การประยุกต์ใช้เทคนิคการให้ลำดับความสำคัญแบบสุ่มในการย้ายตำแหน่งผึ้ง สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

APPLICATION OF RANDOM KEY TECHNIQUE FOR BEE REPOSITIONING TO SOLVE PRODUCTION SCHEDULING PROBLEM

นางสาวเขมมิการ์ พาหวิน รหัส 51360721

นางสาวหทัยธนก พวงแย้ม รหัส 51363753

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1590962x
เลขเรียกหนังสือ ม.ง.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว669 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การประยุกต์ใช้เทคนิคการให้ลำดับความสำคัญแบบสุ่มในการย้ายตำแหน่งผึ้งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวเชมมิการ์ พาหวิน รหัส 51360721
	นางสาวหทัยธนก พวงแย้ม รหัส 51363753
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ
(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ
(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การประยุกต์ใช้เทคนิคการให้ลำดับความสำคัญแบบสุ่มในการย้ายตำแหน่งผึ้งสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวเขมมิการ์ พาหวิน รหัส 51360721
	นางสาวหทัยธนก พวงแย้ม รหัส 51363753
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

การจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการในการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับกิจกรรมหรือการจัดเรียงกิจกรรม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือวัตถุประสงค์ที่กำหนด เวลาถือเป็นเงื่อนไขบังคับที่สำคัญอย่างมากในการจัดตาราง กล่าวคือ หากมีการจัดตารางการผลิตที่ไม่ดีอาจทำให้การผลิตสินค้าไม่ทันเวลาส่งมอบทำให้เกิดค่าปรับอันเนื่องมาจากการส่งมอบงานล่าช้า การจัดตารางการผลิตให้กับกิจกรรมจึงจำเป็นต้องทำด้วยความรอบคอบ เพื่อที่จะทำให้เกิดการใช้งานทรัพยากรได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ในโลกยุคปัจจุบันที่อุตสาหกรรมกำลังเจริญเติบโตภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยที่ทรัพยากรจำนวนมากกลายมาเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมการผลิตและบริการมากขึ้น เช่น วัตถุดิบ เครื่องจักร แรงงาน และสาธารณูปโภค เป็นต้น ดังนั้นการจัดตารางการผลิตที่มีความเหมาะสมให้กับทรัพยากรเหล่านี้จึงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรและนำมาซึ่งผลกำไรของบริษัท

ผู้จัดทำโครงงานมีความมุ่งหมายที่จะพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่นำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้ เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ซึ่งปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากเนื่องจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ปัญหาการจัดตารางการผลิตจึงจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีแบบยาก (Non-deterministic Polynomial Hard Problem) โดยผู้จัดทำโครงงานจะทำการปรับปรุงขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งด้วยวิธี Random Key เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการให้ค่าผลเฉลยของปัญหาที่ได้จากวิธีนี้กับวิธี Swap Operator และ Adjustment Operator จากการนำผลเฉลยที่ได้มาทำการทดสอบและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ทั้งนี้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้นั้นจะช่วยให้เกิดความสะดวก ง่ายต่อการใช้งาน และช่วยลดเวลาในการจัดตารางการผลิตได้รวดเร็วกว่าการใช้มือเปล่า

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ประธานที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ และคุณอภิรักษ์ ขัดวิลาศ ซึ่งมีความกรุณาสละเวลาให้คำปรึกษาและแนะนำเอกสารและหนังสือที่มีประโยชน์ต่างๆที่ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในด้านการพัฒนาเครื่องมือในการดำเนินโครงงาน (โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต) ด้วยโปรแกรม Tcl and Tk Toolkit ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ที่เกิดข้อบกพร่องให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ดำเนินโครงงานจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ส่งเสริมด้านทุนทรัพย์ และเป็นแรงบันดาลใจที่ดียิ่งในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวเชมมิการ์ พาหวิน
นางสาวหทัยธนก พวงแย้ม

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2

1.5 ขอบเขตการทำโครงงาน 3

1.6 สถานที่ในการดำเนินวิจัย 3

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินวิจัย 3

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ปัญหาการจัดตารางการผลิต 5

2.2 ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุด 17

2.3 วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี 17

2.4 วิธี Random Key Encoding Scheme 29

2.5 สถิติทดสอบที (t - test Statistic) 40

บทที่ 3 การดำเนินโครงงาน 43

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน 43

3.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และการทดลอง 56
4.1 การทดลองและผลการทดลอง 56
4.2 การทดลองที่ 1 การพิจารณาเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุงพัฒนาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี 57
4.3 ผลการทดลองที่ 1 58

บทที่ 5 บทสรุป 76
5.1 สรุปผลโครงงาน 76
5.2 ปัญหาจากการดำเนินโครงงาน 77
5.3 ข้อเสนอแนะ 78

เอกสารอ้างอิง 79

ภาคผนวก ก 81

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 87

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3
2.1 สรุปการกำหนดค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี 27
2.2 A 3 x 2 Job Shop Scheduling Problem 31
3.1 รายละเอียดของปัญหาทั้ง 4 ขนาด ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต 44
4.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ของ ABC ทั้งเทคนิค SO และ AO 56
4.2 สรุปค่าพารามิเตอร์ของ ABC ทั้งเทคนิค SO, AO และ RK 57
4.3 ค่าปรับที่ได้จากการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 58
4.4 สรุปผลการทดสอบด้วยวิธีการ T-Test ปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่และใหญ่พิเศษ 60

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การผลิตแบบ (Pure Flow Shop) 6

2.2 การผลิตแบบตามสั่ง (Job Shop) 7

2.3 ระดับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ 451 12

2.4 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม 13

2.5 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม 13

2.6 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อมแซม 14

2.7 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 4 ของกระบวนการซ่อมแซม 14

2.8 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม 15

2.9 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม 15

2.10 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อมแซม 16

2.11 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 4 ของกระบวนการซ่อมแซม 16

2.12 การเต้นรำแบบวงกลมและแบบส่ายท้องของผึ้ง 19

2.13 วิธีการคัดสรรโดยใช้วงล้อเสี่ยงทาย 24

2.14 วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากล 25

2.15 Pseudo Code ของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี 26

2.16 ขั้นตอนของวิธี Random Key Encoding Scheme 32

2.17 Gantt Chart of Operation Sequence ($O_{11},O_{12},O_{22},O_{31},O_{32},O_{12}$) 33

2.18 ขั้นตอนของการเปลี่ยนลำดับของงาน โดยที่ p = 2 และ q = 3 34

2.19 Gantt Chart of Operation Sequence ($O_{21},O_{11},O_{22},O_{31},O_{32},O_{12}$) 34

2.20 ขั้นตอนของการแทรกลำดับของงาน โดยที่ p = 1 และ q = 4 35

2.21 Gantt Chart of Operation Sequence ($O_{21},O_{31},O_{22},O_{11},O_{12},O_{32}$) 35

2.22 ขั้นตอนของการกลับกัน/สลับที่ของงาน โดยที่ p = 3 และ q = 6 36

2.23 Gantt Chart of Operation Sequence ($O_{11},O_{21},O_{31},O_{12},O_{32},O_{22}$) 36

2.24 ขั้นตอนของการเคลื่อนที่ในระยะยาวของการทำงาน โดยที่ p = 5 q = 6 และ r = 1 37

2.25 Gantt Chart of Operation Sequence ($O_{11},O_{21},O_{31},O_{12},O_{32},O_{22}$) 37

2.26 สายการผลิตขนาดเล็ก 38

2.27 วิธีการ mod 39

3.1 โครงสร้างของปัญหาขนาดเล็ก 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.2 โครงสร้างของปัญหาขนาดกลาง 46

3.3 โครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่ 46

3.4 โครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ 48

3.5 หน้าจอของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต 50

3.6 ตัวอย่างการนำเข้าแฟ้มข้อมูลนำเข้า 51

3.7 หน้าจอโปรแกรมเมื่อมีข้อมูลนำเข้า 51

3.8 หน้าจอการกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ให้โปรแกรมการจัดตารางการผลิต 52

3.9 หน้าจอที่มีข้อมูลหลังการทำงานเสร็จสิ้นของโปรแกรม 52

3.10 หน้าจอการเลือกจำนวนรอบสูงสุดของการค้นหาคำตอบ 53

3.11 ตารางการผลิต 53

3.12 กระบวนการทำงานของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต 55

4.1 กราฟเปรียบเทียบการค้นหาพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 61

4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 62

4.3 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK 62

4.4 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK 63

4.5 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK 64

4.6 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 64

4.8 กราฟเปรียบเทียบการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 66

4.9 กราฟเปรียบเทียบการหาคำตอบที่แย่ที่สุดของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 66

4.10 กราฟเปรียบเทียบการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK 67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 กราฟเปรียบเทียบการหาคำตอบที่แย่ที่สุดของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK..... 68

4.12 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK 68

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้เผชิญกับปัจจัยกดดันหลายประการทั้งจากภายในประเทศและต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น สภาวะเงินเฟ้อของไทย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตโดยทั้งสิ้น โดยทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นรวมไปถึงการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมที่สูงขึ้นส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการโดยตรง จึงทำให้ผู้ประกอบการจะต้องหาวิธีการจัดการผลิตเพื่อที่จะทำให้โรงงานอุตสาหกรรมของตนเองนั้นอยู่ในอันดับต้นๆ ของการแข่งขันเพื่อที่จะสามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจรายอื่นๆ ได้ การจัดตารางการผลิตเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนการผลิต ถ้ากระบวนการจัดตารางการผลิตขาดประสิทธิภาพก็จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต เนื่องจากถ้าในกระบวนการผลิตใช้เวลานานเกินไปก็จะทำให้การผลิตสินค้าเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดทำให้เกิดการเสียค่าปรับที่เกิดจากการส่งมอบสินค้าไม่ทันเวลาที่ลูกค้ากำหนดและจะทำให้เกิดการรอคอยในระหว่างกระบวนการผลิต ถ้าในกรณีที่กระบวนการผลิตเสร็จเร็วเกินไปก็จะทำให้จำนวนของสินค้ามีมาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังในขณะที่รอคอยการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า ถ้าการจัดตารางการผลิตมีประสิทธิภาพจะต้องเป็นแบบทันเวลาพอดี ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง ลดค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่จำเป็นลงไปได้ และสามารถที่จะแข่งขันกับคู่แข่งเกี่ยวกับราคาของต้นทุนในการส่งออกได้

ปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นเป็นปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาก็คือวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimisation Algorithms) ซึ่งมีการแบ่งวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดออกเป็น 2 แบบ คือ วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์และวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า สำหรับวิธีการเมตาฮิวริสติกส์นั้นเป็นวิธีการที่อยู่ในส่วนหนึ่งของวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณ วิธีการที่อยู่ในส่วนของเมตาฮิวริสติกส์ เช่น เจเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithms : GA), พาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization : PSO), แอนท์คอลโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimization : ACO), ซิมูเลทเทดแอนนีลลิง (Simulated Annealing : SA), ทาบูเสิร์จ (Taboo Search : TS), นิวรอลเน็ทเวิร์ค (Neural Network : NN), ซัฟเฟิลฟร็อกกลีปปิง (Suffled Frog Leaping Algorithm : SFL) (สุภัคกานดา ชมภูมิ่ง, 2552) รวมไปถึงวิธีการอาร์ติเชียลบีโคโลนี (Articial Bee Colony Algorithms : ABC) โดยขั้นตอนการทำงานเหล่านี้ คือ การสร้างกลุ่มของตัวค้นหาผลเฉลยมีเกณฑ์ของการค้นหาที่ผสมผสานกันระหว่างการค้นหาแบบสโทแคสติก (Stochastic Search) และการลอกเลียนแบบความฉลาดตามธรรมชาติ หรือปัญญาประดิษฐ์

(Artificial Intelligence) เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายท่านที่นำวิธีเมตาฮิวริสติกส์มาใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยการใช้แก้ปัญหากับเครื่องจักร 4 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (Small) ขนาดกลาง (Medium) ขนาดใหญ่ (Large) และขนาดใหญ่พิเศษ (Extra Large) ตัวอย่างเช่น ปริมพิกา แผนสุวรรณ, 2553 ได้นำวิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีการจัดตำแหน่งของผึ้งงานด้วยวิธี Swap Operator (SO) และ Adjustment Operator (AO) และใช้วิธีการเลือกแหล่งอาหารกับผึ้งสังเกตการณ์แบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) กับวิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากล (Stochastic Universal Sampling Selection)

ผู้จัดทำโครงงานมีความสนใจที่จะนำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาเพื่อประยุกต์ใช้และใช้วิธีการย้ายตำแหน่งของผึ้งด้วยวิธีการ Random Key ซึ่งแตกต่างจากวิธี Swap Operator และ Adjustment Operator เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งทางเลือกเพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมที่นำกระบวนการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุงพัฒนาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีในการย้ายตำแหน่งผึ้งจากเดิมซึ่งใช้วิธี Swap Operator และ Adjustment Operator มาเป็นวิธี Random Key

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมสำเร็จรูปที่นำกระบวนการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้และมีการพัฒนาในขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งด้วยวิธี Random Key เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาผลเฉลยจากขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งด้วยวิธี Random Key กับวิธี Swap Operator และวิธี Adjustment Operator

1.4.2 ช่วยลดปัญหาความซับซ้อน (Hard Constraints) ความผิดพลาดและเวลาที่จะต้องสูญเสียไปกับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยมือเปล่า

1.4.3 ได้ตารางการผลิตที่ตรงตามความต้องการมากที่สุดทั้งผู้ประกอบการและลูกค้า

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต อ้างอิงจากงานวิจัยของ (Pongcharoen, 2001) โดยมีข้อมูลของปัญหา 4 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่และขนาดใหญ่พิเศษ

1.5.2 วัดประสิทธิภาพจากการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหาการจัดตารางการผลิตซึ่งก็คือค่าปรับ (Penalty Cost) ที่น้อยที่สุดของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี จากการพัฒนาโปรแกรมเพื่อปรับปรุงขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งด้วยวิธี Random Key

1.5.3 งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมภาษา Tcl (Tcl Programming Langauge) ในการเขียนโปรแกรม และไม่รองรับการทำงานระบบเครือข่าย

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

1.6.2 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนมิถุนายน 2554 – มกราคม 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.8.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน	←	→						
1.8.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	←	→						
1.8.3 ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตและข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน		←	→					
1.8.4 ศึกษาวิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต		←	→					

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.8.5 ศึกษาวิธี Random Key ในการย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อการปัญหาการจัดตารางการผลิต		←	→					
1.8.6 ศึกษาโค้ดโปรแกรมการใช้วิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและประยุกต์ใช้โปรแกรม Tcl / Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout , 1994) เวอร์ชั่น 8.4 เพื่อนำวิธีการ ABC มาใช้ในการจัดตารางการผลิต		←	→					
1.8.7 ออกแบบแนวคิดโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต			←	→	→			
1.8.8 นำวิธีการ Random Key มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการขั้นตอนย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต			←	→	→			
1.8.9 ทดสอบโปรแกรม						←	→	
1.8.10 ออกแบบและดำเนินการทดลอง							↔	
1.8.11 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง							←	→
1.8.12 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์		←						→

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมหรือหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้

2.1 ปัญหาการจัดตารางการผลิต

2.2 ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุด

2.3 วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4 วิธีการ Random Key Encoding Scheme

2.5 สถิติทดสอบที (t - test Statistic)

2.1 ปัญหาการจัดตารางการผลิต

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของปัญหาการจัดตารางการผลิต

การจัดลำดับงาน (Scheduling) คือ การกำหนดว่าเมื่อใดจะต้องใช้พนักงาน เครื่องมืออุปกรณ์หรือทรัพยากรต่างๆ ในการผลิตสินค้าหรือบริการ เป็นการวางแผนขั้นตอนสุดท้ายก่อนการผลิตจะเริ่มขึ้น การจัดลำดับงานจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการดำเนินการ (ผศ.ดร.บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, 2552)

การจัดตารางการผลิตเป็นเรื่องของการแยกประเภทและปริมาณสินค้า หรือชิ้นส่วนที่ได้ถูกกำหนดจากแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning) ออกมาให้ชัดเจนว่าใครจะเป็นผู้ทำ จะใช้เครื่องจักรเครื่องใด จะเริ่มทำวันไหน ตั้งแต่เวลาใดถึงเวลาใดและจำนวนเท่าไร หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เป็นการจัดเตรียมตารางเวลาการทำงานให้กับทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะเป็นคนงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (รศ.พิภพ ลลิตาภรณ์, 2539)

การจัดตารางเป็นกระบวนการในการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับกิจกรรมหรือการจัดเรียงกิจกรรมเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือวัตถุประสงค์ที่กำหนดเวลาถือเป็นเงื่อนไขบังคับที่สำคัญอย่างมากในการจัดตาราง เนื่องจากเวลาเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นการจัดตารางการผลิตให้กับกิจกรรมจึงจำเป็นต้องทำด้วยความรอบคอบเพื่อที่จะทำให้เกิดการใช้งานทรัพยากรได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ในโลกยุคปัจจุบันที่อุตสาหกรรมกำลังเจริญเติบโตภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยที่ทรัพยากรจำนวนมากกลายมาเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมการผลิต

และบริการมากขึ้น เช่น วัตถุดิบ เครื่องจักร แรงงาน และสาธารณูปโภค เป็นต้น ดังนั้นการจัดตารางการผลิตที่มีความเหมาะสมให้กับทรัพยากรเหล่านี้จึงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรและนำมาซึ่งผลกำไรของบริษัท (ปารเมศ ชุติมา, 2551)

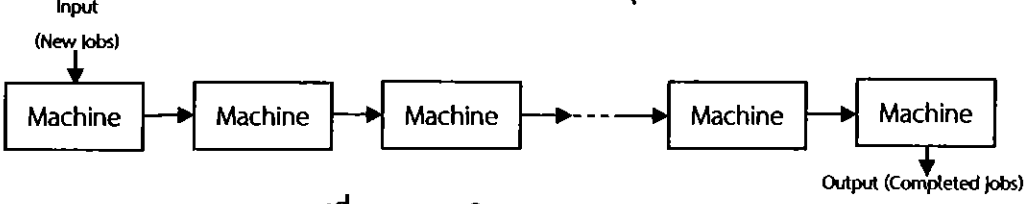
การจัดตารางการผลิต คือ เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานของหน่วยงานซึ่งก็คือการลดการว่างงานของหน่วยงานและลดการสะสมของงานในระหว่างงานต่อหน่วยงาน (In Process Inventory) ซึ่งหมายถึงพยายามลดจำนวนงานโดยเฉลี่ยที่คอยอยู่ในคิวในขณะที่งานนั้นกำลังทำงานอื่นอยู่ และอีกประการงานที่เสร็จช้ากว่ากำหนด หรือพยายามทำให้ใบสั่งงานทุกใบเสร็จในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (รศ.พิภพ ลลิตาภรณ์, 2551)

สรุปการจัดตารางการผลิตเป็นส่วนสำคัญในระบบการผลิตเป็นอย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท ถ้าหากโรงงานอุตสาหกรรมใดที่มีตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่ดีจะส่งผลทำให้ทราบถึงเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของการผลิต นอกจากนี้ยังช่วยในการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามที่กำหนดเอาไว้ ส่งผลทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออกไปได้

นอกจากนี้ถ้าหากเราจัดตารางการผลิตไว้ล่วงหน้าก็จะสามารถบ่งบอกได้ว่า ณ คาบเวลาใดเวลาหนึ่งนั้น ทรัพยากรการผลิตที่จำเป็นต้องใช้มีอะไรบ้าง จำนวนเท่าไร ซึ่งหากทรัพยากรมีไม่เพียงพอเราก็จะสามารถจัดซื้อมาได้ทันเวลาที่กำหนด หรือไม่ถ้าหากวัตถุดิบขาดตลาดฝ่ายผลิตก็สามารถที่จะเลือกผลิตสินค้าที่ตรงกับทรัพยากรที่มีอยู่ในขณะนั้นได้

2.1.2 ลักษณะของการจัดตารางการผลิตแบบทั่วไป

2.1.2.1 การจัดตารางการผลิตให้ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Shop Scheduling) ระบบการผลิตแบบต่อเนื่องเป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมาตรฐาน ปริมาณความต้องการมีลักษณะเป็นแนวโน้มที่แน่นอน คือ มักจะผลิตในปริมาณครั้งละเป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยแต่ละงานจะต้องทำบนเครื่องจักรหลายเครื่อง โดยที่เส้นทางการไหลของทุกงานจะมีลักษณะเป็นแบบแผนเดียวกัน และมีทิศทางการไหลของทุกงานทิศทางเดียวเท่านั้น เวลาดำเนินการของแต่ละงานบนเครื่องจักรจึงอาจจะแตกต่างกันได้เพราะความหลากหลายของชนิดผลิตภัณฑ์จึงอาจส่งผลให้การจัดลำดับงานในการผลิตมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในระบบนี้จึงเกี่ยวข้องกับการทำให้เวลาปิดงานของระบบมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.1 การผลิตแบบ Pure Flow Shop

ที่มา: ปารเมศ ชุติมา, 2546

การจัดตารางการผลิตแบบทั่วไปนั้นมีข้อตกลงเบื้องต้นเพื่อให้ง่ายต่อการแก้ปัญหาการจัดตาราง โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

ก. เมื่อการทำงานก่อนหน้าสิ้นสุดลง การทำงานในลำดับต่อไปก็จะถูกปฏิบัติงานทันที (Pongcharoen, 2001)

ข. ใน 1 ช่วงเวลา เครื่องจักร (Machine) แต่ละเครื่องสามารถทำงานได้เพียงงานเดียวเท่านั้น (Pongcharoen, 2001)

ค. ใน 1 ช่วงเวลา งานแต่ละงานจะถูกปฏิบัติงานบนเครื่องจักรได้เพียงเครื่องเดียว (Pongcharoen, 2001)

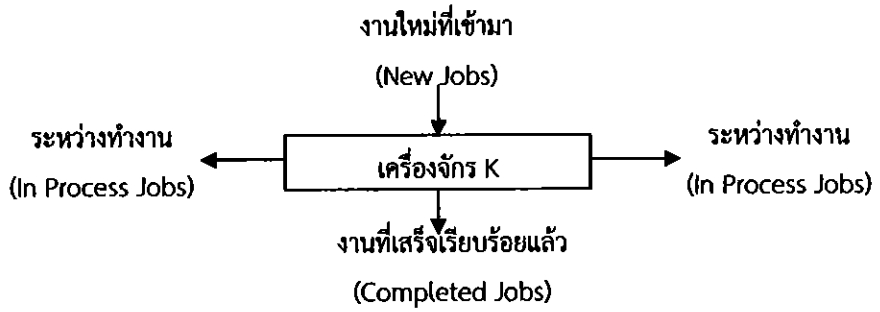
ง. ไม่มีการขัดจังหวะระหว่างการทำงาน (Pongcharoen, 2001)

จ. ไม่มีการแก้งาน (Pongcharoen, 2001)

ฉ. ไม่คิดเวลาในการติดตั้งเครื่องจักร (Pongcharoen, 2001)

ช. งานต่าง ๆ เป็นอิสระต่อกัน (Pongcharoen, 2001)

2.1.2.2 การจัดตารางการผลิตให้ระบบการผลิตแบบตามสั่ง (Job Shop Scheduling) ระบบการผลิตแบบตามสั่งเป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้าโดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะหลากหลายแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญซึ่งปริมาณการสั่งผลิตในแต่ละครั้งจะมีปริมาณไม่มาก ดังนั้นระบบการผลิตแบบนี้จึงประกอบด้วยเครื่องจักรที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่ง โดยที่แต่ละงานอาจจะใช้เครื่องจักรเหล่านี้ในการดำเนินการเพียงบางส่วนหรือทั้งหมดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการวางแผนกระบวนการ (Process Planning) ที่กำหนดให้ ข้อจำกัดของระบบงานนี้ก็คืองานแต่ละงานจะไม่สามารถย้อนกลับมาทำบนเครื่องจักรเดิมได้ ซึ่งเนื่องด้วยข้อจำกัดนี้อาจส่งผลให้เกิดปัญหาการซ้อนทับกันของงานบนเครื่องจักรเครื่องหนึ่งจึงทำให้เกิดการรอคอยงานและสำหรับบางเครื่องจักรอาจไม่มีงานเข้ามาจึงทำให้เกิดระยะการรอคอยที่สูญเปล่า ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในระบบนี้จึงเกี่ยวข้องกับการทำให้เวลาปิดงานของระบบหรือค่าปรับที่อาจเกิดจากการส่งมอบงานล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.2 การผลิตแบบตามสั่ง (Job Shop)

ที่มา: ปารเมศ ชุติมา, 2546

2.1.3 ลักษณะของการจัดตารางการผลิตแบบเงื่อนไข

การผลิตแบบนี้จะมีลำดับการผลิตก่อนหลังเนื่องจากการผลิตงานในแต่ละส่วนที่มีลักษณะไม่เป็นอิสระต่อกันภายใต้ข้อจำกัดในการใช้เครื่องจักรในการผลิตหลายเครื่องจักร ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลการผลิตแบบมีเงื่อนไข เป็นข้อมูลของการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (Capital Goods Industries) เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Turbine Generators) แท่นขุดเจาะน้ำมัน (Oil Platform) หรือ เครนพิเศษ (Specialised Cranes) เป็นต้น (Phongcharoen, 2001) ทั้งนี้เนื่องด้วยลักษณะของอุตสาหกรรมสินค้าขนาดใหญ่ การผลิตผลิตภัณฑ์จึงมีส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมากซึ่งการผลิตก็จะต้องผลิตไปตามระดับจนถึงระดับสุดท้ายส่งผลให้ปัญหานั้นมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากแต่ละปัญหาอาจจะมีจำนวนชิ้นส่วน จำนวนชิ้นงาน หรือระดับของโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ดังนั้นการผลิตแบบมีเงื่อนไขจึงทำได้ยากกว่าการผลิตแบบทั่วไป (Flow Shop and Job Shop) ซึ่งข้อตกลงในการจัดตารางแบบมีเงื่อนไขนั้นจะใช้ข้อตกลงเดียวกับการจัดตารางการผลิตแบบทั่วไปแต่จะไม่มีข้อตกลงข้อที่ 7

2.1.4 เทคนิคการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิต แบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ การจัดตารางแบบข้างหน้า (Forward Scheduling) และการจัดตารางแบบถอยหลัง (Backward Scheduling) (ปารเมศ ชุติมา, 2546; มาริสา กัณฑาทรัพย์, 2549)

2.1.4.1 การจัดตารางแบบข้างหน้า เราจะสามารถจัดตารางการผลิตได้ก็ต่อเมื่อทราบถึงความต้องการของลูกค้าหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นงานตามคำสั่งซื้อของลูกค้า โดยจะพิจารณาจากวันที่ส่งมอบงานให้กับลูกค้า การวางงานของตำแหน่งงานต่างๆ บนตารางการผลิตจะมีทิศทางจากซ้ายไปขวาเมื่อดูจากแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) (มาริสา กัณฑาทรัพย์, 2549) เทคนิคการจัดตารางการผลิตแบบนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ละเมิดข้อจำกัดด้านการผลิต แต่ก็อาจจะทำให้เกิดการส่งมอบงานล่าช้าได้ และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างทำขึ้นเป็นจำนวนมากในระบบอีกด้วย ทำให้เกิดค่าใช่จ่ายในการเก็บรักษาสินค้าช่วงก่อนการส่งมอบ (สุภัคกานดา ชมภูมิ่ง, 2552)

2.1.4.2 การจัดตารางแบบถอยหลัง จะทำการเริ่มต้นจัดตารางจากเวลาส่งมอบ โดยจะจัดตารางให้กับการดำเนินงานสุดท้ายก่อนเป็นอันดับแรก ส่วนขั้นตอนการดำเนินงานอื่นๆจะถูกจัดทีละขั้นตอนย้อนกลับ การวางงานสู่ตำแหน่งงานต่างๆบนตารางจะมีทิศทางจากขวาไปซ้ายเมื่อดูจากแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) (มาริสา กัณฑาทรัพย์, 2549) จะจัดตารางให้ผลิตงานเสร็จพอดีกับวันส่งมอบมากที่สุด เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากงานเสร็จก่อนหรืองานล่าช้าต่ำสุด การจัดตารางวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากทั้งโรงงานอุตสาหกรรมและงานที่เกี่ยวกับการบริการ (ปารเมศ ชุติมา, 2546) การจัด

ตารางวิธีนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ทำให้งานเกิดความล่าช้าแต่อาจจะไม่สามารถหาตารางที่เป็นจริงได้ เนื่องจากตารางดังกล่าวมีการละเมิดข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (สุภัคกานดา ชมภูมิ่ง, 2552)

2.1.5 การประเมินค่าการจัดตารางการผลิต

ในโครงงานนี้ มีการใช้สมการคณิตศาสตร์ในการคำนวณการจัดตารางการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐานหรือให้ตรงตามวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ 2.1 (Pongcharoen, et al., 2008)

สมการวัตถุประสงค์

$$TotalPenaltyCost = \sum_{j=1}^{C}\sum_{k=1}^{P} Pe(E_{jk}) + \sum_{k=1}^{P} Pe(E_k) + \sum_{k=1}^{P} Pt(T_k) \qquad (2.1)$$

เมื่อ

C = จำนวนชิ้นส่วน (Components) ทั้งหมด

P = จำนวนผลิตภัณฑ์ (Products) ทั้งหมด

O = จำนวนงาน (Operation) ทั้งหมด

M = จำนวนเครื่องจักร (Machines) ทั้งหมด

ลำดับ (Indices)

j = ลำดับของชิ้นส่วนที่ j^{th} (j = 1,..., C)

k = ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (k = 1, ... , P)

i = ลำดับของงานที่ i^{th} (i = 1, ... , M)

m = ลำดับของเครื่องจักรที่ m^{th} (m = 1,..., M)

ตัวแปร (Variables)

E_k = เวลาที่เสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

E_{jk} = เวลาที่เสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

T_k = เวลาที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

ปัจจัย (Parameters)

R_m = เวลาที่พร้อมทำงานของเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

C_k = เวลาที่เสร็จสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

D_k = กำหนดส่งมอบของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

C_{jk} = เวลาที่เสร็จสมบูรณ์ของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

D_{jk} = กำหนดส่งมอบของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

SU_{ijkm} = เวลาที่ติดตั้งของงานที่ i^{th} บนชิ้นส่วนที่ j^{th} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

ST_{ijkm} = เวลาเริ่มต้นของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

PT_{ijkm} = เวลาในการดำเนินงานของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th}ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{t} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

FT_{ijkm} = เวลาที่หยุดการทำงานของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

TT_{ijkm} = เวลาในการเคลื่อนย้ายของงานที่ i^{th}สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

$X_{ijkabcm}$ = 1 ถ้า งานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} มาก่อนงานที่ a^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ b^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ c^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} ; และถ้าไม่ใช่ให้เป็น 0

Pe = ค่าปรับของการทำงานเสร็จก่อนเวลา (บาท : วัน)

Pt = ค่าปรับของการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด (บาท : วัน)

S(x) = กลุ่มของชิ้นส่วยย่อยสำหรับผลิตภัณฑ์ย่อย x

Sh = กะการทำงาน (นาที) แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 8 ชั่วโมง กรณี 1 กะต่อวัน 16 ชั่วโมง กรณี 2 กะต่อวัน 24 ชั่วโมง กรณี 3 กะต่อวัน

สมการเงื่อนไข (Constrains)

$ST_{ijkm} \geq R_m$ $\forall i,j,k,m$ (2.2)

$FT_{ijkm} = ST_{ijkm} + SU_{ijkm} + TT_{ijkm}$ $\forall i,j,k,m$ (2.3)

$C_{jk} \geq FT$ $\forall i,j,k,m$ (2.4)

$E_{jk} = (D_{jk} - C_{jk}) / Sh$ (เมื่อ $D_{jk} > C_{jk}$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall i,k$ (2.5)

$E_k = (D_k - C_k) / Sh$ (เมื่อ $D_k > C_k$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall k$ (2.6)

$T_k = (C_k - D_k) / Sh$ (เมื่อ $C_k > D_k$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall k$ (2.7)

$ST_{ixkm} - ST_{ijkm} \geq SU_{ijkm} + PT_{ijkm} + TT_{ijkm}$ $\forall i,k,m, i \in S(x)$ (2.8)

$ST_{gikm} - ST_{ijkm} \geq SU_{ijkm} + PT_{ijkm} + TT_{ijkm}$ $\forall i,k,m, g = i+1$ (2.9)

$X_{ijkabcm} + X_{abcijkm} = 1$ $\forall a,b,c,i,j,k,m$ (2.10)

$X_{ijkabcm} \in (0,1)$ $\forall a,b,c,i,j,k,m$ (2.11)

$E_{jk}, E_k, T_k \geq 0$ $\forall i,k$ (2.12)

$ST_{ijkm}, R_m \geq 0$ $\forall i,j,k,m$ (2.13)

$FT_{ijkm}, ST_{ixkm}, SU_{ijkm}, PT_{ijkm}, TT_{ijkm} \geq 0$ $\forall i,j,k,m$ (2.14)

สมการที่ 2.1 เป็นสมการเป้าหมายของโครงงานเพื่อหาผลรวมของค่าปรับจากการทำงานซึ่งมี 3 ส่วน คือ ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วน ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์ และค่าปรับจากการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ 2.2 เวลาที่จะเริ่มต้นงานใดงานหนึ่งได้นั้น ก็ต่อเมื่อเครื่องจักรพร้อมทำงาน

สมการที่ 2.3 เวลาหยุดการทำงานของแต่ละงาน ในแต่ละครั้งได้มาจาก เวลาการเริ่มต้น เวลาการติดตั้ง เวลาที่ดำเนินการผลิตบนเครื่อง และเวลาในการเคลื่อนย้าย

สมการที่ 2.4 ชิ้นส่วนไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ หากงานของชิ้นส่วนนั้นไม่เสร็จสมบูรณ์ก่อน

สมการที่ 2.5 เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วน

สมการที่ 2.6 เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ 2.7 เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ 2.8 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเริ่มต้นการทำงานได้ จนกระทั่งชิ้นส่วนที่ต้องการหยุดการทำงาน

สมการที่ 2.9 สามารถทำงานในระดับที่สูงขึ้นไปได้ เมื่อชิ้นส่วนนั้นเป็นไปตามที่ต้องการ

สมการที่ 2.10 เครื่องจักรสามารถทำงานได้เพียงหนึ่งงานเท่านั้น

สมการที่ 2.11 กำหนดตัวแปรในการตัดสินใจ

สมการที่ 2.12 กำหนดให้เวลาเสร็จงานก่อนกำหนดของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ และเวลาเสร็จงานล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการที่ 2.13 กำหนดให้เวลาที่เริ่มต้นและเวลาที่พร้อมทำงานสำหรับเครื่องจักรของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ มากกว่าหรือเท่ากับ 0

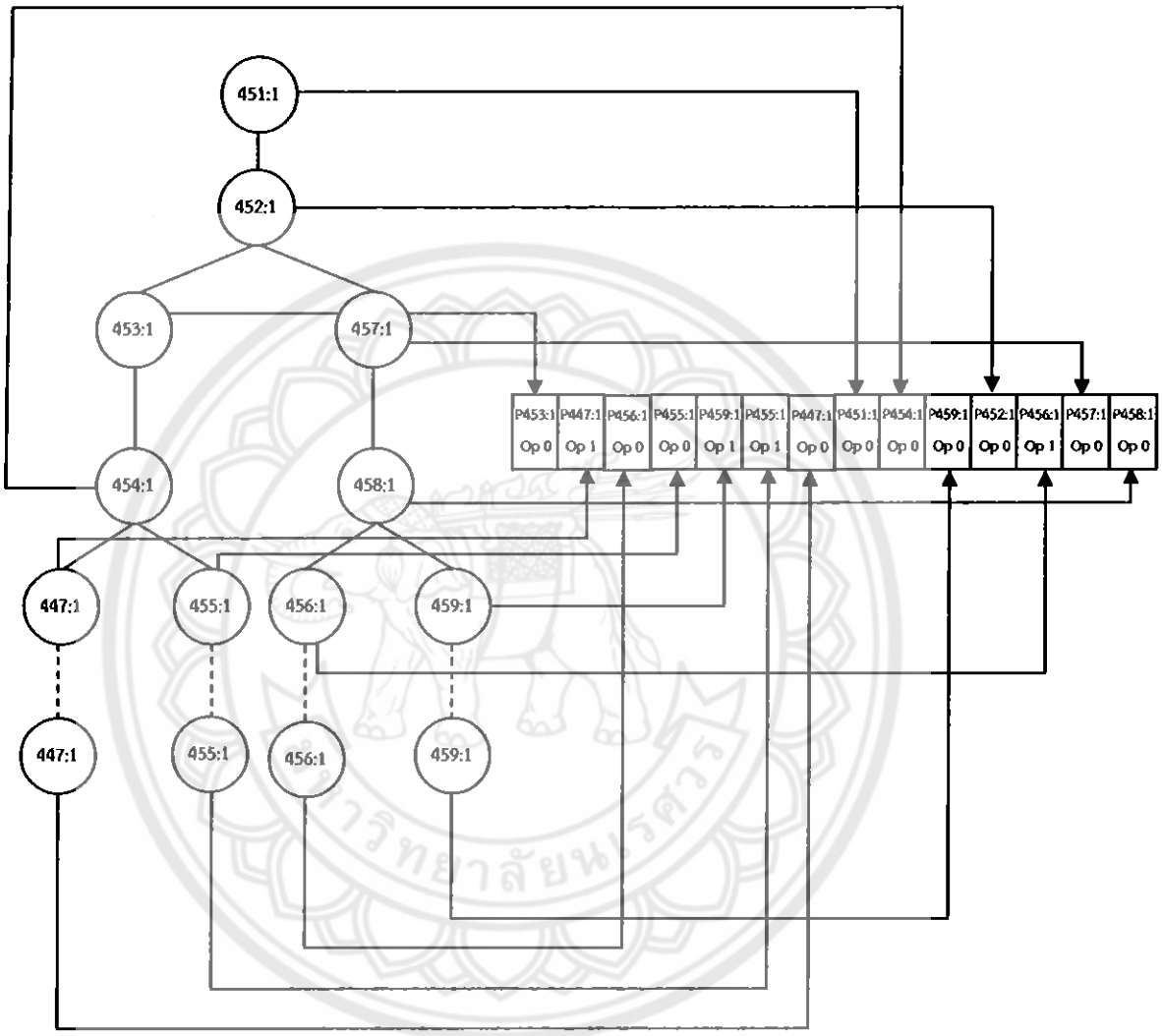
สมการที่ 2.14 กำหนดให้เวลาหยุดการทำงาน เวลาเริ่มต้นการทำงาน เวลาติดตั้งเวลาในกระบวนการผลิต และเวลาในการเคลื่อนย้ายของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0

2.1.6 กระบวนการซ่อมแซมตารางการผลิต (Repair Schedule Process)

เป็นส่วนหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมกับความต้องการของกระบวนการผลิตมากขึ้นเพราะตารางอาจจะไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ (Infeasible Schedule) เนื่องจากมีข้อจำกัดของการทำงานก่อนหลังของชิ้นส่วน (Part) และงานย่อยของชิ้นส่วน (Operations) (มาริสา กัณฑาทรัพย์, 2549)

ขั้นตอนกระบวนการซ่อมแซม มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

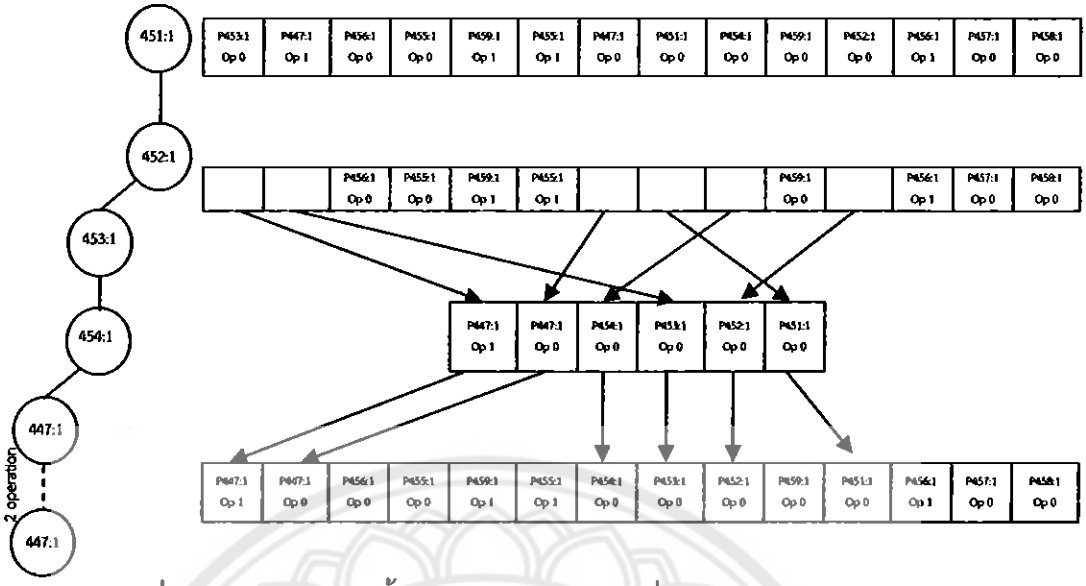
2.1.6.1 ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นส่วน (Part Precedence Adjustment) เป็นกระบวนการตรวจสอบลำดับความถูกต้องของชิ้นส่วนตั้งแต่ชิ้นงาน ชิ้นส่วนประกอบ จนกระทั่งเป็นผลิตภัณฑ์ตามสายงาน เช่น ผลิตภัณฑ์ 451 สายการผลิตที่ 4 มีจำนวนชิ้นงาน 8 ชิ้นงาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 6 ส่วนประกอบ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระดับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ 451

ที่มา : Khadwilard, 2007

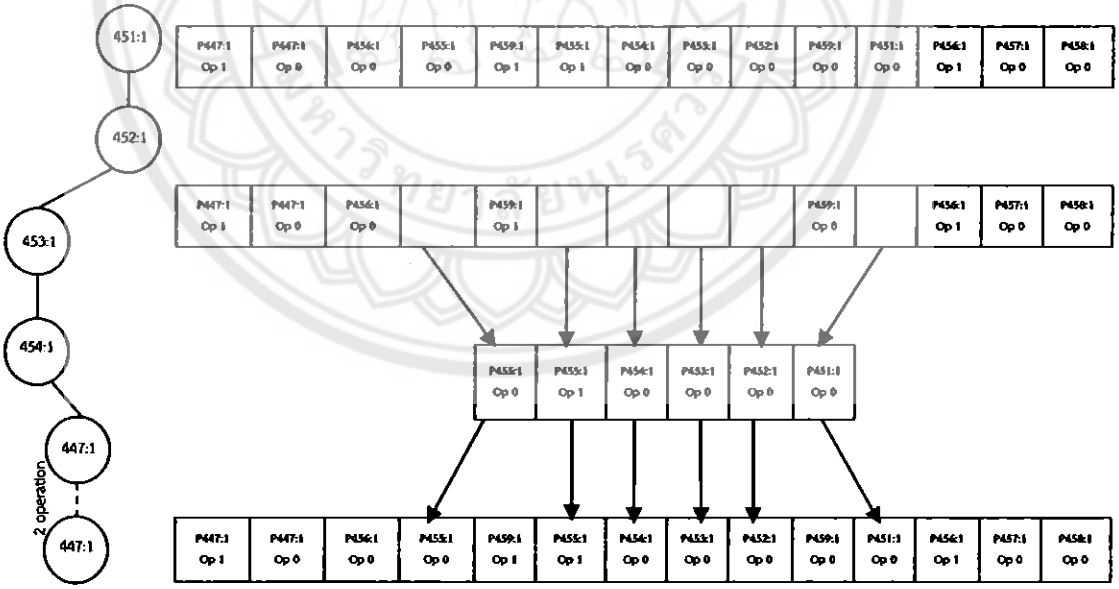
ในกระบวนการซ่อมแซมจะทำการที่ละสายการผลิต จากรูปที่ 2.3 เมื่อทำกระบวนการซ่อมแซมสายการผลิตที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวน 5 ชิ้น ได้แก่ 447 : 1 454 : 1 453 : 1 452 : 1 และ 451 : 1 ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา : Khadwilard, 2007

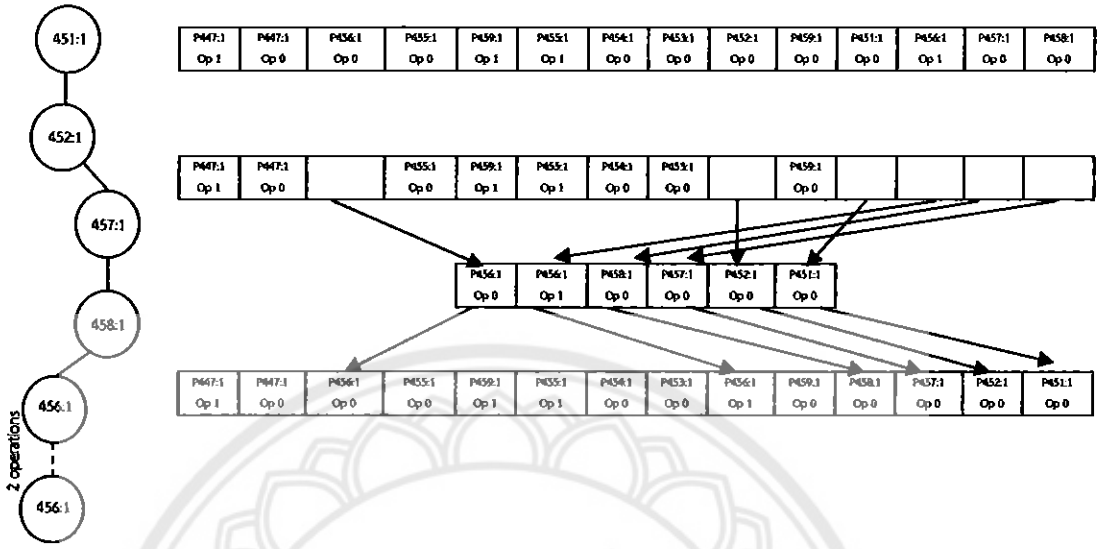
สายการผลิตที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวน 5 ชิ้น ได้แก่ 455 : 1 454 : 1 453 : 1 452 : 1 และ 451 : 1 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม

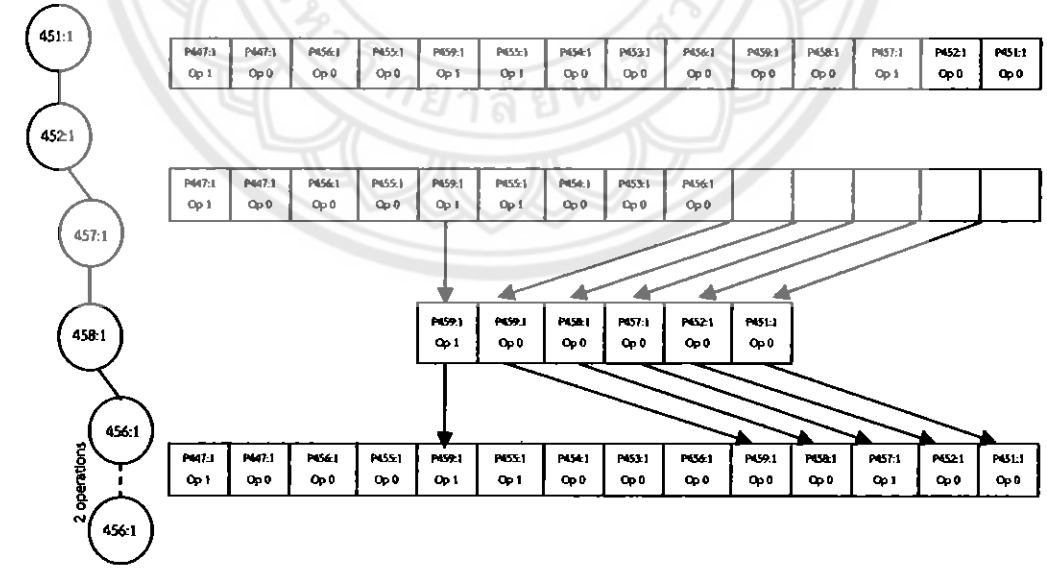
ที่มา : Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวน 5 ชิ้น ได้แก่ 456 : 1 458 : 1 457 : 1 452 : 1 และ 451 : 1 ดังรูปที่ 2.6



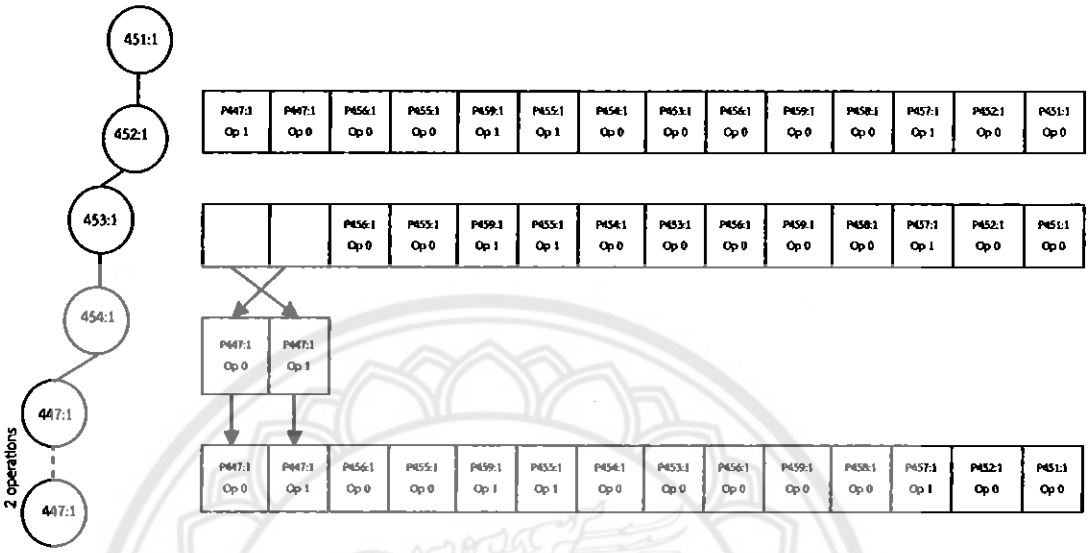
รูปที่ 2.6 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อมแซม
ที่มา : Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวน 5 ชิ้น ได้แก่ 456 : 1 458 : 1 457 : 1 452 : 1 และ 451 : 1 ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การตรวจสอบชิ้นส่วนของสายการผลิตที่ 4 ของกระบวนการซ่อมแซม
ที่มา : Khadwilard, 2007

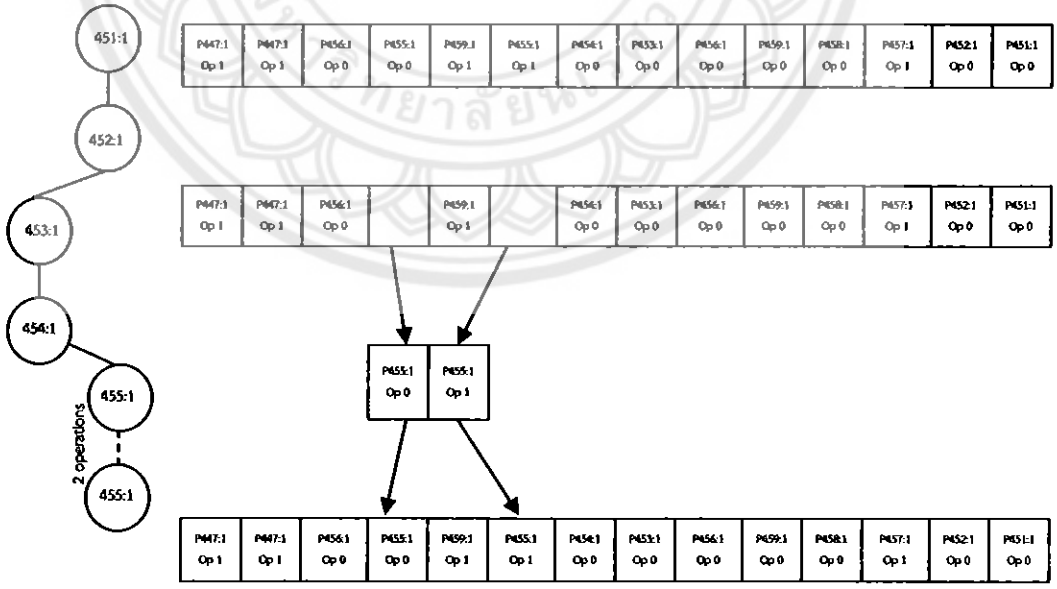
2.1.6.2 ขั้นตอนการตรวจสอบงาน (Operation Precedence Adjustment) ขั้นตอนการตรวจสอบงานเป็นกระบวนการตรวจสอบลำดับงาน โดยจะตรวจสอบชิ้นส่วนที่มากกว่า 1 งาน เช่น สายการผลิตที่ 1 ตรวจสอบงานของชิ้นส่วน 447 : 1 ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา : Khadwilard, 2007

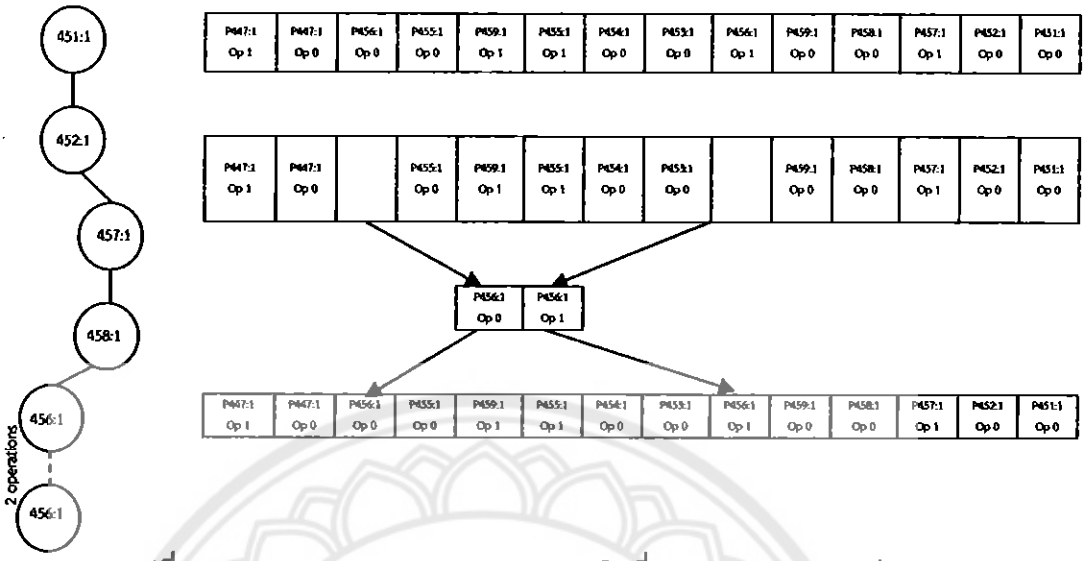
สายการผลิตที่ 2 ตรวจสอบงานของชิ้นส่วน 455:1 ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา : Khadwilard, 2007

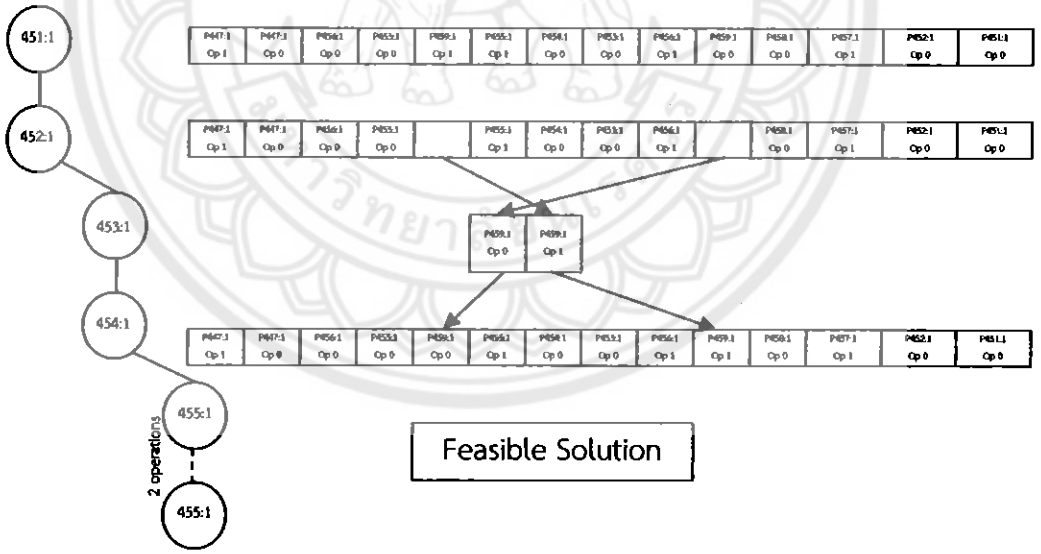
สายการผลิตที่ 3 ตรวจสอบงานของชิ้นส่วน 456 : 1 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อม**แซม**

ที่มา : Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 4 ตรวจสอบงานของชิ้นส่วน 459 : 1 ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การตรวจสอบงานของสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา : Khadwilard, 2007

2.2 ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุด (Optimisation Algorithms)

ลักษณะของปัญหาที่ต้องการหาค่าเหมาะที่สุดมักจะเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน มีจำนวนของค่าคำตอบที่เป็นไปได้ที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา ทั้งนี้ประสิทธิภาพของค่าคำตอบที่ได้นั้นจะวัดจากค่าของฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function) ว่าเป็นปัญหาที่ต้องการค่าคำตอบในแบบใด เช่น ปัญหาการหาค่าคำตอบที่มากที่สุด (Maximisation Problem) หรือปัญหาการหาค่าคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimisation Problem) ขั้นตอนของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดมักนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ปัญหาการจัดตาราง (Scheduling Problems) ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) ปัญหาการจัดตารางเรียน (Timetabling Problem) ปัญหาการหาต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่น้อยที่สุด เป็นต้น

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีระเบียบแบบแผน (Conventional Optimisation Algorithms) โดยมีพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น หรือวิธีแตกกิ่งและขอบเขต เป็นต้น และขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบกะประมาณ (Approximation Optimisation Algorithms) จะมีพื้นฐานของวิธีการคอนสตรัคทีฟและการค้นหาโดยกระบวนการเฟ้นสุ่มทางสถิติแต่ผลเฉลยที่ได้นั้นอาจไม่เป็นค่าเหมาะที่สุด วิธีนี้มักเกี่ยวข้องกับกฎเฉพาะที่ใช้ในการสร้างผลเฉลยจนกระทั่งได้ผลเฉลยที่สมบูรณ์ เช่น วิธีการหาเส้นทางวิกฤต โดยมีลักษณะการทำงานที่ใช้กลยุทธ์การค้นหาและหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด (Burke and Petrovic, 2002) โดยมีกระบวนการทำงานที่วนซ้ำและหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น วิธีแอนท์คอลโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimisaion : ACO), พาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน (Particle Swam Optimisation : PSO), จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GA), วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Approaches), ชัฟเฟิลฟร็อกกลีปปิง (Shuffled Frog Leaping Algorithm : SFL) (สุภัคกานดา ชมภูมิ่ง, 2552) และวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

2.3 วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีจะอาศัยหลักการหาอาหารของผึ้งในธรรมชาติมาเป็นวิธีการในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด พฤติกรรมของผึ้งในธรรมชาติ (Behaviour of Honey Bees) และขั้นตอนของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

2.3.1 พฤติกรรมของผึ้งในธรรมชาติ (Behaviour of Honey Bees)

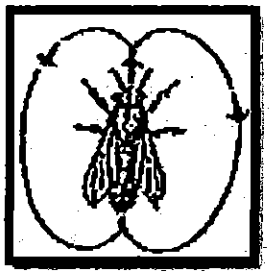
ผึ้งเป็นแมลงที่อยู่ในวงศ์ Apidae เป็นแมลงสังคมเดียวกับ ต่อ แตน มีลักษณะมีปีกใส 2 คู่ มีปีกคู่หลังเล็กกว่าปีกคู่หน้า ปากใช้กัดอาหารและดูดกินของเหลว ส่วนท้องปล้องแรกที่ติดอกเล็กมาก ปล้องที่สองมีขนาดไล่เลี่ยกัน ปล้องที่เหลือมีขนาดไล่เลี่ยกับอก ยกเว้นปล้องสุดท้ายที่มีขนาดเล็กกว่า มีขนปกคลุมตามลำตัว อาศัยรวมกันเป็นฝูง แบ่งชั้นวรรณะ เก็บเกสรดอกไม้และน้ำหวานมาทำน้ำผึ้ง จะเป็นผึ้งจำพวก ผึ้งหลวง ผึ้งมิ้ม ผึ้งเลี้ยง ผึ้งโพลง เป็นต้น และผึ้งจำพวกผึ้งวงศ์ Megachilidae จะเป็นผึ้งที่อาศัยอยู่อย่างโดดเดี่ยว ไม่แบ่งชั้นวรรณะ เช่น ผึ้งกรวย ผึ้งหลอด หรือที่เรียกอีกอย่างว่า เผึ้ง เป็นต้น (กนกวรรณ ทองตะโก, 2552)

ผึ้งเป็นสัตว์สังคมจะอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่มภายในรัง มันจะติดต่อสื่อสารกันภายในรังโดยใช้สารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) และการเต้นรำ (Dance) ตัวอย่างการติดต่อสื่อสาร เช่น เมื่อรังถูกโจมตีมันจะส่งสัญญาณให้กับผึ้งภายในรังรับทราบโดยใช้สารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) (Yang, 2008) ที่สำคัญไปกว่านั้นผึ้งจะบ่งบอกตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งอาหารที่มันค้นพบโดยอาศัยหลักการแสดงออกที่เรียกว่า แวกเกิล แดนส์ (Waggle Dance) โดยจะแบบจังหวะการเต้นออกเป็น 2 แบบ คือ (Karaboga, 2005)

2.3.1.1 การเต้นรำแบบวงกลม (Round Dance) ผึ้งงานที่สำรวจแหล่งอาหารในรัศมีไม่เกิน 100 เมตร จะกลับมายังรังแล้วจะเต้นแบบวงกลมบนผนังของรังในแนวตั้งฉากกับฐานรัง เพื่อบอกให้สมาชิกผึ้งงานด้วยกันทราบลักษณะการเต้นจะวนอยู่หลายรอบระยะเวลานานประมาณ ½ - 1 นาที จึงย้ายไปตำแหน่งอื่นบนผนังรวงรัง ถ้ามีแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ผึ้งงานที่สำรวจจะเต้นรุนแรงและเร็ว ถ้าแหล่งอาหารที่สำรวจมาได้มีน้อยก็จะเต้นช้าและมักจะไม่ได้ความสนใจจากสมาชิกผึ้งงานที่ล้อมอยู่รอบๆรัง ซึ่งจะมีผึ้งงานตัวอื่นๆที่ตอบอยู่บริเวณรอบๆประมาณ 5-10 ตัว คอยสังเกตการณ์ ผึ้งงานที่ตอมอยู่บริเวณรอบๆ รังที่ดูผึ้งสำรวจเต้นอยู่นั้นจะคอยดมกลิ่นและสังเกตสีของแหล่งอาหาร ซึ่งได้จากเกสรน้ำหวานที่ติดตัวมากับผึ้งสำรวจด้วยเพื่อนำพาไปยังตำแหน่งของอาหารได้ถูกต้อง (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯเล่มที่ 15, 2533)

2.3.1.2 การเต้นแบบส่ายท้อง (Wag – Tail Dance) ผึ้งงานสำรวจที่พบแหล่งอาหารไกลกว่า 100 เมตร จะทำการสื่อสารให้ผึ้งงานตัวอื่นภายในรังและที่ตอมอยู่ภายนอกรังได้รู้โดยวิธีการเต้นแบบส่ายท้อง ลักษณะของการเต้นแบบนี้ ท้องจะส่ายไปมาโดยผึ้งจะวิ่งเป็นเส้นตรงขึ้นก่อนแล้วหมุนวนรอบซ้ายและขวารอบละครึ่งวงกลมทำองศาบนเส้นแบบครึ่งวงกลมกับแนวดิ่งของฐานรัง จำนวนรอบและระยะเวลาในการเต้นจะเป็นตัวกำหนดระยะทางของแหล่งอาหารกับที่ตั้งของรังความรุนแรงในการเต้นจะบอกถึงปริมาณของน้ำหวาน (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 15, 2553)

การเต้นรำแบบวงกลม (Round Dance)



การเต้นรำแบบส่ายท้อง (Wag-Tail Dance)

รูปที่ 2.12 การเต้นรำแบบวงกลมและแบบส่ายท้องของผึ้ง

ที่มา : http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet4/ethology/bee.htm

2.3.2 ขั้นตอนวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

ขั้นตอนวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีเป็นปัญญารวมฝูง (Swarm Intelligence) แขนงใหม่ ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการพัฒนาในปี 2005 โดย Davis Karaboga ที่มหาวิทยาลัย Erciyes ประเทศตุรกี

วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีนั้นเป็นการนำเอาแบบพฤติกรรมการหาอาหารของผึ้งในธรรมชาติมาใช้ในการดำเนินการของขั้นตอนเพื่อการแก้ปัญหาให้ได้มาซึ่งค่าคำตอบที่เหมาะที่สุด

ผึ้งอาศัยอยู่รวมกันเป็นสังคมโดยอาณานิคมของผึ้งนั้นประกอบด้วยผึ้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผึ้งงาน (Employed Bees) ผึ้งสังเกตการณ์ (Onlooker Bees) และผึ้งสำรวจ (Scout Bees) (Karaboga and Basturk, 2007) โดยที่สัดส่วนของจำนวนประชากรของผึ้งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันภายในอาณานิคมของผึ้ง คือ ประชากรของผึ้งงานและประชากรของผึ้งสังเกตการณ์

สำหรับหน้าที่และภาระงานของผึ้งงาน คือ การออกไปหาแหล่งอาหารภายนอกรังและนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจแหล่งอาหารนั้นๆ มาแบ่งสรรให้แก่ผึ้งสังเกตการณ์ที่อยู่ภายในรังโดยที่ผึ้งสังเกตการณ์เหล่านั้นจะทำการเลือกข้อมูลของแหล่งอาหารโดยที่อาศัยหลักของค่าความเป็นไปได้ (Probability) และจากการคัดเลือกแหล่งอาหารที่กล่าวมานี้แหล่งอาหารของผึ้งงานตัวใดที่ไม่ได้รับความสนใจจากผึ้งภายในรังแหล่งอาหารแหล่งนั้นจะถูกละทิ้งไปและผึ้งงานตัวนั้นก็จะกลายไปเป็นผึ้งสำรวจซึ่งจะมีหน้าที่ในการค้นหาแหล่งอาหารแหล่งใหม่โดยอาศัยวิธีการสุ่ม (Karaboga and Basturk, 2009)

ข้อมูลของแหล่งอาหารที่ถูกค้นพบโดยผึ้งงาน (Employed Bees) จะถูกนำมาแบ่งสรร (Shared) ให้แก่ผึ้งภายในรังตัวอื่นๆ ได้ทราบโดยวิธีการเต้นรำของผึ้งงานที่เรียกว่า แวกเกิล แดนส์ (Waggle Dance) ซึ่งเป็นวิธีการติดต่อที่ใช้สื่อสารกันเพื่อบ่งบอกถึงที่ตั้งของแหล่งอาหารที่ค้นพบ การเต้นรำของผึ้งงานนั้นกระทำบนพื้นที่ภายในรังที่ใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลนั้นเรียกว่า พื้นที่

เต้นรำ (Dancing Area) ซึ่งบนพื้นที่เต้นรำนี้จะประกอบด้วยประชากรของผึ้งงาน (Employed Bees) เป็นผู้แบ่งสรรข้อมูล และผึ้งสังเกตการณ์ (Onlooker Bee) เป็นผู้รับข้อมูลและทำการคัดเลือกแหล่งอาหารจากหลักของค่าความเป็นไปได้ (Karaboga, 2005)

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.3.2.1 ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialise the Population of Solutions) กระบวนการเริ่มต้นของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี คือ การสร้างประชากรเริ่มต้นของแหล่งอาหาร (Food Source) จากการสุ่มค่าของแหล่งอาหาร (Karaboga and Akay, 2009) โดยที่แหล่งอาหารแต่ละแหล่งแทนผลลัพธ์ (Solution Number : SN) ที่เป็นไปได้ 1 ค่า และจำนวนแหล่งอาหารที่สุ่มสร้างขึ้นมานั้นจะสร้างขึ้นตามจำนวนของแหล่งประชากร (Population Size) ที่กำหนดไว้ เนื่องจากผึ้งงาน 1 ตัวสามารถที่จะจดจำแหล่งอาหารเก็บไว้ในหน่วยความจำได้เพียง 1 แหล่ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าจำนวนของแหล่งอาหารเท่ากับจำนวนของผึ้งงาน (Bahamish, et al., 2009) ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นได้แก่การเปลี่ยนแปลงค่าของหมายเลขในการสุ่ม (Random Seed)

2.3.2.2 ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Evaluate the Population) ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Evaluate the Population) เป็นขั้นตอนในการถอดรหัสเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่ได้กำหนดไว้เพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหา โดยการประเมินค่าปริมาณน้ำหวาน (Nectar Amount) ของแหล่งอาหารที่ถูกค้นพบโดยผึ้งงาน

2.3.2.3 ขั้นตอนการสร้างแหล่งอาหารแหล่งใหม่และประเมินค่าความเหมาะสม (Produce New Solution for the Employed Bees and Evaluate Them) กระบวนการแรกเริ่มต้นจากการแบ่งสรรข้อมูลแหล่งอาหารที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของผึ้งงานแต่ละตัวให้แก่ผึ้งงานตัวอื่น เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านั้นในการสร้างแหล่งอาหารใหม่โดยอาศัยแหล่งอาหารของเพื่อนบ้าน (Neighbourhood) การสร้างแหล่งอาหารใหม่ทำได้โดยใช้สมการที่ 2.15

$$V_i = X_i + \emptyset(X_i - X_k) + (1 - \emptyset)(X_i - X_{RK}) \qquad (2.15)$$

โดยที่

X_i $(i = 1,2,\dots,SN)$ เป็นแหล่งอาหารที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของผึ้งงานซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของประชากรเริ่มต้น

Vi เป็นแหล่งอาหารแหล่งใหม่

$\emptyset$ เป็นตัวเลขที่ได้จากการสุ่มมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1

Xk เป็นแหล่งอาหารของเพื่อนบ้าน (Neighborhood) โดยที่

$k \in \{1,2,\dots,SN\}$ $k \neq i$

ค่า k หาได้จากสมการที่ 2.16 (Karaboga and Akay, 2009)

$$k = int(rad * SN) + 1 \quad (2.16)$$

X_{RK} เป็นแหล่งอาหารที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการ Random Key

ทั้งนี้อาจจะเรียกขั้นตอนการหาแหล่งอาหารใหม่นี้ได้ว่าเป็นขั้นตอนการปรับปรุงผึ้ง ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปที่นำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีเดิมที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาได้เลือกขั้นตอนในการปรับปรุงผึ้งมาใช้ 2 วิธีการ ได้แก่

ก. Swap Operator เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาค่าคำตอบโดยการสลับตำแหน่งคู่อันดับ เช่น ต้องการสลับตำแหน่งของคู่อันดับ $X_w = \{a, c, d, b, e\}$
ให้มีค่าเป็น $X_b = \{a, b, c, d, e\}$
ในขั้นตอนที่ 1 ต้องทำการสลับตำแหน่ง $SO1(1,3)$ ซึ่งจะได้ $X_w = \{a, b, d, c, e\}$
ในขั้นตอนที่ 2 ต้องทำการสลับตำแหน่ง $SO2(2,3)$ ซึ่งจะได้ $X_w = \{a, b, c, d, e\}$
นั่นหมายความว่า ในกรณีที่ต้องการสลับตำแหน่งของคู่อันดับ $X_w = \{a, c, d, b, e\}$ จำนวน 2 ครั้งจึงจะได้คู่อันดับที่มีค่าเป็น $X_b = \{a, b, c, d, e\}$

ข. Adjustment Operator เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาค่าคำตอบโดยมีลักษณะของวิธีการคล้ายกับวิธี Swap Operator เพียงแต่มีความแตกต่างกันในส่วนของตำแหน่งในการสลับของคู่อันดับ หมายความว่าการสลับตำแหน่งของคู่อันดับของ Adjustment Operator นั้นจะมีการหาค่ามาแทรกในตำแหน่งที่ต้องการแล้วทำการผลักค่าที่อยู่ตั้งแต่ตำแหน่งที่ถูกแทรกด้วยค่านั้นให้ถอยออกไป เช่น
ค่าคำตอบที่ค้นพบในรอบที่ผ่านมามีค่าเป็น $X_w = \{a, b, c, d, e\}$
ต้องการสลับตำแหน่งใหม่ให้มีค่าเป็น $X_b = \{a, c, d, b, e\}$
ในขั้นตอนที่ 1 ต้องทำการสลับตำแหน่ง $AO1(1,3)$ ซึ่งจะได้ $X_w = \{a, c, d, b, e\}$
นั่นหมายความว่า ในกรณีที่ต้องการสลับตำแหน่งของคู่อันดับ $X_w = \{a, b, c, d, e\}$ จำนวน 1 ครั้งจึงจะได้คู่อันดับที่มีค่าเป็น $X_w = \{a, c, d, b, e\}$

เมื่อได้แหล่งอาหารแหล่งใหม่แล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนของการประเมินค่าความเหมาะสมของแหล่งอาหารแหล่งใหม่ในลำดับต่อไป

2.3.2.4 ขั้นตอนกระบวนการเลือกจำแหล่งอาหารที่มีปริมาณน้ำหวานมากที่สุดของผึ้งงานในขั้นตอนนี้ผึ้งงานจะเลือกแหล่งอาหารระหว่างแหล่งอาหารจากหน่วยความจำของผึ้งงานเองกับแหล่งอาหารแหล่งใหม่ที่สร้างขึ้น โดยพิจารณาเลือกจากปริมาณน้ำหวานของแหล่งอาหารทั้งสองแหล่งซึ่งผึ้งงานจะเลือกแหล่งอาหารที่มีปริมาณน้ำหวานมากกว่า โดยแหล่งอาหารแหล่งใดที่มีปริมาณน้ำหวานมากกว่าก็จะถูกจดจำไว้ในหน่วยความจำของผึ้งงานและแหล่งอาหารอีกแหล่งจะไม่ได้รับความสนใจ (Karaboga and Akay, 2009)

2.3.2.5 ขั้นตอนการแบ่งสรรข้อมูลของผึ้งงาน (Share Information for the Employed Bees) หลังจากที่การเลือกแหล่งอาหารจากปริมาณน้ำหวานของผึ้งงานเสร็จสิ้น ผึ้งงานจะบินกลับรังเพื่อนำข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารที่ได้รับการเลือกนั้นมาแบ่งสรรด้วยวิธีการเต้นรำที่เรียกว่า แวกเกิลแดนส์ (Waggle Dance) ให้แก่ผึ้งที่อยู่ในรังซึ่งได้แก่ ผึ้งสังเกตการณ์ได้ทราบ (Karaboga and Akay, 2009)

2.3.2.6 ขั้นตอนการเลือกแหล่งอาหารของผึ้งสังเกตการณ์ (Selection Food Source for the Onlooker Bees) เมื่อผึ้งสังเกตการณ์ได้รับข้อมูลแหล่งอาหารจากการแบ่งสรรของผึ้งงานแล้วจะทำการคัดเลือกแหล่งอาหารโดยการใช้วิธีการคัดสรรจากวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) โดยอาศัยค่าความเป็นไปได้ของข้อมูลซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.17 (Karaboga and Basturk, 2007)

$$P_i = \frac{1/f(X_i)}{\sum_{i=1}^{SN} 1/f(X_i)} \qquad (2.17)$$

เนื่องจากในการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นเป็นปัญหาที่ต้องการค่าคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจึงจำเป็นที่จะต้องใช้การหาค่าความเป็นไปได้จากสมการที่ (2.17) โดยที่ $f(X_i)$ คือ ค่าความเหมาะสมหรือค่าปริมาณของน้ำหวานของแหล่งอาหารที่มาจากหน่วยความจำของผึ้งงานแต่ละตัว

2.3.2.7 ขั้นตอนการค้นหาแหล่งอาหารที่จะละทิ้ง (Determine the Abandoned Solution) การพิจารณาการละทิ้งแหล่งอาหาร คือ แหล่งอาหารแหล่งนั้นเป็นแหล่งอาหารที่ไม่มีการพัฒนาค่าความเหมาะสมหรือปริมาณน้ำหวาน (Nectar Amount) ซึ่งแหล่งอาหารดังกล่าวนั้นจะถูกค้นหาโดยปัจจัยที่มีผลต่อการค้นหาเวลาในการปรับปรุงค่าคำตอบ (Bao and Zeng, 2009) ซึ่งจะต้องทำการควบคุม คือ ขีดจำกัดในกรณีที่ไม่มีการพัฒนาของผึ้ง (Limit) เป็นตัวกำหนดรอบในการค้นหาแหล่งอาหารที่จะละทิ้ง

ทั้งนี้กำหนดค่าขีดจำกัดในกรณีที่ผึ้งไม่มีการพัฒนาให้เป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของจำนวนรอบสูงสุดในการค้นหาคำตอบ (MCN) ซึ่งหากในการค้นหาแหล่งอาหารนั้นมาถึงรอบที่จะต้องมีการตรวจสอบเพื่อค้นหาแหล่งอาหารที่ไม่มีการพัฒนาแล้วพบแหล่งอาหารดังกล่าวแหล่งอาหารแหล่งนั้นก็จะถูกละทิ้งส่งผลให้ผึ้งงานตัวที่เป็นเจ้าของแหล่งอาหารแหล่งนั้นกลายเป็นผึ้งสำรวจ (Scout Bees) ซึ่งผึ้งสำรวจนี้มีหน้าที่ในการค้นหาแหล่งอาหารแหล่งใหม่โดยใช้วิธีการสุ่มตามสมการที่ 2.18

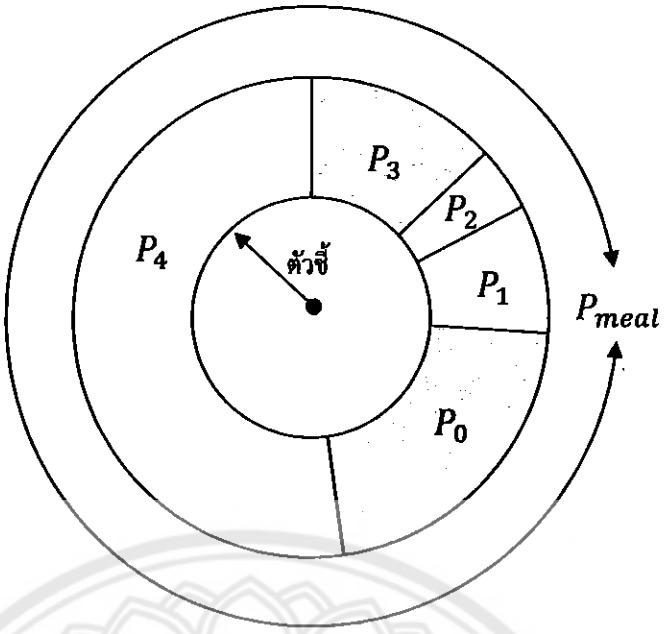
$$X_i = X_{min} - rand[0,1](X_{max} - X_{min}) \qquad (2.18)$$

จากนั้นจะนำแหล่งอาหารแหล่งใหม่นี้เข้ามาแทนที่แหล่งอาหารเดิมที่ถูกละทิ้ง

2.3.2.8 วิธีการเลือกแหล่งอาหารของผึ้งสังเกตการณ์

สำหรับวิธีการเลือกแหล่งอาหารของผึ้งสังเกตการณ์ในขั้นตอนของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีนั้นได้นำเอาแนวคิดของทฤษฎีจีเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการพิจารณาเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ ซึ่งได้นำวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) มาเป็นวิธีการในการคัดสรร ส่วนขั้นตอนการเลือกแหล่งอาหารของผึ้งสังเกตการณ์ในโครงงานนี้ได้นำเอาวิธีการอื่นๆ ของทฤษฎีจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากล (Stochastic Universal Sampling Selection) และจากการนำวิธีดังกล่าวมาใช้นั้นพบว่าคำตอบส่วนใหญ่ที่ถูกเลือกเป็นคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี ส่วนคำตอบที่มีความเหมาะสมที่แย่ก็มีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อยหรือเป็นไปได้ว่าไม่ถูกเลือกเลย นั่นแสดงให้เห็นถึงความลำเอียงในการคัดเลือกค่าคำตอบ เนื่องด้วยข้อสังเกตดังที่กล่าวมาจึงทำให้เลือกใช้วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากลเพื่อลดความลำเอียงในการคัดเลือก โดยมีรายละเอียดดังนี้

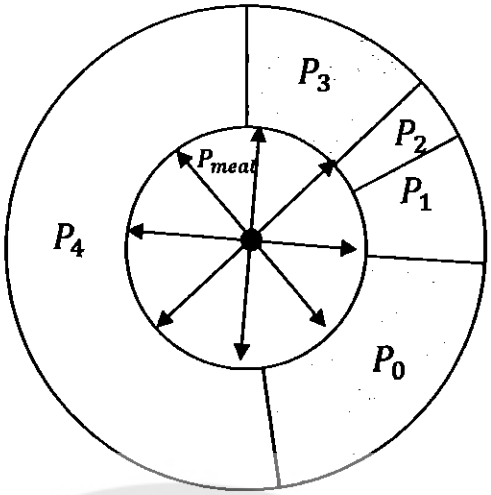
ก. วิธีการคัดสรรโดยใช้วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) วิธีการคัดสรรโดยใช้วงล้อเสี่ยงทายมีแนวคิดมาจากการคัดสรรพันธุกรรมที่เหมาะสมโดยเป็นไปตามทฤษฎีการอยู่รอดของ ชาร์ล ดาร์วิน (Goldberg, 1989) โดยนำมาใช้เพื่อคัดสรรประชากรในรุ่นถัดไปกับวิธีการจีเนติกอัลกอริทึมและนำมาปรับใช้ในวิธีการเลือกแหล่งอาหารของผึ้งสังเกตการณ์กับวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี (Karaboga and Akay, 2009) ในขั้นตอนการทำงานของวงล้อเสี่ยงทายกับวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีนั้นจะเริ่มต้นจากการหาค่าขนาดความกว้างบนวงล้อเสี่ยงทายซึ่งสามารถหาได้จากค่าความเป็นไปได้ของแหล่งอาหารที่มาจากการแบ่งสรรของผึ้งงาน ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นจะมีค่าแปรผันตรงกับความกว้างบนวงล้อเสี่ยงทาย โดยที่ผึ้งสังเกตการณ์จะปั่นวงล้อเสี่ยงทาย และการพิจารณาเลือกแหล่งอาหารนั้นพิจารณาจากตำแหน่งการตกของจุดมาร์คเกอร์ (Marker) นั่นคือค่าความเป็นไปได้ของแหล่งอาหารแหล่งที่ถูกเลือกคือช่องที่จุดมาร์คเกอร์ตกอยู่และค่าความเป็นไปได้ที่มีค่ามากมักจะมีโอกาสในการถูกเลือกมากกว่าค่าความเป็นไปได้ที่มีค่าน้อย



รูปที่ 2.13 วิธีการคัดสรรโดยใช้วงล้อเสี่ยงทาย

ที่มา : Sirikaew, 2002

ข. วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากล (Stochastic Universal Sampling Selection) หลักการคัดเลือกของวิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากลลักษณะเหมือนกับการคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทายเพียงแต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่เมื่อได้ทำการกำหนดจุดชี้ตำแหน่งโดยการสุ่มในครั้งแรกแล้ว จะดำเนินการเลือกสมาชิกของกลุ่มประชากรโดยที่มีตำแหน่งชี้อยู่เป็นตัวแรก หลังจากนั้นทำการเลื่อนตำแหน่งตัวชี้เดิมออกไปทีละขั้นซึ่งแต่ละขั้นมีค่าเท่ากับ 360 องศาต่อจำนวนสมาชิกของกลุ่มประชากร ให้ทำการเลือกสมาชิกของกลุ่มประชากรที่มีตัวชี้อยู่จนครบตามจำนวนสมาชิกของกลุ่มประชากรในหนึ่งรุ่น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโอกาสที่สมาชิกของกลุ่มประชากรตัวใดตัวหนึ่งจะถูกเลือกซ้ำหลายครั้งนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสมาชิกของกลุ่มประชากรตัวนั้นมีค่าความแข็งแรงสูงมาก ซึ่งส่งผลให้วิธีการคัดเลือกพันธุ์แบบเฟ้นสุ่มสากลนี้ช่วยลดปัญหาความเหลื่อมล้ำที่อาจเกิดขึ้นจากการคัดเลือกพันธุ์ได้ (พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2548)



รูปที่ 2.14 วิธีการเลือกสุ่มตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่มสากล

ที่มา : Sirikaew, 2002

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยที่นำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีไปใช้ ได้แก่ การเขียนรายงานเรื่อง An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimisation โดย Devis Karaboga และการนำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีไปประยุกต์ใช้กับการวิจัยเพื่อแก้ปัญหา Unconstrained Optimisation โดย Karaboga and Basturk เป็นต้น

ปัจจัยในการควบคุม (Control Parameters) ที่ใช้ในวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่

2.3.31. จำนวนรอบสูงสุดในการค้นหาคำตอบ (Maximum Cycle Number: MCN)

2.3.3.2. จำนวนแหล่งอาหาร (Solutions Number : SN)

2.3.3.3 ขีดจำกัดกรณีผึ้งไม่มีการพัฒนา (Limit) (Karaboga, 2008)

โดยรหัสเทียม (Pseudo Code) ของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสามารถดูได้จากรูปที่ 2.15

1590982x
ม.
Y669n
2554

1 : Initialise the population of solutions $X_i : i = 1, \ldots, SN$

2 : Evaluate the population

3 : cycle = 1

4 : repeat

5 : Produce new solutions V_i for the employed bes by using 2.15 and evaluate them

6 : Apply the greedy selection process for the employed bees

7 : Calculate the probability values P_i for the solutions $X_{i\,by}$ 2.17

8 : Produce the new solutions V_i for the onlookers from the solutions X_i selected depending on P_i and evaluate them

9 : Apply the greedy selection process for the onlookers

10 : Determine the abandoned solution for the scout, if exists, and replace it with a new randomly produced solution X_i by 2.18

11 : Memories the best solution achieved so far

12 : cycle = cycle + 1

13 : until cycle = Maximum Cycle Number (MCN)

รูปที่ 2.15 Pseudo Code ของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

ที่มา : Karaboga and Akay, 2009

ตารางที่ 2.1 แสดงการสรุปการกำหนดค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

		Parameter			
ลำดับ	Article	Problem	MCN	SN	Limit
1	Devis Karaboga (2005)	3 Numerical Benchmark Functions	2000	• Swarm size 20 • Number of onlookers 50% of the swarm • Number of employed bees 50% of the swarm	Number of onlooker bees *Dim
2	D.Karaboga and B.Basturk (2007)	5 Numerical Benchmark Functions	500,750 and 1000	• Colony size 20 • Number of onlookers 50% of the colony • Number of employed bees 50% of the colony	Number of onlooker bees *Dim
3	D.Karaboga and B.Basturk (2008)	5 Numerical Benchmark Functions	• 1000 for $f_1(x)$ and $f_2(x)$ • 5000 for $f_3(x)$, $f_4(x)$ and $f_5(x)$	• Colony size 10,50 and 100 • Number of onlookers 50% of the colony • Number of employed bees 50% of the colony	Number of onlooker bees *Dim
4	Li Bao and Jian-chao (2009)	ปรับปรุงวิธีการเลือก solution ของ Onlooker Bees โดยใช้ Sphere,Rosenbrock and two Penalized functions ทดสอบ	1000 and 2000	• Colony size 20 • Number of onlookers 50% of the colony • Number of employed bees 50% of the colony	N/A
5	D. Karaboga and B. Akay (2009)	เปรียบเทียบ ABC, Hs and BA โดยใช้ Unimodal (Sphere, Rosenbrock) and Multimodal (Griewank, Rastrigin, Ackley) Functions	2500	• Number of food Sources or Solutions 20	100

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แสดงการสรุปการกำหนดค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

			Parameter		
ลำดับ	Article	Problem	MCN	SN	Limit
6	Hesham Awadh A.Bahamish, Rosni Abdullah , Rosalina Abdul Salam (2009)	เปรียบเทียบการปรับปรุง Torsion Angles of the Protein	1000	• Number of onlookers 10 • Number of employed bees 10	N/A
7	Devis Karaboga and Bahriye Akay (2009)	เปรียบเทียบ ABC,GA,DE,PSO and ES โดยใช้ Benchmark Functions	• ABC เทียบ GA,DE and PSO set MCN 500,000 • ABC เทียบ ES set MCN 100,000	• ABC เทียบ GA,DE and PSO population size is 50 • ABC เทียบ ES PSO population size is 20	SN*D
8	Nurhan Karaboga (2009)	Digital infinite impulse Response (IIR) Filters	• 200,000	• Number of employed bees 20	20*D
9	Alok Singh (2009)	Leaf-Constrained Minimum Spanning Tree (LCMST)	N/A	Colony size 20 Number of onlookers 50% of the colony Number of employed bees 50% of the colony	2n (n=50 100 250 and 300)

ที่มา : ปริมพิกา แผนสุวรรณ์, 2553

2.4 วิธี Random Key Encoding Scheme

2.4.1 Random Key

เป็นขั้นตอนในการสลับและแลกเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งคิดค้นโดย Tsung-Lieh Lin, Shi-Jinn Horng, Tzong-Wann Kao, Yuan-Hsin Chen, Ray-Shine Run, Rong-Jian Chen, Jui-Lin Lai, I-Hong Kuo. โดยมีการผสมผสานระหว่าง Particle swarm optimization กับ Simulated annealing เพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนลำดับจากพื้นที่ต่อเนื่องไปยังพื้นที่ที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าเป็นวิธีการในการเปลี่ยนแปลงลำดับของงานซึ่งถูกนำไปใช้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง เพราะบางครั้งการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งก็เป็นปัญหาฟังก์ชั่นแบบไม่ต่อเนื่อง

โดยที่ RK นั้นเป็นเวกเตอร์ของจำนวนจริงซึ่งก็เปรียบเทียบได้กับลำดับของงาน พื้นที่ RK ที่แท้จริงนั้นจะสร้างมาจาก $n \times m$ มิติ โดยที่ n แทนจำนวนงาน และ m แทนจำนวน Operations

โดยขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : A Vector in RK Space สร้างมาจาก $n \times m$ โดยที่ n = จำนวนงาน n งาน และ m = Operations จะอยู่ในรูปของ Particle หรือ อนุภาค ซึ่งหมายถึงพื้นที่การค้นหาค่าคำตอบซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนเต็มแต่ละจำนวนเต็มนั้นจะเป็นค่าของดัชนีงาน โดยที่ Particle จะแสดงอยู่ในรูปของ $\{R_j$ โดยที่ R_j เป็นจำนวนจริง และ $1 \le n \le m\}$ ทั้งนี้ R_j = ลำดับของการทำงานลำดับที่ j ซึ่ง j = $1,\ldots, n \times m$

ขั้นตอนที่ 2 : An Integer Series เป็นการจัดลำดับค่าของดัชนีงานจากน้อยไปมาก ใน Particleโดยจะเรียงค่าดัชนีงาน ที่มีค่าน้อยคือลำดับงานที่ 1 เช่น

Particle	1.3	0.7	2.4	1.1	3.4	5.3

Particle	3	1	4	2	5	6

ค่า 0.7 มีค่าน้อยที่สุด จะให้ค่า 0.7 เป็น ลำดับงานที่ 1

ค่า 1.1 มีค่าน้อยรองมาจากค่า 0.7 จึงให้ค่า 1.1 เป็น ลำดับงานที่ 2

*** โดย ขั้นตอนที่ 2 นี้จะเป็นอนุกรมของจำนวนเต็ม $(\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_k)$

ขั้นตอนที่ 3 : A Permutation With Job Index คือ ลำดับของงาน (Operation Order Of Job) ที่ถูกจัดเรียงตามค่าดัชนีงาน โดยการนำค่าดัชนีงานที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณหาค่า $n \times m$ หรือ O_{nm} โดยที่ n = จำนวนงาน n งาน และ m = จำนวน m Operations โดยคำนวณจากสูตร $(\pi_k \bmod n) + 1$ ดังแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

mod = การหารเอาเศษ

$(3 \bmod 3) + 1 = 1$

$(1 \bmod 3) + 1 = 2$

$(4 \bmod 3) + 1 = 2$

$(2 \bmod 3) + 1 = 3$

$(5 \bmod 3) + 1 = 3$

$(6 \bmod 3) + 1 = 1$

จะได้ค่าดังนี้ ⟶

1	2	2	3	3	1

ขั้นตอนที่ 4 : An Operation Sequence นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาหา Operation ได้ค่าดังต่อไปนี้

O_{11}	O_{21}	O_{22}	O_{31}	O_{32}	O_{12}

วิธีการหาค่า Operation คือ

1	2	2	3	3	1

ค่าที่ได้จาก ขั้นตอนที่ 3 เป็นค่า n จากตัวอย่างข้างต้น เลข 1 หมายถึง งานที่ 1หรือ Job 1ซึ่งปรากฏเป็น Permutation แรกของ Job ที่ 1 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{11}

1	2	2	3	3	1

เลข 2 หมายถึง งานที่ 2หรือ Job 2 ซึ่งปรากฏเป็น Permutation แรกของ Job ที่ 2 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{21}

1	2	2	3	3	1

เลข 2 หมายถึง งานที่ 2หรือ Job 2 ซึ่งปรากฏเป็น Permutation ที่สองของ Job ที่ 2 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{22}

1	2	2	3	3	1

เลข 3 หมายถึง งานที่ 3หรือ Job 3 ซึ่งปรากฏเป็น Permutation แรกของ Job ที่ 3 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{31}

1	2	2	3	3	1

เลข 3 หมายถึง งานที่ 3หรือ Job 3 ซึ่งปรากฏเป็น Permutation ที่สองของ Job ที่ 3 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{32}

1	2	2	3	3	1

เลข 1 หมายถึง งานที่ 1หรือ Job 1ซึ่งปรากฏเป็น Permutation ที่สอง ของ Job ที่ 1 ดังนั้นจึงมีค่าเป็น O_{12}

ดังนั้นค่าที่ได้จึงมีค่า →

O_{11}	O_{21}	O_{22}	O_{31}	O_{32}	O_{12}

ตารางที่ 2.2 แสดง A 3 × 2 Job Shop Scheduling Problem

Job	Operations	Operations
(a) Operation Index		
Job 1	O_{11}	O_{12}
Job 2	O_{21}	O_{22}
Job 3	O_{31}	O_{32}
(b) Machine and time		
Operation	Machine	Time
O_{11}	1	2
O_{12}	2	2
O_{21}	2	3
O_{22}	1	1
O_{31}	2	1
O_{32}	1	1

ที่มา : บทความเรื่อง An Efficient Job-Shop Scheduling Algorithm based on Particle Swarm Optimisation

จากตัวอย่างจะเห็นคำว่า 3 x 2 Job Shop Scheduling Problem ก็คือ เป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ 3 x 2 มิติ เลข 3 แสดงถึง มีงานทั้งหมด 3 งาน เลข 2 แสดงถึง Operations

(a) Operation index จะแสดงให้เห็นถึงว่างานทั้ง 3 งานนั้นประกอบด้วยกี่ Operations

เช่น O_{11} หมายถึง ทำงานที่ 1 ใน Operations ที่ 1

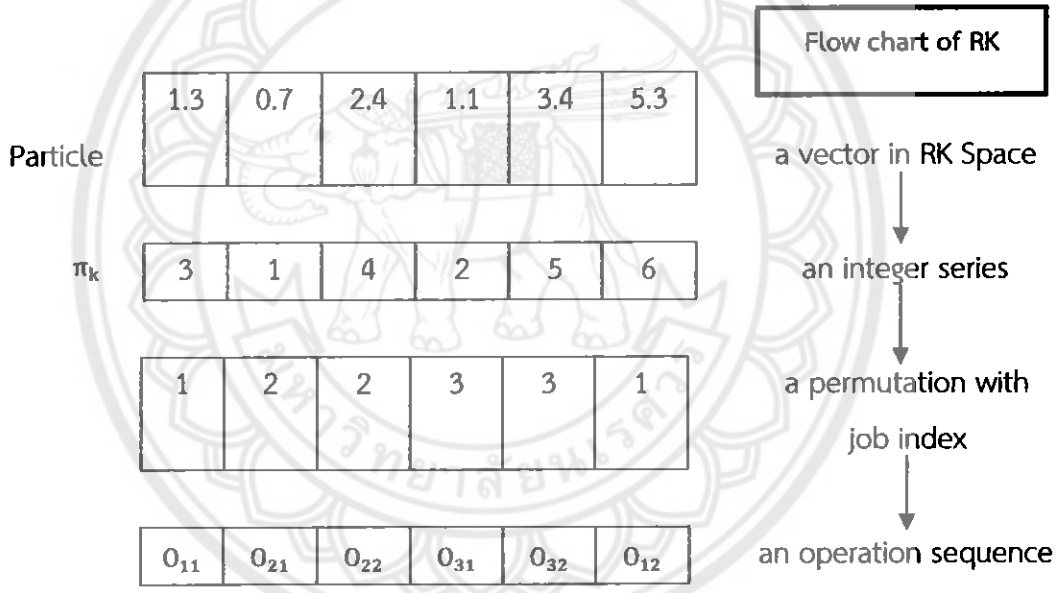
เช่น งานที่ 1 คือ งานผลิตน็อต ใน Operationsที่ 1 คือ การกลึงปลอกผิววัสดุ

O_{12} หมายถึง ทำงานที่ 1 ใน Operations ที่ 2

เช่น งานที่ 1 คือ งานผลิตน็อต ใน Operationsที่ 2 คือ การกลึงเกลียววัสดุ

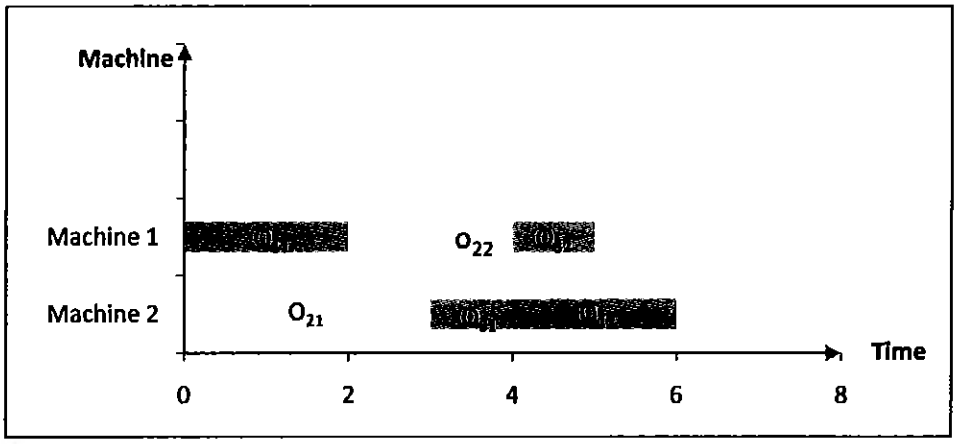
(b) Machine and time จะแสดงให้เห็นถึงงานที่ปฏิบัติมีทั้งหมดกี่ Operation แต่ละ Operations กระทำบนเครื่องจักรใด และใช้ระยะเวลาเท่าใด

เช่น O_{11} หมายถึง ทำงานที่ 1(ผลิตน็อต) ใน Operations ที่ 1 (การกลึงปลอกผิววัสดุ) บนเครื่องจักรที่ 1 (เช่น เครื่องกลึง) ใช้ระยะเวลา 2 นาที เป็นต้น



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนของวิธี Random Key Encoding Scheme

ที่มา : บทความเรื่อง An Efficient Job-Shop Scheduling Algorithm based on Particle Swarm Optimisation



รูปที่ 2.17 Gantt Chart of Operation Sequence $(O_{11}, O_{21}, O_{22}, O_{31}, O_{32}, O_{12})$

2.4.2 Multiple Type Individual Enhancement Scheme

เพื่อให้ความสามารถในการค้นหาคำตอบและการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าคำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิม จึงนำ Multiple Type Individual Enhancement Scheme มาหาค่าของพื้นที่ RK ที่แท้จริงโดยการสลับการทำงาน คือ การแลกเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จำนวน ซึ่งเทียบได้กับการทำงาน 2 งานจาก ทั้งหมด p_{th} และ q_{th} มิติ โดยที่ $(p \neq q)$ โดยที่ p คือ การกำจัดตำแหน่ง และ q คือ การแทรกเข้าไปในตำแหน่ง p

จะมีขั้นตอนการทำงาน 4 ประเภท ดังนี้ คือ

2.4.2.1 ขั้นตอนการดำเนินการแลกเปลี่ยน หรือ $Prob_{s}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของขั้นตอนการดำเนินการแลกเปลี่ยน

2.4.2.2 ขั้นตอนการดำเนินการแทรก หรือ $Prob_{i}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของขั้นตอนการดำเนินการแทรก

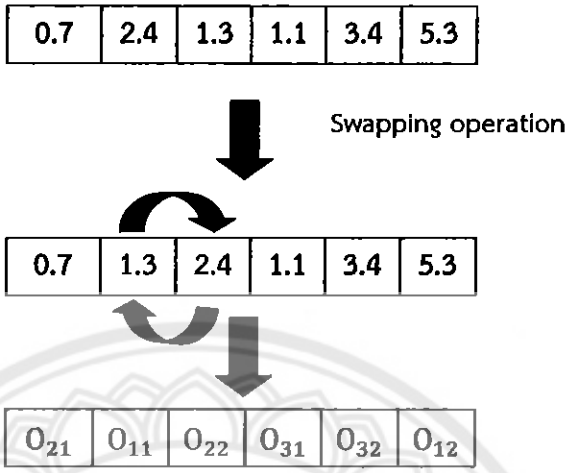
2.4.2.3 ขั้นตอนการดำเนินการกลับกันสลับที่ หรือ $Prob_{inv}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของขั้นตอนการดำเนินการกลับกันสลับที่

2.4.2.4 ขั้นตอนการดำเนินการเคลื่อนที่ในระยะยาวของการทำงานตามลำดับหรือ $Prob_{\text{long}}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของขั้นตอนการดำเนินการเคลื่อนที่ในระยะยาวของการทำงานตามลำดับ

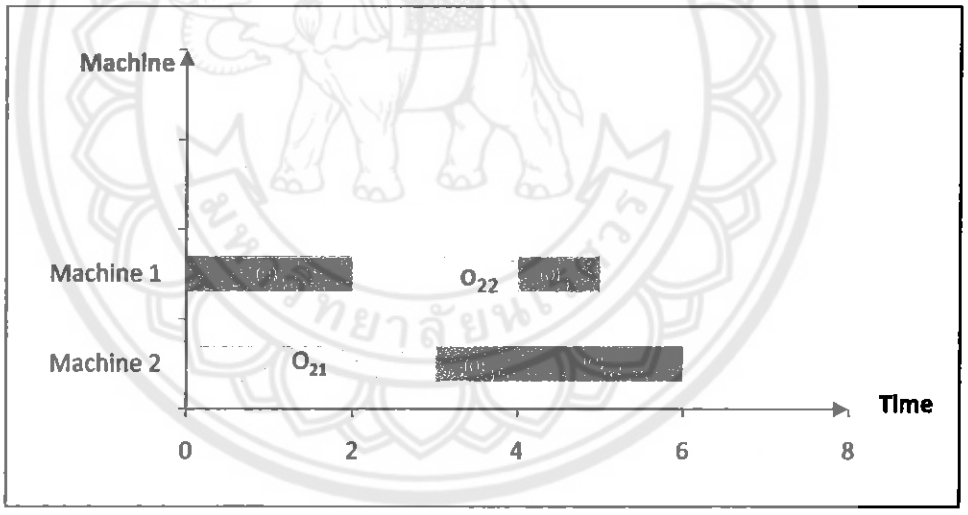
ขั้นตอนสุดท้าย จะมีค่า r_{th} มาเกี่ยวข้อง ซึ่ง ค่า r_{th} หมายถึง การแทรกค่าน้ำหนักของจำนวนที่ถูกจำกัดเข้าไปในพื้นที่ซึ่งเริ่มต้นที่ r_{th} มิติ โดยที่ $(r \neq p \neq q$ หรือ $r \notin [p, q])$

ตัวอย่างการแสดงขั้นตอนการทำงานทั้ง 4 ประเภทมีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 นำลำดับที่ 2 ไปเปลี่ยนกับลำดับที่ 3

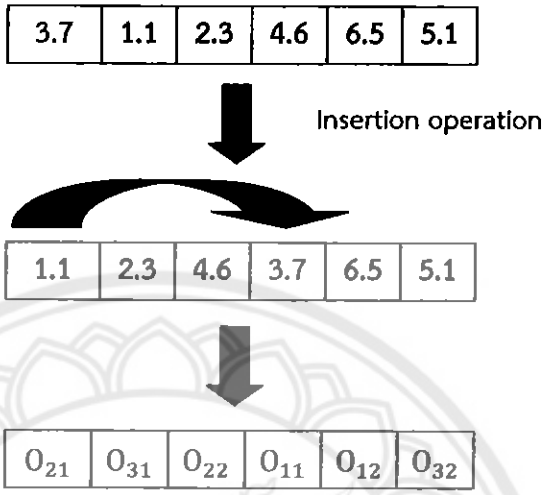


รูปที่ 2.18 ขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนลำดับของงาน โดยที่ $p = 2$

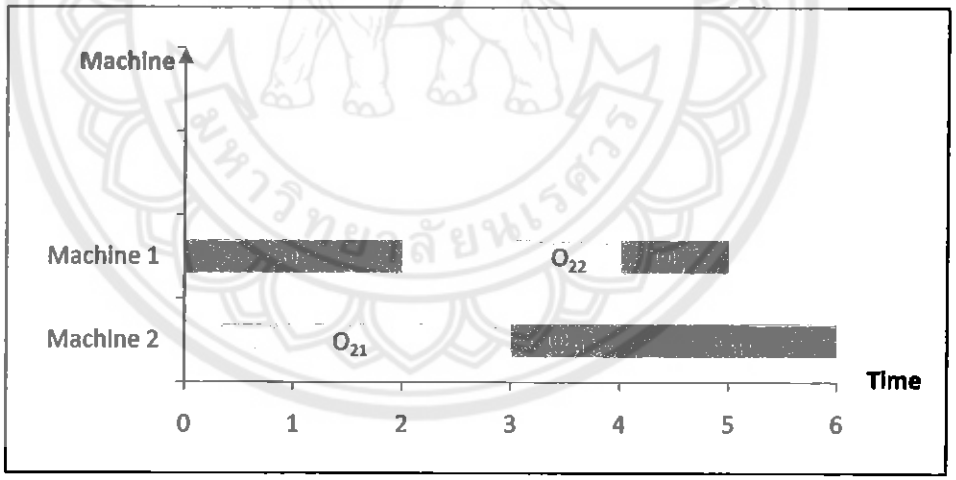


รูปที่ 2.19 Gantt Chart of Operation Sequence $(O_{21}, O_{11}, O_{22}, O_{31}, O_{32}, O_{12})$

ตัวอย่างที่ 2 ลำดับงานที่ 1 ไปแทรกไว้ที่ตำแหน่งที่ 4 และตำแหน่งที่ถูกแทรกก็จะเลื่อนขึ้นไปทางซ้ายอีก 1 ลำดับโดยที่ลำดับที่ 4 เดิมจะเลื่อนไปทางซ้ายมือหนึ่งขั้นกลายเป็นลำดับที่ 3 แทน ส่วนลำดับที่ 3 จะกลายเป็นลำดับที่ 2 แทน และลำดับที่ 2 จะกลายเป็นลำดับที่ 1 แทน

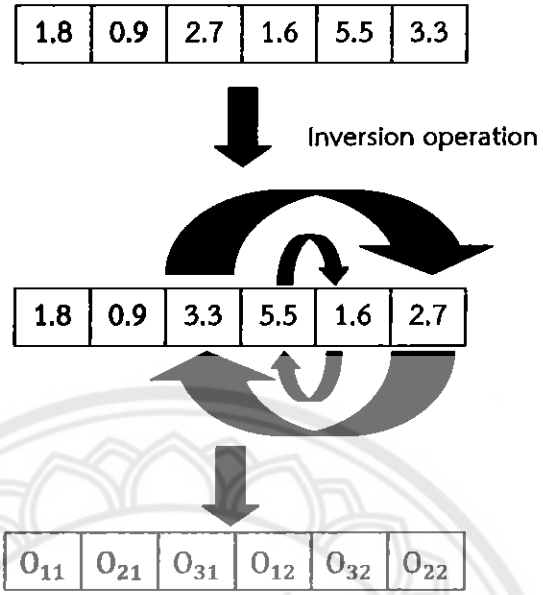


รูปที่ 2.20 ขั้นตอนของการแทรกลำดับของงาน โดยที่ $p = 1$ และ $q = 4$

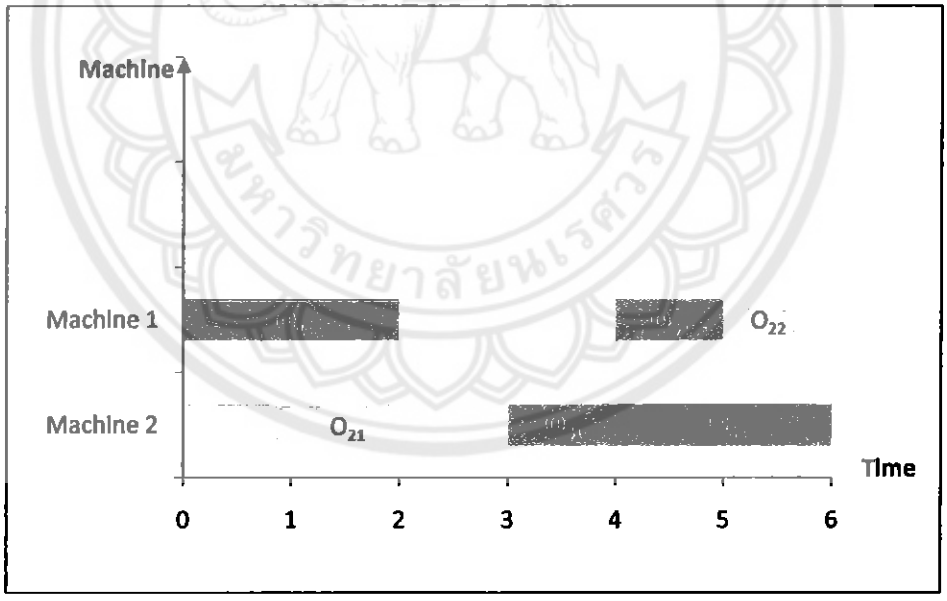


รูปที่ 2.21 Gantt Chart of Operation Sequence $(O_{21}, O_{31}, O_{22}, O_{11}, O_{12}, O_{32})$

ตัวอย่างที่ 3 นำลำดับงานที่ 3 สลับกับลำดับงานที่ 6 และนำลำดับงานที่ 4 สลับกับลำดับงานที่ 5

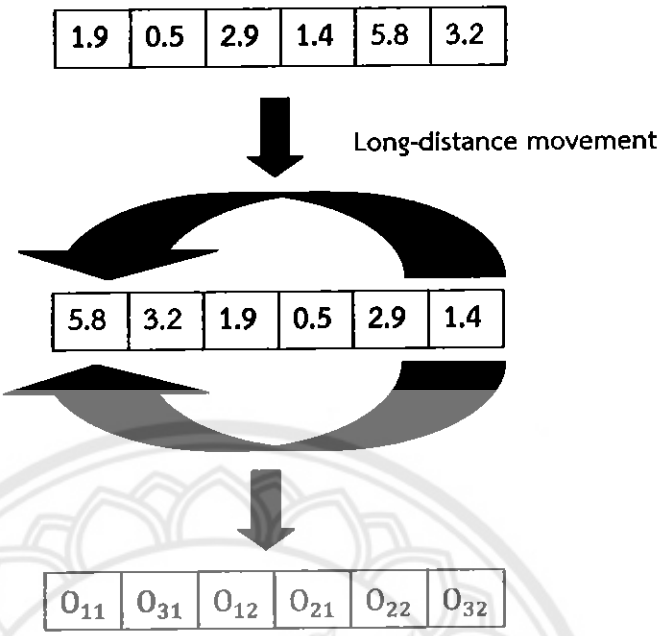


รูปที่ 2.22 ขั้นตอนของการกลับกัน/สลับที่ของงาน โดยที่ $p = 3$ และ $q = 6$

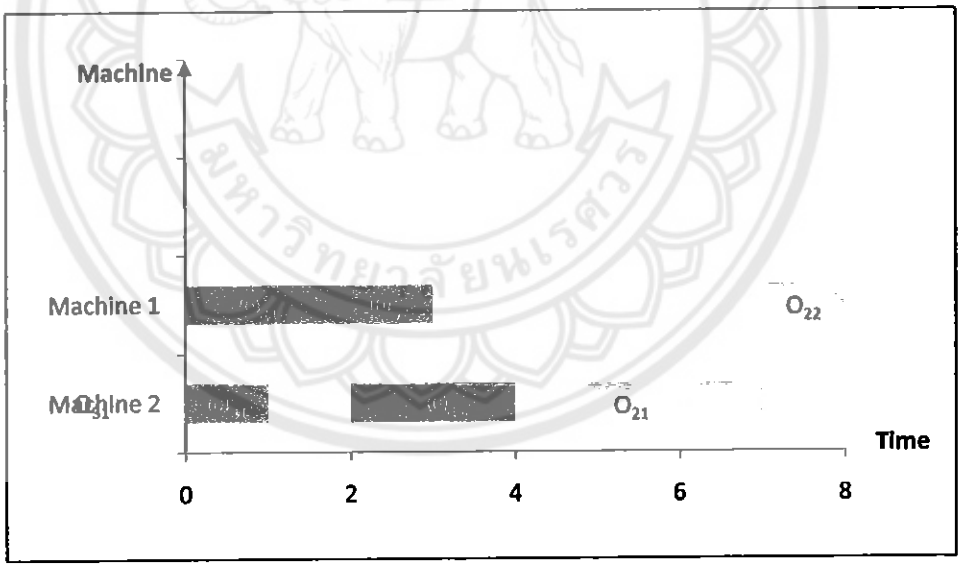


รูปที่ 2.23 Gantt Chart of Operation Sequence $(O_{11}, O_{21}, O_{31}, O_{12}, O_{32}, O_{22})$

ตัวอย่างที่ 4 นำลำดับงานที่ 5 และ 6 เคลื่อนที่มาที่ตำแหน่งที่ 1

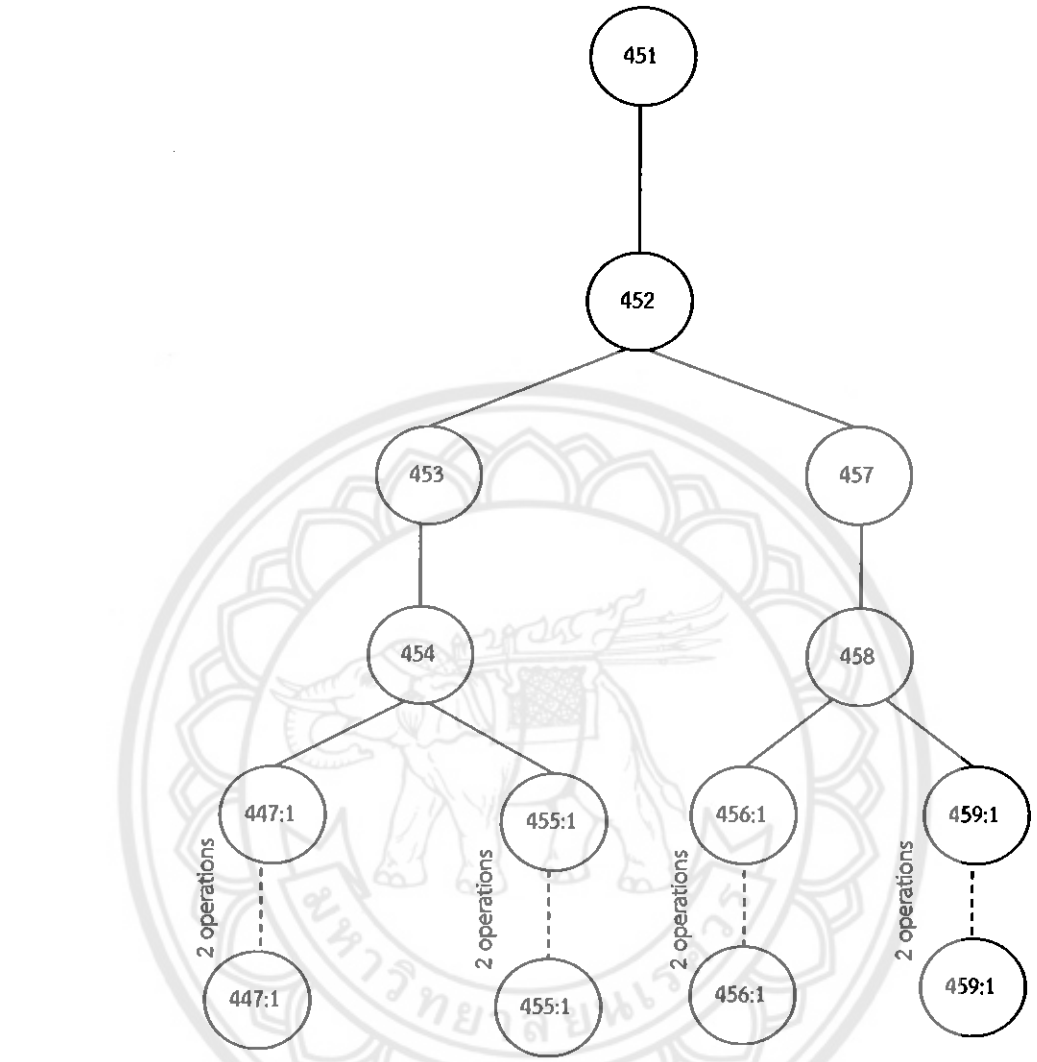


รูปที่ 2.24 ขั้นตอนของการเคลื่อนที่ในระยะยาวของการทำงานโดยที่ $p = 5$, $q = 6$ และ $r = 1$



รูปที่ 2.25 Gantt Chart of Operation Sequence $(O_{11}, O_{31}, O_{12}, O_{21}, O_{22}, O_{32})$

ตัวอย่างสายการผลิตขนาดเล็ก



Bee

447.1	447.1	455.1	455.1	454	453	456.1	456.1	459.1	459.1	458	457	452	451

πk

1	1	7	7	6	5	9	9	14	14	12	11	4	3

(πk mod n) + 1

5	5	2	2	1	3	4	4	3	3	1	6	5	1

an operation sequence

O51	O52	O21	O22	O11	O31	O41	O42	O32	O33	O12	O61	O53	O13

รูปที่ 2.26 สายการผลิตขนาดเล็ก

จากรูปข้างต้น แสดงสายงานของผลิตภัณฑ์ 451 ซึ่งสายการผลิตที่ 4 มีจำนวนชิ้นงาน 8 ชิ้นงาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 6 ส่วนประกอบ

นั่นคือ n = จำนวน job = 6 m = จำนวน operation = 8 ดังนั้น nxm = 6 x 8

(9mod6)+1 = 4	(1mod6)+1 = 5	(4mod6)+1 = 5
(10mod6)+1 = 5	(2mod6)+1 = 3	(3mod6)+1 = 1
(13mod6)+1 = 2	(7mod6)+1 = 2	(11mod6)+1 = 6
(14mod6)+1 = 3	(8mod6)+1 = 3	(5mod6)+1 = 3
(12mod6)+1 = 1	(6mod6)+1 = 1	

รูปที่ 2.27 วิธีการ mod

2.5 สถิติทดสอบที (t - test Static)

กระบวนการทางสถิติ t-test เป็นการแจกแจกแบบ Student's สำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 ค่า นอกจากนั้นยังแสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในแต่ละตัวแปรด้วย ซึ่งสถิติ t-test สามารถใช้ทดสอบกรณีต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว

การทดสอบแบบนี้ใช้ในกรณีที่ผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างมาเพียงกลุ่มเดียว แล้วต้องการทดสอบว่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มนี้จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาตรฐานอื่น ๆ หรือไม่ ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดเป็นเกณฑ์ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของประชากร (μ)

สูตร

$$t = \frac{\frac{\bar{x}-\mu}{s}}{\sqrt{N}}$$

เมื่อ $df = N-1$

2.5.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม

2.5.2.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ในกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร และกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่มีขนาดเล็ก กล่าวคือ $n_1 < 30$ และ $n_2 < 30$ ซึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบที จะต้องนำค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไปทดสอบ เพื่อสรุปว่าประชากรที่ศึกษานั้นมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

ก. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ มีดังนี้

ก1. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงปกติ

ก2. ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงปกติ

ก3. ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

ก4. ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร

ข. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 > \mu_2$ หรือ $H_1: \mu_1 < \mu_2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

ค. กำหนด α

ง. คำนวณค่าสถิติ t ได้จากสูตรใดสูตรหนึ่งใน 2 สูตร ดังนี้

ง1. เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ เรียกสูตรนี้ว่า t - test ชนิด Pooled Variance

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_p{}^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

โดยมี $df = N_1 + N_2 - 2$

เมื่อ $S_p{}^2$ แทน ความแปรปรวนร่วม (Pooled Variance)

$$S_p{}^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1{}^2 + (n_2 - 1)S_2{}^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

ดังนั้นสรุปสูตรได้ ดังนี้

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1{}^2 + (n_2 - 1)S_2{}^2}{n_1 + n_2 - 2}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

ง2. เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ เรียกสูตรนี้ว่า t - test ชนิด Separated Variance

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1{}^2}{n_1} + \frac{S_2{}^2}{n_2}}}$$

โดยมี

$$df = \frac{\left(\frac{S_1{}^2}{n_1{}^2} + \frac{S_2{}^2}{n_2{}^2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1{}^2}{n_1{}^2}\right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{S_2{}^2}{n_2{}^2}\right)^2}{(n_2 - 1)}}$$

จ. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤต

ฉ. สรุปผลการทดลอง

พิจารณาตัวเลขไม่คิดเครื่องหมาย

$t \geq t_{\text{วิกฤต}}$ จะปฏิเสธ H_0

$t < t_{\text{วิกฤต}}$ จะยอมรับ Ho

2.5.2.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน (Dependent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรในกรณีกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระจากกัน หรือกลุ่มตัวอย่างทั้งสองสัมพันธ์กัน (Correlated Samples) อาจเรียกว่า การทดสอบความแตกต่างโดยวิธีจับคู่ (Paired - difference Test) หรือการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกัน (Paired Samples t - test or Two Related Samples t - test)

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

ก. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบ มีดังนี้

ก1. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มและมีความสัมพันธ์กัน

ก2. ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงปกติ

ก3. ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

ข. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 > \mu_2$ หรือ $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

ค. กำหนด α

ง. คำนวณค่าสถิติ t ได้จากสูตร

ง1. เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ เรียกสูตรนี้ว่า t - test ชนิด Pooled Variance

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{(n\sum D^2 - (\sum D)^2)}{n-1}}}$$

โดยมี $df = N - 1$

เมื่อ D แทน ผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละคู่

n แทน จำนวนคู่ของข้อมูล

จ. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤต

ฉ. สรุปผลการทดลอง

พิจารณาตัวเลขไม่คิดเครื่องหมาย

$t \geq t_{\text{วิกฤต}}$ จะปฏิเสธ Ho

$t < t_{\text{วิกฤต}}$ จะยอมรับ Ho

บทที่ 3
การดำเนินโครงงาน

ในเนื้อหาของบทที่ 1 และบทที่ 2 นั้นได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีของปัญหาการจัดตารางการผลิตในบทที่ 3 นี้ก็จะกล่าวถึงสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษาและดำเนินโครงงาน การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดตารางการผลิตในโครงงานนี้ การประยุกต์ใช้เทคนิค Random Key ในการย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต รวมไปถึงการประยุกต์ใช้วิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและรูปแบบของโปรแกรมช่วยจัดตารางการผลิตแบบอัตโนมัติ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่อง

3.1.2 ภาษาที่ใช้ในการเขียนเพื่อพัฒนาโปรแกรม Tcl / Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout, 1994) เวอร์ชั่น 8.4

3.2 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

3.2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

3.2.3 ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตและข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน

3.2.4 ศึกษาวิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

3.2.5 ศึกษาวิธี Random Key ในการย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อการปัญหาการจัดตารางการผลิต

3.2.6 ศึกษาโค้ดโปรแกรมการใช้วิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและประยุกต์ใช้โปรแกรม Tcl / Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout, 1994) เวอร์ชั่น 8.4 เพื่อนำวิธีการ ABC มาใช้ในการจัดตารางการผลิต

3.2.7 ออกแบบแนวคิดโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

3.2.8 นำวิธีการ Random Key มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการขั้นตอนย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

3.2.9 ทดสอบโปรแกรม

3.2.10 ออกแบบและดำเนินการทดลอง

3.2.11 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.2.12 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

3.2.1.1 **เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมที่นำกระบวนการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต**

3.2.1.2 **เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงพัฒนาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีในการย้ายตำแหน่งผึ้งจากเดิมซึ่งใช้วิธี** Swap Operator **และ** Adjustment Operator **กับวิธี** Random Key **ที่ผู้จัดทำโครงงานได้พัฒนาขึ้นมา**

3.2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

ผู้ดำเนินโครงงานได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตามเนื้อหาที่ได้กล่าว**ไว้ในบทที่** 2

3.2.3 **ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตและข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน**

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางการผลิตซึ่งปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้มีความแตกต่างกันถึง 4 **แบบ ซึ่งขั้นตอนการผลิตต้องเป็นไปตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ทำให้**การจัดตารางการผลิตนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นและข้อมูลของโรงงาน**ที่ใช้ สำหรับ**การจัดทำโครงงานนั้นมีปัญหาแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (Small) ขนาดกลาง (Medium) ขนาดใหญ่ (Large) และขนาดใหญ่พิเศษ (Extra Large) (Pongcharoen, 2001) ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1

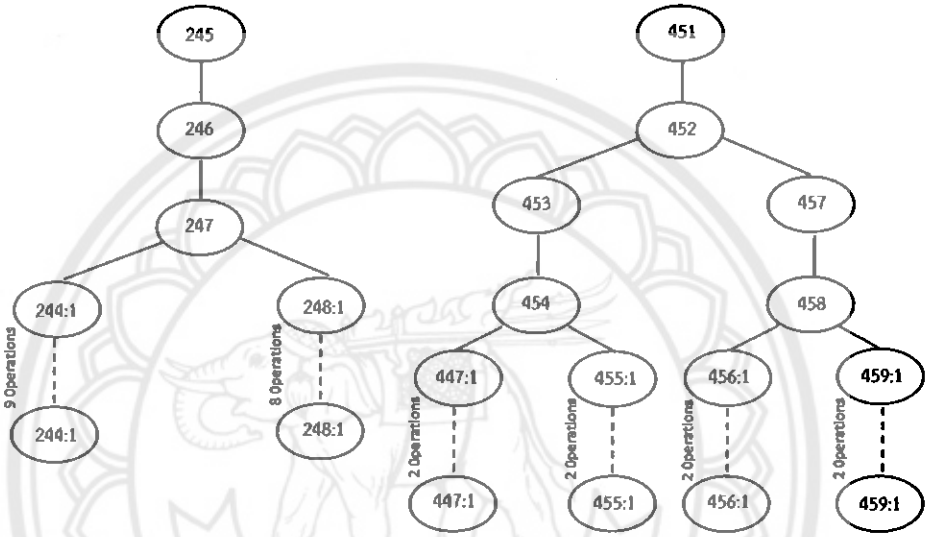
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของปัญหาทั้ง 4 ขนาด ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต

รายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต						
ขนาดของปัญหา	หมายเลขผลิตภัณฑ์	จำนวนผลิตภัณฑ์ (P)	จำนวนชิ้นส่วน (C)	จำนวนชิ้นงาน/จำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (O)	จำนวนเครื่องจักร	**ระดับของโครงสร้าง**
เล็ก	245 & 451	2	6	25/9	8	4
กลาง	229 & 451	2	8	57/10	7	4
ใหญ่	4 & 228	2	12	118/17	17	4
ใหญ่พิเศษ	227	1	46	229/39	25	6

ที่มา : Pongcharoen, et al., 2002

3.2.3.1 ปัญหาขนาดเล็ก (Small Size Problem)

เป็นรูปแบบแรกของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 245 และ 451 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วน 6 ชิ้น ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ระดับ ดังรูป 2.4 และมีจำนวนชิ้นงานจำนวน 25 ชิ้นต่อ จำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 9 ส่วนประกอบ และมีเครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 8 เครื่องดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของปัญหาขนาดเล็ก

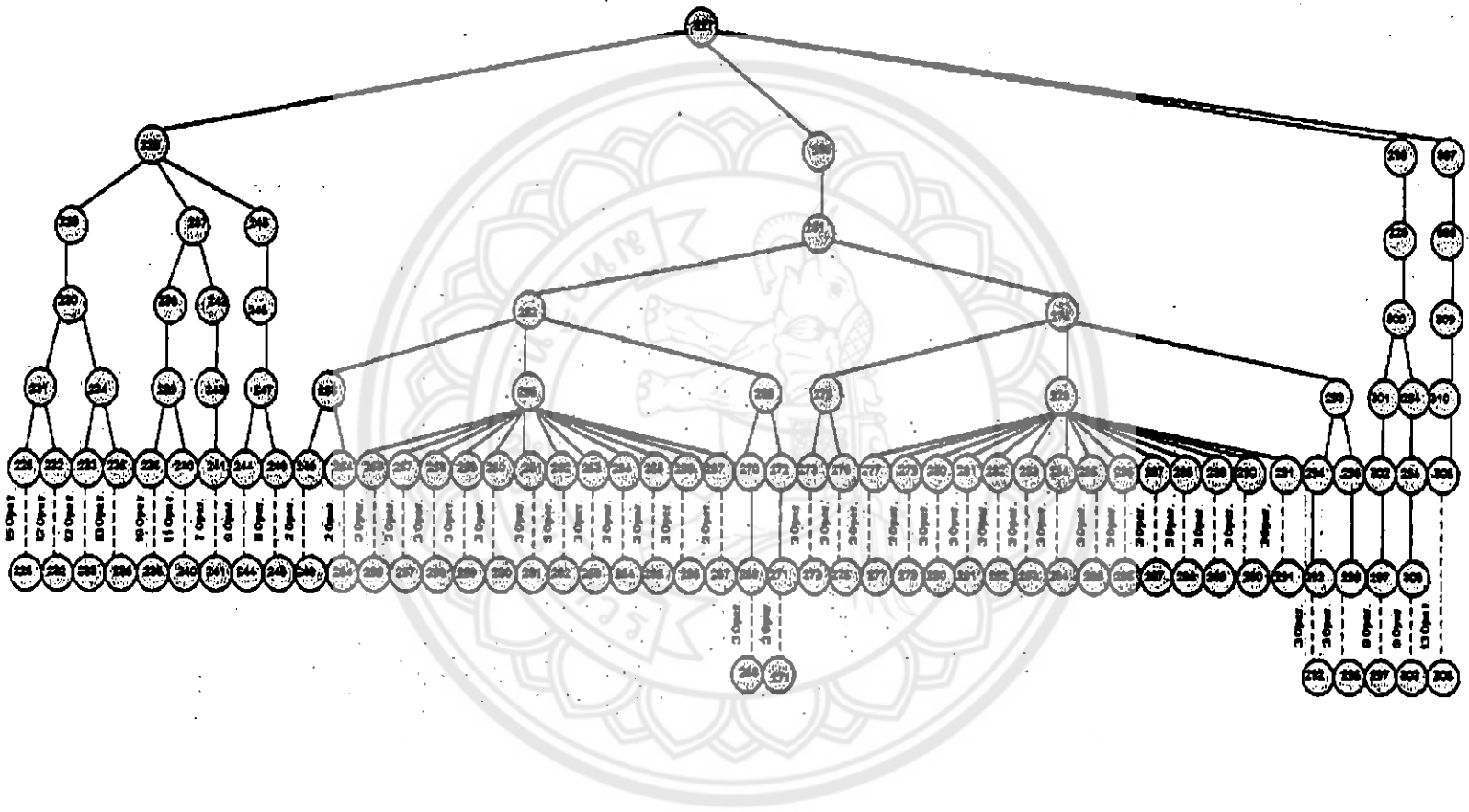
ที่มา: Pongcharoen, 2001

3.2.3.2 ปัญหาขนาดกลาง (Medium Size Problem)

เป็นรูปแบบที่สองของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 299 และ 451 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิตจำนวนชิ้นส่วน 8 ชิ้น ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ระดับ ดังรูป 2.5 และมีจำนวนชิ้นงานจำนวน 57 ชิ้นต่อ จำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 10 ส่วนประกอบ และมีเครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 7 เครื่อง ดังรูปที่ 3.2

3.2.3.4 ปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ (Extra - Large Size Problem)

เป็นรูปแบบที่สี่ของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 227 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วน 46 ชิ้น ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิตภัณฑ์จำนวน 6 ระดับ ดังรูป 2.7 และมีจำนวนชิ้นงาน จำนวน 229 ชิ้นต่อจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 39 ส่วนประกอบ และมีเครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 25 เครื่อง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ

ที่มา : Pongcharoen, 2001

3.2.4 ศึกษาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

ผู้จัดทำโครงงานทำความเข้าใจขั้นตอนการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ ปริมพิกา แผนสุวรรณ, 2553

3.2.5 ศึกษาวิธี Random Key ในการย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

ผู้จัดทำโครงงานศึกษาขั้นตอนของวิธี Random Key จากบทความเรื่อง An efficient job-shop scheduling algorithm based on particle swarm optimization ของ Tsung-Lieh Lin, Shi-Jinn Horng, Tzong-Wann Kao, Yuan-Hsin Chen, Ray-Shine Run, Rong-Jian Chen, Jui-Lin Lai, I-Hong Kuo ซึ่งได้กล่าวถึงเนื้อหาของบทความดังกล่าวไว้ในบทที่ 2

3.2.6 ศึกษาโค้ดโปรแกรมการใช้วิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและประยุกต์ใช้โปรแกรม Tcl and Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout, 1994) เวอร์ชั่น 8.4

ผู้จัดทำโครงงานทำการศึกษาโค้ดโปรแกรมการใช้วิธีอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและประยุกต์ใช้โปรแกรม Tcl / Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout, 1994) เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งได้รับการเขียนและพัฒนาโปรแกรมโดย ปริมพิกา แผนสุวรรณ, 2553 โดยที่ผู้จัดทำโครงงานจะศึกษาโค้ดโปรแกรมในแต่ละขั้นตอนเพื่อทำความเข้าใจถึงการกำหนดข้อมูลนำเข้า ตัวแปรต่างๆที่ใช้และคำสั่งที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาโปรแกรมและเขียนโค้ดคำสั่งในขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งด้วยวิธี Random Key ในลำดับต่อไป

3.2.7 วิเคราะห์รายละเอียดของแฟ้มข้อมูลนำเข้า

แฟ้มข้อมูลนำเข้า (Input File) ถูกจัดเก็บในรูปแบบของแท็กซ์ไฟล์ ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลนำเข้ามีทั้งหมด 18 รายการ (Pongcharoen, 2001) ดังนี้

3.2.7.1 เวลาเริ่มงาน

3.2.7.2 ช่วงเวลาการพิจารณา

3.2.7.3 รหัสชิ้นส่วน

3.2.7.4 หมายเลขชิ้นส่วน

3.2.7.5 รายละเอียดชิ้นส่วน

3.2.7.6 ตระกูลของชิ้นส่วน

3.2.7.7 ชิ้นส่วนสุดท้าย

3.2.7.8 จำนวนงานบนเส้นทางการทำงานของชิ้นส่วน

3.2.7.9 หมายเลขเครื่องจักร

3.2.7.10 เวลาเริ่มติดตั้ง

3.2.7.11 ระยะเวลาติดตั้ง

3.2.7.12 เวลาเริ่มติดตั้งเครื่องจักร

3.2.7.13 ช่วงเวลาที่เครื่องจักรทำงาน

3.2.7.14 จำนวนของการเปลี่ยนเครื่อง

3.2.7.15 เวลาเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนเครื่อง

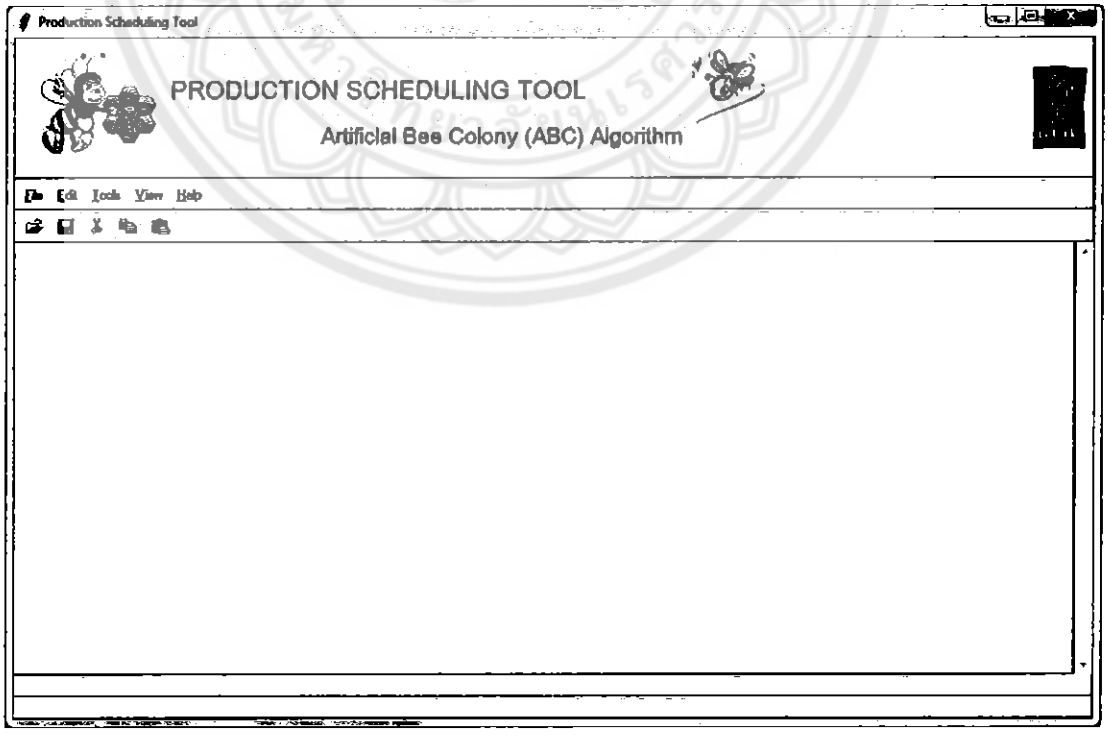
3.2.7.16 ระยะเวลาเปลี่ยนเครื่อง

3.2.7.17 เวลาเสร็จงานของชิ้นส่วน

3.2.7.18 เวลาเสร็จงานที่กำหนดไว้ก่อน

3.2.8 ออกแบบแนวคิดโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

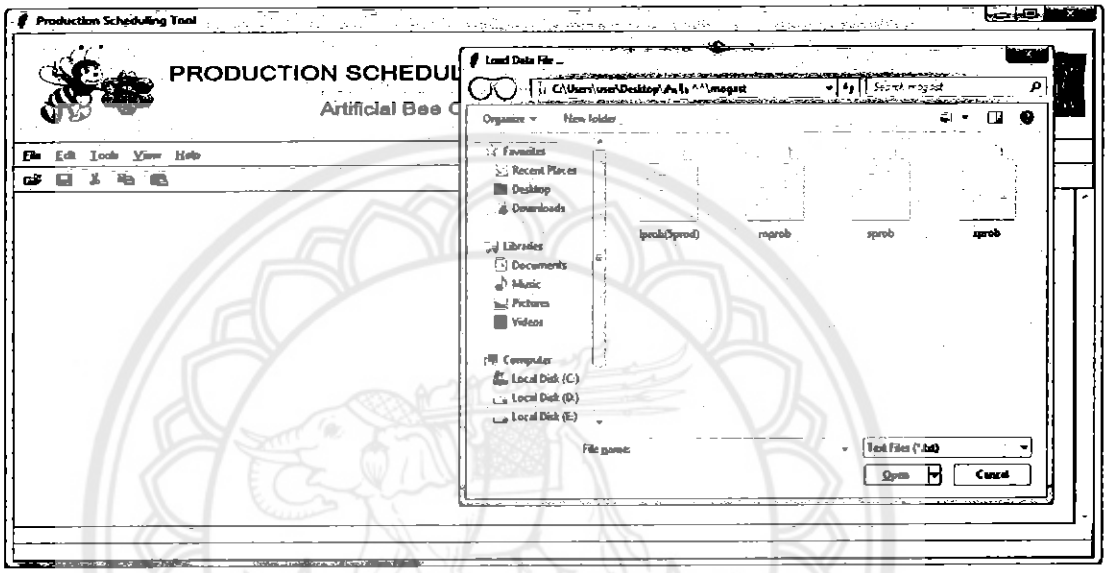
3.2.8.1. หน้าจอการแสดงผลของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยผู้จัดทำโครงงานได้ทำการออกแบบและปรับเปลี่ยนหน้าจอโปรแกรมให้มีลักษณะดังรูปที่ 3.5



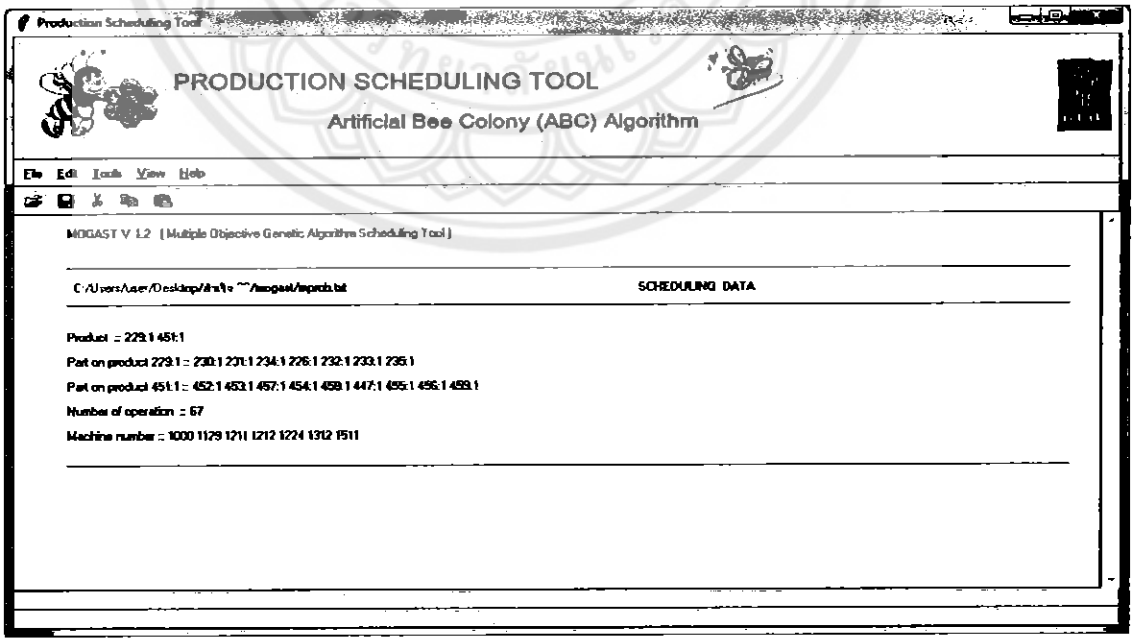
รูปที่ 3.5 แสดงหน้าจอของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต

3.2.8.2 การรับข้อมูลนำเข้า (Input Data)

ข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางการผลิต มีขนาดของปัญหาที่แตกต่างกัน 4 ขนาด ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก (Small Size Problem) ปัญหาขนาดกลาง (Medium Size Problem) ปัญหาขนาดใหญ่ (Large Size Problem) และปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ (Extra Large Problem) (Pongcharoen, 2001) ตัวอย่างหน้าจอแสดงการนำเข้าแฟ้มข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.7



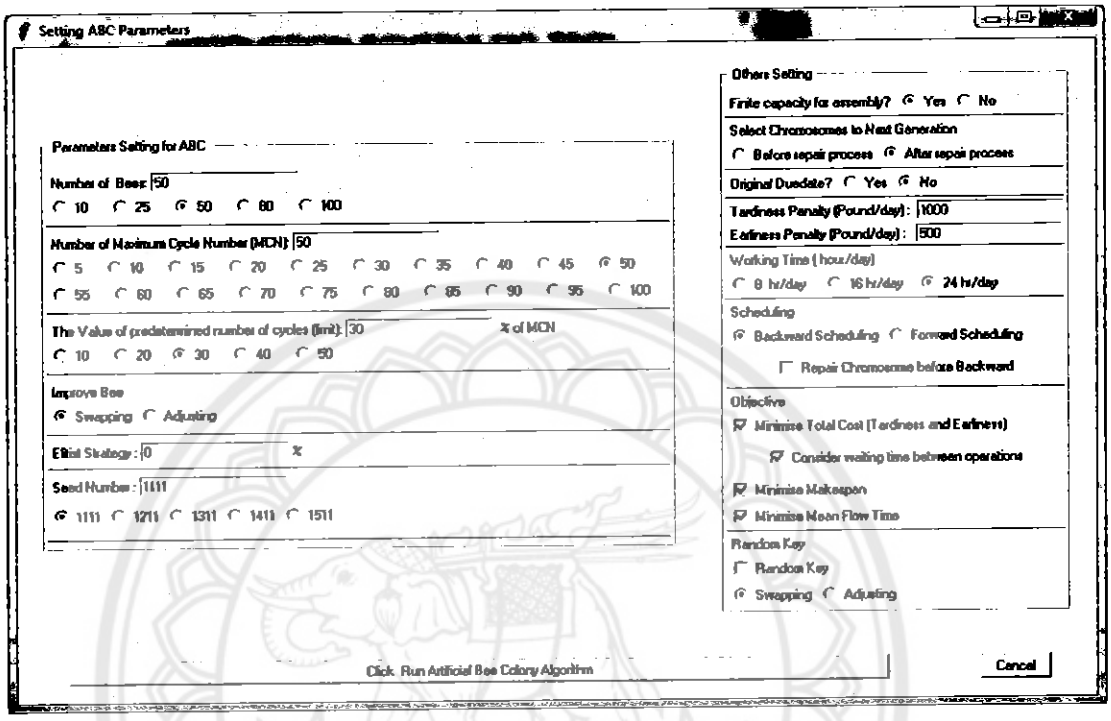
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการนำเข้าแฟ้มข้อมูลนำเข้า



รูปที่ 3.7 หน้าจอโปรแกรมเมื่อมีข้อมูลนำเข้า

3.2.8.3 การกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ให้กับโปรแกรม

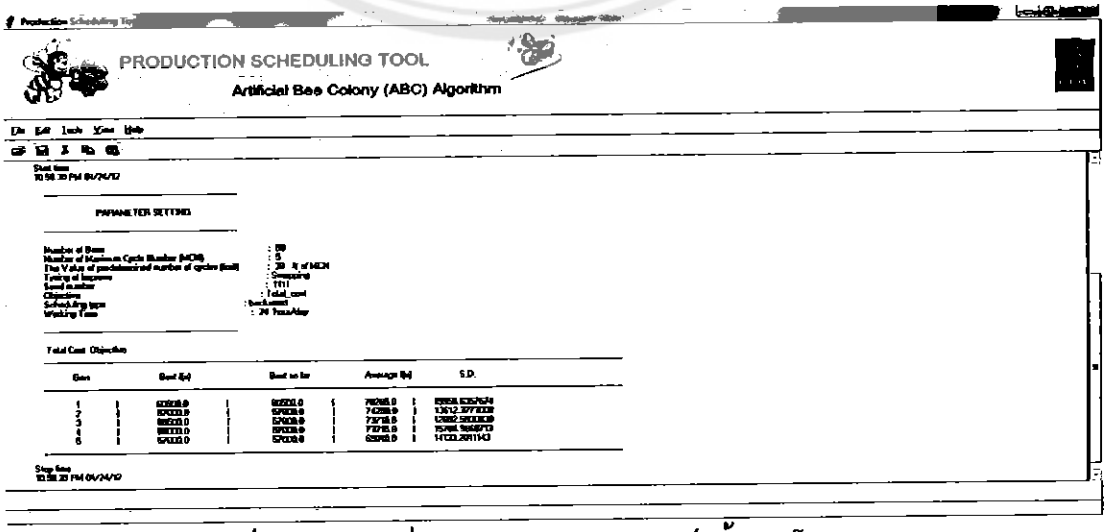
ผู้ใช้งานทำการเลือกและกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ โดยคลิกที่เมนู Tool จากนั้นจะพบการแสดงแถบเครื่องมือของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หน้าจอการกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ ให้โปรแกรมการจัดตารางการผลิต

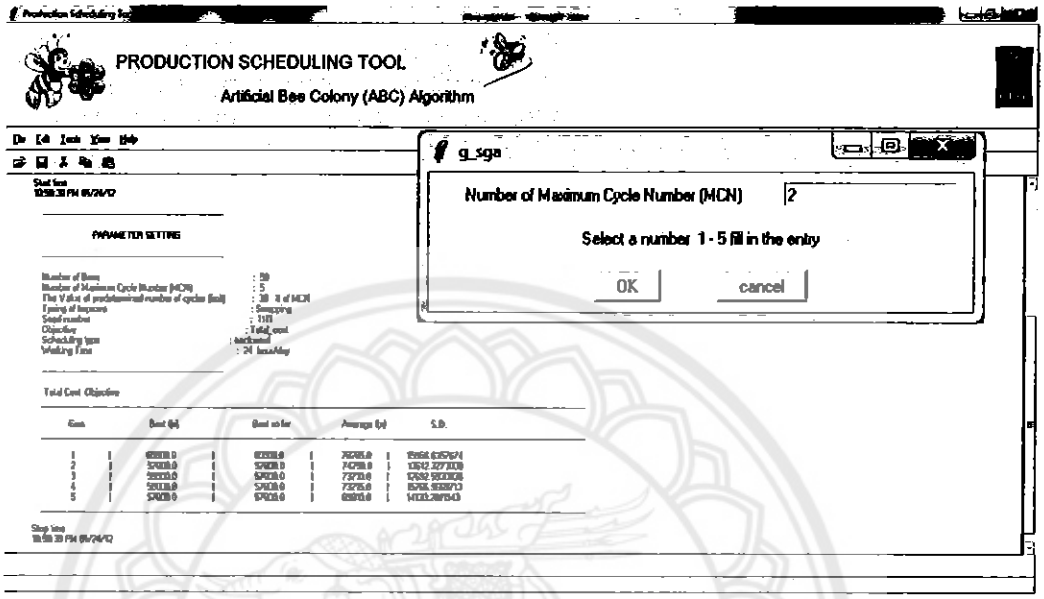
3.2.8.4 ข้อมูลที่แสดงหลังจากการทำงานเสร็จสิ้นของโปรแกรม (Output Data)

ผู้ใช้งานทำการเลือกและกำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ โดยคลิกที่เมนู Tool จากนั้นจะพบการแสดงแถบเครื่องมือของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี ดังรูปที่ 3.9

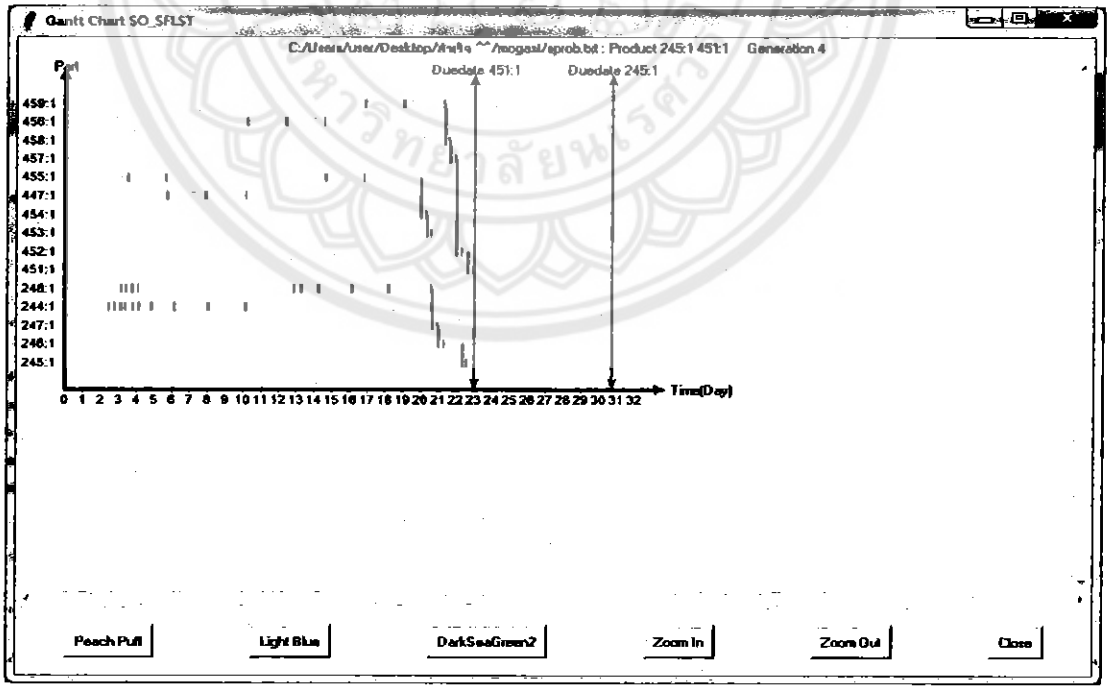


รูปที่ 3.9 หน้าจอที่มีข้อมูลหลังการทำงานเสร็จสิ้นของโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลเสร็จเรียบร้อย ผู้ใช้งานสามารถที่จะดูตารางการผลิตที่ได้ โดยทำการคลิกที่เมนู View จากนั้นเลือก Gantt Chart ทำการเลือกจำนวนรอบสูงสุด (M) ในการค้นหาคำตอบที่ต้องการจะดูตารางการผลิต ซึ่งภาพของตารางการผลิตที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 หน้าจอการเลือกจำนวนรอบสูงสุดของการค้นหาคำตอบ



รูปที่ 3.11 ตารางการผลิต

3.2.9 นำวิธีการ Random Key มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการขั้นตอนย้ายตำแหน่งผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

หลังจากศึกษาโค้ดโปรแกรมเดิมของปริมพิกา แผนสุวรรณ, 2553 ผู้จัดทำโครงงานจะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนของการเขียนโค้ดโปรแกรมโดยนำวิธีการ Random Key มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมในขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งเพิ่มเติมเป็นอีกหนึ่งทางเลือกขึ้นมานอกเหนือจากวิธี Swap Operator และ Adjustment Operator ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ดัง รูปที่ 3.12

3.2.10 ทดสอบโปรแกรม

หลังจากการเขียนโค้ดโปรแกรมโดยนำวิธีการ Random Key มาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการย้ายตำแหน่งผึ้งเสร็จเรียบร้อย ผู้จัดทำโครงงานจะทำการทดสอบโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้พัฒนาขึ้นมาว่าสามารถใช้ได้จริงและแสดงผลได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ โดยทำการทดสอบตามกระบวนตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของระบบงาน (Verification and Validation)

3.2.11 ออกแบบและดำเนินการทดลอง

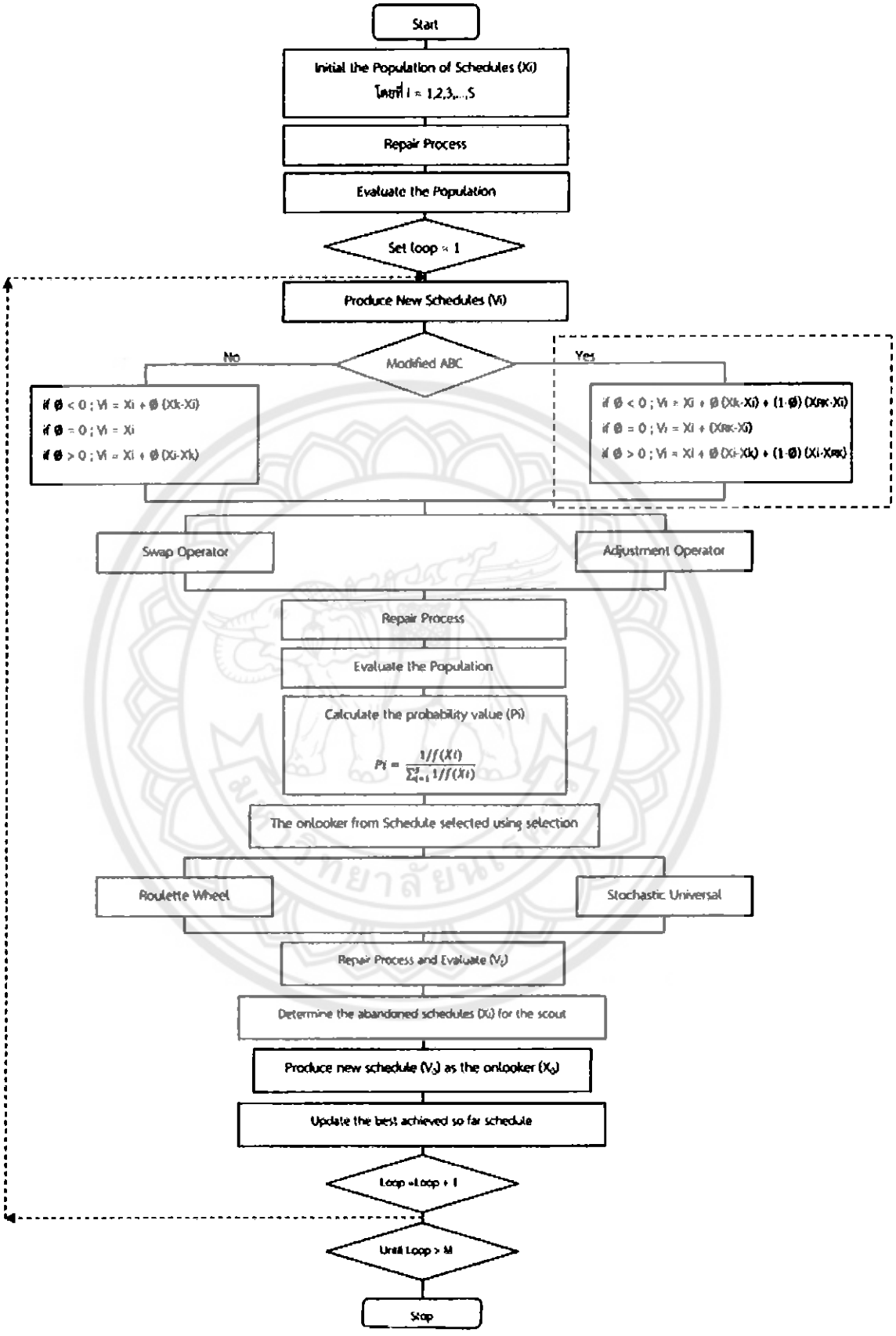
ผู้จัดทำโครงงานจะออกแบบการทดลองโดยอ้างอิงจากหลักในการออกแบบการทดลองดังที่ได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 2

3.2.12 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผู้จัดทำโครงงานนำผลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้จากการประมวลผลการสร้างตารางการผลิตแต่ละวิธี (Swap Operator, Adjustment Operator และ Random Key) ว่าค่าคำตอบที่ได้จากวิธี Random Key ก่อให้เกิดค่าปรับจากตารางการผลิตที่แตกต่างจากสองวิธีเดิมอย่างไร จากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จะนำไปสู่การสรุปผลการทดลองและการดำเนินโครงงาน

3.2.13 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ผู้จัดทำโครงงานเรียบเรียงข้อมูลและผลที่ได้จากการดำเนินโครงงานให้ถูกต้องตามรูปแบบจากคู่มือการเขียนปริญญานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 3.12 กระบวนการทำงานของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพอย่างแท้จริงของแต่ละวิธีการนั้นจากงานวิจัยของปริมพิกา แผนสุวรรณ์, 2553 ได้ออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 เป็นการหาค่าปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screening Experiment) ต่อการทำงานของวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยสิ่งที่ได้จากงานวิจัยของปริมพิกา แผนสุวรรณ์, 2553 คือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปค่าพารามิเตอร์ของ ABC ทั้งเทคนิค SO และ AO

ปัญหา	เทคนิค	FG	Limit
เล็ก	SO	25*100,50*50,100*25	10%,30%,50%
	AO	25*100,50*50,100*25	10%,30%,50%
กลาง	SO	25*100,50*50,100*25	10%,30%,50%
	AO	25*100,50*50,100*25	10%,30%,50%
ใหญ่	SO	50*50	30%
	AO	50*50,100*25	10%,50%
ใหญ่พิเศษ	SO	50*50	30%,50%
	AO	50*50,100*25	10%,30%,50%

ที่มา : ปริมพิกา แผนสุวรรณ์, 2553

จากตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปค่าพารามิเตอร์ของ ABC ทั้งเทคนิค SO และ AO โครงงานเล่มนี้จึงนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาดังนี้ คือ

ตารางที่ 4.2 แสดงการสรุปค่าพารามิเตอร์ของ ABC ทั้งเทคนิค SO, AO และ RK

ปัญหา	เทคนิค	FG	Limit
เล็ก	SO	50*50	30%
	RK	50*50	30%
	AO	50*50	50%
	RK	50*50	50%
กลาง	SO	50*50	30%
	RK	50*50	30%
	AO	50*50	50%
	RK	50*50	50%
ใหญ่	SO	50*50	30%
	RK	50*50	30%
	AO	50*50	50%
	RK	50*50	50%
ใหญ่พิเศษ	SO	50*50	30%
	RK	50*50	30%
	AO	50*50	50%
	RK	50*50	50%

4.2 การทดลองที่ 1 การพิจารณาเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุงพัฒนาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี

ในขั้นตอนนี้จะนำค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 4.2 มาทำการทดลองที่ 2 ในส่วนของการพิจารณาเปรียบเทียบขั้นตอนการปรับปรุงพัฒนาวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี โดยวิธีการ Swap Operator, Adjustment Operator และ Random Key เพื่อทำการทดสอบการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยทำการทดลองซ้ำ 30 ครั้ง ต่อวิธีการ โดยทำการเปลี่ยนเลขสุ่มให้มีความแตกต่างกัน 1111, 1211, 1311, 1411, 1511, 1611, 2122, 2222, 2322, 2422, 2522, 2622, 3133, 3233, 3333, 3433, 3533, 3633, 4144, 4244, 4344, 4444, 4544, 4644, 5155, 5255, 5355, 5455, 5555, 5655

4.3 ผลการทดลองที่ 1

4.3.1 นำผลที่ได้จากการประมวลผลมาสร้างตารางเปรียบเทียบค่าคำตอบด้วยการใช้วิธีการ Swap Operator วิธีการ Adjustment Operator และวิธีการ Random Key ของปัญหาการจัดตารางการผลิตในปัญหาขนาดต่างๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าปรับที่ได้จากการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ และใหญ่พิเศษ

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้	ขนาดของปัญหา	วิธีการ	ค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BFS)	Mean	SD	เวลาเฉลี่ย (นาที)	Generation ที่พบ BFS	ค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WFS)
50*50 limit 30%	เล็ก	SO	15,000	15,000	0	0.415	1	_
		RK	15,000	15,000	0	0.4547	1	_
50*50 limit 50%		AO	15,000	15,050	153	0.409	7	15,500
		RK	15,000	15,033.30	127	0.416	5	15,500
50*50 limit 30%	กลาง	SO	51,000	54,150	1,571.02	0.918	35	57,000
		RK	52,000	54,433.33	1,529.78	0.969	29	57,500
50*50 limit 50%		SO	51,000.00	54,150	1,571.02	0.918	35	57,000
		RK	52,000.00	54,433.33	1,529.78	0.969	29	57,500
50*50 limit 30%	ใหญ่	SO	221,500	254,133.30	15,048.16	2.6333	48	278,500
		RK	219,500	254,816.67	15,105.65	2.6333	42	275,000
50*50 limit 50%		AO	228,500	262,785.71	14,979.83	2.733	31	283,000
		RK	227,500	265,224.14	12,186.49	2.759	42	280,500

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้	ขนาดของปัญหา	วิธีการ	ค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BFS)	Mean	SD	เวลาเฉลี่ย (นาที)	Generation ที่พบ BFS	ค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WFS)
50*50 limit 30%	ใหญ่พิเศษ	SO	7,981,500	8,879,433	541,954	11.7493	50	10,071,000
		RK	7,516,500	8,777,883	546,175	9.5303	48	9,634,000
50*50 limit 50%		AO	8,286,000	9,827,766	576,312	11.344	50	11,279,000
		RK	9,057,500	9,796,183	468,090	10.281	48	10,714,000

4.3.2 คำอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการทดลอง

4.3.2.1 ค่าเฉลี่ยของค่าปรับ (Mean) หน่วยเป็นบาท

ค่า Mean น้อยๆจะดี เพราะค่า Mean จะบอกถึงค่าของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งมีค่าแตกต่างกันอย่างไร

4.3.2.2 Generation ที่พบค่าคำตอบที่ดีที่สุด

รอบที่มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุด

4.3.2.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ค่า SD มากๆจะดีเพราะ ค่า SD จะบอกถึงการกระจายของคำตอบที่ผึ้งค้นหามาได้ว่ามีการกระจายตัวอย่างไร

4.3.2.4 เวลาเฉลี่ย หน่วยเป็นนาที

เวลาเฉลี่ยที่ค้นพบค่าคำตอบ

4.3.2.5 ค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) หน่วยเป็นบาท

4.3.2.6 ค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) หน่วยเป็นบาท

4.3.2.7 เปอร์เซ็นต์ Limit

คือ รอบที่จะทำการตรวจสอบกรณีที่ผึ้งไม่มีการพัฒนาของค่าคำตอบที่ได้ เช่น set รอบไว้ที่ 50 รอบ ค่า limit ที่ร้อยละ 30 จะคำนวณได้ 50×30/100 = 15 ดั้งนั้น รอบที่ 15 จะมีการตรวจสอบค่าคำตอบของผึ้งว่าคำตอบที่ได้ในรอบการค้นหานั้นมีค่าคำตอบที่พัฒนาขึ้นหรือไม่

นำผลที่ได้จากตารางที่ 4.3 มาทำการวิเคราะห์มาทำการทดสอบด้วยวิธีการ T-Test เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าปรับว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดยทำการตั้งสมมติฐาน ดังนี้

H_0: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาขนาดกลางที่ได้จากการคำนวณจากการปรับปรุงโดยวิธีการ SO และวิธีการ RK ไม่แตกต่างกัน ($H_0 : \mu_{SO} = \mu_{RK}$)

H_1: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาขนาดกลางที่ได้จากการคำนวณจากการปรับปรุงโดยวิธีการ SO และวิธีการ RK แตกต่างกัน ($H_1 : \mu_{SO} \neq \mu_{RK}$)

H_0: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาขนาดกลางที่ได้จากการคำนวณจากการปรับปรุงโดยวิธีการ AO และวิธีการ RK ไม่แตกต่างกัน ($H_0 : \mu_{AO} = \mu_{RK}$)

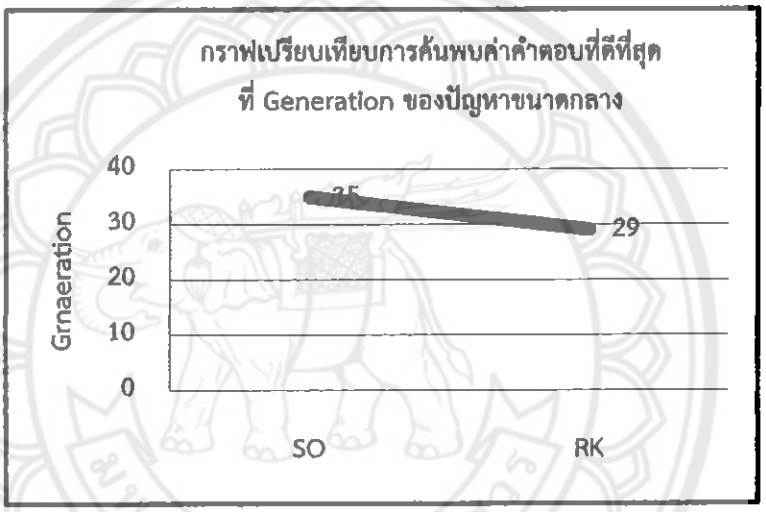
H_1: ค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาขนาดกลางที่ได้จากการคำนวณจากการปรับปรุงโดยวิธีการ AO และวิธีการ RK แตกต่างกัน ($H_1 : \mu_{AO} \neq \mu_{RK}$)

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดสอบด้วยวิธีการ T-Test ปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ และ**ใหญ่พิเศษ**

ขนาดของปัญหา	วิธีการ	Mean	t	P
เล็ก	SO	15,000	–	–
	RK	15,000		
	AO	15,050	–	–
	RK	15,033		
กลาง	SO	54,150	-0.71	0.482
	RK	54,433		
	AO	55,067	0.19	0.849
	RK	55,000		
ใหญ่	SO	254,133	-0.18	0.861
	RK	254,817		
	AO	262,633	-0.86	0.396
	RK	265,650		
ใหญ่พิเศษ	SO	254,133	-0.18	0.861
	RK	254,817		
	AO	9,827,767	0.23	0.817
	RK	9,796,183		

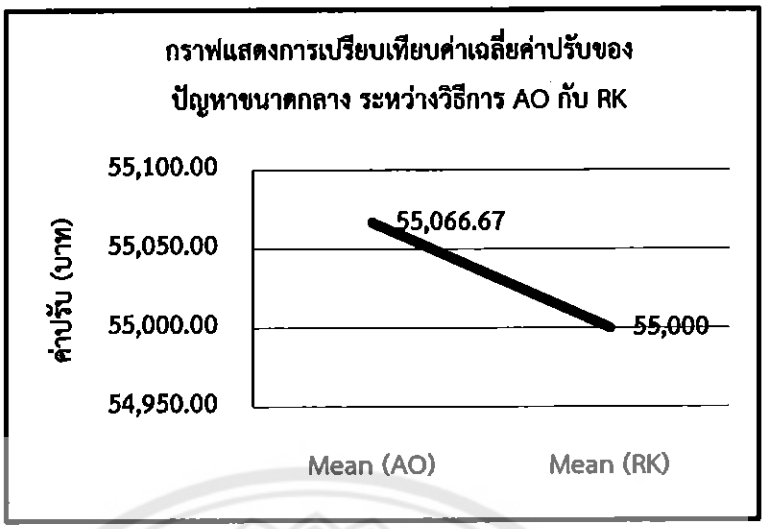
จากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการสรุปผลการทดสอบด้วยวิธีการ T-Test ของปัญหาขนาด กลาง ใหญ่ และใหญ่พิเศษ ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาทุกขนาดไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่เมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าปรับ, Generation ที่ค้นพบ BSF, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, เวลาเฉลี่ย, BSF, WSF เปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ยังมีส่วนที่วิธีการ RK ดีกว่าวิธีการ SO กับวิธีการ AO โดยจะแสดงผลในส่วนที่วิธีการ RK ให้ค่าผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีการ SO หรือวิธีการ AO เป็นลักษณะกราฟเปรียบเทียบดังนี้

4.3.3 ปัญหาขนาดกลาง



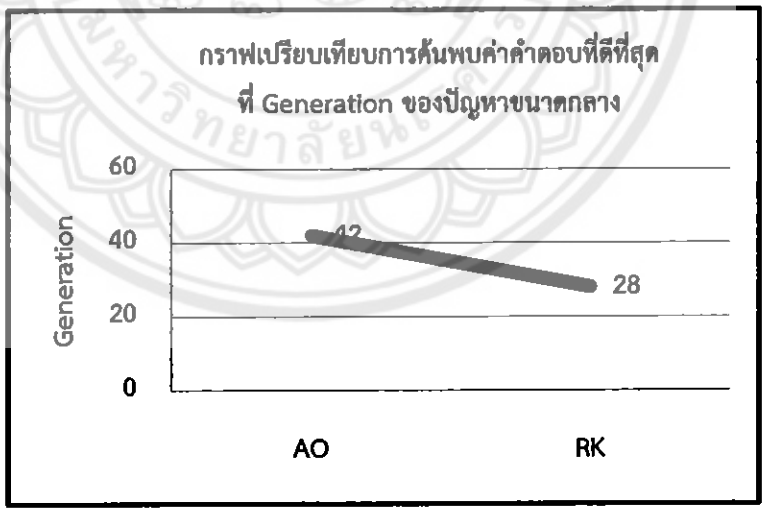
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหา**ขนาดกลาง** ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ SO **กับวิธีการ** RK **ของ**ปัญหาขนาดกลาง จะพบว่าวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation **ที่** 29 **ส่วน** วิธีการ SO **มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน** Generation **ที่** 35 **ดังนั้นในปัญหาขนาดกลาง วิธีการ** RK **มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่เร็วกว่าวิธีการ** SO



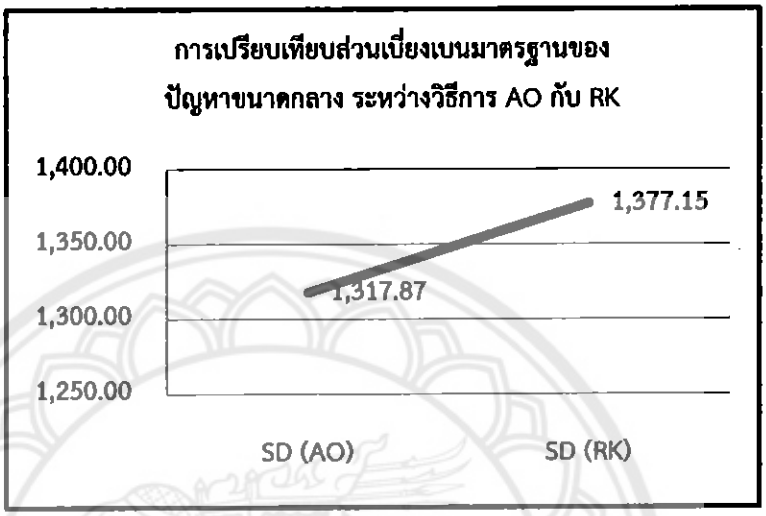
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 55,066.67 บาท ส่วนวิธีการ AO มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 55,000 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ต่ำกว่าวิธีการ AO



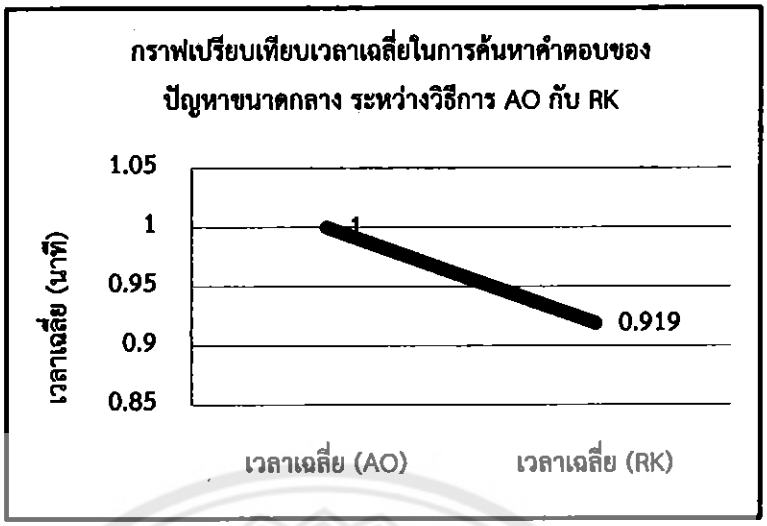
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation **ของปัญหาขนาดกลาง ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK**

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK ของปัญหาขนาดกลาง จะพบว่าวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 28 ส่วนวิธีการ AO มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 42 ซึ่งวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่เร็วกว่าวิธีการ AO



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

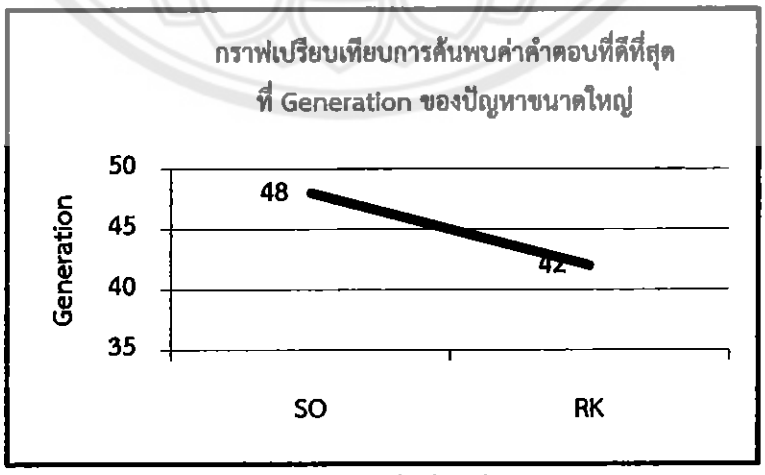
จากรูปที่ 4.4 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1,377.15 ส่วนวิธีการ AO มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1,317.87 ซึ่งวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าวิธีการ AO



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

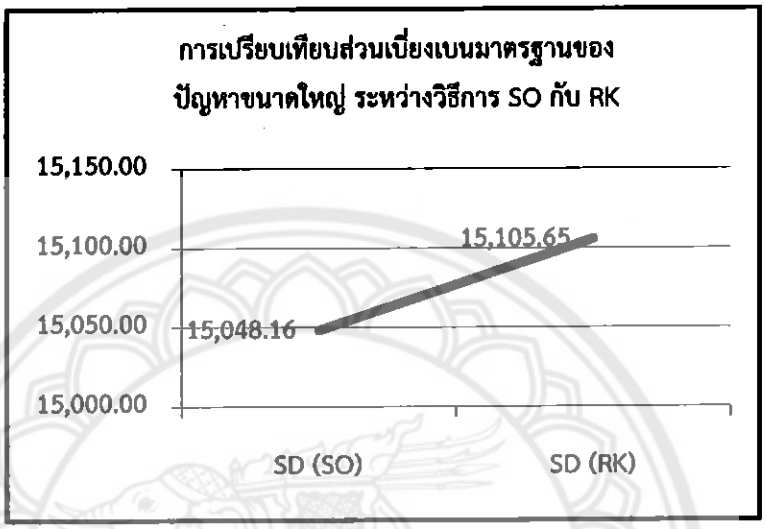
จากรูปที่ 4.5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 0.919 นาที ส่วนวิธีการ AO มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ซึ่งวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีการ AO

4.3.4 ปัญหาขนาดใหญ่



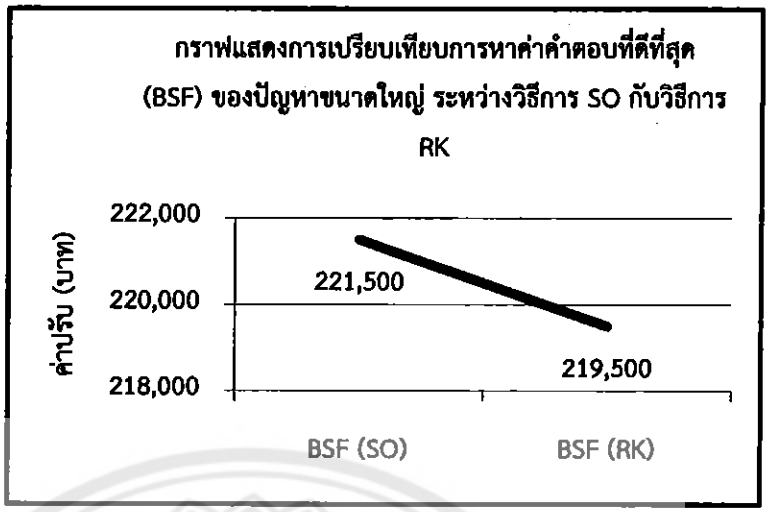
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation **ของปัญหาขนาดใหญ่ ระหว่างวิธีการ** SO **กับวิธีการ** RK

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK ของปัญหาขนาดใหญ่ จะพบว่าวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 42 ส่วนวิธีการ SO มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 48 ซึ่งวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่เร็วกว่าวิธีการ SO



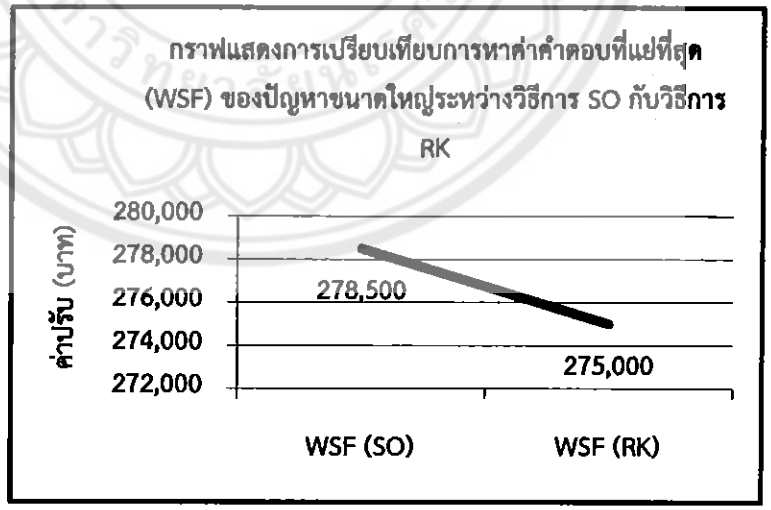
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15,105.65 ส่วนวิธีการ SO มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15,048.16 ซึ่งวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าวิธีการ SO



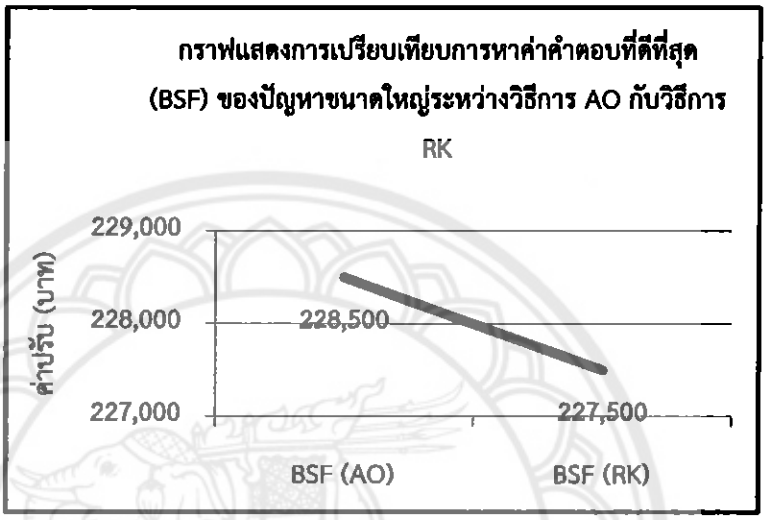
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.8 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 219,500 บาท ส่วนวิธีการ SO มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 221,500 บาท ซึ่งวิธีการ RK ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่มีค่าต่ำกว่าวิธีการ SO



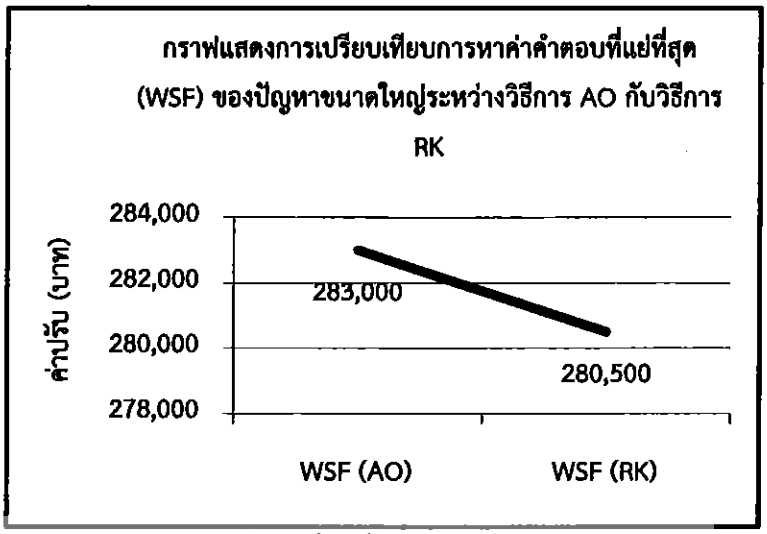
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุด เท่ากับ 275,000 บาท ส่วนวิธีการ SO มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับ 278,500 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ SO



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

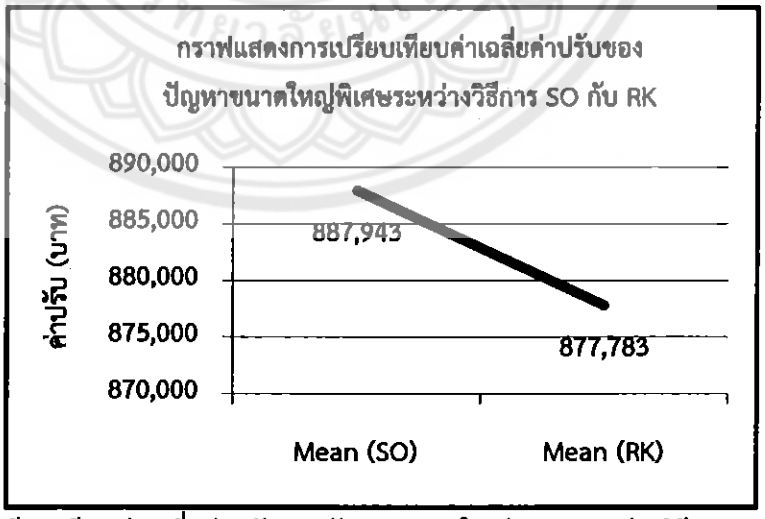
จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุด เท่ากับ 227,500 บาท ส่วนวิธีการ AO มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 228,500 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ AO



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

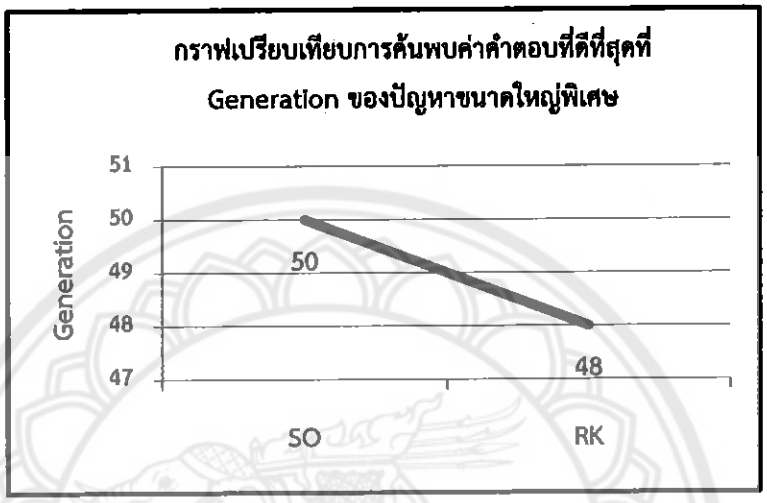
จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับ 280,500 บาท ส่วนวิธีการ AO มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับ 283,000 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ AO

4.3.4 ปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ



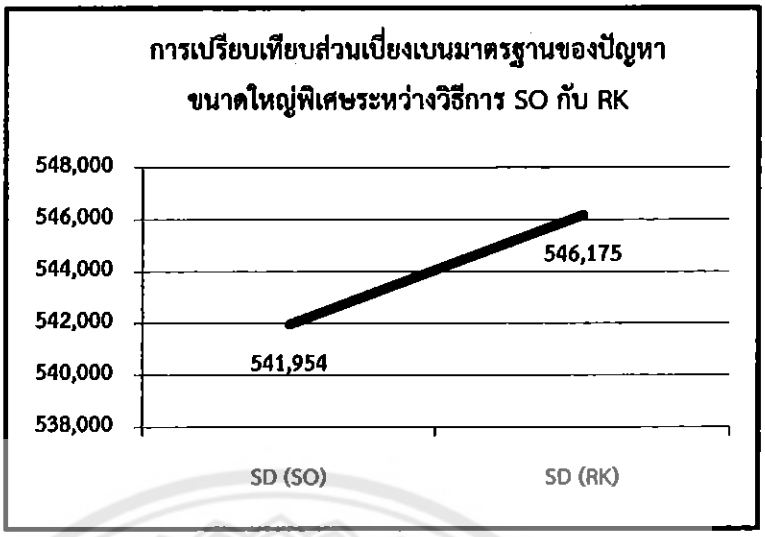
รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 877,783 บาท ส่วนวิธีการ SO มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 887,943 ซึ่งวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ต่ำกว่าวิธีการ SO



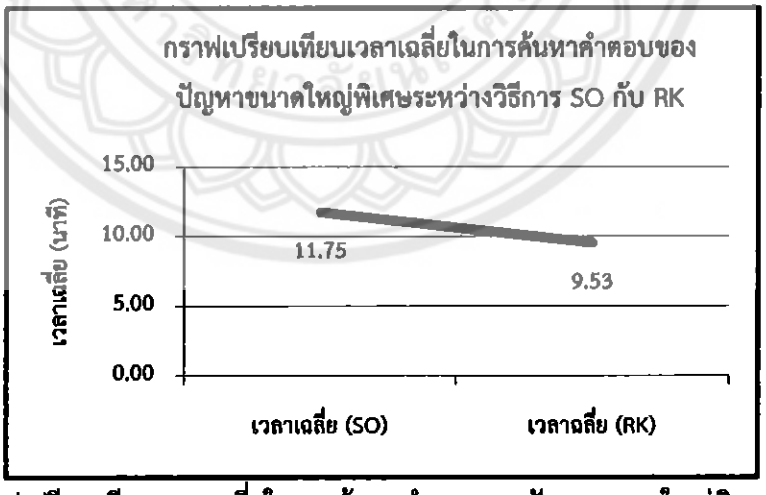
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ จะพบว่าวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 48 ส่วนวิธีการ SO มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 50 ซึ่งวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่เร็วกว่าวิธีการ SO



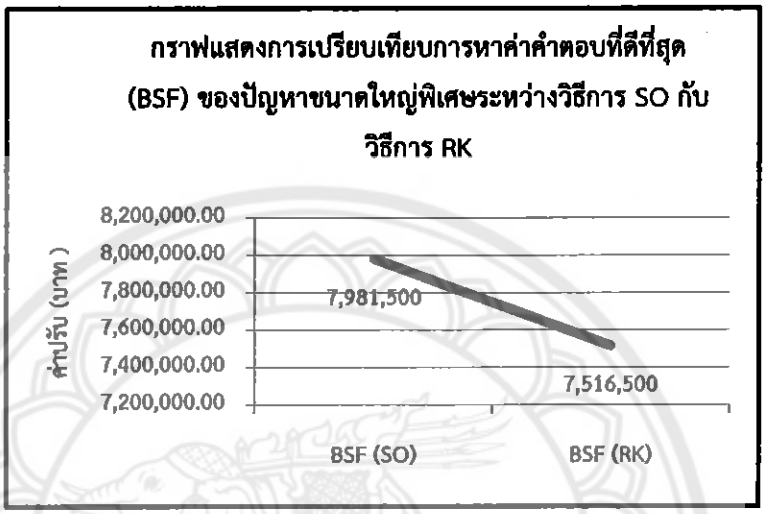
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 546,175 ส่วนวิธีการ SO มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 541,954 ซึ่งวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าวิธีการ SO



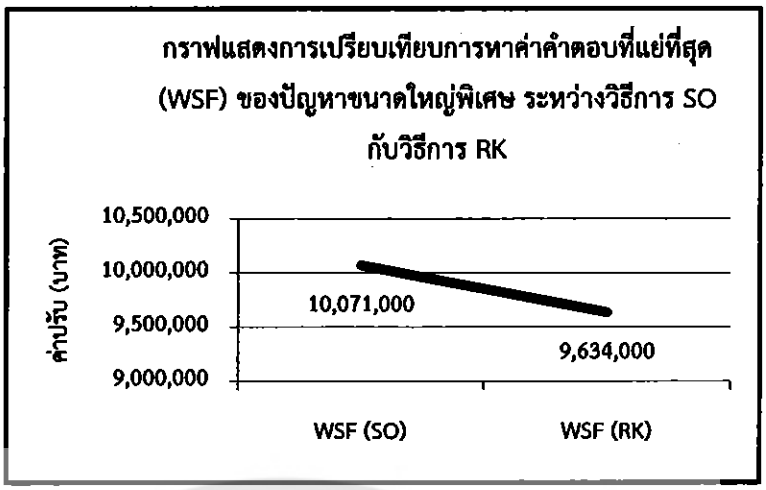
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.15 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 9.53 นาที ส่วนวิธีการ SO มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 11.75 นาที ซึ่งวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีการ SO



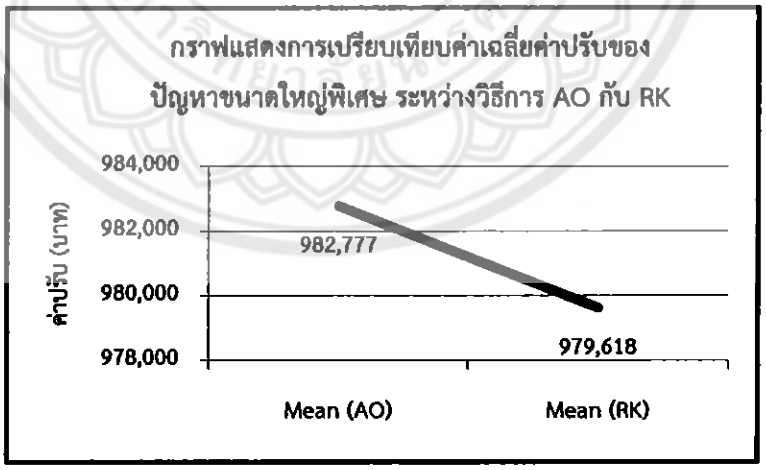
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 7,516,500 บาท ส่วนวิธีการ SO มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 7,981,500 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ SO



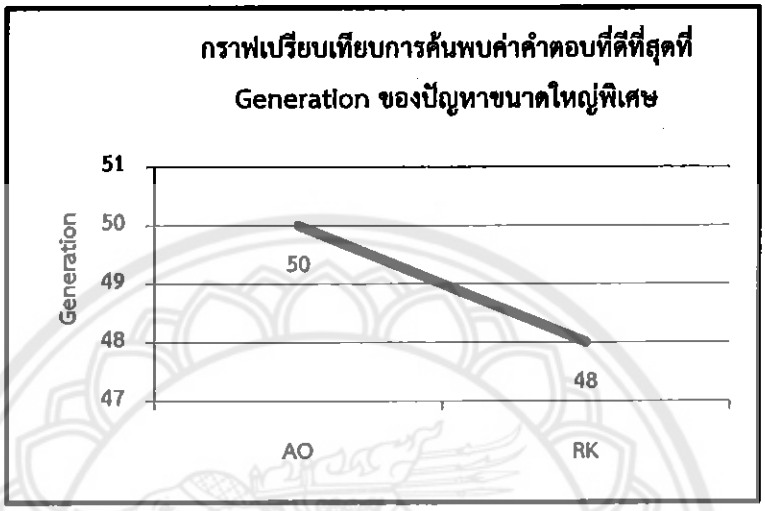
รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่**พิเศษระหว่าง** วิธีการ SO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.17 จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำ**ตอบที่แย่ที่สุด** (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK **มีค่าคำตอบที่แย่**ที่สุดเท่ากับ 9,634,000 บาท ส่วนวิธีการ SO มีค่าคำตอบที่ดีแย่ที่สุดเท่ากับ 10,071,000 บาท **ซึ่งวิธี**การ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ SO



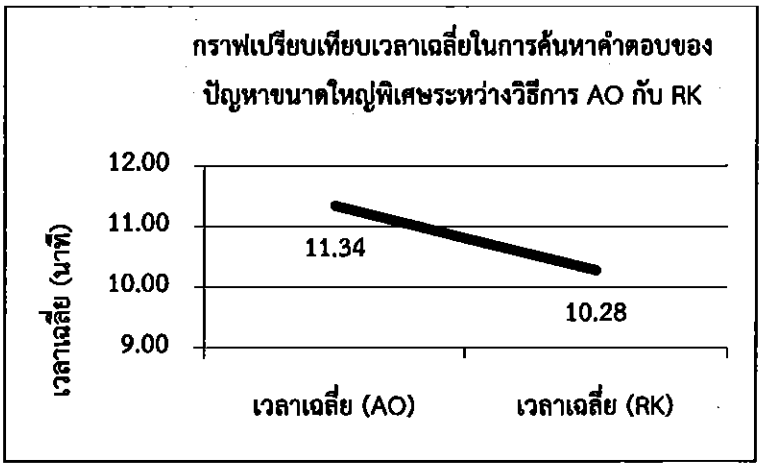
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับ วิธีการ RK

จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าปรับของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 979,618 บาทส่วนวิธีการ AO มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับเท่ากับ 982,777 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ต่ำกว่าวิธีการ AO



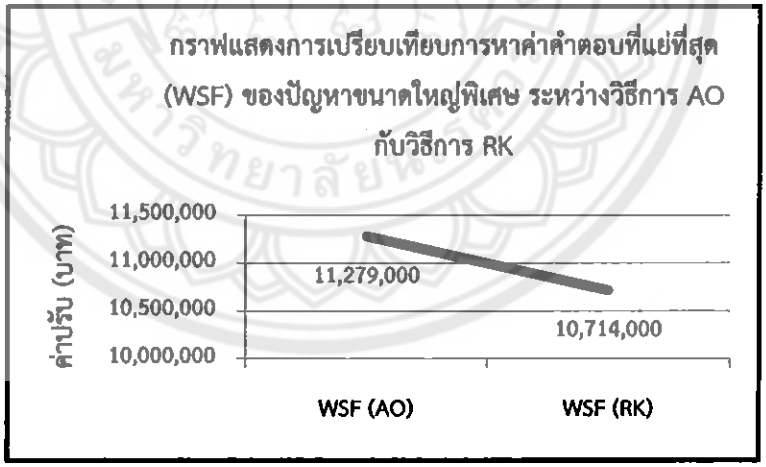
รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ Generation ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับ RK

จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ จะพบว่าวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 48 ส่วนวิธีการ AO มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดใน Generation ที่ 50 ซึ่งวิธีการ RK มีการค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่เร็วกว่าวิธีการ AO



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 10.28 นาที ส่วนวิธีการ AO มีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 11.34 นาที ซึ่งวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีการ AO



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK จะพบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับ 10,714,000 บาท ส่วนวิธีการ AO มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับ 11,279,000 บาท ซึ่งวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าวิธีการ AO

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

โครงงานนี้ได้นำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยนำวิธีการ Swap Operator Adjustment Operator และ Random Key มาทำการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดในขั้นตอนของการปรับปรุงค่าคำตอบ ทั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการลดค่าปรับที่เกิดขึ้นจากการจัดตารางการผลิต โดยโครงงานนี้ได้ทำการปรับปรุงโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่นำวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนีมาประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ผู้จัดทำโครงงานได้เขียนโปรแกรม Tcl เพิ่มเข้าไปในส่วนของขั้นตอนการหาผลเฉลยด้วยวิธีการ Random Key เพื่อนำค่าปรับที่ได้จากการใช้วิธีการ Random Key มาเปรียบเทียบกับผลเฉลยระหว่างวิธีการ Swap Operator กับวิธีการ Random Key และวิธีการ Adjustment Operator กับวิธีการ Random Key ของปัญหาแต่ละขนาดในการจัดตารางการผลิตโดยสามารถสรุปผลโครงงานได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาขั้นตอนวิธีการ Random Key สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ทำงานตามกระบวนการวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี โดยปรับปรุงในขั้นตอนของการย้ายตำแหน่งผึ้งได้ อีกทั้งยังส่งผลทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1.2 จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของค่าปรับด้วยวิธีการ T-Test ของปัญหาขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และขนาดใหญ่พิเศษ ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของค่าปรับของปัญหาทุกขนาดที่กล่าวมาทั้งจากวิธีการ Swap Operator วิธีการ Adjustment Operator และวิธีการ Random Key ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าคำตอบที่ค้นหาได้จากแต่ละวิธีการในปัญหาแต่ละขนาดนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าปรับรวมที่คำนวณได้จากแต่ละวิธีการมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

5.1.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าปรับในปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ดีกว่าวิธีการ AO สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าปรับในปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าเฉลี่ยของค่าปรับที่ดีกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO

5.1.3 เมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ในปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ดีกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO สำหรับการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ใน

ปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ดีกว่าวิธีการ RK

5.1.4 เมื่อทำการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ในปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO สำหรับการเปรียบเทียบการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) ในปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีค่าคำตอบที่แย่ที่สุดที่ต่ำกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO

5.1.5 เมื่อทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคำตอบที่ได้ในปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO และวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าวิธีการ AO สำหรับการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคำตอบที่ได้ในปัญหาขนาดใหญ่และปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO และวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่าวิธีการ SO

5.1.6 เมื่อทำการเปรียบเทียบรอบในการค้นหาพบค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Generation) ในปัญหาขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีรอบการค้นหาพบคำตอบที่ดีที่สุดได้เร็วกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO สำหรับการเปรียบเทียบรอบในการค้นหาพบค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Generation) ในปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีรอบการค้นหาพบคำตอบที่ดีที่สุดได้เร็วกว่าวิธีการ SO

5.1.7 เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบในปัญหาขนาดกลางระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบที่ต่ำกว่าวิธีการ SO สำหรับการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบในปัญหาขนาดใหญ่พิเศษระหว่างวิธีการ SO กับวิธีการ RK และระหว่างวิธีการ AO กับวิธีการ RK พบว่าวิธีการ RK มีเวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบที่ต่ำกว่าทั้งวิธีการ SO และวิธีการ AO

5.2 ปัญหาจากการดำเนินโครงงาน

5.2.1 โครงงานนี้เป็นโครงงานที่ศึกษาต่อจากปริมพิกา แผนสุวรรณ์, 2553 จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาโค้ดโปรแกรมเดิมก่อน ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินงานนี้ใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากภายในโค้ดโปรแกรมเดิมนั้นมีงานวิจัยของผู้วิจัยท่านอื่นอยู่ด้วย จึงทำให้ผู้ดำเนินโครงงานเกิดความสับสน

5.2.2 ผู้ดำเนินโครงงานใช้เวลาในการเขียนโค้ดโปรแกรมด้วยโปรแกรม Tcl เป็นระยะเวลานาน เนื่องจากไม่เคยศึกษาหรือมีความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Tcl มาก่อน

5.2.3 คู่มือการเขียนโปรแกรม Tcl มีจำนวนน้อย จึงก่อให้เกิดอุปสรรคในการยืมเพื่อนำมาทำการศึกษา รวมถึงคู่มือดังกล่าวเป็นภาษาอังกฤษ ส่งผลให้ต้องเสียเวลาในการแปลเพื่อทำความเข้าใจ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 โครงงานนี้ศึกษาเทคนิคการปรับปรุงผลเฉลยด้วยวิธีการ Swap Operator วิธีการ Adjustment Operator และวิธีการ Random Key เท่านั้น ซึ่งยังมีวิธีการปรับปรุงผลเฉลยแบบอื่นอีก เช่น เทคนิค Mutation Operator หรือเทคนิค Crossover Operator เป็นต้น ซึ่งเทคนิคที่กล่าวมานั้นสามารถประยุกต์ใช้กับขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลยสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตได้

5.3.2 โครงงานนี้ใช้วิธีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการอาร์ติฟิเชียลบีโคโลนี ซึ่งอาจใช้วิธีการอื่น ๆ เพื่อใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบให้ดีขึ้นได้ เช่น Particle Swarm Optimisation (PSO) Simulated Annealing (SA) และ Taboo Search (TS) เป็นต้น

5.3.3 เมื่อทำการเปรียบเทียบเทคนิคการปรับปรุงผลเฉลยด้วยวิธีการ Swap Operator วิธีการ Adjustment Operator และวิธีการ Random Key กับปัญหาทุกขนาดโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าปรับ, Generation ที่พบค่าคำตอบที่ดีที่สุด, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), ค่าเฉลี่ยของเวลา, ค่าคำตอบที่ดีที่สุด (BSF) และ ค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (WSF) ในหลักการหาผลเฉลยด้วยวิธีการ Random Key ที่ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาไว้นั้นไม่ได้ให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าวิธีการ Swap Operator และวิธีการ Adjustment Operator ในทุกกรณีแต่จะได้ผลดีกว่าเป็นบางกรณีเท่านั้นอาจส่งผลมาจากค่า Ø ซึ่งค่า Ø เป็นค่าถ่วงน้ำหนักในสมการ เช่น ถ้าค่า Ø ในส่วนของวิธีการ Swap Operator มากกว่าก็จะส่งผลให้ค่า Ø ของวิธีการ Random Key จะน้อยลงไปจึงทำให้ผึ้งบินไปในส่วนของวิธีการ Swap Operator มากกว่าจึงทำให้โอกาสในการหาผลเฉลยของวิธีการ Swap Operator มีมากกว่าวิธีการ Random Key ถ้าต้องการทำความเข้าใจในส่วนของสมการผู้ดำเนินโครงงานได้อธิบายไว้อย่างละเอียดแล้วในสมการที่ 2.15

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ ทองตะโก. (2552). **แมงกับแมลง.** สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2554, จาก http://www.royin.go.th/th/knowledge/detail.php?ID=3255

การสื่อสารของแมลง : การเต้นรำของผึ้ง. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2553, จาก http://rmutphysics.com/charud/oldnews/84/chemictry/bee.htm.

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ, 400 หน้า.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา., รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.** สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ, 464 หน้า

ปารเมศ ชุติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปารเมศ ชุติมา. (2546). **เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน.** สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ปารเมศ ชุติมา. (2551). **การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ผึ้ง. (2534). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 15. สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2554, จาก http://guru.sanook.com/encyclopedia/%E0%B8%9C%E0%B8%B6%E0%B9%89%E0%B8%87/

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). **การประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลในการการดำเนินการอย่างค่อยเป็นค่อยไปสำหรับกลวิธีพื้นผิวตอบสนอง.** ใน การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงาน ประจำปี 2548 (หน้า 203-217). ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2539). **ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต.** สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 533 หน้า.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2551). **ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุง).** พิมพ์ครั้งที่ 14 สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 752 หน้า.

มาริสา กัณฑาทรัพย์. (2549). **การประยุกต์ใช้วิธีซิมูเลทเท็ดแอนนิลลิงและการค้นหาแบบทาบูในการจัดตารางการผลิต.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สถิติทดสอบที (t - test Statistic). สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2555, จาก http://file.siam2web.com/natcha/511/20091221_36601.pdf

สุภัคกานดา ชมภูมิ่ง. (2552). **การประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร์อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Bahamish, H. A. A., Abdullah, R. and Salam, R. A. (2009). **Protein tertiary structure prediction using artificial bee colony algorithm.** In Third Asia International Conference-on, 2009 Modelling & Simulation (pp. 255-263). Indonesia: Bandung, Bali.

Burke, E. K. and Petrovic, S. (2002). **Recent research directions in automated timetabling.** European Journal of Operational Research, 140(2), 266-280.

Dejaegher, B. and Heyden, Y. V. (2009). **Response surface designs part 1- types and properties.** Retrieved December 1, 2009, from http://chromatographyonline. findanalytichem.com/lcgc/Column:+Practical+Data+Handling/Response-Surface-Designs-Part-1-mdash-Types-and-Pr/ArticleStandard/Article/detail/598399.

Dorigo, M. and Stutzle T. (2004). **Ant colony optimization.** Cambridge. Massachusetts : MIT Press.

Goldberg, D. E. (1989). **Optimisation and machine learning.** Massachusetts: Addison-Wesley.

Karaboga, D. (2005). **And idea based on honey bee swarm for numerical optimization.** Thechnical Report-TR06. Turkey: Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Erciyes University.

ภาคผนวก ก.
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการ Random Key สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

ก. ตัวอย่างกรณีปัญหาขนาดเล็ก

แหล่งอาหาร 1 แหล่ง แทนด้วยตารางการผลิตที่ประกอบด้วยชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน

ตารางที่ ก1. รายละเอียดของปัญหาขนาดเล็ก

Scheduling Data
Product :: 245:1 451:1
Part on product 245:1 :: 246:1 247:1 244:1 248:1
Part on product 451:1 :: 452:1 453:1 457:1 454:1 458:1 447:1 455:1 456:1 459:1
Number of operation :: 34
Machine number :: 1000 1113 1125 1222 1226 1312 1315 1411

จากสมการการสร้างตารางการผลิต

$$V_i = X_i + \emptyset(X_i - X_k) + (1 - \emptyset)(X_i - X_{RK})$$

โดยที่

X_i $(i = 1,2,\dots,SN)$ เป็นแหล่งอาหารที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของผึ้งงานซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนของประชากรเริ่มต้น

Vi เป็นแหล่งอาหารแหล่งใหม่

$\emptyset$ เป็นตัวเลขที่ได้จากการสุ่มมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1

Xk เป็นแหล่งอาหารของเพื่อนบ้าน (Neighborhood) โดยที่ $k \in \{1,2,\dots,SN\}$ $k \neq i$

ค่า k หาได้จากสมการที่ ก1. (Karaboga and Akay, 2009)

$$k = int(rad * SN) + 1 \qquad \text{(ก1.)}$$

X_{RK} เป็นแหล่งอาหารที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการ Random Key

ให้ตารางการผลิตเริ่มต้นหรือตารางการผลิตตัวตั้ง (X_i) ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ คือ

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{455:1 1}	{244:1 3}
{244:1 4}	{248:1 1}	{248:1 2}	{459:1 0}	{456:1 1}	{248:1 0}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ให้ตารางการผลิตของเพื่อนบ้านที่สุ่มได้หรือตารางการผลิตตัวลบ (X_k) ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ คือ

{244:1 0}	{447:1 0}	{459:1 0}	{447:1 1}	{456:1 0}	{455:1 0}	{244:1 1}	{248:1 0}	{244:1 2}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการปรับปรุงตารางการผลิตด้วยวิธีการ Adjustment Operator เมื่อได้ตารางการผลิตตัวตั้งและตัวลบจากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์แล้ว จากนั้นจะนำตารางการผลิตตัวลบไปทำการปรับปรุงด้วยวิธีการ Adjustment Operator

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 1 (AO1) โดยย้ายตำแหน่งของ {447:1 0} จากลำดับที่ 1 เป็นลำดับที่ 0

{447:1 0}	{244:1 0}	{459:1 0}	{447:1 1}	{456:1 0}	{455:1 0}	{244:1 1}	{248:1 0}	{244:1 2}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 2 (AO2) โดยย้ายตำแหน่งของ {456:1 0} จากลำดับที่ 4 เป็นลำดับที่ 1

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{459:1 0}	{447:1 1}	{455:1 0}	{244:1 1}	{248:1 0}	{244:1 2}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 3 (AO3) โดยย้ายตำแหน่งของ {244:1 1} จากลำดับที่ 6 เป็นลำดับที่ 3

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{459:1 0}	{447:1 1}	{455:1 0}	{248:1 0}	{244:1 2}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 4 (AO4) โดยย้ายตำแหน่งของ {447:1 1} จากลำดับที่ 5 เป็นลำดับที่ 4

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{459:1 0}	{455:1 0}	{248:1 0}	{244:1 2}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (AO5) โดยย้ายตำแหน่งของ {244:1 2} จากลำดับที่ 8 เป็นลำดับที่ 5

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{459:1 0}	{455:1 0}	{248:1 0}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 6 (AO6) โดยย้ายตำแหน่งของ {455:1 0} จากลำดับที่ 7 เป็นลำดับที่ 6

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{459:1 0}	{248:1 0}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 7 (AO7) โดยย้ายตำแหน่งของ {455:1 1} จากลำดับที่ 9 เป็นลำดับที่ 7

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{455:1 1}	{459:1 0}
{248:1 0}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 8 (AO8) โดยย้ายตำแหน่งของ {244:1 3} จากลำดับที่ 12 เป็นลำดับที่ 8

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{455:1 1}	{244:1 3}
{459:1 0}	{248:1 0}	{248:1 1}	{248:1 2}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 9 (AO9) โดยย้ายตำแหน่งของ {244:1 4} จากลำดับที่ 14 เป็นลำดับที่ 9

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{455:1 1}	{244:1 3}
{244:1 4}	{459:1 0}	{248:1 0}	{248:1 1}	{248:1 2}	{456:1 1}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (AO10) โดยย้ายตำแหน่งของ {248:1 0} จากลำดับที่ 11 เป็นลำดับที่ 10

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{455:1 0}	{455:1 1}	{244:1 3}
{244:1 4}	{248:1 0}	{459:1 0}	{248:1 1}	{248:1 2}	{456:1 1}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ดังนั้น ตารางการผลิตตัวตั้ง (X_i) - ตารางการผลิตตัวลบ (X_k) = AO1 ⊕ AO2 ⊕ AO3 ⊕ AO4 ⊕ AO5 ⊕ AO6 ⊕ AO7 ⊕ AO8 ⊕ AO9 ⊕ AO10 ซึ่ง ⊕ หมายถึง การรวมตารางการผลิตของการสลับคำตอบเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้ง จากนั้นให้คูณด้วยค่า ø ซึ่งเป็นค่าสุ่มที่มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยในที่นี้จะให้ค่า ø ที่สุ่มมาได้มีค่าเป็น 0.5 ดังนั้นตารางการผลิตที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Adjustment Operator จะเท่ากับคู่อันดับที่ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (AO5) คือ

{447:1 0}	{456:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{447:1 1}	{244:1 2}	{459:1 0}	{455:1 0}	{248:1 0}
{455:1 1}	{248:1 1}	{248:1 2}	{244:1 3}	{456:1 1}	{244:1 4}	{248:1 3}	{248:1 4}	{244:1 5}
{244:1 6}	{244:1 7}	{454:1 0}	{244:1 8}	{453:1 0}	{248:1 5}	{459:1 1}	{248:1 6}	{458:1 0}
{457:1 0}	{248:1 7}	{247:1 0}	{452:1 0}	{246:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

จากนั้นให้ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการ Random Key (X_{RK}) ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ คือ

{455:1 0}	{244:1 0}	{244:1 1}	{244:1 2}	{246:1 0}	{246:1 1}	{246:1 2}	{244:1 3}	{244:1 4}
{447:1 0}	{244:1 5}	{244:1 6}	{447:1 1}	{244:1 7}	{455:1 1}	{244:1 8}	{456:1 0}	{246:1 3}
{246:1 4}	{459:1 0}	{246:1 5}	{456:1 1}	{246:1 6}	{459:1 1}	{246:1 7}	{454:1 0}	{453:1 0}
{458:1 0}	{457:1 0}	{247:1 0}	{452:1 0}	{245:1 0}	{451:1 0}	{245:1 0}		

ในทำนองเดียวกันกับที่ได้อธิบายมาแล้วในขั้นตอนการปรับปรุงตารางการผลิตด้วยวิธีการ Adjustment Operator ซึ่งเมื่อได้ตารางการผลิตตัวตั้งและตัวลบจากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์แล้ว จากนั้นจะนำตารางการผลิตตัวลบไปทำการปรับปรุงด้วยวิธีการ Adjustment Operator จนกระทั่งได้ตารางการผลิตตัวลบที่มีลักษณะเหมือนกับตารางการผลิตตัวตั้ง จากนั้นให้คูณจำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งด้วยค่า $1 - \emptyset$ ซึ่งในที่นี้จะให้ค่า $\emptyset$ ที่สุ่มมาได้มีค่าเป็น 0.5 ดังนั้นตารางการผลิตที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Adjustment Operator จะเท่ากับคู่อันดับที่ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งในครั้งที่คำนวณได้