การพัฒนาการจัดตารางการผลิตสำหรับส่วนงานเย็บในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า

นายกฤษฎา หาญสมบัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION SCHEDULING DEVELOPMENT FOR SEWING PROCESS IN APPAREL INDUSTRY TO REDUCE THE NUMBER OF TARDY JOBS

Mr. Krisda Harnsombat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาการจัดตารางการผลิตสำหรับส่วนงานเย็บในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า
โดย	นาย กฤษฎา หาญสมบัติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรารถนา ปรารถนาดี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤษฎา หาญสมบัติ : การพัฒนาการจัดตารางการผลิตสำหรับส่วนงานเย็บในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า.(PRODUCTION SCHEDULING DEVELOPMENT FOR SEWING PROCESS IN APPAREL INDUSTRY TO REDUCE THE NUMBER OF TARDY JOBS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์-พิลาศ 96 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับส่วนงานเย็บในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีการจัดตารางโดยใช้การค้นหาแบบทาบูในการหาคำตอบการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรขนานซึ่งไม่เกี่ยวเนื่องกันโดยพิจารณาเวลาปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นกับงานก่อนหน้าเพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด

การทดสอบประสิทธิภาพของการค้นหาแบบทาบูที่พัฒนาขึ้นกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์กับค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ การค้นหาแบบทาบูสามารถหาคำตอบที่ให้ค่าวัตถุประสงค์เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด 100 ชุดข้อมูลจาก 108 ชุดข้อมูลซึ่งคิดเป็นค่าความแตกต่างเฉลี่ย 7.41% จากค่าที่ดีที่สุดและได้ทดสอบวิธีการจัดตารางด้วยการค้นหาแบบทาบูเปรียบเทียบกับวิธีการของโรงงานกรณีศึกษา การค้นหาแบบทาบูสามารถสร้างวิธีการจัดตารางที่ให้ค่าวัตถุประสงค์เฉลี่ยที่ดีกว่าวิธีการของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ถึง 30.2%

งานวิจัยนี้ได้สร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล ประมวลผลการจัดตารางและแสดงผลการจัดตารางซึ่งสามารถแสดงผลเป็นรูปภาพได้ ทำให้สามารถแสดงวิธีการจัดตารางที่ง่ายต่อความเข้าใจ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต.....กฤษฎา หาญสมบัติ.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5070209821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SCHEDULING / NUMBER OF TARDY JOBS / UNRELATED PARALLEL MACHINE / SEQUENCE DEPENDENT SETUP TIME / SCHEDULING PROGRAM

KRISDA HARNSOMBAT : PRODUCTION SCHEDULING DEVELOPMENT OF SEWING PROCESS FOR APPAREL INDUSTRY TO REDUCE THE NUMBER OF TARDY JOBS. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph. D., 96 PP.

This research focuses on developing production scheduling of a sewing process for an apparel industry to reduce the number of tardy jobs. Tabu Search is used in finding production scheduling for unrelated parallel machine with sequence dependent setup time to minimize number of tardy jobs.

To evaluate the proposed methodology, the solutions from the proposed Tabu Search were compared to the optimal solutions from a mathematical model. Tabu Search found optimal solutions 100 out of 108 data sets, which is on average 7.41% deviation from optimal solutions. The comparison between the proposed Tabu Search and the current methodology from a case-study factory, shows that Tabu Search out performs the algorithm used by the factory under study by 30.2% in term of an objective function value

This research also developed a program that can keep input data, evaluate input to create schedules and displays production schedule in graphical view. These make production schedule easily understandable.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	: Industrial Engineering	Student's Signature	กฤษดา หมื่นสิงห์
Field of Study	: Industrial Engineering	Advisor's Signature	
Academic Year	: 2009		

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จและผ่านอุปสรรคและปัญหาต่างๆได้ด้วยคำแนะนำจาก ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำ ทั้งที่เกี่ยวของและไม่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหา วิธีการ แนวคิด คติเตือนใจให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรค์ในการทำงานวิจัยจนลุล่วง ตลอดจนเพื่อนๆผู้ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือในการทดลอง

กฤษฎา หาญสมบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

รายการสัญลักษณ์..... ฏ

บทที่ 1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 5

1.2 วัตถุประสงค์..... 9

1.3 ขอบเขตและข้อสมมุติ..... 5

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย..... 6

1.5 การดำเนินงาน..... 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 9

บทที่ 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 10

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต..... 10

2.1.1ตัวแปร..... 10

2.1.2 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตาราง(Objective Function)..... 11

2.1.3 ลักษณะข้อจำกัดและสมบัติของกระบวนการ..... 15

2.1.4 การจัดเรียงเครื่องจักร..... 17

2.2 การแบ่งประเภทของปัญหาการจัดตาราง..... 19

2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมการทางคณิตศาสตร์และวิธีฮิวริสติกส์..... 21

2.3.1 กฎการจ่ายงาน (Priority Dispatching Rules)..... 21

2.3.2 วิธีการค้นหาแบบทาบู..... 22

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 Visual Basic.NET และระบบฐานข้อมูล Microsoft Access.....33
2.4.1. ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้นใน Visual Basic.NET.....33
2.4.2. คุณสมบัติเครื่องคอมพิวเตอร์เบื้องต้นในพัฒนาโปรแกรม Visual Basic. NET....34
2.4.3. ประโยชน์ของการใช้ Visual Basic. NET.....36
2.4.4. ความสามารถของ Microsoft Access.....37
2.4.5. ความเหมาะสมในการใช้งาน Microsoft Access.....38
2.4.6. ประโยชน์ของฐานข้อมูล.....39
บทที่ 3. ระเบียบวิธีการหาผลเฉลย.....40
3.1 ความซับซ้อนของขั้นตอนวิธี (Algorithmic Complexity).....40
3.2 ผสมผสานกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Mix Integer Programming).....42
3.3 วิธีการทางฮิวริสติก (Heuristic Method).....44
3.3.1 วิธีการจัดตารางเย็บของโรงงานกรณีศึกษา.....44
3.3.2 กระบวนการค้นหาแบบทาบู.....45
3.3.3 การตั้งค่า IWOI ค่า LC และ Tabu Size.....54
บทที่ 4 วิธีการทดสอบและเปรียบเทียบกระบวนการหาคำตอบ.....55
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของฮิวริสติกส์.....55
4.1.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data) เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์.....55
4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์.....57
4.2 การทดสอบปัญหาขนาดใหญ่และการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....60
4.2.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data).....60
4.2.2 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาขนาดต่างๆด้วยวิธีฮิวริสติกส์.....61
4.2.3 ผลการทดสอบค่าวัตถุประสงค์ของวิธีการค้นหาแบบทาบูเทียบกับวิธีโรงงาน.....63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....64

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สภาพปัญหา วิธีการแก้ปัญหาและข้อจำกัดของระเบียบวิธี.....64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....65
รายการอ้างอิง.....67
ภาคผนวก ก วิธีการใช้งานโปรแกรมจัดตารางการผลิต.....71
ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบวิธีทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติกส์.....77
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบค่าที่ดีที่สุด, ค่าที่ได้จากการค้นหาแบบทาบูและวิธีการของโรงงาน..85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรแบบขนานหรือมีจุดประสงค์เพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด....31
ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการค้นหาแบบทาบู....32
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้นของ VB.NET....33
ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติฮาร์ดแวร์เบื้องต้นและที่แนะนำในเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 35
ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของซอฟต์แวร์เบื้องต้นและซอฟต์แวร์ที่แนะนำของเครื่องคอมพิวเตอร์....36
ตารางที่ 3.1 ค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจำนวนเครื่องจักร และงานที่แตกต่างกัน....41
ตารางที่ 3.2 ค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดมากที่สุด เมื่อพิจารณาจำนวนเครื่องจักร และงานที่แตกต่างกัน....41
ตารางที่ 4.1 สรุปค่าที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์....56
ตารางที่ 4.2 ผลเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาแบบทาบูกับค่าที่ดีที่สุด 57
ตารางที่ 4.3 สรุปค่าที่ใช้ในการทดสอบเวลาในการหาคำตอบและคำตอบของฮิวริสติกส์....60
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่า LC และ IWOI....61
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบขนาดรายการทาบู....62
ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบการหาคำตอบด้านเวลาและค่าวัตถุประสงค์ 84
ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของการค้นหาแบบทาบูกับวิธีโรงงาน 89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นความซับซ้อนของปัญหาการจัดตาร 20
รูปที่ 2.2 แผนภาพการไหลของการค้นหาแบบทาบูโดยทั่วไป 24
รูปที่ 2.3 ระดับตัวเลือกการใช้งานของฐานข้อมูล 38
รูปที่ 3.1 วิธีการจัดตารางของโรงงาน 44
รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลของวิธีการค้นหาแบบทาบู 46
รูปที่ 3.3 ALGORITHM 1 47
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 1 50
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 2 50
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 3 51
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 4 52
รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q = 1 R = 0.05 58
รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q =1 R = 0.2 58
รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q =2 R = 0.05 58
รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q =2 R = 0.2 59
รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q =3 R = 0.05 59
รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ Q =- R = 0.2 59
รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของการค้นหาแบบทาบูและวิธีการของโรงงาน 63
รูปที่ ก-1 หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมวางแผนการผลิต 72
รูปที่ ก-2 การใส่ข้อมูลนำเข้า 1 73
รูปที่ ก-3 การใส่ข้อมูลนำเข้า 2 74
รูปที่ ก-4 หน้าจอแสดงผลที่ได้จากการจัดตาราง 76
รูปที่ ก-5 หน้าจอแสดงผลเป็นรูปภาพ 76

รายการสัญลักษณ์

n คือ จำนวนงานที่พิจารณา

m คือ จำนวนเครื่องจักร

i, j คือ งานที่ i และงานที่ j โดยเมื่อมีการจัดตารางการผลิต งาน i จะเป็นงานลำดับก่อนหน้างานที่พิจารณา j

(ถ้าค่า $i = 0$ แสดงว่างานนั้นเป็นงานแรกบนเครื่องจักรนั้นๆ)

(ถ้าค่า $j = n + 1$ แสดงว่างานนั้นเป็นงานสุดท้ายบนเครื่องจักรนั้นๆ)

l คือ ชื่อของเครื่องจักร

k คือ ตำแหน่งของงานบนเครื่องจักร (ถ้า k = 1 คืองานนั้นเป็นงานแรกบนเครื่องจักรนั้น)

P_{jl} คือ เวลาที่งาน j บนต้องใช้ในการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร l

D_j คือ กำหนดส่งของงาน j

S_{ij} คือ เวลาปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนงานจากงาน i ไปงาน j และ $i = 0$ เมื่องานนั้นเป็นงานแรก

z_{ijl} คือ ค่าตัวแปร Binary ที่ใช้กำหนดว่างานใดทำบนเครื่องจักรใดและทำต่อจากงานใดโดยมีค่าเป็น 1 เมื่องาน j ทำงานต่อจากงาน i บนเครื่องจักร l และมีค่าเป็น 0 เมื่องานที่พิจารณาใดๆ ไม่ได้อยู่บนตำแหน่งนั้นๆ

U_j คือ ค่าตัวแปร Binary ซึ่งบ่งบอกว่างานที่พิจารณา j เป็นงานล่าช้าหรือไม่โดยมีค่าเป็น 1 เมื่องาน j ล่าช้า

C_j คือ เวลาเสร็จงาน j

O_j คือ เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน j

q คือ ค่าความหนาแน่นของงาน

r คือ ค่าขนาดเวลาตั้งเครื่องจักร (เป็นอัตราส่วนของเวลาในการปฏิบัติงานเฉลี่ยทุกงานโดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1)

$\bar{p}$ คือ ค่าเวลาในการปฏิบัติงานเฉลี่ยทุกงาน

$\bar{p}_j$ คือ ค่าเวลาในการปฏิบัติงานที่ j ใดๆเฉลี่ยทุกเครื่องจักร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดตารางการผลิตเป็นการจัดสรรทรัพยากรขององค์กรธุรกิจทั้งทางด้านแรงงาน เครื่องจักร และสิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อช่วยวางแผนให้การผลิตที่ได้รับมอบหมายอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันการจัดตารางการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการผลิตในอุตสาหกรรม การจัดตารางเป็นการจัดสรรทรัพยากรภายในเวลาที่มีอยู่เพื่อการดำเนินการต่างๆ การจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการในการกำหนดเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของการทำงานแต่ละงานสำหรับเครื่องจักรแต่ละเครื่อง โดยปกติการจัดตารางการผลิตจะแสดงผลในรูปของ แกนท์ที (Gantt chart) ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจัดสรรทรัพยากรกับเวลา การจัดตารางจะมีเป้าหมายหลักๆ 3 ประการ คือ 1) การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด 2) การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว 3) สามารถผลิตสินค้าได้ตามกำหนดเวลา

การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน วิธีการที่นำมาใช้จะมีความเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกัน Geyik and Cedimoglu (1999) ได้แบ่งวิธีการในการจัดตารางการผลิตออกเป็น 3 วิธีการใหญ่ๆ ได้แก่ วิธีการเชิงวิเคราะห์ (Analytical Approaches) วิธีการเชิงฮิวริสติกส์ (Heuristic Approaches) และวิธีการเชิงปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Approaches) ปัญหาการจัดตารางการผลิตจะมีความยุ่งยากมากขึ้นเมื่อต้องการหาวิธีการจัดตารางการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งการหาวิธีการที่ดีที่สุดจำเป็นต้องสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และปัญหาที่เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหาด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ คือ การที่ต้องใช้เวลาประมวลผลนานมาก จึงต้องคิดวิธีการแก้ปัญหาให้เร็วขึ้นเพื่อทันต่อเวลา และความต้องการของลูกค้าหรือหน่วยงานการผลิต ดังนั้นการหาวิธีการให้ได้คำตอบใกล้เคียงกับวิธีการที่ดีที่สุดและสามารถตอบสนองต่อข้อจำกัดในการผลิตต่างๆได้ ควรจะเป็นวิธีการที่ง่ายไม่ใช้เวลานานในการจัดตารางการผลิตเพื่อให้หาคำตอบได้ทันต่อความต้องการในอุตสาหกรรมการผลิตจริง นั่นก็คือวิธีการฮิวริสติกส์ส์ (Heuristics)

ในปัจจุบัน สินค้าต่างๆมีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่แตกต่างกันของคน ทำให้สินค้าประเภทต่างๆ มีปริมาณความต้องการในแต่ละแบบที่ลดน้อยลง ในขณะที่มีแบบของสินค้าเพิ่มมากขึ้นทำให้การผลิตสินค้าต้องปรับตัวเพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ เมื่อสินค้ามีความหลากหลายจึงทำให้การวางแผนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อความซับซ้อนของการวางแผนการผลิตเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่ความสามารถของคนไม่สามารถตอบสนองต่อสถานะการต่างๆ เช่น ความสามารถในการประมวลผลกระทบเมื่อมีการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต ความสามารถในการ

ปรับแก้แผนการผลิตให้สอดคล้องกับสภาพความต้องการปัจจุบันอย่างรวดเร็ว และความสามารถในการสื่อสารให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าใจได้ง่าย ทำให้เป็นอุปสรรคในการวางแผนและจัดตารางการผลิต เพื่อให้เกิดความแม่นยำและคล่องตัวในการวางแผนและจัดตารางการผลิต จึงทำให้มีการพัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิตในรูปแบบโปรแกรมช่วยในการจัดตารางการผลิตขึ้น โดยโปรแกรมในการจัดตารางการผลิตทั่วไปจะกำหนดให้ผู้ใช้งานใส่รายละเอียดด้านวัตถุดิบ กำลังคน กำหนดส่งมอบ และค่าใช้จ่ายเป็นหลัก ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ธุรกิจทั่วไปต้องการทราบเพื่อใช้ในการวางแผน แต่ผู้ใช้ต้องทำการตัดสินใจถึงวิธีการในการทำงานและการจัดตารางด้วยตนเอง เช่น ต้องเลือกงานให้กับเครื่องจักรด้วยตนเอง เป็นต้น ส่วนโปรแกรมที่ช่วยในการตัดสินใจในด้านต่างๆที่มีอยู่ในท้องตลาด มีความจำเพาะเจาะจงต่องานบางลักษณะเท่านั้นและมีราคาแพงเกินกว่าธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กจะให้ความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ ทำให้ประสิทธิภาพของการจัดตารางการทำงาน ขึ้นอยู่กับความสามารถของคนที่เป็นผู้วางแผน ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถช่วยตัดสินใจในการจัดตารางการผลิตจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของธุรกิจด้วย

<u>สภาพปัญหา</u>

เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไปในปัจจุบัน อุตสาหกรรมเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มมีความต้องการรูปแบบเสื้อผ้าหลากหลายมากขึ้นแต่ปริมาณความต้องการในแต่ละแบบลดลงและมีช่วงชีวิตผลิตภัณฑ์สั้น (Alper, 2008) ทำให้การจัดการการผลิตในอุตสาหกรรมเย็บเสื้อผ้าจำเป็นต้องมีการปรับตัวเพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงนี้ โรงงานกรณีศึกษาได้มีการจัดสายการผลิตโดยในแต่ละสายการผลิตประกอบไปด้วยช่างเย็บจำนวน 15-22 คน เพื่อเพิ่มความสามารถในการควบคุมงานที่ผลิตในปริมาณที่น้อยลงแต่มีรูปแบบมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตงานได้หลายรูปแบบในเวลาเดียวกัน

โดยลักษณะของสายการผลิตและงานสามารถแบ่งเป็นข้อๆดังนี้

ลักษณะสายการผลิต

สายการผลิตแต่ละสาย มีประเภทอุปกรณ์การเย็บที่แตกต่างกันมีจำนวนอุปกรณ์และจำนวนช่างแตกต่างกันรวมถึงความสามารถของช่างที่แตกต่างกันมากดังนั้น เวลาที่ใช้ในการเย็บงานแต่ละงาน จึงแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง เปรียบ สายการผลิตแต่ละลาย เสมือนเครื่องจักร 1 เมื่อมีหลายสายการผลิตการจัดประเภทของการจัดตารางนี้เปรียบเสมือนเครื่องขนานที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน (Unrelated Parallel Machine)

ลักษณะงาน

1. งานแต่ละงานสามารถเย็บในสายการผลิต ใดก็ได้แต่ใช้เวลาในการเย็บที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถและความถนัดของแต่ละสายการผลิต (Independent Job)

2. งานในสายการผลิตที่มีการเปลี่ยนแบบการเย็บจากงานก่อนหน้าจะต้องใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรและเวลาในการสอนงานของหัวหน้าสายการผลิต ที่แตกต่างกันดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแบบจากการเย็บงานจำเป็นต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของงานก่อนหน้า (Sequence-Dependent Setup Time)
3. งานแต่ละงานสามารถแยกทำได้บนหลายสายการผลิต ขึ้นอยู่กับความจำเป็น ซึ่งการแบ่งงานจะเกิดขึ้นเมื่อมีเหตุทำให้ไม่สามารถส่งงานได้ทันตามกำหนด (Job Splitting)
4. งานบางงานมีความต้องการด่วนทำให้ต้องหยุดการทำงานในสายการผลิตอื่นเพื่อทำงานด่วนนี้ (Job Preemption)
5. เมื่อเกิดการสายของงานจะต้องเสียค่าปรับที่เกิดจากการขนส่งซึ่งค่าใช้จ่ายในการขนส่งขึ้นอยู่กับเวลาที่สายและจำนวนชิ้นงานรวมทั้งอาจมีค่าปรับอื่นๆที่เกี่ยวข้องตามมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญต่องานที่มีจำนวนชิ้นงานมากกว่าเมื่อมีกำหนดส่งพร้อมกัน อย่างไรก็ตามโรงงานสามารถต่อรองกับลูกค้าเพื่อส่งสินค้าบางส่วนก่อนได้

ปัจจุบันการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาไม่ได้มีการกำหนดวิธีการที่แน่นอน แต่อาศัยประสบการณ์ทำงานของผู้วางแผนในการเลือกงานลงในสายการผลิต ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยน ผู้วางแผน หรือเปลี่ยนวิธีการวางแผนทำให้การวางแผนในแต่ละครั้งมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่เท่ากัน อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการเย็บและการบันทึกตารางการเย็บใช้เวลานานทำให้ผู้วางแผนไม่มีเวลาในการทำงานที่ได้รับมอบหมายอื่นๆเช่น การตรวจแบบเสื้อผ้า การแก้ปัญหาเทคนิคการเย็บ การแก้ปัญหางานเย็บผิด ส่งผลให้เกิดปัญหาการควบคุมงานไม่ทั่วถึง ปัญหาด้านการสื่อสารถึงผู้ร่วมงานอื่นๆในการปฏิบัติตามแผนเป็นต้น

จากการสอบถามผู้วางแผนสามารถสรุปวิธีการวางแผนที่ใช้ในปัจจุบันได้ดังนี้

1. เมื่อได้รับรายงานการขาย(สัญญาการสั่งผลิต)จากฝ่ายขายแล้วจะทำการพิจารณาเรียงลำดับงานตามลำดับของการจัดส่งก่อนหลังโดยจะต้องดูความพร้อมของผ้าจากใบรายงานความพร้อมของผ้า ซึ่งหากผ้ายังไม่พร้อมจะยังไม่ทำการวางแผนงานนั้น จะรอจนกระทั่งผ้าพร้อมจึงนำมาทำการวางแผน
2. การจัดงานลงในสายการผลิตมีขั้นตอนในการพิจารณาดังนี้
    2.1 พิจารณาความถนัดในการเย็บเสื้อผ้ารูปแบบต่างๆของสายการผลิตนั้นๆ ซึ่งพิจารณาถึงความเร็วในการเย็บและคุณภาพในการเย็บ
    2.2 ทำการคำนวนเวลาที่ใช้ในการเย็บในแต่ละสายการผลิตโดยจะพิจารณาตามลำดับดังนี้
        2.2.1 เวลาที่ใช้ในการเย็บจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของสายการผลิตนั้นๆ
        2.2.2 หากไม่สามารถคำนวนเวลาที่ใช้ในการเย็บข้อ 2.2.1 ได้จะใช้เวลามาตรฐานของการผลิตสินค้ามาคำนวนแทน

2.3 เมื่อพิจารณาความถนัดของแต่ละสายการผลิตแล้วจะเลือกสายการผลิตที่มีความถนัดในงานนั้นมากที่สุดและมีเวลามากพอสำหรับการเย็บที่ได้จากการคำนวนในข้อ 2.2 หากไม่ได้จะเลือกสายการผลิตอื่นที่มีความถนัดรองลงมาในงานที่พิจารณาและมีเวลาในการเย็บพอแต่ถ้าไม่สามารถหาสายการเย็บที่มีเวลาเพียงพอได้จะทำการจัดงานลงบนสายการเย็บที่ถนัดที่สุด

3. ทำการเปิดสายการผลิตเพียงหนึ่งสายต่อหนึ่งงาน แต่ถ้าไม่มีสายการผลิตใดมีเวลาเพียงพอในการเย็บจะทำการเจรจากับฝ่ายขาย เพื่อทำการเลื่อนเวลาในการส่งมอบงาน ถ้าฝ่ายขายสามารถเลื่อนได้ก็จะทำการวางแผนตามเวลาในการส่งมอบงานใหม่ แต่ถ้าไม่สามารถเลื่อนเวลาส่งมอบงานได้ จะทำการแบ่งงานให้สายการผลิตอื่นเพื่อผลิตงานที่พิจารณา

ถ้าไม่พิจารณาการแทรกงานและการแบ่งงาน จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า งานที่จะนำมาวางแผนการเย็บ ต้องมีความพร้อมด้าน วัตถุดิบในการผลิตทั้งหมด โดยนำงานที่ต้องส่งก่อนมาจัดลงบนสายการผลิตที่ถนัดในงานนั้นที่สุดและมีเวลาในการผลิตเพียงพอ หากเวลาในการผลิตของสายงานนั้นไม่เพียงพอจะทำการจัดงานให้สายการผลิตที่มีความถนัดรองลงไปซึ่งมีเวลาในการผลิตเพียงพอ เว้นแต่ถ้าไม่สามารถจัดงานลงในสายงานใดได้เลยจะ จัดงานให้สายการเย็บที่ถนัดที่สุด และจึงพิจารณางาน อื่นต่อไปเรื่อยๆจนหมด ดังนั้นการจัดตารางการผลิตของโรงงานจึงเป็นวิธีการจัดเรียงงานแบบ EDD และจัดงานลงบนเครื่องจักรแบบ SPT (ในงานวิจัยนี้เรียกว่า mod EDD SPT) (อธิบายความหมายของ EDD และ SPT ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3.1) ซึ่งการวางแผนการผลิตนี้เป็นการวางแผนเพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด

จากลักษณะที่กล่าวมาปัญหาการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาจัดเป็นปัญหาแบบการจัดเครื่องจักรขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน (Unrelated Parallel machine) โดยจะมีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่นำมาผลิตต่อกันเป็นคนละประเภทกับงานที่ทำอยู่ (Sequence-Dependent Setup Time) เพื่อให้มีจำนวนงานสายมีค่าน้อยที่สุด (Minimize The Number of Tardy Jobs) ทั้งหมดนี้สามารถเขียนออกมาในระบบสัญลักษณ์ซึ่งสร้างโดย Graham et al. (1979) ได้ดังนี้คือ $R \mid S_{jk} \mid \sum U_j$ โดย R คือ เครื่องจักรขนานที่อิสระต่อกัน (Unrelated Parallel Machine), S_{jk} คือ เวลาตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า(Sequence-Dependent Setup Time), $\sum U_j$ คือ จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด (Minimize total number of tardy job) ปัญหานี้อย่างน้อยเป็นปัญหา NP-hard เนื่องจากปัญหาของ เครื่องจักรที่เหมือนกันทุกประการซึ่งมีจำนวน 2 เครื่องจักรและไม่มีเวลาตั้งเครื่องจักร ซึ่งเป็นปัญหาที่ง่ายกว่าเป็นปัญหา NP-hard (Garey and Johnson,1975 พิจารณาปัญหา $P \mid \mid \sum U_j$ ซึ่งสรุปปัญหาเช่นนี้ว่าเป็นปัญหา NP-hard) การหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาเช่นนี้จำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวนนาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีฮิวริสติกส์เพื่อใช้แก้ปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการเย็บ ในกรณีเครื่องจักรแบบขนานที่เป็นอิสระต่อกัน โดยคำนึงถึงเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่นำมาผลิตต่อกันเป็นคนละประเภทกับงานที่ทำอยู่ โดยมีจุดประสงค์ของการจัดตารางให้จำนวนงานล่าช้าลดลง
2. จัดทำซอฟต์แวร์ช่วยในการวางแผนการผลิตในส่วนงานเย็บสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม

1.3 ขอบเขตและข้อสมมุติ

1. ฮิวริสติกส์เพื่อใช้ในการจัดตารางการเย็บที่พัฒนาขึ้นไม่อนุญาตให้มีการแทรกงาน (Preemption) และการแบ่งงาน (Job Splitting) (เนื่องจากปัญหาการแทรกงานและการแบ่งงานสามารถใช้ ผู้ตัดสินใจขนาดของงานที่จะแบ่งและจำนวนงานที่จะแบ่ง รวมถึงงานแทรก ให้ถือเป็นงานใหม่ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน แล้วจึงนำข้อมูล ขนาดและจำนวนงานที่ต้องพิจารณาเพิ่ม ไปใช้กับวิธีการทางฮิวริสติกส์ต่อไป ด้วยวิธีการนี้จะทำให้ความซับซ้อนของปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ลดลง)
2. โปรแกรมช่วยในการวางแผนการผลิตมีความสามารถดังต่อไปนี้
    1) จำลองวิธีการวางแผนการเย็บของโรงงานกรณีศึกษา (mod EDD SPT)โดยไม่พิจารณาปัญหางานแทรก (Preemption) และปัญหาการแบ่งงาน (Job Splitting)
    2) จัดตารางการเย็บ โดยใช้หลักการฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นตามข้อ 1)
    3) รองรับงานได้ไม่เกิน 200 งานในการนำเข้าสู่กระบวนการจัดตารางด้วยวิธีฮิวริสติกส์
    4) รองรับสายการผลิตได้ไม่เกิน 20 สาย

    โดยผลที่ได้จากโปรแกรมมีดังต่อไปนี้
    1) ระบุงานที่ถูกจัดให้สายการผลิตต่างๆ
    2) ระบุระยะเวลาเริ่มต้นและเสร็จสิ้นงานทั้งหมดในแต่ละสายการผลิต
    3) จำนวนงานสาย
3. ทดสอบฮิวริสติกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้ โดย
    1) เปรียบเทียบกับ ผลคำตอบวิธี ผสมผสานกำหนดการเชิงเส้น (Mixed Integer Programming)
    2) เปรียบเทียบกับวิธีการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งไม่รวมงานแทรกและการแบ่งงาน ในด้านจำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs)
4. ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมจะจำลองขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจากข้อมูลของโรงงาน

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการจัดตารางการเย็บ
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาและกำหนดชนิดข้อมูลที่ต้องใช้ในการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษารวมทั้งเป้าหมายของการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษา
3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและทำการเลือกซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูล และเลือกซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมที่เหมาะสม
4. พัฒนาฮิวริสติกส์ที่มีจุดประสงค์และข้อจำกัดเดียวกับการจัดตารางการเย็บให้เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา
5. สร้างโปรแกรมการวางแผนการผลิตโดยใช้ Visual Basic .NET และ Microsoft Access โดยมีขั้นตอนในส่วนของการสร้างโปรแกรมการจัดตารางการผลิต ประกอบด้วยโปรแกรมในการสร้างหน้าจอติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และประมวลผลหลักซึ่งใช้โปรแกรม Visual Basic .NET และอีกส่วนเป็นโปรแกรมฐานข้อมูลในการเก็บข้อมูลที่รับมาจากผู้ใช้ โดยการใช้ Microsoft Access โดยมีขั้นตอนในการสร้างโปรแกรมแยกตามระบบดังนี้

   Visual Basic .NET

   1) ศึกษาการใช้งาน Microsoft Visual Basic .NET
   2) ออกแบบแผนภูมิการทำงาน (Flow Chart) ของโปรแกรมเบื้องต้น
   3) สร้างระบบแสดงผลในการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (Main Interface)
   4) กำหนดตัวแปรและสร้างระบบจัดส่งข้อมูลในส่วนของข้อมูลนำเข้า (Input Data Interface)
   5) สร้างระบบเชื่อมต่อฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูล
   6) สร้างระบบประมวลผลในการจัดตารางเย็บโดยวิธีการของโรงงานกรณีศึกษาและแสดงผลที่ได้
   7) สร้างระบบประมวลผลในการจัดตารางเย็บโดยวิธีฮิวริสติกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้และแสดงผลที่ได้
   8) สร้างระบบในการเปรียบเทียบผลข้อมูลและระบบแสดงผลการเปรียบเทียบ
   9) สร้างระบบในการปรับแผนการผลิตด้วยมือ

   Microsoft Access

   1) กำหนดชื่อตัวแปรที่นำมารับค่าจาก Visual Basic .NET
   2) สร้างฐานข้อมูลตารางในการจัดเก็บข้อมูล

6. ทดสอบระบบการทำงานรวมและทำการทดสอบการทำงานของวิธีการจัดตารางทั้ง 2 วิธี (วิธีการของโรงงานและวิธีฮิวริสติกส์)
7. วิเคราะห์และปรับปรุงข้อผิดพลาดของโปรแกรม
8. รวบรวมข้อมูลต่างๆและจัดทำเป็นวิธีการใช้งานโปรแกรม
9. จัดทำรายงานผลงานวิจัย และ เสนองานวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 การดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2551								พ.ศ.2552												พ.ศ.2553			
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
1. ศึกษาขั้นตอนการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการจัดตารางการเย็บ																								
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการเย็บและกำหนดชนิดข้อมูลที่ต้องใช้ในการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษารวมทั้งเป้าหมายของการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษา																								
3. ระบุหน้าที่การทำงาน และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการใช้โปรแกรมวางแผนการผลิต																								
4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและทำการเลือกซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้เป็นฐานข้อมูล และเลือกซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมที่เหมาะสม																								
5. พัฒนาฮิวริสติคที่มีจุดประสงค์และข้อจำกัดเดียวกับการจัดตารางการผลิตมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา																								
6. ขั้นตอนในการสร้างโปรแกรมการจัดตารางการผลิตโดยใช้ Visual Basic .net และ Microsoft Access																								
7. ทดสอบระบบการทำงานรวมและการทำงานของวิธีการจัดตารางทั้ง 2 วิธี (วิธีการของโรงงานและวิธีการฮิวริสติค) ด้วยข้อมูลซึ่งมีลักษณะต่างๆ																								
8. วิเคราะห์และปรับปรุงข้อผิดพลาดของโปรแกรมรวมทั้งทำการจัดทำเป็นคู่มือในการใช้งานและความสามารถของโปรแกรมที่สร้างผลงาน																								
9. สรุปผลงานวิทยานิพนธ์																								
10. จัดทำรายงานผลงานวิจัย และ เสนองานวิทยานิพนธ์																								

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โปรแกรมช่วยในการจัดตารางการผลิตในส่วนงานเย็บ ซึ่งหลักการในการจัดตารางมาจาก 1) การจำลองวิธีการคิดแบบเดิมของโรงงานกรณีศึกษา และ 2) วิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอ โดยโปรแกรมสามารถแสดงผลของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีของโรงงานและวิธีฮิวริสติกส์
2. ผลของการจัดตารางที่ดีขึ้นในด้าน จำนวนงานสาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้ได้ทำการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต วิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics Method) และ Visual basic.net และMicrosoft Access

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้ต้องเลือกที่จะดำเนินการต่างๆให้ได้ประสิทธิผลมากที่สุดและเป็นประโยชน์ต่อองค์กรมากที่สุดดังนั้นการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเป็นสิ่งจำเป็นในองค์กรต่างๆ ดังนั้นการจัดตาราง (Scheduling) จึงเป็นกระบวนการตัดสินใจอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมการบริการ โดยที่ผลลัพธ์ของกระบวนการตัดสินใจในที่นี้ก็คือ ตารางหรือกำหนดการ (Schedule) ซึ่งมีการศึกษาวิจัยถึงวิธีการจัดตารางรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ในทางปฏิบัติเราพบว่า องค์กรจำนวนมากได้นำเอาทฤษฎีการจัดตารางมาประยุกต์ใช้กับกิจกรรมต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น เช่น การผลิต การจัดซื้อ การขนส่ง การกระจายสินค้า การประมวลข่าวสาร และการสื่อสารเป็นต้น ดังนั้นการจัดตารางในด้านต่างๆให้เหมาะสมกับลักษณะงานขององค์กรจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน

2.1.1 ตัวแปร

ในการจัดตารางการผลิต มีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยจะใช้ตัวอักษรตัวเล็กแทนตัวแปรที่เราทราบคุณสมบัติล่วงหน้า อันได้แก่

1) จำนวนงาน (Number of jobs)แทนด้วย n
2) จำนวนเครื่องจักร (Number of machines) แทนด้วย m
3) เวลาดำเนินงาน (Processing Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน j บนเครื่องจักร l นั้นๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ p_{jl}
4) เวลาตั้งเครื่องจักร (Setup time) หมายถึงเวลาที่ใช้ในการเตรียมความพร้อมเครื่องจักร ในที่นี้เวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นกับงานก่อนหน้า i ก่อนปฏิบัติทำงาน j นั้นๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ s_{ij}
5) เวลากำหนดส่ง (Due Date) หมายถึงกำหนดเวลาที่งานนั้นๆต้องเสร็จสิ้นการทำงาน j แทนด้วยสัญลักษณ์ d_j

สำหรับตัวแปรที่แสดงถึงผลของการจัดตาราง จะใช้อักษรใหญ่ ดังต่อไปนี้

1) เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน (Operation time) ในที่นี้หมายถึงเวลาที่เครื่องจักรนั้นๆถูกตั้งเครื่องจักร s_{ij} และใช้เวลาในการผลิตงาน p_{jl} รวมกัน $O_j = s_{ij} + p_{jl}$
2) เวลางานเสร็จสิ้น (Completion Time) หมายถึงเวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน j นั้นๆ ถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ C_j
3) เวลางานสาย (lateness) หมายถึงกำหนดส่งงาน ลบด้วย เวลาที่งาน j เสร็จสิ้น $L_j = C_j - d_j$

2.1.2 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตาราง (Objective Function)

การประเมินประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่ได้นั้นสามารถทำได้โดยการพิจารณาผลรวมของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานทั้งหมด เรียกว่า ตัววัดสมรรถนะ (Measure of Performance) ตัววัดสมรรถนะที่ใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของการจัดตารางมีอยู่หลายตัว ซึ่งจะเลือกใช้ตัววัดสมรรถนะตัวใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิต

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต หมายถึงการจัดตารางการผลิตนั้นๆมีวัตถุประสงค์อย่างไร โดยทั่วไปมีเป้าหมายหลักๆ 3 ประการในการจัดตารางการผลิตคือ

2.1.2.1 วัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิต (Throughput Related Objective)คือ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2.1.2.2 วัตถุประสงค์ด้านกำหนดส่งมอบ (Due-Date Related Objective)คือ การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว

2.1.2.3 วัตถุประสงค์ด้านค่าใช้จ่าย (Cost Related Objective)คือ เมื่อไม่สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดได้จะเกิดค่าปรับขึ้นหรือมีค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิตซึ่งถือเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยมีความต้องการให้ค่าใช้จ่ายเหล่านี้มีค่าน้อยที่สุด

ซึ่งสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์ตามหัวข้อที่กล่าวมาพิจารณาที่ทรัพยากรเดียวมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1 วัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิต (Throughput Related Objective)

บริษัทจำนวนมากที่ให้ความสำคัญกับปริมาณผลผลิตเป็นอย่างมาก ปริมาณผลผลิตในที่นี้อาจเทียบเท่ากับอัตราการผลิต ซึ่งโดยมากจะวัดจากเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการ ดังนั้นการทำให้เกิดปริมาณผลผลิตมากที่สุด (Maximize Throughput) จะหมายถึงการทำให้เครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการมีปริมาณผลผลิตมากที่สุดนั่นเอง ตัวอย่างของวัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิตที่สำคัญ คือ

1) เวลาไหลของงาน (Flow Time)

เวลาไหลของงานนี้จะเป็นตัววัดความสามารถในการตอบสนองต่ออุปสงค์ (Demand) ของระบบ นอกจากนี้ยังสะท้อนให้เห็นถึงเวลาที่แต่ละงานต้องคอยในระบบตั้งแต่งานนั้นเข้ามาสู่ระบบจนกระทั่งออกจากระบบ

เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time, F) หมายถึงค่าเฉลี่ยของงานที่อยู่ในระบบ

$$F = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} F_j$$

โดยที่ $F_j = C_j - r_j$

j หมายถึง ลำดับงานงาน โดย $j = 1, 2, .., n$

n หมายถึง จำนวนงานทั้งหมด

F_j หมายถึง เวลาการไหลของงาน j

C_j หมายถึง เวลาที่งาน j เสร็จ

r_j หมายถึง เวลาที่พร้อมจะเริ่มงาน j

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตคือ การจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาการ ไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำสุด

การทำให้ค่าเวลาไหลเฉลี่ยของงาน (Mean Flow Time) มีค่าน้อยที่สุดจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำให้ค่าผลรวมของเวลาเสร็จ (Sum of Completion Time) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} C_j$ และวัตถุประสงค์ที่กล่าวมานี้ยังสมมูลกับการทำให้จำนวนเฉลี่ยของงานในระบบมีค่าน้อยที่สุดด้วย

2) เวลาปิดงานของระบบ (Makespan)

เวลาปิดงานของระบบจะมีความสำคัญเมื่องานที่นำมาจัดตารางมีจำนวนจำกัด เวลาปิดงานมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิต เมื่อจัดตารางเพื่อให้เวลาปิดงานของระบบให้มีค่าต่ำที่สุดจะส่งผลให้เกิดปริมาณผลผลิตที่มากที่สุดด้วย นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการใช้งานเครื่องจักรที่สูงตามไปด้วย

เขียนแทนด้วย C_{max} (หรือ M) $= max\,(C_1, C_2, \ldots, C_n)$ ซึ่งหมายถึงเวลาที่ระบบทำงานชิ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น

2.1.2.2 วัตถุประสงค์ด้านกำหนดส่งมอบ (Due-Date Related Objective)

มีวัตถุประสงค์ต่างๆที่มีความสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกำหนดส่งมอบ ดังนี้

1) เวลาสาย (Lateness) เวลาสายสูงสุด (Maximum Lateness) และเวลาสายเฉลี่ย (Mean Lateness)

เวลาสายนั้นจะมีผลตอบแทนเกิดขึ้นหากงานเสร็จก่อนกำหนดและมีค่าปรับเกิดขึ้นหากงานเสร็จช้ากว่ากำหนด

โดยที่ $L_j = C_j - d_j$

L_j หมายถึง ระยะเวลาของงานที่เสร็จก่อนหรือหลังเวลาที่กำหนด

C_j หมายถึง เวลาที่งาน j เสร็จ

d_j หมายถึง เวลากำหนดส่งงาน j

เวลางานสายสูงสุดคืองานที่มีเวลาสายมากที่สุดจากทุกงาน เขียนแทนด้วย L_{max} โดยการทำให้เวลาสูงสุดมีค่าน้อยที่สุด ($min\ L_{max}$) จะหมายถึงการทำให้เวลาสายของงานที่สายมากที่สุดในระบบมีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Lateness, L) หมายถึงค่าเฉลี่ยของเวลาสายของงานในระบบ

$$L = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} L_j$$

2) เวลาล่าช้า (Tardiness) เวลาล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Total Weighted Tardiness) และค่าเฉลี่ยของงานล่าช้า (Mean Tardiness)

เวลาล่าช้าจะแตกต่างจากเวลาสายคือจะไม่มีค่าลบค่าน้อยที่สุดที่เป็นไปได้คือเท่ากับ 0 หมายความว่าจะไม่มีผลตอบแทนใดๆเกิดขึ้นหากงานเสร็จก่อนกำหนดเขียนแทนด้วย

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0)$$

เมื่อแต่ละงานมีความสำคัญไม่เท่ากันในด้านของความล่าช้าที่เกิดขึ้น นั่นคือเราจะให้น้ำหนักมากกับงานที่มีความสำคัญมาก (ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของแต่ละงานแทนด้วย Weight,W_j) เช่น เราจะให้น้ำหนักมากกับงานที่สั่งซื้อโดยลูกค้าประจำ ลูกค้าที่มีจำนวนการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก หรือลูกค้าที่มีการสั่งซื้อเป็นมูลค่ามาก เวลาล่าช้าทั้งหมดจึงทำการถ่วงน้ำหนักซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย

$$\sum_{j=1}^{n} W_j T_j$$

ค่าเฉลี่ยของงานล่าช้า (Mean Tardiness) หมายถึงค่าเฉลี่ยของเวลางานสายในระบบ วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตคือ การจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

$$T = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} T_j$$

3) จำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) และจำนวนงานล่าช้าที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Weighted Number of Tardy Jobs)

เป็นการวัดจำนวนงานที่ล่าช้าแทนที่จะเป็นระยะเวลาล่าช้า เขียนแทนด้วย $U_j = 1$ เมื่อ $C_j > d_j$ และ $U_j = 0$ ในกรณีนอกเหนือจากนั้น โดยกรณีนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้คือ จำนวนงานล่าช้าทั้งหมด เขียนแทนด้วย

$$\sum_{j=1}^{n} U_j$$

หากความล่าช้าของงานแต่ละงานมีความสำคัญไม่เท่ากันจะใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ จำนวนงานล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนักเขียนแทนด้วย

$$\sum_{j=1}^{n} w_j U_j$$

2.1.2.3 วัตถุประสงค์ด้านค่าใช้จ่าย (Cost Related Objective)

ในทางทฤษฎีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการจัดตารางจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่าย (Cost) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ การตัดสินใจในการจัดตารางมีผลกระทบโดยตรงกับค่าใช้จ่ายเหล่านี้ ว่าจะสูงหรือต่ำ ในทางปฏิบัติแล้วค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ยากมาก ดังนั้น แทนที่จะแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าใช้จ่าย ก็อาจใช้เป้าหมาย 3 เป้าหมายหลักแทน เป้าหมายด้านค่าใช้จ่ายเพื่อใช้เป็นวัตถุประสงค์ในการตัดสินใจเรื่องการจัดตาราง นั่นคือ ประสิทธิภาพของการใช้สอยทรัพยากร (Resource Utilization) ความรวดเร็วในการตอบสนองต่ออุปสงค์และการส่งมอบที่ตรงเวลา นอกจากนั้นยังสามารถใช้ตัววัดสมรรถนะตัวอื่นๆแทนตัววัดที่เกิดจากค่าใช้จ่ายของระบบได้ด้วยเช่นกัน เช่น เวลาเดินเปล่า (Idle Time) เวลาสาย (Lateness) เวลาเสร็จงานทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Total Weighted Completion Time)

นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายอื่นๆนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายด้านการผลิตที่สามารถนำมาใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่

1) ค่าใช้จ่ายด้านการปรับตั้งเครื่อง (Setup Cost)

โดยมากแล้วการจัดตารางเพื่อทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องมีค่าน้อยที่สุดนั้นจะส่งผลให้เกิดปริมาณผลผลิตมากที่สุดหรือเวลาปิดงานของระบบมีค่าต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ในบางสถานการณ์ อาจจะพบว่าถึงแม้ว่ามีการใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องน้อยก็ตามอาจจะส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในรูปแบบอื่นๆสูงขึ้นก็ได้

2) ค่าใช้จ่ายด้านพัสดุคงคลังของงานระหว่างกระบวนการ (Work-in-Process Inventory Cost)

การทำให้งานระหว่างกระบวนการ (Work-in-Process, WIP) มีค่าน้อยที่สุดเป็นวัตถุประสงค์ที่มีความสำคัญอย่างมากอย่างหนึ่งในด้านการบริหารจัดการ การที่มีงานระหว่างกระบวนการมากมักจะทำให้เกิดเงินจม ทำให้เกิดการบล็อกของการดำเนินงานขึ้น การเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ อาจเกิดความเสียหายหรือความเสื่อมขึ้นกับงานระหว่าง

กระบวนการที่เก็บไว้นาน ตัววัดสมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับงานระหว่างกระบวนการคือเวลาไหลของงาน (Flow Time) การทำให้เวลาไหลของงานเฉลี่ย (Average Flow Time) น้อยที่สุดจะเป็นการทำให้งานระหว่างกระบวนการในระบบมีจำนวนน้อยที่สุด และจะทำให้จำนวนเฉลี่ยของงานในระบบมีค่าน้อยที่สุดด้วย ในการที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับงานระหว่างกระบวนการมีค่าต่ำสุด ฟังก์ชันที่เหมาะสมคือการทำให้ผลรวมของเวลาไหลของงานทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Weighted Flow Time) มีค่าต่ำสุด

3) ค่าใช้จ่ายด้านพัสดุคงคลังของสินค้าสำเร็จรูป (Finish Goods Inventory Cost)

ถ้าระบบผลิตมีการทำงานแบบทำตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Made-to-Order) แล้ว บริษัทมีค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปเกิดขึ้นนั้นมีผลมาจากบริษัทผลิตสินค้าเสร็จเร็วกว่ากำหนดส่งมอบ แต่ถ้าบริษัทมีการทำงานแบบผลิตสู่คลังสินค้า (Made-to-Stock) การเก็บพัสดุคงคลังของสินค้าสำเร็จรูปจะขึ้นกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บพัสดุ และค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักร ในกรณีนี้หากอุปสงค์ (Demand) ไม่คงที่แล้ว จะต้องพิจารณาถึงจำนวนขั้นต่ำของคงคลังนิรภัย (Safety Stock) แต่อย่างไรก็ตามก็จะต้องพยายามทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพัสดุคงคลังของสินค้าสำเร็จรูปต่ำที่สุด

2.1.3 ลักษณะข้อจำกัดและสมบัติของกระบวนการ

ระบบผลิตอาจมีลักษณะสมบัติเฉพาะตัวและข้อจำกัดบางประการ ดังนั้นจึงสามารถนำเอาสมบัติบางประการและข้อจำกัดที่บอกถึงความแตกต่างของระบบเหล่านี้มาพิจารณาเพื่อใช้เป็นสมมติฐานในการพัฒนารูปแบบสำหรับการจัดตาราง สมบัติและข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

2.1.3.1 เวลาตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า (Sequence-Dependent Setup Time)

งานที่ต้องมีการปรับตั้งเครื่องหรือทำความสะอาดเครื่องจักรในขณะเปลี่ยนงานกระบวนการนี้เรียกว่าการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup) ถ้าระยะเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับงานที่เพิ่งทำเสร็จ การปรับตั้งเครื่องจักรเช่นนี้จะเป็นการปรับตั้งที่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า (Sequence Dependent) ในทางกลับกันถ้าเวลาปรับตั้งเครื่องใช้เวลาน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาดำเนินงานหรือไม่ขึ้นกับงานที่ทำก่อนหน้าแล้วจะเรียกกระบวนการนี้ว่า การปรับตั้งเครื่องที่ไม่ขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า (Sequence Independent) และในกรณีเช่นนี้เวลาปรับตั้งเครื่องจะนำไปรวมกับเวลาดำเนินงาน

2.1.3.2 ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraint)

การที่การดำเนินงานหนึ่งจะเริ่มต้นขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเซตของการดำเนินงานจำนวนหนึ่งที่อยู่ก่อนหน้านั้นได้ทำเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น ซึ่งลำดับก่อนหลังของงานอาจเกิดขึ้นจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี หรือความเป็นไปได้ของกระบวนการผลิตที่ใช้

2.1.3.3 ข้อจำกัดด้านเครื่องจักรที่เลือกได้ (Machine-Eligibility Constraint)

มีเครื่องจักรขนานที่ไม่เหมือนกันอยู่ในระบบผลิต อาจเลือกทำการดำเนินงานหนึ่งได้บนเซตของเครื่องจักร (m_j) ที่กำหนดให้เท่านั้น จากเครื่องจักรที่มีอยู่ m เครื่องข้อจำกัดนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากหากเลือกทำการดำเนินงานบนเครื่องจักรที่มีอัตราการผลิตที่สูงกว่าแต่จะต้องระวังการเกิดปัญหาคอขวดขึ้น

2.1.3.4 ข้อจำกัดด้านเครื่องมือและทรัพยากร (Tooling and Resource Constraint)

การทำงานชนิดหนึ่งบนเครื่องจักรจะต้องมีการนำเครื่องมือบางอย่างมาใช้ร่วมด้วย ซึ่งเครื่องมือบางประเภทอาจจะมีข้อจำกัดด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) ด้วย

2.1.3.5 ข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ (Material-Handling Constraint)

ในระบบการผลิตที่มีอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุเป็นแบบอัตโนมัติ จนทำให้สามารถหาเวลาในการขนถ่ายวัสดุที่แน่นอนได้ ระบบขนถ่ายวัสดุที่มีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับกระบวนการผลิต จะทำให้สามารถออกแบบกระบวนการผลิตมีการทำงานที่ประสานกับระบบขนถ่ายวัสดุได้เป็นผลให้ระบบผลิตโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.1.3.6 ข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บและเวลาคอย (Storage Space and Waiting Time Constraint)

ระบบการผลิตส่วนมากจะมีจำนวนของพื้นที่จัดเก็บที่พร้อมใช้งานเพื่อจัดเก็บงานระหว่างทำ (Work in process) รวมทั้งสินค้าสำเร็จรูปค่อนข้างจำกัด ข้อจำกัดด้านนี้มีความสำคัญอย่างมากสำหรับโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่และยังอาจเป็นตัวกำหนดขอบเขตเวลารอคอยงานที่จะไหลเวียนอยู่ในระบบอีกด้วย

2.1.3.7 การแทรกงาน (Preemption)

การแทรกงานมีอยู่ 2 แบบคือ การแทรกงานแบบต่องานที่ค้างได้ (Preempt Resume) คือเมื่อมีงานเข้ามาแทรกแล้วสามารถนำงานที่ถูกแทรกกลับมาทำต่อได้โดยไม่ต้องเริ่มทำงานชิ้นนั้นใหม่ และการแทรกงานแบบเริ่มต้นใหม่หมด (Preempt Repeat) จะเกิดขึ้นเมื่อต้องเริ่มทำงานที่ถูกแทรกนั้นใหม่ทั้งหมด

2.1.3.8 การแยกงาน (Job Splitting)

การแยกงานนี้จะเกิดขึ้นเมื่องานๆหนึ่งประกอบด้วยหลายรุ่นหรือหลายชิ้นงาน โดยเมื่อนำงานมาทำบนเครื่องจักรแล้วสามารถแยกงานไปทำบนหลายเครื่องจักรพร้อมกัน

2.1.3.9 การไม่คอย (No wait)

การไม่คอยนี้มักเกิดขึ้นในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน ซึ่งงานไม่สามารถที่จะหยุดคอยระหว่างเครื่องจักรได้เพราะอาจทำให้คุณภาพของงานที่ผลิตขึ้นมานั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

หรือเกิดการชำรุดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องทำการหน่วงเวลาเริ่มต้นของงานที่เครื่องจักรเครื่องแรก เพื่อทำให้งานสามารถไหลผ่านสายการผลิตทั้งสายได้โดยไม่มีการหยุดคอยที่เครื่องจักรใดๆ

2.1.4 การจัดเรียงเครื่องจักร

กระบวนการจัดตารางนั้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การจัดสรรทรัพยากร (Resource Allocation) และกาจัดลำดับงาน (Sequencing) แต่จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นแบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว ซึ่งมีทรัพยากรที่ใช้งานอยู่ในระบบเพียงตัวเดียว ดังนั้นการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรงานให้กับเครื่องจักรจึงไม่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีทรัพยากรตัวอื่นให้เลือก และการจัดลำดับงานจึงเป็นการตัดสินใจเพียงอย่างเดียวนั้นที่จะทำให้สมรรถนะของการจัดตารางดีขึ้นได้ แต่ทว่าเมื่อจำนวนของทรัพยากรซึ่งนำมาพิจารณาจะเพิ่มขึ้นมาก (มีมากกว่า 1 ตัว) ดังนั้นแบบจำลองที่จะนำมาใช้จึงต้องเป็นแบบจำลองเชิงหลายเครื่องจักร (Multiple Machine Model) ซึ่งการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรงานให้กับทรัพยากรที่มีอยู่จะเพิ่มความสำคัญมากขึ้น และทำให้เราต้องใช้ขั้นตอนหลักทั้งสองในการจัดตารางเข้ามาเพื่อช่วยทำให้สมรรถนะของตารางดีขึ้น

เครื่องจักรมีลักษณะของแต่ละเครื่องจักรแตกต่างกันตามสภาพของโรงงาน เวลาที่ซื้อเครื่องจักรนั้นๆมา ทำให้ประสิทธาภาพไม่เท่ากัน หรือเครื่องจักรต่างชนิดกันแต่สามารถทำงานลักษณะเดียวกันได้แต่ใช้เวลาไม่เท่ากันเป็นต้น ทำให้มีการจำแนกประเภทเครื่องจักรขนานออกไปตามลักษณะดังต่อไปนี้

2.1.4.1 เครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดในรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เป็นไปได้ทั้งหมด นอกจากนั้นแล้วระบบนี้ยังเป็นรูปแบบในกรณีพิเศษของการจัดเรียงเครื่องจักรแบบซับซ้อนก็ได้ เช่น ในระบบผลิตที่มีหลายเครื่องจักรและมีเครื่องจักรอยู่หนึ่งเครื่องที่เป็นคอขวดของระบบ ดังนั้นการจัดลำดับงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักนี้จะเป็นตัวกำหนดสมรรถนะของระบบ และการจัดลำดับของงานบนเครื่องจักรที่อยู่ทั้งต้นน้ำและปลายน้ำของกระบวนการจะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อได้จัดตารางให้กับเครื่องจักรที่เป็นคอขวดเสร็จเรียบร้อยแล้ว แนวทางนี้เป็นการลดรูปของปัญหาดั้งเดิมที่ซับซ้อนให้ไปอยู่ในรูปของปัญหา การจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยวที่ง่ายกว่า นอกจากนี้การจัดตารางสำหรับเครื่องจักรเดี่ยวยังสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาแบบแยกส่วน (Decompose) ได้ ซึ่งในกรณีเช่นนี้ ปัญหาการจัดตารางของระบบผลิตที่ซับซ้อนจะถูกแยกออกเป็นปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยวย่อยๆ จำนวนหนึ่ง

2.1.4.2 เครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน (Identical Parallel Machine)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่เหมือนกัน ซึ่งมีการทำงานแบบขนานกัน ระบบผลิตจำนวนมากมีการทำงานแบบนี้ เช่น ในโรงงานแห่งหนึ่งมีสายการผลิตที่ประกอบด้วยหลายสถานีงาน ซึ่งแต่ละสถานีงานอาจจะประกอบด้วยเครื่องจักรที่ขนานกันอยู่จำนวนหลายเครื่อง เมื่องาน j มาถึงยังแต่ละสถานีงานที่มีเครื่องจักรขนานกันอยู่นั้น งาน j สามารถที่จะเลือกทำได้บนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ใน m เครื่องเหล่านี้ หรืออาจจะทำได้บนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ที่อยู่ในเซตย่อยของ m เครื่องที่กำหนดให้ ซึ่งเขียนแทนด้วย m_j นอกเหนือจากในระบบผลิตแล้ว ระบบเช่นนี้ยังมีปรากฏในระบบการบริการอีกด้วยเช่นกัน เช่น การฝากถอนเงินกับธนาคารที่มีแคชเชียร์คอยให้บริการเป็นแบบเครื่องจักรขนาน หรือการต่อแถวเพื่อคอยรอรับบัตรคิวตรวจโรคที่แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล เป็นต้น ตัวอย่างนี้ สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นรูปแบบทั่วไปของกรณีเครื่องจักรเดี่ยว ดังนั้นถ้าสถานีงานหนึ่งใดเป็นคอขวดของระบบ การจัดตารางให้กับสถานีงานนั้นก็จะเป็นตัวกำหนดสมรรถภาพของระบบโดยรวม

2.1.4.3 เครื่องจักรขนานที่อัตราการผลิตต่างกัน (Parallel Machines with Different Speed or Uniform Parallel Machine)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่มีการทำงานแบบขนานกัน แต่ทว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความเร็วในการทำงานต่างกัน ถ้ากำหนดให้เวลาทำงานบนเครื่องจักรที่ใช้เป็นฐานในการกำหนดเวลาคือ p_j และอัตราส่วนของความเร็วของเครื่องจักร i เมื่อเทียบกับเครื่องจักรที่ใช้เป็นตัวกำหนดฐานเวลาคือ v_i (เครื่องจักรที่ใช้เป็นตัวกำหนดฐานเวลาจะมี $v_i = 1$) และดังนั้นเวลา p_{ij} คือเวลาที่งาน j ใช้บนเครื่องจักร i ซึ่งมีค่าเท่ากับ p_j/v_i ตัวอย่างเช่น ระบบมีเครื่องจักร 2 เครื่อง ถ้าเลือกเครื่องที่ 1 เป็นเครื่องสำหรับกำหนดฐานเวลา ดังนั้น $v_1 = 1$ ถ้าสมมติว่า $p_1 = 10$ และ $v_2 = 1.1$ เพราะฉะนั้นเวลาที่เครื่องจักร 2 จะต้องใช้ในการทำงาน j มีค่าเท่ากับ $p_{2j} = p_1/v_2 = 10/1.1 = 9.09$ ให้สังเกตว่า การทำงานในสภาวะเช่นนี้ ความเร็วของเครื่องจักรไม่ได้ขึ้นกับงานที่ทำ เพราะไม่ว่าเครื่องจักรจะทำงานใดก็ตามจะใช้อัตราส่วนความเร็ว v_i ค่าเดิมเสมอ และค่านี้ไม่ขึ้นกับงานที่ทำด้วย กรณีเครื่องจักรขนานแต่ไม่เหมือนกันอาจจะเกิดขึ้นได้จากการที่เครื่องจักรบางเครื่องมีอายุเก่ากว่าเครื่องอื่น จึงทำให้ต้องทำงานที่ความเร็วต่ำกว่าเครื่องอื่น นอกจากนั้นถ้าเครื่องจักรมีความเร็วเท่ากันหมด ($v_i = 1$) สภาพการทำงานเช่นนี้ก็จะกลายเป็นการทำงานแบบเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

2.1.4.4 เครื่องจักรขนานที่อิสระต่อกัน (Unrelated Parallel Machine)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่มีการทำงานแบบขนานกัน และมี เวลา p_{ij} คือ เวลาที่งาน j ใช้บนเครื่องจักร i มีค่าเท่ากับ p_j/v_{ij} ให้สังเกตว่า การทำงานในสภาวะเช่นนี้

ความเร็วของเครื่องจักรจะขึ้นกับงานที่ทำด้วย (v_{ij}) ตัวอย่างเช่น ถ้าให้เครื่องจักรในที่นี้หมายถึงคนอาจจะเป็นไปได้ว่า เวลาในการทำแต่ละงานจะขึ้นกับคนที่ได้รับมอบหมายให้ทำงานชิ้นนั้นด้วยเพราะว่าแต่ละคนอาจจะมีความ สามารถหรือความชำนาญในการทำงานบางประเภทที่ไม่เหมือนกันก็ได้นอกจากนั้นแล้วกรณีเช่นนี้จะกลายเป็นกรณีของเครื่องจักรขนานที่อัตราการผลิตต่างกันก็ต่อเมื่อ $v_{ij} = v_i$ สำหรับทุกค่าของ i และ j

2.2 การแบ่งประเภทของปัญหาการจัดตาราง

ประเภทของปัญหาการจัดลำดับและตารางเวลาเหล่านี้สามารถแบ่งโดยใช้สัญลักษณ์ Lawler et al. (1989) ได้แบ่งไว้เป็น 3 ส่วน คือ $\alpha/\beta/\gamma$ โดย

ส่วนแรก α กำหนดระบบการผลิตเช่นเมื่อมีเครื่องจักรชนิดเดียวกันหลายเครื่องซึ่งสามารถทำงานประเภทเดียวกันด้วยเวลาที่เท่ากันเรียกงานประเภทนี้ว่า Identical Parallel Machine กำหนดอักษรย่อเป็น P, เครื่องจักรขนานที่มีความเร็วในการทำงานไม่เท่ากัน เรียกว่า Uniform Parallel Machines กำหนดอักษรย่อเป็น Q และ เครื่องจักรขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน เรียกว่า Unrelated Parallel Machines กำหนดอักษรย่อเป็น R

ส่วนที่สอง β กำหนดลักษณะเฉพาะของงานเพื่อความชัดเจนของสถานะภาพของลักษณะปัญหา เช่น ในกรณีที่งานนั้นสามารถหยุดหรือเสร็จสิ้นระหว่างกระบวนการเพื่อนำงานอื่นมาทำและสามารถกลับมาทำงานนั้นต่อจนเสร็จได้ลักษณะปัญหาประเภทนี้ว่า Preemption โดยกำหนดอักษรย่อเป็น pmtn

ส่วนที่สาม γ กำหนดเกณฑ์การวัดสมรรถภาพของตารางเวลา (Optimality Criteria) มีหลากหลายเกณฑ์การวัด เช่น เวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยรวมต่ำที่สุด Total/Mean (Unweighted) Completion Time โดยกำหนดอักษรย่อเป็น $\sum C_j$,Total/Mean Weighted Completion Time โดยกำหนดอักษรย่อเป็น $\sum w_j C_j$ โดยสามารถเขียนลักษณะปัญหาเหล่านี้เป็นสัญลักษณ์ เช่น $F_2||C_{max}$ เป็นปัญหา 2 เครื่องจักรที่แต่ละงานมีลำดับขั้นตอนการทำงานเหมือนกัน (Flow Shop) และต้องการหาเวลาเสร็จสิ้นที่ต่ำที่สุดของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด

ได้มีการศึกษารูปแบบและลักษณะของเครื่องจักรแบบขนาน โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.เครื่องจักรขนานที่เหมือนกันทุกประการ (Identical Parallel Machine)

2.เครื่องจักรขนานที่มีความเร็วของเครื่องจักรไม่เท่ากัน (Uniform Parallel Machine)

3.เครื่องจักรขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน (Non-identical Parallel Machine, Unrelated Parallel Machine)

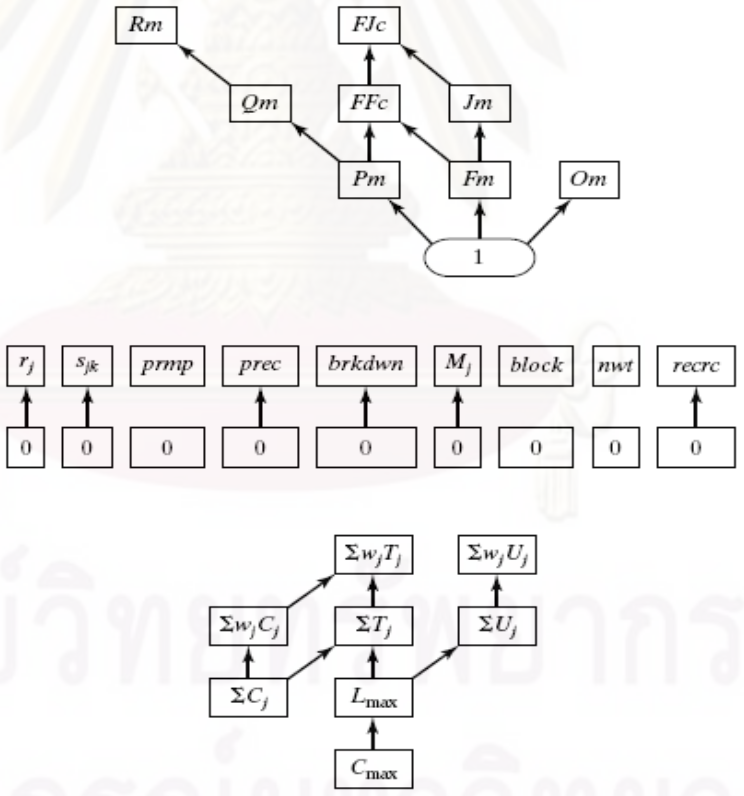
งานที่นำมาทำบนเครื่องจักรก็สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.งานที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Jobs) คืองานที่ไม่มีข้อจำกัดด้านลำดับการทำงาน

2.งานที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Jobs) คืองานที่มีข้อจำกัดด้านลำดับการทำงาน

งานที่เป็นอิสระต่อกันจุดประสงค์ส่วนใหญ่ที่ผู้วิจัยให้ความสนใจมากจะอยู่ในส่วนของ เวลาปิดงานถ่วงน้ำหนักรวมต่ำที่สุด (Minimize Total Weighted Completion Time) และ งานล่าช้าถ่วงน้ำหนักรวมน้อยที่สุด (Minimize Total Weighted Tardiness) ซึ่งงานวิจัยเกือบทั้งหมดที่มีรูปแบบเป็น $Q/R\,|\ldots|\sum C_j/\sum w_j C_j$ เป็น NP-hard in strong sense (Li and Shan-lin, 2008)และงานวิจัยที่มีรูปแบบเป็น $R_m|\ldots|\sum w_j T_j$ เป็น NP-hard in strong sense (เมื่องานนี้มีเครื่องจักรเพียง 1 เครื่องก็เป็น NP-hard แล้ว) (Brucker et al., 1977) ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบจากสมการทางคณิตศาสตร์เป็นเวลาที่เพิ่มขึ้นโดยไม่อยู่ในรูปแบบพหุนาม

ลำดับขั้นความซับซ้อนของปัญหาการจัดตารางแสดงอยู่ใน Michael L. Pinedo (2008) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสามารถแสดงในแผนภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นความซับซ้อนของปัญหาการจัดตาราง

งานวิจัยของ Lee and Asllani ซึ่งศึกษาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) โดยมีเวลาตั้งเครื่องขึ้นกับงานก่อนหน้า (Sequence-Dependence Setup Time) โดยมีวัตถุประสงค์

เพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด (Minimize Number of Tardy Jobs) ได้สรุปไว้ว่าปัญหาเช่นนี้เป็นปัญหา NP-Hard

ต่อมา He et al ศึกษาและรวบรวมความยากของปัญหา รวมถึงเวลาในการหาผลเฉลยในเครื่องจักรเดี่ยวเพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุดและสรุปว่าปัญหา $1 \mid \mid \sum U_j$ เป็นปัญหา เวลาพหุนามซึ่งสามารถหาคำตอบได้ แต่เมื่องานแต่ละงานมีกำหนดส่งงาน ทำให้ปัญหาประเภทนี้เป็น NP-Hard ทันทีดังนั้นปัญหาการจัดตาราง $R \mid S_{jk} \mid \sum U_j$ จึงเป็นปัญหา NP-Hard ด้วย

การหาวิธีการจัดตารางให้ได้ใกล้เคียงกับวิธีที่ดีที่สุดและสามารถตอบสนองต่อข้อจำกัดในการผลิตต่างๆได้ จึงได้มีการคิด วิธีการง่ายๆซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เวลานานในการจัดตารางผลิต ช่วยแก้ปัญหา ได้ทันต่อความต้องการในอุตสาหกรรมการผลิตจริง วิธีการ นั้นคือวิธีการ ฮิวริสติกส์ (Heuristics)

2.3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ สมการทางคณิตศาสตร์และ วิธีฮิวริสติกส์ (Mathematical Model and Heuristics Method)

วิธีการทาง ฮิวริสติกส์ (Heuristics Method) จะเป็นการนำกฎต่างๆมาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่น่าพอใจของปัญหา ซึ่งวิธีที่ทำให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจนั้น ไม่สามารถรับรองได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีการนี้สามารถหาผลลัพธ์ของปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยไม่ต้องคำนวนมากนัก

กฎต่างๆที่เป็นฮิวริสติกส์ส์ (Heuristics) ได้แก่

2.3.1 กฎการจ่ายงาน (Priority Dispatching Rules) (ปารเมศ ชุติมา, 2551)

เป็นการใช้หลักลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ในการจัดตารางการผลิตอัน ได้แก่

1. *ทำงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดก่อน (Shortest Processing Time, SPT)* คืองานใดที่ใช้เวลาการทำงานน้อยที่สุด จะได้รับการจัดเข้าเป็นอันดับแรก และจะจัดงานเรียงลำดับที่มีเวลาการทำงานน้อยไปมาก
2. *EDD (Early Due Date)* เลือกงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วสุดมาทำก่อน
3. *First Arrival at the Shop First Served (FASFS)* เป็นการถือเอาเวลาในการเข้ามาของงานใน Shop มาเป็นเวลาในการจัดตาราง กรณีที่ Lead Time ของการผลิตนาน จะใช้วิธีนี้
4. *รับก่อนทำก่อน (First Come-First Served,FCFS) หรือมาก่อนทำก่อน (First in First Out, FIFO)* กล่าวคืองานที่เข้ามาที่หน่วยงานหรือเครื่องจักร จะเข้าแถวคอยรับบริการตามลำดับก่อนหลังของการมาถึงของงาน
5. *MWKR (Most Work Remaining)* การเลือกการทำงาน ที่มีปริมาณงานที่ยังไม่เสร็จมากที่สุดก่อน

6. *LWKR (Least Work Remaining)* การเลือกการทำงาน ที่มีปริมาณงานที่ยังไม่เสร็จน้อยที่สุดก่อน
7. *MOPNR (Most Operations Remaining)* การเลือกงานที่มีจำนวนขั้นตอนของงานที่ยังไม่เสร็จมากที่สุดก่อน
8. *AWINQ (Anticipated Work in Next Queue)* เป็นการให้ Priority ของงาน โดยขึ้นอยู่กับงานในขั้นตอนการทำงานถัดไป
9. *FOFO (First Off First ON)* เป็นการให้ Priority กับงานที่กำลังจะเสร็จมากที่สุดก่อน เครื่องจักรจะรอจนกว่างานนั้นจะมาถึงใน Queue
10. *TWORK (Total Work)* เป็นการนำงานที่มีเวลาปฏิบัติงานรวมทั้งหมดน้อยที่สุด มาทำก่อน
11. *MST (Minimum Slack Time)* เป็นการเลือกงานที่มีเวลาเหลือ (เวลาหลังทำงานเสร็จจนถึงกำหนดส่งงาน) น้อยที่สุดมาทำก่อน
12. *RANDOM (Random)* เป็นการเลือกงานแบบสุ่ม

จากกฎการจัดลำดับงานข้างต้นอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) กฎการจัดลำดับงานโดยขึ้นอยู่กับข้อมูลของงานที่อยู่ใน Queue ของเครื่องจักรนั้นๆ หรือขึ้นอยู่กับข้อมูลทั้งระบบ

Local Priority เป็นการกำหนดลำดับงานโดยดูจากข้อมูลของงานที่อยู่ใน Queue ของเครื่องจักรนั้นๆเท่านั้น อันได้แก่ SPT, LWKR, MWKR

Global Priority เป็นการกำหนดลำดับงานโดยดูจากข้อมูลของงานจากเครื่องจักรตัวอื่นๆ เพิ่มเติมจากข้อมูลของงานใน Queue นั้นๆ อันได้แก่ AWINQ, FOFO

2) กฎการจัดลำดับงานสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

Static Priority การกำหนดลำดับงานไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา อันได้แก่ FASFS, TWORK, EDD

Dynamic Priority การกำหนดลำดับงานจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา อันได้แก่ FCFS, MST

2.3.2 วิธีการค้นหาแบบทาบู

การค้นหาแบบทาบูมีจุดกำเนิดจากการผสมผสานระเบียบวิธีเพื่อแก้ปัญหา nonlinear ในช่วงปี 1970 และได้พัฒนาสู่วิธีการแก้ปัญหาอื่นที่หลากหลายมากขึ้นในเวลาต่อมา ตั้งแต่ปัญหาการจัดตาราง การถ่วงสมดุลช่องสัญญาณคอมพิวเตอร์ ไปจนถึงการวิเคราะห์คลัสเตอร์และการวางแผนพื้นที่ โดยถูกนำไปใช้ในงานหลายๆด้าน เช่น การเดินทางของพนักงานขาย การให้สีกราฟ การจัดลำดับการไหลของงานแบบ job shop การออกแบบแผงอิเล็กทรอนิค รวมถึงปัญหาการจัดตารางเวลา เนื่องจาก

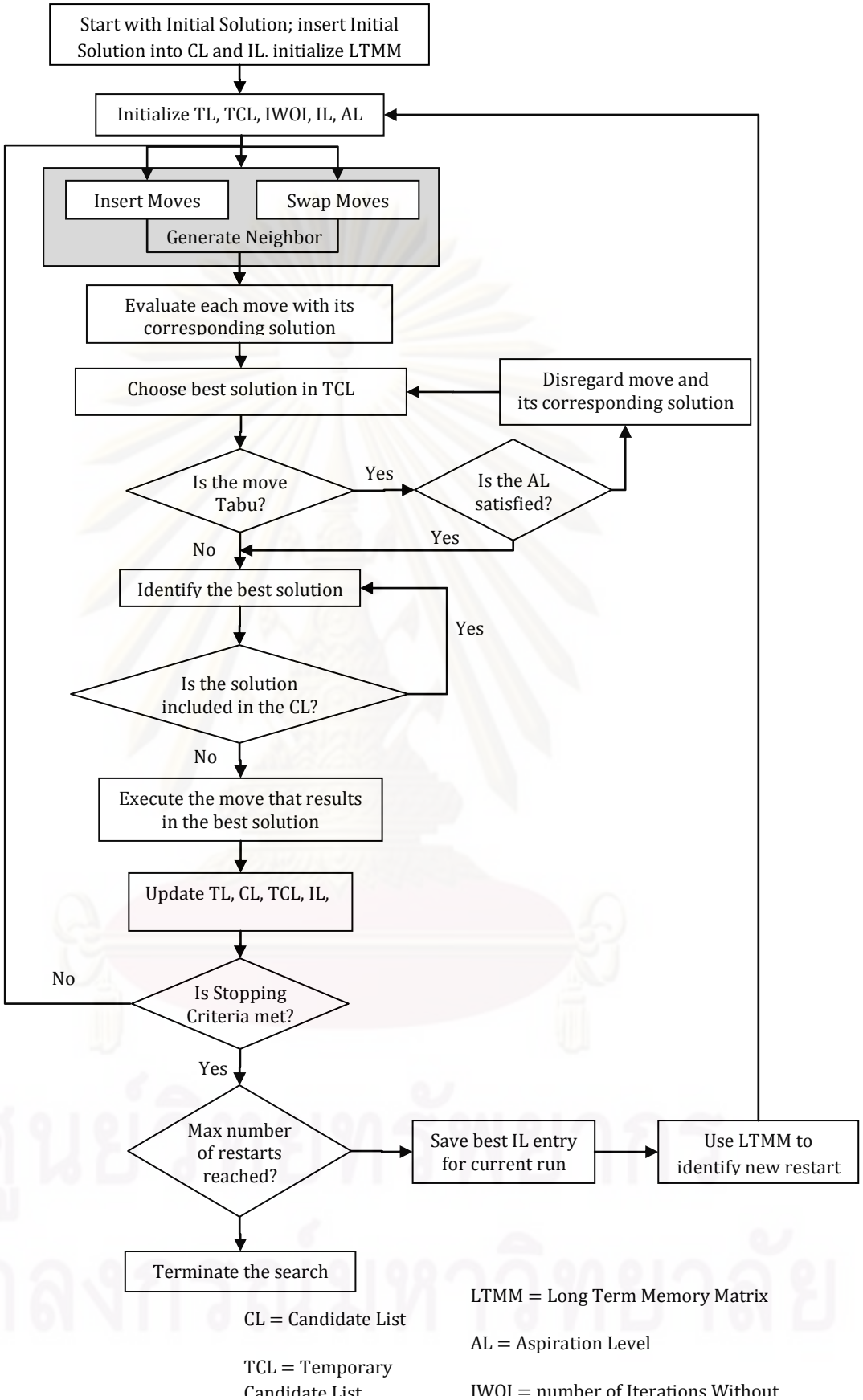
วิธีการค้นหาแบบทาบูสามารถนำไปสู่คำตอบคุณภาพดีและง่ายต่อการพัฒนา (Glover , 1989) โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูนี้ถูกเสนอครั้งแรกโดย Glover Fred จากการตีพิมพ์ปี 1986 และมีการเพิ่มแนวคิดพื้นฐานมาจากการตีพิมพ์ของ Hansen ในปี 1986 เช่นกัน รวมถึงการร่วมพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากทั้ง de Werra & Hertz ในปี 1989 จนมาถึงแบบฉบับที่เป็นที่แพร่หลายของ Glover ปี 1990 และใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

การค้นหาแบบทาบูมีแนวคิดมาจากฮิวริสติกส์ที่เปรียบเสมือนการปีนเขานั่นคือการสร้างคำตอบเริ่มต้นแล้วจึงทำการสร้างคำตอบข้างเคียงที่สามารถทำให้ค่าวัตถุประสงค์ดีขึ้นซึ่งถ้าไม่สามารถหาค่าวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าได้จึงสรุปว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) แล้วจึงวนกลับไปหาคำตอบอื่นมาเริ่มสร้างคำตอบข้างเคียงต่อไป ดังนั้นการค้นหาลักษณะนี้ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เนื่องจากคำตอบที่ได้หยุดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่จึงได้มีการพัฒนาในกระบวนการคิดต่อมาโดยการเพิ่มรายการทาบู (Tabu List) เพื่อไม่ให้การสร้างคำตอบข้างเคียงวนกลับไปมาไปยังคำตอบเดิมที่ผ่านมาแล้วซึ่งเมื่อผ่านการคัดกรองแล้วจึงทำการนับหรือตั้งเงื่อนไขของการหาคำตอบเฉพาะที่ซึ่งเงื่อนไขนี้เรียกว่า Diversification Criteria

ต่อจากนั้นได้มีการคิดเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบให้ดีขึ้นโดยการเพิ่มแรงจูงใจเพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ดีและเร็วขึ้นได้นั่นก็คือการตั้งให้มีเงื่อนไข Aspiration ขึ้นโดยการพัฒนาควบคู่กันของ Tabu list และ Aspiration Criteria ทำให้กระบวนการค้นหาแบบทาบูสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วและมีประสิทธภาพมากขึ้นโดยประสิทธิภาพและคำตอบที่ดีนั้นต้องสร้างจากการกำหนดเงื่อนไขให้เหมาะสมด้วย จึงได้มีการสร้างตัวอย่างและระเบียบวิธีในการหาคำตอบเพื่อเป็นแบบอย่างรวมถึงยุทธวิธีในการออกแบบและกำหนดค่าต่างๆให้เหมาะสมด้วย โดยลักษณะโดยสังเขปของการค้นหาแบบทาบูมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

2.3.3 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

การศึกษาด้านการจัดตารางการผลิตเพื่อพัฒนาทฤ ษฎีและวิธีการหาคำตอบที่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาน้อยลงเพื่อนำไปใช้งานในชีวิตจริงนั้นได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องรวมถึงการพัฒนาทฤษฎีเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้เครื่องจักรหลายเครื่องในเวลาเดียวกันและอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและวิธีการประมวลผลให้เร็วขึ้น โดยงานวิจัยดังต่อไปนี้เป็นรูปแบบพื้นฐานทฤษฎีเพื่อประยุกต์ในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหา $R \mid S_{jk} \mid \sum U_j$ โดยแต่ละงานวิจัยจะมีข้อดีและส่วนที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แผนภาพการไหลของการค้นหาแบบทาบูโดยทั่วไป (Logendran et al., 2007)

งานวิจัยของ Ho and Chang (1995) เสนอฮิวริสติกส์ต่างๆเพื่อใช้ในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่เหมือนกันโดยมีวัตถุประสงค์ให้มีจำนวนงานสายน้อยที่สุดและฮิวริสติกส์เปล่านั้นว่า H1 คือฮิวริสติกส์ที่เจาะจงงาน และ H2 คือฮิวริสติกส์ที่เจาะจงเครื่องจักร โดยทั้งสองวิธีต่างมีวิธีการจัดตารางการผลิตย่อยๆอีก ดังต่อไปนี้

H1 คือการเจาะจงงาน ด้วยวิธีการกำหนดงานทีละงานลงบนเครื่องจักรโดยพิจารณา m เครื่องจักรพร้อมๆกัน โดยนำ 3 ด้านมาใช้ในการจัดตาราง คือ 1.นำกฎการจ่ายงานมาจัดลำดับงานเพื่อสร้างรายการลำดับงาน 2.กฎการเลือกเครื่องจักรมาใช้ในการเลือกเครื่องจักรให้กับงานที่อยู่ลำดับแรกสุดของรายการลำดับงาน 3.ถ้า H1 ไม่สามารถหาเครื่องจักรที่เหมาะสมได้ เช่น งานนั้นไม่สามารถทำบนเครื่องจักรไหนได้เลยที่จะทำให้งานนั้นไม่ล่าช้า จึงมีการนำกฎการปฏิเสธมาใช้เพื่อนำงานที่ได้วางแผนไปแล้วและงานที่กำลังวางแผนอยู่ ไปจัดไว้ในกลุ่มของงานถูกปฏิเสธ จนกระทั่งงานทั้งหมดได้รับการจัดตารางหรือถูกจัดไปไว้ในกลุ่มงานที่ถูกปฏิเสธ ซึ่งลักษณะดังกล่าวคล้ายคลึงกับวิธีการทางฮิวริสติคของกระบวนการค้นหาแบบทาบูโดยงานวิจัยนี้มีตัวแปรดังนี้

m_k คือ เครื่องจักรที่ k

π คือ กลุ่มของงานที่ยังไม่ได้จัดตาราง

σ_k คือ กลุ่มของงานที่ได้รับการจัดแล้ว เช่น งานที่ได้รับการจัดลงบน m_k

δ คือ กลุ่มของงานที่ถูกนำออก เช่น งานที่ได้รับการจัดแล้วสาย

σ คือ กลุ่มของงานที่จัดแล้วไม่ล่าช้า เช่น $\sigma_1 \cup \sigma_2 \cup \ldots \cup \sigma_m$

x_k คือ งานที่มีเวลาผลิตนานสุดใน σ_k

L_k คือ งานที่อยู่บน m_k

p_i คือ เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน i

C_i คือ เวลาเสร็จสิ้นงาน i

d_i คือ กำหนดส่งงาน i

โดยฮิวริสติกส์ H1E (H1 โดยมีระเบียบวิธีเริ่มต้นแบบ EDD) มีระเบียบวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1. ให้ $\sigma_k = \phi$ สำหรับ$k = 1, 2, \ldots, m$. ถ้า $p_i > d_i$ นำงาน i ไปไว้ใน δ นอกจากนั้นนำงาน i ไว้ใน π สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$

ขั้นที่ 2. เลือกงานโดย EDD (Earliest Due Date) จากกลุ่มงาน π โดยเรียกงานที่เลือกมาว่า w แต่เมื่อมีงานที่ EDD เท่ากันให้ใช้ SPT (Shortest Process Time)

ขั้นที่ 3. ถ้าเพิ่มงาน w ไปที่ลำดับสุดท้ายของเครื่องจักรใดแล้วไม่ทำให้งานนั้นสาย ไปที่ขั้นที่ 5

ขั้นที่ 4. นำงาน x ออกโดยที่ $p_x = max\{max_{1 \le k \le m}\{p \times k\}; p_w\}$ จากกลุ่มแล้วนำไปใส่ไว้ใน δ ถ้างาน x เป็นงานเดียวกับ w ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นที่ 5. นำงาน w ออกจาก π และนำไปไว้ใน σ_1 เมื่อ $L_1 = max_{1\leq k\leq m}\{L_k : L_k + p_w \leq d_w\}$

ขั้นที่ 6. ถ้า $\pi = \phi$ และนำงานใน δ ไปใส่บนเครื่องจักร m และหยุด นอกเหนือจากนั้นให้ไปทำ ขั้นที่ 2

โดยฮิวริสติกส์ H1S (H1 โดยมีระเบียบวิธีเริ่มต้นแบบ SPT) มีระเบียบวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1. ให้ $\sigma_k = \phi$ สำหรับ $k = 1, 2, \dots, m$ ถ้า $p_i > d_i$ นำงาน i ไปไว้ใน δ นอกจากนั้นนำงาน i ไว้ใน π สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$

ขั้นที่ 2. เลือกงานโดย SPT (Shortest Process Time) จากกลุ่มงาน π โดยเรียกงานที่เลือกมาว่า w แต่เมื่อมีงานที่ SPT เท่ากันให้ใช้ EDD (Earliest Due Date)

ขั้นที่ 3. ถ้าเพิ่มงาน w (โดยที่จัดลำดับแบบ EDD) ไปที่ลำดับสุดท้ายของเครื่องจักรใดแล้วไม่ทำให้งานนั้นสาย ไปที่ขั้นที่ 5

ขั้นที่ 4. นำงาน x ออกโดยที่ $p_x = max\{max_{1\leq k\leq m}\{p \times k\}; p_w\}$ จากกลุ่มแล้วนำไปใส่ไว้ใน δ ถ้างาน x เป็นงานเดียวกับ w ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นที่ 5. นำงาน w ออกจาก π และนำไปไว้ใน σ_1 เมื่อ $L_1 = max_{1\leq k\leq m}\{L_k : L_k + p_w \leq d_w\}$

ขั้นที่ 6. ถ้า $\pi = \phi$ และนำงานใน δ ไปใส่บนเครื่องจักร m และหยุด นอกเหนือจากนั้นให้ไปทำ ขั้นที่ 2

ซึ่งได้สรุปว่า ผลการทดลองฮิวริสติกส์ H3 (ไม่แสดงวิธีการคิดเนื่องจากเป็นความลับทางธุรกิจ) ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด จาก 800 ตัวอย่างการจัดตารางขนาดเล็ก (10 งาน 2 เครื่องจักร) ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่สามารถบอกรายละเอียดของฮิวริสติกส์ H3 ได้ และสรุปอีกว่า การเลือกงานแบบ EDD ให้ผลคำตอบที่ดีกว่า SPT และการใช้ H1 และ H2 ร่วมกันเพื่อหาคำตอบจะทำให้ผลการจัดตารางใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดมากขึ้น

งานวิจัยของ Gursel et al (1997) ซึ่งทำการจัดตารางเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน (Identical Parallel Machine) เพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด (Minimum Number of Tardy Job) และมีเวลาตั้งเครื่องจักร (Non-zero Setup Times) โดยมีแนวคิดว่า จัดงานอย่างไรให้สามารถนำงานที่ไม่ล่าช้าลงบนเครื่องจักรให้ได้มากที่สุดซึ่งหมายความว่าจะมีงานที่ล่าช้าน้อยที่สุด สามารถเขียนเป็นสมการเชิงจำนวนเต็มได้ดังนี้

Objective Function

$$Max\ Z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_{ij}$$

Constraint

$$\sum_{i=1}^{k}(p_i + s_i)X_{ij} \leq d_k \qquad \mathrm{k} = 1,2,\dots,\mathrm{n};\ \mathrm{j} = 1,2,\dots,\mathrm{m}$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_{ij} \leq 1 \qquad i = 1,2,\dots,n$$

$$X_{ij} \quad 0\ or\ 1\ for\ all\ i\ and\ j$$

เมื่อ n คือ จำนวนงาน

m คือ จำนวนเครื่องจักร

d_i คือ กำหนดส่งงานของงาน i

p_i คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตของงาน i

s_i คือ เวลาตั้งเครื่องจักรของงาน i

X_{ij} คือ งานที่ i ซึ่งทำการผลิตบนเครื่องจักร j (เป็นจำนวนเต็ม 1 เมื่องาน i ถูกจัดลงบนเครื่องจักร j)

งานวิจัยของ Weng et al. (2001) ศึกษางานซ่อมด่านเก็บเงินทางด่วนซึ่งในปัญหานี้มีลักษณะดังนี้

1. ช่างซ่อมด่านเก็บเงินสามารถซ่อมงานได้ทุกงานโดยแต่ละคนใช้เวลาในการซ่อมงานแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เป็น เครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน (Unrelated Parallel Machine)
2. ด่านเก็บเงินที่อยู่ต่างที่กันเป็นงานที่มีความอิสระต่อกัน (Independent Jobs)
3. ระยะทางระหว่างด่านเก็บเงินที่เสียเป็นเวลาตั้งเครื่องจักรที่ ไม่มีความเกี่ยวข้องกัน (Sequence-Dependent Setup Time)
4. เมื่อ ความหนาแน่น ของ งานจราจร ณ ตำแหน่ง ของ ด่านเก็บเงิน ที่เสีย มีมากต้องให้ความสำคัญมากกว่าตำแหน่งอื่น ซึ่งถือเป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละงาน (Weight)

จึงได้เสนอฮิวริสติกส์ทั้ง 7 แบบเพื่อใช้ในการจัดตารางช่างซ่อมให้สามารถซ่อมด่านเก็บเงินให้เสร็จในเวลาที่น้อยที่สุด (Minimize maximum make span) พร้อมทั้งสรุปผลของการทดสอบของฮิวริสติกส์ทั้ง 7 ว่าฮิวริสติกส์วิธีที่ 7 เป็นวิธีที่ดีที่สุดจาก 7 ฮิวริสติกส์ที่ได้ทำการทดสอบและเรียกฮิวริสติกส์ที่สร้างว่า ปัญหาการเดินทางของช่างซ่อม (Traveling Repairman Problem)

Lee and Asllani (2004) ศึกษาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) โดยมีเวลาตั้งเครื่องขึ้นกับงานก่อนหน้า (Sequence-Dependence Setup Time) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด (Minimize Number of Tardy Jobs) เป็นวัตถุประสงค์หลักและเพื่อให้มีเวลาเสร็จสิ้นงานรวมต่ำที่สุด (Minimize Completion Time) ซึ่งมีความซับซ้อนระดับ NP-Hard โดยมีตัวแปรต่างๆดังนี้

n คือ จำนวนงาน

$S(k)$ คือ เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของงานตำแหน่ง k

$P(k)$ คือ เวลาในการปฏิบัติงานของงานตำแหน่ง k

$C(k)$ คือ เวลาเสร็จสิ้นงานที่ k

$d(k)$ คือ กำหนดส่งงานของงานบนตำแหน่ง k

p_i คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตของงาน i

s_{ij} คือ เวลาตั้งเครื่องจักรของงาน i ก่อนหน้างาน j

x_{ijk} คือ งานที่ i ซึ่งทำการผลิต ก่อนหน้างาน j ตำแหน่งบนเครื่องจักรที่ k (เป็นจำนวนเต็ม 1 เมื่องาน i ถูกจัดลงก่อนหน้างาน j บนตำแหน่ง k)

และเขียนโปรแกรมเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ได้ดังนี้

$$Min\ Z_1 = \sum_{k=1}^{n} U(k) \qquad (1)$$

$$Min\ Z_2 = C(n) \qquad (2)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^{n} x_{jk} = 1, \qquad k = 1,..,n \qquad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_{jk} = 1, \qquad j = 1,..,n \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{jk} = 1, \qquad k = 1,..,n \qquad (5)$$

$$x_{\mathrm{jk}} + x_{ik-1} - 1 \le x_{ijk}\ , \qquad i = 1,\dots n,$$
$$j = 1,\dots,n, \quad and \quad k = 2,\dots,n \qquad (6)$$

$$S(1) = \sum_{j=1}^{n} S_{0j}\, x_{j1} \qquad (7)$$

$$S(k) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} S_{ij}\, x_{ijk}\,, \qquad k = 2,\dots,n \qquad (8)$$

$$P(k) = \sum_{j=1}^{n} x_{jk}\, p_j\,, \qquad k = 1,\dots,n \qquad (9)$$

$$C(k) = C(k-1) + S(k) + P(k), \qquad k = 1,\dots,n \qquad (10)$$

$$d(k) = \sum_{j=1}^{n} x_{jk}\, d_j\,, \qquad k = 1,\dots,n \qquad (11)$$

$$-C(k) + d(k) \le M\big(1 - U(k)\big), \qquad k = 1,\dots,n \qquad (12)$$

$$C(k) - d(k) \leq MU(k), \qquad k = 1, \dots, n \qquad (13)$$

$$U(k), x_{jk}, x_{ijk} = \{0,1\}, \qquad i = 1, \dots, n,$$

$$j = 1, \dots, n \quad and \quad k = 1, \dots, n \qquad (14)$$

$$C(k), S(k), P(k), d(k) \geq 0, \qquad k = 1, \dots, n \qquad (15)$$

เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของการจัดตารางลักษณะนี้เปรียบเทียบกับการใช้ Genetic Algorithm (GA) โดยได้สรุปว่าการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เหมาะสมกับจำนวนงานไม่เกิน 10 งานซึ่งวิธีการ GA สามารถทำงานได้โดยไม่กระทบต่อเวลาในการหาคำตอบแต่วิธีการนี้ไม่รับประกันค่าที่ดีที่สุดและได้เสนอวิธีการที่เหมาะสมกับการเอาไปใช้ในสถานการณ์จริงเมื่ออัตราส่วนของเวลาตั้งเครื่องต่อเวลาดำเนินการมีค่าต่างกัน

Ruiz-Torres et al. (2007) พิจารณาปัญหาการจัดตารางบนเครื่องจักรขนานที่มีความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับการจัดสรรทรัพยากรรอง(ในที่นี้คือแรงงาน)หรือเรียกว่า Parallel Machine Flexible Resource Scheduling (PMFRS) โดยมีจุดประสงค์ให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด ซึ่งทรัพยากรรองนั้นมีปริมาณที่จำกัดและสามารถจัดสรรสู่เครื่องจักรเมื่อเริ่มต้นการจัดตาราง โดยได้ทำการแก้ปัญหาการจัดตารางไว้ 2 แนวทางคือ แนวทางแรกตั้งบนสมมุติฐานว่า งานได้รับการจัดไว้แล้วบนเครื่องจักร โดยอีกแนวทางเป็นการพิจารณาถึงการจัดงานลงบนเครื่องจักรด้วย โดยเสนอการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อหาคำตอบของแนวทางแรกและ ฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาที่สองโดยใช้ฮิวริสติกส์ของ Ho and Chang (1995) เป็นวิธีหลักและปรับให้เหมาะสมกับการจัดตารางโดยที่ความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับการจัดสรรทรัพยากรรอง (Flexible Resource)

Li and Shan-lin (2008) ได้ทำการรวบรวมโมเดล (Models) การผ่อนคลาย (Relaxations) และระเบียบวิธี (Algorithms) ต่างๆในการจัดตารางโดยมีจุดประสงค์หลักของการจัดตารางเพื่อให้ผลรวมของเวลาเสร็จสิ้นงานแบบถ่วงน้ำหนักมีค่าน้อยที่สุด (Minimize Total Weighted Completion Times) โดยได้มีการจำแนกโมเดลต่างๆตามลักษณะการทำงานของโมเดลนั้นๆได้ 3 ลักษณะ คือ

1.โมเดลที่มีพื้นฐานมาจากการกำหนดตัวแปร (Model Based on Assignment Variables)

2.โมเดลที่มีพื้นฐานมาจากตัวแปรเวลาของช่วงระยะเวลาผลิต (Model Based on Time-Indexed Variables on Processing Intervals)

3. โมเดลที่มีพื้นฐานมาจากตัวแปรเวลาของเวลาเริ่ม (Model Based on Time-Indexed Variables on Starting Times)

จากที่กล่าวข้างต้นเป็นทฤษฎีที่แก้ปัญหาต่างๆกัน ด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์อย่างง่ายและวิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและขอบเขตความสามารถในการหาคำตอบของปัญหาต่างๆจึงได้มีการพัฒนาอีกมากมายเพื่อ แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หนึ่งในนั้นคือ

วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจากอดีตถึงปัจจุบัน ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเนื่องจากข้อได้เปรียบหลายด้าน จึงได้มีผู้วิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบูกับปัญหาอื่นๆอีกมากมาย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่มีลักษณะของปัญหาและจุดประสงค์ของการจัดตารางที่แตกต่างกัน มีอยู่มากและได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากปัญหาง่ายๆสู่ปัญหาที่มีข้อจำกัดและความซับซ้อนสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องดังจะได้เสนอต่อไปนี้

งานวิจัยของ Piersma and Dijk ในปี 1995 ศึกษาการหาคำตอบของเครื่องจักรขนานเพื่อหาวิธีการจัดตารางเพื่อให้มีค่าเวลาที่ใช้ในการผลิตน้อยที่สุดซึ่งได้พัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบเริ่มต้นขึ้นมาใหม่จากวิธีดั้งเดิมและนำไปใช้กับวิธีการค้นหาแบบทาบูทำให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบน้อยลง จึงได้สรุปว่าการวางโครงสร้างของการค้นหาแบบทาบูและวิธีการหาคำตอบข้างเคียงส่งผลโดยตรงต่อคำตอบที่ดีและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

งานวิจัยของ Vall et al. ปี 1996 ได้ทำการพัฒาฮิวริสติกส์การค้นหาแบบทาบูเพื่อจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนมากขึ้นนั่นคือ การจัดตารางการผลิตของการทำงานแบบ Job Shop เพื่อให้มีเวลาที่ใช้ในการผลิตมากที่สุด มีค่าน้อยที่สุดโดยการพัฒนาระเบียบวิธีการคิดนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือการสร้างแกนหลักในการสร้างคำตอบข้างเคียงที่สามารถสร้างเซตคำตอบที่ซับซ้อนได้ และการออกแบบการค้นแบบทาบูโดยมีเพิ่มความหลากหลายของคำตอบ (Diversification Criteria) ที่ขึ้นกับสภาวะของการค้นหานั้นๆ โดยการทดสอบจะทำการทดสอบกับค่าที่ดีที่สุด และ ค่าที่ส่งผลกับเวลาและคำตอบของปัญหาที่สามารถแก้ปัญหาใหญ่ได้

งานวิจัยของ Bilge et al. ปี 2004 ศึกษาและพัฒนาการค้นหาแบบทาบูเพื่อจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันโดยพิจารณาเวลาตั้งเครื่องจักรซึ่งขึ้นกันงานก่อนหน้าเพื่อให้มีผลรวมงานสายน้อยที่สุดและได้สร้างรูปแบบของการค้นหาแบบทาบูเพื่อใช้ในการหาคำตอบซึ่งจากการออกแบบทำให้ได้ค่าคำตอบที่ดีกว่ารูปแบบที่เคยเสนอมาแต่ก่อน

งานวิจัยของ Logendran et al. ในปี 2007 ศึกษาวิธีการหาคำตอบของเครื่องจักรขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกันเพื่อให้มีค่าของงานล่าช้าแบบถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุด โดยศึกษาถึงเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นกับงานก่อนหน้า อัตราการปล่อยงานขึ้นกับเวลาและอัตราการพร้อมของเครื่องจักรที่ขึ้นกับเวลา โดยได้เสนอ หกระเบียบวิธีโดยมีพื้นฐานการหาคำตอบแบบทาบูเพื่อใช้เปรียบเทียบ สี่แบบการทดลองนั้นเป็นการเสนอวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นด้วยกฎการจ่ายงานที่แตกต่างกัน และการค้นหาที่เจาะจงขนาดของรายการทาบูจะทำให้ต้องเลือกระหว่างการช่วยเพิ่มคุณภาพของคำตอบหรือเวลาการหาคำตอบจึงได้สรุปและสร้างสมการจากการทดลองเพื่อแสดงความเหมาะสมของลักษณะปัญหาต่างๆกันซึ่งได้ข้อสรุปว่า การใช้ความทรงจำระยะสั้นและการกำหนดขนาดทาบูคงที่เหมาะกับการหา

คำตอบขนานเล็ก ในขณะที่การใช้ความทรงจำระยะยาวและขนาดของทาบูที่แป รผันตามการคำนวน เหมาะกับปัญหาขนาดกลางและใหญ่

งานวิจัยข้างต้นสามารถนำมาสรุปได้เป็นตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของทฤษฎีในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานและการพัฒนาทางด้านทฤษฎีที่มีความซับซ้อนของปัญหามากขึ้นทำให้ปัญหาในชีวิตจริงและทฤษฎีมีความใกล้เคียงกันเพื่อสามารถปรับใช้ทฤษฎีในกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับสภาวะปัจจุบันอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2.1 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรแบบขนานหรือมีจุดประสงค์เพื่อให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด

ผู้แต่ง	ปี	ประเภทการจัดตาราง	วัตถุประสงค์	ระเบียบวิธีการ	ข้อแตกต่างจากงานวิจัย
Ho, Chang.	1995	Unrelated Parallel Machine	Minimize Number of Tardy Job	Heuristic (H1, H2, H3)	ไม่พิจารณาเวลาตั้งเครื่องจักร
Gursel et al	1997	Identical Parallel Machine Nonzero Setup Times	Minimize Number of Tardy job	Integer Programming	ลักษณะเครื่องจักร, เวลาปรับตั้งเครื่องจักร
Weng et al.	2001	Unrelated Parallel Machine Sequence-Dependent Setup Time	Minimize Maximum Make Span	Heuristic (TRP)	วัตถุประสงค์งานวิจัย
Lee and Asllani	2004	Single Machine Sequence-Dependence Setup Time	Minimize Number of Tardy Job	Integer Programming, Genetics Algorithm	ลักษณะเครื่องจักร
Ruiz-Torres et al	2007	Parallel Machine Flexible Resource Scheduling	Minimize Number of Tardy Job	Integer Programming & Heuristic (modified Ho C. Heuristics)	ลักษณะเครื่องจักร, ข้อกำหนดด้านทรัพยากร

ผู้แต่ง	ปี	ประเภทการจัดตาราง	วัตถุประสงค์	ระเบียบวิธีการ	ข้อแตกต่างจากงานวิจัย
Li and Shan-lin	2008	Models, Relaxations and Algorithms	Minimize Total Weighted Completion Times	-	-

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการค้นหาแบบทาบู

ผู้แต่ง	ปี	ประเภทการจัดตาราง	วัตถุประสงค์	ข้อแตกต่างจากงานวิจัย
Glover Fred	1986	Hill Climbing Method	General Theory	-
Glover Fred	1989	Tabu Search Part I	General Theory	-
Glover Fred	1990	Tabu Search Part II	General Theory	-
Piersma and Dijk	1995	Identical Parallel Machine	Minimize Total Completion Time	ลักษณะเครื่องจักร, เวลาปรับตั้งเครื่องจักร, วัตถุประสงค์
Vall et al.	1996	Job Shop	Minimize C_{max}	ลักษณะเครื่องจักร, เวลาปรับตั้งเครื่องจักร, วัตถุประสงค์
Bilge et al.	2004	Uniform Parallel Machine with Sequence Dependent Setup Time	Minimize Total Tardiness	ลักษณะเครื่องจักร, วัตถุประสงค์
Logendran et al.	2007	Unrelated Parallel Machine with Sequence Dependent Setup Time and Machine Availability	Minimize Weighted Tardiness	วัตถุประสงค์, ข้อกำหนดด้านทรัพยากร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 Visual Basic.NET และระบบฐานข้อมูล Microsoft Access

Visual Basic.NET

เป็นเครื่องมือที่ใช้พัฒนาโปรแกรมแบบ Visual Programming บนระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งได้รับการพัฒนาจากภาษา Basic (Beginners All Purpose Symbolic Instruction Code) ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมที่ได้รับความนิยมแพร่หลายสำหรับผู้เริ่มต้นการฝึกหัดเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจาก Basic เป็นภาษาโปรแกรมที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย

2.4.1. ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้นใน Visual Basic.NET

VB.NET ได้รับการพัฒนาขีดความสามารถเพิ่มเติมขึ้นอีกมากมาย และมีโครงสร้างภาษาที่เปลี่ยนแปลงไปมากคำสั่งหรือความสามารถเดิมบางส่วนใน VB6 ก็ถูกยกเลิกไป ขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้นหลักๆดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้นของ VB.NET

ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้น	รายละเอียด
เป็นภาษา OOP (objective-oriented Programming)	VB .NET ได้รับการพัฒนาให้เป็นภาษาแบบ OOP เต็มตัว เช่นเดียวกับภาษาโปรแกรมสมัยใหม่ทั่วไป เช่น C++,Delphi หรือ JAVA เป็นต้น VB .NET มีความสามารถในการทำ inheritance, overloading และ overriding เป็นต้น
ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้น	รายละเอียด
รับเอาความสามารถของ .NET	ด้วย .NET Framework ซึ่งมีมาตรฐานในส่วนของชนิดข้อมูลทำให้เราสามารถเขียนโปรแกรมด้วย VB .NETแล้วไปเรียกใช้งานโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาอื่นเช่น C# .NETได้
ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้น	รายละเอียด
การสร้างแอปพลิเคชั่นแบบ Web Form และ แบบ Web services	VB .NET ได้รับการพัฒนาให้สามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชั่นแบบใหม่ที่เรียกว่า Web Form ซึ่งมีวิธีการสร้างแบบ drag-and-drop เหมือนกับการพัฒนาแอปพลิเคชั่นบน Windows โดยทั่วไป และสามารถสร้าง Web Services ซึ่งอาศัย XML(Extensible Markup Language)เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล
รองรับการสร้างเว็บแอพพลิเคชั่นด้วย ASP.NET	สามารถผนวกกับ ASP.NET ในการสร้างเว็บแอพพลิเคชั่นได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ Web Form และ Web Services
มีโครงสร้างแอพพลิเคชั่น แบบ	ซึ่งถือเป็นประเภทแอพพลิเคชั่นแบบใหม่ใน VB.NET เพื่อช่วยให้

ฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มขึ้น	รายละเอียด
Console	เราสามารถทำงานในลักษณะโปรแกรมที่รันบน DOS คือแสดงผลและรับข้อมูลในลักษณะของข้อความได้
มีโครงสร้างการจัดการข้อผิดพลาดที่ดีขึ้น	VB .NET มีการเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการข้อผิดพลาดที่เป็นระบบและมีโครงสร้างเช่นเดียวกับภาษา OOP โดยทั่วไปการจัดการข้อผิดพลาดนี้เรียกว่า structured error handling คือโครงสร้างคำสั่ง Try…Catch…Finally
รองรับ ADO .NET	รองรับ ADO .NET ซึ่งถือเป็นเทคโนโลยีการติดต่อฐานข้อมูลแบบใหม่ ที่มาทดแทน ADO และ RDO ใน VB6 ทั้งนี้ ADO .NET สนับสนุนการติดต่อฐานข้อมูลแบบ stateless เพื่อการใช้งานฐานข้อมูลบนอินเตอร์เน็ตได้เป็นอย่างดี
ใช้Visual Studio .NETเป็นเครื่องมือเดียวกันในการพัฒนาไม่ว่าภาษาใดๆก็ตามภายใต้ .NET	การพัฒนาแอพพลิเคชั่นโดยใช้ภาษา VB .NET,C++ .NET,C# .NET จะใช้เครื่องมือและหน้าตาเหมือนกันทำให้การเรียนรู้พัฒนาโปรแกรมด้วย VB .NET ก็สามารถพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาอื่นๆได้ง่ายขึ้น
มีการจัดการหน่วยความจำที่ดีขึ้น	ในVB .NET มีกลไกการจัดการหน่วยความจำโดยอาศัย CLR และมี Automatic Garbage Collector ช่วยในการจัดการหน่วยความจำมีประสิทธิภาพมากขึ้น
จัดการ I/O ได้ดีขึ้น	VB .NET มีการเพิ่มขึ้นความสามารถในการจัดการ I/O ได้เป็นอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการใช้คลาส System.IO
มีการคอนโทรลเพิ่มขึ้นอีกมาก	ในVB .NET มีคอนโทรลเพิ่มขึ้นอีก และคอนโทรลเดิมก็ได้รับการเพิ่มขีดความสามารถซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาแอพพลิเคชั่นไปได้มาก

2.4.2. **คุณสมบัติเครื่องคอมพิวเตอร์เบื้องต้นในพัฒนาโปรแกรม** Visual Basic. NET

การเขียนโปรแกรมการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ควรมีคุณสมบัติต่างๆดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติฮาร์ดแวร์เบื้องต้นและที่แนะนำในเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (สุรศักดิ์ คิวประสพศักดิ์ และ นันทนี แขวงโสภา, 2546)

ฮาร์ดแวร์	Specification เริ่มต้น	Specification ที่แนะนำ
ซีพียู (CPU)	Pentium II 450 MHz ขึ้นไป	Pentium III 750 MHz ขึ้นไป
หน่วยความจำ (Memory)	- 128 MBขึ้นไป สำหรับ Windows 2000 Professional	-256 MB ขึ้นไปสำหรับ Windows 2000 Professional และ Windows XP Professional
	- 160 MB ขึ้นไปสำหรับ Windows XP Professional	
	- 192 MB ขึ้นไป สำหรับ Windows 2000 Server	384 MB ขึ้นไป สำหรับ Windows 2000 Server
ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk)	Visual Studio .NET สูงสุด 3 GB	ควรมีเนื้อที่ฮาร์ดดิสก์ก่อนติดตั้งไม่ต่ำกว่า 4 GB
ซีดีรอม (CD-ROM)	ต้องใช้ CD-ROM เนื่องจาก Visual Studio .NETสูงสุด 3 GB	แนะนำให้ใช้ CD-ROM ความเร็ว 32 X ขึ้นไป
การ์ดจอ	VGA 640X480 หรือสูงกว่า	Super VGA 1,024 X 768 และสนับสนุนความละเอียดสีที่ 16 ล้านสี
โมเด็ม (Modem)	-	ควรมีความเร็ว 56 Kbps ขึ้นไปเพื่อใช้ค้นคว้าความรู้เพิ่มเติมจากอินเตอร์เน็ตและดาวน์โหลดตัวอย่างประกอบ
การ์ด LAN	-	จำเป็นต้องมี ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมเพื่อทำงานในระบบ network
ชุดมัลติมีเดีย	ต้องมี ถ้าต้องการเขียนโปรแกรมแบบมัลติมีเดีย	-

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมควรที่จะมีคุณสมบัติซอฟต์แวร์ ที่เหมาะสมเบื้องต้นและคุณสมบัติที่แนะนำของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของซอฟต์แวร์เบื้องต้นและซอฟต์แวร์ที่แนะนำของเครื่องคอมพิวเตอร์ (สุรศักดิ์ คิวประสพศักดิ์ และ นันทนี แขวงโสภา, 2546)

สิ่งที่ต้องใช้	Specification เริ่มต้น	Specification ที่แนะนำ
แผ่นติดตั้งโปรแกรม	Visual Studio .NET หรือ Visual Basic Standard	Visual Studio .NET Professional ซึ่งประกอบไปด้วยซีดีรอมทั้งสิ้น 5 แผ่น
ระบบปฏิบัติการ (O/S)	ต้องเป็นระบบปฏิบัติการตระกูล Windows เท่านั้น ได้แก่ Windows NT 4.0 Server, Workstation, Windows 2000 หรือ Windows XP ทุกรุ่น	ควรใช้ Windows 2000 Professional เป็นอย่างต่ำ (ติดตั้ง Windows 2000 Professional Service Pack 2 เพิ่มเติมด้วย) สำหรับในหนังสือนี้จะอธิบายด้วย Windows XP Professional
เว็บเบราเซอร์	Internet Explorer เวอร์ชั่น 6 ขึ้นไป	Internet Explorer เวอร์ชั่น6 ขึ้นไป
เว็บเซอร์เวอร์	ควรมี Internet Information Services (IIS) หรือ Personal Web Manager สำหรับ Windows 2000 Professional	แนะนำให้ใช้ Internet Information Services เวอร์ชั่น 5 จะสามารถทดสอบ Web Form และ Web Serviceได้สะดวกมากยิ่งขึ้น
ระบบจัดการฐานข้อมูล (RDBMS)	สามารถใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลได้หลากหลาย เช่น Microsoft Access, SQL Server, FoxPro , Informix, Oracle และ Sybase เป็นต้น	แนะนำให้ใช้ Microsoft Access เนื่องจากเป็นที่นิยมในการเขียนโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลด้วย VB .NET รวมถึง Microsoft SQL Server เพื่อเขียนโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลใหญ่ขึ้น

2.4.3. **ประโยชน์ของการใช้** Visual Basic. NET

1. ภาษาที่เขียนได้ง่าย ไม่ซับซ้อน
2. ภาษาที่สามารถเขียนรองรับการใช้งานทาง Internet ได้
3. เป็นภาษาที่สามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลได้ง่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบฐานข้อมูล Microsoft Access

โปรแกรม Microsoft Access เป็นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลส่วนบุคคล สามารถสร้างฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูล รายงานผลข้อมูล เรียกใช้งานข้อมูลจากแหล่งอื่นๆโดยสามารถแบ่งออกเป็นด้านความสามารถและความเหมาะสมได้ดังนี้

2.4.4. **ความสามารถของ** Microsoft Access **สามารถสรุปได้ดังนี้**

2.4.4.1 สร้างฐานข้อมูล

ประกอบไปด้วยการออกแบบฐานข้อมูล การสร้างตาราง และความสัมพันธ์ระหว่างตารางต่างๆในฐานข้อมูล

2.4.4.2 จัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล

Microsoft Access สามารถจัดเก็บข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น ข้อความ ตัวเลข รูปภาพ วีดีโอ เป็นต้น ลงในฐานข้อมูลได้อย่างสะดวกสบายลดความผิดพลาดในการจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งขจัดความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่จะถูกจัดเก็บด้วย ในกรณีที่มีข้อมูลอยู่แล้วสามารถปรับปรุงข้อมูลเดิม หรือลบข้อมูลที่มีอยู่ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย

2.4.4.3 เรียกข้อมูล

เมื่อผู้ใช้งานจัดเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเรียกค้นข้อมูลจากฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เรียกค้นได้ตามเงื่อนไขใดๆก็ได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถออกแบบการค้นหาข้อมูลได้ง่าย ด้วยเครื่องมือของโปรแกรม

2.4.4.4 รายงานผลข้อมูล

เป็นการนำเอาข้อมูลจากระบบมาแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจ เช่น ตาราง กราฟ หรือแผนภูมิชนิดต่างๆ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรมอื่นๆได้อย่างสะดวก สามารถปรับแต่งรายงานให้มีรูปแบบสวยงามตามความต้องการ สามารถพิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ หรือแสดงผลผ่านบราวเซอร์อินเตอร์เน็ตได้ด้วย

2.4.4.5 นำข้อมูลเข้าและออกจากฐานข้อมูล

ผู้ใช้งานสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรม Microsoft Access กับโปรแกรมอื่นๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็น Excel Word PowerPoint หรือโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลอื่นๆ เช่น dBase, FoxBASE, Paradox, SQL server ฯลฯ ก็สามารถทำได้ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบปกติ หรือส่งผ่านรูปของ XML ก็ทำได้

2.4.4.6 สำรองข้อมูลและจัดการความปลอดภัยของข้อมูล

Microsoft Access จะมีความสามารถของระบบจัดการฐานข้อมูลคือ การสำรองข้อมูล (Back up) ในกรณีที่ระบบเกิดล่ม โดยสามารถนำข้อมูลสำรองมาใช้งาน หรือกู้คืนข้อมูลที่สำคัญได้ด้วย รวมทั้งสามารถจัดการด้านความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล

2.4.4.7 บันทึกรายการทำงานอัตโนมัติ

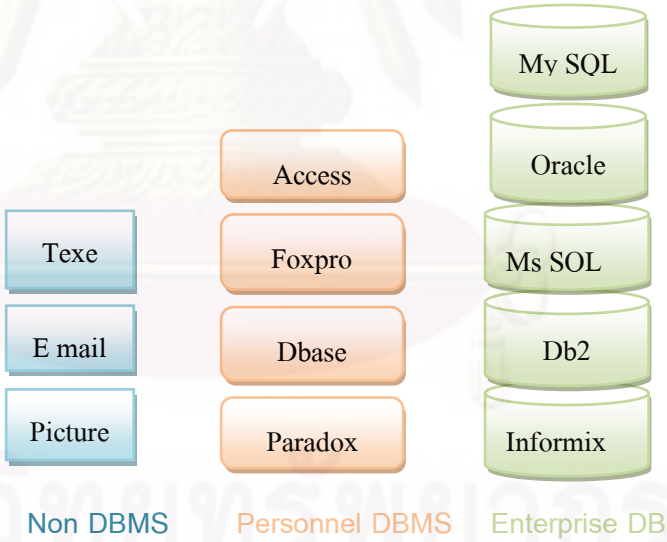
ในงานที่ไม่ซับซ้อนมาก ผู้ใช้งานสามารถรวมรายการของคำสั่งต่างๆที่ต่อเนื่องกันเก็บไว้ในคำสั่งอัตโนมัติคำสั่งเดียวได้ โดยใช้ Macro

2.4.4.8 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วย Visual Basic Application

ในการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น หรืองานที่ต้องการความสามารถเพิ่มมากขึ้น ผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมโดยการใช้งาน Visual Basic Application มาช่วยเขียนโปรแกรมให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามรูปแบบที่เราต้องการ

2.4.5. **ความเหมาะสมในการใช้งาน** Microsoft Access

สำหรับโปรแกรมการจัดการฐานข้อมูล (Data Base Management System: DBMS) นั้นมีอยู่หลายระดับดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 ระดับตัวเลือกการใช้งานของฐานข้อมูล (สุรัสวดี วงศ์จันทร์สุข และ สัจจะ จรัสรุ่งรวีจร , 2549)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ในระบบธุรกิจธนาคาร สายการบิน ห้างสรรพสินค้าเป็นต้นจะใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อใช้รองรับกับปริมาณข้อมูลจำนวนมาก ความซับซ้อนของงานสูงๆและมีความสามารถปกป้องให้ข้อมูลปลอดภัย

ส่วนโปรแกรม Microsoft Access จะเหมาสำหรับการใช้งานส่วนบุคคลนั่นคือ การจัดการฐานข้อมูลขนาดเล็ก หรือฐานข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนมาก เช่น ฐานข้อมูลส่วนตัว งานภายในสำนักงาน หรืองานในธุรกิจขนาดเล็ก ซึ่งมักจะมีผู้ใช้งานฐานข้อมูลคนเดียว

ในกรณีที่เป็นโปรแกรมเมอร์หรือนักพัฒนาซอฟต์แวร์นั้น พบว่ามักใช้ Microsoft Access เป็นระบบฐานข้อมูล เพื่อทดสอบในขณะที่เขียนโปรแกรมหรือช่วงพัฒนาซอฟต์แวร์เพราะสามารถทดสอบเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าทำงานได้ถูกต้อง ก่อนจะนำไปใช้กับระบบจัดการฐานข้อมูลอื่นๆได้

2.4.6. **ประโยชน์ของฐานข้อมูล**

1. ฐานข้อมูลจะช่วยสร้างระบบการจัดเก็บข้อมูลขององค์กรให้เป็นระเบียบ
2. แยกแยะข้อมูลตามประเภท ทำให้ข้อมูลประเภทเดียวกันจัดเก็บอยู่ด้วยกัน
3. สามารถค้นหาและเรียกใช้ได้ง่ายไม่ว่าจะนำมาพิมพ์รายงาน
4. นำมาคำนวน หรือนำมาวิเคราะห์ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ขององค์การหรือหน่วยงานนั้นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการหาผลเฉลย

(Methodology Solution)

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีคิดและระเบียบวิธีในการหาค่าความซับซ้อนของปัญหา ระเบียบวิธีในการหาผลเฉลยด้วยผสมผสานกำหนดการเชิงเส้นและวิธีฮิวริสติกส์ ของการจัดตารางการ ผลิตเครื่องจักรขนานเพื่อให้จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุดโดยมีเวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า $(R_m|S_{jk}|\sum U)$ รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ และผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยมีรายละเอียดดังแสดงในหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

3.1 ความซับซ้อนของขั้นตอนวิธี (Algorithmic Complexity)

ในการหาความซับซ้อนของปัญหาการจัดตารางแบบ $R_m|S_{jk}|\sum U$ มีการตัดสินใจสองประเภท คือการจัดงานลงบนเครื่องจักรและการจัดตำแหน่งของงานบนแต่ละเครื่องจักร

การหาค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Total Possible Solution) ของการจัดงานลงบนเครื่องจักร (TPS_1) สามารถหาได้จากสมการ (1) โดยที่ m คือจำนวนเครื่องจักร และ n คือจำนวนงาน

$$TPS_1 = (m)^n \qquad (1)$$

สมมติให้ n_i คือจำนวนงานที่รับการแปรรูปบนเครื่องจักร i ซึ่งผลรวมของงาน n_i บนทุกเครื่องจักร i มีค่าเท่ากับ n งาน ดังนั้นการหาค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการจัดตำแหน่งของงานบนแต่ละเครื่องจักร (TSP_2) สามารถหาได้จาก

$$TPS_2 = \prod_{i=1}^{m} n_i! \qquad (2)$$

ดังนั้นการหาค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการจัดตารางการผลิต (TSP_3) จึงสามารถหาได้จากผลคูณของค่า (TPS_1) และ TSP_2ดังสมการ (3)

$$TPS_3 = TPS_1 \times TPS_2 = (m)^n \prod_{i=1}^{m} n_i! \qquad (3)$$

จากสมการเมื่อ $n_i = n$ จะทำให้ค่า TSP_3มีค่ามากที่สุด ดังนี้

$$TPS_{3max} = (m)^n n! \qquad (4)$$

และเมื่อค่า n_i แต่ละค่ามีค่าเท่าๆกันจะทำให้ค่า TSP_3มีค่าน้อยที่สุดดังนี้

$$TPS_{3min} = (m)^n \prod_{i=1}^{m} \left[\frac{n_i}{m}\right]! \qquad (5)$$

จากสมการ (4) และ (5) สามารถสรุปได้ว่าค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ขึ้นอยู่กับจำนวนงานและจำนวนเครื่องจักรที่พิจารณาโดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจำนวนเครื่องจักร และงานที่แตกต่างกัน

จำนวนงาน	จำนวนเครื่องจักร			
	5	10	15	20
5	3.13E+03	1.00E+05	7.59E+05	3.20E+06
10	3.13E+08	1.00E+10	5.77E+11	1.02E+13
15	2.37E+14	1.02E+18	4.38E+17	3.28E+19
20	7.59E+20	1.02E+23	3.33E+23	1.05E+26
25	7.42E+27	6.05E+32	8.27E+33	3.36E+32
30	1.80E+35	6.05E+37	6.28E+39	1.13E+45
35	9.46E+42	6.34E+48	4.77E+45	3.60E+51
40	9.69E+50	6.34E+53	5.20E+58	1.15E+58

ตารางที่ 3.2 ค่าผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด มากที่สุด เมื่อพิจารณาจำนวนเครื่องจักร และงานที่แตกต่างกัน

จำนวนงาน	จำนวนเครื่องจักร			
	5	10	15	20
5	3.75E+05	1.20E+07	9.11E+07	3.84E+08
10	3.54E+13	3.63E+16	2.09E+18	3.72E+19
15	3.99E+22	1.31E+27	5.73E+29	4.28E+31
20	2.32E+32	2.43E+38	8.09E+41	2.55E+44
25	4.62E+42	1.55E+50	3.92E+54	5.20E+57
30	2.47E+53	2.65E+62	5.09E+67	2.85E+71
35	3.01E+64	1.03E+75	1.50E+81	3.55E+85
40	7.42E+75	8.16E+87	9.02E+94	8.97E+99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ผสมผสานกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Mixed Integer Programming)

ปัญหา $R_m|S_{jk}|\sum U$ สามารถเขียนในรูปสมการ ผสมผสานกำหนดการเชิงเส้นโดยมีสัญลักษณ์ต่างๆดังนี้

พารามิเตอร์ (Parameters)

n คือ จำนวนงานที่พิจารณา

m คือ จำนวนเครื่องจักร

i, j คือ งานที่ i และงานที่ j โดยเมื่อมีการจัดตารางการผลิต งาน i จะงานเป็นงานลำดับก่อนหน้างานที่พิจารณา j

(ถ้าค่า $i = 0$ แสดงว่างานนั้นเป็นงานแรกบนเครื่องจักรนั้นๆ)

(ถ้าค่า $i = n + 1$ แสดงว่างานนั้นเป็นงานสุดท้ายบนเครื่องจักรนั้นๆ)

l คือ ชื่อของเครื่องจักร

P_{jl} คือ เวลาที่งาน j บนต้องใช้ในการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร l

D_j คือ กำหนดส่งของงาน j

S_{ij} คือ เวลาปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนงานจากงาน i ไปงาน j และ $i = 0$ เมื่องานนั้นเป็นงานแรก

M คือ เลขที่มีค่ามากพอ (มากกว่าค่าเวลาเสร็จสิ้นงานรวมทั้งหมด หาจาก $\sum_{l=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=0}^{n}(P_{jl} + S_{ij})$)

ตัวแปร (Variable)

z_{ijl} คือ ค่าตัวแปร Binary ที่ใช้กำหนดว่างานใดทำบนเครื่องจักรใดและทำต่อจากงานใดโดยมีค่าเป็น 1 เมื่องาน j ทำงานต่อจากงาน i บนเครื่องจักร l และมีค่าเป็น 0 เมื่องานที่พิจารณาใดๆ ไม่ได้อยู่บนตำแหน่งนั้นๆ

U_j คือ ค่าตัวแปร Binary ซึ่งบ่งบอกว่างานที่พิจารณา j เป็นงานล่าช้าหรือไม่โดยมีค่าเป็น 1 เมื่องาน j ล่าช้า

C_j คือ เวลาเสร็จงาน j

O_j คือ เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน j

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต (Objective) คือ จำนวนงานล่าช้าซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการผสมผสานเชิงเส้นได้ดังนี้

$$Number\ of\ Tardy = \sum_{j=1}^{n} U_j$$

โดยมีเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ดังต่อไปนี้

กำหนดให้แต่ละงานต้องได้ทำบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวและมีงานก่อนหน้าเพียงงานเดียว และต้องมีงานตามหลังเพียงงานเดียวเท่านั้น

$$\sum_{l=1}^{m}\sum_{i=0}^{n} z_{ijl} = 1 \qquad j = 1 \rightarrow n$$

$$\sum_{l=1}^{m}\sum_{j=1}^{n+1} z_{ijl} = 1 \qquad i = 1 \rightarrow n$$

กำหนดให้งานที่ทำต่อกันต้องอยู่บนเครื่องจักรเดียวกันเท่านั้น

$$\sum_{i=0}^{n} z_{ijl} = \sum_{i=1}^{n+1} z_{jil} \qquad j = 1 \rightarrow n \qquad l = 1 \rightarrow m$$

กำหนดให้ต้องทำงานบนตำแหน่งแรกและต้องให้มีงานทำบนตำแหน่งสุดท้าย (ถ้าไม่มีงานบนเครื่องจักรเลยค่าของ $z_{0n+1l} = 1$)

$$\sum_{j=1}^{n+1} z_{0jl} = 1 \qquad l = 1 \rightarrow m$$

$$\sum_{i=0}^{n} z_{in+1l} = 1 \qquad l = 1 \rightarrow m$$

ห้ามให้งานเดียวกันทำต่อกัน (ไม่มีงานซ้ำ)

$$z_{jjl} = 0 \qquad j = 1 \rightarrow n \qquad l = 1 \rightarrow m$$

กำหนดค่าของเวลาทำงานของแต่ละงานซึ่งถูกกำหนดให้ทำการแปรรูปในเครื่องจักรนั้นๆ

$$O_j = \sum_{l=1}^{m}\sum_{i=0}^{n} P_{jl} z_{ijl} \qquad j = 1 \rightarrow n$$

กำหนดค่าของเวลาเสร็จงาน j

งานแรก

$$C_j \geq S_{0j} + O_j \qquad j = 1 \rightarrow n$$

งานที่มีงานก่อนหน้าและงานหลัง

$$C_j \geq C_i + S_{ij} + O_j + \left(\sum_{l=1}^{m} z_{ijl} - 1\right) M \quad j = 1 \rightarrow n \quad i = 1 \rightarrow n \;\; ; i \neq j$$

หางานที่ล่าช้า

$$-C_j + D_j \leq M(1 - U_j) \qquad j = 1 \rightarrow n$$
$$C_j - D_j \leq M(U_j) \qquad j = 1 \rightarrow n$$

กำหนดให้ตัวแปรต่างๆเป็นค่า 0,1

$$U_j = \{0,1\} \qquad j = 1 \rightarrow n$$
$$z_{ijl} = \{0,1\} \qquad i = 0 \rightarrow n \quad j = 1 \rightarrow n+1 \quad l = 1 \rightarrow m$$

กำหนดให้ค่าตัวแปรต่างๆมีค่าเป็น บวก

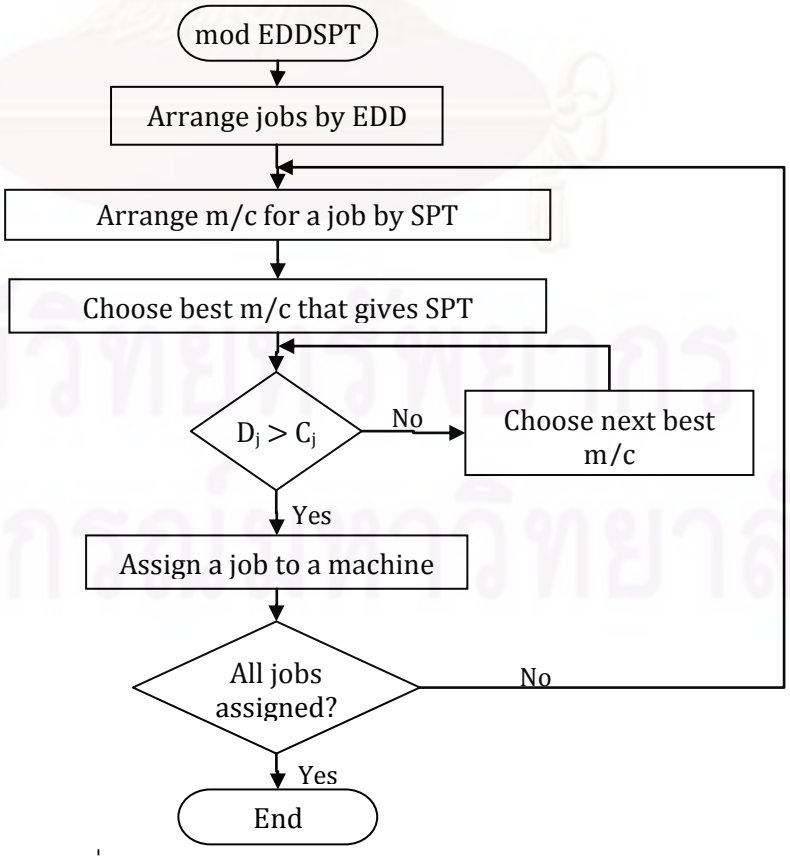
$$C_j \geq 0 \qquad j = 1 \rightarrow n$$
$$O_j \geq 0 \qquad j = 1 \rightarrow n$$

3.3 วิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics Method)

วิธีการทางฮิวริสติกส์สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ในเวลาที่น้อยกว่ากระบวนการทางคณิตศาสตร์แต่ไม่สามารถรับรองค่าที่ดีที่สุดได้ในเวลาที่จำกัด รูปแบบในการค้นหาคำตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ (Carlos et al., 2007) คือ วิธีการแจงนับ (Enumerative) วิธีการแบบสถิต (Deterministic) และวิธีเฟ้นสุ่ม (Stochastic) ซึ่งลักษณะการค้นหาคำตอบเหล่านี้สามารถใช้เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดชนิดวัตถุประสงค์เดียวได้ดี ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการจัดตารางดั้งเดิมของโรงงานกรณีศึกษา และ การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบทาบูที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตของงานวิจัยนี้อย่างละเอียด

3.3.1 วิธีการจัดตารางเย็บของโรงงานกรณีศึกษา

จากบทที่ 1 ได้กล่าวถึงสภาพปัญหาและวิธีการจัดตารางการเย็บของโรงงานกรณีศึกษากล่าวคือ เมื่อไม่พิจารณาการแทรกงานและการแบ่งงาน นำงานที่มีกำหนดส่ง ก่อนมา เรียงตามลำดับโดยจัดให้งานที่มีกำหนดส่งน้อยที่สุดอยู่ในลำดับต้น (EDD) แล้วจึงจัดงานลงบนสายการ เย็บทีละงานโดยจัดงานที่ลำดับน้อยที่สุดก่อนโดยจัดลงบนสายการเย็บ ที่ถนัดในงานนั้นที่สุด (SPT)และมีเวลาในการผลิตเพียงพอ หากเวลาในการผลิตของสายงานนั้นไม่เพียงพอจะทำการจัดงานให้สายการผลิตที่มีความถนัดรองลงไปซึ่งมีเวลาในการผลิตเพียงพอเว้นแต่ถ้าไม่สามารถจัดงานลงในสายงานใดได้เลยจะจัดงานให้สายการเย็บที่ถนัดที่สุด และจึงพิจารณางานอื่นต่อไปเรื่อยๆจนหมด จากที่กล่าวมาผู้วิจัยทำการตั้งชื่อวิธีการดังกล่าวว่า mod EDDSPT และสามารถสร้างเป็นแผนภาพการไหลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการจัดตารางของโรงงาน

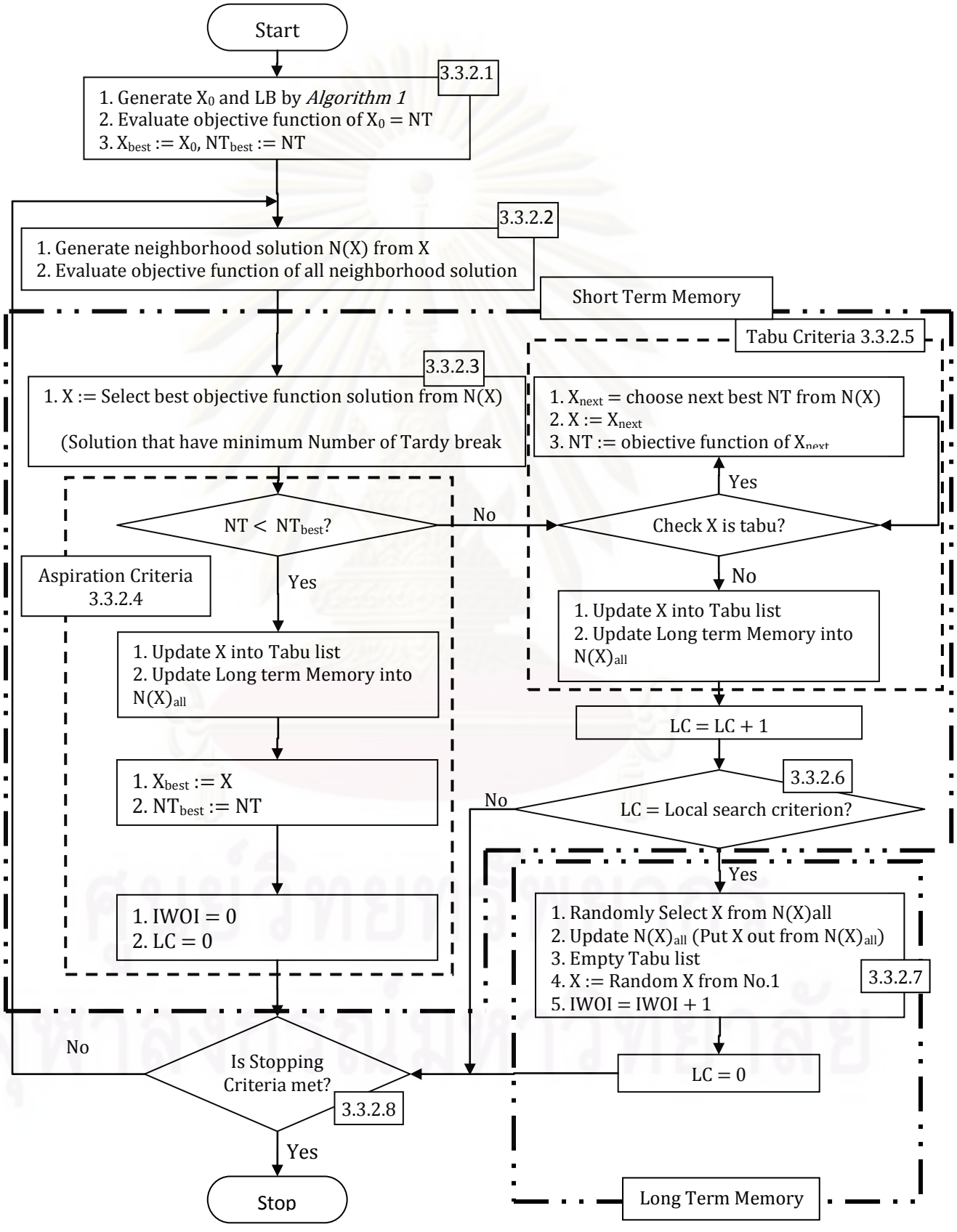
3.3.2 กระบวนการค้นหาแบบทาบู

จากบทที่ 2 ซึ่งได้กล่าวถึงการค้นหาแบบทาบูซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันแต่มีโครงสร้างและวิธีการคิดคล้ายคลึงกันไปแล้วนั้น ในส่วนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการคิดของงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นฮิวริสติกส์แบบการค้นหาแบบทาบูซึ่งได้มีการดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหา

การค้นหาแบบทาบูของงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆคือ การค้นหาเริ่มต้น การสร้างกลุ่มข้างเคียง การค้นหาท้องถิ่น ความทรงจำระยะยาวและเงื่อนไขการหยุดการค้นหาซึ่งแต่ละส่วนมีการทำงานและบทบาทที่แตกต่างกัน โดยการกระบวนการค้นหาแบบทาบูสามารถอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

การค้นหาแบบทาบูเริ่มต้นเมื่อมีการป้อนข้อมูลนำเข้าทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย $n, m, P_{jl}, D_j, S_{ij}$ และเข้าสู่กระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้น (3.3.2.1) ทำให้เกิดคำตอบเบื้องต้นและค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จะถูกตั้งให้เป็นค่าที่ดีที่สุด ณ เวลานั้นเพื่อเริ่มกระบวนการต่อไปคือการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง (3.3.2.2) ซึ่งกลุ่มคำตอบที่ได้จะถูกคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (3.3.2.3) ด้วยค่าวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด (จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด) แต่ถ้ามีค่าวัตถุประสงค์เท่ากันจะตัดสินด้วยค่าเวลาในการปฏิบัติงานรวมที่น้อยที่สุด แล้วจึงส่งคำตอบเข้าสู่ส่วนของ Aspiration Criteria (3.3.2.4) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ ณ เวลานั้นกับค่าวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดตั้งแต่เริ่มต้นการค้นหาถ้าค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากกระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงดีกว่าค่าที่ดีที่สุดจะยอมรับทุกคำตอบไม่ว่าคำตอบนั้นจะอยู่ในรายการต้องห้ามหรือไม่ก็ตาม แต่ถ้าค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากกระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงไม่ดีกว่าค่าที่ดีที่สุดจะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบรายการต้องห้าม (3.3.2.5) ซึ่งจะคัดกรองคำตอบจากกลุ่มคำตอบนั้นๆว่าเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาหรือไม่เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขการค้นหาท้องถิ่น (Local Search Criteria) (3.3.2.6) ซึ่งถ้าไม่ผ่านเงื่อนไขนี้กระบวนการจะจนกลับไปสู่การค้นหากลุ่มคำตอบข้างเคียงใหม่โดยนำคำตอบที่ได้จากการค้นหารอบที่ผ่านมาไปเป็นคำตอบเบื้องต้นเพื่อใช้หากลุ่มคำตอบข้างเคียงและจะทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าการค้นหาจะผ่านเงื่อนไขการค้นหาท้องถิ่นซึ่งกระบวนตั้งแต่การคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (3.3.2.3) จนถึงกระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขการค้นหาท้องถิ่น (3.3.2.6) เป็นกระบวนการค้นหาซึ่งใช้ความทรงจำระยะสั้น (Short Term Memory) เมื่อผ่านเงื่อนไขกระบวนการค้นหาท้องถิ่นแล้วการค้นหาแบบทาบูจะเข้าสู่กระบวนการความทรงจำระยะยาว (3.3.2.7) ซึ่งมีการเพิ่มค่า Iteration Without Improvement (IWOI) ซึ่งเป็นหนึ่งในเงื่อนไขการหยุดการค้นหาแบบทาบู และสุ่มคำตอบเริ่มต้นใหม่จากรายการคำตอบที่น่าสนใจแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดกระบวนการค้นหาแบบทาบู (3.3.2.8) ซึ่งถ้าไม่ผ่านเงื่อนไขนี้ กระบวนการค้นหาจะนำคำตอบที่สุ่มมาจากความทรงจำระยะยาว (3.3.2.7) ไปสู่กระบวนการเริ่มต้นของการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง (3.3.2.2) ซึ่ง

กระบวนการค้นหาแบบทาบูนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 จากที่กล่าวมาประกอบไปด้วยกระบวนการ 8 กระบวนการ และแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



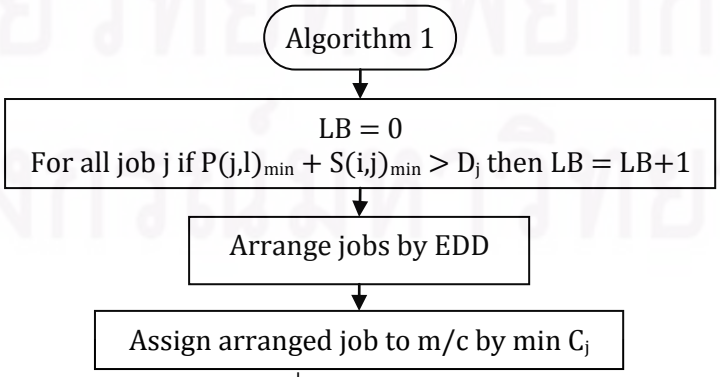
รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลของวิธีการค้นหาแบบ

3.3.2.1.กระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้น

เป็นกระบวนการก่อนการเริ่มกระบวนการปรับปรุงคำตอบโดยการประกาศตัวแปรและตั้งค่าเริ่มต้นของข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในกระบวนการต่อไปซึ่งประกอบไปด้วย จำนวนเครื่องจักร จำนวนงาน กำหนดส่งงาน เวลาแปรรูปงานบนแต่ละเครื่องจักร และเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีงานก่อนหน้า โดยในกระบวนการเริ่มต้นนี้จะมีการสร้างตัวแปรต่างๆที่จำเป็นในการค้นหาแบบทาบู ทำการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยระเบียบวิธี 1 (Algorithm 1) การหาคำตอบของการจัดเรียงและการตั้งค่าคำตอบที่ได้และวิธีการจัดตารางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบเพื่อใช้ในส่วนต่อไปโดยแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

1. Algorithm 1 เป็นกระบวนการจัดตารางเพื่อหาคำตอบเบื้องต้นก่อนเข้าสู่การค้าหาแบบทาบูโดยมีโครงสร้างหลักคือการหาขอบเขตล่าง การจัดเรียงงานแบบ EDD และการจัดงานลงบนเครื่องจักรแบบ min C_j โดยสามารถแยกเป็นข้อๆได้ดังนี้
   a. การหาขอบเขตล่าง เป็นกระบวนการที่สร้างขึ้นเพื่อให้การค้นหาหยุดลงซึ่งเป็นหนึ่งใน Stopping Criteria ที่ใช้เพื่อลดเวลาในการค้นหาโดยการกรองข้อมูลนำเข้าที่ไม่สามารถจัดแล้วทำให้งานนั้นๆไม่สายได้โดยมีเงื่อนไขคือจำนวนงานสายที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้คือ 0 ถ้าเวลาปฏิบัติงานที่น้อยที่สุดรวมกับเวลาตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุดแล้วมากกว่ากำหนดส่งของงานนั้นๆให้เพิ่มค่าขอบเขตล่างขึ้นอีก 1
   b. การจัดเรียงแบบ EDD หรือการจัดเรียงงานโดยการเรียงจากกำหนดส่งโดยนำงานที่มีกำหนดส่งก่อนมาพิจารณาก่อน
   c. นำงานที่มีตำแหน่งที่ต้องพิจารณาก่อนมาจัดลงบนเครื่องจักรแบบ min C_j คือการจัดงานลงบนเครื่องจักรใดๆแล้วทำให้เวลาเสร็จงานนั้นๆน้อยที่สุด ส่งผลให้ตารางการผลิตที่ได้มีโอกาสทำให้มีจำนวนงานสายน้อยที่สุด

จากลักษณะดังกล่าวสามารถนำมาแสดงได้ดังภาพที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Algorithm 1

2. การตั้งค่าคำตอบที่ได้และวิธีการจัดตารางที่ได้เป็นค่าที่ดีที่สุด เป็นการนำค่าที่ได้จากการจัดตารางด้วยวิธีข้อ 1 มาตั้งเป็นคำตอบที่ดีที่สุดต่อจากนั้นกระบวนการจะใช้คำตอบที่ได้นี้เป็นค่าตั้งต้นในการหากลุ่มคำตอบข้างเคียงในขั้นตอนต่อไป

จากที่กล่าวมาเพื่อสามารถอธิบายได้ดียิ่งขึ้นจึงทำการยกตัวอย่างด้วยข้อมูลชุดที่ 1 ในภาคผนวก ข โดยค่าข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย D_j, P_{jl}, S_{ij} ตามลำดับ ซึ่งมีวิธีการอ่านค่าโดยค่าในวงเล็บเป็นตัวระบุงานหรือเครื่องจักรดังนี้ D:[(j) Duedate], P:[(j, l) Processing time], S:[(i, j) Setup Time] ยกตัวอย่างเช่น D(1) 124.7 คือ กำหนดส่งงานที่ 1 มีค่า 124.7 P(4,1) 40.3 คือ เวลาในการปฏิบัติงานที่ 4 บนเครื่องจักรที่ 1 มีค่า 40.3 หรือ S(2,1) 2.5 คือ เวลาปรับตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่ 1 ทำต่อจากงานที่ 2 มีค่า 2.5 โดยที่ค่า S(0, j) คือการที่งานที่ j เป็นงานแรกบนเครื่องจักรใดๆ หรือ S(j, j) 999 คือการตั้งค่าเวลาตั้งเครื่องจักรเมื่องาน j ใดๆทำต่อจากงาน j นั้นๆเนื่องจากการจัดตารางนี้ไม่สามารถจัดงานซ้ำกันได้

ตัวอย่าง กระบวนการระเบียบวิธีที่ 1(Algorithm 1)

D :[(1) 124.7 (2) 83.1 (3) 88.6 (4) 147.8 (5) 112.6]

P :[(1 ,1) 39.6 (1 ,2) 29.9 (2 ,1) 29.4 (2 ,2) 34.7
(3 ,1) 36.4 (3 ,2) 26.7 (4 ,1) 40.3 (4 ,2) 24.1
(5 ,1) 34.9 (5 ,2) 23.3]

S :[(0 ,1) 5.6 (0 ,2) 3.4 (0 ,3) 4.4 (0 , 4) 3.6 (0 ,5) 4.7
(1 ,1) 999.0 (1 ,2) 2.7 (1 ,3) 4.5 (1 , 4) 2.1 (1 ,5) 4.2
(2 ,1) 2.5 (2 ,2) 999.0 (2 ,3) 3.4 (2 , 4) 4.6 (2 ,5) 3.9
(3 ,1) 4.7 (3 ,2) 3.5 (3 ,3) 999.0 (3 , 4) 4.4 (3 ,5) 4.9
(4 ,1) 3.9 (4 ,2) 3.6 (4 ,3) 4.3 (4 , 4) 999.0 (4 ,5) 3.6
(5 ,1) 3.7 (5 ,2) 3.1 (5 ,3) 2.7 (5 , 4) 4.9 (5 ,5) 999.0]

เมื่อเข้าสู่ Algorithm 1 กระบวนการแรกคือการหาค่า LB ได้ดังนี้

For all job j if $P(j, l)_{min} + S(i, j)_{min} > D_j$ then LB = LB+1

ซึ่งจะได้ค่าที่ขีดเส้นใต้ดังตัวอย่างข้างบนและทำการหาค่า LB ดังต่อไปนี้

P(1,2) + S(2,1) = 29.9+2.5 = 32.4 < D(1) 124.7 ดังนั้น LB = 0

P(2,1) + S(1,2) = 29.4+2.7 = 32.1 < D(2) 83.1 ดังนั้น LB = 0

P(3,2) + S(5,3) = 26.7+2.7 = 29.4 < D(3) 88.6 ดังนั้น LB = 0

P(4,2) + S(1,4) = 24.1+2.1 = 26.2 < D(4) 147.8 ดังนั้น LB = 0

P(5,2) + S(4,5) = 23.3+3.6 = 26.9 < D(5) 112.6 ดังนั้น LB = 0

ดังนั้น ค่า LB = 0

ต่อไปจะเข้าสู่กระบวนการจัดเรียงแบบ EDD

เมื่อจัดเรียงกำหนดส่งแบบ EDD จะได้ว่างานที่พิจารณาเรียงลำดับแรกจนถึงสุดท้าย คือ (2, 3, 5, 1, 4)

ต่อไปเป็นการจับงานที่จัดเรียงไว้ลงบนเครื่องจักรทีละงานซึ่งทำให้งานนั้นๆมีเวลาเสร็จสิ้นงานน้อยที่สุดโดยพิจารณาดังนี้

งานที่ 2 ลงบนเครื่องจักรที่ 1 P(2 ,1) 29.4 เป็นงานแรก S(0 ,2) 3.4 ได้

O(2)= 32.8C(2)=32.8

งานที่ 3 ลงบนเครื่องจักรที่ 2 P(3 ,2) 26.7 เป็นงานแรก S(0 ,3) 4.4 ได้

O(2)= 31.1C(2)=31.1

ถ้างานที่ 5 ลงบนเครื่องจักรที่ 1 P(5 ,1) 34.9 ต่อจากงาน 2 S(2 ,5) 3.9 ได้

O(2)= 38.8C(2)=71.6

ถ้างานที่ 5 ลงบนเครื่องจักรที่ 2 P(5 ,2) 23.3 ต่อจากงาน 3 S(3 ,5) 4.9 ได้

O(2)= 28.2C(2)=59.3

ดังนั้นงาน 5 จัดลงบนเครื่องจักรที่ 2 ต่อจากงาน 3 และทำกระบวนการซ้ำจนกว่างานจะถูกจัดลงบนเครื่องจักรครบทุกงาน

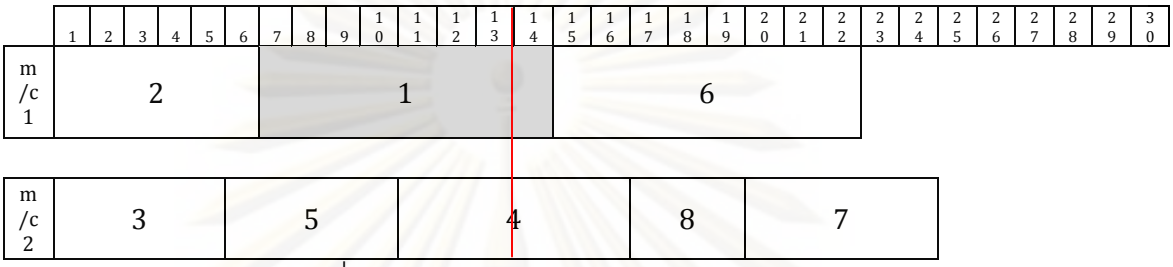
3.3.2.2.กระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง (Neighborhood search)

เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากที่สุดของการค้นหาแบบทาบูที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่จะนำไปสู่วิธีการจัดตารางที่ดีหรือไม่ดีนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการเลือกงานใดๆก็ตามมาทำการย้ายตำแหน่ง ไปยังตำแหน่งต่างๆ เพื่อสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง การย้ายตำแหน่งงาน 1 งานไปยัง 1 ตำแหน่งจะได้คำตอบ 1 คำตอบโดยการย้ายนี้จะเป็นการระบุว่างานนั้นๆมีตำแหน่งในปัจจุบันอย่างไร (i, j, l) และจะนำงานนั้นไปต่อกับงานใดบนเครื่องจักรใดและมีตำแหน่งบนเครื่องจักรเท่าใด (i, l, k) (k คือตำแหน่งของงานบนเครื่องจักรใดๆ) งานวิจัยนี้มีเงื่อนไขในการสร้างกลุ่มคำตอบด้วยกัน 3 เงื่อนไขคือ

1. การจับงานที่สายไปแทรกไว้บนเครื่องจักรอื่นโดยที่ตำแหน่งที่จะแทรกต้องมีเวลาเสร็จสิ้นงานของงาน ที่พิจารณา น้อยกว่ากำหนดส่งงาน นั้น ซึ่งเป็นการจับงานที่สายไปหาตำแหน่งที่อาจจะแทรกได้บนเครื่องจักรอื่นจึงเป็นการลดจำนวนงานที่สาย
2. การจับงานที่สาย บนทุกๆเครื่องจักร ไปไว้ตำแหน่งหลังสุดของ ทุกเครื่องจักร ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสของงานที่สายต่อจากงานสายที่พิจารณาที่มากกว่า 2 งานมีโอกาสที่จะไม่สายได้
3. การจับงานที่มีเวลาในการปฏิบัติงานพร้อมเวลาตั้งเครื่องจักรสูงสุดของแต่ละเครื่องจักรไปไว้หลังสุด ของเครื่องจักรนั้น เนื่องจากงานที่ใช้เวลาในการปฏิบัติงานพร้อมเวลาตั้ง

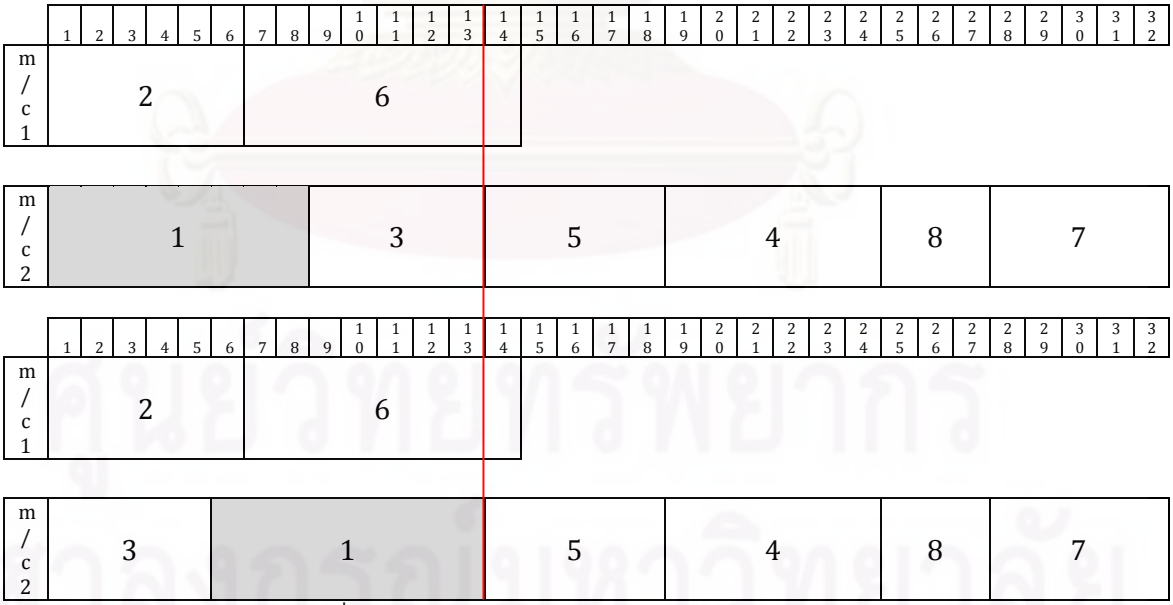
เครื่องจักรสูงทำให้งานที่ถูกจัดอยู่ในตำแหน่งหลังจากงานนั้นมีโอกาสสายมากขึ้นเพราะเวลาของเครื่องจักรที่พิจารณาถูกใช้ไปกับงานนั้นๆ

จากเงื่อนไขที่กล่าวมาสามารถแสดงเป็นแผนภาพตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.4-3.7 โดยรูปตัวอย่างก่อนการค้นหากลุ่มคำตอบข้างเคียงมีงาน 1 เป็นงานที่สายโดยมีกำหนดส่งเป็นเส้นทึบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 1

ด้วยเงื่อนไขที่ 1 สามารถนำงานที่ 1 ไปแทรกไว้บนตำแหน่ง
ก่อนงานที่ 3 บนเครื่องจักร 2
ก่อนงานที่ 5 บนเครื่องจักร 2
ทำให้เกิดคำตอบที่แตกต่างกันทั้งหมด 2 คำตอบดังแสดงในรูปที่ 3.5

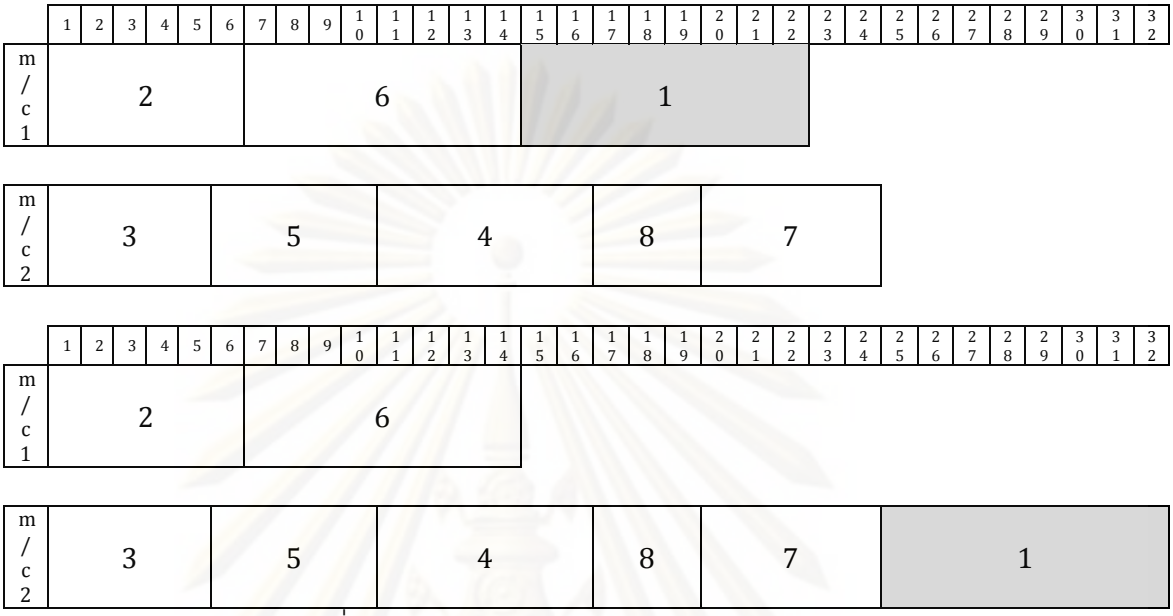


รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 2

ด้วยเงื่อนไขที่ 2 สามารถนำงานที่ 1 ไปไว้บนตำแหน่งท้ายสุดของทุกเครื่องจักรคือ
งาน 1 ไปไว้ท้ายสุดของเครื่องจักร 1

งาน 1 ไปไว้ท้ายสุดของเครื่องจักร 2

ทำให้เกิดคำตอบที่แตกต่างกันทั้งหมด 2 คำตอบดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 3

ด้วยเงื่อนไขที่ 3 สามารถนำงานที่มีเวลาในการปฏิบัติงานพร้อมเวลาตั้งเครื่องจักรมากที่สุดของทุกเครื่องจักรไปไว้ตำแหน่งหลังสุดของแต่ละเครื่องจักรได้ดังนี้คือ

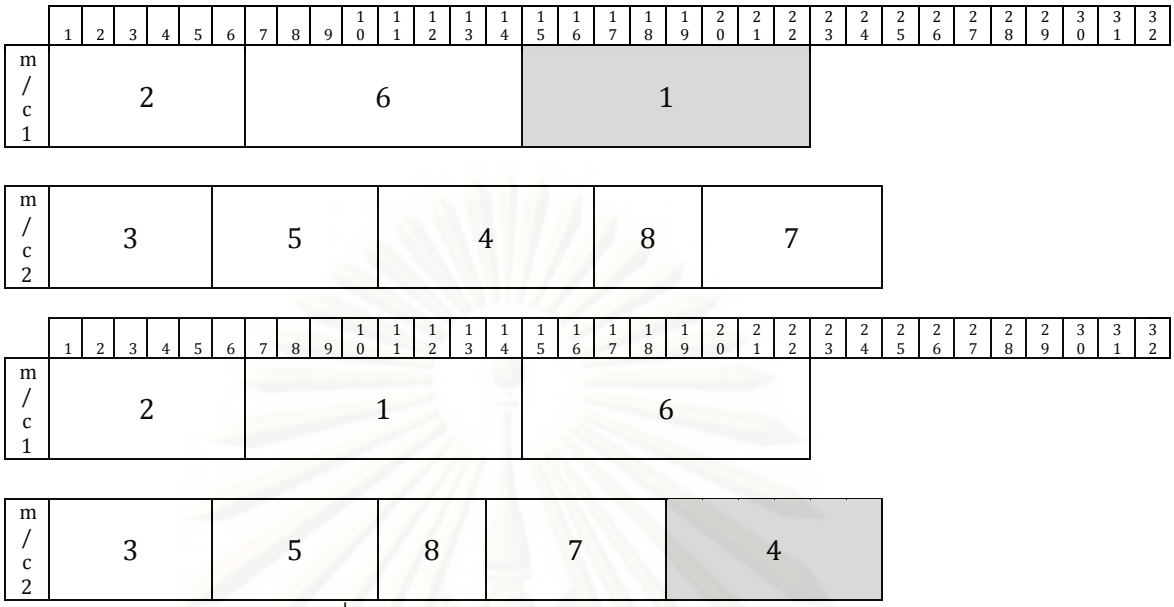
งาน 1 ไปไว้บนตำแหน่งท้ายสุดของเครื่องจักร

งาน 4 ไปไว้บนตำแหน่งท้ายสุดของเครื่องจักร

ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

3.3.2.3.กระบวนการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อผ่าน กระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงแล้ว จึงนำคำตอบแต่ละตัวมาหาค่าวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าของคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหากลุ่มคำตอบนั้นๆโดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือคำตอบที่ทำให้มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุดแต่เมื่อ ในกลุ่มคำตอบมี คำตอบที่ให้ค่าวัตถุประสงค์เท่ากันจะทำการเปรียบเทียบเวลาเสร็จสิ้นงานรวม น้อยที่สุด (Minimum Total Make Span) เป็นตัวตัดสินงานที่จำเป็นตัวแทนคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มคำตอบนั้นๆ เนื่องจากเวลาเสร็จสิ้นงานรวมนี้เพิ่มโอกาสในการลดจำนวนงานสายเมื่อเข้าสู่การสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงรอบต่อไป



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง 4

3.3.2.4.กระบวนการ Aspiration

กระบวนการ Aspiration เป็นกระบวนการเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีและมีประสิทธิภาพเนื่องจากการยอมให้งานที่ติดรายการ ต้องห้าม สามารถนำไปเป็นคำตอบเริ่มต้นของการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงรอบต่อไปได้

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง ซึ่งทำให้เกิด ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีกว่า ค่าวัตถุประสงค์ ที่ดีที่สุดในเวลานั้น ดังนั้นจากการกำหนดเงื่อนไขของ Aspiration ดังกล่าวจึงทำให้กระบวนการ Aspiration อยู่ในส่วนในสุดของการหมุนวนในการหาคำตอบที่จะทำให้ค่าต่างๆที่ใช้ในการหาคำตอบกลับมาที่จุดเริ่มต้นเพื่อลดเวลาในการค้นหาคำตอบในส่วนของปัญหาที่ลงลึกมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 3.2

3.3.2.5.การตรวจสอบทาบู

รายการข้อห้าม (Tabu list) ซึ่งเป็นรายการที่ใช้เก็บเส้นทางในการค้นหาคำตอบ (Tabu active) ของคำตอบที่ถูกเลือกจากกลุ่มคำตอบข้างเคียงให้เป็นตัวแทนของรอบการค้นหานั้นเพื่อป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่มีเส้นทางในการค้นหาคำตอบซ้ำกับเส้นทางที่เกิดขึ้นแล้วโดยมีสาเหตุมาจากการหมุนวนอยู่ในภาวะที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (local optimum) (Glover F. 1990) โดย Tabu list จะมีขนาดเท่ากับระยะเวลาต้องห้าม (Tabu tenure) ที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการห้ามการย้ายตำแหน่งของงานนั้นๆ ไปไว้ยังตำแหน่งเดิม ซึ่งเกิดจากการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงโดยมีลักษณะการห้ามเหมือนกับการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงดังได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 3.3.2.2 ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของจำนวนงาน ต้องห้ามได้

แต่เมื่อมีการสุ่มคำตอบจากกลุ่มคำตอบที่น่าสนใจที่ถูกเก็บไว้ในความทรงจำระยะยาว (เกิดขึ้นเมื่อค่า LC เป็นไปตามเงื่อนไขในข้อ 3.3.2.6) จะทำการตั้งรายการต้องห้ามเป็นเซตว่าง

3.3.2.6.เงื่อนไขการค้นหาท้องถิ่น (Local Search Criteria หรือ Intensification criteria)

เป็นกระบวนการที่จะทำให้การสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงมีความซับซ้อนของวิธีการสร้างกลุ่มคำตอบมีมากขึ้น เนื่องจากจำนวนรอบการค้นหาจะทำให้เกิดการย้ายตำแหน่งของงานหลายตำแหน่งมากขึ้น ทำให้การหาคำตอบที่มีค่าวัตถุประสงค์ที่ดีมีโอกาสสูงขึ้นแต่จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาโดยกระบวนการนี้จะเป็นการกำหนดรอบการค้นหาทำให้การค้นหากลุ่มคำตอบทำซ้ำจนกว่าจะครบจำนวนรอบที่กำหนด (Local Search Count, LC) เมื่อกระบวนการนี้ดำเนินมาถึงจุดหนึ่งจะเกิดการค้นหาวนอยู่กับคำตอบท้องถิ่นที่ดีที่สุดขึ้นทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาได้จึงต้องมีกระบวนการอื่นมาช่วยในการหาคำตอบเพื่อนำวิธีการค้นหาออกจากกลุ่มคำตอบท้องถิ่นนั่นคือกระบวนการจดจำระยะยาว

3.3.2.7.กระบวนการจดจำระยะยาว (Long term Memory)

เป็นกระบวนการคัดเลือกกลุ่มคำตอบซึ่งให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีหรือกลุ่มคำตอบที่น่าจะนำไปสู่ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีทำให้กระบวนการค้นหามีความหลากหลายและกว้างมากขึ้นโดยไม่ต้องใช้เวลามากในการหาคำตอบมาก เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาที่สูงทำให้การค้นหาทุกความน่าจะเป็นเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและทรัพยากรณ์ที่ใช้

ในงานวิจัยนี้ กรรมวิธีคัดเลือกคำตอบที่น่าสนใจมีสองกรณีคือ 1) เมื่อคำตอบที่สร้างขึ้นในกระบวนการค้นหาคำตอบข้างเคียงมีค่าวัตถุประสงค์เท่ากับค่าวัตถุประสงค์ของคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการค้นหากลุ่มคำตอบข้างเคียงแต่มีเวลาในการปฏิบัติงานรวมทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับคำตอบที่ถูกเลือกแล้วจะถูกเก็บไว้ทุกรอบการค้นหา (ความคิดนี้มีพื้นฐานจากการค้นหาแบบทาบูซึ่งเปรียบเสมือนการปีนเขา ดังอธิบายในส่วนบทที่ 2.3.2) เพื่อเก็บกลุ่มคำตอบที่น่าจะให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีไว้ และ 2) กลุ่มคำตอบที่สร้างจากกระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียง กรณีที่ 1 ทั้งหมด เพราะกระบวนการสร้างกลุ่มคำตอบข้างเคียงในเงื่อนไขที่ 1 เป็นเงื่อนไขที่จะทำให้การจัดตารางมีความหลากหลายของวิธีการหาคำตอบ

3.3.2.8. ข้อกำหนดในการหยุดการหมุนวน (Stopping Criteria)

เป็นตัวบ่งชี้ที่สร้างขึ้นเพื่อให้การค้นหาแบบทาบูหยุดลงซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่า Iteration Without Improvement (IWOI) และค่า Lower Bound (LB) ซึ่งหามาจาก algorithm 1 โดยโปรแกรมจะหยุดเมื่อ IWOI มีค่าเท่ากับค่าที่กำหนดก่อนการเริ่มการค้นหาแบบทาบู หรือหยุดเมื่อค่าวัตถุประสงค์ของคำตอบที่หามาได้มีค่าเท่ากับค่า LB

3.3.3 การตั้งค่า IWOI ค่า LC และ Tabu Size

ในการหาค่า IWOI LC และ Tabu Size ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาและเวลาที่ต้องการใช้ในการหาคำตอบด้วยการจับกลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ เวลา เปรียบเทียบกับค่า IWOI LC และ Tabu Size เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งการทดลองและผลการทดลองอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีการทดสอบและเปรียบเทียบกระบวนการหาคำตอบ

เมื่อทำการสร้างวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีเชิงคณิตศาสตร์และวิธีการค้นหาแบบทาบูแล้วจึงได้มีการนำวิธีทั้งสองมาเปรียบเทียบค่าคำตอบของวิธีการในลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของการค้นหาแบบทาบู ต่อจากนั้นเป็นการทดสอบวิธีการค้นหาแบบทาบูในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อสามารถทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานและการเปรียบเทียบวิธีการค้นหาแบบทาบูกับวิธีการหาคำตอบเดิมของโรงงาน

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของฮิวริสติกส์

การทดสอบประสิทธภาพฮิวริสติกส์กับวิธีทางคณิตศาสตร์จะทำโดยการเปรียบเทียบด้วยข้อมูลชุดเดียวกันที่สร้างขึ้นจากลักษณะข้อมูลที่แตกต่างกันในด้านต่างๆ (อธิบายในหัวข้อข้อมูลนำเข้า) และวัดผลด้วยค่าจำนวนงานล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาทำให้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีเชิงคณิตศาสตร์ไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่จำกัดของปัญหาขนาดใหญ่ดังนั้นการทดสอบนี้จึงทำบนปัญหาที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่จำกัดโดยค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อคำตอบและเวลาในการหาคำตอบที่สำคัญคือ ค่า LC, IWOI และ Tabu size ดังนั้นจะทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในหัวข้อที่ 4.2 ต่อไป

4.1.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data) เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน กำหนดส่งงาน และ ค่าเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องจักร โดย Ho, J.C. และ Chang, Y.L.(1991) ได้เสนอวิธีการสร้างข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยค่าของเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานเป็นการแจกแจงเอกรูป (Uniform Distribution, U) ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะกรณีศึกษา ค่ากำหนดส่งงานขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของงาน (q) ซึ่งคล้ายคลึงกับค่าอัตราส่วนความหนาแน่นการจราจร (Traffic Congestion Ratio TCR) และค่าเวลาปฏิบัติงานเฉลี่ย ทั้งหมดของทุกงาน j ที่ใช้เมื่อแปรรูปบนเครื่องจักร ($\bar{p}$) โดยมีค่าความสัมพันธ์เป็น $U(1,2\bar{p}n/q)$ เวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับค่าของขนาดเวลาตั้งเครื่องจักร (r)(Magnitude of Setup Time) และค่าเวลาปฏิบัติงานเฉลี่ย โดยมีความสัมพันธ์เป็น $U(1,2\bar{p}r) + \bar{p}r$ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้กำหนดค่าต่างๆ ให้มีความแตกต่างจากวิธีข้างต้นเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงในการพิจารณาการจัดตารางการผลิตมากขึ้น โดยการ

กำหนดค่ากำหนดส่งงานต่ำที่สุดเป็น $\bar{p}_j$ คือค่าเวลาเฉลี่ยของงาน j ที่ทำการแปรรูปบนเครื่องจักรต่างๆ เพื่อลดจำนวนข้อมูลที่มีกำหนดส่งงานที่ไม่มีงานเสร็จทันกำหนดส่งงาน โดยสรุปเป็นตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลนำเข้า	อักษรย่อ	ค่าที่ใช้
จำนวนงาน	n	5-12
จำนวนเครื่องจักร	m	2-5
ค่าความหนาแน่นของงาน	q	1, 2, 3
ค่าขนาดเวลาตั้งเครื่องจักร	r	0.05, 0.2
ค่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	P_{jl}	$U(20,41)$
ค่ากำหนดส่งงาน	D_j	$U(\bar{p}_j, 2\bar{p}n/q)$
ค่าเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องจักร	S_{ij}	$U(1,2\bar{p}r) + \bar{p}r$

ค่าต่างๆที่ใช้ในการทดสอบส่งผลที่แตกต่างกันไปกล่าวคือ ค่าความหนาแน่นของงานส่งผลต่อกำหนดส่งงานสูงสุด เมื่อค่า q มีค่าสูงขึ้นจะทำให้กำหนดส่งงานสูงสุดลดลงทำให้การสุ่มค่ากำหนดส่งงานที่ได้เป็นกำหนดส่งงานที่มีความหนาแน่นของงานสูงขึ้น ค่าขนาดเวลาตั้งเครื่องจักร (r) ส่งผลโดยตรงต่อเวลาตั้งเครื่องจักรเป็นอัตราส่วนของเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเฉลี่ยทุกงานเมื่อค่า r สูงขึ้นทำให้ค่าของเวลาปรับตั้งเครื่องจักรมีขนาดสูงขึ้น

จากชุดข้อมูลที่จะนำมาทดสอบตามลักษณะที่กล่าว มามีชุดข้อมูลทั้งหมด 138 ชุด ซึ่งในการทดสอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์จะกำหนดเวลาในการหาคำตอบไว้สูงสุดเป็นเวลา 86,400 วินาที หรือ 1 วัน ถ้าเวลาที่ใช้เกินค่าที่กำหนดจะเริ่มแก้ปัญหาต่อไปทันที ค่าพารามิเตอร์สำคัญถูกตั้งให้มีค่าเท่ากันในทุกๆปัญหากล่าวคือ LC = 10, IWOI = 10, Tabu size = 7 ในการทดลองนี้ใช้ เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่อง Notebook Acer Aspire 4520G Ram 2 GB ด้วยการใช้โปรแกรม X-press MP ด้วยวิธีการ Branch and Bound ซึ่งเป็น ฮิวริสติกส์ที่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดที่ใช้อย่างแพร่หลาย ในการหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัญหาและโปรแกรมที่เขียนขึ้นบน VB.net และ Microsoft Access เพื่อสร้างคำตอบของวิธีฮิวริสติกส์

4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เปรียบเทียบกับสมการทางคณิตศาสตร์

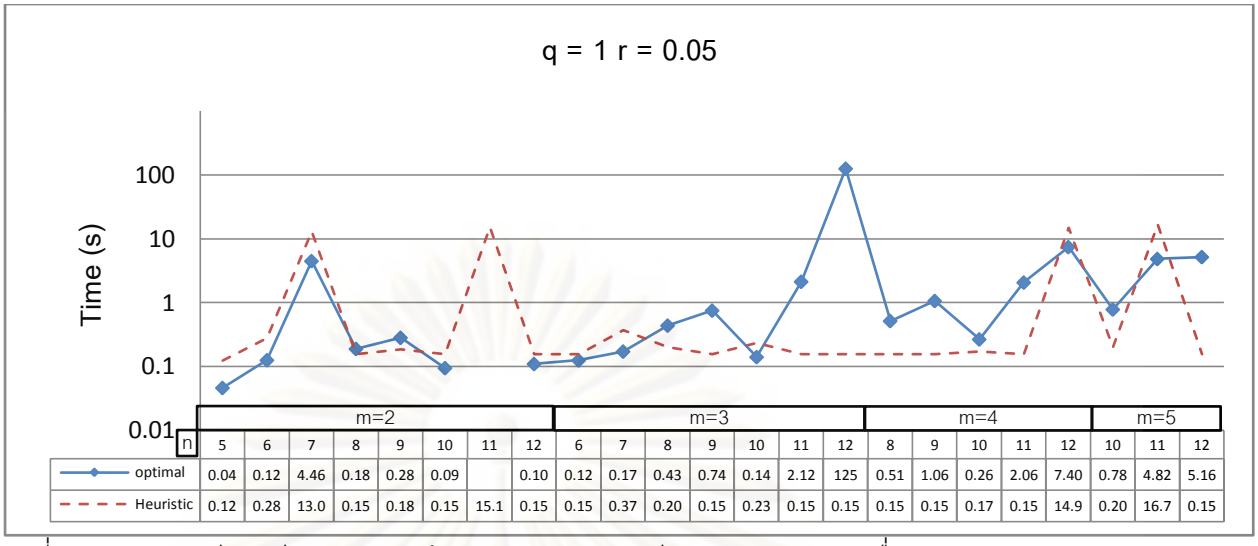
การเปรียบเทียบคำตอบและค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาแบบทาบูกับค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์จะเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ด้วยชุดข้อมูลที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เท่านั้น ซึ่งจากการทดลองสามารถหาคำตอบจากชุดข้อมูลได้ทั้งหมด 108 ข้อมูล ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมดมีชุดข้อมูลที่ให้ค่าวัตถุประสงค์มากกว่าค่าที่ดีที่สุดอยู่ทั้งหมด 8 ชุดคำตอบโดยแต่ละคำตอบให้ค่าวัตถุประสงค์ที่คลาดเคลื่อนจากค่าวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดอยู่ 1 งาน ซึ่งสามารถแยกเป็นชุดข้อมูลที่มีค่า q เป็น 1, 2, 3 และค่า r เป็น 0.05, 0.2 โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ที่ 4.2 ผลเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาแบบทาบูกับค่าที่ดีที่สุด

q	r	จำนวนปัญหา	จำนวนปัญหาที่ไม่พบคำตอบที่ดีที่สุด	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย
1	0.05	22	1	4.55%
	0.2	23	3	13.04%
2	0.05	18	0	0.00%
	0.2	18	3	16.67%
3	0.05	13	1	7.69%
	0.2	14	0	0.00%

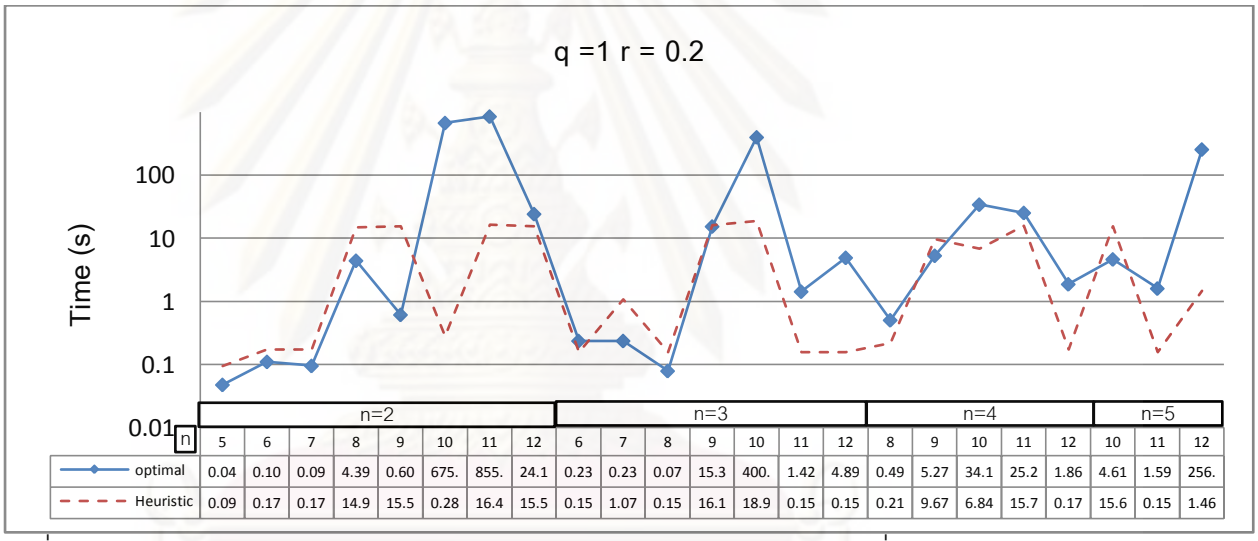
จากข้อมูลทั้งหมด 108 ข้อมูลมีชุดข้อมูล 8 ข้อมูลที่การค้นหาแบบทาบูไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ซึ่งสามารถคิดเป็น 7.41% แต่เมื่อแยกออกตามลักษณะของเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่แตกต่างกันโดยเมื่อ r มีค่า 0.05 จะทำให้ได้คำตอบที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเพียง 3.77% แต่เมื่อค่า r มีค่า 0.2 จะทำให้เกิดคำตอบที่คลาดเคลื่อนไปถึง 10.91% แสดงให้เป็นว่าเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่มากขึ้นส่งผลต่อวิธีการหาคำตอบของการค้นหาแบบทาบูในงานวิจัยนี้

เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีทางคณิตศาสตร์และการค้นหาแบบทาบูมีลักษณะที่แตกต่างกันกล่าวคือเมื่อจำนวนงานและเครื่องจักรมีจำนวนน้อยการค้นหาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วแต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นการค้นหาแบบทาบูสามารถหาคำตอบที่ดีได้ในเวลาที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.6 ซึ่งการแสดงกราฟดังกล่าวจะแสดงเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของทั้งสอง แต่เนื่องจากวิธีทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถหาคำตอบได้ภายใน 1 วันได้ทุกปัญา ในกรณีที่วิธทางคณิตศาสตร์ไม่พบคำตอบที่ดีที่สุดใน 1 วันจะไม่สามารถแสดงคำตอบและเวลาในกราฟได้



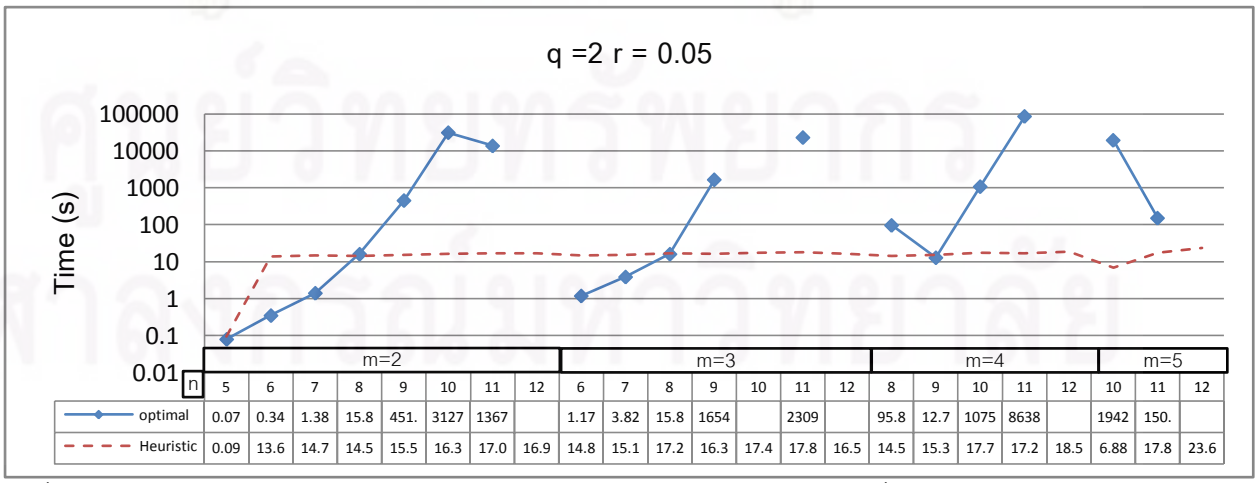
	m=2								m=3								m=4					m=5		
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.04	0.12	4.46	0.18	0.28	0.09		0.10	0.12	0.17	0.43	0.74	0.14	2.12	125	0.51	1.06	0.26	2.06	7.40	0.78	4.82	5.16
Heuristic	0.12	0.28	13.0	0.15	0.18	0.15	15.1	0.15	0.15	0.37	0.20	0.15	0.23	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.15	14.9	0.20	16.7	0.15

รูปที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q = 1 r = 0.05



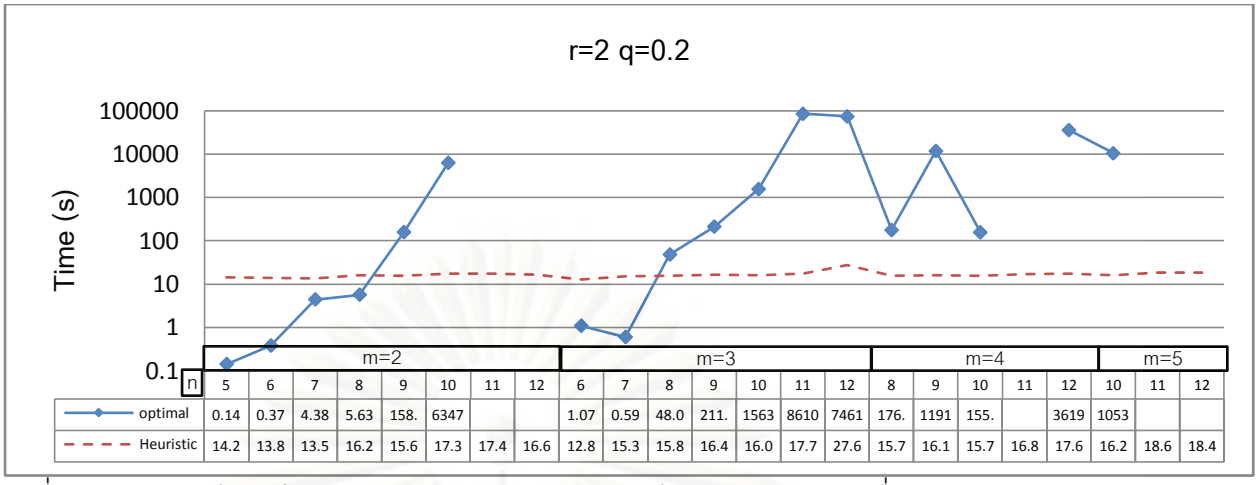
	n=2								n=3								n=4					n=5		
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.04	0.10	0.09	4.39	0.60	675.	855.	24.1	0.23	0.23	0.07	15.3	400.	1.42	4.89	0.49	5.27	34.1	25.2	1.86	4.61	1.59	256.
Heuristic	0.09	0.17	0.17	14.9	15.5	0.28	16.4	15.5	0.15	1.07	0.15	16.1	18.9	0.15	0.15	0.21	9.67	6.84	15.7	0.17	15.6	0.15	1.46

รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q =1 r = 0.2



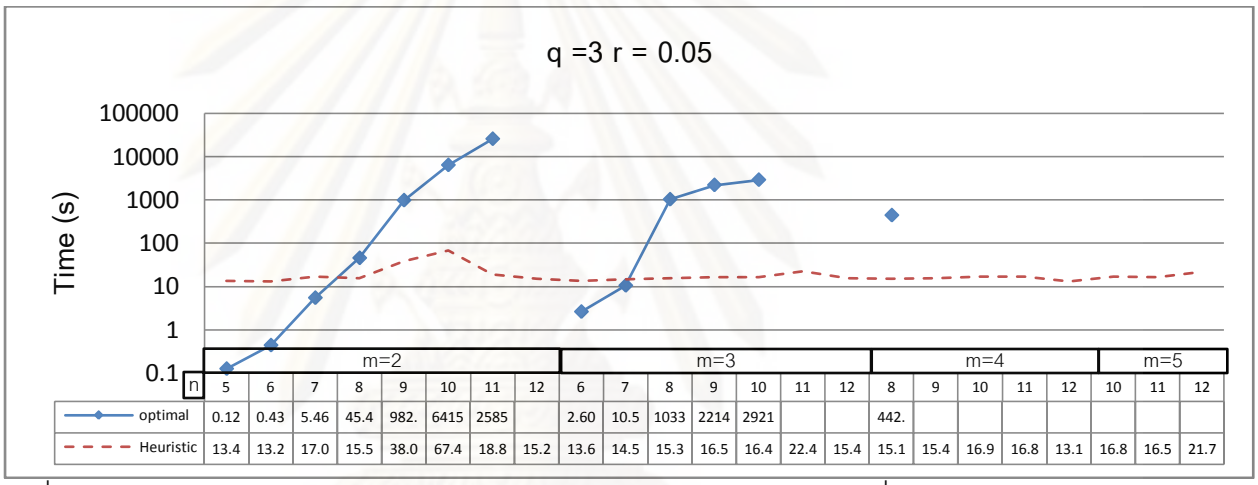
	m=2								m=3								m=4					m=5		
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.07	0.34	1.38	15.8	451.	3127	1367		1.17	3.82	15.8	1654		2309		95.8	12.7	1075	8638		1942	150.	
Heuristic	0.09	13.6	14.7	14.5	15.5	16.3	17.0	16.9	14.8	15.1	17.2	16.3	17.4	17.8	16.5	14.5	15.3	17.7	17.2	18.5	6.88	17.8	23.6

รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q =2 r = 0.05



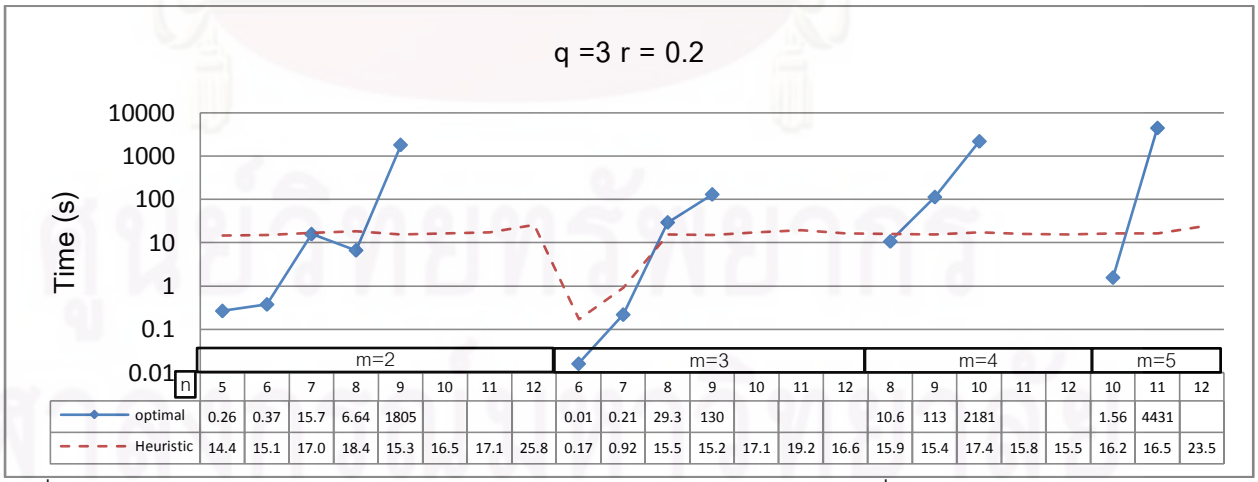
	m=2								m=3							m=4					m=5			
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.14	0.37	4.38	5.63	158.	6347			1.07	0.59	48.0	211.	1563	8610	7461	176.	1191	155.		3619	1053		
Heuristic	14.2	13.8	13.5	16.2	15.6	17.3	17.4	16.6	12.8	15.3	15.8	16.4	16.0	17.7	27.6	15.7	16.1	15.7	16.8	17.6	16.2	18.6	18.4

รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q =2 r = 0.2



	m=2								m=3							m=4					m=5			
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.12	0.43	5.46	45.4	982.	6415	2585		2.60	10.5	1033	2214	2921			442.							
Heuristic	13.4	13.2	17.0	15.5	38.0	67.4	18.8	15.2	13.6	14.5	15.3	16.5	16.4	22.4	15.4	15.1	15.4	16.9	16.8	13.1	16.8	16.5	21.7

รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q =3 r = 0.05



	m=2								m=3							m=4					m=5			
n	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12	10	11	12
optimal	0.26	0.37	15.7	6.64	1805				0.01	0.21	29.3	130				10.6	113	2181			1.56	4431	
Heuristic	14.4	15.1	17.0	18.4	15.3	16.5	17.1	25.8	0.17	0.92	15.5	15.2	17.1	19.2	16.6	15.9	15.4	17.4	15.8	15.5	16.2	16.5	23.5

รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบเวลาการค้นหาแบบทาบูกับวิธีทางคณิตศาสตร์ เมื่อ q =3 r = 0.2

หมายเหตุ ค่าของเวลาในรูปที่ 4.1-4.6 บางค่าไม่สามารถหาได้เนื่องจากเวลาที่กำหนดไว้ในการหาคำตอบเมื่อเกิน 86,400 วินาทีจะทำการหยุดการค้นหาคำตอบทันที

4.2 การทดสอบปัญหาขนาดใหญ่และการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ในการทดสอบความสามารถในการหาคำตอบด้วยฮิวริสติกส์จำเป็นต้องทดสอบด้วยปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่จำกัด เพื่อเพิ่มความสามารถในการหาคำตอบเพื่อนำวิธีการทางฮิวริสติกส์ไปใช้ในชีวิตจริงได้นั้นจำเป็นต้องปรับตั้งค่าตัวแป ร สำคัญในการค้นหาแบบทาบูของงานวิจัยนี้คือ ค่า IWOI Local Search Count (LC) และค่า Tabu Size ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อค่าวัตถุประสงค์ และเวลาในการหาคำตอบ

4.2.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data)

เพื่อนำวิธีการทางฮิวริสติกส์ไปใช้ในสถานการจริงให้มีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่ใช้จึงควรมีความคล้ายคลึงกับข้อมูลจริงและสามารถรองรับสถานการที่อาจเกิดขึ้นด้วยโดยปัญหาของโรงงาน กรณีศึกษามีงานที่พิจารณางานที่ 100 และ 200 งาน เพื่อทดสอบเพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นจึงทำการทดสอบที่งาน 100 และ 200งานบนเครื่องจักร 20 เครื่องที่ความหนาแน่นของงานเป็น 1 และค่าขนาดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเป็น 0.05 ค่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานเป็น $U(20,60)$ ค่ากำหนดส่งงานและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรใช้ข้อมูลลักษณะเดียวกับการทดสอบความถูกต้องของฮิวริสติกส์และทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันเพื่อหาผลที่เกิดขึ้นจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นซึ่งค่าต่างๆที่ใช้สามารถสรุปได้เป็นตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าที่ใช้ในการทดสอบเวลาในการหาคำตอบและคำตอบของฮิวริสติกส์

ข้อมูลนำเข้า	อักษรย่อ	ค่าที่ใช้
จำนวนงาน	n	100,200
จำนวนเครื่องจักร	m	20
ค่าความหนาแน่นของงาน	q	1
ค่าของขนาดเวลาตั้งเครื่องจักร	r	0.05
ค่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	P_{jl}	$U(20,60)$
ค่ากำหนดส่งงาน	D_j	$U(\bar{p}_j, 2\bar{p}n/q)$
ค่าเวลาที่ใช้ในการตั้งเครื่องจักร	S_{ij}	$U(1,2\bar{p}r) + \bar{p}r$
ค่าจำนวนรอบการค้นหาท้องถิ่น	LC	5,10,15,20
ค่าจำนวนรอบการสุ่มใหม่	$IWOI$	5,10,15, 20, 25, 30
ค่าขนาดรายการต้องห้าม	*Tabu size*	3,5,7,9

4.2.2 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาขนาดต่าง ๆด้วยวิธีฮิวริสติกส์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยค่า LC IWOI และ Tabu size นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อให้มีความเหมาะสมกับปัญหาในการหาค่าคำตอบโดยการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างที่ทำบนปัญหาขนาดใหญ่คือ 100 และ 200 งานบนเครื่องจักร 20 เครื่องจักรเพื่อทดสอบหาค่าคำตอบที่ดีในเวลาที่ยอมรับได้ด้วยการทดสอบโดยการปรับค่า LC และค่า IWOI ที่แตกต่างกันก่อนเพื่อสรุปหาค่าที่จะทำให้การค้นหาได้คำตอบที่ดีแล้วจึงทำการทดสอบเพื่อตั้งค่าขนาดของรายการต้องห้ามเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมซึ่งการทดสอบเพื่อปรับค่า LC และค่า IOWI สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่า LC และ IWOI

IWOI	Local Search Criteria	n			
		100		200	
		Time (s)	Obj.	Time (s)	Obj.
5	5	49.0625	9	241.625	31
	10	61.6875	9	502.4844	26
	15	91.42188	7	818.9376	21
	20	155.5313	7	984.5628	8
10	5	58.57813	9	269.75	29
	10	82.67188	7	512.0232	26
	15	102.6719	5	904.1916	19
	20	166.8281	5	1103.575	8
15	5	74.125	7	336.4219	15
	10	166.6094	7	681.3008	14
	15	198.9531	4	953.882	13
	20	277.0625	3	1268.151	2
20	5	84.23438	3	512.0232	13
	10	174.125	3	984.5628	8
	15	278.8438	3	1411.688	8
	20	385.0156	3	1955.125	1
25	5	104.2356	3	818.9376	8
	10	278.4706	3	1613.859	4
	15	346.9702	3	1926.998	2

IWOI	Local Search Criteria	n			
		100		200	
		Time (s)	Obj.	Time (s)	Obj.
	20	574.9702	3	2153.263	1
30	5	202.9701	3	1368.151	8
	10	430.9701	3	1888.375	1
	15	558.97	3	2040.131	1
	20	686.97	3	2266.396	1

จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า IWOI มีค่าน้อยเมื่อทำการเพิ่มค่า LC ให้สูงขึ้นจะทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นในขณะเดียวกัน เมื่อเพิ่มค่า IWOI ให้สูงขึ้นก็จะทำให้ได้คำตอบที่ดีได้ ค่า IWOI และค่า LC ส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการหาคำตอบจากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า IWOI=20 และค่า LC=20 จะทำให้คำตอบที่ได้มีค่าวัตถุประสงค์ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้ค่านี้เพื่อทำการทดสอบขนาดของรายการทาบูที่เหมาะสม ในการนำการค้นหาแบบทาบูนี้ไปใช้กับปัญหาที่มีงานที่พิจารณาตั้งแต่ 200 ขึ้นไปแนะนำให้ใช้ค่า IWOI ที่มากกว่า 20 เพราะเมื่อมีงานที่พิจารณา 200 งาน เริ่มพบค่าวัตถุประสงค์ที่ดีเมื่อ IWOI=20 ดังนั้นจึงต้องตั้งค่า IWOI มากกว่า 20 ในปัญหาที่ใหญ่ขึ้นจึงจะทำให้การค้นหาพบคำตอบที่มีค่าวัตถุประสงค์ที่ดี

การทดสอบขนาดรายการทาบูจะทำการเปรียบเทียบโดยกำหนดขนาดให้เป็น 6, 10, 14 และ 18 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบขนาดรายการทาบู

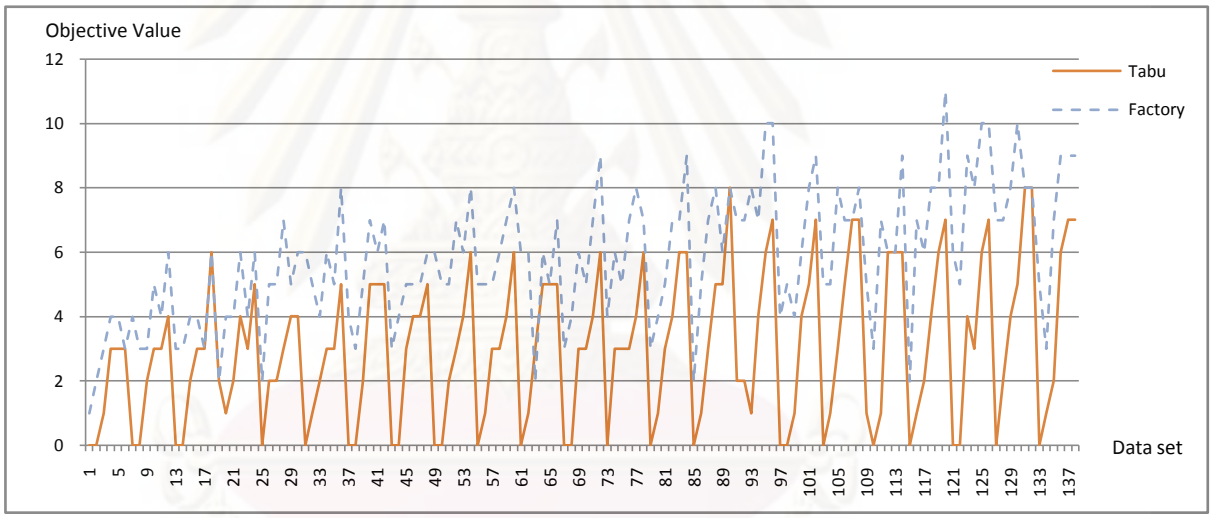
n	100		200	
Tabu Size	Time (s)	Obj.	Time (s)	Obj.
6	399.60938	7	1494.5313	8
10	311.0781	5	1477.9688	7
14	385.0156	3	1955.125	1
18	425.21875	5	1475.9688	3

จากตารางแสดงให้เห็นว่ารายการทาบูที่มีขนาดสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปส่งผลโดยตรงต่อค่าคำตอบกล่าวคือเมื่อคำตอบที่ได้จากการค้นหาในท้องถิ่นถูกห้ามน้อยรอบไปจะทำให้การค้นหาวนกลับมาพิจารณางานเดิมอีกทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ในการพัฒนาคำตอบ ดังนั้นการตั้งค่า

ขนาดรายการทาบูของการค้นหาแบบทาบูนี้จึงควรตั้งให้มีค่าประมาณ 14 ใน 20 (20 คือค่าของ LC) เพื่อให้การพัฒนาคำตอบที่ได้มีความยืดหยุ่นและไม่วกวนอยู่กับการงานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น

4.2.3 ผลการทดสอบค่าวัตถุประสงค์ของวิธีการค้นหาแบบทาบูเทียบกับวิธีโรงงาน

การทดสอบค่าคำตอบเทียบกับวิธีโรงงานนั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากวิธีการคิดของผู้วางแผนการเย็บในโรงงานเย็บผ้าเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาแบบทาบูซึ่งค่าคำตอบที่ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการพัฒนาวิธีการจัดตารางการเย็บของโรงงานโดยได้ทำการทดสอบกับข้อมูลทั้งหมด 138 ชุดซึ่งมีลักษณะข้อมูลที่แตกต่างกัน (รายละเอียดข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค -2) สามารถแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.7 และทำการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันเทียบกับจำนวนงานที่พิจารณาทำให้ทราบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาค่าวัตถุประสงค์เฉลี่ยได้ 30.2%



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของการค้นหาแบบทาบูและวิธีการของโรงงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพปัญหา วิธีการในการแก้ปัญหา ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแก้ปัญหา และยังได้เสนอข้อเสนอแนะอื่นๆไว้ในส่วนสุดท้ายของบทอีกด้วย

5.1 สภาพปัญหา วิธีการแก้ปัญหาและข้อจำกัดของระเบียบวิธี

จากปัญหาความเปลี่ยนแปลงในความต้องการของผู้บริโภคสินค้าเครื่องแต่งกาย ส่งผลให้กระบวนการผลิตที่ต้องพัฒนาให้สามารถรองรับการผลิตที่มีกระบวนการสั้นลงแต่มีรูปแบบในการผลิตหลายแบบทำให้เกิดการจัดรูปแบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานซึ่งในการผลิตมีการพิจารณาถึงเวลาปรับตั้งเครื่องจักรด้วยดังนั้นเพื่อตอบสนองความพอใจของลูกค้าจึงจำเป็นต้องจัดการผลิตให้สามารถผลิตงานให้ทันตามกำหนดเวลาจึงเกิดเป็นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางเป็นจำนวนงานล่าช้าซึ่งกล่าวโดยรวมได้เป็นการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานซึ่งไม่เกี่ยวเนื่องกันโดยพิจารณาเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด $(R \mid S_{jk} \mid \sum U_j)$ แต่เนื่องจากปัญหาลักษณะนี้มีความซับซ้อนมากทำให้วิธีการทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถตอบสนองความเปลี่ยนแปลงได้ทันจึงได้มีการพัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาลักษณะนี้แทน

ฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้เป็นฮิวริสติกส์ที่มีชื่อว่า การค้นหาแบบทาบู ซึ่งเป็นฮิวริสติกส์ที่มีผู้ประยุกต์นำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆปัญหา โดยผลของการออกแบบการค้นหาทำให้ได้วิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดแต่ใช้เวลาน้อยกว่ามากทำให้ตอบสนองแต่การเปลี่ยนแปลงได้ดี

เนื่องจากฮิวริสติกส์เป็นกระบวนการหาคำตอบที่ต้องผ่านกระบวนการคิดและวิธีการที่ซับซ้อนดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมซึ่งสามารถจำลองการวางแผนการเย็บของโรงงานกรณีศึกษาและการค้นหาแบบทาบูจึงจำเป็นต่อการหาคำตอบและการนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต

วิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการจัดตารางเย็บโดยนำงานที่ต้องส่งก่อนมาจัดลงบนสายการผลิตที่ถนัดในงานนั้นที่สุดและมีเวลาในการผลิตเพียงพอ หากเวลาในการผลิตของสายงานนั้นไม่เพียงพอจะทำการจัดงานให้สายการผลิตที่มีความถนัดรองลงไปซึ่งมีเวลาในการผลิตเพียงพอเว้นแต่ถ้าไม่สามารถจัดงานลงในสายงานใดได้เลยจะ จัดงานให้สายการเย็บที่ถนัดที่สุด และจึงพิจารณางานอื่นต่อไปเรื่อยๆจนหมดดังนั้นการจัดตารางการผลิตของโรงงานจึงเป็นวิธีการจัดเรียงงานแบบ EDD และจับลงบนเครื่องจักรแบบ SPT โดยจะต้องไม่ทำให้งานนั้นสาย

วิธีการที่นำเสนอเพื่อปรับปรุงการวิธีการจัดตารางการเย็บเป็นฮิวริสติกส์ที่มีชื่อว่า ค้นหาแบบทาบูโดยประกอบด้วยการค้นหาท้องถิ่น ความทรงจำระยะยาว และ Aspiration Criteria ซึ่งทั้งหมด

เป็นส่วนหนึ่งของการค้นหาแบบทาบูโดยการค้นหาเริ่มต้นด้วยการสร้างคำตอบเบื้องต้นเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการค้นหากลุ่มคำตอบข้างเคียงและกรองค่ากลุ่มคำตอบที่ได้เพื่อใช้ในการวนหาค่าที่ดีที่สุดท้องถิ่นและเก็บกลุ่มคำตอบที่น่าสนใจไว้ในความทรงจำระยะยาวต่อจากนั้นจะเป็นการวนหาค่าคำตอบเพื่อให้ครบข้อกำหนดในการหาคำตอบท้องถิ่นที่ดีที่สุด เมื่อครบตามข้อกำหนดจะเริ่มการค้นหาใหม่โดยการสุ่มเลือกคำตอบจากความทรงจำระยะยาวซึ่งได้คัดกรองกลุ่มคำตอบที่น่าสนใจที่น่าจะสามารถสร้างคำตอบที่ดีได้

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่าวิธีการจัดตารางที่นำเสนอให้ผลใกล้เคียงกับวิธีที่ดีที่สุดโดยเทียบจำนวนข้อมูลที่ใช้ทดสอบกับจำนวนข้อมูลที่ให้ค่าวัตถุประสงค์มากกว่าวิธีการทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบว่าจากข้อมูล 108 ชุดมีชุดข้อมูลที่ให้ค่าวัตถุประสงค์ไม่เท่ากับค่าที่ดีที่สุดอยู่ 8 ข้อมูลซึ่งคิดเป็น ค่าความแตกต่างเฉลี่ย 7.41 %

ค่าคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพของปัญหาในที่นี้คือค่าความหนาแน่นของงาน(q) และ ขนาดของเวลาปรับตั้งเครื่องจักร (r) กล่าวคือเมื่อ r มีค่า 0.05 จะทำให้ได้คำตอบที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเพียง 3.77% แต่เมื่อค่า r มีค่า 0.2 จะทำให้เกิดคำตอบที่คลาดเคลื่อนไปถึง 10.91% แสดงให้เป็นว่าเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่มากขึ้นส่งผลต่อวิธีการหาคำตอบของการค้นหาแบบทาบูนี้

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบจากชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบในสภาพปัญหาต่างๆด้วยวิธีการหาคำตอบของโรงงานและวิธีที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่าการค้นหาแบบทาบูสามารถจัดตารางการเย็บให้มีค่าวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น 30.2%

โปรแกรมช่วยวางแผนการเย็บที่พัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมที่สามารถป้อนข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในการวางแผนการจัดตารางด้วยวิธีโรงงานและวิธีการที่พัฒนาขึ้นและสามารถแสดงเป็นภาพทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายแต่ด้วยข้อจำกัดด้านตัวแปรและความสามารถในการเขียนโปรแกรมของผู้พัฒนาทำให้โปรแกรมสามารถรองรับงานได้ 200 งาน 20 เครื่องจักร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการทางฮิวริสติกส์ไม่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดของปัญหาที่ซับซ้อนและขนาดใหญ่ได้ในเวลาจำกัด กระบวนการคิดที่มุ่งตรงสู่คำตอบมากขึ้นต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง
2. การพิจารณาปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อตอบปัญหาในชีวิตจริง การพัฒนาวิธีการหาคำตอบเพื่อรองกับการแทรกงานและการแบ่งงานถือเป็นหัวข้อที่ยังไม่มีผู้วิจัยทำการพัฒนาฮิวริสติกส์ในส่วนนี้
3. การพัฒนาโปรแกรมช่วยในการวางแผนการผลิตที่สามารถเก็บข้อมูลในลักษณะที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจัดตารางถือเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การจัดตารางที่ได้เป็นการจัดตารางที่ถูกต้อง

เนื่องจากข้อมูลนำเข้ามีผลอย่างมากต่อผลของการจัดตาราง การที่ข้อมูลนำเข้าผิดทำให้การจัดตารางไม่สามารถเป็นไปได้จริงหรือเกิดข้อผิดพลาดไม่เป็นไปตามแผนการผลิตส่งผลต่อโรงงานได้ ดังนั้นโปรแกรมซึ่งสามารถเก็บข้อมูลที่ถูกต้องด้วยวิธีการที่ถูกต้องและสามารถหาวิธีการจัดตารางได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

4. การใช้งานโปรแกรมนี้เมื่อรู้ว่างานใดที่สายแน่นอนแล้วให้ทำการแบ่งงานนั้นก่อนเพื่อให้โปรแกรมสามารถจัดงานลงได้
5. เมื่อมีการแบ่งงานที่ผู้วางแผนตัดสินใจว่าควรจะทำสามารถใช้งานโปรแกรมได้โดยจัดงานที่ถูกแบ่งให้สายการผลิตอื่นเป็นงานอีก 1 งานและลดขนาดเวลาปฏิบัติงานของงานที่ถูกแบ่งลง
6. เมื่องานแทรกให้จัดเป็นงานอีกงานที่เพิ่มเข้ามาในระบบดังนั้นจึงสามารถเพิ่มงานแทรกเข้าไปในการจัดตารางได้เลย
7. การใช้งานโปรแกรมเมื่อวางแผนการผลิตทุกวัน มีการทำงานที่ต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อมีงานที่เสร็จสิ้นไปให้นำงานที่เสร็จออกจากการพิจารณา หรือเสร็จเพียงบางส่วนทำได้โดยการลดขนาดเวลาปฏิบัติงานของงานที่เสร็จบางส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ปารเมศ ชุติมา. การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2551.

สุรศักดิ์ คิวประสพศักดิ์ และ นันทนี แขวงโสภา . Visual Basic.NET ฉบับสมบูรณ์ . กรุงเทพมหานคร : โปรวิชั่น, 2546.

สุรัสวดี วงศ์จันทร์สุข และ สัจจะ จรัสรุ่งรวีจร . คู่มือการใช้งาน Access 2003 ฉบับสมบูรณ์ . นนทบุรี: อีพีอินโฟดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์, 2549.

ภาษาอังกฤษ

Alex J. Ruiz-Torres; Francisco J. Lopez; Johnny C. Ho. Scheduling uniform parallel machines subject to a secondary resource to minimize the number of tardy jobs. European Journal of Operational Research 179(2007): 302-315

Alper S-en. The US fashion industry: A supply chain review. Int. J. Production Economics 114(2008): 571–593

Baker, K. R. Introduction to Sequencing and Scheduling. New York : John Wiley & Sons, 1974

Bilge, U.; Kirac, F.; Kurtulan, M.; Pekgun, P. A tabu search algorithm for parallel machine total tardiness problem. Computers & Operations Research 31(2004): 397–414

Brucker, P.; Lenstra, JK.; Rinnooy, K. A. Complexity of machine scheduling problems. Annals of Discrete Mathematics 1(1977): 343-62

Carlos, A.; Coello, C.; Gary, B. L.; and David A. Van Veldhuizen. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. New York : Springer. 2007.

Garey, M.R.; Johnson, D.S. Complexity results for multiprocessor scheduling under resource constraints. SIAM Journal of Computing 4(1975): 397-411

Geyik, F.; and Cedimoglu,I.H. A Review of the Production Scheduling Approaches Based-on Artificial Intelligence and the Integration of Process Planning and Scheduling.

"Proceedings on Seiss Conference of CAD/CAM'99. Neuchatel University, Switzerland (1999), 167-174.

Glover F. Tabu Search, Part I. ORSA Journal on Computing 1 (1989): 190-206

Glover F. Tabu Search, Part II. ORSA Journal on Computing 2 (1990) 4-32

Graham, R. L.; Lawler, E. L.; Lenstra, J. K.; and Rinnooy, A.H.G. Kan. Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: A survey. *Ann. Discrete Mathematics* 5(1979): 287–326

Gursel, A. Suer; Francisco, Pico.; and Aidsa, Santiago. Identical Machine Scheduling to Minimize The Number of Tardy Jobs when Job-Splitting is allowed. Computers industrial Engineering 33(1997): 277-280

He, C.; Lin, Y.; and Yuan, J. A note on the single machine scheduling to minimize the number of tardy jobs with deadlines. European Journal of Operational Research (2009), doi: 10.1016/j.ejor 2009.05.013

Ho, J.C.; and Chang, Y.L. Heuristics for minimizing mean tardiness form parallel machines. Naval Research Logistics 38(1991): 367-381

Johnny, C. Ho.; Yih-Long, Chang. Minimizing the number of tardy jobs for m parallel machines. European Journal of Operational Research 84(1995): 343-355

Kai, Li.; Shan-lin, Yang.; Non-identical parallel-machine scheduling research with minimizing total weighted completion times: Models Relaxations and Algorithms. Applied Mathematical Modelling (2008) : ARTICLE IN PRESS xxx–xxx

Lee S. M.; Asllani A. A. Job Scheduling with Dual Criteria and Sequence-Dependent Setup: Mathematical versus Genetic Programming. The International Journal of Management Science: OMEGA 32(2004): 145-153

Logendran, R.; McDonell, B.; Smucker B. Scheduling unrelated parallel machines with sequence-dependent setups. Computers & Operations Research 34(2007): 3420-3438

Michael, L. Pinedo. Scheduling Theory Algorithms and Systems,Third Edition. New York : Springer, 2008.

Michael, X. Weng; John, Lu; Haiying, Ren. Unrelated parallel machines scheduling with setup consideration and a total weighted completion time objective. International Journal of Production Economics 70(2001): 215-226

Piersma, N.; Van, Dijk W. A Local Search Heuristic for Unrelated Parallel Machine Scheduling with Efficient Neighborhood Search. Mathmatical and Computer Modelling Vol. 24 No. 9(1996): 11-19

Parker R. Deterministic Scheduling Theory. London (UK) : Chapman and Hall, 1995

Prabhu, Vas; Baker, Malcolm. Industrial engineering: Techniques for improving operations. New York : McGraw-Hill, 1986

Valls, V.; Perez, M. A.; Quintanilla, M. S. A tabu search approach to machine scheduling. European Journal of Operational Research 106(1998): 277 -300

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

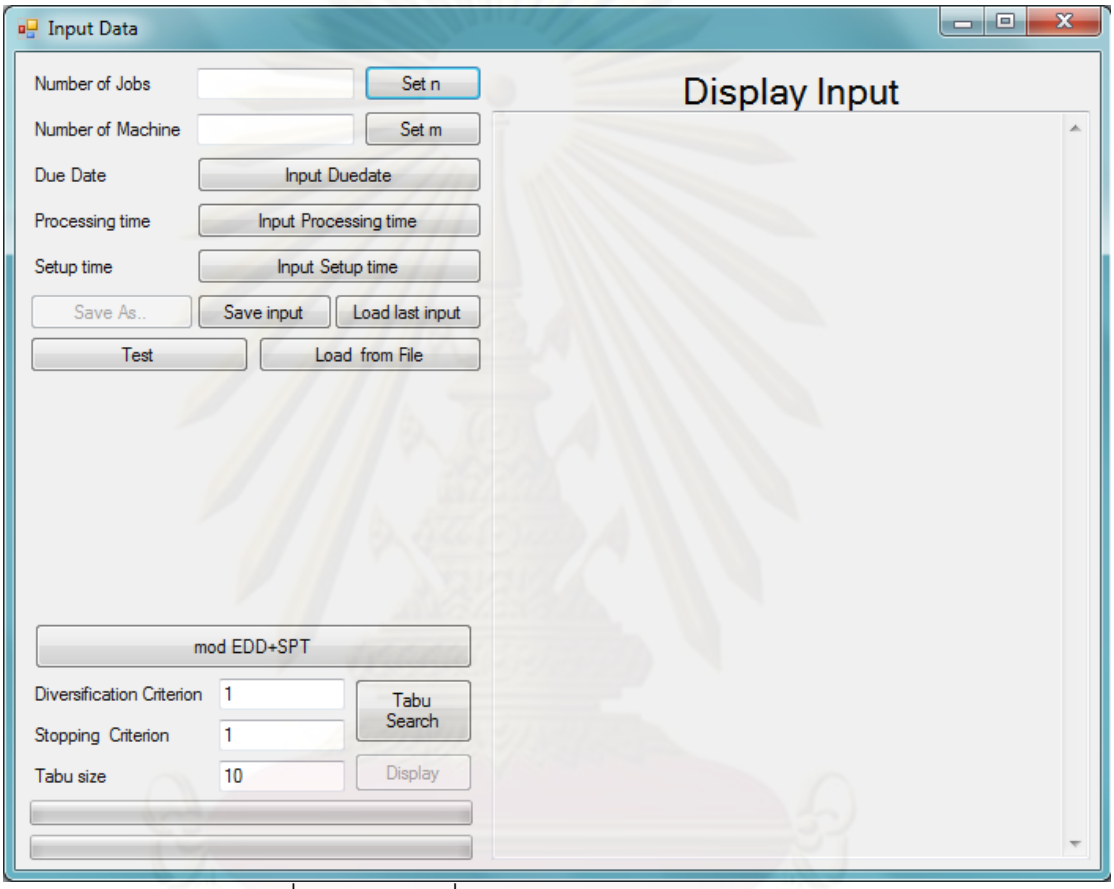
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานโปรแกรมจัดตารางการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมวางแผนการผลิตนี้มีวิธีการใช้งานที่ง่ายต่อความเข้าใจ สามารถจัดเก็บข้อมูลนำเข้า และทำการจัดตารางการเย็บด้วยวิธีของโรงงานกรณีศึกษา และด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบู ซึ่งโปรแกรมวางแผนการเย็บประกอบไปด้วยปุ่มและกล่องกรอกข้อมูลต่างๆดังจะได้อธิบายดังต่อไปนี้ โปรแกรมวางแผนการผลิตนี้มีหน้าจอหลักเป็นหน้าจอกรอกข้อมูลนำเข้าดังรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมวางแผนการผลิต

การป้อนข้อมูลต่างๆเข้าสู่โปรแกรมเพื่อใช้ในการจัดตารางการผลิตประกอบด้วย จำนวนงาน จำนวนเครื่องจักร กำหนดส่งงาน เวลาที่ใช้ในการผลิต และเวลาปรับตั้งเครื่องจักรโดยในแต่ละข้อมูลนำเข้ามีลักษณะเฉพาะดังนี้

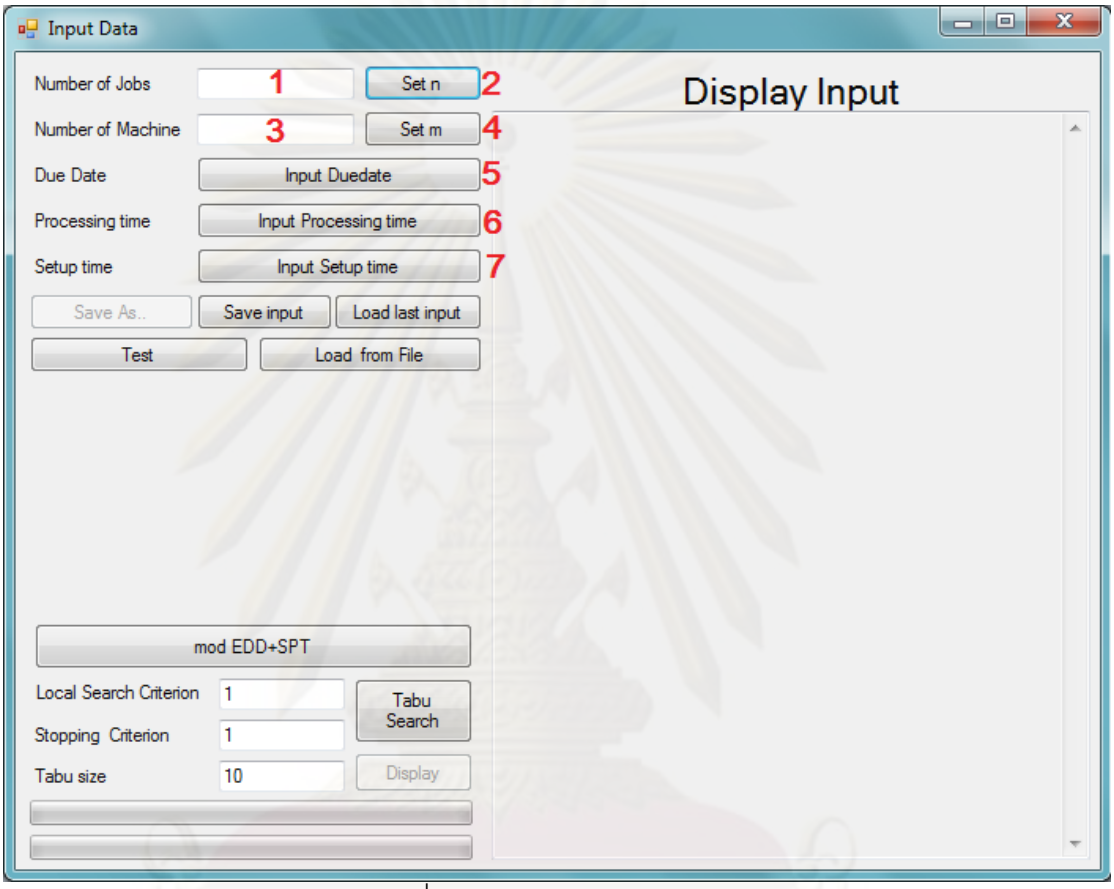
จำนวนงาน n คือจำนวนงานที่พิจารณา โปรแกรมสามารถตั้งจำนวนงานได้สูงสุด 200 งาน

<u>วิธีการตั้งค่า n</u> สามารถทำได้โดยการใส่ตัวเลขจำนวนเต็มบวกลงในช่องหมายเลข 1 และทำการตั้งค่าโดยกดปุ่มหมายเลข 2 ดังแสดงในรูปที่ ก-2

จำนวนเครื่องจักร m คือจำนวนเครื่องจักรที่พิจารณาโดยโปรแกรมสามารถตั้งได้สูงสุด 20 เครื่อง

วิธีการตั้งค่า m สามารถทำได้โดยใส่เลขจำนวนเต็มบวกลงในช่องหมายเลข 3 และทำการตั้งค่าโดยกดปุ่มหมายเลข 4 ดังแสดงในรูปที่ ก-2

วิธีการตั้งค่า กำหนดส่งงาน ค่าเวลาในการผลิต และเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 5 6 และ 7 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 การใส่ข้อมูลนำเข้า 1

กำหนดส่งงาน (Due Date) คือ หน่วยเวลาที่งานนั้นๆควรจะเสร็จ

วิธีการตั้งค่ากำหนดส่งงาน (Due Date) สามารถทำได้โดยใส่ค่าเลขจำนวนเต็มบวกของงานลงในช่องหมายเลข 9 (งานที่ j) แล้วจึงใส่ค่ากำหนดส่งงานลงในช่องหมายเลข 11 (input value) แล้วจึงกดปุ่มหมายเลข 12 (Set value) เพื่อตั้งค่ากำหนดส่งของงานแต่ละงานดังรูปที่ ก-3

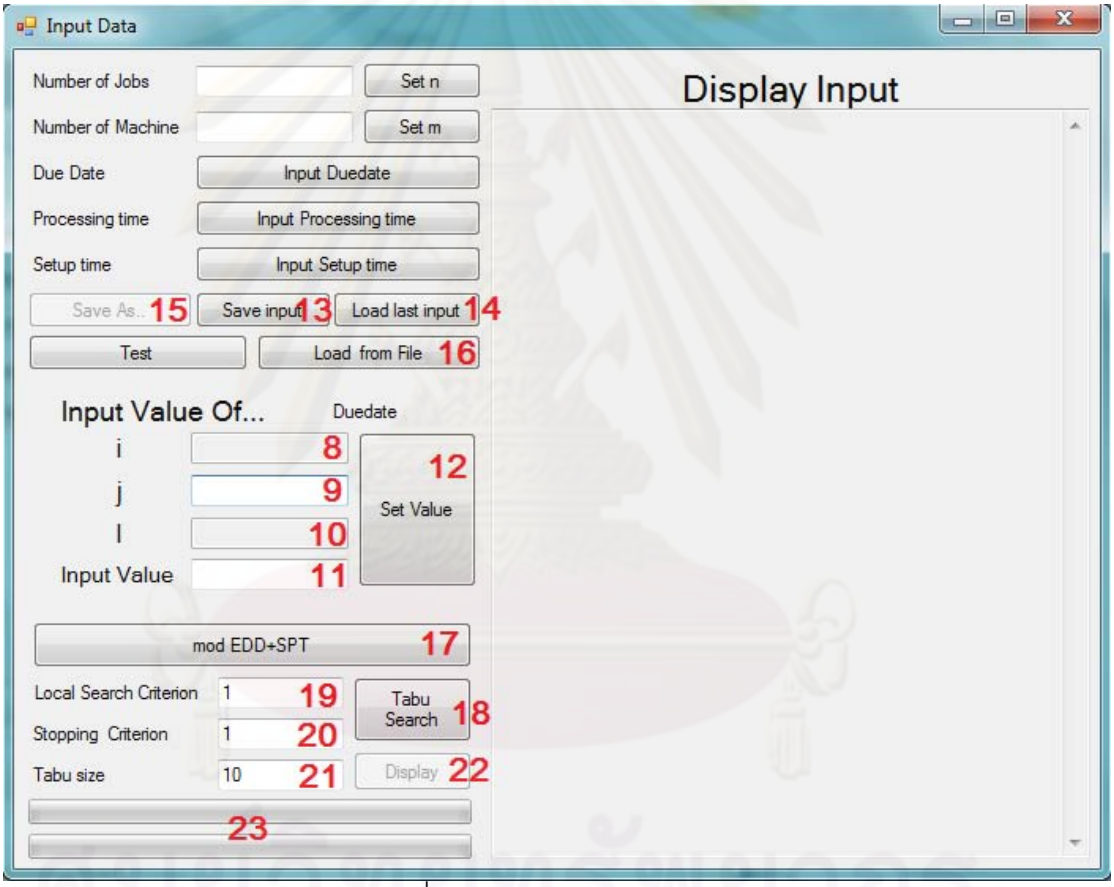
เวลาการผลิต (Processing time) คือ เวลาที่ต้องใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่งานนั้นๆต้องใช้

วิธีการตั้งค่าเวลาการผลิต (Processing time) สามารถทำได้โดยใส่ค่าเลขจำนวนเต็มบวกของงานลงในช่องหมายเลข 9 (งานที่ j) ใส่ค่าเลขจำนวนเต็มบวกของงานลงในช่องหมายเลข 10 (เครื่องจักรที่ I) แล้วจึงใส่ค่ากำหนดส่งงานลงในช่องหมายเลข 11 (input value) แล้วจึงกดปุ่มหมายเลข 12 (Set value) เพื่อตั้งค่ากำหนดส่งของงานแต่ละงานดังรูปที่ ก-3

เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time) คือ เวลาที่ต้องใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนงานในเครื่องจักรนั้นๆจากงานหนึ่ง (งานที่ i) ไปเป็นงานที่พิจารณา (งานที่ j)

วิธีการตั้งค่าเวลาปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time) สามารถทำได้โดยใส่ค่าเลขจำนวนเต็มบวกของงานลงในช่องหมายเลข 8 (งานที่ i) ใส่ค่าเลขจำนวนเต็มบวกของงานลงในช่องหมายเลข 9 (งานที่ j) แล้วจึงใส่ค่ากำหนดส่งงานลงในช่องหมายเลข 11 (input value) แล้วจึงกดปุ่มหมายเลข 12 (Set value) เพื่อตั้งค่ากำหนดส่งของงานแต่ละงานดังรูปที่ ก-3

***** การตั้งค่าเวลาในการ ผลิตของเครื่องจักรที่ไม่สามารถผลิตงานนั้นๆได้ให้ทำการตั้งค่าให้สูงกว่าเวลาในการผลิตทั่วไปมากๆ



รูปที่ ก-3 การใส่ข้อมูลนำเข้า 2

วิธีการจัดเก็บข้อมูล (Save input) สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 13 (Save input) ดังรูปที่ก-3 เพื่อทำการเก็บข้อมูลนำเข้าทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรมและป้องกันการสูญหายหรือการลืมเก็บข้อมูลที่ป้อนเข้า

วิธีการเรียกข้อมูลเก่าจากการใช้งานครั้งก่อน (Load last input) สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 14 (Load last input) ดังรูปที่ก-3 จะสามารถเรียกข้อมูลเก่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรมได้

วิธีการจัดเก็บข้อมูลเป็นไฟล์ (Save as..) สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 13 (Save as..) ดังรูปที่ ก-3 เพื่อทำการเก็บข้อมูลนำเข้าทั้งหมดไว้ในไฟล์ .dat โดยไฟล์ที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยไฟล์ทั้งหมด 4 ไฟล์เพื่อแยกข้อมูลนำเข้าแต่ละชนิดออกจากกัน

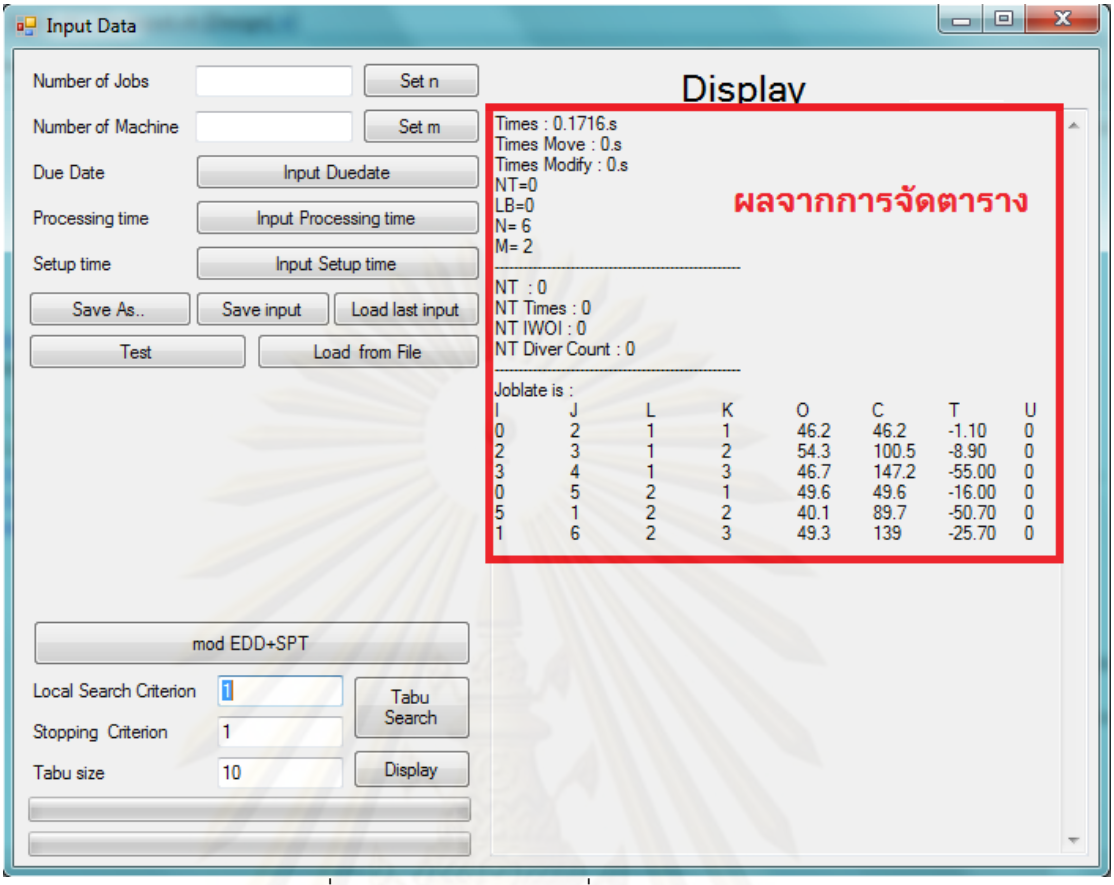
วิธีการเรียกข้อมูลจากไฟล์ (Load from file) สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 14 (Load from file) ดังรูปที่ ก-3 เพื่อทำเรียกข้อมูลนำเข้าจากไฟล์ .dat โดยไฟล์ที่เลือกจะเป็นไฟล์ที่ไม่มี _S _D _P ต่อท้ายชื่อไฟล์นั้นๆ

วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีโรงงานกรณีศึกษา สามารถทำได้โดยการกดปุ่มหมายเลข 17 (mod EDD+SPT) ดังรูปที่ ก-3 เมื่อป้อนข้อมูลนำเข้าหรือโหลดข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้วเพื่อให้โปรแกรมคำนวนวิธีการจัดตารางการผลิตของปัญหานั้นๆด้วยวิธีโรงงานกรณีศึกษา

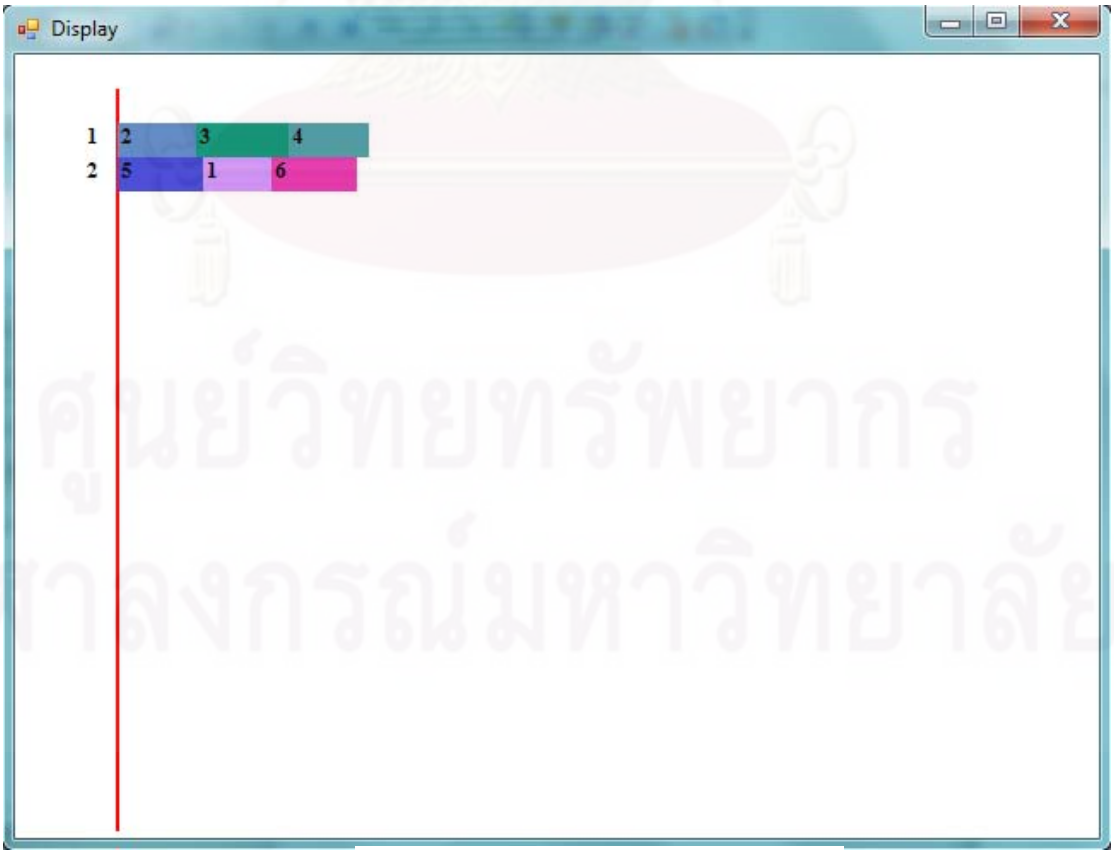
วิธีการหาคำตอบด้วยการค้นหาแบบทาบู สามารถทำได้โดยการใส่ตัวเลขจำนวนเต็มบวกลงในช่องหมายเลข 19 (Local Search Criteria) เพื่อกำหนดจำนวนรอบในการค้นหาท้องถิ่น การใส่ตัวเลขจำนวนเต็มบวกลงในช่องหมายเลข 20 (Stopping Criteria) เพื่อกำหนดจำนวนรอบในการสุ่มจากความทรงจำระยะยาว การใส่ตัวเลขจำนวนเต็มบวกลงในช่องหมายเลข 21 (Tabu size) เพื่อกำหนดขนาดรายการต้องห้ามและทำการเริ่มต้นการค้นหาแบบทาบูโดยกดปุ่มหมายเลข 18 (Tabu Search) ดังรูปที่ ก-3

เมื่อการค้นหาคำตอบจบสิ้นลงค่าคำตอบและค่าวัตถุประสงค์ที่ได้จากการคำนวนจะแสดงบนหน้าจอแสดงผลหลักดังรูปที่ ก-4 และสามารถนำผลที่ได้ไปแสดงเป็นรูปภาพโดยการกดปุ่มหมายเลข 22 ซึ่งจะแสดงหน้าจอการแสดงผลเพื่อง่ายต่อการเข้าใจดังรูปที่ ก-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-4 หน้าจอแสดงผลที่ได้จากการจัดตาราง



รูปที่ ก-5 หน้าจอแสดงผลเป็นรูปภาพ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบวิธีทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนนี้เป็นตัวอย่างข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของฮิวริสติกโดยค่าของตัวแปลต่างๆอยู่หลังจากวงเล็บปิดโดยสัญลักษณ์ที่ใช้อธิไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยค่าในวงเล็บเป็นค่าของตัวแปล i, j, l ดังอธิบายต่อไปนี้

D_j คือ กำหนดส่งงาน ซึ่ง (1) 124.7 หมายถึง งานที่ 1 มีกำหนดส่งงาน 124.7

P_{jl} คือ เวลาที่ใช้ในการผลิต ซึ่ง

(1 ,1) 39.6 หมายถึง งานที่ 1 ใช้เวลาในการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 เป็นเวลา 39.6

(1 ,2) 29.9 หมายถึง งานที่ 1 ใช้เวลาในการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2 เป็นเวลา 29.9

(2 ,1) 29.4 หมายถึง งานที่ 2 ใช้เวลาในการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 เป็นเวลา 29.4

S_{ij} คือ เวลาตั้งเครื่องจักรที่ต้องใช้เมื่อมีการเปลี่ยนงาน ซึ่ง

(0 ,1) 5.6 หมายถึง ในการตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่ 1 เป็นงานแรกใช้เวลา 5.6

(0 ,2) 3.4 หมายถึง ในการตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่ 2 เป็นงานแรกใช้เวลา 3.4

(1 ,2) 2.7 หมายถึง ในการตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่ 2 ทำต่อจากงานที่ 1 ใช้เวลา 2.7

(1 ,1) 999.0 หมายถึง ในการตั้งเครื่องจักรเมื่องานที่ 1 ทำต่อจากงานที่ 1 ใช้เวลา 999 เนื่องจากไม่สามารถเกิดลักษณะงานดังกล่าวได้จึงกำหนดให้เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเป็น 999

จากที่กล่าวมาเป็นความหมายของข้อมูลตัวอย่างที่ใช้และแสดงอยู่ด้านล่างดังต่อไปนี้

ข้อมูลชุดที่ 1

! n = 5 m=2 q = 1 r= 0.05 p =31.92 dataset = 1

D :[(1) 124.7 (2) 83.1 (3) 88.6 (4) 147.8 (5) 112.6]

P :[(1 ,1) 39.6 (1 ,2) 29.9 (2 ,1) 29.4 (2 ,2) 34.7 (3 ,1) 36.4 (3 ,2) 26.7 (4 ,1) 40.3 (4 ,2) 24.1 (5 ,1) 34.9 (5 ,2) 23.3]

S :[(0 ,1) 5.6 (0 ,2) 3.4 (0 ,3) 4.4 (0 , 4) 3.6 (0 ,5) 4.7

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 2.7 (1 ,3) 4.5 (1 , 4) 2.1 (1 ,5) 4.2

(2 ,1) 2.5 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 3.4 (2 , 4) 4.6 (2 ,5) 3.9

(3 ,1) 4.7 (3 ,2) 3.5 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 4.4 (3 ,5) 4.9

(4 ,1) 3.9 (4 ,2) 3.6 (4 ,3) 4.3 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 3.6

(5 ,1) 3.7 (5 ,2) 3.1 (5 ,3) 2.7 (5 , 4) 4.9 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 2

! n = 5 m=2 q = 1 r= 0.2 p =33.98 dataset = 2

D :[(1) 105.0 (2) 152.6 (3) 113.0 (4) 169.7 (5) 56.0]

P :[(1 ,1) 50.9 (1 ,2) 39.1 (2 ,1) 27.3 (2 ,2) 30.2 (3 ,1) 32.2 (3 ,2) 26.0 (4 ,1) 36.3 (4 ,2) 28.2 (5 ,1) 32.1 (5 ,2) 37.5]

S :[(0 ,1) 14.5 (0 ,2) 7.8 (0 ,3) 20.2 (0 , 4) 15.9 (0 ,5) 9.8

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 11.6 (1 ,3) 9.8 (1 , 4) 10.7 (1 ,5) 13.6

(2 ,1) 12.8 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 8.2 (2 , 4) 19.1 (2 ,5) 20.7

(3 ,1) 16.3 (3 ,2) 18.1 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 13.6 (3 ,5) 11.8

(4 ,1) 18.7 (4 ,2) 20.2 (4 ,3) 20.1 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 18.0

(5 ,1) 11.4 (5 ,2) 13.3 (5 ,3) 17.0 (5 , 4) 12.9 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 3

! n = 5 m=2 q = 2 r= 0.05 p =32.82 dataset = 3

D :[(1) 61.4 (2) 36.8 (3) 42.7 (4) 73.6 (5) 33.6]

P :[(1 ,1) 43.6 (1 ,2) 28.6 (2 ,1) 38.8 (2 ,2) 25.5 (3 ,1) 27.6 (3 ,2) 38.7 (4 ,1) 28.7 (4 ,2) 34.6 (5 ,1) 39.8 (5 ,2) 22.3]

S :[(0 ,1) 3.8 (0 ,2) 3.4 (0 ,3) 2.7 (0 , 4) 2.9 (0 ,5) 4.8

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 3.2 (1 ,3) 3.8 (1 , 4) 5.5 (1 ,5) 4.6

(2 ,1) 4.4 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 4.9 (2 , 4) 4.6 (2 ,5) 5.4

(3 ,1) 3.4 (3 ,2) 4.9 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 5.2 (3 ,5) 2.9

(4 ,1) 4.5 (4 ,2) 4.8 (4 ,3) 3.9 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 4.3

(5 ,1) 5.5 (5 ,2) 2.7 (5 ,3) 5.1 (5 , 4) 4.4 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 4

! n = 5 m=2 q = 2 r= 0.2 p =33.69 dataset = 4

D :[(1) 67.1 (2) 71.7 (3) 60.4 (4) 37.6 (5) 65.4]

P :[(1 ,1) 54.9 (1 ,2) 37.1 (2 ,1) 36.7 (2 ,2) 31.4 (3 ,1) 24.7 (3 ,2) 36.3 (4 ,1) 24.5 (4 ,2) 21.6 (5 ,1) 40.5 (5 ,2) 29.2]

S :[(0 ,1) 16.4 (0 ,2) 13.2 (0 ,3) 15.6 (0 , 4) 16.5 (0 ,5) 7.3

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 16.5 (1 ,3) 15.2 (1 , 4) 11.7 (1 ,5) 11.8

(2 ,1) 18.9 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 12.3 (2 , 4) 10.4 (2 ,5) 15.3

(3 ,1) 7.7 (3 ,2) 13.4 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 10.5 (3 ,5) 20.1

(4 ,1) 11.5 (4 ,2) 17.0 (4 ,3) 12.2 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 7.6

(5 ,1) 18.9 (5 ,2) 19.4 (5 ,3) 13.6 (5 , 4) 11.5 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 5

! n = 5 m=2 q = 3 r= 0.05 p =27.92 dataset = 5

D :[(1) 33.4 (2) 29.2 (3) 42.6 (4) 30.6 (5) 30.9]

P :[(1 ,1) 29.6 (1 ,2) 24.9 (2 ,1) 28.3 (2 ,2) 23.2 (3 ,1) 22.4 (3 ,2) 39.4 (4 ,1) 28.5 (4 ,2) 30.2 (5 ,1) 28.1 (5 ,2) 24.6]

S :[(0 ,1) 3.5 (0 ,2) 3.8 (0 ,3) 4.2 (0 , 4) 3.9 (0 ,5) 3.8

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 3.7 (1 ,3) 3.5 (1 , 4) 3.8 (1 ,5) 2.3

(2 ,1) 4.4 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 3.2 (2 , 4) 3.1 (2 ,5) 2.3

(3 ,1) 2.5 (3 ,2) 2.8 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 2.7 (3 ,5) 4.6

(4 ,1) 2.6 (4 ,2) 2.5 (4 ,3) 2.9 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 4.3

(5 ,1) 2.9 (5 ,2) 2.5 (5 ,3) 3.9 (5 , 4) 3.0 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 6

! n = 5 m=2 q = 3 r= 0.2 p =30.52 dataset = 6

D :[(1) 49.5 (2) 46.9 (3) 46.3 (4) 41.0 (5) 50.3]

P :[(1 ,1) 39.3 (1 ,2) 21.9 (2 ,1) 29.0 (2 ,2) 40.0 (3 ,1) 26.7 (3 ,2) 39.9 (4 ,1) 33.7 (4 ,2) 21.6 (5 ,1) 22.8 (5 ,2) 30.2]

S :[(0 ,1) 9.0 (0 ,2) 16.9 (0 ,3) 17.5 (0 , 4) 8.7 (0 ,5) 12.2

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 7.4 (1 ,3) 18.9 (1 , 4) 7.2 (1 ,5) 16.6

(2 ,1) 8.9 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 14.6 (2 , 4) 9.8 (2 ,5) 15.0

(3 ,1) 16.0 (3 ,2) 17.5 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 6.4 (3 ,5) 10.7

(4 ,1) 12.2 (4 ,2) 12.6 (4 ,3) 7.6 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 18.4

(5 ,1) 14.7 (5 ,2) 8.5 (5 ,3) 11.7 (5 , 4) 13.4 (5 ,5) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 7

! n = 6 m=2 q = 1 r= 0.05 p =31.00 dataset = 7

D :[(1) 150.7 (2) 110.1 (3) 91.7 (4) 47.8 (5) 81.5 (6) 65.2]

P :[(1 ,1) 32.3 (1 ,2) 25.6 (2 ,1) 40.7 (2 ,2) 35.8 (3 ,1) 32.7 (3 ,2) 36.2 (4 ,1) 27.7 (4 ,2) 31.8 (5 ,1) 23.8 (5 ,2) 28.8 (6 ,1) 34.4 (6 ,2) 22.2]

S :[(0 ,1) 5.3 (0 ,2) 4.8 (0 ,3) 4.8 (0 , 4) 2.8 (0 ,5) 4.4 (0 ,6) 4.5

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 2.0 (1 ,3) 4.1 (1 , 4) 3.3 (1 ,5) 3.0 (1 ,6) 4.6

(2 ,1) 3.8 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 4.4 (2 , 4) 3.5 (2 ,5) 3.9 (2 ,6) 3.0

(3 ,1) 2.3 (3 ,2) 4.8 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 5.2 (3 ,5) 2.2 (3 ,6) 4.3

(4 ,1) 3.3 (4 ,2) 3.9 (4 ,3) 4.0 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 1.9 (4 ,6) 4.0

(5 ,1) 4.1 (5 ,2) 4.7 (5 ,3) 2.9 (5 , 4) 2.3 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 3.8

(6 ,1) 3.4 (6 ,2) 3.5 (6 ,3) 2.9 (6 , 4) 3.5 (6 ,5) 3.0 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 8

! n = 6 m=2 q = 1 r= 0.2 p =34.59 dataset = 8

D :[(1) 140.4 (2) 47.3 (3) 109.4 (4) 202.2 (5) 65.6 (6) 164.7]

P :[(1 ,1) 50.2 (1 ,2) 27.3 (2 ,1) 33.4 (2 ,2) 32.8 (3 ,1) 40.9 (3 ,2) 26.9 (4 ,1)
31.2 (4 ,2) 22.6 (5 ,1) 39.6 (5 ,2) 40.6 (6 ,1) 34.3 (6 ,2) 35.4]

S :[(0 ,1) 15.7 (0 ,2) 12.8 (0 ,3) 10.1 (0 , 4) 8.1 (0 ,5) 9.0 (0 ,6) 17.6

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 16.1 (1 ,3) 12.1 (1 , 4) 8.6 (1 ,5) 11.8 (1 ,6) 13.9

(2 ,1) 20.7 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 13.4 (2 , 4) 13.6 (2 ,5) 16.6 (2 ,6) 12.7

(3 ,1) 17.1 (3 ,2) 13.1 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 15.5 (3 ,5) 19.1 (3 ,6) 11.2

(4 ,1) 13.8 (4 ,2) 21.0 (4 ,3) 15.0 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 14.0 (4 ,6) 17.3

(5 ,1) 12.8 (5 ,2) 18.8 (5 ,3) 14.6 (5 , 4) 12.2 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 15.6

(6 ,1) 19.0 (6 ,2) 20.2 (6 ,3) 14.9 (6 , 4) 16.4 (6 ,5) 14.6 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 9

! n = 6 m=2 q = 2 r= 0.05 p =28.58 dataset = 9

D :[(1) 57.1 (2) 72.2 (3) 39.9 (4) 32.4 (5) 49.7 (6) 70.3]

P :[(1 ,1) 29.0 (1 ,2) 31.6 (2 ,1) 22.2 (2 ,2) 25.1 (3 ,1) 23.0 (3 ,2) 26.2 (4 ,1)
37.1 (4 ,2) 26.7 (5 ,1) 40.3 (5 ,2) 32.4 (6 ,1) 27.5 (6 ,2) 21.9]

S :[(0 ,1) 3.2 (0 ,2) 1.7 (0 ,3) 3.6 (0 , 4) 3.8 (0 ,5) 2.1 (0 ,6) 2.4

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 2.8 (1 ,3) 3.4 (1 , 4) 1.8 (1 ,5) 3.5 (1 ,6) 4.8

(2 ,1) 2.5 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 4.8 (2 , 4) 3.1 (2 ,5) 3.2 (2 ,6) 4.1

(3 ,1) 3.8 (3 ,2) 4.6 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 2.8 (3 ,5) 4.4 (3 ,6) 3.5

(4 ,1) 2.5 (4 ,2) 2.7 (4 ,3) 3.7 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 2.5 (4 ,6) 3.1

(5 ,1) 3.2 (5 ,2) 2.9 (5 ,3) 2.1 (5 , 4) 3.4 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 4.4

(6 ,1) 2.9 (6 ,2) 2.8 (6 ,3) 3.1 (6 , 4) 2.6 (6 ,5) 3.8 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 10

! n = 6 m=2 q = 2 r= 0.2 p =30.73 dataset = 10

D :[(1) 31.4 (2) 51.1 (3) 78.3 (4) 50.2 (5) 65.8 (6) 75.7]

P :[(1 ,1) 25.2 (1 ,2) 28.7 (2 ,1) 34.8 (2 ,2) 24.8 (3 ,1) 32.0 (3 ,2) 37.3 (4 ,1) 39.4 (4 ,2) 24.2 (5 ,1) 40.5 (5 ,2) 30.4 (6 ,1) 27.7 (6 ,2) 23.7]

S :[(0 ,1) 11.4 (0 ,2) 14.8 (0 ,3) 13.0 (0 , 4) 18.2 (0 ,5) 12.1 (0 ,6) 10.6

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 8.8 (1 ,3) 18.6 (1 , 4) 7.4 (1 ,5) 18.0 (1 ,6) 16.7

(2 ,1) 13.7 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 9.9 (2 , 4) 7.2 (2 ,5) 8.4 (2 ,6) 14.4

(3 ,1) 12.2 (3 ,2) 9.4 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 12.0 (3 ,5) 16.8 (3 ,6) 9.8

(4 ,1) 9.5 (4 ,2) 10.5 (4 ,3) 6.4 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 17.2 (4 ,6) 18.6

(5 ,1) 18.2 (5 ,2) 14.2 (5 ,3) 14.1 (5 , 4) 13.3 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 13.3

(6 ,1) 13.5 (6 ,2) 16.4 (6 ,3) 7.5 (6 , 4) 11.2 (6 ,5) 14.3 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 11

! n = 6 m=2 q = 3 r= 0.05 p =31.52 dataset = 11

D :[(1) 33.0 (2) 55.9 (3) 55.3 (4) 37.3 (5) 35.5 (6) 61.7]

P :[(1 ,1) 26.0 (1 ,2) 34.4 (2 ,1) 23.5 (2 ,2) 37.3 (3 ,1) 22.6 (3 ,2) 33.1 (4 ,1) 40.1 (4 ,2) 21.1 (5 ,1) 32.1 (5 ,2) 32.3 (6 ,1) 35.6 (6 ,2) 40.1]

S :[(0 ,1) 4.1 (0 ,2) 3.0 (0 ,3) 2.7 (0 , 4) 2.8 (0 ,5) 4.8 (0 ,6) 3.1

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 4.6 (1 ,3) 3.4 (1 , 4) 2.8 (1 ,5) 3.3 (1 ,6) 4.3

(2 ,1) 2.6 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 3.7 (2 , 4) 1.9 (2 ,5) 5.0 (2 ,6) 4.5

(3 ,1) 4.1 (3 ,2) 2.8 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 2.5 (3 ,5) 2.7 (3 ,6) 2.2

(4 ,1) 5.0 (4 ,2) 2.2 (4 ,3) 2.6 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 3.1 (4 ,6) 4.4

(5 ,1) 5.5 (5 ,2) 2.8 (5 ,3) 3.8 (5 , 4) 4.1 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 4.4

(6 ,1) 3.5 (6 ,2) 3.3 (6 ,3) 3.6 (6 , 4) 3.7 (6 ,5) 3.2 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 12

! n = 6 m=2 q = 3 r= 0.2 p =32.82 dataset = 12

D :[(1) 55.8 (2) 54.7 (3) 42.5 (4) 30.4 (5) 53.7 (6) 36.2]

P :[(1 ,1) 55.3 (1 ,2) 32.4 (2 ,1) 33.0 (2 ,2) 40.8 (3 ,1) 31.5 (3 ,2) 35.4 (4 ,1) 23.9 (4 ,2) 35.4 (5 ,1) 26.3 (5 ,2) 30.4 (6 ,1) 27.1 (6 ,2) 22.3]

S :[(0 ,1) 11.8 (0 ,2) 9.4 (0 ,3) 12.9 (0 , 4) 10.6 (0 ,5) 16.6 (0 ,6) 8.1

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 15.2 (1 ,3) 18.0 (1 , 4) 17.4 (1 ,5) 10.9 (1 ,6) 7.3

(2 ,1) 15.8 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 12.9 (2 , 4) 9.9 (2 ,5) 11.9 (2 ,6) 10.4

(3 ,1) 11.3 (3 ,2) 11.3 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 11.8 (3 ,5) 7.1 (3 ,6) 15.5

(4 ,1) 13.9 (4 ,2) 7.6 (4 ,3) 17.2 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 18.2 (4 ,6) 11.5

(5 ,1) 9.0 (5 ,2) 17.5 (5 ,3) 9.9 (5 , 4) 17.1 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 16.4

(6 ,1) 19.0 (6 ,2) 15.6 (6 ,3) 14.1 (6 , 4) 14.3 (6 ,5) 13.5 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 13

! n = 6 m=3 q = 1 r= 0.05 p =30.27 dataset = 13

D :[(1) 74.7 (2) 46.3 (3) 35.3 (4) 109.0 (5) 82.5 (6) 97.4]

P :[(1 ,1) 29.1 (1 ,2) 31.4 (1 ,3) 34.0 (2 ,1) 31.3 (2 ,2) 26.8 (2 ,3) 26.5 (3 ,1) 26.8 (3 ,2) 23.1 (3 ,3) 34.4 (4 ,1) 38.9 (4 ,2) 24.9 (4 ,3) 36.6 (5 ,1) 40.9 (5 ,2) 23.0 (5 ,3) 34.6 (6 ,1) 26.5 (6 ,2) 32.0 (6 ,3) 24.1]

S :[(0 ,1) 4.6 (0 ,2) 4.2 (0 ,3) 4.9 (0 , 4) 3.1 (0 ,5) 3.9 (0 ,6) 4.8

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 2.8 (1 ,3) 3.7 (1 , 4) 3.2 (1 ,5) 1.7 (1 ,6) 3.0

(2 ,1) 2.7 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 2.6 (2 , 4) 3.9 (2 ,5) 3.1 (2 ,6) 4.2

(3 ,1) 2.2 (3 ,2) 2.1 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 4.2 (3 ,5) 3.8 (3 ,6) 5.1

(4 ,1) 3.7 (4 ,2) 1.9 (4 ,3) 2.3 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 2.3 (4 ,6) 3.3

(5 ,1) 4.1 (5 ,2) 4.8 (5 ,3) 4.1 (5 , 4) 4.5 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 3.5

(6 ,1) 2.6 (6 ,2) 4.5 (6 ,3) 4.0 (6 , 4) 2.4 (6 ,5) 2.5 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 14

! n = 6 m=3 q = 1 r= 0.2 p =31.86 dataset = 14

D :[(1) 100.2 (2) 85.2 (3) 65.0 (4) 101.9 (5) 71.0 (6) 66.9]

P :[(1 ,1) 35.7 (1 ,2) 23.7 (1 ,3) 40.2 (2 ,1) 27.2 (2 ,2) 36.3 (2 ,3) 30.2 (3 ,1) 27.8 (3 ,2) 37.8 (3 ,3) 26.1 (4 ,1) 39.7 (4 ,2) 30.0 (4 ,3) 27.5 (5 ,1) 35.1 (5 ,2) 28.5 (5 ,3) 40.6 (6 ,1) 35.9 (6 ,2) 23.5 (6 ,3) 27.8]

S :[(0 ,1) 13.8 (0 ,2) 7.2 (0 ,3) 12.2 (0 , 4) 16.0 (0 ,5) 17.8 (0 ,6) 10.4

(1 ,1) 999.0(1 ,2) 8.2 (1 ,3) 15.0 (1 , 4) 14.6 (1 ,5) 7.3 (1 ,6) 10.9

(2 ,1) 12.6 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 11.4 (2 , 4) 8.0 (2 ,5) 7.4 (2 ,6) 13.5

(3 ,1) 10.2 (3 ,2) 11.3 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 9.4 (3 ,5) 18.7 (3 ,6) 15.1

(4 ,1) 15.6 (4 ,2) 12.6 (4 ,3) 18.7 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 9.9 (4 ,6) 14.2

(5 ,1) 19.1 (5 ,2) 13.4 (5 ,3) 12.2 (5 , 4) 11.9 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 15.3

(6 ,1) 8.0 (6 ,2) 13.0 (6 ,3) 12.4 (6 , 4) 17.6 (6 ,5) 17.5 (6 ,6) 999.0]

ข้อมูลชุดที่ 15

! n = 6 m=3 q = 2 r= 0.05 p =31.57 dataset = 15

D :[(1) 46.3 (2) 44.1 (3) 54.9 (4) 40.6 (5) 32.5 (6) 60.5]

P :[(1 ,1) 56.5 (1 ,2) 38.6 (1 ,3) 37.3 (2 ,1) 39.6 (2 ,2) 23.5 (2 ,3) 26.5 (3 ,1) 24.0 (3 ,2) 29.9 (3 ,3) 23.9 (4 ,1) 24.7 (4 ,2) 30.4 (4 ,3) 30.6 (5 ,1) 22.9 (5 ,2) 27.7 (5 ,3) 33.9 (6 ,1) 33.2 (6 ,2) 33.1 (6 ,3) 32.0]

S :[(0 ,1) 3.5 (0 ,2) 3.5 (0 ,3) 2.4 (0 , 4) 2.0 (0 ,5) 1.7 (0 ,6) 4.8
(1 ,1) 999.0(1 ,2) 5.3 (1 ,3) 5.0 (1 , 4) 2.5 (1 ,5) 5.0 (1 ,6) 4.1
(2 ,1) 4.6 (2 ,2) 999.0(2 ,3) 5.3 (2 , 4) 3.0 (2 ,5) 3.9 (2 ,6) 2.9
(3 ,1) 2.3 (3 ,2) 3.7 (3 ,3) 999.0(3 , 4) 4.6 (3 ,5) 5.5 (3 ,6) 5.3
(4 ,1) 4.4 (4 ,2) 3.1 (4 ,3) 4.7 (4 , 4) 999.0(4 ,5) 5.5 (4 ,6) 4.6
(5 ,1) 5.4 (5 ,2) 4.0 (5 ,3) 2.6 (5 , 4) 4.7 (5 ,5) 999.0 (5 ,6) 3.7
(6 ,1) 4.8 (6 ,2) 4.2 (6 ,3) 1.9 (6 , 4) 3.4 (6 ,5) 2.5 (6 ,6) 999.0]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบค่าที่ดีที่สุด,ค่าที่ได้จากการค้นหาแบบทาบูและวิธีการของโรงงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจัดตารางด้วยโปรแกรม Xpress-Mp เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของคำตอบเปรียบเทียบกับการค้นหาแบบทาบู

ตารางที่ ค-1 ผลการเปรียบเทียบการหาคำตอบด้านเวลาและค่าวัตถุประสงค์

n	m	q	r	Math		Tabu Search	
				Time(s)	NT	Time(s)	NT
5	2	1	0.05	0.046	0	0.1248	0
5	2	1	0.2	0.047	0	0.0936	0
5	2	2	0.05	0.078	1	0.0936	1
5	2	2	0.2	0.14	3	14.196	3
5	2	3	0.05	0.125	3	13.4004	3
5	2	3	0.2	0.265	3	14.4612	3
6	2	1	0.05	0.125	0	0.2808	0
6	2	1	0.2	0.109	0	0.1716	0
6	2	2	0.05	0.344	2	13.6812	2
6	2	2	0.2	0.375	3	13.884	3
6	2	3	0.05	0.437	3	13.2756	3
6	2	3	0.2	0.375	4	15.1164	4
6	3	1	0.05	0.124	0	0.156	0
6	3	1	0.2	0.234	0	0.156	0
6	3	2	0.05	1.17	2	14.8668	2
6	3	2	0.2	1.076	3	12.8388	3
6	3	3	0.05	2.606	3	13.6344	3
6	3	3	0.2	0.016	6	0.1716	6
7	2	1	0.05	4.462	2	13.0884	2
7	2	1	0.2	0.094	1	0.1716	1
7	2	2	0.05	1.389	2	14.7732	2
7	2	2	0.2	4.384	4	13.5096	4
7	2	3	0.05	5.46	3	17.0664	3
7	2	3	0.2	15.756	5	17.0352	5
7	3	1	0.05	0.171	0	0.3744	0
7	3	1	0.2	0.234	2	1.0764	2

n	m	q	r	Math		Tabu Search	
				Time(s)	NT	Time(s)	NT
7	3	2	0.05	3.822	2	15.1164	2
7	3	2	0.2	0.592	3	15.3816	3
7	3	3	0.05	10.499	4	14.5548	4
7	3	3	0.2	0.218	4	0.9204	4
8	2	1	0.05	0.188	0	0.156	0
8	2	1	0.2	4.399	1	14.898	1
8	2	2	0.05	15.849	2	14.5704	2
8	2	2	0.2	5.631	3	16.2084	3
8	2	3	0.05	45.474	3	15.5532	3
8	2	3	0.2	6.645	5	18.4392	5
8	3	1	0.05	0.436	0	0.2028	0
8	3	1	0.2	0.078	0	0.156	0
8	3	2	0.05	15.881	2	17.2224	2
8	3	2	0.2	48.017	5	15.8652	5
8	3	3	0.05	1032.73	5	15.3816	5
8	3	3	0.2	29.344	5	15.522	5
8	4	1	0.05	0.514	0	0.156	0
8	4	1	0.2	0.499	0	0.2184	0
8	4	2	0.05	95.847	3	14.508	3
8	4	2	0.2	176.108	4	15.7716	4
8	4	3	0.05	442.887	4	15.1788	4
8	4	3	0.2	10.67	5	15.9744	5
9	2	1	0.05	0.281	0	0.1872	0
9	2	1	0.2	0.608	0	15.5688	0
9	2	2	0.05	451.729	2	15.5532	2
9	2	2	0.2	158.215	3	15.6624	3
9	2	3	0.05	982.216	4	38.0328	4
9	2	3	0.2	1805.27	6	15.366	6

n	m	q	r	Math		Tabu Search	
				Time(s)	NT	Time(s)	NT
9	3	1	0.05	0.749	0	0.156	0
9	3	1	0.2	15.35	1	16.146	1
9	3	2	0.05	1654.05	3	16.3488	3
9	3	2	0.2	211.598	3	16.4424	3
9	3	3	0.05	2213.94	4	16.5204	4
9	3	3	0.2	130.011	6	15.2412	6
9	4	1	0.05	1.061	0	0.156	0
9	4	1	0.2	5.272	1	9.672	1
9	4	2	0.05	12.714	3	15.366	3
9	4	2	0.2	11910.4	5	16.1148	5
9	4	3	0.05	Over 86400		15.3972	5
9	4	3	0.2	112.991	5	15.3972	5
10	2	1	0.05	0.094	0	0.156	0
10	2	1	0.2	675.616	0	0.2808	0
10	2	2	0.05	31278.2	3	16.3644	3
10	2	2	0.2	6346.8	3	17.394	3
10	2	3	0.05	6415.37	4	67.4232	4
10	2	3	0.2	Over 86400		16.5516	6
10	3	1	0.05	0.14	0	0.234	0
10	3	1	0.2	400.147	3	18.9384	3
10	3	2	0.05	Over 86400		17.4096	3
10	3	2	0.2	1562.52	3	16.0368	3
10	3	3	0.05	2920.91	4	16.4424	4
10	3	3	0.2	Over 86400		17.1444	6
10	4	1	0.05	0.265	0	0.1716	0
10	4	1	0.2	34.149	0	6.8484	1
10	4	2	0.05	1075.26	3	17.7684	3
10	4	2	0.2	155.875	4	15.7092	4

n	m	q	r	Math		Tabu Search	
				Time(s)	NT	Time(s)	NT
10	4	3	0.05			16.926	6
10	4	3	0.2	2181.08	6	17.4252	6
10	5	1	0.05	0.78	0	0.2028	0
10	5	1	0.2	4.617	0	15.6624	1
10	5	2	0.05	19424.9	3	6.8796	3
10	5	2	0.2	10530.6	5	16.224	5
10	5	3	0.05	Over 86400		16.8792	5
10	5	3	0.2	1.56	8	16.2084	8
11	2	1	0.05	Over 86400		15.1476	2
11	2	1	0.2	855.395	2	16.4268	2
11	2	2	0.05	13676.1	1	17.0352	1
11	2	2	0.2	Over 86400		17.4096	4
11	2	3	0.05	25856.8	5	18.8604	6
11	2	3	0.2	Over 86400		17.1912	7
11	3	1	0.05	2.122	0	0.156	0
11	3	1	0.2	1.42	0	0.156	0
11	3	2	0.05	23089.9	1	17.8932	1
11	3	2	0.2	86104.1	2	17.7216	4
11	3	3	0.05	Over 86400		22.464	5
11	3	3	0.2	Over 86400		19.2348	7
11	4	1	0.05	2.06	0	0.156	0
11	4	1	0.2	25.24	0	15.7404	1
11	4	2	0.05	86389	3	17.2068	3
11	4	2	0.2	Over 86400		16.848	5
11	4	3	0.05	Over 86400		16.8636	7
11	4	3	0.2	Over 86400		15.834	7
11	5	1	0.05	4.821	0	16.7856	1
11	5	1	0.2	1.591	0	0.156	0

n	m	q	r	Math		Tabu Search	
				Time(s)	NT	Time(s)	NT
11	5	2	0.05	150.725	1	17.7996	1
11	5	2	0.2	Over 86400		18.6732	6
11	5	3	0.05	Over 86400		16.5204	6
11	5	3	0.2	4430.84	6	16.5204	6
12	2	1	0.05	0.109	0	0.156	0
12	2	1	0.2	24.18	1	15.5532	1
12	2	2	0.05	Over 86400		16.926	2
12	2	2	0.2	Over 86400		16.6452	4
12	2	3	0.05	Over 86400		15.2568	6
12	2	3	0.2	Over 86400		25.8492	7
12	3	1	0.05	124.956	0	0.156	0
12	3	1	0.2	4.898	0	0.156	0
12	3	2	0.05	Over 86400		16.5516	4
12	3	2	0.2	74614	3	27.6276	3
12	3	3	0.05	Over 86400		15.4752	6
12	3	3	0.2	Over 86400		16.5984	7
12	4	1	0.05	7.406	0	14.976	0
12	4	1	0.2	1.86	2	0.1716	2
12	4	2	0.05	Over 86400		18.5172	4
12	4	2	0.2	36195.5	4	17.6436	5
12	4	3	0.05	Over 86400		13.1352	8
12	4	3	0.2	Over 86400		15.5532	8
12	5	1	0.05	5.164	0	0.156	0
12	5	1	0.2	256.401	1	1.4664	1
12	5	2	0.05	Over 86400		23.6652	2
12	5	2	0.2	Over 86400		18.486	6
12	5	3	0.05	Over 86400		21.7776	7
12	5	3	0.2	Over 86400		23.5716	7

ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของวิธีการค้นหาแบบทาบูกับวิธีการของโรงงาน

ตารางที่ ค-2 ผลการเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของการค้นหาแบบทาบูกับวิธีโรงงาน

n	m	q	r	data set	Tabu Search	Factory	ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน	% ความต่าง
5	2	1	0.05	1	0	1	1	20.0%
5	2	1	0.2	2	0	2	2	40.0%
5	2	2	0.05	3	1	3	2	40.0%
5	2	2	0.2	4	3	4	1	20.0%
5	2	3	0.05	5	3	4	1	20.0%
5	2	3	0.2	6	3	3	0	0.0%
6	2	1	0.05	7	0	4	4	66.7%
6	2	1	0.2	8	0	3	3	50.0%
6	2	2	0.05	9	2	3	1	16.7%
6	2	2	0.2	10	3	5	2	33.3%
6	2	3	0.05	11	3	4	1	16.7%
6	2	3	0.2	12	4	6	2	33.3%
6	3	1	0.05	13	0	3	3	50.0%
6	3	1	0.2	14	0	3	3	50.0%
6	3	2	0.05	15	2	4	2	33.3%
6	3	2	0.2	16	3	4	1	16.7%
6	3	3	0.05	17	3	3	0	0.0%
6	3	3	0.2	18	6	6	0	0.0%
7	2	1	0.05	19	2	2	0	0.0%
7	2	1	0.2	20	1	4	3	42.9%
7	2	2	0.05	21	2	4	2	28.6%
7	2	2	0.2	22	4	6	2	28.6%
7	2	3	0.05	23	3	4	1	14.3%
7	2	3	0.2	24	5	6	1	14.3%
7	3	1	0.05	25	0	2	2	28.6%
7	3	1	0.2	26	2	5	3	42.9%

n	m	q	r	data set	Tabu Search	Factory	ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน	% ความต่าง
7	3	2	0.05	27	2	5	3	42.9%
7	3	2	0.2	28	3	7	4	57.1%
7	3	3	0.05	29	4	5	1	14.3%
7	3	3	0.2	30	4	6	2	28.6%
8	2	1	0.05	31	0	6	6	75.0%
8	2	1	0.2	32	1	5	4	50.0%
8	2	2	0.05	33	2	4	2	25.0%
8	2	2	0.2	34	3	6	3	37.5%
8	2	3	0.05	35	3	5	2	25.0%
8	2	3	0.2	36	5	8	3	37.5%
8	3	1	0.05	37	0	4	4	50.0%
8	3	1	0.2	38	0	3	3	37.5%
8	3	2	0.05	39	2	5	3	37.5%
8	3	2	0.2	40	5	7	2	25.0%
8	3	3	0.05	41	5	6	1	12.5%
8	3	3	0.2	42	5	7	2	25.0%
8	4	1	0.05	43	0	3	3	37.5%
8	4	1	0.2	44	0	4	4	50.0%
8	4	2	0.05	45	3	5	2	25.0%
8	4	2	0.2	46	4	5	1	12.5%
8	4	3	0.05	47	4	5	1	12.5%
8	4	3	0.2	48	5	6	1	12.5%
9	2	1	0.05	49	0	6	6	66.7%
9	2	1	0.2	50	0	5	5	55.6%
9	2	2	0.05	51	2	5	3	33.3%
9	2	2	0.2	52	3	7	4	44.4%
9	2	3	0.05	53	4	6	2	22.2%
9	2	3	0.2	54	6	8	2	22.2%
9	3	1	0.05	55	0	5	5	55.6%

n	m	q	r	data set	Tabu Search	Factory	ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน	% ความต่าง
9	3	1	0.2	56	1	5	4	44.4%
9	3	2	0.05	57	3	5	2	22.2%
9	3	2	0.2	58	3	6	3	33.3%
9	3	3	0.05	59	4	7	3	33.3%
9	3	3	0.2	60	6	8	2	22.2%
9	4	1	0.05	61	0	6	6	66.7%
9	4	1	0.2	62	1	6	5	55.6%
9	4	2	0.05	63	3	3	0	0.0%
9	4	2	0.2	64	5	6	1	11.1%
9	4	3	0.05	65	5	5	0	0.0%
9	4	3	0.2	66	5	7	2	22.2%
10	2	1	0.05	67	0	3	3	30.0%
10	2	1	0.2	68	0	4	4	40.0%
10	2	2	0.05	69	3	6	3	30.0%
10	2	2	0.2	70	3	5	2	20.0%
10	2	3	0.05	71	4	7	3	30.0%
10	2	3	0.2	72	6	9	3	30.0%
10	3	1	0.05	73	0	4	4	40.0%
10	3	1	0.2	74	3	6	3	30.0%
10	3	2	0.05	75	3	5	2	20.0%
10	3	2	0.2	76	3	7	4	40.0%
10	3	3	0.05	77	4	8	4	40.0%
10	3	3	0.2	78	6	7	1	10.0%
10	4	1	0.05	79	0	3	3	30.0%
10	4	1	0.2	80	1	4	3	30.0%
10	4	2	0.05	81	3	5	2	20.0%
10	4	2	0.2	82	4	7	3	30.0%
10	4	3	0.05	83	6	7	1	10.0%
10	4	3	0.2	84	6	9	3	30.0%

n	m	q	r	data set	Tabu Search	Factory	ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน	% ความต่าง
10	5	1	0.05	85	0	2	2	20.0%
10	5	1	0.2	86	1	5	4	40.0%
10	5	2	0.05	87	3	7	4	40.0%
10	5	2	0.2	88	5	8	3	30.0%
10	5	3	0.05	89	5	6	1	10.0%
10	5	3	0.2	90	8	8	0	0.0%
11	2	1	0.05	91	2	7	5	45.5%
11	2	1	0.2	92	2	7	5	45.5%
11	2	2	0.05	93	1	8	7	63.6%
11	2	2	0.2	94	4	7	3	27.3%
11	2	3	0.05	95	6	10	4	36.4%
11	2	3	0.2	96	7	10	3	27.3%
11	3	1	0.05	97	0	4	4	36.4%
11	3	1	0.2	98	0	5	5	45.5%
11	3	2	0.05	99	1	4	3	27.3%
11	3	2	0.2	100	4	6	2	18.2%
11	3	3	0.05	101	5	8	3	27.3%
11	3	3	0.2	102	7	9	2	18.2%
11	4	1	0.05	103	0	5	5	45.5%
11	4	1	0.2	104	1	5	4	36.4%
11	4	2	0.05	105	3	8	5	45.5%
11	4	2	0.2	106	5	7	2	18.2%
11	4	3	0.05	107	7	7	0	0.0%
11	4	3	0.2	108	7	8	1	9.1%
11	5	1	0.05	109	1	5	4	36.4%
11	5	1	0.2	110	0	3	3	27.3%
11	5	2	0.05	111	1	7	6	54.5%
11	5	2	0.2	112	6	6	0	0.0%
11	5	3	0.05	113	6	6	0	0.0%

n	m	q	r	data set	Tabu Search	Factory	ค่าวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน	% ความต่าง
11	5	3	0.2	114	6	9	3	27.3%
12	2	1	0.05	115	0	2	2	16.7%
12	2	1	0.2	116	1	7	6	50.0%
12	2	2	0.05	117	2	6	4	33.3%
12	2	2	0.2	118	4	8	4	33.3%
12	2	3	0.05	119	6	8	2	16.7%
12	2	3	0.2	120	7	11	4	33.3%
12	3	1	0.05	121	0	6	6	50.0%
12	3	1	0.2	122	0	5	5	41.7%
12	3	2	0.05	123	4	9	5	41.7%
12	3	2	0.2	124	3	8	5	41.7%
12	3	3	0.05	125	6	10	4	33.3%
12	3	3	0.2	126	7	10	3	25.0%
12	4	1	0.05	127	0	7	7	58.3%
12	4	1	0.2	128	2	7	5	41.7%
12	4	2	0.05	129	4	8	4	33.3%
12	4	2	0.2	130	5	10	5	41.7%
12	4	3	0.05	131	8	8	0	0.0%
12	4	3	0.2	132	8	8	0	0.0%
12	5	1	0.05	133	0	5	5	41.7%
12	5	1	0.2	134	1	3	2	16.7%
12	5	2	0.05	135	2	7	5	41.7%
12	5	2	0.2	136	6	9	3	25.0%
12	5	3	0.05	137	7	9	2	16.7%
12	5	3	0.2	138	7	9	2	16.7%
							Ave diff	30.2%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย กฤษฎา หาญสมบัติ เกิดวันที่ 25 เมษายน 2526 ที่จังหวัด อุตรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการบิน จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2549 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นประธานกรรมการบริษัทกลอสซี่กลอสซี่นจำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตและส่งออกเครื่องประดับเงิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย