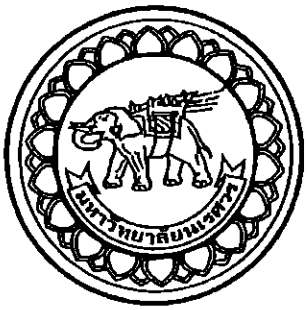


การประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

PARTICLE SWARM OPTIMISATION FOR ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM

นายคมสันต์ ยมนา รหัส 51360738
นางสาวอโนทัย เอี่ยมบาง รหัส 51363784

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1591067
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ค152 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

ผู้ดำเนินโครงงาน นายคมสันต์ ยมนา รหัส 51360738

นางสาวอโนทัย เอี่ยมบาง รหัส 51363784

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ดร.ชวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

.....กรรมการ

(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายคมสันต์ ยมนา รหัส 51360738
	นางสาวอโนทัย เอี่ยมบาง รหัส 51363784
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบการผลิตสายงานการประกอบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม นั่นคือปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ซึ่งลักษณะของปัญหานั้นเป็นการมอบหมายงานให้กับสถานีงานเพื่อตอบสนองจุดมุ่งหมายที่ต้องการให้เหมาะสมมากที่สุด ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ได้นำวิธีการพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO) เพื่อการจัดสมดุลสายงานการประกอบ และได้นำเอาปัญหาตัวอย่างที่ศึกษา ได้แก่ปัญหาขนาด 6 งาน 11 งาน 13 งาน 31 งาน 39 งาน และ 54 งาน มาใช้ในการทดลอง โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ ส่วนของการทดลองเพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อการทำงานของวิธีการพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ และส่วนของการศึกษาและทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) ของ PSO ระหว่างวิธี Swap Operation (SO) และวิธี Adjustment Operation (AO) จากนั้นได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO ในปัญหา 6 งาน 11 งาน 13 งาน 31 งาน 39 งาน และ 54 งาน นั้น จะมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในแต่ละปัญหา ซึ่งโดยภาพรวมพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการหาคำตอบของทุกปัญหา คือ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น ส่วนวิธีการปรับปรุงความเร็ว มีประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของการทำปริญญานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา จึงทำให้ปริญญานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านเขียนโปรแกรม และการออกแบบการทดลอง จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ ดร.สมลักษณ์ วรรณฤมล อาจารย์ผู้สอนรายวิชาการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ขอบคุณ คุณหนึ่งฤทัย แสงแปลง และ คุณญาณิศา เกษหอม เพื่อนกลุ่มทำโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมา

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และอาจารย์ทุกท่านที่ได้จุดประกายความรู้ ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าทั้งสองที่เลี้ยงดูข้าพเจ้าจนเติบใหญ่ คอยอบรมบ่มนิสัย และเป็นที่พึ่งพาทางใจอย่างดี อีกทั้งได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์แก่ข้าพเจ้าทั้งสอง

ผู้ดำเนินโครงงาน
นายคมสันต์ ยมนา
นางสาวอโนทัย เอี่ยมบาง
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 การจัดสมดุลสายการผลิต 5
2.2 สายการประกอบ (Assembly Line) 5
2.2.1 จุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Objectives of Assembly Line Balancing) 6
2.2.2 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem : ALBP) 6
2.2.3 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (Simple Assembly Line Balancing Problem : SALBP) 8
2.3 เทคนิคในการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization Algorithms) 9
2.3.1 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยโมเดลทางคณิตศาสตร์ 9
2.3.2 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการประมาณ 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization) 13
2.4.1 รายละเอียดทั่วไปของ Particle Swarm Optimization 13
2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของ Particle Swarm Optimization 13
2.5 Total Command Language และ Toolkit (Tcl&Tk) 17
2.5.1 Total Command Language (Tcl) 17
2.5.2 Toolkit (Tk) 17
2.5.3 Tcl shell 17
2.5.4 ข้อดีของ Tcl 18
2.6 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 18
2.6.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) 19
2.6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Designs) 20
2.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (The Statistical Analysis of the Data) 21
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 27
3.1 ศึกษาข้อมูลและบทความที่เกี่ยวข้อง 27
3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบ 27
3.1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Particle Swarm Optimization (PSO) 28
3.1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Total Command Language (Tcl) / Toolkit (Tk) 29
3.2 วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบโครงสร้าง 29
3.2.1 แฟ้มข้อมูลขาเข้า Input 29
3.2.2 แฟ้มข้อมูลขาออก Output 31
3.3 การเขียนโปรแกรม PSO สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ 34
3.3.1 รับค่าแฟ้มข้อมูลขาเข้า Input 34
3.3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล 34
3.3.3 การกำหนดรูปแบบของคำตอบ 41
3.3.4 สร้างพาร์ทิเคิล (Particle) เริ่มต้น 41
3.3.5 ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละพาร์ทิเคิล (Particle) 41
3.3.6 การหาค่าที่ดีที่สุดของตัวเอง (Pbest) และหาค่าที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Gbest) 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.7 การปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) 43
3.3.8 การปรับปรุงตำแหน่งหรือค่าคำตอบ (Update Position) 50
3.3.9 การปรับค่าพารามิเตอร์ (Adaptive Particle Swarm Optimisation) 50
3.3.10 การสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ (Regenerate Particles) 51
3.3.11 การตรวจเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination) 51
3.4 พัฒนาโปรแกรมและทดสอบโปรแกรม 51
3.5 ออกแบบและดำเนินการทดลอง 56
3.6 วิเคราะห์สรุปผลการทดลอง 56
3.7 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ 56

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 57
4.1 การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลกระทบการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการ PSO 57
4.1.1 การออกแบบการทดลองที่ 1 57
4.1.2 ผลการทดลองที่ 1.1 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (SO) 58
4.1.3 ผลการทดลองที่ 1.2 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (AO) 64
4.2 การทดลองที่ 2 การพิจารณาเปรียบเทียบการปรับปรุงอัตราเร็วระหว่างวิธี SO กับวิธี AO 69
4.2.1 การออกแบบการทดลองที่ 2 69
4.2.2 ผลการทดลองที่ 2 70
4.3 การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสม 72
4.4 การเปรียบเทียบค่าคำตอบด้วยวิธีการทำงานต่างๆ 75

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 80
5.1 สรุปผล 80
5.1.1 สรุปผลการทดลองที่ 1 80
5.1.2 สรุปผลการทดลองที่ 2 82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.3 การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสม 83
5.2 อภิปรายผล 83
5.3 ข้อเสนอแนะ 83
ภาคผนวก 86
ภาคผนวก ก 86
ภาคผนวก ข 97
ภาคผนวก ค 101
ภาคผนวก ง 105
ภาคผนวก จ 117
ภาคผนวก ฉ 121
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 125

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 4
2.1 แสดงการกำหนดปัจจัย (k) และระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ 21
2.2 แสดงรูปแบบข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กรณี 2 ปัจจัย 22
2.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effects Model 23
3.1 ปัญหาที่จะนำมาใช้ในการศึกษา 27
4.1 ตารางแสดงรายละเอียดในการทดลองที่ 1 57
4.2 ตารางแสดงรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองที่ 1 58
4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ของทุกปัญหา 59
4.4 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ของ PSO (SO) ที่ได้จากทุกปัญหา 63
4.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ของทุกปัญหา 64
4.6 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ของ PSO (AO) ที่ได้จากทุกปัญหา 69
4.7 แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของการทดลองที่ 2 70
4.8 แสดงการวิเคราะห์ T - test ระหว่าง SO และ AO 71
4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ ของทุกปัญหา 72
4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา 76
4.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนสถานีงานด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา 77
4.12 แสดงการเปรียบเทียบเวลาว่างงานรวมด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา 78
4.13 แสดงการเปรียบเทียบความแปรปรวนของภาระงานด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา 79
ก.1 ปัญหาตัวอย่างที่ 1 (โน๊ตบุ๊ค) 87
ก.2 ปัญหาตัวอย่างที่ 2 88
ก.3 ปัญหาตัวอย่างที่ 3 89
ก.4 ปัญหาตัวอย่างที่ 4 90
ก.5 ปัญหาตัวอย่างที่ 5 92
ก.6 ปัญหาตัวอย่างที่ 6 94
ข.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน 98
ข.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน 98
ข.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน 99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน 99
ข.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน 100
ค.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน 102
ค.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน 102
ค.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน 103
ค.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน 103
ค.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน 104

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 Mixed Models Assembly Line....7
2.2 Multi Model Assembly Line....7
2.3 ขั้นตอนการทำงานของ PSO....16
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ....19
3.1 แสดงรูปแบบแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหา....30
3.2 แสดงแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหาขนาด 6 งาน....30
3.3 แสดงแฟ้มข้อมูลขาออก Output....32
3.4 แสดงการทำงานของโปรแกรม PSO FOR ALBP....33
3.5 แสดงแฟ้มข้อมูลขาเข้าที่มีข้อมูลไม่ครบ....34
3.6 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าข้อมูลไม่ครบ....35
3.7 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดหน่วยเวลามาให้....36
3.8 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าหน่วยเวลาไม่ได้กำหนดมาให้....36
3.9 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดรอบการผลิตมาให้....37
3.10 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ารอบการผลิตไม่ได้กำหนดมาให้....37
3.11 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้....38
3.12 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าจำนวนสถานีงานไม่ได้กำหนดมาให้....38
3.13 แสดงข้อมูลขาเข้าที่มีงานที่ใช้เวลามากกว่ารอบการผลิต....39
3.14 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ามีงานที่ใช้เวลามากกว่ารอบการผลิต....39
3.15 แสดงข้อมูลขาเข้าที่มีชื่องานไม่ตรงกับที่กำหนด....40
3.16 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ามีชื่องานที่ไม่ตรงกับที่กำหนด....40
3.17 แสดงรูปแบบของพาร์ทิเคิล....41
3.18 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา (SO)....44
3.19 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest (SO)....45
3.20 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest (SO)....46
3.21 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา (AO)....47
3.22 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest (AO)....48
3.23 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest (SO)....49
3.24 แสดงตัวอย่างหน้าจอแรกของโปรแกรม PSO FOR ALBP....52
3.25 แสดงตัวอย่างการนำเข้าแฟ้มข้อมูลของปัญหา....52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.26 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรในโปรแกรม PSO FOR ALBP 53
3.27 แสดงส่วนของการกำหนดค่าสำหรับ PSO 53
3.28 แสดงรายละเอียดสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบบ SALBP 54
3.29 แสดงส่วนของปุ่มต่างๆ ในการสั่งการทำงานของโปรแกรม PSO FOR ALBP 55
3.30 แสดงตัวอย่างของการจัดสมดุลสายงานการประกอบที่ได้จากการประมวลผลของพาร์ทิเคิล ตัวที่ดีที่สุด (Gbest) 56
4.1 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหา ขนาด 11 งาน 60
4.2 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหา ขนาด 13 งาน 61
4.3 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหา ขนาด 31 งาน 61
4.4 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหา ขนาด 39 งาน 62
4.5 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหา ขนาด 54 งาน 63
4.6 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหา ขนาด 11 งาน 66
4.7 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหา ขนาด 13 งาน 66
4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหา ขนาด 31 งาน 67
4.9 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหา ขนาด 39 งาน 68
4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหา ขนาด 54 งาน 68
ก.1 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 1 87
ก.2 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 2 88
ก.3 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 3 89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.4 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 4 91
ก.5 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 5 93
ก.6 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 6 96
ง.1 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 6 งาน 106
ง.2 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 6 งาน 106
ง.3 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 11 งาน 107
ง.4 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 11 งาน 108
ง.5 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 13 งาน 109
ง.6 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 13 งาน 110
ง.7 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 31 งาน 111
ง.8 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 31 งาน 111
ง.9 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 39 งาน 112
ง.10 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 39 งาน 113
ง.11 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 54 งาน 115
ง.12 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 54 งาน 116
จ.1 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน 118
จ.2 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน 118
จ.3 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน 119
จ.4 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน 119
จ.5 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน 120
ฉ.1 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน 122
ฉ.2 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน 122
ฉ.3 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน 123
ฉ.4 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน 123
ฉ.5 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน 124

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันนี้ สายการประกอบได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรมการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้า อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ปัญหาที่เกี่ยวกับสายการประกอบที่ได้มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง คือปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem) ซึ่งเป็นการนำกลุ่มงาน (Task) ที่ต้องทำในการประกอบผลิตภัณฑ์ มาจัดเพื่อมอบหมายให้แต่ละสถานีงาน (Workstation) (Rubinovitz, J. and Levitin, G., 1995) ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบดังกล่าว ถูกจัดอยู่ในปัญหาประเภท NP-hard ของปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimisation Problem) (ธีราพรรณ แซ่แห่ว, นิวิท เจริญใจ และ วิชัย ฉัตรทินวัฒน์) การจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Assembly Line Balancing : ALB) ตั้งอยู่บนหลักการจัดสรรงานต่างๆ ให้กับแต่ละสถานีงานตามลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด

การจัดสมดุลของสายงานการประกอบในทางอุตสาหกรรม ได้รับการเสนอเป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษที่ 1900 (Sury, R.J., 1971) และได้รับการตีพิมพ์ในนามปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem : ALBP) เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1955 (Fonseca, D.J., Guest, C.L. Elam, M., and Karr, C.L., 2005)

การจัดสมดุลสายการประกอบนั้น มีประโยชน์อย่างมากในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สามารถลดต้นทุนในการผลิตและสร้างกำไรได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการต่างๆ อีกด้วย ซึ่งจากแนวโน้มของอุตสาหกรรมที่ต้องผลิตสิ้นค้าให้หลากหลายประเภทยิ่งขึ้น ภายในระยะเวลาที่จำกัด ทำให้การจัดสมดุลงานในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นมากยิ่งขึ้น (ผศ.ดร.บรรหาร ลิลา, 2553)

แนวทางในการแก้ปัญหา ควรจะตระหนักถึงการแก้ปัญหาเชิงคุณภาพ มากกว่าการแก้ปัญหาเชิงปริมาณ เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพเพิ่มผลผลิต การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร เป็นต้น แนวทางเหล่านี้จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในระยะยาว (สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ นิพนธ์ บุญปสาท, 2547) ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบนั้น มีอยู่หลากหลายวิธี ในอดีตวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น จะเป็นไปในแนวทางที่อยู่บนพื้นฐานคณิตศาสตร์เสียส่วนใหญ่ เช่น ลิเนียร์โปรแกรมมิ่ง (Linear Programming), ไดนามิกโปรแกรมมิ่ง (Dynamic Programming), แบรนช์แอนบาวด์ (Branch and Bound : B&B) เป็นต้น (คมสัน พิมลยรรยง, 2551) แต่เนื่องจากว่า แนวทางการแก้ปัญหาที่อยู่บนพื้นฐานคณิตศาสตร์นั้น จะ

ใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน จึงไม่เหมาะกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการแก้ปัญหาแบบที่เป็น NP - hard ขึ้น เรียกว่า วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (Stochastic Search Algorithm) วิธีการในตระกูลนี้มีอยู่หลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น ซิมมูเลทเตทอเนียลลิง (Simulated Annealing : SA) (Cerny, 1985 ; Kirkpatrick et al., 1983), เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) (Goldberg, 1989), พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO) เป็นต้น

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่า วิธีการ Stochastic Search Algorithm นั้น เป็นวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ดังนั้น ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้จึงเลือกที่จะนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยผู้จัดทำโครงงานได้นำเอาวิธีพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่แปลกใหม่และมีความน่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาและประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO) เพื่อการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ได้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบด้วยวิธีพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation)

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 โปรแกรมสำเร็จรูปสามารถแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบในโรงงานอุตสาหกรรมได้หลากหลายขนาด

1.4.2 ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของวิธีการได้

1.4.3 สามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลของปัญหาที่ป้อนเข้าในโปรแกรมได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ปริญญานิพนธ์นี้จะใช้การแก้ปัญหา Stochastic Search Algorithm ด้วยพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation : PSO)

1.5.2 โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรมภาษา Tcl และจะไม่รองรับการทำงานในแบบเครือข่าย

1.5.3 ขนาดของปัญหาในโครงงานนี้ จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ขนาดเล็ก 2 ตัวอย่าง, ขนาดกลาง 2 ตัวอย่าง และขนาดใหญ่ 1 ตัวอย่าง นอกจากนี้ ยังใช้ปัญหาจากกรณีศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ชนิดโน๊ตบุ๊ค (13 งาน) ซึ่งถูกศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้

1.5.4 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบในโครงงานนี้ เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (Simple Assemble Line Balancing Problem : SALBP)

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนมิถุนายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

1.8.1 ศึกษาข้อมูลและบทความที่เกี่ยวข้อง

1.8.2 วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบโครงสร้าง

1.8.3 การเขียนโปรแกรม PSO สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

1.8.4 พัฒนาโปรแกรมและทดสอบโปรแกรม

1.8.5 ออกแบบและดำเนินการทดลอง

1.8.6 วิเคราะห์สรุปผลการทดลอง

1.8.7 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินการ	ช่วงเวลา							
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1	ศึกษาข้อมูลและบทความที่เกี่ยวข้อง	←	→						
2	วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบโครงสร้าง		←	→					
3	การเขียนโปรแกรม PSO สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ		←	→	→				
4	พัฒนาโปรแกรมและทดสอบโปรแกรม			←	→				
5	ออกแบบและดำเนินการทดลอง				←	→	→		
6	วิเคราะห์สรุปผลการทดลอง						←	→	
7	จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์		←	→	→	→	→	→	→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความสำคัญในการจัดสมดุลสายการผลิต ความหมายของสายการประกอบ ซึ่งได้กล่าวถึง จุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลสายการประกอบปัญหาการจัดสมดุลการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem : ALBP) ซึ่งได้กล่าวถึงประเภทของปัญหาในการจัดสมดุลการประกอบ วิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา รวมถึงงานวิจัยที่ได้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ (ALBP) โดยใช้วิธีอื่นที่แตกต่างกันไป ทฤษฎีที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คือ พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาของวิธีการ และหลักการทำงานของวิธีการนี้

2.1 การจัดสมดุลสายการผลิต

การจัดสมดุลสายการผลิตมักจะใช้ในกระบวนการผลิตที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก หรือเป็นการผลิตแบบ Mass Product ตัวอย่างเช่น สายการประกอบที่งานต่างๆ จะต้องมีการจัดแบ่งให้กับสถานีงานอย่างเหมาะสม เพื่อให้มีความสมดุลกัน ในขณะที่ยังมีระดับคุณภาพที่ดี

การจัดสมดุล (Line Balancing) คือการจัดสถานีงานต่างๆ ให้มีอัตราการทำงาน หรือเวลาการทำงานที่เท่าๆ กัน กล่าวคือ เป็นการมอบหมายงานแต่ละงานให้กับสถานีงาน โดยจะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อนหลัง ความสัมพันธ์ระหว่างงาน และเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งกลุ่มของงานที่จัดให้กับแต่ละสถานีงานนั้นมีชื่อเรียกว่า ภาระของสถานีงาน (Workstation Load) และเวลาในแต่ละสถานีงานคือเวลาของงานทั้งหมดที่อยู่ในสถานีงานนั้นรวมกัน ซึ่งเวลาที่ใช้เป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตนี้ เรียกว่า รอบการผลิต (Cycle Time) ซึ่งก็คือเวลาระหว่างที่สินค้าเสร็จออกมาแต่ละชิ้น จะมีค่าเท่ากับเวลาของสถานีที่ช้าที่สุด โดยการจัดสมดุลสายการผลิตที่ดีนั้นจะต้องทำให้แต่ละสถานีงานมีเวลาว่างงานน้อยที่สุด หรือไม่มีเวลาว่างงานเลย วัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลสายการผลิตคือ ทำให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด หรือเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

2.2 สายการประกอบ (Assembly Line)

สายการประกอบ เป็นลำดับงานการประกอบที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่อง ส่วนมากจะเป็นสายการประกอบของสินค้าที่มีชิ้นส่วนจำนวนมาก มีการผลิตที่มีปริมาณมาก ค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่ค่อยมีความแปรปรวนมากนัก ซึ่งสายงานการประกอบนั้นจะประกอบไปด้วยสถานีงาน (Workstation) ที่เรียงต่อกันตามสายพาน หรือเครื่องมือลำเลียงวัสดุที่อยู่ในระบบการผลิต ในระบบสายงานการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่างๆ

เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแต่ละหน่วยเข้าสู่สถานีงานใดๆ แล้ว ก็จะเกิดการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีงานนั้นตามลำดับ เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีงานนั้นแล้ว ชิ้นส่วนก็จะเคลื่อนไปยังสถานีงานถัดไป ในขณะเดียวกันนั้นที่สถานีงานเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทน

2.2.1 จุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Objectives of Assembly Line Balancing)

จุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1.1 เพื่อจุดมุ่งหมายทางเทคนิค (Technical Efficiency) เช่น

ก. ลดรอบการผลิต

ข. ลดจำนวนสถานีงาน

ค. ลดเวลาว่างงานรวม

ง. ลดความแปรปรวนของภาระงาน

2.2.1.2 เพื่อจุดมุ่งหมายทางต้นทุน (Cost Oriented) เช่น

ก. ลดค่าจ้างแรงงาน

ข. ลดต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักร

ค. ลดต้นทุนจากวัสดุคงคลัง

ง. ลดต้นทุนจากชิ้นงานที่ไม่สมบูรณ์

2.2.2 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem : ALBP)

สายงานการประกอบ คือ ลำดับของสถานีงานที่เชื่อมต่อกันเพื่อทำการประกอบส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นมา ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ คือ การกำหนดขั้นของงานต่างๆ (Task) ให้กับแต่ละสถานีงาน (Workstation) เพื่อทำให้เวลาว่างงานของแต่ละสถานีนั้นๆ มีค่าน้อยที่สุด และให้สอดคล้องกับเงื่อนไข 2 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรก คือ เวลาการทำงานรวมของแต่ละสถานีงานจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับรอบการผลิต (Cycle Time) และเงื่อนไขที่สองคือ ขั้นงานที่ได้ทำการจัดสรรให้กับแต่ละสถานีงานจะต้องสอดคล้องกับลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง (Precedence Relationship)

ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตแบบผลิตคราวละมากๆ ซึ่งปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.2.2.1 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (Simple Assembly Line Balancing Problem : SALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่ายนี้ เป็นปัญหาที่มีผู้นิยมทำกันมาก ลักษณะของปัญหา เช่น เป็นระบบการผลิตที่ผลิตสินค้าชนิดเดียว มีกระบวนการผลิตที่แน่นอน เวลาที่ใช้ในแต่ละงานคงที่ สายงานเป็นแบบอนุกรม กำหนดอัตราการผลิตด้วยรอบการผลิต เป็นต้น

2.2.2.2 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบทั่วไป (General Assembly Line Balancing Problem : GALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบทั่วไป มีลักษณะคล้ายกับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย เพียงแต่จะมีข้อกำหนดต่างๆ เพิ่มเข้ามา สายงานการประกอบจะเป็นแบบขนาน คือแต่ละสถานีงานทำงานขนานกัน ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำการประกอบได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Models Assembly Line)

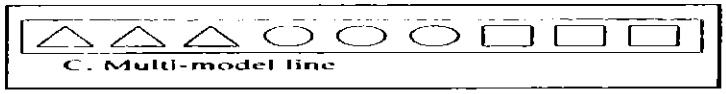
เป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์หลายชนิด ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะจัดอยู่ในกลุ่ม รายละเอียดจะไม่แตกต่างกันมากนักจึงทำให้ไม่เสียเวลาในการ Setup หรือเสียน้อย

รูปที่ 2.1 Mixed Models Assembly Line

ที่มา : Scholl, 1999

ข. สายการประกอบหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line)

เป็นสายการประกอบที่ผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด ความแตกต่างของแต่ละชนิดมีมากจึงทำให้เสียเวลาในการ Setup นาน



รูปที่ 2.2 Multi Model Assembly Line

ที่มา : Scholl, 1999

2.2.3 ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (Simple Assembly Line Balancing Problem : SALBP)

ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้จัดทำได้เน้นแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย ซึ่งเป็นการประกอบผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว มีกระบวนการผลิตที่แน่นอน เวลาที่ใช้ในแต่ละงานคงที่ สายงานจะทำงานเป็นแบบอนุกรม กำหนดอัตราการผลิตด้วยรอบการผลิต จะไม่มีการมอบหมายงานที่นอกเหนือไปจากความสัมพันธ์ของงานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ จำนวนงาน, เวลาการทำงานของแต่ละงาน, ลำดับความสัมพันธ์ก่อน – หลัง, รอบการผลิต, โดยวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาการจัดสมดุล คือ ทำให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ความแปรปรวนของภาระงานน้อยที่สุด เวลาว่างงาน (Idle Time) มีค่าน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังในสมการที่ 2.1 - 2.4 ตามลำดับ

$$\frac{W}{ct} \le \min n \le n_{\max} \tag{2.1}$$

$$\min\ T_{id_T} = \min \sum_{i=1}^{n} (ct - T_i) \tag{2.2}$$

$$\min\ w_v = \min \sum_{i=1}^{n} \left(T_i - \left(\frac{W}{n} \right) \right)^2 \Big/ n \tag{2.3}$$

$$\max\ L_{eff} = \max \frac{\sum_{i=1}^{n} T_i}{\left(n \times ct_r \right)} \times 100 \tag{2.4}$$

เมื่อ n คือจำนวนสถานีงาน, $n_{\max}$ คือ จำนวนสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้, W คือ เวลาการทำงานรวมของทุกงาน, ct คือ รอบการผลิต, ct_r คือ รอบการผลิตจริง, T_i คือ เวลาการทำงานของสถานีงาน i, L_{eff} คือ ประสิทธิภาพของสายงานการประกอบ, W_v คือ ความแปรปรวนของภาระงาน และ T_{id_T} คือ เวลาว่างงานรวม

ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (SALBP) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.2.3.1 SALBP - F

เป็นการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยที่มีการกำหนดจำนวนสถานีงาน และรอบการผลิตไว้แล้ว ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

2.2.3.2 SALBP - 1

เป็นการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยพยายามลดจำนวนสถานีงานลง และให้อยู่ในรอบการผลิตที่กำหนดไว้

2.2.3.3 SALBP - 2

เป็นการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยพยายามลดรอบการผลิตลง และมีการกำหนดจำนวนสถานีงานไว้

2.2.3.4 SALBP - E

เป็นการจัดสมดุลสายงายการประกอบ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้มากที่สุด และทำการลดรอบการผลิตไปพร้อมๆ กัน

2.3 เทคนิคในการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimisation Algorithms)

เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.3.1 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยโมเดลทางคณิตศาสตร์

วิธีการแก้ปัญหานี้ ถูกพัฒนาขึ้นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนทางทหาร วิธีการนี้จะเป็นการแก้ปัญหาโดยอยู่บนพื้นฐานของคณิตศาสตร์เป็นหลัก มีความซับซ้อน มีตัวแปรและสมการมาก อีกทั้งยังใช้เวลานาน จึงเหมาะกับปัญหาขนาดเล็กๆ เท่านั้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ได้ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่น แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Scheduling Problems) ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) เป็นต้น

ตัวอย่างของการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย (SALBP) ด้วยวิธีอินทิเจอร์โปรแกรมมิ่ง โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสถานีงาน ซึ่งเสนอโดย Bowman (1960) มีโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังนี้

โดย C = จำนวนรอบการผลิต

k = ลำดับที่ของสถานีงาน

i = ลำดับที่ของงาน

P_i = กลุ่มของงานที่ต้องทำก่อนงาน i

t_i = เวลาทำงานของงานที่ i

n = จำนวนของงานทั้งหมด

m = จำนวนของสถานีงาน

w_k = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสถานีงานที่ k

x_{ik} = ตัวเลขที่ใช้ตัดสินใจในการมอบหมายงานที่ i (x_{ik} = 1 เมื่องานที่ i ต้องมอบหมายสถานีที่ k, x_{ik} = 0 ในกรณีอื่น)

$$\text{Minimize } (\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} w_{ik} * x_{ik}) \quad (2.5)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^{n} x_{ik} = 1 \qquad \text{เมื่อ } 1 \le i \le n \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i x_{ik} \le C \qquad \text{เมื่อ } 1 \le k \le n \quad (2.7)$$

$$x_{i_2 k_1} \le \sum_{k=1}^{k_1} x_{i_1 k} \qquad \text{เมื่อ } (1 \le i_2,\ k_1 \le n) \wedge (i_1 \in P_{i_2}) \quad (2.8)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad (2.9)$$

สมการที่ 2.5 หมายถึง สมการเป้าหมายในการหาค่าที่น้อยที่สุดของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสถานีงาน

สมการที่ 2.6 หมายถึง งานแต่ละงานสามารถมอบหมายให้กับสถานีงานได้สถานีงานเดียวเท่านั้น

สมการที่ 2.7 หมายถึง เวลาของแต่ละสถานีต้องไม่เกินรอบการผลิตที่กำหนดไว้

สมการที่ 2.8 หมายถึง พิจารณาถึงเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างงาน

สมการที่ 2.9 แสดงถึง ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจโดยเป็นเลขฐานสอง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์นั้น เหมาะกับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งเมื่อนำวิธีการนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ จะต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่นานมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่ออุตสาหกรรมต่างๆ มีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่ใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนมาก โดยอาศัยหลักการประมาณค่าแทน

2.3.2 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการประมาณ

วิธีการนี้ จะมีความรวดเร็วในการแก้ปัญหา โดยจะได้คำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกคิดค้นมาเพื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนสูง เนื่องจากปัญหาเหล่านี้ ถ้าแก้โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลานานมาก

ในบางครั้ง อาจจะเรียกวิธีการแก้ปัญหาแบบนี้ว่า เมตาฮิวริสติก (Metaheuristics) ตัวอย่างของวิธีการนี้ เช่น ฮาร์โมนี เสิร์ช อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm), จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm), มีมีติก อัลกอริทึม (Memetic Algorithm), ซัฟเฟิลฟร็อกลิปปิง อัลกอริทึม (Suffled Frog Leaping Algorithms), พาร์ทิเคิลสวอมออฟติไมเซชั่น (Particle Swarm Optimisation) เป็นต้น ซึ่งการทำงานหลักๆ ของวิธีการเหล่านี้จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการ คือ จะมี

การหาคำตอบด้วยการสุ่ม และมีการวนรอบการทำงานซ้ำ (Iteration) ดังนั้นคำตอบที่ได้ในแต่ละครั้งและแต่ละรอบการทำงาน จะไม่เท่ากันเนื่องมาจากเป็นการหาคำตอบโดยอาศัยหลักการสุ่ม

2.3.2.1 ฮาร์โมนี เสิร์ช อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm)

ฮาร์โมนี เสิร์ช อัลกอริทึม (Harmony Search Algorithm) ถูกคิดค้นโดย Dr.Zong Woo Geem ในปี 2001 โดยจากการที่ Dr.Zong Woo Geem มีความสนใจในการเล่นดนตรี และใฝ่ฝันที่จะเป็นนักดนตรี จึงเกิดแนวคิดจากการแต่งเพลง ในการที่จะหาตัวโน๊ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิด

ขั้นตอนการทำงานของ ฮาร์โมนี เสิร์ช มีดังนี้

ก. สร้าง Harmony Memory สำหรับจำตัวโน๊ตต่างๆ ที่เคยเล่นมาแล้ว โดยกำหนดจำนวนของ Harmony Size ตอนเริ่มต้น (มีจำนวนระหว่าง 10 - 100)

ข. พัฒนา Harmony ตัวใหม่ โดยร้อยละ 95 พัฒนาจาก Harmony Memory และร้อยละ 5 จากการพัฒนาด้วยตัวเอง จากนั้นกำหนด Pitch Adjustment Rate โดยที่จะกำหนดประมาณร้อยละ 70 จาก Harmony Memory และร้อยละ 40 สำหรับการพัฒนาด้วยตนเอง

ค. ทำการเปรียบเทียบ โดยดูจาก ถ้า New Harmony ดีกว่าตัวที่แย่ที่สุดของ Harmony Memory ตัวที่แย่ที่สุดก็จะแทนตัวนั้น

ง. เมื่อครบกำหนดตามจำนวน Harmony Size และ Iteration แล้วจะหยุดการทำงาน แล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดของทุก Harmony เป็นคำตอบ

2.3.2.2 จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

แนวคิด จีเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm) ถูกคิดค้นเมื่อปี 1975 โดย John Holland ซึ่งได้นำแนวคิดมาจากหลักการวิวัฒนาการ และกระบวนการคัดสรรแบบเป็นธรรมชาติของ Charls Darwin การทำงานของ GA นี้มีพื้นฐานอยู่บนวิวัฒนาการทางชีววิทยา

ขั้นตอนการทำงานของ Genetic Algorithm มีดังนี้

ก. กำหนดค่าพารามิเตอร์ เช่น จำนวนประชากร, รุ่นของประชากร

ข. สุ่มค่าจำนวนประชากร

ค. หาค่า Fitness Function

ง. เรียงลำดับคำตอบที่ได้

จ. คัดสรรโครโมโซมที่เป็นพ่อแม่

ฉ. GA Operation Croossover หรือ Mutation ซึ่งเราสามารถกำหนดให้ขั้นตอนต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนานก็ได้

ช. นำโครโมโซมลูกที่ดีไปแทนที่หรือรวมกับตัวที่แย่ที่สุดของประชากรรุ่นแรก

ซ. ทำซ้ำ ในขั้นตอนที่ 5, 6, 7 ให้ครบตามจำนวน Generation ที่กำหนดไว้

2.3.2.3 มีมีติก อัลกอริทึม (Memetic Algorithm)

วิธีการนี้ได้แนวคิดมาจากทฤษฎี Memetics ของ Dawkins ในปี 1976 ซึ่ง กระบวนการ Memetic เป็นกระบวนที่ผสมผสานระหว่าง Genetic Algorithm กับการค้นหาแบบเฉพาะที่ (Local Search) โดยในวิธี GA จะแทนคำตอบของปัญหาว่า โครโมโซม หรือ Fitness Function แต่ในวิธี MA นั้น จะแทนคำตอบของปัญหาว่า มีมี ขั้นตอนการทำงานของ GA ก็จะคล้ายกับของ MA กล่าวคือ มีการหาคำตอบของปัญหาด้วยการสุ่ม แทนเป็น มีมี แล้วทำการสลับสายพันธ์เพื่อสร้างคำตอบใหม่ จากนั้นทำการค้นหาแบบเฉพาะที่โดยอาจจะใช้วิธีการจัดกลุ่มของโนดใกล้เคียงเพื่อที่จะพัฒนาคำตอบที่แย่ที่สุด หรือรักษาคำตอบที่ดีที่สุดก็ได้ ขึ้นอยู่กับเทคนิคในการทำ Local Search หลังจากนั้นทำการคำนวณค่า Fitness Function อีกครั้งหนึ่งแล้วเก็บค่า เพื่อทำการเปรียบเทียบกับรอบการทำงานก่อน เพื่อเป็นการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่อไป

2.3.2.4 ซัฟเฟิลฟร็อกลิปปิง อัลกอริทึม (Suffled Frog Leaping Algorithms)

เทคนิคนี้เป็นวิธีการที่ศึกษาและคัดสรรความแข็งแรงของกบ ถูกคิดค้นโดย Eusuff, M. M., et al ขั้นตอนของ SFL จะเริ่มจากทำการกำหนดจำนวนกบ และกำหนดค่าความแข็งแรงของกบแต่ละตัว แล้วให้เรียงลำดับความแข็งแรงของกบจากมากไปน้อย จากนั้นแบ่งกลุ่มของกบเป็นกลุ่มย่อย ซึ่งจะเรียกว่า มีมีเพล็ก (Memeplex) โดยในแต่ละ มีมีเพล็ก จะถูกจัดสรรจำนวนกบเข้าไป ผลรวมของกบที่บรรจุลงไปใน มีมีเพล็ก จะเท่ากับจำนวนกบที่จัดสรรไว้ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นหลังจากนั้นให้หาค่าความแข็งแรงของกบในแต่ละมีมีเพล็ก แล้วเรียงลำดับความแข็งแรงของกบ ต่อไปทำการปรับปรุงกบตัวที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดในแต่ละมีมีเพล็ก โดยตรวจสอบความแข็งแรงของกบตัวนั้น ถ้าน้อยที่สุดก็กำจัดกบตัวนั้นออกไปจากมีมีเพล็ก ทำซ้ำไปจนครบรอบการที่กำหนด

2.3.2.5 พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation)

พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation) เป็นวิธีการพัฒนาการเรียนรู้ ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการ จีเนติก อัลกอริทึม, มีมีติก อัลกอริทึม ที่ใช้การวิวัฒนาการหรือคัดสรรสายพันธุ์ วิธีการ PSO ถูกพัฒนาโดย Eberhart และ Kennedy ในปี 1995 เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์หรือทางวิศวกรรม ซึ่งเทคนิคนี้มีแนวคิดมาจากการหาอาหารของนก หรือปลา และทฤษฎีการเคลื่อนที่ (Velocity Theory) ที่ต้องมีการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่ม และการเว้นระยะห่างระหว่างนกหรือปลาแต่ละตัว ซึ่งจะเรียกว่า Particle

2.4 พาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation)

2.4.1 รายละเอียดทั่วไปของ Particle Swarm Optimisation

Particle Swarm Optimisation ถูกพัฒนาโดย Eberhart และ Kennedy ในปี 1995 จะประกอบไปด้วยกลุ่มของประชากร ที่เรียกว่า Particle โดยแต่ละ Particle จะมีการสำรวจบริเวณค่าคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา ซึ่งจะประกอบด้วย ตำแหน่งของตนเอง (Position) และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity) โดยในแต่ละรอบที่ทำการค้นหาคำตอบก็จะทำการปรับปรุงอัตราความเร็วไปด้วย เพื่อที่จะปรับปรุงค่าของตำแหน่ง ให้ได้ตำแหน่งที่ดีที่สุดหรือก็คือ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั่นเอง ซึ่งการเคลื่อนที่ (Swarm) เป็นกลุ่ม จะต้องประกอบด้วยคุณสมบัติพื้นฐาน 5 ประการ ได้แก่

2.4.1.1 Proximity Principle

คือ หลักการเคลื่อนที่ ให้สัมพันธ์กันในทุกช่วงเวลาจะต้องมีการรักษาระยะห่างระหว่างกันไว้ เพื่อป้องกันการชนกันของแต่ละ Particle

2.4.1.2 Quality Principle

คือ หลักการปรับตัว หรือการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทุกสภาวะแวดล้อม

2.4.1.3 Diverse Principle

คือ ความหลากหลายของคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมนั้นจะต้องมีความหลากหลาย ไม่ยึดติดกับคำตอบใดคำตอบหนึ่ง

2.4.1.4 Stability Principle

คือ หลักการมีเสถียรภาพทางพฤติกรรมของแต่ละ Particle ซึ่งพฤติกรรมของสมาชิกในสังคม จะไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อม

2.1.4.5 Principle of Adaptability

คือ หลักการปรับปรุงพัฒนาตนเอง สามารถคำนวณค่าคำตอบที่เหมาะสมได้

2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของ Particle Swarm Optimisation (รูปที่ 2.3) มีดังนี้

2.4.2.1 กำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ ดังนี้

ก. จำนวนพาร์ติเคิล (Number of Particles: P)

ข. จำนวนรอบ (Number of Iterations: I)

ค. ค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight: ω)

ง. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best: C_1)

จ. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best: C_2)

2.4.2.2 สร้าง Particle เริ่มต้น

กำหนดรูปแบบของคำตอบซึ่งถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของ Array โดย Particle หนึ่งตัวจะแทนด้วย Array หนึ่งชุด

2.4.2.3 ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละ Particle

การประเมินค่าความเหมาะสมนี้ จะประเมินโดยใช้สมการฟังก์ชันเป้าหมาย (Fitness Function) ซึ่งการประเมินดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา

2.4.2.4 เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมา (Pbest)

ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Pbest ให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้ให้เป็น ค่า Pbest ใหม่ และเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของทั้งหมด (Gbest) ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Gbest ในรอบการทำงานที่ผ่านมา ให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมเป็นค่า Gbest ใหม่

2.4.2.5 ปรับปรุงค่าของอัตราความเร็ว (Velocity) ในการบิน

เป็นการปรับปรุงค่าอัตราความเร็วในรอบการทำงานของแต่ละ Particles ด้วยสมการ

$$v_{Id} = \omega_{id} * v_{id} + c_1 * rand() * (p_{id} - x_{id}) + c_2 * Rand() * (p_{gd} - x_{id}) \qquad (2.10)$$

โดย v_{Id} = อัตราเร็วในรอบใหม่

ω_{id} = ค่าถ่วงน้ำหนัก

v_{id} = อัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา

c_1 = ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง

c_2 = ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม

x_{id} = ค่าตำแหน่ง หรือรูปแบบค่าคำตอบ

p_{id} = ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง (Pbest)

p_{gd} = ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Gbest)

$rand()$ และ $Rand()$ = ค่าสุ่มจาก 0 ถึง 1

2.4.2.6 ปรับปรุงค่าของตำแหน่ง (Position)

เป็นการปรับปรุงค่าของตำแหน่งในรอบการทำงานของแต่ละ Particle ด้วยสมการ

$$x_{ld} = x_{id} + v_{id} \quad (2.11)$$

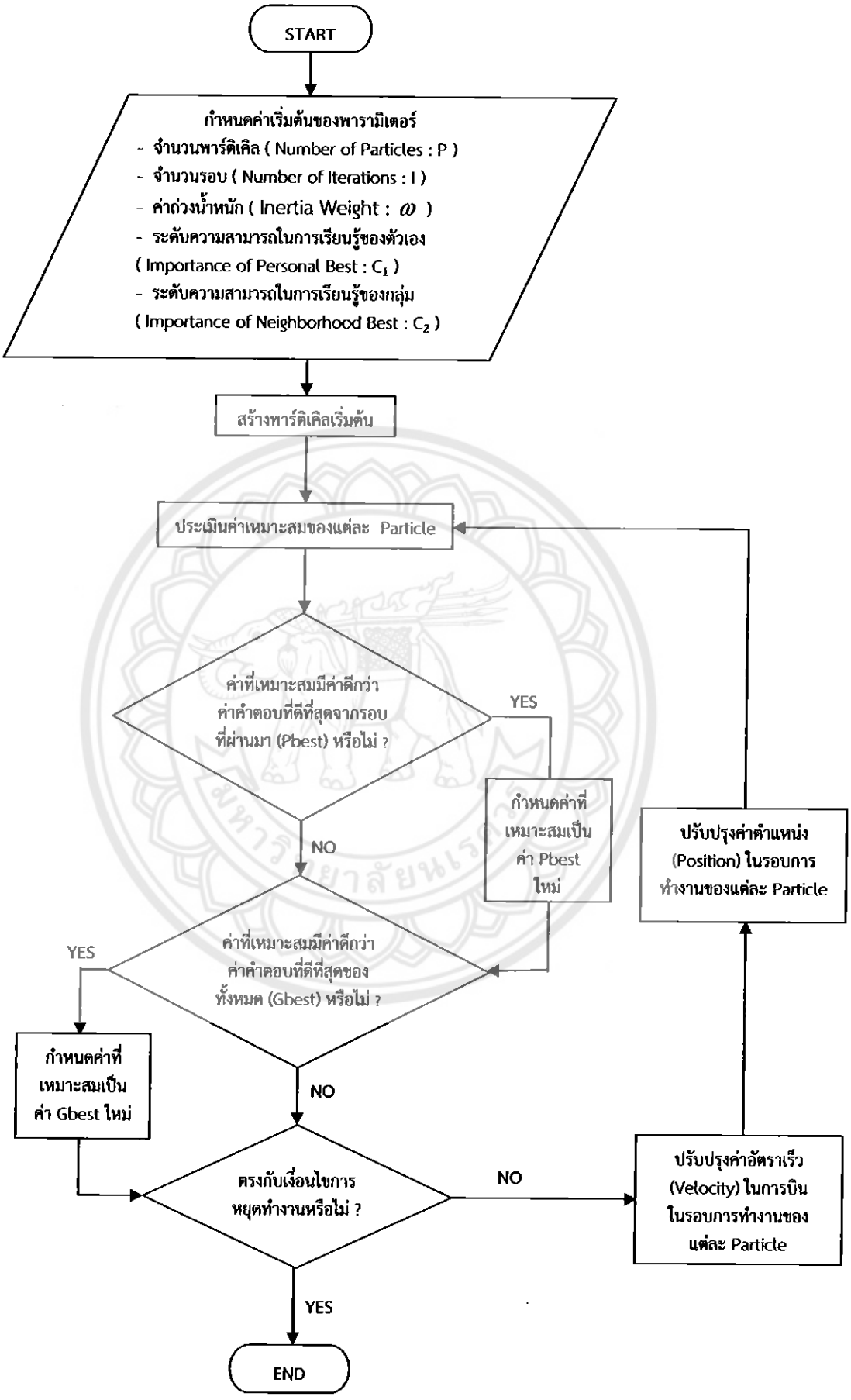
โดย x_{ld} = ค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบใหม่ที่หาได้

x_{id} = ค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ผ่านมา

v_{id} = ค่าอัตราเร็ว

2.4.2.7 วนรอบการทำงานทั้งหมด

จะต้องวนจนครบทุก Particle เพื่อที่จะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่ม หรือตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำงานของ PSO

2.5 Total Command Language และ Toolkit (Tcl&Tk)

2.5.1 Total Command Language (Tcl)

Tcl (อ่านว่า tickle) มาจากคำว่า Tool Command Language เป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องทำงานภายใต้ Tcl shell (tclsh) ถูกพัฒนาโดย John K. Outsterhoot ที่ University of California Tcl/Tk หนึ่งภาษาสามารถใช้งานได้หลายอย่าง สามารถพัฒนา GUI โดยใช้ TK

Tcl/Tk สามารถทำงานบน web browser ที่สร้างมาจาก Netscape และ Microsoft สามารถนำมาใช้งานแทน JavaScript และ VBScript ได้ โดยที่ Tcl/Tk เป็น CGI ที่สามารถทำงานฝั่ง Server และเป็นภาษาที่ยืดหยุ่น ลักษณะเด่น คือ Tcl เป็นภาษาที่ง่าย เป็น open-source สามารถทำงานได้ในหลายระบบปฏิบัติการ เช่น Unix Macintosh และ Window และ Tcl มีลักษณะของการนำคำสั่งมาใช้ใหม่ (macro language) และสามารถเพิ่มฟังก์ชันใหม่ๆได้โดยง่าย

2.5.2 Toolkit (Tk)

Tk (อ่านว่า tee-kay) มาจากคำว่า Toolkit ใช้สำหรับสร้างกราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟสบน X Windows System ที่ทำงานภายใต้ Windowing Shell (Wish) Tk เป็น Extension หนึ่งของ Tcl มีประโยชน์ในการจัดการ Graphical User Interface โดยเฉพาะในการโปรแกรมบน X Windows System บน UNIX แต่ในปัจจุบันนั้น สามารถทำงานได้บน MS Windows และ Mcintosh ได้ด้วย

โปรแกรม Tk ทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมของ Windows ผู้ใช้สามารถเริ่มต้นได้โดยการใช้โปรแกรม Wish ภายใต้ Graphics Environment ของระบบปฏิบัติการนั้นๆ โดยใช้ทำงานร่วมกันกับ Tcl และจะใช้ Tk ในการจัดการกับ Interface Elements ต่างๆ

2.5.3 Tcl Shell

Tcl Shell เป็น Shell ของ Tcl สำหรับการอ่านคำสั่งต่างๆ ของ Tcl จาก Standard Input หรือ File แล้วทำการตีความคำสั่งนั้นๆ ถ้าหากเรียกใช้งาน Tclsh โดยปราศจาก Argument จะเป็นการใช้ Tcl แบบ Interactive หากเรียกโดยมี Argument เป็นชื่อไฟล์ Script จะเป็นการใช้แบบ Non – Interactive เมื่อมีการเรียกใช้ Tclsh จะมีพรอมต์% สำหรับสั่งงานด้วยคำสั่ง Tcl และจะออกจาก Tclsh เมื่อได้รับคำสั่ง Exit

2.5.4 ข้อดีของ Tcl/Tk

2.5.4.1 Easy to learn

Tcl เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้ง่าย สำหรับนักเขียนโปรแกรมที่มีประสบการณ์สามารถเรียนรู้ Tcl และพัฒนาโปรแกรมด้วย Tcl ได้อย่างรวดเร็ว

2.5.4.2 Cross - platform Support

Tcl สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ UNIX, Windows, Macintosh และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่มีใช้กันแพร่หลาย

2.5.4.3 Ready for Enterprise

Tcl เป็นภาษาที่มีความเสถียรภาพสูง เหมาะสำหรับแอปพลิเคชั่นขนาดใหญ่และวัตถุประสงค์อื่นๆ ขององค์กร

2.5.4.4 Flexible Integration

Tcl จะเป็นการง่ายที่จะประสานกับองค์ประกอบ (Component) และโปรแกรมอื่นที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.4.5 Network – aware Applications

Tcl สามารถทำการสร้างเครื่องให้บริการและเครื่องลูกข่ายได้ในเวลาเพียง 2 - 3 นาที ด้วย Code เพียงไม่กี่บรรทัด เพราะ Tcl มีวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอปพลิเคชั่นเดิม

2.5.4.6 It's Free

Tcl เป็นฟรีโปรแกรม สามารถหาได้ที่ Tcl Developer Xchange และสามารถทำการแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการของนักพัฒนาได้

2.6 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

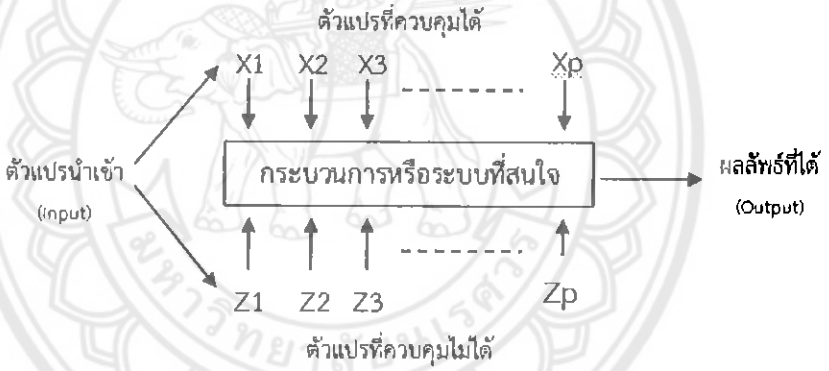
การทดลองในแต่ละครั้งมักจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง และเพื่อทำการหาข้อสรุปถึงผลกระทบที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น จึงต้องมีการนำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วย ซึ่งวิธีการทางสถิตินั้นเป็นวิธีการที่ช่วยสร้างความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งทั้งสองขั้นตอนดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างมาก เพราะการออกแบบการทดลองที่ดีจะทำให้การวิเคราะห์ผลทางสถิตินั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

2.6.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental)

การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้ หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

ดังนั้น การออกแบบการทดลอง หมายถึง การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้าในระบบ เพื่อทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ ซึ่งตามปกติการทดลองจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ (Output or Responses) โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors)" และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables (Factor))" ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง เป็นต้น

การนำหลักการของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง จะทำให้การทดลองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสม และสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองอันสมบูรณ์ ซึ่งพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Levels) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ โดยจะทำการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด เช่น ในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ซึ่ง A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้นในการทดลอง 1 การทำซ้ำ (Replicate) จะประกอบไปด้วยการทดลองรวมทั้งหมด ab การทดลอง ซึ่งผลกระทบของปัจจัยจะสามารถอธิบายได้ในลักษณะของผลกระทบหลักหรืออิทธิพลหลัก (Main Effect) หรืออธิบายในลักษณะของการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัย ซึ่งผลกระทบหลัก คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนองที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ส่วนการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย คือ ผลตอบสนองที่ได้ในแต่ละระดับของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ ด้วย

วัตถุประสงค์หลักของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล คือ การสำรวจศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย ซึ่งการทดลองเชิงแฟกทอเรียลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการทดลอง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีหลัก คือ การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) และ การทดลองแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะเน้นที่การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป ในกรณีปัจจัยที่ 3 ระดับเท่านั้น หรือเรียกว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k (3^k Factorial Experimental Design)

2.6.2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k (3^k Factorial Experimental Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กรณีที่มีปัจจัยที่ต้องการพิจารณา k ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยการแทนระดับสูง ด้วย 1, ระดับกลาง ด้วย 0 และระดับต่ำ ด้วย -1 ดังตารางที่ 2.1 โดยจำนวนของการทำซ้ำ (Replicate) ในการทดลองนี้เป็น $3\times3\times3\times\ldots\times3=3^k$ จึงเรียกการทดลองนี้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k

ตารางที่ 2.1 แสดงการกำหนดปัจจัย (k) และระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ

Factors	3 Level of Factors		
	Low Level (-1)	Intermediate Level (0)	High Level (1)
A	Value 1	Value 2	Value 3
B	Value 1	Value 2	Value 3
⋮	⋮	⋮	⋮
k	Low Level k	Intermediate Level k	High Level k

ที่มา : Montgomery, 1997

2.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (The Statistical Analysis of the Data)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลโดยไม่เจาะจงข้อมูลค่าใดค่าหนึ่ง มีประโยชน์ในการศึกษาและการวัดที่มีความต้องการข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเอาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) และการทดสอบความแตกต่างของประชากรสองกลุ่ม (Two – Groups Differential Test)มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

2.6.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within – Group Variance) และความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between – Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มแตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย ส่วนความแปรปรวนภายในกลุ่มนั้น เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้ เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ A และ B ซึ่ง A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล โดยในแต่ละรอบการทำซ้ำ (Replication) ของการทดลองจะประกอบไปด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง ปกติจะมีจำนวนรอบ ทั้งหมด n ครั้ง รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย และมีการวนซ้ำทั้งหมด n ครั้ง เมื่อกำหนดให้ y_{ijk} คือ ผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากระดับที่ i ของปัจจัย A (เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., a) และระดับที่ j ของปัจจัย B (เมื่อ j = 1, 2, 3, ..., b) สำหรับรอบการทำซ้ำที่ k (เมื่อ k = 1, 2, 3, ..., n) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียล กรณี 2 ปัจจัย

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \ldots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \ldots, y_{12n}$	...	$y_{1b1}, y_{1b2}, \ldots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \ldots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \ldots, y_{22n}$	...	$y_{2b1}, y_{2b2}, \ldots, y_{2bn}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	A	$y_{a11}, y_{a12}, \ldots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \ldots, y_{a2n}$	...	$y_{ab1}, y_{a2b}, \ldots, y_{abn}$

ที่มา : ณัฏฐพงศ์ คำขาด, 2551

จากตารางที่ 2.2 สามารถนำมาเขียนในรูปแบบจำลอง**สถิติเชิงเส้น** (Linear Statistical Model) ได้ดังนี้

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (2.12)$$

เมื่อ i = 1, 2, 3, ..., a

j = 1, 2, 3, ..., b

k = 1, 2, 3, ..., n

โดยที่

y_{ijk} หมายถึง ผลตอบสนองที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j ในรอบที่ k

μ หมายถึง ค่าผลกระทบเฉลี่ยรวม (Overall Mean Effect)

τ_i หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A

β_j หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ j ของปัจจัย B

$(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i กับ β_j

ε_{ijk} หมายถึง ค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error Component) ที่มาจากแหล่งความแปรปรวนทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง

เนื่องจากมีการทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตจะเท่ากับ abn จำนวน (Montgomery, 1997)

ตารางที่ 2.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effects Model

Source of Variation	DF	Sum of Square	Mean Square	F
ปัจจัย A	a -1	$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
ปัจจัย B	b -1	$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{i=1}^{b} y_{j..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
AB	(a -1)(b -1)	$SS_{AB} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	ab(n-1)	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	abn-1	$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$		

ที่มา : ณัฏฐพงศ์ คำขาด, 2551

จากตารางที่ 2.3 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งจะประกอบด้วย แหล่งความแปรปรวน (Source of Variation) ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square: SS) ค่าองศาเสรีหรือระดับความอิสระ (Degree of Freedom: DF) ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square: MS) และค่า F (F Value) เมื่อ F เป็นตัวสถิติที่อธิบายถึงความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย (MS_A) เมื่อ A คือ ปัจจัยซึ่งหารด้วยค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (MS_E) และค่า F เป็นค่าที่บอกถึงค่า P – Value เป็นการบอกถึงระดับความเชื่อมั่นที่เป็นไปได้อย่างน้อย 1 ระดับที่มีความแตกต่างไปจากระดับอื่น ซึ่งมีค่านัยสำคัญทางสถิติและใช้สัญลักษณ์ α เป็นตัวกำหนดระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level)

2.6.3.2 การทดสอบค่าเอฟ (F - test)

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรโดยใช้ T – test จะต้องมีการพิจารณาถึงความแปรปรวนของประชากรว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ ซึ่งในการทดสอบว่า ความ

แปรปรวนของประชากรจะแตกต่างกันหรือไม่นั้น จะต้องใช้การทดสอบความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติทดสอบเอฟ (F - test) โดยมีข้อตกลงดังต่อไปนี้

ก. กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน

ข. ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

ค. ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน

ขั้นตอนในการทดสอบค่าเอฟ (F - test)

ก. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบเอฟ

ข. กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบแบบสองทิศทาง

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

การทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ หรือ $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

ค. กำหนด α

ง. คำนวณหาค่าสถิติ F จากสูตร

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \qquad (2.13)$$

มีองศาเสรี $DF_1 = n_1 - 1$ และ $DF_2 = n_2 - 1$

จ. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า F วิกฤต ที่ F_{α, DF_1, DF_2}

ง. สรุปผลการทดสอบ

ถ้า $F \geq F$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0

ถ้า $F < F$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.6.3.3 การทดสอบความแตกต่างของประชากรสองกลุ่ม (Two – Groups Differential Test : T - test)

การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะมีข้อตกลงดังต่อไปนี้

ก. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่ม และเป็นอิสระจากกัน

ข. ทราบค่าความแปรปรวน

ค. การแจกแจงประชากรเป็นโค้งปกติ

การตั้งสมมติฐาน

ถ้าให้ $\mu_0 = \mu_1 - \mu_2$ การตั้งสมมติฐานอาจจะอยู่ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังนี้

$H_0 : \mu_0 = 0, H_1 : \mu_0 \neq 0$ หรือ

$H_0 : \mu_0 \leq 0, H_1 : \mu_0 \geq 0$ หรือ

$H_0 : \mu_0 \geq 0, H_1 : \mu_0 \leq 0$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตัว t ดังสมการที่ 2.13

$$t_0 = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{S_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \qquad (2.14)$$

มีองศาเสรี (DF) = n-1

ขอบเขตที่จะปฏิเสธสมมติฐาน

ก. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_0 = 0, H_1 : \mu_0 \neq 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบสองทาง และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ก็ต่อเมื่อ $t > t_{\alpha/2(n-1)}$ หรือ $t < t_{\alpha/2(n-1)}$

ข. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_0 \leq 0, H_1 : \mu_0 \geq 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบทางเดียว (ข้างขวา) และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ก็ต่อเมื่อ $t > t_{\alpha/2(n-1)}$

ค. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_0 \geq 0, H_1 : \mu_0 \leq 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบทางเดียว (ข้างซ้าย) และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ก็ต่อเมื่อ $t < -t_{\alpha/2(n-1)}$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 คมสัน พิมลยรรยง (2551) ได้นำเอา Ant Algorithm มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ซึ่งพบว่าวิธีการทำงานของ Ant Algorithm สามารถหาค่าคำตอบที่เหมาะสมได้ดีในระดับหนึ่ง

2.7.2 หฤทัย ศุภพฤกษพงศ์ (2546) ได้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์โดยการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ โดยได้ทำการเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการประกอบ 2 แบบ คือ การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว และการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ และทำการเปรียบเทียบระหว่าง วิธี COMSOAL และวิธีปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งผลิตจอแสดงภาพ (Monitor) โดยการนำเทคนิคการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผล

15910687
ม.5.
ว152ก
2554

2.7.3 จงกล เอี่ยมมิ (2543) ได้นำเอาเจนเนติกอัลกอริทึม มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมกับวิธีการของ COMSOAL พบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ได้

2.7.4 ณัฏฐพงศ์ คำขาด (2551) ได้ใช้ PSO ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS โดยได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงค่าอัตราเร็ว ระหว่างวิธี Swap Operation (SO) กับวิธี Adjustment Operation (AO) ซึ่งพบว่า PSO ที่ใช้รูปแบบการปรับปรุงค่าอัตราเร็วด้วยวิธี SO สามารถค้นหาค่าคำตอบได้ดีกว่าวิธี AO

2.7.5 Charles Elegbede (2004) ได้ศึกษาการกำหนดค่าของตัวแปร ω, C_1 และ C_2 ในการทำงานของ PSO ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการประเมินความน่าเชื่อถือทางโครงสร้าง ด้วยดรรชนีการวัดความน่าเชื่อถือ พบว่า ω ควรจะมีค่าเท่ากับ 0.75, C_1 ควรมีค่าเท่ากับ 1.5 และ C_2 ควรจะมีค่าเท่ากับ 1.2 และนอกจากนี้จำนวนพาร์ทิเคิลที่เหมาะสมในการหาค่าคำตอบเท่ากับ 70 พาร์ทิเคิล และจำนวนรอบที่เหมาะสมคือ 990 รอบ

2.7.6 Kang - Ping Wang et al. (2003) ได้นำเอาวิธีการปรับปรุงค่าอัตราความเร็ว ที่เรียกว่า Swap Operation (SO) ของวิธี PSO โดยทำการทดลองกับปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน พบว่า Swap Operation สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบของ PSO ซึ่งสามารถค้นหาค่าคำตอบได้รวดเร็วขึ้น

2.7.7 Cuiru Wang et al. (2005) ได้นำเอาวิธีการปรับปรุงค่าอัตราความเร็วแบบใหม่ ที่เรียกว่า Adjustment Operation (AO) มาทดลองในวิธี PSO โดยทำการทดลองกับปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงค่าอัตราความเร็วด้วยวิธี Swap Operation ปรากฏว่า การปรับปรุงค่าอัตราความเร็วด้วยวิธี Adjustment Operation สามารถค้นหาค่าคำตอบได้รวดเร็วกว่าวิธี Swap Operation แต่ Cuiru Wang et al. ได้กล่าวไว้ว่าในปัญหาอื่นอาจจะได้ผลของการเปรียบเทียบแตกต่างกันได้

2.7.8 Hesuan Hu, Zhiwu Li, and Weidong Wang (2005) ได้นำวิธี PSO มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการหยุดนิ่งอยู่กับที่ ในการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบ FMS ซึ่งพบว่า PSO สามารถแก้ปัญหาการหยุดนิ่งโดยลดเวลาในกระบวนการผลิตลงได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลและบทความที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

ในโครงงานนี้จะใช้ปัญหาแบบ SALBP - 1 เป็นหลักคือ การกำหนดรอบการผลิตแต่ไม่กำหนดจำนวนสถานีงานแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ

3.1.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก 2 ตัวอย่าง คือ 6 งาน และ 11 งาน

3.1.1.2 ปัญหาขนาดกลาง 2 ตัวอย่าง คือ 31 งาน และ 39 งาน

3.1.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่ 1 ตัวอย่าง คือ 54 งาน

นอกจากนี้ ยังใช้ปัญหาจากกรณีศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ชนิดโน๊ตบุ๊ค ซึ่งถูกศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยเป็นปัญหาขนาดเล็ก คือ 13 งาน (ซึ่งรายละเอียดของทุกปัญหาสามารถดูได้จากภาคผนวก)

ตารางที่ 3.1 ปัญหาที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่องาน	รายละเอียดของปัญหา
1	6 งาน	เป็นปัญหาขนาดเล็ก โดยมีการกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ ซึ่งจะมีรอบการผลิตเท่ากับ 7 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 5 สถานี
2	11 งาน	เป็นปัญหาขนาดเล็ก มีการกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ ซึ่งจะมีรอบการผลิตเท่ากับ 10 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 7 สถานี
3	13 งาน	เป็นปัญหาขนาดเล็ก โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ มีรอบการผลิตเท่ากับ 12.78 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 7 สถานี
4	31 งาน	เป็นปัญหาขนาดกลาง มีการกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ โดยมีรอบการผลิตเท่ากับ 100 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 12 สถานี

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ปัญหาที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่องาน	รายละเอียดของปัญหา
5	39 งาน	เป็นปัญหาขนาดกลาง มีการกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ โดยมีรอบการผลิตเท่ากับ 134 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 9 สถานี
6	54 งาน	เป็นปัญหาขนาดใหญ่ โดยมีการกำหนดเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานมาให้ ซึ่งจะมีรอบการผลิตเท่ากับ 100 นาที และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้เท่ากับ 11 สถานี

3.1.2 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Particle Swarm Optimisation (PSO)

3.1.2.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของ PSO ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. กำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ได้แก่ จำนวนพาร์ติเคิล (Number of Particles : P) จำนวนรอบ (Number of Iterations : I) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight : ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2)

ข. สร้างพาร์ทิเคิล (Particle) เริ่มต้น โดยการกำหนดรูปแบบของคำตอบซึ่งถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของ Array โดยพาร์ทิเคิล (Particle) หนึ่งตัวจะแทนด้วย Array หนึ่งชุด

ค. ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละพาร์ทิเคิล (Particle) โดยการประเมินค่าความเหมาะสมนี้ จะประเมินโดยใช้สมการฟังก์ชันเป้าหมาย (Fitness Function) ซึ่งการประเมินดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา

ง. เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดของประสบการณ์ที่ผ่านมา (Pbest) ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Pbest ให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมที่ได้ให้เป็น ค่า Pbest ใหม่ และเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของทั้งหมด (Gbest) ถ้าค่าคำตอบที่เหมาะสมมากกว่าค่า Gbest ในรอบการทำงานที่ผ่านมา ให้กำหนดค่าคำตอบที่เหมาะสมเป็นค่า Gbest ใหม่

จ. ทำการปรับปรุงค่าของอัตราความเร็ว (Velocity) ในการบิน ซึ่งเป็นการปรับปรุงค่าอัตราความเร็วในรอบการทำงานของแต่ละพาร์ทิเคิล (Particle) ด้วยสมการที่ 2.10

ฉ. ทำการปรับปรุงค่าของตำแหน่ง (Position) โดยปรับปรุงค่าของตำแหน่งในรอบการทำงานของแต่ละพาร์ทิเคิล (Particle) ด้วยสมการที่ 2.11

ช. วนรอบการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะต้องวนจนครบทุกพาร์ทิเคิล (Particle) เพื่อที่จะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่ม หรือตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

3.1.2.2 ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของ PSO ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO มีดังนี้

ก. จำนวนพาร์ติเคิล (Number of Particles : P)

ข. จำนวนรอบ (Number of Iterations : I)

ค. ค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight : ω)

ง. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1)

จ. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2)

3.1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Total Command Language (Tcl) / Toolkit (Tk)

3.1.3.1 ศึกษาการเขียน Source Code ใน Total Command Language (Tcl)

3.1.3.2 ศึกษา Toolkit (Tk) ซึ่งจะใช้ในการสร้าง Graphic User Interface (Gui)

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบโครงสร้าง

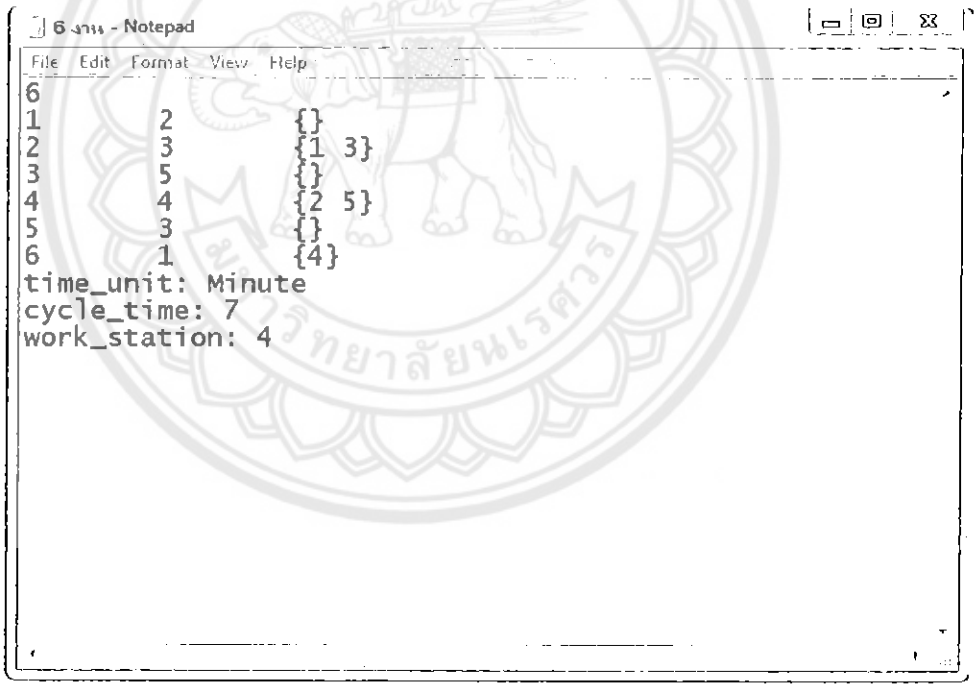
3.2.1 แฟ้มข้อมูลขาเข้า Input

3.2.1.1 ข้อมูลขาเข้าส่วนของปัญหา

เป็นฐานข้อมูลโดยใช้ Notepad เก็บรายละเอียดของข้อมูล โดยมี ชื่องาน (Name of Job) จำนวนงาน (Number of Job) เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (Task Times) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง (Precedence Relationship) หน่วยเวลา (Time Unit) รอบการผลิต (Cycle Time) และจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ (Workstation)

จำนวนงาน (N)		
ชื่องาน (1)	เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (1)	ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง (1)
ชื่องาน (2)	เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (2)	ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง (2)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
ชื่องาน (N)	เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (N)	ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลัง (N)
หน่วยเวลา		
รอบการผลิต		
จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้		

รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหา



รูปที่ 3.2 แสดงแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหาขนาด 6 งาน

3.2.1.2 ข้อมูลขาเข้าส่วนของ PSO

เป็นหน้าต่างโปรแกรมเพื่อรับค่าพารามิเตอร์ของพาร์ทิเคิล คือ จำนวนพาร์ทิเคิล (Number of Particles) จำนวนรอบ (Number of Iterations) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight : ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2)

3.2.2 แฟ้มข้อมูลขาออก Output

เมื่อโปรแกรมทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้ว จะแสดงออกมาในรูปแบบของหน้าต่างโปรแกรม ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

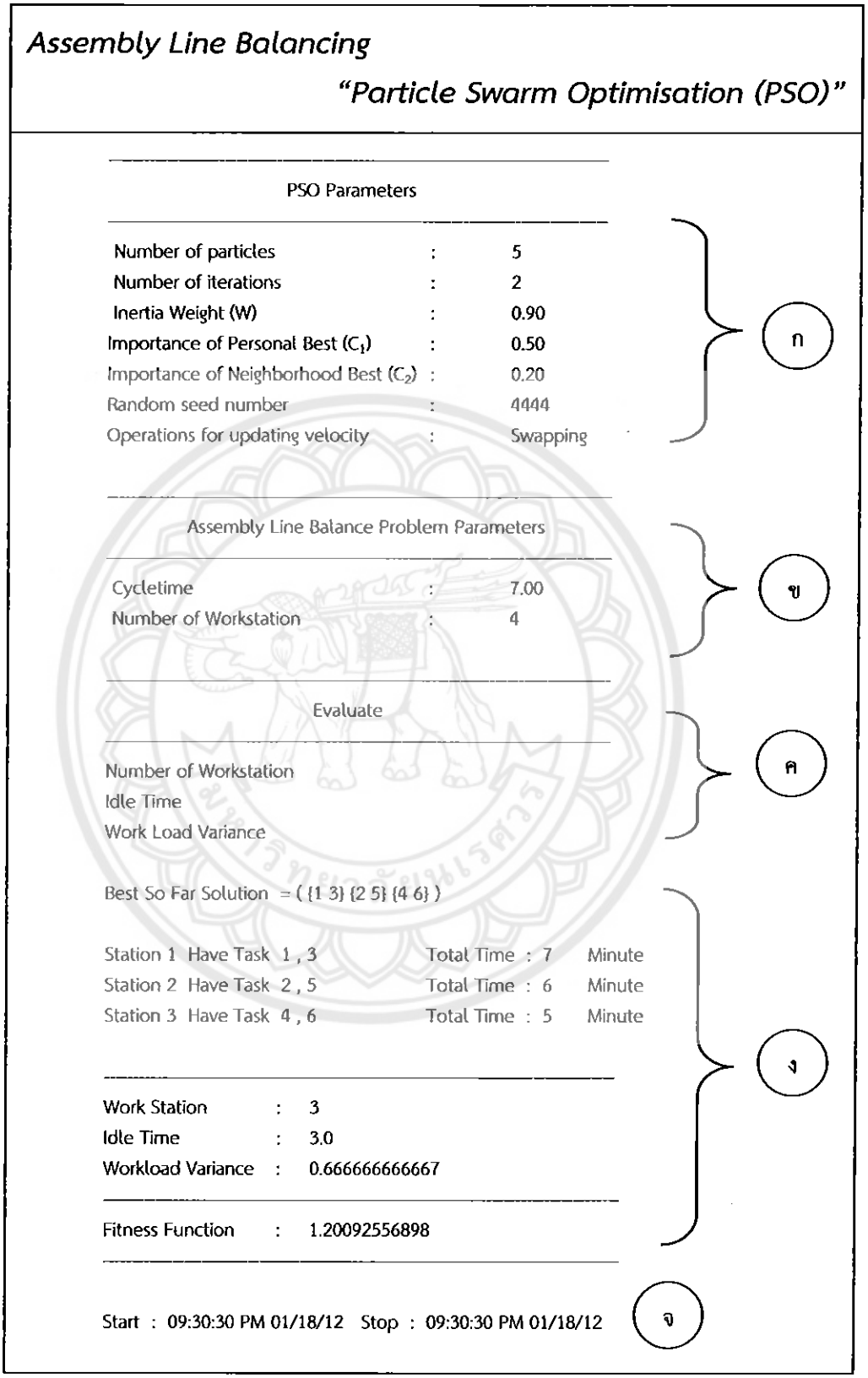
3.2.2.1 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ได้แก่ Number of Particles (จำนวนพาร์ทิเคิล), Number of Iterations (จำนวนรอบ), Inertia Weight : ω (ค่าถ่วงน้ำหนัก), Importance of Personal Best : C_1 (ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง), Importance of Neighborhood Best : C_2 (ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม), Random Seed Number และ Operations for Updating Velocity ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก)

3.2.2.2 แสดงการกำหนดค่าของปัญหา ได้แก่ Cycle Time และ Number of Workstation ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข)

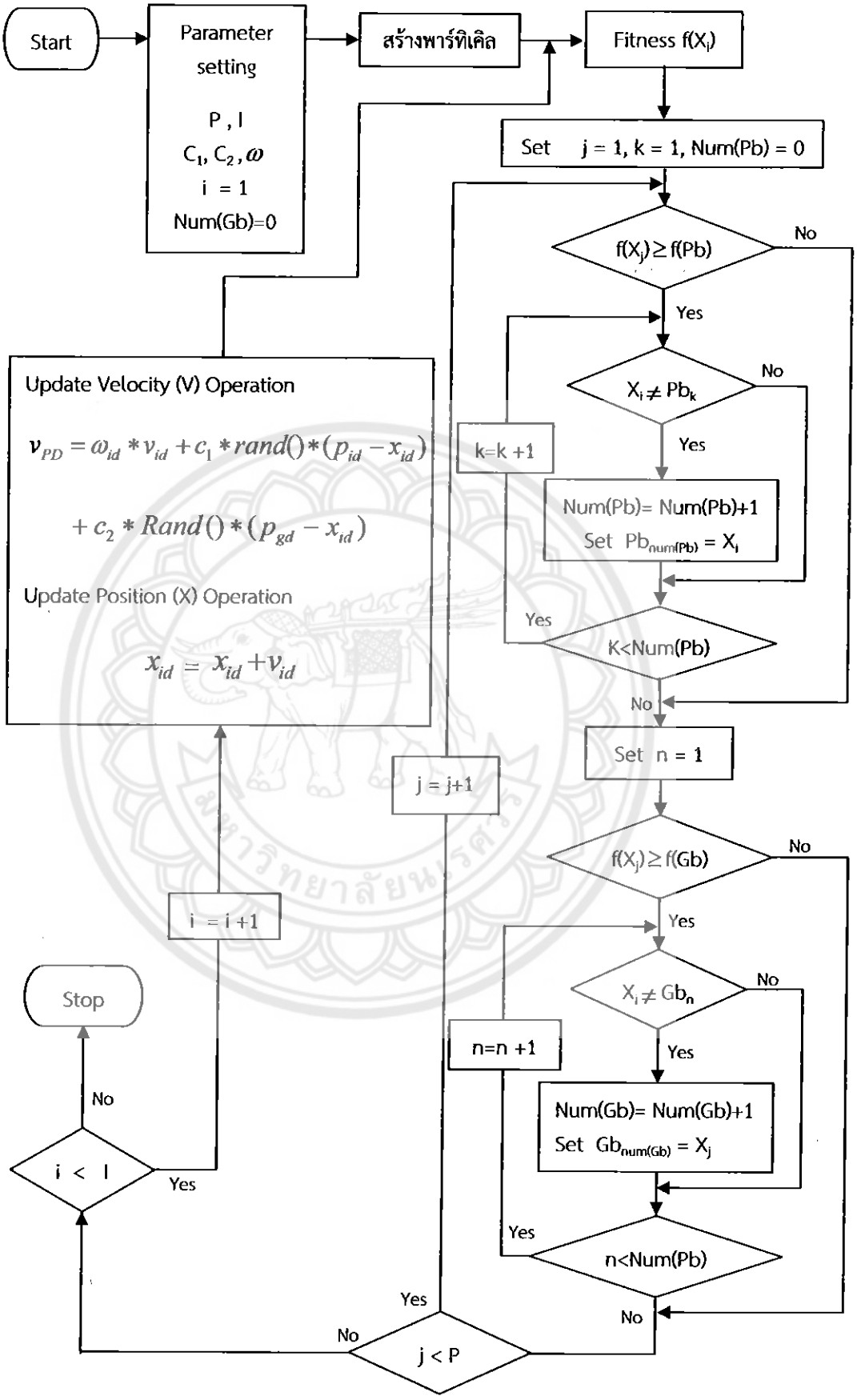
3.2.2.3 แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของคำตอบ เช่น ประเมินโดยใช้ Number of Workstation, Idle Time ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ค)

3.2.2.4 แสดงแสดงค่าคำตอบที่เหมาะสม, การจัดลำดับงาน, งานแต่ละงานที่ถูกมอบหมายให้กับสถานี, เวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงาน, จำนวนสถานีงาน, เวลาว่างงาน ค่าความแปรปรวนของภาระงาน และค่า Fitness Function ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ง)

3.2.2.5 แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของโปรมแกรมใน 1 รอบ ซึ่งจะอยู่ในรูป เวลาที่เริ่มประมวลผล และเวลาที่สิ้นสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (จ)



รูปที่ 3.3 แสดงแฟ้มข้อมูลขาออก Output



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของโปรแกรม PSO FOR ALBP

3.3 การเขียนโปรแกรม PSO สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

โปรแกรม PSO นี้ ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Tcl&Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งปัญหาที่นำมาใช้นั้นจะต้องประกอบไปด้วยรายละเอียดดังนี้ จำนวนงาน ชื่องาน เวลาที่งานแต่ละงานใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างงาน รอบเวลาการผลิต และจำนวนสถานีงาน ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม PSO โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 รับค่าแฟ้มข้อมูลขาเข้า Input

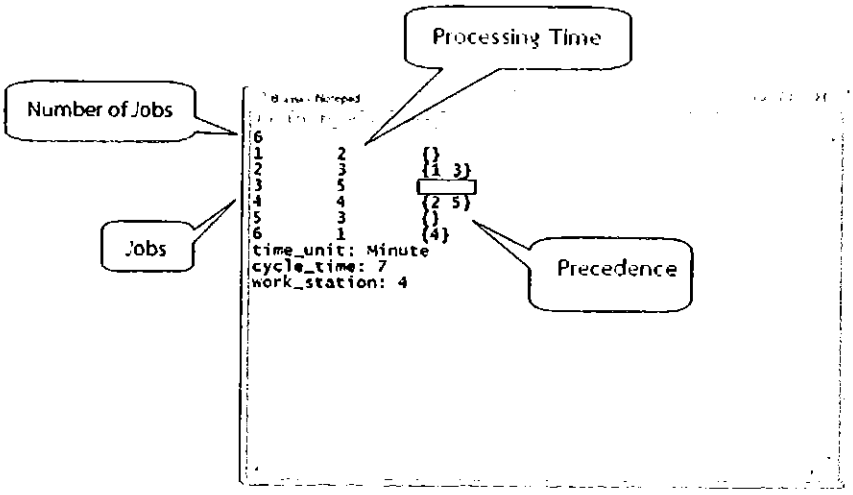
ในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะทำการรับค่าข้อมูลในส่วนของปัญหาซึ่งจะประกอบไปด้วย จำนวนงาน (No of Jobs) ชื่องาน (Jobs) เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (Processing Time) ความสัมพันธ์ของงาน (Precedence) รอบการผลิต (Cycle Time) หน่วยของเวลา (Time Unit) และจำนวนสถานีงาน (Workstation) ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.3.2 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

เมื่อทำการรับค่าข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยจะมีการตรวจสอบทั้งหมด 6 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

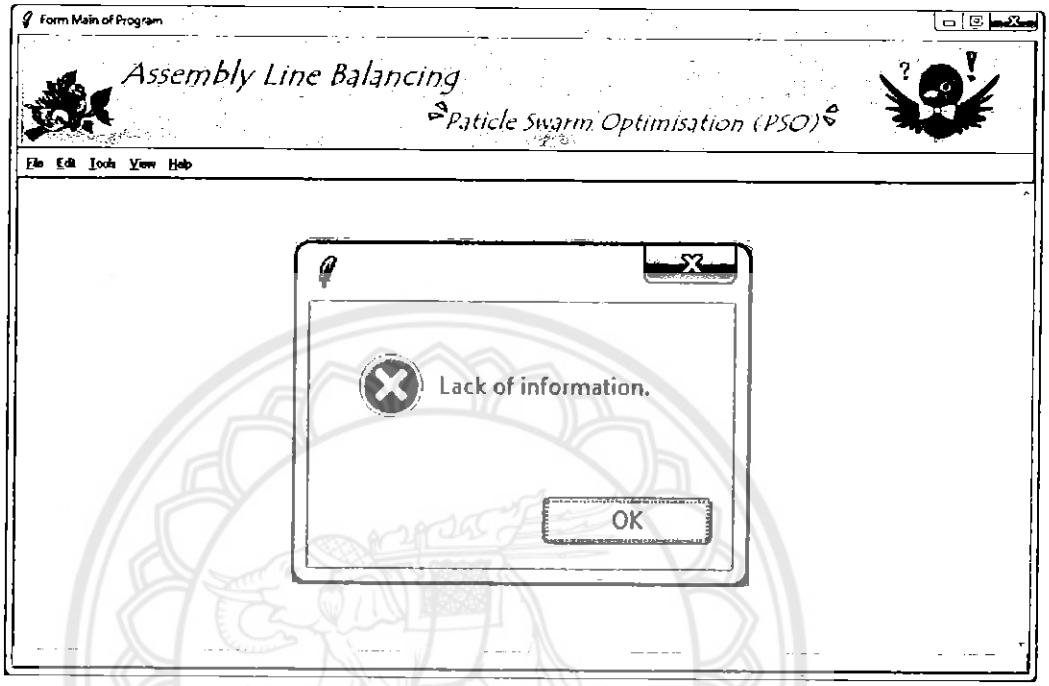
3.3.2.1 ตรวจสอบข้อมูล

การตรวจสอบข้อมูล เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่รับเข้ามานั้น ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ หรือเกินจากจำนวนที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งจะประกอบไปด้วย จำนวนงาน (Number of Jobs), ชื่องาน (Jobs), เวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (Processing Time) และงานก่อนหน้า (Precedence) โดยโปรแกรมจะทำงานก็ต่อเมื่อมีข้อมูลครบถ้วนตามจำนวนดังกล่าว ดังตัวอย่างปัญหาขนาด 6 งาน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงแฟ้มข้อมูลขาเข้าที่มีข้อมูลไม่ครบ

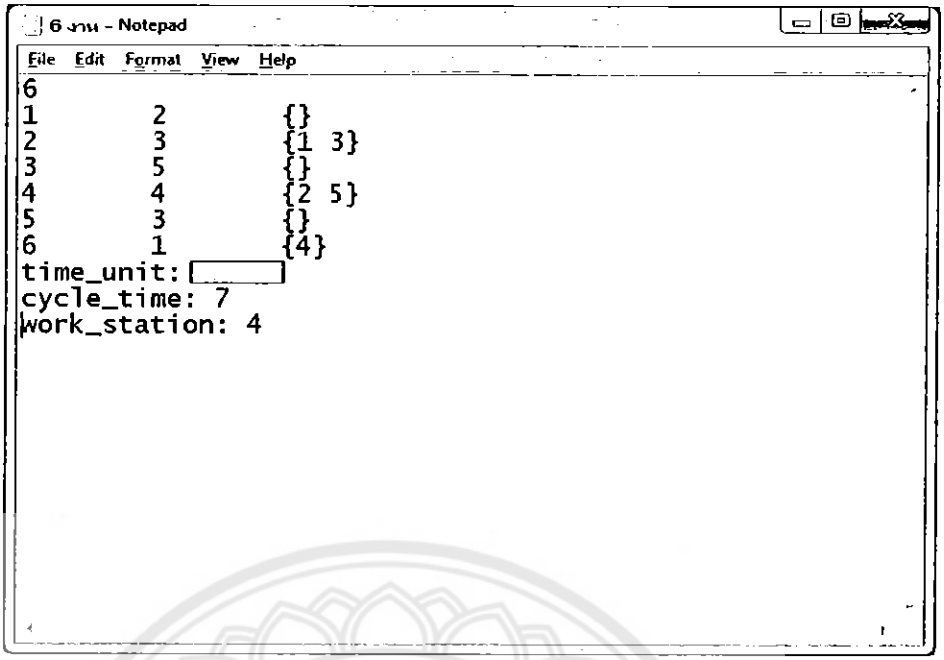
เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า มีข้อมูลไม่ครบ หรือเกินจากจำนวนที่กำหนด โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือนว่าข้อมูลไม่ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ หรือมีข้อมูลเกินจากจำนวนที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าข้อมูลไม่ครบ

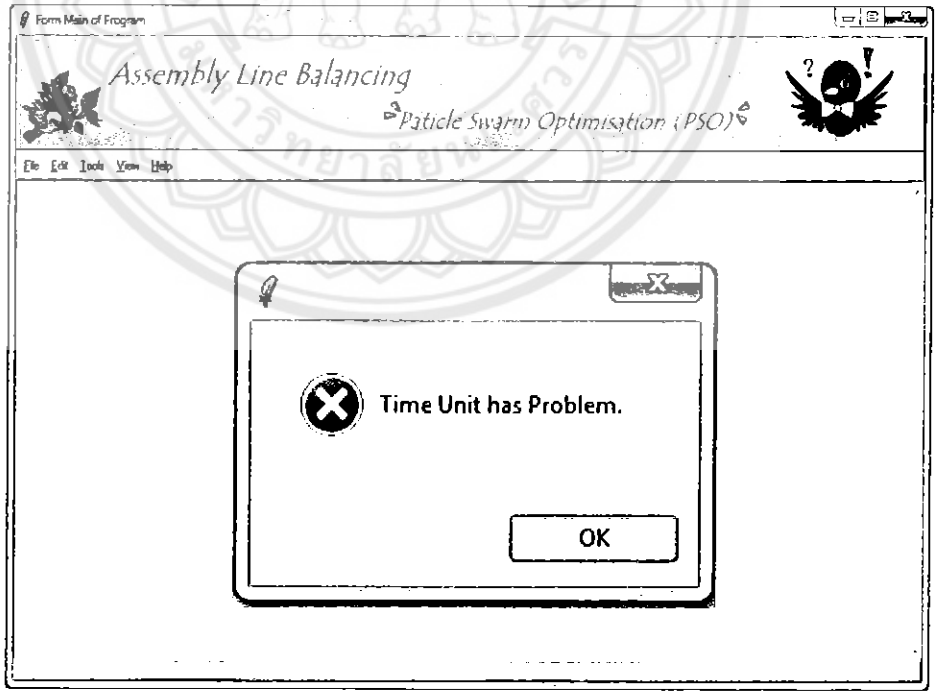
3.3.2.2 ตรวจสอบหน่วยเวลา (Time Unit)

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการตรวจสอบหน่วยเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน ว่ามีการกำหนดมาหรือไม่โดยข้อมูลนั้นๆ จะต้องกำหนดหน่วยเวลาที่ใช้เป็นหน่วยเดียวกัน ดังตัวอย่างปัญหาขนาด 6 งาน ได้มีการกำหนดหน่วยเวลาที่ใช้เป็นหน่วยนาที (Minute) เป็นต้น ซึ่งถ้าข้อมูลไม่ได้กำหนดหน่วยเวลาที่ใช้มาให้ ดังรูปที่ 3.7 โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือน



รูปที่ 3.7 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดหน่วยเวลามาให้

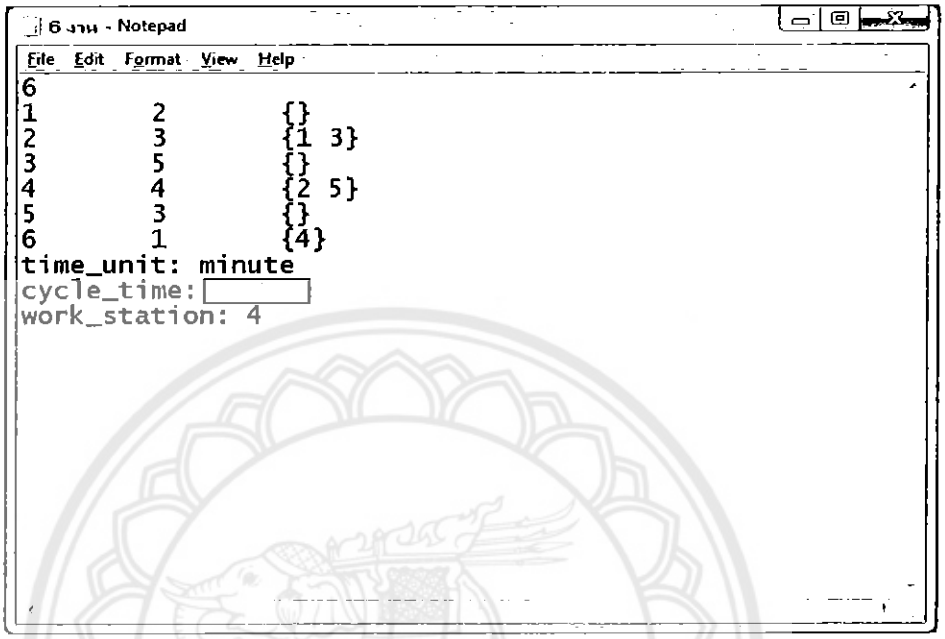
เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า ข้อมูลไม่ได้กำหนดหน่วยเวลามาให้ โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือนว่าหน่วยเวลาไม่ได้กำหนดมาให้ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าหน่วยเวลาไม่ได้กำหนดมาให้

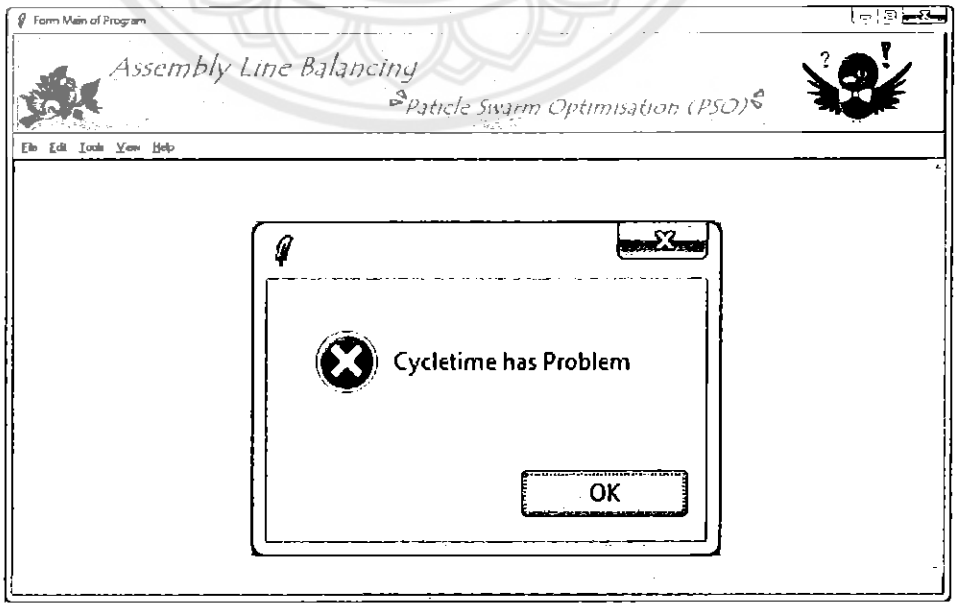
3.3.2.3 ตรวจสอบรอบการผลิต (Cycle Time)

ขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจสอบว่าได้มีการกำหนดรอบการผลิตมาให้หรือไม่ ซึ่งถ้าหากไม่ได้กำหนดรอบการผลิตมาให้ ดังรูปที่ 3.9 นั้น โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนทันที



รูปที่ 3.9 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดรอบการผลิตมาให้

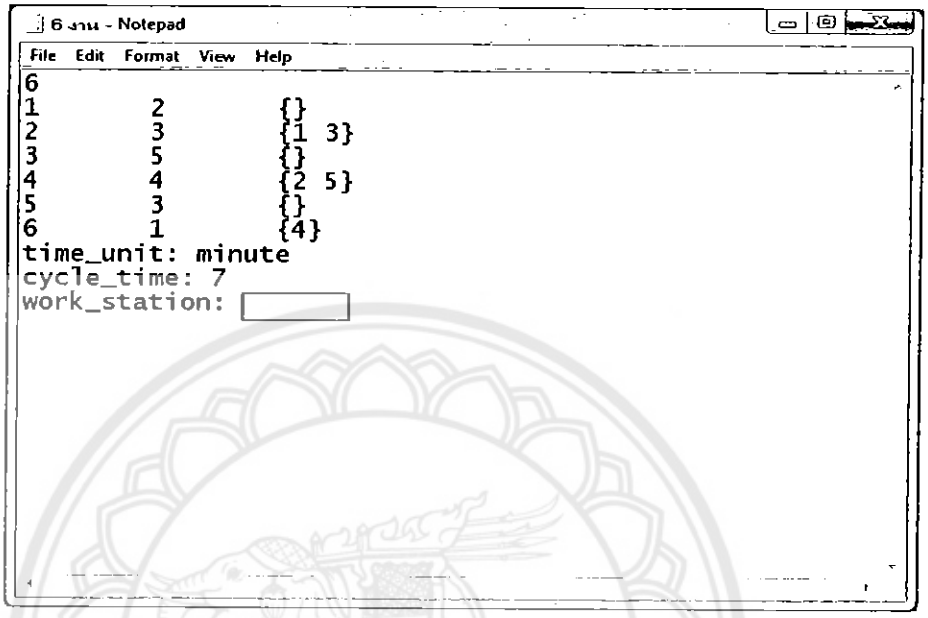
เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า รอบการผลิตไม่ได้ถูกกำหนดมาให้ โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ารอบการผลิตไม่ได้กำหนดมาให้

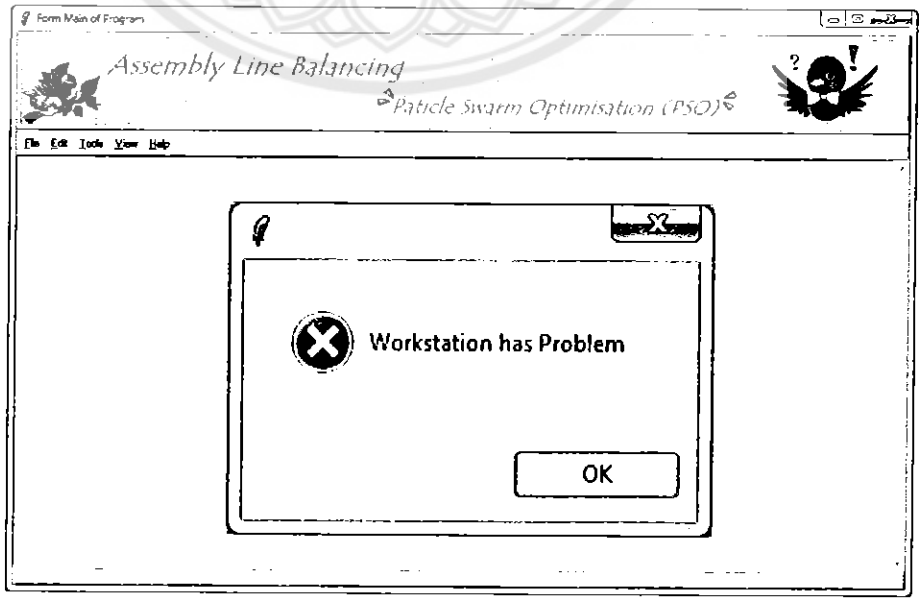
3.3.2.4 ตรวจสอบจำนวนสถานีงาน (Workstation)

ในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจสอบว่าได้มีการกำหนดจำนวนสถานีงานมาให้หรือไม่ ซึ่งถ้าหากไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้ ดังรูปที่ 3.11 โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือน



รูปที่ 3.11 แสดงข้อมูลขาเข้าที่ไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้

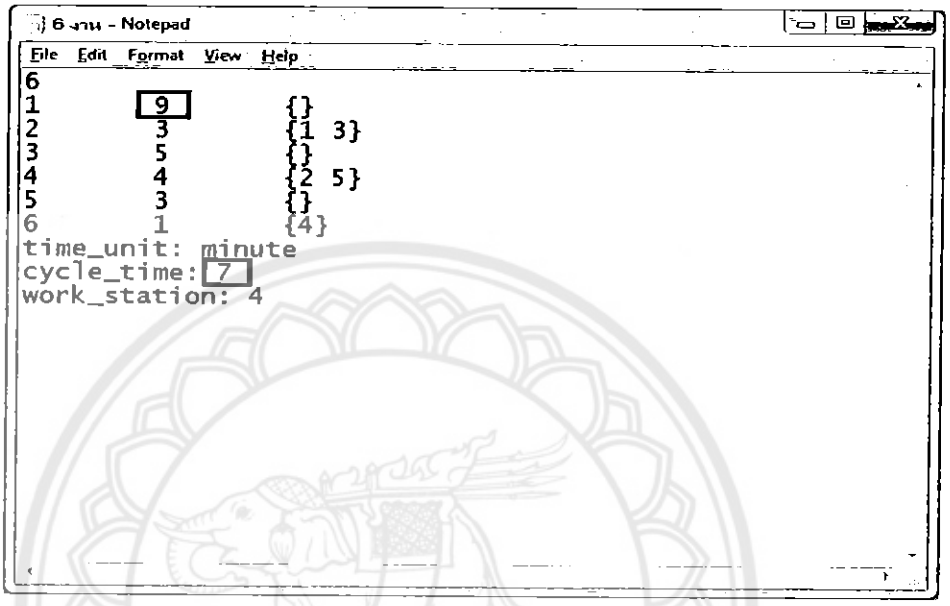
เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า ข้อมูลไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้ โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือนว่าไม่ได้กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่าจำนวนสถานีงานไม่ได้กำหนดมาให้

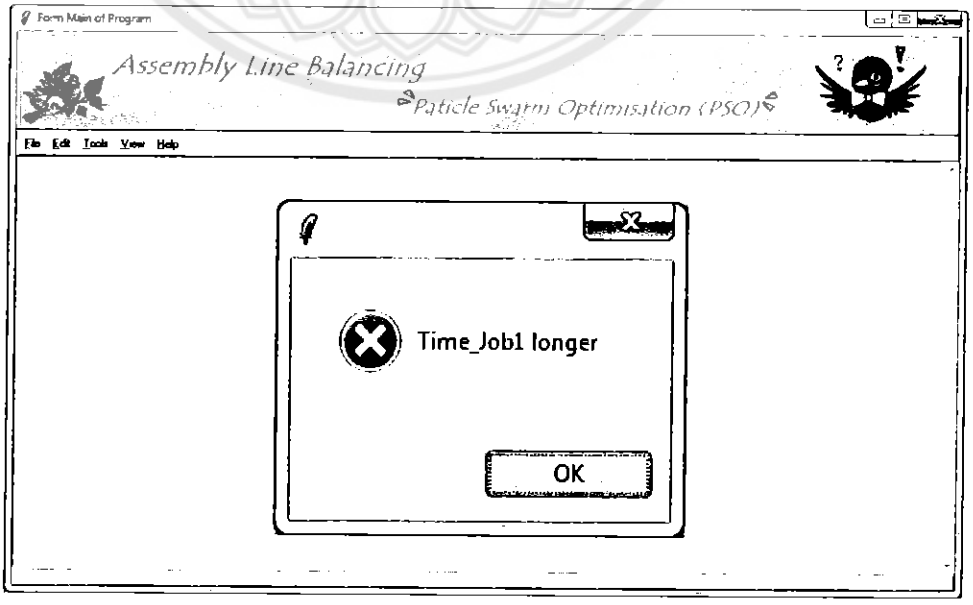
3.3.2.5 ตรวจสอบเวลาที่ใช้ในแต่ละงาน (Processing Time)

จะเป็นการตรวจสอบว่าเวลาที่ใช้ในแต่ละงานนั้น มีงานใดที่มีค่ามากกว่ารอบการผลิตหรือไม่ ซึ่งถ้ามีเวลาที่ใช้ในแต่ละงานของงานใดมากกว่ารอบการผลิต ดังรูปที่ 3.13 โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนทันที



รูปที่ 3.13 แสดงข้อมูลขาเข้าที่มีงานที่ใช้เวลามากกว่ารอบการผลิต

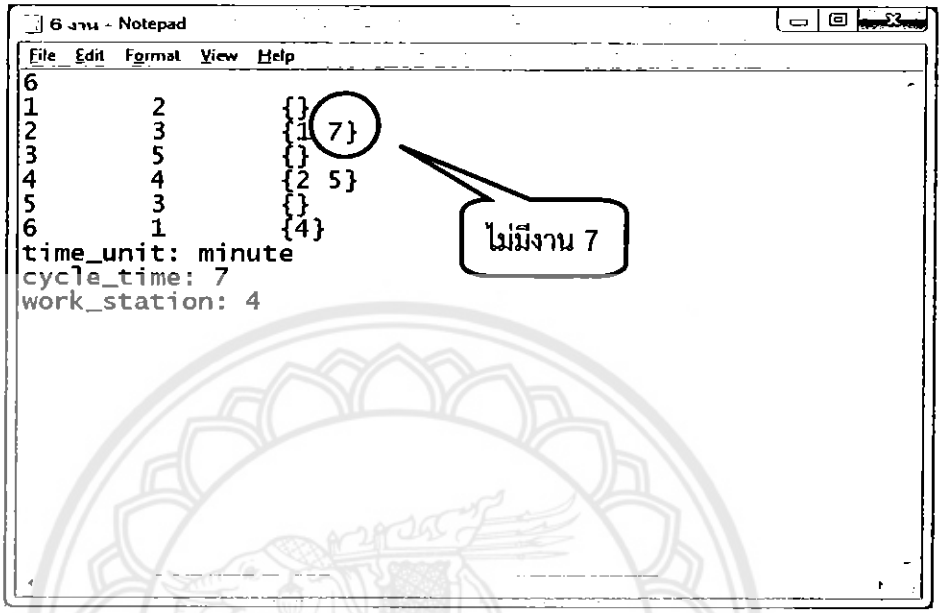
เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า มีงานใดที่มีเวลาในการทำงานมากกว่ารอบการผลิต โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือน ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ามีงานที่ใช้เวลามากกว่ารอบการผลิต

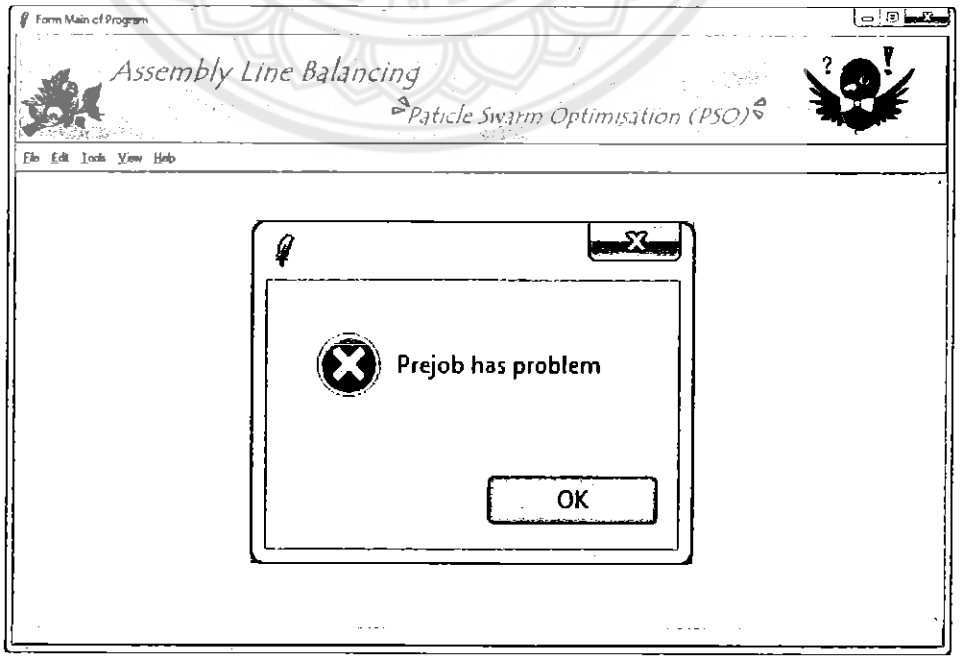
3.3.2.6 ตรวจสอบชื่องาน (Jobs)

ขั้นตอนนี้ จะเป็นการตรวจสอบชื่องาน ว่ามีชื่องานใดที่ไม่ตรงกับที่กำหนดหรือไม่ ถ้ามีชื่องานใดผิด ดังรูปที่ 3.15 โปรแกรมจะทำการแจ้งเตือนทันที



รูปที่ 3.15 แสดงข้อมูลขาเข้าที่มีชื่องานไม่ตรงกับที่กำหนด

เมื่อโปรแกรมทำการอ่านข้อมูลแล้วพบว่า มีงานใดที่มีชื่องานไม่ตรงกับที่กำหนด โปรแกรมจะปรากฏ Message Box ขึ้นมา เพื่อแจ้งเตือน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดง Message Box ที่แจ้งเตือนว่ามีชื่องานที่ไม่ตรงกับที่กำหนด

3.3.3 การกำหนดรูปแบบของคำตอบ

รูปแบบของคำตอบจะถูกเก็บใน Array ของชื่อสถานีงานหรือเรียกว่าพาร์ทิเคิล (Particle) นั่นเอง ซึ่งแทนด้วย Array 1 ชุด โดยแสดงรูปแบบของคำตอบดังรูปที่ 3.17

1a, 2a	2b, 3a	1b, 3b	4

รูปที่ 3.17 แสดงรูปแบบของพาร์ทิเคิล

3.3.4 สร้างพาร์ทิเคิล (Particle) เริ่มต้น

การสร้างพาร์ทิเคิล (Particle) จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสุ่ม โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.4.1 สร้างลิสต์สำหรับเก็บงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า

3.3.4.2 สุ่มเลือกงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า จากในลิสต์ขึ้นมาทีละงาน แล้วนำไปจัดลงในสถานีงาน งานที่ถูกสุ่มเลือกขึ้นมาแล้วจะถูกลบออกจากลิสต์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการซ้ำกัน

3.3.4.3 เมื่อทำครบทุกขั้นตอนแล้ว ให้วนกลับไปทำตั้งแต่ขั้นตอนแรกใหม่ จนได้ Particle ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้

3.3.5 ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละพาร์ทิเคิล (Particle)

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการประเมินค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ได้ ว่าเป็นคำตอบที่ดีหรือไม่ โดยจะดูว่าตรงตามจุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลสายงานการประกอบที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งการประเมินค่าในปริญญานิพนธ์นี้ คือการทำให้มีค่ามากที่สุด ซึ่งจะพิจารณาทั้ง 3 ประการ ดังนี้

3.3.5.1 ความแปรปรวนของภาระงาน (Workload Variance)

$$WV = \frac{\sum_{i=1}^{m}(T_i - (\frac{W_o}{m}))^2}{m} \qquad (3.1)$$

โดย WV = ความแปรปรวนของภาระงาน (Workload Variance)

T_i = เวลาทำงานของสถานีที่ i

W_o = เวลาทำงานรวมของงาน

m = จำนวนสถานีงาน

3.3.5.2 เวลาว่างงานรวม (Total Idle Time)

$$\text{Total Idle Time} = \sum_{i=1}^{m}(C - T_i) \qquad (3.2)$$

โดย C = รอบการผลิต (Cycle Time)

3.3.5.3 จำนวนสถานีงาน (Workstation: m)

จำนวนสถานีงาน (m) นั้น จะได้ค่าออกมาตั้งแต่การถอดรหัสคำตอบอยู่แล้ว จุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลทั้ง 3 ประการดังกล่าว อยู่ในรูปแบบของการหาค่าต่ำสุด จึงจะต้องแปลงให้เป็นค่าที่อยู่ในรูปสูงสุด เพื่อคำนวณค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เพื่อเป็นการบ่งบอกว่าคำตอบใดที่มีค่า Fitness Function ที่สูงที่สุด แสดงว่าคำตอบนั้นดีที่สุด ซึ่งทุกสมการที่ได้นำมาใช้ในการประเมินค่าความเหมะสมของคำตอบนี้ ได้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ คมสัน พิมลยรรยง (2551) ดังสมการต่อไปนี้

$$f(K)_{WV} = \frac{1}{WV_K} \qquad (3.3)$$

$$f(K)_{Idle} = \frac{1}{Idle_K} \qquad (3.4)$$

$$f(K)_m = \frac{1}{m_K} \qquad (3.5)$$

การประเมินค่าคำตอบที่มีจุดมุ่งหมายในการจัดสมดุลหลายประการ สามารถทำได้โดยการใช้มาตรวัดประสิทธิภาพการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (Performance Measure for Assembly Line Balancing) ซึ่งจะต้องรวม Fitness Function ทั้ง 3 ประการ (สมการที่ 3.3 – 3.5) ให้เป็นค่าเดียว ซึ่งจะรวมไว้แบบสมการเส้นตรง โดยมีค่าน้ำหนักของ Fitness Function ย่อยแต่ละตัวเป็นสัมประสิทธิ์ (ω_1 = 0.8, ω_2 = 0.1, ω_3 = 0.1) (ค่า ω ทั้ง 3 ตัว อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ คมสันต์ พิมลยรรยง, 2551) ดังสมการที่ 3.6

$$F(K) = \omega_1 f(K)_{WV} + \omega_2 f(K)_{Idle} + \omega_3 f(K)_m \qquad (3.6)$$

สมการที่ 3.6 คือสมการมาตรวัดประสิทธิภาพการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ซึ่งเป็นการรวม Fitness Function ทั้ง 3 ประการไว้เป็นค่าเดียว แต่เนื่องจากว่าในแต่ละ Fitness Function นั้น มีหน่วยที่แตกต่างกัน จึงจะต้องทำการแปลงหน่วยให้เป็นหน่วยเดียวกันเสียก่อน โดย

จะนำหลักของการหาขนาดของเวคเตอร์ 3 มิติมาใช้ โดยกำหนด Fitness Function รวมเป็นเวคเตอร์ 3 มิติ และทำการหาขนาดของเวคเตอร์ ดังสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$\overrightarrow{F(K)} = [\omega_1 f(K)_{WV}]\hat{i} + [\omega_2 f(K)_{Idle}]\hat{j} + [\omega_3 f(K)_m]\hat{k} \quad (3.7)$$

โดยที่ i, j, k คือ เวคเตอร์ตามแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ดังนั้น Fitness Function จะมีค่าเท่ากับ

$$\left|\overrightarrow{F(K)}\right| = \sqrt{(\omega_1 \times f(K)_{WV})^2 + (\omega_2 \times f(K)_{Idle})^2 + (\omega_3 \times f(K)_m)^2} \quad (3.8)$$

3.3.6 การหาค่าที่ดีที่สุดของตัวเอง (Pbest) และหาค่าที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Gbest)

พาร์ทิเคิลแต่ละตัวที่สร้างขึ้นจะเก็บค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบโดยการสุ่ม จากนั้นในแต่ละรอบจะทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบของตัวเองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของตัวเอง (Pbest) และเก็บค่าคำตอบไว้ เมื่อเปรียบเทียบค่าคำตอบของตัวเองเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกันภายในกลุ่มเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของพาร์ทิเคิลทั้งหมด (Gbest)

3.3.7 การปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity)

ในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิล ต้องมีการกำหนดค่าอัตราเร็วเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปหาตำแหน่งที่ดีที่สุดได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยจะมีสมการปรับปรุงอัตราเร็ว ดังสมการที่ 3.9

$$v_i = \omega_i * v_i + c_1 * rand() * (p_i - x_i) + c_2 * Rand() * (p_g - x_i) \quad (3.9)$$

โดย v_i = อัตราเร็วในรอบใหม่

ω_i = ค่าถ่วงน้ำหนัก

v_i = อัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา

c_1 = ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง

c_2 = ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม

x_i = ค่าตำแหน่ง หรือรูปแบบค่าคำตอบ

p_i = ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง (Pbest)

p_g = ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Gbest)

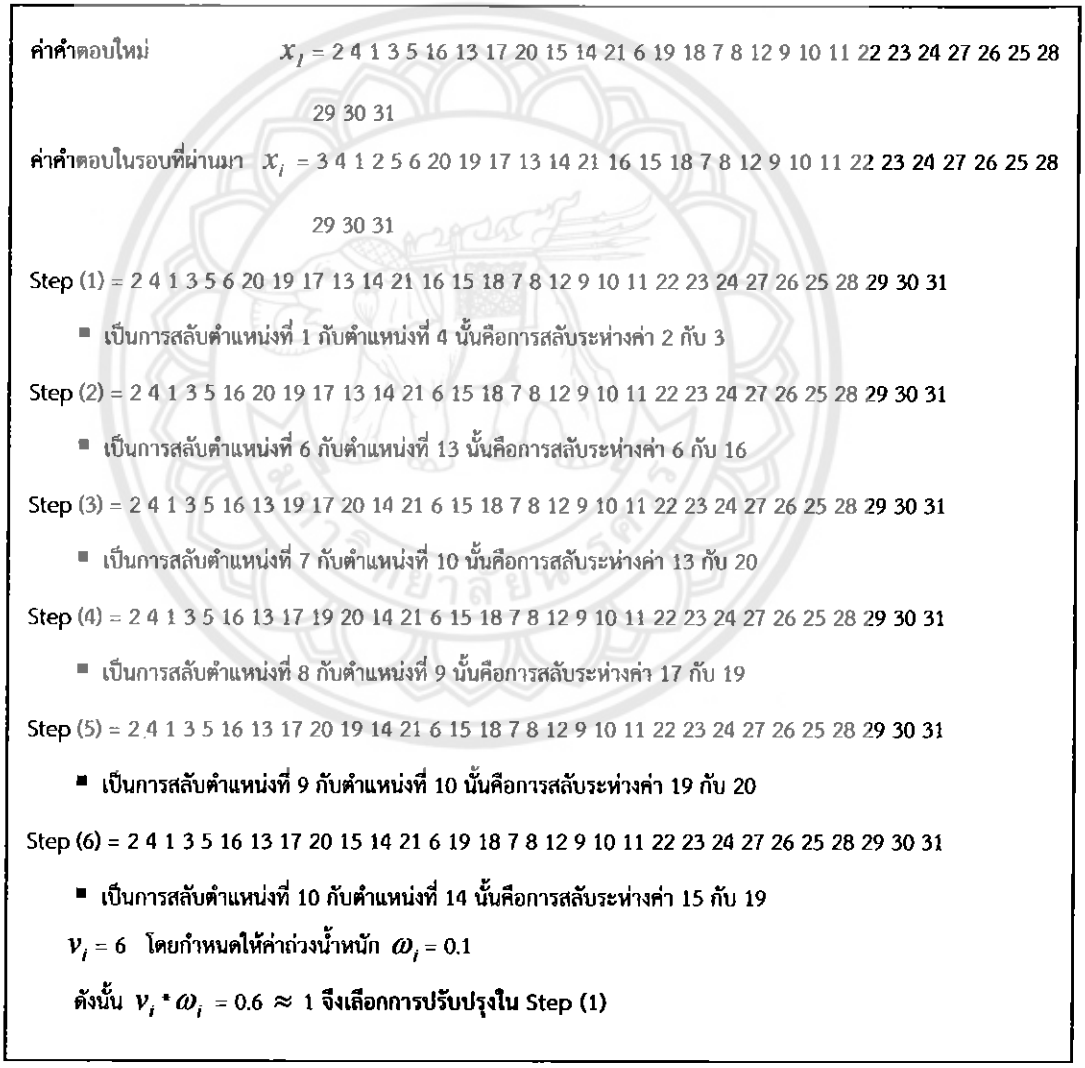
$rand()$ และ $Rand()$ = ค่าสุ่มจาก 0 ถึง 1

ซึ่งในการปรับปรุงอัตราเร็วนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา ส่วนของการปรับปรุงอัตราเร็วเข้าสู่ Pbest และส่วนของการปรับปรุงอัตราเร็วเข้าสู่ Gbest โดยจะใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็ว 2 รูปแบบ ดังนี้

3.3.7.1 Swap Operator

เป็นวิธีการปรับปรุงอัตราเร็วโดยทำการสลับตำแหน่งของงานที่ต้องการได้เลย โดยจะมีขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็ว ดังนี้

ก. ทำการหาขั้นตอนการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา (SO)

ข. ทำการหาขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest จากคำตอบที่ได้จาก ข้อ ก. ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.19

Pbest p_i = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

ค่าที่ได้จากข้อ ก. x_i = 2 4 1 3 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

Step (1) = 2 4 1 3 5 16 20 19 17 13 14 21 6 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- **เป็นการสลับตำแหน่งที่ 6 กับตำแหน่งที่ 13 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 6 กับ 16**

Step (2) = 2 4 1 3 5 16 13 19 17 20 14 21 6 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 7 กับตำแหน่งที่ 10 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 13 กับ 20

Step (3) = 2 4 1 3 5 16 13 17 19 20 14 21 6 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 8 กับตำแหน่งที่ 9 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 17 กับ 19

Step (4) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 19 14 21 6 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 9 กับตำแหน่งที่ 10 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 19 กับ 20

Step (5) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 14 21 6 19 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 10 กับตำแหน่งที่ 14 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 15 กับ 19

Step (6) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 6 19 14 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 11 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 14 กับ 18

Step (7) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 19 6 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 13 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 6 กับ 14

Step (8) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 14 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 6 กับ 19

Step (9) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- **เป็นการสลับตำแหน่งที่ 17 กับตำแหน่งที่ 18 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 8 กับ 12**

Step (10) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

- **เป็นการสลับตำแหน่งที่ 25 กับตำแหน่งที่ 27 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 25 กับ 27**

$(p_i - x_i)$ = 10 โดยกำหนดให้ $rand()$ = 0.7 และ c_1 =0.5

ดังนั้น $c_1 * rand() * (p_i - x_i)$ = 3.5 $\approx$ 4 จึงเลือกการปรับปรุงใน Step (4)

รูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest (SO)

ค. ทำการหาขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest จากคำตอบที่ได้จาก ข้อ ข. ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.20

Gbest p_g = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

ค่าที่ได้จากข้อ ข. x_i = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 19 14 21 6 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

Step (1) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 14 21 6 19 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 10 กับตำแหน่งที่ 14 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 15 กับ 19

Step (2) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 6 19 14 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 11 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 14 กับ 18

Step (3) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 19 6 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 13 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 6 กับ 14

Step (4) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 14 กับตำแหน่งที่ 15 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 6 กับ 19

Step (5) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 17 กับตำแหน่งที่ 18 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 8 กับ 12

Step (6) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

- เป็นการสลับตำแหน่งที่ 25 กับตำแหน่งที่ 27 นั้นคือการสลับระหว่างค่า 25 กับ 27

$(p_g - x_i)$ = 6 โดยกำหนดให้ $Rand()$ = 0.5 และ c_2 =0.2

ดังนั้น $c_2 * Rand() * (p_g - x_i)$ = 0.6 $\approx$ 1 จึงเลือกการปรับปรุงใน Step (1)

รูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest (SO)

3.3.7.2 Adjustment Operator

เป็นวิธีการปรับปรุงอัตราเร็วโดยนำงานที่จะทำการปรับปรุงมาแทนที่ในตำแหน่งที่ต้องการ และทำการเลื่อนตำแหน่งของงานที่อยู่ถัดไป โดยมีขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็ว ดังนี้

ก. ทำการหาขั้นตอนการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.21

ค่าคำตอบใหม่ x_I = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 6 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

ค่าคำตอบในรอบที่ผ่านมา x_i = 3 4 1 2 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

Step (1) = 2 3 4 1 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 4 มาแทรกในตำแหน่งที่ 1 นั้นคือค่า 2

Step (2) = 2 4 3 1 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 3 มาแทรกในตำแหน่งที่ 2 นั้นคือค่า 4

Step (3) = 2 4 1 3 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 4 มาแทรกในตำแหน่งที่ 3 นั้นคือค่า 3

Step (4) = 2 4 1 3 5 16 6 20 19 17 13 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 13 มาแทรกในตำแหน่งที่ 6 นั้นคือค่า 16

Step (5) = 2 4 1 3 5 16 13 6 20 19 17 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 11 มาแทรกในตำแหน่งที่ 7 นั้นคือค่า 13

Step (6) = 2 4 1 3 5 16 13 17 6 20 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 11 มาแทรกในตำแหน่งที่ 8 นั้นคือค่า 17

Step (7) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 6 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- **เป็นการนำตำแหน่งที่ 10 มาแทรกในตำแหน่งที่ 9 นั้นคือค่า 20**

v_i = 7 โดยกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนัก ω_i = 0.1

ดังนั้น $v_i * \omega_i$ = 0.7 $\approx$ 1 จึงเลือกการปรับปรุงใน Step (1)

รูปที่ 3.21 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วในรอบที่ผ่านมา (AO)

ข. ทำการหาขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest จากคำตอบที่ได้จาก ข้อ ก. ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.22

Pbest p_i = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

ค่าที่ได้จากข้อ ก. x_i = 2 3 4 1 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

Step (1) = 2 4 3 1 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 3 มาแทรกในตำแหน่งที่ 2 นั้นคือค่า 4

Step (2) = 2 4 1 3 5 6 20 19 17 13 14 21 16 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 4 มาแทรกในตำแหน่งที่ 3 นั้นคือค่า 1

Step (3) = 2 4 1 3 5 16 6 20 19 17 13 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 13 มาแทรกในตำแหน่งที่ 6 นั้นคือค่า 16

Step (4) = 2 4 1 3 5 16 13 6 20 19 17 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 11 มาแทรกในตำแหน่งที่ 7 นั้นคือค่า 13

Step (5) = 2 4 1 3 5 16 13 17 6 20 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 11 มาแทรกในตำแหน่งที่ 9 นั้นคือค่า 17

Step (6) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 6 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 10 มาแทรกในตำแหน่งที่ 9 นั้นคือค่า 20

Step (7) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 6 19 14 21 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 14 มาแทรกในตำแหน่งที่ 10 นั้นคือค่า 15

Step (8) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 6 19 14 21 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 11 นั้นคือค่า 18

Step (9) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 6 19 14 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 12 นั้นคือค่า 21

Step (10) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 12 นั้นคือค่า 14

Step (11) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 18 มาแทรกในตำแหน่งที่ 17 นั้นคือค่า 12

Step (12) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 27 26 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 27 มาแทรกในตำแหน่งที่ 25 นั้นคือค่า 25

Step (13) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 27 มาแทรกในตำแหน่งที่ 26 นั้นคือค่า 26

$(p_i - x_i)$ = 13 โดยกำหนดให้ $rand()$ = 0.9 และ c_1 =0.5

ดังนั้น $c_1 * rand() * (p_i - x_i)$ = 5.85 $\approx$ 6 จึงเลือกการปรับปรุงใน Step (6)

รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Pbest (AO)

ค. ทำการหาขั้นตอนในการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest จากคำตอบที่ได้จาก ข้อ ข. ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.23

Gbest p_g = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

ค่าที่ได้จากข้อ ข. x_i = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 6 19 14 21 15 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

Step (1) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 6 19 14 21 18 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- **เป็นการนำตำแหน่งที่ 14 มาแทรกในตำแหน่งที่ 10 นั้นคือค่า 15**

Step (2) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 6 19 14 21 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 11 นั้นคือค่า 18

Step (3) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 6 19 14 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 12 นั้นคือค่า 21

Step (4) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 8 12 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 15 มาแทรกในตำแหน่งที่ 13 นั้นคือค่า 14

Step (5) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 27 26 25 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 18 มาแทรกในตำแหน่งที่ 17 นั้นคือค่า 12

Step (6) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 27 26 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 27 มาแทรกในตำแหน่งที่ 25 นั้นคือค่า 27

Step (7) = 2 4 1 3 5 16 13 17 20 15 18 21 14 6 19 7 12 8 9 10 11 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

- เป็นการนำตำแหน่งที่ 27 มาแทรกในตำแหน่งที่ 26 นั้นคือค่า 26

$(p_g - x_i) = 6$ โดยกำหนดให้ $Rand() = 0.5$ และ $c_2 = 0.2$

ดังนั้น $c_2 * Rand() * (p_g - x_i) = 0.6 \approx 1$ จึงเลือกการปรับปรุงใน Step (1)

รูปที่ 3.23 แสดงตัวอย่างการปรับปรุงอัตราเร็วเพื่อเข้าสู่ Gbest (SO)

3.3.8 การปรับปรุงตำแหน่งหรือค่าคำตอบ (Update Position)

จากการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลจะทำให้สามารถค้นพบตำแหน่งใหม่ ที่คาดว่าจะเป็นตำแหน่งหรือค่าคำตอบที่ดีกว่ารอบที่ผ่านมา โดยมีสมการในการปรับปรุงค่าคำตอบ ดังสมการที่ 3.10

$$x_I = x_i + v_i \tag{3.10}$$

โดย x_I = ค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบใหม่ที่หาได้

x_i = ค่าของตำแหน่งหรือค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ผ่านมา

v_i = ค่าอัตราเร็ว

3.3.9 การปรับค่าพารามิเตอร์ (Adaptive Particle Swarm Optimisation)

ในโครงงานนี้ การที่จะให้ PSO มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าคำตอบได้นั้น จะต้องทำให้ PSO มีการค้นหาค่าคำตอบที่กระจายตัวที่เหมาะสม หรือคำตอบไม่เกาะกลุ่มกันนั่นเอง จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อการกระจายตัวของคำตอบ พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผล คือ ค่า C_1 และค่า C_2 ซึ่งค่า C_1 นั้น จะส่งผลต่อค่าคำตอบทำให้ค่าคำตอบมีการกระจายตัว เนื่องจากค่า C_1 เป็นค่าที่ยึดถือการปรับปรุงเข้าหาตัวเองเป็นหลัก ส่วนค่า C_2 นั้น จะส่งผลให้ค่าคำตอบมีการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากค่า C_2 เป็นค่าที่ยึดถือการปรับปรุงเข้าหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มเป็นหลัก ส่วนการดูว่าค่าคำตอบเกาะกลุ่มกันหรือไม่ จะดูได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) ซึ่งถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากจะแสดงว่าคำตอบมีการกระจายตัว

การปรับค่าพารามิเตอร์ในโครงงานนี้จึงใช้เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอบของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

3.3.9.1 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มขึ้น

ในกรณีนี้จะส่งผลให้ค่าคำตอบมีการกระจายตัว จึงควรควบคุมค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานให้ลดลง เพื่อไม่ให้ค่าคำตอบมีการกระจายตัวมากเกินไป เนื่องจากถ้าค่าคำตอบมีการกระจายตัวมากเกินไปจะส่งผลให้ไม่มีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ที่ใกล้กับค่าคำตอบที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรอบที่ผ่านมา ดังนั้น ค่า C_1 จะลดลงร้อยละ 12 ของค่า C_1 เดิม และค่า C_2 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ของค่า C_2 เดิม

3.3.9.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง

ในกรณีนี้จะส่งผลให้ค่าคำตอบมีการเกาะกลุ่มกัน จึงควรทำการเพิ่มค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้ค่าคำตอบมีการกระจายตัวมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในรอบที่ผ่านมา ดังนั้น ค่า C_1 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ของค่า C_1 เดิม และค่า C_2 จะลดลงร้อยละ 12 ของค่า C_2 เดิม

3.3.10 การสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ (Regenerate Particles)

การสร้างพาร์ทิเคิลใหม่นั้น ในโครงงานนี้จะพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยจะแสดงให้เห็นว่าค่าคำตอบมีการเกาะกลุ่ม และเมื่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเป็น 0 แสดงให้เห็นว่าพาร์ทิเคิลทุกตัวมีค่าคำตอบเดียวกัน โดยถ้ายังมีจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบเหลืออยู่ รอบที่เหลือจะไม่มีประโยชน์ต่อการค้นหาคำตอบ จึงกำหนดให้ถ้าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.0001 ของค่าคำตอบที่เหมาะสม (Fitness Function) ให้ทำการสร้างพาร์ทิเคิลขึ้นมาใหม่

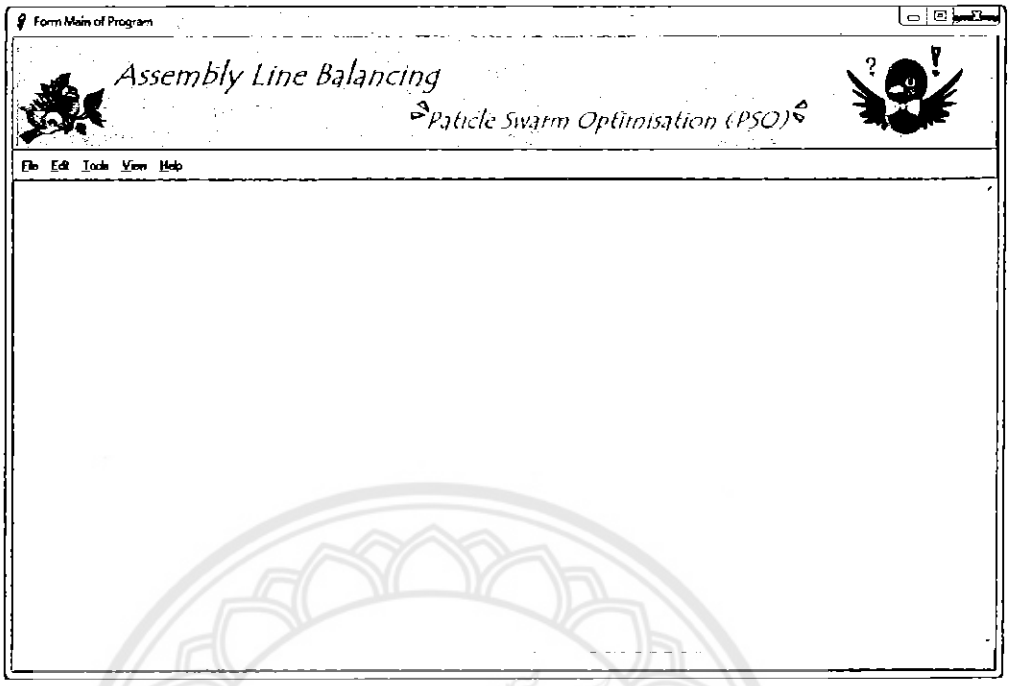
3.3.11 การตรวจเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination)

กำหนดให้ PSO หยุดการทำงานก็ต่อเมื่อ PSO มีการทำงานครบตามจำนวนรอบ (Number of Iterations) ที่ได้กำหนดไว้ ถ้าหากยังทำงานยังไม่ครบตามจำนวนรอบที่กำหนด ก็จะทำการวนกลับไปปรับปรุงค่าอัตราเร็ว (Update Velocity) เพื่อหาตำแหน่งหรือค่าคำตอบ (Update Position) ในรอบถัดไป

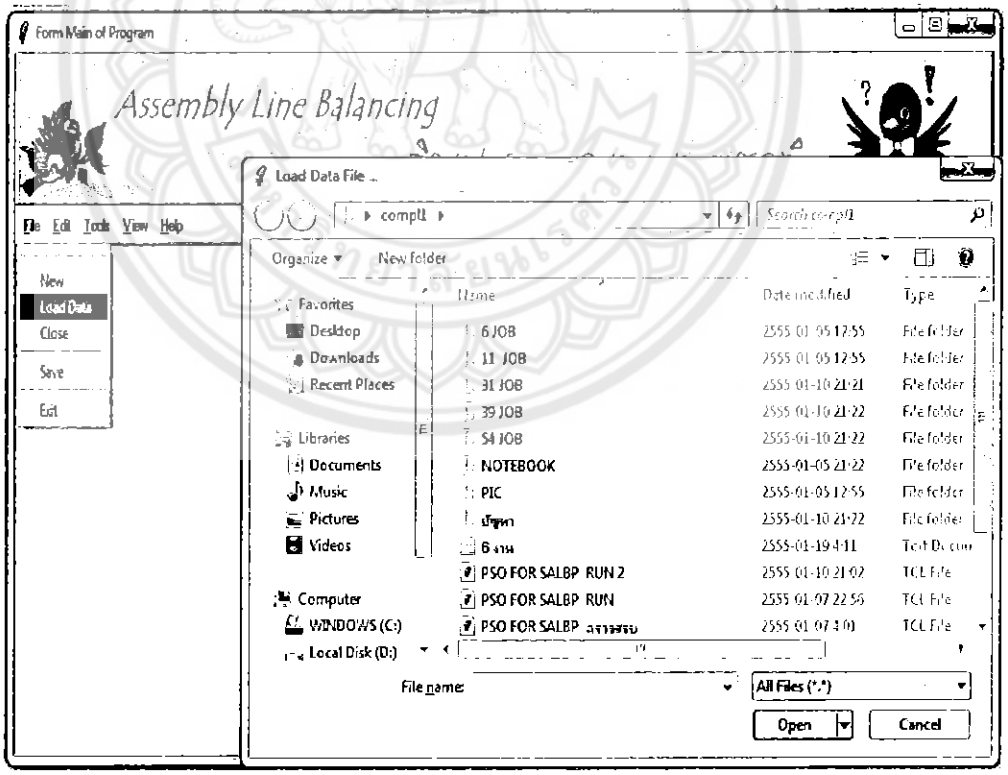
3.4 พัฒนาโปรแกรมและทดสอบโปรแกรม

โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อสำหรับผู้ใช้ (Graphic User Interface) ได้ดี โดยโปรแกรม Paticle Swarm Optimisation for Assembly Line Balancing Problem หรือ PSO FOR ALBP ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจะมีลักษณะดังนี้

3.4.1 เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมาทำงาน จะพบหน้าจอแรกของโปรแกรม PSO FOR ALBP ดังแสดงในรูปที่ 3.24 ซึ่งจะมี Toolbars โดยสามารถนำเข้าแฟ้มข้อมูลของปัญหา (Input Files) ให้คลิกที่ Files ⟶ Load Data ดังแสดงในรูปที่ 3.25

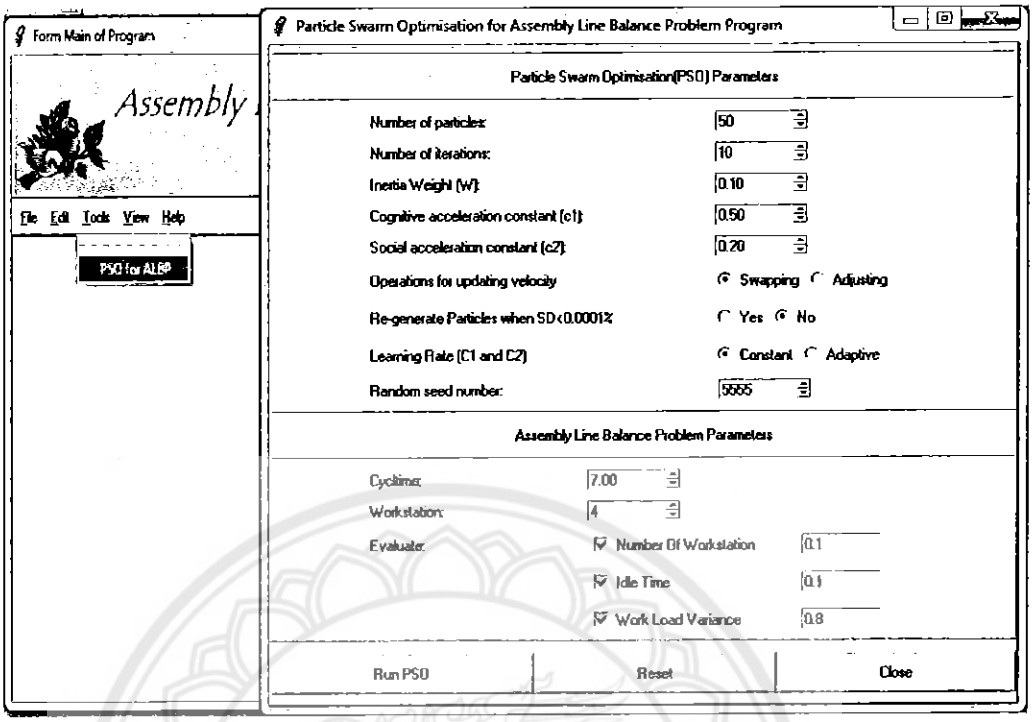


รูปที่ 3.24 แสดงตัวอย่างหน้าจอแรกของโปรแกรม PSO FOR ALBP



รูปที่ 3.25 แสดงตัวอย่างการนำเข้าแฟ้มข้อมูลของปัญหา

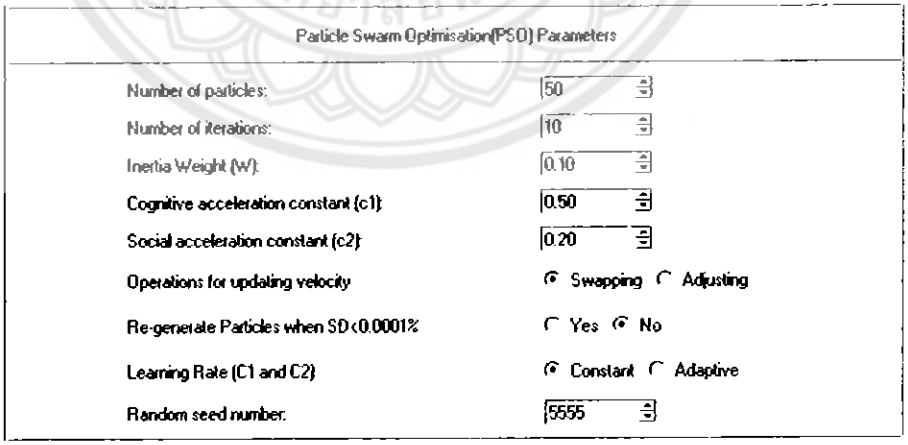
3.4.2 เมื่อนำเข้าข้อมูลของปัญหาเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ Tools ⟶ PSO FOR ALBP หน้าจอหลักของโปรแกรมก็จะขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 3.26 โดยแบ่งโปรแกรมออกเป็น 3 ส่วนดังนี้



รูปที่ 3.26 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าตัวแปรในโปรแกรม PSO FOR ALBP

3.4.2.1 ค่าพารามิเตอร์ของ PSO

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องกำหนดค่าลงไปเพื่อให้ PSO สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง การอธิบายวิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ดังนี้



รูปที่ 3.27 แสดงส่วนของการกำหนดค่าสำหรับ PSO

ก. จำนวนของพาร์ทิเคิล (Number of Particles) กำหนดเพื่อแสดงถึงจำนวนพาร์ทิเคิลที่จะศึกษาในแต่ระรอบ โดยการกำหนดจะต้องให้มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มบวก เช่นกำหนดไว้ที่ 5 ก็หมายความว่าจะมีพาร์ทิเคิล 5 ตัวต่อการเคลื่อนที่ 1 รอบ เป็นต้น

ข. จำนวนรอบ (Number of Iterations) จะต้องกำหนดเพื่อแสดงถึงจำนวนรอบที่จะให้พาร์ทิเคิลค้นหาค่าคำตอบ และทำให้ทราบว่าโปรแกรมจะสิ้นสุดเมื่อใด เพราะจำนวนรอบจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตการทำงานและในการกำหนดค่านั้นจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็มบวก เช่น กำหนดไว้ที่ 2 ก็หมายความว่าจะมีจำนวนรอบการทำงาน 2 รอบและโปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงานในรอบที่ 2

ค. ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ใช้ถ่วงน้ำหนักค่าอัตราเร็ว (Velocity) ในรอบที่ผ่านมา ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.1 (ร้อยละ 10), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.9 (ร้อยละ 90) ตามลำดับ

ง. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.2 (ร้อยละ 20), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.8 (ร้อยละ 80) ตามลำดับ

จ. ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.2 (ร้อยละ 20), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.8 (ร้อยละ 80) ตามลำดับ

ฉ. กระบวนการปรับปรุงค่าอัตราเร็วมี 2 วิธี คือ การปรับปรุงอัตราเร็วแบบ Swapping (SO) และ Adjusting (AO)

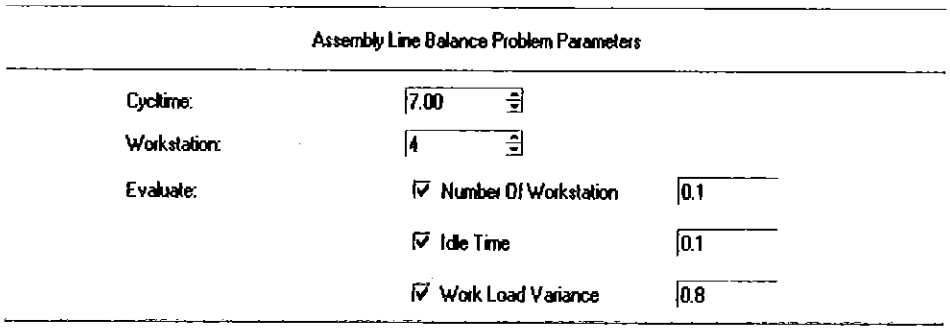
ช. การสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ (Regenerate Particles) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สร้าง (Yes) และไม่สร้าง (No)

ซ. การปรับค่าพารามิเตอร์ (Adaptive Particle Swarm Optimisation) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คงที่ (Constant) และปรับปรุงด้วยตัวเอง (Adaptive)

ฌ. หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed)

3.4.2.2 รายละเอียดสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบบ SALBP

เป็นส่วนที่แสดงถึงรายละเอียดของลักษณะปัญหา และจะต้องกำหนดลักษณะการประเมินการจัดสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ดังนี้



รูปที่ 3.28 แสดงรายละเอียดสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบบ SALBP

ก. รอบการผลิต (Cycle Time) จะเป็นค่าที่กำหนดมาจากแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหาแต่ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ต้องการ

ข. จำนวนสถานีงาน (Workstation) จะเป็นค่าที่กำหนดมาจากแฟ้มข้อมูลขาเข้าของปัญหาซึ่งจำนวนสถานีงานนี้จะเป็นจำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ซึ่งจะไม่มีผลต่อการคำนวณของโปรแกรม

ค. ลักษณะการประเมิน (Evaluate) จะเป็นการกำหนดลักษณะการประเมินในการจัดสมดุลซึ่งแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ จำนวนสถานีงาน (Number of Workstation) เวลาว่างงาน (Idle Time) ความแปรปรวนของภาระงาน (Work Load Variance)

3.4.2.3 ปุ่มต่างๆ ในการสั่งการทำงานของโปรแกรม PSO FOR ALBP

มีไว้เพื่อการสั่งงานตามรายละเอียดที่ได้ระบุบนปุ่มนั้นโดยใน โปรแกรมนี้มีปุ่มอยู่ 3 ปุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 3.29

รูปที่ 3.29 แสดงส่วนของปุ่มต่างๆ ในการสั่งการทำงานของโปรแกรม PSO FOR ALBP

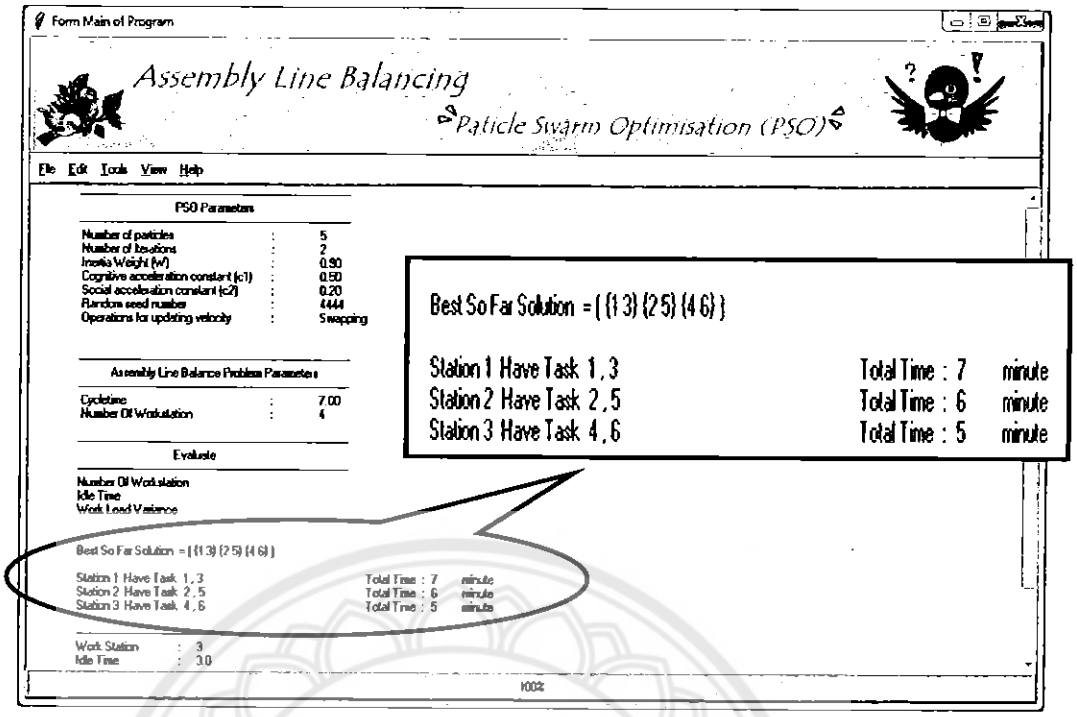
ก. ปุ่มรันพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชัน (Run Particle Swarm Optimisation Button) มีไว้เพื่อสั่งให้โปรแกรมทำการประมวลผลหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบบ SALBP ตามที่ได้กำหนดค่าให้กับพารามิเตอร์ต่างๆ เอาไว้

ข. ปุ่มเริ่มต้นใหม่ (Reset Button) มีไว้เพื่อยกเลิกค่าพารามิเตอร์เดิมที่ได้กำหนดไว้ แล้วทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่าใหม่ตามต้องการ

ค. ปุ่มออก (Exit Button) มีไว้เพื่อต้องการเลิกใช้งานโปรแกรม

3.4.3 เมื่อคลิกปุ่มรัน (Run Particle Swarm Optimisation Button) โปรแกรมจะทำการประมวลผลหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ แบบ SALBP เมื่อสิ้นสุดการประมวลผลก็จะแสดงผลลัพธ์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.2 ดังรูปที่ 3.3

3.4.4 โปรแกรมจะแสดงการจัดสมดุลสายงานการประกอบที่ได้จากการประมวลผลของพาร์ทิเคิลตัวที่ดีที่สุด (Gbest) และสามารถจัดเก็บข้อมูล โดยคลิกที่ File ⟶ Save ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แสดงตัวอย่างของการจัดสมดุลสายงานการประกอบที่ได้จากการประมวลผลของพาร์ทิเคิลตัวที่ดีที่สุด (Gbest)

3.5 ออกแบบและดำเนินการทดลอง

การที่จะให้ค่าออกมามีค่าคำตอบที่เหมาะสมจากการแก้ปัญหาด้วย PSO ได้นั้นจำเป็นจะต้องมีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมให้กับ PSO หรือไม่ ว่ามีค่าพารามิเตอร์ค่าใดบ้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ PSO และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ควรมีค่าเท่าใด ซึ่งทำการทดลองโดยการรันโปรแกรมเพื่อประมวลผลโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งรายละเอียดของการทดลองจะกล่าวถึงในบทที่ 4

3.6 วิเคราะห์สรุปผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเรียบร้อยแล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทำการคัดเลือกค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO จากนั้นจึงทำการสรุปผล โดยสรุปถึงการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ที่เหมาะสมในโครงงานนี้ และอภิปรายผล พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงงานในอนาคต

3.7 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลอง และการนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักทางสถิติ การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการทดลองเพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อการทำงานของวิธีการ Particle Swarm Optimisation (PSO) ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ และส่วนที่ 2 คือ ส่วนของการศึกษาและทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) ของ PSO ระหว่างวิธี Swap Operation (SO) และวิธี Adjustment Operation (AO) ซึ่งผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ และทำการอภิปรายผลต่อไป

4.1 การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลกระทบการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการ PSO

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการ PSO ซึ่งจะประกอบไปด้วย จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (Particles*Iterations) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Inertia Weight: ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2) โดยจะมีการทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ด้วยการใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed Number) ที่แตกต่างกัน คือ 1111, 2222, 3333, 4444 และ 5555 และได้ทำการทดสอบกับปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหา ซึ่งการทดลองที่ 1 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงรายละเอียดในการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1	รายละเอียด
การทดลองที่ 1.1	การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (SO)
การทดลองที่ 1.2	การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (AO)

4.1.1 การออกแบบการทดลองที่ 1

ปัจจัยที่นำมาศึกษาในการทดลองนี้มีอยู่ด้วยกัน 4 ปัจจัย ซึ่งค่าพารามิเตอร์นั้นได้อ้างอิงมาจากการศึกษาของ ณัฏฐพงศ์ คำขาด (2551) ได้แก่

4.1.1.1 ปัจจัยที่ 1 จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) เนื่องจากต้องการที่จะควบคุมจำนวนการค้นหาคำตอบให้มีค่าเท่ากัน จึงต้องนำค่า P มาคูณกับค่า I และในการกำหนด

จำนวนพาร์ทิเคิลนั้นสามารถที่จะกำหนดไว้ที่เท่าใดก็ได้ โดยยิ่งมีจำนวนพาร์ทิเคิลมากยิ่งดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโปรแกรมที่ใช้ทำการทดสอบ ซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้กำหนดจำนวนพาร์ทิเคิลไว้ที่ 2,500 พาร์ทิเคิล ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 25*100, 50*50 และ 100*25 ตามลำดับ

4.1.1.2 ปัจจัยที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.1 (ร้อยละ 10), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.9 (ร้อยละ 90) ตามลำดับ

4.1.1.3 ปัจจัยที่ 3 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (Importance of Personal Best : C_1) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.2 (ร้อยละ 20), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.8 (ร้อยละ 80) ตามลำดับ

4.1.1.4 ปัจจัยที่ 4 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (Importance of Neighborhood Best : C_2) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 0.2 (ร้อยละ 20), 0.5 (ร้อยละ 50) และ 0.8 (ร้อยละ 80) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองที่ 1

ปัจจัย	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)		
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I)	3	25*100	50*50	100*25
ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω)	3	0.1	0.5	0.9
ความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1)	3	0.2	0.5	0.8
ความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_2)	3	0.2	0.5	0.8

จากปัจจัยและระดับของการทดลอง ใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์ (Full Factorial Design : FFD) ต้องทำการรันทั้งสิ้น 3^4 เท่ากับ 81 รัน โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และมีการจำแนกการปรับปรุงอัตราเร็ว 2 วิธี ทั้งนี้มีจำนวนปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหา ดังนั้นจำนวนการรันทดสอบทั้งหมดจึงเป็น 810×6 เท่ากับ 4860 การทดลอง (รัน)

4.1.2 ผลการทดลองที่ 1.1 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (SO)

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ ได้แก่ โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 14 โดยจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model) ซึ่งจากการรันทดสอบด้วย PSO (SO) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 (รายละเอียดเพิ่มเติมของตาราง ANOVA ในแต่ละปัญหาสามารถดูได้จากภาคผนวก)

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ของทุกปัญหา

		P*I	ω	C_1	C_2
6 งาน	F	N/P	N/P	N/P	N/P
	P	N/P	N/P	N/P	N/P
11 งาน	F	106.29	0.00	0.08	0.31
	P	0.000 *	1.000	0.924	0.730
13 งาน	F	83.87	0.03	0.03	0.03
	P	0.000 *	0.971	0.971	0.971
31 งาน	F	28.47	0.13	0.27	0.02
	P	0.000 *	0.875	0.766	0.981
39 งาน	F	40.83	0.05	4.59	1.20
	P	0.000 *	0.953	0.011 *	0.302
54 งาน	F	75.28	0.29	1.34	3.83
	P	0.000 *	0.749	0.262	0.023 *

หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, N/P หมายถึง Not - Applicabe

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า P ในทุกปัญหาแล้ว พบว่า กรณีปัญหาขนาด 6 งาน เมื่อรันทดสอบด้วย PSO (SO) พบว่าคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากันทุกค่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัญหามีขนาดเล็กมาก จึงทำให้ไม่มีความแปรปรวนของคำตอบ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยของพารามิเตอร์ของ PSO ไม่มีผลใดๆ ต่อค่าคำตอบที่เหมาะสม หรือค่า Fitness Function ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ค่าระดับพารามิเตอร์ทุกตัวเป็นระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ

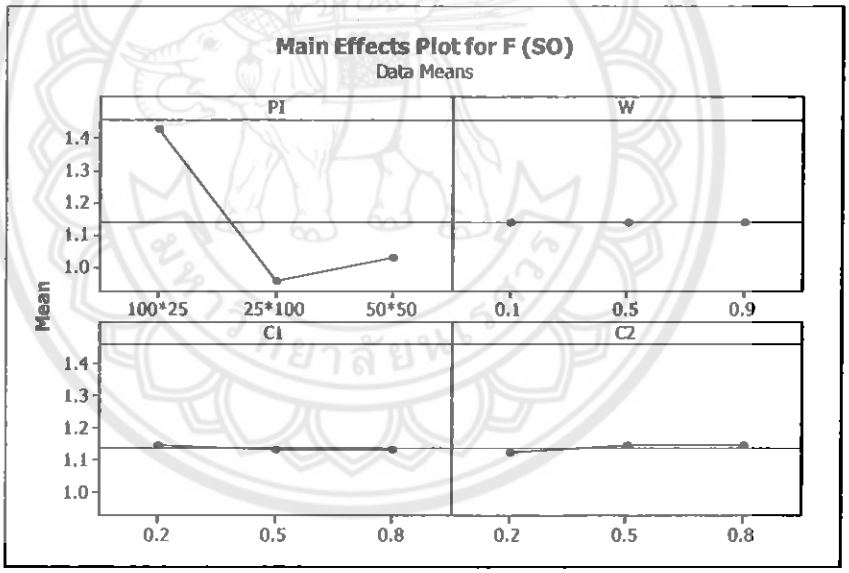
ในกรณีปัญหาขนาด 11 งาน 13 งาน และ 31 งาน พบว่าจำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (SO) ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) หรือระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

ส่วนในกรณีปัญหาขนาด 39 งาน จะพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (SO) ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω)

และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ค่า P ที่ได้มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น จะสังเกตได้ว่าในปัญหานี้มีปัจจัยที่มีผลถึง 2 ปัจจัยด้วยกันซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ผ่านมา อาจเป็นเพราะว่าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง

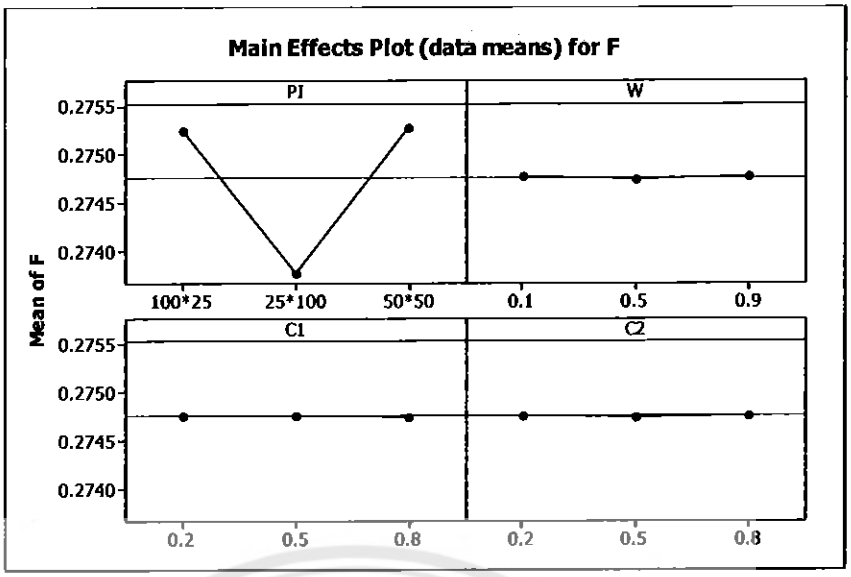
และในกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (SO) ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) ค่า P มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ จะต้องมีการสร้างกราฟแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้แก่ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.5



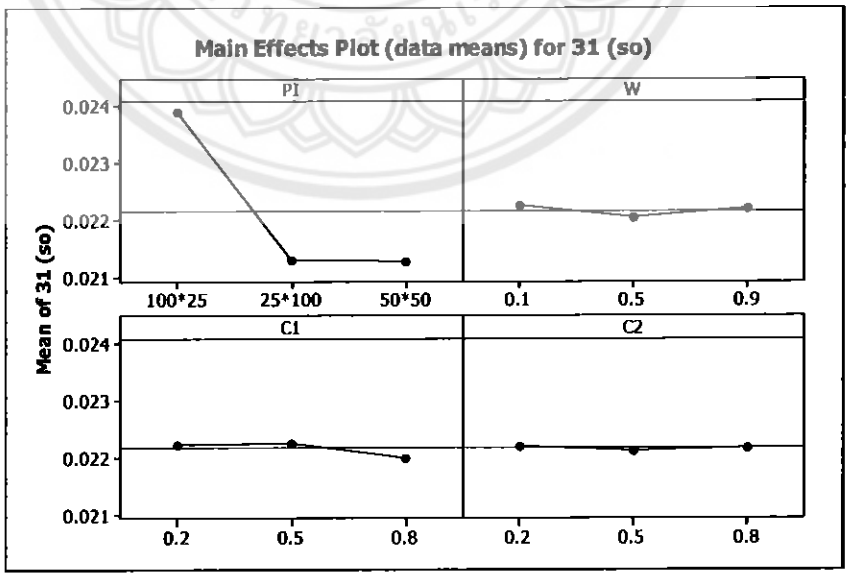
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 100*25 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.4



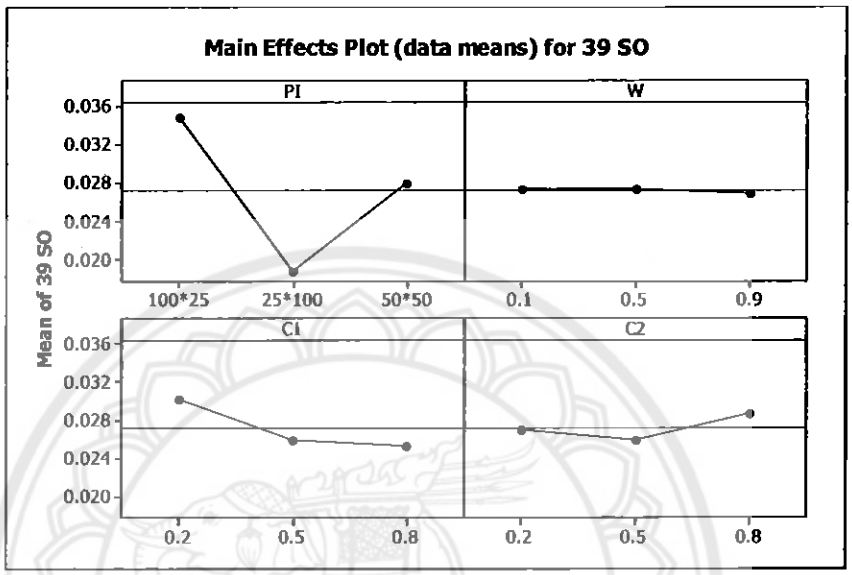
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับกลางคือ 50*50 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.4



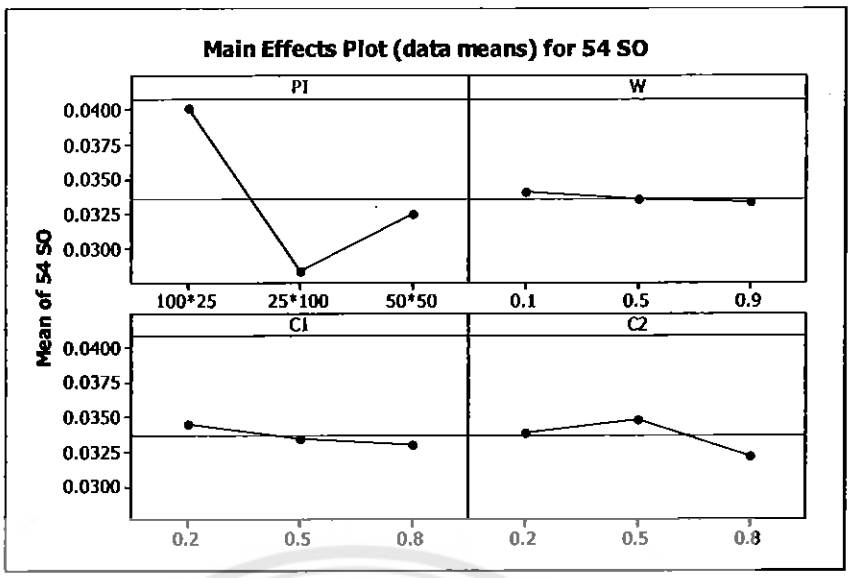
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 100*25 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 100*25 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) มีค่าที่ระดับต่ำ คือ 0.2 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 100*25 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีค่าอยู่ที่ระดับกลางคือ 0.5 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ของ PSO (SO) ที่ได้จากทุกปัญหา

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม					
	6 งาน	11 งาน	13 งาน	31 งาน	39 งาน	54 งาน
จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I)	25*100	100*25	50*50	100*25	100*25	100*25
ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1)	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2)	0.2	0.5	0.2	0.2	0.8	0.5

4.1.3 ผลการทดลองที่ 1.2 การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ PSO (AO)

การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ ได้แก่ โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 14 เช่นกัน โดยจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model) เช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1.1 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5 (รายละเอียดเพิ่มเติมของตาราง ANOVA ในแต่ละปัญหาสามารถดูได้จากภาคผนวก)

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ของทุกปัญหา

		P*I	ω	C_1	C_2
6 งาน	F	N/P	N/P	N/P	N/P
	P	N/P	N/P	N/P	N/P
11 งาน	F	100.61	0.00	0.08	0.08
	P	0.000 *	1.000	0.926	0.926
13 งาน	F	83.87	0.03	0.03	0.03
	P	0.000 *	0.971	0.971	0.971
31 งาน	F	30.98	0.04	0.01	0.05
	P	0.000 *	0.964	0.993	0.948
39 งาน	F	3.87	0.55	0.11	13.06
	P	0.025 *	0.581	0.899	0.000 *
54 งาน	F	89.45	4.01	9.74	7.85
	P	0.000 *	0.019 *	0.000 *	0.000 *

หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05, N/P หมายถึง Not - Applicabe

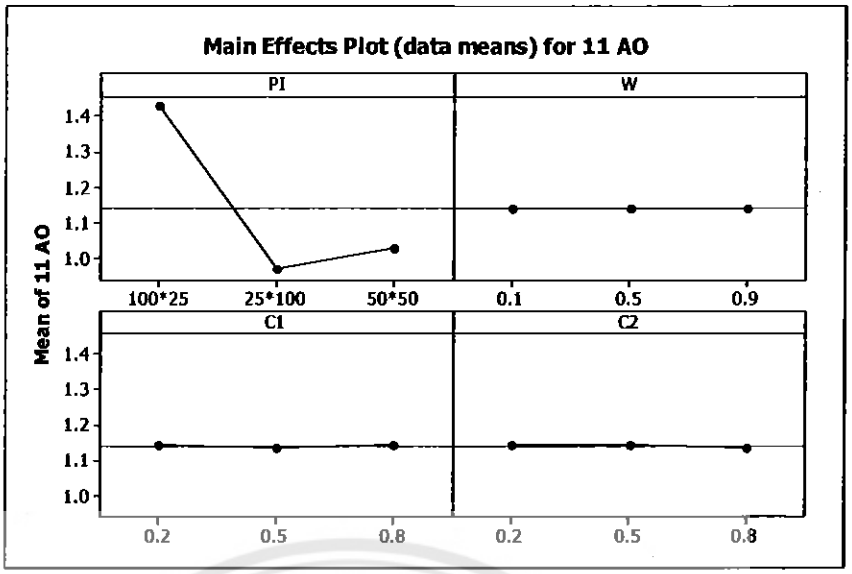
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า P ในทุกปัญหาแล้ว พบว่า กรณีปัญหาขนาด 6 งาน เมื่อทำการรันด้วย PSO (AO) พบว่าคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากันทุกค่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากปัญหามีขนนาดเล็กมาก จึงทำให้ไม่มีความแปรปรวนของคำตอบ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยของพารามิเตอร์ของ PSO ไม่มีผลใดๆ ต่อค่าคำตอบที่เหมาะสม หรือค่า Fitness Function ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ค่าระดับพารามิเตอร์ทุกตัวเป็นระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ

กรณีปัญหาขนาด 11 งาน 13 งาน และ 31 งาน พบว่าจำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (AO) ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) หรือระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น พบว่าค่า P ที่ได้มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

ในกรณีปัญหาขนาด 39 งาน จะพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (AO) ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

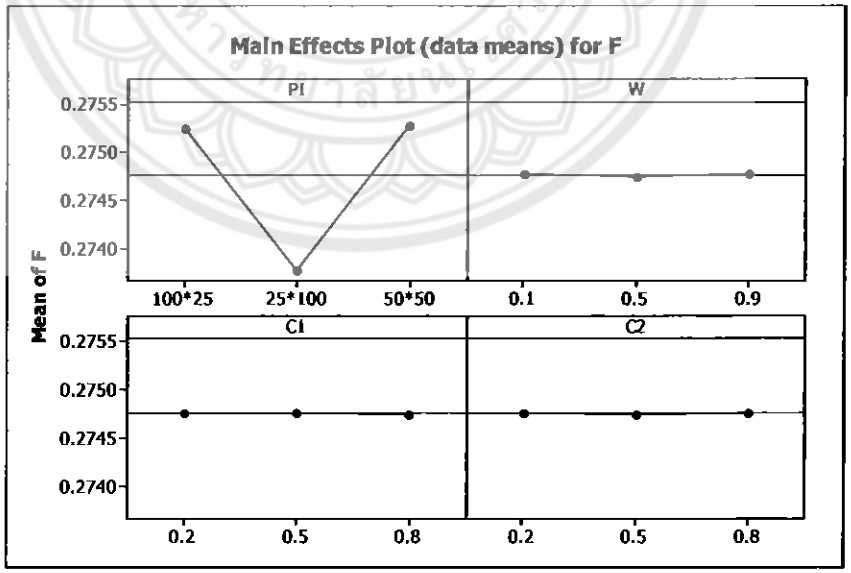
ส่วนกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของ PSO (AO) ดังนั้นจึงไม่มีปัจจัยใดที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ จะต้องมีการสร้างกราฟแสดงผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งได้แก่ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.10



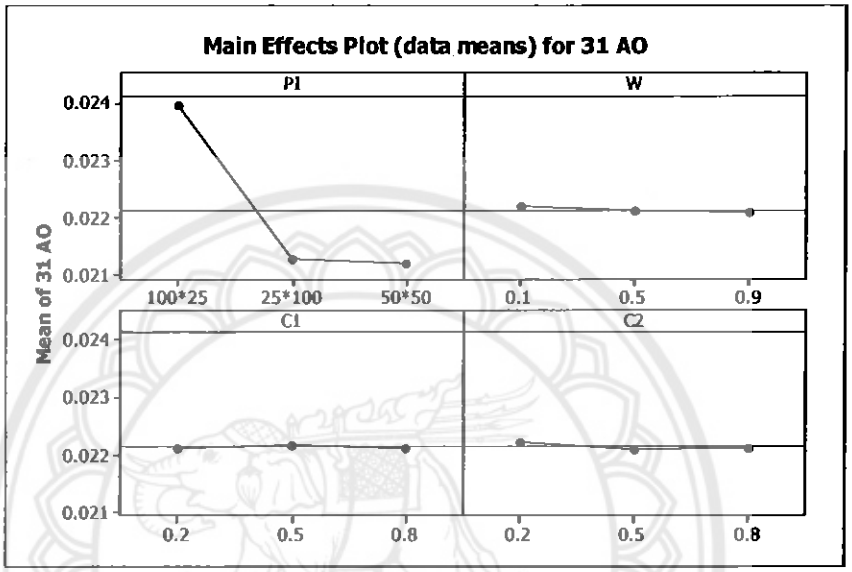
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูง คือ 100*25 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.6



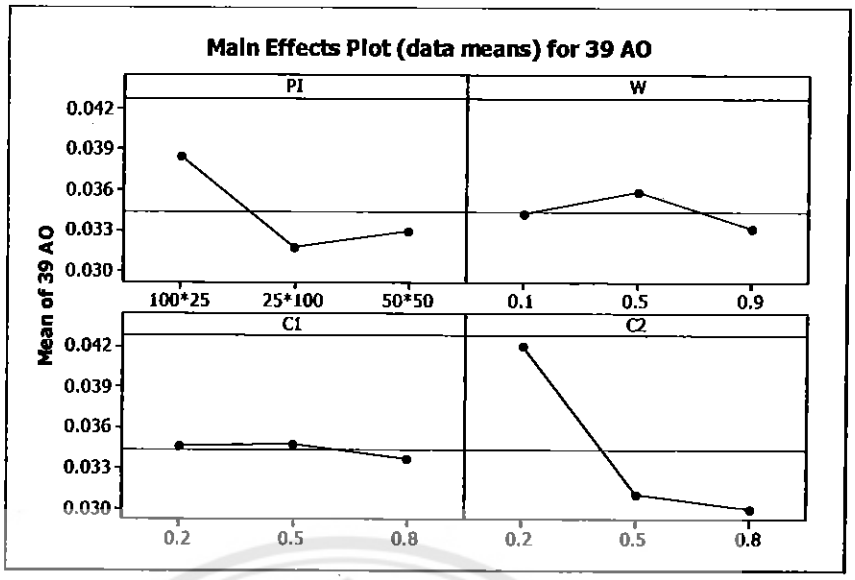
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับกลางคือ 50*50 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.6



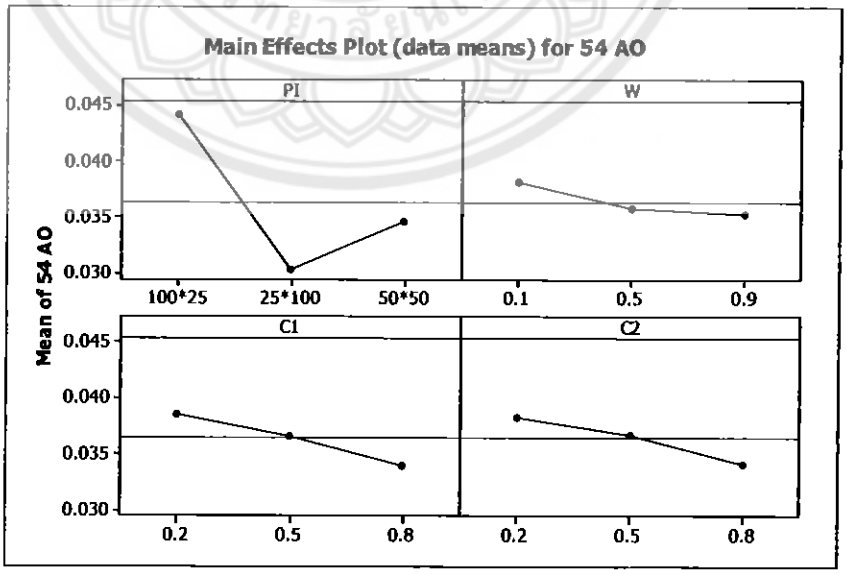
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูงคือ 100*25 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้นพบว่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูง คือ 100*25 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีค่าที่ระดับต่ำ คือ 0.2 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงกำหนดให้ใช้ค่าที่ระดับใดก็ได้ ซึ่งในโครงงานนี้จะกำหนดให้ใช้ค่าที่จุดสูงสุดของกราฟ ดังสรุปในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักที่มีผลต่อ Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า พารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งพบว่าค่า P*I มีค่าอยู่ที่ระดับสูง คือ 100*25 ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) อยู่ที่ระดับต่ำ คือ 0.1 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) อยู่ที่ระดับต่ำ คือ 0.2 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำ คือ 0.2 ดังสรุปในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ของ PSO (AO) ที่ได้จากทุกปัญหา

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม					
	6 งาน	11 งาน	13 งาน	31 งาน	39 งาน	54 งาน
จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I)	25*100	100*25	50*50	100*25	100*25	100*25
ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1
ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1)	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2
ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

4.2 การทดลองที่ 2 การพิจารณาเปรียบเทียบการปรับปรุงอัตราเร็วระหว่างวิธี SO กับวิธี AO

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและทดสอบว่าขั้นตอนการปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) ของ PSO ว่าระหว่างวิธี SO (Swap Operation) กับ AO (Adjustment Operation) วิธีทั้งสองนี้จะให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ของปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเท่ากันหรือไม่

4.2.1 การออกแบบการทดลองที่ 2

การกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ในการทดลองที่ 2 นั้น จะใช้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I), ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω), ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1), ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองที่ 1 ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการศึกษาและทดสอบ 1 ปัจจัย คือ การปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) โดยจะมีประชากร 2 กลุ่ม คือ SO และ AO

ในส่วนของปัญหานั้น ได้นำเอาปัญหา 6 ปัญหา มาใช้ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยจะมีการทำการทดลองซ้ำ (Replications) 30 ครั้ง โดยใช้หมายเลขสุ่ม (Random Seed Number) ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำการรันทั้งสิ้น 30x2x6 เท่ากับ 360 รัน

4.2.2 ผลการทดลองที่ 2

4.2.2.1 การทดสอบความแปรปรวน (σ) ในการทดลองที่ 2

สมมติฐานการทดลอง

H_0 : ค่าความแปรปรวนของคำตอบที่ได้จากวิธีการ PSO การปรับปรุงอัตราเร็ววิธี SO เท่ากับ วิธี AO ($\sigma_{PSO(SO)} = \sigma_{PSO(AO)}$)

H_1 : ค่าความแปรปรวนของคำตอบที่ได้จากวิธีการ PSO การปรับปรุงอัตราเร็ววิธี SO ไม่เท่ากับ วิธี AO ($\sigma_{PSO(SO)} \neq \sigma_{PSO(AO)}$)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของการทดลองที่ 2

ปัญหา	F - Test	P - value
6 งาน	-	-
11 งาน	0.86	0.678
13 งาน	1.00	1.000
31 งาน	1.19	0.638
39 งาน	2.84	0.006 *
54 งาน	1.04	0.925

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ในปัญหาขนาด 6 งาน ไม่มีความแปรปรวน เนื่องจากคำตอบที่ได้จากการรันโดยใช้การปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO และวิธี AO เท่ากันทุกค่าจึงไม่ต้องนำไปทำการวิเคราะห์ T - test ส่วนในปัญหาขนาด 39 งาน มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งเป็นการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับสมมติฐาน H_1 หมายความว่าค่าความแปรปรวนของปัญหา 39 งาน จากการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO ไม่เท่ากับวิธี AO ซึ่งค่าความแปรปรวนจากวิธี SO มีค่าเท่ากับ 0.00209 และค่าความแปรปรวนจากวิธี AO มีค่าเท่ากับ 0.000736 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธี SO แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี AO ดีกว่าวิธี SO ส่วนปัญหา 11 งาน 13 งาน 31 งาน และ 54 งาน นั้นมีค่า P ที่สูงกว่าระดับนัยสำคัญที่

กำหนด ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าค่าความแปรปรวนของปัญหา 11 งาน 13 งาน 31 งาน และ 54 งาน จากการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO เท่ากับ วิธี AO

4.2.2.2 การทดสอบ T - test ในการทดลองที่ 2

สมมติฐานการทดลอง

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ PSO การปรับปรุงอัตราเร็ว วิธี SO เท่ากับ วิธี AO ($\mu_{PSO(SO)} = \mu_{PSO(AO)}$)

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ PSO การปรับปรุงอัตราเร็ว วิธี SO ไม่เท่ากับ วิธี AO ($\mu_{PSO(SO)} \neq \mu_{PSO(AO)}$)

ตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ T - test ระหว่าง SO และ AO

ปัญหา	กลุ่มประชากร	N	ค่าเฉลี่ย (Average)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐาน	T	P
11 งาน	SO	30	1.292	0.248	0.17	0.867
	AO	30	1.281	0.269		
13 งาน	SO	30	0.27434	0.00263	0.00	1.000
	AO	30	0.27434	0.00263		
31 งาน	SO	30	0.02029	0.00323	-0.73	0.470
	AO	30	0.02087	0.00296		
39 งาน	SO	30	0.0426	0.0457	0.13	0.895
	AO	30	0.0413	0.0271		
54 งาน	SO	30	0.0420	0.0102	-0.73	0.468
	AO	30	0.0439	0.0100		

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ทุกปัญหามีค่า P ที่สูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นจึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับร้อยละ 95 ความเชื่อมั่น ซึ่งเป็นการยอมรับสมมติฐาน H_0 และปฏิเสธสมมติฐาน H_1 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบของปัญหาทุกปัญหาที่ได้จากการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO เท่ากับ วิธี AO

4.3 การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสม

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า คมสัน พิมลยรรยง (2551) ได้ทำการศึกษาเรื่องการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ซึ่งได้นำแอนท์โคโลนีออพติไมเซชัน (ACO) ทั้ง 5 รูปแบบมาใช้ในการแก้ปัญหา ฉะนั้นผู้จัดทำจึงจะทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้ระหว่างวิธี PSO และวิธี ACO เพื่อให้ทราบว่าวิธีการใดให้ค่าคำตอบที่เหมาะสมได้ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะพิจารณาเปรียบเทียบในวิธีการที่มีค่า Cycle Time ที่เท่ากัน โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของภาระงาน, เวลาว่างงานรวม, จำนวนสถานีงาน และค่า Fitness Function (รายละเอียดเพิ่มเติมของคำตอบในทุกปัญหาสามารถดูได้จากภาคผนวก) ซึ่งได้อ้างอิงค่าคำตอบของวิธี ACO จากคมสัน พิมลยรรยง (2551) ส่วนค่าคำตอบของวิธี PSO จะได้มาจากผลการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ **ของทุกปัญหา**

	AS	EAS	MMAS	AS-Rank	ACS	PSO
			6 งาน			
Workload Variance	0.6667	0.6667	0.6667	0.6667	0.6667	0.6667
Total Idle Time	3	3	3	3	3	3
Workstations	3	3	3	3	3	3
Cycle Time	7	7	7	7	7	7
Fitness Function	1.2009	1.2009	1.2009	1.2009	1.2009	1.2009

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ ของทุกปัญหา

	AS	EAS	MMAS	AS-Rank	ACS	PSO
			11 งาน			
Workload Variance	0.5556	0.5556	0.56	0.5556	0.5556	0.5556
Total Idle Time	0.56	0.56	4	0.56	0.56	14
Workstations	6	6	5	6	6	6
Cycle Time	9	9	10	9	9	10
Fitness Function	1.4402	1.4402	1.4289	1.4402	1.4402	1.4401
			31 งาน			
Workload Variance	31.1111	31.1111	31.1111	31.1111	31.1111	35.1111
Total Idle Time	90	90	90	90	90	90
Workstations	9	9	9	9	9	9
Cycle Time	100	100	100	100	100	100
Fitness Function	0.02803	0.02803	0.02803	0.02803	0.02803	0.02537
			39 งาน			
Workload Variance	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.53
Total Idle Time	3	3	3	3	3	137
Workstations	6	6	6	6	6	7
Cycle Time	134	134	134	134	134	134
Fitness Function	3.2002	3.2002	3.2002	3.2002	3.2002	0.3165

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ ของทุกปัญหา

	AS	EAS	MMAS	AS-Rank	ACS	PSO
			54 งาน			
Workload Variance	13.1684	12.5969	12.8827	12.8827	12.5969	12.8827
Total Idle Time	81	81	81	81	81	81
Workstations	14	14	14	14	14	14
Cycle Time	80	80	80	80	80	80
Fitness Function	0.06120	0.06390	0.06250	0.06250	0.06390	0.06250

จากตารางที่ 4.9 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมของวิธี ACO และ PSO โดยภาพรวมแล้วพบว่า คำตอบที่ได้จาก PSO จะมีค่า Fitness Function น้อยกว่า ACO แสดงถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่น้อยกว่าของ PSO สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบซึ่งสามารถแยกเป็นรายปัญหาได้ดังนี้

กรณีปัญหาขนาด 6 งาน พบว่า มีค่าความแปรปรวนของภาระงาน, เวลาว่างงานรวม, จำนวนสถานีงาน และค่า Fitness Function เท่ากับ ACO ซึ่งอาจเป็นเพราะปัญหาที่ใช้ทดสอบเป็นปัญหาขนาดเล็กมาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า PSO และ ACO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบเท่ากัน ในปัญหาขนาด 6 งาน

กรณีปัญหาขนาด 11 งาน เมื่อพิจารณาเทียบกับ วิธี MMAS ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่า Cycle Time เท่ากัน พบว่า วิธี PSO มีค่า Fitness Function มากกว่า วิธี MMAS แต่เมื่อพิจารณาเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่มีค่า Cycle Time ไม่เท่ากัน จะพบว่า วิธี PSO มีค่า Fitness Function น้อยกว่า ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า PSO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบมากกว่า MMAS และยังมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ ที่มีค่า Cycle Time ไม่เท่ากัน ในปัญหาขนาด 11 งาน

กรณีปัญหาขนาด 31 งาน พบว่า ค่าคำตอบที่ได้จาก PSO มีเวลาว่างงานรวม และจำนวนสถานีงาน เท่ากับ ACO แต่เนื่องจาก PSO มีค่าความแปรปรวนของภาระของภาระงานมากกว่า และมีค่า Fitness Function น้อยกว่า ACO ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า PSO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่น้อยกว่า ACO ในปัญหาขนาด 31 งาน

กรณีปัญหาขนาด 39 งาน พบว่า ค่าคำตอบที่ได้จาก PSO มีค่าความแปรปรวนของภาระงาน เวลาว่างงานรวม และจำนวนสถานีงาน มากกว่า ACO และยังมีค่า Fitness Function น้อยกว่า

ACO ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า PSO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่น้อยกว่า ACO ในปัญหาขนาด 39 งาน ซึ่งจากตารางเปรียบเทียบพบว่า ค่า Fitness Function ที่ได้มีค่าห่างจากค่า Fitness Function ในปัญหาอื่นๆ มาก ผู้จัดทำจึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุโดยการนำปัญหาดังกล่าวมาทำการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งพบว่าในปัญหา 39 งานนี้มีความผิดปกติของลำดับงานก่อนหน้า จึงอาจส่งผลต่อค่า Fitness Function ที่ได้ และเนื่องจากในงานวิจัยของคมสัน พิมลยรรยง (2551) ที่ได้ใช้อ้างอิงนั้น ได้แสดงไว้แต่ค่า Fitness Function โดยไม่ได้แสดงรายละเอียดของคำตอบไว้ จึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นค่าคำตอบที่ถูกต้องหรือไม่

และในกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่า ค่าคำตอบที่ได้จาก PSO มีค่าความแปรปรวนของภาระงาน เวลาว่างงานรวม และจำนวนสถานีงาน เท่ากับ ACO และยังมีค่า Fitness Function ที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า PSO และ ACO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน ในปัญหาขนาด 54 งาน

4.4 การเปรียบเทียบค่าคำตอบด้วยวิธีการทำงานต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้ วิธีดั้งเดิม (Original) เป็นวิธีการที่ไม่มีการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ และไม่มีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ วิธีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ (Adaptive) จะเป็นวิธีที่ไม่มีการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ แต่จะทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ วิธีการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ (Regenerate) เป็นวิธีการที่ทำการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ แต่จะไม่มีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ และวิธีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์และสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ (Adaptive + Regenerate) ซึ่งจะเป็นวิธีที่มีทั้งการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ และทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา

ปัญหา	ค่าเฉลี่ยของคำตอบรวมทั้ง 3 ตัววัด			
	Original	Adaptive	Regenerate	Adaptive + Regenerate
6 งาน	1.200926	1.200926	1.200926	1.200926
11 งาน	1.291828	1.291828	1.422917	1.438996
13 งาน	0.274338	0.275024	0.275276	0.275276
31 งาน	0.020286	0.020203	0.022759	0.023329
39 งาน	0.042577	0.04235	0.068422	0.079661
54 งาน	0.041994	0.042032	0.045528	0.046613

ในตารางที่ 4.10 นี้ จะเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคำตอบของทั้ง 3 ตัววัด ได้แก่ จำนวนสถานีงาน เวลาว่างงานรวม และความแปรปรวนของภาระงาน ซึ่งจากตารางจะพบว่ากรณีปัญหาขนาด 6 งานนั้น มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 11 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธี Adaptive + Regenerate นั้นมีค่ามากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด กรณีปัญหาขนาด 13 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธี Regenerate และวิธี Adaptive + Regenerate นั้นมีค่าเท่ากัน ซึ่งแสดงว่าวิธีการทั้ง 2 วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 31 งาน จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ Adaptive + Regenerate มีค่ามากที่สุด นั่นหมายความว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้ดีที่สุด กรณีปัญหาขนาด 39 งาน จะพบว่าว่าค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ Adaptive + Regenerate มีค่ามากที่สุด แสดงว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด และกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่าว่าค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ Adaptive + Regenerate มีค่ามากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะสังเกตได้ว่า วิธีการ Adaptive + Regenerate มีค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่มากที่สุดในทุกปัญหา นั่นอาจเป็นเพราะว่า วิธีการนี้มีการสร้างพาร์ทิเคิลใหม่ อีกทั้งยังมีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ด้วย จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าคำตอบดีกว่าวิธีอื่นๆ และเพื่อให้ได้รายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น ผู้จัดทำจึงได้ทำการเปรียบเทียบแยกในแต่ละตัววัด ดังแสดงในตารางที่ 4.11 – 4.13

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนสถานีงานด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา

ปัญหา	ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงาน			
	Original	Adaptive	Regenerate	Adaptive + Regenerate
6 งาน	3	3	3	3
11 งาน	5.9	5.9	5.866666667	5.9
13 งาน	8	8	8	8
31 งาน	9	9	9	9
39 งาน	7	7	7	7
54 งาน	14.03333	14.03333	14	14.03333

จากตารางที่ 4.11 จะพบว่ากรณีปัญหาขนาด 6 งานนั้น มีค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 11 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานของวิธี Regenerate นั้นมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการเปรียบเทียบด้วยค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ กรณีปัญหาขนาด 13 งาน 31 งาน และ 39 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานของทุกปัญหามีค่าเท่ากัน ซึ่งหมายถึงทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการทำงานที่เท่ากัน ในปัญหาทั้ง 3 ปัญหานี้ และกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่าว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานที่ได้จากวิธีการ Regenerate มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะสังเกตได้ว่าการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานนั้น ได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าพิจารณาในส่วนของจำนวนสถานีงานเพียงอย่างเดียว วิธีการ Adaptive + Regenerate จะไม่ใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่จะเป็นวิธีการ Regenerate แทน

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบเวลาว่างงานรวมด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา

ปัญหา	ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวม			
	Original	Adaptive	Regenerate	Adaptive + Regenerate
6 งาน	3	3	3	3
11 งาน	13	13	12.66667	13
13 งาน	13.72	13.72	13.72	13.72
31 งาน	90	90	90	90
39 งาน	137	137	137	137
54 งาน	83.66667	83.66667	81	83.66667

จากตารางที่ 4.12 จะพบว่ากรณีปัญหาขนาด 6 งานนั้น มีค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวมที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 11 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวมของวิธี Regenerate นั้นมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด กรณีปัญหาขนาด 13 งาน 31 งาน และ 39 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานของทุกปัญหามีค่าเท่ากัน ซึ่งหมายถึงทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการทำงานที่เท่ากัน ในทั้ง 3 ปัญหานี้ และกรณีปัญหาขนาด 54 งาน พบว่าว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานที่ได้จากวิธีการ Regenerate มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะสังเกตได้ว่าการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวมนั้น จะได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ แต่จะได้ข้อสรุปที่เหมือนกับการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าพิจารณาในส่วนของเวลาว่างงานรวมเพียงอย่างเดียว วิธีการ Adaptive + Regenerate จะไม่ใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบความแปรปรวนของภาระงานด้วยวิธีการทำงานต่างๆ ของทุกปัญหา

ปัญหา	ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงาน			
	Original	Adaptive	Regenerate	Adaptive + Regenerate
6 งาน	0.666667	0.666667	0.666667	0.666667
11 งาน	0.650313	0.650313	0.564989	0.556
13 งาน	2.92045	2.912908	2.9102	2.9102
31 งาน	50.62963	50.81481	41.19259	39.62963
39 งาน	32.83537	34.42585	20.33061	19.43537
54 งาน	20.63181	20.53975	18.64456	18.16134

จากตารางที่ 4.13 จะพบว่ากรณีปัญหาขนาด 6 งานนั้น มีค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงานที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 วิธีมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 11 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงานของวิธี Adaptive + Regenerate นั้นมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด กรณีปัญหาขนาด 13 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงานของวิธี Regenerate และวิธี Adaptive + Regenerate นั้นมีค่าเท่ากัน ซึ่งแสดงว่าวิธีการทั้ง 2 วิธีนี้มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เท่ากัน กรณีปัญหาขนาด 31 งาน 39 งาน และ 54 งาน พบว่าค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงานของวิธี Adaptive + Regenerate นั้นมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ในทั้ง 3 ปัญหานี้

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะสังเกตได้ว่าการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของภาระงานนั้น จะได้ข้อสรุปที่เหมือนกับการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ แต่จะได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงาน และการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าพิจารณาในส่วนของความแปรปรวนของภาระงานเพียงอย่างเดียว วิธีการ Adaptive + Regenerate ก็จะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการสรุปผลโครงงาน และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ โดยในการสรุปผลนี้จะอ้างอิงเฉพาะในกรณีของปัญหาที่ใช้ในโครงงานนี้เท่านั้น ซึ่งการสรุปผลของโครงงานเป็นดังนี้

5.1 สรุปผล

การสรุปผลจะเป็นไปตามการทดลองจากในบทที่ผ่านมา โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองที่ 1

จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ว่า ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSO ในปัญหาขนาด 6 งาน, 11 งาน, 13 งาน, 31 งาน, 39 งาน และ 54 งาน นั้น จะมีค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละปัญหา ซึ่งโดยรวมแล้วพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งจะหมายความว่า ปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของทุกปัญหา ส่วนปัจจัยอื่นนั้นจะมีผลกระทบในแต่ละปัญหาที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะสามารถสรุปเป็นรายข้อได้ดังนี้

5.1.1.1 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 6 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าได้ข้อสรุปเหมือนกัน คือ ไม่มีปัจจัยใดที่มีที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากค่าคำตอบที่ได้จากการรันทดสอบด้วย PSO มีค่าเท่ากันทุกค่าจึงทำให้ไม่มีความแปรปรวนของคำตอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ของ PSO ไม่มีผลใดๆ ต่อค่า Fitness Function จึงกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์เท่าใดก็ได้

5.1.1.2 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 11 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าได้ข้อสรุปเหมือนกัน คือ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 11 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ SO และ AO จะมีค่าเท่ากัน ดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้

5.1.1.3 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 13 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าทั้ง 2 วิธีนั้น ได้ข้อสรุปที่เหมือนกัน คือ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 13 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ SO และ AO มีค่าเท่ากัน ดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 50*50 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้

5.1.1.4 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 31 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าทั้ง 2 วิธีนั้น ได้ข้อสรุปที่เหมือนกัน คือ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 31 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) นั้น พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ SO และ AO มีค่าเท่ากัน ดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้

5.1.1.5 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 39 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าในส่วนของ SO จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 39 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ SO มีดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) คือ 0.2 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้ และในส่วนของ AO นั้นพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 39 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) นั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ AO มีดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 และระดับความสามารถใน

การเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) คือ 0.2 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้

5.1.1.6 จากการศึกษาและทำการทดลองด้วย PSO ในปัญหาขนาด 54 งาน โดยใช้วิธีการปรับปรุงอัตราเร็วทั้ง 2 วิธี คือ วิธี Swap Operation และวิธี Adjustment Operation พบว่าในส่วนของ SO จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 54 งาน ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ SO มีดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) คือ 0.5 ส่วนค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) สามารถกำหนดค่าเท่าใดก็ได้ และในส่วนของ AO นั้นพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาขนาด 54 งาน โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ AO มีดังนี้ จำนวนพาร์ทิเคิลคูณกับจำนวนรอบ (P*I) คือ 100*25 ค่าถ่วงน้ำหนัก (ω) คือ 0.1 ระดับความสามารถในการเรียนรู้ของตัวเอง (C_1) คือ 0.2 และระดับความสามารถในการเรียนรู้ของกลุ่ม (C_2) คือ 0.2

5.1.2 สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการศึกษารูปแบบของการปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) ด้วยวิธี SO (Swap Operation) และ AO (Adjustment Operation) ในแต่ละปัญหา โดยการทดสอบความแปรปรวน พบว่า ในปัญหาขนาด 39 งานนั้น มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่าค่าความแปรปรวนจากการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO ไม่เท่ากับ วิธี AO ซึ่งจากการทดสอบได้ข้อสรุปว่า ค่าความแปรปรวนจากวิธี AO มีค่าน้อยกว่าค่าความแปรปรวนจากวิธี SO แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี AO ดีกว่าวิธี SO ส่วนในปัญหาอื่นๆ นั้น พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งหมายถึงค่าความแปรปรวนจากการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO เท่ากับ วิธี AO นั่นคือวิธีการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธีทั้ง 2 นั้น ไม่มีผลต่อการหาค่าคำตอบในปัญหาอื่น (6 งาน, 11 งาน, 13 งาน, 31 งาน และ 54 งาน) และทำการทดสอบ T - test ซึ่งพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งก็หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบของทั้ง 2 วิธี เท่ากัน นั่นก็คือในทุกปัญหาการปรับปรุงอัตราเร็วด้วยวิธี SO หรือวิธี AO ไม่มีผลต่อการหาค่าคำตอบ สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

5.1.3 การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของ PSO และ ACO โดยเปรียบเทียบในส่วนของค่าความแปรปรวนของภาระงาน, เวลาว่างงานรวม และจำนวนสถานีงาน พบว่า โดยรวมแล้ว PSO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้น้อยกว่า ACO (คมสัน พิมลยรรยง, 2551) สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

5.2 อภิปรายผล

แม้ว่างานวิจัยในอดีตจะมีการศึกษามาแล้วว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSO ควรมีค่าที่เหมาะสมเท่าใด สำหรับใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (ณัฏฐพงศ์ คำขาด, 2551) แต่เมื่อนำ PSO มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแล้ว กลับพบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไป ได้ค่าที่เหมาะสมต่างออกไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อโจทย์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาเปลี่ยนไป ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แม้ว่าจะใช้วิธีการแก้ปัญหาเหมือนกันก็ตาม อีกทั้ง เมื่อนำค่าคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าคำตอบของงานวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งได้ทำการศึกษาเรื่องการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยนำแอนท์โคโลนีออพติไมเซชัน (ACO) ทั้ง 5 รูปแบบมาใช้ในการแก้ปัญหา (คมสัน พิมลยรรยง, 2551) พบว่าค่าคำตอบที่ได้จาก PSO นั้น แม้ว่าจะเป็นค่าที่ดีในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบที่ได้จาก ACO (รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถดูได้จากการทดลองในบทที่ 4) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นอีกว่าการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบด้วยวิธี PSO นั้น ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร แต่ก็ไม่สามารถสรุปได้ว่า PSO ไม่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ เนื่องจาก PSO อาจเหมาะสมกับการแก้ปัญหาในลักษณะอื่นก็เป็นได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรทำการศึกษาขนาดของปัญหา ALBP ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.3.2 ใช้วิธีการในการแก้ปัญหาแบบอื่นๆ หรือใช้ปัญหาอื่นในการแก้ปัญหา

5.3.3 ใช้วิธีการในการปรับปรุงค่าอัตราเร็วในแบบอื่นๆ ที่น่าสนใจ

5.3.4 ควรนำโปรแกรมไปใช้จริง และพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น เพื่อจะได้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษา

5.3.5 ในส่วนของงาน Adaptive นั้น ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาไว้ในบางส่วนเท่านั้น ซึ่งยังสามารถที่จะนำมาศึกษาเพิ่มเติมได้อีก

เอกสารอ้างอิง

ผศ.ดร. บรรหาญ ลิลา. (2553). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

ผศ.ดร. บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

รศ. พิภพ ลลิตาภรณ์. (2551). **การวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 14).** กรุงเทพฯ: บริษัท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

รศ.พิภพ ลลิตาภรณ์. (2546). **การวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 9).** กรุงเทพฯ: บริษัท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ผศ. ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2538). **การวางแผนและควบคุมการผลิต.** กรุงเทพฯ: บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด.

คมสัน พิมลยรรยง. (2551). **การประยุกต์ใช้แอนท์โคโลนีออพติไมเซชันเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

ณัฏฐพงศ์ คำขาด. (2551). **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันและเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

Bowman, E.H. (1960). Assembly line balancing by linear programming. **Operation Research**, 8(3), 385 - 389.

Cerny, V. (1985). A thermo dynamical approach to the traveling salesman problem: An efficiency simulation algorithm. **Journal of Optimization Theory and Application**, 45(1), 41 - 45.

Goldberg, D.E. (1989). **Genetic algorithm in search, optimization and machine learning**. Massachusetts: Addison-Wesley.

Kirkpatrick, S. Gelatt, C. and Vecchi, M. (1983). Optimization by simulated annealing. **Science**, 220(4598), 671 - 679.

Rubinovitz, J. and Backchin J. (1993). RALB – A heuristics algorithm for design and balancing of robotic assembly lines. **Annals of the CIRP**, 42(1), 497 - 500.

Rubinovitz, J. and Levitin, G. (1995). **Genetic algorithm for assembly line balancing, International Journal of Production Economic**, 41, 343 – 354.

Wei and chao (2011). **A Solution procedure for type E simple assembly line balancing problem**

ภาคผนวก ก
ปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในโครงงาน

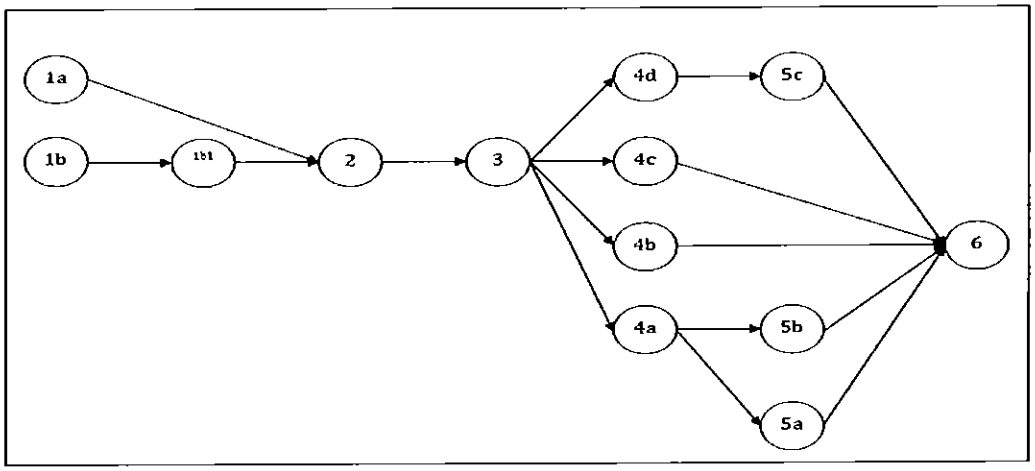
ตารางที่ ก.1 ปัญหาตัวอย่างที่ 1

13 งาน		
งาน	**เวลาทำงาน (นาที)**	**งานก่อนหน้า**
1a	10.14	-
1b	2.19	-
1b1	5.85	1b
2	5.84	1a,1b1
3	7.12	2
4d	4.25	3
4c	6.54	3
4b	3.25	3
4a	10.73	3
5c	6.25	4d
5b	6.15	4a
5a	7.71	4a
6	12.78	4c,4b,5a,5b,5c

ที่มา : บทความ A Solution procedure for type E simple assembly line balancing problem

รอบการผลิต = 12.78 นาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 7 สถานี



รูปที่ ก.1 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 1

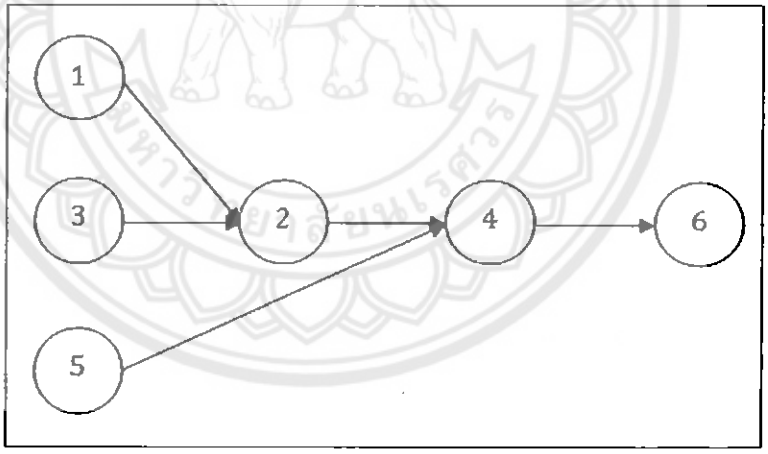
ตารางที่ ก.2 ปัญหาตัวอย่างที่ 2

6 งาน		
งาน	เวลาทำงาน (นาที)	งานก่อนหน้า
1	2	-
2	3	1,3
3	5	-
4	4	2,5
5	3	-
6	1	4

ที่มา : ณัฏพงศ์ คำขาด

รอบการผลิต = 7 นาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 4 สถานี



รูปที่ ก.2 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 2

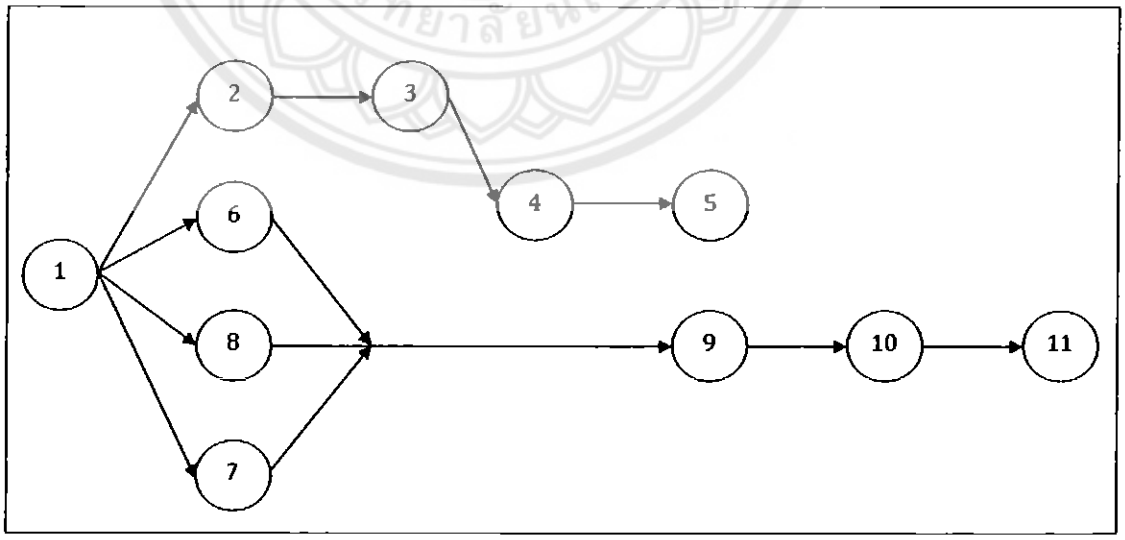
ตารางที่ ก.3 ปัญหาตัวอย่างที่ 3

11 งาน		
งาน	**เวลาทำงาน (นาที)**	**งานก่อนหน้า**
1	6	-
2	2	1
3	2	2
4	6	3
5	5	4
6	5	1
7	7	1
8	1	1
9	3	6,7,8
10	5	9
11	4	10

ที่มา : พิภพ เล้าประจง

รอบการผลิต = 10 นาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 7 สถานี



รูปที่ ก.3 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ ก.4 ปัญหาตัวอย่างที่ 4

31 งาน		
งาน	เวลาทำงาน (วินาที)	งานก่อนหน้า
1	10	-
2	60	-
3	18	-
4	5	-
5	35	1,2,3,4
6	10	5
7	7	6
8	20	7
9	55	7
10	20	8,9,12
11	15	10
12	5	7
13	20	5
14	5	5
15	4	5
16	6	5
17	45	5
18	45	17
19	25	5
20	15	5
21	15	5
22	30	11,13,14,15,16,18,19,20,21
23	10	22
24	40	23
25	15	24
26	10	24
27	25	24

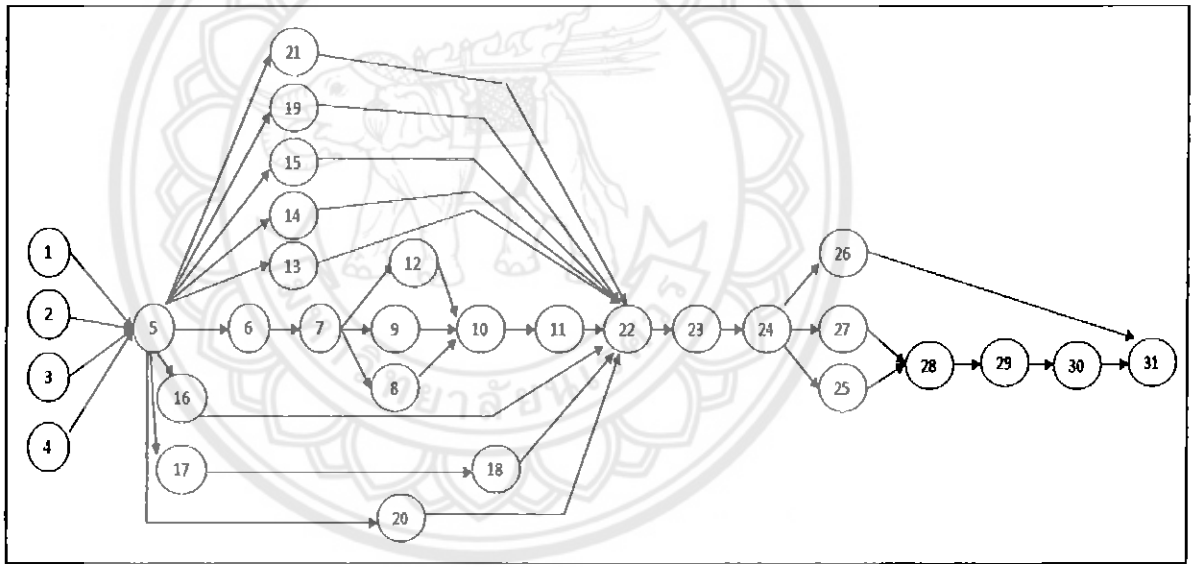
ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ปัญหาตัวอย่างที่ 4

31 งาน		
งาน	**เวลาทำงาน (วินาที)**	**งานก่อนหน้า**
28	70	25,27
29	70	28
30	70	29
31	30	26,30

ที่มา : Ratanawilaiwan

รอบการผลิต = 100 วินาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 12 สถานี



รูปที่ ก.4 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ก.5 ปัญหาตัวอย่างที่ 5

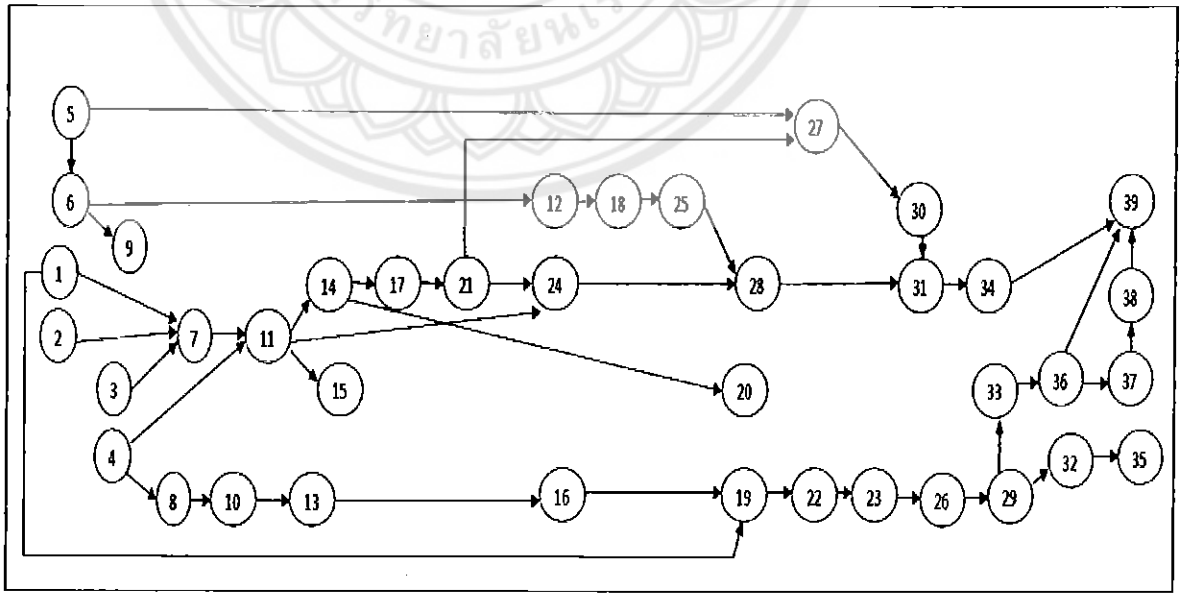
39 งาน		
งาน	เวลาทำงาน (วินาที)	งานก่อนหน้า
1	18	-
2	60	-
3	16	-
4	30	-
5	18	-
6	20	5
7	20	1,2,3
8	18	4
9	28	6
10	25	8
11	27	4,6,7
12	8	6
13	20	10
14	25	11
15	8	11
16	12	13
17	6	14
18	45	12
19	30	1,16
20	8	14
21	8	17
22	8	19
23	4	22
24	28	11,21
25	22	18
26	20	23
27	20	5,21
28	24	24,25

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) ปัญหาตัวอย่างที่ 5

39 งาน		
งาน	เวลาทำงาน (วินาที)	งานก่อนหน้า
29	8	26
30	30	27
31	10	28,30
32	18	29
33	45	29
34	20	31
35	20	32
36	24	33
37	8	36
38	22	37
39	20	34,36,38

รอบการผลิต = 134 วินาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 9 สถานี



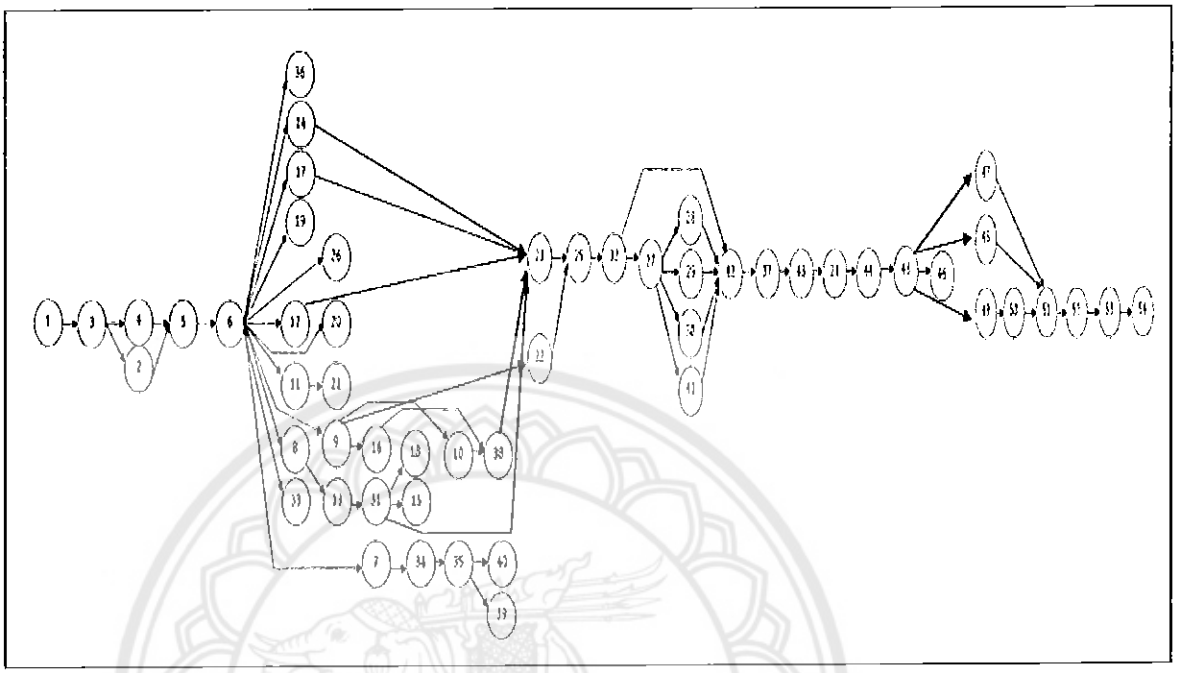
รูปที่ ก.5 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 5

ตารางที่ ก.6 ปัญหาตัวอย่างที่ 6

54 งาน		
งาน	เวลาทำงาน (วินาที)	งานก่อนหน้า
1	20	-
2	20	3
3	25	1
4	30	3
5	40	2,4
6	15	5
7	8	6
8	40	6
9	10	6
10	3	9
11	20	6
12	8	6
13	50	8
14	35	6
15	40	31
16	10	9
17	20	6
18	7	31
19	7	6
20	7	6
21	15	11
22	20	9
23	40	12,14,17,31,38
24	10	43
25	15	22,23
26	30	6
27	25	15,32
28	7	27

รอบการผลิต = 100 วินาที

จำนวนสถานีงานที่ยอมรับได้ = 15 สถานี



รูปที่ ก.6 แสดงแผนผังลำดับงานของปัญหาตัวอย่างที่ 6

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	17.4917	8.745	106.29	0.000 *
ω	2	0.0000	0.0000	0.00	1.000
C_1	2	0.0130	0.0065	0.08	0.924
C_2	2	0.0518	0.0259	0.31	0.730
Error	396	32.5839	0.0823		
Total	404	50.1404			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0002019	0.0001010	83.87	0.000 *
ω	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
C_1	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
C_2	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
Error	396	0.0004767	0.0000012		
Total	404	0.0006789			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0006195	0.0003098	28.47	0.000 *
ω	2	0.0000029	0.0000015	0.13	0.875
C_1	2	0.0000058	0.0000029	0.27	0.766
C_2	2	0.0000004	0.0000002	0.02	0.981
Error	396	0.0043093	0.0000109		
Total	404	0.0049380			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

ตารางที่ ข.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0176992	0.0088496	40.83	0.000 *
ω	2	0.0000207	0.0000104	0.05	0.953
C_1	2	0.0019898	0.0009949	4.59	0.011 *
C_2	2	0.0005204	0.0002602	1.20	0.302
Error	396	0.0858399	0.0002168		
Total	404	0.1060701			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

ตารางที่ ข.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0096242	0.0048121	75.28	0.000 *
ω	2	0.0000370	0.0000185	0.29	0.749
C_1	2	0.0001719	0.0000859	1.34	0.262
C_2	2	0.0004890	0.0002445	3.83	0.023 *
Error	396	0.0253132	0.0000639		
Total	404	0.0356353			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	16.9185	8.4593	100.61	0.000 *
ω	2	0.0000	0.0000	0.00	1.000
C_1	2	0.0130	0.0065	0.08	0.926
C_2	2	0.0130	0.0065	0.08	0.926
Error	396	33.2940	0.0841		
Total	404	50.2385			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

ตารางที่ ค.2 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0002019	0.0001010	83.87	0.000 *
ω	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
C_1	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
C_2	2	0.0000001	0.0000000	0.03	0.971
Error	396	0.0004767	0.0000012		
Total	404	0.0006789			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

ตารางที่ ค.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0006706	0.0003353	30.98	0.000 *
ω	2	0.0000008	0.0000004	0.04	0.964
C_1	2	0.0000002	0.0000001	0.01	0.993
C_2	2	0.0000012	0.0000006	0.05	0.948
Error	396	0.0042863	0.0000108		
Total	404	0.0049591			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

ตารางที่ ค.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0007165	0.0003583	3.87	0.025 *
ω	2	0.0001014	0.0000507	0.55	0.581
C_1	2	0.0000197	0.0000099	0.11	0.899
C_2	2	0.0024195	0.0012097	13.06	0.000 *
Error	72	0.0066682	0.0000926		
Total	80	0.0099254			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความแปรแรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

ตารางที่ ค.5 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F	P
P*I	2	0.0134672	0.0067336	89.45	0.000 *
ω	2	0.0006040	0.0003020	4.01	0.019 *
C_1	2	0.0014664	0.0007332	9.74	0.000 *
C_2	2	0.0011818	0.0005909	7.85	0.000 *
Error	396	0.0298088	0.0000753		
Total	404	0.0465282			

หมายเหตุ : * คือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

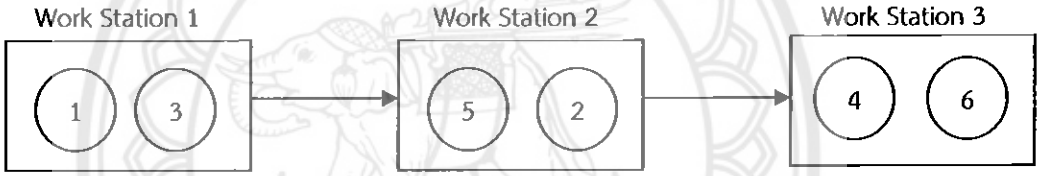
ภาคผนวก ง
รายละเอียดของค่าคำตอบที่เหมาะสม

ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 6 งาน

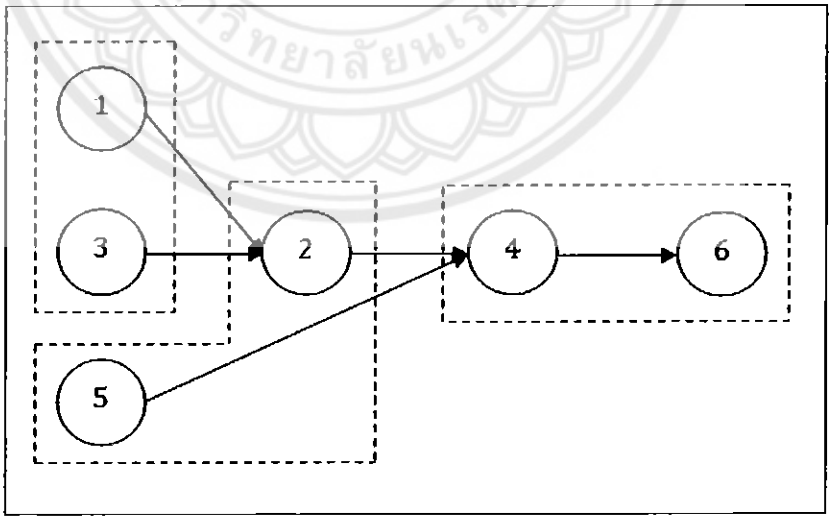
Best So Far Solution = ({1 3} {5 2} {4 6})

Station 1 Have Task 1 , 3	Total Time : 7 Minute
Station 2 Have Task 5 , 2	Total Time : 6 Minute
Station 3 Have Task 4 , 6	Total Time : 5 Minute

Work Station	:	3
Idle Time	:	3.0
Workload Variance	:	0.666666666667



รูปที่ ง.1 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 6 งาน



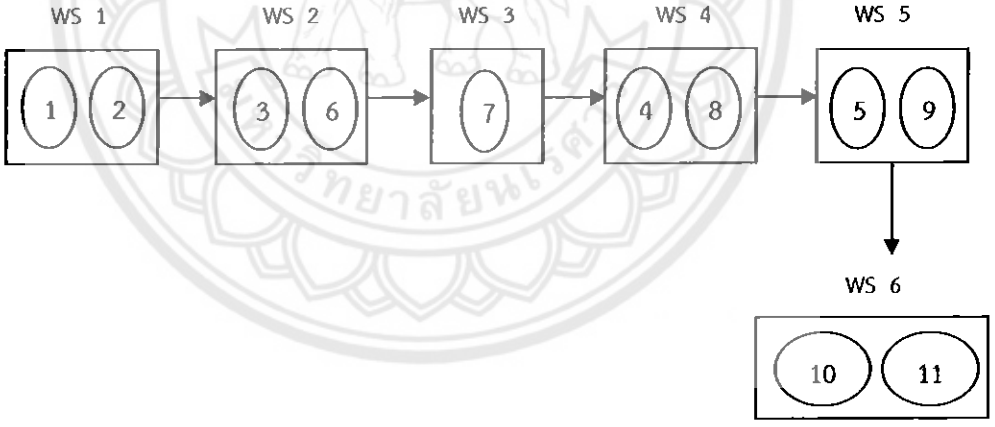
รูปที่ ง.2 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 6 งาน

ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 11 งาน

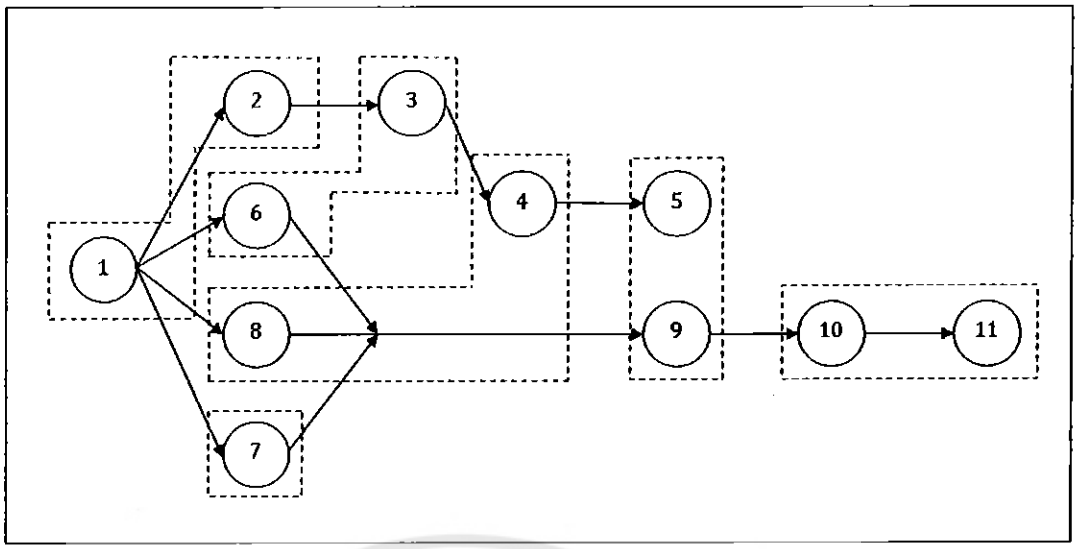
Best So Far Solution = ({1 2} {6 3} 7 {4 8} {5 9} {10 11})

Station 1 Have Task 1 , 2	Total Time : 8 Minute
Station 2 Have Task 6 , 3	Total Time : 7 Minute
Station 3 Have Task 7	Total Time : 7 Minute
Station 4 Have Task 4 , 8	Total Time : 7 Minute
Station 5 Have Task 5 , 9	Total Time : 8 Minute
Station 6 Have Task 10 , 11	Total Time : 9 Minute

Work Station	:	6
Idle Time	:	14.0
Workload Variance	:	0.555555555557



รูปที่ ง.3 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 11 งาน



รูปที่ ง.4 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 11 งาน

ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 13 งาน

คำตอบที่ 1

Best So Far Solution = ({1b 1a} {1b1 2} {3 4b} 4a {4d 4c} {5c 5b} 5a 6)

Station 1 Have Task 1b , 1a	Total Time : 12.59 second
Station 2 Have Task 1b1 , 2	Total Time : 11.69 second
Station 3 Have Task 3 , 4b	Total Time : 10.37 second
Station 4 Have Task 4a	Total Time : 10.73 second
Station 5 Have Task 4d , 4c	Total Time : 10.79 second
Station 6 Have Task 5c , 5b	Total Time : 12.4 second
Station 7 Have Task 5a	Total Time : 7.17 second
Station 8 Have Task 6	Total Time : 12.78 second

คำตอบที่ 2

Best So Far Solution = ({1b 1a} {1b1 2} {3 4b} 4a 5a {4c 4d} {5c 5b} 6)

Station 1 Have Task 1b , 1a	Total Time : 12.59 second
Station 2 Have Task 1b1 , 2	Total Time : 11.69 second
Station 3 Have Task 3 , 4b	Total Time : 10.37 second

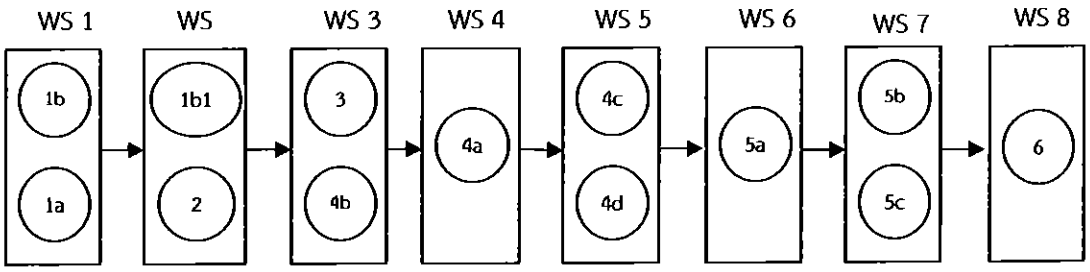
Station 4 Have Task 4a	Total Time : 10.73 second
Station 5 Have Task 5a	Total Time : 7.17 second
Station 6 Have Task 4c , 4d	Total Time : 10.79 second
Station 7 Have Task 5c , 5b	Total Time : 12.4 second
Station 8 Have Task 6	Total Time : 12.78 second

คำตอบที่ 3

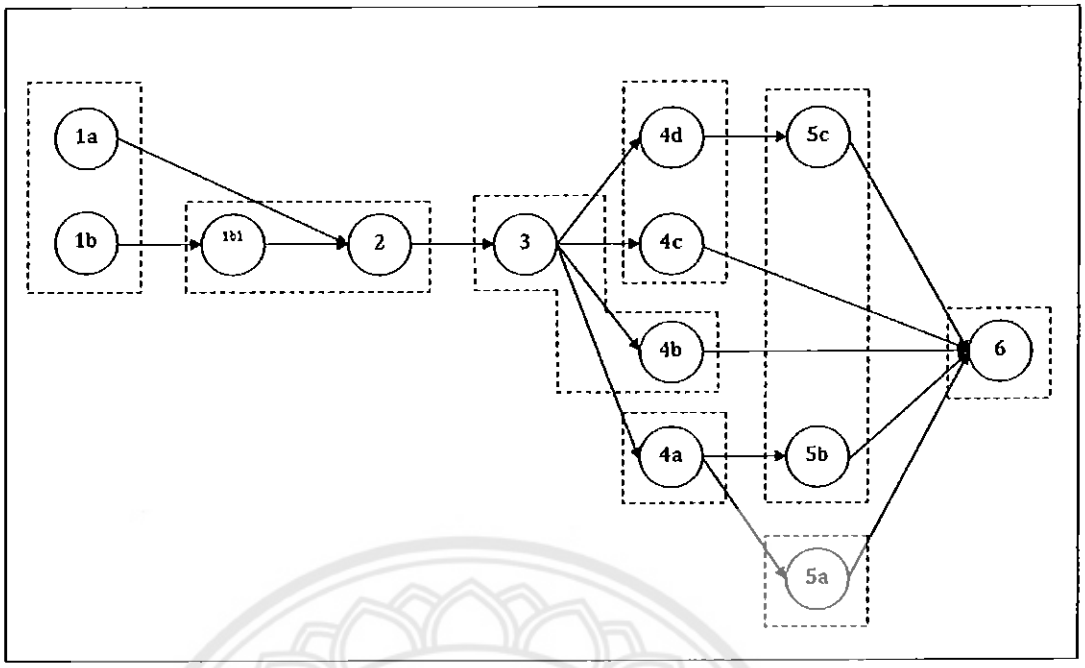
Best So Far Solution = ({1b 1a} {1b1 2} {3 4b} 4a {4c 4d} 5a {5b 5c} 6)

Station 1 Have Task 1b , 1a	Total Time : 12.59 second
Station 2 Have Task 1b1 , 2	Total Time : 11.69 second
Station 3 Have Task 3 , 4b	Total Time : 10.37 second
Station 4 Have Task 4a	Total Time : 10.73 second
Station 5 Have Task 4c , 4d	Total Time : 10.79 second
Station 6 Have Task 5a	Total Time : 7.17 second
Station 7 Have Task 5b , 5c	Total Time : 12.4 second
Station 8 Have Task 6	Total Time : 12.78 second

Work Station	:	8
Idle Time	:	13.72
Workload Variance	:	2.9102



รูปที่ ง.5 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 13 งาน



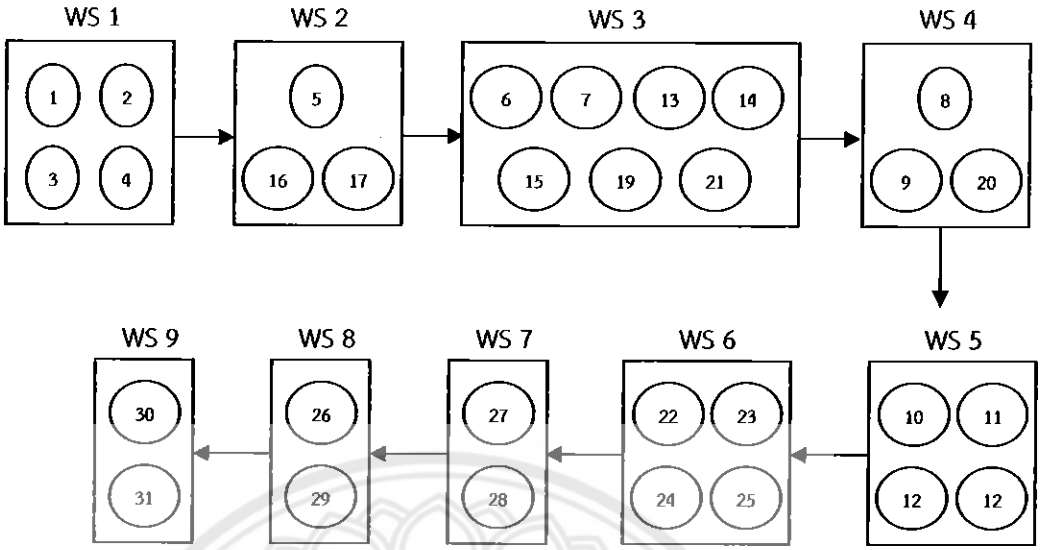
รูปที่ ง.6 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 13 งาน

ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 31 งาน

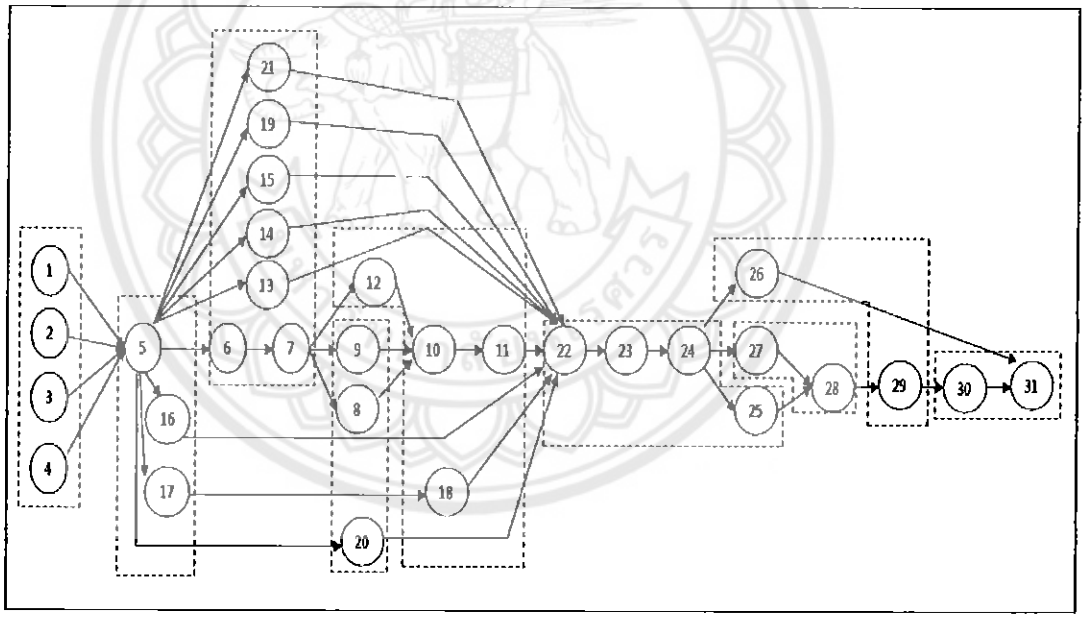
Best So Far Solution = ({3 1 2 4} {5 16 17} {13 21 14 6 15 7 19} {9 20 8} {18 12 10 11} {22 23 24 25} {27 28} {29 26} {30 31})

Station 1 Have Task 3 , 1 , 2 , 4	Total Time : 93 second
Station 2 Have Task 5 , 16 , 17	Total Time : 86 second
Station 3 Have Task 13 , 21 , 14 , 6 , 15 , 7 , 19	Total Time : 86 second
Station 4 Have Task 9 , 20 , 8	Total Time : 90 second
Station 5 Have Task 18 , 12 , 10 , 11	Total Time : 85 second
Station 6 Have Task 22 , 23 , 24 , 25	Total Time : 95 second
Station 7 Have Task 27 , 28	Total Time : 95 second
Station 8 Have Task 29 , 26	Total Time : 80 second
Station 9 Have Task 30 , 31	Total Time : 100 second

Work Station	:	9
Idle Time	:	90.0
Workload Variance	:	35.1111111111



รูปที่ ง.7 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 31 งาน



รูปที่ ง.8 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 31 งาน

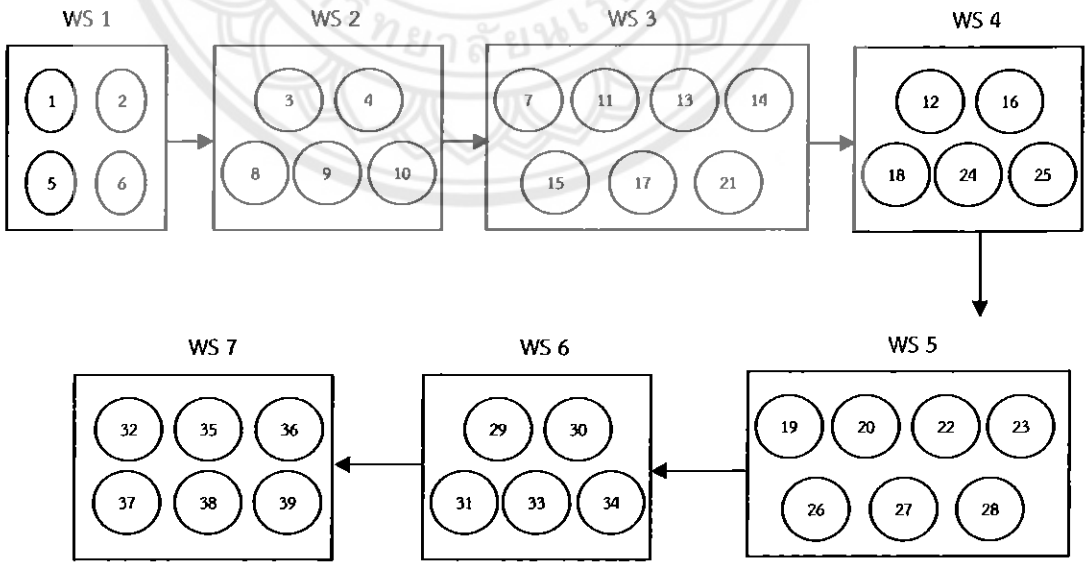
ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 39 งาน

Best So Far Solution = ({2 5 1 6} {9 4 8 10 3} {7 11 14 15 17 13 21} {24 12 18 16 25} {19 22 23 26 20 28 27} {30 29 33 31 34} {36 32 37 38 39 35})

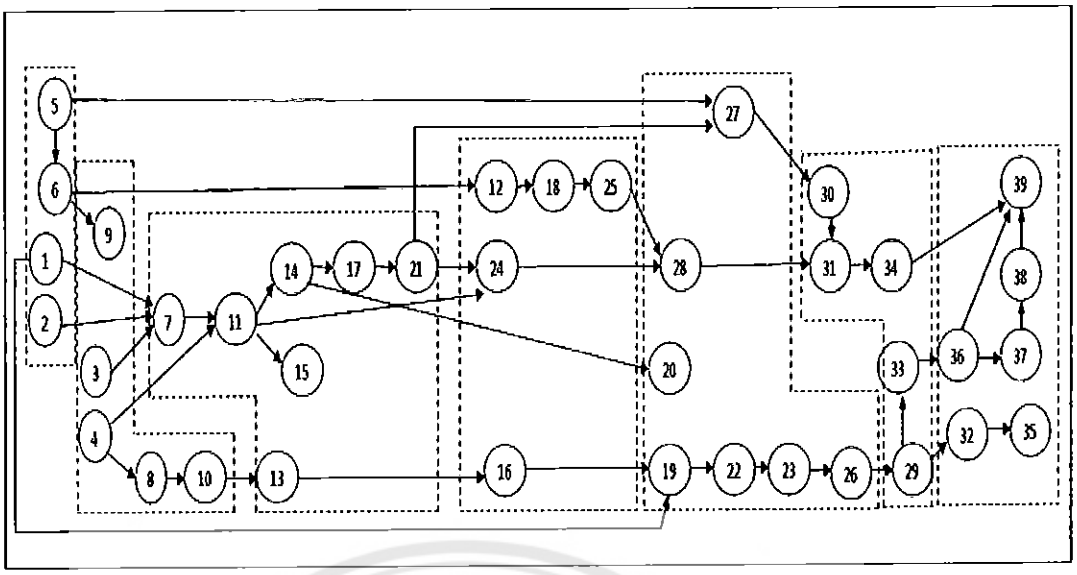
Station 1 Have Task 2 , 5 , 1 , 6	Total Time : 116 second
Station 2 Have Task 9 , 4 , 8 , 10 , 3	Total Time : 117 second
Station 3 Have Task 7 , 11 , 14 , 15 , 17 , 13 , 21	Total Time : 114 second
Station 4 Have Task 24 , 12 , 18 , 16 , 25	Total Time : 115 second
Station 5 Have Task 19 , 22 , 23 , 26 , 20 , 28 , 27	Total Time : 114 second
Station 6 Have Task 30 , 29 , 33 , 31 , 34	Total Time : 113 second
Station 7 Have Task 36 , 32 , 37 , 38 , 39 , 35	Total Time : 112 second

---

Work Station : 7
Idle Time : 137.0
Workload Variance : 2.5306122449



รูปที่ ง.9 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 39 งาน



รูปที่ ง.10 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 39 งาน

ค่าคำตอบที่เหมาะสมในปัญหาขนาด 54 งาน

คำตอบที่ 1

Best So Far Solution = ({1 3 4} {2 5 6} {12 19 11 8} {17 36 14} {33 13} {20 26 21 9 16} {31 15 7} {34 10 35 40 18 38 39} {22 23 25} {32 27 29 30 28 41 42} 37 {43 24 44 48 46} {47 45 49 50 51 52} {53 54})

Station 1 Have Task 1 , 3 , 4	Total Time : 75 second
Station 2 Have Task 2 , 5 , 6	Total Time : 75 second
Station 3 Have Task 12 , 19 , 11 , 8	Total Time : 75 second
Station 4 Have Task 17 , 36 , 14	Total Time : 75 second
Station 5 Have Task 33 , 13	Total Time : 75 second
Station 6 Have Task 20 , 26 , 21 , 9 , 16	Total Time : 72 second
Station 7 Have Task 31 , 15 , 7	Total Time : 73 second
Station 8 Have Task 34 , 10 , 35 , 40 , 18 , 38 , 39	Total Time : 74 second
Station 9 Have Task 22 , 23 , 25	Total Time : 75 second
Station 10 Have Task 32 , 27 , 29 , 30 , 28 , 41 , 42	Total Time : 75 second
Station 11 Have Task 37	Total Time : 80 second
Station 12 Have Task 43 , 24 , 44 , 48 , 46	Total Time : 70 second
Station 13 Have Task 47 , 45 , 49 , 50 , 51 , 52	Total Time : 65 second
Station 14 Have Task 53 , 54	Total Time : 80 second

คำตอบที่ 2

Best So Far Solution = ({1 3 4} {2 5 6} {12 19 11 8} {17 36 14} {33 13} {20 26 21 9 16} {31 15 7} {34 10 22 35 39 40 18} {38 23 25} {32 27 29 30 41 28 42} 37 {43 24 44 48 45} {47 49 50 46 51 52} {53 54})

Station 1 Have Task 1 , 3 , 4	Total Time : 75 second
Station 2 Have Task 2 , 5 , 6	Total Time : 75 second
Station 3 Have Task 12 , 19 , 11 , 8	Total Time : 75 second
Station 4 Have Task 17 , 36 , 14	Total Time : 75 second
Station 5 Have Task 33 , 13	Total Time : 75 second
Station 6 Have Task 20 , 26 , 21 , 9 , 16	Total Time : 72 second
Station 7 Have Task 31 , 15 , 7	Total Time : 73 second
Station 8 Have Task 34 , 10 , 22 , 35 , 39 , 40 , 18	Total Time : 74 second
Station 9 Have Task 38 , 23 , 25	Total Time : 75 second
Station 10 Have Task 32 , 27 , 29 , 30 , 41 , 28 , 42	Total Time : 75 second
Station 11 Have Task 37	Total Time : 80 second
Station 12 Have Task 43 , 24 , 44 , 48 , 45	Total Time : 70 second
Station 13 Have Task 47 , 49 , 50 , 46 , 51 , 52	Total Time : 65 second
Station 14 Have Task 53 , 54	Total Time : 80 second

คำตอบที่ 3

Best So Far Solution = ({1 3 4} {2 5 6} {12 19 11 8} {17 36 14} {33 13} {20 26 21 9 16} {31 15 7} {34 10 35 22 39 40 18} {38 23 25} {32 27 29 28 41 30 42} 37 {43 24 44 48 46} {47 49 45 50 51 52} {53 54})

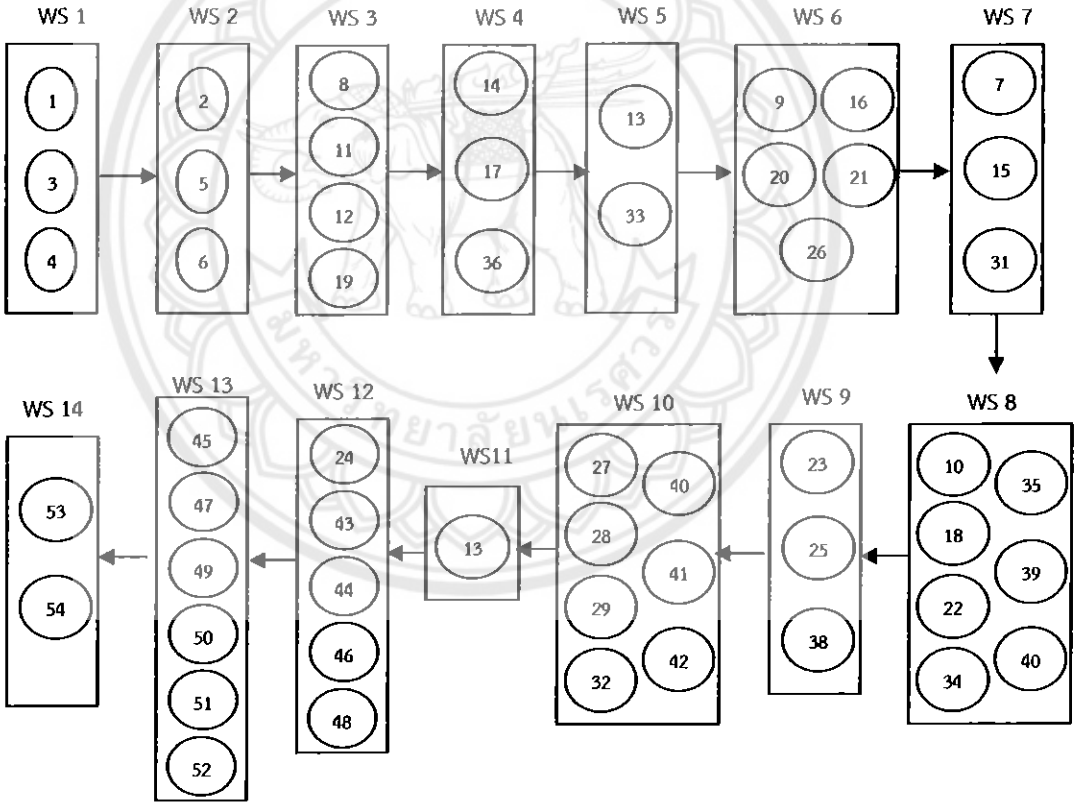
Station 1 Have Task 1 , 3 , 4	Total Time : 75 second
Station 2 Have Task 2 , 5 , 6	Total Time : 75 second
Station 3 Have Task 12 , 19 , 11 , 8	Total Time : 75 second
Station 4 Have Task 17 , 36 , 14	Total Time : 75 second
Station 5 Have Task 33 , 13	Total Time : 75 second
Station 6 Have Task 20 , 26 , 21 , 9 , 16	Total Time : 72 second
Station 7 Have Task 31 , 15 , 7	Total Time : 73 second

Station 8 Have Task 34 , 10 , 35 , 22 , 39 , 40 , 18	Total Time : 74 second
Station 9 Have Task 38 , 23 , 25	Total Time : 75 second
Station 10 Have Task 32 , 27 , 29 , 28 , 41 , 30 , 42	Total Time : 75 second
Station 11 Have Task 37	Total Time : 80 second
Station 12 Have Task 43 , 24 , 44 , 48 , 46	Total Time : 70 second
Station 13 Have Task 47 , 49 , 45 , 50 , 51 , 52	Total Time : 65 second
Station 14 Have Task 53 , 54	Total Time : 80 second

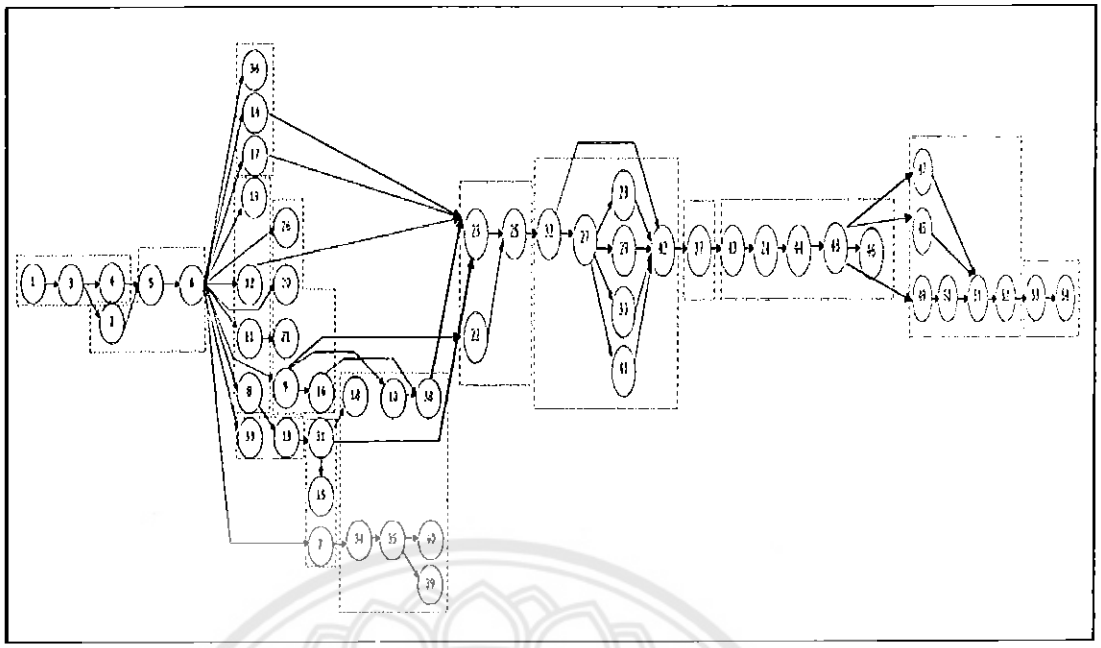
Work Station : 14

Idle Time : 81.0

Workload Variance : 12.8826530613



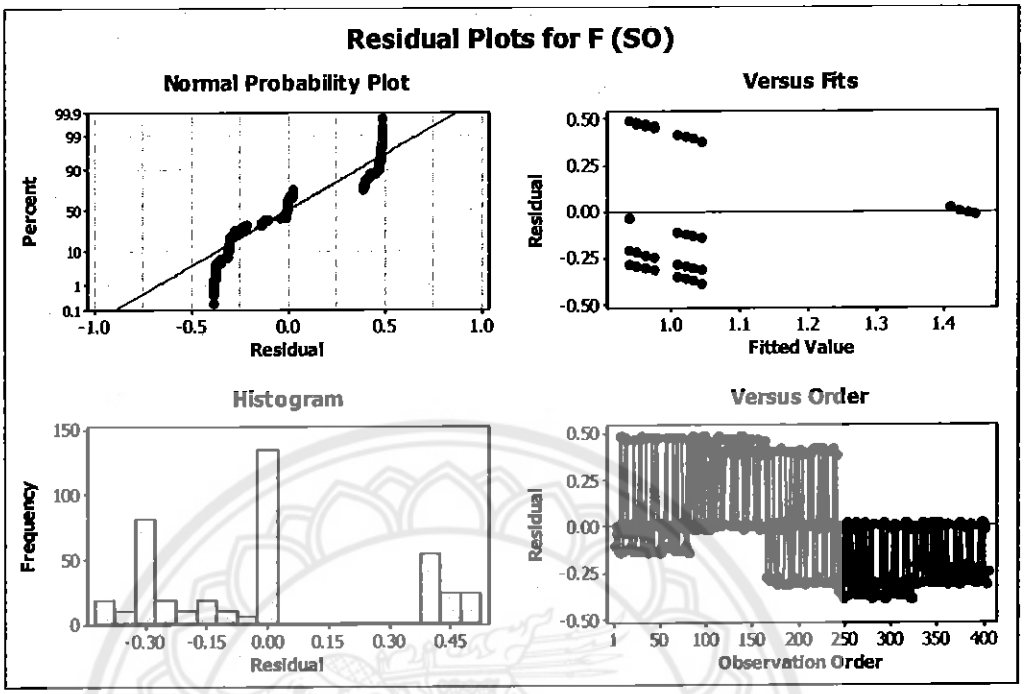
รูปที่ ง.11 แสดงการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 54 งาน



รูปที่ ง.12 แสดงแผนผังการจัดสมดุลของปัญหาขนาด 54 งาน

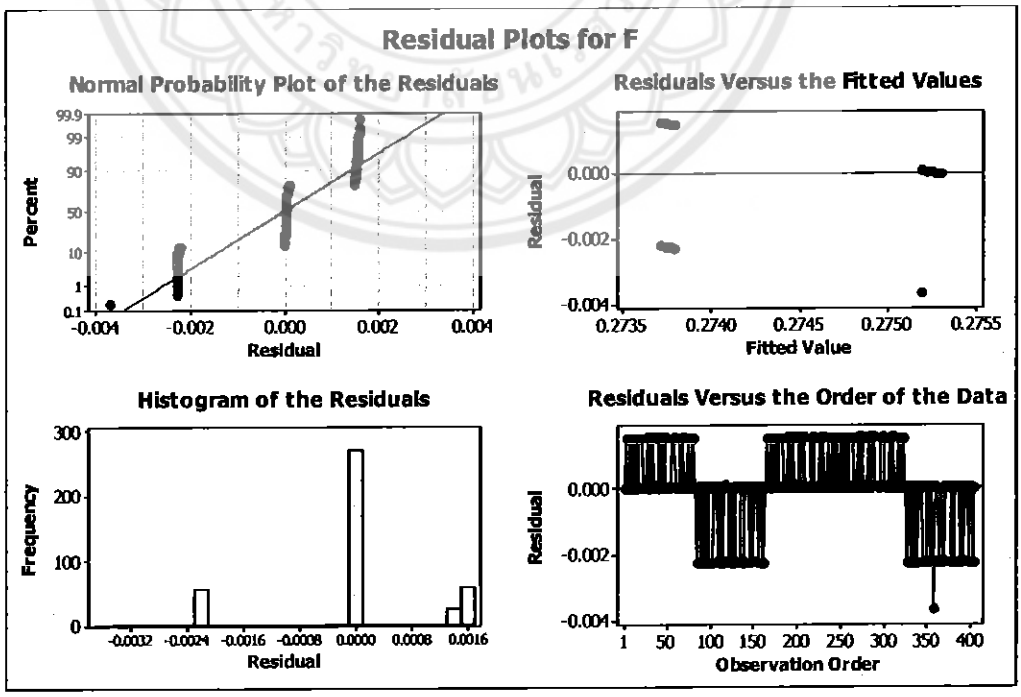
ภาคผนวก จ
Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO)

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน



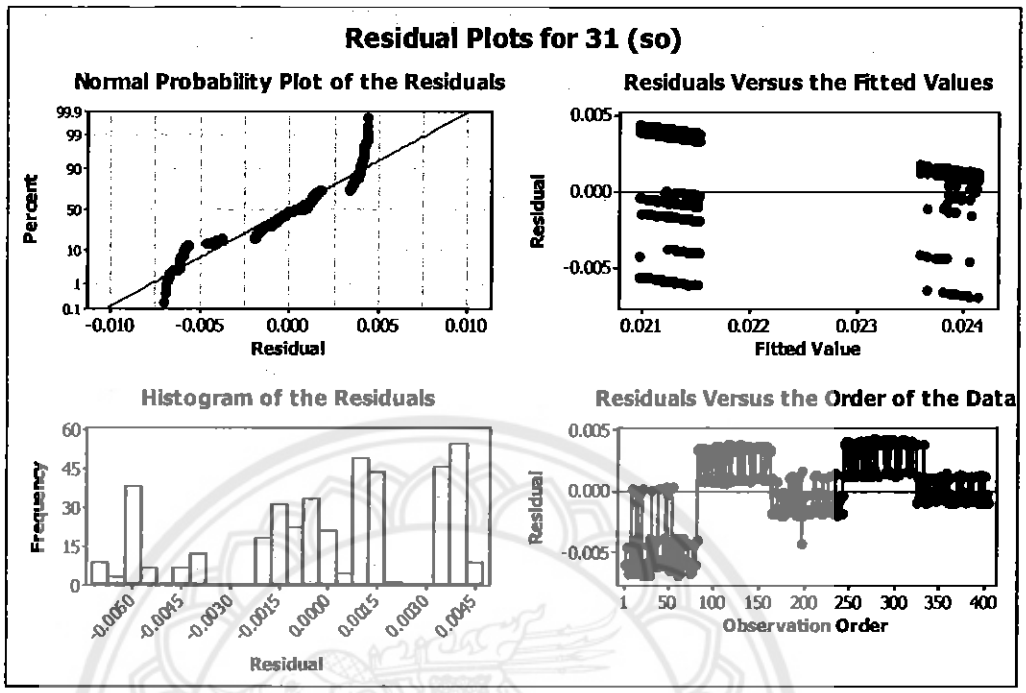
รูปที่ จ.1 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน



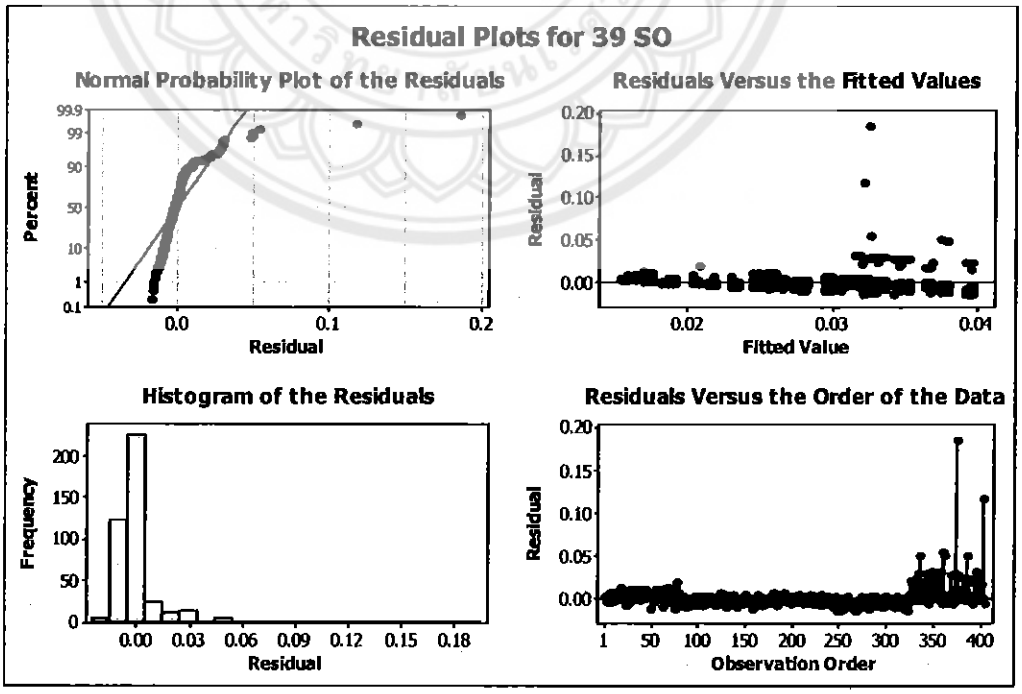
รูปที่ จ.2 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน



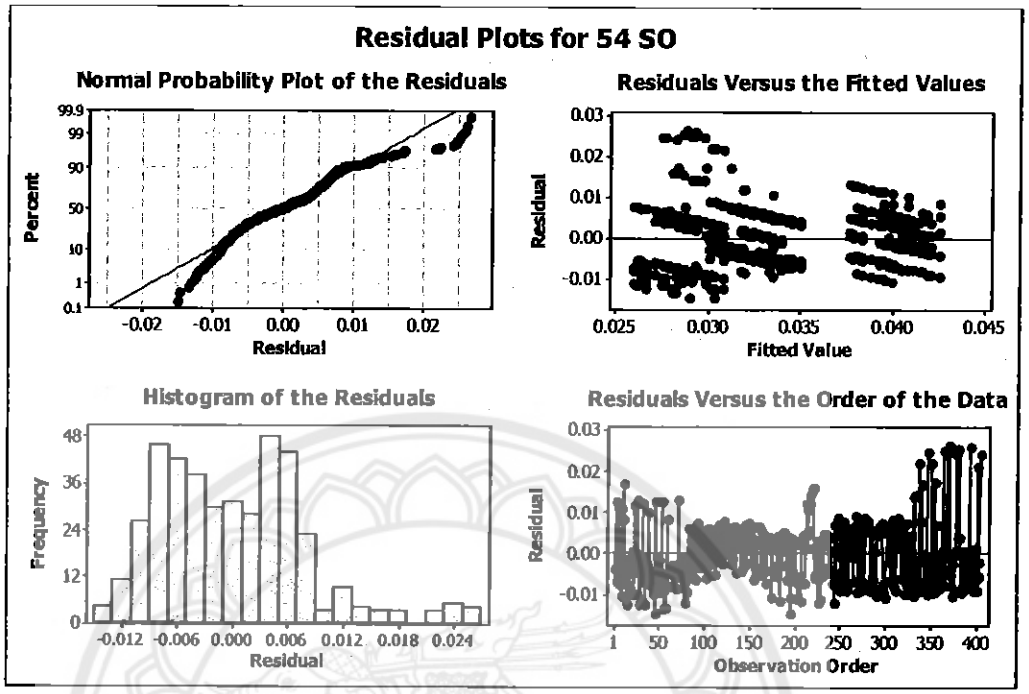
รูปที่ จ.3 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน



รูปที่ จ.4 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

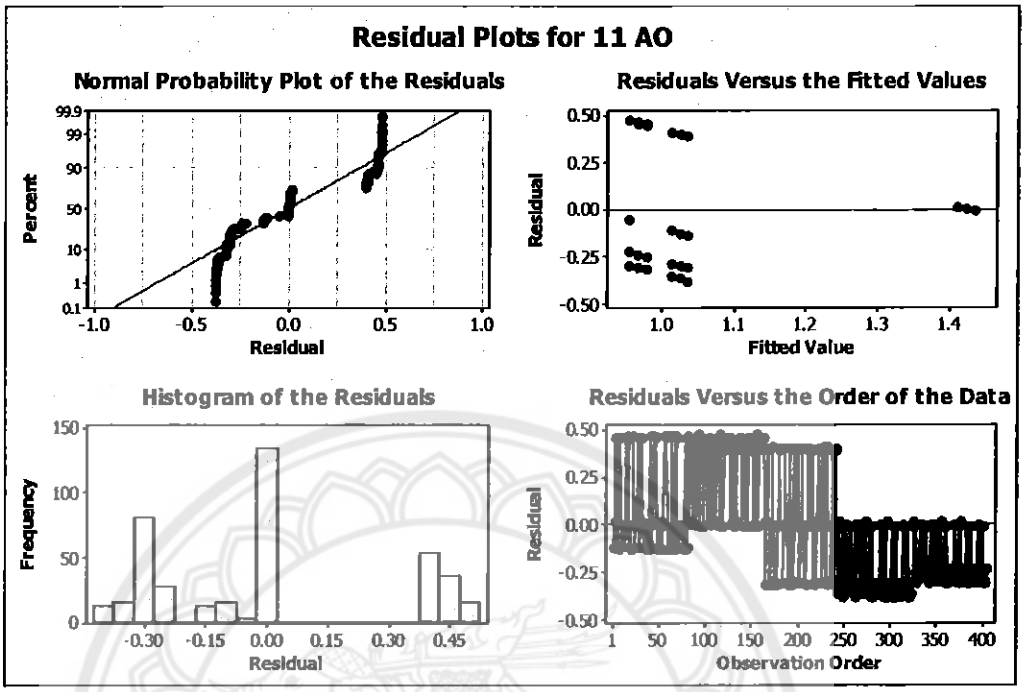
Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน



รูปที่ จ.5 Residual Plots ของ PSO (SO) ในปัญหาขนาด 54 งาน

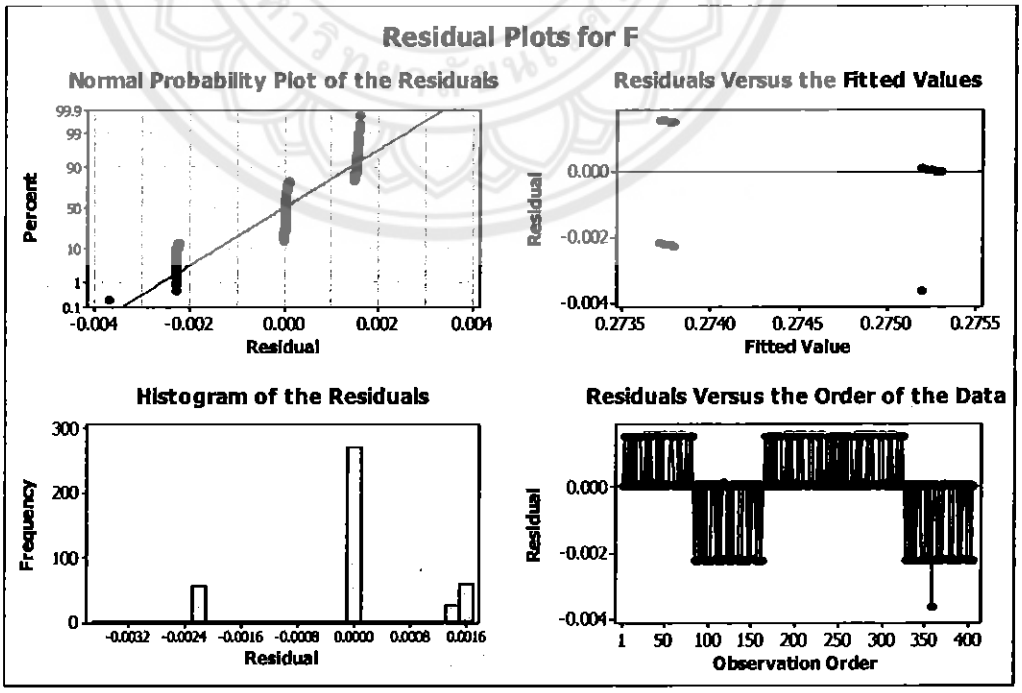
ภาคผนวก ฉ
Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO)

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน



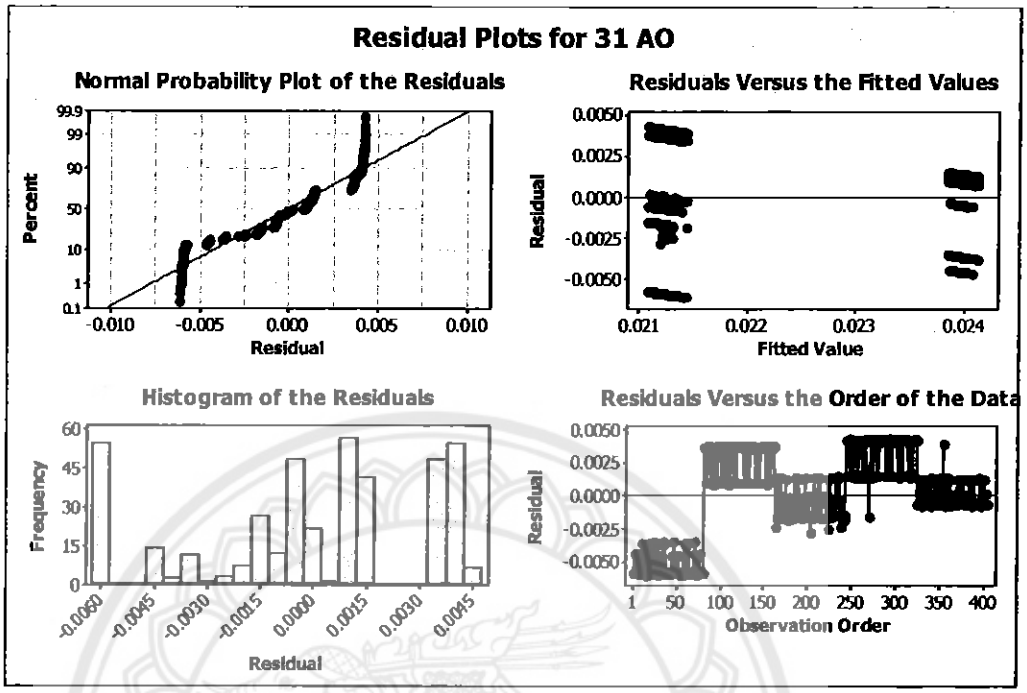
รูปที่ ฉ.1 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 11 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน



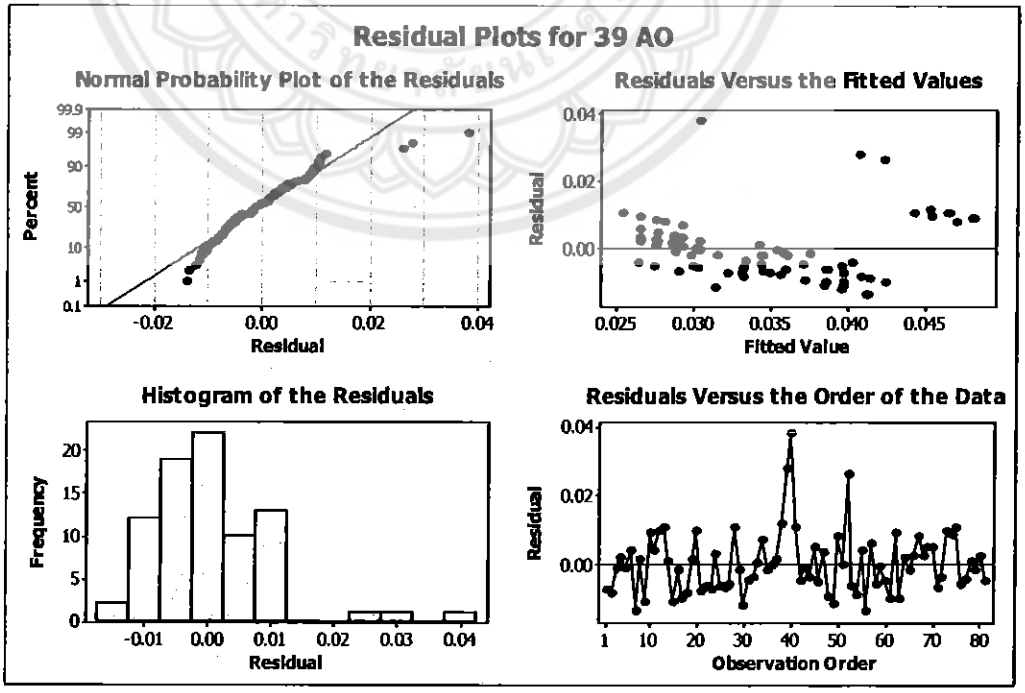
รูปที่ ฉ.2 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 13 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน



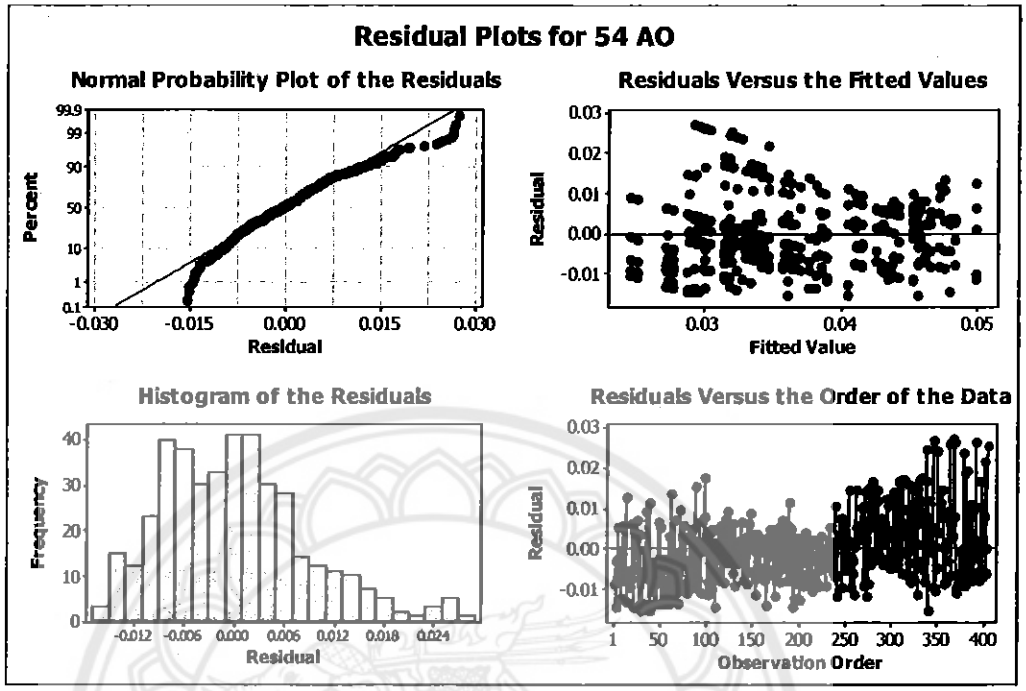
รูปที่ ฉ.3 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 31 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน



รูปที่ ฉ.4 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 39 งาน

Residual Plots for Fitness Function ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน



รูปที่ ฉ.5 Residual Plots ของ PSO (AO) ในปัญหาขนาด 54 งาน