บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่อง ส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. หน่วยประมวลผล (CPU) Intel Core 2 Duo, 2.6 GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) DDR2 512 MB
3. หน่วยความจำสำรอง (HDD) 80 GB
4. ระบบปฏิบัติการ (OS) Microsoft Windows XP SP2
5. โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ Minitab 14
6. ภาษาที่ใช้ในการเขียนเพื่อพัฒนาโปรแกรม Tcl/Tk

ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

1. **ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดตารางการผลิต**

ปัญหาของการจัดตารางผลิตนั้นมีความแตกต่างกันถึง 4 แบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตต้องเป็นไปตามโครงสร้างของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้การจัดตารางการผลิตนั้นมีความยุ่งยาก และซับซ้อนมากขึ้น และข้อมูลของโรงงานที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ มีปัญหาแตกต่างกัน 4 ขนาด (Pongcharoen, 2001) ดังรายละเอียดในตาราง 4

ตาราง 4 แสดงรายละเอียดของปัญหาทั้ง 4 ขนาด ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต

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

ที่มา: Pongcharoen, et al., 2002

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ปัญหาที่ใช้การจัดตารางผลิตมี 4 คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และ ขนาดใหญ่พิเศษ

1.1 **ปัญหาขนาดเล็ก** (Small size problem)

เป็นรูปแบบแรก ของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 245 และ 451 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วนมี 6 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนหมายเลข 244, 248, 447, 455, 456 และ 459 โดยแต่ละชิ้นส่วนประกอบด้วยชิ้นงาน (Operations) เช่น ชิ้นส่วนหมายเลข 244 ประกอบด้วยชิ้นงาน 9 ชิ้นงาน คือ 244:1 0, 244:1 1, 244:1 2, 244:1 3, 244:1 4, 244:1 5, 244:1 6, 244:1 7 และ 244:1 8 ดังภาพ 6

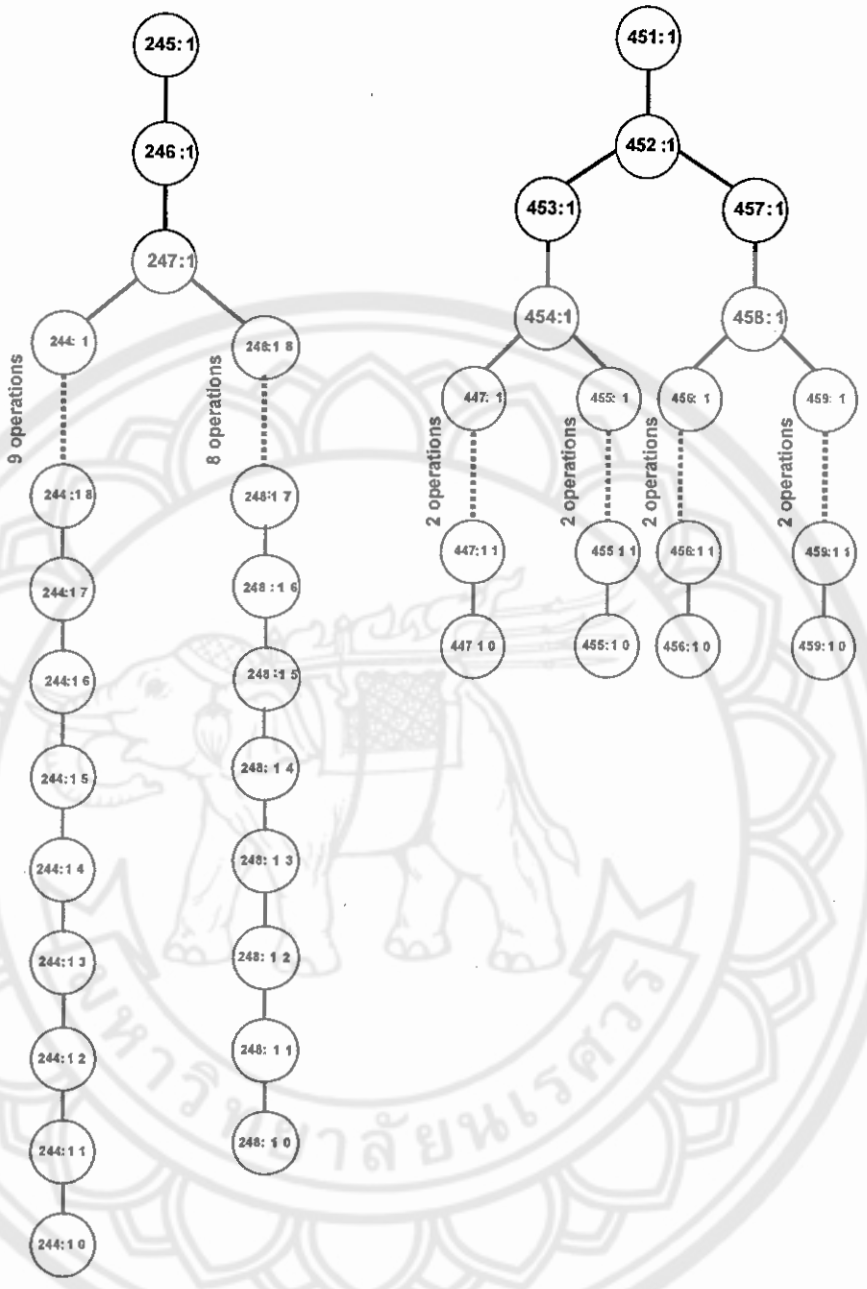
ชิ้นส่วนหมายเลขอื่นๆ ของขนาดปัญหาเล็ก คือ 248, 447, 455, 456 และ 459 มีโครงสร้างของชิ้นงานเหมือนชิ้นส่วนหมายเลข 244 และจำนวนขั้นตอนงานของชิ้นส่วนทั้ง 6 ชิ้น (244, 248, 447, 455, 456 และ 459) รวมกันแล้วมีจำนวนขั้นตอนงานเท่ากับ 25 งาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 9 ส่วนประกอบ ได้แก่หมายเลข 247, 246, 245, 454,458, 453, 457, 452 และ 451 ดังนั้น ปัญหาขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ (245 และ 451) มีจำนวนขั้นตอนงานทั้งหมด 34 งาน ซึ่งคิดได้จากจำนวนขั้นตอนงานของชิ้นส่วน คือ 25 บวกด้วย

จำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ คือ 9 ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิต จำนวน 4 ระดับ ดังภาพ 7 ในการทำงานใช้เครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 8 เครื่อง

ภาพ 6 แสดงโครงสร้างของชิ้นส่วนหมายเลข 226

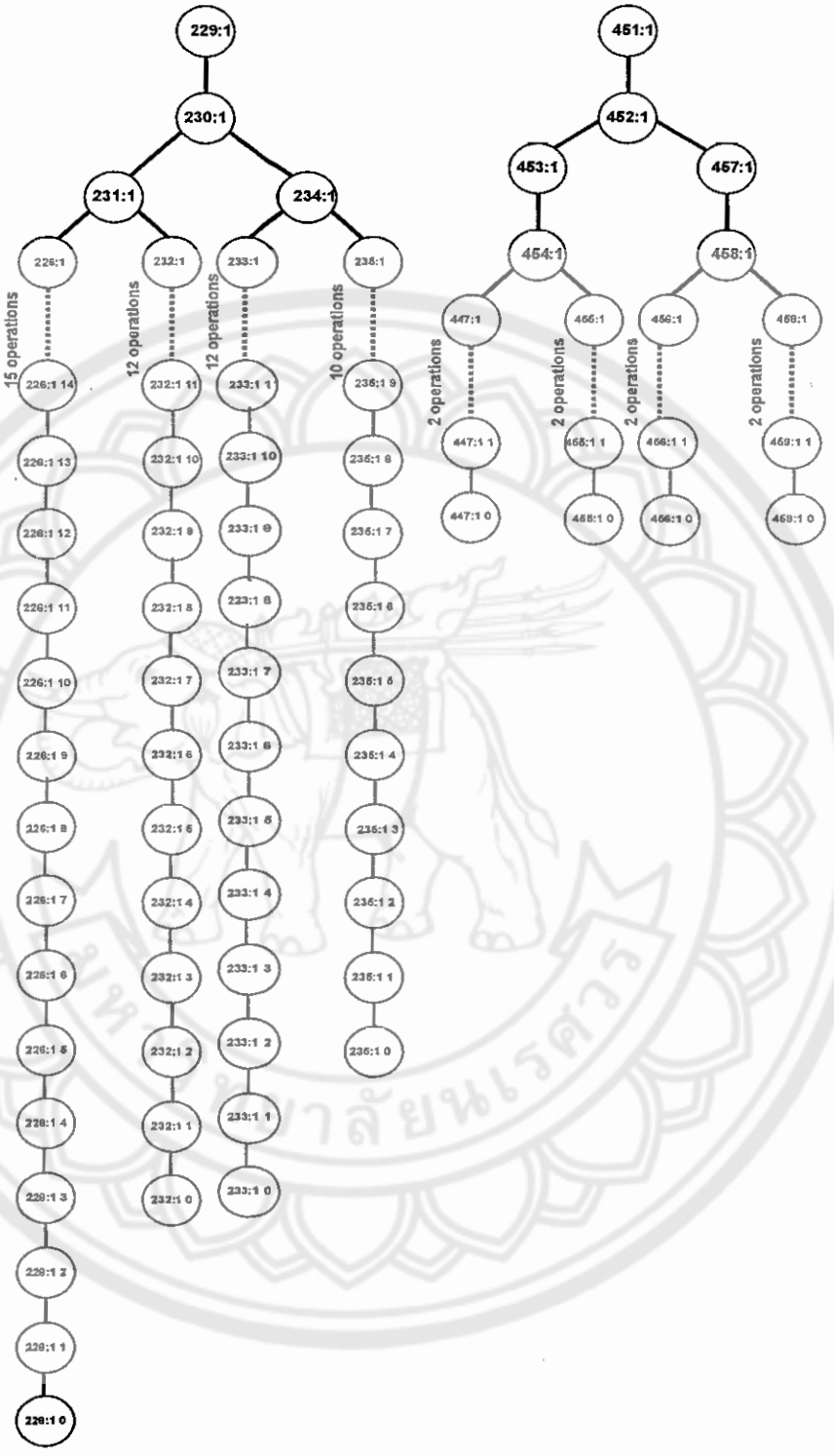
1.2 ปัญหาขนาดกลาง (Medium size problem)

เป็นรูปแบบที่สองของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 229 และ 451 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วน 8 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนหมายเลข 226, 232, 233, 235, 447, 455, 456 และ 459 โดยแต่ละชิ้นส่วนประกอบด้วยชิ้นงาน (Operations) ที่มีโครงสร้างเหมือนกับ ชิ้นส่วนหมายเลข 244 ภาพ 6 และจำนวนชิ้นงานของชิ้นส่วนทั้ง 8 ชิ้น (226, 232, 233, 235, 447, 455, 456 และ 459) รวมกันแล้วมีจำนวนขั้นตอนงานเท่ากับ 57 งาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 10 ส่วนประกอบได้แก่หมายเลข 231, 234, 230, 229, 454,458, 453, 457, 452 และ 451 ดังนั้น ปัญหาขนาดกลาง มีจำนวนขั้นตอนงานทั้งหมด 67 งาน ซึ่งวิธีคำนวณเหมือนกับปัญหาขนาดเล็ก และมีระดับของโครงสร้างผลิต จำนวน 4 ระดับ ดังภาพ 8 ในการทำงานใช้เครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 7 เครื่อง



ภาพ 7 แสดงโครงสร้างของปัญหาขนาดเล็ก

ที่มา: Pongcharoen, 2001



ภาพ 8 แสดงโครงสร้างของปัญหาขนาดกลาง

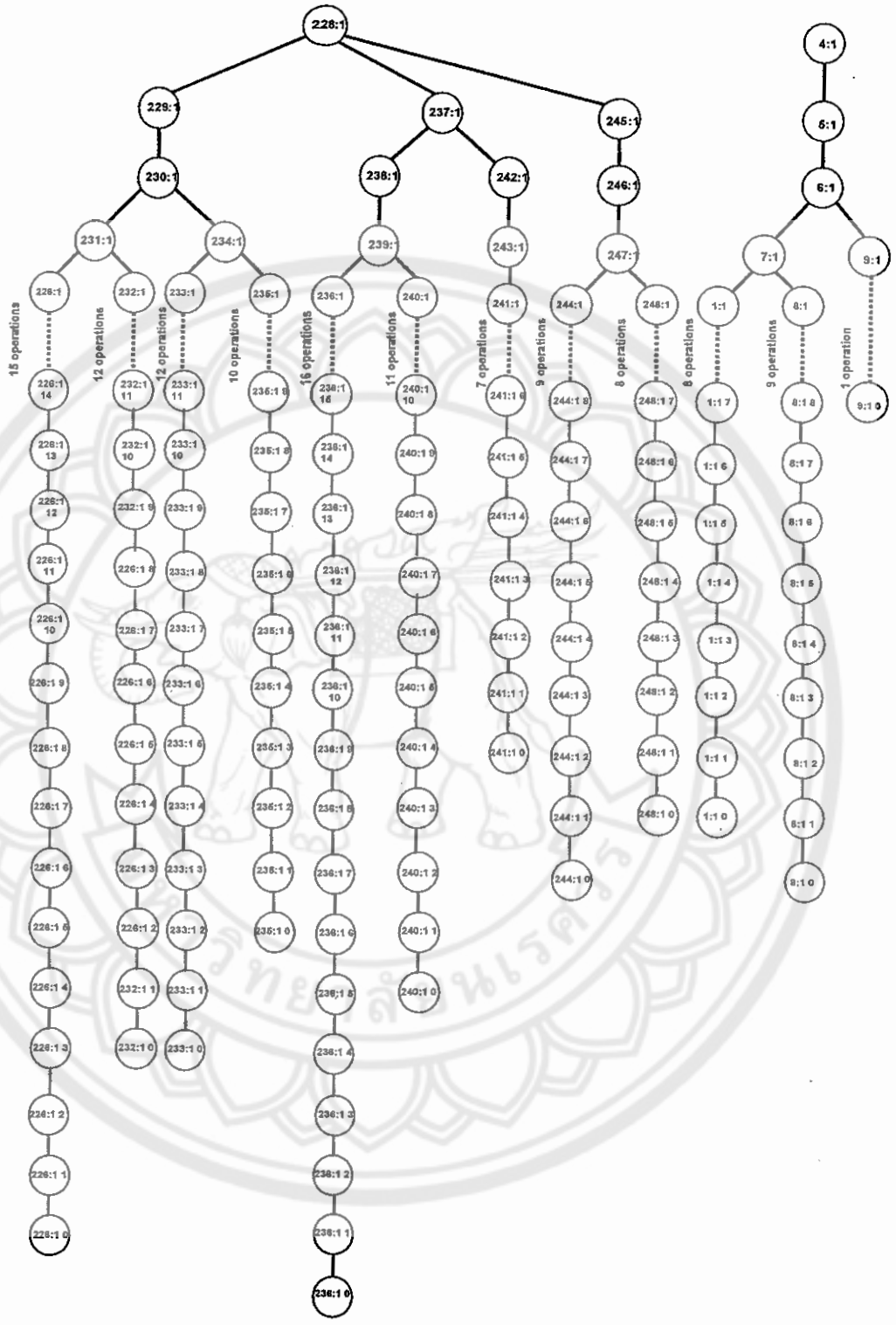
ที่มา: Pongcharoen, 2001

1.3 **ปัญหาขนาดใหญ่** (Large size problem)

เป็นรูปแบบที่สาม ของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิต ผลิตภัณฑ์ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 228 และ 4 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วน 12 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนหมายเลข 226, 232, 233, 235, 236, 240, 241, 244, 248, 1, 8 และ 9 โดยแต่ละชิ้นส่วนประกอบด้วยชิ้นงาน (Operations) ที่มีโครงสร้างเหมือนกับ ชิ้นส่วนหมายเลข 244 ภาพ 6 และจำนวนขั้นตอนงานของชิ้นส่วนทั้ง 12 ชิ้น (226, 232, 233, 235, 236, 240, 241, 244, 248, 1, 8 และ 9) รวมกันแล้วมีจำนวนขั้นตอนงานเท่ากับ 118 งาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 17 ส่วนประกอบ ได้แก่หมายเลข 231, 234, 230, 229, 239, 243, 238, 242, 237, 247, 246, 245, 228, 7, 6, 5 และ 4 ดังนั้น ปัญหาขนาดใหญ่ มีจำนวนขั้นตอนงานทั้งหมด 135 งาน ซึ่งวิธีคำนวณเหมือนกับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งมีระดับของโครงสร้างผลิต จำนวน 4 ระดับ ดังภาพ 9 ในการทำงานใช้เครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 17 เครื่อง

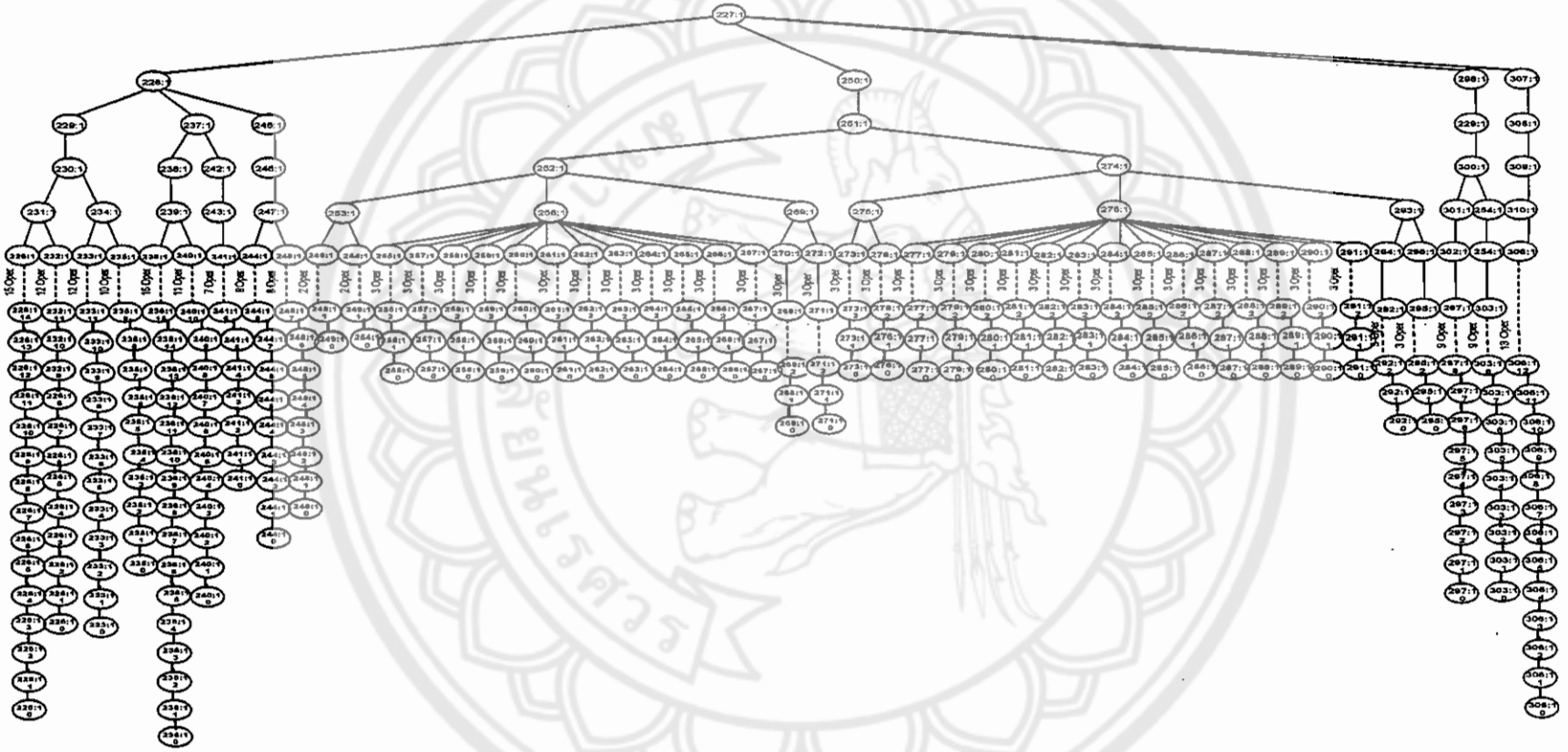
1.4 **ปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ** (Extra-large size problem)

เป็นรูปแบบที่สี่ของการจัดตารางการผลิต โดยจะมีการผลิต ผลิตภัณฑ์จำนวน 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์หมายเลข 227 จากนั้นเข้าสู่ขบวนการผลิต จำนวนชิ้นส่วน 46 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนหมายเลข 226, 232, 233, 235, 236, 240, 241, 244, 248, 249, 254, 255, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 271, 273, 276, 277,279, 280, 281, 282, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 295, 297, 303 และ 306 โดยแต่ละชิ้นส่วนประกอบด้วยชิ้นงาน (Operations) ที่มีโครงสร้างเหมือนกับ ชิ้นส่วนหมายเลข 244 ภาพ 6 และจำนวนขั้นตอนงานของชิ้นส่วนทั้ง 46 ชิ้น (226, 232, 233, 235, 236, 240, 241, 244, 248, 249, 254, 255, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 271, 273, 276, 277,279, 280, 281, 282, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 295, 297, 303 และ 306) รวมกันแล้วมีจำนวนขั้นตอนงานเท่ากับ 229 งาน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 39 ส่วนประกอบ ได้แก่หมายเลข 231, 234, 230, 229, 239, 243, 238, 242, 237, 247, 246, 245, 228, 253, 256, 270, 272, 269, 252, 275, 278, 294, 296, 293, 274, 251, 250, 302, 305, 301, 304, 310, 300, 309, 229, 308, 298, 307 และ 227 ดังนั้น ปัญหาขนาดใหญ่ผลิตภัณฑ์หมายเลข 227 มีจำนวนขั้นตอนงานทั้งหมด 268 งาน งาน ซึ่งวิธีคำนวณเหมือนกับปัญหาขนาดเล็ก และมีระดับของโครงสร้างผลิต จำนวน 6 ระดับ ดังภาพ 10 ในการทำงานใช้เครื่องจักรทำงานอยู่จำนวน 25 เครื่อง



ภาพ 9 โครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่

ที่มา: Pongcharoen, 20001



ภาพ 10 โครงสร้างของปัญหาขนาดใหญ่พิเศษ

ที่มา: Pongcharoen, 2001

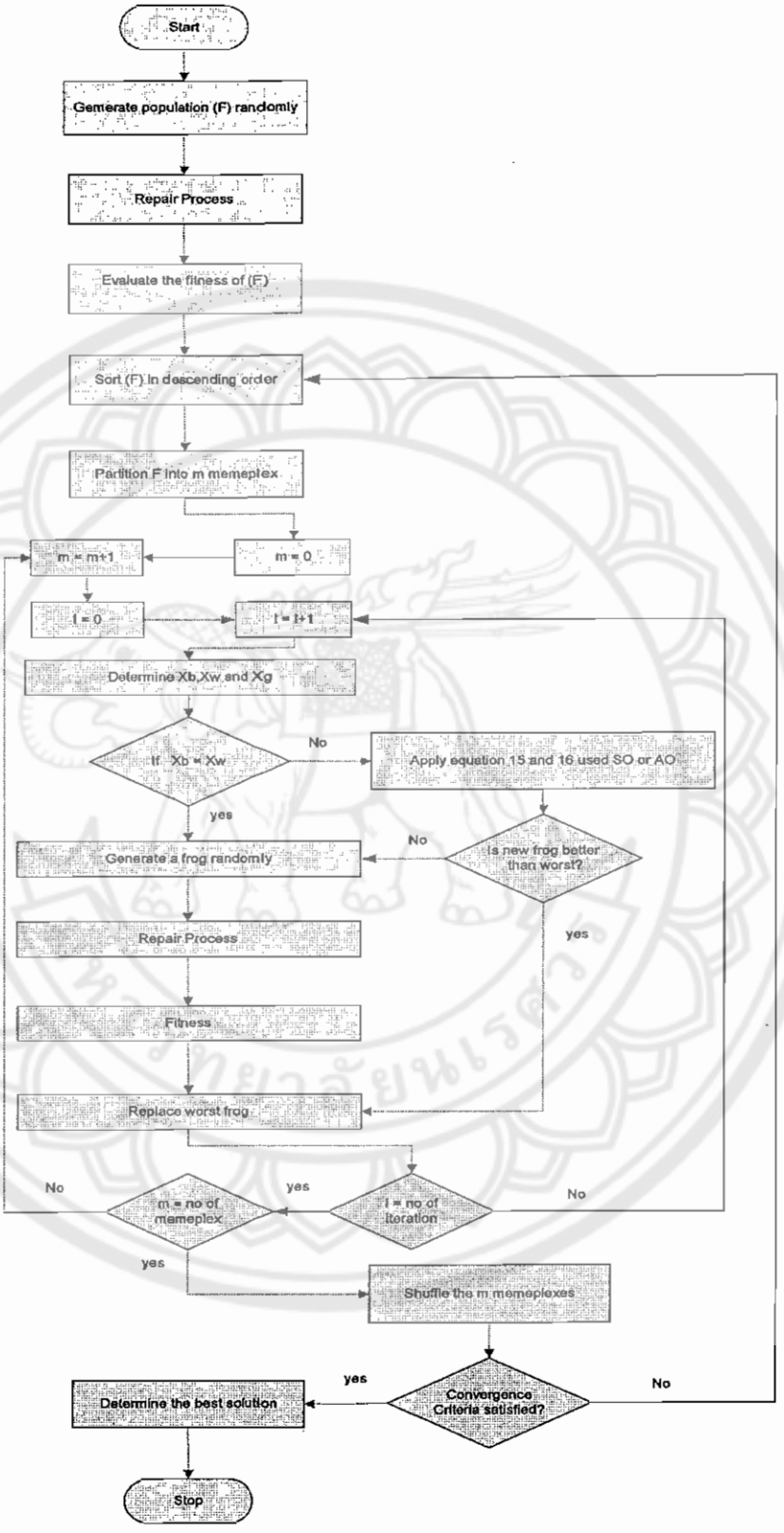
2. วิเคราะห์และออกแบบแฟ้มข้อมูลเข้า

แฟ้มข้อมูลนำเข้า (Input file) เป็นแฟ้มข้อมูลที่เก็บรายละเอียดที่จำเป็นเกี่ยวกับ การจัดตารางการผลิต ซึ่งข้อมูลเก็บในรูปแบบของแท็กซ์ไฟล์ โดยละเอียดของข้อมูลนำเข้ามีทั้งหมด 18 รายการ (Pongcharoen, 2001) คือ

1. เวลาเริ่มงาน
2. ช่วงเวลาการพิจารณา
3. รหัสชิ้นส่วน
4. หมายเลขชิ้นส่วน
5. รายละเอียดชิ้นส่วน
6. ตระกูลของชิ้นส่วน
7. ชิ้นส่วนสุดท้าย
8. จำนวนของงานบนเส้นทางการทำงานของชิ้นส่วน
9. หมายเลขเครื่องจักร
10. เวลาเริ่มติดตั้ง
11. ระยะเวลาติดตั้ง
12. เวลาเริ่มติดตั้งเครื่องจักร
13. ช่วงเวลาที่เครื่องจักรทำงาน
14. จำนวนของการเปลี่ยนเครื่อง
15. เวลาเริ่มต้นสำหรับการเปลี่ยนเครื่อง
16. ระยะเวลาเปลี่ยนเครื่อง
17. เวลาเสร็จงานของชิ้นส่วน
18. เวลาเสร็จงานที่กำหนดไว้ก่อน

3. การประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร์อกลีปปิงสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

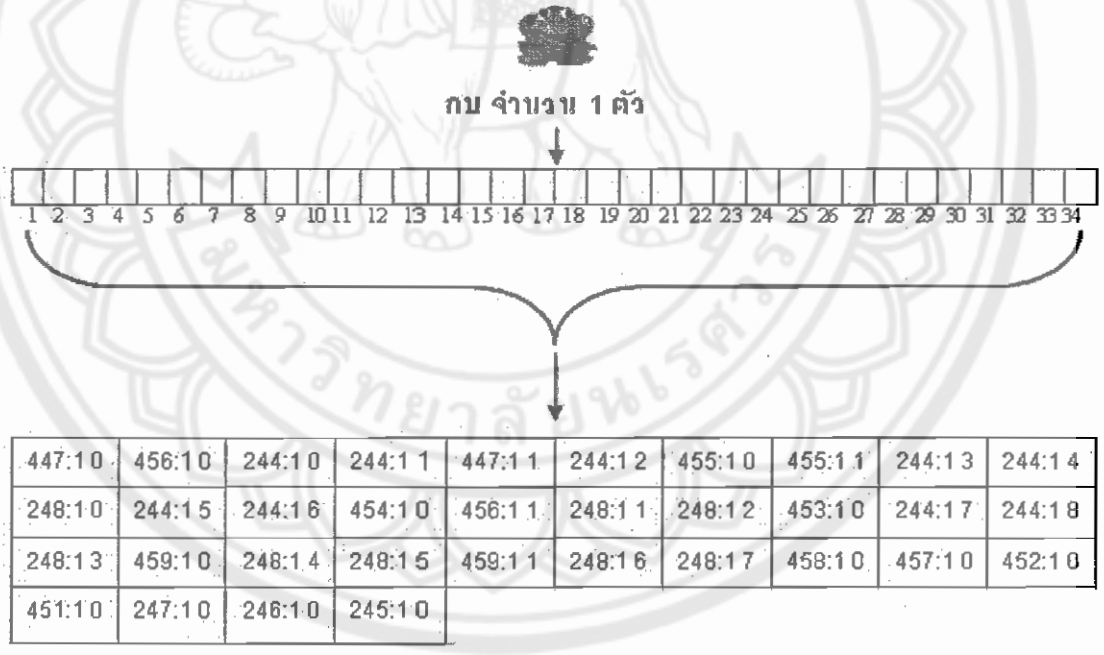
งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร์อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยข้อมูลของโรงงานที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ มีปัญหาแตกต่างกัน 4 ขนาด (Pongcharoen, 2001) ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละขั้นตอนได้ดังภาพ 11



ภาพ 11 แสดงโครงสร้างของขั้นตอนการทำงานของเทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (SFL)

1. ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization)

การทำงานของ เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (SFL) กระบวนการการทำงานเริ่มต้นด้วยการสร้างประชากรเริ่มต้นกบ (Frog) โดยการสุ่มค่ากบ ซึ่งกบ1 ตัว จะแทนด้วยค่าคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหา 1 ค่า และในกบแต่ละตัวจะประกอบไปด้วยชิ้นงานทั้งหมด เช่น ปัญหาขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน ดังนั้น กบ 1 ตัวจะแทนด้วยผลิตภัณฑ์ (ผลิตภัณฑ์หมายเลข 245 และ 451) จำนวน 1 ชิ้น และในกบแต่ละตัว จะประกอบด้วยชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน ดังภาพ 12 โดยในชิ้นงานจะระบุตัวเลข เช่น 447:1 0 หมายถึง ชิ้นงานหมายเลข 447 ต้องการผลิตงานจำนวน 1 ชิ้น (ถ้าต้องการผลิตงาน 2 ชิ้น หรือ 3 ชิ้น ก็จะเปลี่ยนเป็น 447:2 ,447:3 ตามลำดับ) และ ทำขั้นตอนงาน (Operation) ลำดับที่ 1 ซึ่งงานวิจัยนี้ เริ่มนับลำดับขั้นตอนงานแรกที่ 0 ตามดัชนีตำแหน่งที่ในคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ถ้าต้องการผลิตชิ้นงานหมายเลข 447 จำนวน 1 ชิ้น ในขั้นตอนงานลำดับที่ 2 คือ 447:1 1 เป็นต้น



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						

ภาพ 12 แสดงชิ้นงานทั้งหมดของปัญหาขนาดเล็กซึ่งแทนค่าสำหรับกบจำนวน 1 ตัว

ซึ่งจำนวนกบจะถูกสุ่มสร้างขึ้นตามจำนวนของประชากร (Population size) ที่กำหนด จากนั้นเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งใช้พิจารณาในการจัดตารางการผลิตกำหนด

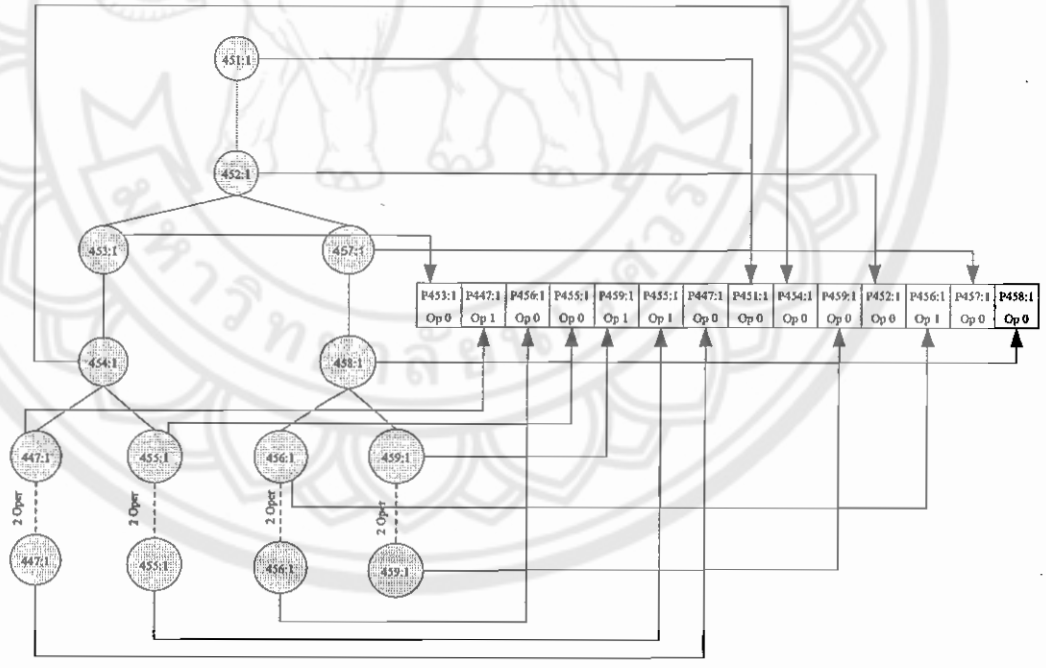
เป็น constraints โดยตารางที่จัดได้จะถือเป็น feasible schedule ถ้าไม่ละเมิด constraints ที่กำหนดไว้ มีความเหมาะสมกับความต้องการของกระบวนการผลิตมากขึ้น

2. ขั้นตอนกระบวนการการซ่อมแซม

ปัญหาการจัดตารางการผลิต ในงานวิจัยนี้ มีเงื่อนไขข้อจำกัดของลำดับในการดำเนินงานก่อนหลังของชิ้นส่วนและส่วนประกอบ ตามสายงานการผลิต จึงต้องมีกระบวนการที่เข้ามาช่วยตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้งานแต่ละงานนั้นมีลำดับโครงสร้างที่ถูกต้องโดยไม่ละเมิดเงื่อนไข ที่ได้กำหนดไว้ กระบวนการซ่อมแซมในงานวิจัย มี 2 ขั้นตอนคือ

2.1 ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน (Part precedence adjustment)

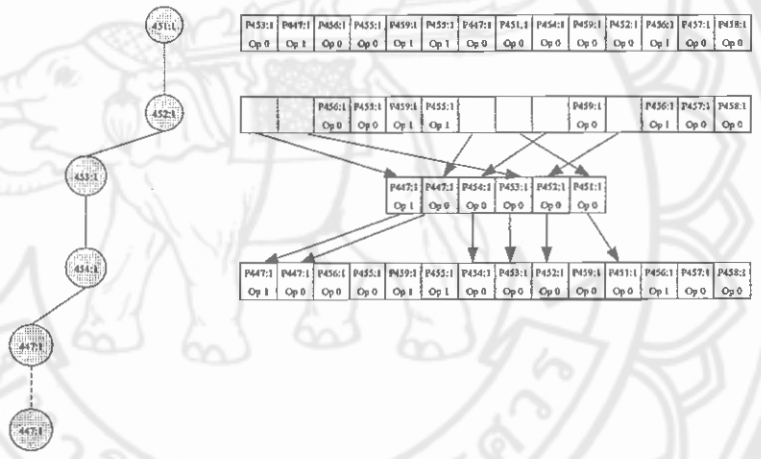
เป็นกระบวนการตรวจสอบลำดับตามความถูกต้องของชิ้นงานตั้งแต่ชิ้นส่วน, ส่วนประกอบจนกระทั่งถึงตัวผลิตภัณฑ์ ตามสายการผลิตงานเช่น ผลิตภัณฑ์ 451 มีจำนวนชิ้นส่วน 4 ชิ้น โดยแต่ละชิ้นส่วนมีขั้นตอนงานจำนวน 8 ขั้นตอน และมีจำนวนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ 6 ส่วนประกอบ ดังภาพ 13



ภาพ 13 แสดงระดับชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ 451

ที่มา: Khadwilard, 2007

ในกระบวนการซ่อมแซมจะทำที่ละสายการผลิต จากภาพ 13 เมื่อทำกระบวนการซ่อมแซมในสายการผลิตที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน คือ 447:1 454:1 453:1 452:1 และ 451:1 ซึ่งแต่ละ ชิ้นงานต้องการผลิต 1 ชิ้น เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมลำดับแรก จะทำการตรวจสอบชิ้นงานในระดับล่างก่อน คือ ชิ้นงานหมายเลข 447 ดังนั้นในกระบวนการซ่อมแซมขั้นตอนการตรวจชิ้นงานต้องตรวจสอบดูว่า ชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นงาน (447, 454, 453, 452 และ 451) ของสายการผลิตที่ 1 นั้น ทำชิ้นงานหมายเลข 447 ก่อนหรือไม่ ถ้าไม่ได้เริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 447 ก่อนถือว่าละเมิดเงื่อนไข ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม เปลี่ยนแปลงลำดับการดำเนินงานของชิ้นงาน ให้เริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 447 เป็นลำดับแรก จากนั้นทำการตรวจสอบชิ้นงานระดับอื่นๆ คือ 454, 453, 452 และ 451 ตามลำดับ ดังภาพ 14

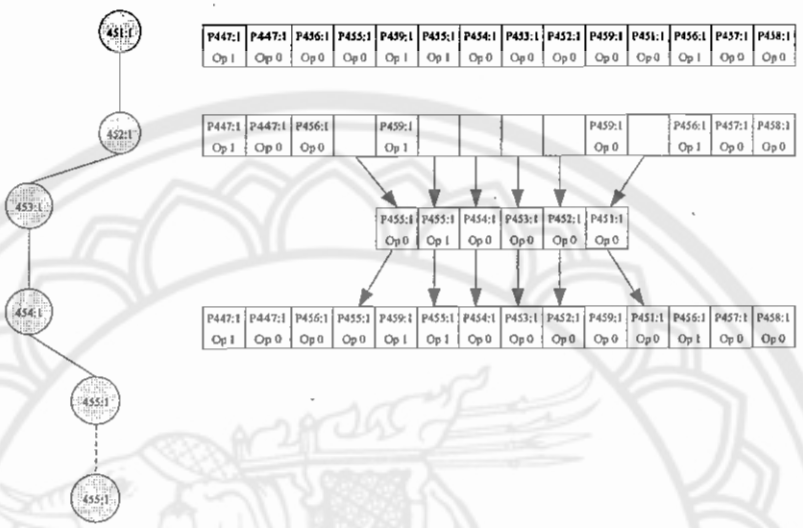


ภาพ 14 แสดงการตรวจสอบชิ้นงานในสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 2 ประกอบด้วยชิ้นงาน 5 ชิ้นงาน คือ 455:1 454:1 453:1 452:1 และ 451:1 ซึ่งแต่ละ ชิ้นงานต้องการผลิต 1 ชิ้น เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมลำดับแรก จะทำการตรวจสอบชิ้นงานในระดับล่างก่อน ในสายการผลิตที่ 2 คือ ชิ้นงานหมายเลข 455 ดังนั้นในกระบวนการซ่อมแซมขั้นตอนการตรวจชิ้นงานต้องตรวจสอบดูว่า ชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นงาน (455, 454, 453, 452 และ 451) ของสายการผลิตที่ 2 นั้นทำชิ้นงานหมายเลข 455 ก่อนหรือไม่ ถ้าทำชิ้นงาน

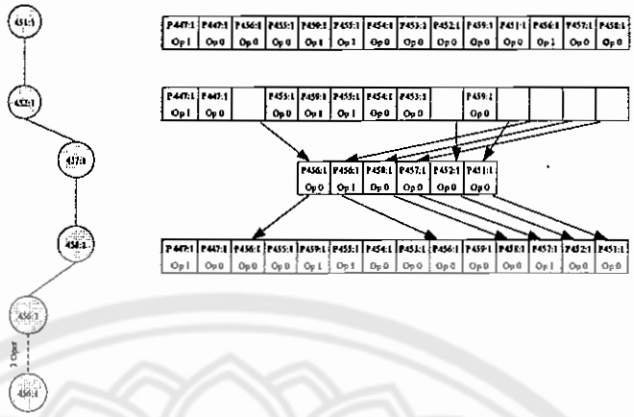
หมายเลข 455 ก่อนถือว่าไม่ละเมิดเงื่อนไข สามารถนำไปใช้ได้ ไม่ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม จากนั้นทำการตรวจสอบชิ้นงานระดับอื่นๆ คือ 454, 453, 452 และ 451 ตามลำดับ ดังภาพ 15



ภาพ 15 แสดงการตรวจสอบชิ้นงานในสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

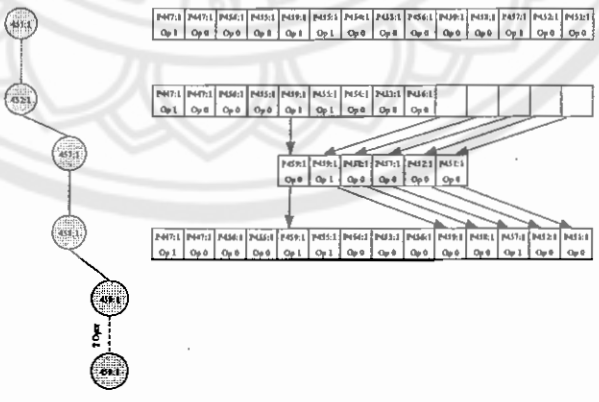
สายการผลิตที่ 3 ประกอบด้วยชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน คือ 456:1 458:1 457:1 452:1 และ 451:1 ซึ่งแต่ละ ชิ้นงานต้องการผลิต 1 ชิ้น เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมลำดับแรก จะทำการตรวจสอบชิ้นงานในระดับล่างก่อน ในสายการผลิตที่ 3 คือ ชิ้นงานหมายเลข 456 ดังนั้นในกระบวนการซ่อมแซมขั้นตอนการตรวจชิ้นงานต้องตรวจสอบดูว่า ชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นงาน (456, 458, 457, 452 และ 451) ของสายการผลิตที่ 3 นั้นทำชิ้นงานหมายเลข 456 ก่อนหรือไม่ ถ้าทำชิ้นงานหมายเลข 456 ก่อนถือว่าไม่ละเมิดเงื่อนไข สามารถนำไปใช้ได้ ไม่ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม จากนั้นทำการตรวจสอบชิ้นงานระดับอื่นๆ คือ 458, 457, 452 และ 451 ตามลำดับ แต่ถ้าชิ้นงานในระดับใด ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ให้ทำการแก้ไขซ่อมแซม เปลี่ยนแปลงลำดับการดำเนินงานของชิ้นงานให้ถูกต้อง ดังภาพ 16



ภาพ 16 แสดงการตรวจสอบชิ้นงานในสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 4 ประกอบด้วยชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน คือ 459:1 458:1 457:1 452:1 และ 451:1 ซึ่งแต่ละ ชิ้นงานต้องการผลิต 1 ชิ้น เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมลำดับแรก จะทำการตรวจสอบชิ้นงานในระดับล่างก่อน ในสายการผลิตที่ 4 คือ ชิ้นงานหมายเลข 459 ดังนั้นในกระบวนการซ่อมแซมขั้นตอนการตรวจชิ้นงานต้องตรวจสอบดูว่า ชิ้นงานทั้ง 5 ชิ้นงาน (459, 458, 457, 452 และ 451) ของสายการผลิตที่ 4 นั้นทำชิ้นงานหมายเลข 459 ก่อนหรือไม่ ถ้าทำชิ้นงานหมายเลข 459 ก่อนถือว่าไม่ละเมิดเงื่อนไข สามารถนำไปใช้ได้ ไม่ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม จากนั้นทำการตรวจสอบชิ้นงานระดับอื่นๆ คือ 458, 457, 452 และ 451 ตามลำดับดังภาพ 17

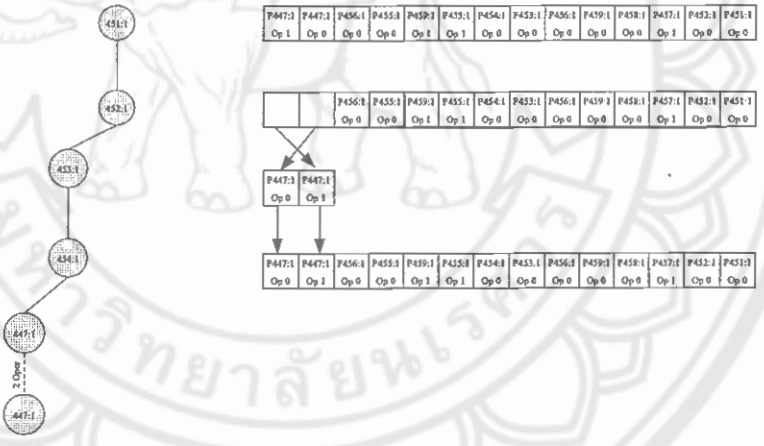


ภาพ 17 แสดงการตรวจสอบชิ้นงานในสายการผลิตที่ 4 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

2.2 **ขั้นตอนการตรวจสอบขั้นตอนของชิ้นงาน** (Operation precedence adjustment)

เป็นกระบวนการตรวจสอบลำดับขั้นตอนงาน บางชิ้นงานอาจมีขั้นตอนงานมากกว่า 1ขั้นตอน ดังนั้นในขั้นตอนกระบวนการซ่อมแซมนี้ทำการตรวจสอบลำดับของขั้นตอนงาน ของแต่ละชิ้นงานตามสายการผลิต เช่น จากภาพ 13 สายการผลิตที่ 1 ขั้นแรกทำการตรวจ**สอบ** ลำดับขั้นตอนงาน (Operation) ของชิ้นงานหมายเลข 447 ซึ่งมีขั้นตอนงาน 2 ขั้นตอน ทำ**การ**ตรวจสอบว่า เริ่มทำงานในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 (งานวิจัยนี้ เริ่มนับลำดับขั้นตอนงานแรกที่ 0 **ตาม**ดัชนีตำแหน่งในคอมพิวเตอร์) เป็นลำดับแรกหรือไม่ ถ้าไม่ได้เริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 447 **ใน**ขั้นตอนงานลำดับที่ 0 ก่อน แสดงว่าละเมิดเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ให้ทำการแก้ไขซ่อม**แซม**เปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนงานของชิ้นงานหมายเลข 447 ให้ถูกต้อง ส่วนชิ้นงานในระดับอื่นๆ มีขั้นตอนงานเพียง 1 ขั้นตอนเท่านั้น สามารถนำชิ้นงานไปใช้ได้ โดยไม่ต้องตรวจสอบขั้นตอ**นงาน** ดังภาพ 18

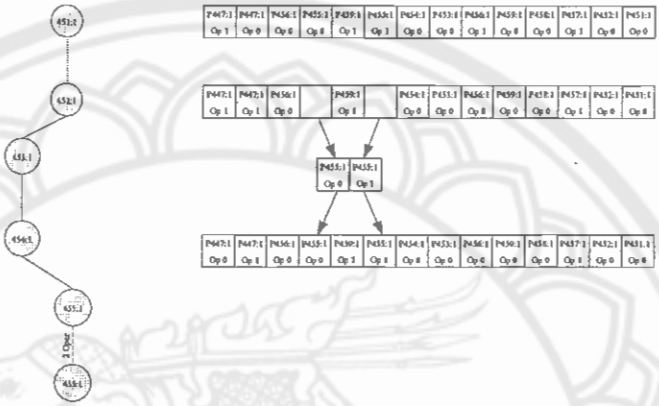


ภาพ 18 แสดงการตรวจสอบขั้นตอนงานของชิ้นงานในสายการผลิตที่ 1 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 2 ขั้นแรกทำการตรวจสอบลำดับขั้นตอนงาน (Operation) ของชิ้นงานหมายเลข 455 ซึ่งมีขั้นตอนงาน 2 ขั้นตอน ทำการตรวจสอบว่า เริ่มทำงานในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 (งานวิจัยนี้ เริ่มนับลำดับขั้นตอนงานแรกที่ 0 ตามดัชนีตำแหน่งในคอมพิวเตอร์) เป็นลำดับแรก

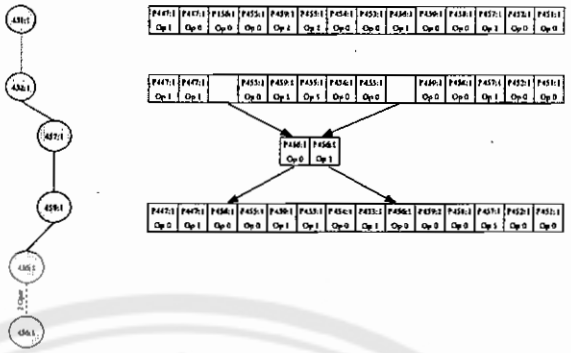
หรือไม่ ถ้าเริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 455 ในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 ก่อน แสดงว่าไม่ละเมิดเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นไม่ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม เปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนงานของชิ้นงานหมายเลข 455 ส่วนชิ้นงานในระดับอื่นๆ มีขั้นตอนงานเพียง 1 ขั้นตอนเท่านั้น สามารถนำชิ้นงานไปใช้ได้ โดยไม่ต้องตรวจสอบขั้นตอนงานดังภาพ 19



ภาพ 19 แสดงการตรวจสอบขั้นตอนงานของชิ้นงานในสายการผลิตที่ 2 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

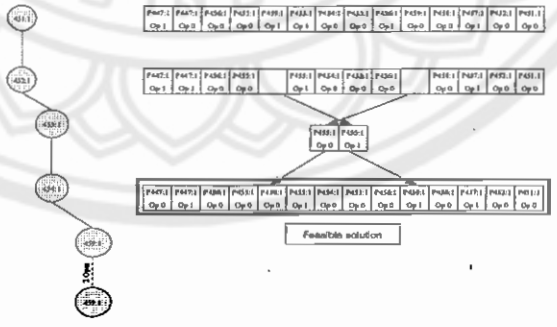
สายการผลิตที่ 3 ขั้นแรกทำการตรวจสอบลำดับขั้นตอนงาน (Operation) ของชิ้นงานหมายเลข 456 ซึ่งมีขั้นตอนงาน 2 ขั้นตอน ทำการตรวจสอบว่า เริ่มทำงานในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 (งานวิจัยนี้ เริ่มนับลำดับขั้นตอนงานแรกที่ 0 ตามดัชนีตำแหน่งในคอมพิวเตอร์) เป็นลำดับแรกหรือไม่ ถ้าเริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 456 ในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 ก่อน แสดงว่าไม่ละเมิดเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นไม่ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซม เปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนงานของชิ้นงานหมายเลข 456 ส่วนชิ้นงานในระดับอื่นๆ มีขั้นตอนงานเพียง 1 ขั้นตอนเท่านั้น สามารถนำชิ้นงานไปใช้ได้ โดยไม่ต้องตรวจสอบขั้นตอนงานดังภาพ ดังภาพ 20



ภาพ 20 แสดงการตรวจสอบขั้นตอนงานของชิ้นงานในสายการผลิตที่ 3 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

สายการผลิตที่ 4 ขั้นแรกทำการตรวจสอบลำดับขั้นตอนงาน (Operation) ของชิ้นงานหมายเลข 459 ซึ่งมีขั้นตอนงาน 2 ขั้นตอน ทำการตรวจสอบว่า เริ่มทำงานในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 (งานวิจัยนี้ เริ่มนับลำดับขั้นตอนงานแรกที่ 0 ตามดัชนีตำแหน่งในคอมพิวเตอร์) เป็นลำดับแรกหรือไม่ ถ้าไม่ได้เริ่มทำชิ้นงานหมายเลข 459 ในขั้นตอนงานลำดับที่ 0 แสดงว่าละเมิดเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ให้ทำการแก้ไขซ่อมแซม เปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนงานของชิ้นงานหมายเลข 459 ให้ถูกต้อง ส่วนชิ้นงานในระดับอื่นๆ มีขั้นตอนงานเพียง 1 ขั้นตอนเท่านั้น สามารถนำชิ้นงานไปใช้ได้โดยไม่ต้องตรวจสอบขั้นตอนงาน ดังภาพดังภาพ 21



ภาพ 21 แสดงการตรวจสอบขั้นตอนงานของชิ้นงานในสายการผลิตที่ 4 ของกระบวนการซ่อมแซม

ที่มา: Khadwilard, 2007

3. ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

เป็นขั้นตอนการถอดรหัสเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันเป้าหมายจากสมการ 1 คือ

$$\text{Total penalty cost} = \sum_{j=1}^{c}\sum_{k=1}^{p} pe(E_{jk}) + \sum_{k=1}^{p} Pe(E_k) + \sum_{k=1}^{p} Pt(T)_k \qquad (1)$$

เช่นปัญหาขนาดเล็ก C มีค่าเท่ากับ 6 เมื่อ C คือจำนวนของชิ้นส่วน, P แทนได้กับ 34 ซึ่งได้มาจากจำนวนงานของชิ้นส่วน ทั้งหมด เท่ากับ 25 (244:1 = 9, 248:1 = 8, 447:1 = 2, 455:1 = 2, 456:1 = 2 และ 459:1 = 2) บวกกับจำนวนของส่วนประกอบอีก 9 ชิ้น (247:1, 246:1, 245:1, 454:1, 458:1, 453:1, 457:1, 452:1 และ 451:1) โดยจะทำการเลือกว่า จัดตารางแบบถอยหลัง (Backward Scheduling) หรือ ไปข้างหน้า (Forward Scheduling) ซึ่งค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต ค่าที่ได้เป็นจำนวนเงินที่เกิดจากค่าปรับของการผลิต แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนแรกค่าปรับที่เกิดจากการผลิตเสร็จเร็วกว่ากำหนดของชิ้นส่วน ส่วนที่สองค่าปรับที่เกิดจากการผลิตเสร็จเร็วกว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ และส่วนที่สามส่วนสุดท้ายค่าปรับที่เกิดจากการผลิตเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยค่าปรับนั้นคิดได้จากเวลาการทำงาน ซึ่งมีจำนวน 3 กะ 8 ชั่วโมงต่อวัน, 16 ชั่วโมงต่อวัน และ 24 ชั่วโมงต่อวัน ตามลำดับ และดูเวลาเริ่มต้น, เวลาส่งมอบงาน คูณด้วยจำนวนเงินค่าปรับ ค่าปรับที่เกิดจากการผลิตเสร็จก่อนกำหนดเป็นจำนวนเงิน 500 บาท ต่อวัน ค่าปรับที่เกิดจากการผลิตเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดเป็นจำนวนเงิน 1000 บาท ต่อวัน

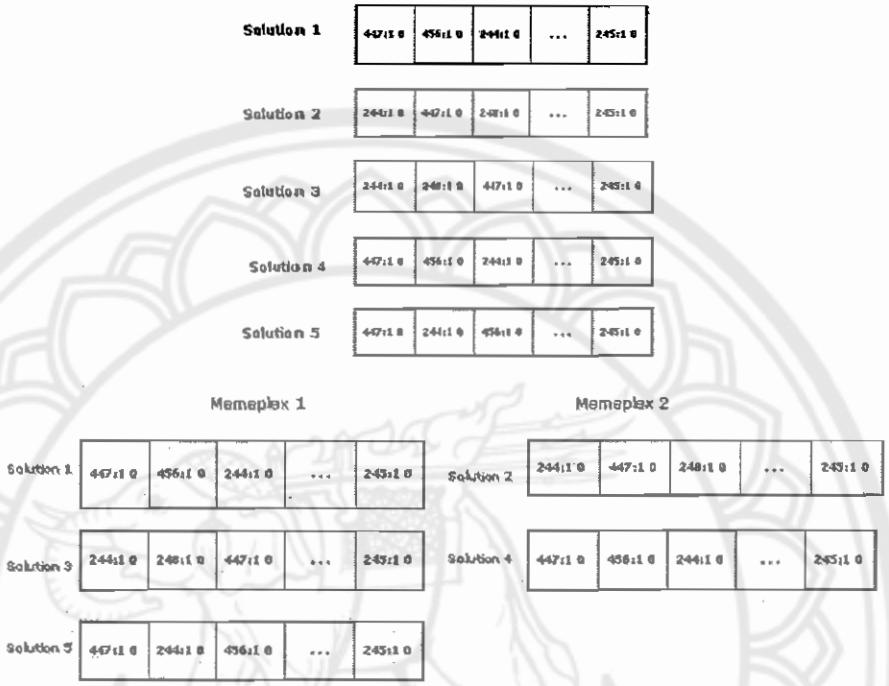
4. ขั้นตอนการเรียงลำดับค่าความเหมาะสม

เมื่อได้ค่าความเหมาะสม (ค่าปรับที่คำนวณได้ จากสมการ (1)) แล้ว นำมาเรียงลำดับตามค่าความเหมาะสมจากมากไปน้อย เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่ต้องการหาค่าที่น้อยที่สุด ดังนั้นค่าที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ ค่าที่น้อยที่สุด

5. ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม (Memeplexs)

หลังจากเรียงลำดับค่าคำตอบตามค่าความเหมาะสมเรียบร้อยแล้ว ทำการแบ่งค่าคำตอบออกเป็น m กลุ่มย่อย ๆ จะเรียกกลุ่มของการแบ่งนี้ว่ามีมีเพล็ก (Memeplex) (Elbeltagi, et al., 2005) ซึ่งค่าของการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็กเป็นค่าปัจจัยหนึ่งที่จะต้องกำหนดระดับ โดยวิธีการจัดเรียงคือ ค่าคำตอบที่ 1 ที่ผ่านการเรียงลำดับค่าความเหมาะสมจากมากไปน้อยแล้วนั้น ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ 1 ค่าคำตอบที่ 2 ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ 2 ค่าคำตอบที่ m ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ m (m คือ มีมีเพล็กสุดท้าย) และค่าคำตอบที่ m+1 ทำการจัดวนให้กลับไปที่มีมี

เพล็กที่ 1 ใหม่ ทำวนไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนค่าคำตอบทั้งหมด เช่น มีค่าคำตอบอยู่ 5 ค่า ต้องการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็ก เป็น 2 กลุ่ม แสดงดัง ภาพ 22



ภาพ 22 แสดงการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็กของค่าคำตอบ

6. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improvement process)

ในขั้นตอนการปรับปรุง ขั้นแรกหาค่าคำตอบ (Solution) ที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี (Xb) และ ค่าคำตอบ (Solution) ตัวที่มีค่าความเหมาะสมแย่ (Xw) จากนั้นนำค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมแย่ (Xw) ของทุกๆ มีมีเพล็ก มาทำการปรับปรุงเพื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งของค่าคำตอบ ตามสมการ 15 และ 16

$$D_i = rand() * (X_b - X_w) \quad (15)$$

$$X_{w(new)} = X_{w(old)} \oplus D_i \quad (16)$$

โดยขั้นตอนการนำค่า Xb ลบ Xw ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการ 2 แบบ คือ

6.1 Swap Operator (SO) คือ จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงานของค่าคำตอบที่ มีค่าความเหมาะสมที่ดี กับ ค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่ของแต่ละมีมีเพล็ก วิธีการของการแลกเปลี่ยนตำแหน่งมีดังนี้

6.1.1 เช็คค่าคำตอบที่ดีและค่าคำตอบที่แย่ว่า มีค่าเหมือนกันหรือไม่ ถ้าเหมือนกันไม่ต้องทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง แต่ถ้าไม่เหมือนกันให้เข้าสู่กระบวนการ Swap Operator

6.1.2 เช็คค่าในตำแหน่งแรก ของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่ ว่าเหมือนตำแหน่งแรกของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีหรือไม่ ถ้าเหมือนให้ดึงตำแหน่งนั้นไปใช้ได้เลย แต่ถ้าไม่เหมือนกัน ให้เข้าสู่กระบวนการสลับตำแหน่ง

6.1.3 เช็คว่าตำแหน่ง ของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะที่แย่ ตำแหน่งใดมีค่าเหมือนตำแหน่งแรกของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดี จากนั้นทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของค่านั้น กับค่าที่อยู่ตำแหน่งแรก

6.1.4 แล้วทำการตรวจเช็คค่าในตำแหน่งที่สอง ต่อไปทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ จนค่าคำตอบตัวที่มีค่าความเหมาะสมแย่ จะเท่ากับค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดี

ตัวอย่างเช่น ปัญหาขนาดเล็กกบจำนวน 1 ตัว แทนด้วยค่าคำตอบที่ประกอบ ด้วยชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน ค่าคำตอบทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงาน โดยใช้วิธีการ Swap Operation (SO) มีวิธีการดังนี้

ค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี (ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมการประยุกต์ใช้เทคนิคชัฟเฟิลฟร์อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต) 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}

ค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่ (ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมการประยุกต์ใช้เทคนิคชัฟเฟิลฟร์อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต) คือ

{248:1 0} {244:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 0} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

จากนั้น นำค่าตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่ ไปทำการปรับปรุง โดยใช้วิธีการ Swap Operation (SO)

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 1 (SO 1) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับในลำดับที่ 0 กับ 1

{244:1 0} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 0} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 2 (SO 2) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 1 กับ 4

{244:1 0} {447:1 0} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 3 (SO 3) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 2 กับ 5

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 4 (SO 4) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 4 กับ 19

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {456:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7}

{244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (SO 5) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 6 กับ 7

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {456:1 0} {248:1 1} {455:1 0} {244:1 1} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 6 (SO 6) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 7 กับ 12

{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} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 7 (SO 7) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 9 กับ 14

{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} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 8 (SO 8) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 10 กับ 20

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 9 (SO 9) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 12 กับ 15

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (SO 10) ทำการเปลี่ยนตำแหน่งขอคู่อันดับในลำดับที่ 13 กับ 16

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

ดังนั้น Xb – Xw = SO1⊕ SO2⊕ SO3⊕ SO4⊕ SO5⊕ SO6⊕ SO7⊕ SO8⊕ SO9⊕ SO10 ซึ่ง ⊕ หมายถึง การรวมค่าคำตอบของการสลับเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้ง (Wang, et al., 2003) จากนั้นคูณด้วยค่า rand () ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 ถ้าสุ่มค่า rand () มาแล้วได้ 0.5 ดังนั้นค่าคำตอบที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Swap Operation (SO) ได้เท่ากับคู่อันดับที่ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (SO 10) 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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

ทำซ้ำจนครบค่าการทำซ้ำ ถ้าค่าคำตอบมีค่าความเหมาะสมดีขึ้น สามารถนำค่าคำตอบนั้นไปใช้โดยการนำค่าคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงไปแทนที่ค่าคำตอบเดิม แต่ถ้าค่าคำตอบมีค่าความเหมาะสมยังไม่ดีขึ้นหรือไม่เท่า เมื่อเทียบกับค่าความเหมาะสมของค่าคำตอบตัวที่ดีที่สุด X_g เมื่อเทียบกับทุกมีมีเพล็ก แล้ว ดังนั้นค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมที่แย่ ค่านั้นจะถูกสุ่มสร้างขึ้นมาใหม่เหมือนกับการสร้างประชากรเริ่มต้น เมื่อได้ค่าคำตอบของแต่ละมีมีเพล็กแล้ว ทำการรวมกลุ่มมีมีเพล็กให้เป็นกลุ่มใหญ่เพียงกลุ่มเดียว

6.2 Adjacent Operator: AO วิธีการนี้จะคล้ายๆ กับวิธีของการ Swap Operator แต่จะแตกต่างกันที่ AO จะนำค่ามาแทรกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วผลักค่าเดิมที่อยู่ตั้งแต่ตำแหน่งที่แทรก ให้ขยับถอยออกไป วิธีการ AO มีขั้นตอนดังนี้

6.2.1 เช็คค่าคำตอบที่ดีและค่าคำตอบแย่ว่า มีค่าเหมือนกันหรือไม่ ถ้าเหมือนกัน ไม่ต้องทำการเปลี่ยนตำแหน่ง แต่ถ้าไม่เหมือนกันให้เข้าสู่กระบวนการ Adjacent Operator

6.2.2 เช็คค่าคำตอบในตำแหน่งแรกของค่าคำตอบ ที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่เหมือนตำแหน่งแรกของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีหรือไม่ ถ้าเหมือนให้ดึงตำแหน่งนั้นไปใช้ได้เลย แต่ถ้าไม่เหมือนกัน เข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนตำแหน่ง

6.2.3 เช็คว่าตำแหน่งของค่าคำตอบ ที่มีค่าความเหมาะที่แย่ตำแหน่งใดมีค่าเหมือนกับตำแหน่งแรกของค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดี จากนั้นนำค่านั้นมาวางไว้แทนที่ในตำแหน่งแรก และผลักค่าเดิมที่อยู่ในตำแหน่งแรกให้เลื่อนอยู่ในตำแหน่งที่สอง

6.2.4 แล้วทำการตรวจเช็คค่า ในตำแหน่งที่สอง ต่อไปทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ จนค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมแย่จะเท่ากับค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดี

ตัวอย่างเช่น ปัญหาขนาดเล็ก กบจำนวน 1 ตัว แทนด้วยค่าคำตอบที่ประกอบด้วยชิ้นงานทั้งหมด 34 ชิ้นงาน ค่าคำตอบทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงานโดยวิธีการ Adjust Operation (AO) มีวิธีการดังนี้

ค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี (ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมการประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต) 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}

ค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่แย่ (ซึ่งหาได้จากการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมการประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต) คือ

{248:1 0} {244:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 0} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8}

{248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 1 (AO 1) ย้ายตำแหน่งของ {244:1 0} จากลำดับที่ 1 เป็นลำดับที่ 0

{244:1 0} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 0} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 2 (AO 2) ย้ายตำแหน่งของ {447:1 0} จากลำดับที่ 4 เป็นลำดับที่ 1

{244:1 0} {447:1 0} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {447:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 3 (AO 3) ย้ายตำแหน่งของ {447:1 1} จากลำดับที่ 5 เป็นลำดับที่ 2

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 0} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 4 (AO 4) ย้ายตำแหน่งของ {456:1 0} จากลำดับที่ 19 เป็นลำดับที่ 4

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {456:1 0} {248:1 1} {244:1 1} {455:1 0} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 5 (AO 5) ย้ายตำแหน่งของ {455:1 0} จากลำดับที่ 7 เป็นลำดับที่ 6

{244:1 0} {447:1 0} {447:1 1} {248:1 0} {456:1 0} {248:1 1} {455:1 0} {244:1 1} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {455:1 1} {454:1 0} {248:1 2} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 6 (AO 6) ย้ายตำแหน่งของ {455:1 1} จากลำดับที่ 12 เป็นลำดับที่ 7

{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} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 7 (AO 7) ย้ายตำแหน่งของ {454:1 0} จากลำดับที่ 14 เป็นลำดับที่ 9

{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} {244:1 2} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {456:1 1} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 8 (AO 8) ย้ายตำแหน่งของ {456:1 1} จากลำดับที่20 เป็นลำดับที่ 10

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {454:1 0} {453:1 0} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 9 (AO 9) ย้ายตำแหน่งของ {454:1 0} จากลำดับที่ 15 เป็นลำดับที่ 12

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {453:1 0} {244:1 6}

{244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

การเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (AO 10) **ย้ายตำแหน่งของ** {453:1 0} **จากลำดับที่ 16 เป็นลำดับที่** 13

{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} {244:1 3} {244:1 4} {244:1 5} {244:1 6} {244:1 7} {244:1 8} {248:1 3} {248:1 4} {248:1 5} {459:1 0} {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}

ดังนั้น Xb – Xw = AO1 ⊕ AO2 ⊕ AO3 ⊕ AO4 ⊕ AO5 ⊕ AO6 ⊕ AO7 ⊕ AO8 ⊕ AO9 ⊕ AO10 ซึ่ง ⊕ หมายถึง การรวมค่าคำตอบของการสลับเปลี่ยนตำแหน่งในแต่ละครั้ง (Wang, et al., 2003) จากนั้นคูณด้วยค่า rand () ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 –1 ถ้าสุ่มค่า rand () มาแล้วได้ 0.5 ดังนั้น ค่าคำตอบที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Adjust Operation (AO) ได้เท่ากับ คู่อันดับที่ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งครั้งที่ 10 (AO 10) คือ

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

ทำซ้ำจนครบค่าการทำซ้ำ ถ้าค่าคำตอบมีค่าความเหมาะสมดีขึ้น สามารถนำค่าคำตอบนั้นไปใช้โดยการนำค่าคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงไปแทนที่ค่าคำตอบเดิม แต่ถ้าค่าคำตอบมีค่าความเหมาะสมยังไม่ดีขึ้นหรือไม่เท่า เมื่อเทียบกับค่าความเหมาะสมของค่าคำตอบตัวที่ดีที่สุด X_g เมื่อเทียบกับทุกมีมีเพล็ก แล้ว ดังนั้นค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมที่แย่ ค่านั้นจะถูกสุ่มสร้างขึ้นมาใหม่เหมือนกับการสร้างประชากรเริ่มต้น เมื่อได้ค่าคำตอบของแต่ละมีมีเพล็กแล้ว ทำการรวมกลุ่มมีมีเพล็กให้เป็นกลุ่มใหญ่เพียงกลุ่ม

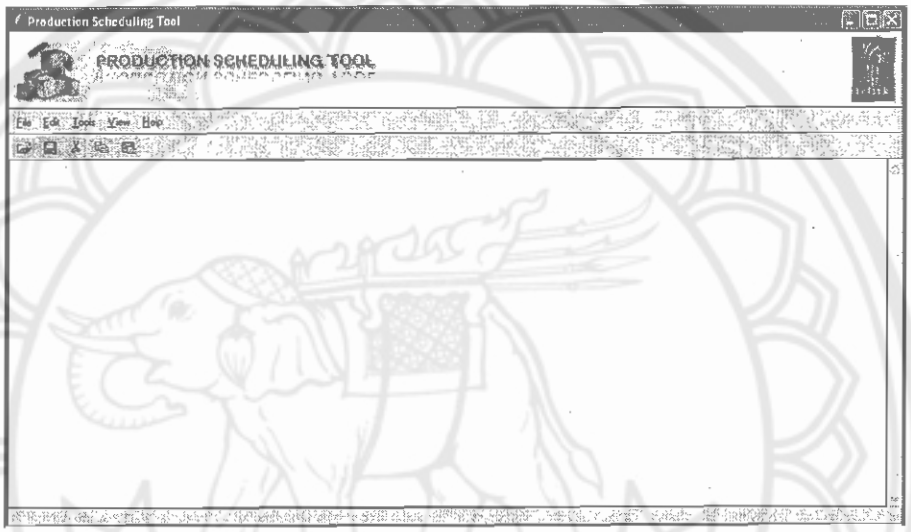
7. ขั้นตอนหยุดการทำงาน

เมื่อทำการรวมกลุ่มมีมีเพล็กแล้ว จะทำการวนไปทำซ้ำเริ่มต้นที่ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม ซึ่งขั้นตอนการแบ่งกลุ่มถือว่าเป็นขั้นตอนการเริ่มต้นของรุ่นถัดไป จะทำการวนซ้ำไปเรื่อยจนครบจำนวนที่กำหนด โปรแกรมจะหยุดการทำงาน

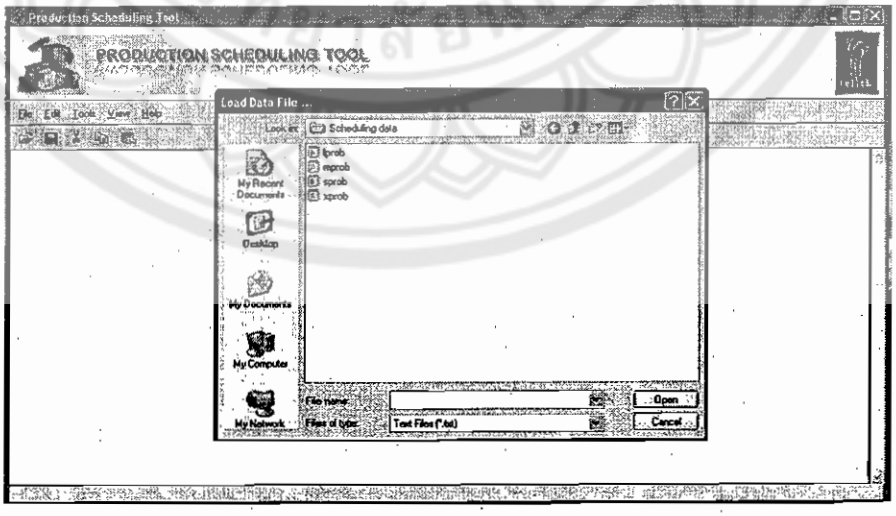
4. การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ SFL มาใช้ในการจัดตารางการผลิต

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยโปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl /Tk เวอร์ชัน 8.4 ซึ่งเป็น

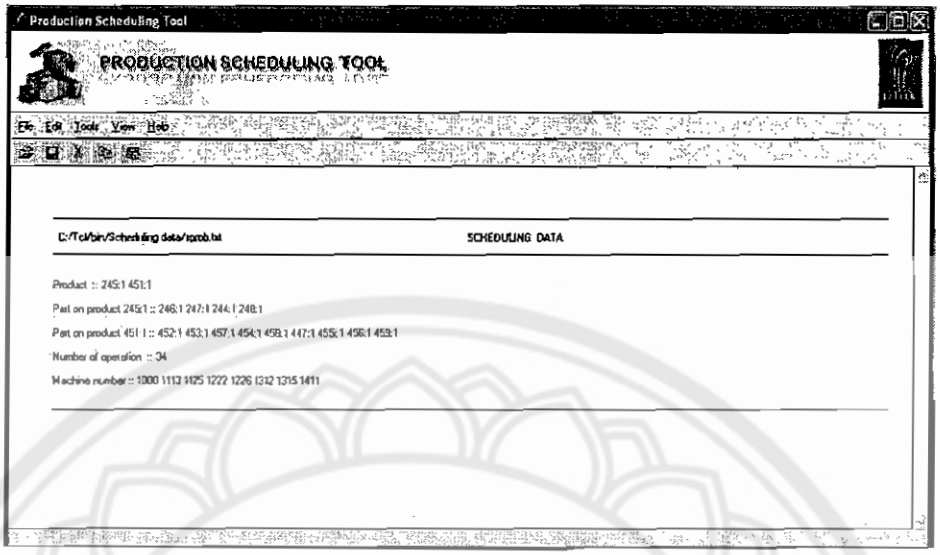
โปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อสำหรับใช้ (Graphic User Interface: GUI) ได้ดี โดยโปรแกรมการประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจะลักษณะดังภาพ 23 เมื่อเรียกโปรแกรมขึ้นมาทำงาน และต้องการนำแฟ้มข้อมูลนำเข้า โดยสามารถนำเข้าข้อมูลได้จากหน้าจอหลัก ดังภาพ 24 และเมื่อนำแฟ้มข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้ว หน้าจอโปรแกรมหลัก จะแสดงดังภาพ 25



ภาพ 23 แสดงหน้าจอของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต

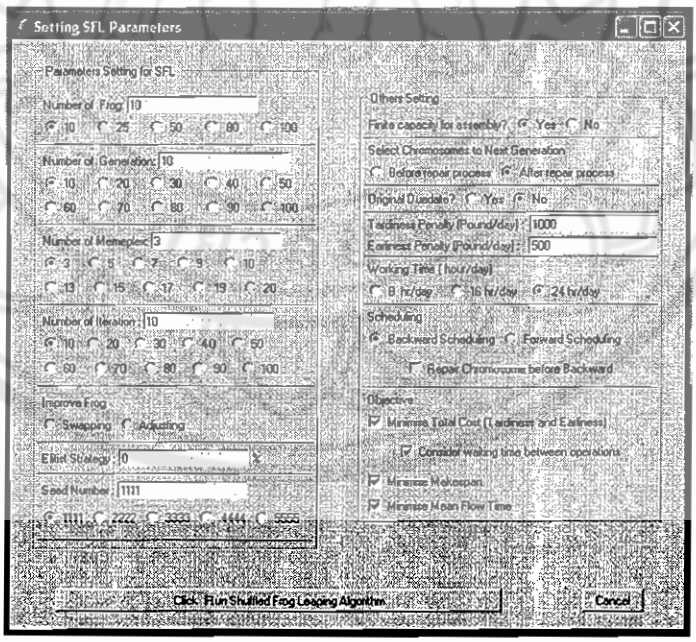


ภาพ 24 แสดงตัวอย่างการนำเข้าแฟ้มข้อมูลนำเข้า



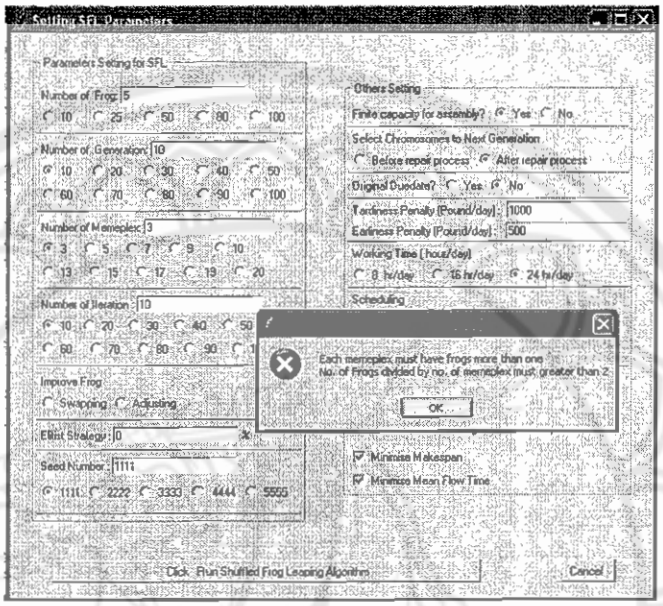
ภาพ 25 แสดงหน้าจอโปรแกรมเมื่อมีข้อมูลนำเข้า

จากนั้นให้คลิกที่ เมนู Tool จะเห็นส่วนที่แสดงการตั้งค่าตัวแปรในโปรแกรม ดังภาพ 26



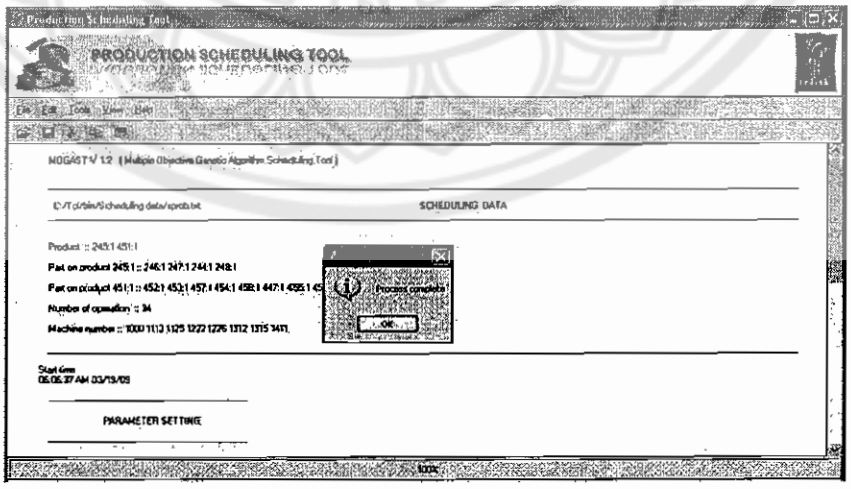
ภาพ 26 แสดงพารามิเตอร์ของโปรแกรมการจัดตารางการผลิต

จำนวนของกบ (Number of Frog) นั้นกำหนดให้มีจำนวนของกบในแต่ละมีมีเพล็กมากกว่า 1 แต่ถ้าจำนวนของกบในแต่ละมีมีเพล็กมีเท่ากับ 1 โปรแกรมไม่สามารถทำงานได้ และแสดงดังภาพ 27



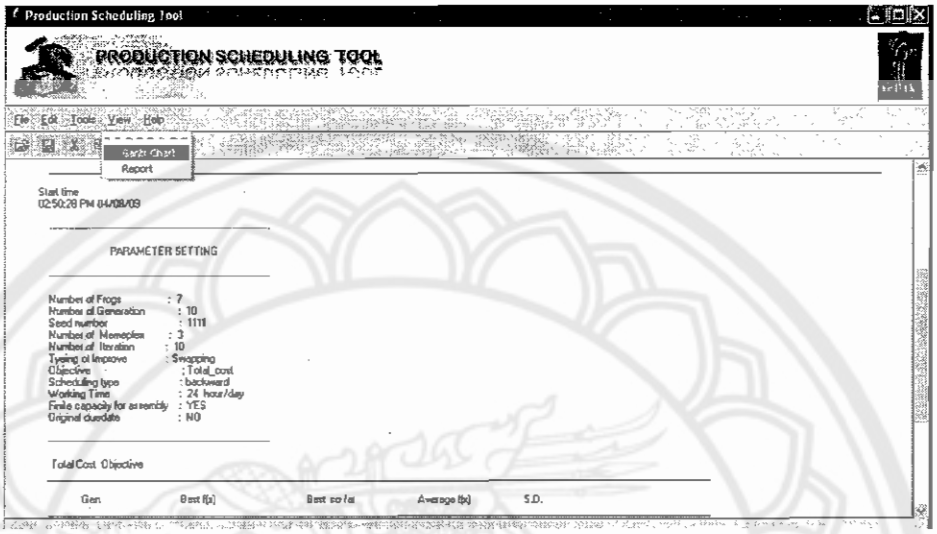
ภาพ 27 แสดงหน้าจอโปรแกรมเมื่อจำนวนของกบในมีมีเพล็กมีเท่ากับ 1

ถ้าจำนวนของกบ และ จำนวนมีมีเพล็ก ถูกต้อง โปรแกรมสามารถทำงานได้ แสดงได้ดังภาพ 28



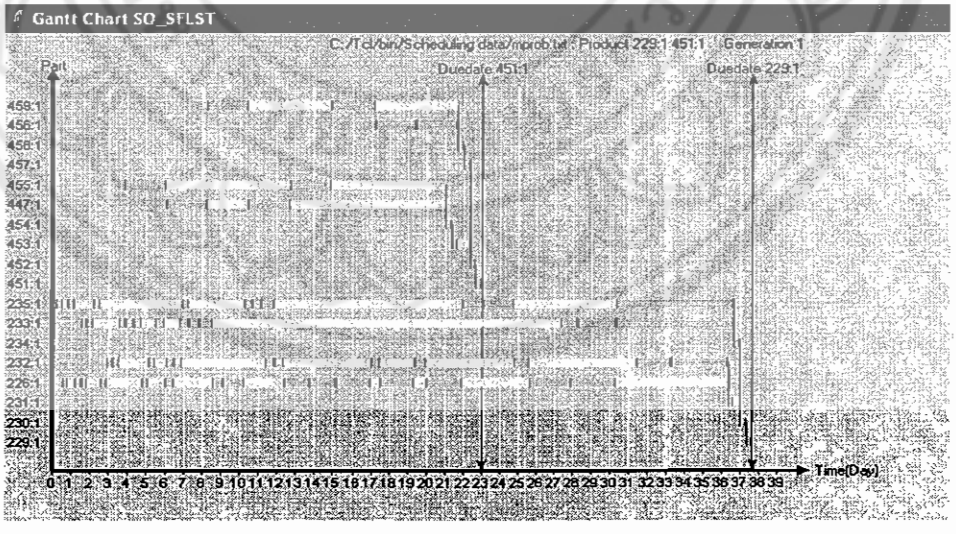
ภาพ 28 แสดงหน้าจอโปรแกรมเมื่อการทำงานเสร็จสมบูรณ์

เมื่อโปรแกรมประมวลผลเรียบร้อยแล้ว สามารถดูตารางการผลิตได้ โดย คลิ้กไปที่ เมนู View แล้วเลือกที่ Gantt chart ดังภาพ 29



ภาพ 29 แสดงการขั้นตอนดูตารางการผลิต

จากนั้นให้เลือกจำนวนรุ่นที่ต้องจะดู ตารางการผลิต จะได้ภาพตารางการผลิต ดังภาพ 30



ภาพ 30 แสดงตัวอย่างตารางการผลิต

ผลที่ได้จากการประมวลผลนำไปออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์ (The full fractional factorial designs) **ดังตาราง** 5 **โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ** Khadwilard (2007) **ซึ่งปัจจัยของขั้นตอนวิธีชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง** (SFL) **ที่ถูกพิจารณา มีทั้งหมด** 3 **ปัจจัย คือ ปัจจัยที่** 1 **ขนาดของประชากรหรือจำนวนของกบคูณด้วยจำนวนรุ่น** (Number of Frog*Number of Genetation: Frog*Gen) โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Khadwilard (2007) ซึ่งกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ 2500 โครโมโซม ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต ดังนั้นจึงกำหนดจำนวนของกบไว้ที่ 2500 เช่นกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 25*100, 50*50 และ 100*25 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 2 จำนวนรอบในการทำซ้ำ (Number of Iteration: Iteration) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 10, 50 และ 90 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 3 จำนวนของการแบ่งกลุ่ม (Number of Memeplex: Memeplex) แบ่งได้เป็น 3 ระดับ คือ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ โดยค่าระดับปัจจัยกลาง นั้นสามารถดูได้จากงานทบทวนวรรณกรรมของ (Amiri et al., 2007) เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างครอบคลุม ค่าระดับปัจจัยต่ำและ ค่าในระดับปัจจัยสูงนั้นคำนวณจากค่าระดับปัจจัยกลาง ลบด้วยหนึ่ง และ บวกด้วยหนึ่งตามลำดับ

ตาราง 5 **แสดงการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์** (3^3 the full fractional factorial designs)

จำนวนการประมวลผล	Frog * Gen	Iteration	Memeplex	U = -1
1	25*100	10	4	-1-1-1
2	25*100	10	5	-1-10
3	25*100	10	6	-1-11
4	25*100	50	4	-10-1
5	25*100	50	5	-100
6	25*100	50	6	-101
7	25*100	90	4	-11-1
8	25*100	90	5	-110
9	25*100	90	6	-111
10	50*50	10	4	0-1-1

ตาราง 5 (ต่อ)

จำนวนการประมวลผล	Frog*Gen	Iteration	Memeplex	U = -1
11	50*50	10	5	0-10
12	50*50	10	6	0-11
13	50*50	50	4	00-1
14	50*50	50	5	000
15	50*50	50	6	001
16	50*50	90	4	01-1
17	50*50	90	5	-110
18	50*50	90	6	011
19	100*25	10	4	1-1-1
20	100*25	10	5	1-10
21	100*25	10	6	1-11
22	100*25	50	4	10-1
23	100*25	50	5	100
24	100*25	50	6	101
25	100*25	90	4	11-1
26	100*25	90	5	110
27	100*25	90	6	111