

การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีบัฟเฟอร์ โดยวิธีฮิวริสติก
กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถยนต์



นางสาวศรัณยา อุดมศรี

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6220-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A HEURISTIC SEARCH METHOD FOR FLOWSHOP SCHEDULING WITH ZERO BUFFER
A CASE STUDY: AN AUTOMOBILE ASSEMBLY PLANT



Miss Saranya Udomsri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6220-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดทำตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มี
บัฟเฟอร์ โดยวิธีฮิวริสติก กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถยนต์
โดย นางสาวศรันยา อุดมศรี
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิทวงศ์)

ศรันยา อุดมศรี : การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีบัฟเฟอร์ โดยวิธีฮิวริสติก กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถยนต์. (A HEURISTIC SEARCH METHOD FOR FLOWSHOP SCHEDULING WITH ZERO BUFFER A CASE STUDY: AN AUTOMOBILE ASSEMBLY PLANT) อ. ที่ปรึกษา: อ. ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ. ดร.สีรง ปรีชานนท์ 119 หน้า. ISBN 974-17-6220-8.

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบดีที่สุด โดยในงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เป็นการเปรียบเทียบวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนาโดยใช้ข้อมูลเวลาการดำเนินงานที่เป็นค่าคงที่จาก OR-Library และในส่วนที่สองเป็นการนำวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนามาประยุกต์ใช้กับสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยทำการพัฒนาวิธีฮิวริสติกซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการเรียงลำดับงานเริ่มต้น โดยในขั้นตอนนี้เป็นทดลองสร้างลำดับงานเริ่มต้นใหม่ ขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการแทรกงานลงในตำแหน่งต่าง ๆ ของลำดับงาน ให้สอดคล้องกับลำดับงานเริ่มต้นที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นทำการประเมินผลในงานวิจัยส่วนแรกโดยเปรียบเทียบเวลาปิดงานของระบบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก กับค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าวิธีที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี Sum Absolute Differences และวิธี Sum Absolute Residuals สามารถหาค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการหาค่าตอบที่ไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ในส่วนที่สองพบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสามารถหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบน้อยลงกว่าแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา นอกจากนี้วิธีฮิวริสติกที่พัฒนายังสามารถหาค่าตอบใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นั่นคือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยไม่มากกว่า 1% และจากการวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาพบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากฮิวริสติกของ Palmer มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดจากสมมติฐานว่าถ้าหากมีการเสียของเครื่องจักร

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2547	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570557321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : HEURISTIC SEARCH METHOD / FLOWSHOP / SCHEDULING

SARANYA UDOMSRI: A HEURICTIC SEARCH METHOD FOR FLOWSHOP SCHEDULING WITH ZERO BUFFER A CASE STUDY: AN AUTOMOBILE ASSEMBLY PLANT. THESIS ADVISOR: WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D., THESIS COADVISOR: SEERONK PRICHANONT, Ph.D., 119 pp. ISBN 974-17-6220-8.

This research was proposed to solve a flowshop scheduling with zero buffer problem. The aim of the study was to discover the work sequence of minimum makespan. The research can be divided into two parts. The first part of work is using the heuristic search method with the constant data that taken from the OR-Library in order to evaluate the solution that was better than the NEH algorithm. Another part of work would be taken a NEH algorithm and the improved heuristic search method to apply for using in a case study of automobile assembly plant. The researcher developed the heuristic search method, with there were two step. The first step was to generate the initial sequence and trial to build a new initial sequence. The second step, the work sequence was inserted into the various positions that conform to initial sequence getting form the first step. And then, estimated the results form the first part by compared the makespan from heuristic search method with the optimal solution from math model method. The results found that the developed heuristic search method from Palmer, sum absolute differences, and sum absolute residuals, can be evaluated the better solution than the NEH algorithm at the 90% confidence interval. In the second part, the data of flowshop scheduling in the case study at the present time found that the improved heuristic search method can be evaluated the solution nearby the optimal solution because the percent differences are lower than one percent. Finally, the sensitivity analysis with machine breakdown assumption found that the developed heuristic search method from Palmer is the best heuristic from the others improved heuristic.

Department	Industrial Engineering	Student's signature.....
Field of study	Industrial Engineering	Advisor's signature.....
Academic year	2004	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาของอาจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สีงปริชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนให้การดูแล ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็น ด้วยความเมตตาแก่ผู้วิจัยตลอดการดำเนินการวิจัย ความกรุณาจากศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นและเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณกนิษฐา และคุณอัจฉรา แห่งโรงงาน Thai-Swedish Assembly Co.,Ltd. ที่ช่วยอนุเคราะห์ข้อมูล และความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความดูแลเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน

ขอกราบขอบคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุน ดูแลและเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยความรัก ความเมตตา และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนช่วยเหลือและรับผิดชอบในดำเนินงานอื่นๆ แทนผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้ ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูปภาพ	ญ

บทที่	
1	บทนำ..... 1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2	การศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 3
1.3	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6
1.4	ขอบเขตของงานวิจัย..... 6
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.6	ขั้นตอนการทำวิจัย 7
1.7	สรุปเนื้อหางานวิจัย..... 7
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1	สายงานการประกอบ (Assembly line) 9
2.2	ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow shop)..... 10
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
3	การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ 21
3.1	รูปแบบและลักษณะของปัญหา 21
3.2	แนวทางการแก้ไขปัญหา 21
3.3	การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 21
3.4	โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบ 23
3.5	กระบวนการทำงานของวิธีฮิวริสติกที่น่าเสนอ 24
3.6	ตัวอย่างการคำนวณของวิธีฮิวริสติก 27
4	ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัย..... 34
4.1	ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัยการพัฒนาฮิวริสติก..... 34
4.2	ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัยการพัฒนากับโรงงานกรณีศึกษา..... 47

บทที่	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา	66
5 สรุปผลงานวิจัย	71
5.1 สรุปผลงานวิจัย	71
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้	75
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	75
รายการอ้างอิง	76
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก การศึกษาเวลาในสายการประกอบกรณีศึกษา	80
ภาคผนวก ข ข้อมูลเวลาการดำเนินงานสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน	98
ภาคผนวก ค ความน่าจะเป็นแบบ t	114
ภาคผนวก ง โปรแกรมที่จัดทำให้กับโรงงานกรณีศึกษา	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	119

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลของเวลาการดำเนินงาน เพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณ.....28
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบ การพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก.....36
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดกับวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา.....37
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก.....38
ตารางที่ 4.4	จำนวนปัญหาที่วิธีฮิวริสติกที่พัฒนา สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และแย่งจากวิธีฮิวริสติก NEH.....39
ตารางที่ 4.5	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (วินาที).....40
ตารางที่ 4.6	ค่า s_D จากวิธีฮิวริสติก NEH กับวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น.....42
ตารางที่ 4.7	ค่า s_D และค่า t จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น.....45
ตารางที่ 4.8	ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน.....49
ตารางที่ 4.9	ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน.....50
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน.....51
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน.....52
ตารางที่ 4.12	เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน.....53
ตารางที่ 4.13	ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน.....54
ตารางที่ 4.14	ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน.....55
ตารางที่ 4.15	เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน.....56
ตารางที่ 4.16	เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน.....57
ตารางที่ 4.17	เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน.....58
ตารางที่ 4.18	ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน.....59
ตารางที่ 4.19	ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน.....60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.20	61
เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และค่าเวลาปฏิบัติงานของระบบจากแผนการผลิต ของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน.....	
ตารางที่ 4.21	62
เปรียบเทียบคำตอบของฮิวริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน.....	
ตารางที่ 4.22	63
เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ ปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน.....	
ตารางที่ 4.23	64
เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ ปัญหาทดสอบที่จำนวนงานต่าง ๆ.....	
ตารางที่ 4.24	68
ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจาก แผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน.....	
ตารางที่ 4.25	69
ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจาก แผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน.....	
ตารางที่ 4.26	70
ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจาก แผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน.....	
ตารางที่ 5.1	73
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก กับแผนการผลิตในปัจจุบัน และค่าคำตอบที่ดีที่สุด.....	
ตารางที่ 5.2	74
ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบเดิมที่ ตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการหยุดงานของสถานีงาน และค่าคำตอบใหม่ที่ให้มี เวลาหยุดของสถานีงาน.....	
ตารางที่ ก.1	82
เวลาการดำเนินงานในสายการประกอบ P2X ในแต่ละสถานีงาน	
ตารางที่ ก.2	97
สรุปเวลาการดำเนินงานของรถแต่ละรุ่น ในแต่ละสถานีงาน.....	
ตารางที่ ข.1	100
ปัญหา car1.....	
ตารางที่ ข.2	100
ปัญหา car2.....	
ตารางที่ ข.3	101
ปัญหา car3.....	
ตารางที่ ข.4	101
ปัญหา car4.....	
ตารางที่ ข.5	102
ปัญหา car5.....	
ตารางที่ ข.6	102
ปัญหา car6.....	
ตารางที่ ข.7	103
ปัญหา car7.....	
ตารางที่ ข.8	103
ปัญหา car8.....	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ฉ

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ข.9 ปัญหา hel.....	104
ตารางที่ ข.10 ปัญหา rec01.....	105
ตารางที่ ข.11 ปัญหา rec03.....	106
ตารางที่ ข.12 ปัญหา rec05.....	107
ตารางที่ ข.13 ปัญหา rec07.....	108
ตารางที่ ข.14 ปัญหา rec09.....	109
ตารางที่ ข.15 ปัญหา rec11.....	110
ตารางที่ ข.16 ปัญหา rec13.....	111
ตารางที่ ข.17 ปัญหา rec15.....	112
ตารางที่ ข.18 ปัญหา rec17.....	113
ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงความน่าจะเป็นแบบ t.....	115



สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 Trim Line.....	4
1.2 Final Line.....	5
2.1 ลักษณะของสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดี่ยว.....	9
2.2 ลักษณะสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นชุด.....	10
2.3 ลักษณะสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม.....	10
2.4 โครงสร้างของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน.....	10
2.5 การไหลของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน.....	11
2.6 แสดงความแตกต่างระหว่าง Idle time และ Waiting time.....	12
2.7 Directed graph สำหรับการคำนวณหาเวลาปิดงานของระบบ.....	13
2.8 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก NEH.....	17
3.1 ภาพอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	22
3.2 โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบ.....	23
3.3 กระบวนการทำงานของวิธีฮิวริสติก.....	25
3.4 วิธีการ Sum Absolute Residuals.....	27
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงาน และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ.....	64
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงาน และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของ วิธีฮิวริสติก.....	65
ง.1 แสดงการกำหนดเวลาการดำเนินงานของรถแต่ละรุ่น ในแต่ละสถานีงาน.....	117
ง.2 วิธีการกรอกปริมาณการผลิต.....	118
ง.3 ผลการจัดตารางการผลิต.....	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตสินค้าตามอุปสงค์ของลูกค้า (Make to order) เนื่องจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นโดยส่วนใหญ่จึงต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดในสายการผลิตเดียวกัน เป็นการใช้อรรถประโยชน์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งในรูปแบบ และปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลาการผลิตหนึ่ง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีสินค้าสำเร็จรูปเก็บไว้ในคลังสินค้าเป็นจำนวนมากรวมทั้งเป็นการประหยัดพื้นที่ภายในโรงงานจากการต้องสร้างสายการผลิตตามจำนวนของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการดำเนินงานของแต่ละงานบนสถานีงานที่คงที่ (Static-deterministic) งานทุกงานในระบบจะต้องผ่านทุกสถานีงานเป็นลำดับเดียวกัน นอกจากนี้ในทุกสถานีงานจะมีลำดับงานที่เหมือนกัน นั่นคือเมื่องานได้ถูกจัดลำดับบนสถานีงานแรกแล้วลำดับงานจะไม่เปลี่ยนแปลงบนทุก ๆ สถานีงาน โดยทั่วไประบบการผลิตแบบไหลเลื่อนจะประกอบด้วย m สถานีงานเรียงต่อกันแบบอนุกรม และ n งานที่แตกต่างกัน [2, 5]

การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนจัดเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่ง เนื่องจากการผลิตสินค้าต่างชนิดพร้อม ๆ กันในสายการผลิตเดียวกันอาจก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องความสมดุลในการทำงานของสถานีงาน (Work station) เนื่องจากชิ้นงาน (Work element) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิต ดังนั้นเพื่อให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น วิธีแก้ปัญหาวีหนึ่งคือการจัดตารางการผลิตเพื่อให้เวลาว่างเปล่าในแต่ละสถานีมีน้อย และลดเวลาที่งานทุกงานเสร็จสิ้น หรือเวลาปิดงานของระบบ (Makespan)

การจัดตารางการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์คือหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุดสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีสถานีงานตั้งแต่ 3 สถานีงานขึ้นไป มีลักษณะของปัญหา NP-Complete [19] หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน และเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นก็จะใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างเอ็กโปเนนเชียล การแก้ปัญหาดังกล่าวในอดีตจะทำได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพบว่า เมื่อเป็นปัญหามาตรฐานใหญ่ที่มีตัวแปรและข้อจำกัดเป็นจำนวนมาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้มีผู้คิดค้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก Enumeration Techniques ได้แก่ วิธีการ

Branch and Bound อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก ถึงขนาดกลาง เท่านั้น ดังนั้นจึงเริ่มมีผู้พัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Procedure) ขึ้นมาหลายวิธี

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนเพื่อหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับ (Constructive Heuristic) ซึ่งส่วนใหญ่พัฒนามาจากวิธีการของ Johnson [11] สำหรับเครื่องจักร 2 และ 3 เครื่องจักร ได้แก่วิธีการของ Palmer [17], Campbell [4], Gupta [9] และ Nawaz, Ensore, Ham เสนอวิธีฮิวริสติก NEH ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับที่ดีที่สุดจากผลการวิจัย [3, 16, 25] ส่วนฮิวริสติกอีกประเภทหนึ่งคือ ฮิวริสติกประเภทที่ปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น (Improvement Heuristic) โดยจะนำคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกประเภทแรก มาพัฒนาหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด ฮิวริสติกประเภทหลังนี้รวมไปถึงวิธีการ Neighborhood Search เช่น Simulated Annealing, Tabu Search และ Genetic Algorithm ของ Reeve [20] แก่ปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ได้ทำการวิจัยว่า วิธีการค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search และ Genetic Algorithm สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าวิธี Simulated Annealing Nowicki [15] แก่ปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน พบว่าวิธีการค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search และ Genetic Algorithm เป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่ดีที่สุด

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน (Zero Buffer) Weng [28] ได้นำวิธีฮิวริสติก NEH มาใช้เพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) ให้กับวิธีค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search โดยมีวัตถุประสงค์คือ หาค่าเฉลี่ยการดำเนินงานของทุกงานที่น้อยที่สุด และ Norman [14] ใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีข้อจำกัดเรื่องสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน และมีเวลาก่อนการดำเนินงาน (Setup time) ที่ขึ้นอยู่กับลำดับของงาน

สายการผลิตที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เป็นสายการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์ 4 รุ่น รวม 17 สถานีงาน ซึ่งรถแต่ละรุ่น จะมีเวลาการดำเนินงานในแต่ละสถานีงานไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้เวลาการดำเนินงานมีค่าคงที่ สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับสายการผลิตนี้ ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาฯ ยังไม่มีวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยทำการจัดตารางการผลิตจากประสบการณ์เท่านั้น จึงไม่สามารถหาค่าเวลาในการประกอบงานทุกงานเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุดได้

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบปัญหาสายการผลิตจากโรงงานกรณีศึกษา โดยในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เพื่อทำให้ได้วิธีฮิวริสติกที่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH โดยมีวัตถุประสงค์คือหาลำดับของ

งานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบสั้นที่สุด โดยใช้ข้อมูลค่าคงที่จาก OR-Library ส่วนที่สองเป็นการนำวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนามาทดลองใช้กับข้อมูลจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา

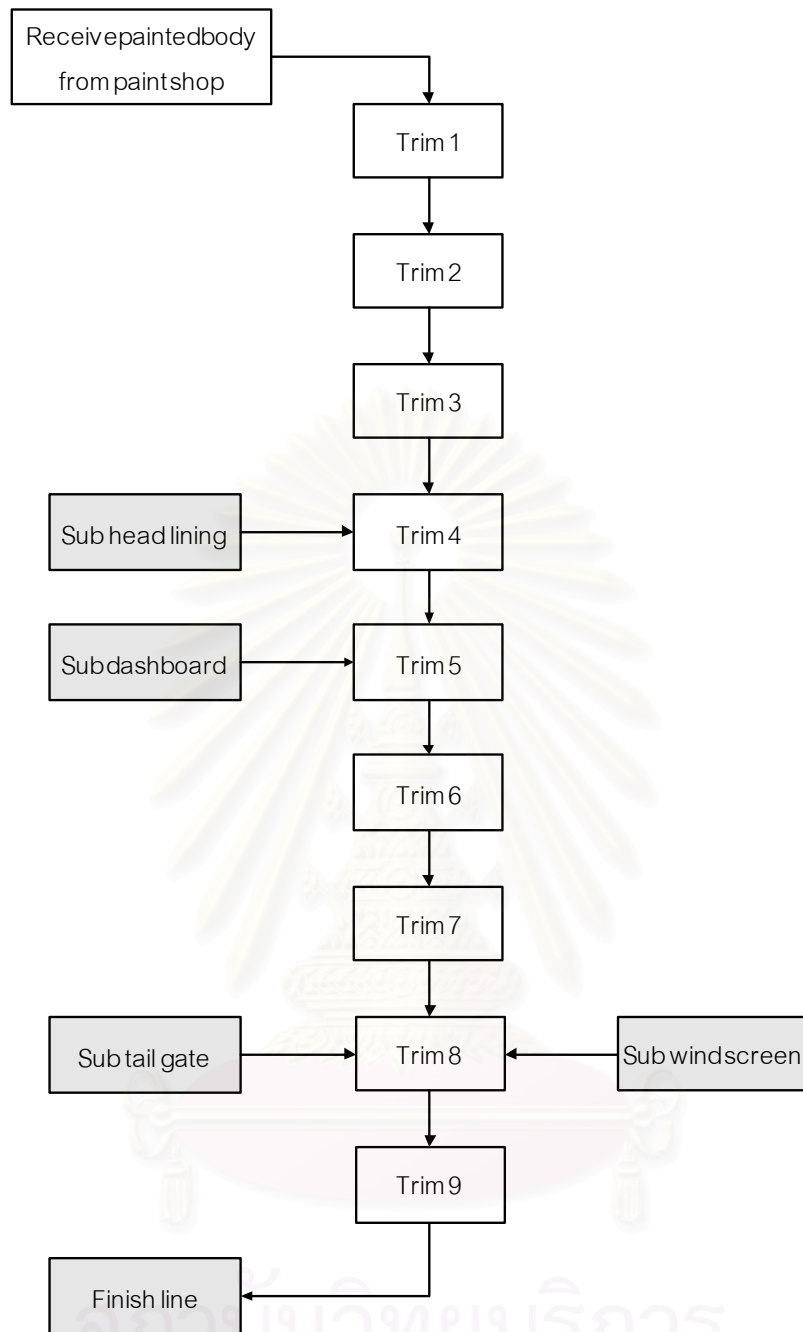
1.2 การศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.1 ลักษณะการทำงานของสายการผลิต

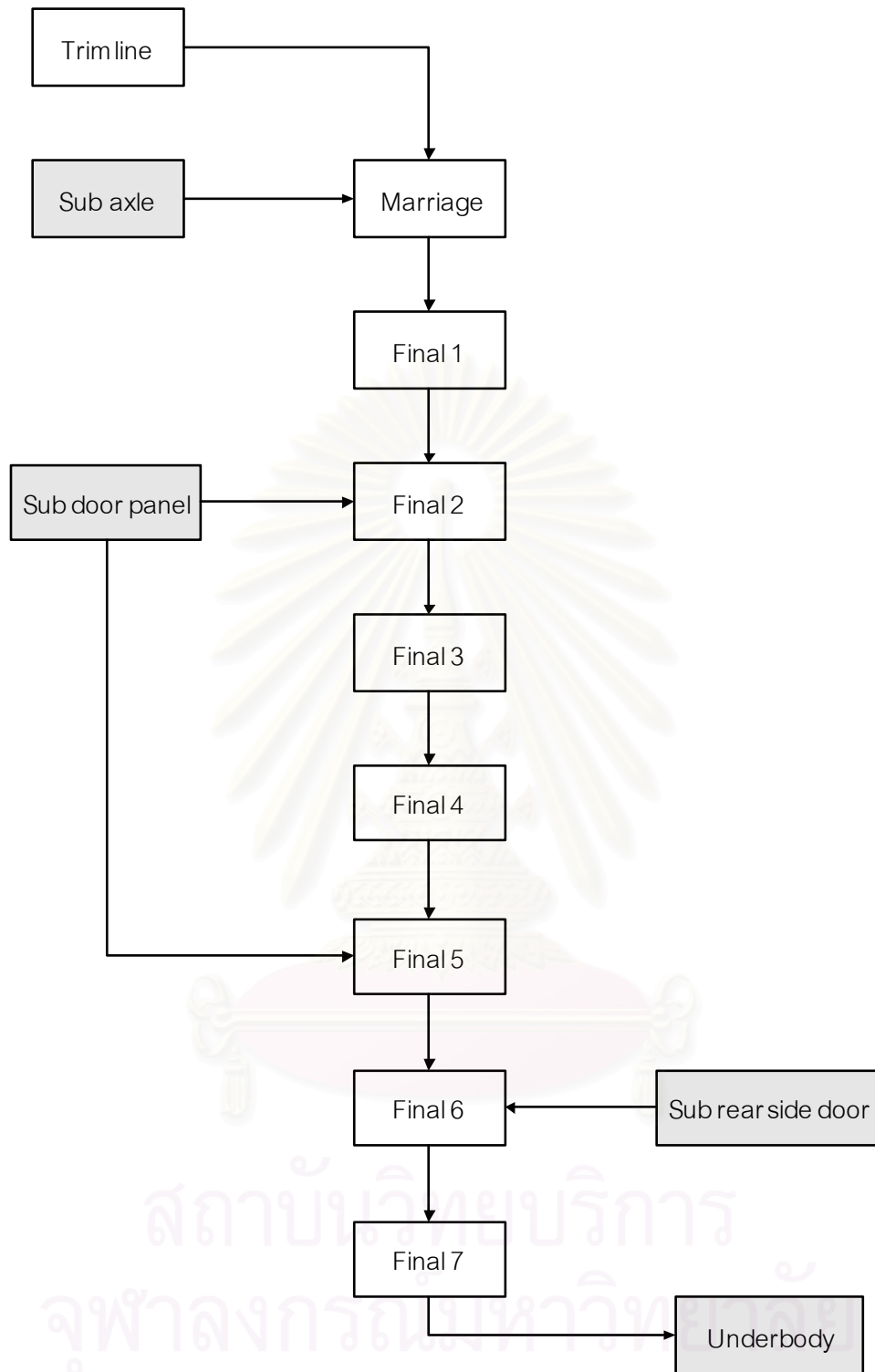
สายการผลิตที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือสายการผลิต P2X ซึ่งเป็นสายการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถรุ่น S60, S70, S80 และ XC90 โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Trim Line และ Final Line รวม 17 สถานีงาน (Station) การประกอบและ S/A (Sub Assembly) ซึ่งรถแต่ละรุ่น จะมีงานย่อยในแต่ละสถานีงานไม่เหมือนกัน และเวลาการทำงานไม่เท่ากัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 Trim Line



รูปที่ 1.2 Final Line

1.2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงาน

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาคือ ผลิตภัณฑ์ในสายการผลิต P2X ใน C-shop ซึ่งในปัจจุบันมีการประกอบรถ 4 รุ่น ได้แก่รุ่น S60, V70, S80, และ XC90 สายการผลิตรถยนต์นี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนโมเดลในทุก ๆ ปี เนื่องจากแต่ละผลิตภัณฑ์มีเวลาในการประกอบในแต่ละชิ้นงานที่แตกต่างกัน และไม่มีพื้นที่ว่างระหว่างสถานีงาน (Buffer) ถ้าหากการจัดตารางการผลิตไม่ดี จะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องกันในระบบการผลิต เกิดเวลาว่างเปล่า (Idle Time) ขึ้นในแต่ละสถานีงาน การทำงานที่สถานีงานอื่นจะต้องหยุดไปด้วย ทำให้พนักงานในบางสถานีงานว่างงาน

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับสายการผลิตนี้ ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยทำการจัดตารางการผลิตจากประสบการณ์เท่านั้น จึงไม่สามารถหาค่าเวลาในการประกอบงานทุกงานเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุดได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

พัฒนาฮิวริสติกเพื่อจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีบัฟเฟอร์ โดยมีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) มีค่าน้อยที่สุด

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาเฉพาะการจัดตารางการผลิตสำหรับสายการผลิต P2X ที่ทำการประกอบรถยนต์รุ่น S60, V70, S80, และ XC90 ที่อยู่ใน C-shop เท่านั้น

1.4.2 การจัดตารางการผลิตจะใช้วิธีฮิวริสติกมาใช้ในการหาคำตอบ

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการจัดตารางการผลิตเข้าสายการผลิต ที่มีลักษณะดังนี้

- 1) เป็นสายงานการประกอบที่มีระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow shop)
- 2) ใบสั่ง (Order) มีลักษณะเป็นวันต่อวัน และจะทราบคำสั่งทั้งหมดก่อนการจัดลำดับ
- 3) ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน (Buffer)
- 4) เวลาการทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ในแต่ละสถานีงาน เป็นเวลามาตรฐาน ซึ่งมีค่าคงที่

1.4.4 ทำการศึกษายาได้สมมติฐานดังนี้

- 1) พิจารณาว่าเครื่องจักรไม่มีการเสียระหว่างการดำเนินงาน
- 2) ทุกสถานีงานสามารถดำเนินงานได้เพียงทีละงาน
- 3) แต่ละงานจะถูกดำเนินงานบนสถานีงานได้ที่ละสถานีงาน

- 4) ไม่มีการแทรกแซงงาน
- 5) ไม่คิดเวลาก่อนการดำเนินงาน (Setup time)
- 6) ลำดับของงานจะเหมือนกันในทุกสถานีงาน
- 7) ไม่มีการหยุดงานระหว่างการดำเนินงาน
- 8) วัตถุดิบไม่มีการขาดแคลน
- 9) Sub-assembly มีพร้อมอยู่ที่ Sub-station เสมอ

1.4.5 การวิเคราะห์ระบบ จะนำมาเปรียบเทียบกับการทำงานในปัจจุบัน และผลที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

1.4.6 ผลของงานวิจัยจะเป็นข้อเสนอแนะให้กับทางโรงงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วิธีการตัดสินใจสำหรับการแก้ปัญหาในการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีบัฟเฟอร์ เพื่อให้มีเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด

1.5.2 เป็นข้อเสนอแนะเพื่อการตัดสินใจในการจัดตารางการผลิตสำหรับโรงงานกรณีศึกษา

1.5.3 เป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้ หรือขยายผลในระบบที่ซับซ้อนกว่าขอบเขตและข้อสมมติในงานวิจัย

1.6 ขั้นตอนการทำวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน และปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.3 รวบรวมข้อมูลที่สำคัญ
- 1.6.4 พัฒนาฮิวริสติก ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดตารางการผลิต
- 1.6.5 จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดตารางการผลิต
- 1.6.6 ทดสอบความถูกต้อง และประเมินผลการแก้ปัญหาโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น
- 1.6.7 สรุป และวิเคราะห์ผล
- 1.6.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 สรุปเนื้อหาของงานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของสายงานการประกอบระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนทั้งแบบมีข้อจำกัด และไม่มีข้อจำกัดด้านสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ การใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกในการแก้ปัญหาสำหรับระบบการผลิตแบบไหล

เลื่อน และงานวิจัยที่ใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกและวิธีการสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

บทที่ 3 การพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กล่าวถึงวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น โดยมีเวลาปิดงานที่เหมาะสม รวมทั้งกล่าวถึงอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาคำตอบ และแสดงขั้นตอนการคำนวณ เพื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

บทที่ 4 ผลงานวิจัยและการวิเคราะห์ผลงานวิจัย ในบทนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ในส่วนแรกคือส่วนของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนากับวิธีฮิวริสติก NEH ในด้านคุณภาพของคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบที่ดีที่สุด ในส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบการใช้วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ได้จากส่วนของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก กับข้อมูลเวลาการดำเนินงานจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา จากนั้นเปรียบเทียบค่าเวลาปิดงานที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับคำตอบที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และข้อมูลที่ได้จากการทำงานจริงในปัจจุบันของโรงงาน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงงานวิจัยทั้งหมดโดยสรุป ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้ ข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก รวมทั้งงานวิจัยในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

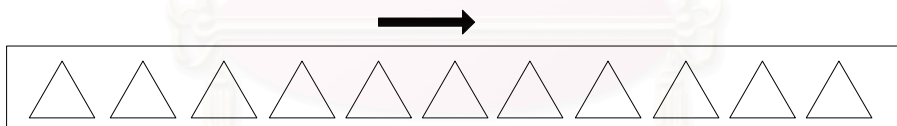
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สายงานการประกอบ (Assembly line)

สายงานการประกอบ เป็นการจัดรูปแบบของผังการประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่าง ๆ ที่เรียกว่าสถานีงาน (Work Station) ในระบบสายงานการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่าง ๆ เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแต่ละหน่วยเข้ามาสู่สถานีงานใด ๆ แล้ว ก็จะทำให้เกิดชิ้นงานการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีนั้นตามลำดับ เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้ว ชิ้นส่วนนั้นก็จะเคลื่อนไปยังสถานีต่อไป ในขณะที่เดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทน

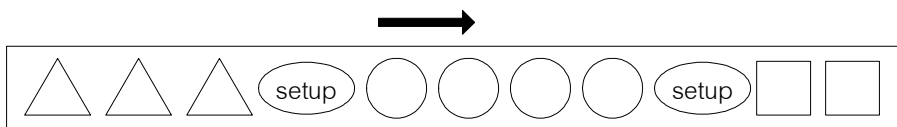
โดยทั่วไปสายการประกอบแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต ดังนี้ คือ

1. สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียวดังรูปที่ 2.1



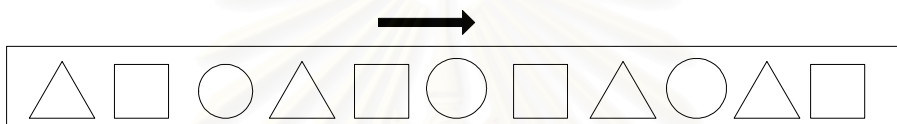
รูปที่ 2.1 ลักษณะของสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดี่ยว

2. สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นชุด (Batch Model Assembly Line) เป็นสายงานประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่า ซึ่งผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีความคล้ายกัน และสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยในการประกอบจะทำทีละชุดผลิตภัณฑ์ และในระหว่างการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์จะต้องมีเวลาก่อนการดำเนินงาน (Setup time) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นชุด

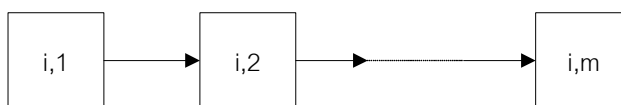
- สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่า โดยผลิตภัณฑ์จะเข้าสายการประกอบแบบผสมกัน และไม่มีเวลาก่อนการดำเนินงานในระหว่างการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม

2.2 ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow shop)

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ประกอบด้วยเครื่องจักรจำนวนหลายเครื่องที่นำมาต่อกันอย่างอนุกรม โครงสร้างของแต่ละงานที่อยู่ในระบบผลิตแบบไหลเลื่อนจะมีลักษณะพิเศษคือ การดำเนินงานแรกจะไม่มีงานที่ต้องทำก่อนหน้า และมีการดำเนินงานที่ตามมาโดยตรงเพียงการดำเนินงานเดียวเท่านั้น การดำเนินงานหลังจากนี้ จะมีการดำเนินงานที่ต้องทำก่อนหน้าโดยตรง และการดำเนินงานที่ตามมาโดยตรงอย่างละหนึ่งเท่านั้น สำหรับการดำเนินงานสุดท้ายจะมีการดำเนินงานก่อนหน้าโดยตรงเพียงหนึ่งงาน และจะไม่มีงานที่ตามมาโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้นพบว่า การที่จะทำงานงานหนึ่งให้สำเร็จได้นั้น เราจะต้องทำการดำเนินงานทั้งหมดตามลำดับที่กำหนดให้จนหมด ในบางครั้งเราเรียกโครงสร้างเช่นนี้ว่า โครงสร้างลำดับก่อนหลังของการดำเนินงานแบบเชิงเส้น (Linear Precedence Structure)

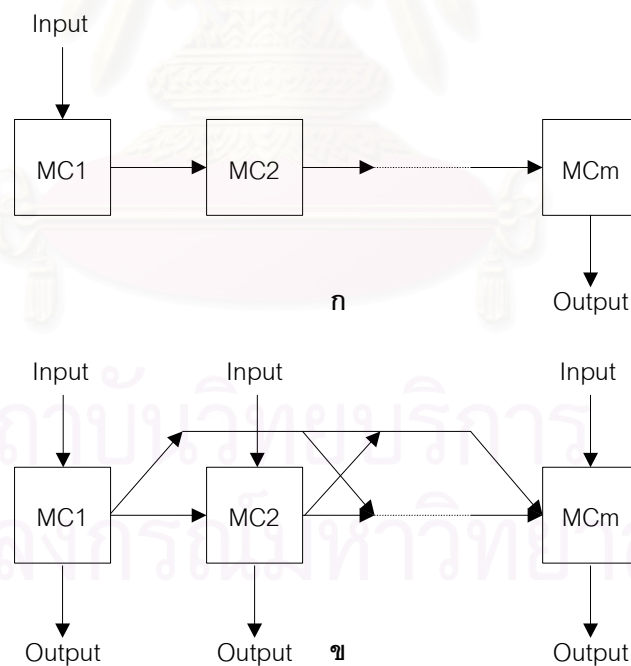


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนจะประกอบด้วย m เครื่องจักรที่แตกต่างกัน แต่ละงานจะประกอบด้วย m การดำเนินงาน ซึ่งต้องทำบน m เครื่องจักรที่แตกต่างกัน การไหลของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อนจะเป็นไปในทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า เราสามารถกำหนดหมายเลขให้กับเครื่องจักรโดยที่ ถ้าการดำเนินงาน j อยู่หน้าการดำเนินงาน k แล้ว หมายเลขของเครื่องจักรที่จะใช้ในการดำเนินงานที่ j จะต้องน้อยกว่าหมายเลขของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการดำเนินงานที่ k กำหนดให้เครื่องจักรในระบบผลิตแบบไหลเลื่อนถูกกำหนดหมายเลขเป็น $1, 2, \dots, m$ และการดำเนินงานของงาน i จะถูกกำหนดหมายเลขเป็น $(i,1), (i,2), \dots, (i,m)$

ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

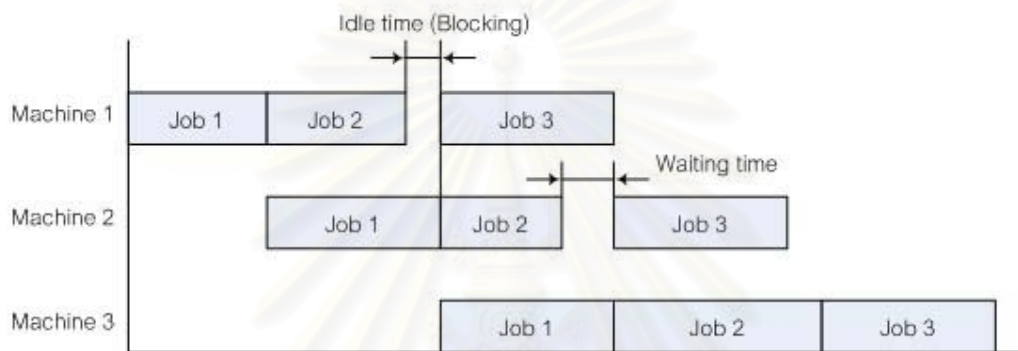
1. ระบบผลิตแบบไหลเลื่อนบริสุทธิ์ (Pure Flow Shop) คืองานทุกงานในระบบนี้จะมีหนึ่งการดำเนินงานที่ต้องทำบนแต่ละเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 2.5ก
2. ระบบผลิตแบบไหลเลื่อนทั่วไป (General Flow Shop) งานแต่ละงานอาจจะมีการดำเนินงานน้อยกว่าจำนวนเครื่องจักรก็ได้ ดังนั้นเครื่องจักรที่ใช้ในการทำการดำเนินงานที่อยู่ถัดมาโดยตรง อาจจะไม่ใช้เครื่องจักรที่ถูกกำหนดหมายเลขให้มีค่าถัดไปก็ได้ นอกจากนั้นแล้ว การดำเนินงานเริ่มต้น และการดำเนินงานสุดท้าย อาจจะไม่เกิดขึ้นที่เครื่องจักรแรก และเครื่องจักรสุดท้ายก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5ข



รูปที่ 2.5 การไหลของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน

2.2.1 ระบบผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีข้อจำกัดด้านสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ (Limited Intermediate Storage)

พิจารณา m สถานีงานที่เรียงต่อกันแบบอนุกรม ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ ถ้าการดำเนินงานของงานบนสถานีงานที่กำหนดเสร็จสิ้นแล้ว งานจะไม่สามารถถูกส่งไปยังสถานีงานถัดไปได้ ในขณะที่สถานีงานถัดไปนั้นยังไม่ว่าง และงานจะยังคงอยู่ที่สถานีงานเดิมโดยที่ไม่มีการทำงาน (Idle) ปรากฏการณ์นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการถูกบล็อก (Blocking) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความแตกต่างระหว่าง Idle time และ Waiting time

ปัญหาการหาเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุดของระบบผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ มีดังนี้

กำหนด

i = งาน; $i = 1, \dots, n$

j = สถานีงาน; $j = 1, \dots, m$

k = ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ในลำดับ; $k = 1, \dots, n$

p_{ij} = เวลาการดำเนินการ (Processing time) ของงาน i ที่สถานีงาน j

C_{ij} = เวลาที่งาน i เสร็จสิ้น (Completion time) ที่สถานีงาน j

C_{\max} = เวลาที่งานทุกงานเสร็จสิ้น

D_{ij} = เวลาที่งาน i ออกจาก (Departure time) สถานีงาน j

จะเห็นว่า $D_{ij} \geq C_{ij}$ เสมอ โดยที่ $D_{ij} = C_{ij}$ ก็ต่อเมื่องาน i ไม่เกิดการบล็อก เวลาเริ่มต้นของงาน i ที่สถานีงานแรกคือ D_{0j} และลำดับของงานคือ i_1, \dots, i_k

- เวลาที่งานลำดับที่ 1 ออกจากสถานีงาน j

$$D_{i1,j} = \sum_{l=1}^j p_{i1,l} \quad \forall j$$

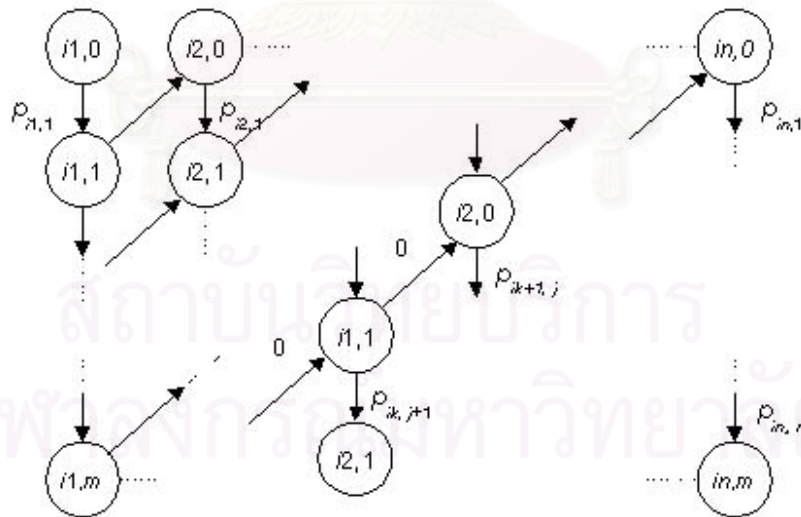
- เวลาที่งานลำดับที่ k ออกจากสถานีงาน j

$$D_{ik,j} = \max(D_{ik,j-1} + p_{ik,j}, D_{ik-1,j+1}) \quad j = 1, \dots, m, \quad k = 2, \dots, n$$

- เวลาที่งานลำดับที่ k ออกจากสถานีงาน m

$$D_{ik,m} = D_{ik,m-1} + p_{ik,m} \quad \forall k$$

เวลาปิดงานของระบบสามารถหาจากเส้นทางวิกฤต (Critical path) ใน Directed graph จากรูปที่ 2.7 โหนด (Node) (ik, j) แสดงถึงเวลาที่งาน ik ออกจากสถานีงาน j และมีภาระให้น้ำหนัก (Weight) สำหรับอาก (Arcs) โดยที่แต่ละโหนด (ik, j) จะมีอาก 2 เส้น อากเส้นหนึ่งจะไปยังโหนด $(ik, j+1)$ และมีน้ำหนัก หรือระยะเวลาเท่ากับ $p_{ik,j+1}$ ส่วนอากอีกเส้นหนึ่งไปยังโหนด $(ik+1, j-1)$ และมีน้ำหนักเท่ากับ ส่วนโหนด $(ik, 0)$ จะมีอากไปยังโหนด $(ik, 1)$ เพียงเส้นทางเดียวด้วยน้ำหนัก $p_{ik,1}$ โหนด (ik, m) จะมีอากไปยังโหนด $(ik+1, m-1)$ เพียงเส้นทางเดียวด้วยน้ำหนักเท่ากับ 0 โหนด (in, j) จะมีอากไปยังโหนด $(in, j+1)$ เพียงเส้นทางเดียวด้วยน้ำหนัก $p_{in,j+1}$ และโหนด (in, m) จะไม่มีอากที่ออกไป ค่า C_{max} ของลำดับ $i1, \dots, ik$ จะเท่ากับความยาวของเส้นทางที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุดจากโหนด $(i1, 0)$ ไปยังโหนด (in, m)



รูปที่ 2.7 Directed graph สำหรับการคำนวณหาเวลาปิดงานของระบบ

2.2.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน

ปัญหาของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน มีลักษณะของปัญหาเป็นแบบ NP-Hard (Nonpolynomial Hard) หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน และเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นก็จะใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างเอ็กโปเนนเชียล ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในรูปแบบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์และจำเป็นต้องอาศัยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Approach)

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ โดยอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่จำกัด นอกจากนั้นแล้ว ถ้ามีการกำหนดขนาดของปัญหามาให้ เราสามารถประมาณเวลาที่จะใช้ในการหาคำตอบได้อย่างค่อนข้างจะถูกต้อง ข้อเสียของวิธีฮิวริสติกคือ วิธีการนี้ไม่ได้ประกันว่าจะต้องได้คำตอบที่ดีที่สุด และเป็นการยากที่จะประเมินถึงประสิทธิภาพของ ฮิวริสติก ฮิวริสติกที่จะกล่าวถึง เป็นฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว และถึงแม้ว่าค่าเวลาปิดงานของระบบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

- การจัดลำดับผลิตภัณฑ์สำหรับ 2 เครื่องจักร

ปัญหาของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ประกอบด้วย 2 เครื่องจักร ซึ่งมีตัววัดสมรรถนะของการจัดตารางคือ เวลาปิดงานของระบบ ลำดับงานที่ดีที่สุดสามารถหาได้โดยใช้กฎต่อไปนี้ในการเรียงลำดับคู่ของงาน

กฎของ Johnson [11]: งาน i จะอยู่นำหน้างาน j ในลำดับงานที่ดีที่สุดถ้า

$$\min\{p_{i1}, p_{i2}\} \leq \min\{p_{j1}, p_{j2}\}$$

จากกฎของ Johnson ตำแหน่งต่าง ๆ ของลำดับงานที่ดีที่สุดจะถูกระบุโดยใช้กลไกแบบผ่านครั้งเดียว (Single-Pass Mechanism) โดยที่ในแต่ละขั้นของการตัดสินใจ กลไกนี้จะระบุว่า งานที่กำลังพิจารณาควรจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งแรก หรือตำแหน่งสุดท้ายในตำแหน่งทั้งหมดที่เหลืออยู่ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาเวลาทำงานที่สั้นที่สุดที่หน่วยผลิตใดก็ตามในบรรดางานที่จะจัดลำดับ (หา $\min\{p_{i1}, p_{i2}\}$)

ขั้นที่ 2a ถ้าเวลาการดำเนินงานที่มีค่าน้อยที่สุดอยู่บนเครื่องจักรหมายเลข 1 ให้วางงานที่มีเวลาการดำเนินงานน้อยที่สุดนั้นลงในตำแหน่งแรกที่ยังว่างอยู่ในลำดับงาน แล้วไปทำต่อในขั้นที่ 3

ขั้นที่ 2b ถ้าเวลาการดำเนินงานที่มีค่าน้อยที่สุดอยู่บนเครื่องจักรหมายเลข 2 ให้วางงานที่มีเวลาการดำเนินงานน้อยที่สุดนั้นลงในตำแหน่งสุดท้ายที่ยังว่างอยู่ในลำดับงาน แล้วไปทำต่อในขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 ตัดงานที่ได้ระบุตำแหน่งไปแล้วออกจากการพิจารณา แล้วกลับไปทำขั้นที่ 1 จนกระทั่งทุกตำแหน่งถูกเติมหมด (ถ้าสามารถเลือกได้มากกว่า 1 งาน ให้เลือกงานใดก็ได้)

- วิธีฮิวริสติกของ Palmer [18]

Palmer กำหนดลำดับความสำคัญให้กับงานตามแนวโน้มที่จะดำเนินการไปข้างหน้า จากเวลาที่สั้นที่สุดไปสู่เวลาที่นานที่สุดในลำดับของการดำเนินงาน Palmer ได้เสนอค่าดัชนีความชัน (Slope index, S_i) สำหรับแต่ละงาน โดยที่

$$S_i = (m-1)p_{ij} + (m-3)p_{i,j-1} + (m-5)p_{i,j-2} + \dots - (m-3)p_{i2} - (m-1)p_{i1}$$

จากนั้นจะสร้างลำดับงานโดยเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$

- วิธีฮิวริสติกของ Gupta [9]

Gupta ได้เสนอแนวทางในการเรียงลำดับงานโดยอาศัยกฎการถ่ายทอด ที่อยู่ในรูปของ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$ ซึ่งสามารถที่จะสร้างตารางที่ดีขึ้นมาได้ เขากล่าวว่า เมื่อกฎของจอห์นสันสามารถหาค่าที่ดีที่สุดในการที่ระบบประกอบด้วย 3 เครื่องจักร S_i จะมีค่าเป็น

$$S_i = \frac{e_i}{\min\{p_{i1} + p_{i2}, p_{i2} + p_{i3}\}}$$

โดยที่ $e_i = 1$ ถ้า $p_{i1} < p_{i2}$ และ $e_i = -1$ ถ้า $p_{i1} \geq p_{i2}$ นอกจากนั้นแล้ว Gupta ได้เสนอว่า สำหรับกรณีที่ $m > 2$ ค่าของดัชนีสำหรับแต่ละงานจะคำนวณได้จาก

$$S_i = \frac{e_i}{\min_{1 \leq k \leq m-1} \{p_{ik} + p_{i,k+1}\}}$$

โดยที่ $e_i = 1$ ถ้า $p_{i1} < p_{im}$ และ $e_i = -1$ ถ้า $p_{i1} \geq p_{im}$ และมีการเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$ Gupta ได้ทำการเปรียบเทียบฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นกับของ Palmer ในหลายกรณี และพบว่า สำหรับปัญหาทดสอบจำนวนมาก ฮิวริสติกของเขาให้คำตอบที่ดีกว่าของ Palmer

- วิธีฮิวริสติก CDS [4]

ฮิวริสติก CDS ได้พัฒนาขึ้นโดย Campbell, Duxey และ Smith เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด ข้อดีของ CDS คือ ใช้แนวทางของจอห์นสันสันในการหา

คำตอบ และสร้างตารางจำนวนมากขึ้นมาเพื่อผู้ตัดสินใจจะเลือกตารางที่ดีที่สุดได้ CDS ใช้กฎของจอห์นสันมาประยุกต์เข้ากับปัญหาใหม่ที่สร้างจากปัญหาดั้งเดิม โดยใช้เวลาปฏิบัติงาน p'_{i1} และ p'_{i2} แทน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ให้ $p'_{i1} = p_{i1}$ และ $p'_{i2} = p_{im}$ แล้วใช้กฎของจอห์นสันกับการดำเนินงานที่ 1 และ m โดยไม่สนใจการดำเนินงานอื่นที่นอกเหนือจากนั้น

ขั้นที่ 2 ให้ $p'_{i1} = p_{i1} + p_{i2}$ และ $p'_{i2} = p_{im} + t_{i,m-1}$ แล้วใช้กฎของจอห์นสันกับผลรวมของการดำเนินงานของสองงานแรก และสองงานสุดท้าย

ขั้นที่ i ให้ $p'_{i1} = \sum_{k=1}^i p_{ik}$ และ $p'_{i2} = \sum_{k=1}^i p_{i,m-k+1}$ สำหรับแต่ละขั้นที่ i ($i = 1, 2, \dots, m-1$) จะใช้ลำดับงานที่ได้เพื่อไปคำนวณหาค่าของเวลาปฏิบัติงานของระบบปัญหาดั้งเดิม

หลังจากที่ได้ดำเนินการไป $m-1$ ขั้นแล้ว เราจะหาค่าเวลาปฏิบัติงานของระบบที่ดีที่สุดจากจำนวนของ $m-1$ ตารางได้ ในกรณีนี้พบว่าเวลาปฏิบัติงานของระบบมีค่าเท่ากันที่ขั้นใดขั้นหนึ่ง วิธีการหนึ่งสำหรับแก้ปัญหานี้ก็คือ ให้คำนวณค่าเวลาปฏิบัติงานของระบบจากทางเลือกทั้งหมดที่อยู่ในขั้นนั้น แล้วให้เลือกค่าที่ดีที่สุด อีวริสติก CDS ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับของ Palmer และพบว่า CDS เป็นอีวริสติกที่มีประสิทธิภาพมากกว่าของ Palmer ทั้งปัญหาขนาดเล็กและใหญ่

- วิธีอีวริสติก NEH [14]

อีวริสติก NEH ได้พัฒนาขึ้นโดย Nawaz, Ensore และ Ham เพื่อแก้ปัญหาค่าเวลาปฏิบัติงานของระบบที่น้อยที่สุด โดยมีสมมติฐานว่างานที่มีเวลาการดำเนินการรวมจากทุกสถานงานมากกว่า จะมีสิทธิก่อนงานที่มีเวลาการดำเนินการรวมน้อยกว่า ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เรียงงาน n งานตามลำดับผลรวมของเวลาการดำเนินงานของทุกสถานงาน ตามลำดับจากมากไปหาน้อย

ขั้นที่ 2 นำงาน 2 ลำดับแรกที่ได้จากขั้นที่ 1 มาจัดลำดับเพื่อให้ได้ค่าเวลาปฏิบัติงาน (Partial Makespan) ที่สั้นที่สุด

ขั้นที่ 3 ที่ $k = 3$ ถึง n

นำงานที่ k มาแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าเวลาปฏิบัติงานที่สั้นที่สุด



รูปที่ 2.8 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก NEH

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดตารางการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์คือหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีสถานีงานตั้งแต่ 3 สถานีงานขึ้นไป มีลักษณะของปัญหา NP-Complete (Rinnooy Kan [19]) หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน และเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นก็จะใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างเอ็กโปเนนเชียล การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพบว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ที่มีตัวแปร และข้อจำกัดเป็นจำนวนมาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้มีผู้คิดค้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก Enumeration Techniques ได้แก่

วิธีการ Branch and Bound (Baker [2]) อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก ถึงขนาดกลางเท่านั้น ดังนั้นจึงเริ่มมีผู้พัฒนาวิธีการหาค่าตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Procedure) ขึ้นมาหลายวิธี

วิธีการหาค่าตอบแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนเพื่อหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือวิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับ (Constructive Heuristic) ได้แก่วิธีการของ Johnson [11] คือตำแหน่งต่าง ๆ ของลำดับงานที่ดีที่สุดจะถูกระบุโดยใช้กลไกแบบผ่านครั้งเดียว (Single-Pass Mechanism) โดยที่ในแต่ละขั้นของการตัดสินใจ กลไกนี้จะระบุว่า งานที่กำลังพิจารณาควรจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งแรก หรือตำแหน่งสุดท้ายในตำแหน่งทั้งหมดที่เหลืออยู่ ซึ่งได้ทำการพิสูจน์แล้วว่า สามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่ดีที่สุดได้สำหรับปัญหาขนาด 2 และ 3 เครื่องจักร สำหรับปัญหาที่มีขนาดมากกว่า 3 เครื่องจักร วิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับ ได้แก่วิธีการของ Palmer [17] โดยกำหนดลำดับความสำคัญให้กับงานตามแนวโน้มที่จะดำเนินการไปข้างหน้า จากเวลาที่สั้นที่สุดไปสู่เวลาที่นานที่สุดในลำดับของการดำเนินงาน วิธีการของ Gupta [9] เป็นการนำแนวคิดของ Johnson มาประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดมากกว่า 3 เครื่องจักร วิธีการของ Campbell, Dudek และ Smith [4] เสนอวิธีฮิวริสติก CDS โดยใช้แนวคิดเดียวกับ Johnson โดยการสร้างตารางจำนวนมากขึ้นมาเพื่อผู้ตัดสินใจจะเลือกตารางที่ดีที่สุดได้ และ Nawaz, Ensore และ Ham [14] เสนอวิธีฮิวริสติก NEH โดยมีสมมติฐานว่างานที่มีเวลาการดำเนินการรวมจากทุกสถานีงานมากกว่า จะมีสิทธิก่อนงานที่มีเวลาการดำเนินการรวมน้อยกว่า ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับที่ดีที่สุดจากผลการวิจัย [3, 16, 25]

วิธีฮิวริสติกอีกประเภทหนึ่งคือ วิธีฮิวริสติกประเภทที่ปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น (Improvement Heuristic) โดยจะนำคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกประเภทแรก มาพัฒนาหาค่าคำตอบที่ดีขึ้น วิธีฮิวริสติกประเภทหลังนี้รวมไปถึงวิธีการ Neighborhood Search เช่น Simulated Annealing, Tabu Search และ Genetic Algorithm ของ Reeve [20] สำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนได้ทำการวิจัยว่า วิธีการค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search และ Genetic Algorithm สามารถหาค่าตอบที่ดีกว่าวิธี Simulated Annealing ผลการวิจัยของ Nowicki [15] สำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน พบว่าวิธีการค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search และ Genetic Algorithm เป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่ดีที่สุด

วิธีการค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search ได้แก่ Ben-Daya [3] เสนอวิธีการพัฒนาการค้นหาคำตอบแบบ Tabu search สำหรับแก้ปัญหาการจ้ดตารางการผลิตระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ในการหา Neighborhood สำหรับลำดับของงานที่กำหนด ได้ใช้เทคนิคที่มีประสิทธิภาพใน

การสร้าง Neighborhood และ Candidate list และแบบแผนรวม Intensification และ Diversification ที่ยังไม่เคยพิจารณาในก่อนหน้านี้ ผลการวิจัยสรุปว่าวิธีการ Tabu Search นี้ ทำให้ได้คำตอบที่เร็วกว่าการใช้ Tabu Search เดิม รวมทั้งยังได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้วิธีการ Simulate Annealing อีกด้วย นอกจากนี้ Taillard [26] ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการหาคำตอบตั้งต้นสำหรับวิธีการ Tabu search ผลการวิจัยสรุปว่าวิธีฮิวริสติกนี้สามารถหาคำตอบได้เร็วขึ้น แต่ไม่สามารถรับประกันค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่พบว่าถ้าหากให้ใช้ CPU time อย่างเพียงพอ ก็จะสามารถหาคำคำตอบที่ดีที่สุดได้

ส่วนงานวิจัยที่นำวิธีการไฮบริดฮิวริสติก (Hybrid Heuristic) มาใช้ได้แก่ Wang [27] ซึ่งกล่าวว่าปัญหาการจัดตารางการผลิตระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนเป็นปัญหาแบบ NP-hard ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจผลของการใช้ค่าตั้งต้น (Initial) ที่ต่างกัน วิธีการครอสโอเวอร์ และ มิวเทชันของเจเนติกอัลกอริทึม และเสนอวิธีการไฮบริดฮิวริสติก (Hybrid Heuristic) สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยในขั้นตอนแรกได้นำวิธีฮิวริสติก NEH มาใช้ในการหาค่าตั้งต้นสำหรับ GA ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีการมัลติครอสโอเวอร์ ขั้นตอนที่ 3 ได้นำวิธีการ Simulated annealing มาใช้แทนวิธีการมิวเทชันเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหา Neighbour และหลีกเลี่ยงการเจอค่าก่อน Convergence การเปรียบเทียบโดยการใช้ผลจากแบบจำลอง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของวิธีการไฮบริดฮิวริสติก

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานะที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน (Zero Buffer) Weng [28] ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบตามู (Tabu search) ร่วมกับ วิธีการประยุกต์ NEH (Nawaz, Enscore และ Ham) ในการหาคำคำตอบตั้งต้น (Initial Solution) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ หาค่าเฉลี่ยเวลาดำเนินงานของทุกงานที่น้อยที่สุด ผลการวิจัยสรุปว่าวิธีการค้นหาคำตอบแบบตามูทำให้คำตอบที่ได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ Norman [14] ใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบ Tabu Search สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีข้อจำกัดเรื่องสถานะที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน และมีเวลาก่อนการดำเนินงาน (Setup time) ที่ขึ้นอยู่กับลำดับของงาน และ Ronconi [21] กล่าวว่าปัญหาการหาเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุดสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีการบล็อก (Blocking) คือไม่มีพื้นที่ในการเก็บผลิตภัณฑ์ (Buffer) ระหว่างเครื่องจักรที่อยู่ติดกัน ดังนั้นจึงไม่มีแถวคอยของงานในระบบ เป็นปัญหาแบบ NP-hard และได้ทำการเสนอวิธีฮิวริสติก MM, MME และ PFE วิธีฮิวริสติกใหม่ที่น่าเสนอนี้ เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติก NEH ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกที่ดีที่สุดขณะนี้ ผลจากการทดลอง (ถึง 500 งาน และ 20 เครื่องจักร) แสดงให้เห็นว่า วิธีฮิวริสติก MME และ PFE ให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติก NEH นอกจากนี้วิธีฮิวริสติก PFE ให้ผลที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสำหรับ

500 งาน แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีนี้สำหรับปัญหาที่ใหญ่ขึ้นได้ นอกจากนี้ Aldowaisan [1] เสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาการหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุดสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่มีเครื่องจักร m เครื่อง และไม่มีแถวคอยระหว่างเครื่องจักร 2 วิธีฮิวริสติก ที่พัฒนาวิธีการ Simulate Annealing และ Genetic Algorithm ผลจากทดลองพบว่าวิธีการ Simulate Annealing เป็นวิธีที่ดีกว่าอีก 2 วิธีที่เหลือ และสามารถลดค่าความผิดพลาดลงได้ถึง 750% จากวิธีการ Simulate Annealing และ 1960% สำหรับวิธีการ Genetic Algorithm



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

3.1 รูปแบบและลักษณะของปัญหา

ในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน มีลักษณะคือ เป็นการผลิตสินค้าต่างชนิดกันในสายการผลิตเดียวกัน ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นคือความสมดุลในการทำงานของสถานีงาน (Work station) เนื่องจากชิ้นงาน (Work element) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิต เกิดเวลาว่างเปล่า (Idle time) ในสถานีงาน และเวลาคอย (Waiting time) ของงาน ทำให้ประสิทธิภาพของสายการผลิตลดลง การจัดตารางการผลิตที่เหมาะสม จะทำให้เวลาว่างเปล่าในสถานีงาน และเวลาคอยของงานลดลง จึงทำให้เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) สั้นลง ดังนั้นเป้าหมายหลักของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกคือ การตัดสินใจเลือกลำดับของงานที่จะเข้าสู่สายการผลิต เพื่อให้ได้เวลาปิดงานของระบบที่สั้นที่สุด

3.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

แนวทางการแก้ไขปัญหา การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน เพื่อหาเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด เนื่องจากการจัดตารางการผลิตนี้ เป็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากอุปสงค์ของงานที่เกิดขึ้นในรายวัน ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหานั้นจะนำมาประยุกต์ใช้จึงต้องมีประสิทธิภาพที่ดีเพียงพอ และต้องสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว

3.3 การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการหาเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

กำหนด:

i = งาน; $i = 1, \dots, n$

j = สถานีงาน; $j = 1, \dots, m$

k = ตำแหน่งของงานที่อยู่ในลำดับ; $k = 1, \dots, n$

ข้อมูลป้อนเข้า:

p_{ij} = เวลาการดำเนินงานของงานที่ i บนสถานีงานที่ j

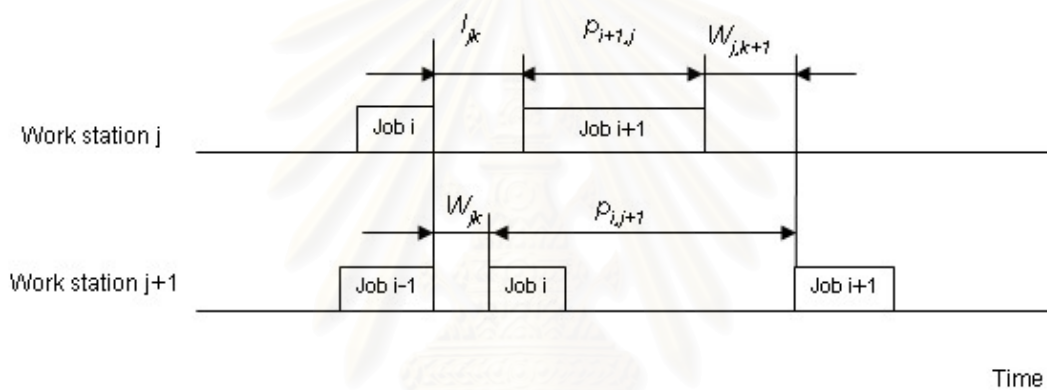
ตัวแปรการตัดสินใจ:

$x_{ik} = 1$ ถ้างาน i อยู่ในตำแหน่งที่ k th ในลำดับ
 $= 0$ อื่น ๆ

ตัวแปรที่ได้จากการคำนวณ:

I_{jk} = เวลาว่างงานบนสถานีงาน j ระหว่างการดำเนินงานในตำแหน่งที่ k และงานในตำแหน่งที่ $k+1$

W_{jk} = เวลาคอยของงานที่อยู่ในตำแหน่งที่ k ระหว่างสถานีงานที่ j และสถานีงานที่ $j+1$



รูปที่ 3.1 ภาพอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการวัตถุประสงค์:

Minimizing the Makespan

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m-1} x_{i,j} p_{ij} + \sum_{k=1}^{n-1} I_{m,k} + \sum_{i=1}^n p_{i,m} + \sum_{j=1}^{m-1} W_{j,1}$$

Subject to

$$1. \quad \sum_{i=1}^n x_{ik} = 1 \quad k = 1, \dots, n$$

ใน 1 ตำแหน่งของลำดับงาน k ใด ๆ จะมีเพียงงานเดียวเท่านั้นที่ถูกจัดลงไป

$$2. \quad \sum_{k=1}^n x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

งาน i ใด ๆ จะถูกจัดลงในเพียง 1 ตำแหน่งของลำดับงานเท่านั้น

$$3. \quad I_{jk} + \sum_{i=1}^n x_{i,k+1} p_{ij} + W_{j,k+1} - W_{jk} - \sum_{i=1}^n x_{ik} p_{i,j+1} - I_{j+1,k} = 0 \quad k=1, \dots, n-1, j=1, \dots, m-1$$

เทียบเวลาระหว่างสถานีงานที่ j และ $j+1$ ดังรูปที่ 3.1

$$4. \quad I_{jk} \geq W_{jk}$$

เวลาร่างงานบนสถานีงาน j ที่เกิดจากการ Blocking

$$5. \quad I_{jk} \geq 0$$

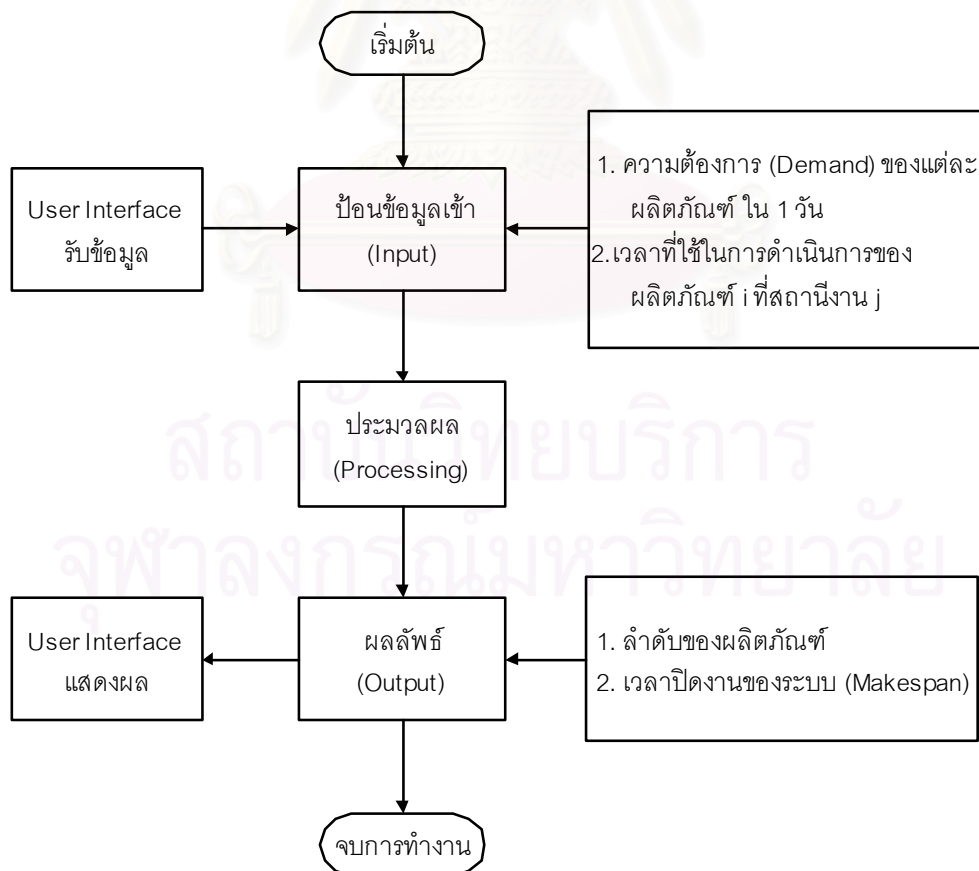
เวลาร่างงานบนสถานีงาน j ใด ๆ จะมามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอ

$$6. \quad W_{jk} \geq 0$$

เวลาคอยของงานในตำแหน่งที่ k ใด ๆ จะมามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอ

3.4 โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบ

โปรแกรมสำหรับหาคำตอบของปัญหา การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานีที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน มี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการป้อนข้อมูลเข้า (Input) ขั้นตอนการประมวลผล (Processing) และขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์ (Output) และสรุปผล โดยมีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบ

3.4.1 ขั้นตอนการป้อนข้อมูลเข้า (Input)

ข้อมูลที่จะต้องใช้ในการประมวลผลมีดังนี้

- ความต้องการ (Demand) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ ใน 1 วัน
- เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ในแต่ละสถานีงาน

ข้อมูลนำเข้าจะเป็นข้อมูลจริงที่เก็บจากโรงงาน และข้อมูลจาก OR-Library โดยข้อมูลเหล่านี้จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.

3.4.2 ขั้นตอนการประมวลผล (Processing)

สำหรับวิธีวิฤติคที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างสถานีงาน มีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

i = งาน; $i = 1, \dots, n$

j = สถานีงาน; $j = 1, \dots, m$

k = ตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ในลำดับ; $k = 1, \dots, n$

p_{ij} = เวลาการดำเนินการ (Processing time) ของงาน i ที่สถานีงาน j

$D_{ik,j}$ = เวลาที่งาน i ที่อยู่ลำดับที่ k ออกจาก (Departure time) สถานีงาน j

$$D_{i1,j} = \sum_{j=1}^m p_{i1,j}$$

$$D_{ik,j} = \max(D_{ik,j-1} + p_{ik,j}, D_{ik-1,j+1}) \quad j = 1, \dots, m, \quad k = 2, \dots, n$$

$$D_{ik,m} = D_{ik,m-1} + p_{ik,m} \quad \forall k$$

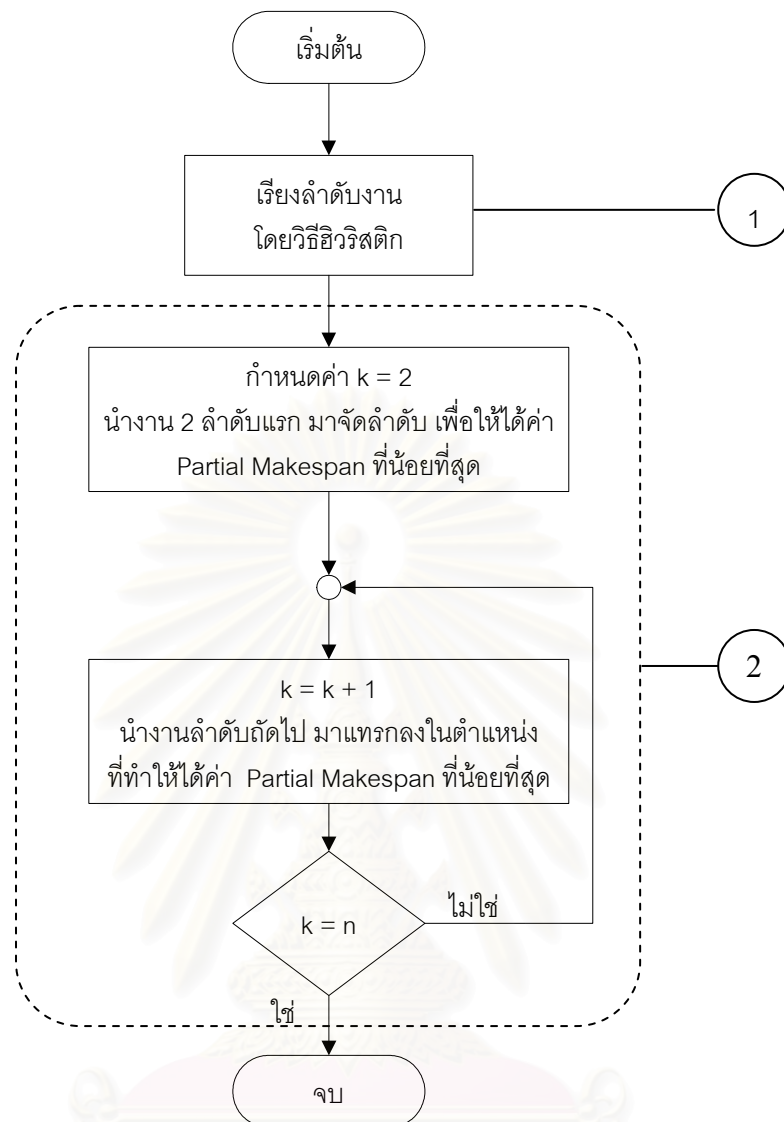
3.4.3 ขั้นตอนการแสดงผลลัพธ์ (Output) และสรุปผล

ข้อมูลที่จะทำการแสดงผลออกมา มีดังต่อไปนี้

- ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่จัดเข้าสู่สายการประกอบ ที่ทำให้ค่าเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) น้อยที่สุด
- เวลาปิดงานของระบบ

3.5 กระบวนการทำงานของวิธีวิฤติคที่นำเสนอ

กระบวนการทำงานของวิธีวิฤติคที่นำเสนอ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเรียงลำดับงานเริ่มต้น (Initial Sequence) และขั้นตอนการแทรกงาน (Insertion) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการทำงานของวิธีฮิวริสติก

3.5.1 วิธีการเรียงลำดับงานเริ่มต้น

วิธีการเรียงลำดับงานเริ่มต้น จะใช้วิธีการดังต่อไปนี้

- วิธีฮิวริสติก NEH

ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 วิธีฮิวริสติก NEH มีวิธีการคือ เรียงงาน n งานตามลำดับผลรวมของเวลาการดำเนินงานของทุกสถานีงาน ตามลำดับจากมากไปหาน้อย

- วิธีอีวริสติกของ Palmer

ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 วิธีอีวริสติกของ Palmer ได้เสนอค่าดัชนีความชัน (Slope index, S_j) สำหรับแต่ละงาน โดยที่

$$S_i = (m-1)p_{ij} + (m-3)p_{i,j-1} + (m-5)p_{i,j-2} + \dots - (m-3)p_{i2} - (m-1)p_{i1}$$

จากนั้นจะสร้างลำดับงานโดยเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$

- วิธีอีวริสติกของ Gupta

ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 2 วิธีอีวริสติกของ Gupta ได้เสนอค่าดัชนีความชันสำหรับแต่ละงาน ดังนี้

$$S_i = \frac{e_i}{\min_{1 \leq k \leq m-1} \{p_{ik} + p_{i,k+1}\}}$$

โดยที่ $e_j = 1$ ถ้า $p_{i1} < p_{im}$ และ $e_j = -1$ ถ้า $p_{i1} \geq p_{im}$ จากนั้นจะสร้างลำดับงานโดยเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$

- วิธี Sum Absolute Differences (SAD) ของ Framinan et al. [6]

วิธีการนี้มีแนวคิดคือการวัดความเหมือนกันของงาน โดยพิจารณาที่ความเหมือนกันของเวลาการดำเนินงานของงานที่แตกต่างกันที่อยู่บนสถานีงานเดียวกัน

ผลรวมค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างเวลาในการดำเนินงานบนแต่ละสถานีงาน ของแต่ละงานกับงานอื่น ๆ มีค่าดังนี้

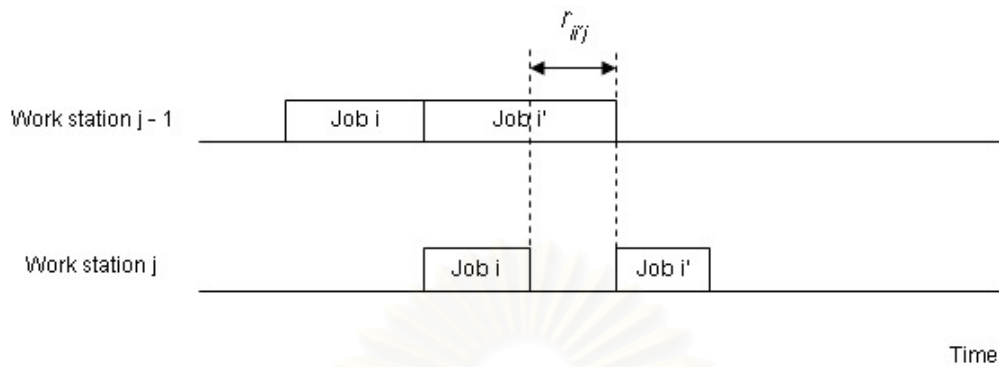
$$S_i = \sum_{j=1}^m \sum_{i'=1}^n |p_{ij} - p_{i'j}|$$

จากนั้นจะสร้างลำดับงานโดยเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$

- วิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith [26]

วิธีการนี้มีแนวคิดคือต้องการที่จะลดการบล็อกกันของงาน และเวลาว่างงานบนสถานีงานให้มากที่สุด โดยพิจารณางาน i และงาน i' กำหนดให้งาน i ถูกจัดลงในลำดับการผลิตก่อนงาน i' ดังนั้นถ้าหากเวลาการดำเนินงาน p_{ij} เท่ากับ $p_{i-1,j}$ แล้วสำหรับทุกสถานีงาน

$i = 2, \dots, m$ จะไม่เกิดการบล็อกกันของงาน (ถ้าหาก $p_{i-1, j'} < p_{ij}$) หรือเวลาว่างงานบนสถานีงาน (ถ้าหาก $p_{i-1, j'} > p_{ij}$) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วิธีการ Sum Absolute Residuals

$$r_{ii'j} = p_{ij} - p_{i',j-1}$$

$$S_i = \sum_{i' \neq i} \sum_{j=2}^m |r_{ii'j}|$$

จากนั้นจะสร้างลำดับงานโดยเรียงงานตามลำดับดังนี้ $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_n$

3.5.2 วิธีการแทรกงาน

ขั้นตอนการแทรกงาน จะใช้วิธีการแทรกงานจากวิธีฮิวริสติก NEH โดยมีวิธีการ

ดังนี้

ขั้นที่ 1 เรียงงาน n งานตามลำดับจากหัวข้อที่ 3.5.1

ขั้นที่ 2 นำงาน 2 ลำดับแรกที่ได้จากขั้นที่ 1 มาจัดลำดับเพื่อให้ได้ค่าเวลาปิดงาน (Partial Makespan) ที่สั้นที่สุด

ขั้นที่ 3 ที่ $k = 3$ ถึง n

นำงานที่ k มาแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าเวลาปิดงานที่สั้นที่สุด

3.6 ตัวอย่างการคำนวณของวิธีฮิวริสติก

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเวลาการดำเนินงาน เพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณ

งาน สถานีงาน	1	2	3	4	5
1	6	4	3	9	5
2	8	1	9	5	6
3	2	1	5	8	9
ผลรวม	16	6	17	22	17

3.6.1 การเรียงลำดับงานเริ่มต้น

- วิธีฮิวริสติก NEH

วิธีฮิวริสติก NEH มีวิธีการเรียงงานตามลำดับผลรวมของเวลาการดำเนินงานของทุกสถานีงาน ตามลำดับจากมากไปหาน้อย จากตัวอย่าง จะได้ลำดับงานคือ

$$4 - 3 - 5 - 2 - 1$$

- วิธีฮิวริสติกของ Palmer

จากตัวอย่าง จะได้ค่าดัชนีความชันของแต่ละงาน ดังนี้

$$S_1 = (3 - 1)(2) + 0 - (3 - 1)(6) = -8$$

$$S_2 = (3 - 1)(1) + 0 - (3 - 1)(4) = -6$$

$$S_3 = (3 - 1)(5) + 0 - (3 - 1)(3) = 4$$

$$S_4 = (3 - 1)(8) + 0 - (3 - 1)(9) = -2$$

$$S_5 = (3 - 1)(6) + 0 - (3 - 1)(5) = 2$$

ลำดับงานที่ได้คือ 3 - 5 - 4 - 2 - 1

- วิธีฮิวริสติกของ Gupta

จากตัวอย่าง จะได้ค่าดัชนีความชันของแต่ละงาน ดังนี้

$$S_1 = \frac{-1}{\min\{6+8, 8+2\}} = -\frac{1}{10}$$

$$S_2 = \frac{-1}{\min\{4+1, 1+1\}} = -\frac{1}{2}$$

$$S_3 = \frac{1}{\min\{3+9, 9+5\}} = \frac{1}{12}$$

$$S_4 = \frac{-1}{\min\{9+5, 5+8\}} = -\frac{1}{13}$$

$$S_5 = \frac{1}{\min\{5+6, 6+6\}} = \frac{1}{11}$$

ลำดับงานที่ได้คือ 5 - 3 - 4 - 1 - 2

- Sum Absolute Differences (SAD)

จากตัวอย่าง จะได้ค่าดัชนีความชันของแต่ละงาน ดังนี้

$$\begin{aligned} S_1 &= |6-4|+|6-3|+|6-9|+|6-5|+|8-1|+|8-9|+|8-5|+|8-6|+|2-1|+|2-5|+|2-8|+|2-9| \\ &= 39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= |4-6|+|4-3|+|4-9|+|4-5|+|1-8|+|1-9|+|1-5|+|1-6|+|1-2|+|1-5|+|1-8|+|1-9| \\ &= 53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_3 &= |3-6|+|3-4|+|3-9|+|3-5|+|9-8|+|9-1|+|9-5|+|9-6|+|5-2|+|5-1|+|5-8|+|5-9| \\ &= 42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_4 &= |9-6|+|9-4|+|9-3|+|9-5|+|5-8|+|5-1|+|5-9|+|5-6|+|8-2|+|8-1|+|8-5|+|8-9| \\ &= 41 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_5 &= |5-6|+|5-4|+|5-3|+|5-9|+|6-8|+|6-1|+|6-9|+|6-5|+|9-2|+|9-1|+|9-5|+|9-8| \\ &= 42 \end{aligned}$$

ลำดับงานที่ได้คือ 2 - 3 - 5 - 4 - 1

- Sum Absolute Residuals (SAR)

จากตัวอย่าง จะได้ค่าดัชนีความชันของแต่ละงาน ดังนี้

$$\begin{aligned} S_1 &= |8-4|+|2-1|+|8-3|+|2-9|+|8-9|+|2-5|+|8-5|+|2-6| \\ &= 28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= |1-6|+|1-8|+|1-3|+|1-9|+|1-9|+|1-5|+|1-5|+|1-6| \\ &= 48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_3 &= |9-6|+|5-8|+|9-4|+|5-1|+|9-9|+|5-5|+|9-5|+|5-6| \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_4 &= |5-6|+|8-8|+|5-4|+|8-1|+|5-3|+|8-9|+|5-5|+|8-6| \\ &= 14 \end{aligned}$$

$$S_5 = |6-6| + |6-8| + |6-4| + |6-1| + |6-3| + |6-9| + |6-9| + |6-5|$$

$$= 19$$

ลำดับงานที่ได้คือ 2-1-3-5-4

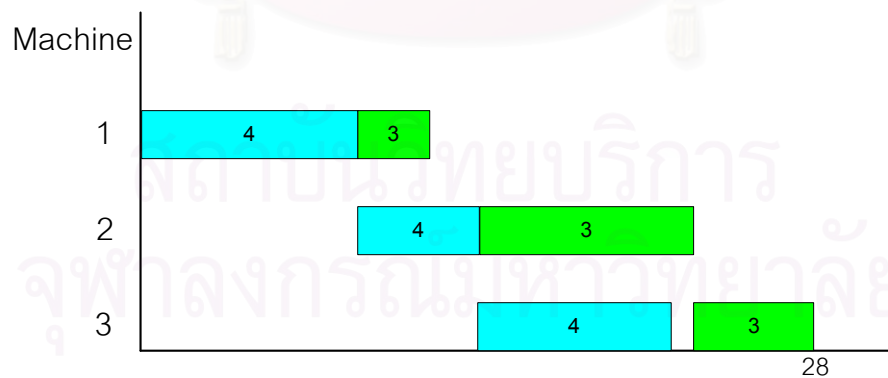
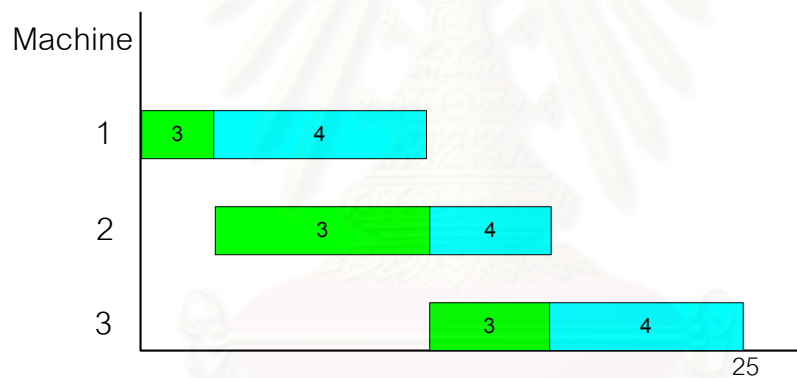
3.6.2 การแทรกงาน

ในนี้จะยกตัวอย่างวิธีการแทรกงาน โดยใช้ลำดับงานเริ่มต้นที่ได้จากวิธีวิริสติก

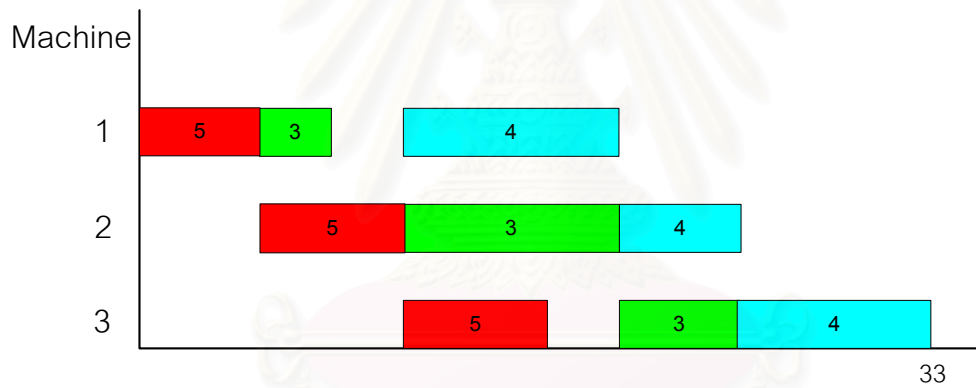
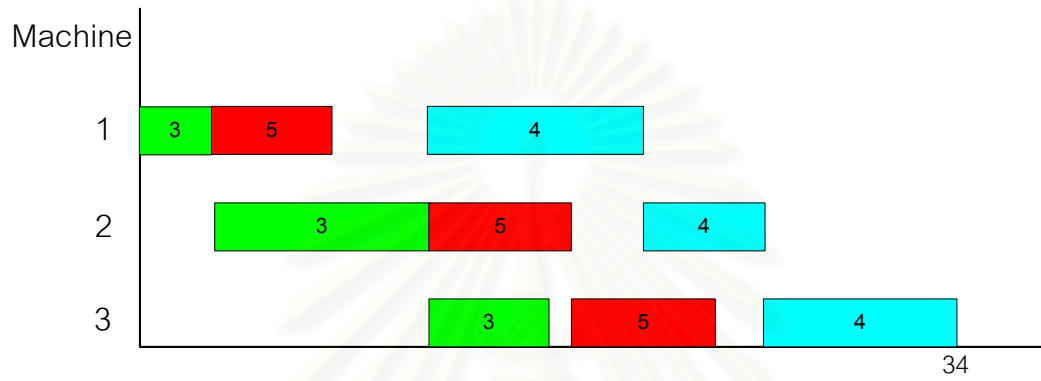
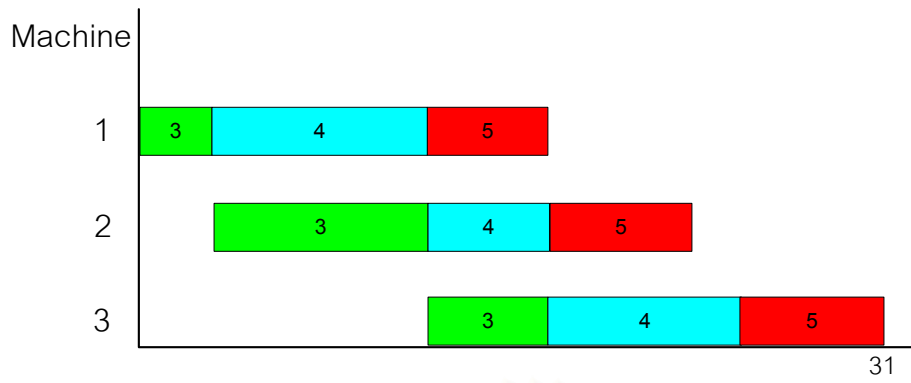
NEH

ขั้นที่ 1 เรียงงานตามลำดับผลรวมของเวลาการดำเนินงานของทุกสถานีงาน ตามลำดับจากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ {4,3,5,1,2}

ขั้นที่ 2 นำงาน 2 ลำดับแรกที่ได้จากขั้นที่ 1 คืองาน 4 และงาน 3 มาจัดลำดับเพื่อให้ได้ค่าเวลาปิดงาน (Partial Makespan) ที่สั้นที่สุด

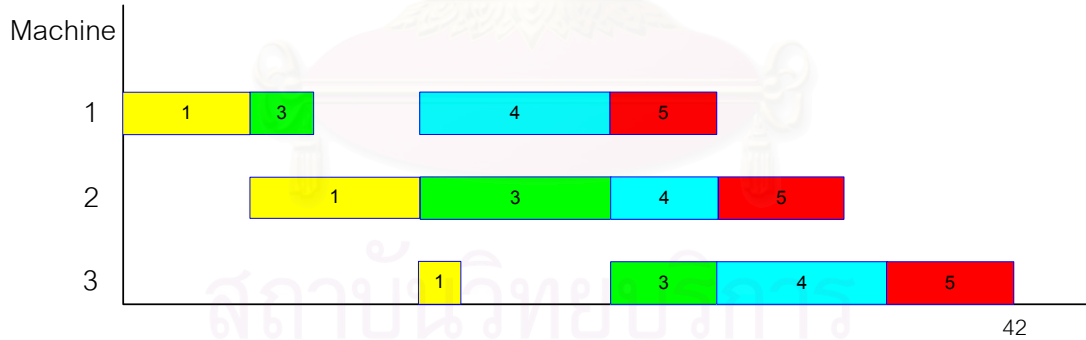
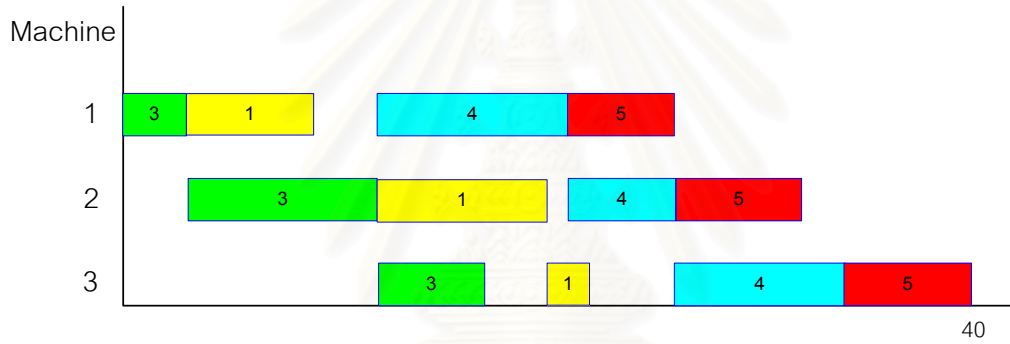
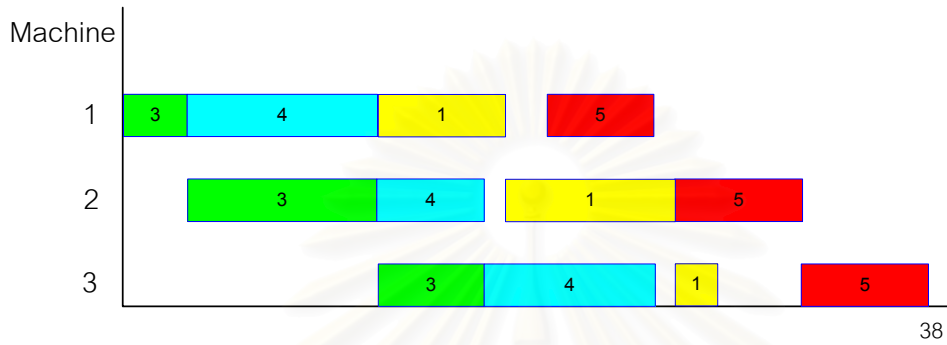
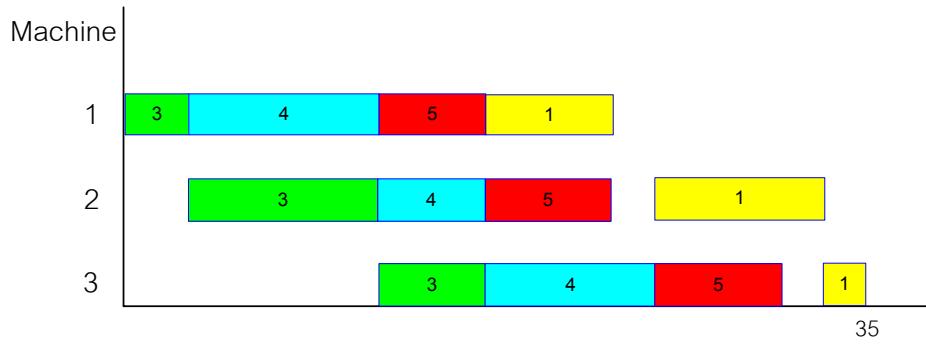


ขั้นที่ 3 จากขั้นที่ 2 เลือกลำดับของงาน {3,4} จากนั้นนำงานที่ 5 มาแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าเวลาปิดงานที่สั้นที่สุด

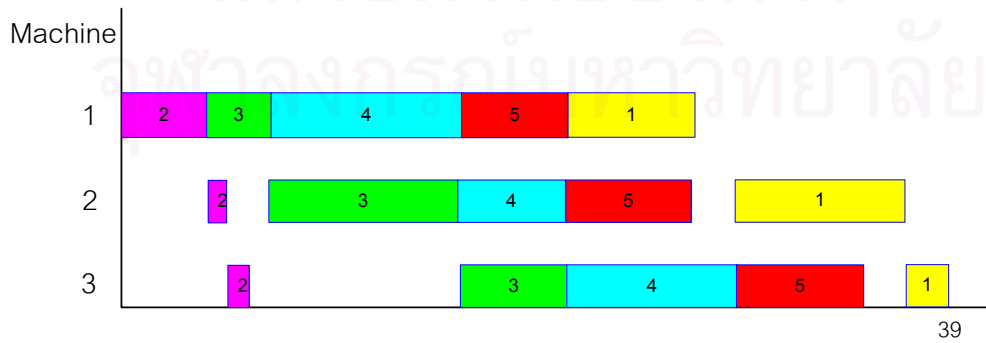
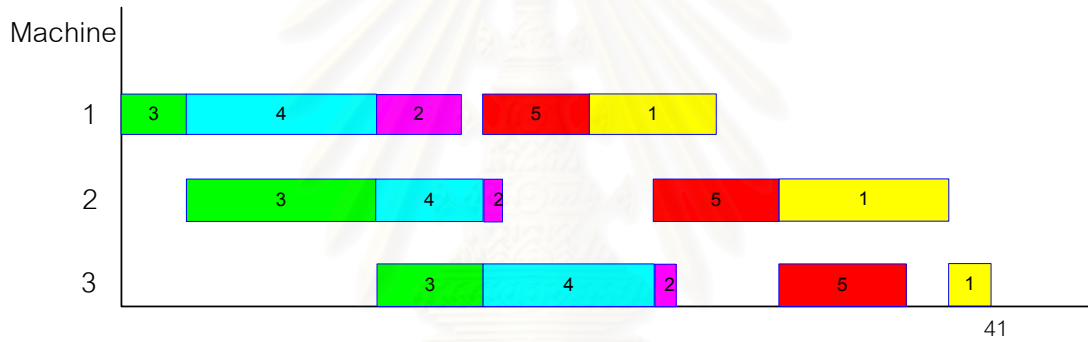
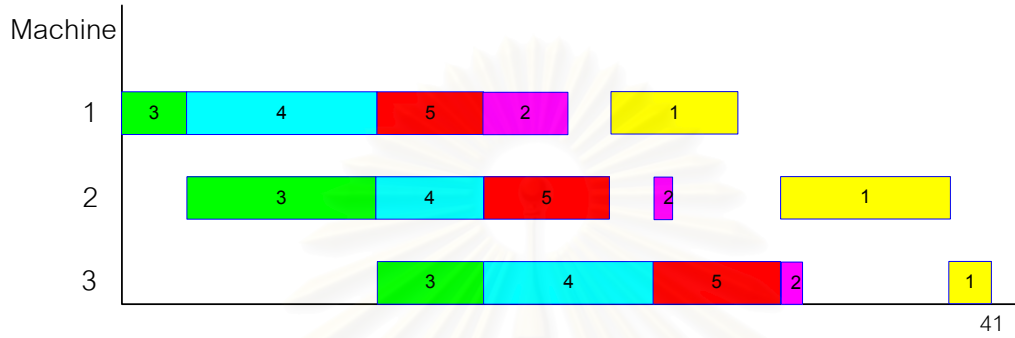
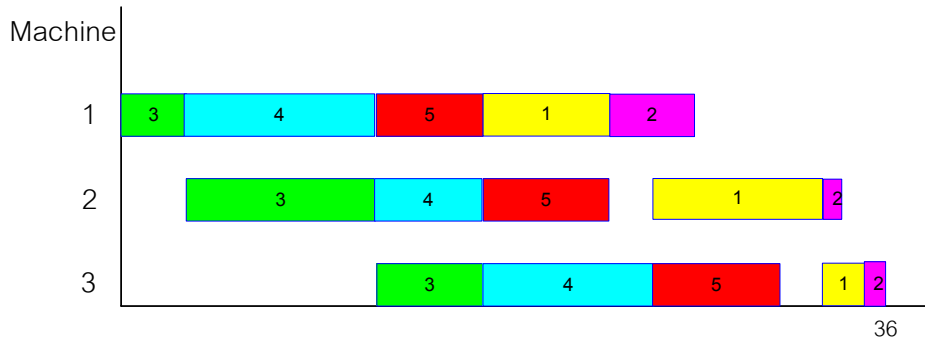


ขั้นที่ 4 จากขั้นที่ 3 เลือกลำดับของงาน {3,4,5} จากนั้นนำงานที่ 1 มาแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าเวลาปิดงานที่สั้นที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ขั้นที่ 5 จากขั้นที่ 4 เลือกลำดับของงาน {3,4,5,1} จากนั้นนำงานที่ 2 มาแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้ได้ค่าเวลาปิดงานที่สั้นที่สุด



ขั้นที่ 6 จากขั้นที่ 5 เลือกลำดับของงาน {3,4,5,1,2} ที่มีค่า Makespan = 36

บทที่ 4

ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัย

ในบทนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ในส่วนแรกคือส่วนของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก เป็นการทดสอบใช้วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนา กับข้อมูลเวลาการดำเนินงานที่เป็นค่าคงที่จาก OR-Library เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา กับวิธีฮิวริสติก NEH ในด้านคุณภาพของคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบที่ดีที่สุด ในส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบการใช้วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ได้จากส่วนของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก กับข้อมูลเวลาการดำเนินงานจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา จากนั้นเปรียบเทียบค่าเวลาปิดงานที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับคำตอบที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และข้อมูลที่ได้จากการทำงานจริงในปัจจุบันของโรงงาน จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม และประสิทธิภาพการทำงานของกรรมวิธีการแก้ปัญหาที่นำมาประยุกต์ใช้ เพื่อหาวิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมที่สุดกับสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา จึงมีวิธีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา

4.1 ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัยการพัฒนาฮิวริสติก

4.1.1 วิธีการทดสอบการพัฒนาฮิวริสติก

การทดสอบประสิทธิภาพของการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก ที่มีวัตถุประสงค์ให้เวลาปิดงาน (Makespan) ของระบบน้อยที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ และเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH โดยกำหนดให้ข้อมูลนำเข้ามีค่าคงที่ (Constant) เพื่อหาตารางการผลิตที่เหมาะสม การทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก จะทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel ® Celeron™ 1.00GHz และ หน่วยความจำ 256 Mb และแก้ปัญหาด้วยวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม CPLEX 8.0

4.1.2 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก จะเป็นข้อมูลที่นำมาจาก OR-Library เป็นข้อมูลค่าคงที่ของเวลาการดำเนินงานในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน นำมาจากเว็บไซต์ <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jep/orlib/flowshopshopinfo.html> OR-Library เป็นข้อมูลของเวลาการดำเนินงานที่มีจำนวนงาน และจำนวนสถานีงานที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในภาคผนวก ข.

4.1.3 ผลการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

ค่าเวลาปิดงานของระบบที่เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH และจากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, Gupta, วิธี Sum Absolute Differences (SAD) และวิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith จะแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดกับวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา จะแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนาเปรียบเทียบกับคำตอบของวิธี NEH จะแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธี NEH และวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนา จะแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบ การพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

Problem	Job x Station	Optimal	Makespan				
			NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD
car1	11x5	7409	8305	7927	7835	7706	7759
car2	13x4	7503	8333	8368	8434	8210	7971
car3	12x5	8014	8588	8121	8335	8473	8418
car4	14x4	8738	9251	9343	9234	9011	9096
car5	10x6	8218	8923	8759	8673	8442	8748
car6	8x9	8873	9046	8987	9005	9206	9206
car7	7x7	6788	6788	7077	7007	7040	6892
car8	8x8	8585	8658	8679	8896	8679	9001
hel	20x10	148	172	159	162	165	159
rec01	20x5	1478	1624	1511	1526	1538	1492
rec03	20x5	1302	1412	1381	1356	1434	1357
rec05	20x5	1432	1547	1527	1509	1492	1452
rec07	20x10	1753	1945	1842	1794	1786	1804
rec09	20x10	1755	1906	1799	1824	1935	1895
rec11	20x10	1654	1797	1685	1682	1778	1715
rec13	20x15	2145	2157	2181	2200	2213	2237
rec15	20x15	2109	2179	2185	2152	2187	2178
rec17	20x15	2148	2178	2299	2251	2268	2296

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่นำเสนอ เปรียบเทียบคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ (%Difference) จาก

$$\%Difference = \left(\frac{\text{HeuristicSolution} - \text{OptimalSolution}}{\text{OptimalSolution}} \right) \times 100\%$$

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดกับวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา

Problem	Difference					%Difference				
	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD
car1	896	518	426	297	350	12.09	6.99	5.75	4.01	4.72
car2	830	865	931	707	468	11.06	11.53	12.41	9.42	6.24
car3	574	107	321	459	404	7.16	1.34	4.01	5.73	5.04
car4	513	605	496	273	358	5.87	6.92	5.68	3.12	4.10
car5	705	541	455	224	530	8.58	6.58	5.54	2.73	6.45
car6	173	114	132	333	333	1.95	1.28	1.49	3.75	3.75
car7	0	289	219	252	104	0.00	4.26	3.23	3.71	1.53
car8	73	94	311	94	416	0.85	1.09	3.62	1.09	4.85
hel	24	11	14	17	11	16.22	7.43	9.46	11.49	7.43
rec01	146	33	48	60	14	9.88	2.23	3.25	4.06	0.95
rec03	110	79	54	132	55	8.45	6.07	4.15	10.14	4.22
rec05	115	95	77	60	20	8.03	6.63	5.38	4.19	1.40
rec07	192	89	41	33	51	10.95	5.08	2.34	1.88	2.91
rec09	151	44	69	180	140	8.60	2.51	3.93	10.26	7.98
rec11	143	31	28	124	61	8.65	1.87	1.69	7.50	3.69
rec13	12	36	55	68	92	0.56	1.68	2.56	3.17	4.29
rec15	70	76	43	78	69	3.32	3.60	2.04	3.70	3.27
rec17	30	151	103	120	148	1.40	7.03	4.80	5.59	6.89
Average						6.87	4.67	4.52	5.31	4.43

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลคำตอบเวลาปิดงานของระบบ ที่ได้จากวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนา กับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

Problem	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD	NEH-Palmer	NEH-Gupta	NEH-SAR	NEH-SAD
car1	8305	7927	7835	7706	7759	378	470	599	546
car2	8333	8368	8434	8210	7971	-35	-101	123	362
car3	8588	8121	8335	8473	8418	467	253	115	170
car4	9251	9343	9234	9011	9096	-92	17	240	155
car5	8923	8759	8673	8442	8748	164	250	481	175
car6	9046	8987	9005	9206	9206	59	41	-160	-160
car7	6788	7077	7007	7040	6892	-289	-219	-252	-104
car8	8658	8679	8896	8679	9001	-21	-238	-21	-343
hel	172	159	162	165	159	13	10	7	13
rec01	1624	1511	1526	1538	1492	113	98	86	132
rec03	1412	1381	1356	1434	1357	31	56	-22	55
rec05	1547	1527	1509	1492	1452	20	38	55	95
rec07	1945	1842	1794	1786	1804	103	151	159	141
rec09	1906	1799	1824	1935	1895	107	82	-29	11
rec11	1797	1685	1682	1778	1715	112	115	19	82
rec13	2157	2181	2200	2213	2237	-24	-43	-56	-80
rec15	2179	2185	2152	2187	2178	-6	27	-8	1
rec17	2178	2299	2251	2268	2296	-121	-73	-90	-118
Average						54.39	51.89	69.22	62.94

จากตารางที่ 4.3 พบว่า จากปัญหาทั้งหมด 18 ปัญหา วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนา สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้น และค่าคำตอบที่แย่ลงกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนปัญหาที่วิธีฮิวริสติกที่พัฒนา สามารถหาคำคำตอบที่ดีที่สุด และแย่งจากวิธีฮิวริสติก NEH

วิธีฮิวริสติกที่พัฒนา	ปัญหาที่มีคำตอบดีขึ้น	ปัญหาที่มีคำตอบแย่ง
Palmer	11	7
Gupta	13	5
SAR	10	8
SAD	13	5

เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนาเป็นดังตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (วินาที)

Problem	Job x Station	Optimal	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD
car1	11x5	36.4124	0.0117	0.0117	0.0117	0.0000	0.0000
car2	13x4	38.8859	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
car3	12x5	67.487	0.0000	0.0000	0.0078	0.0000	0.0000
car4	14x4	989.753	0.0000	0.0000	0.0078	0.0000	0.0078
car5	10x6	17.3249	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
car6	8x9	5.48789	0.0000	0.0117	0.0078	0.0195	0.0000
car7	7x7	1.42204	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
car8	8x8	5.0072	0.0078	0.0000	0.0078	0.0000	0.0000
hel	20x10	12465.1	0.0313	0.0273	0.0313	0.0391	0.0391
rec01	20x5	2356.43	0.0195	0.0117	0.0195	0.0195	0.0195
rec03	20x5	1245.42	0.0078	0.0234	0.0195	0.0195	0.0430
rec05	20x5	2451.59	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0234
rec07	20x10	25687.2	0.0391	0.0313	0.0273	0.0430	0.0391
rec09	20x10	9845.33	0.0313	0.0273	0.0430	0.0430	0.0430
rec11	20x10	15987.3	0.0313	0.0313	0.0313	0.0391	0.0430
rec13	20x15	59874.8	0.0508	0.0625	0.0391	0.0703	0.0508
rec15	20x15	123655	0.0391	0.0508	0.0469	0.0703	0.0625
rec17	20x15	47852.5	0.0508	0.0391	0.0430	0.0586	0.0586
Average		16810.1	0.0189	0.0193	0.0202	0.0245	0.0239

จากตารางที่ 4.5 พบว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการคำนวณโดยเฉลี่ย 16810.1 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจาก Palmer, Gupta, SAR และ SAD จะเป็น 0.0189, 0.0193, 0.0202 และ 0.0245 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลามากกว่าวิธีฮิวริสติกมาก และเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกแบบต่าง ๆ จะแตกต่างกันไม่มากนัก

4.1.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนา

การวิเคราะห์ผลการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติก NEH เพื่อทดสอบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถนำมาใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ เพื่อให้ได้เวลาปิดงานของระบบที่น้อยกว่าคำตอบจากวิธีฮิวริสติก NEH หรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยเมื่อต้องเก็บข้อมูลเป็นคู่ (Paired t-test) เพื่อทดสอบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น มีสูตรในการหาสถิติสำหรับทดสอบดังนี้

$$t = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{s_D}$$

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$s_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

จากนั้นทำการเปรียบเทียบแต่ละคู่ โดยจากตารางที่ 4.1 สามารถหาค่า s_D และค่า t ของแต่ละวิธี ได้ดังตารางที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่า s_D และค่า t จากวิธีฮิวริสติก NEH กับวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

Problem	$(D_i - \bar{D})^2$			
	NEH-Palmer	NEH-Gupta	NEH-SAR	NEH-SAD
car1	104724.1512	174816.9012	280664.4938	233342.6698
car2	7990.3735	23375.0123	2892.0494	89434.2253
car3	170247.9290	40445.6790	2095.6049	11460.8920
car4	21429.7068	1217.2346	29165.0494	8474.2253
car5	12014.5957	39248.0123	169560.9383	12556.4475
car6	21.2623	118.5679	52542.8272	49704.2253
car7	117915.9290	73380.7901	103183.7160	27870.4475
car8	5683.4846	84035.5679	8140.0494	164790.8920
hel	1713.0401	1754.6790	3871.6049	2494.4475
rec01	3435.2623	2126.2346	281.4938	4768.6698
rec03	547.0401	16.9012	8321.4938	63.1142
rec05	1182.5957	192.9012	202.2716	1027.5586
rec07	2363.0401	9823.0123	8060.0494	6092.6698
rec09	2767.9290	906.6790	9647.6049	2698.2253
rec11	3319.0401	3983.0123	2522.2716	363.1142
rec13	6144.8179	9003.9012	15680.6049	20433.1142
rec15	3646.8179	619.4568	5963.2716	3837.1142
rec17	30761.2623	15597.2346	25351.7160	32740.8920
$\sum_{i=1}^{18} (D_i - \bar{D})^2$	495908.2778	480661.7778	728147.1111	672152.9444
s_D	170.7954	168.1494	206.9594	198.8427
t	1.3510	1.3092	1.4190	1.3430

ทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 10% โดยทำการค่าตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH กับวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาที่ละคู่ ดังต่อไปนี้

- วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer
กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{NEH} \leq \mu_{Palmer}$$

$$H_1: \mu_{NEH} > \mu_{Palmer}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.10,17} = 1.333$ จะพบว่า ค่า $t = 1.3510 > 1.333$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer จะดีกว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

- วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Gupta
กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{NEH} \leq \mu_{Gupta}$$

$$H_1: \mu_{NEH} > \mu_{Gupta}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.10,17} = 1.333$ จะพบว่า ค่า $t = 1.3092 \leq 1.333$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH จะดีกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Gupta ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

- วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ SAR
กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{NEH} = \mu_{Palmer}$$

$$H_1: \mu_{NEH} > \mu_{Palmer}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.10,17} = 1.333$ จะพบว่า ค่า $t = 1.4190 > 1.333$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ SAR จะดีกว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

- วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ SAD
กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{NEH} = \mu_{Palmer}$$

$$H_1: \mu_{NEH} > \mu_{Palmer}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.10,17} = 1.333$ จะพบว่า ค่า $t = 1.3410 > 1.333$ ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ SAD จะดีกว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

ผลการทดสอบความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่ได้พัฒนา เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติก NEH พบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี SAD และวิธี SAR สามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบได้น้อยกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ระดับนัยสำคัญ 10% แต่จะพบว่าค่าเวลาปิดงานของระบบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH จะดีกว่าหรือเท่ากับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Gupta ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

จากนั้นทำการทดสอบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น มีความสามารถในการหาคำตอบที่แตกต่างกันหรือไม่ เพื่อหาว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นวิธีใดที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการมากที่สุด โดยใช้วิธีการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยเมื่อต้องเก็บข้อมูลเป็นคู่ ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.7 ค่า s_D และค่า t จากการเปรียบเทียบระหว่างวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

Problem	$(D_i - \bar{D})^2$		
	Palmer-SAR	Palmer-SAD	SAR-SAD
car1	42504.6944	25422.5309	2182.9660
car2	20496.6944	150889.0864	60161.1883
car3	134566.6944	93364.1975	3754.9660
car4	100594.6944	56855.7531	6197.1883
car5	91304.6944	5.9753	89833.4105
car6	54678.0278	51781.5309	39.4105
car7	491.3611	31132.6420	23801.6327
car8	220.0278	109266.9753	99680.5216
hel	434.0278	73.1975	150.7438
rec01	1750.0278	109.0864	2732.9660
rec03	4601.3611	238.5309	6935.1883
rec05	406.6944	4414.8642	2141.6327
rec07	1694.6944	866.9753	137.4105
rec09	22750.6944	10931.8642	2141.6327
rec11	11628.0278	1486.5309	4799.4105
rec13	2193.3611	4167.4198	314.0772
rec15	283.3611	2.4198	233.4105
rec17	261.3611	30.8642	471.8549
$\sum_{i=1}^{18} (D_i - \bar{D})^2$	490860.5000	541040.4444	305709.6111
s_D	169.9239	178.3982	134.1004
t	0.3704	0.2035	-0.1986

ทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 10% โดยทำการคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH กับวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาที่ละคู่ ดังต่อไปนี้

- วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAR กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{Palmer} = \mu_{SAR}$$

$$H_1: \mu_{Palmer} \neq \mu_{SAR}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.05,17} = 1.740$ จะพบว่า ค่า $|t| = 0.3074 < 1.740$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่า ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAR ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

- วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{Palmer} = \mu_{SAD}$$

$$H_1: \mu_{Palmer} \neq \mu_{SAD}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.05,17} = 1.740$ จะพบว่า ค่า $|t| = 0.2035 < 1.740$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่า ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

- วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAR และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD กำหนดลักษณะสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \mu_{SAR} = \mu_{SAD}$$

$$H_1: \mu_{SAR} \neq \mu_{SAD}$$

จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ t ในภาคผนวก ค. จะได้ค่า $t_{0.05,17} = 1.740$ จะพบว่า ค่า $|t| = 0.1986 < 1.740$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_0 แล้วสรุปว่า ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAR จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD ด้วยระดับนัยสำคัญ 10%

ผลการทดสอบพบว่า วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี SAR และวิธี SAD มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ไม่ต่างกัน นั่นคือมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 10%

จากนั้นเป็นการนำวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี SAR และวิธี SAD มาทดสอบใช้กับข้อมูลจากสายการผลิต ในโรงงานกรณีศึกษา เพื่อหาวิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมที่สุด

4.1.5 บทสรุป

การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ เพื่อให้ได้ค่าเวลาปิดงานของระบบน้อยที่สุด โดยผลการทดสอบความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่ได้พัฒนา เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติก NEH พบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี Sum Absolute Differences (SAD) และวิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith จะสามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบได้น้อยกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ระดับนัยสำคัญ 10% แต่จะพบว่าค่าเวลาปิดงานของระบบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH จะดีกว่าหรือเท่ากับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Gupta ด้วยระดับนัยสำคัญ 10% ในด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบจากวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาพบว่า เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะแตกต่างกันไม่มากนัก และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาที่ดีขึ้นจากวิธีฮิวริสติก NEH วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี SAR และวิธี SAD มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ไม่ต่างกัน นั่นคือมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 10%

4.2 ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัยกับโรงงานกรณีศึกษา

4.2.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก NEH ที่มีวัตถุประสงค์ให้เวลาปิดงาน (Makespan) ของระบบน้อยที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ และข้อมูลเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตในปัจจุบันของสายการผลิตกรณีศึกษา

โดยกำหนดให้ข้อมูลนำเข้ามีค่าคงที่ (Constant) เพื่อหาตารางการผลิตที่เหมาะสม การทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก จะทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Celeron™ 1.00GHz และหน่วยความจำ 256 Mb และแก้ปัญหาด้วยวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม CPLEX 8.0

4.2.2 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้จาก ข้อมูลนำเข้าจะเป็นข้อมูลจริงที่เก็บจากโรงงานกรณีศึกษา โดยในสายการประกอบของโรงงานประกอบรถยนต์ที่เป็นกรณีศึกษา จะมีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 17 สถานีงาน และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 4 รุ่น โดยกำหนดให้เวลาการดำเนินงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการศึกษาการทำงาน ในแต่ละสถานีมีค่าคงที่ ดังแสดงในภาคผนวก ก.

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ จะอ้างอิงจากกำลังการผลิต และการวางแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยในปัจจุบันนี้โรงงานกรณีศึกษาจะมีกำลังการผลิต คือรถยนต์ 8 คันต่อวัน และการวางแผนการผลิตคือ ฝ่ายการผลิตจะกำหนดแผนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 - 3 วัน นั่นคือวางแผนการผลิต 8, 16 และ 24 คัน ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต จะมีลักษณะที่คละกันไป โดยการทดสอบ จะขอยกตัวอย่างจากแผนการผลิตดังต่อไปนี้

- 1) แผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน (8 คัน) จำนวน 16 ปัญหา
- 2) แผนการผลิตล่วงหน้า 2 วัน (16 คัน) จำนวน 13 ปัญหา
- 3) แผนการผลิตล่วงหน้า 3 วัน (24 คัน) จำนวน 9 ปัญหา

4.2.3 ผลการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

4.2.3.1 แผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน (8 คัน)

ทำการทดสอบปัญหาขนาด 8 งาน และ 17 สถานีงาน จำนวน 16 ปัญหา โดยทำการกำหนดปริมาณการผลิตของรถยนต์แต่ละรุ่น ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Product			
	S60	V70	S80	XC90
1	1	1	2	4
2	1	1	3	3
3	1	2	3	2
4	2	2	2	2
5	3	3	1	1
6	1	3	1	3
7	3	1	3	1
8	1	3	3	1
9	3	1	1	3
10	4	2	1	1
11	4	1	1	2
12	4	1	2	1
13	1	1	1	5
14	1	1	5	1
15	1	5	1	1
16	5	1	1	1

ค่าเวลาปิดงานของระบบที่เป็นค่าจากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสำหรับปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงานแสดงอยู่ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 8 งาน 17 สถานี่งาน

Problem	Makespan (minutes)						
	Production Plan	Optimal	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD
1	1509	1437	1437	1437	1437	1437	1441
2	1502	1430	1430	1430	1430	1430	1430
3	1500	1424	1428	1428	1428	1428	1428
4	1465	1412	1420	1420	1420	1420	1464
5	1480	1402	1406	1406	1406	1406	1402
6	1508	1435	1436	1436	1436	1436	1436
7	1515	1400	1404	1404	1404	1404	1404
8	1507	1418	1418	1418	1418	1418	1418
9	1512	1414	1418	1418	1418	1418	1418
10	1454	1397	1401	1401	1401	1401	1401
11	1499	1403	1407	1407	1407	1407	1407
12	1516	1396	1400	1400	1400	1400	1400
13	1516	1447	1447	1447	1447	1447	1447
14	1456	1416	1416	1416	1416	1416	1456
15	1472	1420	1420	1420	1420	1420	1420
16	1472	1392	1396	1396	1396	1396	1396

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับค่าเวลาปิดงานของระบบ จากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ คำตอบ (%Difference) ดังตารางที่ 4.10

$$\%Difference = \left(\frac{PlanSolution - HeuristicSolution}{PlanSolution} \right) \times 100\%$$

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีฮิวริสติก และค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	72	72	72	68	4.77	4.77	4.77	4.51
2	72	72	72	72	4.79	4.79	4.79	4.79
3	72	72	72	72	4.80	4.80	4.80	4.80
4	45	45	45	1	3.07	3.07	3.07	0.07
5	74	74	74	78	5.00	5.00	5.00	5.27
6	72	72	72	72	4.77	4.77	4.77	4.77
7	111	111	111	111	7.33	7.33	7.33	7.33
8	89	89	89	89	5.91	5.91	5.91	5.91
9	94	94	94	94	6.22	6.22	6.22	6.22
10	53	53	53	53	3.65	3.65	3.65	3.65
11	92	92	92	92	6.14	6.14	6.14	6.14
12	116	116	116	116	7.65	7.65	7.65	7.65
13	69	69	69	69	4.55	4.55	4.55	4.55
14	40	40	40	0	2.75	2.75	2.75	0.00
15	52	52	52	52	3.53	3.53	3.53	3.53
16	76	76	76	76	5.16	5.16	5.16	5.16
	Average				5.01	5.01	5.01	4.65

จากตารางที่ 4.10 พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และ SAR สามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่ดีกว่าแผนการผลิตในปัจจุบันเท่ากับ 5.01% ส่วนวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD ดีกว่าเท่ากับ 4.65%

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ (%Difference) จาก

$$\%Difference = \left(\frac{HeuristicSolution - OptimalSolution}{OptimalSolution} \right) \times 100\%$$

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีฮิวริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานการณ์

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	0	0	0	4	0.00	0.00	0.00	0.28
2	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4	4	4	4	0.28	0.28	0.28	0.28
4	8	8	8	52	0.57	0.57	0.57	3.68
5	4	4	4	0	0.29	0.29	0.29	0.00
6	1	1	1	1	0.07	0.07	0.07	0.07
7	4	4	4	4	0.29	0.29	0.29	0.29
8	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
9	4	4	4	4	0.28	0.28	0.28	0.28
10	4	4	4	4	0.29	0.29	0.29	0.29
11	4	4	4	4	0.29	0.29	0.29	0.29
12	4	4	4	4	0.29	0.29	0.29	0.29
13	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0	0	0	40	0.00	0.00	0.00	2.82
15	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
16	4	4	4	4	0.29	0.29	0.29	0.29
Average					0.18	0.18	0.18	0.55

จากตารางที่ 4.11 พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และ SAR มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าตอบจากค่าคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 0.18% ส่วนวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.55%

สามารถแสดงเวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Computational time (seconds)				
	Optimal	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	2.3734	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
2	1.3920	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
3	1.8827	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
4	1.5222	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
5	4.1560	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
6	3.1946	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
7	1.0816	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
8	1.0014	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
9	3.5751	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
10	1.0816	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
11	2.6638	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
12	1.6624	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
13	0.7811	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
14	0.4006	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
15	0.4506	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
16	0.4126	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
Average	1.7270	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097

จากตารางที่ 4.12 พบว่า ที่ปัญหาทดสอบขนาด 8 งาน 17 สถานีงาน วิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการคำนวณโดยเฉลี่ย 1.7270 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจาก Palmer, SAR และ SAD จะเป็น 0.0078, 0.0085, 0.0097 และ 0.0097 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลามากกว่าวิธีฮิวริสติกเล็กน้อย และเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกแบบต่าง ๆ จะแตกต่างกันไม่มากนัก

4.2.3.2 แผนการผลิตล่วงหน้า 2 วัน (16 คัน)

ทำการทดสอบปัญหาขนาด 16 งาน และ 17 สถานีงาน จำนวน 13 ปัญหา โดยทำการกำหนดปริมาณการผลิตของรถยนต์แต่ละรุ่น ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Product			
	S60	V70	S80	XC90
1	2	2	6	6
2	2	6	2	6
3	6	2	6	2
4	3	3	5	5
5	3	5	3	5
6	2	2	2	10
7	2	2	10	2
8	2	10	2	2
9	10	2	2	2
10	3	3	3	7
11	3	3	7	3
12	3	7	3	3
13	7	3	3	3

ค่าเวลาปิดงานของระบบที่เป็นค่าจากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสำหรับปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงานแสดงอยู่ในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Makespan (minutes)					
	Production plan	Optimal	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	2250	2160	2168	2168	2168	2216
2	2264	2164	2188	2188	2188	2236
3	2270	2116	2124	2124	2124	2124
4	2243	2150	2158	2158	2158	2158
5	2253	2152	2168	2168	2168	2172
6	2272	2192	2200	2200	2200	2200
7	2198	2132	2140	2140	2140	2140
8	2216	2140	2148	2148	2148	2148
9	2155	2100	2108	2108	2108	2108
10	2261	2164	2180	2180	2180	2216
11	2207	2136	2144	2144	2144	2144
12	2220	2140	2148	2148	2148	2148
13	2186	2120	2128	2128	2128	2128

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ (%Difference)

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีฮิวริสติก และค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	82	82	82	34	3.64	3.64	3.64	1.51
2	76	76	76	28	3.36	3.36	3.36	1.24
3	146	146	146	146	6.43	6.43	6.43	6.43
4	85	85	85	85	3.79	3.79	3.79	3.79
5	85	85	85	81	3.77	3.77	3.77	3.60
6	72	72	72	72	3.17	3.17	3.17	3.17
7	106	106	106	106	4.72	4.72	4.72	4.72
8	68	68	68	68	3.07	3.07	3.07	3.07
9	146	146	146	146	6.48	6.48	6.48	6.48
10	81	81	81	45	3.58	3.58	3.58	1.99
11	99	99	99	99	4.41	4.41	4.41	4.41
12	72	72	72	72	3.24	3.24	3.24	3.24
13	114	114	114	114	5.08	5.08	5.08	5.08
Average					4.21	4.21	4.21	3.75

จากตารางที่ 4.15 พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และ SAR สามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่ดีกว่าแผนการผลิตในปัจจุบันเท่ากับ 4.21% ส่วนวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD ดีกว่าเท่ากับ 3.75%

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีฮิวริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานการณ์

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	8	8	8	56	0.37	0.37	0.37	2.59
2	24	24	24	72	1.11	1.11	1.11	3.33
3	8	8	8	8	0.38	0.38	0.38	0.38
4	8	8	8	8	0.37	0.37	0.37	0.37
5	16	16	16	20	0.74	0.74	0.74	0.93
6	8	8	8	8	0.36	0.36	0.36	0.36
7	8	8	8	8	0.38	0.38	0.38	0.38
8	8	8	8	8	0.37	0.37	0.37	0.37
9	8	8	8	8	0.38	0.38	0.38	0.38
10	16	16	16	52	0.74	0.74	0.74	2.40
11	8	8	8	8	0.37	0.37	0.37	0.37
12	8	8	8	8	0.37	0.37	0.37	0.37
13	8	8	8	8	0.38	0.38	0.38	0.38
Average					0.49	0.49	0.49	0.97

จากตารางที่ 4.16 พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และ SAR มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากค่าคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 0.49% ส่วนวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.97%

สามารถแสดงเวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Computational time (seconds)				
	Optimal	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	77.9921	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
2	2394.9800	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
3	66.4355	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
4	240.9360	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
5	1812.2400	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
6	47.1378	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
7	7.6510	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
8	35.3308	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
9	31.7857	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
10	80.6560	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
11	119.3120	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
12	78.8133	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
13	113.6530	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
Average	392.8402	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ที่ปัญหาทดสอบขนาด 16 งาน 17 สถานีงาน วิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการคำนวณโดยเฉลี่ย 392.8402 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจาก Palmer, SAR และ SAD จะเป็น 0.0234, 0.0258, 0.0318 และ 0.0318 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลามากกว่าวิธีฮิวริสติกค่อนข้างมาก และเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกแบบต่าง ๆ จะแตกต่างกันไม่มากนัก

4.2.3.3 แผนการผลิตล่วงหน้า 3 วัน (24 คับ)

ทำการทดสอบปัญหาขนาด 24 งาน และ 17 สถานีงาน จำนวน 9 ปัญหา โดยทำการกำหนดปริมาณการผลิตของของรถยนต์แต่ละรุ่น ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลนำเข้าของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน

Problem	S60	V70	S80	XC90
1	1	1	1	21
2	1	1	21	1
3	1	21	1	1
4	21	1	1	1
5	6	6	6	6
6	2	2	2	18
7	3	3	3	15
8	4	4	4	12
9	5	5	5	9

ค่าเวลาปิดงานของระบบที่เป็นค่าจากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสำหรับปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงานแสดงอยู่ในตารางที่ 4.19

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าเวลาปิดงานของระบบจากปัญหาขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน

Problem	Makespan (minutes)					
	Production plan	Optimal	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	3076	3043	3076	3049	3049	3109
2	2957	2872	2872	2872	2872	2872
3	2956	2913	2932	2913	2913	2913
4	2937	2878	2878	2878	2878	2878
5	2945	2868	2892	2892	2892	2896
6	3041	2973	3040	2977	2977	2973
7	3021	2956	3008	2956	2956	2957
8	3001	2936	2976	2936	2936	2946
9	2988	2892	2916	2916	2916	2916

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับค่าเวลาปิดงานของระบบ จากแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ คำตอบ (%Difference)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีฮิวริสติก และค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนการผลิตของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีงาน

Proble m	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	45	72	72	12	1.44	2.31	2.31	0.38
2	85	85	85	85	2.87	2.87	2.87	2.87
3	62	81	81	81	2.07	2.71	2.71	2.71
4	59	59	59	59	2.01	2.01	2.01	2.01
5	53	53	53	49	1.80	1.80	1.80	1.66
6	33	96	96	100	1.07	3.12	3.12	3.25
7	41	93	93	92	1.34	3.05	3.05	3.02
8	58	98	98	88	1.91	3.23	3.23	2.90
9	72	72	72	72	2.41	2.41	2.41	2.41
Average					1.88	2.61	2.61	2.36

จากตารางที่ 4.20 พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH สามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่ดีกว่าแผนการผลิตในปัจจุบันเท่ากับ 1.88% และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer และ SAR เท่ากับ 2.61% ส่วนวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD ดีกว่าเท่ากับ 2.36%

การเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จากวิธีสร้างรูปแบบปัญหาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบคำตอบของวิธีอิวิริสติก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานงาน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	33	6	6	66	1.08	0.20	0.20	2.17
2	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	19	0	0	0	0.65	0.00	0.00	0.00
4	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	24	24	24	28	0.84	0.84	0.84	0.98
6	67	4	4	0	2.25	0.13	0.13	0.00
7	52	0	0	1	1.76	0.00	0.00	0.03
8	40	0	0	10	1.36	0.00	0.00	0.34
9	24	24	24	24	0.83	0.83	0.83	0.83
Average					0.98	0.22	0.22	0.48

จากตารางที่ 4.21 พบว่าวิธีอิวิริสติก NEH และวิธีอิวิริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer, SAR และ SAD มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากค่าคำตอบที่ดีที่สุดคือ 0.98%, 0.22%, 0.22% และ 0.48% ตามลำดับ จะเห็นว่าวิธีอิวิริสติกที่พัฒนาสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีอิวิริสติก NEH

สามารถแสดงเวลาในการคำนวณของวิธีอิวิริสติกเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังตารางที่ 4.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีนงาน

Problem	Computational time (seconds)				
	Optimal	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	591.02	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
2	2.103	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
3	3.4449	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
4	2.4135	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
5	11633.5	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
6	21486.38	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
7	34896.55	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
8	16148.85	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
9	132831	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068
Average	24177.25	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068

จากตารางที่ 4.22 พบว่า ที่ปัญหาทดสอบขนาด 24 งาน 17 สถานีนงาน วิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการคำนวณโดยเฉลี่ย 24177.25 วินาที ส่วนเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจาก Palmer, SAR และ SAD จะเป็น 0.1035, 0.1059, 0.1068 และ 0.1068 วินาที ตามลำดับ จะเห็นว่าวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลามากกว่าวิธีฮิวริสติกมาก และเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกแบบต่าง ๆ จะแตกต่างกันไม่มากนัก

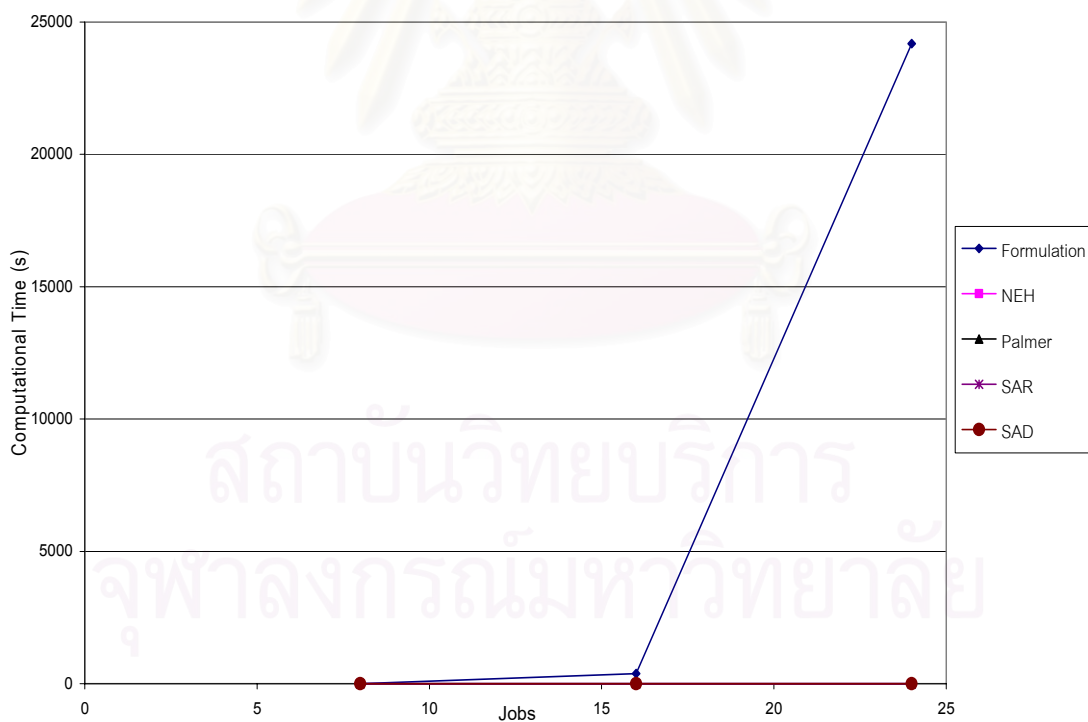
4.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบวิธีฮิวริสติก

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเวลาปัดงานของระบบที่ดีที่สุด พบว่าวิธีฮิวริสติก NEH สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการได้ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด

เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสัมพันธ์กับจำนวนงาน ดังตารางที่ 4.23 และสามารถแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.23 เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก NEH และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาทดสอบที่จำนวนงานต่าง ๆ

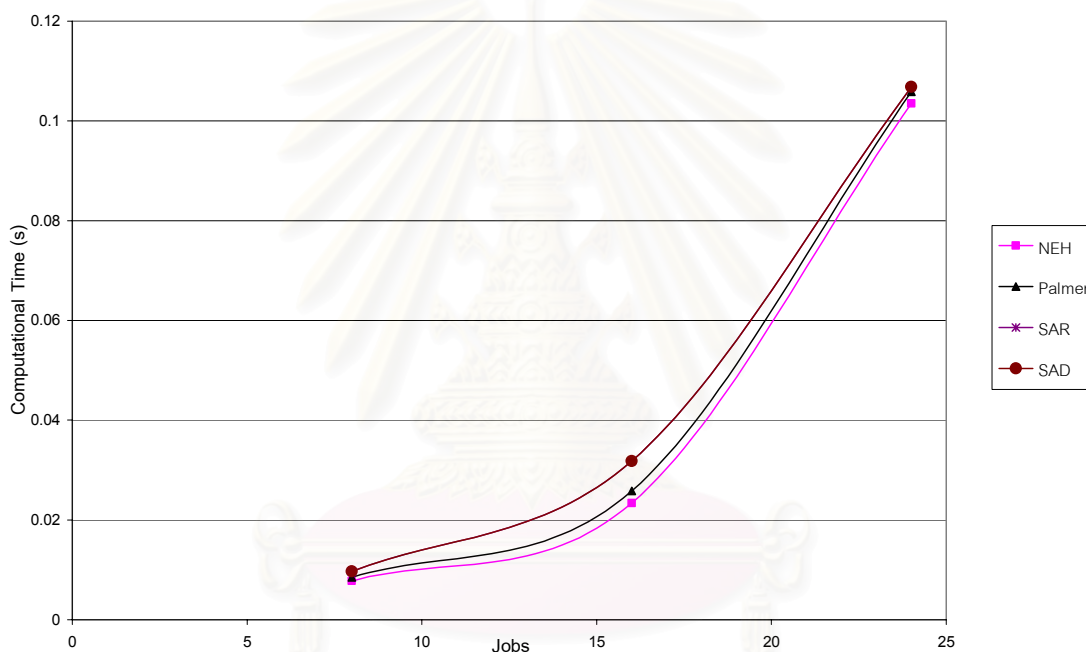
Problem	Computational Time (seconds)				
	Formulation	NEH	Palmer	SAR	SAD
8 Jobs	1.727	0.0078	0.0085	0.0097	0.0097
16 Jobs	392.8402	0.0234	0.0258	0.0318	0.0318
24 Jobs	24177.2469	0.1035	0.1059	0.1068	0.1068



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงาน และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

จากรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อมีจำนวนงานเพิ่มขึ้น เวลาในการคำนวณของฮิวริสติกและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มขึ้นของเวลาของทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกัน คือ เวลาในการคำนวณของฮิวริสติกเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อยกว่าเวลาในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล

เนื่องจากในรูปที่ 4.1 ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาได้ ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีฮิวริสติกดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนงาน และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติก

จากรูปที่ 4.2 พบว่าวิธีฮิวริสติก มีเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน และเวลาจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4.2.5 บทสรุป

การประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ โดยผลการทดสอบความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่ได้นำเสนอ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเวลาปิดงานที่ดีที่สุด พบว่าวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาด 8, 16 และ 24 งาน ที่ 17 สถานีนงาน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา และวิธีฮิวริสติก NEH กับปัญหาจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา ไม่เห็นผลที่แตกต่างกันมากนัก อาจเนื่องมาจากวิธีฮิวริสติก NEH สามารถนำมาใช้ได้เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา แต่จะเห็นว่าเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น คือที่ 24 งาน พบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีของ Palmer, SAR และ SAD สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH นั่นคือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยจากคำตอบที่ดีที่สุดน้อยกว่าวิธีฮิวริสติก NEH

4.3 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา

ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดสมมติฐานว่าเครื่องจักรไม่มีการเสีระหว่างการทำงาน และ Sub-assembly จะมีพร้อมอยู่ที่ Sub-station เสมอ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติกเพื่อทดสอบว่าวิธีฮิวริสติกที่จะนำไปใช้กับโรงงานกรณีศึกษามีความเหมาะสมหรือไม่ เนื่องจากในทางปฏิบัติเหตุการณ์เหล่านี้้อาจเกิดขึ้นได้

4.3.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบการวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติก

จากข้อมูลการปฏิบัติงานของสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา พบว่าการหยุดงานของสถานีนงานที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรเสีระหว่างการทำงาน และไม่มี Sub-assembly พร้อมอยู่ที่ Sub-station จะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 10 นาทีและไม่เกิน 150 นาที และจำนวนครั้งที่หยุดโดยเฉลี่ยคือ ไม่เกิน 1 ครั้ง ต่อ 1 วัน

การวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติกจะทำโดยการสุ่มค่าเวลาหยุดงานของสถานีนงานระหว่าง 10 นาทีถึง 150 นาที และสุ่มจำนวนครั้งที่หยุดระหว่าง 1-2 ครั้ง ในแผนการผลิต 1 วัน และ 2 วัน และ 1-3 ครั้งในแผนการผลิต 3 วัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบโดยหาค่าความแตกต่างระหว่างคำตอบเดิมที่ตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการหยุดงานของสถานีนงาน

4.3.2 ผลการทดสอบการวิเคราะห์ความไวของวิธีวิธีสถิติ

ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากแผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน แผนการผลิตล่วงหน้า 2 วัน และแผนการผลิตล่วงหน้า 3 วัน แสดงดังตารางที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจะคิดจาก

$$\%Difference = \left(\frac{NewSolution - OldSolution}{OldSolution} \right) \times 100\%$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากแผนการ
ผลิตล่วงหน้า 1 วัน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4	4	4	4	0.28	0.28	0.28	0.28
3	4	0	4	4	0.28	0.00	0.28	0.28
4	19	19	19	20	1.34	1.34	1.34	1.37
5	4	4	4	4	0.28	0.28	0.28	0.29
6	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
7	12	7	7	7	0.85	0.50	0.50	0.50
8	8	8	8	44	0.56	0.56	0.56	3.10
9	0	0	0	2	0.00	0.00	0.00	0.14
10	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
11	4	4	4	4	0.28	0.28	0.28	0.28
12	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
13	8	12	8	18	0.55	0.83	0.55	1.24
14	52	52	58	18	3.67	3.67	4.10	1.24
15	4	4	4	7	0.28	0.28	0.28	0.49
16	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Average					0.52	0.50	0.53	0.58

จากตารางที่ 4.24 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.50%

ตารางที่ 4.25 ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากแผนการ
ผลิตล่วงหน้า 2 วัน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	102	91	93	94	4.70	4.20	4.29	4.24
2	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
3	101	101	101	105	4.76	4.76	4.76	4.94
4	4	0	0	4	0.19	0.00	0.00	0.19
5	4	0	4	0	0.18	0.00	0.18	0.00
6	51	27	47	158	2.32	1.23	2.14	7.18
7	19	4	19	44	0.89	0.19	0.89	2.06
8	8	12	12	28	0.37	0.56	0.56	1.30
9	42	42	57	42	1.99	1.99	2.70	1.99
10	91	91	91	55	4.17	4.17	4.17	2.48
11	0	4	0	4	0.00	0.19	0.00	0.19
12	9	9	9	29	0.42	0.42	0.42	1.35
13	20	11	20	20	0.94	0.52	0.94	0.94
Average					1.61	1.40	1.62	2.07

จากตารางที่ 4.25 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยของวิธีวิวิธติที่พัฒนาจากวิธีวิวิธติของ Palmer มีค่าน้อยที่สุดคือ 1.40%

ตารางที่ 4.26 ค่าความแตกต่างของคำตอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบจากแผนการ
ผลิตล่วงหน้า 3 วัน

Problem	Difference				%Difference			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
1	19	22	24	14	0.62	0.72	0.79	0.45
2	31	23	23	23	1.08	0.80	0.80	0.80
3	19	0	0	0	0.65	0.00	0.00	0.00
4	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	18	4	4	0	0.62	0.14	0.14	0.00
6	130	123	123	127	4.28	4.13	4.13	4.27
7	23	0	8	130	0.76	0.00	0.27	4.40
8	120	131	131	117	4.03	4.46	4.46	3.97
9	5	4	0	7	0.17	0.14	0.00	0.24
Average					1.36	1.15	1.18	1.57

จากตารางที่ 4.26 พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer มีค่าน้อยที่สุดคือ 1.15%

4.3.2 สรุปการวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติก

จากการทดสอบการวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติก NEH วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAR และ วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธี SAD โดยการเพิ่มสมมติฐานให้มีการหยุดของสถานีงานจากปัญหาแผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน พบว่าวิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมกับสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษานี้ได้แก่ วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือ 0.50%, 1.40% และ 1.15% สำหรับแผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ นั่นคือมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหยุดงานของสถานีงานที่น้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

ผลการพัฒนา และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกที่นำเสนอ สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นำมาสู่การสรุปผลงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้ รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ เพื่อหาตารางการผลิตที่มีเวลาที่งานทุกงานเสร็จสิ้น หรือเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหานี้ที่สำคัญคือวิธีการสร้างรูปแบบปัญหาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบปัญหาสายการผลิตจากโรงงานกรณีศึกษา โดยในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เพื่อให้ได้วิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH โดยมีวัตถุประสงค์คือหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบสั้นที่สุด ส่วนที่สองเป็นการนำวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนามาทดลองใช้กับข้อมูลจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา

5.1.1 วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ

- 1) ขั้นตอนการเรียงลำดับงานเริ่มต้น (Initial Sequence) โดยในขั้นตอนนี้จะสร้างลำดับงานเริ่มต้นโดยใช้วิธีฮิวริสติกของ NEH, Palmer, Gupta, วิธี Sum Absolute Differences (SAD) และวิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith
- 2) ขั้นตอนการแทรกงาน (Insertion)

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือส่วนของการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เป็นการทดสอบใช้วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, Gupta, วิธี Sum Absolute Differences (SAD) และวิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith โดยใช้วิธีการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยเมื่อต้องเก็บข้อมูลเป็นคู่ (Paired t-test) โดยข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเวลาการดำเนินงาน จำนวนงาน และจำนวนสถานีงาน ที่นำมาจาก OR-Library เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา กับวิธีฮิวริสติก NEH ในด้านคุณภาพของคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบที่ดีที่สุด

ในส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบการใช้วิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ได้จากส่วนของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก มาประยุกต์ใช้กับสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา ปัญหาที่นำมาใช้จึงเป็นข้อมูลเวลาการดำเนินงาน จำนวนงาน และจำนวนสถานีงานจริงที่มาจากสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา จากนั้นนำมาเปรียบเทียบค่าเวลาปิดงานของระบบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน และค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.1.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

การทดสอบประสิทธิภาพของการพัฒนาวิธีฮิวริสติก กับปัญหาจาก OR-Library พบว่า วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสามารถหาคำตอบได้ดีพอ ๆ กับวิธีฮิวริสติก NEH และผลจากการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยเมื่อต้องเก็บข้อมูลเป็นคู่ (Paired t-test) พบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี Sum Absolute Differences (SAD) และวิธี Sum Absolute Residuals (SAR) ของ Stinson และ Smith จะสามารถหาค่าเวลาปิดงานของระบบได้น้อยกว่าวิธีฮิวริสติก NEH ที่ระดับนัยสำคัญ 10% แต่จะพบว่าค่าเวลาปิดงานของระบบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก NEH จะดีกว่าหรือเท่ากับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Gupta ด้วยระดับนัยสำคัญ 10% และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาที่ดีขึ้นจากวิธีฮิวริสติก NEH วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer, วิธี SAR และวิธี SAD มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ไม่ต่างกัน นั่นคือมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 10%

ในด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบจากวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาพบว่า เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะแตกต่างกันไม่มากนัก

จากการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนามาจากข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา ในด้านคุณภาพของคำตอบ พบว่าวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาสามารถหาลำดับของงานที่ทำให้เวลาปิดงานของระบบน้อยลงกว่าแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา นอกจากนี้วิธีฮิวริสติกที่พัฒนายังสามารถหาคำตอบใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับแผนการผลิตในปัจจุบัน และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาขนาด 8 งาน 16 งาน และ 24 งาน ที่จำนวนสถานีงานคงที่ที่ 17 สถานีงาน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปอร์เซนต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกกับแผนการผลิตในปัจจุบัน และค่าคำตอบที่ดีที่สุด

Problem	%Average Difference from Production Plan				%Average Difference from Optimal			
	NEH	Palmer	SAR	SAD	NEH	Palmer	SAR	SAD
8 Jobs	5.01	5.01	5.01	4.65	0.18	0.18	0.18	0.55
16 Jobs	4.21	4.21	4.21	3.75	0.49	0.49	0.49	0.97
24 Jobs	1.88	2.61	2.61	2.36	0.98	0.22	0.22	0.48

ในด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณพบว่า เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เวลาในการคำนวณของวิธีฮิวริสติก และวิธีการสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มขึ้นของเวลาของทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกัน คือเวลาในการคำนวณของฮิวริสติกเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่น้อยกว่าเวลาในการคำนวณของวิธีการสร้างรูปแบบปัญหาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล

5.1.4 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนา

การวิเคราะห์ความไวของวิธีฮิวริสติกจะทำโดยการสุ่มค่าเวลาหยุดงานของสถานีงาน ระหว่าง 10 นาทีถึง 150 นาที และสุ่มจำนวนครั้งที่หยุดระหว่าง 1-2 ครั้ง ในแผนการผลิต 1 วัน และ 2 วัน และ 1-3 ครั้งในแผนการผลิต 3 วัน จากนั้นทำการเปรียบเทียบโดยหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าคำตอบเดิมที่ตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการหยุดงานของสถานีงาน และค่าคำตอบใหม่ที่มีเวลาหยุดของสถานีงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยจากแผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน แผนการผลิตล่วงหน้า 2 วัน และแผนการผลิตล่วงหน้า 3 วัน แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยระหว่างค่าคำตอบเดิมที่ตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการหยุดงานของสถานีงาน และค่าคำตอบใหม่ที่มีเวลาหยุดของสถานีงาน

Problem	%Difference				
	NEH	Palmer	Gupta	SAR	SAD
8 Jobs	0.52	0.50	0.49	0.53	0.58
16 Jobs	1.61	1.40	1.49	1.61	2.06
24 Jobs	1.357	1.15	1.16	1.17	1.57

จากการวิเคราะห์ความไวพบว่า วิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมกับสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษานี้ได้แก่ วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างของคำตอบโดยเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือ 0.50%, 1.40% และ 1.15% สำหรับแผนการผลิตล่วงหน้า 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ตามลำดับ นั่นคือมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหยุดงานของสถานีงานที่น้อยที่สุด

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยพบว่า วิธีการหาคำตอบที่เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แม้จะใช้เวลาที่ไม่ยาวนานนักกับปัญหาของสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา แต่เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ จะสามารถนำมาใช้ได้กับปัญหาตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติจริง อาจไม่มีสมมติฐานดังกล่าว ดังนั้นวิธีการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ การเลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกจึงเป็นวิธีการที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถนำมาเปลี่ยนแปลง ประยุกต์ใช้ได้ถ้าหากสมมติฐานดังกล่าวไม่เป็นจริง นอกจากนี้ วิธีฮิวริสติกที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ ยังสามารถหาคำตอบ ซึ่งให้ค่าเวลาปิดงานของระบบที่ใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้วิธีฮิวริสติกที่พัฒนายังมีเวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยมาก เมื่อเทียบกับการหาคำตอบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงเหมาะสมกับสภาพการทำงานภายในโรงงานกรณีศึกษา

วิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมกับสายการผลิต ในโรงงานกรณีศึกษาคือวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer ทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการหยุดงานของสถานีงานที่น้อยที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนเพื่อหาค่าเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุด แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือวิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับ (Constructive Heuristic) และวิธีฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบ (Improvement Heuristic) โดยจะนำคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกประเภทแรกมาพัฒนาหาคำตอบที่ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีฮิวริสติกประเภทแรก คือประเภทที่ทำให้เกิดลำดับ ไม่ได้ครอบคลุมไปถึงวิธีฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบ ซึ่งวิธีฮิวริสติกประเภทนี้ได้แก่วิธีการ Neighborhood เช่น Simulated Annealing (SA), Tabu Search และ Genetic Algorithm เป็นต้น จึงยังคงมีความน่าสนใจศึกษาที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณา คือ การนำวิธีฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ไม่มีสถานที่เก็บงานระหว่างกระบวนการ โดยนำคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกประเภทที่ทำให้เกิดลำดับที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้ เป็นคำตอบตั้งต้น (Initial Solution) สำหรับวิธีฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบต่อไป

รายการอ้างอิง

- [1] Aldowaisan, T., and Allahverdi, A. New Heuristics for No-wait Flowshops to Minimize Makespan. Computer & Operations Research 30 (2003): 1219-1231.
- [2] Baker, K. R. Introduction to Sequencing and Scheduling. New York: Wiley, 1974.
- [3] Ben-Daya, M., and Al-Fawsan, M. A Tabu Search Approach for the Flow Shop Scheduling Problem. European Journal of Operational Research 109 (1998): 88-95.
- [4] Campbell, H. G., Dudek, R. A., and Smith, M. L. A Heuristic Algorithm for the n Jobs m Machines Sequencing Problem. Management Science 16 (1970): 630-637.
- [5] Conway, R. W., Maxwell, W. L., Miller, L. W. Theory of Scheduling. Addison-Wesley, Reading, MA. 1967.
- [6] Framinan, J. M., Leisten, R., and Rajendran, C. Different Initial Sequences for the Heuristic of Nawaz, Enscore and Ham to Minimize Makespan, Idletime or Flowtime in the Static Permutation flowshop sequencing Problem. International Journal of Production Research 41 (2003): 121-148
- [7] Glover, F. Tabu Search Part I. ORSA Journal of Computing 1 (1989): 190-206.
- [8] Glover, F. Tabu Search Part II. ORSA Journal of Computing 2 (1990): 4-32.
- [9] Gupta, J. N. D. A Functional Heuristic Algorithm for the Flow shop Scheduling Problem. Operation Research Quarterly 22: (1971) 39-47.
- [10] Ignall, E., Schrage, L. E. Application of Branch and Bound Technique to Some Flow-shop Problem. Operation Research 13: (1965) 400-412.
- [11] Johnson, S. M. Optimal Two and Three-Stage Production Scheduling with Setup Times Included. Naval Research Logistics Quarterly 1 (1954): 61-68.

- [12] McCormick, S. T., Pinedo, M. L., Shenker, S., and Wolf, B. Sequencing in an Assembly Line with Blocking to Minimize Cycle Time. Operation Research 37 (1989): 925-936.
- [13] Nawaz, M., Ensore, E. E., and Ham, I. A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem. Omega 11 (1983): 91-95.
- [14] Norman, B. A. Scheduling Flowshops with Finite Buffers and Sequence-dependent Setup Times. Computer & Industrial Engineering 36 (1999): 163-177.
- [15] Nowicki, E., and Smutnicki. A Fast Tabu Search Algorithm for the Flow Shop Problem. European Journal of Operation Research 91 (1996): 160-175.
- [16] Ogbu, F. A. and Smith, D. K. The Application of the Simulated Annealing Algorithm to the Solution of the $n/m/C_{\max}$ Flow Shop Problem. Computer & Operations Research 17 (1990): 243-253.
- [17] Palmer, D. S. Sequencing Jobs through a Multi-Stage Process in the Minimum Total Time – a Quick Method of Obtaining a Near Optimum. Operational Research Quarterly 16 (1965): 101-107.
- [18] Pinedo, M. Scheduling Theory, Algorithms, and Systems. Prentice-Hall, 1995.
- [19] Rinnooy Kan, A. H. G. Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity, and Computations. The Hague: Martinus Nijhoff, 1976.
- [20] Reeves, C. A. A Genetic Algorithm for Flowshop Scheduling. Computers and Operations Research 22 (1995): 5-13.
- [21] Ronconi, D. P. A Note on Constructive Heuristics for the Flowshop Problem with Blocking. International Journal of Production Economics 87 (2004): 39-48.
- [22] Ronconi, D. P. and Amentano, V. A. Lower Bounding Schemes for Flowshops with Blocking In-Process. Journal of the Operational Research Society 52 (2001) 1289-1297.
- [23] Ruiz, R. and Maroto, C. A Comprehensive Review and Evaluation of Permutation Flowshop Heuristics. European Journal of Operational Research (2004).

- [24] Smith, R. D. and Dudek, R. A. A general Algorithm for Solution of the n-Job m-Machine Sequencing Problem of the Flow Shop. Operation Research 15 (1969).
- [25] Stinson, J. P., and Smith, A. W. A Heuristic Programming Procedure for Sequencing the Static Flowshop. International Journal Production Research 20 (1982): 753-764
- [26] Taillard, E. Some efficient heuristic methods for the flow shop sequencing problem. European Journal of Operational Research 47 (1990): 65-74.
- [27] Wang, L., and Zheng, D. Z. An Effective Hybrid Heuristic for Flow Shop Scheduling. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 21 (2003): 38-44
- [28] Weng, X. M. Scheduling Flow-Shops with Limited Buffer Spaces. Winter Simulation Conference (2000): 1359-1363.
- [29] จงกล เขียมมิ. การประยุกต์ใช้เงื่อนไขแกตักอรรถิที่มในการจัดสมดุสยการประกอบแบบผลิตภันท์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [30] ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [31] ปรีดี ตันติประภาศ. การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบโฟลว์ชอป: กรณีศึกษาโรงหล่อ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

การศึกษาเวลาในสายการประกอบกรณีศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การศึกษาเวลาในสายการประกอบกรณีศึกษา

สายการประกอบกรณีศึกษา หรือสายการประกอบ P2X เป็นสายการประกอบขึ้นส่วนต่าง ๆ ของรถรุ่น S60, V70, S80 และ XC90 มีกำลังการผลิตวันละ 8 คัน โดยจะแบ่งออกเป็น 17 สถานีงาน การหาเวลาในการทำงานในแต่ละชั้นงาน ของรถแต่ละรุ่นทำได้โดยวิธีการศึกษาเวลา

การศึกษาเวลา คือเทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลา และอัตราการทำงานของงาน ส่วนย่อยของงานชิ้นหนึ่ง ๆ ภายใต้อุปกรณ์หนึ่ง นอกจากนี้ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการหาเวลา เท่าที่ควรในการทำงานชิ้นหนึ่งในระดับการทำงานที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. จับเวลาในทุกขั้นตอนการทำงาน
2. พิจารณาอัตราการทำงานของผู้ปฏิบัติโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผู้จับเวลา (Rating)
3. หาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม (Sample Size)
4. จับเวลาหาข้อมูลเพิ่มเติมให้ได้เท่ากับขนาดตัวอย่างพร้อมพิจารณาอัตราการทำงาน
5. เปลี่ยนเวลาที่จับได้ (Observed Time) เป็นเวลาพื้นฐาน (Basic Time)
6. รวมงานย่อย ๆ เป็นงานหลัก ๆ
7. บันทึกสภาพแวดล้อมการทำงานเพื่อหาเวลาเผื่อ
8. หาเวลามาตรฐาน (Standard Time) สำหรับงานนั้น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 เวลาการดำเนินงานในสายการประกอบ P2X ในแต่ละสถานีงาน

1. สถานีงาน Trim1				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
1 ประกอบชุดสายไฟ	5	5	5	3
2 ประกอบชุดฝาغطุญแจกระโปรงท้าย	8	9	8	3
3 ติดตั้งใช้คหน้าและหลัง	1	2	1	4
4 ติดตัวล็อกคฝาน้ำมัน	1	1	1	2
5 ติดฟองน้ำ(Absorber) และประกอบ Air Evacuation	2	2	2	2
6 ติดสติ๊กเกอร์ป้าย Volvo	3	3	2	1
7 ติดสติ๊กเกอร์กันกระแทกและ Plug ยาง(XC90)	-	-	-	2
8 ประกอบ Bracket ที่กันชนท้าย	3	2	2	4
9 ติดตั้งชุดสายไฟ	7	4	6	4
10 ติดแผ่นกันความร้อน (Insulation)	-	-	-	3
11 ติดตัวระบายอากาศ	0	0	0	1
12 ติดคิ้ว	4	4	4	7
13 บั๊มเลข Chassise No. ที่ห้องเครื่อง	5	5	5	4
14 บั๊มเลข Plate แล้วนำไปติด	3	3	3	3
15 ติดขอบยางกระโปรงหลัง	5	5	5	-
16 ติดกระจกหลังคาและทดสอบ	14	11	14	20
17 ติดฝาถังน้ำมันและติดสติ๊กเกอร์	6	6	5	-
18 ติดบานพับประตูท้าย (XC90)	-	-	-	2
19 ประกอบกันชนหลัง (S60,S80)	3	3	3	-
20 ยิงกาว	-	-	-	1
21 ถอดบานพับประตู	5	5	5	7
22 ประกอบไฟท้าย (S60,S80)	5	5	4	-
23 ยกประตูลง	1	1	1	3
24 ตั้งฝาท้าย (S60,S80)	13	13	12	-
25 ประกอบ Moulding Chrome (S60,S80)	4	4	4	-
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	95	91	94	77

2. สถานีงาน Trim2					
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)				
	S60	V70	S80	XC90	
26	ประกอบแผ่นInsulationในห้องเครื่อง	4	3	3	2
27	ติดสติ๊กเกอร์ใส+สีเหลือง	2	2	2	1
28	ประกอบAttachment	2	2	2	3
29	ประกอบSealing Box	1	1	1	1
30	ประกอบSpring	1	1	1	2
31	ประกอบท่อน้ำฉีดกระจก	5	4	5	4
32	ประกอบDrainage Hose	1	1	1	1
33	ประกอบAccessory Duct	1	1	1	1
34	ประกอบGrommet และ Cover washer	1	1	1	1
35	ประกอบชุดหม้อลมเบรก	4	4	4	3
36	ประกอบชุดสายไฟห้องเครื่อง	14	13	13	13
37	ประกอบSealing Cover	1	1	1	-
38	ประกอบกล่องสัญญาณกันขโมย	-	-	-	2
39	ประกอบBracket ใว้ยึดABS	1	1	1	1
40	ติดสติ๊กเกอร์SRSสีดำ	2	2	2	0
41	ติดสติ๊กเกอร์ใสที่ขอบประตู	-	-	-	5
42	ต่อท่อน้ำฉีดกระจกเข้ามาในตัวรถ	-	-	-	1
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน		42	38	39	41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. สถานีงาน Trim3					
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)				
	S60	V70	S80	XC90	
43	ใส่ลูกยางและRubber Seal ทุกจุดในห้องโดยสาร	7	6	6	3
44	ประกอบSensorที่บริเวณขอบประตูทั้ง4บาน	3	3	3	2
45	ติดกابันไดที่บริเวณประตูหน้าทั้ง2บาน	3	2	2	2
46	ติดกابันไดที่บริเวณประตูหลังทั้ง2บาน	-	-	2	-
47	ประกอบInsulation บริเวณConsole Gear	2	2	1	1
48	ประกอบชุดสายBattery	3	3	4	3
49	ประกอบสายเกียร์	2	1	1	1
50	ขันน็อตยึดหม้อลมเบรกและCover washer	1	1	1	2
51	ประกอบInsulation บริเวณหน้าคนขับ	5	5	4	4
52	ประกอบชุดคันเร่งและชุดเบรก	6	6	7	7
53	ประกอบFrame บริเวณล้อหลังทั้ง2ข้าง	-	-	-	1
54	ประกอบNoise Cover บริเวณล้อหลังทั้ง2ข้าง	-	-	-	2
55	ประกอบinsulationบริเวณล้อหลัง	2	1	1	-
56	ประกอบ Belt C ทั้ง2ข้าง	2	2	2	3
57	ประกอบ Belt D ทั้ง2ข้าง	-	-	-	1
58	นำBelt Bและที่Lock Beltวางที่ตำแหน่งที่จะประกอบ	3	2	2	1
59	ขันน็อต Belt B	3	3	3	1
60	Check Torqe Belt	2	1	1	1
61	ประกอบลำโพงหลัง	2	2	2	-
62	ประกอบกล่องSensorใต้ที่นั่งคนขับ	-	-	-	1
63	ประกอบท่อน้ำ Sun Roof	-	-	-	2
64	ติดSound Body Insulationบริเวณหลังคา 2 แผ่น	2	2	2	1
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน		46	43	46	42

4. สถานีงาน Trim4				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
65 ประกอบ Antena	2	2	2	2
66 ประกอบม่านนิรภัย	2	4	4	3
67 ไปรับผ้าหลังคา	1	2	2	2
68 ประกอบผ้าหลังคา	7	7	7	8
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	12	14	14	14
5. สถานีงาน Trim5				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
69 ไปรับ Dash Board	1	2	1	2
70 เปลี่ยน Fixture	1	2	2	2
71 ประกอบ Dash Board	2	2	2	2
72 ประกอบสายไฟของ Dash Board และชุดเกียร์	5	5	5	8
73 นำท่อแอร์มาวางเพื่อเตรียมประกอบใน station ต่อไป	3	3	1	4
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	13	15	12	17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. สถานีงาน Trim6				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
74 ติดสติ๊กเกอร์	2	2	2	3
75 ประกอบแตร (Horn)	1	1	1	1
76 ใส่กระจังหน้ารถ	1	1	1	0
77 ประกอบล้อฝากระโปรงหน้า	3	3	3	4
78 ประกอบ ABS	2	2	2	2
79 ประกอบ sensor 2 ตัว (XC90)	-	-	-	2
80 ประกอบ Pipe Break	4	4	4	5
81 ประกอบ Vacuum Pump (XC90)	-	-	-	1
82 ประกอบ Pipe Air และใส่ฟองน้ำกับแผ่นเหล็กพับ	6	7	7	9
83 ใส่ตัวครอบโกดไฟและเดินสายไฟ	2	2	2	2
84 ประกอบชุดไฟหน้าเข้ากับ body	3	3	3	3
85 ประกอบไฟหน้า	4	4	4	4
86 ต่อสายไฟเข้าตัวจ่าย	2	2	2	2
87 ต่อท่อระบายอากาศ	1	1	1	1
88 ใส่กลอน Lock กระบะท้าย	-	-	-	2
89 ใส่ตัว Lock โช๊ค	-	-	-	1
90 ติดขอบยาง	-	-	-	6
91 ใส่ Tale Gate และข้อพับกระบะท้าย	-	-	-	15
92 ใส่ไฟท้าย	-	-	-	8
93 ติดคิ้ว	-	-	-	1
94 ตั้ง Tale Gate และ กระบะท้าย	-	-	-	23
95 ติดตั้งกันชนท้าย	-	-	-	4
96 เก็บงาน	-	-	-	2
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	31	32	32	101

7. สถานีงาน Trim7				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
97 ใส่กابหน้า	2	5	6	2
98 ใส่กابกลาง	2	4	4	9
99 ติดสวิตสำหรับพับเบาะหลัง	4	5	7	-
100 ติดเฟรมรองเบาะ	-	-	-	11
101 ติดขอบยาง	10	12	14	13
102 ทาน้ำยาไฟเบอร์ที่ตัวถังรถ	4	4	4	3
103 เตรียมกระจก	13	15	15	15
104 ติดแผ่น COVER	-	-	-	4
105 ประกอบ rear shelf	5	6	6	-
106 ติดกระจก	7	5	5	4
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	46	55	60	61
8. สถานีงาน Trim8				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
107 ติด TOP COVER	-	-	-	5
108 ใส่กابหลัง	4	10	5	-
109 ติด RAIL	16	15	15	4
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	20	25	20	9

9. สถานีงาน Trim9				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
110 ตั้งฝากระโปรงหน้า (S60,S80)	6	7	7	-
111 ตรวจสอบสภาพสีภายนอกรถ	3	4	3	4
112 ตรวจสอบยางประตู	3	3	2	3
113 ตรวจสอบอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของสายไฟในรถ	3	4	4	5
114 ตรวจสอบการยึดติดของกระจก	2	3	3	1
115 ตรวจสอบ Emblem	1	1	1	1
116 ตรวจสอบ Dash Board และเกะหน้ารถ	3	4	4	3
117 ตรวจสอบระบบการทำงานของเกียร์	2	2	1	1
118 ตรวจสอบคาบเสาะและ Safety belt	2	2	1	3
119 ตรวจสอบอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของสายไฟในห้องเครื่อง	7	7	6	5
120 ตรวจสอบ Chassis No. ทั้ง 3 ต้องตรงกัน	2	2	1	4
121 ตรวจสอบชุดไฟหน้าและการยึดติด	2	2	2	2
122 ตรวจสอบกระจังหน้ารถ	1	1	0	1
123 ตรวจสอบ Tailgate(XC90)	-	-	-	5
124 ตรวจสอบการยึดติดของ Roof Moulding (S60,S80)	2	2	2	-
125 ตรวจสอบไฟท้ายและฝาท้าย (S60,S80)	2	2	2	-
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	42	45	40	39

10. สถานีงาน Marriage				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
126 ประกอบ Plastic Cover (XC90)	-	-	-	1
127 ประกอบ Bracket tunnel	2	2	1	1
128 ประกอบ Thermo cover(XC90)	-	-	-	1
129 ประกอบ Wasting Fluidcon(XC90)	-	-	-	1
130 ติดฟองน้ำและทาน้ำยากันสนิม	2	2	2	2
131 ประกอบ Air Evacuation(XC90)	-	-	-	0
132 ทาน้ำยากันสนิม	0	1	0	0
133 อุดรูระบายอากาศ	2	3	2	3
134 ติดสติ๊กเกอร์	-	4	4	-
135 ประกอบLiner Wheelarch	6	4	4	4
136 ประกอบSill Molding	4	4	4	5
137 ประกอบBreak Pipe	5	6	6	6
138 ไปเอา Sub Rear	4	4	4	6
139 ประกอบตัวล็อกท่อไอเสีย	1	1	1	0
140 ประกอบ Heat shield	1	1	1	0
141 ใส่Clip Lock	2	2	2	2
142 ประกอบถังน้ำที่ปิดน้ำฝน	2	2	2	2
143 ประกอบEngine	8	8	8	6
144 ใส่ล้อหน้า	0	0	0	0
145 จับองศา	1	1	1	1
146 ประกอบท่อ Air brake(XC90)	-	-	-	2
147 ประกอบ Transport prote (XC90)	-	-	-	2
148 ใส่แผ่นรองเพลลาแผ่นหน้า	2	2	2	2
149 ใส่แผ่นรองเพลลาแผ่นหลัง	1	2	2	2
150 ใส่สายเบรค	0	0	0	1
151 ชันท่อเบรค	2	2	2	2
152 ประกอบเพลลา	3	3	3	3

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
153 ประกอบท่อไอเสีย	3	4	3	4
154 ประกอบRear Axle	8	6	6	5
155 ต่อสายไฟ (S60,S80)	2	2	2	-
156 ประกอบฝาปิดถังน้ำมัน	4	4	4	5
157 ประกอบBracketพ่อน้ำมัน	3	4	3	4
158 ประกอบ Linear Wheelarch (XC90)	-	-	-	4
159 ติดRubber Seal บริเวณท้ายรถ	-	2	2	-
160 ประกอบ Fender Widener (XC90)	-	-	-	2
161 ปิด LID(S60,S80)	2	2	2	-
162 ประกอบล้อหลัง	3	3	3	6
163 ชันทอร์กล้อทั้ง4ล้อ	3	3	2	2
164 ชันทอร์กดัดวstutใช้คหน้า2ข้าง	2	3	2	2
165 ประกอบพวงมาลัย	7	7	7	7
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	86	95	90	97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11. สถานีงาน Final1				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
166 ต่อท่อแอร์	-	3	4	2
167 Sub Bracket กันชนหน้า	3	-	-	-
168 ประกอบไฟเลี้ยง	1	1	1	-
169 ประกอบ Bracket กันชนหน้า	3	3	3	2
170 ประกอบAir Tightening	2	-	-	-
171 ประกอบAir Sealing	-	2	2	1
172 ประกอบAir Guide	2	2	2	-
173 ต่อท่อน้ำปิดกระจก	1	1	1	0
174 ประกอบกันชนหน้า	7	7	7	6
175 check ความเรียบร้อยของกันชนหน้า	1	1	1	-
176 ประกอบClip	-	1	1	-
177 ประกอบCover	-	1	1	-
178 ประกอบแบตเตอรี่	1	1	1	2
179 ประกอบที่แขวนยางอะไหล่	-	-	-	1
180 ประกอบแผ่นกันน้ำรั่ว	-	-	-	1
181 ประกอบยางอะไหล่	3	3	3	4
182 วางชุดเครื่องมือสำรอง	1	2	2	1
183 ประกอบฟองน้ำรองยาง	1	-	-	-
184 ประกอบ Antenna	1	2	2	-
185 ประกอบม่าน (load curtain)	-	1	1	-
186 ประกอบ sill mounding	2	3	3	-
187 ประกอบพรมฝ้าย	1	2	2	-
188 ติดWarning	1	1	1	1
189 ติด insulation	1	0	0	-
190 ประกอบเซ็นเซอร์ถอยหลัง	-	-	-	1
191 ใส้Clip Lock	-	-	-	2
192 ประกอบPanel	-	-	-	3

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
193 ประกอบCover	-	-	-	1
194 ประกอบPanel (ในรถด้านหลัง)	1	1	1	-
195 ประกอบPanel (ในกระโปรงรถ)	1	1	2	-
196 ปู insulation	-	-	-	1
197 ประกอบFrame	-	-	-	1
198 ติดฟองน้ำรองแผ่นป้ายทะเบียน	-	1	0	-
199 ประกอบ side panel plug	-	-	-	2
200 จัมป์สายดิน	-	-	-	0
201 เคาสกุญป้ายทะเบียนใส่เก๊ะ	-	-	-	0
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	33	37	39	35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12. สถานีงาน Final2					
ขั้นตอนการดำเนินงาน		เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
		S60	V70	S80	XC90
202	ประกอบที่เหยียบเบรค	2	3	2	3
203	ประกอบที่ล็อกประตู	3	2	2	2
204	ประกอบที่ล็อกเบาะหลัง	4	4	4	2
205	ประกอบเบรกมือ	-	-	-	1
206	ประกอบตัวคล้อง safety belt	1	2	1	-
207	ประกอบ Bonnet lock ,Control panel	-	-	-	0
208	ประกอบลำโพงเสา D	-	-	-	3
209	ประกอบ Lamp	-	-	-	1
210	Sub Console ช่วงเกียร์	8	8	8	8
211	วาง Floor Support	-	-	-	1
212	ประกอบ Concealing	-	-	-	1
213	ประกอบ safety belt + ยางขอบประตู	-	-	-	2
214	ประกอบ Console ช่วงเกียร์	5	5	4	5
215	วาง Floor Carpet	3	4	3	2
216	ประกอบด้านข้าง Console	1	2	1	-
217	ติดเทปกั้นเบื่อนที่เบรคมือ (S60,S80)	1	2	2	-
218	ต่อท่อแอร์	2	1	1	0
219	ประกอบ sill moulding	1	1	1	2
220	ประกอบ Amplifier	-	-	-	1
221	ใส่เบาะ	8	10	9	17
222	ปิด cover ใต้ที่นั่ง	1	1	0	2
223	ประกอบ Gapfiller	-	-	-	1
224	ประกอบแม่แรง (jack)	-	-	-	2
225	ติดฟองน้ำ (S60,S80)	1	2	1	-
226	ตรวจ Barcade เบาะ	1	2	2	2
227	เอากระดาษวางรองกันพรมสกปรก	1	1	1	1
228	ประกอบ Panel ห้องท้าย	-	-	-	12
229	ประกอบประตู	4	4	4	5
230	ติดฟองน้ำกันกระแทกที่ประตู	0	0	0	3
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน		46	55	47	78

13. สถานีงาน Final3				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
231 ประกอบ Pipe Air กับ Compressor	2	4	4	7
232 ประกอบ Expansion Tank (กระปุก Coolant)	3	2	2	2
233 ประกอบ Reservoir (กระปุกน้ำมัน power)	1	7	8	2
234 ประกอบกล่อง Control Unit	3	2	2	2
235 ติด sticker + ปิดจุกยางที่ shock	1	2	2	1
236 ประกอบ Filler Pipe (กระปุกไฟ D.I Water)	1	1	1	1
237 เติม Coolant	13	12	12	12
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	25	30	31	26
14. สถานีงาน Final4				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
238 เติม DI. Water	1	1	1	1
239 เติมน้ำมัน power	1	1	1	1
240 ประกอบที่ปิดน้ำฝนไฟหน้า	2	3	3	-
241 เติมน้ำมันเบรก	6	5	6	5
242 เดินสายไฟในห้องเครื่อง	4	4	5	4
243 Lock สายเกียร์	1	0	0	1
244 จั๊มพ์สายไฟต่อกล่องฟิวส์	1	1	1	1
245 ประกอบกล่องฟิวส์	4	3	3	4
246 ประกอบชุดปิดน้ำฝน	7	7	7	8
247 ประกอบคานเหล็ก	4	3	3	4
248 ประกอบ Air Flow	3	3	3	4
249 ประกอบ Air Inlet	1	1	1	1
250 ชั้นน็อตยึด condensor cover กับโครงรถ	3	1	1	1
251 Sub fuse ที่ dash board + ติด wrap guard	4	5	5	4
252 เติมน้ำมัน	4	4	4	4
253 เติมน้ำมันเกียร์	-	7	7	7
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	46	49	51	50

15. สถานีงาน Final5					
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)				
	S60	V70	S80	XC90	
254	เชื่อม Battery + Charge Battery	1	1	1	2
255	ประกอบ Cover Battery + Bracket	3	3	3	3
256	ปูพรม	1	1	2	-
257	ประกอบม่านที่บริเวณด้านหลังรถ	-	-	-	0
258	ประกอบวิทยุ	2	2	3	-
259	ประกอบแผงประตูด้านหน้าขวา	3	3	5	3
260	ประกอบแผงประตูด้านหน้าซ้าย	3	3	4	3
261	Download	24	25	25	44
262	ประกอบแผงประตูด้านหลังขวา	2	4	3	2
263	ประกอบแผงประตูด้านหลังซ้าย	2	2	3	2
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน		42	44	49	59
16. สถานีงาน Final6					
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)				
	S60	V70	S80	XC90	
264	เติมน้ำมัน power + ถอดสาย battery	1	1	1	1
265	เติมน้ำยาแอร์	19	23	24	26
266	ตั้ง Gap , Flush ของประตูด้านหลังซ้าย	3	3	3	4
267	ตั้ง Gap , Flush ของประตูด้านหน้าซ้าย	4	5	5	4
268	ปรับระดับประตูด้านซ้ายให้ใกล้เคียงกัน	4	-	-	5
269	ตั้ง Gap , Flush ของประตูด้านหลังขวา	3	3	3	2
270	ตั้ง Gap , Flush ของประตูด้านหน้าขวา	4	5	5	2
271	ปรับระดับประตูด้านขวาให้ใกล้เคียงกัน	2	5	5	3
272	ขันน็อตให้แน่นทั้ง 4 บาน	1	1	1	1
273	ประกอบ Side Window	-	10	10	-
274	ประกอบ Water Glass	-	-	-	16
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน		41	56	57	65

17. สถานีงาน Final7				
ขั้นตอนการดำเนินงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
275 ตั้ง Gap, Flush ฝากระโปรงหน้า	7	6	6	2
276 ประกอบ sensor บัดน้ำฝน + cover	2	2	2	1
277 Check ความเรียบร้อยทั้งคัน + ทำเอกสาร	41	45	46	42
- ห้องเครื่อง				
- ระบบไฟภายในรถ				
- Gap, Flush ต่างๆ				
- Sensor ต่างๆ				
ผลรวมเวลาการดำเนินงาน	50	52	53	46

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 สรุปเวลาการดำเนินงานของรถแต่ละรุ่น ในแต่ละสถานีงาน

สถานีงาน	เวลาการดำเนินงาน (นาที)			
	S60	V70	S80	XC90
trim 1	95	91	94	77
trim 2	42	38	39	41
trim 3	46	43	46	42
trim 4	12	14	14	14
trim 5	13	15	12	17
trim 6	31	32	32	101
trim 7	46	55	60	61
trim 8	20	25	20	9
trim 9	42	45	40	39
marriage	86	95	90	97
final 1	33	37	39	35
final 2	46	55	47	78
final 3	25	30	31	26
final 4	46	49	51	50
final 5	42	44	49	59
final 6	41	56	57	65
final 7	50	52	53	46



ภาคผนวก ข

**ข้อมูลเวลาการดำเนินงานสำหรับระบบการผลิต
แบบไหลเลื่อน**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลเวลาการดำเนินงานสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน

ข้อมูลเวลาการดำเนินงานสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน เป็นข้อมูลที่นำมาจาก OR-Library เป็นข้อมูลค่าคงที่ของเวลาการดำเนินงานในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน นำมาจากเว็บไซต์ <http://mscmga.ms.ic.ac.uk/jep/orlib/flowshopshopinfo.html> OR-Library เป็นข้อมูลของเวลาการดำเนินงานที่มีจำนวนงาน และจำนวนสถานีงานที่แตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้

o ปัญหา car1-car8 มาจาก

J. Carlier (1978),

Ordonnancements a contraintes disjonctives,

R.A.I.R.O. Recherche operationelle/Operations Research 12, 333-351.

o ปัญหา hel มาจาก

J. Heller (1960),

Some numerical experiments for an MxJ flow shop and its decision-theoretical aspects,

Operations Research 8, 178-184.

o ปัญหา reC01-reC17 มาจาก

C.R. Reeves (1995),

A genetic algorithm for flowshop sequencing,

Computer Ops Res 22, 5-13.

(Only odd-numbered instances are given, since the even-numbered instances are obtained from the previous instance by just reversing the processing order of each job; the optimal value of each odd-numbered instance and its even-numbered counterpart is the same.)

ตารางที่ ข.1 ปัญหา car1

Station \ Job	1	2	3	4	5
1	375	12	142	245	412
2	632	452	758	278	398
3	12	876	124	534	765
4	460	542	523	120	499
5	528	101	789	124	999
6	796	245	632	375	123
7	532	230	543	896	452
8	14	124	214	543	785
9	257	527	753	210	463
10	896	896	214	258	259
11	532	302	501	765	988

ตารางที่ ข.2 ปัญหา car2

Station \ Job	1	2	3	4
1	654	147	345	447
2	321	520	789	702
3	12	147	630	255
4	345	586	214	866
5	678	532	275	332
6	963	145	302	225
7	25	24	142	589
8	874	517	24	996
9	114	896	520	541
10	785	543	336	234
11	203	210	599	784
12	696	784	855	512
13	302	512	221	345

ตารางที่ ข.3 ปัญหา car3

Station \ Job	1	2	3	4	5
1	456	537	123	214	234
2	789	854	225	528	123
3	876	632	588	896	456
4	543	145	669	325	789
5	210	785	966	147	876
6	123	214	332	856	543
7	456	752	144	321	210
8	789	143	755	427	123
9	876	698	322	546	456
10	543	532	100	321	789
11	210	145	114	401	876
12	124	247	753	214	543

ตารางที่ ข.4 ปัญหา car4

Station \ Job	1	2	3	4
1	456	856	963	696
2	789	930	21	320
3	630	214	475	142
4	214	257	320	753
5	573	896	124	214
6	218	532	752	528
7	653	142	147	653
8	214	547	532	214
9	204	865	145	527
10	785	321	763	536
11	696	124	214	214
12	532	12	257	528
13	12	345	854	888
14	457	678	123	999

ตารางที่ ข.5 ปัญหา car5

Station Job	1	2	3	4	5	6
1	333	991	996	123	145	234
2	333	111	663	456	785	532
3	252	222	222	789	214	586
4	222	204	114	876	752	532
5	255	477	123	543	143	142
6	555	566	456	210	698	573
7	558	899	789	124	532	12
8	888	965	876	537	145	14
9	889	588	543	854	247	527
10	999	889	210	632	451	856

ตารางที่ ข.6 ปัญหา car6

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	887	447	234	159	201	555	463	456	753
2	799	779	567	267	478	444	123	789	21
3	999	999	852	483	520	120	456	630	427
4	666	666	140	753	145	142	789	258	520
5	663	25	222	420	699	578	876	741	142
6	333	558	558	159	875	965	543	36	534
7	222	886	965	25	633	412	210	985	157
8	114	541	412	863	222	25	123	214	896

ตารางที่ ข.7 ปัญหา car7

Station \ Job	1	2	3	4	5	6	7
1	692	310	832	630	258	147	255
2	581	582	14	214	147	753	806
3	475	475	785	578	852	2	699
4	23	196	696	214	586	356	877
5	158	325	530	785	325	565	421
6	796	874	214	236	896	898	302
7	542	205	578	963	325	800	120

ตารางที่ ข.8 ปัญหา car8

Station \ Job	1	2	3	4	5	6	7	8
1	456	654	852	145	632	425	214	654
2	789	123	369	678	581	396	123	789
3	654	123	632	965	475	325	456	654
4	321	456	581	421	32	147	789	123
5	456	789	472	365	536	852	654	123
6	789	654	586	824	325	12	321	456
7	654	321	320	758	863	452	456	789
8	789	147	120	639	21	863	789	654

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.9 ปัญหา hel

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	4	3	5	5	7	6	4
2	2	5	4	3	1	9	5	4	7	0
3	5	6	8	4	4	2	5	6	7	5
4	4	1	5	6	5	7	9	2	6	2
5	4	4	2	7	3	6	5	2	4	1
6	7	6	2	5	4	1	4	7	5	5
7	8	5	8	7	9	5	3	5	1	5
8	4	2	5	8	9	9	4	7	5	8
9	2	7	4	2	5	4	5	8	4	3
10	6	5	1	9	4	4	7	6	5	1
11	5	4	7	3	9	1	4	7	3	2
12	2	4	9	2	4	5	2	1	4	2
13	4	0	1	2	2	3	1	4	2	8
14	1	2	5	7	8	6	2	1	4	8
15	6	4	5	1	2	4	5	6	2	9
16	4	5	3	1	8	7	0	1	4	6
17	7	3	1	4	7	0	4	1	5	6
18	5	2	4	1	2	7	5	3	2	3
19	8	6	8	5	7	4	2	5	9	5
20	4	5	3	5	7	9	2	4	5	8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.10 ปัญหา rec01

Station Job	1	2	3	4	5
1	5	76	74	99	26
2	74	21	83	52	90
3	67	48	6	66	38
4	97	36	71	68	81
5	87	86	64	11	31
6	1	42	20	90	23
7	69	32	99	26	57
8	69	12	54	80	16
9	11	63	24	16	89
10	87	52	43	10	26
11	25	59	88	87	40
12	50	42	72	77	29
13	58	76	71	82	94
14	79	48	20	63	97
15	35	57	78	99	80
16	70	76	53	2	19
17	79	22	77	74	95
18	34	99	49	3	61
19	37	24	32	35	4
20	50	88	46	63	76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.11 ปัญหา rec03

Station Job	1	2	3	4	5
1	34	6	63	85	60
2	11	65	4	1	73
3	63	67	3	73	100
4	22	46	88	1	66
5	76	4	34	9	76
6	20	22	7	3	28
7	44	30	55	68	92
8	29	89	12	96	71
9	54	12	21	74	2
10	62	96	61	79	53
11	50	12	48	40	37
12	89	69	57	1	70
13	50	56	8	67	46
14	32	24	23	87	62
15	12	88	64	14	13
16	59	78	95	59	48
17	41	20	83	65	20
18	94	48	26	93	3
19	28	59	10	81	20
20	66	33	34	8	5

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.12 ปัญหา rec05

Station Job	1	2	3	4	5
1	59	37	67	39	30
2	89	41	42	59	43
3	18	56	75	95	75
4	65	67	50	57	13
5	1	79	71	78	88
6	49	100	30	76	36
7	99	9	34	44	62
8	35	46	58	26	73
9	8	98	97	20	73
10	39	73	20	55	30
11	60	18	97	61	22
12	71	1	4	88	55
13	76	30	51	77	22
14	30	98	25	43	5
15	77	36	76	16	45
16	5	82	64	13	14
17	98	84	4	34	26
18	79	28	84	69	36
19	38	36	47	86	1
20	69	19	54	83	97

ตารางที่ ข.13 ปัญหา rec07

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	18	38	11	97	23	90	52	79	63
2	50	30	75	82	38	39	28	84	48	57
3	75	50	33	58	56	41	51	29	75	97
4	65	42	66	29	36	29	10	84	14	67
5	84	68	42	41	86	23	95	30	73	97
6	33	72	79	85	81	51	72	19	48	48
7	91	66	87	88	97	36	21	59	61	4
8	51	23	100	93	48	84	74	7	98	55
9	58	61	17	54	25	71	52	47	49	86
10	44	27	40	19	34	33	3	89	39	66
11	70	94	7	19	31	48	38	48	73	34
12	60	38	34	55	63	28	70	35	68	88
13	39	33	53	87	2	6	51	42	93	67
14	72	35	45	20	84	23	10	34	8	48
15	100	71	80	89	47	15	90	33	97	26
16	79	23	57	54	70	99	85	5	9	4
17	14	23	36	79	4	65	78	51	95	79
18	3	32	81	26	19	59	80	90	44	33
19	68	33	94	37	33	74	64	50	22	17
20	94	17	54	27	55	34	7	56	10	41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.14 ปัญหา rec09

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	77	95	41	97	47	45	10	41	72	8
2	99	28	42	4	7	30	65	45	51	94
3	74	25	92	29	4	21	47	36	61	9
4	4	21	40	80	66	85	1	33	1	4
5	49	95	96	74	96	63	59	84	70	29
6	53	59	75	19	13	50	82	60	9	13
7	88	47	28	11	86	90	93	38	33	59
8	92	99	84	13	73	55	19	93	74	25
9	2	49	86	46	58	42	24	79	12	17
10	97	18	28	77	92	54	49	24	19	71
11	28	93	93	7	25	89	49	11	93	45
12	64	22	91	56	46	27	32	70	94	5
13	25	96	98	51	21	20	93	64	86	11
14	19	41	87	15	31	78	54	74	71	6
15	81	1	74	56	8	55	3	92	28	5
16	9	29	49	48	72	38	26	3	49	80
17	5	74	19	27	71	35	52	76	79	47
18	8	66	40	71	17	61	84	49	52	56
19	34	7	58	94	22	27	40	19	26	77
20	13	56	45	27	40	26	90	28	27	88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.15 ปัญหา rec11

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	96	80	56	48	14	88	50	15	67	65
2	25	44	10	41	64	52	19	28	72	27
3	76	62	48	54	47	35	72	54	27	56
4	41	6	3	33	77	44	43	50	19	43
5	65	91	75	30	47	55	51	1	36	73
6	81	69	65	93	61	3	44	17	6	14
7	49	9	12	54	75	66	34	12	32	6
8	93	89	31	14	37	57	33	96	32	45
9	39	83	55	32	18	9	93	65	75	73
10	52	46	64	13	54	62	45	80	19	65
11	72	4	29	94	85	51	29	65	50	16
12	55	43	47	32	87	97	41	86	17	30
13	8	91	81	93	14	86	64	42	70	3
14	27	11	94	38	33	67	8	55	99	18
15	34	86	87	10	64	30	47	51	69	26
16	15	5	39	23	16	1	57	55	62	35
17	59	55	43	49	23	25	51	72	9	1
18	93	4	43	5	84	55	22	78	31	11
19	20	91	73	41	100	38	75	9	76	71
20	59	13	93	26	11	7	66	42	54	99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.16 ปัญหา rec13

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	78	37	79	98	100	21	82	27	7	22	9	57	84	91	5
2	13	81	100	77	45	39	60	87	38	91	17	85	43	81	33
3	47	9	31	40	86	27	69	50	87	34	13	15	95	96	72
4	26	61	5	22	26	52	57	97	10	68	8	49	41	16	35
5	68	41	46	58	37	59	22	43	49	21	42	70	13	2	76
6	47	60	23	23	57	60	35	56	54	73	81	61	15	70	51
7	63	21	10	50	12	84	91	7	44	75	60	72	28	83	52
8	52	100	38	79	90	52	81	54	51	11	76	50	24	12	23
9	91	21	59	55	39	75	3	11	14	24	36	72	48	69	55
10	100	54	77	53	90	91	53	68	18	86	28	61	86	36	15
11	63	58	93	24	18	78	74	57	100	92	51	73	6	12	83
12	96	60	79	84	86	31	41	79	63	17	31	65	41	77	74
13	54	55	89	77	40	71	21	43	60	58	13	3	73	44	85
14	50	33	51	100	46	27	30	80	56	50	97	70	9	22	92
15	17	7	12	66	98	25	76	25	76	25	69	69	73	45	74
16	46	76	32	32	28	48	63	92	85	69	24	38	57	21	66
17	91	42	30	39	97	72	96	78	71	75	17	26	94	3	39
18	99	93	57	23	52	89	4	74	21	10	53	94	59	100	68
19	20	84	25	1	72	63	79	63	17	38	21	36	1	73	58
20	18	4	21	43	55	86	99	38	81	74	34	40	61	76	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.17 ปัญหา rec15

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	60	70	51	74	6	4	27	5	30	79	58	49	91	20	63
2	79	53	74	87	18	16	44	95	41	3	20	59	74	33	42
3	94	57	19	77	70	90	36	73	37	24	28	23	16	97	75
4	23	3	82	87	45	54	76	60	61	98	68	14	10	17	9
5	38	32	68	7	49	49	72	31	70	8	26	81	86	60	74
6	27	14	77	20	92	74	33	44	43	52	10	81	30	93	71
7	23	55	67	6	64	68	19	73	92	96	3	21	51	3	25
8	41	91	90	43	37	96	99	46	41	51	33	49	17	64	68
9	92	44	12	37	75	20	14	43	26	64	85	14	54	54	97
10	69	69	71	54	36	96	3	27	16	61	94	96	85	34	34
11	16	38	36	48	92	20	55	89	75	57	89	62	36	36	69
12	37	19	55	2	96	10	81	29	2	34	83	1	45	23	64
13	4	57	26	29	91	94	21	30	30	51	31	62	53	29	51
14	55	65	21	99	27	53	42	78	63	25	86	60	64	76	69
15	17	70	33	81	24	35	77	21	83	19	44	70	90	34	90
16	76	94	54	34	12	28	24	5	59	4	46	93	32	78	48
17	81	49	83	72	31	72	91	8	40	93	84	63	67	36	84
18	63	70	14	85	66	41	64	54	10	65	26	58	20	64	41
19	98	39	91	5	55	28	43	97	35	23	50	99	59	63	95
20	47	48	89	33	99	10	54	94	52	44	73	67	44	36	98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.18 ปัญหา rec17

Station Job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	59	11	4	79	94	31	74	82	53	51	19	31	46	47	10
2	72	54	36	3	59	23	40	59	89	37	85	67	39	65	60
3	92	26	15	81	86	56	92	47	93	21	40	77	84	10	91
4	49	27	99	64	30	51	26	89	40	64	60	67	67	100	3
5	42	12	55	62	37	24	24	42	41	88	14	33	85	4	20
6	21	61	52	49	44	98	26	68	61	25	6	46	75	37	5
7	80	99	88	83	11	93	47	80	100	87	84	17	43	93	58
8	4	54	43	63	44	78	44	39	76	99	29	38	14	75	25
9	46	23	54	77	60	53	42	72	90	11	22	68	94	24	14
10	23	84	92	94	8	10	77	58	64	95	55	15	19	62	67
11	53	91	80	8	41	89	3	87	57	75	37	8	23	88	65
12	72	17	53	36	9	24	80	9	28	60	94	99	67	10	44
13	5	44	96	37	21	44	49	13	86	74	89	3	82	85	61
14	80	19	73	95	78	78	31	13	50	93	98	80	46	9	37
15	7	16	46	82	97	82	41	21	11	50	5	28	95	84	45
16	68	73	57	4	66	71	87	43	60	56	30	21	14	37	61
17	77	2	1	82	2	49	89	27	34	52	85	26	80	87	58
18	17	86	32	35	6	50	53	39	94	89	22	75	59	74	27
19	61	14	70	58	24	36	70	57	31	100	21	76	54	94	57
20	29	6	6	12	78	28	40	13	61	19	39	98	69	14	3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ความน่าจะเป็นแบบ t

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ความน่าจะเป็นแบบ t

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงความน่าจะเป็นแบบ t

II. Percentage Points of the t Distribution ^a										
$\nu \backslash \alpha$.40	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.727	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.019	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

ν = degrees of freedom.

^a Adapted with permission from *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. 1, 3rd edition, by E. S. Pearson and H. O. Hartley, Cambridge University Press, Cambridge, 1966.



ภาคผนวก ง

โปรแกรมที่จัดทำให้กับโรงงานกรณีศึกษา

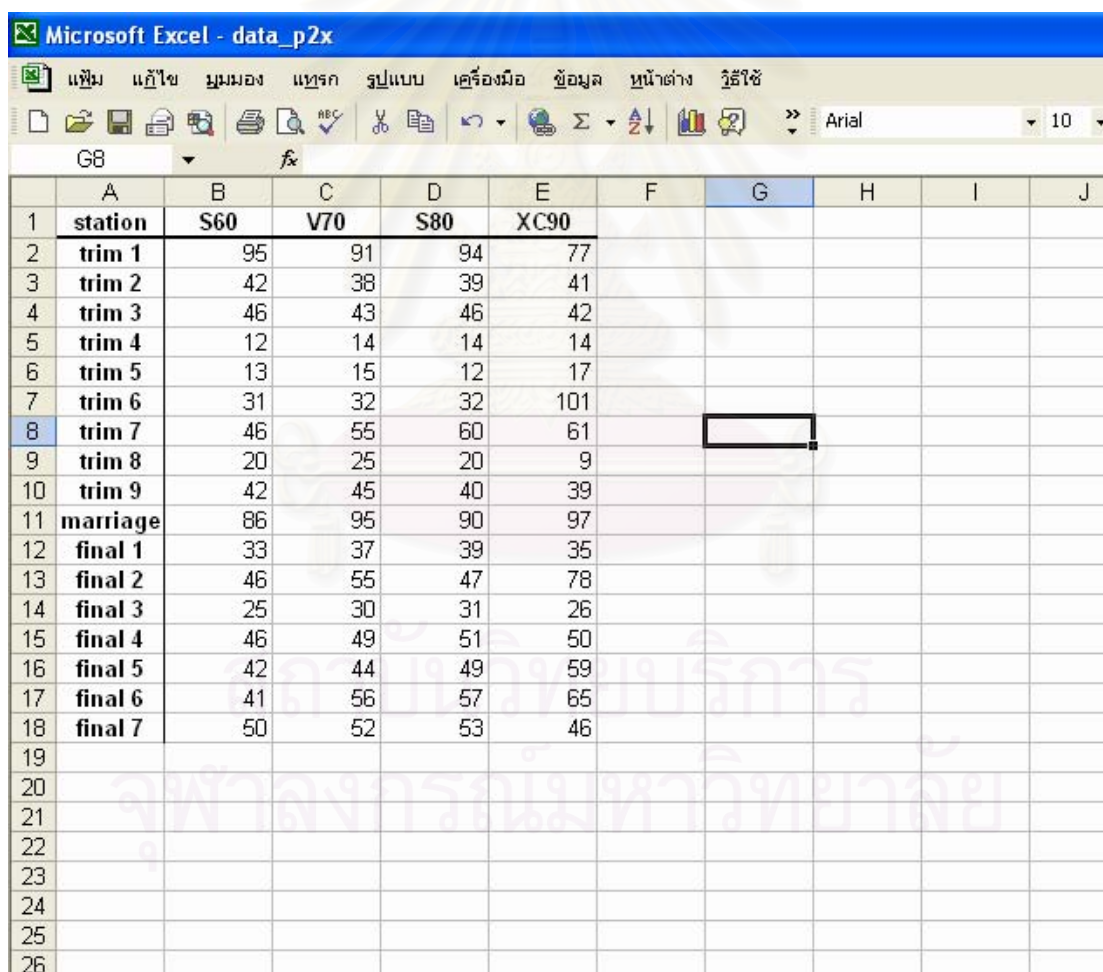
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

โปรแกรมที่จัดทำให้กับโรงงานกรณีศึกษา

โปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อเสนอแนะในการจัดตารางการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์คือ เวลาปิดงานของระบบที่เหมาะสม สำหรับสายการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเขียนขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 โดยโปรแกรมมีลักษณะดังนี้

1. กำหนดเวลาการดำเนินงานของรถแต่ละรุ่น ในแต่ละสถานีงาน ในไฟล์ data_p2x.xls ดังรูปที่ ง.1



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	station	S60	V70	S80	XC90					
2	trim 1	95	91	94	77					
3	trim 2	42	38	39	41					
4	trim 3	46	43	46	42					
5	trim 4	12	14	14	14					
6	trim 5	13	15	12	17					
7	trim 6	31	32	32	101					
8	trim 7	46	55	60	61					
9	trim 8	20	25	20	9					
10	trim 9	42	45	40	39					
11	marriage	86	95	90	97					
12	final 1	33	37	39	35					
13	final 2	46	55	47	78					
14	final 3	25	30	31	26					
15	final 4	46	49	51	50					
16	final 5	42	44	49	59					
17	final 6	41	56	57	65					
18	final 7	50	52	53	46					
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										

รูปที่ ง.1 แสดงการกำหนดเวลาการดำเนินงานของรถแต่ละรุ่น ในแต่ละสถานีงาน

2. กรอกจำนวนปริมาณการผลิตของแต่ละรุ่น (จำกัด demand รวมทั้ง 4 โมเดลไม่เกิน 24 คัน) ดังรูปที่ ง.2

รูปที่ ง.2 วิธีการกรอกปริมาณการผลิต

3. คลิกที่ปุ่ม Solve ผลจะปรากฏขึ้นมาในไฟล์ result.xls ดังรูปที่ ง.3

station/job	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	91	168	245	339	433	524	619	714			
2	129	209	286	378	472	562	661	756			
3	172	251	328	424	518	605	707	802			
4	186	265	342	438	532	619	719	814			
5	201	282	383	484	545	634	732	827			
6	233	333	484	545	605	666	763	858			
7	288	444	545	605	665	721	809	904			
8	313	453	554	625	690	780	870	965			
9	358	492	593	690	780	870	965	1051			
10	453	589	690	780	870	965	1051	1137			
11	490	624	725	819	909	1002	1084	1170			
12	545	702	803	866	956	1057	1130	1216			
13	575	728	829	897	987	1087	1155	1241			
14	624	778	879	948	1038	1136	1201	1287			
15	668	837	938	1003	1087	1180	1243	1329			
16	724	902	1003	1060	1144	1236	1288	1370			
17	776	948	1049	1113	1197	1288	1338	1420			
Sequence	XC90	S80	S80	V70	V70	XC90	S60	S60			

*หน่วย นาที

รูปที่ ง.3 ผลการจัดตารางการผลิต

จากรูปที่ ง.3 แสดงเวลาที่แต่ละงาน ออกจากสถานีงานต่าง ๆ ลำดับของงานคือ XC90 - S80 - XC90 - S80 - S80 - V70 - S60 - S60 และเวลาปิดงานของระบบเท่ากับ 1420 นาที

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศรันญา อุดมศรี เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ.2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า พระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรม ศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย