



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ภาควิชา

เรื่อง วิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบ
เฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปโดยมีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน

A Heuristic to Solve Flexible Flow Shop Sequencing Problem with Shared Resources

นามผู้วิจัย นางสาววันภรณา ขวัญอ่อน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มั่งวัฒนา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มั่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบ
เฟล็กซิเบิ้ลโฟลวช็อปโดยมีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน

A Heuristic to Solve Flexible Flow Shop Sequencing Problem with Shared Resources

โดย

นางสาววันภรณา ขวัญอ่อน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2552

วันกรรณา ขวัญอ่อน 2552: วิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิต
ของระบบการผลิตแบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปโดยมีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน ปรินญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์
มั่งวัฒนา, Ph.D. 77 หน้า

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกในการจัดลำดับการผลิตของระบบการ
ผลิตแบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ดังนั้น
จึงใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการแก้ปัญหา โดยปรับจากระบบการผลิตแบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปที่มี
หลายขั้นตอนการผลิตให้อยู่ในรูปของระบบการผลิตแบบโฟลวช้อปที่มีหลายเครื่องจักร ซึ่งจะ
แบ่งการแก้ปัญหาเป็นสองขั้นตอนและใช้วิธีเชิงฮิวริสติกที่แตกต่างกันสำหรับการแก้ปัญหาใน
แต่ละขั้นตอน โดยมีเป้าหมายคือ เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด โดยใช้ตัวอย่างขนาด
เล็กของระบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปที่มีจำนวนสามและสี่ขั้นตอน อีกทั้งยังทำการแก้ปัญหาของ
ระบบนี้ในรูปแบบอื่นๆอีกหลายรูปแบบ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด
จากการแก้ปัญหาของตัวอย่างเดียวกัน

ผลการวิจัยระบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อปที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยมี
เป้าหมายให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด โดยใช้ตัวอย่างขนาดเล็กของระบบการ
ผลิตแบบเฟล็กซิเบิลโฟลวช้อป ที่มีจำนวนสามและสี่ขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนมีสามและสี่
เครื่องจักร และมีงานในระบบจำนวนห้าและแปดงาน ซึ่งต้องผ่านการกำหนดเส้นทางแล้วภายใต้
เงื่อนไขในด้านกำลังการผลิต โดยในตัวอย่างทั้งหมด เมื่อนำผลลัพธ์ของเวลาในการผลิตรวมของ
ระบบน้อยที่สุดของทุกปัญหาตัวอย่างเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเฉพาะปัญหา
ตัวอย่างที่มีค่าความผิดพลาด พบว่ามีค่าความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 7 หน่วย และค่าเปอร์เซ็นต์
ความผิดพลาดเฉลี่ย 7.69 % แต่ค่าความผิดพลาดนี้สามารถยอมรับได้ แสดงว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่
นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่ดี

Wankaruna Kwanon 2009: A Heuristic to Solve Flexible Flow Shop Sequencing Problem with Shared Resources. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Mungwattana, Ph.D. 77 pages

This research introduces a heuristic to solve flexible flow shop scheduling problem with shared resources. This problem has been proven to be NP hard. The heuristic solves the problem by adapting from K-stage flexible flow shop to m-machine classical flow shop. This problem is divided into two steps for solving and different heuristic methods are used for solving problem in each step. The solution of flexible flow shop scheduling problem with shared resources has an objective of minimizing makespan by using the small sample which has three and four stages of flexible flow shop. Each stage has three and four machines and has five and eight jobs which have to go through assigned routes with the constraint of the production's capacity. All results have makespans which are average 7.69 % above the optimal solution.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก และ อ.ดร.วิสุทธิ สุพิทักษ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา
ในการเรียน การค้นคว้าวิจัย แนะนำหนังสือ อีกทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์
ตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอบคุณเจ้าหน้าที่
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในหลายเรื่อง

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณแม่ คุณพ่อ ที่ได้
อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอดในทุกเรื่อง

วันภุมมา ขวัญอ่อน

ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	23
ผล	23
วิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	33
สรุป	33
ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	35
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก การจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ยืดหยุ่นทั้ง 18 แบบ	39
ภาคผนวก ข การจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS Heuristic ร่วมกับวิธี SPT และวิธี CDS Heuristic ร่วมกับวิธี LPT	66
ภาคผนวก ค คำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นจาก โปรแกรม LEKIN	70
ภาคผนวก ง การหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวอย่าง 19 ตัวอย่าง ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น	73
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	16
2	เวลาทำงานของงาน 9 และ 27 บนเครื่องจักรในชุดที่ 2 ของระบบการผลิตแบบที่ 1	17
3	เวลาทำงานของงาน 9 และ 27 บนเครื่องจักรในชุดที่ 2 โดยวิธีซีดีเอสอีวีริสติก	18
4	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	21
5	เวลาการทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	24
6	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	24
7	การเปรียบเทียบเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดในระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเครื่องเดียว	25
8	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 2	27
9	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 3	27
10	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 4	27
11	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 5	28
12	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 6	28
13	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 7	28
14	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 8	29
15	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 9	29
16	สรุปผลการแก้ปัญหาตัวอย่างของระบบการผลิตแบบ FFS ทั้งหมด 19 แบบ	33
ตารางผนวกที่		
ก1	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2	40
ก2	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2	41
ก3	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3	41
ก4	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3	42
ก5	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4	43
ก6	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4	43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า	
ก32	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 17	62
ก33	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18	63
ก34	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18	64
ก35	เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19	65
ก36	การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19	65
ข1	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 1	67
ข2	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 2	67
ข3	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 3	67
ข4	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 4	68
ข5	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 5	68
ข6	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 6	68
ข7	การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 7	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	15
2	Gantt chart ของงาน 1 ในชุดที่ 1 ของระบบการผลิตแบบที่ 1	17
3	Gantt chart ของงาน 9 และ 27 ในชุดที่ 2 โดยใช้วิธีซีดีเอสอีวิริสติก	18
4	เครื่องจักร 32 ที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันคือ งาน 1 และ 9	19
5	Gantt chart ของงาน 1 และ 9 โดยใช้วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน	20
6	Gantt chart ของงาน 38 และ 55 ในชุดที่ 3 โดยใช้วิธีซีดีเอสอีวิริสติก	20
7	เครื่องจักร 33 ที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันคือ งาน 27, 38 และ 55	21
8	Gantt chart ของงาน 27, 38 และ 55 โดยใช้วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน	21
9	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	23
10	การจัดลำดับการทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	24
11	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1	30
ภาพผนวกที่		
ก1	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2	40
ก2	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3	41
ก3	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4	42
ก4	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 5	44
ก5	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 6	45
ก6	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 7	47
ก7	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 8	48
ก8	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 9	49
ก9	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 10	51
ก10	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 11	52
ก11	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 12	54

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	ภาพผนวกที่	หน้า
ก12	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 13	55
ก13	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 14	57
ก14	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 15	58
ก15	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 16	60
ก16	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 17	61
ก17	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18	63
ก18	เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19	64
ค1	ผลคำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1	71
ค2	ผลคำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 2	71
ค3	ผลคำตอบที่ดีที่สุดแบบที่ 1 ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3	72
ค4	ผลคำตอบที่ดีที่สุดแบบที่ 2 ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3	72

วิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบ เฟล็กซิเบิลโฟลวช็อปโดยมีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน

A Heuristic to Solve Flexible Flow Shop Sequencing Problem with Shared Resources

คำนำ

การจัดการทางอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน เพราะมีผลให้อัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ต่ำลง เวลาในกระบวนการทำงานลดลง ตลอดจนสามารถแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดการค้าได้ ทั้งนี้การออกแบบระบบการผลิตที่ดีเป็นพื้นฐานสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิด เพราะเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งการวิเคราะห์การจัดตำแหน่งของทรัพยากรและปัจจัยการผลิตต่างๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และใช้เวลาในการทำงานของงานสุดท้ายแล้วเสร็จน้อยที่สุด

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น (Flexible Flow Shop - FFS) ส่วนมากพบในอุตสาหกรรมหลายชนิด อาทิเช่น อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ยา สิ่งทอ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอาหาร เป็นต้น ซึ่งเป็นระบบการผลิตที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีหลายขั้นตอนการผลิต และแต่ละขั้นตอนการผลิตประกอบไปด้วยเครื่องจักรที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งเครื่องจักร และงานแต่ละงานทำงานเพียงหนึ่งงานในแต่ละขั้นตอน อีกทั้งงานที่เข้ามาในระบบ สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ ซึ่งแตกต่างจากระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop - FS) ที่ในแต่ละขั้นตอนการผลิตมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว และการเคลื่อนที่ของงานเป็นลำดับเดียวต่อเนื่องไปบนทุกเครื่องจักรในระบบ ดังนั้นต้องมีการศึกษาวิธีแก้ปัญหาของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นนี้ เพื่อให้ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยลง และเหมาะสมกับระบบการผลิตที่มีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรที่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาวิธีแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ลำดับของงานที่ขึ้นอยู่กับเวลาติดตั้งเครื่องจักร (Sequence dependent setup time) การกำหนดเวลาส่ง (Due date) เป็นต้น และในปัจจุบันยังไม่มีผู้วิจัยที่พิจารณาเงื่อนไขในด้าน

การใช้ทรัพยากรร่วมกันและการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ให้แก่ผลงานก่อนการแก้ปัญหาการจัดลำดับงาน ซึ่งเงื่อนไขที่กล่าวมานี้มีอยู่จริงในระบบอุตสาหกรรมการผลิตอาหารในปัจจุบัน ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นโดยมีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยในขั้นแรกจำเป็นต้องมีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงาน (Route Assignment) เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องกำลังการผลิตของระบบ เมื่อทราบเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานแล้ว สามารถจัดลำดับการผลิตให้แก่เครื่องจักรได้ โดยมีหลักการในการปรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นให้เป็นลักษณะระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน จากนั้นสามารถใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการแก้ปัญหาได้ โดยมีการแบ่งการแก้ปัญหาเป็นสองส่วน ในส่วนแรก เมื่อปัญหาได้ถูกแปลงเป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนแล้ว จะเป็นการแก้ปัญหาในการจัดลำดับงาน โดยใช้วิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอ ในส่วนที่สองคือ กรณีที่เครื่องจักรมีการใช้ทรัพยากรร่วมกันจะเป็นการแก้ปัญหาเครื่องจักรเครื่องเดียว (Single-Machine) โดยเป้าหมายในงานวิจัยคือ ต้องการให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด (Minimize Makespan)

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาของระบบการผลิต ที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยมีเป้าหมายให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด โดยวัตถุประสงค์ประกอบด้วย

1. เพื่อศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น ที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้ทรัพยากรร่วมกัน
2. ศึกษาและพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น โดยมีเป้าหมายให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด
3. เพื่อจัดลำดับการผลิตงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้ทรัพยากรร่วมกันได้อย่างเหมาะสม

การตรวจเอกสาร

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น โดยทั่วไปประกอบไปด้วยระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนหลายระบบ โดยแต่ละขั้นตอนมีเครื่องจักรเหมือนกันหลายเครื่อง (Parallel machine) และงานแต่ละงานทำงานเพียงหนึ่งงานที่แต่ละขั้นตอน อีกทั้งไม่ให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น เพราะถ้ามีการแทรกงานในกรณีที่ระบบการผลิตมีมากกว่าหนึ่งขั้นตอน และในแต่ละขั้นตอนมีมากกว่าหนึ่งเครื่องจักร โดยมีเป้าหมายให้มีค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด จะทำให้เกิดเป็นปัญหา NP-hard (Hoogeveen, 1993) โดยมีแนวทางในการแก้ปัญหาของระบบการผลิตลักษณะนี้ คือ วิธี Branch and Bound Algorithm

จากนั้นได้มีผู้ได้เสนอการแก้ปัญหาของระบบที่มีข้อจำกัดแบบเดียว (Salvador, 1973) โดยมีเป้าหมายให้เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด ซึ่งลักษณะของระบบคือ ไม่ให้มีงานระหว่างขั้นตอนและมีข้อกำหนดด้านเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร (Sequence Dependent Setup Time) และได้นำเสนอวิธี Branch and Bound Algorithm เพื่อช่วยตัดสินใจให้การจัดลำดับงานที่เหมือนกันบนทุกเครื่องจักร (Permutation) จะเป็นเซตของงานที่เป็นหนึ่งในลำดับที่เป็นไปได้เอ็นแฟลคทอเรียลทั้งหมด

Linn and Zhang (1999) ศึกษาการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นสามแบบ คือ แบบแรกมีสองขั้นตอน แบบที่สองมีสามขั้นตอนและแบบสุดท้ายหลายขั้นตอน (กรณีมากกว่าสามขั้นตอน) ในการศึกษานี้มีเกณฑ์ในการพิจารณาสองส่วน คือ เวลาในการทำงานในระบบ (flow time) และวันกำหนดส่งงาน (due date) ส่วนวิธีแก้ปัญหасสามารถแบ่งเป็นสองแบบ คือ วิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic) และ Branch and Bound Algorithm

Kurz and Askin (2003) ได้ศึกษาการจัดการการผลิตของระบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีข้อกำหนดด้านเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร และได้ศึกษาวิธีเชิงฮิวริสติกหลักสามแบบ โดยมีหลักการขั้นแรกคือ มอบหมายงานให้กับเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอน โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเวลาปรับตั้งเครื่องจักร ขั้นที่สองนำอินเสิร์ตชันฮิวริสติกที่ใช้สำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมาประยุกต์กับวิธีเอ็นอีเอชฮิวริสติก (NEH Heuristic) และขั้นสุดท้ายใช้จอห์นสันอัลกอริทึม (Johnson's Algorithm) ในการแก้ปัญหา

Day and Hottenstein (1970) ได้แสดงการจำแนกลักษณะของปัญหาของการจัดลำดับการผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปัญหาการจัดลำดับการผลิตได้ถูกแบ่งออกโดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ลักษณะของงานที่จะทำการผลิต
- เส้นทางการผลิตของงาน
- เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น ผลิตบนเครื่องจักรเดียวหรือหลายเครื่องจักร

นอกจากนี้ การจำแนกประเภทของปัญหาการจัดลำดับงานยังเกี่ยวข้องกับเวลาเตรียมการผลิตว่าเป็นแบบอิสระต่อกัน (Independent setup time) หรือไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent setup time) และกำหนดการส่งมอบงานอีกด้วย

Ignall and Schrage (1965) ได้นำเสนอวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสำหรับปัญหาการจัดตารางผลิตแบบไหลเลื่อน โดยมีหลักการทำงานคือใช้หลักการจัดงานเป็นส่วน ๆ ซึ่งหลักการนี้จะทำการจัดงานบางส่วนให้ดีที่สุดก่อน และทำการจัดไปเรื่อย ๆ จนครบทุกงาน โดยจะมีขั้นตอนในการทำงานที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การแบ่งงานเป็นส่วนย่อย ๆ โดยใช้วิธีการแตกกิ่ง (Branching) ซึ่งเป็นการนำวิธีการเรียงสับเปลี่ยนมาใช้อย่างเป็นระบบ ซึ่งในการทำการจัดลำดับงาน n งาน จะมีวิธีที่เป็นไปได้ทั้งหมด $n!$ วิธี หากทำการแตกกิ่งไปเรื่อย ๆ จะทำให้เกิดลำดับงานทั้งหมด $n!$ ลำดับงานซึ่งในจำนวนนี้จะมีลำดับงานที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นการจัดลำดับงานที่ทำให้เกิดเวลาที่ใช้ในการผลิตรวม (Makespan) น้อยที่สุด ขั้นตอนต่อมาคือ การตัดกิ่งที่ทราบว่าจะไม่ให้ลำดับงานที่ดีที่สุดทิ้งไป (Bounding) ซึ่งนำมาใช้คู่กับวิธีการแตกกิ่งเพื่อที่จะทำการแตกกิ่งให้น้อยที่สุด ซึ่งจะแตกเฉพาะกิ่งที่คาดว่ามีความเป็นไปได้ดีที่สุดอยู่ โดยในส่วนของ การตัดกิ่ง จะต้องทำการคำนวณขอบเขตล่าง (Lower Bound) เทียบกับขอบเขตบน (Upper Bound) โดยถ้าขอบเขตล่างของกิ่งใดมากกว่าขอบเขตบนจะตัดกิ่งนั้นทิ้ง

อย่างไรก็ตามวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสำหรับปัญหาการจัดตารางผลิตแบบไหลเลื่อนนั้น ก็มีข้อเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้อยู่ 2 ประการคือ ต้องการการคำนวณที่ซับซ้อนมากในปัญหาใหญ่ และถึงแม้ว่าปัญหานั้นจะมีขนาดเล็กก็ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้ผลลัพธ์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปัญหาประเภทนี้มีลักษณะเป็น NP-hard ทำให้ต้องใช้เวลาคำนวณที่ยาวนาน นอกจากนี้ยังมีการกระจายการคำนวณแบบย่อย ๆ ซึ่งการเพิ่มการคำนวณขึ้นอยู่กับข้อมูลของปัญหานั้น ๆ แต่วิธีที่เหมาะสมซึ่งสามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่จำกัดและลดการคำนวณที่ซับซ้อนลงได้คือวิธีการคำนวณแบบจำแนกแยกแยะหรือวิธีการฮิวริสติก เช่น วิธีการของพาลเมอร์ (Palmer's Heuristic Sequence) วิธีการของกุปต้า (Gupta's Heuristic Sequence) และวิธีการของซีดีเอส

(CDS: Campbell, Dudek and Smith Heuristic Approach) ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้จะให้ความสำคัญกับเวลาที่ใช้ในการผลิตในทุกๆสถานงาน และให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Baker, 1989)

วิธีการจัดตารางการผลิตแบบพาลเมอร์มีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 หาค่าเวลาที่ต้องใช้ในการผลิตสำหรับแต่ละคำสั่งซื้อในแต่ละสถานงาน เพื่อใช้ในการคำนวณทั้งหมด
- ขั้นที่ 2 กำหนดให้เวลาที่ต้องใช้ในการผลิตสำหรับงาน j ในสถานงาน k เป็น $t_{j,k}$ โดย k มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง m โดย m คือ จำนวนสถานงานทั้งหมด
- ขั้นที่ 3 หาค่าดัชนีความชันของแนวโน้มที่งานจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามสถานงานต่อเนื่อง (S_j) โดย $S_j = (m-1)t_{j,m} + (m-3)t_{j,m-1} + (m-5)t_{j,m-2} + \dots - (m-3)t_{j,2} - (m-1)t_{j,1}$
- ขั้นที่ 4 เรียงลำดับค่า S_j จากมากไปน้อย
- ขั้นที่ 5 กำหนดให้งานที่มีค่า S_j มากที่สุดได้ทำการผลิตก่อน

ทั้งนี้วิธีการของพาลเมอร์ให้ความสำคัญกับกำหนดส่งมอบและงานที่มีแนวโน้มสูงสุดที่จะเพิ่มเวลาในสถานงานต่อเนื่องตามขั้นตอนการผลิตขึ้นเรื่อยๆ รวมทั้งมีการเรียงลำดับการผลิตในรหัสสินค้าเดียวกันต่อเนื่องกันเพื่อลดเวลาเตรียมเครื่องจักร โดยการรวมล็อตการผลิตเข้าด้วยกัน

วิธีการจัดตารางการผลิตแบบกุปดามีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 หาค่าเวลาที่ต้องใช้ในการผลิตสำหรับแต่ละคำสั่งซื้อในแต่ละสถานงาน เพื่อใช้ในการคำนวณทั้งหมด
- ขั้นที่ 2 กำหนดให้เวลาที่ต้องใช้ในการผลิตสำหรับงาน j ในสถานงาน k เป็น $t_{j,k}$ โดย k มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง m โดย m คือจำนวนสถานงานทั้งหมด
- ขั้นที่ 3 หาค่าดัชนีความชันของแนวโน้มที่งานจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามสถานงานต่อเนื่อง (S_j) โดย $S_j = e_j / \min\{t_{j,k} + t_{j,k+1}\}$ โดย $1 \leq k \leq m-1$, $e_j = 1$ ถ้า $t_{j,1} < t_{j,m}$ และ $e_j = (-1)$ ถ้า $t_{j,1} \geq t_{j,m}$
- ขั้นที่ 4 เรียงลำดับค่า S_j จากมากไปน้อย
- ขั้นที่ 5 กำหนดให้งานที่มีค่า S_j มากที่สุดได้ทำการผลิตก่อน

ทั้งนี้วิธีการของกุปด้าให้ความสำคัญกับกำหนดการส่งมอบและเวลาที่ใช้ในการผลิตสำหรับสถานงานแรกและสถานงานสุดท้าย รวมทั้งมีการเรียงลำดับการผลิตในรหัสสินค้าเดียวกันต่อเนื่องกันเพื่อลดเวลาเตรียมเครื่องจักร โดยการรวมล็อตการผลิตเข้าด้วยกัน

Jitti *et al.* (2007) ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing Algorithms) ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย (Kirkpatrick, 1983) สำหรับแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบไหลเลื่อนยัดหุ่่น กรณีที่เครื่องจักรมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน โดยใช้หลักการการจำลองการเย็นตัวของชิ้นวัสดุที่ผ่านกระบวนการความร้อน ซึ่งกระบวนการนั้นรู้จักกันในชื่อขบวนการอบอ่อน ในช่วงที่วัสดุค่อยๆเย็นตัวลงเพื่อกลับสู่สภาวะของแข็งนั้น การเรียงตัวของโครงสร้างขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้อุ่นตัว เช่น การปล่อยให้ผลึกค่อยๆเย็นตัวลงก็จะเป็นคริสตัลรูปร่างที่สวยงาม แต่ถ้าเร่งความเร็วในการเย็นตัว ก็จะทำให้เกิดโครงสร้างของรูปร่างไม่สวยงาม ซึ่งแนวคิดดังกล่าวสามารถนำมาหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยเป็นการนำการใช้การสุ่มอย่างมีเหตุผลมาช่วยหาคำตอบเริ่มต้นไปเรื่อยๆเป็นการปรับปรุงเพื่อหาค่าที่ดีขึ้น โดยเป็นการย้ายคำตอบไปยังค่าต่างๆที่เป็นใกล้เคียงกันนั่นเอง อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในช่วงหนึ่งๆเหมือนวิธีการอื่นๆ เพราะวิธีการอื่นจะหาแค่คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่จุดท้องถิ่นที่ดีที่สุด และเมื่อเจอคำตอบที่แย่ขึ้นวิธีการอื่นก็จะหยุด แต่วิธีนี้ไม่หยุดที่คำตอบที่ดีที่สุดในช่วงหนึ่งแต่จะทำการหาค่าต่อไปจนเจอคำตอบที่ดีที่สุดของทั้งหมด โดยการพิจารณาว่าจะทำการค้นหาต่อหรือหยุดนั้นได้นำเครื่องมือที่เรียกว่า ความน่าจะเป็นในการยอมรับ (Acceptance probability) โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนอุณหภูมิของกฎเทอร์โมไดนามิกมาเป็นแนวคิด

Yuesheng *et al.* (1998) ได้ประยุกต์ใช้พันธุกรรมอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) ที่เป็นกระบวนการค้นหาคำตอบแบบหลายทิศทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยใช้หลักการของการรักษาประชากรของคำตอบที่ดีไว้ ซึ่งได้ใช้พื้นฐานการคัดเลือกสายพันธุ์และการสืบสายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยสายพันธุ์ที่ดีกว่าจะมีโอกาสสืบสายพันธุ์ในรุ่นต่อไปได้มากกว่าสายพันธุ์ที่ด้อยกว่า ซึ่งการคัดเลือกสายพันธุ์มีองค์ประกอบดังนี้

1. การสร้างใหม่ (Reproduction) คือ กระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีอยู่เป็นต้นแบบในรุ่นต่อไป
2. การกลายพันธุ์ (Mutation) คือ กระบวนการสลับตำแหน่งเงินในสายพันธุ์เพื่อทำให้เกิดสายพันธุ์ใหม่
3. การสลับสายพันธุ์ (Crossover) คือ กระบวนการจับคู่สายพันธุ์แล้วทำการแลกเปลี่ยนเงินในสายพันธุ์ เพื่อให้เกิดสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้
 - หาคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีการสุ่ม 3 เท่าของจำนวนคำตอบ
 - ทำการสุ่มมาทีละ 2 คำตอบเพื่อเป็นโครโมโซมพ่อแม่

- การสลับสายพันธุ์โดยใช้หลักการสลับสายพันธุ์ 3 แบบ คือ PMX, OX, CX ซึ่งการสลับสายพันธุ์จะทำการสุ่มเลือกแบบการสลับ และในแต่ละครั้งของการสลับจะทำการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่ใหม่
- ทำการกลายพันธุ์โดยใช้การสุ่มในการพิจารณาว่าจะทำการกลายพันธุ์หรือไม่และจะทำการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่ใหม่
- ตรวจสอบว่าเงินเนอเรชั่นที่ทำน้อยกว่าเงินเนอเรชั่นที่กำหนดหรือไม่ ถ้าใช่ให้ไปขั้นที่ 2 มิฉะนั้นให้จบการทำงาน

การแก้ปัญหาหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น โดยปรับให้เป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนนั้น มีผู้เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนหลายแนวทางด้วยกัน เช่น วิธีจอห์นสันอัลกอริทึมที่เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาคำจัดลำดับการผลิตงาน โดยสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้สำหรับปัญหาที่มีสองและสามเครื่องจักร (Johnson, 1954) เท่านั้น โดยมีเป้าหมายให้เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด

วิธีการแก้ปัญหาสำหรับ 2 เครื่องจักร นั้นสามารถทำได้ดังนี้

- ขั้นที่ 1 กำหนดให้ U เป็นเซตของงานที่มีเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 1 น้อยกว่าเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 2 จะได้ $U = \{j / p_{1j} < p_{2j}\}$
- ขั้นที่ 2 กำหนดให้ V เป็นเซตของงานที่มีเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 1 มากกว่าหรือเท่ากับเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 2 จะได้ $V = \{j / p_{1j} \geq p_{2j}\}$
- ขั้นที่ 3 นำงานที่อยู่ในเซต U มาเรียงลำดับจากเวลาการทำงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ 1 จากเวลาน้อยที่สุดไปหามากที่สุด
- ขั้นที่ 4 นำงานที่อยู่ในเซต V มาเรียงลำดับจากเวลาการทำงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ 2 จากเวลามากที่สุดไปหาน้อยที่สุด
- ขั้นที่ 5 นำเซต U และเซต V มาเรียงต่อกัน จะได้ลำดับงานทั้งหมด

วิธีการแก้ปัญหาสำหรับ 3 เครื่องจักร นั้นสามารถทำได้ดังนี้

- ขั้นที่ 1 ตรวจสอบว่าเครื่องจักร 2 จะต้องถูกตัดทิ้งไป เพื่อให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักร โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังนี้ กรณีที่ 1 $\min_i \{p_{i1}\} \geq \max_j \{p_{j2}\}$ or
- กรณีที่ 2 $\min_k \{p_{k3}\} \geq \max_j \{p_{j2}\}$ or
- กรณีที่ 3 $p_{j2} \leq \min \{p_{j1}, p_{j3}\}$ for $j = 1, \dots, n$

ซึ่งเครื่องจักรใดที่ถูกตัดทิ้งนั้น แสดงว่าเครื่องจักรนั้นไม่สามารถเป็นคอขวดได้เลย
เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีเวลาทำงานน้อยที่สุดแล้ว

ขั้นที่ 2 เมื่อทราบว่าเครื่องจักร 2 ต้องถูกตัดทิ้งแน่นอนแล้ว สามารถกำหนดใหม่ได้ดังนี้

$$\text{Machine } 1' = p_{j1} + p_{j2} \quad \text{และ} \quad \text{Machine } 2' = p_{j2} + p_{j3}$$

ขั้นที่ 3 ใช้จอห์นสันอัลกอริทึม สำหรับ 2 เครื่องจักร แก้ปัญหาเหมือนเดิม

ส่วนกรณีระบบการผลิตมีมากกว่าหรือเท่ากับสามเครื่องจักรนั้น โดยมีผู้พัฒนาวิธี
ซีดีเอสฮีริสติก (CDS Heuristic) (Campbell *et al.*, 1970) ซึ่งมีหลักการเริ่มต้น เมื่อมีเครื่องจักร
หลายเครื่องจักรในระบบ ให้พยายามปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียงสองเครื่องจักรเท่านั้น และเมื่อเหลือ
เพียงสองเครื่องจักรแล้ว สามารถใช้จอห์นสันอัลกอริทึมแก้ปัญหาต่อไปได้ จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ใน
การจัดลำดับงานที่เหมาะสมในหลายรูปแบบ และเลือกการจัดลำดับงานแบบที่ให้เวลาในการผลิต
รวมของระบบน้อยที่สุด

ขั้นตอนในการปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักรดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนด $(m-1)$ ใหม่ ซึ่งเป็นสิ่งกำหนดว่าจะมีการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมดกี่แบบ
เช่น ถ้าเดิมมีเครื่องจักร 4 เครื่องจักร จะได้ผลว่าจะมีการจัดลำดับออกมา $(m-1) = (4-1) =$
3 แบบ จากนั้นพยายามปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักร โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$p_{j,1'} = \sum_{k=1}^i P_{j,k} \quad \text{และ} \quad p_{j,2'} = \sum_{k=1}^i P_{j,m-k+1} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m-1$$

ซึ่งการคำนวณนี้เป็นการกำหนดว่าจะทำให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักรนั้นได้อย่างไร ในการ
จัดลำดับผลิตภัณฑ์แต่ละแบบ

ขั้นที่ 2 เมื่อทราบผลลัพธ์ว่ามีการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ทั้งหมดกี่แบบจาก $(m-1)$ ในขั้นที่ 1 และเมื่อ
ปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักรได้แล้วนั้น ใช้ Johnson's Algorithm สำหรับ 2
เครื่องจักร ในแก้ปัญหาการจัดลำดับแต่ละแบบ

ขั้นที่ 3 เมื่อได้ผลลัพธ์จากขั้นที่ 2 แล้ว ถ้าผลการจัดลำดับมีมากกว่าหนึ่งแบบ ให้เลือกการจัดลำดับ
แบบที่ให้เวลาการทำงานทั้งหมดน้อยที่สุด

รวมทั้งยังมีวิธีเอ็นอีเอสฮีริสติก ที่ถูกพัฒนาโดย (Nawaz *et al.*, 1983) ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่
ให้ผลลัพธ์ในการจัดลำดับที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายเหมือนกับซีดีเอสฮีริสติกเช่นกัน โดยให้มี
เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด ซึ่งหลักการพื้นฐานของวิธีนี้คือ งานที่มีเวลาการทำงาน

ทั้งหมดมากที่สุดให้มีลำดับความสำคัญในการเลือกเข้าสู่ระบบอยู่ในลำดับแรก ตามด้วยงานที่มีเวลา มากเป็นลำดับต่อมา

ขั้นตอนในการปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักรดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณเวลาทำงานรวมทั้งหมดของแต่ละงาน จะได้

$$T_1 = \sum_{j=1}^m p_{ij}$$

ตัวอย่างเช่น มีงาน 4 งาน และมีเครื่องจักร 5 เครื่องจักร ได้ผลรวมของเวลาทั้งหมดของแต่ละงานดังนี้ 33,31,32 และ 29 ตามลำดับ

ขั้นที่ 2 นำงานมาเรียงลำดับตามผลรวมเวลาทำงานทั้งหมดจากมากไปหาน้อย โดยเรียงแบบไม่ เพิ่มขึ้นจากตัวอย่างจะได้ว่า งาน1, งาน3, งาน2 และ งาน4

ขั้นที่ 3 เมื่อได้ลำดับของงานจากขั้นที่ 2 แล้ว ให้เลือกงานลำดับที่ 1 และ 2 มาคำนวณหาเวลาทำงานทั้งหมดของแต่ละลำดับงาน จากตัวอย่างจะได้ลำดับงาน 2 แบบคือ {1,3} และ {3,1} นำไปหาเวลาทั้งหมดของแต่ละแบบได้ {1,3} = 46 และ {3,1} = 42

ขั้นที่ 4 เมื่อทราบเวลาทั้งหมดของแต่ละแบบ ให้เลือกแบบที่ทำให้ได้เวลาทำงานทั้งหมดน้อยที่สุด จากนั้นเพิ่มงานเข้าไปที่ละงานในแบบที่เลือกและสลับตำแหน่งกับตำแหน่งเดิมและหาเวลาทั้งหมดของแต่ละแบบเหมือนเดิม ตัวอย่าง จากขั้นที่ 3 เลือกแบบที่สอง คือ {3,1} = 42 ส่วนงานที่ใส่เพิ่มเข้ามาคือ งาน 2 นำงานนี้ไปสลับตำแหน่งกับตำแหน่งเดิมที่มีอยู่แล้ว จะได้ 3 แบบ คือ {3,1,2} = 50 , {3,2,1} = 51 และ {2,3,1} = 51 จากนั้นงานที่เพิ่มเป็นลำดับถัดไปคือ งาน 4 นำงานนี้ไปสลับตำแหน่งกับตำแหน่งเดิมที่มีอยู่แล้ว จะได้ 4 แบบ คือ {3,1,2,4} = 58 , {3,1,4,2} = 58 , {3,4,1,2} = 57 และ {4,3,1,2} = 54 เมื่อเพิ่มงานเข้าไปจนครบทุกงานแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้คือ {4,3,1,2} = 54 เพราะมีเวลาทำงานทั้งหมดน้อยที่สุด

ส่วนใหญ่การศึกษากระบวนการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น มักขยายผลมาจากกระบวนการผลิตแบบแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสองขั้นตอน เพื่อให้ปัญหามีความซับซ้อนขึ้น ดังเช่น (Lee and Vairaktarakis, 1994) ได้ทำการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีหลายขั้นตอน ซึ่งขยายผลจากผลลัพธ์ของระบบการผลิตแบบแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสองขั้นตอนและรวมเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนเข้าด้วยกัน ต่อมา (Gupta, 1997) ได้พยายามดัดแปลงจอห์นสันสันอัลกอริทึม เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสองขั้นตอน โดยกำหนดให้ขั้นตอนแรกมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวและขั้นตอนที่สองมีเครื่องจักรได้หลายเครื่อง

Oguz *et al.* (1997) ได้ศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มี 3 ขั้นตอน โดยกำหนดให้แต่ละขั้นตอนมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ลักษณะคล้ายกับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน และเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงานนั้นแตกต่างกันตามลักษณะของงานแต่ละงาน เช่น งานแรกผ่าน ขั้นตอนหนึ่งและสาม หรืออาจผ่านขั้นตอนที่สองและสาม เป็นต้น และใช้จอห์นสันอัลกอริทึมสำหรับแต่ละชนิดของงาน

Ding and Kittichatphayak (1994) ได้ศึกษาแบบจำลองของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นเหมือนกัน โดยขยายจากระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนเดี่ยว (Single flow line) และพยายามดัดแปลง วิธีซีดีเอสฮิวริสติกที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาในระบบไหลเลื่อนทั่วไป เพื่อให้ลำดับงานสุดท้ายเป็นส่วนตัดสินใจเรื่องเวลาว่างของเครื่องจักร

Riane *et al.* (1998) ที่พิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสามขั้นตอน โดยกำหนดให้ขั้นตอนที่สองของระบบมีสองเครื่องจักร และขั้นตอนอื่นมีเพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น โดยได้พัฒนาไดนามิกโปรแกรมมิงเบส ฮิวริสติก (Dynamic programming-based heuristic) ที่อ้างอิงจากซีดีเอสฮิวริสติก ซึ่งเป็นฮิวริสติกที่สามารถแก้ปัญหาสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนทั่วไปและวิธีบรานซ์แอนด์บราวด์อัลกอริทึมในการแก้ปัญหา

Logendran *et al.* (2005) ได้ทำการแก้ปัญหาในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น โดยการจัดกลุ่มตารางการผลิตที่ประกอบด้วยตารางการผลิตสองระดับ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด (Minimize Makespan) โดยในระดับแรก จะเป็นการจัดลำดับของงานในแต่ละกลุ่ม และในระดับที่สองคือ จัดลำดับของแต่ละกลุ่มที่ได้ในระดับแรก ซึ่งในการแก้ปัญหานี้ได้ทำการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 3 อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน ซึ่งจะใช้บรานซ์แอนด์บราวด์อัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหา แต่จำกัดผลลัพธ์ที่ได้ในการจัดตารางการผลิตให้เป็นแบบที่มีลักษณะการจัดลำดับที่เหมือนกันในทุกเครื่องจักร (Permutation)

Moursli and Pochet (2000) นำเสนอวิธีแก้ปัญหาในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น ด้วยการใช้อัลกอริทึมบรานซ์แอนด์บราวด์อัลกอริทึม โดยมีเป้าหมายให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด (Minimize Makespan) ซึ่งอัลกอริทึมนี้สามารถแก้ปัญหาที่มีเรื่องเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของงานได้ มีการคำนวณหาขอบเขตสูงสุด (Upper bound) โดยการใช้วิธีเชิงฮิวริสติกหลายๆวิธี ซึ่งจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกอ้างอิงจากระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มี 2 เครื่องจักร ส่วนอีก

แบบนั้นอ้างอิงจาก ปัญหาย่อยของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเครื่องเดียว (Single-stage sub problem) ต่อมาเป็นการคำนวณหาขอบเขตต่ำสุด (Lower bound) ซึ่งจะมี 3 ส่วนคือ Job bound, Set bound และ Subset bound จากการทดสอบด้วยหลายปัญหา พบว่าใช้เวลาในการแก้ปัญหาเพียงเล็กน้อย อีกทั้งสามารถลดความแตกต่างระหว่างขอบเขตสูงสุดและขอบเขตต่ำสุดได้ถึง 50 %

Mohamed and Rym (1997) ได้ศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสองขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนมีเครื่องจักรที่เหมือนกันหลายเครื่อง และมีงานหลายงานเข้ามาในระบบ โดยแต่ละงานต้องผ่านขั้นตอนอย่างน้อยหนึ่งขั้นตอน ซึ่งมีเป้าหมายให้เวลาแล้วเสร็จของงานที่มากที่สุดให้มีค่าต่ำที่สุด (minimize the maximum completion time) ในการแก้ปัญหา จะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ การใช้อัลกอริทึมจำลองการอบอุ่น (Simulated Annealing Algorithms) และ Tabu search เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว พบว่ามีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.82 %

Hamid and Abdelhakim (2006) กล่าวถึงงานวิจัยที่มีผู้ได้ศึกษาในหลายรูปแบบนั้น ส่วนใหญ่จะกำหนดสมมุติฐานให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตลอดเวลา แต่ระบบการผลิตในอุตสาหกรรมจริงนั้นเป็นไปได้น้อยที่เครื่องจักรจะสามารถทำงานได้ตลอดเวลา บางครั้งจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงเนื่องจากการเสียหายของเครื่องจักร ซึ่งเป็นระบบที่มีค่าเวลาไม่แน่นอน (Stochastic case) และการบำรุงป้องกันการเสียหายของเครื่องจักร ซึ่งเป็นระบบที่มีค่าเวลาที่แน่นอน (Deterministic case) โดยในงานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกกำหนดให้มีเพียงหนึ่งเครื่องจักรเท่านั้น ส่วนขั้นตอนที่สองให้เครื่องจักรมากกว่าหนึ่งเครื่องจักร ซึ่งมีเป้าหมายให้เวลาการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด โดยจะกำหนดให้แต่ละเครื่องจักรมีอย่างมากที่สุดหนึ่งระยะเวลาหนึ่งที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน แต่เวลาการมาถึงและเวลาทำงานเสร็จสามารถทราบค่าที่แน่นอน จากนั้นจะใช้วิธีวิธีโบราณซ์แอนด์บราวด์ อัลกอริทึมในการแก้ปัญหา และสุดท้ายจะคำนวณกรณีที่ย่ำที่สุดของทั้งสามวิธีเชิงฮิวริสติกที่มีดังนี้คือ แอลไอเอสทีอัลกอริทึม (LIST algorithm) แอลพีทีอัลกอริทึม (LPT algorithm) และ เอชฮิวริสติก (H-heuristic)

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ ทำให้พบว่ามึระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยในขั้นแรกจำเป็นต้องมีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ให้แต่ละงานในระบบก่อนนั้นยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยในขั้นแรกจำเป็นต้องมีการ

กำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงาน (Route Assignment) เมื่อทราบเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานแล้วจึงสามารถจัดลำดับการผลิตให้แต่ละเครื่องจักรได้ โดยหลักการคือ ปรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นให้เป็นลักษณะระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน จากนั้นสามารถใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการแก้ปัญหา โดยมีการแบ่งการแก้ปัญหาเป็นสองส่วน ในส่วนแรก เมื่อปัญหาได้ถูกแปลงเป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนแล้ว จะเป็นการแก้ปัญหาในการจัดลำดับงาน โดยใช้วิธีซีดีเอสฮิวริสติกที่นำเสนอ ในส่วนที่สองคือ กรณีที่เครื่องจักรมีการใช้ทรัพยากรร่วมกันจะเป็นการแก้ปัญหาเครื่องจักรเครื่องเดียว (Single- Machine) โดยเป้าหมายในงานวิจัยคือ ต้องการให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด (Minimize Makespan) และนำผลลัพธ์ของเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดของทุกปัญหาตัวอย่างเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยมีระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP พร้อมหน่วยความจำ 512 MB และ ความจุของ Hard disk drive 40 GB
2. เครื่องพิมพ์
3. โปรแกรมสำเร็จรูป LEKIN ที่ใช้ช่วยหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการ

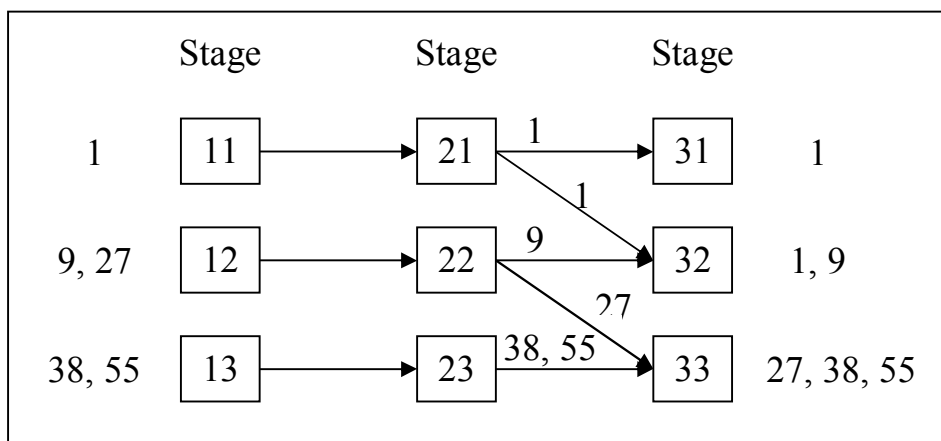
1. ศึกษากระบวนการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดในด้านการใช้ทรัพยากรร่วมกันและกำหนดตัวอย่างในงานวิจัย
 - 1.1 ศึกษากระบวนการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีสามและสี่ขั้นตอน และแต่ละขั้นตอนมีสามและสี่เครื่องจักรที่เหมือนกัน ส่วนจำนวนงานที่นำมาทำการวิจัย ซึ่งในครั้งนี้จะพิจารณาทั้งหมด 5 งานและ 8 งาน
 - 1.2 เวลาในการทำงานของแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักร
 - 1.3 ข้อจำกัดของแต่ละเครื่องจักรที่จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องจักรร่วมกัน
2. การหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงาน (Assign route)
 - 2.1 กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงาน ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนกระทั่งจบกระบวนการ ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นเองตามความเหมาะสม โดยพยายามให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละชนิดเป็นเส้นตรงให้ได้มากที่สุด
 - 2.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งใช้ในการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงาน และนำเสนอใจทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นกำลังการผลิต ปริมาณความต้องการและข้อจำกัดของเครื่องจักร เขียนลงในโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO โดยใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการ

หาเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละงาน มีสมการเป้าหมายคือ ทำให้มีระยะทางการเคลื่อนที่ของงานทั้งหมดต่ำที่สุด (Minimum cost flow)

2.3 เมื่อได้ผลจากโปรแกรมแล้ว นำผลที่ได้นั้นมาวิเคราะห์ ทำให้สามารถกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงานได้

3. การหาลำดับการผลิตของแต่ละงานของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น แบบที่ 1

3.1 การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1 หลังทราบเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานดังภาพ จากการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงานในส่วนแรก



ภาพที่ 1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

จากภาพทำให้ทราบการจัดลำดับของงานแต่ละงานนั้นสามารถเป็นไปได้ทั้งหมดก็แบบ ซึ่งคำนวณจาก $n!$ โดยที่ n คือจำนวนงานที่ทำงานบนแต่ละเครื่องจักร และนำจำนวนลำดับเหล่านั้นมาหาค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบของทุกคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยพิจารณาจากเวลาในการทำงานของงานบนแต่ละเครื่องจักรดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

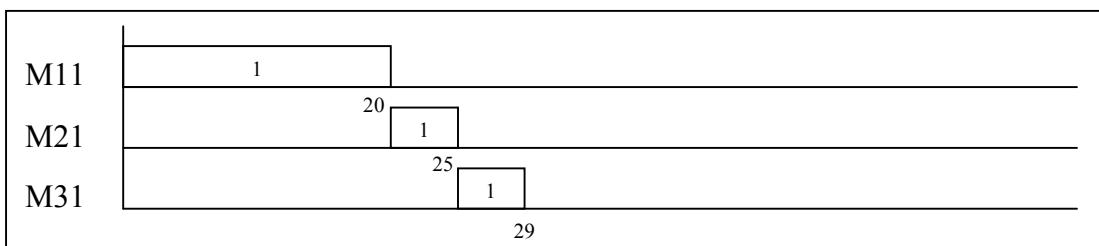
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			4	4	
9		28			4			12	
JOB 27		20			4				8
38			21			5			6
55			24			5			5

เลือกลำดับการทำงานที่ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเพียงหนึ่งคำตอบ ซึ่งเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ไว้เป็นตัวเปรียบเทียบกับวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอ ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบให้รวดเร็วยิ่งขึ้นได้ และได้คำตอบค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 (คำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม LEKIN คูได้ที่ภาคผนวก ค) จากนั้นใช้ตัวอย่างข้างต้น นำมาแก้ปัญหาโดยใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการหาลำดับของงานทั้งหมดในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นขนาด 3 ขั้นตอนและแต่ละขั้นตอนนี้มี 3 เครื่องจักรที่เหมือนกันตามวิธีดังนี้

จากปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีหลายขั้นตอน ให้แปลงเป็นปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีหลายเครื่องจักร โดยรวมเป็นชุดตามกลุ่มของงานที่ทำบนแต่ละกลุ่มของเครื่องจักรในแต่ละการไหล จากภาพที่ 1 สามารถแบ่งเป็นชุดได้ 3 ชุดตามจำนวนของการไหล โดยแต่ละชุดมีรายละเอียดดังนี้

ชุดที่ 1 งาน 1	เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องคือ	11, 21, 31
		11, 21, 32
ชุดที่ 2 งาน 9, 27	เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องคือ	12, 22, 32
		12, 22, 33
ชุดที่ 3 งาน 38, 55	เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องคือ	13, 23, 33

การแก้ปัญหาเริ่มตั้งแต่ชุดที่ 1 ซึ่งชุดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีเชิงฮิวริสติก เพราะมีงานเพียงงานเดียวสามารถจัดลำดับงานได้ โดยสามารถเขียนเป็น Gantt chart ได้ดังนี้



ภาพที่ 2 Gantt chart ของงาน 1 ในชุดที่ 1 ของระบบการผลิตแบบที่ 1

3.2 ขั้นตอนต่อมาเป็นการแก้ปัญหาชุดที่ 2 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนธรรมดา โดยมี 2 งาน และมี 3 เครื่องจักร แต่จำเป็นต้องมีการรวมเครื่องจักร 32 และ 33 เข้าเป็นเครื่องจักรเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีซีดีเอสอีวีริสติก แก้ปัญหาตามขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 2 เวลาทำงานของงาน 9 และ 27 บนเครื่องจักรในชุดที่ 2 ของระบบการผลิตแบบที่ 1

งาน	12	22	32	33	รวม 3
9	28	4	12	-	12
27	20	4	-	8	8

วิธีซีดีเอสอีวีริสติก

ขั้นที่ 1 กำหนดการจัดลำดับงานทั้งหมดก็แบบจาก (m-1) กรณีตัวอย่างมี 3 เครื่องจักร การจัดลำดับ (3-1) = 2 แบบ จากนั้นพยายามปรับให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักร โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{จาก } i=1 \quad p_{j,1'} = \sum_{k=1}^i P_{j,k} \quad \text{จะได้ } p_{j,1'} = \sum_{k=1}^1 p_{j1} = p_{j1}$$

$$\text{และ } p_{j,2'} = \sum_{k=1}^i P_{j,m-k+1} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m-1 \quad \text{จะได้}$$

$$p_{j,2'} = \sum_{k=1}^i P_{j,m-k+1} = \sum_{k=1}^1 p_{j,3-1+1} = p_{j3}$$

$$\text{จาก } i=2 \quad p_{j,1'} = \sum_{k=1}^i P_{j,k} \quad \text{จะได้ } p_{j,1'} = \sum_{k=1}^2 p_{jk} = p_{j1} + p_{j2}$$

$$\text{และ } p_{j,2'} = \sum_{k=1}^i P_{j,m-k+1} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m-1 \quad \text{จะได้}$$

$$p_{j,2'} = \sum_{k=1}^2 P_{j,m-k+1} = p_{j,3-1+1} + p_{j,3-2+1} = p_{j3} + p_{j2}$$

ตารางที่ 3 เวลาทำงานของงาน 9 และ 27 บนเครื่องจักรในชุดที่ 2 โดยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก

งาน	i=1		i=2	
	P_{j1}	P_{j3}	$P_{j1}+P_{j2}$	$P_{j3}+P_{j2}$
9	28	12	$28+4 = 32$	$4+12 = 16$
27	20	8	$20+4 = 24$	$4+8 = 12$

ขั้นที่ 2 เมื่อทราบผลลัพธ์ของการจัดลำดับงานทั้งหมดก็แบบจาก (m-1) ในขั้นที่ 1 และเมื่อปรับเปลี่ยนให้เหลือเพียง 2 เครื่องจักรได้แล้วนั้น ใช้อัจฉริยะสันอัลกอริทึม สำหรับ 2 เครื่องจักร โดยวิธีการแก้ปัญหาสำหรับ 2 เครื่องจักร นั้นสามารถทำได้ดังนี้

วิธีจอห์นสันอัลกอริทึม

ขั้นที่ 1 กำหนดให้ U เป็นเซตของงานที่มีเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 1 น้อยกว่าเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 2 จะได้ $U = \{j / p_{1j} < p_{2j}\} = 0$ ไม่มีงานในเซตนี้

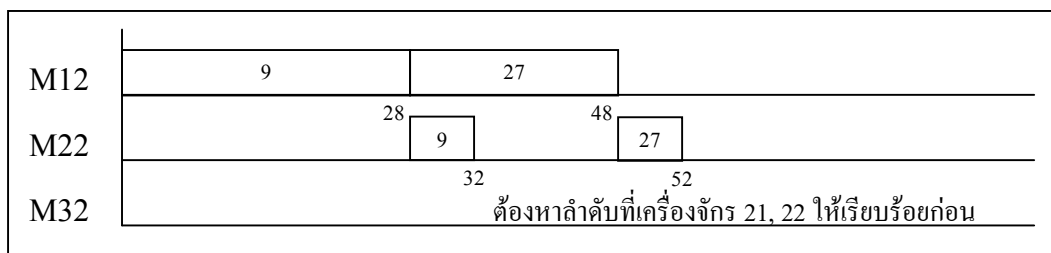
ขั้นที่ 2 กำหนดให้ V เป็นเซตของงานที่มีเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 1 มากกว่าหรือเท่ากับเวลาการทำงานบนเครื่องจักร 2 จะได้ $V = \{j / p_{1j} \geq p_{2j}\} = 9, 27$

ขั้นที่ 3 นำงานที่อยู่ในเซต U มาเรียงลำดับจากเวลาการทำงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ 1 จากเวลาน้อยที่สุดไปหามากที่สุด

ขั้นที่ 4 นำงานที่อยู่ในเซต V มาเรียงลำดับจากเวลาการทำงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ 2 จากเวลามากที่สุดไปหาน้อยที่สุด จะได้งาน 9 ตามด้วยงาน 27

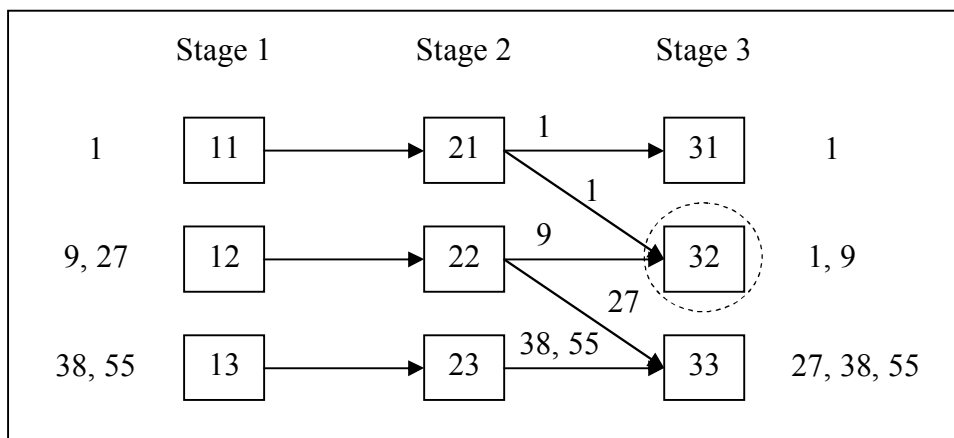
ขั้นที่ 5 นำเซต U และเซต V มาเรียงต่อกัน จะได้ลำดับงานทั้งหมดคือ 9, 27

เมื่อได้คำตอบ ทำให้ทราบลำดับการทำงานบนเครื่องจักร 12 และ 22 โดยสามารถนำมาเขียนเป็น Gantt chart ได้ดังนี้



ภาพที่ 3 Gantt chart ของงาน 9 และ 27 ในชุดที่ 2 โดยใช้วิธีซีดีเอสอีวิริสติก

3.3 เมื่อได้ผลลัพธ์จากข้อที่ 2 สามารถทำให้ทราบลำดับการทำงานของงานบนเครื่องจักร 11, 21, 31, 12 และ 22 ต่อมาทำการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 32 ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันของงานหลายงาน โดยในภาพตัวอย่างคืองาน 1 และ 9



ภาพที่ 4 เครื่องจักร 32 ที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันคือ งาน 1 และ 9

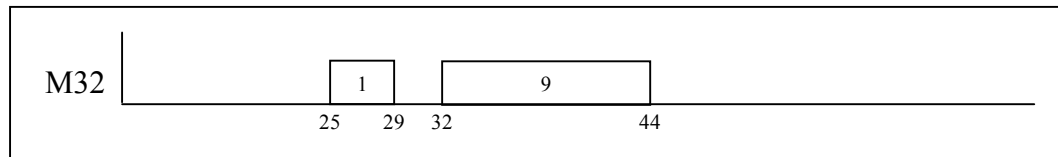
ในกรณีที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน พบว่าเป็นระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเครื่องเดียว (Single-machine) คือ มีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวในระบบการผลิตทั้งหมด ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาหลักขณะนี้มีหลากหลายวิธี โดยวิธีที่เลือกใช้คือ งานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน (First Come First Served – FCFS) ซึ่งพิจารณาจากเวลามาถึงระบบของงานแต่ละงานหรือเวลาที่งานแต่ละงานพร้อมทำงานบนเครื่องจักรที่มาถึง เพื่อให้งานแล้วเสร็จออกจากระบบเร็วที่สุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้

วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน

ขั้นที่ 1 พิจารณางานที่ทำบนเครื่องจักร 32 ว่ามีงานใดบ้าง ในตัวอย่างคือ งาน 1 และ 9 โดยมีเวลาในการทำงานบนเครื่องจักรนี้เท่ากับ 4 และ 12 ตามลำดับ พร้อมทั้งมีเวลาในการมาถึงเครื่องจักร 32 ของแต่ละงานซึ่งเป็น 25 และ 32 ตามลำดับ

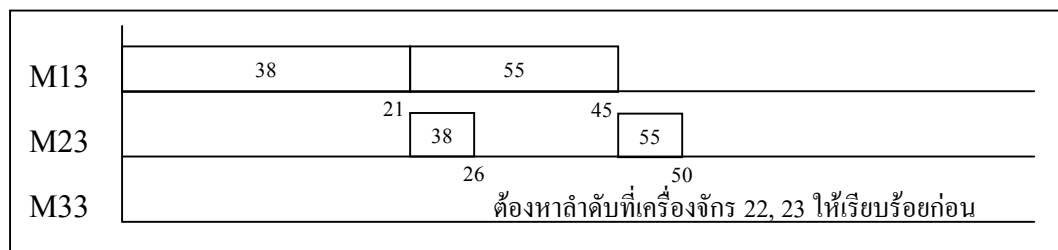
ขั้นที่ 2 พิจารณาเลือกงานที่มาถึงระบบการผลิตก่อนซึ่งคือ งาน 1 เพราะมาถึงระบบตั้งแต่ที่เวลา 25 แต่งาน 9 มาตามหลังอยู่ที่เวลา 32

ขั้นที่ 3 เมื่อทราบลำดับงานแล้วว่า งาน 1 แล้วตามด้วยงาน 9 จึงสามารถนำมาเขียนเป็น Gantt chart ได้ดังนี้



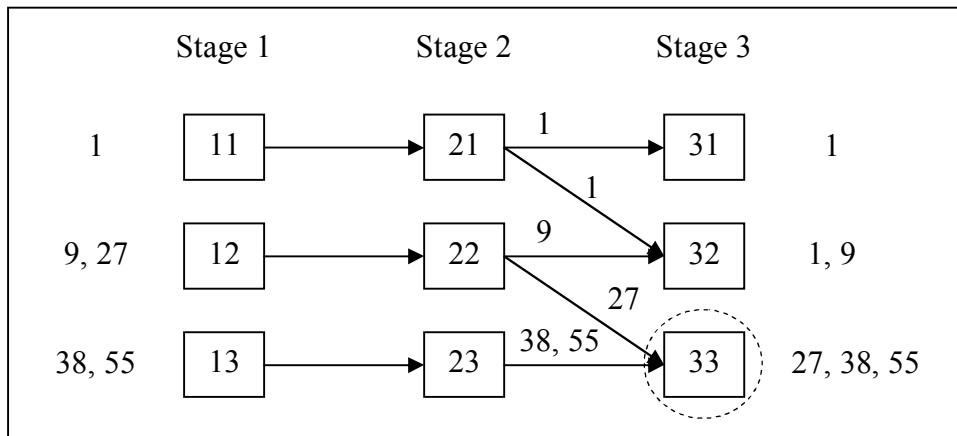
ภาพที่ 5 Gantt chart ของงาน 1 และ 9 โดยใช้วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน

3.4 ดำเนินการแก้ปัญหาชุดสุดท้ายชุดที่ 3 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนธรรมดา โดยมี 2 งานคือ งาน 38 และงาน 55 และมี 3 เครื่องจักรคือ เครื่องจักร 13, 23 และ 33 ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีซีดีเอสอีวีรติดิก แก้ปัญหาตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในข้อที่ 2 ซึ่งได้ผลการจัดลำดับการทำงานบนเครื่องจักร 13, 23 และ 33 โดยสามารถนำมาเขียนเป็น Gantt chart ได้ดังนี้



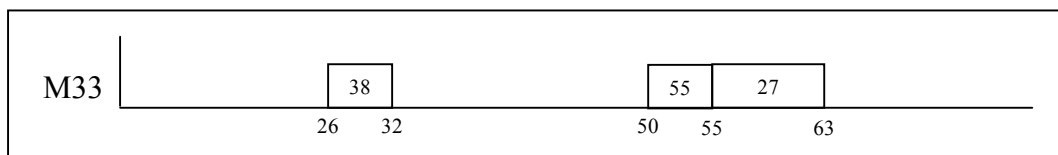
ภาพที่ 6 Gantt chart ของงาน 38 และ 55 ในชุดที่ 3 โดยใช้วิธีซีดีเอสอีวีรติดิก

3.5 ดำเนินการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 33 ซึ่งเป็นการจัดลำดับงานครั้งสุดท้ายของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น ซึ่งเครื่องจักรเครื่องนี้เป็นเครื่องจักรที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันของงานหลายงาน โดยในภาพคืองาน 27, 38 และ 55



ภาพที่ 7 เครื่องจักร 33 ที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันคือ งาน 27, 38 และ 55

ในกรณีนี้ เหมือนกับกรณีเครื่องจักร 32 ที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน เห็นได้ว่าเป็นระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเครื่องเดียว ดังนั้นจึงใช้วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อนเหมือนกันกับที่กล่าวไว้ในข้อ 3 ซึ่งจะพิจารณาจากเวลามาถึงของงานแต่ละงานเพื่อให้งานแล้วเสร็จออกจากระบบเร็วที่สุด ทำให้ได้คำตอบในการจัดลำดับงาน สามารถนำมาเขียนเป็น Gantt chart ได้ดังนี้



ภาพที่ 8 Gantt chart ของงาน 27, 38 และ 55 โดยใช้วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน

ตารางที่ 4 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

คำตอบที่ดีที่สุด			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	9, 27	1, 9 / 9, 1	9, 27	9, 27	1, 9
38, 55	38, 55	38, 55, 27	38, 55	38, 55	38, 55, 27
Min C_{max}	63		Min C_{max}	63	

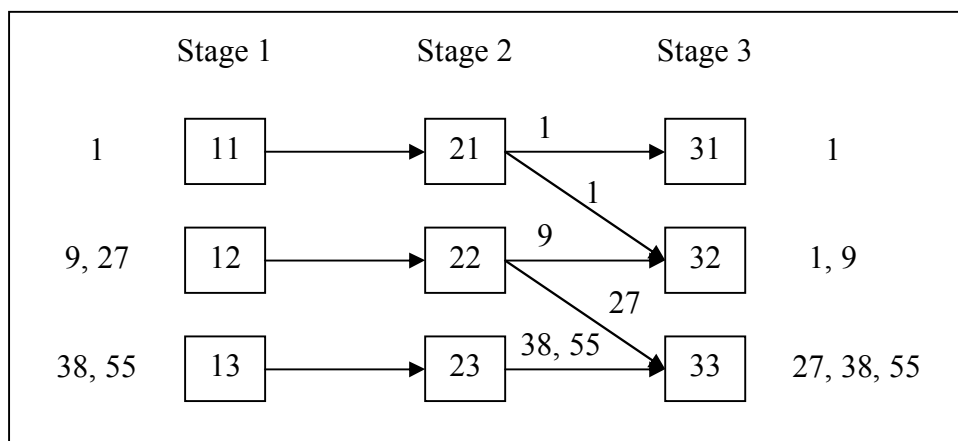
ผลจากการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลของการผลิตนั้นให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 63 เช่นเดียวกัน ทำให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกันเป็นตารางด้านบน พบว่าลำดับงานที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถยอมรับได้

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงาน (Assign route)

ผลของการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักร โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่สั้นที่สุดของแต่ละงาน ซึ่งใช้ตัวอย่างระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีขนาด 3 ขั้นตอน และแต่ละขั้นตอนมี 3 เครื่องจักร และมีงานจำนวน 5 งาน ได้แก่ 1, 9, 27, 38 และ 55 ได้ผลเป็นดังนี้



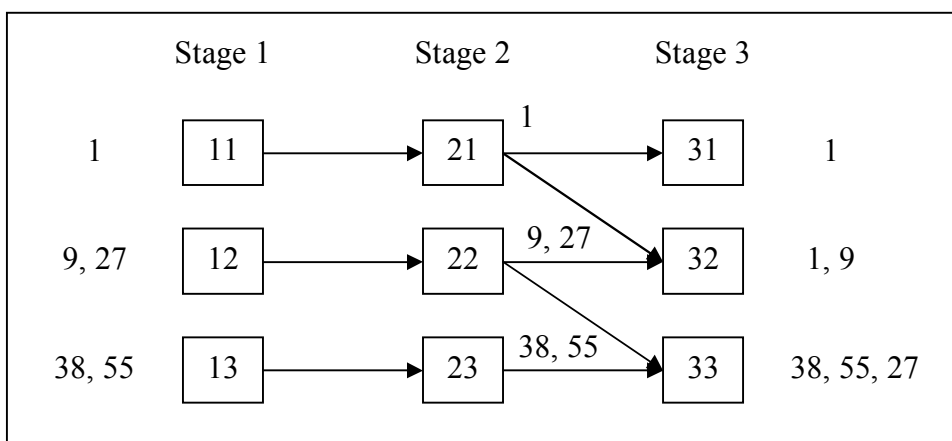
ภาพที่ 9 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

2. ผลการจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1

ผลการจัดลำดับการผลิต โดยใช้ซีดีเอสอีวิริสติก แก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากรร่วมกัน ซึ่งปรับเป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน และผลการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเครื่องเดียว เนื่องจากผลลัพธ์จากการใช้ซีดีเอสอีวิริสติกไม่เหมาะสม โดยใช้วิธีการที่งานใดเข้าสู่ระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ซึ่งพิจารณาจากเวลามาถึงระบบของงานแต่ละงาน โดยมีเป้าหมายให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด เพื่อช่วยในการจัดลำดับการทำงานของงานให้กับเครื่องจักรเหล่านั้น ซึ่งได้ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 5 เวลาการทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			4	4	
9		28			4			12	
JOB	27	20			4				8
	38		21			5			6
	55		24			5			5



ภาพที่ 10 การจัดลำดับการทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

ตารางที่ 6 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 1			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	9, 27	1, 9 / 9, 1	9, 27	9, 27	1, 9
38, 55	38, 55	38, 55, 27	38, 55	38, 55	38, 55, 27
Min C_{max}		63	Min C_{max}		63

3. ผลของเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด จากการหาลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1

ผลของค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด ที่ได้จากการหาคำตอบของตัวอย่างระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1 ในข้อที่ 2 มีค่าเท่ากับ 63 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการหาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 192 คำตอบ (การคำนวณหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด คูได้ที่ภาคผนวก ง) และเลือกการจัดลำดับที่ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 63 ทำให้เห็นว่าทั้งสองค่ามีค่าเท่ากัน โดยใช้โปรแกรม LEKIN ในการหาค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด (โปรแกรม LEKIN คูได้ที่ภาคผนวก ค)

4. ผลการเปรียบเทียบเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดของระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเครื่องเดียว

จากการแก้ปัญหากรณีที่ระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเครื่องเดียว ที่เกี่ยวข้องกับเวลาทำงานของงานแต่ละงาน สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยหลายวิธี อาทิเช่น วิธีที่งานใดมีเวลาทำงานในระบบน้อยที่สุดจะเลือกทำงานนั้นก่อน (Shortest Processing Time First - SPT), งานใดมีเวลาทำงานในระบบมากที่สุดจะเลือกทำงานนั้นก่อน (Longest Processing Time First - LPT) และอีกวิธีคือ วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อนที่นำเสนอ (ผลการจัดลำดับของงานของวิธี SPT และ LPT คูได้ที่ภาคผนวก ข) เมื่อใช้ทั้ง 3 วิธีในการหาคำตอบ โดยจะเปรียบเทียบผลของเวลาจากตัวอย่าง 9 ตัวอย่างแรกเท่านั้น ซึ่งจะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดในระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเครื่องเดียว

FFS No.	Stage	M/C	Job	Optimal	CDS+		%		CDS+	
					FCFS	Error	SPT	Error	LPT	Error
1	3	3/3/3	5	63	63	0	69	8.70	71	11.27
2	3	3/3/3	5	60	60	0	61	1.64	60	0
3	3	3/3/3	5	63	63	0	69	8.70	71	11.27
4	3	3/3/3	5	60	60	0	72	16.67	66	9.09
5	3	3/3/3	5	60	60	0	72	16.67	74	18.92
6	3	3/3/3	5	60	60	0	74	18.92	77	22.08

ตารางที่ 7 (ต่อ)

FFS No.	Stage	M/C	Job	Optimal	CDS+ FCFS	% Error	CDS+ SPT	% Error	CDS+ LPT	% Error
7	3	3/3/3	5	60	60	0	72	16.67	60	0
8	4	3/3/3/2	5	70	70	0	94	25.53	70	0
9	3	4/4/3	6	60	63	4.76	63	4.76	65	7.69
Average						0.53		13.14		8.92

จากผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอ ซึ่งคือวิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน กับคำตอบที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองกับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นทั้งหมด 9 รูปแบบข้างต้น ที่มีลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรที่แตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างแบบที่ 9 มีค่าความผิดพลาดไปจากค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ 3 หน่วย ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 4.76 % และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 0.53 ส่วนอีกสองวิธีนั้น พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 13.14 และ 8.92 ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้วิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน เป็นวิธีที่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่เสนอนี้สามารถยอมรับได้ และเป็นวิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงเลือกใช้วิธีดังกล่าวในการแก้ปัญหาตัวอย่างทั้งหมด (ปัญหาตัวอย่างรูปแบบอื่นอีก 10 ปัญหา ดูได้ที่ภาคผนวก ก)

5. ผลการจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น แบบอื่น

นำวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอในการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นในแบบแรก มาดัดแปลงใช้ให้เหมาะสมกับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นในแบบอื่นอีก 9 แบบ ซึ่งจากการแก้ปัญหาทำให้ได้ผลลัพธ์ในอีก 9 แบบดังนี้ (วิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบอื่นอีก 10 แบบและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละแบบ ดูได้ที่ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 8 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 2

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 2			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	38, 9, 27 9, 38, 27	9, 27	9, 27	38, 9, 27	9, 27
38, 55	55	38, 55	38, 55	55	38, 55
Min C_{\max}	60		Min C_{\max}	60	

ตารางที่ 9 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 3

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 3			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	1, 9, 27 9, 1, 27	1, 9 9, 1	9, 27	1, 9, 27	1, 9
38, 55	38, 55	38, 55, 27	38, 55	38, 55	38, 55, 27
Min C_{\max}	63		Min C_{\max}	63	

ตารางที่ 10 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 4

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 4			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1, 9 / 9, 1	1	1	1, 9	1
9, 27	38, 27	38, 9, 27 9, 38, 27	9, 27	38, 27	38, 9, 27
38, 55	55	55	38, 55	55	55
Min C_{\max}	60		Min C_{\max}	60	

ตารางที่ 11 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 5

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 5			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	27	9, 27	9, 27	27	9, 27
38, 55	9, 38, 55	38, 55	38, 55	38, 9, 55	38, 55
38, 55	38, 9, 55	38, 55			
55, 38	9, 55, 38	55, 38			
55, 38	55, 9, 38	55, 38			
Min C_{max}	60		Min C_{max}	60	

ตารางที่ 12 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 6

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 6			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	1, 27	1, 27	9, 27	1, 27	1, 27
38, 55	38, 9, 55	38, 9, 55	38, 55	38, 9, 55	38, 9, 55
38, 55	9, 38, 55	38, 9, 55			
38, 55	38, 9, 55	9, 38, 55			
Min C_{max}	60		Min C_{max}	60	

ตารางที่ 13 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 7

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 7			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1, 9 / 9, 1	1	1	1, 9	1
9, 27	38, 27	9, 27	9, 27	38, 27	9, 27
38, 55	55	38, 55	38, 55	55	38, 55
Min C_{max}	60		Min C_{max}	60	

ตารางที่ 14 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 8

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 8				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1	1,2	1,2	1,2,3	1	1,2	1,2	1,2,3
2,3	4,3	4,3	4,5	2,3	4,3	4,3	4,5
4,5	5	5		4,5	5	5	
Min C_{max}			70	Min C_{max}			70

ตารางที่ 15 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 9

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 9			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1,2 2,1	1	1	1,2
2,3	2,3	5,3	2,3	2,3	5,3
5,4	5	6,4	4,5	5	4,6
6	6,4		6	4,6	
Min C_{max}		60	Min C_{max}		63

จากตารางด้านบน การจัดลำดับการผลิตในแบบที่ 2, 4, 7 และ 8 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลนั้น ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 และ 70 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเท่ากับ 60 และ 70 เหมือนกัน ทำให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับเป็นตารางด้านบน พบว่าลำดับงานที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน

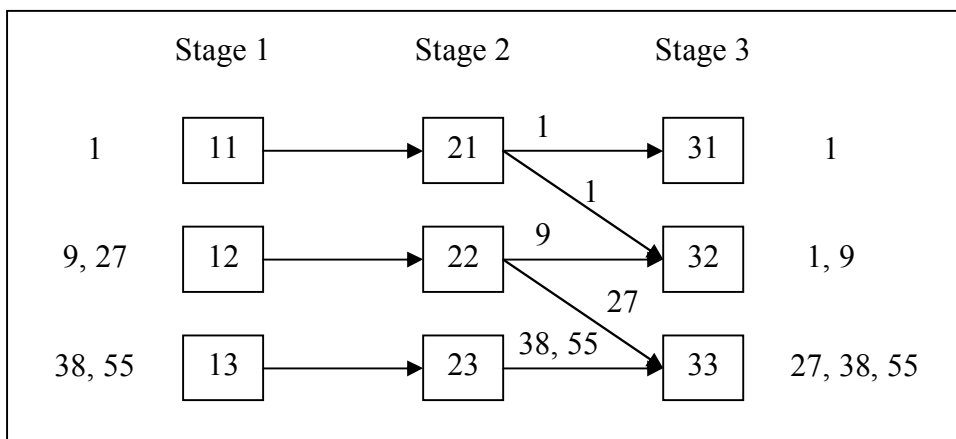
การจัดลำดับการผลิตในแบบที่ 3, 5 และ 6 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลนั้น ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63, 60 และ 60 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ที่มีค่าเท่ากับ 63, 60 และ 60 เหมือนกันตามลำดับ พบว่าทั้งสามค่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบ

กันดังตารางด้านบนแล้ว ทำให้เห็นว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอขึ้นให้การจัดลำดับงานเพียงแบบเดียวเท่านั้น แต่ผลการจัดลำดับงานนั้นเป็นการจัดลำดับงานแบบหนึ่งของคำตอบที่ดีที่สุด

ส่วนการจัดลำดับการผลิตในแบบที่ 9 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหา จะให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ที่มีค่าเท่ากับ 60 จะเห็นว่าค่าที่ได้นั้นแตกต่างไปจากค่าที่ดีที่สุด 3 หน่วย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 4.76 % แต่เป็นค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอขึ้นยังคงมี ประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นสามารถนำวิธีเชิงฮิวริสติกนี้ไปใช้ปัญหาตัวอย่างในรูปแบบอื่นอีก 10 รูปแบบ (ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาในรูปแบบอื่น 10 รูปแบบ ดูได้ที่ภาคผนวก ก)

6. การหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อทราบเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละงานในระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 1 ดังภาพ



ภาพที่ 11 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 1

จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดขึ้นอยู่กับจำนวนตำแหน่งของเครื่องจักรที่มีงานที่ทำงานบนเครื่องจักรนั้นมากกว่า 1 งาน ดังรายละเอียดด้านล่างนี้

- เครื่องจักร 12 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 2 งาน = 2!
- เครื่องจักร 13 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 2 งาน = 2!
- เครื่องจักร 22 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 2 งาน = 2!
- เครื่องจักร 23 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 2 งาน = 2!

เครื่องจักร 32 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 2 งาน = 2!

เครื่องจักร 33 มีงานที่ทำบนเครื่องจักรนี้จำนวน 3 งาน = 3!

ดังนั้นจะได้จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 1 จะอยู่ในรูป $n!$ ซึ่ง n คือ จำนวนของงานที่ทำงานบนเครื่องจักรเครื่องนั้น จะได้เท่ากับ $2! * 2! * 2! * 2! * 2! * 3! = 192$ คำตอบ (การคำนวณหาจำนวนคำตอบที่ได้ทั้งหมดของปัญหาตัวอย่างอื่น ดูได้ที่ภาคผนวก ง)

วิจารณ์

ผลที่ได้จากการจัดลำดับการผลิตของงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของปัญหาตัวอย่างแบบที่ 1-8 ด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกที่น่าเสนอ ซึ่งคือ วิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับ วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ทำให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว พบว่าไม่มีความผิดพลาด เพราะมีค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด และการจัดลำดับที่ได้ในแต่ละแบบนี้ จะให้ผลการจัดลำดับที่เหมือนกับคำตอบที่ดีที่สุด และในบางกรณีไม่เหมือนกับคำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบนั้นยังเป็นหนึ่งในคำตอบที่ดีที่สุด แสดงว่าการจัดลำดับนั้นยังสามารถยอมรับได้

ส่วนการจัดลำดับการผลิตในปัญหาตัวอย่างแบบที่ 9 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหานั้น ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด ที่มีค่าเท่ากับ 60 จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้นั้นแตกต่างไปจากค่าที่ดีที่สุด 3 หน่วย คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 4.76 % แต่เป็นค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่า วิธีเชิงฮิวริสติกที่น่าเสนอนี้ มีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถนำไปใช้ได้

เนื่องจากงานวิจัยในลักษณะนี้ไม่เหมือนหรือคล้ายคลึงกับงานวิจัยของผู้ใด ดังนั้นจึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลการจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานที่ได้กับผลลัพธ์ของผู้อื่น ทำให้ต้องใช้วิธีการเปรียบเทียบโดยตรงกับการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยการหาลำดับของงานที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละตัวอย่าง แล้วเลือกการจัดลำดับที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดไว้เป็นคำตอบที่ใช้เปรียบเทียบ เพราะคำตอบนี้ได้ผ่านการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงานภายใต้เงื่อนไขในด้านกำลังการผลิต ข้อจำกัดของเครื่องจักรแล้ว

จากการทำวิจัยฉบับนี้ได้ประโยชน์หลายประการ ประการแรกคือ ได้ทำการศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยขั้นแรก จำเป็นต้องให้มีการกำหนดเส้นทางในการเคลื่อนที่ของงานแต่ละงานก่อน แล้วดำเนินการหาลำดับการทำงานในขั้นตอนหลัง อีกทั้ง ได้ศึกษาและดัดแปลงวิธีเชิงฮิวริสติกที่สามารถแก้ไขปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นได้ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และรวมถึง ได้ศึกษาวิธีแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเครื่องเดียว ซึ่งต้องแก้ไขกรณีที่มีการใช้ทรัพยากรร่วมกันระหว่างงานมากกว่าหนึ่งงานบนหนึ่งเครื่องจักร การศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบว่า วิธีพื้นฐานที่นำมาใช้นั้นซึ่งคือ วิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน สามารถแก้ปัญหาได้ดีและให้คำตอบที่เหมาะสมในระดับที่ดีด้วยเช่นกัน

สิ่งสำคัญที่เป็นประโยชน์อีกอย่างคือ สามารถวิเคราะห์หาปัญหา ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขต่างๆและหาแนวทางแก้ไขได้อย่างมีระบบ พร้อมทั้งยังสามารถนำวิธีการแก้ปัญหาในลักษณะนี้ไปเป็นแนวทางในการวิจัยกับปัญหาในระบบการผลิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันหรือนำไปดัดแปลงหรือพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาเหล่านี้ เพื่อใช้กับระบบการผลิตอื่นต่อไปในอนาคตได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้ทรัพยากรร่วมกันหรือมีการใช้เครื่องจักรร่วมกัน โดยมีเป้าหมายทำให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดตัวอย่างระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีขนาด 3 และ 4 ชั้นตอนและแต่ละชั้นตอนมี 2, 3 หรือ 4 เครื่องจักรที่เหมือนกันดังตาราง และมีงานในระบบจำนวน 5 งานและ 8 งาน ซึ่งต้องผ่านการกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ของแต่ละงาน ภายใต้เงื่อนไขในด้านกำลังการผลิตและข้อจำกัดของเครื่องจักรแต่ละเครื่องก่อน จากนั้นดำเนินการหาผลลัพธ์ในการจัดลำดับการผลิตของงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักร โดยใช้วิธีซีดีเอสอีวีริสติกส์ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ซึ่งใช้วิธีการที่นำเสนอนี้กับทุกปัญหาตัวอย่าง โดยได้ผลสรุปดังตาราง

ตารางที่ 16 สรุปผลการแก้ปัญหาตัวอย่างของระบบการผลิตแบบ FFS ทั้งหมด 19 แบบ

FFS No.	Stage	# M/C	# Job	Optimal	CDS + FCFS	Error	% Error
1	3	3/3/3	5	63	63	0	0
2	3	3/3/3	5	60	60	0	0
3	3	3/3/3	5	63	63	0	0
4	3	3/3/3	5	60	60	0	0
5	3	3/3/3	5	60	60	0	0
6	3	3/3/3	5	60	60	0	0
7	3	3/3/3	5	60	60	0	0
8	4	3/3/3/2	5	70	70	0	0
9	3	4/4/3	6	60	63	3	4.76
10	4	3/3/3/2	8	76	83	7	8.43
11	4	3/3/3/2	8	81	87	6	6.9
12	4	3/3/3/2	8	88	88	0	0
13	4	3/3/3/2	8	78	78	0	0
14	4	3/3/3/2	8	77	77	0	0
15	3	3/3/3	8	60	60	0	0

ตารางที่ 16 (ต่อ)

FFS No.	Stage	# M/C	# Job	Optimal	CDS + FCFS	Error	% Error
16	3	3/3/3	8	48	51	3	5.88
17	3	3/3/3	8	49	56	7	12.5
18	3	3/3/3	8	55	55	0	0
19	3	3/3/3	8	61	61	0	0

จากตารางพบว่าผลที่ได้จากการจัดลำดับการผลิตของงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของปัญหาตัวอย่างที่ 1-8, 12-15, 18 และ 19 ด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอ ซึ่งคือ วิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ทำให้มีเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด พบว่ามีค่าเท่ากัน ส่วนผลการจัดลำดับการผลิตในปัญหาตัวอย่างที่ 9, 10-11, 16 และ 17 ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดที่ได้แตกต่างไปจากคำตอบที่ดีที่สุด 3, 7, 6, 3 และ 7 หน่วย พบว่าค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดนั้นเท่ากับ 7 หน่วย ซึ่งคือปัญหาตัวอย่างที่ 10 และ 17 เมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะเท่ากับ 8.43 % และ 12.50 % ตามลำดับ และเมื่อนำเฉพาะปัญหาตัวอย่างที่มีค่าความผิดพลาดนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 7.69 % ดังนั้นวิธีเชิงฮิวริสติกที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพที่ดีและสามารถยอมรับได้

ข้อเสนอแนะ

จากการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกที่เสนอนั้น ได้ผลคำตอบที่สามารถยอมรับได้และประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นสามารถนำวิธีการแก้ปัญหานี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีลักษณะปัญหาและเงื่อนไขที่คล้ายกัน หรือนำไปใช้ในระบบการผลิตจริงในอุตสาหกรรม แต่ผลลัพธ์ที่ได้ จำเป็นต้องนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบว่าตรงกับความต้องการของอุตสาหกรรมจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น หรือนำไปดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับระบบการผลิตนั้น ภายใต้งื่อนไขของแต่ละระบบ ซึ่งการแก้ปัญหาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นที่มีขนาดใหญ่ นั้น อาจต้องใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ เพื่อช่วยลดเวลาในการหาผลลัพธ์ให้รวดเร็วขึ้น อาจนำวิธีเชิงฮิวริสติกที่เสนอนี้ เขียนให้อยู่ในลักษณะเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปแทนได้ อีกทั้งยังสามารถนำวิธีแก้ปัญหานี้ไปเป็นวิธีค้นแบบ เพื่อปรับเปลี่ยนใช้กับปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันหรือปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อจำกัดบางอย่างต่อไปในอนาคตได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ดรรรัตน์ แพงพุย, สุทธิชัย พิศขุมทอง. 2546. การจัดการการผลิตในสายการผลิตต่อเนื่องแบบผสมเมื่อพิจารณาการแบ่งผลิตของงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Baker, K.R. 1989. **Introduction to Sequencing and Scheduling**. John Wiley & Sons, New York.
- Campbell, H., R. Dudek. and M. Smith. 1970. A heuristic algorithm for the n-job, m-machine sequencing problem. **Management Science**. 16: 630-637.
- Ding, F.-Y. and D. Kittichatphayak. 1994. Heuristics for scheduling flexible flow lines. **Computers and Industrial Engineering**. 26: 27-34.
- Gupta, J.N.D. 1997. A flow shop scheduling problem with two operations per job. **International Journal of Production Research**. 35: 2309-2325.
- Hamid, A. and A. Artiba. 2006. Scheduling two-stage hybrid flow shop with availability constraints. **Computers & Operations Research**. 33: 1399-1419.
- Hoogeveen, J.A., J.K. Lenstra. and B. Veltman. 1993. Minimizing makespan in a multiprocessor flow shop is strongly NP-Hard. **Unpublished manuscript**.
- Hoogeveen, J.A., J.K. Lenstra. and B. Veltman. 1996. Preemptive scheduling in a two-stage multiprocessor flowshop is NP-Hard. **European Journal of Operations Research**. 89: 172-175.
- Ignall, E. and L.E. Schrage. 1965. Application of the branch and bound technique to some flow shop scheduling problems. **Ops.Ros**. 13: 400-412.

- Johnson, S. 1954. Optimal two- and three-stage production schedules with set up times included. **Naval Research Logistics Quarterly**. 1: 61-68.
- Jitti, J., R. Manop., C. Paveena. and W. Frank. 2007. **Thammasat International Journal Science Technology**. 12: 1.
- Kirkpatrick, S., Jr. C.D. Gelatt and M.P. Vecchi. 1983. Optimization by Simulated Annealing, **Science**, Yo1.220. 4589: 671-678.
- Kurz, M.E. and R.G. Askin. 2003. Comparing scheduling rules for flexible flow lines. **International Journal of Production Economics**. 85: 371–388.
- Lee, C.-Y. and G.L. Vairaktarakis. 1994. Minimizing makespan in hybrid flow shops. **Operations Research Letters**. 16: 149-158.
- Linn, R. and W. Zhang. 1999. Hybrid flow shop scheduling: a survey. **Computers and Industrial Engineering**. 37: 57-61.
- Mohamed, H. and R.M. Hallah. 1997. Heuristic algorithms for the two-stage hybrid flow shop problem. **Operations Research Letters**. 21: 43-53.
- Moursli O and Y. Pochet. 2000. A branch-and-bound algorithm for the hybrid flowshop. **International Journal of Production Economics**. 64: 113-125.
- Nawax, M., E. Enscore and I. Ham. 1983. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow shop sequencing problem. **Omega**. 11: 91-95.
- Oguz, C., B.M.T. Lin and T.C.E. Cheng. 1997. Two-stage flow shop scheduling with a common second-stage machine. **Computers and Operations Research**. 24: 1169-1174.

Rasaratnam, L., S. Carson and E. Hanson. 2005. Group scheduling in flexible flow shops.

International Journal of Production Economics. 96: 143–155.

Riane, F., A. Artiba and S.E. Elmaghraby. 1998. A hybrid three-stage flow shop problem:

Efficient heuristics to minimize makespan. **European Journal of Operational**

Research. 109: 321-329.

Salvador, M. 1973. A solution to a special case of flow shop scheduling problems: Elmaghraby,

S.E. (Ed.). (Springer, Berlin). **Symposium on the Theory of Scheduling and its**

Applications. 83-91.

Yuesheng, O., W. Baozhong and K. Lishan. 1998. A genetic algorithm for the flow shop

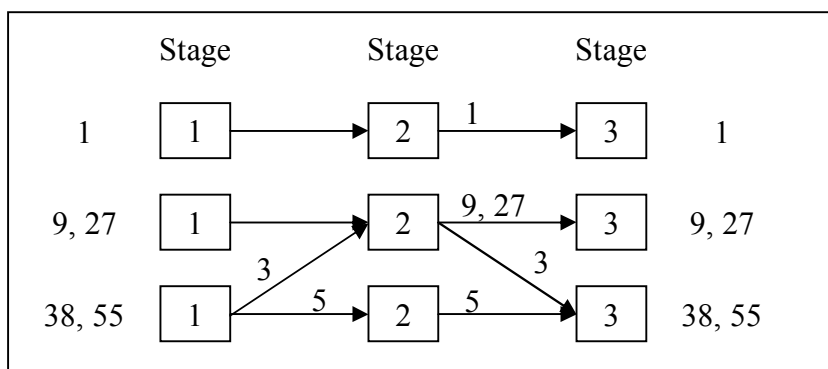
scheduling problem. **University Journal of Natural Sciences.** 3: 410-412.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นทั้ง 18 แบบ

1. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 2



ภาพผนวกที่ ก1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2

ตารางผนวกที่ ก1 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2

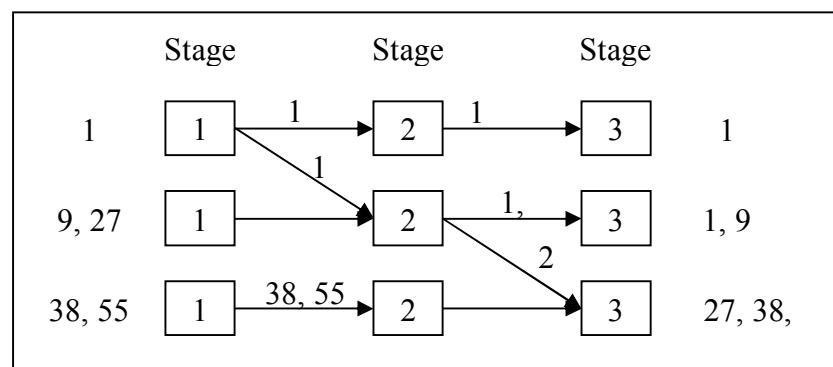
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			11		
9		28			4			12	
JOB 27		20			4			8	
38			21		5				6
55			24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิดีเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก2 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 2

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 2			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	38, 9, 27 9, 38, 27	9, 27	9, 27	38, 9, 27	9, 27
38, 55	55	38, 55	38, 55	55	38, 55
Min C_{\max}	60		Min C_{\max}	60	

2. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3



ภาพผนวกที่ ก2 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3

ตารางผนวกที่ ก3 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3

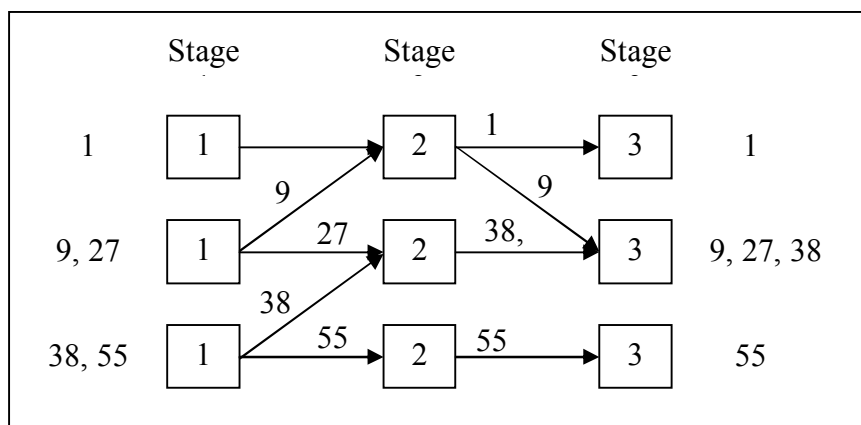
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			7	7		7	7	
9		28			4			12	
JOB 27		20			4				8
38			21			5			6
55			24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก4 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 3

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 3			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	1, 9, 27 9, 1, 27	1, 9 9, 1	9, 27	1, 9, 27	1, 9
38, 55	38, 55	38, 55, 27	38, 55	38, 55	38, 55, 27
Min C_{max}	63		Min C_{max}	63	

3. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 4



ภาพผนวกที่ ก3 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4

ตารางผนวกที่ ก5 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4

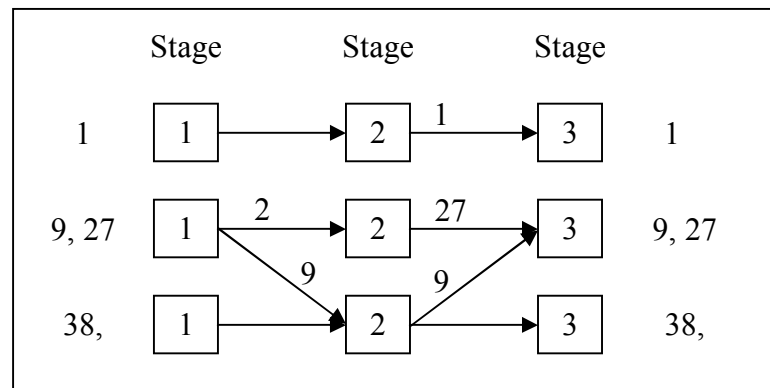
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			11		
9		28		4				12	
JOB 27		20			4			8	
38			21		5			6	
55			24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก6 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 4

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 4			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1, 9 9, 1	1	1	1, 9	1
9, 27	38, 27	38, 9, 27 9, 38, 27	9, 27	38, 27	38, 9, 27
38, 55	55	55	38, 55	55	55
Min C_{max}		60	Min C_{max}		60

4. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 5



ภาพผนวกที่ ก4 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 5

ตารางผนวกที่ ก7 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 5

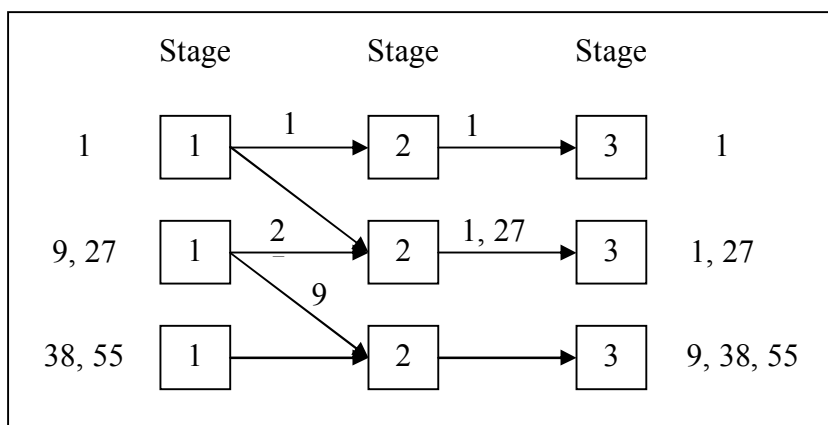
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			11		
9		28				4		12	
JOB 27		20			4			8	
38			21			5			6
55			24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิติเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก8 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 5

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 5			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	27	9, 27	9, 27	27	9, 27
38, 55	9, 38, 55	38, 55	38, 55	38, 9, 55	38, 55
	38, 9, 55				
55, 38	9, 55, 38	55, 38			
55, 38	55, 9, 38	55, 38			
Min C_{\max}	60		Min C_{\max}	60	

5. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 6



ภาพผนวกที่ ก5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 6

ตารางผนวกที่ ก9 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 6

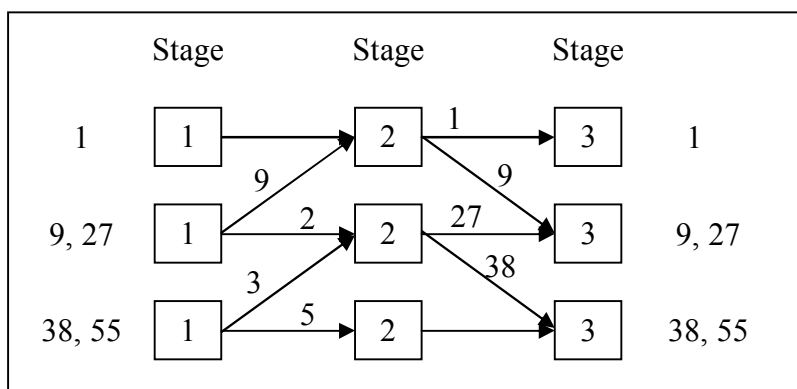
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			7	7		7	7	
9		28				4			12
JOB	27	20			4			8	
	38		21			5			6
	55		24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก10 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 6

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 6			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1	1	1	1
9, 27	1, 27	1, 27	9, 27	1, 27	1, 27
38, 55	38, 9, 55	38, 9, 55	38, 55	38, 9, 55	38, 9, 55
38, 55	9, 38, 55	38, 9, 55			
38, 55	38, 9, 55	9, 38, 55			
Min C_{max}	60		Min C_{max}	60	

6. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 7



ภาพผนวกที่ ก6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 7

ตารางผนวกที่ ก11 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 7

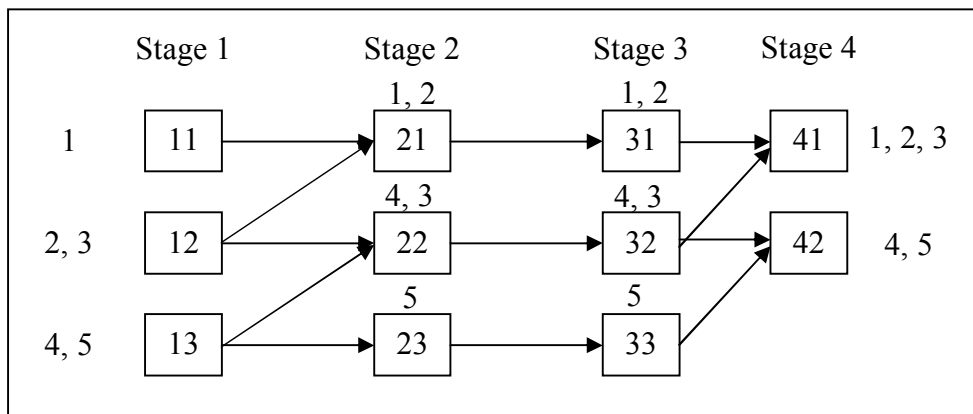
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	20			5			11		
9		28		4				12	
JOB 27		20			4			8	
38			21		5				6
55			24			5			5

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิติเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก12 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 7

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 7			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1, 9 / 9, 1	1	1	1, 9	1
9, 27	38, 27	9, 27	9, 27	38, 27	9, 27
38, 55	55	38, 55	38, 55	55	38, 55
Min C_{max}	60		Min C_{max}	60	

7. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 8



ภาพผนวกที่ ก7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 8

ตารางผนวกที่ ก13 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 8

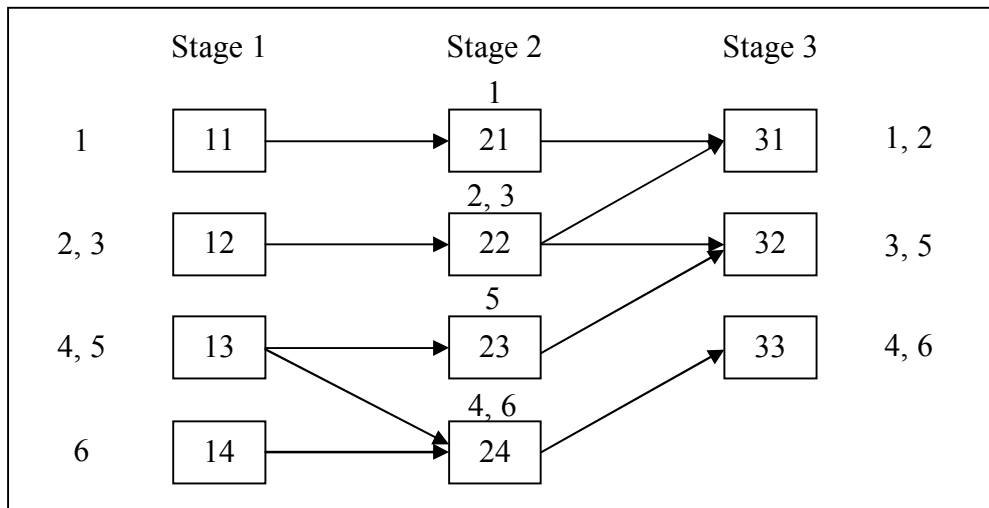
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4	
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1	20			5			4			12	
2		28		4			12			12	
3		20			4			8		10	
4			21		5			6			11
5			24			5			5		10

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 70 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิติเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก14 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 8

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 8				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1	1,2	1,2	1,2,3	1	1,2	1,2	1,2,3
2,3	4,3	4,3	4,5	2,3	4,3	4,3	4,5
4,5	5	5		4,5	5	5	
Min C_{max}			70	Min C_{max}			70

8. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 9



ภาพผนวกที่ ก8 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 9

ตารางผนวกที่ ก15 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 9

M/C	Stage 1				Stage 2				Stage 3		
	M11	M12	M13	M14	M21	M22	M23	M24	M31	M32	M33
1	20				5				4		
2		28				4			12		
3		20				4				8	
4			21					5			6
5			24				5			5	
6				25				6			7

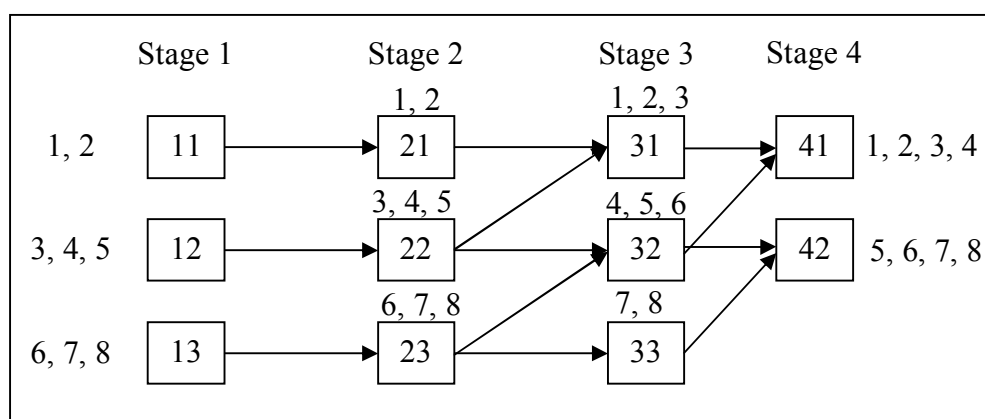
คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก16 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 9

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 9			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	1	1,2 / 2,1	1	1	1,2
2,3	2,3	5,3	2,3	2,3	5,3
5,4	5	6,4	4,5	5	4,6
6	6,4		6	4,6	
Min C_{max}		60	Min C_{max}		63

ผลจากการแก้ปัญหาสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลของการผลิตนั้นให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 63 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 60 ทำให้เห็นว่ามีค่าความแตกต่างกัน 3 หน่วย และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับเป็นตารางด้านบน เห็นว่าลำดับงานที่ได้มีความแตกต่างกัน แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นสามารถยอมรับได้ แสดงว่าวิธีเชิงอีวิริสติกที่น่าเสนอนี้ยังคงมีประสิทธิภาพและสามารถยอมรับได้

9. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 10



ภาพผนวกที่ ก9 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 10

ตารางผนวกที่ ก17 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 10

	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4		
	M/C	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1		15			5			8			11	
2		20			4			7			12	
3			18			5		8			10	
4			20			4			7		11	
5			15			4			6			12
6				17			4		5			12
7				18			5			8		10
8				15			5			6		11

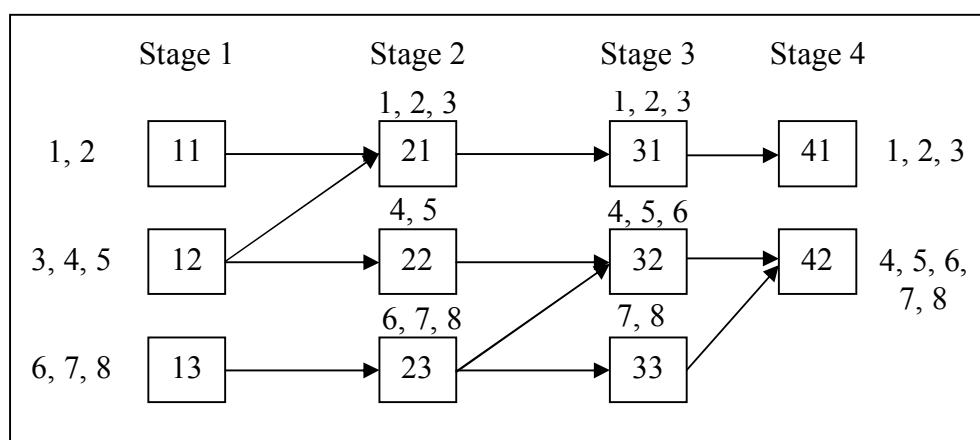
คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 76 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิติเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ 18 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 10

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 10				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1,2	1,2	1,3,2	1,3,2,4	1,2	1,2	1,3,2	1,3,2,4
						1,2,3	1,4,2,3
3,5,4	3,5,4	6,5,4	6,5,8,7	3,4,5	3,4,5	4,6,5	7,8,6,5
			6,5,7,8	4,3,5	4,3,5		
6,8,7	6,8,7	8,7		7,8,6	7,8,6	7,8	
6,7,8	6,7,8	7,8					
	Min C_{\max}		76		Min C_{\max}		83

ผลจากการแก้ปัญหา ให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 83 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 76 ทำให้เห็นว่ามีผลต่างต่างกัน 7 หน่วย สามารถคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 8.43 % และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางด้านบน เห็นว่าลำดับงานที่ได้มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความผิดพลาดไปจากค่าที่ดีที่สุด แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ยังเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่น่าเสนอยังคงมีประสิทธิภาพ

10. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 11



ภาพผนวกที่ ก10 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 11

ตารางผนวกที่ ก19 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 11

M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4	
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1	15			5			8			11	
2	20			4			7			12	
3		18		5			8			10	
4		20			4			7			11
5		15			4			6			12
6			17			4		5			12
7			18			5			8		10
8			15			5			6		11

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 81 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

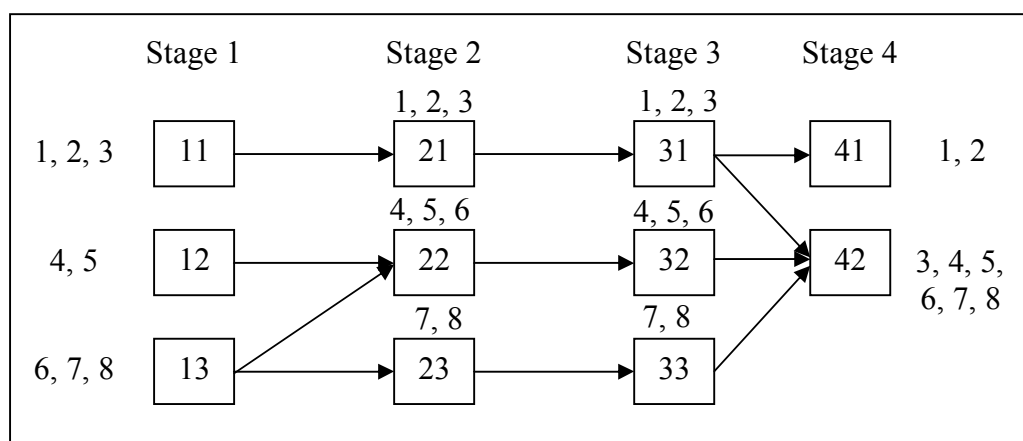
ตารางผนวกที่ ก20 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 11

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 11				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3
2,1	2,1,3	2,1,3	2,1,3				
5,4,3	5,4	5,4,6	5,7,4,8,6	4,3,5	4,5	4,6,5	4,7,8,6,5
			5,7,8,6,4				7,4,8,6,5
7,8,6	7,8,6	7,8		7,8,6	7,8,6	7,8	
	Min C_{\max}		81		Min C_{\max}		87

ผลจากการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลของการผลิตนั้นให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 87 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่

ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 81 ทำให้เห็นว่ามีความแตกต่างกัน 6 หน่วย สามารถคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 6.90 % และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกันดังตารางด้านบน เห็นว่าลำดับงานที่ได้มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากสาเหตุความผิดพลาดไปจากค่าที่ดีที่สุด แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ยังเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

11. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 12



ภาพผนวกที่ ก11 เส้นทางเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 12

ตารางผนวกที่ ก21 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 12

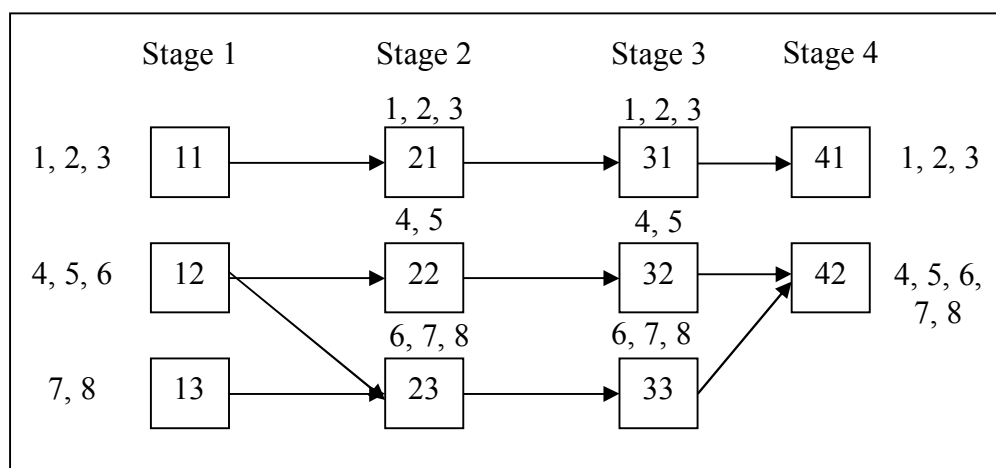
	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4		
	M/C	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1		10			4			7			11	
2		12			5			6			12	
3		15			5			8				10
4			11			4			7			11
5			12			5			7			12
6				13		4			6			10
7				10			5			8		11
8				15			4			7		12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 88 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก22 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 12

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 12				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
2,1,3	2,1,3	2,1,3	1,2 / 2,1	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2
1,3,2	1,3,2	1,3,2	1,2 / 2,1				
1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2				
4,5	4,5,6	4,5,6	4,7,5,8,6,3	4,5	4,5,6	4,5,6	4,7,5,8,6,3
7,8,6	7,8	7,8		7,8,6	7,8	7,8	
Min C_{\max}			88	Min C_{\max}			88

12. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 13



ภาพผนวกที่ ก12 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 13

ตารางผนวกที่ ก23 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 13

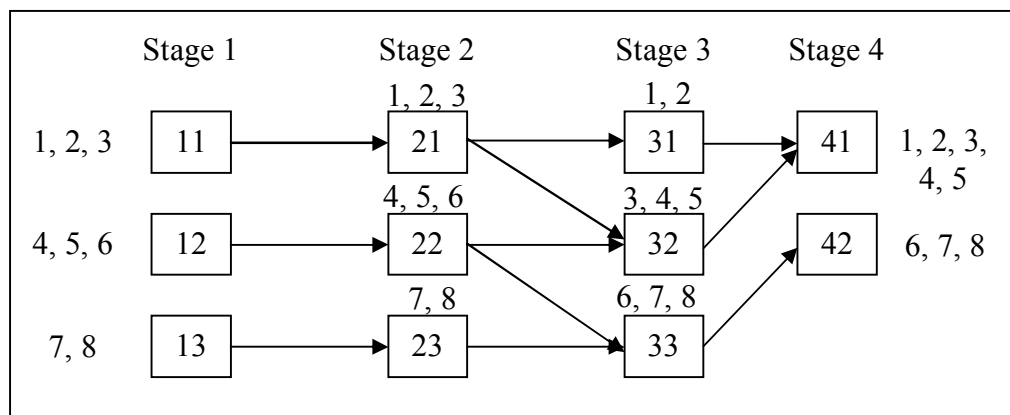
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4	
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1	10			4			7			11	
2	12			5			6			12	
3	15			5			8			10	
JOB 4		11			4			7			11
5		12			5			7			12
6		13				4			6		10
7			10			5			8		11
8			15			4			7		12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 78 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก24 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 13

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 13				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
1,3,2	1,3,2	1,3,2	1,3,2				
2,1,3	2,1,3	2,1,3	2,1,3				
4,5,6	4,5	4,5	4,7,5,8,6	4,5,6	4,5	4,5	4,7,5,8,6
7,8	7,8,6	7,8,6		7,8	7,8,6	7,8,6	
Min C_{\max}			78	Min C_{\max}			78

13. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 14



ภาพผนวกที่ ก13 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 14

ตารางผนวกที่ ก25 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 14

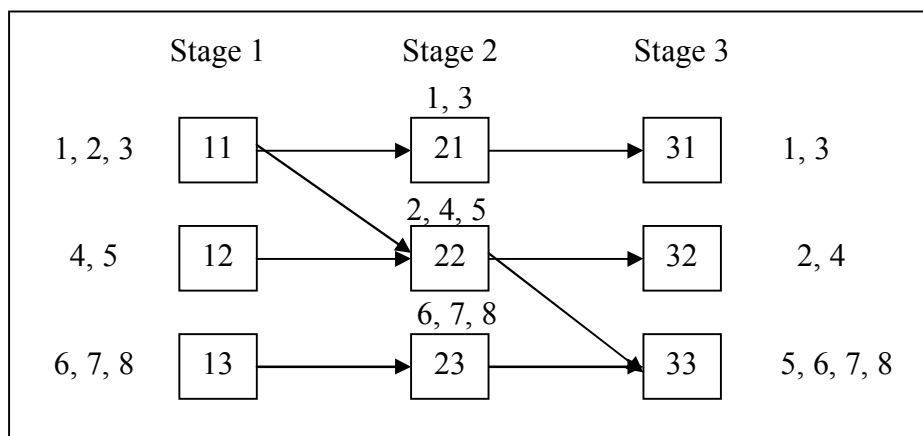
	Stage 1			Stage 2			Stage 3			Stage 4		
	M/C	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33	M41	M42
1		10			4			7			11	
2		12			5			6			12	
3		15			5				8		10	
4	JOB		11			4			7		11	
5			12			5			7		12	
6			13			4				6		10
7				10			5			8		11
8				15			4			7		12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 77 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิติเอสอิวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก26 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 14

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 14				CDS heuristic + FCFS			
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1,2,3	1,2,3	1,2	1,4,2,5,3	1,2,3	1,2,3	1,2	1,4,2,5,3
1,3,2	1,3,2	1,2	1,4,3,2,5				
4,5,6	4,5,6	4,5,3	7,8,6	4,5,6	4,5,6	4,5,3	7,8,6
7,8	7,8	7,8,6		7,8	7,8	7,8,6	
Min C_{\max}			77	Min C_{\max}			77

14. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 15



ภาพผนวกที่ ก14 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 15

ตารางผนวกที่ ก27 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 15

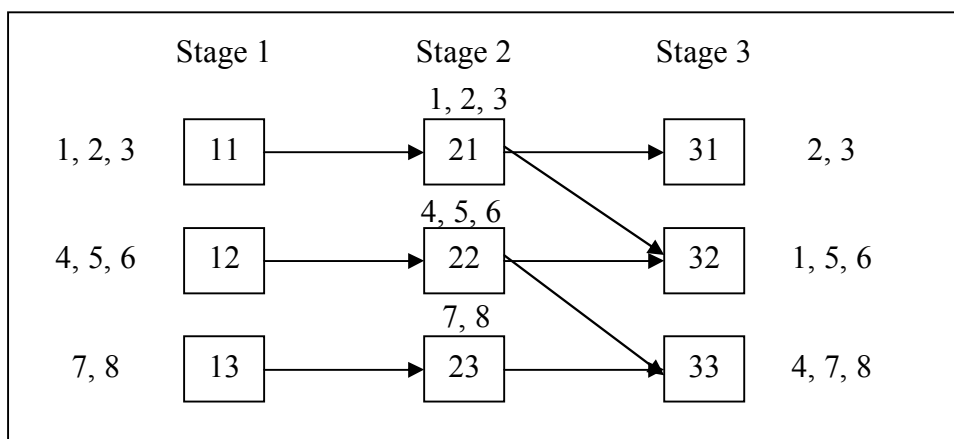
M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	10			5			8		
2	12				4			11	
3	9			4			10		
4		11			5			9	
5		12			4				11
6			10			5			10
7			13			6			12
8			11			4			12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 60 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก28 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 15

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 15			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
3,1,2	1,3	1,3	3,2,1	3,1	3,1
1,2,3					
3,2,1	3,1	3,1			
5,4	5,2,4	2,4	5,4	5,2,4	2,4
8,7,6	8,7,6	8,5,7,6	8,7,6	8,7,6	8,5,7,6
Min C_{max}		60	Min C_{max}		60

15. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 16



ภาพผนวกที่ ก15 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 16

ตารางผนวกที่ ก29 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 16

	M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
		M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
JOB	1	10			5				8	
	2	12			4			11		
	3	9			4			10		
	4		11			5				9
	5		12			4			11	
	6		10			5			10	
	7			13			6			12
	8			11			4			12

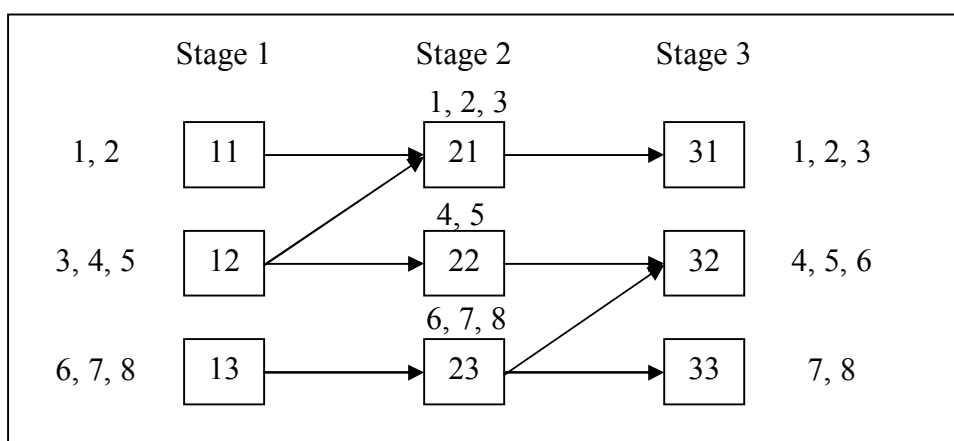
คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 48 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซิดีเอสอีวีริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก30 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 16

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 16			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
1,2,3	1,2,3	2,3	3,2,1	3,2,1	3,2
1,3,2	1,3,2	3,2			
3,2,1	3,2,1	3,2			
4,5,6	4,5,6	1,5,6	6,5,4	6,5,4	6,5,1
4,6,5	4,6,5	1,6,5	5,6,4	5,6,4	5,6,1
8,7	8,7	8,4,7	8,7	8,7	8,7,4
Min C_{\max}		48	Min C_{\max}		51

ผลจากการแก้ปัญหาสรุปได้ดังนี้ เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 51 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 48 ทำให้เห็นว่ามีผลต่างต่างกัน 3 หน่วย สามารถคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 5.88 % และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางด้านบน เห็นว่าลำดับงานที่ได้มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความผิดพลาดไปจากค่าที่ดีที่สุด แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ยังเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

16. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 17



ภาพผนวกที่ ก16 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 17

ตารางผนวกที่ ก31 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 17

M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	10			5			8		
2	12			4			11		
3		9		4			10		
4		11			5			9	
5		12			4			11	
6			10			5		10	
7			13			6			12
8			11			4			12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 49 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสฮิวริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

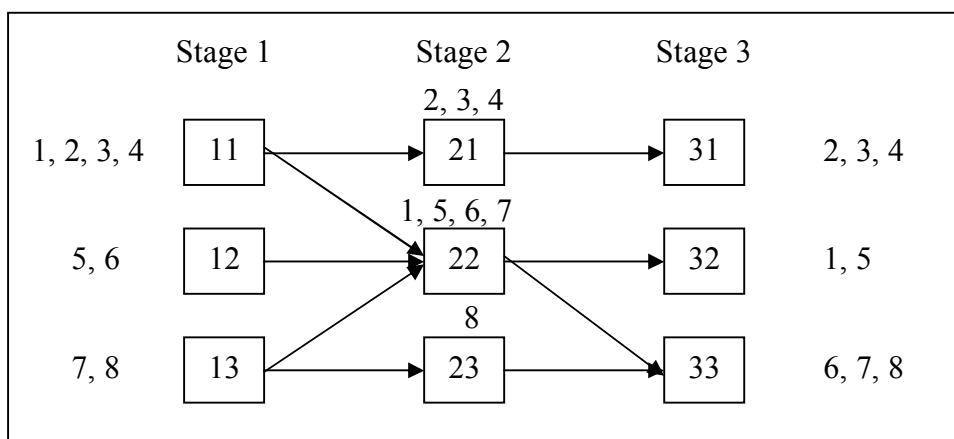
ตารางผนวกที่ ก32 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 17

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 17			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
2,1	2,1,3	2,1,3	2,1	3,2,1	3,2,1
5,4,3	5,4	5,4,6	3,5,4	5,4	5,4,6
4,5,3	4,5	4,5,6			
7,8,6	7,8,6	7,8	8,7,6	8,7,6	8,7
Min C_{max}		49	Min C_{max}		56

ผลจากการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้ ที่เครื่องจักรสุดท้ายในแต่ละการไหลของการผลิตนั้นให้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 56 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดในตอนแรก ซึ่งเท่ากับ 49 ทำให้เห็นว่ามีความแตกต่างกัน 7 หน่วย สามารถคำนวณเป็นค่า

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 12.50 % และนำลำดับงานที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางด้านบน เห็นว่าลำดับงานที่ได้มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากค่าความผิดพลาดไปจากค่าที่ดีที่สุด แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ยังเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าวิธีเชิงอิวิริสติกที่นำเสนอยังคงมีประสิทธิภาพ

17. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 18



ภาพผนวกที่ ก17 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18

ตารางผนวกที่ ก33 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18

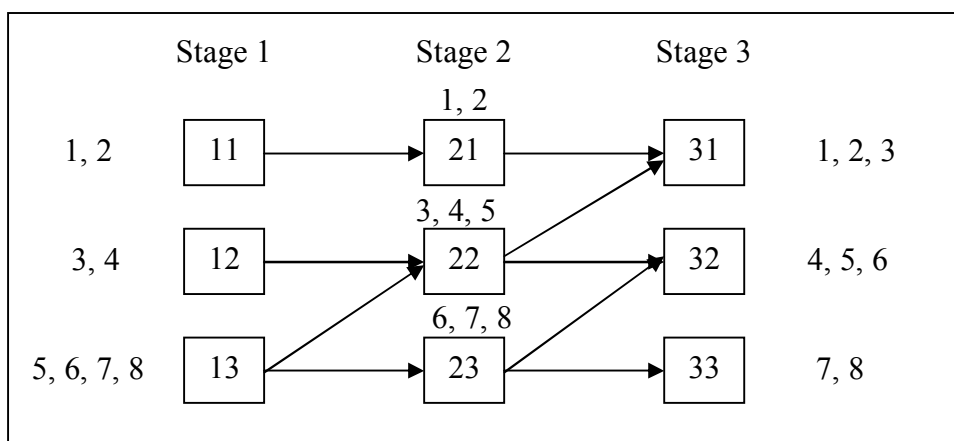
	Stage 1			Stage 2			Stage 3			
	M/C	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1		10				5			8	
2		12			4			11		
3		9			4			10		
4		11			5			9		
JOB	5		12			4			11	
6			10			5				10
7				13		6				12
8				11			4			12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 55 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวีสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก34 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 18

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 18			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
2,3,4,1	2,3,4	2,3,4	3,2,4,1	3,2,4	3,2,4
3,2,4,1	3,2,4	3,2,4			
6,5	6,5,7,1	5,1	5,6	5,6,7,1	5,1
			6,5	6,5,7,1	
8,7	8	8,6,7	8,7	8	8,6,7
		6,8,7			6,8,7
Min C_{max}		55	Min C_{max}		55

18. การพิจารณาระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 19



ภาพผนวกที่ ก18 เส้นทางการเคลื่อนที่ของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19

ตารางผนวกที่ ก35 เวลาทำงานของงานบนเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19

M/C	Stage 1			Stage 2			Stage 3		
	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M31	M32	M33
1	10			5			8		
2	12			4			11		
3		9			4		10		
4		11			5			9	
5			12		4			11	
6			10			5		10	
7			13			6			12
8			11			4			12

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เป็นตัวเปรียบเทียบ สามารถใช้โปรแกรม LEKIN ช่วยในการหาคำตอบ และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดเท่ากับ 61 จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีซีดีเอสอีวิริสติก ร่วมกับวิธีงานใดมาถึงระบบก่อนทำงานนั้นก่อน ได้ผลการจัดลำดับเป็นดังตาราง

ตารางผนวกที่ ก36 การจัดลำดับงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบที่ 19

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 19			CDS heuristic + FCFS		
Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3
2,1	2,1	3,2,1	2,1	2,1	3,2,1
4,3	4,3,5	4,5,6	3,4	3,4,5	4,5,6
3,4	3,4,5	4,5,6			
7,8,5,6	7,8,6	7,8	8,7,5,6	8,7,6	8,7
8,7,5,6	8,7,6	8,7			
Min C_{max}		61	Min C_{max}		61

ภาคผนวก ข

การจัดลำดับการผลิตของแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS Heuristic ร่วมกับวิธี SPT
และวิธี CDS Heuristic ร่วมกับวิธี LPT

ตารางผนวกที่ ข1 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 1

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 1			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,27	9, 27	1, 9	9,27	9, 27	1,9	9,27	9, 27	9,1
38,55	38,55	38,55,27	38,55	38,55	55,38,27	38,55	38,55	27,38,55
Cmax		63	Cmax		69	Cmax		71

ตารางผนวกที่ ข2 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 2

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 2			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage 1	Stage2	Stage3
1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,27	38,9,27	9,27	9,27	9,27,38	9,27	9,27	38,9,27	9,27
38,55	55	38,55	38,55	55	55,38	38,55	55	38,55
Cmax		60	Cmax		72	Cmax		60

ตารางผนวกที่ ข3 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 3

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 3			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,27	1,9,27	1,9	9,27	9,27,1	1,9	9,27	1,9,27	9,1
	9,1,27	9,1						
38,55	38,55	38,55,27	38,55	38,55	55,38,27	38,55	38,55	27,38,55
Cmax		63	Cmax		78	Cmax		71

ตารางผนวกที่ ข4 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 4

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 4			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1, 9	1	1	9,1	1	1	1,9	1
9,27	38,27	38,9,27	9,27	27,38	38,27,9	9,27	38,27	9,27,38
38,55	55	55	38,55	55	55	38,55	55	55
Cmax	60		Cmax	72		Cmax	66	

ตารางผนวกที่ ข5 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 5

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 5			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage 1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,27	27	9,27	9,27	27	27,9	9,27	27	9,27
38,55	9,38,55	38,55	38,55	9,38,55	55,38	38,55	38,55,9	38,55
	38,9,55							
Cmax	60		Cmax	72		Cmax	74	

ตารางผนวกที่ ข6 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 6

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 6			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage 1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,27	1,27	1,27	27,9	27,1	1,27	27,9	1,27	27,1
38,55	38,9,55	38,9,55	38,55	9,38,55	55,38,9	38,55	38,55,9	9,38,55
55,38	55,9,38	55,9,38						
Cmax	60		Cmax	74		Cmax	77	

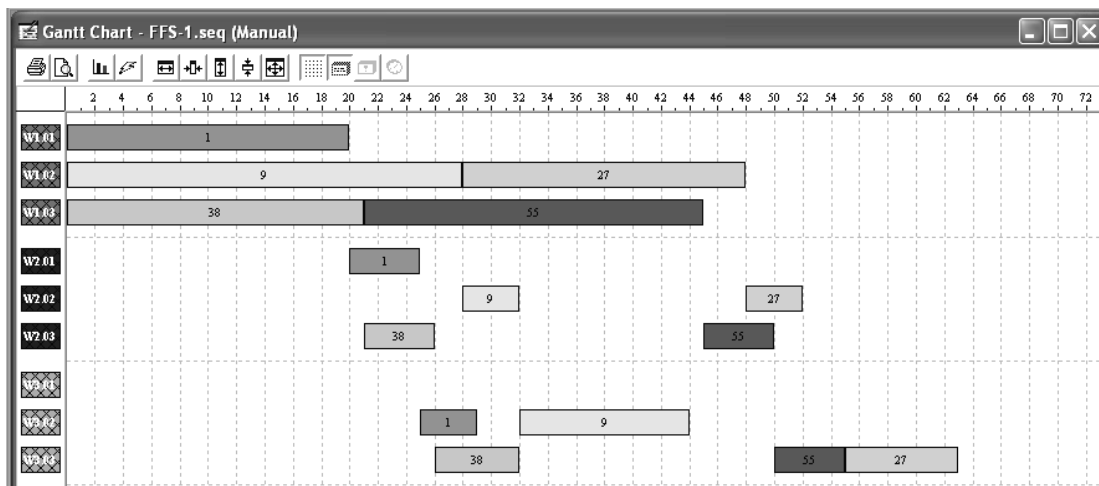
ตารางผนวกที่ ข7 การจัดลำดับงานงานบนแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธี CDS heuristic ร่วมกับวิธี SPT
และร่วมกับวิธี LPT ของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 7

คำตอบที่ดีที่สุด แบบที่ 7			CDS heuristic + SPT			CDS heuristic + LPT		
Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3	Stage1	Stage2	Stage3
1	1,9	1	1	9,1	1	1	1,9	1
9,27	38,27	9,27	9,27	27,38	27,9	9,27	38,27	9,27
38,55	55	38,55	38,55	55	55,38	38,55	55	38,55
Cmax		60	Cmax		72	Cmax		60

ภาคผนวก ค

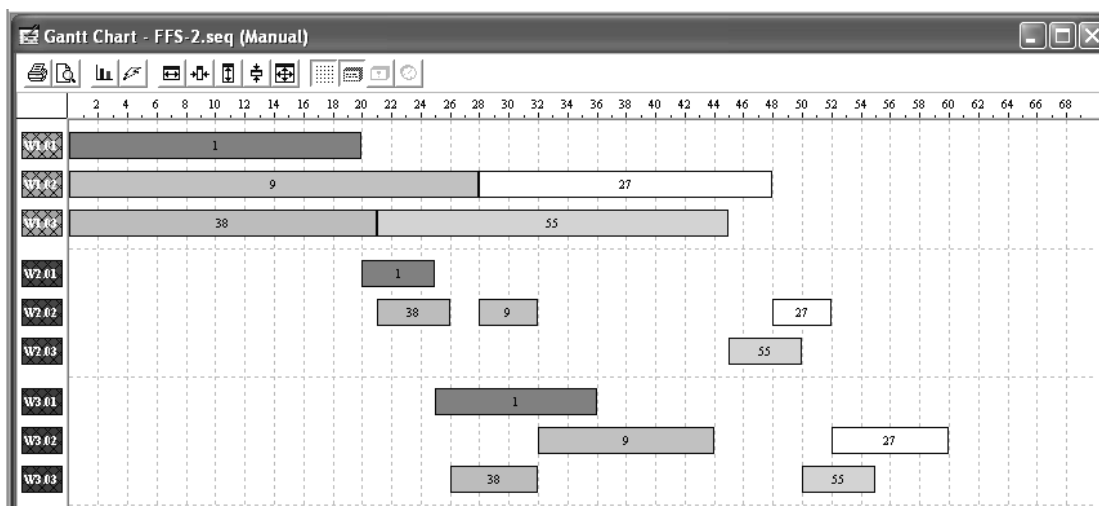
คำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยึดหยุ่นจากโปรแกรม LEKIN

เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1 จากโปรแกรม LEKIN ได้ค่าเท่ากับ 63 ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แสดงดังภาพ



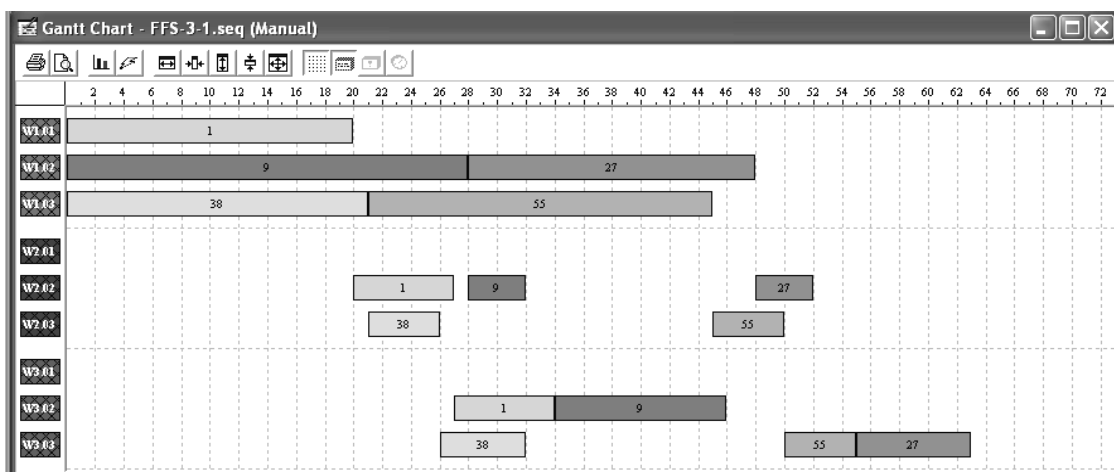
ภาพผนวกที่ ค1 ผลคำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 1

เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 2 จากโปรแกรม LEKIN ได้ค่าเท่ากับ 60 ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แสดงดังภาพ

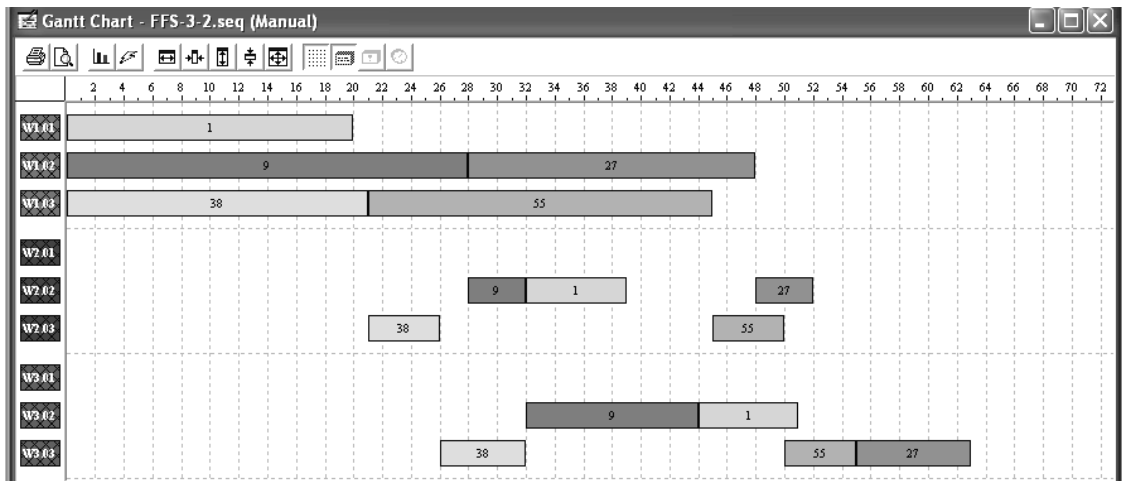


ภาพผนวกที่ ค2 ผลคำตอบที่ดีที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 2

เวลาในการผลิตรวมของระบบน้อยที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3 จากโปรแกรม LEKIN ได้ค่าเท่ากับ 63 ซึ่งเป็นค่าตอบที่ดีที่สุด ค่าตอบในการจัดลำดับการผลิตงานที่ได้ มีรูปแบบการจัดลำดับการผลิตมากกว่าหนึ่งรูปแบบ แสดงได้ดังภาพ



ภาพผนวกที่ ค3 ผลคำตอบที่ดีที่สุดแบบที่ 1 ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3



ภาพผนวกที่ ค4 ผลคำตอบที่ดีที่สุดแบบที่ 2 ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่นแบบที่ 3

ส่วนปัญหาตัวอย่างรูปแบบอื่นที่เหลือนั้น ใช้การพิมพ์ข้อมูลการจัดลำดับลงใน โปรแกรม เพื่อหาคำตอบของค่า Makespan ซึ่งโปรแกรมจะแสดงผลเป็นภาพ Gantt Chart ดังที่แสดงตัวอย่าง ในภาคผนวก ก นี้

ภาคผนวก ง

การหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวอย่าง 19 ตัวอย่างของระบบการผลิตแบบ
ไหลเลื่อนยืดหยุ่น

17. การหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 18
จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 18
เท่ากับ $4! * 2! * 2! * 3! * 4! * 1! * 3! * 2! * 3! = 995,328$ คำตอบ

18. การหาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 19
จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบการผลิตแบบ FFS แบบที่ 19
เท่ากับ $2! * 2! * 4! * 2! * 3! * 3! * 3! * 3! * 2! = 497,664$ คำตอบ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาววันภรณา ขวัญอ่อน
เกิดวันที่	9 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยบูรพา
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2550)