การหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

SOLVING THE RESPONSE TIME VARIABILITY PROBLEM WITH SIMULATED ANNEALING

นายนพคุณ บัวจันทร์ รหัส 53361221

นางสาวพีรพรรณ ขันทะบุตร รหัส 53361382

27 มี.ค. 57

1654184

วิ5.

เลขเรียกหนังสือ ส1661 ก 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

ผู้ดำเนินโครงงาน นายนพคุณ บัวจันทร์ รหัส 53361221

นางสาวพีรพรรณ ขันทะบุตร รหัส 53361382

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ดร. สุธนิตย์ พุทธพนม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนพคุณ	บัวจันทร์	รหัส 53361221
	นางสาวพีรพรรณ	ขันทะบุตร	รหัส 53361382
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. ขวัญนิธิ	คำเมือง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2556		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) ซึ่งปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง จะเป็นการศึกษาการจัดลำดับของผลิตภัณฑ์ หรืองานต่างๆ ที่ต้องการ การทำซ้ำให้มีความสม่ำเสมอ โดยจะเป็นการ จัดลำดับก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ หรืองานต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับจำนวน และการทำซ้ำของผลิตภัณฑ์ หรืองานต่างๆ เพื่อช่วยในการกำจัดงานที่คั่งค้างในกระบวนการต่างๆ ซึ่งโครงงานนี้จะใช้วิธีการค้นหาคำตอบ วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) โดยวิธีการอบอ่อนจำลอง

ในการดำเนินโครงงานจะเริ่มจากการศึกษาวิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งวิธีการอบอ่อนจำลองจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ และตัวแทนคำตอบ จากนั้นจึงทำการเลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบโดยวิธี Neighbourhood Search ทั้ง 3 วิธี ซึ่งจะนำวิธีขั้นตอนดังกล่าว มาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยภาษา Visual Basic for Applications (VBA) เขียนลงบน Microsoft Excel

ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อ Neighbourhood Search ทั้ง 3 วิธี รวมไปถึงการหาคำตอบใหม่ในย่านคำตอบเดิมตามวิธีการอบอ่อนจำลอง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีการอบอ่อนจำลอง ในโจทย์ตัวอย่างที่มีขนาดต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สอนและให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการดำเนินงานตลอดมา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน ขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษา และให้กำลังใจที่ดีในทุกๆ เรื่อง จนทำให้ผู้ดำเนินโครงงานมีขวัญ และกำลังใจที่ดีตลอดมา

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายนพคุณ บัวจันทร์

นางสาวพีรพรรณ ขันทะบุตร

พฤศจิกายน 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง 4
2.2 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 10
2.3 วิธีการเมตาฮิวลิสติก (Metaheuristic) 12
2.4 วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) 15
2.5 โปรแกรม Visual Basic for Appications บน Microsoft Excel 18

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 19
3.1 ศึกษา และค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของ
ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง 19
3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) 19
3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง 19
3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) 20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 พัฒนา และประยุกต์ใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง
ที่ใช้กับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง 20
3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ 43
3.7 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบหาค่าคำตอบของปัญหา 43
3.8 สรุป และนำเสนอผลงาน 44

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 45
4.1 โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง
โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง 45
4.2 ผลการทดสอบการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง
โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง 49
4.3 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น 58
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 58
4.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ 64

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 84
5.1 บทสรุป 84
5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน 84
5.3 ข้อเสนอแนะ 84

เอกสารอ้างอิง 86

ภาคผนวก ก 87
ภาคผนวก ข 94

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน....3

3.1 แสดงกิจกรรม และจำนวนการทำซ้ำ....20

4.1 แสดงจำนวนคำตอบใหม่....49

4.2 แสดงอุณหภูมิสุดท้าย....51

4.3 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1....52

4.4 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2....53

4.5 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1....54

4.6 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2....55

4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1....56

4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2....57

4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น....58

4.10 แสดงค่า RTV เฉลี่ยน้อยที่สุดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด....61

4.11 แสดงค่า RTV น้อยที่สุดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด....61

4.12 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่าง
ของค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทั้ง 3 ขนาด....63

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงระยะห่างการทำซ้ำของกิจกรรม X 4

2.2 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 5

2.3 แสดงจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรม A 5

2.4 แสดงตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม A 6

2.5 แสดงลำดับที่เกิดขึ้นก่อน และหลังในกระบวนการผลิต 6

2.6 ระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 2 7

2.7 แสดงระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 3 7

2.8 แสดงระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง X ในวัฏจักรถัดไป 8

2.9 แสดงขั้นตอนการอบอ่อนจำลอง 17

3.1 ตัวอย่างการสุ่มคำตอบเริ่มต้นในกระบวนการอบอ่อนจำลอง 21

3.2 ตัวอย่างการหาคำตอบใหม่โดยหลักการเลื่อนตำแหน่ง 22

3.3 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งแรก 22

3.4 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งสุดท้าย 23

3.5 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ 24

3.6 แสดงการจัดตำแหน่งกิจกรรมคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ 24

3.7 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ 25

3.8 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ 26

3.9 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ 26

3.10 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ 27

3.11 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ 28

3.12 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่
ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ 28

3.13 ตัวอย่างการหาคำตอบใหม่โดยหลักการสลับที่ 29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากเศรษฐกิจในปัจจุบันมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงก่อให้เกิดสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงจากระบบการค้า และการลงทุนเป็นอย่างมาก สภาวะการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจเหล่านี้ส่งผลทำให้อุตสาหกรรมการผลิตไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สถานประกอบการจึงจำเป็นต้องหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขเพื่อตอบสนองต่อสภาพเศรษฐกิจที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

อุตสาหกรรมการผลิตที่ไม่มีการจัดลำดับของการทำกิจกรรมในกระบวนการผลิตนั้นอาจทำให้กระบวนการการผลิตเกิดความไม่สม่ำเสมอของการทำกิจกรรมเป็นผลทำให้เกิดงานคั่งค้างในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ระบบการผลิตเกิดความล่าช้า และผลิตสินค้าได้ไม่ตรงตามเป้าหมายที่กำหนด หากอุตสาหกรรมการผลิตเหล่านี้ประสบปัญหาเช่นนี้ สถานประกอบการจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่สามารถทำให้อุตสาหกรรมการผลิตของตนอยู่รอด และสามารถแข่งขันกับอุตสาหกรรมการผลิตอื่นได้

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง (Response Time Variability Problme : RTVP) เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาการจัดลำดับของการทำกิจกรรมได้ และยังสามารถช่วยให้อุตสาหกรรมการผลิตนั้นๆ มีการแก้ไขปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองเป็นการจัดลำดับก่อนหลังของกิจกรรมในกระบวนการผลิตให้มีความเหมาะสมกับจำนวน และการทำซ้ำของกิจกรรมเพื่อกำจัดงานที่คั่งค้างอยู่ในกระบวนการผลิตโดยใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristics) ในโครงงานนี้คณะผู้ดำเนินโครงงาน ได้เลือกใช้วิธีอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA) มาใช้ในการแก้ไขปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการอบอ่อนจำลองในการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ไขปัญหาบน Microsoft Excel โดยวิธีการอบอ่อนจำลองด้วยภาษา Visual Basic for Application

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

วิธีการจัดลำดับของกิจกรรมที่พัฒนาขึ้น และโปรแกรมที่ช่วยในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง สามารถนำไปใช้ในการจัดลำดับกิจกรรมในกระบวนการผลิตที่มีเงื่อนไขที่กำหนดได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษาเฉพาะปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองในรูปแบบที่เป็นวัฏจักร และไม่มีข้อจำกัดของระยะห่างของการทำซ้ำของกิจกรรม

1.5.2 ค่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองอาจไม่เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด

1.5.3 วิธีการอบอ่อนดังกล่าวจะถูกนำไปทดสอบกับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนเมษายน 2556 - เดือนพฤศจิกายน 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.8.1	ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	←	→						
1.8.2	ศึกษาข้อมูลการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel	←	→	→					
1.8.3	พัฒนาวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) ด้วย Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel				←	→	→		
1.8.4	การทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธี Simulated Annealing						←	→	
1.8.5	จัดทำรายงาน และสรุปผล							←	→
1.8.6	นำเสนอผลงาน								← →

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีของปัญหา RTVP แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ของ RTVP วิธีเมตาฮิวริสติกในภาพรวม อธิบายวิธีการอบอ่อนจำลองในการแก้ปัญหา และโปรแกรม VBA บน Microsoft Office ช่วยในการหาคำตอบ

2.1 ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง (Response Time Variability problem : RTVP)

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดลำดับ ซึ่งการจัดลำดับเหล่านี้อาจจะเป็น ผลิตภัณฑ์ ลูกค้า หรือกิจกรรมที่ต้องมีการจัดลำดับขั้นตอนเพื่อลดความเปลี่ยนแปรของเวลาปัญหา RTVP โดยลักษณะทั่วไป จะมีข้อกำหนดโดยให้ n แทนชนิดของผลิตภัณฑ์ ลูกค้า และกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ และ d_i แทนจำนวนการทำซ้ำของผลิตภัณฑ์ ลูกค้า และกิจกรรมโดยที่ i มีค่าเท่ากับ 1, 2, 3, ..., n การแก้ปัญหา RTVP สามารถลดระยะห่างระหว่างกิจกรรมที่ทำซ้ำกัน การแบ่งประเภทการจัดลำดับสามารถแบ่งตามลักษณะของปัญหาได้ดังนี้

2.1.1 ปัญหาที่เป็นวัฏจักรและปัญหาที่ไม่เป็นวัฏจักร (Cyclic vs Non - Cyclic)

ปัญหาที่เป็นวัฏจักรเป็นการจัดลำดับของกิจกรรมโดยพิจารณาระยะห่างของกิจกรรมสุดท้ายของ i ถึงกิจกรรมแรกของ i ในวัฏจักร ยกตัวอย่างเช่น การทำซ้ำของกิจกรรม X มีระยะห่างของการทำซ้ำอยู่ 2 หน่วย ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงระยะห่างการทำซ้ำของกิจกรรม X

2.1.2 ปัญหาที่มีข้อจำกัดของระยะห่างและปัญหาที่ไม่มีข้อจำกัดของระยะห่าง (Distance - Constrained vs Not Distance - Constrained)

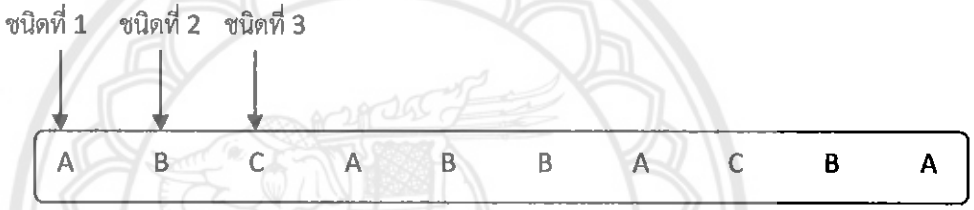
ปัญหาที่มีข้อจำกัดระยะห่าง การทำซ้ำของกิจกรรมเป็นการกำหนดขอบเขตบน หรือขอบเขตล่างของการทำซ้ำของกิจกรรมนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น กิจกรรม X มีการทำซ้ำของกิจกรรมตั้งแต่อย่างน้อย 5 ครั้ง แต่ไม่เกิน 10 ครั้ง

2.1.3 ปัญหาที่มีคำตอบที่ดีที่สุดและปัญหาที่มีคำตอบที่เป็นไปได้ (Optimality vs Feasibility)

การแบ่งประเภทปัญหาเช่นนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ว่าต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุด หรือต้องการคำตอบที่เป็นไปได้โดยไม่ละเมิดข้อจำกัดของปัญหา

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาการตอบสนอง RTVP จัดเป็นปัญหาที่เป็นวัฏจักร และไม่มีข้อจำกัดของระยะห่างเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การหาการจัดลำดับการทำงานที่มีความเปลี่ยนแปรของเวลาตอบสนองน้อยที่สุด โดยตามความหมายของความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองได้แสดงไว้ในสมการที่ 2.3 ในการศึกษาปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองได้กำหนดสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

n คือ ชนิดของกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับตัวอย่าง รูปที่ 2.2 กิจกรรมมีอยู่ 3 ชนิด คือ A, B และ C



รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ

d_i คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม i ตัวอย่างรูปที่ 2.3 จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม A $d_A = 4$ ครั้ง

รูปที่ 2.3 แสดงจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรม A

D คือ ผลรวมของการทำซ้ำของทุกกิจกรรม

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i \qquad (2.1)$$

t_k^i คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม i ในลำดับที่ k และ $k+1$

$t_{d_i}^i$ คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม i ในลำดับสุดท้ายของวัฏจักรกับลำดับแรกในวัฏจักรถัดไป

$\bar{t}_i$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ถัดไปของกิจกรรม i

$$\bar{t}_i = \left(\frac{D}{d_i}\right) \tag{2.2}$$

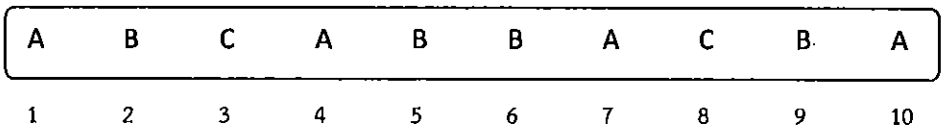
ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองนั้นมีเป้าหมายเพื่อกำหนดลำดับการทำงานของกิจกรรมทั้งหมดในหนึ่งวัฏจักรโดยให้กิจกรรม i แต่ละชนิดมีระยะห่างของลำดับถัดไปมีค่าใกล้เคียงกับค่าระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ถัดไปการทำกิจกรรม i ($\bar{t}_i$) โดยสามารถคำนวณค่าความเปลี่ยนแปรของเวลาระยะห่างได้จาก

$$RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2 \tag{2.3}$$

ในที่นี้ตำแหน่ง หมายถึง การทำซ้ำของกิจกรรมที่เหมือนกันในวัฏจักรเดียวกัน หรือวัฏจักรถัดไปดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม A

ลำดับ หมายถึง กิจกรรมที่เกิดขึ้นก่อนหลังของกิจกรรมในกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลำดับที่เกิดขึ้นก่อน และหลังในกระบวนการผลิต

ตัวอย่างที่ 1 ต้องการจัดลำดับกิจกรรม X, Y และ Z โดยที่ให้จำนวนครั้งของการทำซ้ำของกิจกรรม X, Y และ Z คือ 3, 2 และ 5 สมมุติให้การจัดลำดับที่เป็นไปได้ของ X, Y และ Z คือ (Z, X, Z, Y, Z, X, Z, X, Z, Y) จงหาวิธีการจัดลำดับที่เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอของกิจกรรม X, Y และ Z

วิธีทำ จากโจทย์ผลรวมของการทำซ้ำทุกกิจกรรม = 10

ระยะห่างเฉลี่ยของแต่ละกิจกรรม $\overline{t_X}$ = 3.33, $\overline{t_Y}$ = 5, $\overline{t_Z}$ = 2

จากสมการที่ 2.1 $RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2$

ทำการหาผลรวมเมื่อ i มีการเปลี่ยนแปลง

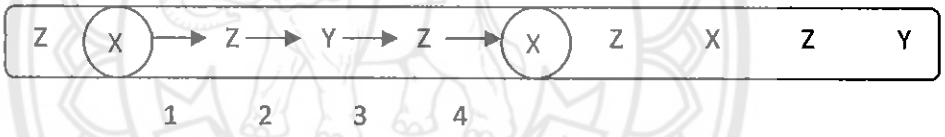
พิจารณากรณี $i = X$

$$\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^X - \overline{t_X}\right)^2 = \left(t_1^X - \overline{t_X}\right)^2 + \left(t_2^X - \overline{t_X}\right)^2 + \left(t_3^X - \overline{t_X}\right)^2$$

$$= (4-3.33)^2 + (2-3.33)^2 + (4-3.33)^2$$

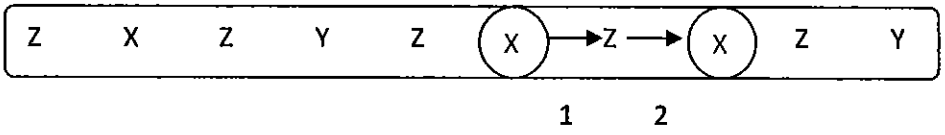
$$= 2.67$$

t_1^X คือ ระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4 หน่วยดังรูปที่ 2.6



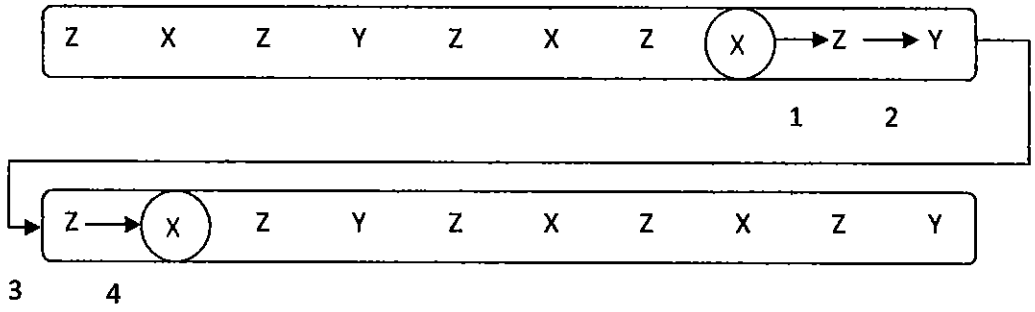
รูปที่ 2.6 ระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 2

t_2^X คือ ระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 2 หน่วยดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง X ตำแหน่งที่ 3

t_3^X คือ ระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง X ในวัฏจักรถัดไปมีค่าเท่ากับ 4 หน่วย ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงระยะห่างระหว่าง X ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง X ในวัฏจักรถัดไป

พิจารณากรณี $i = Y$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^Y - \overline{t_Y}\right)^2 = \left(t_1^Y - \overline{t_Y}\right)^2 + \left(t_2^Y - \overline{t_Y}\right)^2$$
$$= (6-5)^2 + (4-5)^2$$
$$= 2$$

พิจารณากรณี $i = Z$

$$\sum_{k=1}^{5}\left(t_k^Z - \overline{t_Z}\right)^2 = \left(t_1^Z - \overline{t_Z}\right)^2 + \left(t_2^Z - \overline{t_Z}\right)^2 + \left(t_3^Z - \overline{t_Z}\right)^2 + \left(t_4^Z - \overline{t_Z}\right)^2 + \left(t_5^Z - \overline{t_Z}\right)^2$$
$$= (2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2 + (2-2)^2$$
$$= 0$$

$$RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2 = 2.67 + 2 + 0 = 4.67$$

ดังนั้น ผลรวมการทำซ้ำของกิจกรรม X, Y, และ Z มีค่าประมาณ 5 **หน่วยระยะห่าง**^{2}

ตัวอย่างที่ 2 โรงงานแห่งหนึ่งผลิตน้ำหอมเพื่อจำหน่ายภายในประเทศ โรงงานแห่งนี้จะผลิตน้ำหอมอยู่ 5 กลิ่น ได้แก่ น้ำหอมกลิ่นไวท์มัส น้ำหอมกลิ่นองุ่นเขียว น้ำหอมกลิ่นแอปเปิ้ล น้ำหอมกลิ่นแคลตาลูป และน้ำหอมกลิ่นซากุระ โดยโรงงานจะผลิต น้ำหอมกลิ่นไวท์มัส 3 หน่วย น้ำหอมกลิ่นองุ่นเขียว 3 หน่วย น้ำหอมกลิ่นแอปเปิ้ล 3 หน่วย น้ำหอมกลิ่นแคลตาลูป 4 หน่วย และน้ำหอมกลิ่นซากุระ 2 หน่วย สมมุติให้การจัดลำดับของการผลิตน้ำหอมทั้งหมด คือ E, A, B, D, C, E, D, A, B, D, C, A, B, D และ C จงหาวิธีการที่เป็นไปได้ในการจัดลำดับ A, B, C, D, และ E อย่างสม่ำเสมอ

วิธีทำ จากโจทย์ ให้ A แทน น้ำหอมกลิ่นไวท์มัส $d_A = 3$

B แทน น้ำหอมกลิ่นองุ่นเขียว $d_B = 3$

C แทน น้ำหอมกลิ่นแอปเปิ้ล $d_C = 3$

D แทน น้ำหอมกลิ่นแคลตาลูป $d_D = 4$

E แทน น้ำหอมกลิ่นซากุระ $d_E = 2$

ผลรวมของการผลิตน้ำหอมซ้ำทั้งหมด คือ $D = 15$ และระยะห่างเฉลี่ยระหว่างการผลิตซ้ำที่ต่อเนื่องของ A, B, C, D, และ E คือ $\bar{t}_A = 5,\ \bar{t}_B = 5,\ \bar{t}_C = 5,\ \bar{t}_D = 3.75,\ \bar{t}_E = 7.5$

จากสมการ $RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2$

ทำการหาผลรวมเมื่อ i มีการเปลี่ยนแปลง

พิจารณากรณี $i = A$

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^A - \bar{t}_A\right)^2 &= \left(t_1^A - \bar{t}_A\right)^2 + \left(t_2^A - \bar{t}_A\right)^2 + \left(t_3^A - \bar{t}_A\right)^2 \\ &= (6-5)^2 + (4-5)^2 + (5-5)^2 \\ &= 2\end{aligned}$$

พิจารณากรณี $i = B$

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^B - \bar{t}_B\right)^2 &= \left(t_1^B - \bar{t}_B\right)^2 + \left(t_2^B - \bar{t}_B\right)^2 + \left(t_3^B - \bar{t}_B\right)^2 \\ &= (6-5)^2 + (4-5)^2 + (5-5)^2 \\ &= 2\end{aligned}$$

พิจารณากรณี $i = C$

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^C - \bar{t}_C\right)^2 &= \left(t_1^C - \bar{t}_C\right)^2 + \left(t_2^C - \bar{t}_C\right)^2 + \left(t_3^C - \bar{t}_C\right)^2 \\ &= (6-5)^2 + (4-5)^2 + (5-5)^2 \\ &= 2\end{aligned}$$

พิจารณากรณี $i = D$

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^{4}\left(t_k^D - \bar{t}_D\right)^2 &= \left(t_1^D - \bar{t}_D\right)^2 + \left(t_2^D - \bar{t}_D\right)^2 + \left(t_3^D - \bar{t}_D\right)^2 + \left(t_4^D - \bar{t}_D\right)^2 \\ &= (3-3.75)^2 + (3-3.75)^2 + (4-3.75)^2 + (5-3.75)^2 \\ &= 2.75\end{aligned}$$

พิจารณากรณี $i = E$

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^E - \bar{t}_E\right)^2 &= \left(t_1^E - \bar{t}_E\right)^2 + \left(t_2^E - \bar{t}_E\right)^2 \\ &= (5-7.5)^2 + (10-7.5)^2\end{aligned}$$

$$= 12.5$$

$$RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2 = 2+2+2+2.75+12.5 = 21.25$$

ดังนั้น การผลิตน้ำหอมซ้ำทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 21.25 หน่วยระยะห่าง^2

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองจะอยู่ในรูปแบบของปัญหา NP – Hard ซึ่งเป็นการยากที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

2.2 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed – Integer Linear Programming : MILP)

ในส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ใช้ในโครงงานซึ่งจะอธิบายแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม สำหรับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองในโครงงานนี้จะเรียกว่า "MILP" และอธิบายค่าขอบเขตล่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองที่กำหนดโดย (Corominas et al. 2007) ซึ่งให้ข้อมูล และตัวแปร ดังนี้

n คือ ชนิดของสิ่งที่ต้องการจัดลำดับ

d_i คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม i

D คือ ผลรวมของการทำซ้ำของทุกกิจกรรม

$\bar{t}_i$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม i

$G1$ คือ เซตของกิจกรรมที่มีการทำซ้ำมากกว่า 1 ครั้งของกิจกรรม i นั้น คือ $d_i \geq 2$: $G1 = \{i : d_i \geq 2\}$

UB_i คือ ค่าระยะห่างสูงสุดที่เป็นไปได้ของการทำซ้ำที่ต่อเนื่องกันของกิจกรรม i เมื่อ $UB_i = D - d_i + 1 \ \ (\forall i \in G1)$

E_{ik}, L_{ik} คือ ตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้เร็วที่สุด และตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้ช้าที่สุด อยู่ในลำดับที่ k ของกิจกรรม i เมื่อ $E_{ik} = k$ และ $L_{ik} = D - d_i + k \ \ (i = 1,...,n; k = 1,...,d_i)$

H_{ik} คือ เซตของลำดับที่อยู่ในลำดับที่ k ของกิจกรรม i เมื่อ $H_{ik} = \{h : E_{ik} \leq h \leq L_{ik}\}$ $(i = 1,...,n; k = 1,...,d_i)$

$y_{ikh} \in \{0,1\}$ ถ้า y เป็น 1 อยู่ในลำดับที่ k ของกิจกรรม i ถูกวางในตำแหน่ง h เมื่อ $(i = 1,...,n; k = 1,...,d_i; h \in H_{ik})$

$\delta_{ik}^j \in \{0,1\}$ ถ้า δ_{ik}^j เป็น 1 ถ้าเป็นระยะห่างระหว่างลำดับที่ k และ $k+1$ ของกิจกรรม i เท่ากับ j เมื่อ $(\forall j \in G1; k = 1,...,d_i; j = 1,...,UB_i)$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ MILP คือ

$$[MIN]RTV = \sum_{\forall i \in G1,k,j} j^2 \cdot \delta_{ik}^j - \sum_{i \in G1} d_i \cdot \bar{t}_i^2 \quad (2.4)$$

$$\sum_{\forall (i,k) h \in H_{ik}} y_{ikh} = 1 \left(h = 1,...,D\right) \quad (2.5)$$

$$\sum_{h \in H_{ik}} y_{ikh} = 1 \left(i = 1,...,n; k = 1,...,d_i\right) \quad (2.6)$$

$$\sum_{h \in H_{i,k+1}} h \cdot y_{i,k+1,h} - \sum_{h \in H_{ik}} h \cdot y_{ikh} = \delta_{ik}^1 + \cdots + j \cdot \delta_{ik}^j + \cdots + UB_i \cdot \delta_{ik}^{UB_i} \left(\forall i \in G1; k = 1,..,d_i - 1\right) \quad (2.7)$$

$$D - \sum_{h \in H_{id_i}} h \cdot y_{i,d_i,h} + \sum_{h \in H_{i1}} h \cdot y_{i1h} = \delta_{id_i}^1 + \cdots + j \cdot \delta_{id_i}^j + \cdots + UB_i \cdot \delta_{id_i}^{UB_i} \left(\forall i \in G1\right) \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=1}^{UB_i} \delta_{ik}^j = 1 \left(\forall i \in G1; k = 1,...,d_i\right) \quad (2.9)$$

จากฟังก์ชันเป้าประสงค์ที่ 2.4 เป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

ข้อจำกัดที่ 2.5 เป็นฟังก์ชันที่แสดงเห็นว่ามีเพียงหนึ่งกิจกรรมเท่านั้นที่จัดให้อยู่ในแต่ละตำแหน่ง h ของลำดับกิจกรรม

ข้อจำกัดที่ 2.6 เป็นฟังก์ชันที่แสดงให้เห็นว่าลำดับของ k แต่ละชนิดของกิจกรรม i กำหนดให้มีหนึ่งตำแหน่งเท่านั้นในลำดับ

ข้อจำกัดที่ 2.7 เป็นฟังก์ชันที่แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างลำดับที่ k และ $k+1$ ของกิจกรรม i มีค่าเป็นจำนวนเต็ม เมื่อ $j \in [1, UB_i]$

ข้อจำกัดที่ 2.8 คล้ายกับข้อจำกัดที่ (2.7) ต่างกันที่ข้อจำกัดที่ (2.8) แสดงถึงระยะห่างระหว่างลำดับแรกของกิจกรรม i ในวัฏจักรกับลำดับสุดท้ายของกิจกรรม i ในวัฏจักรก่อนหน้า

ข้อจำกัดที่ 2.9 เป็นฟังก์ชันที่แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างลำดับที่ k และ $k+1$ ของกิจกรรม i ให้ได้รับค่าเพียงหนึ่งค่าเท่านั้น

ฟังก์ชันเป้าประสงค์เดิม $RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2$ ไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น โดยกำหนดตัวแปร 2 ตัว

ได้แก่ y_{ikh} และ δ_{ik}^{i} ที่กิจกรรม $d_i = 1 \ \left(i \notin G1\right)$ ซึ่งจะไม่พิจารณาในฟังก์ชันเป้าประสงค์ และในข้อจำกัดที่ 2.7 - 2.9 เพราะค่าของ RTV จะมีค่าเท่ากับ 0

2.3 วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เป็นวิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือได้ และคำตอบที่ได้จากวิธีการเมตาฮิวริสติก เป็นคำตอบที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้แก้ปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิต และโลจิสติกส์ เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ ปัญหาการจัดลำดับการผลิต รวมไปถึง ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ของผู้วิจัยด้วย ซึ่งในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก การแบ่งวิธีเมตาฮิวริสติก และวิธีการพื้นฐานที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งมีเนื้อหาประกอบด้วย พื้นฐานเกี่ยวกับฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติก ตัวดำเนินการในวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Operators) วิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการค้นหาคำตอบเฉพาะที่พื้นฐาน (Basic Local Search) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีจะมีที่มา และวิธีการที่แตกต่างกัน แต่จะใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน (ระพีพันธ์, 2554)

2.3.1 หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก

2.3.1.1 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region)

2.3.1.2 เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด หรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น

2.3.1.3 วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือแบบยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) เป็นต้น

2.3.1.4 เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ

2.3.1.5 เมตาฮิวริสติกอาจจะเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิค เพื่อการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.3.1.6 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอน เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดย่อยที่แตกต่างกัน

2.3.1.7 เมตาฮิวริสติกต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

2.3.1.8 เมตาฮิวริสติกอาจจะมีลักษณะเป็นคำบรรยายโดยย่อก็ได้ หรือไม่จำเป็นต้องมีหลักการทางคณิตศาตร์

2.3.1.9 ปัจจุบันนี้เมตาฮิวริสติกใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้นในการจำคำตอบเดิม หรือเพื่อค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำเดิม หรือแตกต่างไปจากเดิม เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีระบบมด

2.3.2 การแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติก

วิธีการเมตาฮิวริสติกมีหลากหลายวิธี โดย Blum and Roli (2003) ได้เสนอวิธีการการแบ่ง ดังนี้

2.3.2.1 แบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ หรือแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) ส่วนวิธีการที่ไม่เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search) เป็นต้น

2.3.2.2 แบบใช้ประชากร หรือไม่ใช้ประชากร (Population or Nonpopulation Based Heuristic) แบบใช้ประชากร ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก วิธีแบบใช้ประชากร เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีแบบไม่ใช้ประชากร เช่น วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการค้นหาต้องห้าม การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข บางครั้งเราเรียกกรณีที่ไม่ใช้ประชากรว่า วิธีการแบบทราเจกเทอรี (Trajectory Method)

2.3.2.3 แบบสมการเป้าหมายคงที่ หรือไม่คงที่ (Dynamic or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น หรือไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย ในกรณีที่เปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบมีการชี้นำ (Guided Local Search) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการค้นหาคำตอบต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข

2.3.2.4 แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่กรณีวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ ได้แก่ วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ ส่วนกรณีที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียง ได้แก่ วิธีการค้นหาจากคำตอบเฉพาะที่แบบรอบซ้ำ

2.3.2.5 แบบมีหน่วยจำ และไม่มีหน่วยความจำถ้ามีการใช้หน่วยความจำจะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้วเพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป ซึ่งกรณีที่ใช้หน่วยความจำที่ปรากฏชัดได้แก่ วิธีระบบมด วิธีการค้นหาต้องห้าม ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (ระพีพันธ์, 2554)

จากการแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติก ที่กล่าวมาจะเห็นว่าวิธีการอบอ่อนจำลองจัดอยู่ในแบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ แบบไม่ใช้ประชากร แบบสมการเป้าหมายคงที่ แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบันคงที่

2.3.3 วิธีการพื้นฐานที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.3.3.1 การสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน (Greedy Algorithms) หมายถึง เป็นอัลกอริทึมที่จะหาคำตอบโดยการเลือกทางออกที่ดีที่สุดที่พบได้ในขณะนั้นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดแต่ในบางครั้งการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน อาจจะไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดได้เสมอไป

2.3.3.2 การเขียนโปรแกรมแบบพลวัต (Dynamic Programming) หมายถึง วิธีการหลีกเลี่ยงการคำนวณหาคำตอบซ้ำๆ โดยการแก้ปัญหาย่อยๆ ในบางครั้งเราไม่สามารถแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ ได้ ถ้าเราพยายามแบ่งปัญหานั้นๆ ออกเป็นปัญหาย่อยที่เล็กที่สุด ขั้นตอนของเราอาจจะใช้เวลาทำงานเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลได้แต่เวลาที่เราแก้ไขปัญหาต่างๆ มักจะพบว่าเราต้องแก้ปัญหาย่อยๆ ที่เหมือนกัน และซ้ำไปซ้ำมา เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณหาคำตอบซ้ำๆ การเขียนโปรแกรมแบบพลวัต จึงแก้ปัญหาย่อยๆ เหล่านี้เพียงครั้งเดียวจากนั้นก็เก็บผลลัพธ์ไว้ ถ้าหากพบว่าต้องแก้ปัญหานี้อีกเราก็สามารถนำคำตอบจากคำตอบที่เคยคำนวณเก็บไว้มาใช้ได้เลย โดยไม่ต้องประมวลผลใหม่จะช่วยให้ประหยัดเวลาในการทำงานได้มาก

2.3.3.3 วิธีการทำซ้ำ (Iterative Method) หมายถึง วิธีการทำซ้ำเพื่อใช้ในการหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ อย่างมีประสิทธิภาพได้คำตอบที่เที่ยงตรง และมีค่าผิดพลาดน้อย

2.3.3.4 การแบ่งเป็นปัญหาย่อย (Divide and Conquer) หมายถึง การแตกปัญหาเป็นปัญหาย่อย แล้วหาคำตอบ จากนั้นรวมคำตอบของปัญหาเป็นอัลกอริทึมที่จะมีการนำปัญหาหลักที่ได้มาทำการแยกออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้วนำคำตอบที่ได้จากปัญหาย่อยต่างๆ มารวมกันเข้าด้วยกัน โดยอัลกอริทึมนี้เราสามารถหาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้น จากการรวมคำตอบของปัญหาหลักนั้นเอง

2.3.3.5 กรณีศึกษา (Case Study) หมายถึง เรื่องราว หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งได้มีการรวบรวมมาเสนอให้ทราบข้อเท็จจริงพร้อมทั้งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะได้ศึกษาอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และวิเคราะห์เรื่องที่เกิดขึ้น แล้วสรุปแนวทางการตัดสินใจ หรือวิธีแก้ปัญหาที่เห็นว่าดีที่สุด เหมาะสมที่สุด และอำนวยประโยชน์มากกว่าแนวทาง หรือวิธีแก้ปัญหาอื่นๆ (เด่นดวง และ ประกฤชฎ์, 2555)

2.4 วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing)

วิธีการอบอ่อนจำลองเป็นวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียง หรือคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่ง Kirkpatrick et al. (1983) เป็นผู้คิดค้นวิธีการอบอ่อนจำลอง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการแก้ปัญหา NP – Hard โดยเป็นการเลียนแบบกระบวนการอบอ่อนเหล็ก ซึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมโลหะ เพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะที่สุด มีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำ เพื่อค้นผลเฉลยในปริภูมิผลเฉลยไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่พอใจ โดยเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้น

การอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing หรือ SA) เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม ซึ่งเลียนแบบกรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นลงช้าๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างผลึกที่มีพลังงานภายในน้อยที่สุด ลักษณะดังกล่าวจะทำให้โลหะมีสมบัติทางกายภาพที่แข็งแกร่ง และทนทาน ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม่ทำการควบคุมการทำให้เย็นของโลหะร้อนแล้ว โครงสร้างที่จะได้จะมีจุดตำหนิ หรือบกพร่อง เป็นโลหะมีความแข็ง แต่เปราะ กรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะดังกล่าวเรียกว่าการอบอ่อน (Annealing Process) การอบอ่อนจำลองจึงเป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิของการอบอ่อนเป็นการปรับค่าตัวแปรของการค้นหาคำตอบของระบบนั่นเอง

การอบอ่อนจำลองมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 4 ประการ คือ รูปแบบของคำตอบที่ต้องการค้นหา ตัวกำเนิดสุ่ม (Random Generator) หรือตัวปฏิบัติการค้นหาสำหรับทำการ “เดิน” หรือ “Move” คำตอบของระบบไปยังคำตอบใหม่ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของระบบตารางจัดการการอบอ่อน (Annealing Schedule) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ปรับค่าอุณหภูมิ และกำหนดเวลาที่จะให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายละเอียดของอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลองมีขั้นตอนการแก้ปัญหาของวิธีการอบอ่อนจำลองสามารถแสดงเป็นแผนผัง แสดงดังรูปที่ 2.9 ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

R_{first} คือ ผลรวมการทำซ้ำที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมครั้งแรก

R_{new} คือ ผลรวมการทำซ้ำที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมใหม่

R_{best} คือ ผลรวมการทำซ้ำที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมที่ดีที่สุด ที่ถูกเก็บไว้

R_{cur} คือ ผลรวมการทำซ้ำที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น

REP_{new} คือ ลำดับกิจกรรมที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมใหม่

REP_{best} คือ ลำดับกิจกรรมที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมที่ดีที่สุด ที่ถูกเก็บไว้

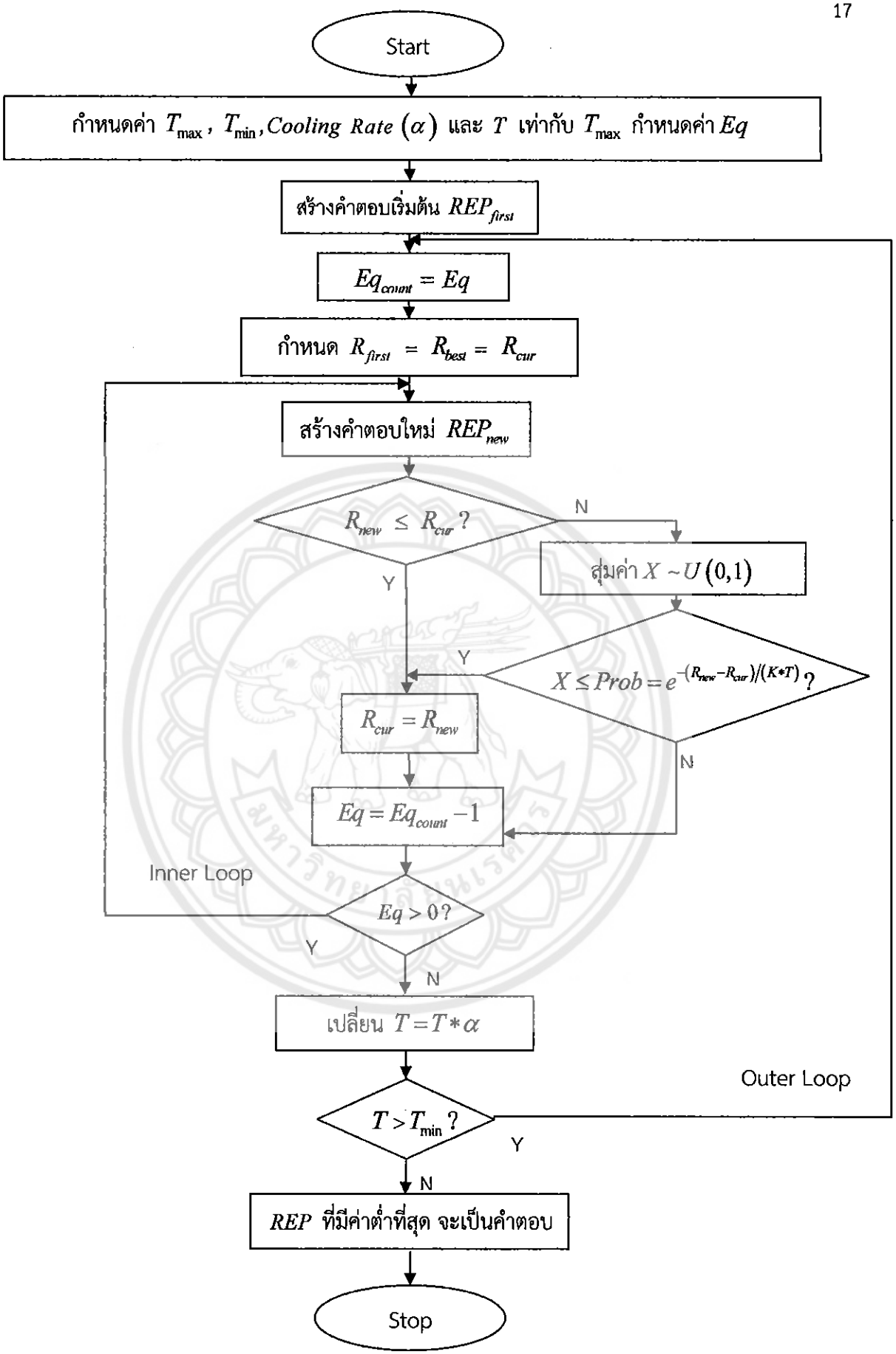
REP_{cur} คือ ลำดับกิจกรรมที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงกิจกรรมที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น

$T_{\max}$ คือ อุณหภูมิเริ่มต้น

$T_{\min}$ คือ อุณหภูมิสุดท้าย

K คือ ค่าคงที่ ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann) = 1.38E – 23

Eq	คือ จำนวนการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิ
Eq_{count}	คือ ค่าจำนวนการค้นคำตอบที่เหลืออยู่ในระดับอุณหภูมิ
Cooling Rate	คือ อัตราการเย็นตัว (0, 1)
Inner Loop	คือ วนรอบของการของการค้นหาคำตอบภายในระดับชั้นของอุณหภูมิ
Outer Loop	คือ วนรอบของการปรับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการอบอ่อนจำลอง

2.5 โปรแกรม Visual Basic for Appications บน Microsoft Excel

Visual Basic for Application เป็นเครื่องมือพัฒนาการระบบงานบน Microsoft Excel โดยผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ Microsoft Office ได้ตามต้องการนอกจากนั้นผู้ใช้โปรแกรมสามารถสร้างโปรแกรมต่างๆ เพิ่มเติมบน Microsoft Excel, Microsoft Word, Power Point โดยจุดเด่นของ Microsoft Excel ได้แก่ ด้านการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณที่ซับซ้อน ทำให้การเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application สามารถดึงเครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่บน Microsoft Excel มาใช้งานได้เลย เช่น ฟังก์ชันสำเร็จรูปต่างๆ Statistical Functions, Financial Functions หรือ Mathematical Functions ทำให้สามารถสร้าง หรือพัฒนาโปรแกรมบน Microsoft Excel ได้ง่าย และรวดเร็ว ซึ่งการเขียนโปรแกรมก็สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกัน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

หลังจากที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และบทที่ 2 แล้ว เพื่อทำให้การศึกษาวิธีการจัดลำดับของกิจกรรมโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง ให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงานของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ดังนี้

3.1 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

3.1.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1

3.1.2 ศึกษาแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

3.1.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบ คือ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด และวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิต และโลจิสติกส์ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ โดยเมตาฮิวริสติกมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมปัญหาการจัดลำดับการผลิต และปัญหาการหาเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายเนื้อหาประกอบด้วยพื้นฐานเกี่ยวกับเมตาฮิวริสติก ตัวดำเนินการในวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Operators) วิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการค้นหาคำตอบเฉพาะที่พื้นฐาน (Basic Local Search) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีจะมีที่มาและวิธีการที่แตกต่างกัน แต่จะใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งวิธีที่คณะผู้จัดทำได้ศึกษา และนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง

3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

3.3.1 องค์ประกอบต่างๆ ในวิธีการอบอ่อนจำลอง

3.3.2 ศึกษาการปรับปรุงคำตอบในวิธีการอบอ่อนจำลอง

3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาคำตอบ

3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA)

3.4.1 ศึกษาวิธีการทำงานของโปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel

3.4.2 ศึกษาการทำงาน และการกำหนดค่าต่างๆ ของฟังก์ชัน ที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองวิธีการอบอ่อนจำลอง

3.5 พัฒนาและสร้างวิธีการอบอ่อนจำลองโดยเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel

ในขั้นตอนนี้จะทำการพัฒนา และสร้างวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเมื่อพัฒนา และสร้างวิธีการได้แล้ว จึงจะนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษา Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel

ในการพัฒนา และสร้างวิธีการอบอ่อนจำลองนี้ มีกระบวนการหาคำตอบอยู่ 2 ลักษณะ คือ การหาคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม และการหาคำตอบใหม่ในย่านคำตอบเดิม หรือการทำ Neighbourhood Search ซึ่งการหาคำตอบใหม่ มีจุดประสงค์ คือ ต้องการหาค่า RTV ที่มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้ผู้ดำเนินโครงงานได้นำวิธีการหาคำตอบใหม่ในย่านคำตอบเดิม ทั้งหมด 3 วิธีการ ที่มีความแตกต่างกันออกไป ได้แก่ วิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่ง วิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการสลับที่ และวิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง ซึ่งในการหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการต่างๆ ข้างต้น สามารถอธิบายได้โดยใช้ตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

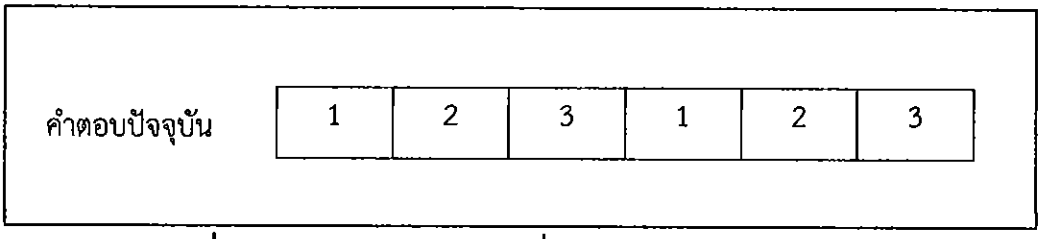
3.5.1 การหาคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม และความหมายของตัวแทนคำตอบ

สำหรับการหาคำตอบเริ่มต้นในที่นี้ จากตัวอย่างนี้มีกิจกรรม และจำนวนการทำซ้ำ ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงกิจกรรม และจำนวนการทำซ้ำ

กิจกรรมที่	จำนวนการทำซ้ำ
1	2
2	2
3	2

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.1 มาสุ่มเพื่อสลับตำแหน่ง จะทำให้ได้คำตอบเริ่มต้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการสุ่มคำตอบเริ่มต้นในกระบวนการอบอ่อนจำลอง

เมื่อ

ตำแหน่งกิจกรรม แทนด้วยตำแหน่งที่เรียงจากซ้ายไปขวา

จำนวนการทำซ้ำทั้งหมด แทนด้วยจำนวนตำแหน่ง

จากตัวอย่างนี้ มีจำนวนการทำซ้ำทั้งหมด 6 ครั้ง จะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากการสุ่มคำตอบเริ่มต้น คือ ตำแหน่งที่ 1 คือ กิจกรรมที่ 1

ตำแหน่งที่ 2 คือ กิจกรรมที่ 2

ตำแหน่งที่ 3 คือ กิจกรรมที่ 3

ตำแหน่งที่ 4 คือ กิจกรรมที่ 1

ตำแหน่งที่ 5 คือ กิจกรรมที่ 2

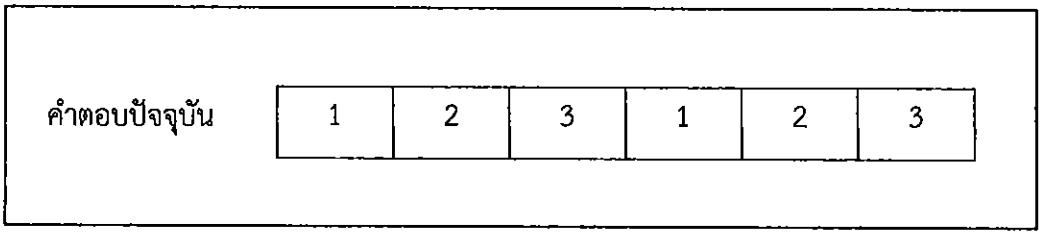
ตำแหน่งที่ 6 คือ กิจกรรมที่ 3

3.5.2 การหาคำตอบใหม่

เมื่อทำการหาคำตอบแรกได้แล้ว จะให้คำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบปัจจุบัน และจะเริ่มมีการหาคำตอบใหม่ ซึ่งจะหาคำตอบใหม่โดยการทำ Neighbourhoods Search โดยจะทำการหาคำตอบของตำแหน่งกิจกรรมจากตำแหน่งกิจกรรมปัจจุบันเสมอ โดยในการทำการหาคำตอบใหม่โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของกิจกรรมใหม่นั้น จะมีหลักการพิจารณาได้หลายหลักการ ซึ่งในที่นี้จะขอใช้หลักการพิจารณา 3 หลักการ ซึ่งจะอธิบายดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.5.2.1 วิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่ง

ในการหาคำตอบใหม่โดยหลักการเลื่อนตำแหน่งจะเป็นการสุ่มตำแหน่งต่างๆ ของกิจกรรม แล้วให้นำตำแหน่งที่พิจารณาไปแทนที่ตำแหน่งที่สุ่มได้ หลังจากนั้นจึงทำการเลื่อนตำแหน่งไปลำดับถัดไป ดังเช่นตัวอย่างเดิม มีกิจกรรมจำนวน 5 กิจกรรม จะสามารถหาคำตอบใหม่ได้ดังรูปที่ 3.2



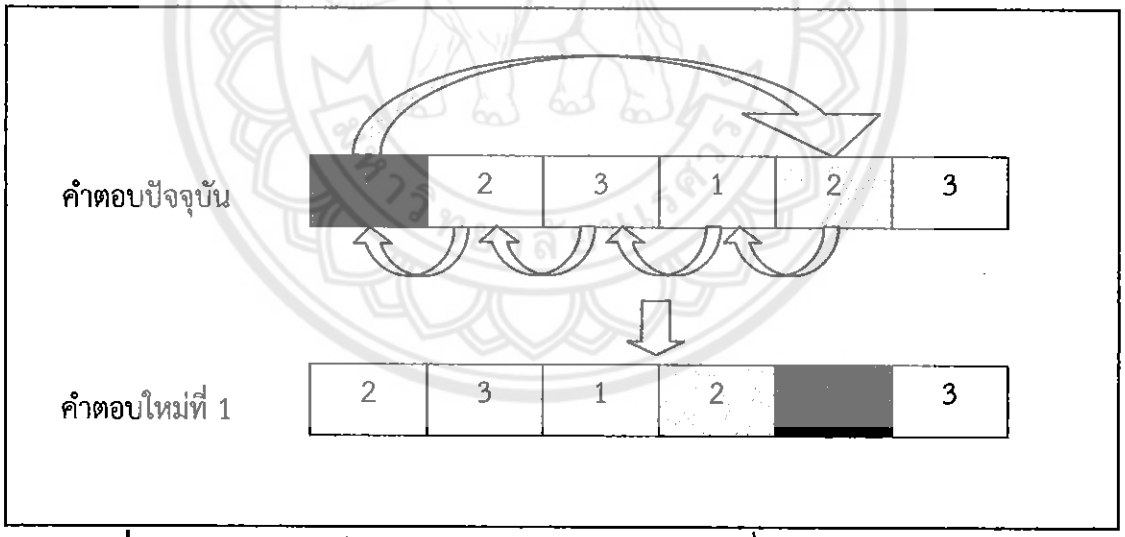
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการหาคำตอบใหม่โดยหลักการเลื่อนตำแหน่ง

เราสามารถหาจำนวนคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 2 (D-1) คำตอบ โดยที่ D = จำนวนการทำซ้ำทั้งหมด

ดังนั้น จากตัวอย่างนี้ เราสามารถหาคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 10 คำตอบ ซึ่งสามารถพิจารณาตำแหน่งการสุ่มได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ก. พิจารณาที่ตำแหน่งแรก

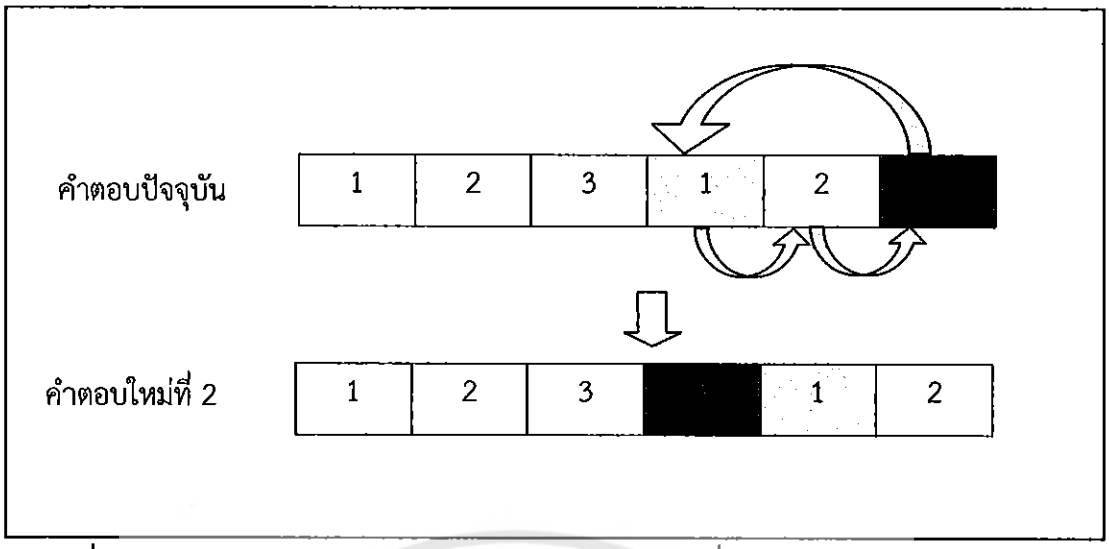
ในการพิจารณาที่ตำแหน่งแรก จากตัวอย่าง ตำแหน่งแรกสามารถไปแทนที่ได้ 5 ตำแหน่งทางขวามือ โดยสุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 จากนั้นทำการย้ายตำแหน่งที่ 1 ไปแทนที่ตำแหน่งที่ 5 และเลื่อนตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 ไปทางซ้ายมือทีละตำแหน่ง จะได้คำตอบใหม่ที่ 1 จากการทำ Neighbourhood Search ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งแรก

ข. พิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย

ในการพิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย จากตัวอย่าง ตำแหน่งสุดท้ายจะไปแทนที่ได้ 5 ตำแหน่งทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 4 จากนั้นทำการย้ายตำแหน่งสุดท้าย ไปแทนตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 4 และเลื่อนตำแหน่งที่ 4 และ 5 ไปทางขวามือทีละตำแหน่ง จะได้คำตอบใหม่ที่ 2 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งสุดท้าย

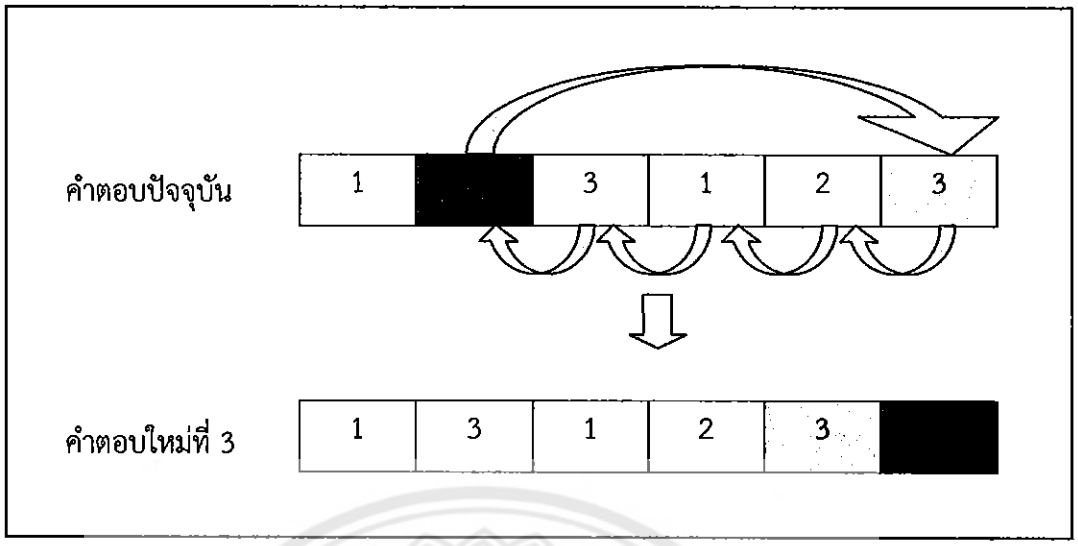
ค. พิจารณาที่ตำแหน่งกลาง

ในการพิจารณาในตำแหน่งกลาง จะสามารถพิจารณาได้จาก ตำแหน่งทั้งหมดที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรกกับตำแหน่งสุดท้าย ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้นเราสามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบ โดยการเลื่อนงานในตำแหน่งที่เราสนใจไปทางขวา และทางซ้ายมือ

จากตัวอย่างเดิม ตำแหน่งกลางที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรก และตำแหน่งสุดท้าย มี 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้น สามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบ คือ การเลื่อนตำแหน่งไปทางซ้ายมือ และขวามือ ดังนั้นจะพิจารณาได้ในแต่ละตำแหน่ง คือ

ค.1 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

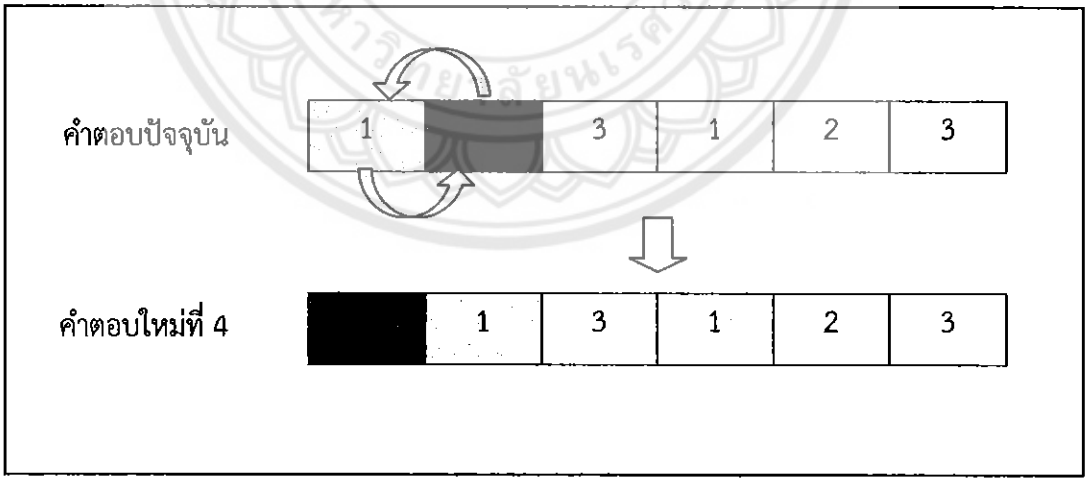
พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งที่ย้ายไป จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งสุดท้าย จากนั้นทำการย้ายตำแหน่งที่ 2 ไปแทนที่ตำแหน่งสุดท้าย และเลื่อนตำแหน่งที่ 3, 4, 5 และ 6 ไปทางซ้ายมือ ทีละ 1 ตำแหน่ง สามารถหาคำตอบใหม่ที่ 3 ได้ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

ค.2 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

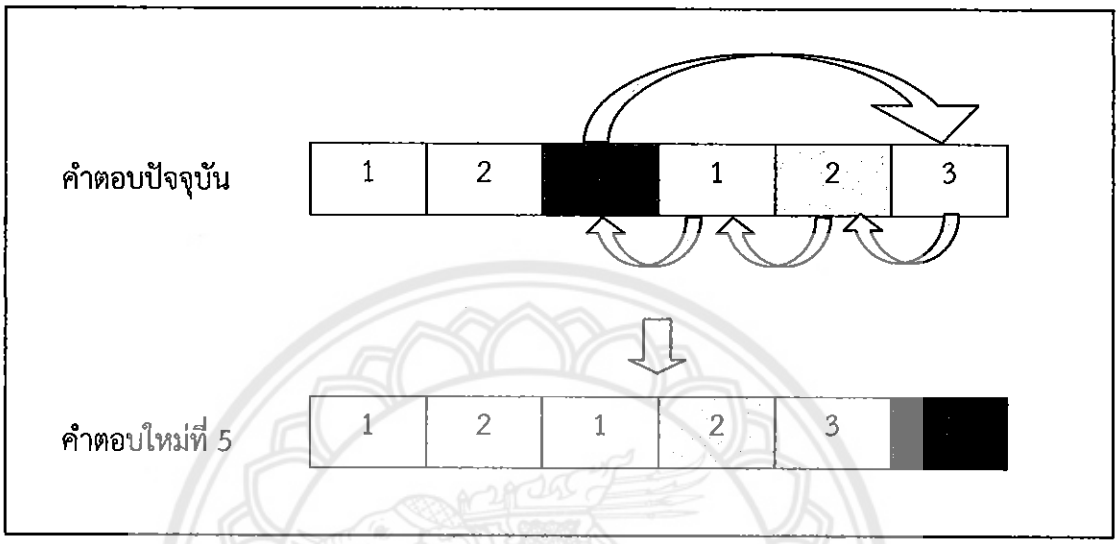
พิจารณาตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งที่ย้ายไปทางซ้ายมือ ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งแรก นั่นคือ ตำแหน่งที่ 2 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งแรก และเลื่อนตำแหน่งแรก ไปทางขวามือ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบที่ 4 ได้ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการจัดตำแหน่งกิจกรรมคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

ค.3 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

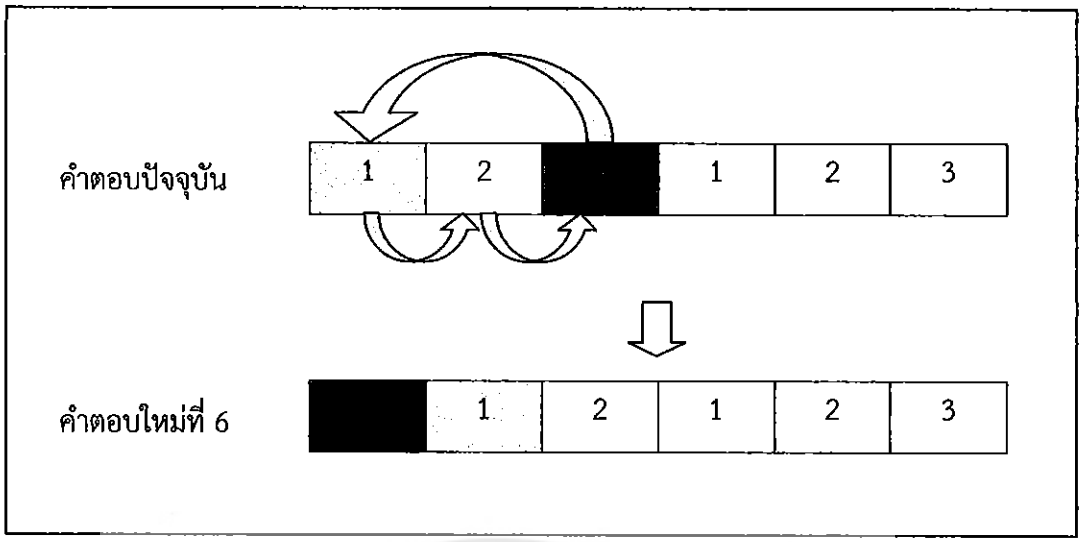
พิจารณาตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไป จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปแทนตำแหน่งที่ 5 และเลื่อนตำแหน่งที่ 4 และ 5 ไปทางซ้ายมือ ทีละ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 5 ได้ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

ค.4 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ

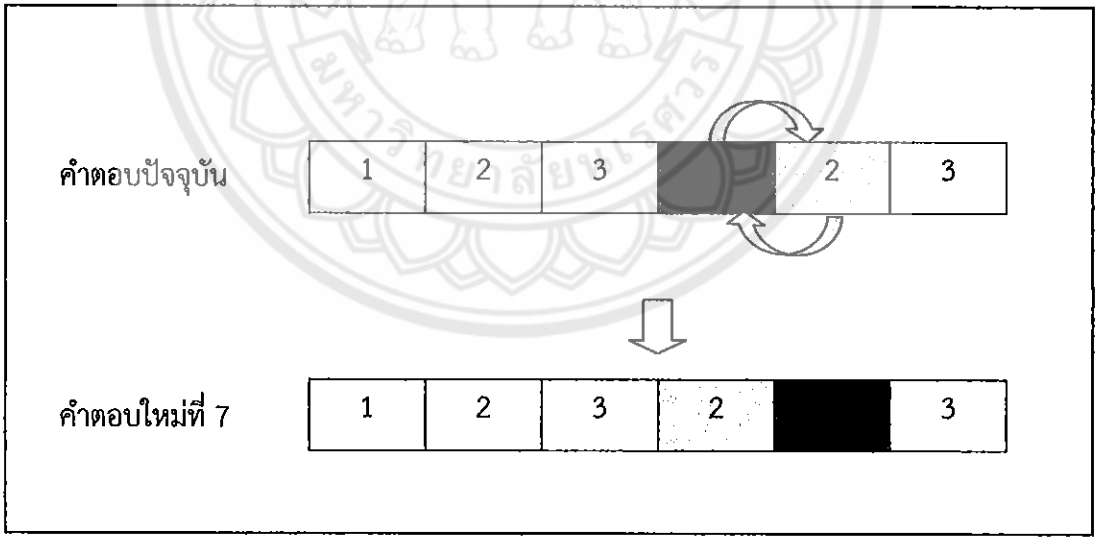
พิจารณาตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 1 นั่น คือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งแรก และเลื่อนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ไปทางขวามือ ทีละ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 6 ได้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ

ค.5 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

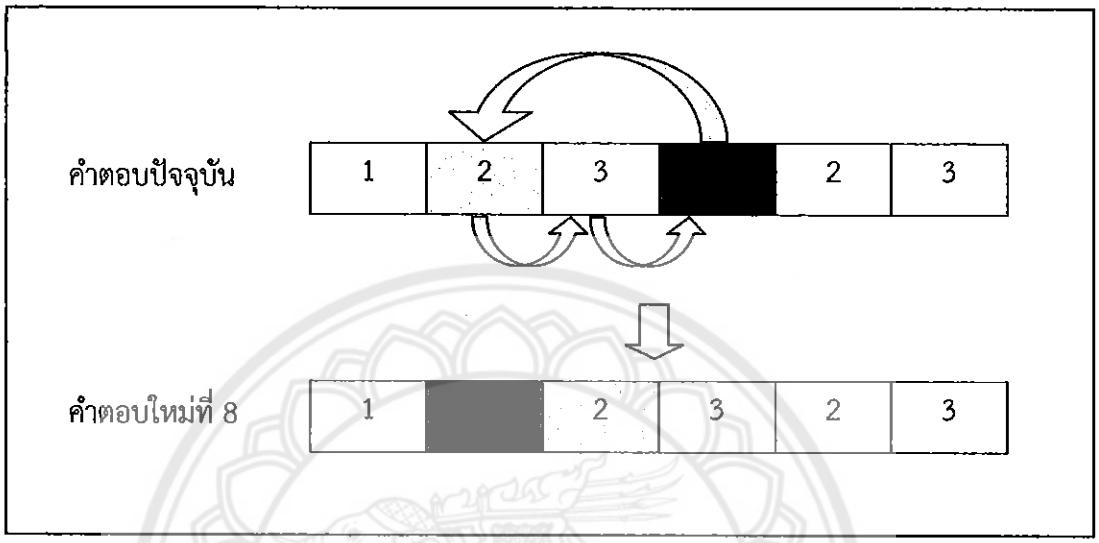
พิจารณาตำแหน่งที่ 4 และสุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไปทางขวามือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 นั่น คือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งที่ 5 และเลื่อนตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 7 ได้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

ค.6 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

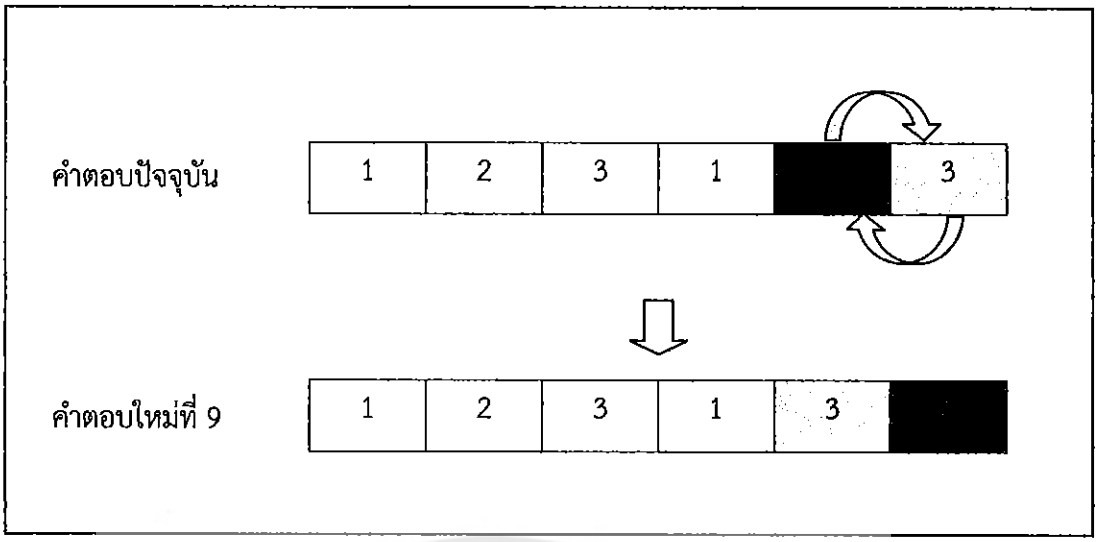
พิจารณาตำแหน่งที่ 4 และสุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 นั่น คือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งที่ 2 และเลื่อนตำแหน่งที่ 2 และ 3 ไปทางขวามือ ทีละ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 8 ได้ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

ค.7 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางขวามือ

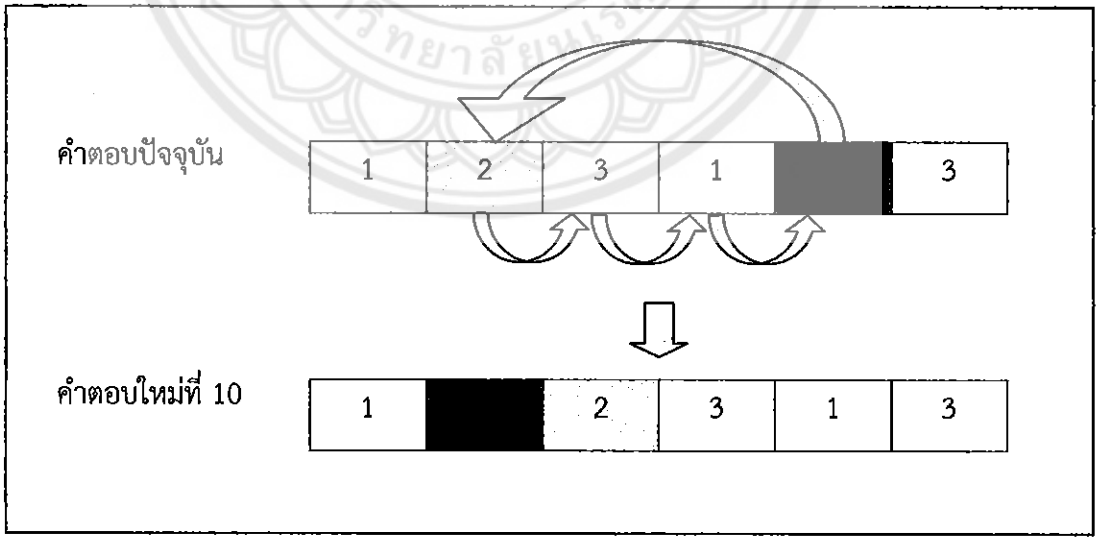
พิจารณาตำแหน่งที่ 5 และสุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไป ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งที่ 6 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งที่ 6 และเลื่อนกิจกรรมในตำแหน่งที่ 6 ไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่คำตอบที่ 9 ได้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณา**ที่ตำแหน่งที่** 4 ไปทางขวามือ

ค.8 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ

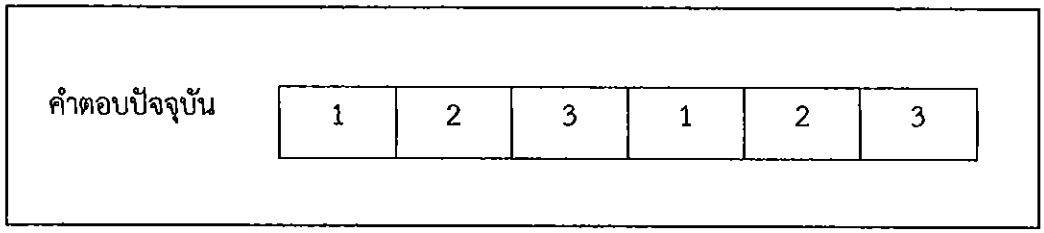
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 5 และ**สุ่มตำแหน่งที่จะย้ายไปทางซ้าย**มือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะย้ายไป**แทนที่ตำแหน่งที่** 2 **และเลื่อน**ตำแหน่งที่ 2, 3 และ 4 ไปทางขวามือ ทีละ 1 ตำแหน่ง และสามารถหา**คำตอบใหม่ที่** 8 ได้ **ดังรูปที่** 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ

3.5.2.2 วิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการสลับที่

ในการหาคำตอบใหม่โดยหลักการสลับที่ จะเป็นการสุ่มตำแหน่งต่างๆ เพื่อให้สลับที่กับตำแหน่งที่พิจารณา จากตัวอย่างที่แล้ว จะสามารถหาคำตอบใหม่ได้ ดังรูปที่ 3.13



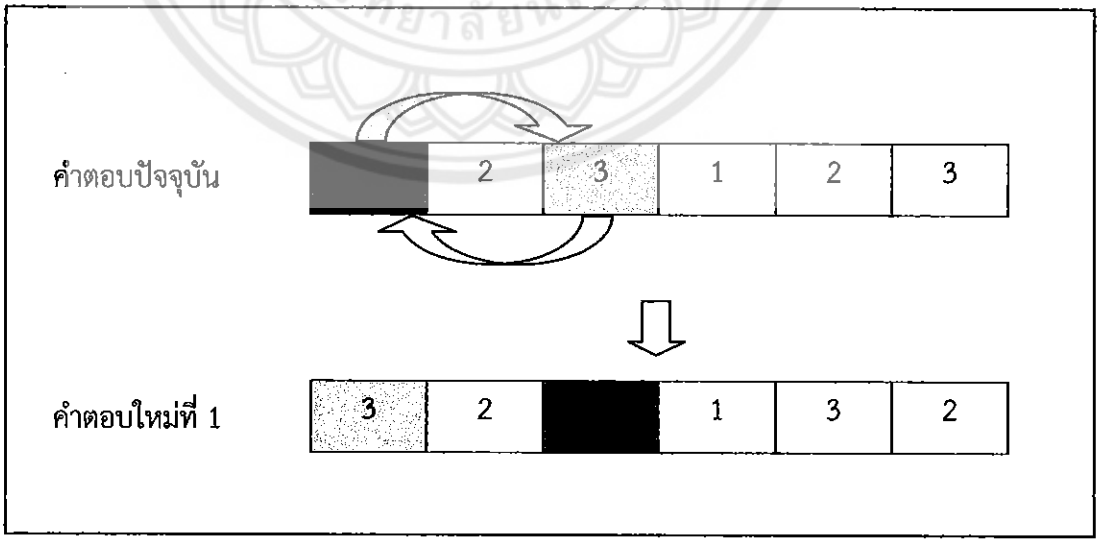
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการหาคำตอบใหม่โดยหลักการสลับที่

เราสามารถหาค่าคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 2 (D-1) คำตอบ โดยที่ D = จำนวนการทำซ้ำทั้งหมด

ดังนั้น จากตัวอย่างนี้ เราสามารถหาคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 10 คำตอบ ซึ่งสามารถพิจารณาตำแหน่งการสุ่มได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ก. พิจารณาที่ตำแหน่งแรก

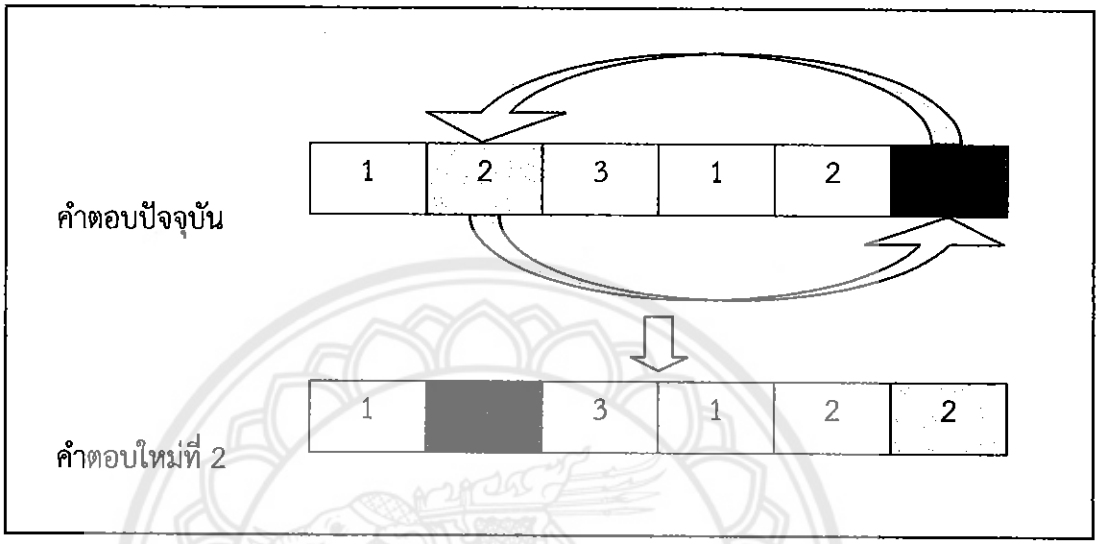
ในการพิจารณาที่ตำแหน่งแรกนั้น จากตัวอย่าง เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งแรกจะสามารถทำการสุ่ม ได้ 5 ตำแหน่ง ไปทางขวามือ โดยผลของการสุ่มจากตัวอย่างสุ่มได้ตำแหน่งที่ 3 คือ จะทำการสลับตำแหน่งแรก กับตำแหน่งที่ 3 สามารถหาคำตอบใหม่ที่ 1 ได้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งแรก

ข. พิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย

ในการพิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย จากตัวอย่างเดิม ตำแหน่งสุดท้าย จะทำการสุ่มตำแหน่งได้ 5 ตำแหน่ง ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 คือ ทำการสลับที่ ตำแหน่งสุดท้าย กับตำแหน่งที่ 2 และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 2 ได้ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งสุดท้าย

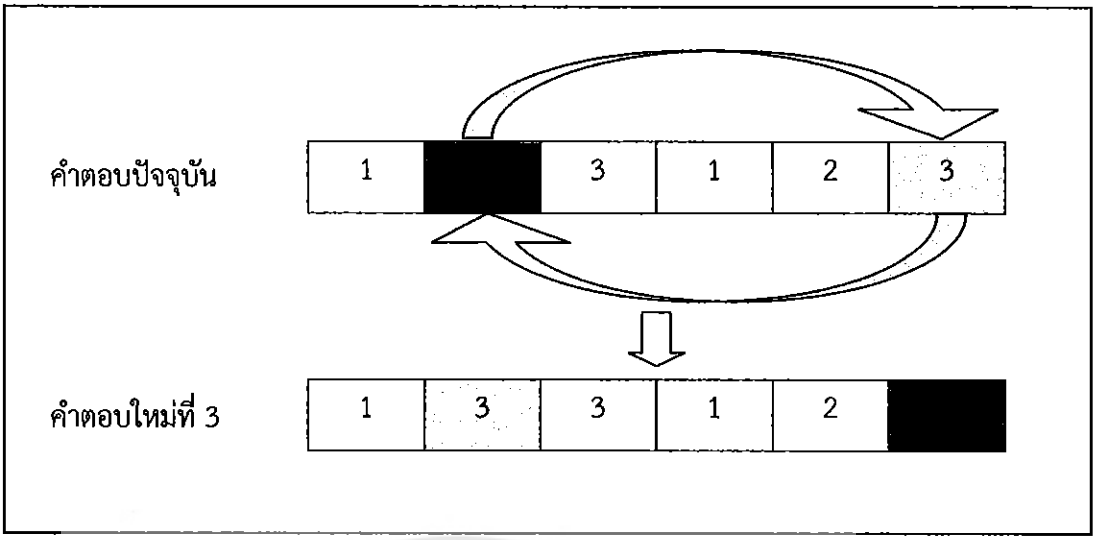
ค. พิจารณาที่ตำแหน่งกลาง

ในการพิจารณาในตำแหน่งกลาง จะสามารถพิจารณาได้จาก ตำแหน่งทั้งหมดที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรกกับตำแหน่งสุดท้าย ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้นเราสามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบ โดยการสลับกิจกรรมในตำแหน่งที่เราสนใจไปทางขวา และทางซ้ายมือ

จากตัวอย่างเดิมตำแหน่งกลางที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรก และตำแหน่งสุดท้าย มี 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้น สามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบคือ การสลับตำแหน่งไปทางซ้ายมือ และขวามือ ดังนั้นจะพิจารณาได้ในแต่ละตกแหน่ง คือ

ค.1 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

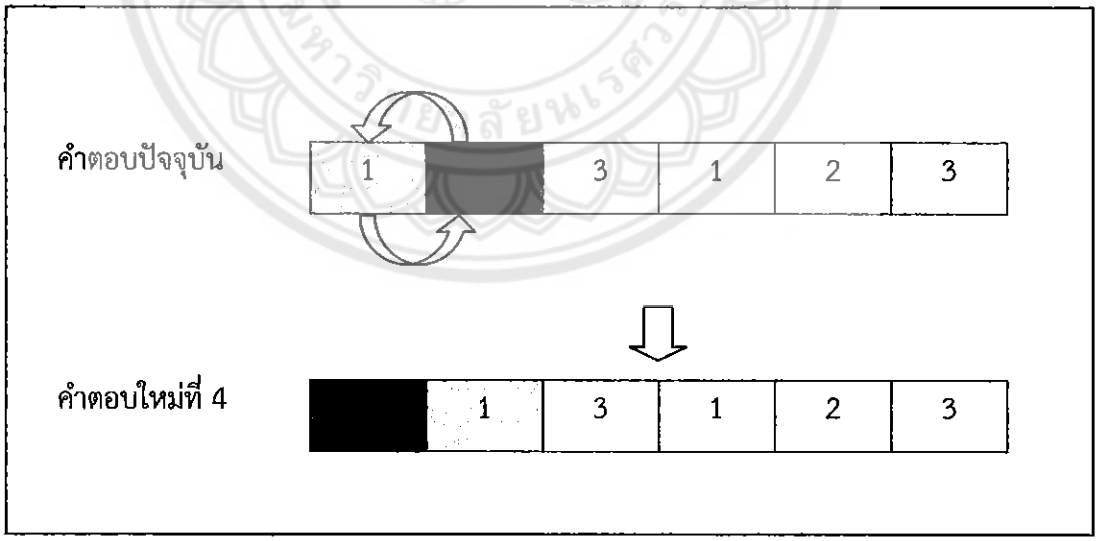
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งที่ต้องการสลับ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งสุดท้าย นั่นคือ ตำแหน่งสุดท้าย จะย้ายไปสลับที่ตำแหน่งที่ 2 และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 3 ได้ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

ค.2 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

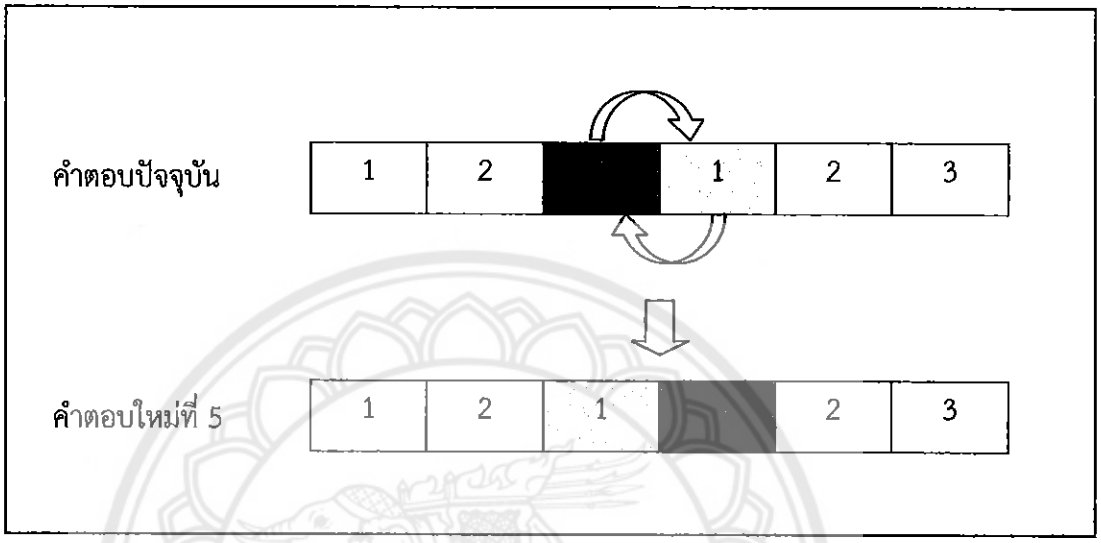
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งที่ต้องการสลับ ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งแรก นั่นคือ ตำแหน่งที่ 2 จะย้ายไปสลับที่ตำแหน่งแรก และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 4 ได้ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

ค.3 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

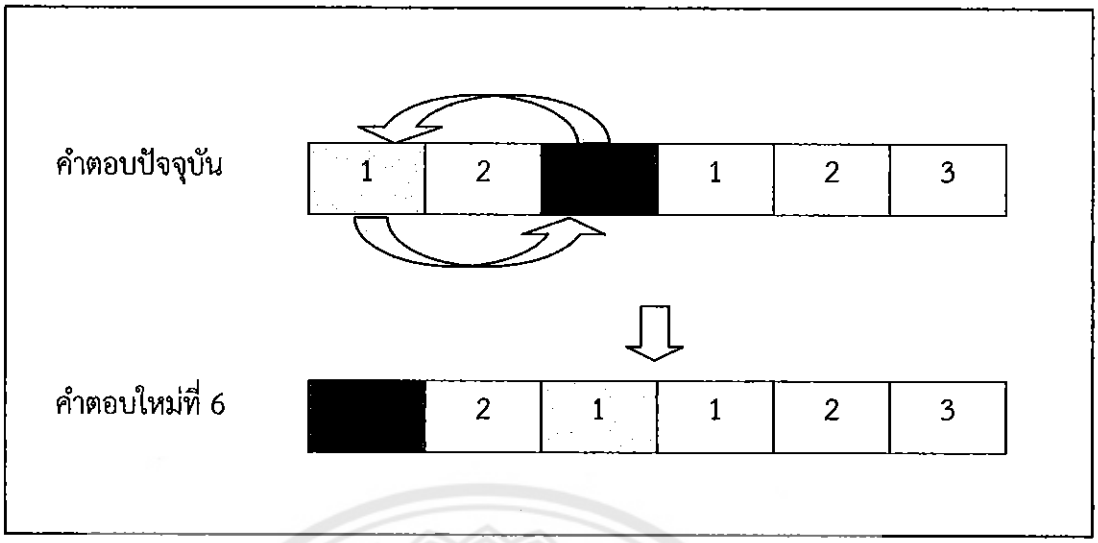
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งที่ต้องการสลับ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 4 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปสลับกับตำแหน่งที่ 4 และสามารถหาคำตอบใหม่คือคำตอบที่ 5 ได้ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

ค.4 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ

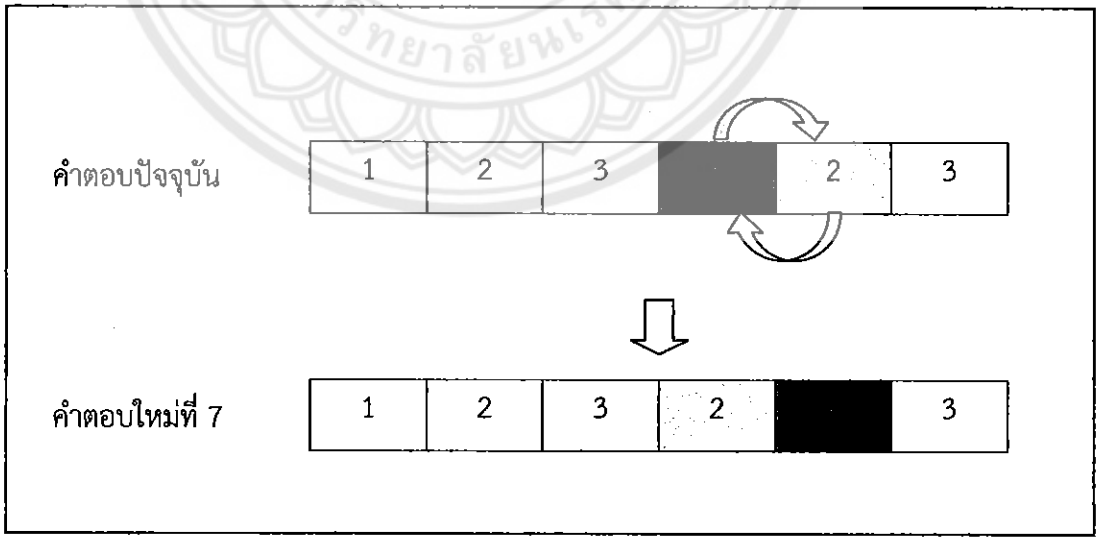
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งที่จะทำการสลับที่ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 1 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปสลับที่ตำแหน่งแรก และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 6 ได้ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจา**ณาตำแหน่งที่ 3** ไปทางซ้ายมือ

ค.5 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

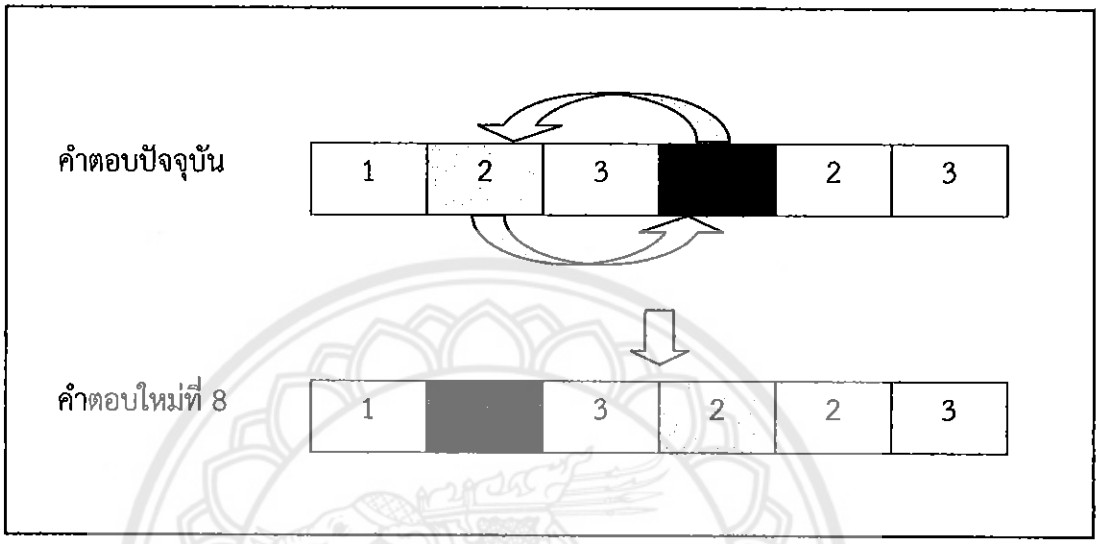
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 4 และสุ่ม**ตำแหน่งที่ต้องการสลับ** จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปสลับกับ**ตำแหน่งที่ 5** และสามารถหาคำตอบใหม่คือคำตอบที่ 5 ได้ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

ค.6 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

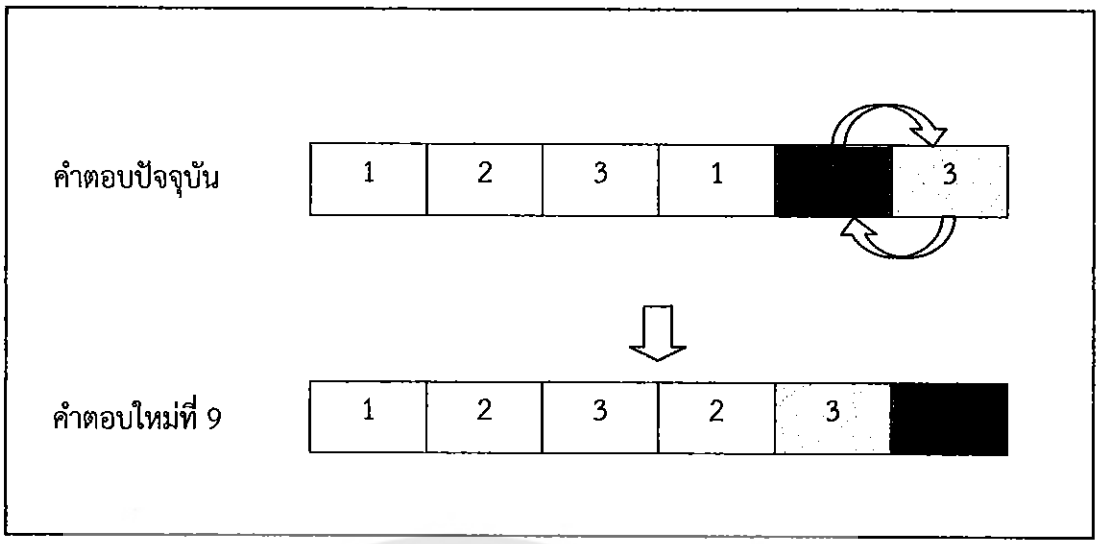
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 4 และสุ่มตำแหน่งที่จะทำการสลับที่ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปสลับที่ตำแหน่ง 2 และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 8 ได้ ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

ค.5 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางขวามือ

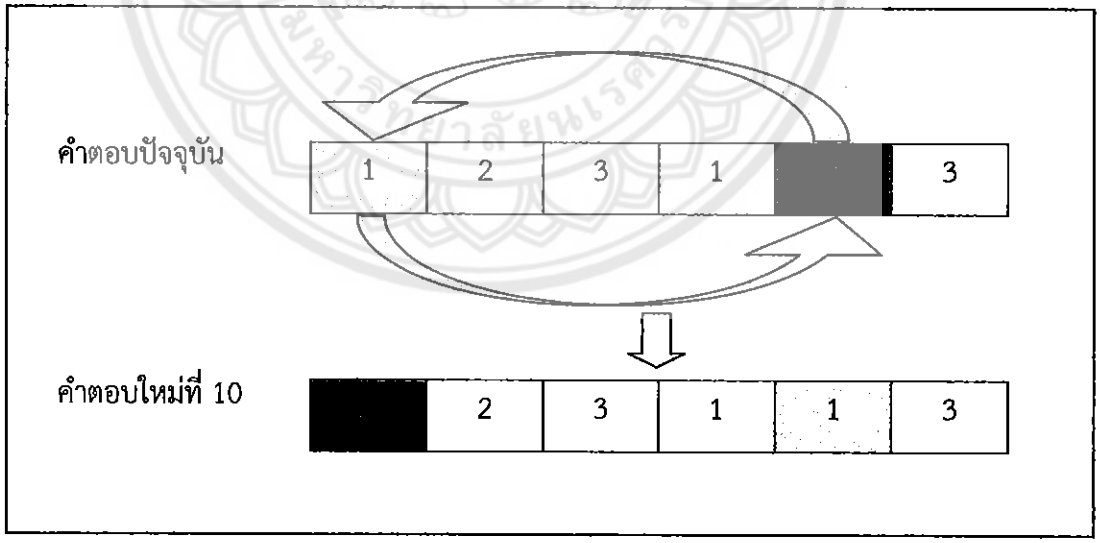
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 และสุ่มตำแหน่งที่ต้องการสลับที่ ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งที่ 6 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะย้ายไปแทนที่ ตำแหน่งที่ 6 และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 7 ได้ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาที่**ตำแหน่งที่** 5 ไปทางขวามือ

ค.6 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ

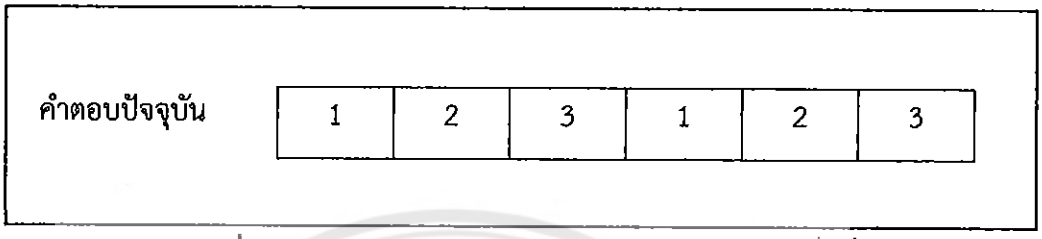
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 5 และสุ่ม**ตำแหน่งที่ต้องการสลับที่**ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 1 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะ**ย้ายไปสลับที่** กับ**ตำแหน่ง**ที่ 2 และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 8 ได้ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมคำตอบใหม่**ที่ได้**จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

3.5.2.3 วิธีหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการคงที่หนึ่งตำแหน่ง

ในการหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการคงที่หนึ่งตำแหน่ง จะเป็นการสุ่มตำแหน่งต่างๆ ของกิจกรรม แล้วให้คงที่ตำแหน่งที่สุ่มไว้ และให้นำตำแหน่งที่พิจารณาไปแทนที่ตำแหน่งสุดท้าย หรือตำแหน่งแรก หลังจากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งไปลำดับถัดไป ดังตัวอย่างเดิม มีกิจกรรมจำนวน 5 กิจกรรม จะสามารถหาคำตอบใหม่ได้ ดังรูปที่ 3.24



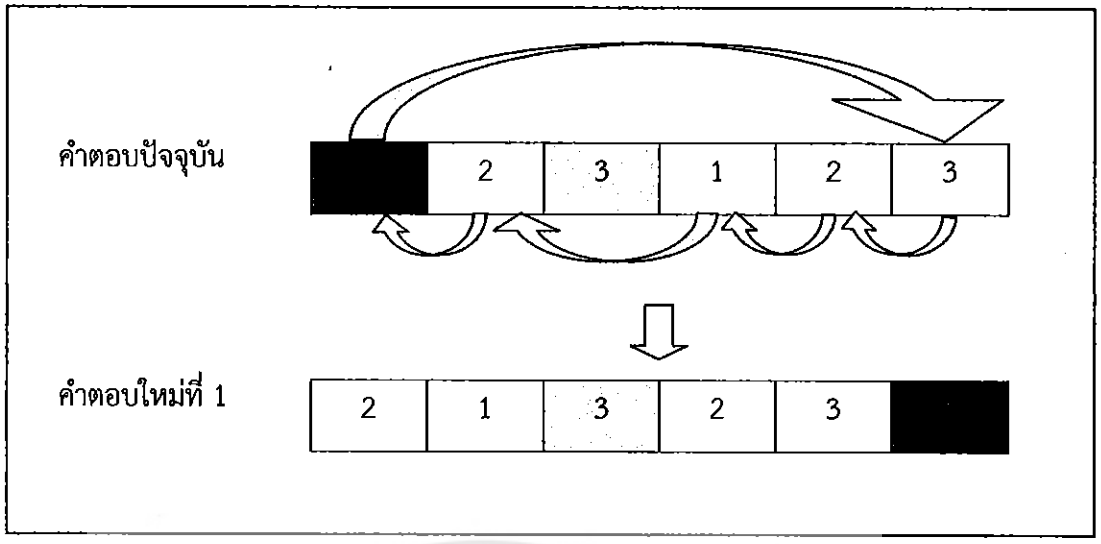
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการหาคำตอบใหม่โดยใช้หลักการคงที่หนึ่งตำแหน่ง

เราสามารถหาจำนวนคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 2 (D-1) คำตอบโดยที่ D = จำนวนการทำซ้ำทั้งหมด

ดังนั้น จากตัวอย่างนี้ เราสามารถหาคำตอบใหม่ได้ทั้งหมด 8 คำตอบ ซึ่งสามารถพิจารณาตำแหน่งการสุ่มได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ก. พิจารณาที่ตำแหน่งแรก

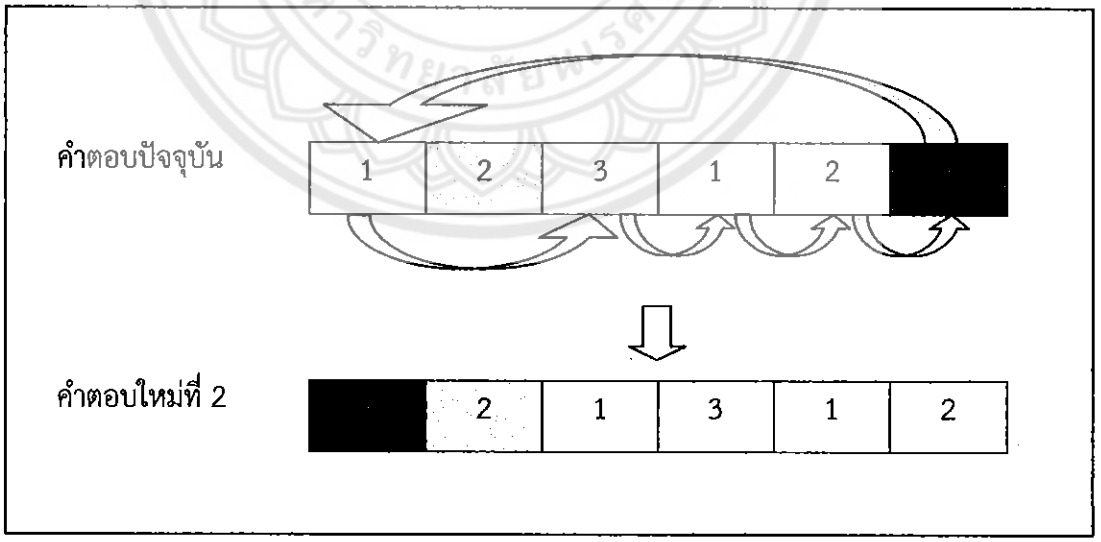
ในการพิจารณาที่ตำแหน่งแรกนั้น จากตัวอย่าง เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งแรก จะสามารถทำการสุ่ม ได้ 5 ตำแหน่ง ไปทางขวามือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 3 คือ จะทำการคงที่ตำแหน่งนี้ไว้ แล้วทำการย้ายตำแหน่งแรกไปแทนที่ตำแหน่งสุดท้าย และเลื่อนตำแหน่งที่ 2, 4, 5 และ 6 ไปทางซ้ายมือทีละ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ และจะสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 1 ได้ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งแรก

ข. พิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย

ในการพิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย จากตัวอย่างที่แล้ว เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งสุดท้าย จะทำการสุ่มตำแหน่งได้ 5 ตำแหน่ง ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 คือ จากนั้นทำการคงที่ตำแหน่งที่สุ่มได้ไว้ และทำการย้ายตำแหน่งสุดท้ายไปยังตำแหน่งแรก หลังจากนั้น เลื่อนตำแหน่งที่ 1, 3, 4 และ 5 ไปทางขวามือ ทีละ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 2 ได้ ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งสุดท้าย

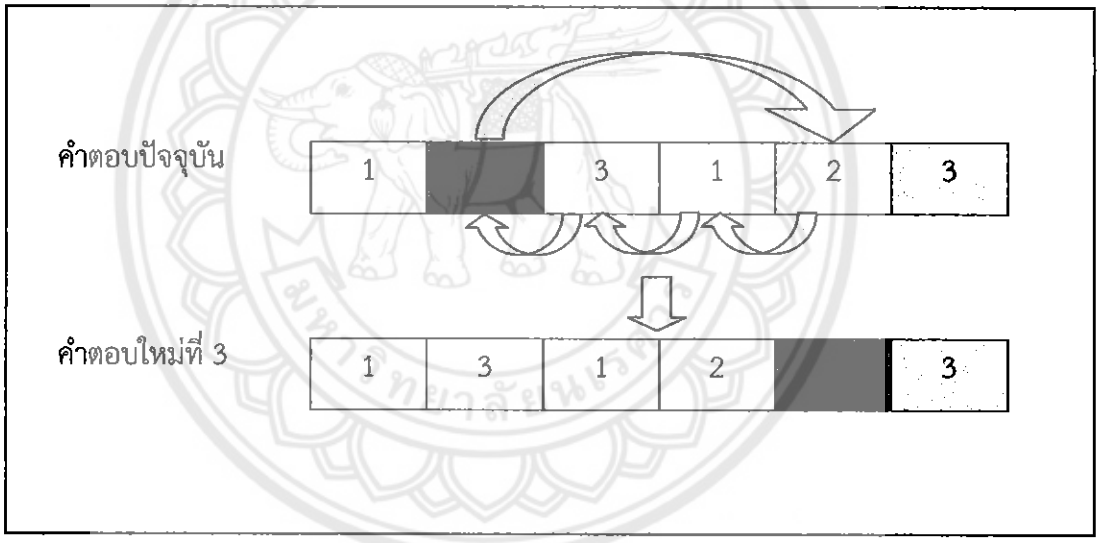
ค. พิจารณาที่ตำแหน่งกลาง

ในการพิจารณาในตำแหน่งกลาง จะสามารถพิจารณาได้จาก ตำแหน่งทั้งหมดที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรกกับตำแหน่งสุดท้าย ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้นเราสามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบ โดยการสลับกิจกรรมในตำแหน่งที่เราสนใจไปทางขวา และทางซ้ายมือ

จากตัวอย่างเดิม ตำแหน่งกลางที่อยู่ระหว่างตำแหน่งแรก และตำแหน่งสุดท้ายมี 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 2, 3, 4 และ 5 ซึ่งในแต่ละตำแหน่งนั้น สามารถหาคำตอบได้ 2 คำตอบ คือ การสลับตำแหน่งไปทางซ้ายมือ และขวามือ ดังนั้นจะพิจารณาได้ในแต่ละตำแหน่ง คือ

ค.1 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

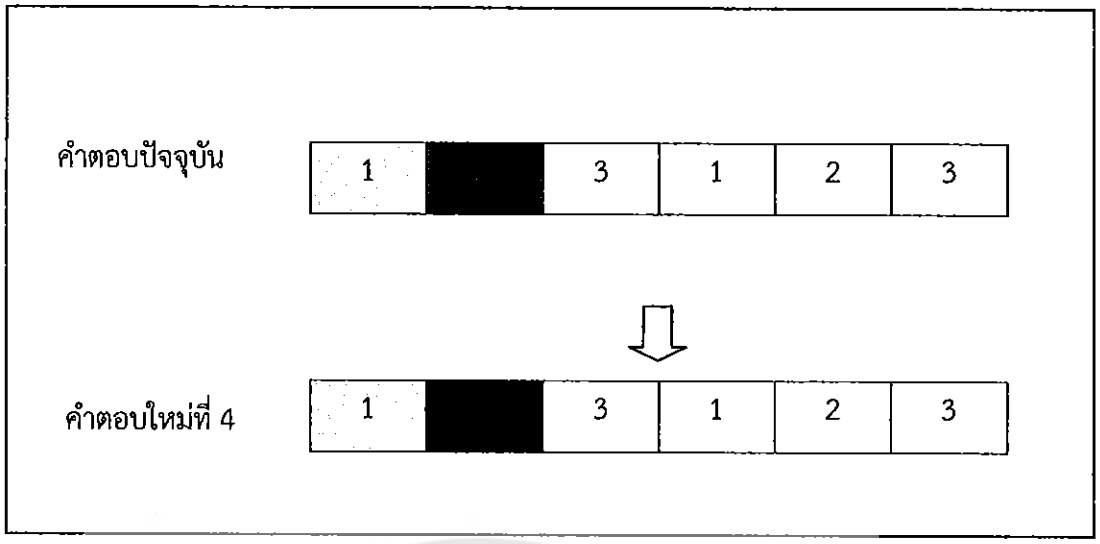
สามารถอธิบายได้ คือ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งที่ต้องการคงที่ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งสุดท้าย นั่นคือ ตำแหน่งสุดท้ายจะคงที่ และตำแหน่งที่ 2 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งที่ 5 และเลื่อนตำแหน่งในตาแหน่งที่ 3, 4 และ 5 ไปทางซ้ายมือทีละ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 3 ได้ ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงการเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ

ค.2 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

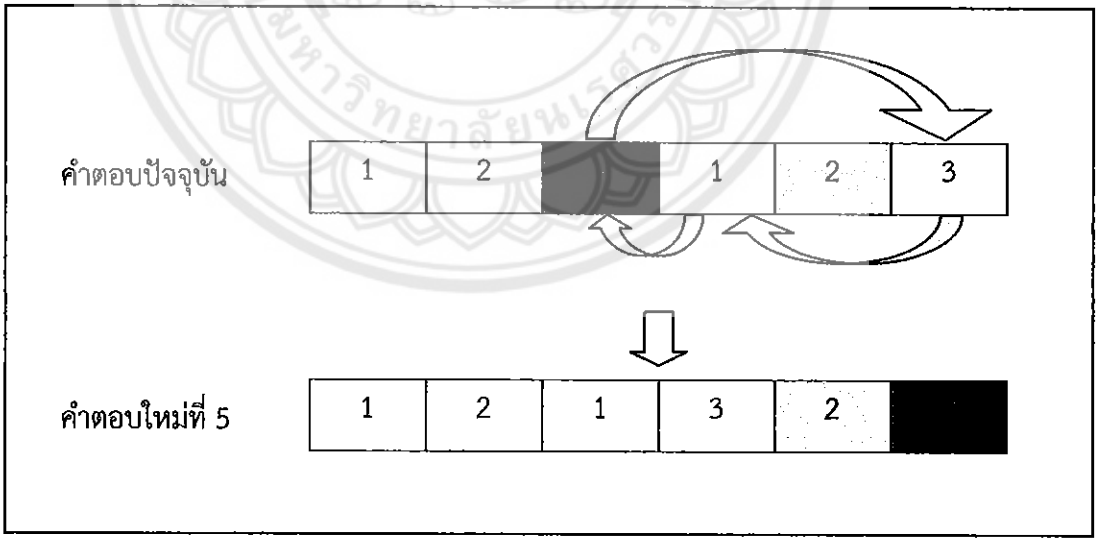
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 2 และสุ่มตำแหน่งกิจกรรมที่จะคงที่ไปทางซ้ายมือ ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งแรก นั่นคือ ตำแหน่งที่ 2 จะไม่สามารถย้ายไปแทนที่ตำแหน่งใดได้ทำให้คำตอบใหม่ คือ คำตอบเดิมเป็นคำตอบใหม่ที่ 4 ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 2 ไปทางซ้ายมือ

ค.3 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

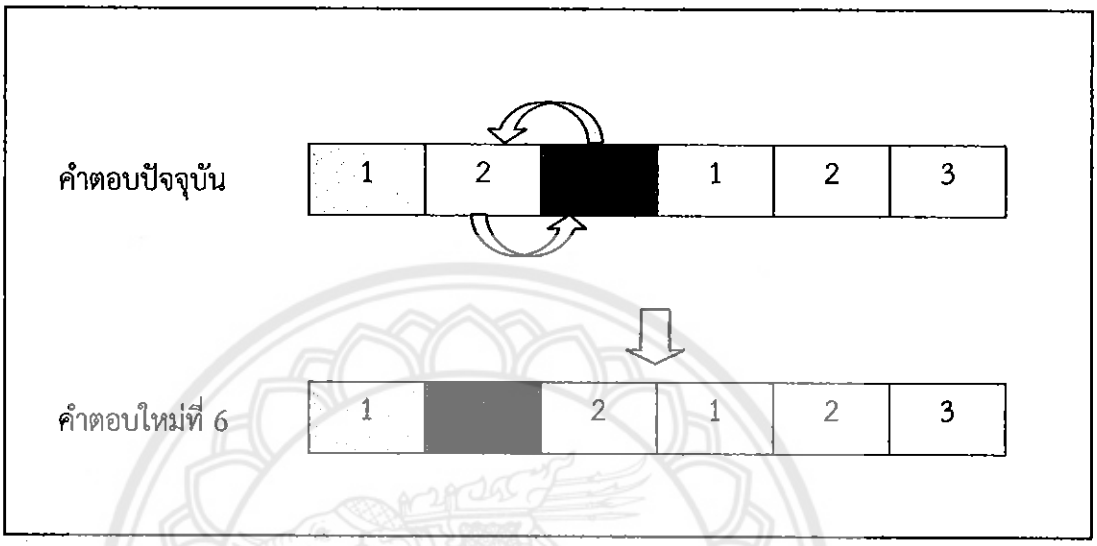
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งกิจกรรมที่ทำการคงที่ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งสุดท้าย และเลื่อนตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 5 ได้ ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางขวามือ

ค.4 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ

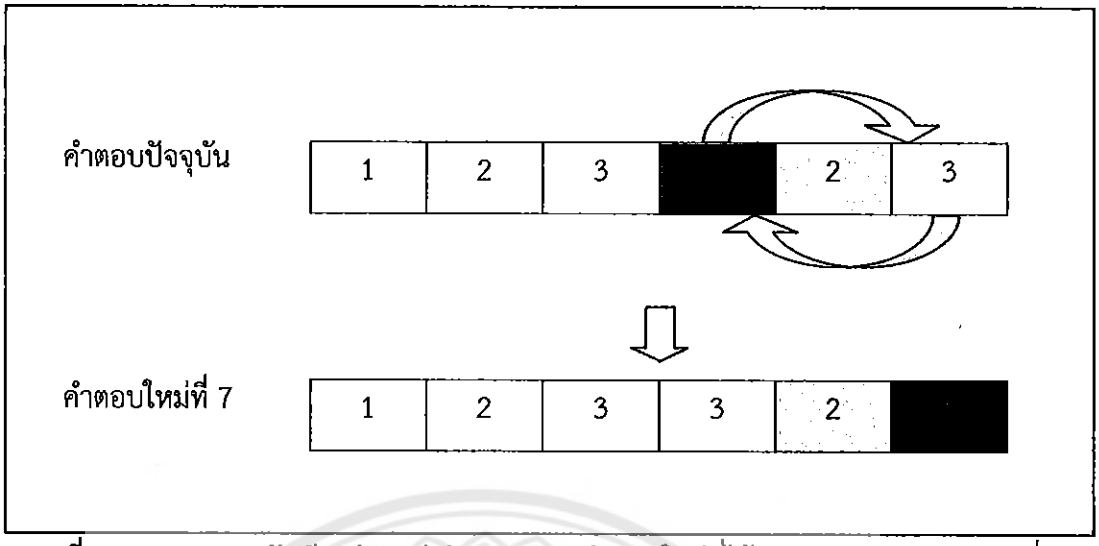
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 3 และสุ่มตำแหน่งที่ทำการคงที่ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 1 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 3 จะย้ายไปแทนที่ ตำแหน่งที่ 2 และเลื่อนตำแหน่งที่ 2 ไปทางขวามือ 1 ตำแหน่ง จะสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 6 ได้ ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจาณาตำแหน่งที่ 3 ไปทางซ้ายมือ

ค.5 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

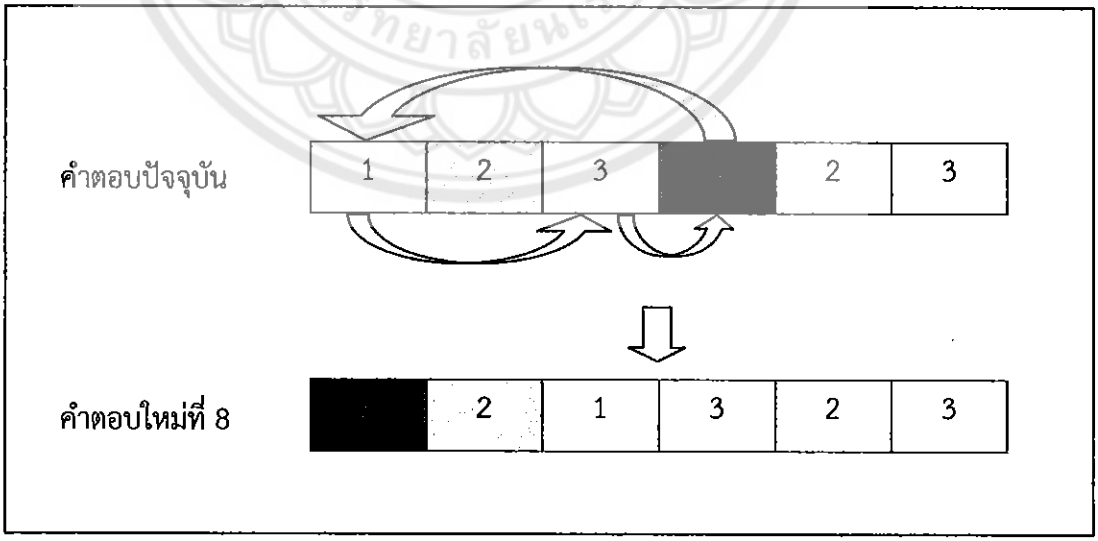
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 และสุ่มตำแหน่งที่ทำการคงที่ไปทางขวามือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 5 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปแทนที่ ตำแหน่งสุดท้าย และเลื่อนตำแหน่งสุดท้ายไปทางซ้ายมือ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ จะสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 7 ได้ ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจาณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางขวามือ

ค.6 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

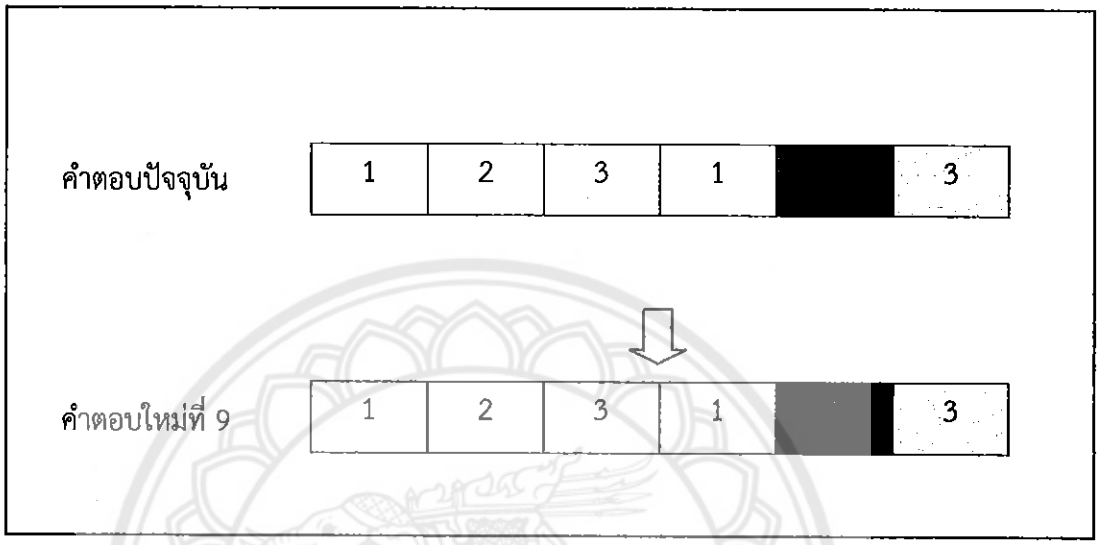
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 4 และสุ่มตำแหน่งที่ทำการคงที่ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 4 จะย้ายไปแทนที่ ตำแหน่งแรก และเลื่อนตำแหน่งที่ 1 และ 3 ไปทางขวามือทีละ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ จะสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 8 ได้ ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจาณาตำแหน่งที่ 4 ไปทางซ้ายมือ

ค.7 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางขวามือ

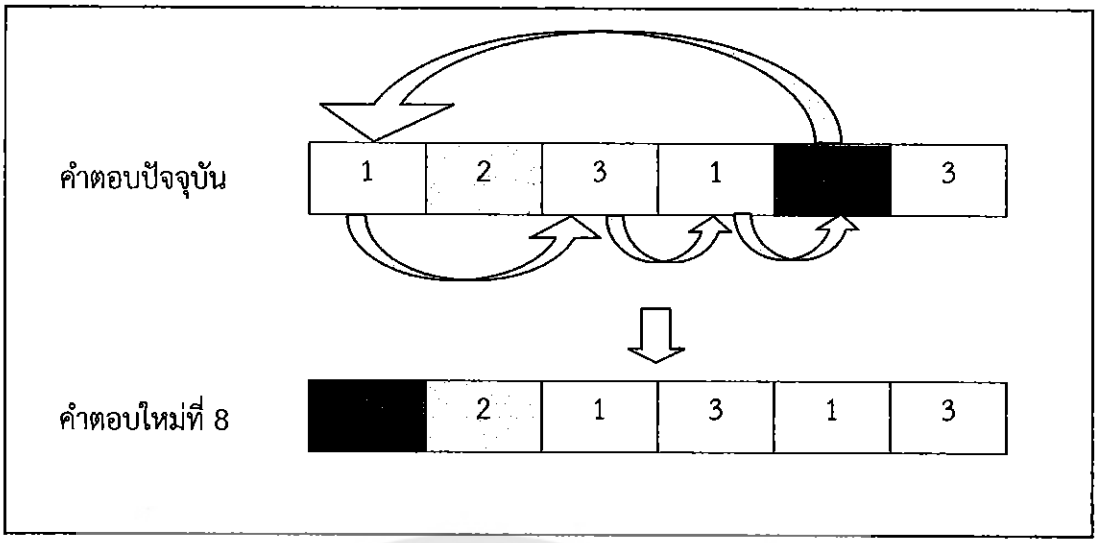
สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 และสุ่มตำแหน่งที่ทำการคงที่ ในที่นี้มีตำแหน่งเดียว คือ ตำแหน่งที่ 6 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะไม่สามารถย้ายไปแทนที่ใดๆ ได้ และคำตอบใหม่ที่ได้ คือ คำตอบเดิม ซึ่งเป็นคำตอบใหม่ที่ 9 ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งกิจกรรมของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจาณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางขวามือ

ค.8 เลือกพิจารณาที่ตำแหน่งที่ 5 ไปทางซ้ายมือ

สามารถอธิบายได้ คือ พิจารณาตำแหน่งที่ 5 และสุ่มตำแหน่งที่จะทำการคงที่ไปทางซ้ายมือ จากตัวอย่างนี้ สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 นั่นคือ ตำแหน่งที่ 5 จะย้ายไปแทนที่ตำแหน่งแรก และเลื่อนตำแหน่งที่ 1, 3 และ 4 ไปทางขวามือ ทีละ 1 ตำแหน่ง โดยไม่คำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการคงที่ไว้ และสามารถหาคำตอบใหม่ที่ 8 ได้ ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 แสดงการจัดเรียงตำแหน่งของคำตอบใหม่ที่ได้จากการพิจารณา**ตำแหน่งที่** 5 ไปทางซ้ายมือ

3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์

หลังจากที่ได้ทำการศึกษา ออกแบบวิธีการอบอ่อนจำลอง นำวิธีการอบอ่อน**จำลองที่พัฒนาขึ้น**มาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม VBA บน Microsoft Excel และตรวจสอบความถูกต้อง

3.7 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบหาค่าคำตอบของปัญหา

หลังจากที่ได้ทำการศึกษา ออกแบบวิธีการอบอ่อนจำลอง และเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel แล้ว ต่อไปจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยแบ่งปัญหาในการทดสอบออกเป็น 3 ขนาด คือ

3.7.1 ปัญหาขนาดเล็ก มีกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม จำนวน 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 1 และปัญหาขนาดเล็ก 2 โดยปัญหาขนาดเล็ก 1 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 99 ครั้ง และปัญหาขนาดเล็ก 2 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 100 ครั้ง

3.7.2 ปัญหาขนาดกลาง มีกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม จำนวน 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดกลาง 1 และปัญหาขนาดกลาง 2 โดยปัญหาขนาดกลาง 1 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 175 ครั้ง และปัญหาขนาดกลาง 2 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 180 ครั้ง

3.7.3 ปัญหาขนาดใหญ่ มีกิจกรรมทั้งหมด 30 กิจกรรม จำนวน 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดใหญ่ 1 และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โดยปัญหาขนาดใหญ่ 1 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 280 ครั้ง และปัญหาขนาดใหญ่ 2 มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมทั้งหมด 300 ครั้ง

ซึ่งปัญหาที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการอบอ่อนจำลองนั้น เป็นปัญหาเดียวกันกับงานวิจัยระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร ของ เด่นดวง มีสกุล และ ประกฤชฎ์ บุญอ้น ปี 2555 ในเรื่อง การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการอบอ่อนจำลองที่ออกแบบโดยผู้ดำเนินโครงงาน ว่ามีประสิทธิภาพความเหมือนกัน ดและความแตกต่างกันอย่างไร

ทั้งนี้ผู้ดำเนินโครงงานยังได้ทำการทดลองอีกด้วยว่า ตัวแปร หรือพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลอย่างไรต่อค่าคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลตอบสนอง เช่น อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสุดท้าย จำนวนรอบของการอบอ่อน อัตราการเย็นตัว และวิธีการหาคำตอบใหม่ในกระบวนการอบอ่อนจำลอง

3.8 สรุปผลและนำเสนอผลงาน

นำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของปัญหาทดสอบ 3 ขนาด มาวิเคราะห์ และพิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบว่าเหมาะสม แล้วสรุปผล จัดทำรายงาน และนำเสนอต่อคณะกรรมการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

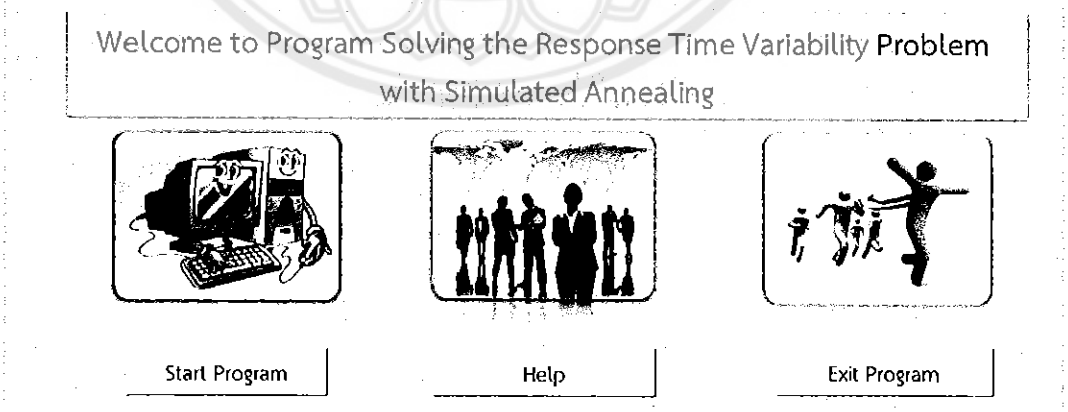
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการออกแบบการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel และผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง รวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ทำการออกแบบ นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลที่ได้กับงานวิจัยอื่นที่กล่าวมาในบทที่ 3 ซึ่งจะสามารถแบ่งหัวข้อของผลการทดลอง และการวิเคราะห์ได้ ดังต่อไปนี้

4.1 โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

ในส่วนของโปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบให้โปรแกรมมีการทำงานใน 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม ส่วนรับข้อมูล และส่วนประมวลผล ซึ่งในแต่ละส่วนของโปรแกรมนั้นสามารถทำงานได้ทั้งในหน้าต่างโปรแกรม และหน้าต่างของ Microsoft Excel ดังต่อไปนี้

4.1.1 ส่วนต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม

ในส่วนต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม จะเป็นส่วนที่เมื่อเข้าโปรแกรมมาแล้ว หน้าต่างนี้จะแสดงมาก่อน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าต่างต้อนรับเข้าสู่โปรแกรม

เมื่อกดปุ่ม Start Program จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนถัดไป คือ ส่วนรับข้อมูล แต่เมื่อกดปุ่ม Exit Program จะเป็นการปิดหน้าต่างโปรแกรม และเมื่อกด Help จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

4.1.2 ส่วนรับข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการเริ่มต้นเข้าสู่การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ซึ่งในส่วนรับข้อมูลนี้จะมี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ระบุค่าที่ใช้ในการอบอ่อน และจำนวนกิจกรรม ขั้นตอนที่ 2 ระบุจำนวนการทำซ้ำ และขั้นตอนที่ 3 เลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบ Neighbourhood Search ดังจะกล่าวดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ขั้นตอนที่ 1 ระบุค่าที่ใช้ในการอบอ่อน และจำนวนกิจกรรม

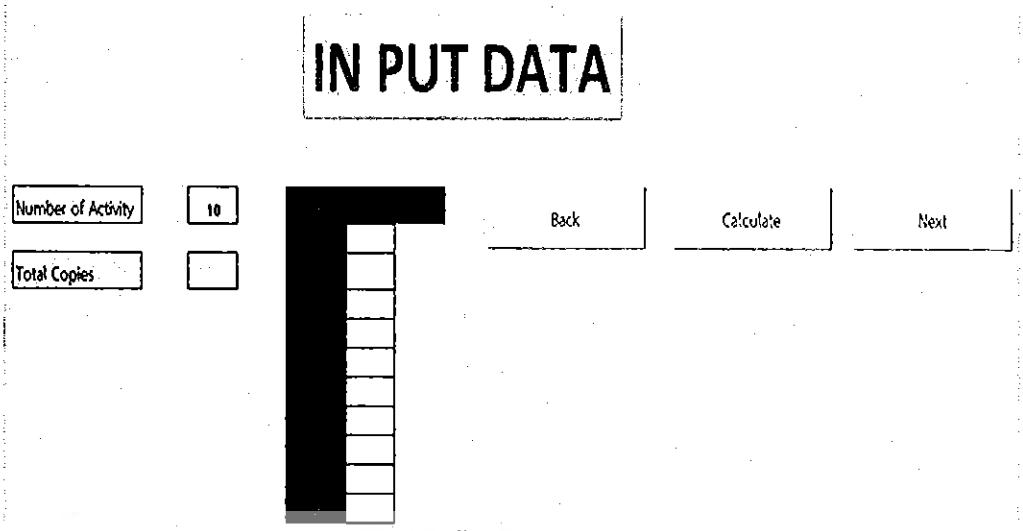
จะเป็นการให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสุดท้าย จำนวนรอบ อัตราการเย็นตัว และจำนวนกิจกรรม นอกจากนี้แล้วอาจใช้ค่า Default ที่ระบุไว้ในวงเล็บแทนได้ ซึ่งไม่ต้องระบุค่า ดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนที่ 1 ระบุค่าที่ใช้ในการอบอ่อน และจำนวนกิจกรรม

เมื่อกดปุ่ม Next จะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 ระบุจำนวนการทำซ้ำ เมื่อกดปุ่ม Back จะเป็นการปิดหน้าต่างระบุข้อมูล

4.1.2.2 ขั้นตอนที่ 2 ระบุจำนวนการทำซ้ำ

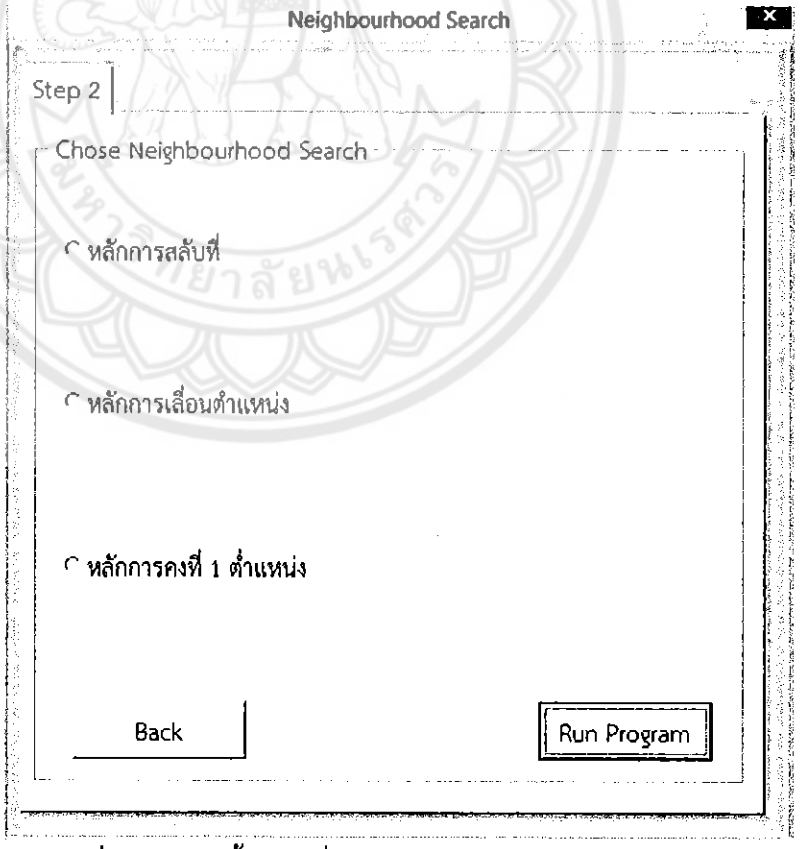
จะเป็นการให้ผู้ใช้ระบุข้อมูลจำนวนการทำซ้ำของแต่ละกิจกรรมลงในช่อง Copies ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนที่ 2 ระบุจำนวนการทำซ้ำ

4.1.2.3 ขั้นตอนที่ 3 เลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบ Neighbourhood Search

จะเป็นการให้ผู้ใช้เลือกวิธีการทำ Neighbourhood Search ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ หลักการสลับที่ หลักการเลื่อนตำแหน่ง และหลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.4

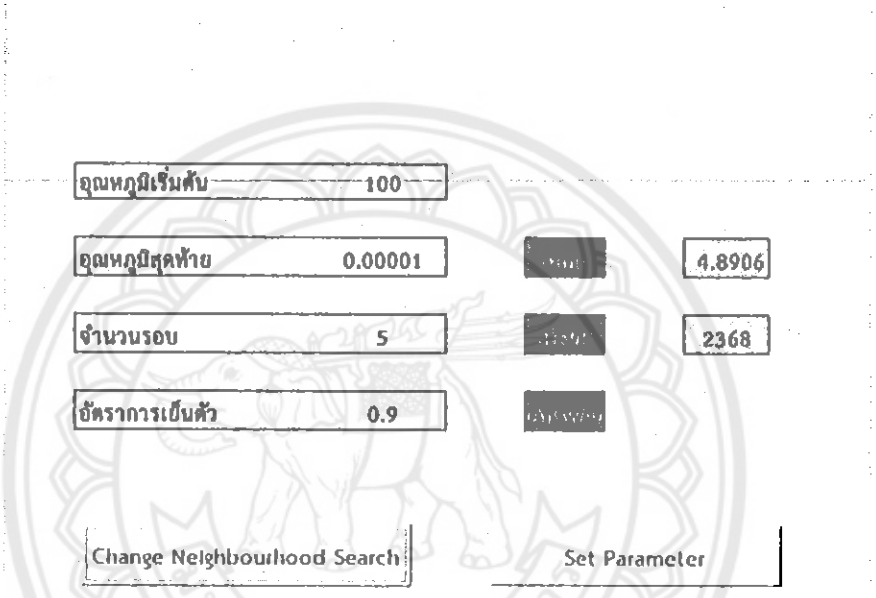


รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนที่ 3 เลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบ

เมื่อกด Back จะเป็นการปิดหน้าต่างข้อมูล เมื่อกดปุ่ม Run Program จะเป็นการเข้าสู่การประมวลผล

4.1.3 ส่วนประมวลผล

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการระบุค่าต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งจะเป็นการเป็นการแสดงค่าที่ใช้ในกระบวนการอบอ่อนจำลอง เวลาที่ใช้ในการประมวลผล ค่าคำตอบของ RTVP และตัวแทนคำตอบของ RTVP แสดงได้ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงส่วนประมวลผล

เมื่อกดปุ่ม Change Neighbourhood Search จะเป็นการย้อนกลับไปยัง ขั้นตอนการเลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบ เมื่อกดปุ่ม Set Parameter จะเป็นการกลับไปยัง ขั้นตอนระบุค่าที่ใช้ในการอบอ่อน และจำนวนกิจกรรม

4.2 ผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

หลังจากได้ทดสอบโปรแกรมเบื้องต้นแล้ว เนื่องจาก โปรแกรมของผู้วิจัย ทำการทดสอบในปริมาณคำตอบที่เท่ากันกับโปรแกรมของ เด่นดวง และ ประกฤชฎ์ ผลการทดลองได้ค่าคำตอบที่มีคุณภาพค่าคำตอบที่ด้อยกว่า โปรแกรมของ เด่นดวง และ ประกฤชฎ์ ในปัญหาทั้งหมด ผู้วิจัยจึงเพิ่มจำนวนการค้นหาคำตอบใหม่ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ ประสิทธิภาพของ

โปรแกรมตามลักษณะของปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งจะมีในลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ทั้งหมด 6 ปัญหา

โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง คือ Windows 8 Single Language Intel (R) Core (TM) i7 - 3537U CPU@ 2.00 GHz 2.50 GHz RAM 8.00 GB

ผู้ดำเนินโครงงานได้แบ่งการทดลองออกเป็น 8 ส่วน ซึ่งจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ผู้ดำเนินโครงงานเขียนขึ้นโดยจะใช้หลักการในการหา Neighbourhood Search ทั้งหมด 3 หลักการ

ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด จะมีจำนวนคำตอบใหม่ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนคำตอบใหม่

ขนาดปัญหา	พารามิเตอร์ชุดที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
เล็ก	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900	9,900
กลาง	10,740	10,740	10,740	10,740	10,740	10,740	10,740	10,740
ใหญ่	11,960	11,960	11,960	11,960	11,960	11,960	11,960	11,960

ในการหาคำตอบของพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด และ Neighbourhood Search ทั้งหมด 3 หลักการ จะทำการหาคำตอบทั้งหมด 5 ครั้ง โดยมีค่าพารามิเตอร์ในการอบอ่อนดังนี้

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 1 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	100	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	5	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.80	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 2 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	100	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	5	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.90	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 3 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	10,000	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	5	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.80	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 4 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	10,000	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	5	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.90	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 5 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	100	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	10	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.80	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 6 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	100	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	10	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.90	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 7 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	10,000	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	10	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.80	

ค่าพารามิเตอร์ ชุดที่ 8 ในการอบอ่อน มีดังนี้

อุณหภูมิเริ่มต้น	10,000	องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	10	รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.90	

และในการหาอุณหภูมิสุดท้ายของการอบอ่อนของชุดพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด สามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$T_{\min} = T_{\max} \times \alpha^{Outer\ Loop} \tag{4.1}$$

โดยสามารถหา Outer Loop จากสมการที่ (4.2) (ภูพงษ์, 2556)

$$\text{จำนวนคำตอบใหม่} = Outer\ Loop \times Inner\ Loop \times (2D-2) \tag{4.2}$$

ตัวอย่าง จงหาอุณหภูมิสุดท้ายโดยใช้ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบ (Inner Loop) และอัตราการเย็นตัวของพารามิเตอร์ชุดที่ 8 ต้องการจำนวนคำตอบใหม่ 9,900 คำตอบ มีจำนวนการทำซ้ำทั้งหมด 100 ครั้ง

วิธีทำ จากโจทย์กำหนดให้

อุณหภูมิเริ่มต้น	10,000 องศาเซลเซียส
จำนวนวนรอบ (Inner Loop)	10 รอบ
อัตราการเย็นตัว	0.90

คำนวณหาค่า Outer Loop

จากสมการที่ (4.2)

$$\text{จำนวนคำตอบใหม่} = Outer\ Loop \times Inner\ Loop \times (2D-2)$$

$$9,900 = Outer\ Loop \times 10 \times [2(100)-2]$$

$$Outer\ Loop = 5 \text{ รอบ}$$

จากสมการที่ (4.1)

$$T_{\min} = T_{\max} \times \alpha^{Outer\ Loop}$$

$$T_{\min} = 10,000 \times 0.9^{5}$$

$$T_{\min} = 5,904.9 \quad \text{องศาเซลเซียส}$$

หมายเหตุ : เมื่อคำนวณค่าอุณภูมิสุดท้ายได้ค่าตัวเลขมีจุดทศนิยมให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็มเสมอ

เพราะฉะนั้น $T_{\min} = 5,905$ องศาเซลเซียส

เนื่องจากในแต่ละขนาดปัญหามีจำนวนการหาคำตอบใหม่ไม่เท่ากันอุณหภูมิสุดท้ายจึงมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละขนาดปัญหา สามารถแสดงตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิสุดท้าย

ขนาดปัญหา	พารามิเตอร์ชุดที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
เล็ก	11	35	1,074	3,487	33	60	3,277	5,905
กลาง	27	54	2,622	5,315	52	73	5,120	7,290
ใหญ่	41	66	4,096	6,561	64	81	6,400	8,100

4.2.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

หลังจากทาการทดสอบโปรแกรมแล้ว ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็กทั้งหมด 2 ปัญหา ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	4,616.93	28.46	3,846.93	28.88	674.56	130.56
	ชุดที่ 2	3,832.13	6.62	3,006.93	0.74	877.54	130.87
	ชุดที่ 3	4,038.93	12.38	3,490.93	16.95	501.30	129.81
	ชุดที่ 4	3,994.93	11.15	3,114.93	4.36	812.73	130.59
	ชุดที่ 5	4,091.73	13.84	3,136.93	5.09	762.63	132.50
	ชุดที่ 6	3,883.73	8.06	3,514.92	17.76	350.53	132.45
	ชุดที่ 7	4,113.33	14.45	3,592.92	20.37	521.10	132.24
	ชุดที่ 8	3,975.33	10.61	3,090.93	3.55	625.74	132.34
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	3,594.13	0.00	2,984.93	0.00	531.70	133.52
	ชุดที่ 2	5,220.53	45.25	3,710.92	24.32	1840.76	132.16
	ชุดที่ 3	4,248.93	18.22	3,702.93	24.05	458.51	133.99
	ชุดที่ 4	4,024.13	11.96	3,370.93	12.93	600.05	135.00
	ชุดที่ 5	4,178.93	16.27	3,794.93	27.14	438.57	134.82
	ชุดที่ 6	4,214.53	17.26	3,610.93	20.97	518.42	134.68
	ชุดที่ 7	4,196.13	16.75	3,180.92	6.57	766.14	134.53
	ชุดที่ 8	3,778.93	5.14	3,046.93	2.08	918.41	134.94
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	5,129.32	42.71	4,140.92	38.73	832.07	139.36
	ชุดที่ 2	4,550.13	26.60	3,546.93	18.83	1015.71	137.60
	ชุดที่ 3	4,969.33	38.26	4,346.93	45.63	780.55	136.47
	ชุดที่ 4	4,839.73	34.66	3,076.93	3.08	1291.70	135.62
	ชุดที่ 5	4,924.12	37.00	3,612.92	21.04	767.52	136.72
	ชุดที่ 6	5,511.72	53.35	4,126.92	38.26	1914.35	136.44
	ชุดที่ 7	4,789.33	33.25	3,018.93	1.14	1153.97	136.11
	ชุดที่ 8	4,776.53	32.90	4,034.93	35.18	917.70	136.56

จากตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 จะแสดง ค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่ง จะให้ค่า RTV เฉลี่ย และค่า RTV น้อยที่สุด ดีที่สุด

ตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	4,004.40	0.00	3,524.00	6.59	513.85	133.83
	ชุดที่ 2	4,449.60	11.12	4,186.00	26.62	242.52	132.97
	ชุดที่ 3	4,460.80	11.40	3,754.00	13.55	648.35	133.16
	ชุดที่ 4	4,714.80	17.74	4,338.00	31.22	407.64	133.11
	ชุดที่ 5	4,675.20	16.75	4,312.00	30.43	384.50	137.22
	ชุดที่ 6	4,419.20	10.36	4,018.00	21.54	313.39	136.86
	ชุดที่ 7	4,532.80	13.20	4,008.00	21.23	478.72	136.70
	ชุดที่ 8	4,306.40	7.54	3,306.00	0.00	708.92	136.51
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	4,431.20	10.66	3,972.00	20.15	481.50	133.42
	ชุดที่ 2	4,604.40	14.98	3,856.00	16.64	529.86	132.12
	ชุดที่ 3	4,360.00	8.88	3,962.00	19.84	433.63	133.80
	ชุดที่ 4	4,765.60	19.01	3,808.00	15.18	869.84	135.33
	ชุดที่ 5	4,497.20	12.31	4,106.00	24.20	252.73	133.28
	ชุดที่ 6	4,572.00	14.17	4,120.00	24.62	382.52	132.39
	ชุดที่ 7	4,636.80	15.79	4,398.00	33.03	262.37	134.16
	ชุดที่ 8	4,878.00	21.82	3,858.00	16.70	652.27	135.58
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	5,851.20	46.12	4,938.00	49.36	595.19	135.41
	ชุดที่ 2	6,636.80	65.74	4,228.00	27.89	1676.45	135.18
	ชุดที่ 3	5,740.40	43.35	4,818.00	45.74	1149.11	135.51
	ชุดที่ 4	7,103.20	77.38	6,168.00	86.57	628.70	135.52
	ชุดที่ 5	5,291.60	32.14	4,496.00	36.00	693.51	135.46
	ชุดที่ 6	5,584.40	39.46	4,856.00	46.88	666.87	135.56
	ชุดที่ 7	5,934.40	48.20	4,426.00	33.88	1540.17	135.16
	ชุดที่ 8	4,704.40	17.48	3,676.00	11.19	713.79	135.61

จากตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 จะแสดง ค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการสลับที่จะให้ค่า RTV เฉลี่ยดีที่สุด และปัญหาขนาดเล็กที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 8 โดยใช้หลักการสลับที่จะให้ค่าค่า RTV น้อยที่สุดดีที่สุด

4.2.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง

ตารางที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	43,604.87	23.94	39,122.87	35.27	5,601.77	375.21
	ชุดที่ 2	39,417.68	12.04	35,762.88	23.65	5,803.52	374.97
	ชุดที่ 3	42,824.88	21.72	28,922.89	0.00	13,525.39	375.75
	ชุดที่ 4	39,512.48	12.31	31,776.89	9.87	6,406.55	374.80
	ชุดที่ 5	41,772.07	18.73	39,122.87	35.27	2,591.25	375.29
	ชุดที่ 6	41,638.48	18.35	36,492.87	26.17	4,885.67	375.94
	ชุดที่ 7	47,351.27	34.59	40,650.88	40.55	9,423.03	376.94
	ชุดที่ 8	42,222.07	20.01	35,032.88	21.13	4,483.31	376.71
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	41,214.08	17.15	35,604.88	23.10	4,485.65	382.94
	ชุดที่ 2	46,581.68	32.40	41,718.88	44.24	5,667.84	388.21
	ชุดที่ 3	47,022.47	33.65	44,818.88	54.96	2,140.18	385.41
	ชุดที่ 4	39,409.28	12.02	31,492.89	8.89	8,098.11	388.58
	ชุดที่ 5	41,972.88	19.30	39,234.86	35.65	2,467.39	382.57
	ชุดที่ 6	45,917.28	30.51	37,972.87	31.29	6,902.38	381.27
	ชุดที่ 7	35,182.08	0.00	30,742.89	6.29	4,627.91	380.96
	ชุดที่ 8	41,216.48	17.15	36,536.88	26.33	3,561.28	382.10
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	43,263.67	22.97	39,156.88	35.38	2,523.72	390.45
	ชุดที่ 2	47,544.49	35.14	38,300.89	32.42	11,971.70	383.40
	ชุดที่ 3	50,350.87	43.12	46,538.88	60.91	5,474.57	383.92
	ชุดที่ 4	44,911.27	27.65	37,142.87	28.42	6,223.60	383.66
	ชุดที่ 5	47,698.47	35.58	42,578.87	47.22	5,527.81	380.71
	ชุดที่ 6	48,164.48	36.90	38,300.89	32.42	11,819.14	379.49
	ชุดที่ 7	45,939.28	30.58	36,212.88	25.20	9,989.83	381.51
	ชุดที่ 8	47,030.87	33.68	39,886.87	37.91	7,291.05	379.55

จากตารางที่ 4.5 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 จะแสดงค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 เมื่อใช้

พารามิเตอร์ชุดที่ 7 โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่งจะให้ค่า RTV เฉลี่ยดีที่สุด และปัญหาขนาดกลางที่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 3 โดยใช้หลักการสลับที่จะให้ค่าค่า RTV น้อยที่สุดดีที่สุด

ตารางที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	43,849.60	11.82	37,838.00	10.06	5,558.25	419.84
	ชุดที่ 2	41,888.00	6.82	38,478.00	11.92	3,107.72	419.58
	ชุดที่ 3	39,919.60	1.80	36,300.00	5.58	2,572.21	432.60
	ชุดที่ 4	43,714.40	11.48	36,360.00	5.76	4,783.42	433.13
	ชุดที่ 5	39,281.60	0.17	36,624.00	6.53	2,047.78	423.78
	ชุดที่ 6	41,022.40	4.61	39,140.00	13.85	1,861.82	411.96
	ชุดที่ 7	42,897.60	9.39	38,298.00	11.40	5,736.21	406.06
	ชุดที่ 8	43,812.80	11.73	37,954.00	10.40	6,271.38	413.66
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	43,558.40	11.08	37,794.00	9.93	5,266.46	428.63
	ชุดที่ 2	44,542.80	13.59	40,610.00	18.12	3,658.32	443.50
	ชุดที่ 3	43,606.40	11.20	39,250.00	14.17	5,439.10	445.14
	ชุดที่ 4	44,384.40	13.19	42,096.00	22.44	2,285.86	429.13
	ชุดที่ 5	39,970.00	1.93	37,306.00	8.51	1,869.18	443.16
	ชุดที่ 6	42,582.40	8.59	40,026.00	16.42	2,736.59	440.58
	ชุดที่ 7	42,073.60	7.29	36,790.00	7.01	3,722.37	436.69
	ชุดที่ 8	39,214.00	0.00	35,368.00	2.87	4,117.61	436.19
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	47,577.20	21.33	40,220.00	16.99	6,206.59	438.44
	ชุดที่ 2	47,301.60	20.62	34,814.00	1.26	8,336.57	437.43
	ชุดที่ 3	46,981.60	19.81	39,784.00	15.72	4,138.04	437.66
	ชุดที่ 4	47,578.00	21.33	43,856.00	27.56	3,707.89	437.70
	ชุดที่ 5	46,102.80	17.57	40,220.00	16.99	6,474.97	426.96
	ชุดที่ 6	50,241.20	28.12	44,928.00	30.68	5,031.91	433.30
	ชุดที่ 7	49,204.80	25.48	42,054.00	22.32	5,308.07	437.06
	ชุดที่ 8	44,215.60	12.75	34,380.00	0.00	7,841.41	426.77

จากตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 จะแสดง ค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ

โปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 8 โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่ง จะให้ค่า RTV เฉลี่ย ดีที่สุด และปัญหาขนาดกลางที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 8 โดยใช้หลักการคงที่ 1 ตำแหน่งจะให้ค่าค่า RTV น้อยที่สุดดีที่สุด

4.2.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	189,163.78	15.05	166,865.38	14.58	20,355.57	703.50
	ชุดที่ 2	182,178.95	10.80	169,921.39	16.68	16,784.36	711.31
	ชุดที่ 3	204,164.18	24.17	188,943.38	29.74	13,894.63	710.13
	ชุดที่ 4	171,024.99	4.02	167,349.34	14.91	3,355.39	701.91
	ชุดที่ 5	166,133.79	1.04	151,183.42	3.81	12,203.46	707.77
	ชุดที่ 6	176,584.99	7.40	161,179.39	10.67	10,962.46	707.07
	ชุดที่ 7	164,417.39	0.00	149,425.41	2.60	10,897.92	707.10
	ชุดที่ 8	167,299.00	1.75	152,139.42	4.47	12,195.07	707.93
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	203,052.15	23.50	161,841.33	11.13	27,169.55	749.39
	ชุดที่ 2	196,030.98	19.23	176,457.42	21.17	19,006.37	738.37
	ชุดที่ 3	179,894.98	9.41	150,855.36	3.59	17,222.74	753.76
	ชุดที่ 4	180,048.16	9.51	163,701.33	12.41	19,684.40	748.68
	ชุดที่ 5	175,884.95	6.97	161,155.41	10.66	20,761.09	740.52
	ชุดที่ 6	181,486.18	10.38	160,029.34	9.89	21,475.53	738.71
	ชุดที่ 7	184,628.16	12.29	170,693.31	17.21	13,074.36	739.60
	ชุดที่ 8	173,833.78	5.73	158,523.36	8.85	12,064.89	734.79
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	185,471.02	12.80	145,633.41	0.00	31,868.26	737.80
	ชุดที่ 2	192,777.77	17.25	187,755.39	28.92	9,061.27	744.76
	ชุดที่ 3	188,124.60	14.42	185,385.41	27.30	4,029.67	749.48
	ชุดที่ 4	193,916.57	17.94	188,695.39	29.57	9,272.72	750.92
	ชุดที่ 5	201,572.57	22.60	173,293.39	18.99	32,238.20	749.59
	ชุดที่ 6	198,960.17	21.01	165,175.41	13.42	28,224.51	746.21
	ชุดที่ 7	195,325.77	18.80	181,747.38	24.80	15,034.77	742.68
	ชุดที่ 8	187,274.58	13.90	163,305.42	12.13	14,329.15	742.75

จากตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 จะแสดงค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 7 โดยใช้หลักการสลับที่จะให้ค่า RTV เฉลี่ยดีที่สุด และปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการคงที่ 1 ตำแหน่งจะให้ค่าค่า RTV น้อยที่สุดดีที่สุด

ตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	ค่า RTV					Time
		Average	Average DevBest (ร้อยละ)	Min	Min DevBest (ร้อยละ)	SD	
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	192,253.20	13.87	175,398.00	15.28	10,950.15	775.08
	ชุดที่ 2	195,062.80	15.53	190,160.00	24.98	6,697.93	747.07
	ชุดที่ 3	196,211.60	16.21	181,280.00	19.15	14,043.51	753.54
	ชุดที่ 4	187,998.00	11.35	170,498.00	12.06	10,232.16	770.05
	ชุดที่ 5	184,740.00	9.42	165,908.00	9.04	17,903.66	776.84
	ชุดที่ 6	183,072.00	8.43	152,698.00	0.36	26,085.35	774.19
	ชุดที่ 7	181,919.20	7.75	168,284.00	10.60	9,686.44	781.32
	ชุดที่ 8	175,721.20	4.08	155,056.00	1.91	21,240.75	775.31
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	197,547.20	17.00	190,382.00	25.13	10,180.23	814.59
	ชุดที่ 2	195,752.00	15.94	177,994.00	16.99	14,727.24	798.81
	ชุดที่ 3	183,936.80	8.94	165,662.00	8.88	12,689.06	804.72
	ชุดที่ 4	191,903.60	13.66	181,696.00	19.42	13,933.61	800.67
	ชุดที่ 5	192,357.60	13.93	177,766.00	16.84	14,909.71	805.47
	ชุดที่ 6	189,110.40	12.01	165,418.00	8.72	22,885.45	806.86
	ชุดที่ 7	178,071.20	5.47	152,150.00	0.00	16,652.42	802.07
	ชุดที่ 8	168,839.60	0.00	158,264.00	4.02	15,349.35	801.90
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	199,899.60	18.40	195,338.00	28.39	6,246.23	836.61
	ชุดที่ 2	205,222.80	21.55	196,354.00	29.05	12,144.10	824.44
	ชุดที่ 3	196,098.80	16.15	182,114.00	19.69	12,766.32	825.18
	ชุดที่ 4	182,889.60	8.32	172,964.00	13.68	13,591.19	827.42
	ชุดที่ 5	198,761.20	17.72	175,200.00	15.15	19,871.64	826.89
	ชุดที่ 6	184,199.60	9.10	167,730.00	10.24	22,140.06	828.24
	ชุดที่ 7	189,238.80	12.08	166,278.00	9.29	14,524.73	829.63
	ชุดที่ 8	179,842.40	6.52	164,286.00	7.98	15,932.55	829.37

จากตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 จะแสดง ค่า RTV ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ร้อยละความแตกต่างจากค่าน้อยที่สุด และค่าที่น้อยที่สุด รวมทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดจะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 8 โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่งจะให้ค่า RTV เฉลี่ยดีที่สุด และปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 7 โดยใช้หลักการเลื่อนตำแหน่งจะให้ค่าค่า RTV น้อยที่สุดดีที่สุด

4.3 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น

ปัญหา	ค่า RTV เฉลี่ย		ค่า RTV น้อยสุด	
	โปรแกรมอื่น	โปรแกรมผู้วิจัย	โปรแกรมอื่น	โปรแกรมผู้วิจัย
เล็ก 1	3,854.50	3,594.13	3,028.90	2,984.93
เล็ก 2	4,412.00	4,004.40	4,004.00	3,306.00
กลาง 1	36,360.60	35,182.08	28,513.00	28,922.89
กลาง 2	38,168.80	39,214.00	34,810.00	34,380.00
ใหญ่ 1	130,675.00	164,417.39	144,701.00	145,633.41
ใหญ่ 2	149,098.00	168,839.60	164,425.20	152,150.00

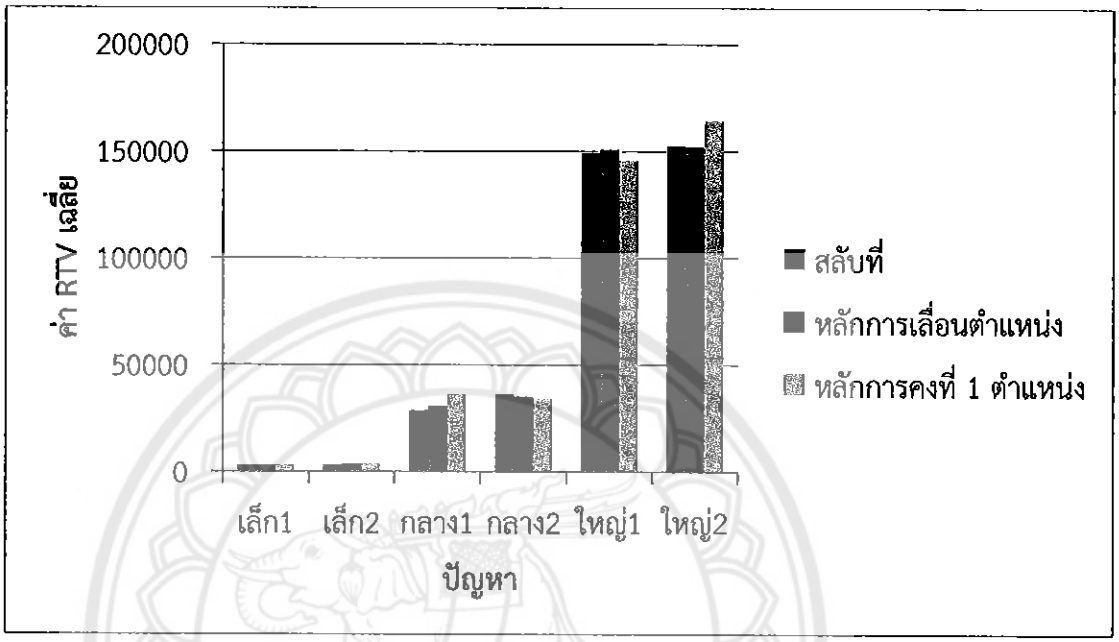
จากตารางที่ 4.9 พบว่า เมื่อพิจารณาค่า RTV เฉลี่ย โปรแกรมของ เด่นดวง และประกฤชฎ์ สามารถหาค่า RTV เฉลี่ยได้ดีกว่าโปรแกรมของผู้ดำเนินโครงงาน 3 ปัญหาจากทั้งหมด 6 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดกลางที่ 2 และปัญหาขนาดใหญ่ทั้ง 2 ปัญหา แต่เมื่อพิจารณาค่า RTV ที่น้อยที่สุด พบว่า โปรแกรมของผู้วิจัยสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าโปรแกรมของ เด่นดวง และประกฤชฎ์ ถึง 4 ปัญหา จากปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 ทั้งปัญหา ปัญหาขนาดกลางที่ 2 และปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรมการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง การเปรียบเทียบผลการทดลองแบ่งได้เป็น 3 ประเด็น คือ การเปรียบเทียบผลจากหลักการในการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปรียบเทียบผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์

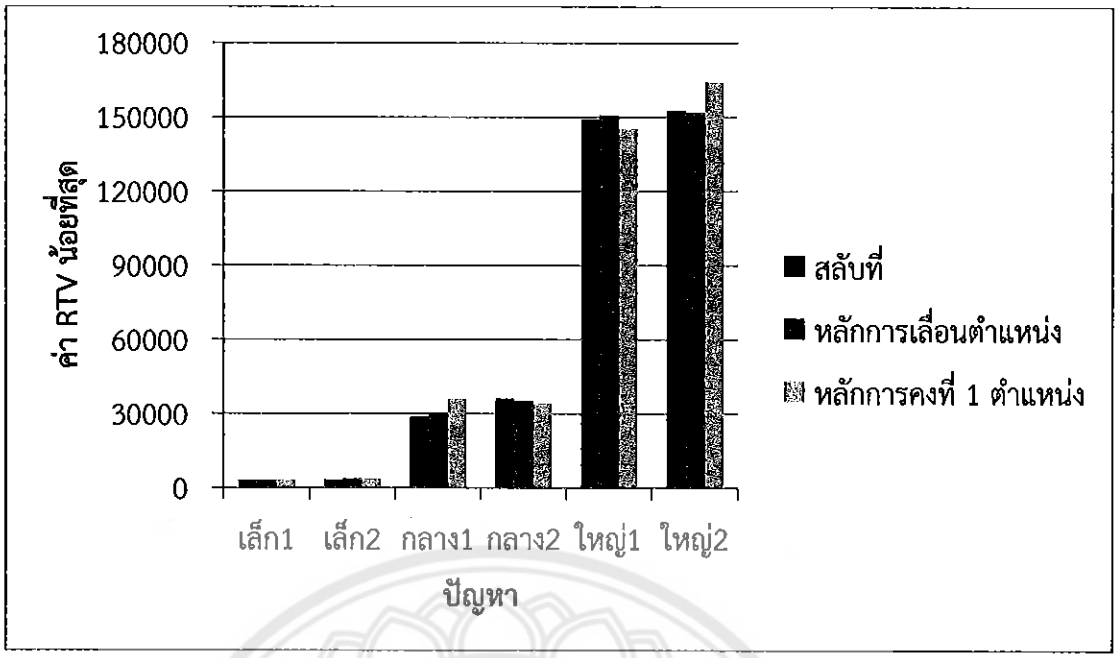
ในการอบอ่อนทั้ง 8 ชุด และการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทั้ง 3 ขนาด

4.4.1 การเปรียบเทียบผลจากหลักการในการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ



รูปที่ 4.6 แสดงค่า RTV เฉลี่ยของหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ

จากรูปที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่าหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยที่ดีกว่าหลักการอื่นๆ ทุกปัญหาจากทั้งหมด 6 ปัญหา หลักการเลื่อนตำแหน่งให้ค่าคำตอบเฉลี่ยดีกว่าหลักการคงที่ 1 ตำแหน่งทุกปัญหา และหลักการคงที่ 1 ตำแหน่งให้ค่าคำตอบเฉลี่ยที่แย่ที่สุด จากการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ



รูปที่ 4.7 แสดงค่า RTV น้อยที่สุดของหลักการทำ Neighbourhood Search **ทั้ง 3 หลักการ**

จากรูปที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่าหลักการเลื่อนตำแหน่งจะให้ค่าคำตอบที่น้อยที่สุดดีกว่าหลักการอื่นๆ 2 ปัญหาจากปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 และปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 หลักการสลับที่ให้ค่าคำตอบที่น้อยที่สุดดีกว่าหลักการอื่นๆ 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 และปัญหาขนาดกลางที่ 1 หลักการคงที่ 1 ตำแหน่งให้ค่าคำตอบที่น้อยที่สุดดีกว่าหลักการอื่นๆ 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดกลางที่ 2 และ ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 จะเห็นว่าทุกๆ หลักการจะให้ค่าคำตอบที่น้อยที่สุดหลักการละ 2 ปัญหา จากการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ

4.4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด

หลังจากที่ได้แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุดในหัวข้อ 4.2 แล้ว ต่อไปจะเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบของตาราง

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า RTV เฉลี่ยน้อยที่สุดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด

ปัญหา	พารามิเตอร์ชุดที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
เล็ก1	4,446.79	4,534.26	4,419.06	4,286.26	4,398.26	4,536.66	4,366.26	4,176.93
เล็ก2	4,004.40	4,449.60	4,360.00	4,714.80	4,497.20	4,419.20	4,532.80	4,306.40
กลาง1	41,214.08	39,417.68	42,824.88	39,409.28	41,772.07	41,638.48	35,182.08	41,216.48
กลาง2	43,558.40	41,888.00	39,919.60	43,714.40	39,281.60	41,022.40	42,073.60	39,214.00
ใหญ่1	185,471.02	182,178.95	179,894.98	171,024.99	166,133.79	176,584.99	164,417.39	167,299.00
ใหญ่2	192,253.20	195,062.80	183,936.80	182,889.60	184,740.00	183,072.00	178,071.20	168,839.60

จากตารางที่ 4.10 เป็นการแสดงค่า RTV เฉลี่ยที่น้อยที่สุด ของแต่ละชุดพารามิเตอร์ โดยใช้หลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ แสดงให้เห็นว่า จากการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 ซึ่งเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้าย 5,905, 7,290, 8,100 องศาเซลเซียส ตามลำดับปัญหา เล็ก กลาง ใหญ่ อัตราการเย็นตัว 0.90 และจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ ให้ค่า RTV เฉลี่ยน้อยที่สุดมากถึง 3 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 1 ปัญหาขนาดกลาง 2 และปัญหาขนาดใหญ่ 2 และพารามิเตอร์ที่ให้ค่า RTV เฉลี่ยน้อยสุดที่มีประสิทธิภาพดีรองจากพารามิเตอร์ชุดที่ 8 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 7 ซึ่งเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้าย 3,277, 5,120, 6,400 องศาเซลเซียส ตามลำดับปัญหา เล็ก กลาง ใหญ่ อัตราการเย็นตัว 0.80 และจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ ให้ค่า RTV เฉลี่ยน้อยที่สุด 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดกลาง 1 และปัญหาขนาดใหญ่ 1

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า RTV น้อยที่สุดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้ง 8 ชุด

ปัญหา	พารามิเตอร์ชุดที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
เล็ก1	2,984.93	3,006.93	3,490.93	3,076.93	3,136.93	3,514.92	3,018.93	3,046.93
เล็ก2	3,524.00	3,856.00	3,754.00	3,808.00	4,106.00	4,018.00	4,008.00	3,306.00
กลาง1	35,604.88	35,762.88	28,922.89	31,492.89	39,122.87	36,492.87	30,742.89	35,032.88
กลาง2	37,794.00	34,814.00	36,300.00	36,360.00	36,624.00	39,140.00	36,790.00	34,380.00
ใหญ่1	145,633.41	169,921.39	150,855.36	163,701.33	151,183.42	160,029.34	149,425.41	152,139.42
ใหญ่2	175,398.00	177,994.00	165,662.00	170,498.00	165,908.00	152,698.00	152,150.00	155,056.00

จากตารางที่ 4.11 เป็นการแสดงค่า RTV น้อยที่สุด ของแต่ละชุดพารามิเตอร์ โดยใช้หลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ แสดงให้เห็นว่า จากการใช้ชุดพารามิเตอร์ชุดที่ 1 ซึ่งเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้าย 11, 27, 41 องศาเซลเซียส ตามลำดับปัญหา เล็ก กลาง ใหญ่ อัตราการเย็นตัว 0.80 และจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 5 รอบ ให้ค่า

RTV เฉลี่ยน้อยที่สุด 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 1 และปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากการใช้พารามิเตอร์ที่ 8 ซึ่งเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้าย 5,905, 7,290, 8,100 องศาเซลเซียส ตามลำดับปัญหา เล็ก กลาง ใหญ่ อัตราการเย็นตัว 0.90 และจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ ให้ค่า RTV น้อยที่สุด 2 ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดกลาง 2

4.4.3 การเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทั้ง 3 ขนาด

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทั้ง 3 ขนาด

หลักการพิจารณา	พารามิเตอร์	Average DevBest (ร้อยละ)	Min DevBest (ร้อยละ)	Total Average (ร้อยละ)
หลักการสลับที่	ชุดที่ 1	15.52	18.44	16.98
	ชุดที่ 2	10.49	17.43	13.96
	ชุดที่ 3	14.61	14.16	14.39
	ชุดที่ 4	11.34	13.03	12.18
	ชุดที่ 5	9.99	15.03	12.51
	ชุดที่ 6	9.53	15.06	12.30
	ชุดที่ 7	13.23	17.79	15.51
	ชุดที่ 8	9.29	6.91	8.10
หลักการเลื่อนตำแหน่ง	ชุดที่ 1	13.23	14.91	14.07
	ชุดที่ 2	23.57	23.58	23.57
	ชุดที่ 3	15.05	20.91	17.98
	ชุดที่ 4	13.22	15.21	14.22
	ชุดที่ 5	11.79	20.50	16.14
	ชุดที่ 6	15.49	18.65	17.07
	ชุดที่ 7	9.60	11.68	10.64
	ชุดที่ 8	8.31	10.14	9.22
หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง	ชุดที่ 1	27.39	28.14	27.77
	ชุดที่ 2	31.15	23.06	27.11
	ชุดที่ 3	29.18	35.83	32.51
	ชุดที่ 4	31.21	31.48	31.35
	ชุดที่ 5	27.10	25.90	26.50
	ชุดที่ 6	31.32	28.65	29.99
	ชุดที่ 7	28.06	19.44	23.75
	ชุดที่ 8	19.54	17.40	18.47

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าจากผลการทดลองโปรแกรมของปัญหาทั้ง 6 ปัญหา จากการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการเลื่อนตำแหน่งพบว่า จะให้ร้อยละความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดของค่าเฉลี่ย RTV มีค่าดีที่สุด คือ ร้อยละ 8.31 จากหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการโดยใช้ 8 ชุดพารามิเตอร์ และจากการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการสลับที่พบว่า จะให้

ร้อยละ ความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดของค่า RTV ที่น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 6.91 จากหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการโดยใช้ 8 ชุดพารามิเตอร์

เมื่อพิจารณาร้อยละความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดของค่าเฉลี่ย RTV และร้อยละความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดของค่า RTV ที่น้อยที่สุด พบว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการสลับที่ จะให้ร้อยละความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุด คือ ร้อยละ 8.10

สรุปได้ว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการเลื่อนตำแหน่ง จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยของทั้ง 6 ปัญหาดีที่สุด และจากการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 7 โดยหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบที่น้อยที่สุดของทั้ง 6 ปัญหาดีที่สุด และเมื่อพิจารณาร้อยละความแตกต่างทั้ง 2 ประเภท พารามิเตอร์ชุดที่ 8 โดยหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด

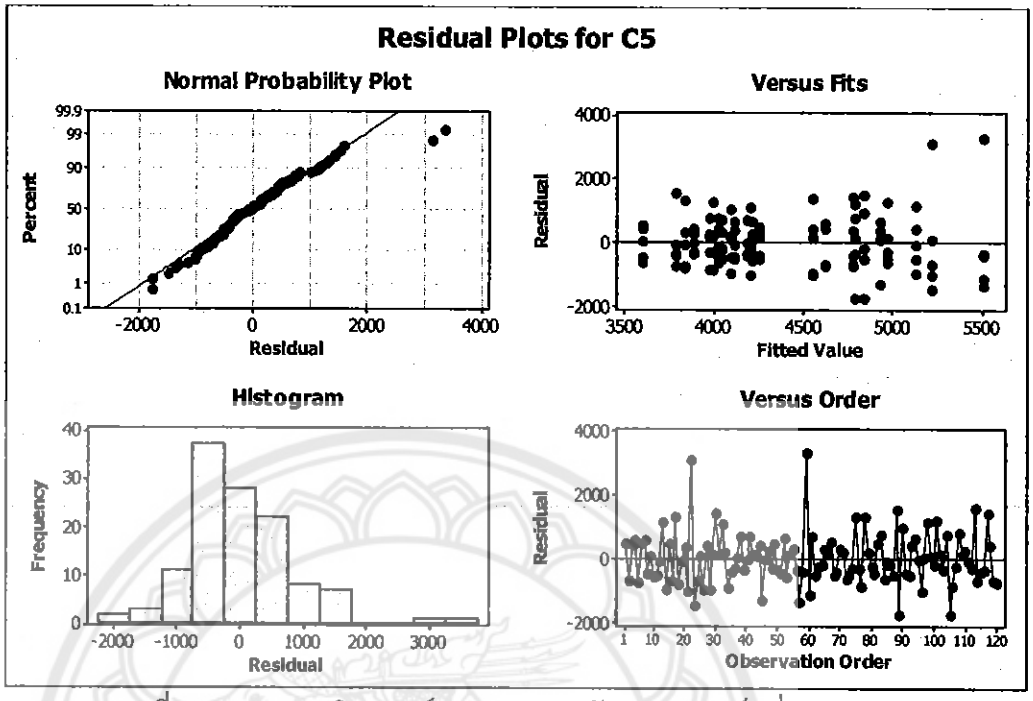
4.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ ว่าส่งผลกระทบอย่างไรกับค่าคำตอบ (RTV) โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์ (Full Factorial Design : FFD) การประมวลผลโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบเชิงทั่วไป (General Linear Model) ซึ่งจะแสดงค่า ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square : SS) ค่า F (F-value) ค่า P (P-value) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เพื่ออธิบายถึง ผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Factors) ค่า P-value สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อการทดลอง เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการทดลองที่นัยสำคัญทางสถิติ (Significance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในผลการวิเคราะห์ ได้กำหนดตัวแปรโดย

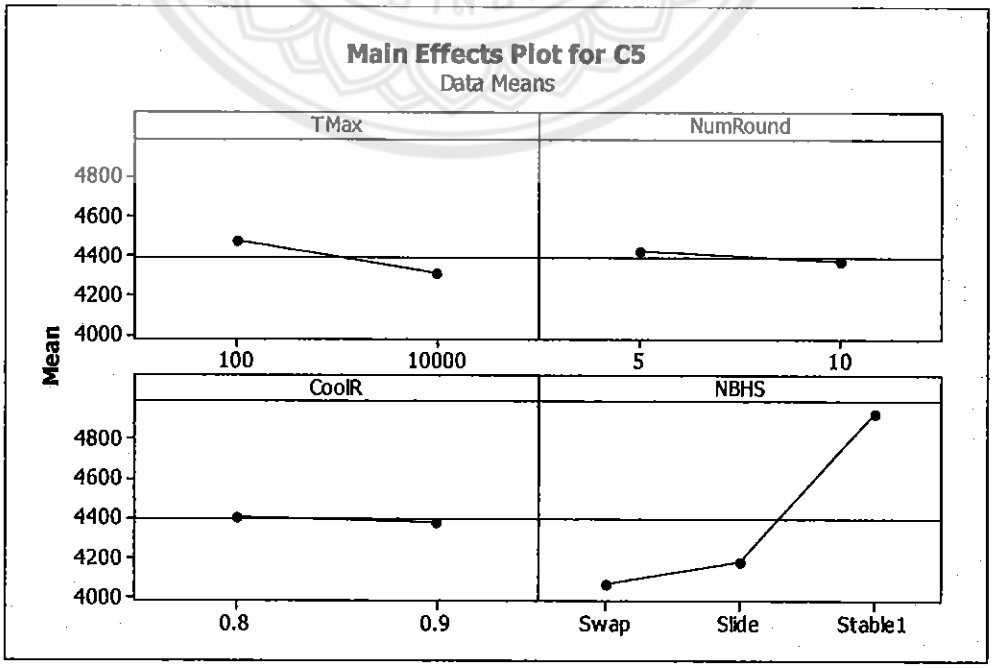
NumRound	คือ จำนวนวนรอบ (Inner Loop)
TMax	คือ อุณหภูมิเริ่มต้น
CoolR	คือ อัตราการเย็นตัว
NBHS	คือ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ
R-Sq	คือ R-Square (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ)

4.5.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1



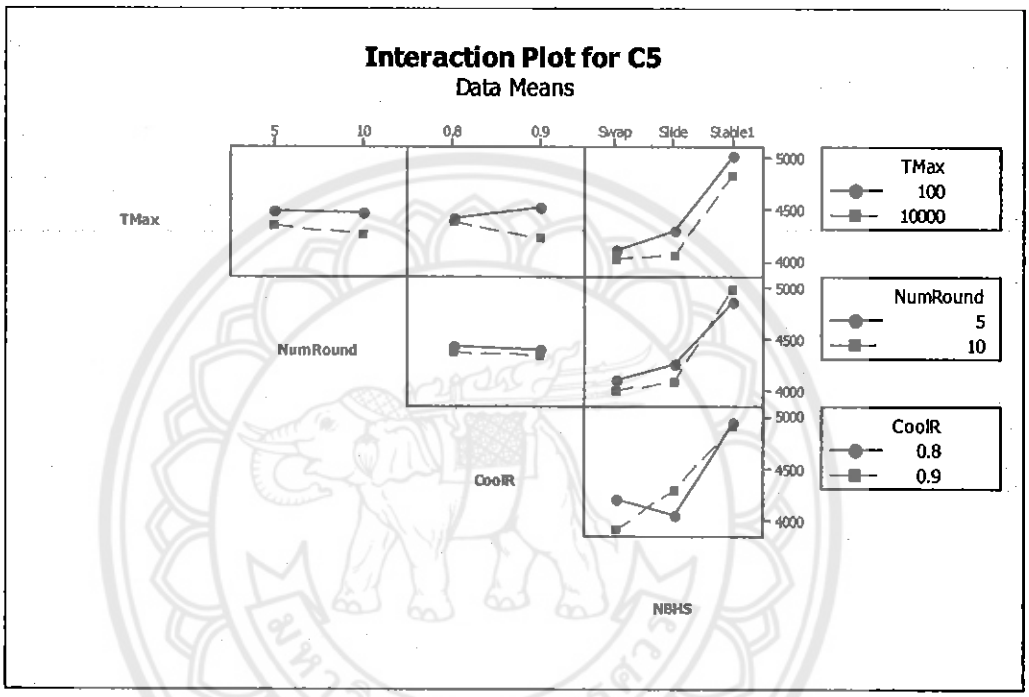
รูปที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.9 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.11 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของหลักการทำ Neighbourhood Search จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.9 ควรกำหนดหลักการทำ Neighbourhood Search เป็นหลักการสลับที่เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.10 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

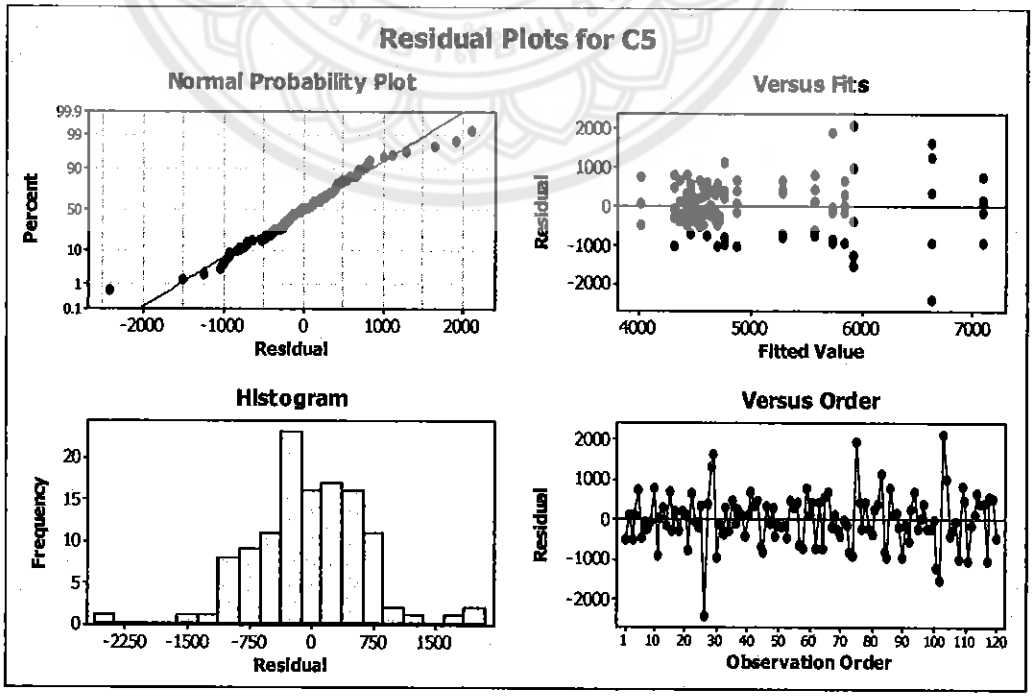
จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคำตอบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.10 ควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type   Levels  Values
TMax       fixed       2  100, 10000
NumRound   fixed       2  5, 10
CoolR      fixed       2  0.8, 0.9
NBHS       fixed       3  Swap, Slide, Stable1
Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests

Source                       DF      Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
TMax                          1      835334      835334      835334   1.00  0.320
NumRound                      1       81328       81328       81328   0.10  0.756
CoolR                         1       17376       17376       17376   0.02  0.886
NBHS                          2    17800795    17800795     8900397  10.64  0.000
TMax*NumRound                 1       25230       25230       25230   0.03  0.862
TMax*CoolR                    1      563070      563070      563070   0.67  0.414
TMax*NBHS                     2      140288      140288       70144   0.08  0.920
NumRound*CoolR                1          59          59          59   0.00  0.993
NumRound*NBHS                 2      516182      516182      258091   0.31  0.735
CoolR*NBHS                    2     1506693     1506693      753347   0.90  0.410
TMax*NumRound*CoolR           1       21655       21655       21655   0.03  0.872
TMax*NumRound*NBHS            2      783261      783261      391630   0.47  0.627
TMax*CoolR*NBHS               2     3179776     3179776     1589888   1.90  0.155
NumRound*CoolR*NBHS           2     3162771     3162771     1581386   1.89  0.156
TMax*NumRound*CoolR*NBHS      2     2170842     2170842     1085421   1.30  0.278
Error                        96    80267468    80267468      836119
Total                       119   111072127

S = 914.396   R-Sq = 27.73%   R-Sq(adj) = 10.42%
```

รูปที่ 4.11 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 1

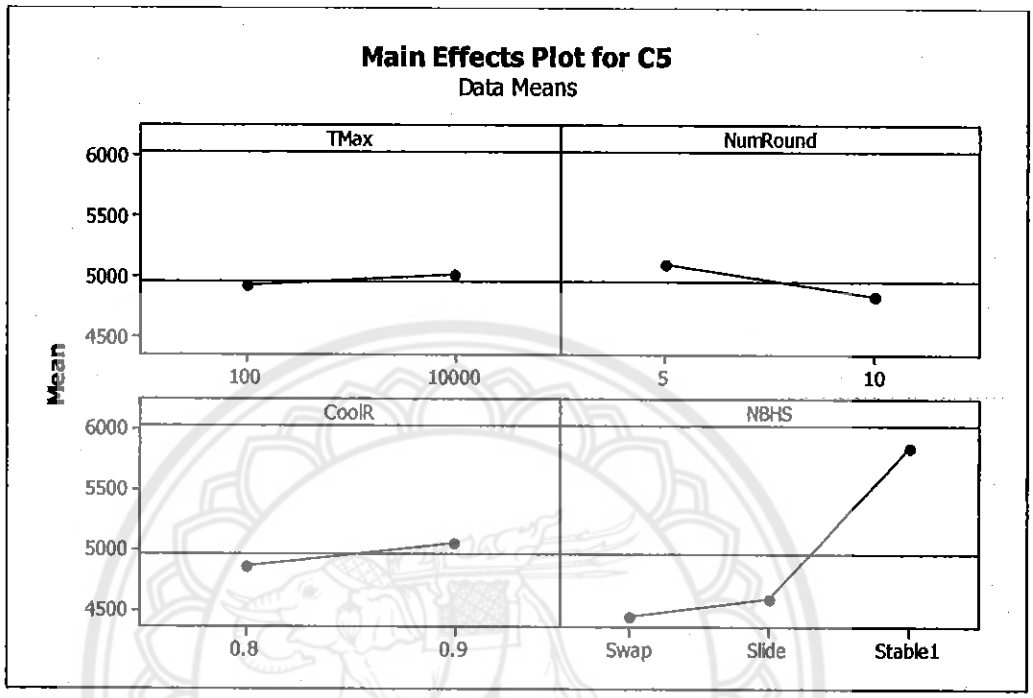
จากรูปที่ 4.11 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 27.73 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 27.73

4.5.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2



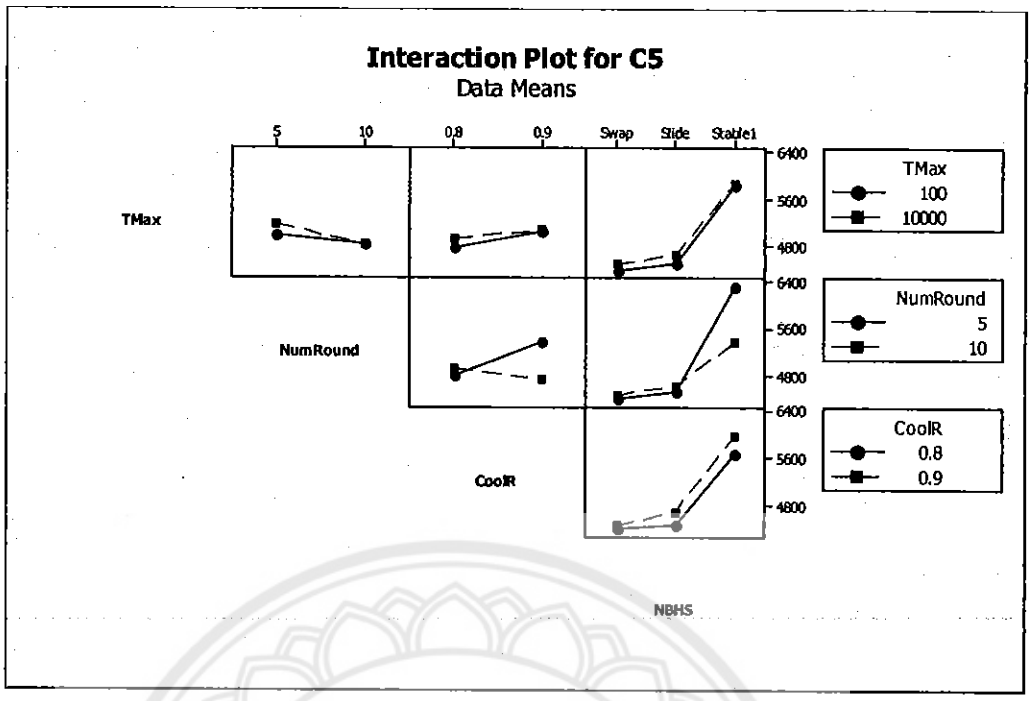
รูปที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.13 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

จากรูปที่ 4.15 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของหลักการทำ Neighbourhood Search จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.13 ควรกำหนดหลักการทำ Neighbourhood Search เป็นหลักการสลับที่เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.14 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

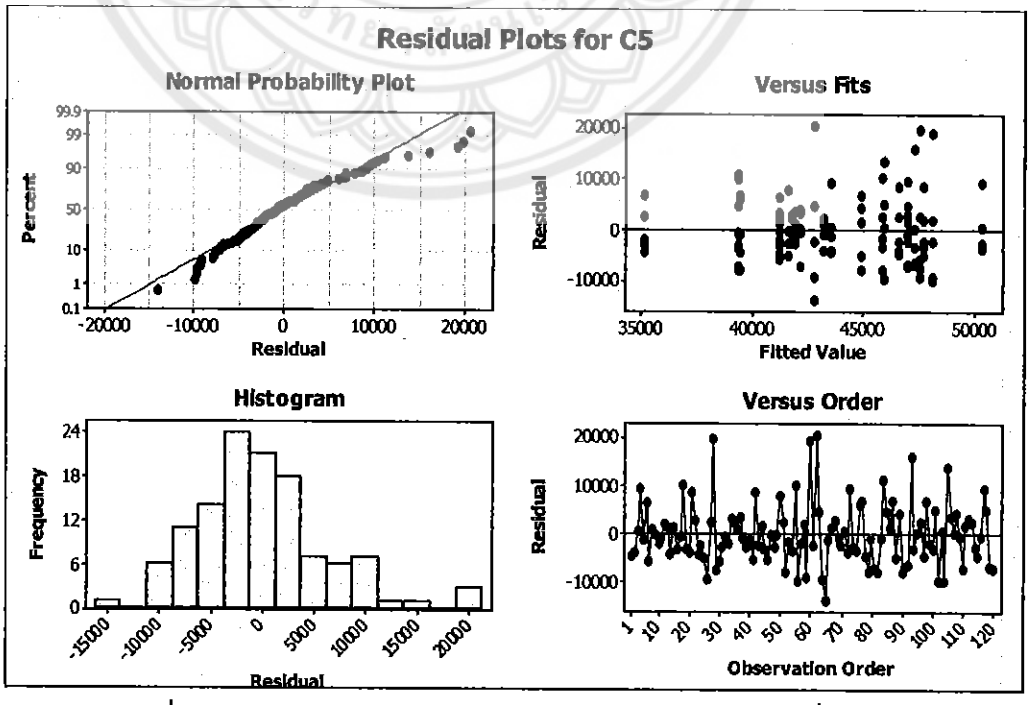
จากรูปที่ 4.15 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่าจำนวนวนรอบ (Inner Loop) และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด และควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type   Levels  Values
TMax       fixed       2  100, 10000
NumRound   fixed       2  5, 10
CoolR      fixed       2  0.8, 0.9
NBHS       fixed       3  Swap, Slide, Stable1
Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests

Source                        DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS      F      P
TMax                           1     261520     261520     261520   0.49  0.484
NumRound                       1    1989187    1989187    1989187   3.75  0.056
CoolR                          1    1124042    1124042    1124042   2.12  0.149
NBHS                           2   48071243   48071243   24035622  45.29  0.000
TMax*NumRound                  1     307041     307041     307041   0.58  0.449
TMax*CoolR                     1     104548     104548     104548   0.20  0.658
TMax*NBHS                      2      62489      62489      31245   0.06  0.943
NumRound*CoolR                 1    4275188    4275188    4275188   8.06  0.006
NumRound*NBHS                  2    7285274    7285274    3642637   6.86  0.002
CoolR*NBHS                     2     322630     322630     161315   0.30  0.739
TMax*NumRound*CoolR            1     788292     788292     788292   1.49  0.226
TMax*NumRound*NBHS             2     587960     587960     293980   0.55  0.576
TMax*CoolR*NBHS                2     570024     570024     285012   0.54  0.586
NumRound*CoolR*NBHS            2    2591169    2591169    1295584   2.44  0.092
TMax*NumRound*CoolR*NBHS       2    2001151    2001151    1000575   1.89  0.157
Error                         96   50946437   50946437     530692
Total                        119  121288194
S = 728.486   R-Sq = 58.00%   R-Sq(adj) = 47.93%
```

รูปที่ 4.15 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 2

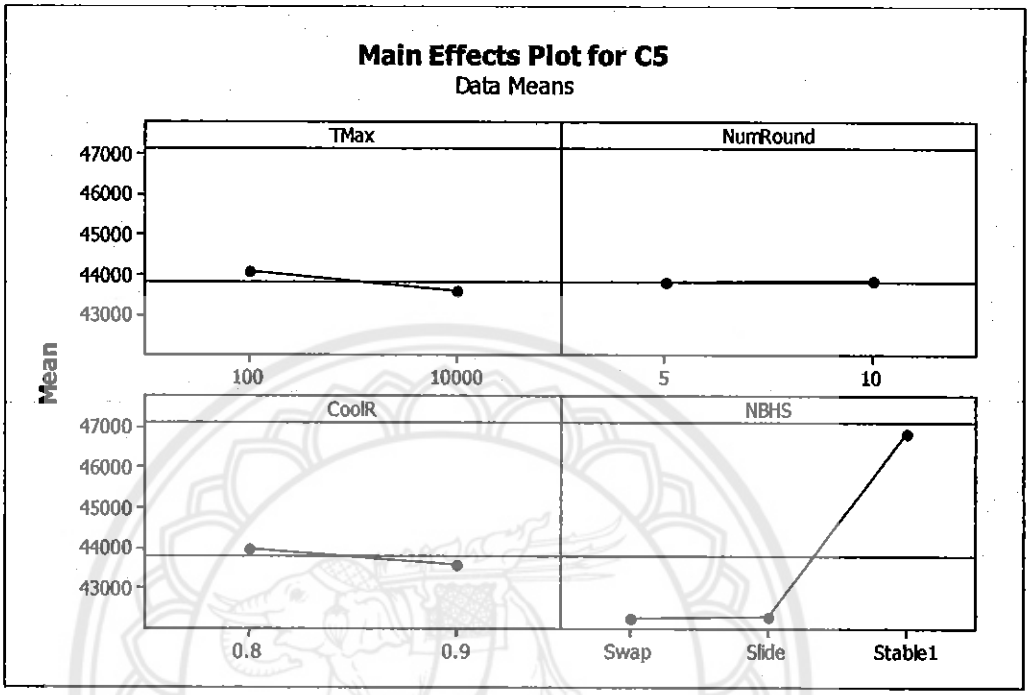
จากรูปที่ 4.15 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 58.00 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 58.00

4.5.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 1



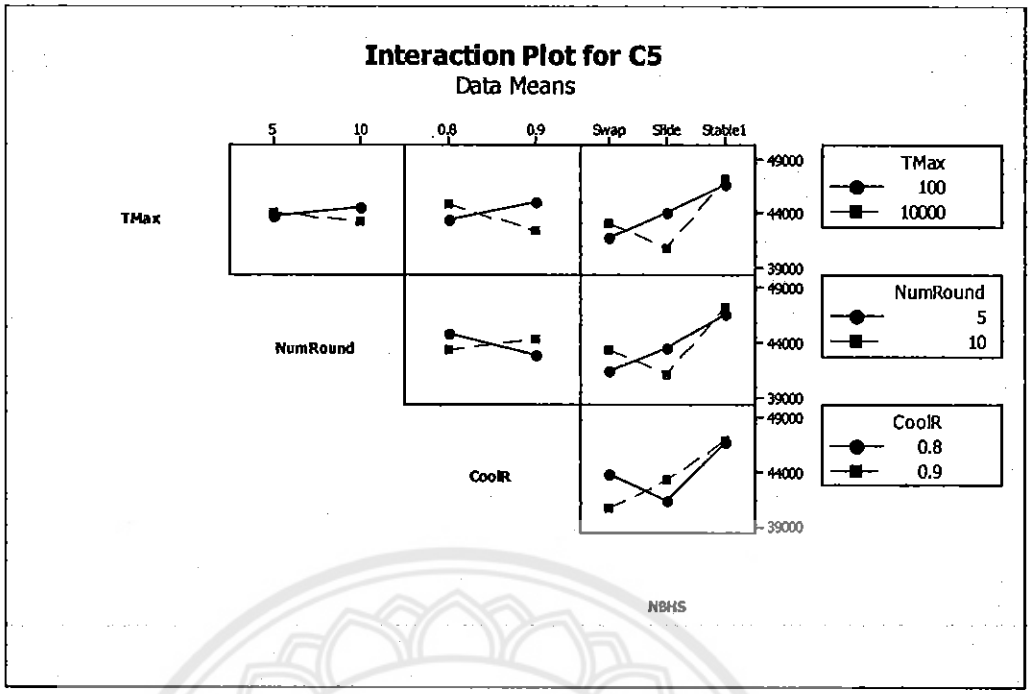
รูปที่ 4.16 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

จากรูปที่ 4.16 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.17 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

จากรูปที่ 4.19 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของหลักการทำ Neighbourhood Search จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.17 ควรกำหนดหลักการทำ Neighbourhood Search เป็นหลักการสลับที่เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.18 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

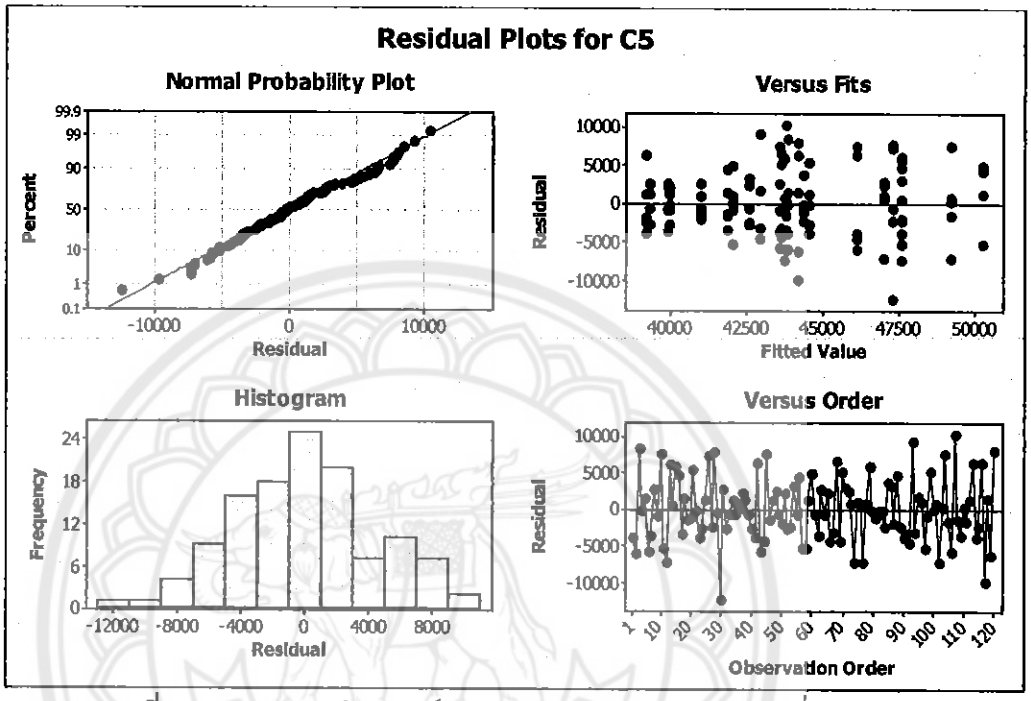
จากรูปที่ 4.19 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคำตอบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.18 ควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 5 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type    Levels  Values
TMax       fixed        2  100, 10000
NumRound   fixed        2  5, 10
CoolR      fixed        2  0.8, 0.9
NBHS       fixed        3  Swap, Slide, Stable1
Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests
Source                DF      Seq SS      Adj SS      Adj MS     F      P
TMax                   1     7049003     7049003     7049003  0.14  0.706
NumRound               1       41812       41812       41812  0.00  0.977
CoolR                  1     4466725     4466725     4466725  0.09  0.764
NBHS                   2   554304544   554304544   277152272  5.64  0.005
TMax*NumRound          1    23525032    23525032    23525032  0.48  0.491
TMax*CoolR             1   121066841   121066841   121066841  2.46  0.120
TMax*NBHS              2   116518411   116518411    58259205  1.18  0.310
NumRound*CoolR         1    61472745    61472745    61472745  1.25  0.266
NumRound*NBHS          2   102794488   102794488    51397244  1.05  0.356
CoolR*NBHS             2   134808421   134808421    67404210  1.37  0.259
TMax*NumRound*CoolR    1    79596004    79596004    79596004  1.62  0.206
TMax*NumRound*NBHS     2   103624174   103624174    51812087  1.05  0.353
TMax*CoolR*NBHS        2    15374839    15374839     7687420  0.16  0.856
NumRound*CoolR*NBHS    2    39663283    39663283    19831642  0.40  0.669
TMax*NumRound*CoolR    2   150797579   150797579    75398790  1.53  0.221
*NBHS
Error                 96  4721418246  4721418246    49181440
Total                119  6236522149
S = 7012.95    R-Sq = 24.29%    R-Sq(adj) = 6.16%
```

รูปที่ 4.19 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 1

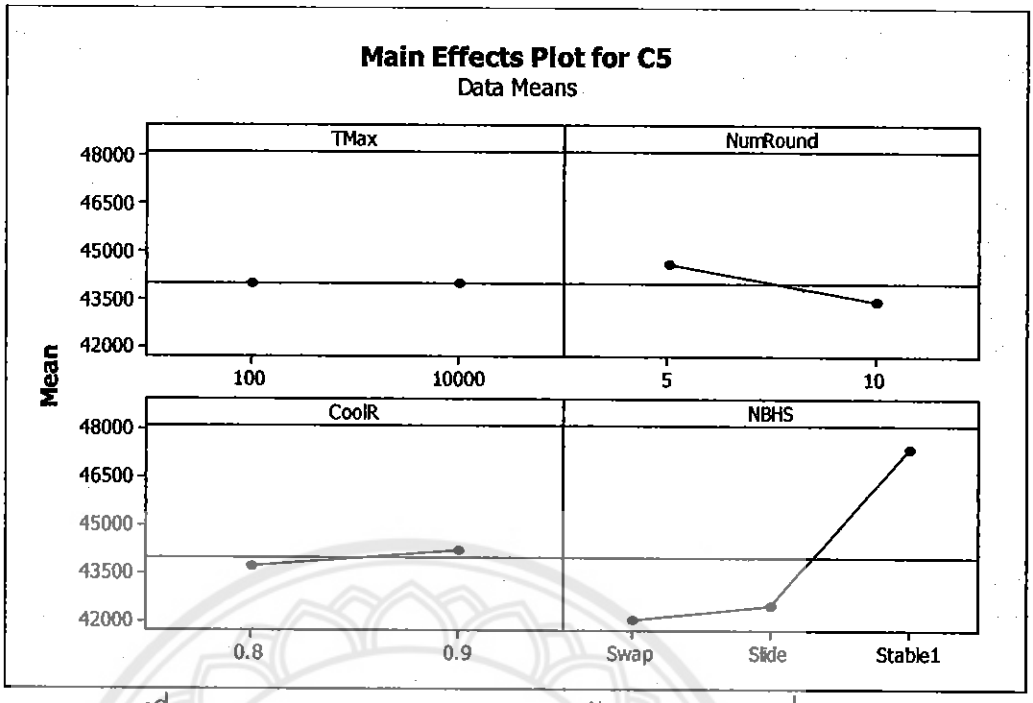
จากรูปที่ 4.19 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 24.29 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 24.29

4.5.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 2



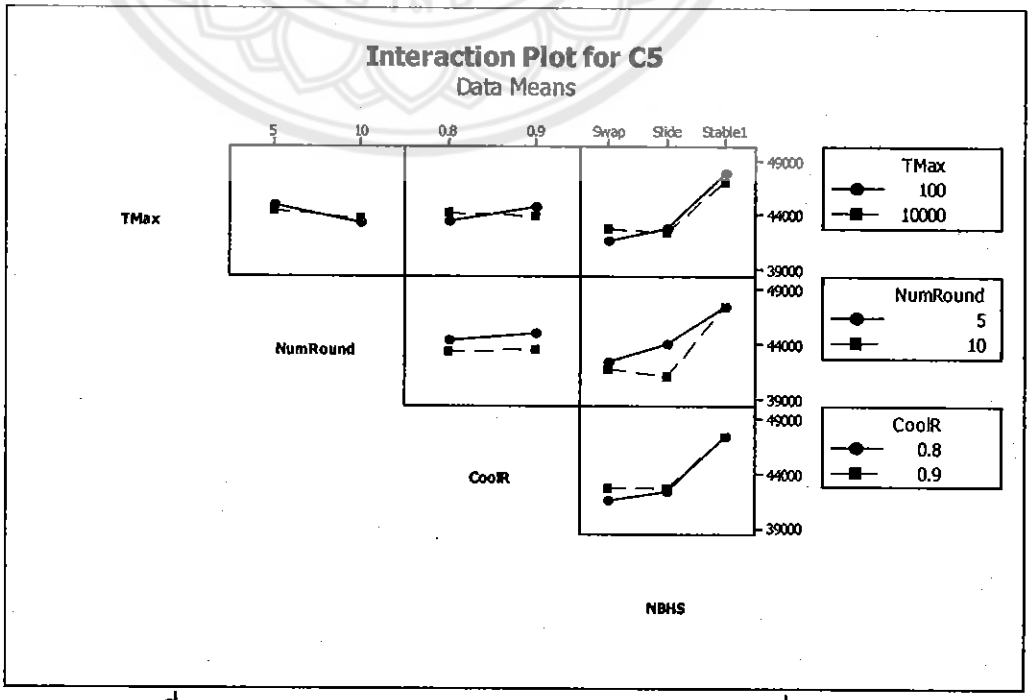
รูปที่ 4.20 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

จากรูปที่ 4.20 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.21 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

จากรูปที่ 4.23 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของหลักการทำ Neighbourhood Search จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.21 ควรกำหนดหลักการทำ Neighbourhood Search เป็นหลักการสลับที่เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.22 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

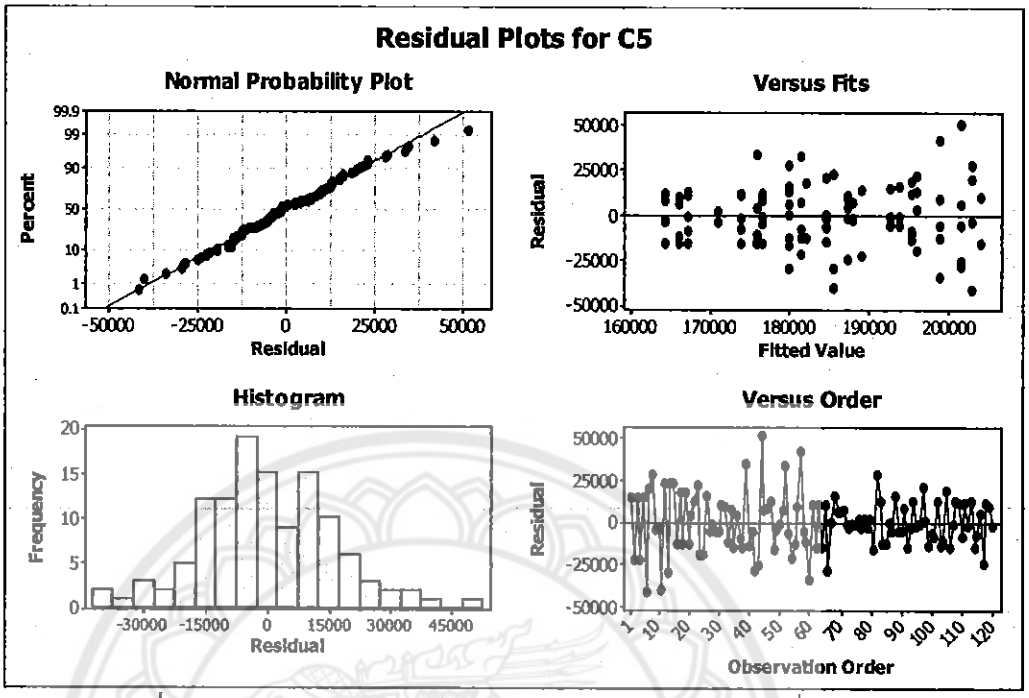
จากรูปที่ 4.23 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) และอัตราการเย็นตัว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด และควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type   Levels  Values
TMax       fixed       2  100, 10000
NumRound   fixed       2  5, 10
CoolR      fixed       2  0.8, 0.9
NBHS       fixed       3  Swap, Slide, Stable1
Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests

Source                DF      Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
TMax                   1       20698       20698       20698   0.00  0.976
NumRound               1    42502042    42502042    42502042   1.81  0.182
CoolR                  1     6243553     6243553     6243553   0.27  0.607
NBHS                   2   705843377   705843377   352921689  15.03  0.000
TMax*NumRound          1     4702896     4702896     4702896   0.20  0.655
TMax*CoolR             1    16887002    16887002    16887002   0.72  0.398
TMax*NBHS              2    19304936    19304936     9652468   0.41  0.664
NumRound*CoolR         1     1158761     1158761     1158761   0.05  0.825
NumRound*NBHS          2    54856815    54856815    27428408   1.17  0.315
CoolR*NBHS             2     7962477     7962477     3981238   0.17  0.844
TMax*NumRound*CoolR    1    99437531    99437531    99437531   4.24  0.042
TMax*NumRound*NBHS     2    45631878    45631878    22815939   0.97  0.382
TMax*CoolR*NBHS        2    61057964    61057964    30528982   1.30  0.277
NumRound*CoolR*NBHS    2     2646326     2646326     1323163   0.06  0.945
TMax*NumRound*CoolR    2     7463261     7463261     3731631   0.16  0.853
*NBHS
Error                 96  2253861066  2253861066    23477719
Total                119  3329580584
S = 4845.38   R-Sq = 32.31%   R-Sq(adj) = 16.09%
```

รูปที่ 4.23 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 2

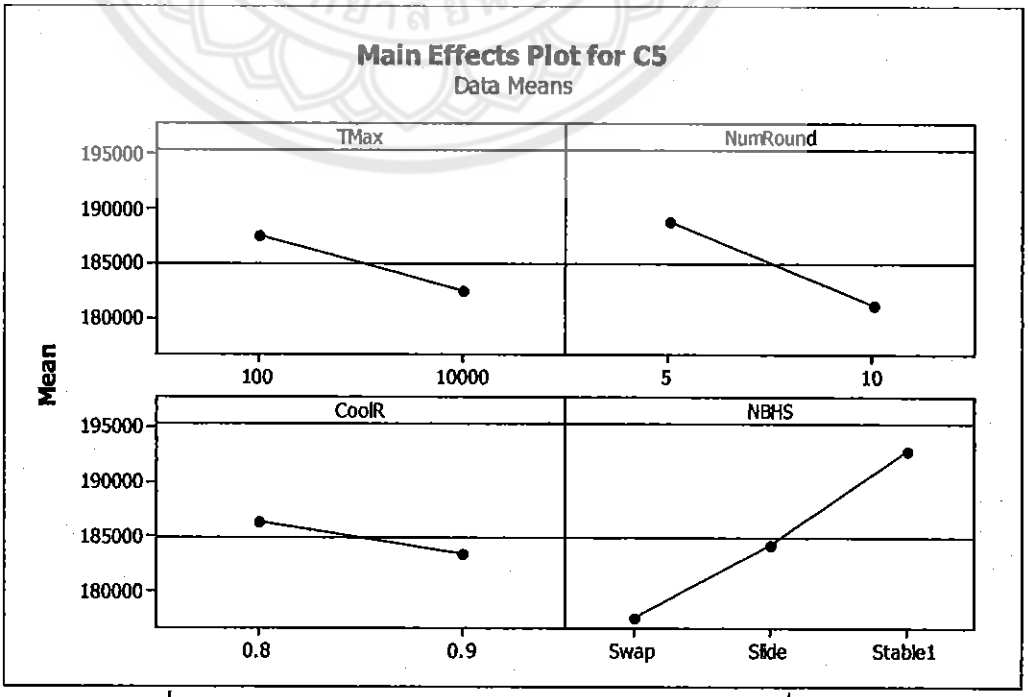
จากรูปที่ 4.23 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 32.31 ซึ่งหมายถึง **ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 32.31**

4.5.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1



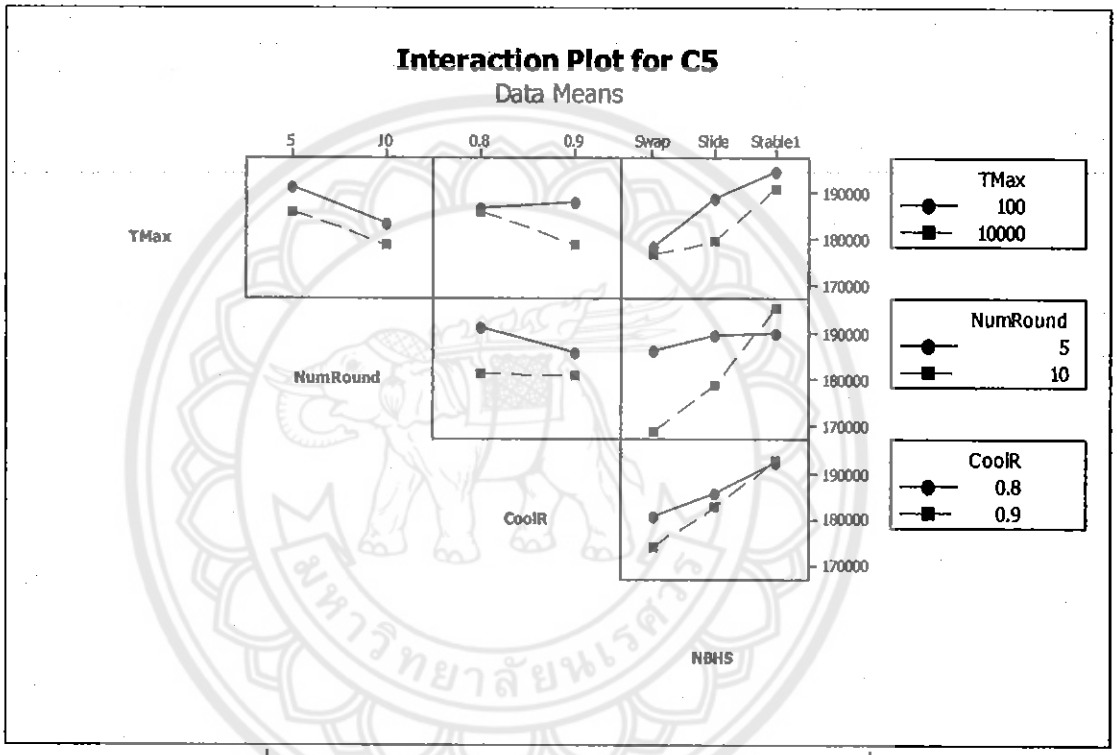
รูปที่ 4.24 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

จากรูปที่ 4.24 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.25 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

จากรูปที่ 4.27 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของหลักการทำ Neighbourhood Search จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด รองลงมาจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของจำนวนวนรอบ (Inner Loop) จากรูปที่ 4.25 ควรกำหนดหลักการทำ Neighbourhood Search เป็นหลักการสลับที่ และจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.26 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

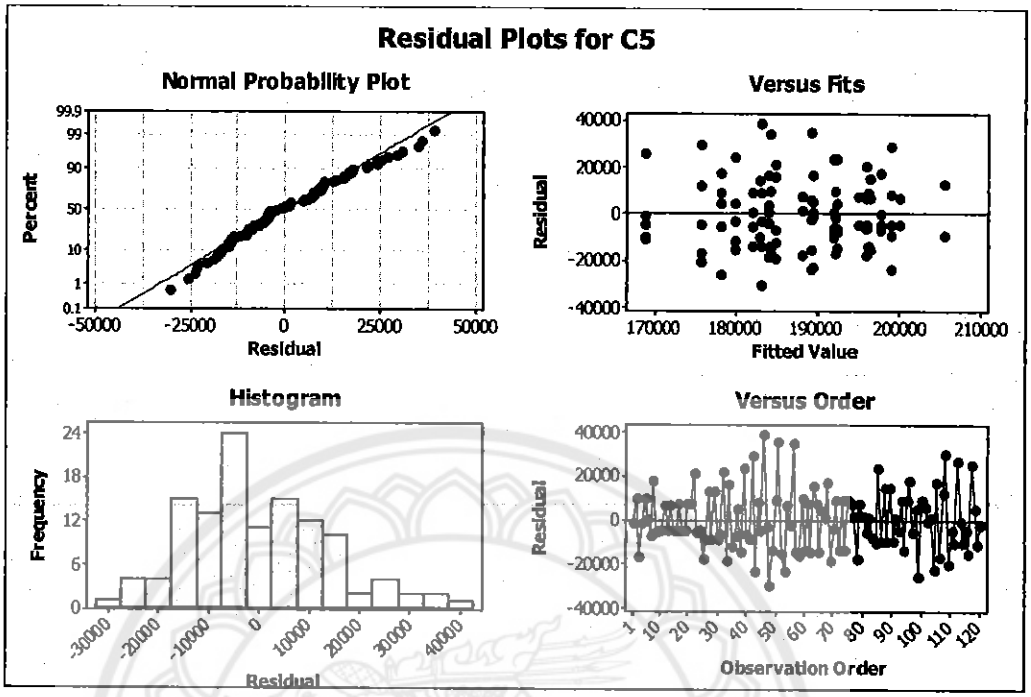
จากรูปที่ 4.27 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่าจำนวนวนรอบ (Inner Loop) และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด และควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type    Levels  Values
TMax       fixed        2  100, 10000
NumRound   fixed        2  5, 10
CoolR      fixed        2  0.8, 0.9
NBHS       fixed        3  Swap, Slide, Stable1

Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests

Source                        DF       Seq SS       Adj SS       Adj MS      F
TMax                           1    733718321    733718321    733718321   2.23
NumRound                       1   1780502137   1780502137   1780502137   5.41
CoolR                          1    276294404    276294404    276294404   0.84
NBHS                           2   4708504787   4708504787   2354252394   7.16
TMax*NumRound                  1      2786477      2786477      2786477   0.01
TMax*CoolR                     1    518726679    518726679    518726679   1.58
TMax*NBHS                      2    328086806    328086806    164043403   0.50
NumRound*CoolR                 1    205007974    205007974    205007974   0.62
NumRound*NBHS                  2   2960372700   2960372700   1480186350   4.50
CoolR*NBHS                     2    266936739    266936739    133468370   0.41
TMax*NumRound*CoolR            1     16536206     16536206     16536206   0.05
TMax*NumRound*NBHS             2   1441570283   1441570283    720785141   2.19
TMax*CoolR*NBHS                2    275453549    275453549    137726775   0.42
NumRound*CoolR*NBHS            2   1935669651   1935669651    967834825   2.94
TMax*NumRound*CoolR*NBHS       2    556172478    556172478    278086239   0.85
Error                         96  31585686935  31585686935    329017572
Total                        119  47592026126

Source                        P
TMax                      0.139
NumRound                  0.022
CoolR                     0.362
NBHS                      0.001
TMax*NumRound             0.927
TMax*CoolR                0.212
TMax*NBHS                 0.609
NumRound*CoolR            0.432
NumRound*NBHS             0.014
CoolR*NBHS                0.668
TMax*NumRound*CoolR       0.823
TMax*NumRound*NBHS        0.117
TMax*CoolR*NBHS           0.659
NumRound*CoolR*NBHS       0.058
TMax*NumRound*CoolR*NBHS  0.433
Error
Total

S = 18138.8   R-Sq = 33.63%   R-Sq(adj) = 17.73%
```

รูปที่ 4.27 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 1

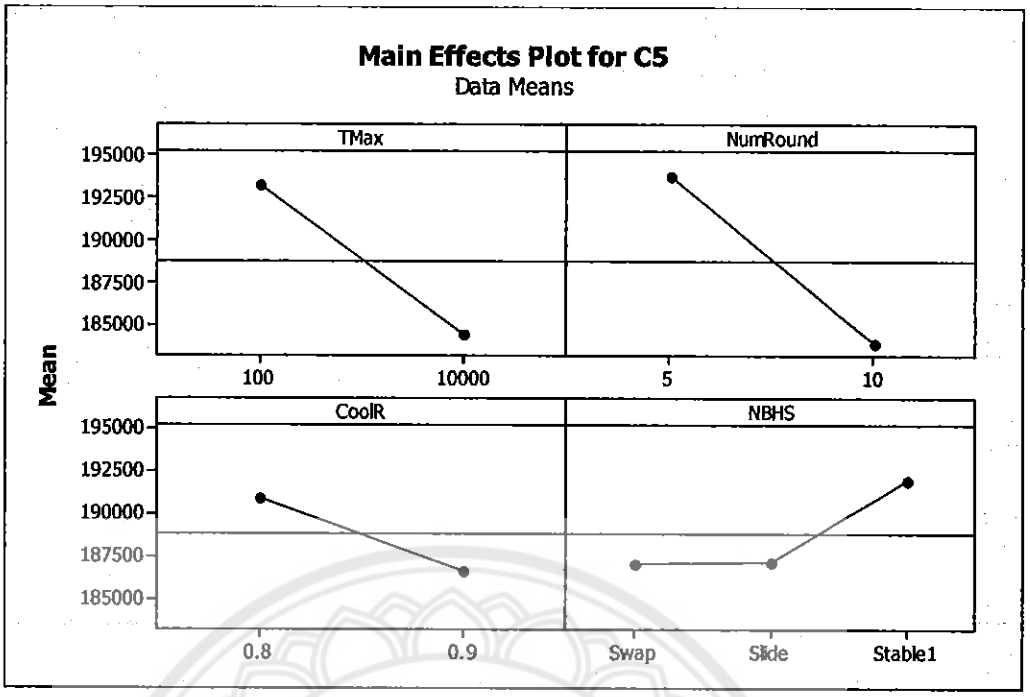
จากรูปที่ 4.27 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 33.63 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 33.63

4.5.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2



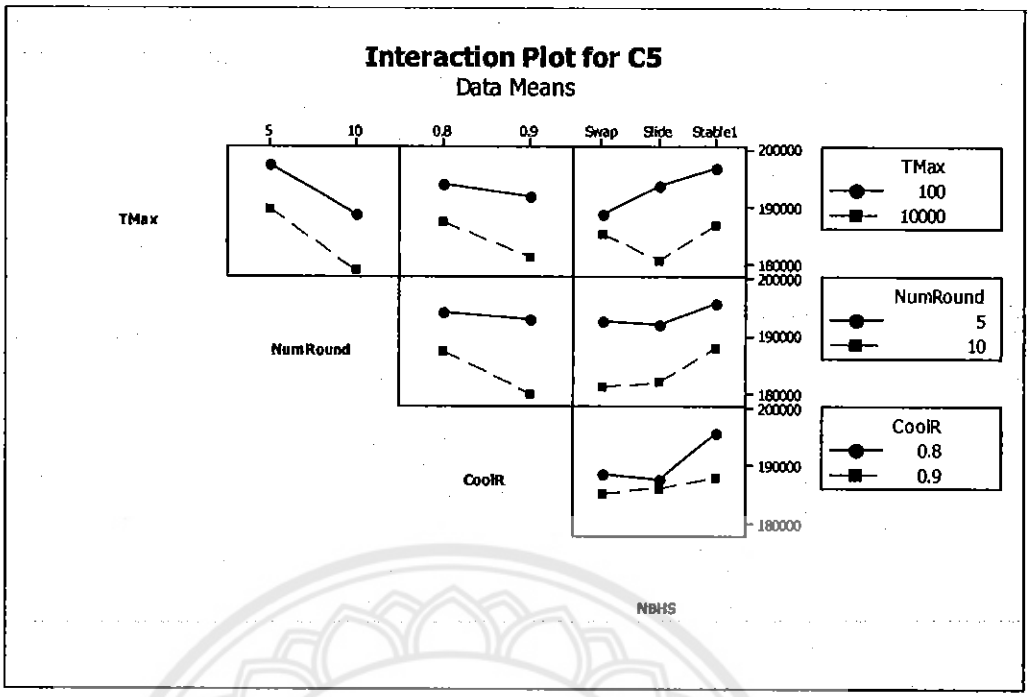
รูปที่ 4.28 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.28 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.29 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.31 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนวนรอบ (Inner Loop) อัตราการเย็นตัว และหลักการทำ Neighbourhood Search ทั้ง 3 หลักการ จำนวนวนรอบ (Inner Loop) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด รองลงมาจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเริ่มต้น จากรูปที่ 4.29 ควรกำหนดจำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ และอุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.30 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.31 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคำตอบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.30 ควรกำหนดให้ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 10,000 องศาเซลเซียส จำนวนวนรอบ (Inner Loop) 10 รอบ อัตราการเย็นตัว 0.9 และหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

```
Factor     Type    Levels  Values
TMax       fixed        2  100, 10000
NumRound   fixed        2  5, 10
CoolR      fixed        2  0.8, 0.9
NBHS       fixed        3  Swap, Slide, Stable1


Analysis of Variance for C5, using Adjusted SS for Tests

Source                       DF       Seq SS       Adj SS       Adj MS      F
TMax                          1   2310352212   2310352212   2310352212   9.51
NumRound                      1   2945390802   2945390802   2945390802  12.12
CoolR                         1    550862460    550862460    550862460   2.27
NBHS                          2    630744552    630744552    315372276   1.30
TMax*NumRound                 1     29547718     29547718     29547718   0.12
TMax*CoolR                    1    131700082    131700082    131700082   0.54
TMax*NBHS                     2    491558866    491558866    245779433   1.01
NumRound*CoolR                1    288058251    288058251    288058251   1.19
NumRound*NBHS                 2     62478266     62478266     31239133   0.13
CoolR*NBHS                    2    217833795    217833795    108916897   0.45
TMax*NumRound*CoolR           1     43466811     43466811     43466811   0.18
TMax*NumRound*NBHS            2    278228940    278228940    139114470   0.57
TMax*CoolR*NBHS               2    140083873    140083873     70041937   0.29
NumRound*CoolR*NBHS           2     94571779     94571779     47285890   0.19
TMax*NumRound*CoolR*NBHS      2    488837567    488837567    244418784   1.01
Error                        96  23325499330  23325499330    242973951
Total                       119  32029215304

Source                         P
TMax                       0.003
NumRound                   0.001
CoolR                      0.135
NBHS                       0.278
TMax*NumRound              0.728
TMax*CoolR                 0.463
TMax*NBHS                  0.367
NumRound*CoolR             0.279
NumRound*NBHS              0.880
CoolR*NBHS                 0.640
TMax*NumRound*CoolR        0.673
TMax*NumRound*NBHS         0.566
TMax*CoolR*NBHS            0.750
NumRound*CoolR*NBHS        0.823
TMax*NumRound*CoolR*NBHS   0.370
Error
Total


S = 15587.6   R-Sq = 27.17%   R-Sq(adj) = 9.73%
```

รูปที่ 4.31 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.27 พบว่าค่า R Square เท่ากับร้อยละ 27.17 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 27.17

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาทั้ง 6 ปัญหาพบว่า ค่า R Square มีค่าต่ำกว่า ร้อยละ 75 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ยอมรับผลการวิเคราะห์ได้ แต่ยังอย่างไรก็ตาม อาจจะสามารถเพิ่มค่า R Square ให้มากขึ้นได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มจำนวนคำตอบใหม่ การเพิ่มช่วงความแตกต่างของค่าปัจจัยหลักยกตัวอย่างเช่น ผู้ดำเนินโครงงานได้กำหนด อุหภูมิเริ่มต้นให้แตกต่างกันคือ 100, 10,000 องศาเซลเซียส จะทำการเพิ่งช่วงความแตกต่างเป็น 100, 5,000, 10,000 องศาเซลเซียส

การหาปัจจัยอื่นมาพิจารณา และการเพิ่มจำนวนปัญหา เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อทำการแก้ไขตามวิธีการดังกล่าวจะส่งผลให้เห็นผลชัดเจนมากขึ้น กล่าวคือ ถ้าหากค่า R Square ไม่เพิ่มขึ้นแสดงว่าปัจจัยหลักที่เลือกมาไม่ส่งผลกระทบต่อคำตอบอย่างเด่นชัด ควรหาปัจจัยหลักอื่นๆ มาพิจารณา และถ้าหากค่า R Square เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 แสดงว่าปัจจัยหลักที่เลือกมาส่งผลกระต่อคำตอบ

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการดำเนินโครงงานในครั้งนี้ทำให้เกิดโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาการความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับงานหรือกิจกรรมให้มีความสม่ำเสมอมากที่สุด เพื่อลดงานที่ค้างในระหว่างการผลิต และลดปริมาณของคงคลัง ซึ่งอยู่ในรูปของผลรวมของระยะห่างระหว่างกิจกรรมให้มีระยะห่างที่น้อยที่สุด

จากผลการทดลองใช้โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองขนาดต่างๆ ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมจากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้นมาสรุปได้ว่า

ปัญหาขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาค่า RTV ที่น้อยที่สุดจะพบว่า หลักการเลื่อนตำแหน่ง ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าหลักการสลับที่ และหลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง

ปัญหาขนาดกลาง เมื่อพิจารณาค่า RTV ที่น้อยที่สุดจะพบว่า หลักการสลับที่ ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าหลักการเลื่อนตำแหน่ง และหลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง

ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนการทำซ้ำของกิจกรรมจำนวนมาก เมื่อพิจารณาค่า RTV ที่น้อยที่สุด ปัญหาใหญ่ที่ 1 หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าหลักการสลับที่ และหลักการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งไม่ตรงกับ ปัญหาใหญ่ที่ 2 ซึ่งจะเป็นหลักการเลื่อนตำแหน่งที่ให้ค่าดีกว่า

จากการพิจารณาปัญหาทั้ง 3 ขนาด จะพบว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการเลื่อนตำแหน่งจะให้ค่าคำตอบที่มีค่า RTV เฉลี่ยดีที่สุด และ ชุดพารามิเตอร์ที่ 8 โดยหลักการสลับที่ จะให้ค่าคำตอบที่มีค่า RTV น้อยที่สุด ดีที่สุด ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักกับค่าคำตอบที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ไม่สามารถนำมาใช้อ้างอิงได้ เนื่องจากค่า R Square ต่ำกว่ามาตรฐาน

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

5.2.1 เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานไม่มีความชำนาญในการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลองจึงทำให้ระยะแรกๆ ในการจัดทำโครงงานค่อนข้างดำเนินไปด้วยความล่าช้า

5.2.2 การเขียนโปรแกรม และทดสอบโปรแกรมต้องใช้เวลามาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการดำเนินการทำ Neighbourhood Search นั้น อาจจะมีความหลากหลายใดที่ให้คำตอบที่ดีกว่า สะดวกกว่า และรวดเร็วกว่าในการประมวลผล ซึ่งนั่นอาจจะเป็นเหตุให้จะต้องมีการศึกษาในการทำ Neighbourhood Search หลายๆ แบบต่อไป

5.3.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในวิธีการอบอ่อน อาจจะต้องมีการศึกษาในหลายๆ รูปแบบ ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใดมีผลอย่างไร และสามารถเลือกใช้กับปัญหาขนาดใดจึงจะมีความเหมาะสมเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุด

5.3.3 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้ได้กับกรณีที่ต้องการจัดลำดับงาน หรือกิจกรรมให้มีความสม่ำเสมอมากที่สุด เพื่อลดงานที่ค้างในระหว่างการผลิต และลดปริมาณของคงคลัง

เอกสารอ้างอิง

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2554). **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

เด่นดวง มีสกุล และประกฤชฎ์ บุญอ้น. (2555). **การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ธนภัทร มะณีแสง. (2556). **การแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยวิธีเมตาฮิว-ริสติกส์.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **วิธีการเมตาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

ภูพงษ์ พงษ์เจริญ. ปรึกษาส่วนตัว, (25 พฤษจิกายน 2556)

หทัยรัตน์ ธีรกาญน์ และศิริพร ชารีพร. (2553). **การจัดลำดับการทำงานของเครนโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Corominas, A., Kubiak, W., Pastor, R. (2009). Mathematical Programming Modeling of the Response Time Variability Problem. Europran Journal of Operational Research. Doi : 10.1016/j.ejor.2009.01.014.

ภาคผนวก ก

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการดำเนินโครงงาน

โครงงานเล่มนี้ได้นำโจทย์มาจากโครงงานของ เด่นดวง ประกฤชฎิ์, 2555 ซึ่งมีปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหาประกอบด้วย ปัญหา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์นั้นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งกำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม ปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 30 กิจกรรม โดยในโจทย์ข้อที่หนึ่งจะทำการสุ่มจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมระหว่าง 2-20 ครั้ง โจทย์ข้อที่สองจะกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมมีค่าเท่ากันทุกๆ กิจกรรม ซึ่งได้กำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมไว้ดังนี้ ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 9 ครั้ง ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง

ปัญหาขนาดเล็ก โจทย์ข้อที่ 1

Number of Activity	10
Total Copies	99

No.	Copies	Aveerage
1	11	9
2	9	11
3	3	33
4	16	6.1875
5	10	9.9
6	15	6.6
7	12	8.25
8	16	6.1875
9	2	49.5
10	5	19.8
	99	

รูปที่ ก.1 ปัญหาขนาดเล็ก 1

ปัญหาขนาดเล็ก โจทย์ข้อที่ 2

Number of Activity	10

Total Copies	100

No.	Copies	Average
1	10	10
2	10	10
3	10	10
4	10	10
5	10	10
6	10	10
7	10	10
8	10	10
9	10	10
10	10	10
	100	

รูปที่ ก.2 ปัญหาขนาดเล็ก 2

ปัญหาขนาดกลาง โจทย์ข้อที่ 1

Number of Activity	20

Total Copies	175

No.	Copies	Average
1	3	58.33333
2	3	58.33333
3	7	25
4	4	43.75
5	2	87.5
6	11	15.90909
7	13	13.46154
8	11	15.90909
9	16	10.9375
10	3	58.33333
11	5	35
12	14	12.5
13	10	17.5
14	8	21.875
15	4	43.75
16	14	12.5
17	18	9.722222
18	11	15.90909
19	3	58.33333
20	15	11.66667
	175	

รูปที่ ก.3 ปัญหาขนาดกลาง 1

ปัญหาขนาดกลาง โจทย์ข้อที่ 2

Number of Activity	20

Total Copies	180

No.	Copies	Average
1	9	20
2	9	20
3	9	20
4	9	20
5	9	20
6	9	20
7	9	20
8	9	20
9	9	20
10	9	20
11	9	20
12	9	20
13	9	20
14	9	20
15	9	20
16	9	20
17	9	20
18	9	20
19	9	20
20	9	20
	180	

รูปที่ ก.4 ปัญหาขนาดกลาง 2

ปัญหาขนาดใหญ่ โจทย์ข้อที่ 1

Number of Activity	30

Total Copies	280

No.	Copies	Average
1	11	25.45455
2	10	28
3	8	35
4	9	31.11111
5	6	46.66667
6	3	93.33333
7	6	46.66667
8	19	14.73684
9	3	93.33333
10	9	31.11111
11	8	35
12	10	28
13	4	70
14	10	28
15	6	46.66667
16	13	21.53846
17	11	25.45455
18	4	70
19	18	15.55556
20	13	21.53846
21	11	25.45455
22	9	31.11111
23	3	93.33333
24	16	17.5
25	10	28
26	15	18.66667
27	12	23.33333
28	16	17.5
29	2	140
30	5	56
	280	

รูปที่ ก.5 ปัญหาขนาดใหญ่ 1

ปัญหาขนาดใหญ่ โจทย์ข้อที่ 2

Number of Activity	30

Total Copies	300

No.	Copies	Average
1	10	30
2	10	30
3	10	30
4	10	30
5	10	30
6	10	30
7	10	30
8	10	30
9	10	30
10	10	30
11	10	30
12	10	30
13	10	30
14	10	30
15	10	30
16	10	30
17	10	30
18	10	30
19	10	30
20	10	30
21	10	30
22	10	30
23	10	30
24	10	30
25	10	30
26	10	30
27	10	30
28	10	30
29	10	30
30	10	30
	300	

รูปที่ ก.6 ปัญหาขนาดใหญ่ 2

ภาคผนวก ข

Source Code ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application

แสดงโค้ดในปุ่มคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม

1. ปุ่ม Start Program

```
Private Sub Start_Program_Click()
UserForm1.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.1 โค้ดปุ่ม Start Program

2. ปุ่ม Help

```
Private Sub CommandButton2_Click()
UserForm4.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.2 โค้ดปุ่ม Help

3. ปุ่ม Exit Program

```
Private Sub Exit_Program_Click()
If MsgBox("Do you want to exit program ?", vbOKCancel, "Exit Program") = vbCancel Then Exit Sub
Application.Quit
End Sub
```

รูปที่ ข.3 โค้ดปุ่ม Exit Program

4. ปุ่ม Back

```
Private Sub Back1_Click()
UserForm1.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.4 โค้ดปุ่ม Back

5. ปุ่ม Calculate

```
Private Sub Calculate1_Click()
NumAc = Worksheets("Data").Range("D10").Value
For i = 1 To NumAc
    Worksheets("Data").Range("G10").Offset(i, 0).Select
  With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
```

รูปที่ ข.5 แสดงโค้ดปุ่ม Calculate

```
    .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    With Selection.Font
        .Name = "TH SarabunPSK"
        .Size = 16
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontNone
    End With
Next i
For j = 1 To NumAc
 Worksheets("Data").Range("H10").Offset(j, 0).Select
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) แสดงโค้ดปุ่ม Calculate

```
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
Next j
Worksheets("Data").Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).ClearContents
For i = 1 To NumAc
  If (Worksheets("Data").Range("G10").Offset(i, 0).Value) = 0 Then
                MsgBox " กรุณากรอกค่าเฉพาะตัวเลขลงในช่อง  Copies " & i, vbOKOnly
                Range("G10").Offset(i, 0).ClearContents
                  Exit Sub
                ElseIf IsNumeric(Worksheets("Data").Range("G10").Offset(i, 0).Value) = False Then
                        MsgBox " กรุณากรอกค่าเฉพาะตัวเลขลงในช่อง Copies " & i, vbOKOnly
                          Exit Sub
                        ElseIf (Worksheets("Data").Range("G10").Offset(i, 0).Value) = "" Then
                                MsgBox " กรุณากรอกค่าเฉพาะตัวเลขลงในช่อง Copies " & i, vbOKOnly
                            Exit Sub
                Else
    Worksheets("Data").Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).Value = Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).Value _
    + Range("G10").Offset(i, 0).Value
    End If
    Next i
TotalCopy = Worksheets("data").Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).Value
 Worksheets("Data").Range("D12").Value = TotalCopy
Worksheets("data").Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).Select
 With Selection.Font
        .Name = "TH SarabunPSK"
        .Size = 16
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontNone
    End With
  With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) แสดงโค้ดปุ่ม Calculate

```
            .VerticalAlignment = xlBottom
            .WrapText = False
            .Orientation = 0
            .AddIndent = False
            .IndentLevel = 0
            .ShrinkToFit = False
            .ReadingOrder = xlContext
            .MergeCells = False
        End With
        Selection.Font.Bold = True
    For i = 1 To NumAc
        Worksheets("Data").Range("H10").Offset(i, 0).Value = Range("G10").Offset(NumAc + 1, 0).Value /
Range("G10").Offset(i, 0).Value
                    With Worksheets("Data").Range("H10")
                        .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
                        .Offset(i, 0).Font.Bold = False
                        .Offset(i, 0).Font.Name = "TH SarabunPSK"
                        .Offset(i, 0).Font.Size = 16
                    End With
    Next i
    End Sub
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) แสดงโค้ดปุ่ม Calculate

6. ปุ่ม Next

```
Private Sub Next1_Click()
UserForm2.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.6 โค้ดปุ่ม Next

7. ช่อง Start Tempulate

```
Private Sub TextBox1_Change()
    If Len(TextBox1) > 0 Then
      If IsNumeric(TextBox1) = False Then
        MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลเฉพาะตัวเลขเท่านั้น", vbOKOnly
        Exit Sub
      End If
    End If
Worksheets("Answer").Range("E4") = TextBox1.Value
End Sub
```

รูปที่ ข.7 โค้ดช่อง Start Tempulate

8. ช่อง Last Tempulate

```
Private Sub TextBox2_Change()
    If Len(TextBox2) > 0 Then
      If IsNumeric(TextBox2) = False Then
       MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลเฉพาะตัวเลขเท่านั้น", vbOKOnly
       Exit Sub
      End If
    End If
End Sub
```

รูปที่ ข.8 โค้ดช่อง Last Tempulate

9. ช่อง Cooling Rate

```
Private Sub TextBox4_Change()
    If TextBox4.Value > 1 Then
       MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลเฉพาะตัวเลข 0 - 1", vbOKOnly
       If Len(TextBox4) > 0 Then
            If IsNumeric(TextBox4) = False Then
                MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลเฉพาะตัวเลขเท่านั้น", vbOKOnly
             Exit Sub
           End If
       End If
    End If
Worksheets("Answer").Range("E10") = TextBox4.Value
End Sub
```

รูปที่ ข.9 โค้ดช่อง Cooling Rate

10. ช่อง Number of Activity

```
Private Sub TextBox5_Change()
If Len(TextBox5) > 0 Then
    If IsNumeric(TextBox5) = False Then
       MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลเฉพาะตัวเลขเท่านั้น", vbOKOnly
       Exit Sub
    End If
End If
Worksheets("data").Range("D10") = TextBox5.Value
End Sub
```

รูปที่ ข.10 โค้ดช่อง Number of Activity

11. ปุ่ม Back (Userform1)

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Unload Me
End Sub
```

รูปที่ ข.11 โค้ดปุ่ม Back (Userform1)

12. โค้ดปุ่ม Next (Userform1)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
If TextBox1 = ("") Then
   TextBox1.Value = 100
   End If
Worksheets("Answer").Range("E4") = TextBox1.Value
If TextBox2 = ("") Then
   TextBox2.Value = 0.00001
   End If
Worksheets("Answer").Range("E6") = TextBox2.Value
If TextBox3 = ("") Then
   TextBox3.Value = 5
   End If
Worksheets("Answer").Range("E8") = TextBox3.Value
If TextBox4 = ("") Then
   TextBox4.Value = 0.9
   End If
If TextBox5 = ("") Then
      MsgBox "กรุณากรอกจำนวนกิจกรรม", vbOKOnly
      Exit Sub
End If
Worksheets("Answer").Range("E10") = TextBox4.Value
Unload Me
Worksheets("Data").Activate
NumAc = Worksheets("Data").Range("D10").Value
Worksheets("Data").Range("F11:H500").Clear
Worksheets("Data").Range("F11:H500").Select
With Selection.Interior
      .Pattern = xlSolid
      .PatternColorIndex = xlAutomatic
      .ThemeColor = xlThemeColorAccent5
      .TintAndShade = 0.599993896298105
      .PatternTintAndShade = 0
   End With
For i = 1 To NumAc
```

รูปที่ ข.12 โค้ดปุ่ม Next (Userform1)

```
Worksheets("Data").Range("F10").Offset(i, 0).Value = i
Worksheets("Data").Range("F10").Offset(i, 0).Select
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorAccent5
        .TintAndShade = -0.249977111117893
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
    With Selection.Font
        .Name = "TH SarabunPSK"
        .Size = 16
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
```

รูปที่ ข.12 (ต่อ) โค้ดปุ่ม Next (Userform1)

```
.Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ThemeColor = xlThemeColorLight1
        .TintAndShade = 0
        .ThemeFont = xlThemeFontNone
    End With
     With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlBottom
        .WrapText = False
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
        .MergeCells = False
    End With
    Selection.Font.Bold = True
Next i
 For j = 1 To NumAc
    Worksheets("Data").Range("G10").Offset(j, 0).Select
     Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
```

รูปที่ ข.12 (ต่อ) โค้ดปุ่ม Next (Userform1)

```
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
    Next j
Worksheets("data").Range("D12").ClearContents
End Sub
```

รูปที่ ข.12 (ต่อ) โค้ดปุ่ม Next (Userform1)

13. OptionButton หลักการสลับที่

```
Private Sub OptionButton1_Click()
Worksheets("Method").Range("A1:C1").ClearContents
Worksheets("Method").Range("A1").Value = 1
End Sub
```

รูปที่ ข.13 OptionButton หลักการสลับที่

14. OptionButton หลักการเลื่อนตำแหน่ง

```
Private Sub OptionButton2_Click()
Worksheets("Method").Range("A1:C1").ClearContents
Worksheets("Method").Range("B1").Value = 1
End Sub
```

รูปที่ ข.14 OptionButton หลักการเลื่อนตำแหน่ง

15. OptionButton หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง

```
Private Sub OptionButton3_Click()
Worksheets("Method").Range("A1:C1").ClearContents
Worksheets("Method").Range("C1").Value = 1
End Sub
```

รูปที่ ข.15 OptionButton หลักการคงที่ 1 ตำแหน่ง

16. ปุ่ม Back (Userform2)

```
Private Sub CommandButton3_Click()
Unload Me
End Sub
```

รูปที่ ข.16 โค้ดปุ่ม Back (Userform2)

17. ปุ่ม Run Program

```
Private Sub CommandButton2_Click()
If UserForm2.OptionButton1 = False Then
   If UserForm2.OptionButton2 = False Then
      If UserForm2.OptionButton3 = False Then
   MsgBox " กรุณาเลือกวิธีปรับปรุงคำตอบ", vbOKOnly
   Exit Sub
End If
End If
End If
UserForm2.OptionButton1 = False
UserForm2.OptionButton2 = False
UserForm2.OptionButton3 = False
UserForm2.Hide
UserForm3.Show

End Sub
```

รูปที่ ข.17 โค้ดปุ่ม Run Program

18. ปุ่ม เริ่มการประมวลผล (Userform3)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Call Main
Unload Me
Worksheets("Answer").Activate
End Sub
```

รูปที่ ข.18 โค้ดปุ่ม เริ่มการประมวลผล (Userform3)

19. ปุ่ม Change Neighbourhood Search

```
Private Sub CommandButton1_Click()
UserForm2.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.19 โค้ดปุ่ม Change Neighbourhood Search

20. ปุ่ม Set Parameter

```
Private Sub CommandButton2_Click()
UserForm1.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.20 โค้ดปุ่ม Set Parameter

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายนพคุณ บัวจันทร์

ภูมิลำเนา 26/4 หมู่ 2 ต.แม่พูล อ.ลับแล จ. อุตรดิตถ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยัยนเรศวร

E-mail: lovlom@hotmail.com

ชื่อ นางสาวพีรพรรณ ขันทะบุตร

ภูมิลำเนา 133/1 หมู่ 6 ต.สะเอียบ อ.สอง จ. แพร่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสองพิทยาคม จ. แพร่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยัยนเรศวร

E-mail: snacky_peerapan@hotmail.com