.	C.V.
10.7	25.12	20.36	5.56	0.27

ข.) ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพกับโครงการอื่น



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก



**รูปที่ 4.31** กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

จากผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบค่าต่ำสุดของความล่าช้ารวมโดยใช้การต้องการพารามิเตอร์ที่ต่ำที่สุดของทั้ง 3 วิธีการ สามารถสรุปวิเคราะห์ผลได้ดังตารางที่ 4.19

**ตารางที่ 4.19** สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

โจทย์	วิธีการ	ผลลัพธ์จากการทดลอง						
		Min	Max	AGV	S.D.	C.V.	TDR	ATDR
ขนาดเล็ก ข้อที่ 1	SBMA	1.23	11.18	5.45	3.01	0.55	0	0
	SBMPA	5.349	11.756	7.12	1.91	0.27	3.35	0.29
	SBSSA	2.132	13.07	5.90	3.89	0.66	0.73	0.07
ขนาดเล็ก ข้อที่ 2	SBMA	10.7	25.12	20.36	5.56	0.27	0	0
	SBMPA	10.7	25.28	21.57	4.40	0.20	0	0.22
	SBSSA	18.63	26.52	22.61	2.78	0.12	0.74	0.27

จากตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 พบว่า ค่า Min, Max, AGV และ S.D. ของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.55 เท่า อัตราส่วนความ

แตกต่างของความล่าช้ารวมและอัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0 เนื่องจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าและค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่ำที่สุด โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 พบว่า ค่า Min ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตและวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตมีค่าเท่ากันและมีค่าที่น้อยกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ค่า Max และ Average วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ค่า S.D. ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่ามากกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแต่มีค่ามากกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.27 เท่า อัตราส่วนความแตกต่างของความล่าช้ารวมและอัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0 เนื่องจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าและค่าเฉลี่ยความล่าช้าต่ำที่สุด

4.4.4.2 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโจทย์ปัญหาขนาดกลางในการหาค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยรวมน้อยที่สุด

ก.) ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบ

โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 :

โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha, num/pop โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

จำนวนรอบ	Tardiness
1	20.2
2	21.333
3	22.5
4	16.45
5	45.598
6	33.932
7	19.9
8	18.5
9	21.2
10	24.533

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

Min	Max	Average	S.D.	C.V.
16.45	45.60	24.41	8.36	0.34

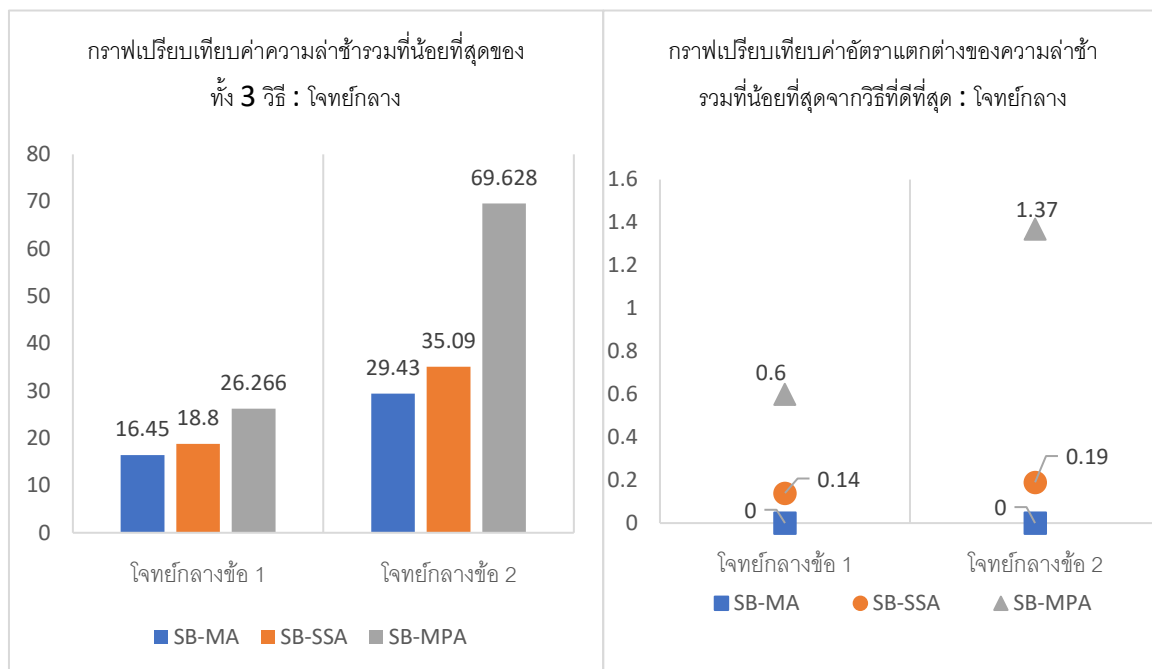
โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 :

โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha, num/pop โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.21

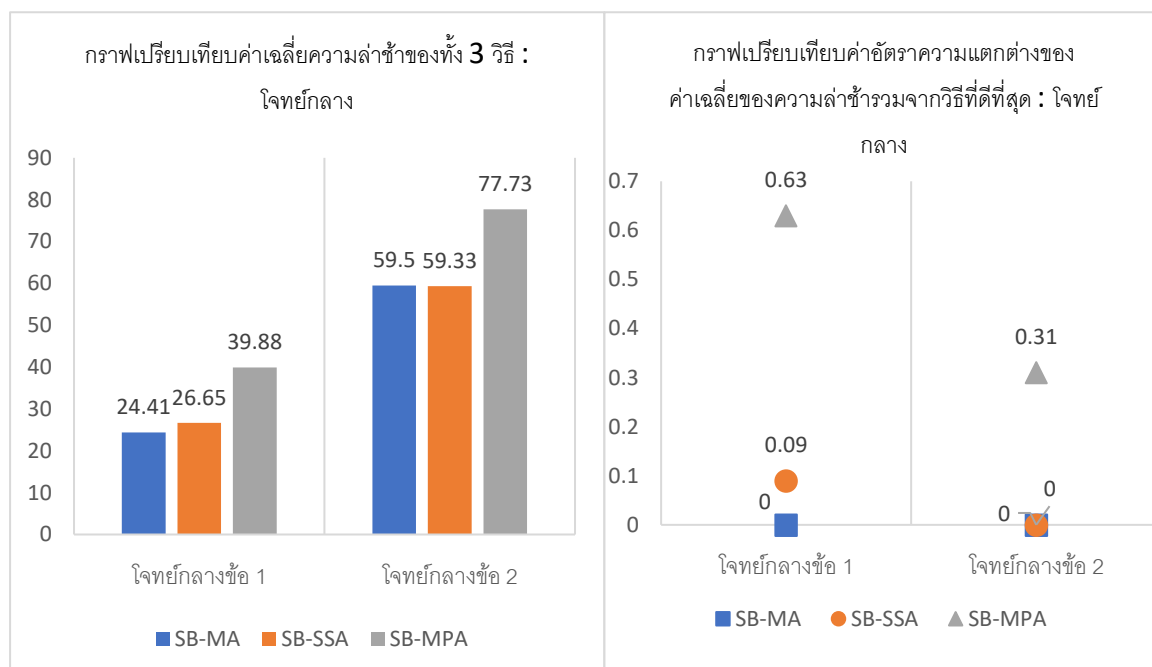
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

จำนวนรอบ		Tardiness		
1		58.325		
2		56.858		
3		84.857		
4		53.767		
5		29.425		
6		62.092		
7		58.766		
8		48.009		
9		72.659		
10		70.234		
Min	Max	Average	S.D.	C.V.
29.43	84.86	59.50	14.20	0.24

ข.) ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพกับโครงการอื่น



รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง



รูปที่ 4.33 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดกลาง

จากผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบค่าต่ำสุดของความล่าช้ารวมโดยใช้การ  
ต้องการพารามิเตอร์ที่ต่ำที่สุดของทั้ง 3 วิธีการ สามารถสรุปวิเคราะห์ผลได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหาขนาดกลาง

โจทย์	วิธีการ	ผลลัพธ์จากการทดลอง						
		Min	Max	AGV	S.D.	C.V.	TDR	ATDR
ขนาดกลาง ข้อที่ 1	SBMA	16.45	45.60	24.41	8.36	0.34	0	0
	SBMPA	26.27	52.77	39.88	9.78	0.25	0.6	1.37
	SBSSA	18.80	35.63	26.15	5.18	0.20	0.14	0.19
ขนาดกลาง ข้อที่ 2	SBMA	29.43	84.86	59.50	14.20	0.24	0	0
	SBMPA	69.63	85.05	77.73	5.71	0.07	0.63	0.31
	SBSSA	35.09	79.01	59.33	13.63	0.52	0.09	0

จากตารางที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของ  
โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 พบว่า ค่า Min และ AGV ของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธี  
ผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ค่า Max และ S.D. ของวิธีแมลงซีปะขาว  
เชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแต่มีค่ามากกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต มีค่า  
สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.34 เท่า อัตราส่วนความ  
แตกต่างของความล่าช้ารวมและอัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0  
เนื่องจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าและค่าเฉลี่ยความล่าช้าที่น้อยที่สุด โจทย์ปัญหาขนาด  
กลางข้อที่ 2 พบว่า ค่า Min, Max และ AGV ของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทาง  
ทะเลเชิงเซตแต่มีค่ามากกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต และค่า S.D. ของวิธีแมลงซีปะขาวเชิง  
เซตมีค่ามากกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลกับวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน  
การกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.24 เท่า อัตราส่วนความแตกต่างของความล่าช้ารวมและ  
อัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0 เนื่องจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่า  
ความล่าช้าและค่าเฉลี่ยความล่าช้าที่น้อยที่สุด

4.4.4.3 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ในการ  
หาค่าต่ำสุดและค่าเฉลี่ยรวมน้อยที่สุด

ก.) ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบ

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 :

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha, num/pop โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

จำนวนรอบ			Tardiness	
1			137.07	
2			221.34	
3			90.82	
4			245.40	
5			129.96	
6			191.26	
7			123.37	
8			256.11	
9			268.37	
10			182.92	
Min	Max	Average	S.D.	C.V.
90.82	268.37	184.66	59.17	0.32

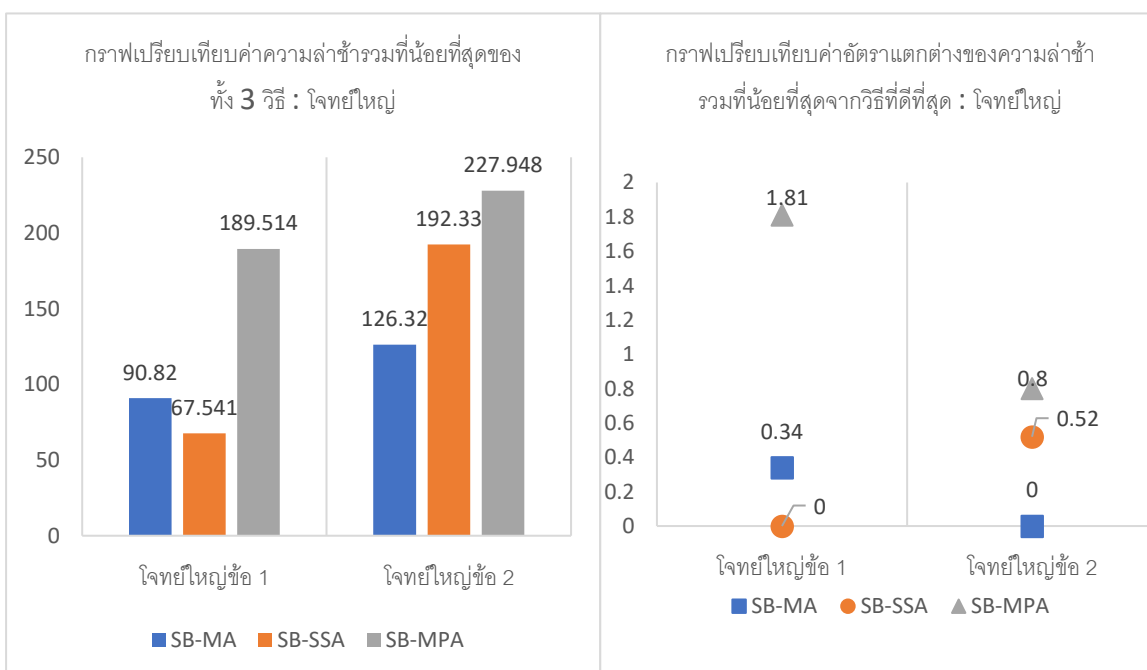
โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 :

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองซ้ำ 5 รอบ คือ  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , gmax, gmin, alpha, num/pop โดยได้ผลลัพธ์และสามารถสรุปข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 10 รอบได้ดังตารางที่ 4.24

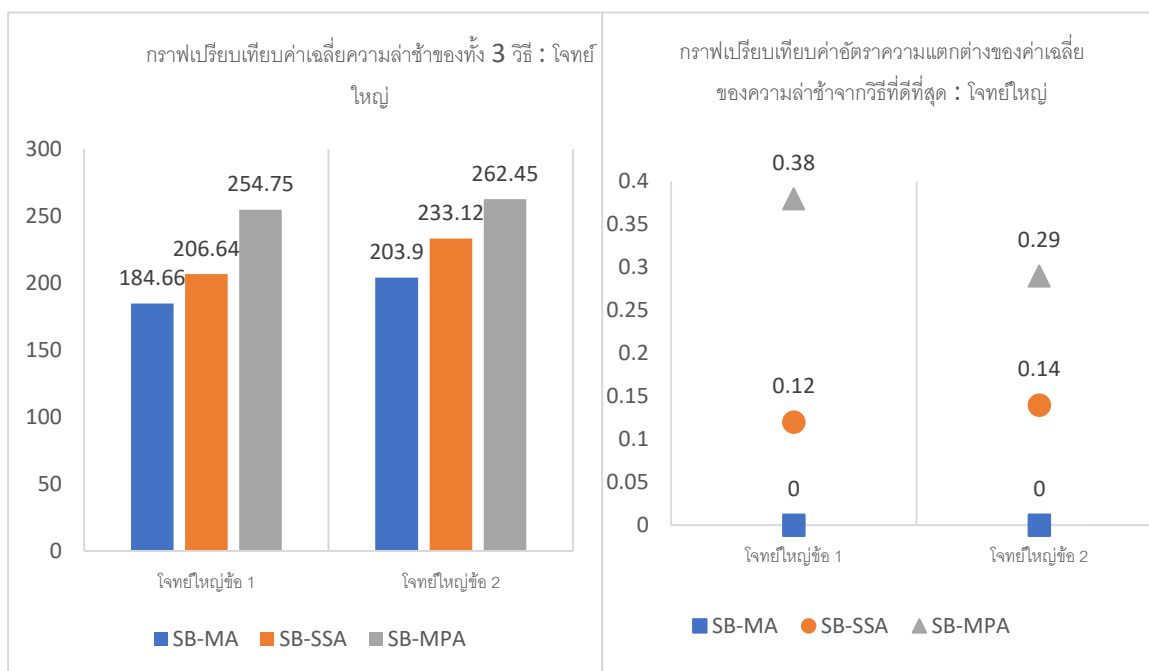
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

จำนวนรอบ			Tardiness	
1			182.67	
2			138.43	
3			212.65	
4			204.15	
5			307.60	
6			240.25	
7			222.97	
8			172.82	
9			126.32	
10			231.12	
Min	Max	Average	S.D.	C.V.
126.32	307.60	203.90	49.98	0.25

ข.) ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพกับโครงการอื่น



รูปที่ 4.34 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมที่น้อยที่สุดของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่



รูปที่ 4.35 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมและกราฟเปรียบเทียบค่าอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความล่าช้ารวมของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

จากผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบค่าต่ำสุดของความล่าช้ารวมโดยใช้การต้องการพารามิเตอร์ที่ต่ำที่สุดของทั้ง 3 วิธีการ สามารถสรุปวิเคราะห์ผลได้ดังตารางที่ 4.25

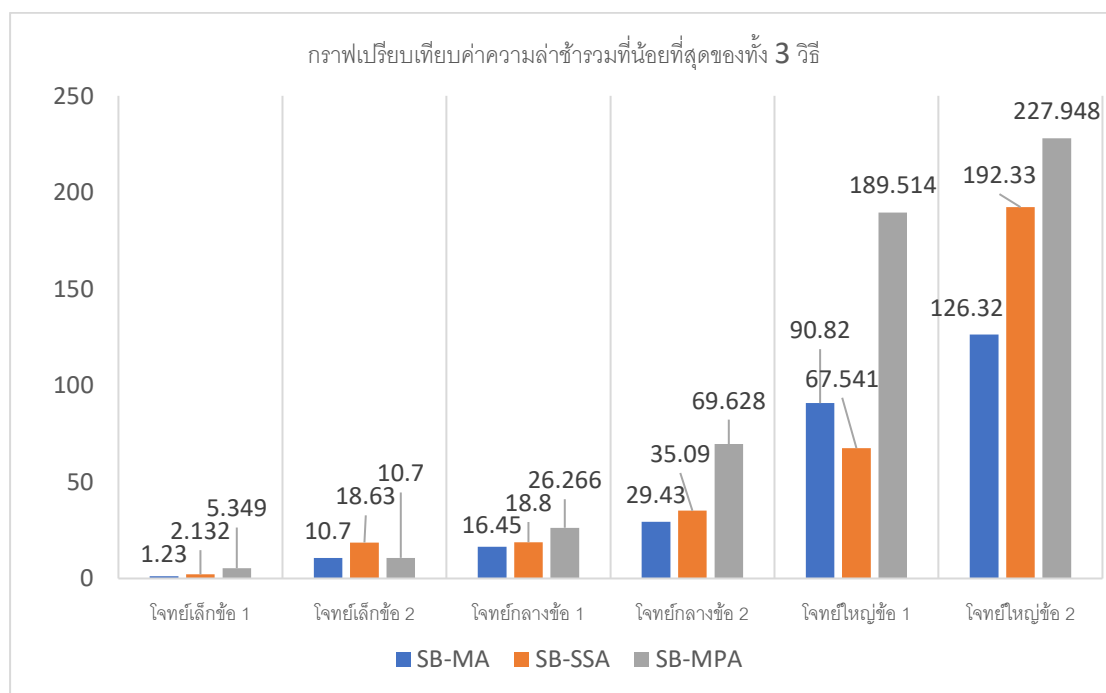
ตารางที่ 4.25 สรุปผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

โจทย์	วิธีการ	ผลลัพธ์จากการทดลอง						
		Min	Max	AGV	S.D.	C.V.	TDR	ATDR
ขนาดใหญ่ข้อที่ 1	SBMA	90.82	268.37	184.66	59.17	0.32	0.34	0
	SBMPA	189.51	338.60	254.75	54.25	0.21	1.81	0.38
	SBSSA	67.54	283.90	206.64	64.28	0.31	0	0.12
ขนาดใหญ่ข้อที่ 2	SBMA	126.32	307.60	203.90	49.98	0.25	0	0
	SBMPA	227.95	298.38	262.45	21.18	0.08	0.80	0.29
	SBSSA	192.33	266.33	233.12	23.30	0.18	0.52	0.14

จากตารางที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 พบว่า ค่า Min ของวิธีแมลงซีปะชาวเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเซตแต่มีค่ามากกว่าวิธีการค้นหาของกระรอก ค่า Max และ AGV ของวิธีแมลงซีปะชาวเซต

เซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ค่า S.D. ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตแต่มีค่ามากกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซต มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.32 เท่า อัตราส่วนความแตกต่างของความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0.34 เท่า อัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0 เนื่องจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าเฉลี่ยความล่าช้าที่น้อยที่สุด ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 พบว่า ค่า Min และ Average ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ค่า Max และ S.D. ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่ามากกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนการกระจายตัวของค่าคำตอบจากค่าเฉลี่ย 0.25 เท่า อัตราส่วนความแตกต่างของความล่าช้ารวมและอัตราส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมมีค่าเป็น 0 เนื่องจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าและค่าเฉลี่ยความล่าช้าที่น้อยที่สุด

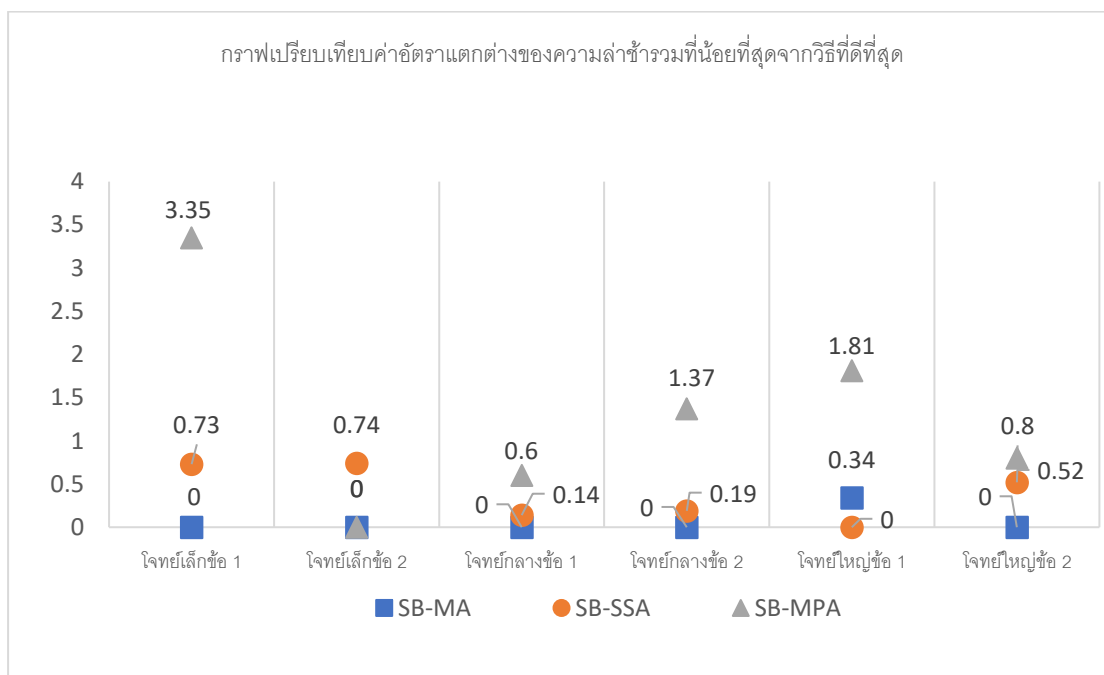
4.4.4.4 สรุปการเปรียบเทียบของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ของโจทย์ปัญหาทั้ง 6 ข้อ



รูปที่ 4.36 กราฟเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา

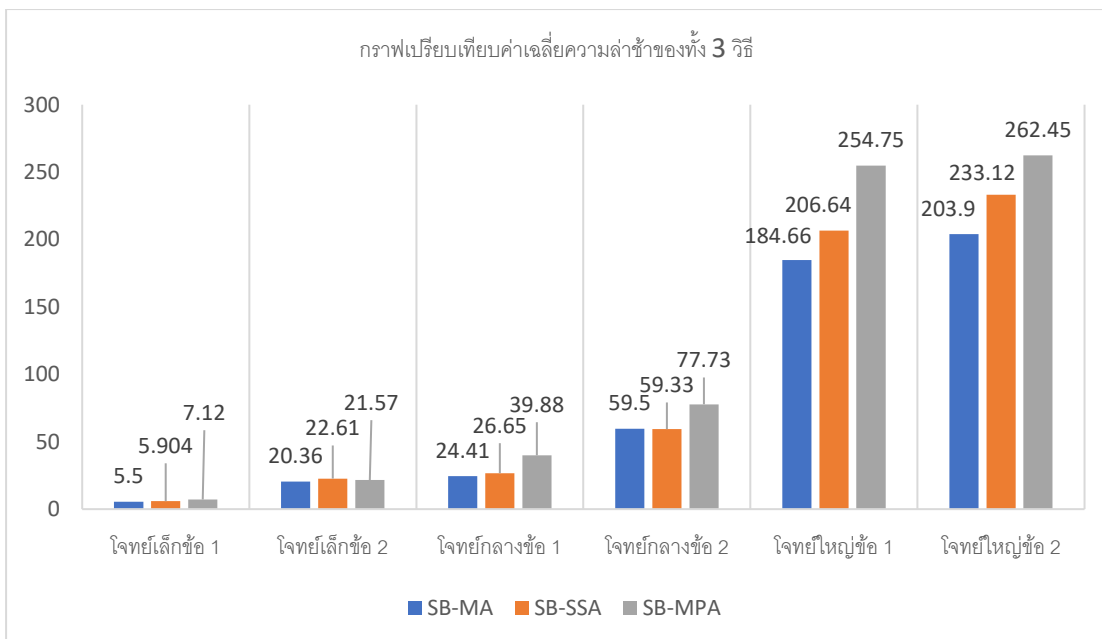
จากรูปที่ 4.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา พบว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 ขนาดกลางข้อที่ 1 และ 2 ขนาดใหญ่ข้อที่ 2 วิธีแมลง

ซีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าเท่ากับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแต่น้อยกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต และในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้าน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแต่มากกว่าวิธีวิธีการค้นหาของกระรอก



รูปที่ 4.37 กราฟเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา

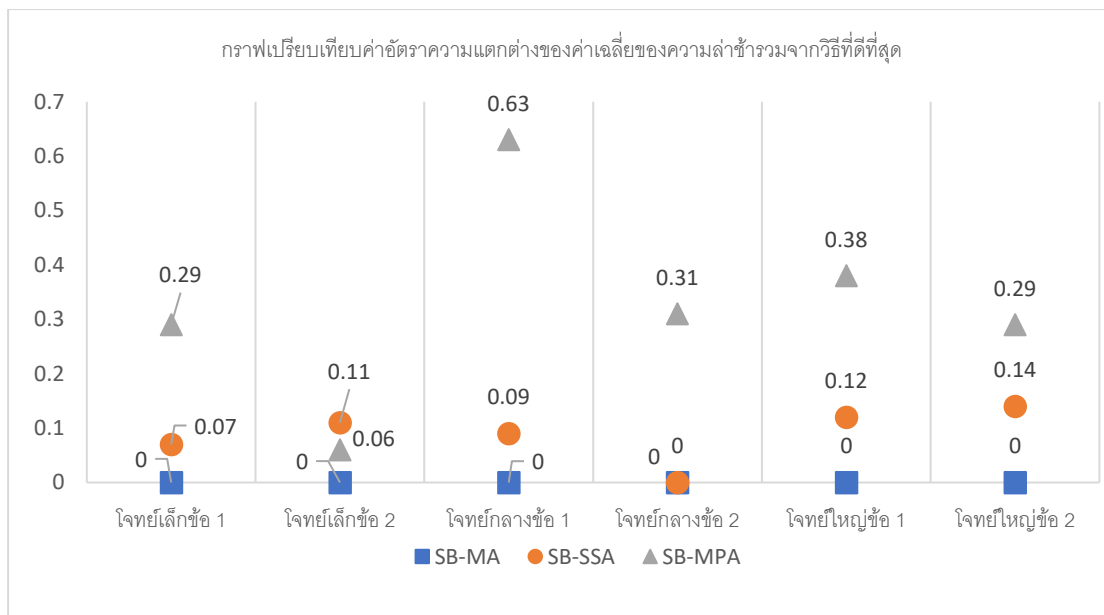
จากรูปที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา พบว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 และ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 และ 2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 มีอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมเป็น 0 เท่า เนื่องจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าความล่าช้ารวมน้อยที่สุด และในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 มีอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมเป็น 0.34 เท่า



รูปที่ 4.38 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา

จากรูปที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา พบว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 และ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 และ 2 ของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมน้อยที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตมีค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแต่มากกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต

4.4.4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาที่ใช้ในการทดลองของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต



รูปที่ 4.39 กราฟเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา

จากรูปที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา พบว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 และ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 และ 2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 และ 2 มีอัตราความแตกต่างของความล่าช้ารวมเป็น 0 เท่า เนื่องจากวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าเฉลี่ยความล่าช้ารวมน้อยกว่าวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต

#### 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาที่ใช้ในการทดลองของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซต

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองในการหาคำตอบของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตเปรียบเทียบและวิธีการค้นหากระรอกเชิงเซต โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยของโจทย์ปัญหาทั้งหมด 3 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

โดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์รุ่น HP Victus 16

- ระบบปฏิบัติการ Windows 11
- CPU Intel Core i5 12500H
- RAM Samsung DDR5 (2400 MHz) 8 GBytes และ Corsair DDR5 (2400 MHz) 16 GBytes

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองในการหาคำตอบ ซึ่งได้ผล  
เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.26

**ตารางที่ 4.26** ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองในการหาคำตอบ  
ของทั้ง 3 วิธี

โจทย์ปัญหา	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง (วินาที)		
	SBMA	SBMPA	SBSSA
ปัญหาขนาดเล็ก	151.34	153.83	126.82
ปัญหาขนาดกลาง	511.62	491.53	447.33
ปัญหาขนาดใหญ่	1421.07	1429.33	1301.83

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลองในการหาคำตอบของวิธี  
วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตเปรียบเทียบและวิธีการค้นหากระรอกเชิงเซต  
พบว่าในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กวิธีการที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือวิธีการค้นหากระรอกเชิงเซตรองลงมาคือ  
วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตและวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซต ต่อมาในโจทย์ขนาดกลางวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุด  
คือวิธีการค้นหากระรอกเชิงเซตรองลงมาคือวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตและวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต และ  
ในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่วิธีการที่ใช้เวลาน้อยที่สุดคือวิธีการค้นหากระรอกเชิงเซตรองลงมาคือวิธี  
แมลงซีปะขาวเชิงเซตและวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซต

#### 4.6 สรุปการดำเนินการทดลองวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต

จากผลการดำเนินโครงการในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต สำหรับปัญหาการจัด  
กลุ่มคำสั่งซื้อเพื่อหาเวลาล่าเข้าร่วมในการส่งมอบทั้งหมดน้อยที่สุด ได้อธิบายการสร้างตัวแทนคำตอบ  
และการหาคำตอบ ขั้นตอนการทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต วิธีการทดลองประสิทธิภาพ  
โดยวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อคำตอบ ผลการทดลอง  
ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธี  
แมลงซีปะขาวกับวิธีผู้ล่าทางทะเลและวิธีการค้นหาของกระรอก พบว่า จากการทดลองทำให้ได้  
ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมขอโจทย์แต่ละข้อ และเวลาล่าเข้าร่วมในการส่งมอบทั้งหมดน้อยที่สุด

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

จากการดำเนินโครงการการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขด้านน้ำหนักโดยใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ในการดำเนินโครงการคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมที่แก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขด้านน้ำหนักโดยใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต โดยมีเป้าหมายเพื่อลดเวลาความล่าช้ารวมให้น้อยที่สุดในเวลาที่เหมาะสม

จากนั้นคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อโดยพิจารณาเงื่อนไขด้านน้ำหนักโดยใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซตโดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนซึ่งโปรแกรมที่จะได้เป็นที่มีการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่มีเงื่อนไขด้านน้ำหนักเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อลดเวลาความล่าช้ารวมให้น้อยที่สุดในระยะเวลาที่เหมาะสม

จากการออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับโจทย์ปัญหา 3 ประเภทจำนวน 6 ข้อ สามารถสรุปพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ดังนี้

ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.1 จะทำให้ได้ค่าความล่าช้าที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
1	1.5	1	0.9	0.3	0.5	50/100

ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.2 จะทำให้ได้ค่าความล่าช้าที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
1	1.5	1	0.9	0.5	0.7	100/50

ปัญหากลางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.3 จะทำให้ได้ค่าความล่าช้าที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50

ปัญหาขนาดกลางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
0.5	1.5	2	0.9	0.3	0.5	100/50

ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.5 จะทำให้ได้ค่าความล่าช้าที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
0.5	2	2	0.9	0.3	0.5	100/50

ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดจะพบว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ดังตารางที่ 5.6 จะทำให้ได้ค่าความล่าช้าที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

$a_1$	$a_2$	$a_3$	gmax	gmin	alpha	Num/pop
0.5	2	1	0.9	0.3	0.5	100/50

จากการเปรียบเทียบค่าความล่าช้ารวมที่ต่ำที่สุดกับโครงการอื่น ได้แก่ วิธีการค้นหากระรอกเชิงเซตและวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตเชิงเซตพบว่า

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 วิธีที่ได้ค่าความล่าช้ารวมต่ำที่สุดคือ วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.73 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 3.35 เท่า



โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 วิธีที่ได้ค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตและวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตแล้ว และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแล้ววิธีของมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.31 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1 วิธีที่ได้ค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.12 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.38 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2 วิธีที่ได้ค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.14 เท่า และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตแล้ววิธีของผู้ดำเนินโครงการมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 0.29 เท่า

จากการทดสอบประสิทธิภาพกับโจทย์ทั้ง 6 ข้อ พบว่าวิธีแมลงซีปะขาวเชิงเซตมีค่าต่ำที่สุด 5 ข้อจาก 6 ข้อ และมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในทุกข้อ ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่ากลไกการเคลื่อนที่ของตัวผู้และตัวเมีย รวมไปถึงวิธีการเลี้ยงจุดต่ำสุดเฉพาะที่ เช่น การเดินร่าของตัวผู้และการบินสู่มของตัวเมีย ส่งผลต่อค่าคำตอบของวิธีแมลงซีปะขาว ทำให้ค่าคำตอบดีกว่าวิธีการค้นหาของกระรอกเชิงเซตและวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซตในปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อแบบมีเงื่อนไข

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดอยู่สองประการ ประการแรกคือใช้โจทย์ปัญหาเพียง 6 ข้อเท่านั้น และประการที่สองคือมีข้อจำกัดด้านเวลาในการค้นหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดอย่างแท้จริง เหตุนี้จึงอาจสรุปผลได้ไม่ชัดเจนว่าวิธีแมลงซีปะขาวมีความเหมาะสมกับปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่สุด จำเป็นต้องมีการทดลองเพิ่มเติมกับโจทย์ปัญหาที่หลากหลายและครอบคลุมมากกว่านี้ จึงจะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดคือวิธีการที่เหมาะสมที่สุดกับปัญหานี้

## 5.2 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการ

5.2.1 เนื่องจากผู้ดำเนินโครงการขาดความเชี่ยวชาญในการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอนจึงต้องใช้เวลาในการศึกษาค้นคว้าวิธีการและเทคนิคการเขียนโปรแกรมดังกล่าวอย่างละเอียดจนกระทั่งผู้ดำเนินโครงการมีความรู้ที่เพียงพอที่จะสร้างโปรแกรมจากวิธีการนี้ได้

5.2.2 การทดสอบโปรแกรมในขั้นตอนต่าง ๆ ใช้ระยะเวลาและก่อให้เกิดความล่าช้าในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละโจทย์ เนื่องจากจำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการรันโปรแกรมนานขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการทดสอบอย่างละเอียดถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2.3 การนำวิธีการแมลงซีปะขาวเชิงเซตจากงานวิจัยต้นฉบับมาประยุกต์ใช้ พบว่ามีความท้าทายเนื่องจากปัญหาที่ต้องการแก้ไขมีบริบทที่แตกต่างออกไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยน

และพัฒนาวิธีการดังกล่าวให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาที่กำลังศึกษา เพื่อให้สามารถนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

5.2.4 ในระหว่างการทดสอบ พบว่าผลลัพธ์จากฟังก์ชันประเมินผลบางส่วนไม่ถูกต้อง ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการทดสอบวิธีการแก้ไขหลายครั้งจนกว่าจะถูกต้องและแม่นยำ อย่างไรก็ตามปัญหานี้สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาและปรับปรุงฟังก์ชันประเมินผลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

5.3.1 แม้ว่าผู้ดำเนินโครงการจะขาดประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมภาษาไพทอน แต่ก็สามารถศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เพื่อพัฒนาทักษะดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น

5.3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์บางตัวให้ใช้เพียงค่าเดียว โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปอย่างราบรื่น

5.3.3 ศึกษาวิธีการจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของจากอินเทอร์เน็ต และขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการถึงวิธีการนำขั้นตอนการทำงานของวิธีแมลงซีปะขาวของงานวิจัยต้นฉบับในแต่ละส่วนมาทำเป็นวิธีการเชิงเซต เพื่อให้สามารถใช้กับปัญหาแบบไม่ต่อเนื่องได้ และยังคงวิธีการดั้งเดิมของงานวิจัยที่อ้างอิงได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

5.3.4 การแก้ไขฟังก์ชันประเมินผลให้มีความถูกต้องและเพิ่มการตรวจสอบคำตอบจะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการ

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพของฟังก์ชันประเมินผลและวิธีการแมลงซีปะขาวเชิงเซตให้มีความเร็วมากขึ้น พร้อมกับการพัฒนาวิธีการตรวจสอบคำตอบที่เหมาะสม จะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น การปรับปรุงในด้านนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อความสำเร็จของโครงการ

5.4.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีการแมลงซีปะขาวเชิงเซตให้มีรูปแบบที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้น จะช่วยให้ได้ผลการทดสอบที่ครอบคลุมกว้างขวางขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำให้กับวิธีการนี้ได้

## เอกสารอ้างอิง

จิรนาถ ศิริป่า และวรัรักษ์ เทศเชียง. (2566). การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่พิจารณาน้ำหนักของสินค้าด้วยวิธีผู้ล่าทางทะเลเชิงเซต. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชฎาพร กุลมล และปพิชญา สมนึก. (2566). การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อที่พิจารณาน้ำหนักของสินค้าด้วยวิธีการค้นหาของกระรอก. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประภัสสร ประดุงพงษ์เพชร. (2565). การแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อสำหรับพนักงานหลายคนโดยพิจารณาลำดับก่อน-หลังในคลังสินค้า. (วิทยานิพนธ์ วท.ด) มหาวิทยาลัยนเรศวร.

โอฬาร กิตติธีรพรชัย และ นระเกณท์ พุ่มชูศรี. (2557). “ระบบการจัดการคลังสินค้า.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 ( 31 สิงหาคม ) 51

A.J.R.M. (noud) Gademann, Jeroen P. Van Den Berg, Hassan H. Van Der Hoff (2001). **An order batching algorithm for wave picking in a parallel-aisle warehouse.** IIE Transactions 33, 385–398. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1011049113445>

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). “**Warehouse & Distribution Science**”: Release 0.98.1. doi: <https://www.warehousescience.com/book/editions/wh-sci-0.98.1.pdf>

Christian Blum, Andrea Roil (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM Computing Surveys**, 35(3); 268–308. doi: <https://doi.org/10.1145/937503.937505>

Carlos A. Coello Coello David A. Vanveldhuizen, Gary B. Lamont (2007). Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. **Genetic and Evolutionary, Computation**, 131-174. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-36797-2>

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Çağla Cergiboza & A. Serdar Tasan. (2019). Order batching operations: an overview of classification, solution techniques, and future research. **Journal of Intelligent Manufacturing**, 30, 335-349. doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1248-4>
- Eduardo G. Pardo, Sergio Gil-Borrás, Antonio Alonso-Ayuso, Abraham Duarte (2023). **Mathematical programming modeling for joint order batching, sequencing and picker routing problems in manual order picking systems.** *Journal of King Saud University Engineering Sciences*, 32(3), 219-228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.02.004>
- G. Tamilmani, V. Brindha Devi, T. Sujithra, Francis H. Shajin, P. Rajesh (2022). Cancer MiRNA biomarker classification based on Improved Generative Adversarial Network optimized with Mayfly Optimization Algorithm. **Biomedical Signal Processing and Control**, 75, 103545. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103545>
- Guha, R., Chatterjee, B., Khalid Hassan, S.K., Ahmed, S., Bhattacharyya, T., Sarkar, R. (2022). Py\_FS: A Python Package for Feature Selection Using Meta-Heuristic Optimization Algorithms. *Computational Intelligence in Pattern Recognition. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1349, 495-504. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2543-5\\_42](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2543-5_42)
- Hovelaque, V., Soler, L.G. & Hafsa, S (2007). Supply chain organization and e-commerce: a model to analyze store-picking, **warehouse-picking and drop-shipping.** *4OR*, 5; 143–155. doi: <https://doi.org/10.1007/s10288-006-0013-5>
- James A, T., & Jerry D, S. (1998). **The Warehouse Management Handbook 2nd Edition** (2nd ed.).

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- K. Jarrod Millman; Michael Aivazis (2011). **Python for Scientists and Engineers**. *Computing in Science & Engineering*, 13(2), 9-12.  
doi: [https://doi.org/ 10.1109/MCSE.2011.36](https://doi.org/10.1109/MCSE.2011.36)
- Konstantinos Zervoudakis, Stelios Tsafarakis (2020). **A mayfly optimization algorithm**. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106559  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106559>
- Manuel Ostermeier, Andreas, Holzapfel, Heinrich Kuhn, Daniel Schubert (2022). **Integrated zone picking and vehicle routing operations with restricted intermediate storage**. *OR Spectrum*, 44; 795-832.  
doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-021-00664-7>
- Thomas Chabot, Rahma Lahyani, Leandro C. Coelho, Jacques Renaud (2017). **Order picking problems underweight, fragility and category constraints**, *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis Journals, 55(21), 6361-6379. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1251625>
- Zou, A., Wang, L., Li, W. et al (2023). **Mobile robot path planning using improved mayfly optimization algorithm and dynamic window approach**. *JSupercomput*79,8340–8367. doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-022-04998-z>

ภาคผนวก ก  
โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

## ก.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ ก.1.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1

คำสั่งซื้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	871	122	534	-	198.542
2	895	776	806	-	32.5417
3	526	-	-	-	84.5417
4	109	242	-	-	116.542
5	870	840	499	57	122.542
6	152	21	238	-	63.5417
7	580	485	687	-	35.5417
8	512	-	-	-	200.542

ตารางที่ ก.1.2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

คำสั่งซื้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	818	838	829	878	152.375
2	67	695	607	434	196.375
3	6	615	-	-	144.375
4	855	859	105	-	331.375
5	228	334	-	-	64.375
6	525	228	687	628	30.375
7	84	-	-	-	8.375

## ก.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

ตารางที่ ก.2.1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1

คำสั่งข้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	858	334	137	-	275.167
2	820	840	776	-	214.167
3	705	-	-	-	264.167
4	676	790	686	-	224.167
5	875	-	-	-	232.167
6	755	277	-	-	133.167
7	143	-	-	-	319.167
8	538	358	593	-	258.167
9	103	-	-	-	277.167
10	259	620	675	-	253.167
11	52	391	241	805	93.1667
12	204	604	-	-	11.1667
13	166	87	-	-	290.167
14	579	713	-	-	128.167
15	445	375	-	-	37.1667
16	180	174	-	-	206.167
17	719	-	-	-	295.167
18	818	829	878	-	341.167
19	603	475	850	-	190.167
20	67	695	607	434	264.167
21	6	615	791	-	326.167
22	859	-	-	-	41.1667

ตารางที่ ก.2.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

คำสั่งข้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	858	412	334	137	187.375
2	840	-	-	-	65.375
3	131	28	705	717	250.375
4	676	790	686	-	264.375
5	875	-	-	-	121.375
6	755	277	-	-	100.375
7	143	-	-	-	53.375
8	538	358	593	-	178.375
9	75	103	500	-	31.375
10	620	-	-	-	116.375
11	52	241	805	-	207.375
12	204	604	-	-	153.375
13	87	-	-	-	85.375
14	579	713	-	-	324.375
15	375	-	-	-	52.375
16	180	174	86	-	298.375
17	504	719	-	-	26.375
18	829	-	-	-	108.375
19	603	475	-	-	24.375
20	67	607	434	-	101.375
21	6	740	615	791	97.063
22	350	722	630	-	123.063

### ก.3 โจทย์ปัญหาใหญ่

ตารางที่ ก.3.1 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

คำสั่งข้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	645	-	-	-	228.292
2	640	840	-	-	791.292
3	630	-	-	-	27.2917
4	157	47	277	21	781.292
5	278	-	-	-	463.292
6	715	583	148	-	710.292
7	121	217	-	-	610.292
8	764	585	256	-	568.292
9	236	606	867	-	173.292
10	370	530	-	-	240.292
11	350	410	53	-	528.292
12	552	-	-	-	698.292
13	731	160	-	-	33.2917
14	101	828	66	5	124.292
15	205	476	446	-	224.292
16	832	316	-	-	821.292
17	770	501	-	-	309.292
18	106	191	-	-	668.292
19	706	641	-	-	788.292
20	131	128	762	-	621.292
21	396	28	860	-	336.292
22	323	-	-	-	153.292
23	130	580	711	-	550.292
24	688	203	-	-	395.292
25	663	92	72	-	20.2917
26	665	77	-	-	771.292
27	354	89	473	390	439.292

ตารางที่ ก.3.1 (ต่อ) โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 1

คำสั่งซื้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
28	854	714	-		720.292
29	383	387	196	718	859.292
30	771	317	-	-	819.292
31	602	726	-	-	855.292
32	747	263	872	-	272.292
33	183	250	586	202	211.292
34	247	392	-	-	461.292
35	291	220	-	-	644.292
36	170	-	-	-	785.292
37	634	633	-	-	135.292
38	553	566	598	-	808.292
39	405	297	685	208	574.292
40	717	-	-	-	164.292
41	326	361	-	-	649.292
42	714	-	-	-	680.292
43	41	-	-	-	738.292

## ก.3.2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ตารางที่ ก.3.2 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

คำสั่งซื้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
1	334	-	-	-	193
2	840	-	-	-	361
3	131	705	717	-	34
4	676	790	686	-	433
5	875	-	-	-	194
6	755	277	825	-	131

ตารางที่ ก.3.2 (ต่อ) โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

คำสั่งข้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
7	235	143	62	-	338
8	538	358	-	-	596
9	103	-	-	-	417
10	620	-	-	-	520
11	241	-	-	-	479
12	604		--	-	157
13	87	-	-	-	537
14	579	46	713	31	332
15	445	375	790	-	183
16	180	174	-	-	277
17	504	499	719	552	385
18	818	838	829	878	504
19	603	475	-	-	406
20	67	695	607	434	97
21	6	615	-	-	404
22	350	722	-	-	544
23	855	859	105	-	206
24	770	439	798	234	87
25	228	334	-	-	18
26	795	850	-	-	237
27	178	495	-	-	261
28	525	228	687	628	175
29	113	437	475	-	620
30	47	867	730	-	561
31	84	-	-	-	307
32	503	-	-	-	8
33	228	325	703	780	326
34	467	364	20	85	106
35	529	643	610	-	588

ตารางที่ ก.3.2 (ต่อ) โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ข้อที่ 2

คำสั่งข้อ	สินค้าภายในคำสั่งซื้อ				เวลาจัดส่ง สินค้า
	สินค้าที่ 1	สินค้าที่ 2	สินค้าที่ 3	สินค้าที่ 4	
36	441	261	-	-	211
37	294	613	645	380	514
38	61	413	710	534	187
39	640	840	558	-	398
40	474	630	-	-	578

ภาคผนวก ข

Source code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ  
โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านน้ำหนักโดยใช้วิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

## ข.1 ฟังก์ชันช่วยเหลือ (Support Function)

```
def read_input(name_path_input):
    # อ่านไฟล์ CSV เพียงครั้งเดียว
    df_item_sas_random = pd.read_csv('df_item_sas_random.csv')

    # อ่านไฟล์อื่นๆ
    duedate_path = f'{name_path_input}\\duedate_{name_path_input}.csv'
    input_location_path = f'{name_path_input}\\input_location_item_{name_path_input}.csv'
    df_duedate = pd.read_csv(duedate_path, header=None)
    df_item_oder = pd.read_csv(input_location_path, header=None)

    # แปลงเป็น list
    list_duedate = df_duedate[0].tolist()
    num_order = df_item_oder.shape[1]

    # ประมวลผลแต่ละ order และสร้าง DataFrame
    order_items = [df_item_oder[order][df_item_oder[order] != 0] for order in range(num_order)]
    df_item_pools = [
        df_item_sas_random[df_item_sas_random['location'].isin(order_item)].assign(duedate=list_duedate[order],
        order=order) for order, order_item in
        enumerate(order_items)]

    # รวม DataFrame
    df_item_pool = pd.concat(df_item_pools, ignore_index=True)

    # สร้าง list_order และ list_total_item (ถ้าจำเป็น)
    list_order = [order for order in range(num_order) for _ in range(len(order_items[order]))]
    list_total_item = [item for order_item in order_items for item in order_item.tolist()]

    return df_item_pool, df_item_sas_random
```

รูปที่ ข.1.1 ฟังก์ชันสำหรับอ่านไฟล์ csv เพื่อนำเข้าข้อมูล

```
def sol_from_list_to_arc(sol):
    num_item = len(sol)
    arc_sol = []
    for i in range(num_item - 1):
        arc_sol.append((sol[i], sol[i + 1]))
    return arc_sol
```

รูปที่ ข.1.2 ฟังก์ชันการแปลงคำตอบเป็นคู่อันดับ

```

def cut_arc_sol(arc_sol):
    num_item = len(arc_sol) + 1
    arc_sol_list = [[] for _ in range(num_item)]

    for arc in arc_sol:
        arc_sol_list[arc[0]].append(arc)
        arc_sol_list[arc[1]].append(arc)

    arc_sol_cut = [arc_sol_list[item] for item in range(num_item)]

    return arc_sol_cut

```

รูปที่ ข.1.3 ฟังก์ชันสำหรับการสร้างคู่อันดับที่มีความเกี่ยวข้องกับตำแหน่งนั้นๆ

```

def init_velocity_sol(arc_sol_cut):
    import random
    num_item = len(arc_sol_cut) # นับจำนวน item จากจำนวนสมาชิกของ list arc_sol_cut
    arc_sol_velocity_dict = [{} for _ in range(num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc in arc_sol_cut[item]:
            arc_sol_velocity_dict[item][arc] = round(random.random(), 4)

    return arc_sol_velocity_dict

```

รูปที่ ข.1.4 ฟังก์ชันสำหรับสร้างความเร็ว

```

def coef_times_velocity(coef, arc_sol_velocity_dict):
    num_item = len(arc_sol_velocity_dict)
    coef_times_velocity_dict = [{} for item in range(num_item)]
    # [ {}, {}, {}, ... ]
    for item in range(num_item):
        for arc in arc_sol_velocity_dict[item].keys():
            if coef * arc_sol_velocity_dict[item][arc] > 1:
                coef_times_velocity_dict[item][arc] = 1
            else:
                coef_times_velocity_dict[item][arc] = round(coef * arc_sol_velocity_dict[item][arc], 4)
    return coef_times_velocity_dict

```

รูปที่ ข.1.5 ฟังก์ชันสำหรับการทำสัมประสิทธิ์คูณความเร็ว

```

def position_minus_position(arc_first, arc_second):
    num_item = len(arc_first)
    pos_minus_pos = [[] for item in range(num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc in arc_first[item]:
            if arc not in arc_second[item]:
                pos_minus_pos[item].append(arc)
    return pos_minus_pos

```

รูปที่ ข.1.6 ฟังก์ชันสำหรับการหาผลต่างของตำแหน่งของคู่อันดับ

```

def coef_times_position(c_value, arc_diff):
    import random
    num_item = len(arc_diff)
    coef_times_position_dict = [{} for item in range(num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc in arc_diff[item]:
            coef = c_value * random.random()
            if coef > 1:
                coef = 1
            coef_times_position_dict[item][arc] = round(coef, 3)
    return coef_times_position_dict

```

รูปที่ ข.1.7 ฟังก์ชันสำหรับการนำสัมประสิทธิ์มาคูณกับตำแหน่ง

```

def add_velocity(velocity_first, velocity_second):
    num_item = len(velocity_first)
    added_velocity_dict = [{} for item in range(num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc in velocity_first[item]:
            added_velocity_dict[item][arc] = velocity_first[item][arc]
        for arc in velocity_second[item]:
            if arc in added_velocity_dict[item].keys():
                if velocity_second[item][arc] > added_velocity_dict[item][arc]:
                    added_velocity_dict[item][arc] = velocity_second[item][arc]
            else:
                added_velocity_dict[item][arc] = velocity_second[item][arc]
    return added_velocity_dict

```

รูปที่ ข.1.8 ฟังก์ชันสำหรับการรวมความเร็ว

```

def check_velocity_inconsistency(added_velocity_dict):
    num_item = len(added_velocity_dict)
    import copy
    new_added_velocity_dict = [{arc: prob for arc, prob in added_velocity_dict[item].items()} for item in range(
        num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc_first in added_velocity_dict[item].keys():
            if arc_first in added_velocity_dict[arc_first[0]].keys():
                if added_velocity_dict[item][arc_first] < added_velocity_dict[arc_first[0]][arc_first]:
                    new_added_velocity_dict[item][arc_first] = added_velocity_dict[arc_first[0]][arc_first]
            if arc_first in added_velocity_dict[arc_first[1]].keys():
                if added_velocity_dict[item][arc_first] < added_velocity_dict[arc_first[1]][arc_first]:
                    new_added_velocity_dict[item][arc_first] = added_velocity_dict[arc_first[1]][arc_first]
    return new_added_velocity_dict

```

รูปที่ ข.1.9 ฟังก์ชันสำหรับการปรับความเร็วหรือความน่าจะเป็นให้เท่ากัน

```

def creat_cut_set(added_velocity_dict, alpha):
    num_item = len(added_velocity_dict)
    cut_set = [[] for _ in range(num_item)]
    for item in range(num_item):
        for arc in added_velocity_dict[item].keys():
            if added_velocity_dict[item][arc] >= alpha:
                cut_set[item].append(arc)
    return cut_set

```

รูปที่ ข.1.10 ฟังก์ชันสำหรับการสร้างเซตคัตสรร

```

def select_dest_from_source(source, picked_list, *sets):
    # function ทำหน้าที่ในการเลือก item ที่เราจะเดินเก็บถัดไป (dest) จากตำแหน่งปัจจุบันที่เราอยู่ (source) โดยเราต้องการได้ผลลัพธ์เป็น
    # arc ของ (source,dest) และ picked_list เป็น list ที่เก็บ item ที่เราเดินเก็บไปแล้ว
    import random
    for set in sets:
        new_set = []
        if len(set[source]) > 0:
            for arc in set[source]:
                if arc[1] not in picked_list and arc[0] == source:
                    new_set.append(arc)
            if len(new_set) > 0:
                dest = random.choice(new_set)[1]
                break
    arc_source_dest = (source, dest)
    return dest, arc_source_dest

```

### รูปที่ ข.1.11 ฟังก์ชันสำหรับการเลือกจุดหมายในการสร้างคำตอบ

```

def sol_position_update(cut_set, previous_x, sub_E_list, start_previous_x, start_pbest, start_gbest):
    import random

    num_item = len(cut_set)
    picked_list = []
    picked_list_arc = []

    source = random.choice([start_previous_x, start_pbest, start_gbest, random.choice(range(num_item))])
    picked_list.append(source)

    for item_counter in range(num_item - 1):
        dest, arc_source_dest = select_dest_from_source(source, picked_list, *sets: cut_set, previous_x, sub_E_list)
        source = dest
        picked_list.append(dest)
        picked_list_arc.append(arc_source_dest)

    return picked_list, picked_list_arc

```

### รูปที่ ข.1.12 ฟังก์ชันสำหรับการสร้างคำตอบใหม่

```

def nuptial_dance(solution, attractor):
    size = len(solution)
    # กำหนดประสิทธิภาพการสลับตามขนาดของข้อมูล
    num_swaps = 1 if size <= 20 else int(size / 10) # ขนาดกลางและใหญ่จะมีการสลับมากขึ้น

    for _ in range(num_swaps):
        i = random.randint(a=0, size - 1)
        if solution[i] in attractor:
            j = attractor.index(solution[i])
            if i != j and solution[j] != attractor[j]:
                solution[i], solution[j] = solution[j], solution[i]
                if size <= 20: # สำหรับขนาดเล็ก, ทำการสลับเพียงครั้งเดียว
                    break
    return solution

```

รูปที่ ข.1.13 ฟังก์ชันการเต้นรำของตัวผู้

```

def random_flight(solution):
    size = len(solution)
    if size < 2:
        return solution

    num_swaps = 1 if size <= 20 else int(size / 10) # ปรับจำนวนการสลับตามขนาด

    for _ in range(num_swaps):
        i, j = random.sample(range(size), k=2)
        solution[i], solution[j] = solution[j], solution[i]
        if size <= 20: # สำหรับขนาดเล็ก, ทำการสลับเพียงครั้งเดียว
            break
    return solution

```

รูปที่ ข.1.14 ฟังก์ชันการบินสุ่มของตัวเมีย

```

def gravity_calculation(gmax, gmin, gen, num_gen):
    gravity = gmax - ((gmax - gmin) * gen / num_gen)
    return gravity

```

รูปที่ ข.1.15 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วง

## ข.2 โค้ดการทำงานของแมลงซีปะขาวเชิงเซต

```
def mayfly(name_path_input, num_gen, pop_size, *parameters):
    a1, a2, a3, gmax, gmin, alpha, seed = parameters
    random.seed(seed)
    df_item_pool, df_item_sas_random = read_input(name_path_input)
    num_item = df_item_pool.shape[0]
    half_pop_size = pop_size // 2
    E_all = list(itertools.permutations(range(num_item), r=2))
    sub_E_list = [[arc for arc in E_all if arc[0] == item or arc[1] == item] for item in range(num_item)]
    # สร้าง set ของ item ที่ถือว่าเป็น itemหนัก
    num_item = len(df_item_pool)
    heavy_item_set = set(df_item_pool[df_item_pool['weight'] >= value_heavy].index)
    # Initialize gbest and pbest values for males and females
    gbest_value, gbest_sol, gbest_arc_sol_cut = 100000, [], []
    male_pbest_value, female_pbest_value = [100000] * half_pop_size, [100000] * half_pop_size
    male_pbest_sol, female_pbest_sol = [[] for _ in range(half_pop_size)], [[] for _ in range(half_pop_size)]
    male_pbest_arc_sols, female_pbest_arc_sols = [[] for _ in range(half_pop_size)], [[] for _ in range(half_pop_size)]
    male_pbest_arc_sols_cut, female_pbest_arc_sols_cut = [[] for _ in range(half_pop_size)], [[] for _ in range(
        half_pop_size)]
```

### รูปที่ ข.2.1 ส่วนของการกำหนดพารามิเตอร์และกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

```
def process_mayfly_population(population):
    evaluations = []
    cur_sols = []
    cur_sols_value = []
    cur_arc_sols = []
    arc_sols_cut = []
    velocity_dict = []

    for mayfly in population:
        random.shuffle(mayfly)
        evaluation = evaluate_all_sols(mayfly, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)
        evaluations.append(evaluation)
        cur_sols.append(extract_and_flatten(evaluation))
        cur_sols_value.append(evaluation[1])
        cur_arc_sols.append(sol_from_list_to_arc(cur_sols[-1]))
        arc_sols_cut.append(cut_arc_sol(cur_arc_sols[-1]))
        velocity_dict.append(init_velocity_sol(arc_sols_cut[-1]))

    return evaluations, cur_sols, cur_sols_value, cur_arc_sols, arc_sols_cut, velocity_dict

# Initialize male and female populations
male_mayfly_population = [[i for i in range(num_item)] for _ in range(half_pop_size)]
female_mayfly_population = [[i for i in range(num_item)] for _ in range(half_pop_size)]

# Parallel processing for male and female populations
with concurrent.futures.ThreadPoolExecutor() as executor:
    male_future = executor.submit(process_mayfly_population, male_mayfly_population)
    male_results = male_future.result()
with concurrent.futures.ThreadPoolExecutor() as executor:
    female_future = executor.submit(process_mayfly_population, female_mayfly_population)
    female_results = female_future.result()

male_evaluations, male_cur_sols, male_cur_sols_value, male_cur_arc_sols, male_arc_sols_cut, male_velocity_dict =
    male_results
female_evaluations, female_cur_sols, female_cur_sols_value, female_cur_arc_sols, female_arc_sols_cut,
    female_velocity_dict = female_results
```

### รูปที่ ข.2.2 การสร้างคำตอบเริ่มต้นของแมลงซีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

```

for gen in range(num_gen):
    # ----- Mayfly Male Section -----
    for sol in range(half_pop_size):
        male_current_value = male_cur_sols_value[sol]
        male_current_sol = male_cur_sols[sol]
        male_current_arc_sol = sol_from_list_to_arc(male_current_sol)
        male_current_arc_sol_cut = cut_arc_sol(male_current_arc_sol)
        # Update personal best if current solution is better or equal
        better_than_gbest = False
        if male_current_value <= male_pbest_value[sol]:
            male_pbest_value[sol] = male_current_value
            male_pbest_sol[sol] = male_current_sol[:]
            male_pbest_arc_sols[sol] = [tuple(item) for item in male_current_arc_sol]
            male_pbest_arc_sols_cut[sol] = [tuple(item) for item in male_current_arc_sol_cut]

            # Update global best if current personal best is better
            if male_pbest_value[sol] <= gbest_value:
                gbest_value = male_pbest_value[sol]
                gbest_sol = male_pbest_sol[sol]
                gbest_arc_sol_cut = male_pbest_arc_sols_cut[sol]
                mnew_pos = nuptial_dance(male_cur_sols[sol][:], female_attractor)
                mevaluation = evaluate_all_sols(mnew_pos, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)
                male_cur_sols_value[sol] = mevaluation[1]
                male_cur_sols[sol] = mnew_pos[:]
                male_cur_arc_sols[sol] = sol_from_list_to_arc(mnew_pos[:])
                male_arc_sols_cut[sol] = cut_arc_sol([tuple(item) for item in male_cur_arc_sols[sol]])
                male_velocity_dict[sol] = init_velocity_sol([tuple(item) for item in male_arc_sols_cut[sol]])
                male_each_gen.append(mevaluation[1])
                better_than_gbest = True

```

### รูปที่ ข.2.3 การปรับปรุงความเร็วและคำตอบของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

```

if not better_than_gbest:
    mcoef_velocity = coef_times_velocity(gravity_calculation(gmax, gmin, gen, num_gen), male_velocity_dict[
        sol])
    mpbest_diff = position_minus_position(male_pbest_arc_sols_cut[sol], male_arc_sols_cut[sol])
    mgbest_diff = position_minus_position(gbest_arc_sol_cut, male_arc_sols_cut[sol])
    coef_pbest_diff = coef_times_position(a1, mpbest_diff)
    coef_gbest_diff = coef_times_position(a2, mgbest_diff)
    madded_best_diff = add_velocity(coef_gbest_diff, coef_pbest_diff)
    madded_velocity = add_velocity(mcoef_velocity, madded_best_diff)
    mvelocity_check_incon = check_velocity_inconsistency(madded_velocity)
    mcut_set = creat_cut_set(mvelocity_check_incon, alpha)
    mnew_pos = sol_position_update(mcut_set, male_arc_sols_cut[sol], sub_E_list, male_cur_sols[sol][0],
        male_pbest_sol[sol][0], gbest_sol[0])[0]
    mevaluation = evaluate_all_sols(mnew_pos, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)
    male_cur_sols_value[sol] = mevaluation[1]
    male_cur_sols[sol] = mnew_pos[:]
    male_velocity_dict[sol] = mvelocity_check_incon
    male_each_gen.append(mevaluation[1])

```

### รูปที่ ข.2.3(ต่อ) การปรับปรุงความเร็วและคำตอบของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

```

# ----- Female Mayfly Section -----
female_current_value = female_cur_sols_value[sol]
female_current_sol = female_cur_sols[sol]
female_current_arc_sol = sol_from_list_to_arc(female_current_sol)
female_current_arc_sol_cut = cut_arc_sol(female_current_arc_sol)
# Update personal best if current solution is better or equal
better_than_gbest = False
if female_current_value <= female_pbest_value[sol]:
    female_pbest_value[sol] = female_current_value
    female_pbest_sol[sol] = female_current_sol[:]
    female_pbest_arc_sols[sol] = [tuple(item) for item in female_current_arc_sol]
    female_pbest_arc_sols_cut[sol] = [tuple(item) for item in female_current_arc_sol_cut]
    female_attractor = female_pbest_sol[sol]

# Update global best if current personal best is better
if female_pbest_value[sol] <= gbest_value:
    gbest_value = female_pbest_value[sol]
    gbest_sol = female_pbest_sol[sol]
    gbest_arc_sol_cut = female_pbest_arc_sols_cut[sol]
    fnew_pos = random_flight(female_cur_sols[sol][:])
    fevaluation = evaluate_all_sols(fnew_pos, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)
    female_cur_sols_value[sol] = fevaluation[1]
    female_cur_sols[sol] = fnew_pos[:]
    female_cur_arc_sols[sol] = sol_from_list_to_arc(fnew_pos[:])
    female_arc_sols_cut[sol] = cut_arc_sol([tuple(item) for item in female_cur_arc_sols[sol]])
    female_velocity_dict[sol] = init_velocity_sol([tuple(item) for item in female_arc_sols_cut[sol]])
    female_each_gen.append(fevaluation[1])
    better_than_gbest = True

```

### รูปที่ ข.2.3(ต่อ) การปรับปรุงความเร็วและคำตอบของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

```

if not better_than_gbest:
    fcoef_velocity = coef_times_velocity(gravity_calculation(gmax, gmin, gen, num_gen),
    female_velocity_dict[sol])
    female_diff = position_minus_position(male_arc_sols_cut[sol], female_arc_sols_cut[sol])
    coef_female_diff = coef_times_position(a3, female_diff)
    fadded_velocity = add_velocity(fcoef_velocity, coef_female_diff)
    fvelocity_check_incon = check_velocity_inconsistency(fadded_velocity)
    fcut_set = creat_cut_set(fvelocity_check_incon, alpha)
    fnew_pos = sol_position_update(fcut_set, female_arc_sols_cut[sol], sub_E_list, female_cur_sols[sol][0],
    female_pbest_sol[sol][0], gbest_sol[0])[0]
    fevaluation = evaluate_all_sols(fnew_pos, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)

    female_cur_sols_value[sol] = fevaluation[1]
    female_cur_sols[sol] = fnew_pos[:]
    female_velocity_dict[sol] = fvelocity_check_incon
    female_each_gen.append(fevaluation[1])

    gbest_each_gen.append(gbest_value)
    best_solution = evaluate_all_sols_check(gbest_sol, df_item_pool, heavy_item_set, name_path_input)
    return min(gbest_each_gen), best_solution

```

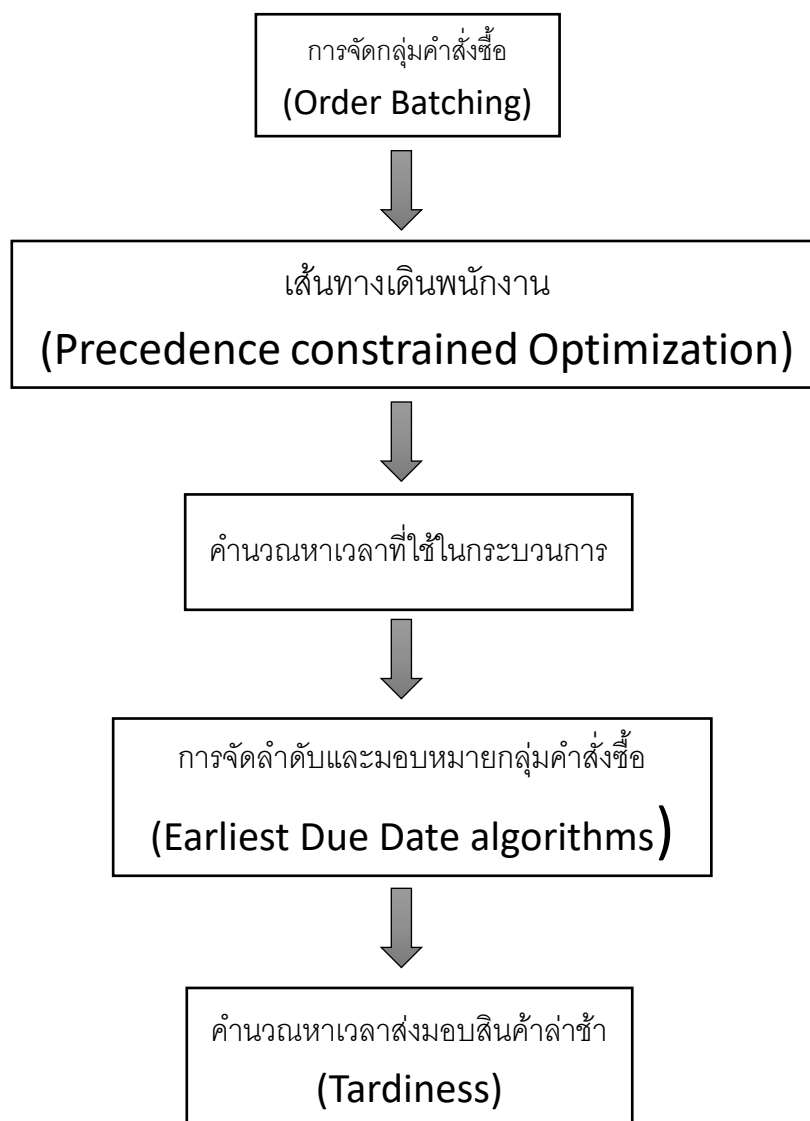
### รูปที่ ข.2.3(ต่อ) การปรับปรุงความเร็วและคำตอบของแมลงชีปะขาวตัวผู้และตัวเมีย

ภาคผนวก ค

Source code สำหรับการประเมินผลค่าคำตอบ  
และการซ่อมคำตอบของวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

### ค. ฟังก์ชันประเมินผล (Evaluation Function)

ฟังก์ชันประเมินผลจะแบ่งขั้นตอนการทำงานของโค้ดดังต่อไปนี้



## ค.1 ฟังก์ชันสำหรับการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ (Order Batching)

```
def batching_A(df_item_poor, list_index_item, *info):
    # จับเวลาการทำงานของกระบวนการ
    start_time = time.time()

    capacity_picker, value_threshold, name_path_input = info

    list_batching_item = []
    list_total_weight_batch = [] # น้ำหนักทั้งหมด พิจารณาสินค้าปัจจุบัน
    num_item = len(df_item_poor) # นับจำนวนสินค้าทั้งหมด

    count_batch = 1 # กำหนดหมายเลข Batch
    df_item_record = pd.DataFrame() # สร้าง Data Frame ไว้บันทึกข้อมูลทั้งหมด
    list_item_in_batch = []
    dataframe_new = []
    while len(list_index_item) != 0:
        total_weight_batch = 0
        list_item_new = []

        df_item = pd.DataFrame()
        #
        for i in range(0, num_item):
            if i >= len(list_index_item):
                break

            item_current = list_index_item[i]
            data_item_current = df_item_poor.iloc[[list_index_item[i]]]
            weight_item_current = data_item_current['weight'].values
            list_item_new.append(item_current)

            ''' ทำ จนกว่า น้ำหนักรวมสินค้าใน batch >= capacity_picker '''
            total_weight_batch += weight_item_current

            ''' check : capacity condition !!! '''
            if total_weight_batch > capacity_picker:
                list_item_new.remove(item_current)
                break
```

รูปที่ ค.1.1 ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ A

```

''' Check category condition ของสินค้า
ตัวอย่าง :      food = 1
               nonfood = 0'''
if weight_item_current >= value_item_heavy:
    ''' *** check : threshold condition !!!
        คำถาม : ต้องชวบน้ำหนักตัวเองไปคิดเลยไหม หรือไม่ ????' '''
    if total_weight_batch > value_threshold:
        list_item_new.remove(item_current)
        df_item_poor_drop = df_item[df_item['location'] == item_current].index.values
        df_item = df_item.drop(df_item_poor_drop)
        break

'''สร้าง dataframe each batch '''
df_item = pd.concat([df_item, data_item_current])
dataframe_new = df_item.sort_values(by=['category', 'self_capacity'], ascending=[True, False])

list_item_new = dataframe_new.index.values.tolist()
list_weight_of_self_capacity_current = []
list_self_capacity = []

''' *** check : self capacity condition of each item !!! '''
for m in range(0, len(dataframe_new)):

    if m == 0:

        list_self_capacity.append(capacity_picker)
        weight = dataframe_new['weight'].values[m]
        total_weight_dataframe_new = weight
        list_weight_of_self_capacity_current.append(total_weight_dataframe_new)

    else:

        list_self_capacity.append(dataframe_new['self_capacity'].values[m - 1].sum())
        total_weight_dataframe_new = dataframe_new['weight'].values[m:len(dataframe_new)].sum()
        list_weight_of_self_capacity_current.append(total_weight_dataframe_new)

```

รูปที่ ค.1.1 (ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ A

```

''' *** check : self capacity condition of each item !!!
        และ ลบ item ที่ถูกใช้แล้วออกจาก solution space'''
for m in range(0, len(dataframe_new)):

    if list_weight_of_self_capacity_current[m] > list_self_capacity[m]:
        list_item_new.remove(item_current)
        df_item_poor_drop = df_item.index[-1]
        df_item = df_item.drop(df_item_poor_drop)
        break

```

รูปที่ ค.1.1 (ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ A

```

df_item = df_item.sort_values(by=['category', 'self_capacity'], ascending=[True, False])
df_item.loc[:, 'batch'] = count_batch
list_item = []

for i in range(0, len(df_item)):
    location = df_item['location'].values[i]
    list_item.append(location)

list_batching_item.append(list_item)
df_item_record = pd.concat(objs=[df_item_record, df_item], ignore_index=True)
num_columns = len(df_item_record.columns)
list_zero = [0 for x in range(0, num_columns)]
df_item_record.loc[len(df_item_record.index)] = list_zero
total_weight_save = dataframe_new['weight'].values[0:len(list_item_new) + 1].sum()
list_total_weight_batch.append(total_weight_save)

list_item_in_batch.append(list_item_new)
list_index_item = [ele for ele in list_index_item if ele not in list_item_new]

''' list item poor = [ ]'''
if not list_index_item:
    break

count_batch += 1

end_time = time.time()
total_time_run = end_time - start_time
total_time_run = format(total_time_run, '.3f')
# print('total time run :', total_time_run, 'seconds')

return list_batching_item, df_item_record, list_item_in_batch

```

รูปที่ ค.1.1 (ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ A

```

def batching_B(df_item_poor, list_index_item, *info):
    '''Input : list_index_item = [3, 5, 7, 1, 9, 8, 6, 2, 0, 4]
    : df_item_poor =
    '''
    index location item category weight self_capacity due_date order
    52 731 314 1 5 19 10.5417 19
    ...

    ''' ข้อมูลภายนอก '''
    # ความสามารถในการหยิบสินค้าของพนักงาน (capacity_picker)
    # ความสามารถในการรับสินค้านักของอุปกรณ์หยิบสินค้า (value_threshold)
    # ชื่อไฟล์โจทย์ในการทดลอง (name_path_input)
    capacity_picker, value_threshold, name_path_input = info

    ''' ค่ากำหนดสินค้าเป็นสินค้านักหรือสินค้าเบา (Item ที่มีน้ำหนักมากกว่า 40 เป็นสินค้านัก)
    (value_heavy = 40) '''

    df_item_record = pd.DataFrame() # สร้างตัวแปร Dataframe
    num_item = len(df_item_poor) # นับจำนวนสินค้าทั้งหมด

    list_batching_item, list_item_in_batch = [], []
    # ทิวารณาทีละ item
    for i in range(num_item):
        '''Index สินค้าที่ถูกพิจารณาปัจจุบัน '''
        item_current = list_index_item[i]
        '''ข้อมูลสินค้าปัจจุบัน
        EX : index location item category weight self_capacity due_date order
            52 731 314 1 5 19 10.5417 19'''
        data_item_current = df_item_poor.iloc[[list_index_item[i]]]
        ''' น้ำหนักสินค้าปัจจุบัน '''
        weight_item_current = data_item_current['weight'].values
        data_item_current = data_item_current.copy()
        data_item_current.loc[item_current, 'batch'] = 1
        df_item_record = pd.concat([df_item_record, data_item_current]).astype(int)

```

### รูปที่ ค.1.2 ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ B

```

while True:
    ''' ตรวจสอบ 'จำนวน Batch' ที่มีอยู่ปัจจุบันทั้งหมด มีกี่ Batch
    ถ้า สินค้า (i) มากกว่า 1 ไปเช็ค df_item_record แลวดสุดท้าย '''
    count_batch = df_item_record['batch'].values[-1]
    list_weight_each_batch, list_batch_remain = [], []

    for j in range(1, int(count_batch) + 1):
        conditions = 0
        '''ตรวจสอบ น้ำหนัก Item รวมของแต่ละ Batch '''
        weight_each_batch = df_item_record.loc[df_item_record['batch'] == j, 'weight'].sum()
        list_weight_each_batch.append(weight_each_batch)

        ''' ใส่ Item ลงไปใน Batch น้ำหนัก มากเกิน ความสามารถในการหยิบของพนักงานหรือไหม'''
        if weight_each_batch > capacity_picker:
            df_item_record.loc[item_current, 'batch'] = j + 1
            ''' ละเมิดเงื่อนไข '''
            conditions += 1
            continue

```

## รูปที่ ค.1.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ B

```

'''เงื่อนไขที่ 1 คำนวณน้ำหนักสินค้าถ้าสินค้าปัจจุบันเป็นสินค้าหนัก(Heavy item) ในปัจจุบัน
และน้ำหนักทั้งหมดใน Batch > ค่าความสามารถในการรับสินค้าของอุปกรณ์ (Threshold) ให้สินค้าปัจจุบันไปอยู่ Batch ใหม่'''
if weight_item_current >= value_item_heavy:
    ''' รวมน้ำหนักของสินค้าหนักใน batch '''
    df_item_batch_current = df_item_record.loc[df_item_record['batch'] == j]
    weight_item_heavy = df_item_batch_current.loc[
        df_item_batch_current['weight'] >= value_heavy, 'weight'].sum()
    if weight_item_heavy > value_threshold:
        df_item_record.loc[item_current, 'batch'] = j + 1
        ''' ละเอียดเงื่อนไข '''
        conditions += 1
        continue

```

## รูปที่ ค.1.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ B

```

'''เงื่อนไขที่ 2 ด้านหมวดหมู่สินค้า --> จัดเรียงสินค้าตามหมวดหมู่สินค้า'''
'''สร้าง df_batch เพื่อเช็คเงื่อนไข batch โดยการคัดลอกข้อมูล item เฉพาะ Batch ที่ j '''
df_batch = df_item_record[df_item_record['batch'] == j].copy()
'''จัดเรียงสินค้าใน data frame โดยแบ่งกลุ่มหมวดหมู่ (category) 0 = Nonfood, 1 = food
และแต่ละกลุ่ม เรียงตามความสามารถในการรับน้ำหนักมากไปหาน้ำหนักน้อย'''
df_batch = df_batch.sort_values(by=['category', 'self_capacity'], ascending=[True, False])
''' เงื่อนไขที่ 3 ด้านความแปรยะ -->
Ex. list self capacity ของแต่ละ Item เช่น '''
list_self_capacity, list_total_weight_item_before = [], []
num_i = len(df_batch)
for item in range(num_i):
    if item == 0:
        self_capacity_item_before = capacity_picker
        list_self_capacity.append(self_capacity_item_before)
        '''น้ำหนักรวมที่ item[0] จนถึง item[item-num_i] (น้ำหนักรวมจนถึง item ก่อนหน้าที่พิจารณา) '''
        total_weight_item = df_batch['weight'].values[:num_i - item].sum()
        list_total_weight_item_before.append(total_weight_item)
    else:
        self_capacity_item_before = df_batch['self_capacity'].values[item - 1]
        list_self_capacity.append(self_capacity_item_before)
        '''น้ำหนักรวมที่ item[0] จนถึง item[item-num_i] (น้ำหนักรวมจนถึง item ก่อนหน้าที่พิจารณา) '''
        total_weight_item = df_batch['weight'].values[item:num_i].sum()
        list_total_weight_item_before.append(total_weight_item)
''' นำ list ที่ถูกบันทึกไว้ มาเปรียบเทียบ
Ex. list self capacity ของแต่ละ Item เช่น
list_self_capacity = [100, 39, 21, 18, 15, 46, 29]
list_total_weight_item_before = [28, 27, 20, 10, 8, 6, 3] '''
if list_total_weight_item_before[item] > list_self_capacity[item]:
    '''ถ้าละเอียดเงื่อนไขทุก Batch และถ้า batch นั้นเป็น batch สุดท้าย ให้ Item นั้น อยู่ใน batch เปิดใหม่'''
    df_item_record.loc[item_current, 'batch'] = j + 1
    conditions += 1
    continue

```

## รูปที่ ค.1.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ B

```

''' ถ้าไม่มีละเมิดเงื่อนไข ทำการพิจารณา item ถัดไป '''
if conditions == 0:
    break

df_item_record = df_item_record.sort_values(by=['batch', 'category', 'self_capacity'],
                                             ascending=[True, False, True])

'''แปลงข้อมูลใน Data frame ลง list'''
num_batch = df_item_record['batch'].iloc[-1]
for run in range(1, int(num_batch) + 1):
    marks_list = df_item_record[df_item_record['batch'] == run]
    list_batching_item.append(marks_list['location'].values.tolist())
    list_item_in_batch.append(marks_list.index.tolist())

''' Output Function
list_batching_item = [[242, 776, 870, 534, 526, 109, 806, 895], [871, 122]]
list_item_in_batch = [[8, 3, 9, 1, 6, 7, 4, 5], [2, 0]]'''
return list_batching_item, df_item_record, list_item_in_batch

```

รูปที่ ค.1.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับสร้างกลุ่มคำสั่งซื้อ B

```

def bisect_left_desc(a, x, lo=0, hi=None):
    if hi is None: hi = len(a)
    while lo < hi:
        mid = (lo + hi) // 2
        if a[mid] > x:
            lo = mid + 1
        else:
            hi = mid
    return lo

```

รูปที่ ค.1.3 คำนวณเส้นทางซ้าย

```
def bisect_right_desc(a, x, lo=0, hi=None):
    if hi is None: hi = len(a)
    while lo < hi:
        mid = (lo + hi) // 2
        if a[mid] >= x:
            lo = mid + 1
        else:
            hi = mid
    return lo
```

รูปที่ ค.1.4 คำนวณเส้นทางขวา

```
def batching_open(df_item_pool, list_index_item, *info): # ย้ายสิ่งใส่ heavy_item_set ตอนเรียกใช้

    '''Input : list_index_item = [3, 5, 7, 1, 9, 8, 6, 2, 0, 4]
    : df_item_pool =
    index location item category weight self_capacity due_date order
    52 731 314 1 5 19 10.5417 19
    ...
    '''
    ''' ข้อมูลภายนอก '''
    # ความสามารถในการรับสินค้าของพนักงาน (capacity_picker)
    # ความสามารถในการรับสินค้าของอุปกรณ์เก็บสินค้า (value_threshold)
    # ชื่อโฟลเดอร์ในการทดลอง (name_path_input)
    capacity_picker, value_threshold, heavy_item_set, name_path_input = info

    ''' กำหนดสินค้าว่าเป็นสินค้าหนักหรือสินค้าเบา (Item ที่มีน้ำหนักมากกว่า 40 เป็นสินค้าหนัก)
    (value_heavy = 40) '''

    df_item_record = pd.DataFrame() # สร้างตัวแปร Dateframe
    num_item = len(df_item_pool) # นับจำนวนสินค้าทั้งหมด
    count_batch = 1
    weight_each_batch = [0]
    weight_heavy_each_batch = [0]
    list_batch_by_index_category = [[0], [0]] # [[19,32][14]]
    list_batch_by_self_cap_index_category = [[], []] # [[(100,19),(80,32)],[70,14]]
    list_batch_by_total_weight_above = [[0], [0]] # [[90, 70], [50]]
    #list_index_item = [13, 12, 22, 41, 9, 23, 28, 5, 32, 11, 42, 38, 21, 6, 43, 45, 40, 17, 2, 33, 15, 34, 30, 35, 36,
    4, 20, 16, 18, 14, 27, 49, 3, 29, 24, 0, 7, 47, 46, 31, 37, 19, 44, 39, 26, 1, 48, 8, 10, 25]
    #list_index_item = [8, 15, 18, 12, 1, 11, 16, 14, 19, 4, 5, 13, 10, 9, 0, 6, 7, 3, 17, 2]
    #print(f'list_index_item = {list_index_item}')
    # พิจารณาวิธีใส่ item, num_item
```

รูปที่ ค.1.5 ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

for i in range(num_item):
    '''Index สินค้าที่อุกพิจารณาปัจจุบัน '''
    item_current = list_index_item[i]
    # print(f'-----')
    # print(f'item_current = {item_current}')
    '''ข้อมูลสินค้าปัจจุบัน'''
    EX :      index  location  item      category  weight  self_capacity  due_date  order
           52      731      314         1         5         19         10.5417  19'''
    data_item_current = df_item_pool.iloc[[item_current]]
    # print(data_item_current)
    '''น้ำหนักสินค้าปัจจุบัน '''
    weight_item = data_item_current['weight'].values
    weight_item_current = weight_item[0]

    current_batch = 1

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

while True:
    for j in range(0, int(count_batch)):
        conditions = 0
        sum_weight_c = 0
        for i in range(2):
            for item in list_batch_by_self_cap_index_category[j][i]:
                sum_weight_c = sum_weight_c + df_item_pool.iloc[item[1]]['weight']

            if sum_weight_c + weight_item_current > capacity_picker:
                conditions = 1
                continue

            if df_item_pool.iloc[item_current]['category'] == 0:
                sum_weight_heavy = 0
                for item in list_batch_by_self_cap_index_category[j][0]:
                    sum_weight_heavy = sum_weight_heavy + df_item_pool.iloc[item[1]]['weight']

                if sum_weight_heavy + weight_item_current > value_item_heavy:
                    conditions = 1
                    continue

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

# --> สินค้าเป็น Non food
if data_item_current['category'].values == 0:
    #print(f'-- Non Food --')
    # ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก Item ปัจจุบัน
    values_self_capacity = data_item_current['self_capacity'].values
    insert_pos = bisect_left_desc(list_batch_by_self_cap_index_category[j][0],
                                x: (data_item_current['self_capacity'].values, item_current))
    # บันทึกข้อมูลลง list [(ความสามารถในการรับน้ำหนัก, Index Item), [] ; ตัวอย่าง [[[100,19),(80,32)], [70,14]]]
    list_batch_by_self_cap_index_category[j][0].insert(insert_pos,
                                                       __object: (values_self_capacity[0], item_current))

    new_list_total_weight_above = [list_batch_by_total_weight_above[j][b][:] for b in range(len(
        list_batch_by_total_weight_above[j]))]

    if (insert_pos < (len(list_batch_by_total_weight_above[j][0]))):
        weight_above_new_item = new_list_total_weight_above[0][insert_pos] + df_item_pool.iloc[
            list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][insert_pos][1]]['weight']
    else:
        weight_above_new_item = new_list_total_weight_above[1][0] + df_item_pool.iloc[
            list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][insert_pos][1]]['weight']

    new_list_total_weight_above[0].insert(insert_pos, weight_above_new_item)

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

# Update น้ำหนัก กลุ่ม Non Food
for pos in range(insert_pos):
    new_list_total_weight_above[0][pos] += weight_item_current

for pos in range(insert_pos+1):
    if pos == insert_pos+1:
        if (new_list_total_weight_above[0][pos]) > \
            list_batch_by_self_cap_index_category[j][1][pos][0]:
            del list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][insert_pos]
            conditions = 1
            break
    else:
        if (new_list_total_weight_above[0][pos+1]) > \
            list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][pos][0]:
            del list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][insert_pos]
            conditions = 1
            break

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

#--> สิ้นค่าเป็น food
else:
    values_self_capacity = data_item_current['self_capacity'].values
    # ตำแหน่งที่ต้องการแทรก
    insert_pos = bisect_left_desc(list_batch_by_self_cap_index_category[j][1],
                                x: (data_item_current['self_capacity'].values, item_current))
    list_batch_by_self_cap_index_category[j][1].insert(insert_pos, _object: (values_self_capacity[0],
    item_current))

    new_list_total_weight_above = [list_batch_by_total_weight_above[j][b][:] for b in
    range(len(list_batch_by_total_weight_above[j]))]

    #print(f'Food; new_list_total_weight_above = {new_list_total_weight_above}')
    if (insert_pos < (len(list_batch_by_total_weight_above[j][1]))):
        weight_above_new_item = new_list_total_weight_above[1][insert_pos] + \
        df_item_pool.iloc[list_batch_by_self_cap_index_category[j][1][
        insert_pos][1]]['weight']
    else:
        weight_above_new_item = 0
        new_list_total_weight_above[1].insert(insert_pos, weight_above_new_item)
        # น้ำหนักกลุ่ม Non Food
        for pos in range(len(list_batch_by_self_cap_index_category[j][0])+1):
            #print(f'pos - {pos}')
            new_list_total_weight_above[0][pos] += weight_item_current
        # น้ำหนักกลุ่ม Food
        for pos in range(0, insert_pos):
            new_list_total_weight_above[1][pos] += weight_item_current

        for pos in range(len(list_batch_by_self_cap_index_category[j][0])):
            if (new_list_total_weight_above[0][pos+1] > \
            list_batch_by_self_cap_index_category[j][0][pos][0]):
                del list_batch_by_self_cap_index_category[j][1][insert_pos]
                #print(f' ++ ความเบี่ยง non food ใน food ++++')
                #print(f'ละเมิด non food')
                conditions = 1
                break

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

if conditions:
    continue

if not conditions: # ถ้า conditons เป็น 0
    weight_each_batch[j] += weight_item_current
    if item_current in heavy_item_set:
        weight_heavy_each_batch[j] += weight_item_current

    if data_item_current['category'].values == 0: # non_food
        list_batch_by_index_category[j][0].insert(insert_pos, item_current)
    else: # food
        list_batch_by_index_category[j][1].insert(insert_pos, item_current)
    list_batch_by_total_weight_above[j] = new_list_total_weight_above
    break

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

if conditions:
    count_batch += 1
    if data_item_current['category'].values == 0:
        values_self_capacity = data_item_current['self_capacity'].values
        list_batch_by_index_category.append([item_current, []])
        list_batch_by_self_cap_index_category.append([(values_self_capacity[0], item_current), []])
        list_batch_by_total_weight_above.append([weight_item_current, 0], [0])
    else:
        values_self_capacity = data_item_current['self_capacity'].values
        list_batch_by_index_category.append([], [item_current])
        list_batch_by_self_cap_index_category.append(
            [], [(values_self_capacity[0], item_current)])
        list_batch_by_total_weight_above.append([weight_item_current], [weight_item_current, 0])

    weight_each_batch.append(weight_item_current)
    if item_current in heavy_item_set:
        weight_heavy_each_batch.append(weight_item_current)
    else:
        weight_heavy_each_batch.append(0)
    break

if not conditions:
    break

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

list_item_in_batch = []
num_batch = len(list_batch_by_self_cap_index_category)
for batch in range(num_batch):
    item = []
    for f in range(len(list_batch_by_self_cap_index_category[batch])):
        for index in list_batch_by_self_cap_index_category[batch][f]:
            item.append(index[1])
    list_item_in_batch.append(item)

#From Aj Pop
list_batching_location = [[] for _ in range(len(list_item_in_batch))]
list_to_create_df_item_record = []
list_of_indices = []
for run_batch in range(len(list_item_in_batch)):
    for run_index in range(len(list_item_in_batch[run_batch])):
        list_batching_location[run_batch].append(df_item_pool.loc[list_item_in_batch[run_batch][run_index],
            'location'])
        new_index = df_item_pool.iloc[list_item_in_batch[run_batch][run_index]].name
        new_row = df_item_pool.iloc[list_item_in_batch[run_batch][run_index]].tolist() + [int(run_batch+1)]
        #new_row = list_item_in_batch[run_batch][run_index].tolist() + [int(run_batch+1)]
        list_to_create_df_item_record.append(new_row)
        list_of_indices.append(new_index)

columns = ['location', 'item', 'category', 'weight', 'self_capacity', 'duedate', 'order', 'batch']
df_item_record = pd.DataFrame(list_to_create_df_item_record, columns=columns, index=list_of_indices)
df_item_record = df_item_record.astype({'location': int, 'item': int, 'category': int, 'order': int})

return list_batching_location, df_item_record, list_item_in_batch

```

รูปที่ ค.1.5(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการเปิดกลุ่มคำสั่งซื้อใหม่

```

def check_feasibility(list_batch_check,df_item_check,capacity_picker):
    num_batch=len(list_batch_check)
    for batch in range(num_batch):# เช็ค Capacity_picker แต่ละ Batch
        sum_w = 0
        for item in list_batch_check[batch]:
            sum_w = sum_w + df_item_check.iloc[item]['weight']
        if sum_w > capacity_picker:
            print(f'CHECK --> Batch No. {batch}; Capacity_Error ')

    for batch in range(num_batch):# เช็ค category แต่ละ Batch
        list_category = []
        for item in list_batch_check[batch]:
            list_category.append(df_item_check.iloc[item]['category'])
        for c in range(len(list_category)-1):
            if list_category[c] > list_category[c+1]:
                print(f'CHECK --> Batch No. {batch}; Category_Error ')
                return False

    for batch in range(num_batch): # เช็ค value_Heavy ของ Item แต่ละ Batch
        sum_heavy = 0
        for item in list_batch_check[batch]:
            if df_item_check.iloc[item]['weight'] > value_heavy:
                sum_heavy = sum_heavy + df_item_check.iloc[item]['weight']
        if sum_heavy > value_item_heavy:
            print(f'CHECK --> Batch No. {batch}; Value Heavy_Error ')
            return False

```

รูปที่ ค.1.6 ฟังก์ชันสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

```

for batch in range(num_batch): #เช็ค Self Capacity แต่ละ Batch
    for i in range(len(list_batch_check[batch])):
        sum_weight = 0
        for item in list_batch_check[batch][i+1:]:
            sum_weight = sum_weight + df_item_check.iloc[item]['weight']
        self_item_cru = df_item_check.iloc[list_batch_check[batch][i]]['self_capacity']
        if self_item_cru < sum_weight:
            print(f'CHECK --> Batch No. {batch}, Item No. {list_batch_check[batch][i]} ; Self Capacity_Error ')
            return False
    return
new *
Codiumate: Test this function
def end():
    return

```

รูปที่ ค.1.6(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ

## ค.2 เส้นทางเดินพนักงาน (Precedence constrained Optimization)

```
def slot_aisle(aisle, each_aisle_item):
    ''' Set location number for each aisle with the number of aisles and the number of location in an aisle'''
    slot = []
    for i in range(aisle):
        min = i * each_aisle_item + 1
        max = (i + 1) * each_aisle_item
        slot.append((min, max))
    return slot
```

รูปที่ ค.2.1 ฟังก์ชันสำหรับกำหนดจำนวนของเส้นทางเดิน

```
def precedence_constrained_routing(item_list, *info):
    aisle, each_aisle_item, rack_x, rack_y, aisle_x, enter_aisle, distance_y = info
    cross_aisle = (rack_x * 2) + aisle_x
    slot = slot_aisle(aisle, each_aisle_item) # Set location in aisle

    # sort item list
    sorted_item_list = item_list # sorted(item_list)
    item_aisle = []

    for i in range(len(sorted_item_list)):
        for j in range(aisle):
            if sorted_item_list[i] >= slot[j][0] and sorted_item_list[i] <= slot[j][1]:
                item_aisle.append(j)

    item_each_aisle_sorted = []
    for i in range(len(sorted_item_list)):
        item_each_aisle_sorted.append([])

    a = 0
    for i in range(0, len(sorted_item_list)):
        if item_aisle[i - 1] == item_aisle[i]:
            item_each_aisle_sorted[a - 1].append(sorted_item_list[i])
        else:
            item_each_aisle_sorted[a].append(sorted_item_list[i])
            a += 1

    travel_aisle = []
    for i in range(0, len(item_aisle)):
        if i == 0:
            travel_aisle.append(item_aisle[i])
        elif item_aisle[i - 1] == item_aisle[i]:
            pass
        else:
            travel_aisle.append(item_aisle[i])
```

รูปที่ ค.2.2 ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

```

item_each_aisle_test = []
for i in range(0, len(item_each_aisle_sorted)):
    if item_each_aisle_sorted[i] != []:
        item_each_aisle_test.append(item_each_aisle_sorted[i])

total_distance = 0
total_distance += distance_y
total_distance += travel_aisle[0] * cross_aisle
cur_aisle = travel_aisle[0]

list_routing = []
La_cur, Lb_cur = [], []
a = 'a' + str(travel_aisle[0])
b = 'b' + str(travel_aisle[0])
list_routing.append(b)
cLb_cur = total_distance
cLb_cur += enter_aisle
cLb_cur += rack_y / 2
cur_pos = slot[travel_aisle[0]][1]

item = 0
for i in item_each_aisle_test[item]:
    cLb_cur += ((int(abs(cur_pos - i) / 2 + 0.5) * rack_y) if i % 2 == 0 else (int(abs(
        cur_pos - i) / 2) * rack_y)) + aisle_x
    cur_pos = i
cLa_cur = cLb_cur

```

รูปที่ ค.2.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

```

'''กลับ Depot'''
if len(item_each_aisle_test) == 1:
    # Calculate Lb_cur
    cLb_cur += int(abs(slot[travel_aisle[0]][1] - cur_pos) / 2) * rack_y
    cLb_cur += rack_y / 2
    cLb_cur += enter_aisle

    total_distance = cLb_cur
    total_distance += travel_aisle[0] * cross_aisle # Fixed on 26 Jul
    total_distance += distance_y

    picker_route = Lb_cur
    picker_route.append('depot')
    return total_distance

```

รูปที่ ค.2.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

```

item += 1
for i in travel_aisle[1:]:

    cur_aisle_prv = cur_aisle
    cur_aisle = i
    clb_cur += int(abs(slot[cur_aisle_prv][1] - cur_pos) / 2) * rack_y
    clb_cur += rack_y / 2
    clb_cur += enter_aisle

    '''ช่องทางเดินถัดไป'''
    cla_cur += int(abs(slot[cur_aisle_prv][0] - cur_pos) / 2) * rack_y
    cla_cur += enter_aisle
    cla_cur += rack_y / 2
    a = 'a' + str(i)
    b = 'b' + str(i)

    #print(f'travel_aisle = {i}, {item_each_aisle_test[item]}')
    distance_between_aisle = abs(cur_aisle - cur_aisle_prv) * cross_aisle
    la_prv = la_cur[:]
    lb_prv = lb_cur[:]
    cla_prv = cla_cur
    clb_prv = clb_cur
    clb_cur = clb_prv
    clb_cur += distance_between_aisle
    clb_cur += enter_aisle
    clb_cur += rack_y / 2
    cur_pos = slot[i][1]

    for j in item_each_aisle_test[item]:
        clb_cur += ((int(abs(cur_pos - j) / 2 + 0.5) * rack_y) if j % 2 == 0 else (int(abs(
            cur_pos - j) / 2) * rack_y)) + aisle_x

    cur_pos = j

```

### รูปที่ ค.2.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

```

cla_cur = cla_prv
cla_cur += distance_between_aisle
cla_cur += enter_aisle
cla_cur += rack_y / 2
cur_pos = slot[i][0]
for j in item_each_aisle_test[item]:
    cla_cur += ((int(abs(cur_pos - j) / 2) * rack_y) if j % 2 == 0 else (int(abs(
        cur_pos - j) / 2 + 0.5) * rack_y)) + aisle_x
    cur_pos = j

if cla_cur < clb_cur:
    list_routing.append(a)
    cla_cur = cla_cur
    clb_cur = cla_cur

else:
    list_routing.append(b)
    cla_cur = clb_cur
    clb_cur = clb_cur

item += 1

```

### รูปที่ ค.2.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

```

# Calculate the total distance at the last line
cur_aisle_prv = cur_pos
cur_pos = slot[cur_aisle][1]
total_distance = cLb_cur
total_distance += int(abs(cur_aisle_prv - cur_pos) / 2) * rack_y

total_distance += enter_aisle
total_distance += rack_y / 2

distance = int(cur_aisle) * cross_aisle
total_distance += int(cur_aisle) * cross_aisle
total_distance += distance_y

list_routing.append('depot')
picker_route = list_routing

return total_distance

```

รูปที่ ค.2.2(ต่อ) ฟังก์ชันสำหรับกำหนดเส้นทางเดินพนักงาน

### ค.3 คำนวณหาเวลาที่ใช้ในกระบวนการ

```

def calculate_completion_time(list_distance_batch, number_item_each_batch, *info):
    setup_time, picking_and_searching_time, speed_picker, sorting_time = info
    processing_time = setup_time + ((picking_and_searching_time/60)*number_item_each_batch)+(
        list_distance_batch/speed_picker) + (3*number_item_each_batch)

    return processing_time

list_process_time_picker = []
for i in range(0, num_picker):
    k = 0
    time_picker = 0
    process_time_picker = []
    for j in list_sequencing_batch[i]:
        completion_time = float(completion_time_batch[j])
        completion_time = round(completion_time, 3)
        time_picker += completion_time
        process_time_picker.append(round(time_picker, 3))
        k += 1
    list_process_time_picker.append(process_time_picker)

return list_process_time_picker

```

รูปที่ ค.3 ฟังก์ชันสำหรับการคำนวณเวลาเสร็จสิ้นกระบวนการ

## ค.4 การจัดลำดับและมอบหมายกลุ่มคำสั่งซื้อ (Earliest Due Date algorithms)

```
def average_dua_date(num_batch,df_item_poor):
    '''Step 1 : calculate average dua date each Batch [...คำนวณหาค่าเฉลี่ยกำหนดวันเวลาส่งมอบสินค้าของแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อ...] '''
    list_average_dua_date_each_batch = []
    list_process_time = []
    for i in range(1, num_batch+1):
        df_batch = df_item_poor[df_item_poor['batch'] == i]
        average_dua_date = float(format(sum(df_batch['duedate']/len(df_batch)),'.3f'))
        '''add ค่าเฉลี่ย due date ลงในตาราง'''
        df_item_poor.loc[df_item_poor['batch'] == i, 'AverageDuaDate'] = average_dua_date
        list_average_dua_date_each_batch.append(average_dua_date)

        process_time = df_batch['process_time'].max()
        list_process_time.append(process_time)

    return list_average_dua_date_each_batch, list_process_time
```

รูปที่ ค.4.1 ฟังก์ชันสำหรับการจัดส่งเฉลี่ย

```
def ESDR_algorithms(df_item_pool_new, num_picker):
    ''' จำนวน Batch ทั้งหมด '''
    num_batch = df_item_pool_new['batch'].max()
    ''' จำนวน order ทั้งหมด '''
    num_order = df_item_pool_new['order'].max()

    ''' จำนวน item ทั้งหมด '''
    num_item = len(df_item_pool_new)
    df_item_pool = df_item_pool_new.drop(df_item_pool_new[df_item_pool_new['batch'] == 0].index)
    df_item_pool.reset_index(inplace=True)
    df_item_pool = df_item_pool.drop(['index'], axis=1)

    '''Step 1 : calculate average dua date each Batch [...คำนวณหาค่าเฉลี่ยกำหนดวันเวลาส่งมอบสินค้าของแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อ...] '''
    list_average_dua_date_each_batch, list_process_time = average_dua_date(num_batch, df_item_pool)

    ''' sequencing and assignment batch to picker '''
    '''calculate tardiness of each order'''


|    | location | item | category | ... | AverageDuaDate | CompletionTime | TardinessOrder |
|----|----------|------|----------|-----|----------------|----------------|----------------|
| 44 | 122      | 254  | 1        | ... | 92.875         | 57.667         | 102.709        |
| 38 | 871      | 716  | 0        | ... | 115.542        | 80.133         | 102.709        |
| 24 | 534      | 508  | 0        | ... | 117.542        | 95.833         | 102.709        |



```

    list_picker = [[] for _ in range(num_picker)]
    list_work_time_picker = [[] for _ in range(num_picker)]
    list_batch_remain = [i for i in range(1, num_batch+1)]
    list_completion_time_batch = [[] for _ in range(num_picker)]
```


```

รูปที่ ค.4.2 ฟังก์ชัน ESDR

```

count = 0
for i in range(num_batch):

    min_average_dua_date = min(list_average_dua_date_each_batch)
    index_average_dua_date = list_average_dua_date_each_batch.index(min_average_dua_date)
    batch_min = list_batch_remain[index_average_dua_date]

    # ลบ batch ที่ถูกมอบหมายออกจาก list
    list_batch_remain.pop(index_average_dua_date)
    list_average_dua_date_each_batch.pop(index_average_dua_date)
    if i < num_picker:
        time = 0
    else:
        time = list_completion_time_batch[count][-1]

    # คำนวณ completion_time of batch
    df_order = df_item_pool[df_item_pool['batch'] == batch_min]
    completion_time_batch = calculate_completion_time(df_order, time)
    df_item_pool.loc[df_item_pool['batch'] == batch_min, 'CompletionTime'] = completion_time_batch
    max_process_time = df_order['process_time'].max()
    list_completion_time_batch[count].append(completion_time_batch)

    # assignment batch to picker
    list_picker[count].append(batch_min)
    list_work_time_picker[count].append(max_process_time)

count += 1
if count > num_picker-1:
    count = 0

```

รูปที่ ค.4.2(ต่อ) ฟังก์ชัน EDSR

```

list_tardiness_each_order = []
total_tardiness = 0
for i in range(num_order + 1):
    df_order = df_item_pool[df_item_pool['order'] == i]
    tardiness_each_order = calculate_tardiness_order(df_order, i)
    if tardiness_each_order > 0:
        total_tardiness += tardiness_each_order
        df_item_pool.loc[df_item_pool['order'] == i, 'TardinessOrder'] = tardiness_each_order
        list_tardiness_each_order.append(tardiness_each_order)

return list_picker, list_tardiness_each_order, total_tardiness, df_item_pool

```

รูปที่ ค.4.2(ต่อ) ฟังก์ชัน EDSR

## ค.5 คำนวณหาเวลาส่งมอบสินค้าล่าช้า (Tardiness)

```
def calculate_completion_time(df_order, time):
    max_process_time = df_order['process_time'].max()
    completion_time_batch = max_process_time + time

    return completion_time_batch
```

### รูปที่ ค.5.1 ฟังก์ชันสำหรับคำนวณเวลาเสร็จสิ้น

```
def calculate_tardiness_order(df_order, order_no):
    df_item = df_order[df_order['order'] == order_no]
    max_completion_time = df_item['CompletionTime'].max()
    max_duedate = df_item['duedate'].min()
    tardiness_each_order = round(max_completion_time - max_duedate, 3)
    if tardiness_each_order < 0:
        tardiness_each_order = 0

    return tardiness_each_order
```

### รูปที่ ค.5.2 ฟังก์ชันสำหรับคำนวณเวลาล่าช้ารวม

## ค.6 การเรียกใช้งานฟังก์ชันประเมินผล

```

import csv
import pandas as pd

from calculate_process_time import calculate_completion_time
from batching_item import batching_open
from sequencing_assignment_algorithms import ESDR_algorithms
from routing import precedence_constrained_routing

7 usages new*
Codiumate: Test this function
def evaluate_all_sols_check(new_pop_sol, df_item_poor_batch, heavy_item_set, name_path_input):
    ''' Read File setting parameter : '''
    path_folder = name_path_input + '\\setting_parameter_' + name_path_input + '.csv'
    df_setting_parameter = pd.read_csv(path_folder)

    # Open file
    with open(path_folder) as file_obj:
        # Create reader object by passing the file
        # object to DictReader method
        reader_obj = csv.DictReader(file_obj)
        # Iterate over each row in the csv file
        # using reader object
        for row in reader_obj:
            if row[0] == 'init_method':
                init_method = int(row[1])
            elif row[0] == 'method_batch':
                method_batch = int(row[1])
            elif row[0] == 'method_routing':
                method_routing = int(row[1])
            elif row[0] == 'num_picker':
                num_picker = int(row[1])
            elif row[0] == 'capacity_picker':
                capacity_picker_1 = int(row[1])
            elif row[0] == 'value_threshold':
                value_threshold_1 = int(row[1])
            elif row[0] == 'rack_x':
                rack_x = int(row[1])
            elif row[0] == 'rack_y':

```

รูปที่ ค.6.1 ฟังก์ชันประเมินผลคำตอบจากวิธีแมลงชิปะขาวเชิงเซต

```

elif row[0] == 'aisle_x':
    aisle_x = int(row[1])
elif row[0] == 'enter_aisle':
    enter_aisle = int(row[1])
elif row[0] == 'distance_y':
    distance_y = int(row[1])
elif row[0] == 'block':
    block = int(row[1])
elif row[0] == 'aisle':
    aisle = int(row[1])
elif row[0] == 'depot':
    depot = int(row[1])
elif row[0] == 'each_aisle_item':
    each_aisle_item = int(row[1])
elif row[0] == 'setup_time':
    setup_time = int(row[1])
elif row[0] == 'picking_and_searching_time':
    picking_and_searching_time = int(row[1])
elif row[0] == 'speed_picker':
    speed_picker = int(row[1])
elif row[0] == 'sorting_time':
    sorting_time = int(row[1])

```

```

record_list_batch_PSO = []
record_list_distance = []
list_batching_item_PSO = []
''' Create batching order :'''
list_index = new_pop_sol

if method_batch == 1:

```

รูปที่ ค.6.1(ต่อ) ฟังก์ชันประเมินผลคำตอบจากวิธีแมลงซีปะชาวเชิงเซต

```

list_batching_item_PS0, df_item_poor_new_PS0 = batching_1(df_item_poor_batch, list_index,
                                                    capacity_picker_1,
                                                    value_threshold_1,
                                                    name_path_input)

elif method_batch == 2:

    list_batching_item_PS0, df_item_poor_new_PS0, list_index_item_in_batch = batching_open(df_item_poor_batch,
list_index,
*info: capacity_picker_1, value_threshold_1, heavy_item_set, name_path_input)

list_batching = []
num_batch = len(list_batching_item_PS0)
for i in range(num_batch):
    for j in list_batching_item_PS0[i]:
        list_batching.append(j)

list_batching = sum(list_batching_item_PS0, [])
record_list_batch_PS0.append(list_batching)

''' Create distance order : '''
list_distance_batch = []
for i in range(0, len(list_batching_item_PS0)):
    distance_batch = 0
    item_list = list_batching_item_PS0[i]

```

### รูปที่ ค.6.1(ต่อ) ฟังก์ชันประเมินผลคำตอบจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

```

if method_routing == 1:
    ''' method 1 : s_shape + precedence constrained'''
    distance_each_batch = s_shape_routing(item_list, aisle, each_aisle_item, rack_x, rack_y, aisle_x,
enter_aisle, distance_y)

elif method_routing == 2:
    ''' method 2 : combined + precedence constrained'''
    distance_each_batch = combined_routing(item_list, aisle, each_aisle_item, rack_x, rack_y, aisle_x,
enter_aisle, distance_y)

elif method_routing == 3:
    ''' method 3 : combined + precedence constrained'''
    distance_each_batch = precedence_constrained_routing(item_list, *info: aisle, each_aisle_item, rack_x,
rack_y,
aisle_x, enter_aisle, distance_y)

# print(f'total_distance of batch No. {sol} = {distance_each_batch}!')
list_distance_batch.append(distance_each_batch)
total_distance = sum(list_distance_batch)
'''record distance each solution '''
record_list_distance.append(list_distance_batch)

```

### รูปที่ ค.6.1(ต่อ) ฟังก์ชันประเมินผลคำตอบจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

```

''' จำนวนสินค้าแต่ละกลุ่มคำสั่งซื้อ batch '''
number_item_each_batch = []
for k in range(0, len(list_index_item_in_batch)):
    number_item_each_batch.append(len(list_index_item_in_batch[k]))

''' Calculate process_time each batch : '''
process_time_batch = []
batch = df_item_poor_batch[df_item_poor_batch['location'].isin(list_batching_item_PS0)]

for i in range(0, len(list_distance_batch)):
    process_time = calculate_completion_time(list_distance_batch[i], number_item_each_batch[i],
                                           *info: setup_time, picking_and_searching_time, speed_picker,
                                           sorting_time)
    process_time_batch.append(float(format(process_time, '.3f')))

for j in range(len(list_distance_batch)):
    df_item_poor_new_PS0.loc[df_item_poor_new_PS0['batch'] == j + 1, 'process_time'] = process_time_batch[j]

''' create sequencing and assignment batch to picker by Random
    Example : สุ่มเลือก batch ให้น picker ใดขยับ
    list_batch = [[7, 1, 5, 6], [8, 2, 0, 3, 4]]
    Picker No. 1 = b7=(9.567), b1=(18.800), b5=(11.900), b6=(11.367)
    Picker No. 2 = b8=(9.917), b2=(25.550), b0=(31.067), b3=(31.067), b4=(51.634)
    Picker No. 1 = [b7 (9.567), b1 (28.367), b5 (40.267), b6 (11.367)]
    Picker No. 2 = [b8 (9.917), b2=(35.467), b0=(66.534), b3=(97.601), b4=(149.235)] '''

list_picker, list_tardiness_each_order, total_tardiness, df_item_poor_AS = ESDR_algorithms(df_item_poor_new_PS0,
num_picker)

return list_picker, total_tardiness, list_index_item_in_batch

```

รูปที่ ค.6.1(ต่อ) ฟังก์ชันประเมินผลคำตอบจากวิธีแมลงชีปะขาวเชิงเซต

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ นางสาวชนิสรา หนูกล้วย  
ภูมิลำเนา 97 หมู่ 3 ตำบลโคสี  
อำเภอเมืองบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : chanisaran63@nu.ac.th



ชื่อ นาย สุรเชษฐ์ ชินบุตร  
ภูมิลำเนา 173 หมู่ 1 ตำบลไทยชนะศึก  
อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย  
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : surachetc63@nu.ac.th