

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหา 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกจะกล่าวถึงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย ส่วนสุดท้ายจะเป็นเรื่องของขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยรายละเอียดของทั้ง 2 ส่วน มีดังต่อไปนี้

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่อง ส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU, 2.66 GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) DDR2 3.50 GB
3. หน่วยความจำสำรอง (HDD) 160 GB
4. ระบบปฏิบัติการ (OS) Microsoft Windows XP Professional Version 2002

Service Pack 3

5. โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. ภาษาที่ใช้ในการเขียนเพื่อพัฒนาโปรแกรม Tcl/Tk (Tool Command Language and Tool Kit) (Ousterhout, 1994) เวอร์ชัน 8.4

ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย
2. ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และวิธีการของ FA
3. ประยุกต์วิธีการ FA เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต
4. วิเคราะห์และออกแบบแฟ้มข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออก
5. พัฒนาโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ FA ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต
6. ทดสอบโปรแกรม
7. ปรับปรุงโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีการไฟเออะไฟล์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต
8. ออกแบบการทดลอง
9. ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองพร้อมทั้งสรุปผล
10. จัดทำรูปเล่มผลงานวิจัย
11. นำเสนอผลงานวิจัย

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

ได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้วิธีการไฟเอะไฟล์แก้ปัญหการจัดตารางการผลิต (Application of Firefly Algorithm for Solving Production Scheduling) ไว้ในบทที่ 1

2. ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และวิธีการของ FA

ได้มีการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และวิธีการของ FA ไว้ในบทที่ 2

3. ประยุกต์วิธีการ FA เพื่อแก้ปัญหการจัดตารางการผลิต

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลของปัญหาของการจัดตารางผลิตในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบว่าปัญหาดังกล่าวมีขนาดของปัญหาที่แตกต่างกัน 4 ขนาด นั่นคือ ขนาดเล็ก (Small) ขนาดกลาง (Medium) ขนาดใหญ่ (Large) และขนาดใหญ่พิเศษ (Extra Large) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตและโครงสร้างของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างผลิตภัณฑ์นี้ ทำให้การจัดตารางผลิตนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้น สามารถอธิบายรายละเอียดข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งมีขนาดของข้อมูล 4 ขนาด (Pongcharoen, 2001) ได้ดังตาราง 3

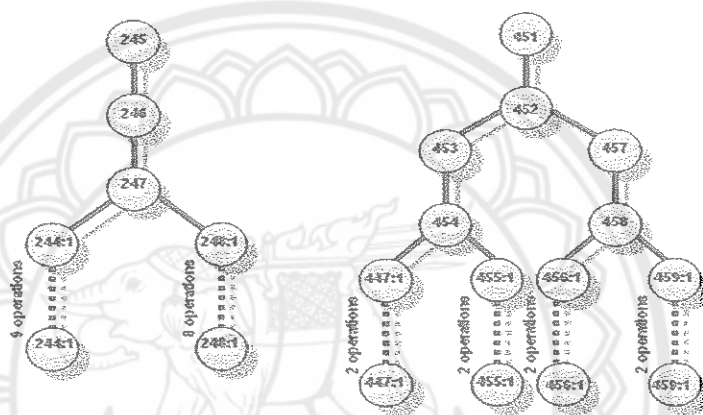
ตาราง 3 แสดงรายละเอียดของปัญหาทั้ง 4 ขนาด ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต

ขนาดของ ปัญหา	หมายเลข ผลิตภัณฑ์	รายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต				
		จำนวน ผลิตภัณฑ์	จำนวนของ ชิ้นส่วน	จำนวนชิ้นงาน/ จำนวนส่วนประกอบ ของผลิตภัณฑ์ (O)	จำนวน เครื่องจักร	ระดับของ โครงสร้าง
		(P)	(C)		(M)	
เล็ก	245 & 451	2	6	25/9	8	4
กลาง	229 & 451	2	8	57/10	7	4
ใหญ่	4 & 228	2	12	118/17	17	4
ใหญ่พิเศษ	227	1	46	229/39	25	6

ที่มา: Pongcharoen, et al., 2002

3.1 ปัญหาขนาดเล็ก (Small Size Problem)

การจัดตารางการผลิตสำหรับปัญหาขนาดเล็ก จะมีการผลิต 2 ผลิตภัณฑ์ด้วยกัน คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 245 และ 451 โดยระดับของโครงสร้างผลิตจำนวน 4 ระดับ ประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด 6 ชิ้นส่วน คือ 244:1 248:1 447:1 455:1 456:1 459:1 และมีชิ้นงานจำนวน 25 ชิ้นงาน $(9+8+2+2+2+2)$ ต่อจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 9 ส่วนประกอบ คือ 247 246 245 454 453 458 457 452 และ 451 ดังภาพ 10 และมีการใช้เครื่องจักรจำนวน 8 เครื่องในปัญหาขนาดเล็ก



ภาพ 10 แสดงโครงสร้างของปัญหาขนาดเล็ก

ที่มา: Pongcharoen, 2001

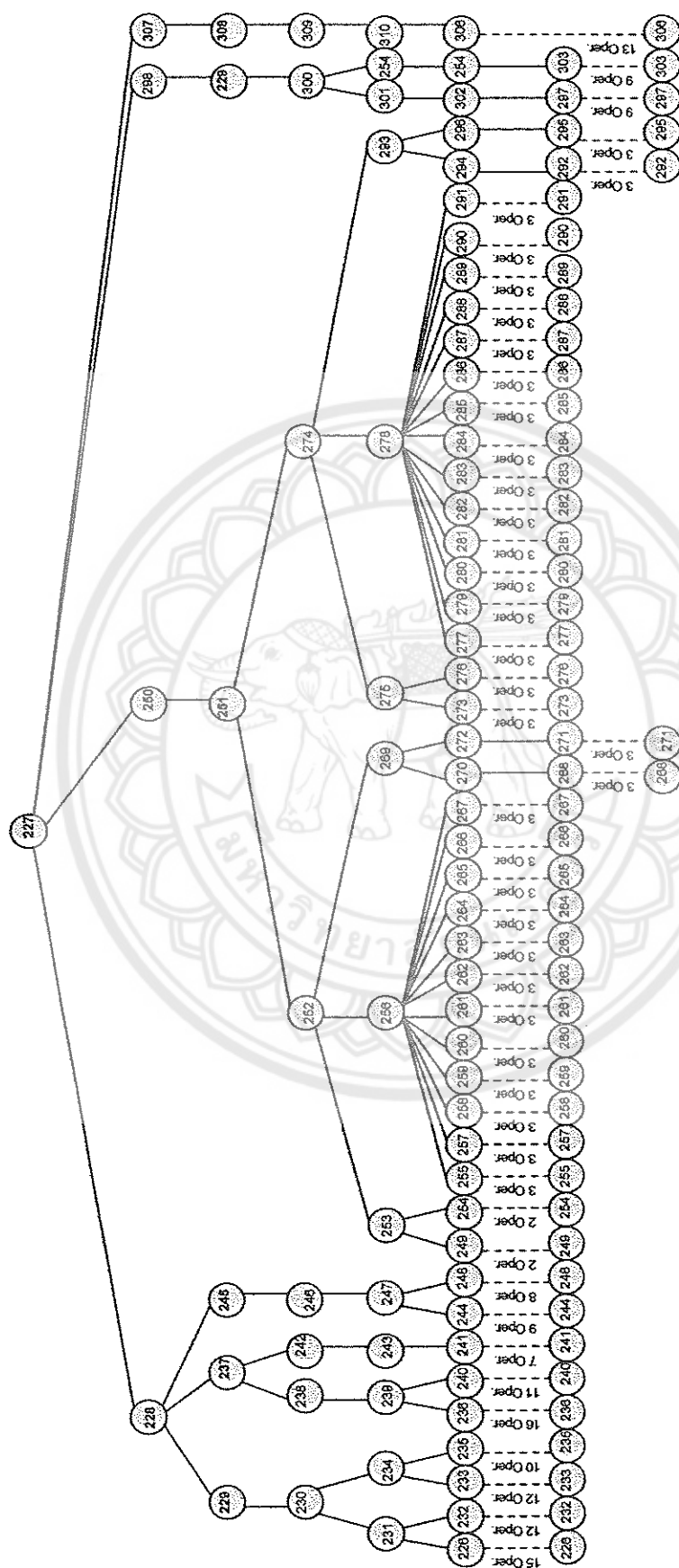
3.2 ปัญหาขนาดกลาง (Medium Size Problem)

เป็นปัญหาแบบที่สองของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์หมายเลข 229 และ 451 เป็นจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับของโครงสร้างการผลิตจำนวน 4 ระดับ มีจำนวนชิ้นส่วน 8 ชิ้นส่วน มีชิ้นงานจำนวน 57 ชิ้นงาน ต่อจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 10 ส่วนประกอบ ดังภาพ 11 และมีการใช้เครื่องจักรในการทำงานจำนวน 7 เครื่อง

3.4 ปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ (Extra Large Size Problem)

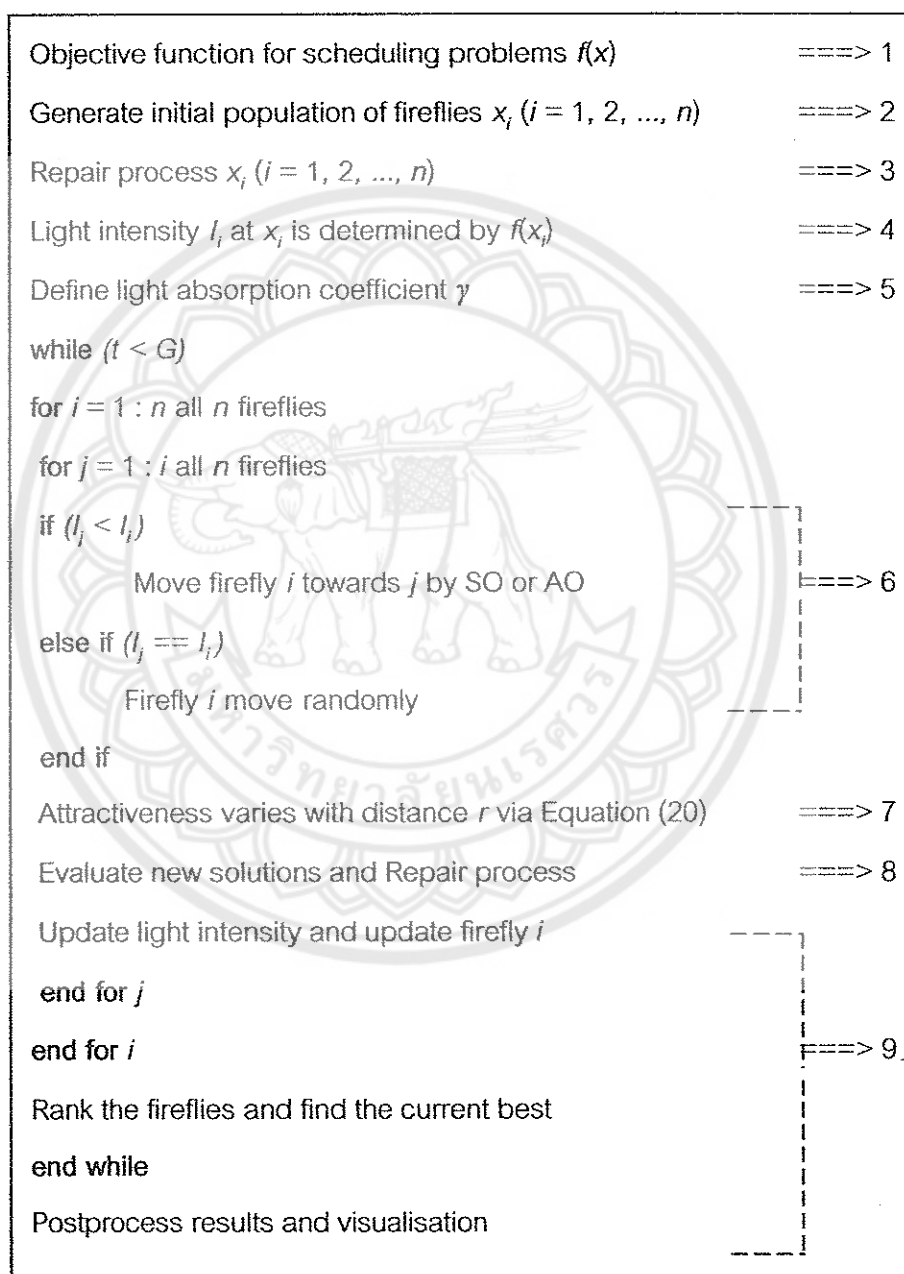
เป็นการจัดตารางการผลิตสำหรับปัญหาขนาดใหญ่พิเศษจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 227 ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิต จำนวน 6 ระดับ ประกอบไปด้วยจำนวนชิ้นส่วน 46 ชิ้นส่วน และมีจำนวนชิ้นงาน จำนวน 229 ชิ้นงาน ต่อจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 39 ส่วนประกอบ ดังภาพ 13 และมีการใช้เครื่องจักรในการทำงานจำนวน 25 เครื่อง





ภาพ 13 แสดงโครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ

จากการศึกษากระบวนการการทำงานของวิธีการไฟเอะไฟล์ (FA) ในบทที่ 2 จึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาเรื่องการจัดตารางการผลิต ซึ่งมีความแตกต่างทางด้านของปัญหา 4 ขนาดนั้น (Pongcharoen, 2001) จะสามารถสรุปกระบวนการการทำงานของวิธีการไฟเอะไฟล์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้ดังภาพ 14



ภาพ 14 แสดง Pseudo Code ของ FA สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

หมายเหตุ: G คือ จำนวนรอบการค้นหาคำตอบทั้งหมด

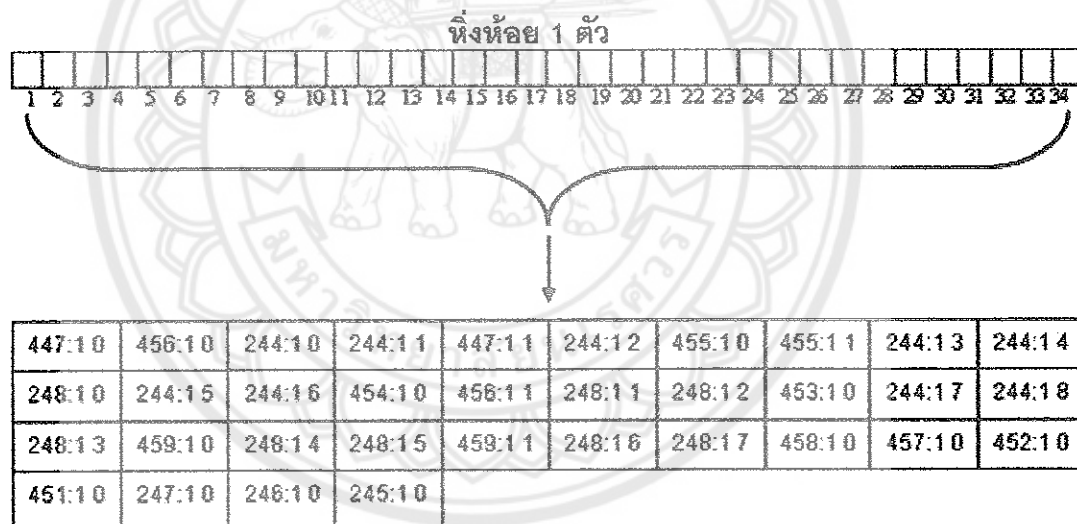
จากภาพ 14 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีการไฟเออะไฟล์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ในแต่ละขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

เป็นขั้นตอนของการกำหนดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตที่มีระบบการผลิตแบบมีโครงสร้างของผลิตภัณฑ์สามารถกำหนดได้ดังสมการ (1)

2. ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialisation)

จะทำการสร้างประชากรเริ่มต้น โดยใช้วิธีการสุ่ม ซึ่งหิ้งห้อย 1 ตัว จะแทนค่าคำตอบของปัญหา 1 คำตอบ ในงานวิจัยนี้ค่าคำตอบเปรียบเสมือนตารางการผลิต 1 ตาราง เช่น ในปัญหามินิมั่มหิ้งห้อย 1 ตัว จะแทนตารางการผลิต ซึ่งในแต่ละตัวจะประกอบด้วยชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน ดังภาพ 15



ภาพ 15 แสดงชิ้นงานทั้งหมดของปัญหามินิมั่มหิ้งห้อย 1 ตัว

ซึ่งถ้าหากมีการกำหนดจำนวนของประชากรไว้เท่าใด ก็จะมีการสุ่มสร้างหิ้งห้อยเท่ากับจำนวนนั้น

3. ขั้นตอนกระบวนการซ่อมแซม (Repair Process)

เมื่อได้หิ้งห้อยจากการสุ่ม ต้องทำการพิจารณาความเป็นไปได้ของการจัดตารางว่าต้องเป็นตารางที่เป็นไปได้ (Feasible Schedule) จึงต้องมีกระบวนการซ่อมแซมเพิ่มขึ้นมา

เพื่อให้ได้รูปแบบของตารางที่เป็นไปได้ และไม่ขัดกับข้อกำหนดของลำดับการผลิต ซึ่งขั้นตอนกระบวนการการซ่อมแซม มี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปรับลำดับของชิ้นส่วน (Part Precedence Adjustment) และ ขั้นตอนการปรับลำดับของงาน (Operation Precedence Adjustment) (Khadwilard, A., 2007) ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 2

4. ขั้นตอนการกำหนดค่าความเข้มชั้นของแสง (Light Intensity)

ความเข้มชั้นแสงของหิ้งห้อยแต่ละตัว คือ ค่าปรับที่เกิดขึ้นจากการจัดตารางการผลิตแต่ละคำตอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ได้จากการถอดรหัสในการคำนวณจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ดังสมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการที่กำหนดไว้เพื่อหาผลรวมของค่าปรับจากการทำงานซึ่งมี 3 ส่วน คือ ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วน ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์ และค่าปรับจากการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าปรับที่น้อยที่สุด ซึ่งจะถือว่าการจัดตารางการผลิตที่ดี

5. ขั้นตอนของการกำหนดค่าความดูดซับแสง (Light Absorption)

เป็นขั้นตอนการกำหนดค่า γ ที่ใช้แทนความดูดซับของแสงจากสื่อ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อความนำดึงดูดของหิ้งห้อย โดยจะทำการกำหนดค่า γ ให้อยู่ในช่วงประมาณ 0.1 ถึง 10 ซึ่งเป็นการกำหนดค่าในรูปแบบทั่วไป (Yang, 2008)

6. ขั้นตอนการเคลื่อนที่ (Movement)

ทำการเปรียบเทียบความเข้มชั้นแสงซึ่งในงานวิจัยนี้ คือค่าปรับของหิ้งห้อยทั้ง 2 ตัว เช่น ค่าปรับของหิ้งห้อยตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ 16,500 บาท เปรียบเทียบกับค่าปรับของหิ้งห้อยตัวที่ 2 ซึ่งมีค่าปรับเท่ากับ 23,000 บาท เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการหาค่าปรับของการจัดตารางการผลิตที่ให้ค่าปรับที่น้อยที่สุด ดังนั้นค่าปรับที่น้อยที่สุดเปรียบเสมือนหิ้งห้อยที่มีความเข้มชั้นแสงที่ดีที่สุดนั่นเอง ในการเปรียบเทียบระหว่างหิ้งห้อยทั้ง 2 ตัว ถ้าค่าปรับของหิ้งห้อยตัวที่ 1 มีค่าน้อยกว่าหิ้งห้อยตัวที่ 2 จะทำการเคลื่อนที่หิ้งห้อยตัวที่ 2 ไปหาหิ้งห้อยตัวที่ 1 และถ้าค่าปรับของหิ้งห้อยตัวที่ 2 มีค่าปรับเป็น 16,000 บาท ซึ่งเป็นค่าปรับที่น้อยกว่าหิ้งห้อยตัวที่ 1 จะไม่เกิดการเคลื่อนที่ของหิ้งห้อยตัวที่ 2 แต่ถ้าเกิดกรณีค่าปรับของแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน หิ้งห้อยตัวที่ 2 จะทำการเคลื่อนที่แบบสุ่ม ซึ่งหมายความว่า เป็นการหาคำตอบรูปแบบการจัดตารางใหม่เหมือนกับการสร้างประชากรเริ่มต้นให้กับหิ้งห้อยตัวที่ 2 โหมดนั่นเอง ซึ่งการเคลื่อนที่ของหิ้งห้อยที่มีจำนวนค่าปรับที่มากกว่านี้ จะเป็นการปรับปรุงค่าคำตอบของหิ้งห้อยด้วยเช่นกัน เนื่องจากหิ้งห้อยตัวที่มีค่าปรับมากจะเปลี่ยนตำแหน่งให้มีลักษณะคล้ายกับคำตอบของหิ้งห้อยตัวที่มีค่าปรับน้อย โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของตำแหน่งใหม่ ซึ่งปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ใช่ปัญหาที่

มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Function) ได้โดยตรง ซึ่งเป็นปัญหาแบบต่อเนื่อง (Continuous) ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงสมการที่ (15) ให้เข้ากับลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิต ซึ่งเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) แต่ยังคงซึ่งความหมายของการเคลื่อนที่แบบเดิม โดยจะทำการรวมค่าความน่าดึงดูดกับค่าการสุ่มของการเคลื่อนที่ $(\beta_0 e^{-\gamma r^2} + \alpha_0(rand - 0.5))$ ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0 ให้กำหนดค่าเป็น 0 และถ้ามีค่ามากกว่า 1 ให้กำหนดค่าเท่ากับ 1 แล้วนำค่าผลรวมที่ได้มาคูณกับการเคลื่อนที่ $(X_j - X_i)$ ดังสมการ (20)

$$x_i = x_i + (\beta_0 e^{-\gamma r^2} + \alpha_0(rand - 0.5))(x_j - x_i) \quad (20)$$

หมายเหตุ: α_0 คือ ค่าที่ใช้ในการสุ่ม

ซึ่งการเคลื่อนที่ของคำตอบ ในที่นี้หมายถึงการเคลื่อนที่ของหึ่งห้อยตัวที่ 2 จะมีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าความน่าดึงดูด $(\beta_0 e^{-\gamma r^2})$ และการสุ่มของการเคลื่อนที่ $(\alpha_0(rand - 0.5))$ ว่าจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ $(X_j - X_i)$ เป็นเท่าใด ซึ่งในที่นี้ j เป็นหึ่งห้อยตัวที่ 1 และ i เป็นหึ่งห้อยตัวที่ 2 โดยขั้นตอนการปรับปรุงการเคลื่อนที่ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวิธีการปรับปรุง 2 วิธี ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 จะใช้ Swap Operator (SO) ในการปรับปรุงการเคลื่อนที่ โดยจะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งชิ้นงานของหึ่งห้อยที่มีค่าความเข้มข้นแสงที่ดีกับหึ่งห้อยที่มีค่าความเข้มข้นแสงที่น้อยกว่า วิธีการของการแลกเปลี่ยนตำแหน่งมีดังนี้

1. ถ้าหึ่งห้อยตัวที่ j มีค่าปรับที่น้อยกว่าหึ่งห้อยตัวที่ i จะทำการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของหึ่งห้อยตัวที่ i โดยเข้ากระบวนการของ SO
2. ตรวจสอบค่าของคำตอบในตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย i ว่ามีค่าเหมือนตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย j หรือไม่ ถ้าเหมือนกันให้คงค่าคำตอบตำแหน่งนั้นไว้เหมือนเดิม แต่ถ้าแตกต่างกันให้ทำการสลับตำแหน่ง โดยตรวจสอบตำแหน่งค่าคำตอบของหึ่งห้อย i ที่เหมือนกับตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย j จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของค่านั้นกับค่าที่อยู่ในตำแหน่งแรก
3. ทำการตรวจสอบค่าในตำแหน่งที่ 2 ต่อ เพื่อทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อยๆ จนครบทุกตำแหน่ง เพื่อให้ตำแหน่งค่าคำตอบหึ่งห้อยตัวที่ i เหมือนกับค่าคำตอบของหึ่งห้อยตัวที่ j

ตัวอย่าง ปัญหาขนาดเล็ก หึ่งห้อย 1 ตัว แทนด้วยค่าคำตอบหรือตารางการผลิต ที่ประกอบไปด้วยชิ้นงาน 34 ชิ้นงาน โดยตารางการผลิตที่จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงาน ด้วยวิธีการ SO สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

เมื่อหึ่งห้อยตัวที่ j มีค่าปรับที่ได้จากการประมวลผล เท่ากับ 16,500 บาท ซึ่งมีรูปแบบของตารางการผลิต คือ

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

และหึ่งห้อยตัวที่ i มีค่าปรับที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับ 24,500 บาท ซึ่งมีรูปแบบของตารางการผลิต คือ

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

จะเห็นว่าหึ่งห้อยตัวที่ i มีค่าปรับที่มากกว่าหึ่งห้อยตัวที่ j ดังนั้นจะทำการปรับปรุงการเคลื่อนที่หึ่งห้อยตัวที่ i โดยใช้วิธีการ SO

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 1 (SO 1) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับในลำดับที่ 0 กับ 1

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 2 (SO 2) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
ในลำดับที่ 1 กับ 4

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 3 (SO 3) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
ในลำดับที่ 2 กับ 4

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 4 (SO 4) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
ในลำดับที่ 3 กับ 8

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (SO 5) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
ในลำดับที่ 5 กับ 11

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 6 (SO 6) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
 ในลำดับที่ 8 กับ 16

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 7 (SO 7) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
 ในลำดับที่ 9 กับ 17

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 8 (SO 8) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
 ในลำดับที่ 10 กับ 16

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 9 (SO 9) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ
ในลำดับที่ 11 กับ 19

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

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (SO 10) ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของคู่
อันดับในลำดับที่ 12 กับ 20

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

ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งจนครบทุกตำแหน่ง เช่น ถ้าให้มีการแลกเปลี่ยน
ตำแหน่งทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้น $X_j - X_j = SO1 \oplus SO2 \oplus SO3 \oplus SO4 \oplus SO5 \oplus \dots \oplus$
 $SO20$ ซึ่ง $\oplus$ หมายถึง การรวมจำนวนคำตอบของการแลกเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้ง (Wang,
et al., 2003)

จำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งโดยวิธีการ SO ของแต่ละคู่ จะหมายถึงการเคลื่อนที่
($X_j - X_j$) เช่น หึ่งห้อยตัวที่ i ทำการสลับตำแหน่ง 20 ครั้ง จึงจะมีตารางการผลิตเหมือนหึ่งห้อยตัวที่ j
เป็นต้น โดยที่หึ่งห้อยตัวที่ i จะสามารถทำการเคลื่อนที่ได้เท่าใดนั้น จะสัมพันธ์กับค่าความน่าดึงดูด
กับค่าการสุ่มของการเคลื่อนที่ ดังสมการ (20) เช่น ค่าความน่าดึงดูดมีค่าเท่ากับ 0.3 และมีค่าการ
สุ่มของหึ่งห้อยตัวนั้นเองเป็น 0.2 การเคลื่อนที่ของหึ่งห้อยตัวที่ i จะเคลื่อนที่ได้ เท่ากับ 0.5 ของการ
สลับตำแหน่งทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้นหึ่งห้อยตัวที่ i ที่ได้ทำการปรับปรุงคำตอบใหม่ให้เหมือนกับ
หึ่งห้อยตัวที่ j โดยจะทำการสลับตำแหน่งของงานเพียง 10 ครั้งเท่านั้น ดังนั้นรูปแบบของตารางการ
ผลิตของหึ่งห้อยตัวที่ i ที่ได้คือ

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

วิธีที่ 2 จะใช้ Adjustment Operator (AO) ในการปรับปรุงการเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีการจะคล้ายกับวิธีการของ SO แต่จะแตกต่างกันที่ AO จะหาค่ามาแทรกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วผลึกค่าที่อยู่ตั้งแต่ตำแหน่งที่แทรก ให้ขยับไปด้านหลัง วิธีการ AO มีขั้นตอนดังนี้

4. ถ้าหึ่งห้อยตัวที่ j มีค่าปรับที่น้อยกว่าหึ่งห้อยตัวที่ i จะทำการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของหึ่งห้อยตัวที่ i โดยเข้ากระบวนการของ AO

5. ตรวจสอบค่าของคำตอบในตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย i ว่ามีค่าเหมือนตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย j หรือไม่ ถ้าเหมือนกันให้คงค่าคำตอบตำแหน่งนั้นไว้ให้เหมือนเดิม แต่ถ้าแตกต่างกันให้ทำการสลับตำแหน่ง โดยตรวจสอบตำแหน่งคำตอบของหึ่งห้อย i ที่เหมือนกับคำตอบตำแหน่งแรกของหึ่งห้อย j จากนั้นนำค่านั้นมาวางแทนที่ในตำแหน่งแรก แล้วทำการผลึกค่าเดิมที่อยู่ในตำแหน่งแรกให้เลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่ 2

6. ทำการตรวจสอบค่าในตำแหน่งที่ 2 ต่อ เพื่อทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อยๆ จนครบทุกตำแหน่ง เพื่อให้ตำแหน่งคำตอบหึ่งห้อยตัวที่ i เหมือนกับคำตอบของหึ่งห้อยตัวที่ j

ตัวอย่าง ปัญหาขนาดเล็ก หึ่งห้อย 1 ตัว แทนด้วยค่าคำตอบหรือตารางการผลิต ที่ประกอบไปด้วยชิ้นงาน 34 ชิ้นงาน โดยตารางการผลิตที่จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงานด้วยวิธีการ AO สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

เมื่อหึ่งห้อยตัวที่ i มีค่าปรับที่ได้จากการประมวลผล เท่ากับ 16,500 บาท ซึ่งมีรูปแบบของตารางการผลิต คือ

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

และหึ่งห้อยตัวที่ j มีค่าปรับที่ได้จากการประมวลผลเท่ากับ 24,500 บาท ซึ่งมีรูปแบบของตารางการผลิต คือ

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

จะเห็นว่าหึ่งห้อยตัวที่ / มีค่าปรับที่มากกว่าหึ่งห้อยตัวที่ / ดังนั้นจะทำการ
 ปรับปรุงการเคลื่อนที่หึ่งห้อยตัวที่ / โดยใช้วิธีการ AO

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 1 (AO 1) ย้ายตำแหน่งของ {447:1 0} จากลำดับที่ 1
 เป็นลำดับที่ 0

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 2 (AO 2) ย้ายตำแหน่งของ {456:1 0} จากลำดับที่ 4
 เป็นลำดับที่ 1

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 3 (AO 3) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 1} จากลำดับที่ 8
 เป็นลำดับที่ 3

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 4 (AO 4) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 2} จากลำดับที่ 11 เป็นลำดับที่ 5

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (AO 5) ย้ายตำแหน่งของ {455:1 0} จากลำดับที่ 8 เป็นลำดับที่ 6

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 6 (AO 6) ย้ายตำแหน่งของ {455:1 1} จากลำดับที่ 9 เป็นลำดับที่ 7

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 7 (AO 7) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 3} จากลำดับที่ 16 เป็นลำดับที่ 8

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 8 (AO 8) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 4} จากลำดับที่ 17 เป็นลำดับที่ 9

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 9 (AO 9) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 5} จากลำดับที่ 19 เป็นลำดับที่ 11

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

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (AO 10) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 6} จากลำดับที่ 20 เป็นลำดับที่ 12

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

ทำการเปลี่ยนตำแหน่งจนครบทุกตำแหน่ง เช่น ถ้าให้มีการเปลี่ยนตำแหน่งทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้น $X_j - X_i = AO1 \oplus AO2 \oplus AO3 \oplus AO4 \oplus AO5 \oplus \dots \oplus AO20$ ซึ่ง $\oplus$ หมายถึง การรวมจำนวนคำตอบของการแลกเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้ง (Wang, et al., 2005)

จำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งโดยวิธีการ AO ของแต่ละคู่ จะหมายถึงการเคลื่อนที่ ($X_j - X_i$) เช่น หิ้งห้อยตัวที่ i ทำการสลับตำแหน่ง 20 ครั้ง จึงจะมีตารางการผลิตเหมือน

หิ่งห้อยตัวที่ j เป็นต้น โดยที่หิ่งห้อยตัวที่ i จะสามารถทำการเคลื่อนที่ได้เท่าใดนั้น จะสัมพันธ์กับค่าความน่าดึงดูดกับค่าการสุ่มของการเคลื่อนที่ ดังสมการ (20) เช่น ค่าความน่าดึงดูดมีค่าเท่ากับ 0.3 และมีค่าการสุ่มของหิ่งห้อยตัวนั้นเองเป็น 0.2 การเคลื่อนที่ของหิ่งห้อยตัวที่ i จะเคลื่อนที่ได้ เท่ากับ 0.5 ของการสลับตำแหน่งทั้งหมด 20 ครั้ง ดังนั้นหิ่งห้อยตัวที่ i ที่ได้ทำการปรับปรุงคำตอบใหม่ให้เหมือนกับหิ่งห้อยตัวที่ j โดยจะทำการสลับตำแหน่งของงานเพียง 10 ครั้งเท่านั้น ดังนั้นรูปแบบของตารางการผลิตของหิ่งห้อยตัวที่ i ที่ได้คือ

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

7. ขั้นตอนการหาค่าความน่าดึงดูด (Attractiveness)

ค่าความน่าดึงดูดมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของหิ่งห้อยตัวที่มีความเข้มข้นแสงน้อยกว่า ค่าความน่าดึงดูดจะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างหิ่งห้อยทั้ง 2 ตัว และการถูกดูดซับของแสง สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้ ค่าของระยะทาง r จะหมายถึงค่าความแตกต่างของค่าปรับที่ได้จากตารางการผลิตในแต่ละคู่ และค่า γ จะเป็นค่าที่กำหนดไว้เพื่อแทนการดูดซับแสงจากสื่อ ซึ่งค่าความน่าดึงดูด (β) ของหิ่งห้อยระหว่างหิ่งห้อย j กับหิ่งห้อย i จะหาได้จากสมการ ที่ (16)

8. ขั้นตอนการประเมินคำตอบใหม่และกระบวนการซ่อมแซม (Evaluation New Solution and Repair Process)

เมื่อทำการปรับปรุงคำตอบของหิ่งห้อยแล้ว เช่นหิ่งห้อยตัวที่ 2 ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงอาจใช้ วิธีของ SO หรือ AO เป็นต้น จะทำการประเมินค่าคำตอบใหม่โดยทำการถอดรหัสของหิ่งห้อยตัวที่ผ่านการปรับปรุง และต้องทำการพิจารณาความเป็นไปได้ของการจัดตารางว่าต้องเป็นการจัดตารางที่เป็นไปได้ (Feasible Schedule) โดยผ่านกระบวนการซ่อมแซมเพื่อให้ได้รูปแบบของตารางที่เป็นไปได้ และไม่ขัดกับข้อกำหนดของลำดับการผลิต ซึ่งได้อธิบายขั้นตอนกระบวนการซ่อมแซมในบทที่ 2

9. ขั้นตอนการคำนวณค่าความเข้มข้นแสงและพิจารณาหิ่งห้อย i ใหม่ (Update Light Intensity and Update Firefly i)

คำนวณหาค่าความเข้มข้นแสงใหม่ให้กับหิ่งห้อย i ถ้าค่าความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อยตัวที่ได้ทำการปรับปรุงดีขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ ได้ค่าปรับที่ต่ำกว่าเดิม สามารถนำหิ่งห้อย

ตัวนั้นไปใช้ได้เลย แต่ถ้าค่าความเข้มข้นแสงยังไม่ดีขึ้น เมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นแสงเดิมของ หีงห้อยก่อนทำการปรับปรุง หีงห้อยตัวนั้นยังคงมีรูปแบบของตารางการผลิต และจำนวนค่าปรับ เท่าเดิม

เมื่อทำการประเมินครบทุกตัวแล้วจะทำการเรียงลำดับ (Rank) หีงห้อยตามค่า ความเข้มข้นแสงจากมากไปน้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้คือการเรียงลำดับค่าปรับที่น้อยที่สุดไปหา มากที่สุด และหาหีงห้อยตัวที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันในรอบนั้นๆ (Current Best) เช่น หลังจากผ่านการ ปรับปรุงการเคลื่อนที่ของหีงห้อยปรากฏว่า หีงห้อยตัวที่ 2 มีค่าปรับ 15,000 บาท ดังนั้นสามารถ เรียงลำดับได้ดังนี้ อันดับที่ 1 เป็นของหีงห้อยตัวที่ 2 ซึ่งมีค่าปรับ 15,000 บาท และอันดับที่ 2 เป็นหีงห้อยตัวที่ 1 ซึ่งมีค่าปรับ 16,500 บาท จึงสรุปได้ว่าหีงห้อยตัวที่ดีที่สุด ณ ปัจจุบันในรอบนี้คือ หีงห้อยตัวที่ 2 นั่นเอง สุดท้ายวิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) จะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อมีการทำงานซ้ำ ครบทุกรอบ ของการค้นหาคำตอบที่กำหนดไว้ (G) และจะสรุปคำตอบพร้อมกับแสดงผลลัพธ์ของ หีงห้อยตัวที่ดีที่สุดออกมา

4. วิเคราะห์และออกแบบแฟ้มข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออก

รายละเอียดของข้อมูลที่เป็นในการจัดตารางการผลิต ข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบ ของแฟ้มข้อมูลที่เป็นข้อความ (Text File) เพื่อใช้เป็นแฟ้มข้อมูลนำเข้า (Input File) ในการทดลอง ต่อไป โดยรายละเอียดของข้อมูลนำเข้ามีทั้งหมด 18 รายการ (Pongcharoen, 2001) ดังนี้

- 4.1 เวลาเริ่มงาน
- 4.2 ช่วงเวลาการพิจารณา
- 4.3 รหัสชิ้นส่วน
- 4.4 หมายเลขชิ้นส่วน
- 4.5 รายละเอียดชิ้นส่วน
- 4.6 ตระกูลของชิ้นส่วน
- 4.7 ชิ้นส่วนสุดท้าย
- 4.8 จำนวนของงานบนเส้นทางการทำงานของชิ้นส่วน
- 4.9 หมายเลขเครื่องจักร
- 4.10 เวลาเริ่มติดตั้ง
- 4.11 ระยะเวลาติดตั้ง
- 4.12 เวลาเริ่มติดตั้งเครื่องจักร
- 4.13 ช่วงเวลาที่เครื่องจักรทำงาน
- 4.14 จำนวนของการเปลี่ยนเครื่อง

4.15 เวลาเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนเครื่อง

4.16 ระยะเวลาเปลี่ยนเครื่อง

4.17 เวลาเสร็จงานของชิ้นส่วน

4.18 เวลาเสร็จงานที่กำหนดไว้ก่อน

สำหรับข้อมูลนำออก จะเป็นการแสดงข้อมูลนำออก (Output File) หลังจากที่มีข้อมูลนำเข้าผ่านกระบวนการของวิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสินค้าในอุตสาหกรรมแล้ว จะมีการแสดงข้อมูลนำออก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

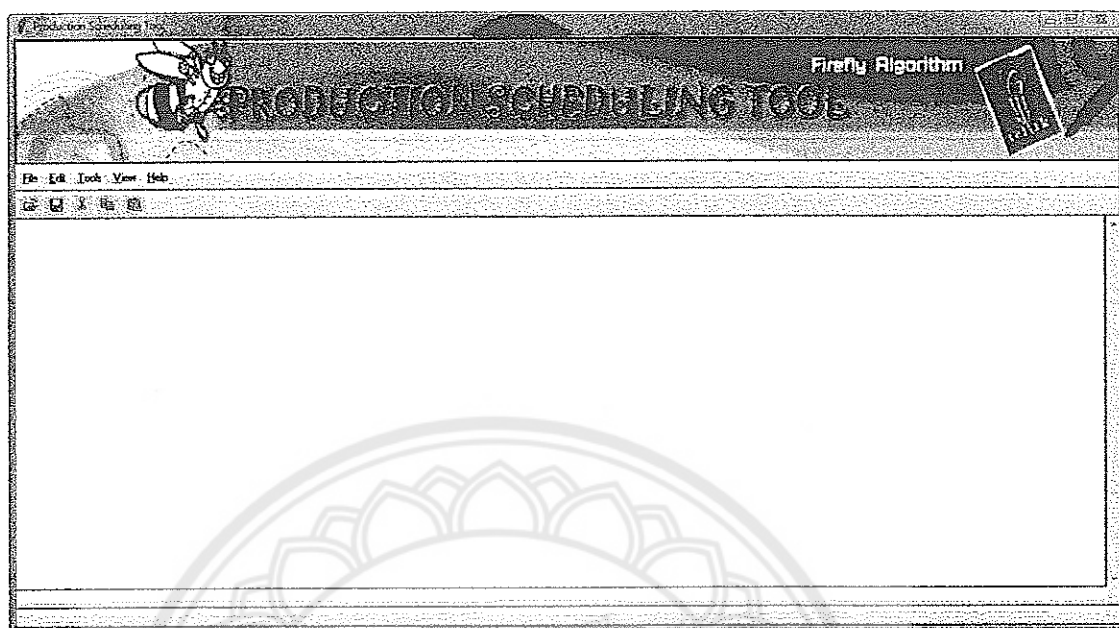
1. รายละเอียดของปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ ซึ่งมีในส่วนของรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดตารางและรายละเอียดของวิธีการหรืออัลกอริทึม เช่น ขนาดของปัญหา ประเภทของตาราง จำนวนกะการทำงาน อัตราค่าปรับที่เกิดจากการผลิตที่เสร็จเร็วกว่ากำหนด หรือเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด ชนิดของอัลกอริทึม การกำหนดค่าเริ่มต้นของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

2. รายละเอียดซึ่งเกิดจากการประมวลผลของโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อที่จะหาค่าปรับที่น้อยที่สุดในแต่ละปัญหา ซึ่งแสดงออกมาในรูปแบบของตาราง เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ เป็นต้น ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

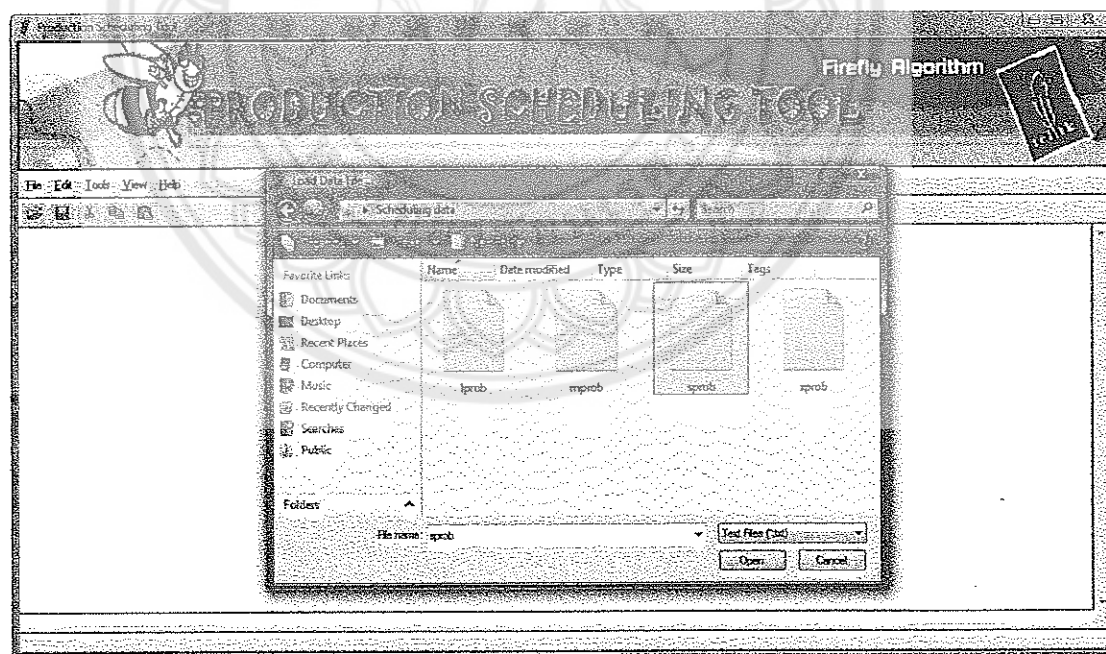
3. แสดงรูปแบบการแสดงผลการจัดตารางที่เหมาะสมในรูปแบบแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ซึ่งได้จากรูปแบบของตารางการผลิตที่มีค่าปรับน้อยที่สุด

5. พัฒนาโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ FA ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

การพัฒนาโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ กระบวนการการทำงานของวิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสินค้าในอุตสาหกรรมนั้น ทางผู้วิจัยจะทำการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาคำสั่งด้วยโปรแกรม Tcl /Tk เวอร์ชัน 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ภาษา Tcl and the Tk Toolkit (Ousterhout, 1994) จัดการในส่วนของการติดต่อเรื่องของการใช้งานกับผู้ใช้ (Graphic User Interface: GUI) ได้ดี และเป็นภาษาที่ไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ โดยโปรแกรมการประยุกต์ใช้วิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจะลักษณะดังภาพ 16 เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมาทำงาน สามารถเลือกเพิ่มข้อมูลนำเข้าของปัญหาแต่ละขนาดขึ้นมาใช้ได้ ดังภาพ 17 จากนั้นสามารถทำการกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ ดังภาพ 18 เพื่อทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของค่าปรับที่ได้ อันเนื่องมาจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ รวมทั้งค่าปรับที่เกิดจากการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ที่น้อยที่สุดในแต่ละรอบ เมื่อโปรแกรมประมวลผลเรียบร้อยแล้วจะแสดงดังภาพ 19 ซึ่งสามารถดูคำตอบของรูปแบบการจัดตารางที่เหมาะสมในแต่ละรอบได้ในลักษณะแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ดังภาพ 20



ภาพ 16 แสดงโปรแกรมการประยุกต์ใช้ FA สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต



ภาพ 17 แสดงตัวอย่างการนำเข้าของแฟ้มข้อมูลนำเข้า

Setting FA Parameters

Parameters Setting for FA

Number of Fireflies: 100
☐ 10 ☐ 25 ☐ 50 ☐ 80 ☒ 100

Number of MaxGenerations: 25
☐ 10 ☐ 20 ☒ 25 ☐ 30 ☐ 40 ☐ 50
☐ 60 ☐ 70 ☐ 80 ☐ 90 ☐ 100

Gamma 0.1-10: 0.1
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

Beta0: 1
☐ 0 ☐ 0.5 ☒ 1

Alpha: 1
☐ 0 ☐ 0.5 ☒ 1

Seed Number: all seeds
☐ 1111 ☐ 2222 ☐ 3333 ☐ 4444 ☐ 5555 ☒ all seeds

Improve fireflies
☒ Swapping ☐ Adjusting

Others Setting

Finite capacity for assembly? ☐ Yes ☒ No

Original Due date? ☐ Yes ☒ No

Tardiness Penalty (Bath/day): 1000

Earliness Penalty (Bath/day): 500

Working Time (hour/day)
☐ 8 hr/day ☐ 16 hr/day ☒ 24 hr/day

Scheduling
☒ Backward Scheduling ☐ Forward Scheduling

$f(i < j)$: Move using attractiveness (+ random)?
☒ Yes ☐ No

$f(i = j)$: Move using random?
☒ Yes ☐ No

Objective
☒ Minimize Total Cost (Tardiness and Earliness)
☒ Consider waiting time between operations

Click: Run Firefly Algorithm

Cancel

ภาพ 18 แสดงรูปแบบการกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ

Start time
10:15:37 PM 12/07/09

PARAMETER SETTING

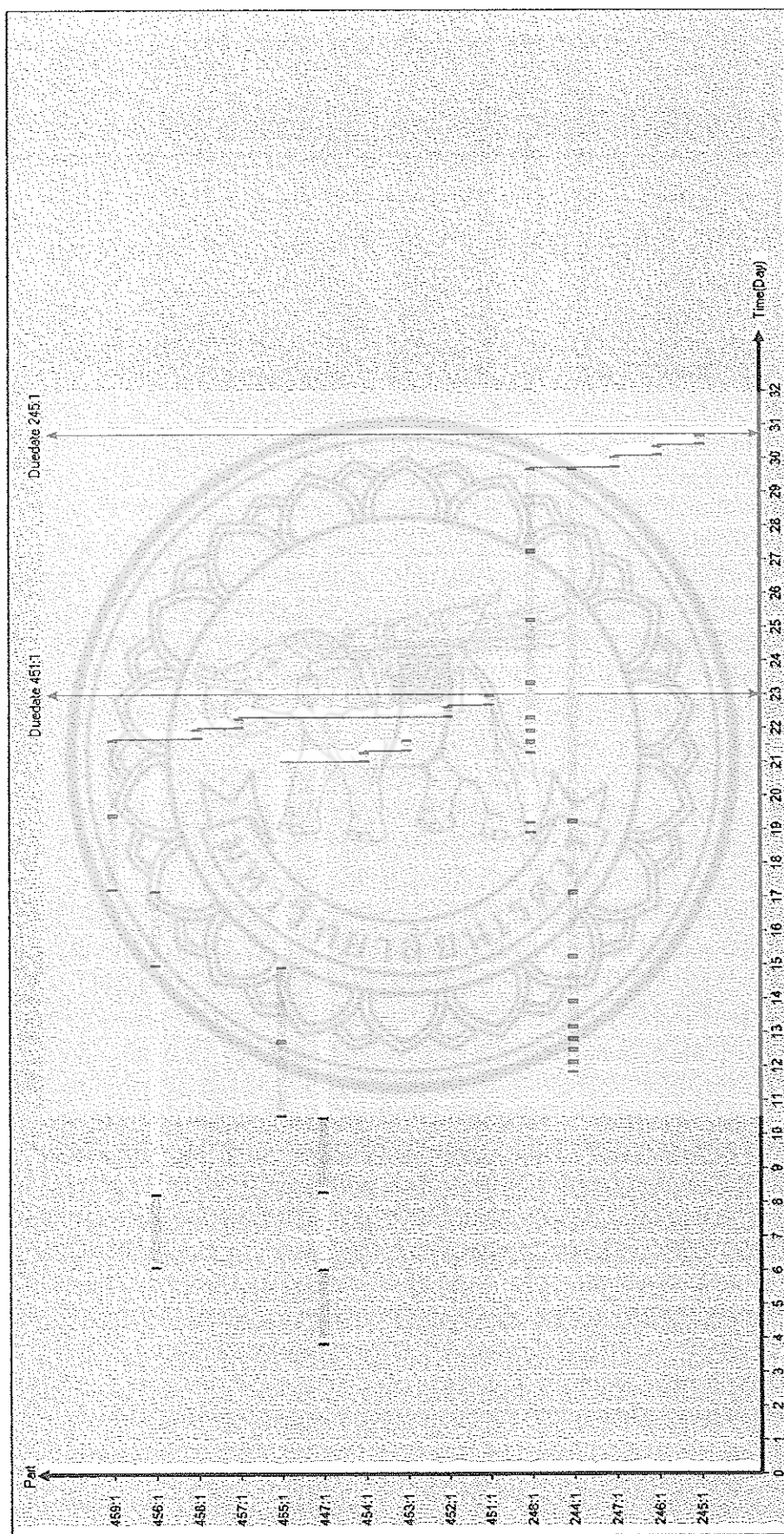
Number of Fireflies : 2
 Number of Generation : 2
 Seed number : 1111
 Gamma : 0.1
 Beta 0 : 0
 Alpha : 0
 Objective : Total_cost
 Scheduling type : backward
 Working Time : 24 hour/day
 Improve Firefly : Swapping

Total Cost Objective

Gen	Best $f(x)$	Best so far	Average $f(x)$	S.D.
1	16500.0	16500.0	20500.0	5656.85424949
2	16500.0	16500.0	20500.0	5656.85424949

Stop time
10:15:37 PM 12/07/09

ภาพ 19 แสดงผลลัพธ์เมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว



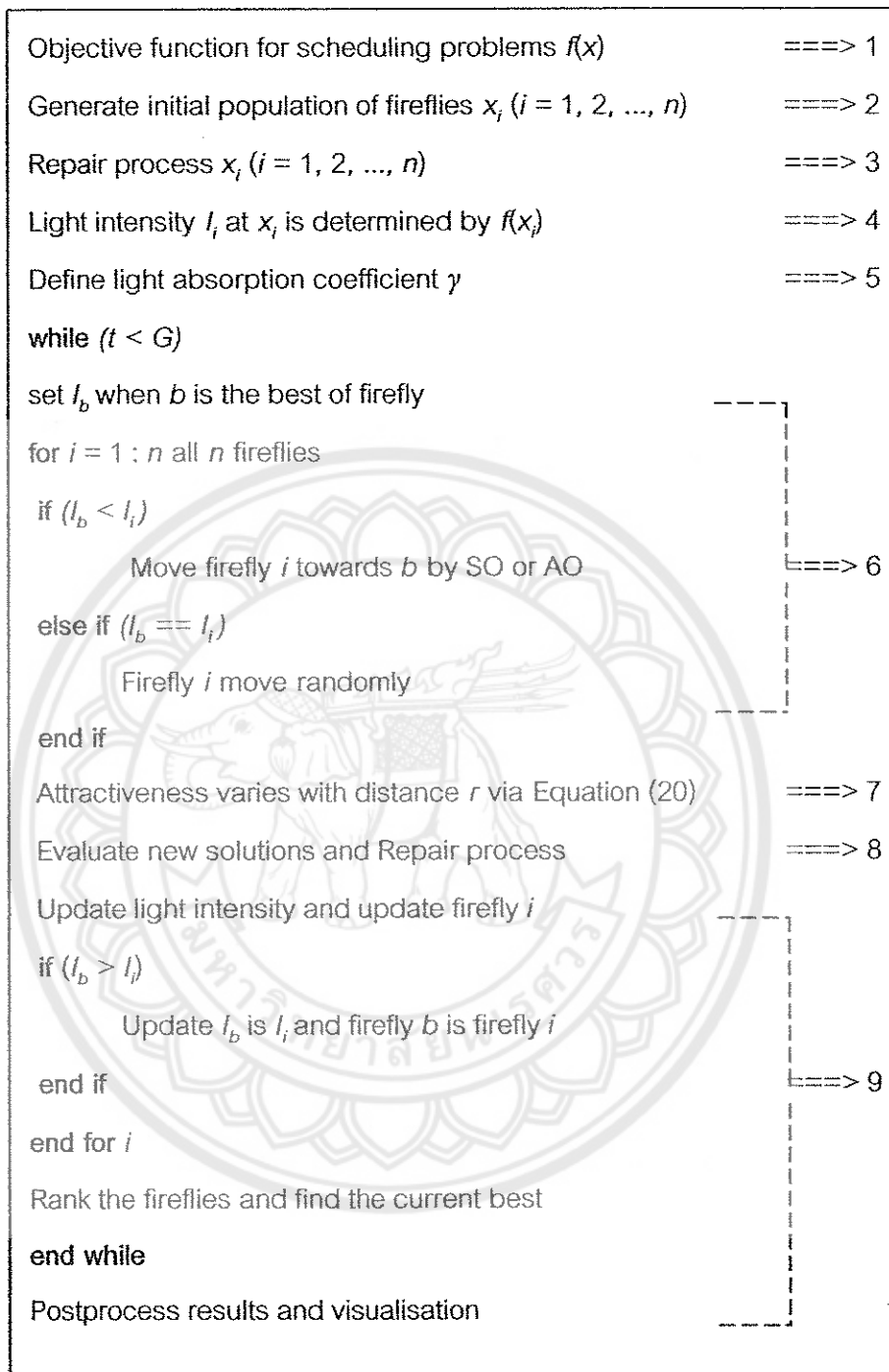
ภาพ 20 แสดงรูปแบบการจัดตารางที่เหมาะสมในแต่ละรอบได้ในลักษณะแผนภูมิแกนต์

6. ทดสอบโปรแกรม

เป็นขั้นตอนของการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า มีความถูกต้องของการประมวลผลด้านข้อมูลหรือไม่ โดยอาศัยหลักการของการพิสูจน์ที่ตรงกับความคาดหวัง (Verification) และการยืนยันความถูกต้อง (Validation) ในการทดสอบโปรแกรมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการเหมาะสม และตรงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งหากเกิดความผิดพลาดของข้อมูล จะมีการแก้ไขข้อผิดพลาด ปรับปรุงโปรแกรมให้ประมวลผลข้อมูลให้ถูกต้องมีประสิทธิภาพ

7. ปรับปรุงโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีการไฟเออะไฟล์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

เมื่อทำการพัฒนาและทดสอบโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ FA ตามขั้นตอนการทำงานที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้น พบว่าโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ FA ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้น ส่งผลกระทบในเรื่องของเวลาในการประมวลผลที่นาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีการไฟเออะไฟล์ (Modified Firefly Algorithm: MFA) ในเบื้องต้น ซึ่ง MFA ได้แนวคิดการปรับปรุงในเรื่องของการลดระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ FA โดยสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานตาม Pseudo Code ของ MFA ได้ดังนี้



ภาพ 21 แสดง Pseudo Code ของ MFA สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

จากภาพ 21 ลักษณะการทำงานของ MFA ยังคงมีขั้นตอนการทำงานส่วนใหญ่ที่เป็นลักษณะเดียวกับ FA ซึ่งข้อแตกต่างระหว่าง MFA กับ FA คือ MFA มีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงานจากรอบซ้อนรอบการวน (Loop) โดยทำการลดจำนวนการวนรอบ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อย เหลือเพียง 1 รอบการวน (Loop) และทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อยตัวที่มีความเข้มข้นแสงที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น (I_b) กับความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อย i ซึ่งถ้าหิ่งห้อยตัวที่ i มีความเข้มข้นแสงที่น้อยกว่าหิ่งห้อย b นั่นคือหิ่งห้อยตัวที่ i มีค่าปรับที่มากกว่าหิ่งห้อย b ดังนั้น หิ่งห้อยตัวที่ i จะทำการเคลื่อนที่ไปหาหิ่งห้อย b ตามความสามารถในการเคลื่อนที่ของหิ่งห้อย i และทำการปรับปรุงค่าความเข้มข้นแสงของตัวเอง แต่ถ้าความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อย i มากกว่า ความเข้มข้นแสงของหิ่งห้อย b นั่นคือหิ่งห้อยตัวที่ i มีค่าปรับที่น้อยกว่าหิ่งห้อย b จะทำการปรับปรุงหิ่งห้อยตัวที่ดีที่สุดใหม่ โดยให้หิ่งห้อย i เป็นหิ่งห้อยตัวที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น ซึ่งในการเปรียบเทียบรอบต่อไปจะทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นแสงที่ดีที่สุด (I_b) ที่ได้ใหม่กับหิ่งห้อยตัวต่อไป การทำงานของ MFA ยังคงใช้แนวคิดที่ได้จาก พฤติกรรมทางธรรมชาติของหิ่งห้อย ที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการเคลื่อนที่ระหว่างหิ่งห้อยสองตัว นั่นคือ หิ่งห้อยตัวที่มีความสว่างน้อยกว่า จะเคลื่อนที่ไปหาหิ่งห้อยตัวที่มีความสว่างมากกว่านั่นเอง

8. ออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลองให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของปัญหาที่ได้ทำการกำหนดไว้เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม โดยจะทำการออกแบบการทดลองในรูปแบบ 3^{4-1} ดังตาราง 4 เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากร ซึ่งปัจจัยของวิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) ที่ถูกพิจารณา มีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 ขนาดของประชากรหรือจำนวนหิ่งห้อยคูณด้วยจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ (Number of Fireflies * MaxGeneration: nG) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ สุภคกานดา ชมพูนิง (2552) ซึ่งกำหนดค่าไว้ที่ 2500 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดค่าไว้เท่ากัน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 25×100 , 50×50 และ 100×25 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของแสง (γ) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Yang (2008) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0.1, 5 และ 10 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 3 คือ ค่าความน่าดึงดูดสูงสุด (β_0) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Lukasik and Zak (2009) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

ปัจจัยสุดท้าย คือ ค่าของการสุ่ม (α_0) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Yang (2008) กับ Lukasik and Zak (2009) แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้เน้นในเรื่องการศึกษาวิธีการไฟเออะไฟล์ (FA) ดังนั้นปัจจัยอื่นๆ ของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ใช้ จึงได้ทำการกำหนดค่าของปัจจัยไว้คงที่ ซึ่งได้ทำการกำหนดค่าของปัจจัยสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตดังภาพ 18 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัย Finite Capacity for Assembly กำหนดค่าปัจจัยเป็น Yes ซึ่งหมายความว่า เครื่องจักรหมายเลขเดียวกัน เช่น เครื่องจักรหมายเลข 1000 ที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบไม่สามารถทำพร้อมกันได้

ปัจจัย Original Due date กำหนดค่าปัจจัยเป็น No หมายความว่า ไม่มีการกำหนดเวลาในการส่งมอบของส่วนประกอบ (Assembly) และชิ้นส่วน (Component) ไว้ก่อน ซึ่งเวลาในการส่งมอบของทั้งคู่จะคิดคำนวณจากผลิตภัณฑ์ (Product)

ปัจจัย Tardiness Penalty (Bath/Day) กำหนดค่าปัจจัยเท่ากับ 1,000 หมายความว่า ค่าปรับที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดมีค่าเท่ากับ 1,000 บาทต่อวัน

สำหรับปัจจัย Earliness Penalty (Bath/Day) กำหนดค่าปัจจัยเท่ากับ 500 คือ ค่าปรับที่เสร็จเร็วกว่ากำหนดมีค่าเท่ากับ 500 บาทต่อวัน

ปัจจัย Working Time (Hour/Day) เป็นระยะเวลาในการดำเนินงาน กำหนดค่าปัจจัยเท่ากับ 24 ชั่วโมงต่อวัน

ปัจจัย Scheduling กำหนดค่าปัจจัยเป็น Backward Scheduling ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดตารางแบบย้อนกลับ

ในส่วนของปัจจัย ($I_j < I_j$) Move Using Attractiveness and Random กำหนดค่าปัจจัยเป็น Yes ซึ่งหมายความว่า เมื่อหิ้งห้อย i มีความเข้มแสงที่มากกว่าหิ้งห้อย j จะทำการเคลื่อนที่โดยอาศัยค่าความน่าดึงดูดและการเคลื่อนที่แบบสุ่มด้วย

ปัจจัย ($I_j = I_j$) Move Using Random กำหนดค่าปัจจัยเป็น Yes หมายความว่า เมื่อหิ้งห้อย i มีความเข้มแสงเท่ากับหิ้งห้อย j ดังนั้นหิ้งห้อย i จะทำการเคลื่อนที่แบบสุ่ม

ปัจจัยสุดท้ายคือ ปัจจัย Objective กำหนดค่าเป็น Minimise Total Cost (Tardiness and Earliness) และ Consider Waiting Time Between Operations หมายความว่า วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คิดค่าปรับที่น้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณค่าปรับที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดการส่งมอบและค่าปรับที่เสร็จก่อนกำหนด โดยพิจารณาระยะเวลาในการรอคอยด้วย

การกำหนดค่าปัจจัยในส่วนของปัญหานี้ จะถูกกำหนดค่าไว้คงที่ ซึ่งจะใช้ในการทดลองของบทที่ 4 ต่อไป

ตาราง 4 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ 3^{4-1} ของการประยุกต์ใช้วิธีการไฟเออะไฟล์
แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

จำนวนการ ประมวลผล	nG	γ	β_0	α_0	ระดับปัจจัย
1	25*100	0.1	0	0	-1 -1 -1 -1
2	25*100	0.1	0.5	1	-1 -1 0 1
3	100*25	10	1	0.5	1 1 1 0
4	25*100	5	0	0.5	-1 0 -1 0
5	25*100	5	0.5	0	-1 0 0 -1
6	25*100	0.1	1	0.5	-1 -1 1 0
7	50*50	5	0	0	0 0 -1 -1
8	25*100	10	0.5	0.5	-1 1 0 0
9	25*100	5	1	1	-1 0 1 1
10	50*50	0.1	0	1	0 -1 -1 1
11	50*50	0.1	0.5	0.5	0 -1 0 0
12	25*100	10	1	0	-1 1 1 -1
13	25*100	10	0	1	-1 1 -1 1
14	50*50	5	0.5	1	0 0 0 1
15	50*50	0.1	1	0	0 -1 1 -1
16	50*50	10	0	0.5	0 1 -1 0
17	50*50	10	0.5	0	0 1 0 -1
18	50*50	5	1	0.5	0 0 1 0
19	100*25	0.1	0	0.5	1 -1 -1 0
20	100*25	0.1	0.5	0	1 -1 0 -1
21	50*50	10	1	1	0 1 1 1
22	100*25	5	0	1	1 0 -1 1

ตาราง 4 (ต่อ)

จำนวนการ ประมวลผล	nG	γ	β_0	α_0	ระดับปัจจัย
23	100*25	5	0.5	0.5	1 0 0 0
24	100*25	0.1	1	1	1 -1 1 1
25	100*25	10	0	0	1 1 -1 -1
26	100*25	10	0.5	1	1 1 0 1
27	100*25	5	1	0	1 0 1 -1

9. ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองพร้อมทั้งสรุปผล

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบการทดลองแล้ว จะมีการนำผลการทดลองที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่ออธิบายถึงผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง พร้อมทั้งสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลอง

10. จัดทำรูปเล่มผลงานวิจัย

เป็นขั้นตอนการจัดทำรายงานที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้วิธีการไฟเอะไฟล์แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Application of Firefly Algorithm for Solving Production Scheduling) และจัดทำรูปเล่มให้ตรงกับรูปแบบที่กำหนด

11. นำเสนอผลงานวิจัย

เป็นขั้นตอนการส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ นำเสนอและทำการเผยแพร่งานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้วิธีการไฟเอะไฟล์แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Application of Firefly Algorithm for Solving Production Scheduling)