การวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์

นางสาวอัญชา แดงทองดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE ANALYSIS IN CYLINDER MAKING PROCESS FOR GRAVURE PRINTING WITH SIMULATION TECHNIQUE

Miss Ancha Dangthongdee

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	การวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์
โดย	นางสาวอัญชา แดงทองดี
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. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพล ศิริพงศ์วุฒิกร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัญชา แดงทองดี : การวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์. (PERFORMANCE ANALYSIS IN CYLINDER MAKING PROCESS FOR GRAVURE PRINTING WITH SIMULATION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ , 140 หน้า.

จากสภาพการผลิตปัจจุบันของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์พบว่า กระบวนการผลิตไม่สามารถผลิตงานได้ตามเป้าหมายที่ 38 ลูกต่อวัน เนื่องจากมีงานแก้ไขระหว่างกระบวนการผลิตและเครื่องจักรทำงานได้ไม่เต็มที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและหาแนวทางในการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์

โดยนำหลักการของการศึกษาการทำงาน (Work study) และใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผล สมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง (percent utilization) เวลารอคอยงาน (waiting time) เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิต (flow time) ปริมาณที่ทำได้ในช่วงเวลา (throughput)

ผลที่ได้จากการแบบจำลองสถานการณ์พบว่า ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต เครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบคือเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) โดยมีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงสุดและเวลารอคอยของแม่พิมพ์เพื่อเข้าสู่เครื่องจักรสูงที่สุด สามารถผลิตงานได้เฉลี่ย 34 ลูก/วัน เวลาที่ใช้ทั้งหมดในระบบเฉลี่ย 1,903.27 นาที เวลารอคอยในระบบเฉลี่ย 1,493.47 นาที การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการลดอัตราของเสียที่เครื่องชุบทองแดงจาก 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการจัดตารางเวลาให้เครื่องชุบทองแดงและเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM) สามารถทำงานได้ตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงพบว่า สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้จาก 34 ลูก/วัน เป็น 38 ลูก/วัน นอกจากนี้เวลาที่ใช้ทั้งหมดในระบบและเวลาที่ใช้ในการรอคอยในระบบยังลดลงเหลือ 1,070.67 นาทีและ 667.24 นาที ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต อัญชา แดงทองดี

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

ปีการศึกษา 2552

4970822021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : PERFORMANCE ANALYSIS / SIMULATION / GRAVURE PRINTING

ANCHA DANGTHONGDEE : PERFORMANCE ANALYSIS IN CYLINDER MAKING PROCESS FOR GRAVURE PRINTING WITH SIMULATION TECHNIQUE.THESIS ADVISOR : ASST.PROF WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D. ,140 pp.

The current production situation of cylinder making process for gravure printing show that the process could not meet the target of 38 cylinders per day due to rework and machine idle time problems. The research objective is to analyze system performance and to improve work process in order to increase the production capacity of cylinder making process for gravure printing.

Work study and simulation were selected as the tools for data analysis. The performance measures included percent utilization, waiting time, flow time and throughput.

The results of simulation showed that before improving process, the bottleneck machine was copper plating machine which had the highest percent utilization and waiting time in front of this machine. The average production capacity was 34 cylinders per day and the average total production cycle time was 1,903.27 minutes. The average waiting time in the system was 1,493.47 minutes. The process was improved by reducing loss at copper plating machine from 5 percent to 3.5 percent. Combining with scheduling copper plating machine and center finishing machine (CFM) to run 24 hours. Production capacity was increased from 34 to 38 cylinders per day. Moreover, cycle time and waiting time were reduced to 1,070.67 minutes and 667.24 minutes respectively.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ แนวคิดและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรพล ศิริพงศ์วุฒิกร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณทางโรงงานกรณีศึกษา คุณอภิญญา ต้นชลขันธ์ คุณละมัย ธนูชาญ คุณศิวพร อยู่สุข และคุณสมบูรณ์ ยิ้มฤทธิ์ ที่ให้ความร่วมมือและสละเวลา เอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนทุกคนที่คอยช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านต่างๆแก่ผู้วิจัยจนสามารถทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา..... 1

1.1.1 งานก่อนพิมพ์ (Prepress) 1

1.1.2 งานพิมพ์ (Press) 1

1.1.3 งานหลังพิมพ์ (Afterpress) 1

1.2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์..... 4

1.2.1 การเตรียมผิวแม่พิมพ์ (Surface preparation)..... 4

1.2.2 การสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ (Image creation)..... 5

1.2.3 การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง (Surface hardening)..... 8

1.2.4 การจำแนกประเภทของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต..... 10

1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 10

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 12

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย..... 12

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 13

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 13

1.8 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย..... 14

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 16

2.1.1 การศึกษาการทำงาน (Work study)..... 16
2.1.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)..... 20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 25

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล..... 29
3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... 29
3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า (Input data analysis)..... 42
3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์..... 48
3.2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง..... 48
3.2.2 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Promodel 7.0..... 48
3.3 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง (Verification)และการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)..... 54
3.3.1 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง (Verification)..... 54
3.3.2 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)..... 54
3.4 การหาช่วงเวลา Warm up period..... 55

บทที่ 4 การใช้งานแบบจำลองสถานการณ์และผลการวิเคราะห์ข้อมูล
4.1 การใช้งานแบบจำลองสถานการณ์..... 57
4.1.1 สมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษา..... 57
4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์สภาพการผลิตปัจจุบัน..... 58
4.3 การวิเคราะห์แนวทางในการแก้ปัญหาของกระบวนการผลิต..... 66
4.3.1 การปรับลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดง..... 66
4.3.2 การนำเสนอแนวทางปรับลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด..... 76
4.3.3 การนำเสนอแนวทางปรับลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์..... 82
4.3.4 การจัดสรรเวลาการทำงานของเครื่องจักรให้เต็มกำลังการผลิต..... 85
4.4 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)..... 92

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย..... 99
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 100
รายการอ้างอิง..... 101
ภาคผนวก.
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์..... 102
ภาคผนวก ข.การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ด้วยโปรแกรม Promodel 7.0..... 130
ภาคผนวก ค.การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีการทางสถิติแบบ T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS..... 140
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวแม่พิมพ์.....	4
1.2	เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์.....	7
1.3	เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง.....	8
1.4	ระยะเวลาดำเนินการวิจัย.....	15
2.1	วิธีการระบุคอขวดของระบบ.....	26
3.1	แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์).....	30
3.2	แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์).....	34
3.3	แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร)	37
3.4	แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง)	36
3.5	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์.....	42
3.6	อัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่ละสถานีงาน.....	53
3.7	ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%.....	55
4.1	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรและอัตราที่เครื่องจักรว่างงาน จากการจำลองสถานการณ์ ณ สภาพการผลิตปัจจุบัน ระยะเวลา 1 เดือน.....	60
4.2	ปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ และค่าเฉลี่ยของเวลาต่างของระบบ.....	63
4.3	เวลาเฉลี่ยที่แม่พิมพ์รอคอยเพื่อเข้าเครื่องจักร.....	64
4.4	จำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพจากกระบวนการชุบทองแดงก่อนและหลังการปรับปรุง.....	70
4.5	ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร,อัตราที่เครื่องจักรว่างและเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง.....	73
4.6	ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ ก่อนและหลังจากปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง.....	74

4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆในระบบ ก่อนและหลังการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง..... 74
4.8 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร อัตราที่เครื่องจักรว่างก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง..... 79
4.9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง..... 80
4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง..... 80
4.11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์,กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง..... 84
4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าเวลาเฉลี่ยต่างๆที่ใช้ในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์,กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง..... 84
4.13 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ..... 86
4.14 ผลการเปรียบเทียบปริมาณของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ..... 87
4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆในระบบก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ..... 87

4.16 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ..... 89

4.17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ..... 90

4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆที่ใช้ในระบบก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ..... 90

4.19 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร, อัตราที่เครื่องจักรว่างเมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป..... 94

4.20 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ เมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป..... 95

4.21 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆของระบบ เมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป..... 96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนภูมิกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา.....	3
1.2	ขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ของโรงงานกรณีศึกษา.....	9
3.1	แผนภูมิแสดงกิจกรรมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	50
3.2	การสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม Promodel 7.0……..	53
3.3	ลักษณะการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	53
3.4	หน้าต่างแสดงตำแหน่งที่ผิดพลาดของการเขียนโปรแกรม.....	54
3.5	กราฟแสดงปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในแต่ละกะ (8 ชั่วโมง) ที่มีค่า Moving average (ก) *w* =6 , (ข) *w*= 9 โดยใช้โปรแกรม MINITAB…….	56
4.1	แผนภาพ queueing network ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์.....	59
4.2	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรและอัตราที่เครื่องจักรว่างงาน.....	61
4.3	จำนวนเฉลี่ยของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพในกระบวนการผลิตแต่ละสถานีงาน....	65
4.4	ประเภทของงานเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการชุบทองแดง.....	66
4.5	แผนผังความสัมพันธ์การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	68
4.6	คราบน้ำมันสกปรกบริเวณชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองที่เครื่องชุบทองแดง..	69
4.7	(บน)ชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองที่ทำความสะอาดคราบน้ำมันแล้ว (ล่าง)การยึดแผ่น Anode ให้แน่น.....	70
4.8	การใช้เทคนิค Common Random Numbers ในโปรแกรม Promodel 7.0……	72
4.9	เปรียบเทียบจำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง……	76
4.10	ประเภทของของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด……	76
4.11	(ก) แม่พิมพ์ขนาดของเส้นรอบวงปกติ (ข) แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเบี้ยวไม่กลม…..	77
4.12	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องขัด.....	78

4.13 เปรียบเทียบจำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงร่วมกับแนวทางการลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด..... 81
4.14 บริเวณตามดที่เกิดจากละอองน้ำมัน..... 82
4.15 การล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนเข้าห้องเลเซอร์..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เพราะแต่ละอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันสูง รวมทั้งมีปัจจัยหลายด้านที่ทำให้การดำเนินงานมีต้นทุนที่สูงขึ้น หลายๆโรงงานที่ไม่สามารถปรับตัวตามสถานการณ์และพัฒนาหน่วยงานได้จะเสียเปรียบและเกิดความสูญเสียโดยไม่จำเป็น ดังนั้นหากหน่วยงานมีการวิเคราะห์และมองปัญหาอย่างเป็นระบบก็จะสามารถดำเนินการแก้ไข ปรับปรุงหรือจัดเตรียมมาตรการรองรับได้ทันตามสถานการณ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อองค์กรในอนาคต

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผู้ผลิตฟิล์มหดรัดรูปและบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ประเภทของผลิตภัณฑ์สามารถทำการแบ่งออกได้ 4 ประเภทดังนี้คือ

1.ฟิล์มหดรัดรูปแบบชิ้น (Shrink label: cut form)

2.ฟิล์มหดรัดรูปแบบม้วน (Shrink label: roll form)

3.บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนแบบขึ้นรูปเป็นถุงหรือซอง (Flexible package: bag form)

4.บรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนแบบเข้าม้วน (Flexible package: roll form)

ลักษณะการวางผังโรงงานจะเป็นแบบตามกระบวนการผลิต (Process layout) ซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆได้ดังนี้

1.1.1 งานก่อนพิมพ์ (Pre press) เริ่มตั้งแต่การรับงานจากฝ่ายขาย ทำแบบพิมพ์ลงบนกระดาษ (Inkjet proof) แยกสีและทำไฟล์เฉพาะเพื่อใช้ทำแม่พิมพ์ (Cylinder) และทำแม่พิมพ์ตามแบบ จนกระทั่งถึงกระบวนการทำสิ่งพิมพ์จำลองลงบนวัสดุจริง (Provisional proof)

1.1.2. งานพิมพ์ (Press) เมื่อมีคำสั่งซื้อจากลูกค้า จะเข้าสู่ขั้นตอนการพิมพ์งาน (Mass production) ลงบนวัสดุพิมพ์จริง โดยต้องมีการเตรียมหมึกสำหรับใช้ในการพิมพ์งาน (Color matching) และพิมพ์งานด้วยเครื่องพิมพ์ซึ่งเป็นการพิมพ์ระบบกราเวียร์ (Gravure printing)

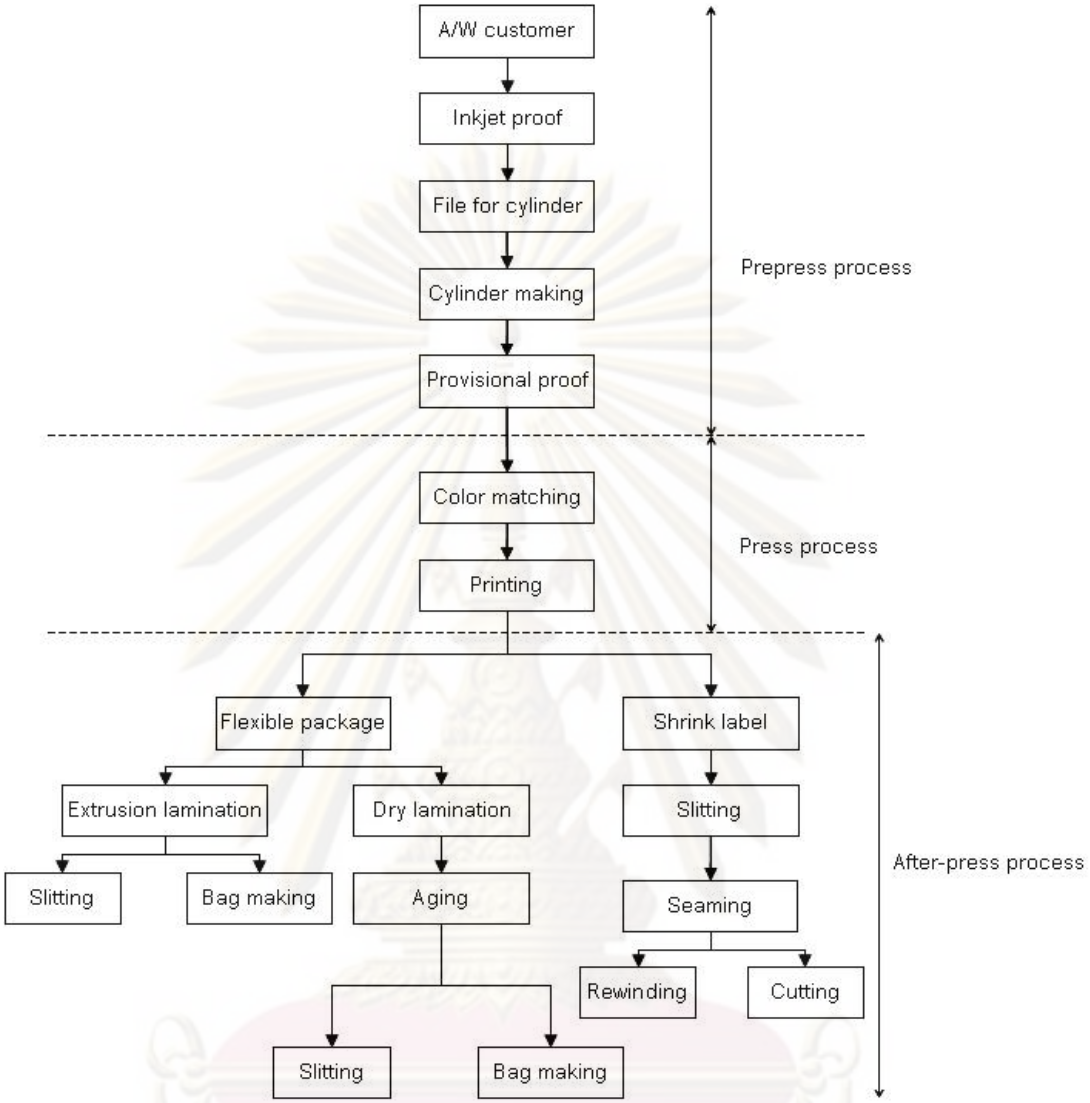
1.1.3. งานหลังพิมพ์ (After press) ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์

1.1.3.1 ม้วนงานพิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นฟิล์มหดรัดรูป (Shrink label) จะเข้าสู่กระบวนการตัด (Slitting) แล้วนำไปเชื่อมต่อให้เป็นรอยตะเข็บ (Seaming) เพื่อทำปลอก (Sleeve) ก่อนที่จะเข้าม้วน (Rewinding) หรือตัดเป็นชิ้น (Cutting) เพื่อส่งให้ลูกค้าต่อไป

1.1.3.2 ม้วนงานพิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน (Flexible package) จะต้องผ่านขั้นตอนการประกบของชั้นฟิล์ม (Lamination) เพื่อให้ได้คุณสมบัติของฟิล์มตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งมีทั้งการประกบชั้นฟิล์มแบบแห้ง (Dry lamination) สำหรับฟิล์มที่ต้องการความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น โดยกาประกบของชั้นฟิล์มประเภทนี้ หลังจากการเคลือบต้องผ่านขั้นตอนการอบ (Aging) เพื่อให้ตัวทำละลาย (Solvent) ในกาวที่ใช้เคลือบระหว่างชั้นฟิล์มระเหยออก ทำให้ชั้นฟิล์มติดแน่นมีความแข็งแรง และการประกบชั้นฟิล์มแบบหลอมเม็ดพลาสติก (Extrusion lamination) ส่วนใหญ่มักใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ผงปรุงรส เป็นต้น โดยกรณีส่งเป็นม้วนก็จะนำไปตัด (Slitting) และเข้าม้วนตามความยาวเมตรที่ลูกค้าระบุ สำหรับงานที่ต้องขึ้นรูปเป็นถุงหรือซองก็จะเข้าสู่แผนกทำถุง (Bag making) ต่อไป

จากกระบวนการที่กล่าวมา สามารถเขียนเป็นแผนภูมิให้เข้าใจได้ง่ายดังรูปที่ 1.1 สำหรับงานก่อนพิมพ์ (Pre press) นั้น ลูกค้าจะต้องการระยะเวลาไม่นานเพื่อต้องการเห็นภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนก่อนที่จะตัดสินใจสั่งผลิตสินค้าจริง ดังนั้นขั้นตอนส่วนของงานก่อนพิมพ์จึงถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก รวมทั้งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนงานพิมพ์และงานหลังพิมพ์ด้วย ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษางานในส่วนของงานก่อนพิมพ์เป็นหลัก สำหรับแผนกที่มีความน่าสนใจในการศึกษาการทำงานได้แก่ แผนกทำแม่พิมพ์ (Cylinder making) เนื่องจากเป็นแผนกที่ถือเป็นหัวใจสำคัญของงานพิมพ์ ซึ่งคุณภาพของแม่พิมพ์ที่ผลิตขึ้นมาจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งยังเป็นแผนกที่มีความซับซ้อนในขั้นตอนการทำงานและเครื่องจักรที่ใช้ผลิตอีกด้วย ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์

แม่พิมพ์ในระบบการพิมพ์กราเวียร์เป็นส่วนหนึ่งของการพิมพ์ระบบพื้นลึก มีหลักการสำหรับการทำแม่พิมพ์คือการทำให้เกิดร่องลึกในบริเวณที่ต้องการให้เกิดเป็นภาพ เพื่อรองรับหมึกและถ่ายทอดไปยังวัสดุที่ใช้พิมพ์ต่อไป สำหรับขั้นตอนของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักได้แก่

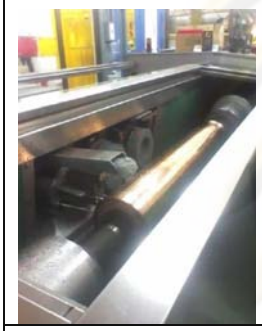
1.2.1 การเตรียมผิวแม่พิมพ์ (Surface Preparation)

เริ่มจากรับลูกเหล็ก (Steel base) มาจากผู้จัดหา (Supplier) นำมาเข้าเครื่องขัดหยาบ (Polishing no.1 machine) เพื่อทำความสะอาดและปรับผิวของลูกเหล็กให้เรียบตามขนาดหรือเรียกว่าการขัดหยาบ (Coarse polishing) จากนั้นนำลูกเหล็กไปชุบผิวด้วยทองแดง (Copper plating) ซึ่งเป็นชั้นที่จะเกิดลวดลายหรือภาพบนแม่พิมพ์ โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเชื่อมให้ชั้นของเหล็กและทองแดงติดกันด้วยเครื่องชุบทองแดง (Copper plating machine) หลังจากที่ชุบผิวของแม่พิมพ์ด้วยทองแดงแล้ว แม่พิมพ์จะต้องถูกขัดผิวให้เรียบอีก 2 ครั้งเรียกว่าการขัดละเอียด (Fine polishing) โดยเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (Center Finishing Machine (CFM)) และเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (Polishing no.2 machine) ตามลำดับ จากนั้นนำไปขัดเพื่อให้เกิดความมันวาว (Buffing) และเรียบบนผิวแม่พิมพ์ด้วยเครื่องขัดมันวาว (Buff machine) แสดงเครื่องจักรสำหรับขั้นตอนการเตรียมผิวแม่พิมพ์ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวแม่พิมพ์

เครื่องจักร	หน้าที่การทำงานของเครื่องจักร
Polishing no.1 machine	ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวลูกเหล็ก เป็นเครื่องขัดด้วยหินขัด มี 1 หัว สำหรับขัดหยาบลูกเหล็กเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ตารางที่ 1.1 เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวแม่พิมพ์ (ต่อ)

เครื่องจักร	หน้าที่การทำงานของเครื่องจักร
Copper plating machine (2 units) 	ชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยทองแดง โดยจะต้องมีนิกเกิลเป็นตัวเชื่อมให้ลูกเหล็กกับทองแดงติดกันได้ดี
Center Finishing Machine (CFM) 	เป็นเครื่องจักรสำหรับใช้ขัดละเอียดของแม่พิมพ์หลังจากผ่านการชุบทองแดงมาแล้ว แต่ใช้หลักการแบบใบมีดตัดและขัด ทำให้มีขนาดของรอบแม่พิมพ์มีความเที่ยงตรงสูง
Buff machine 	เป็นเครื่องขัดผิวแม่พิมพ์ให้เรียบและมันวาว ซึ่งแม่พิมพ์ทุกลูกหลังจากชุบผิวด้วยทองแดงจะต้องผ่านขั้นตอนนี้เสมอ

1.2.2 **การสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์** (Image creation)

หลังจากขั้นตอนการเตรียมผิว ขั้นตอนถัดมาก็คือการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ สำหรับโรงงานกรณีศึกษามีวิธีการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ 2 ประเภทดังนี้

1.2.2.1 การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ (Laser method) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

(ก) การเคลือบผิวแม่พิมพ์ด้วยน้ำยาไวแสง (Coating laser) ด้วยเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง (Coating machine)

(ข) การยิงภาพบนผิวแม่พิมพ์ด้วยแสงเลเซอร์ (Laser shoot) ด้วยเครื่องยิงเลเซอร์ (Laser machine)

(ค) การล้างน้ำยาไวแสงส่วนที่ไม่ใช่ภาพออก (Develop cleaning) ด้วยเครื่องล้างน้ำยาไวแสง (Develop machine)

(ง) การกัดกรด (Etching) เป็นการทำให้ส่วนที่เป็นภาพที่สร้างด้วยแสงเลเซอร์ เกิดเป็นบ่อลึกสำหรับรองรับหมึกที่ใช้ในการพิมพ์งาน การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์มักใช้กับงานที่มีพื้นที่บริเวณสกรีน (screen) จำนวนมาก เช่น พื้นเต็มสีขาว หรืองานที่ต้องการความเข้มของสีมาก และงานที่ใช้พิมพ์ด้านบนของวัสดุ (Surface printing) สำหรับการกัดกรดนี้จะต่อเนื่องด้วยการชุบโครเมียมเสมอ

1.2.2.2 การสร้างภาพโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชร (Engrave method) วิธีนี้เป็นการใช้เข็มเพชรซึ่งมีความแข็งแรงเจาะผิวของชั้นทองแดงที่แม่พิมพ์ในส่วนบริเวณที่ต้องการให้เกิดภาพด้วยเครื่องเจาะเข็มเพชร (Helio K500 machine) สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้การสร้างภาพโดยใช้การเจาะเข็มเพชรนั้นมักจะเป็นภาพ 4 สี

โดยการที่จะเลือกใช้วิธีการสร้างภาพประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมด้านเทคนิคและข้อจำกัดทางการพิมพ์ ซึ่งมีพนักงานของแผนกออกแบบและทำแม่พิมพ์ รวมทั้งแผนกพิมพ์ที่มีประสบการณ์ร่วมกันกำหนดในแต่ละงาน สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างภาพนี้ แสดงดังตารางที่ 1.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์

เครื่องจักร	หน้าที่การทำงานของเครื่องจักร
การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ (Laser Method)	
Coating machine	เคลือบน้ำยาไวแสงบนผิวแม่พิมพ์ที่ต้องการสร้างภาพด้วยแสงเลเซอร์ สามารถเคลือบแม่พิมพ์ได้พร้อมกันทั้งหมด 4 ลูก แต่เนื่องจากมีแม่พิมพ์เข้ามาไม่ต่อเนื่องตลอด โดยปกติเครื่องจะเคลือบครั้งละ 1 ลูกเท่านั้น
Laser machine	การยิงภาพบนผิวแม่พิมพ์ด้วยแสงเลเซอร์ ที่ได้รับข้อมูลไฟล์จากเครื่องคอมพิวเตอร์
Develop machine	การล้างน้ำยาไวแสง ซึ่งบริเวณที่ไม่เกิดภาพจะถูกล้างออกไป เหลือเฉพาะส่วนที่ต้องการให้เกิดภาพบนผิวแม่พิมพ์เท่านั้น แต่ยังไม่เกิดลักษณะเป็นบ่อลึก
การสร้างภาพโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชร (Engrave Method)	
Helio machine (K500)	สำหรับการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ด้วยการเจาะ โดยใช้เข็มเพชร บริเวณที่เป็นภาพจะถูกเจาะให้เกิดร่องลึกเพื่อให้สามารถรองรับหมึกพิมพ์ได้

1.2.3 **การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง** (Surface Hardening)

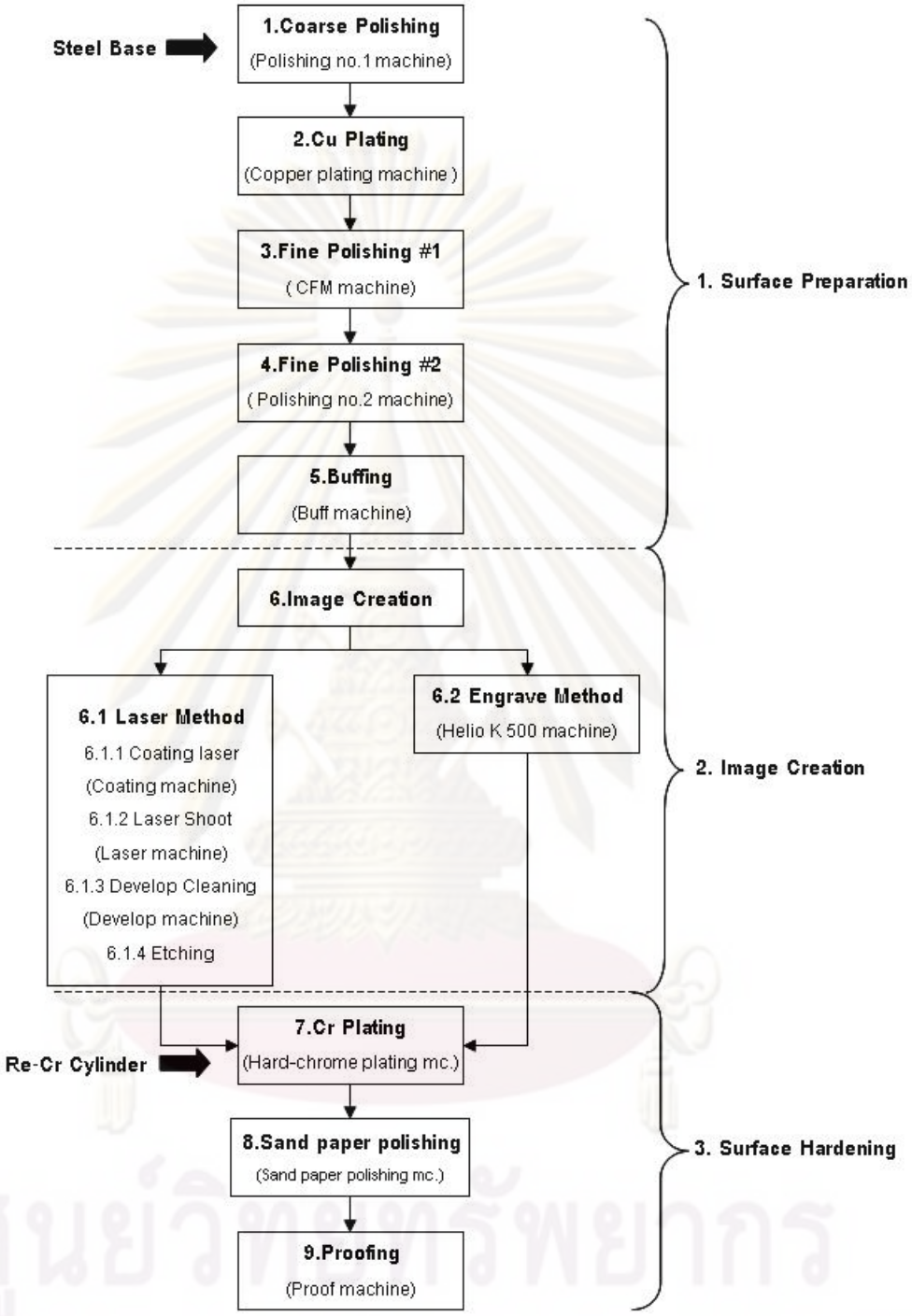
เมื่อเกิดภาพบนผิวแม่พิมพ์แล้ว จำเป็นที่จะต้องทำให้ผิวของแม่พิมพ์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น จึงต้องทำการชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยโครเมียม (Cr plating) อีกชั้นด้วยเครื่องชุบโครเมียม (Hard-

chrome plating) จากนั้นใช้กระดาษทรายขัดปรับผิวของแม่พิมพ์อีกครั้ง เพื่อลบรอยเสี้ยนที่เกิดจากโครเมียมด้วยเครื่องขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทราย (Sand paper polishing) หลังจากนั้นนำแม่พิมพ์ไปตรวจสอบคุณภาพด้วยการปรู๊ฟ (Proofing) หรือการจำลองการพิมพ์จริงด้วยเครื่องปรู๊ฟ (Proof machine) เป็นขั้นตอนสุดท้าย เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนการเคลือบผิวแม่พิมพ์ ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 เครื่องจักรที่ใช้ขั้นตอนการเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง

เครื่องจักร	หน้าที่การทำงานของเครื่องจักร
Hard-chrome plating machine (2 unit) 	มีหน้าที่ชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยโครเมียมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งแม่พิมพ์จะต้องผ่านการทำความสะอาดก่อนเสมอ กรณีแม่พิมพ์ที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นจะผ่านการกัดกรดจากนั้นจะทำการชุบโครเมียมต่อเนื่องทันที สำหรับแม่พิมพ์ที่นำมาชุบโครเมียมใหม่จะต้องผ่านการลอกโครเมียมก่อนเสมอด้วยเช่นกัน
Sand Paper Polishing machine 	เครื่องขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทราย เพื่อลบเสี้ยนของโครเมียมหลังจากผ่านการชุบโครเมียมแล้ว เพราะเสี้ยนของโครเมียมจะทำให้ใบมีดปาดหมึก (Doctor blade)ที่ใช้ในการพิมพ์แตกซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องบนงานพิมพ์
Proof machine (Proof) 	เครื่องจำลองทางการพิมพ์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพขั้นตอนสุดท้ายของแม่พิมพ์ ซึ่งจะเลียนแบบหลักการของการพิมพ์ระบบกราเวียร์ โดยใช้วัสดุพิมพ์จริงด้วย

จากขั้นตอนกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ที่กล่าวมาตามหัวข้อ1.2.1-1.2.3 นี้ สามารถสรุปขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์เป็นแผนภูมิเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.4 การจำแนกประเภทของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต

สำหรับการจำแนกประเภทของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตนั้น สามารถจำแนกได้ทั้งตามกระบวนการผลิตหรือตามข้อมูลของรหัสประจำสินค้า (Product code) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะประเภทของแม่พิมพ์ตามกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1.2.4.1 แม่พิมพ์ที่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมผิวแม่พิมพ์

แม่พิมพ์ประเภทนี้จะเริ่มต้นกระบวนการตั้งแต่กระบวนการของการผลิตแม่พิมพ์จากรูป 1.2 คือตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-9 ในส่วนของการสร้างภาพนั้นจะแบ่งเป็น 2 วิธีทั้งนี้ขึ้นกับการกำหนดคุณลักษณะ (Specification) ของแม่พิมพ์

1.2.4.2 แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่ (Re-Cr Cylinder)

สำหรับแม่พิมพ์ที่ผ่านการพิมพ์งานมาระยะหนึ่งนั้น ค่าความแข็งของโครเมียมบนผิวแม่พิมพ์จะลดลงจากการสึกหรอขณะพิมพ์งาน เพราะมีการสัมผัสระหว่างแม่พิมพ์กับใบมีดปาดหมึก (Doctor blade) โดยแม่พิมพ์แต่ละลูกสามารถชุบโครเมียมใหม่ได้ทั้งหมด 3 ครั้งเท่านั้น เมื่อจำนวนเมตรพิมพ์ครบครั้งแรกที่ 200,000 เมตร ครั้งที่สองเมื่อแม่พิมพ์นั้นผ่านการพิมพ์ไปอีก 150,000 เมตร และครั้งสุดท้ายเมื่อผ่านการพิมพ์ครบ 100,000 เมตร จากรูป 1.2 ขั้นตอนการชุบโครเมียมใหม่คือขั้นตอนที่ 7-9 หลังจากนั้นแม่พิมพ์ไม่สามารถชุบโครเมียมใหม่ได้อีกแล้ว จึงจำเป็นต้องทำแม่พิมพ์ใหม่เนื่องจากหมดอายุการใช้งาน

1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สำหรับแผนกทำแม่พิมพ์ซึ่งเป็นแผนกที่ผู้วิจัยสนใจทำการศึกษานั้น จากสภาพการผลิตปัจจุบันพบว่ายังไม่เคยมีการสำรวจและศึกษาวิเคราะห์ระบบการทำงานอย่างจริงจัง ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบและเวลามาตรฐานการทำงานจึงไม่มีการบันทึกไว้ จากการศึกษากระบวนการผลิตเบื้องต้นพบว่า แผนกทำแม่พิมพ์ไม่สามารถผลิตแม่พิมพ์ได้ตามแผนการผลิตที่มีการกำหนดไว้ โดยแผนกทำแม่พิมพ์ได้ทำการประเมินปริมาณการผลิตแม่พิมพ์ใหม่จากการคาดคะเนความต้องการของลูกค้าในแต่ละวันเป็นจำนวน 38 ลูก แต่สภาพการผลิตปัจจุบันนั้นสามารถผลิตแม่พิมพ์ใหม่ได้เพียงวันละ 34 ลูกต่อวัน มีผลให้แผนกทำแม่พิมพ์ส่งงานได้ล่าช้ากว่าวันส่งมอบงานที่ได้ตกลงไว้กับแผนกที่เกี่ยวข้องถัดไป ขณะที่บางช่วงมีงานเข้ามามากกว่าปริมาณการผลิตที่ประเมินไว้ และไม่สามารถที่จะต่อรองด้านระยะเวลาส่งมอบงานกับลูกค้าได้ ทำให้แผนกทำแม่พิมพ์ไม่สามารถรองรับปริมาณความต้องการนี้ได้ทัน จึงจำเป็นต้องมีการสั่งทำแม่พิมพ์จากแหล่งอื่น (Outsource) โดยเฉลี่ยเดือนละประมาณ 50-60 ลูก ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงกว่าการผลิตแม่พิมพ์ภายในโรงงานกรณีศึกษามากกว่าเฉลี่ยลูกละ 3,500-4,000 บาท นอกจากค่าใช้จ่ายที่สูงแล้วยังพบปัญหาด้านเทคนิคที่แตกต่างกัน ทำให้มีค่าใช้จ่ายต่อเนื่องเมื่อจำเป็นต้องแก้ไขแม่พิมพ์เพราะต้องส่งแม่พิมพ์แก้ไขไปยังผู้ผลิตและไม่สามารถควบคุมเวลานำได้ บางครั้งมีการส่งมอบงานล่าช้ากว่าที่กำหนดด้วย

นอกจากนี้ยังมีปัญหาของงานที่รอคอยเข้าสู่เครื่องจักร โดยเครื่องจักรที่พบปัญหามีงานรอคอยเพื่อเข้าสู่เครื่องจักรคือเครื่องชุบทองแดง (Copper plating machine) เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM) และปัญหาของเครื่องจักรว่างงานจากการรอคอยงานเนื่องจากไม่มีงานป้อนให้เครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเครื่องจักรที่พบปัญหานี้คือเครื่องเจาะเข็มเพชร (Helio K500 machine) นอกจากนี้สามารถพบปัญหาเครื่องจักรว่างงานของเครื่องจักรอีกหลายเครื่อง จากปัญหาที่กล่าวมาแสดงให้เห็นชัดว่า ระบบของการผลิตแม่พิมพ์นั้นต้องมีเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งที่เป็นคอขวด (Bottleneck) ของระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ระบบเพื่อระบุให้ได้ว่าเครื่องจักรที่สถานีงานใดเป็นคอขวดที่แท้จริงของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ให้ได้ก่อน เพื่อที่จะสามารถแก้ปัญหาที่สาเหตุได้อย่างแท้จริง นอกจากปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานของเครื่องจักรแล้วอาจมีปัญหาเนื่องมาจากการวางแผนการผลิตของแผนกทำแม่พิมพ์ด้วย ซึ่งแผนการผลิตปัจจุบันไม่ได้นำงานประเภทชุบโครเมียมใหม่ (Re-Cr cylinder) เข้ามาพิจารณาในแผนการผลิตด้วย จึงทำให้การประเมินจำนวนแม่พิมพ์ที่สามารถผลิตได้ไม่เป็นไปตามจำนวนที่กำหนด เพราะจำเป็นต้องแทรกงานชุบโครเมียมในการผลิตแต่ละวัน ซึ่งงานชุบโครเมียมใหม่ถือว่ามีความสำคัญเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะแม่พิมพ์ที่ต้องชุบโครเมียมใหม่นั้นมีการกำหนดแผนการผลิตที่แน่นอนแล้วอีก 2-3 วันถัดไป และยังต้องผ่านขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ก่อนจะนำเข้าไปสู่แผนกพิมพ์ (Printing section) อีกหลายขั้นตอน ทั้งนี้แผนกโกดังแม่พิมพ์ (Cylinder Godown) จะเป็นผู้ส่งแม่พิมพ์ที่ต้องการชุบโครเมียมใหม่มาที่แผนกทำแม่พิมพ์เฉลี่ยวันละ 24 ลูก โดยพนักงานที่ควบคุมเครื่องชุบงานจะเป็นผู้ดำเนินงานนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องจักรเองไม่เกี่ยวข้องกับแผนการผลิตที่มีการวางไว้แต่ละวัน ที่มีการกำหนดไว้ว่าต้องผลิตแม่พิมพ์ใหม่ 38 ลูกต่อวัน และต้องทำงานชุบโครเมียมใหม่ตามจำนวนแม่พิมพ์ที่แผนกโกดังแม่พิมพ์ส่งมาให้ได้ในแต่ละวันอีกด้วย ซึ่งแนวโน้มของงานชุบโครเมียมใหม่จะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะโรงงานมีการขยายกำลังการผลิต เพิ่มจำนวนเครื่องพิมพ์ ดังนั้นจึงมีจำนวนของแม่พิมพ์ที่มีการครบเมตรเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษาการทำงานของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น และเนื่องจากมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถเก็บบันทึกจากกระบวนการผลิตจริงเพื่อนำใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตได้ และเนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตไม่สามารถปฏิบัติได้ในพื้นที่จริง เพราะจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตซึ่งต้องดำเนินการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงนำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ผลของระบบ และทดสอบผลจากการ

สร้างแบบจำลองสถานการณ์ตามแนวทางที่ต้องการใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ในอนาคตต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและหาแนวทางในการปรับปรุงการทำงาน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัย มีดังนี้

1.5.1 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ เพื่อวิเคราะห์หาเครื่องจักรซึ่งเป็นคอขวดที่แท้จริงของระบบและวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ในสภาพปัจจุบัน สมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง (%Utilization) เวลารอคอยงานในระบบ (Waiting time) เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิต (Flow time) และปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลา (Throughput)

1.5.2 สำหรับการแก้ไขปัญหาจุดที่เป็นคอขวดของระบบนั้น จะสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่มีการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองปัจจุบัน กรณีที่จำเป็นต้องลงทุนเครื่องจักรเพิ่มเติมจะพิจารณาถึงความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติมด้วย

1.5.3 ทำการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) กรณีที่สัดส่วนของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์และใช้เข็มเพชรเจาะ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่ 52:48 เป็น 40:60, 30:70 และ 20:80 ตามลำดับ เนื่องจากแนวโน้มในอนาคตจะมีการผลิตโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชรเพิ่มมากขึ้น เพราะมีความเสถียรด้านคุณภาพและสามารถควบคุมคุณภาพของงานได้มากกว่า

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

1.6.1 สำรวจสภาพปัญหาการผลิตของกระบวนการผลิตจริง เพื่อบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้น

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้

1.6.3 เก็บข้อมูลของกระบวนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละกระบวนการ เพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงาน โดยนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิกระบวนการผลิต สำหรับข้อมูลที่ต้องการได้แก่

ก) ขั้นตอนการทำงานแต่ละกระบวนการ

ข) ระยะทางการเคลื่อนย้ายและขนย้ายแม่พิมพ์ระหว่างสถานีงาน (Workstation)

ค) ระยะเวลาการทำงานแต่ละกระบวนการ

ง) เวลาการเข้ามาของแม่พิมพ์

1.6.4 นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมในข้อ 1.6.3 มาพิจารณาลักษณะการกระจายและค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชุดข้อมูล จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ใกล้เคียงระบบงานจริงมากที่สุด

1.6.5 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

1.6.6 วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ โดยสมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษาได้แก่

ก) อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง (% Utilization)

ข) เวลารอคอยงานในระบบ (Waiting time)

ค) เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิต (Flow time)

ง) ปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลา (Throughput)

1.6.7 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่มีการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงและเปรียบเทียบกับผลปัจจุบัน

1.6.8 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.6.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้คือ สามารถวิเคราะห์สมรรถนะและปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ก่อนที่จะนำไปปฏิบัติจริงที่มีความน่าเชื่อถือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.8 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการวิจัย แสดงดังตารางที่ 1.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	ระยะเวลาดำเนินงาน																
	ปี 2551							ปี 2552									
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย
1. สำรวจสภาพปัญหาสภาพการผลิตของกระบวนการผลิตจริง เพื่อบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้น																	
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้																	
3. เก็บข้อมูลของกระบวนการผลิต ได้แก่ ขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด, เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละกระบวนการ, ระยะทางระหว่างสถานีงาน เพื่อหาเวลามาตราฐานในการทำงาน โดยนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิกระบวนการผลิต																	
4. นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาพิจารณาลักษณะการกระจายและค่าพารามิเตอร์ ของแต่ละชุดข้อมูล จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ใกล้เคียงระบบงานจริงมากที่สุด																	
5. ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง																	
6. วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ โดยสมรรถนะของสภาพการผลิต ที่ศึกษาได้แก่ อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร เวลารอคอยงานในระบบ เวลาไหลของงานในกระบวนการ ผลิต และปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลา																	
7. สร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่มีการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงและ เปรียบเทียบกับผลปัจจุบัน																	
8. สรุปผลและข้อเสนอแนะ																	
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีที่สำคัญ 2 ส่วนได้แก่ การศึกษาการทำงาน (Work study) และการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และส่วนที่สุดท้ายเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การจำลองสถานการณ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งองค์ประกอบที่ทำให้การจำลองสถานการณ์มีความน่าเชื่อถือด้วย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การศึกษาการทำงาน (Work study)

การศึกษาการทำงาน (Work study) เป็นคำที่ใช้แทนถึงวิธีการต่างๆ จากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study) และการวัดผลงาน (Work measurement) ซึ่งใช้ในการศึกษาอย่างมีระเบียบถึงการทำงานของคนและพิจารณาองค์ประกอบต่างๆซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานเพื่อการปรับปรุงการทำงานนั้นให้ดีขึ้น เป็นเครื่องมือช่วยในการเพิ่มผลผลิตในโรงงานหรือหน่วยงานหนึ่ง โดยการจัดระบบการทำงานใหม่ มีลักษณะเป็นระบบงานซึ่งทำให้ไม่มองข้ามองค์ประกอบที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานไป ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ระบบงานเดิมหรือการพัฒนางานใหม่ รวมทั้งข้อเท็จจริงต่างๆในระบบงานนั้นๆ นอกจากนี้การศึกษาการทำงานยังเป็นเครื่องมือในการกำหนดมาตรฐานของงานที่จะใช้ประโยชน์ในการวางแผนและควบคุมการผลิต รวมทั้งช่วยให้ฝ่ายจัดการเข้าใจลักษณะปัญหาของงานอย่างดีที่สุดด้วย

2.1.1.1 การเลือกงาน

ขั้นตอนแรกของการศึกษาเวลาคือการเลือกงานที่จะศึกษา โดยงานที่เลือกควรมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ, 2547 :250) ดังต่อไปนี้

1) งานชิ้นนั้นเป็นงานใหม่ที่โรงงานยังไม่เคยทำมาก่อน (ผลิตภัณฑ์ใหม่ ชิ้นส่วนใหม่ หรือการทำงานใหม่)
2) เกิดการเปลี่ยนแปลงวัตถุหรือวิธีการทำงาน ต้องใช้เวลามาตรฐานใหม่
3) ได้รับคำร้องเรียนหรือวิจารณ์เกี่ยวกับเวลามาตรฐานเดิมจากคนงานหรือตัวแทน
4) มีงานคอขวด (Bottle neck) ที่จุดใดจุดหนึ่งของสายประกอบงาน
5) ต้องการเวลามาตรฐาน เพื่อประยุกต์การจ่ายค่าแรงตามระบบเงินจูงใจ
6) เครื่องจักรว่างมากเกินไป หรือให้ผลงานน้อยเกินไปทำให้ต้องวิเคราะห์วิธีการทำงานใหม่
7) ต้องการที่จะนำไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆที่มีคนเสนอขึ้นมา

8) ค่าใช้จ่ายของงานนั้นสูงเกินไป

2.1.1.2 ขั้นตอนการศึกษาเวลาการทำงาน

เมื่อเลือกงานที่จะจับเวลาได้แล้ว การศึกษาหาเวลาประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ, 2547 : 252-235) ดังนี้

1) บันทึกข้อมูลทั้งหมดที่จะทำได้ของงานของผู้ปฏิบัติและสภาพแวดล้อมการทำงานนั้น ซึ่งมีผลต่อการทำงานชิ้นนั้นทั้งหมด เทคนิคในการจดบันทึกที่นิยมใช้ทั่วไปคือ แผนภูมิหรือไดอะแกรม สำหรับแผนภูมิของกระบวนการผลิต ยังสามารถจำแนกออกได้ (ชัยนนท์ ศรีสุภินานนท์, 2535 : 65-71) ดังนี้

ก) แผนภูมิการทำงานของกระบวนการผลิต แสดงให้เห็นถึงการทำงานใหญ่ๆของกระบวนการผลิตและการตรวจสอบ เพื่อให้เห็นภาพพจน์ของการผลิตอย่างเป็นขั้นเป็นตอนซึ่งจะใช้แผนภูมิการทำงานเพื่อศึกษาและหาทางปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น อาจจะด้วยการรวม ลด หรือตัดทอนขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกซึ่งจะเป็นผลทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ข) แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต ใช้ในการศึกษาการไหลของงาน สิ่งของหรือสิ่งอื่นๆจากหน่วยงานหนึ่งไปยังอีกหน่วยงานหนึ่งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอย่างละเอียดตั้งแต่ต้นจนกระทั่งทำสำเร็จออกมา มักใช้ในการศึกษางานที่กำลังดำเนินอยู่ และนอกจากจะศึกษาการทำงานและการตรวจสอบแล้ว ยังศึกษาถึงการเก็บ การเคลื่อนย้ายสิ่งของและความล่าช้าที่เกิดขึ้นในการผลิตอีกด้วย

ค) แผนภูมิการทำงานหลายผลิตภัณฑ์ ใช้สำหรับกรณีที่ชนิดของงานที่ผลิตมาก 6-10 ชิ้น แผนภูมินี้จะเก็บและเปรียบเทียบการทำงานของงานต่างๆให้เห็นชัดบนแผ่นเดียวกัน ข้อมูลที่บันทึกคืออัตราความหนาแน่นของการไหลของวัสดุหรืองานระหว่างแผนกหรือหน่วยผลิต

ง) แผนภูมิการไหลไปกลับ เป็นแผนภูมิที่ใช้ในการบันทึกเมื่อมีการไหลหรือการเคลื่อนย้ายอย่างมากมายของสิ่งต่างๆที่เกิดขึ้นในหน่วยงาน ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของคู่กิจกรรมต่างๆว่าความสัมพันธ์ระหว่างแผนกหรือคู่กิจกรรมต่างๆมีมากน้อยแค่ไหน

2) บันทึกวิธีการทำงานทั้งหมด และแบ่งงานใหญ่ทั้งหมดออกเป็นงานย่อยๆ เพื่อให้วิเคราะห์สังเกตและวัดผลได้สะดวก ซึ่งต้องแยกงานย่อยให้เห็นเด่นชัดโดยมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของงานย่อยนั้น และควรมีระยะเวลาที่สามารถวัดหรือจับได้

3) พิจารณางานย่อยๆที่แตกออก เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะได้วิธีที่เกิดผลดีที่สุด แล้วหาขนาดของตัวอย่าง (Sample size) ซึ่งการหาขนาดตัวอย่างหรือจำนวนที่จับเวลาที่ต้องทำทั้งหมดในแต่ละงานย่อย และกำหนดระดับความเชื่อมั่นและความถูกต้อง (Accuracy)มาก่อนแล้ว ในทางสถิติ ต้องทดลองจับเวลาจำนวนหนึ่งก่อน (n') แล้วประยุกต์สูตร สำหรับระดับความเชื่อมั่น 95% และให้โอกาสผิดพลาด $\pm 5\%$ (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ ,2547:260)

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n'\sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2}}{\sum_i x_i} \right)^2 \qquad (2.1)$$

เมื่อ n = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

n' = จำนวนที่ทดลองจับเวลาก่อน

x_i = ค่าที่อ่านได้ (เวลาในแต่ละวัฏจักร)

เมื่อการอ่านครั้งแรก (n') น้อยกว่าขนาดของตัวอย่างที่จะต้องอ่าน จำนวนตัวอย่างที่แท้จริงจะต้องเพิ่มขึ้น ให้ทำการจับเวลาอีกจะได้ค่า x_i และ x_i^2 เพิ่ม เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ (2.1) อาจมีผลทำให้ค่า n เปลี่ยนไป ซึ่งอาจจะพบว่าต้องหาขนาดตัวอย่างใหม่หรือเพียงพอแล้ว หรือมากเกินพอเสียอีก

4) วัดค่าโดยนาฬิกาจับเวลา แล้วบันทึกเวลาที่วัดได้ในแต่ละงานย่อย การใช้นาฬิกาจับเวลามักจะมีวิการจับเวลา 2 แบบ (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ,2547:264-265) ด้วยกันคือ

   ก) จับเวลาสะสม (Cumulative timing) นาฬิกาจะเดินอยู่ตลอดเวลา เริ่มที่งานย่อยอันดับแรกของวัฏจักรแรก และไม่มีการหยุดจนกว่าการจับเวลาจะเสร็จสิ้นลง ในตอนท้ายของแต่ละงานจะต้องจดเวลาเอาไว้ เวลาของแต่ละงานย่อยสามารถหาได้จากผลต่างของนาฬิกาที่เดินหลังจากจับเวลาเสร็จ

   ข) จับแต่ละครั้ง (Flyback timing) เข็มนาฬิกาจะกลับมาที่ตำแหน่งศูนย์ในตอนท้ายของแต่ละงานย่อย และเริ่มจับเวลาของงานย่อยถัดไป เวลาในแต่ละงานย่อยสามารถอ่านได้ทันที นาฬิกาไม่มีการหยุดเดิน เข็มกลับมาที่ศูนย์แล้วจะเริ่มเดินต่อทันที

5) พิจารณาอัตราการทำงานของผู้ปฏิบัติโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผู้จับเวลา โดยอาศัยหลักการของการประเมินค่า (Rating) การประเมินค่า (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ

,2547:275-281) คือการเปรียบเทียบอัตราการทำงานของคนงานกับอัตราการทำงานมาตรฐานในสายตาของผู้ศึกษาแล้วกำหนดว่าเป็นเท่าไรเพื่อพิจารณาเวลามาตรฐานในการทำงานชิ้นหนึ่งๆจากคนงานตัวอย่าง และเวลามาตรฐานนี้จะนำไปใช้ในการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อให้การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการทำงานที่เฝ้าจับกับอัตราการทำงานมาตรฐานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรมีสเกลเป็นตัวเลขเพื่อกำหนดให้ใกล้เคียงยิ่งขึ้น แล้วใช้การประเมินค่าเป็นตัวประกอบในการคูณเข้าไปกับเวลาจริงๆที่จับได้ ผลที่ได้ก็เป็นเวลามาตรฐาน ถ้าการประเมินของผู้ศึกษาแน่นอนแล้ว ทุกๆครั้งที่ทำการจับเวลาและประเมินค่าเวลาที่ได้จากงานย่อยจะคงที่

6) เปลี่ยนเวลาที่จับได้ (Observed time) เป็นเวลาพื้นฐาน (Basic time) คือเวลาในการทำงานของงานย่อยชิ้นหนึ่งในมาตรฐานการประเมินค่า
7) พิจารณาเวลาเผื่อ (Allowance) เวลาเผื่อการพักผ่อน (วิจิจร ตัณฑสุทธิ์และคณะ ,2547:295) เป็นเวลาที่เพิ่มเข้าไปในเวลาพื้นฐาน เพื่อให้คนงานมีโอกาสฟื้นตัวจากสภาพเหนื่อยล้าทางร่างกายและจิตใจขณะทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมอันหนึ่งและให้คนงานมีเวลาเข้าห้องน้ำทำธุระส่วนตัวได้ เวลานี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละงานในการทำงาแต่ละชิ้นก็เป็นเวลาพื้นฐานบวกกับเวลาเผื่อการพักผ่อน
8) หาเวลามาตรฐาน (Standard time) สำหรับงานนั้น เวลามาตรฐานเป็นเวลาทั้งหมดที่งานชิ้นนั้นควรจะเสร็จโดยการทำงานอย่างมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากการรวมเวลามาตรฐานของงานย่อย (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ ,2547:298)

2.1.1.3 เวลามาตรฐานของการทำงานกับเครื่องจักร

หลักการและความหมายของคำในการศึกษาการใช้เครื่องจักรให้เกิดประโยชน์ (วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ,2547 :300-301) อธิบายได้ดังนี้

เวลาเครื่องจักรทั้งหมด (Machine maximum time) เป็นเวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานทั้งหมดในหนึ่งสัปดาห์หรือ 24 ชั่วโมงใน 1 วัน

เวลาเครื่องจักรมีไว้ทำงาน (Machine available time) เป็นเวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้เท่าที่ต้องการ เวลาทำงานในแต่ละวันหรือสัปดาห์บวกกับล่วงเวลา

เวลาเครื่องจักรว่างงาน (Machine idle time) เป็นเวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ แต่ไม่ได้ใช้เนื่องจากไม่มีงานป้อน ไม่มีคนงานหรือขาดแคลนวัตถุดิบ

เวลาตั้งเครื่องจักร(Machine ancillary time) เป็นเวลาที่เครื่องจักรหยุดชั่วคราว ไม่ได้ผลผลิต เนื่องจากเปลี่ยนของ ตั้งเครื่องมือ ทำความสะอาดฯลฯ

เวลาเครื่องจักรเสีย (Machine down time) เป็นเวลาที่เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากเสีย ต้องการซ่อมแซม

เวลาเครื่องจักรเดินจริง (Machine running time) เป็นเวลาซึ่งเครื่องจักรทำงานได้จริงๆ ซึ่งเวลาดังกล่าวนี้ได้มาจากการศึกษาบริเวณงาน แต่อย่างไรก็ตามเครื่องจักรถึงแม้จะทำงานจริงก็มิได้เป็นงานที่ให้ผลดีที่สุดที่เครื่องจักรนั้นทำได้ จึงต้องเพิ่มหลักการอีกคือเวลาเครื่องจักรเดินที่มาตรฐาน (Machine running time at standard) เป็นเวลาที่เดินเครื่องในการทำงานจริงๆถ้าเครื่องจักรทำงานด้วยสภาพดีที่สุด

2.1.2 **การจำลองสถานการณ์** (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ คือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real system) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ,2537:1) จะเห็นได้ว่ากระบวนการของการจำลองสถานการณ์นั้นแบ่งเป็นสองส่วนคือการสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่งและการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกส่วนหนึ่ง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์นี้อาจเป็นหุ่น เป็นระบบ หรือเป็นแนวความคิดลักษณะหนึ่งลักษณะใดโดยไม่จำเป็นต้องเหมือน (Identical) กับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง

2.1.2.1 **กระบวนการจำลองสถานการณ์** (Simulation process)

เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลองประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ,2537:42-57) ดังนี้

1) การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem formulation and system definition) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบและสร้างแบบจำลอง เพราะคำตอบที่ถูกสำหรับปัญหาที่ผิดย่อมไม่มีประโยชน์ ต้องมีการระบุหรือกำหนดวัตถุประสงค์ (Purposes) ของการศึกษาโดยที่ระบบงานจริงนั้นเราอาจจะสร้างแบบจำลองได้หลายแบบแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองนั้น มีวิธีการที่สามารถนำไปใช้ช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบงาน

ได้แก่ การศึกษาข้อมูลของระบบงาน การศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของระบบงาน และการศึกษาหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงาน

2) การสร้างแบบจำลอง (Model formulation) จากการศึกษาระบบงานอาจจะได้มาซึ่งแบบจำลองของระบบงานที่สามารถนำไปใช้งานได้เลย แต่ถ้าแบบจำลองที่ได้ยุ่งยากเกินกว่าที่จะนำไปใช้งานก็จำเป็นต้องปรับแต่งให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้ ความเหมือนระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริงมีสองประเภทคือ “Isomorphic” และ “Homomorphic” ความเหมือนในลักษณะ Isomorphic คือแบบจำลองเหมือนกับระบบงานจริงทุกประการ การที่แบบจำลองจะมีลักษณะที่เหมือนกับระบบงานจริงนั้นมีเงื่อนไข 2 ประการคือทุกๆองค์ประกอบของระบบงานจริงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันในแบบจำลองและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในแบบจำลองต้องเหมือนความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบงานจริง ส่วนลักษณะของ Homomorphic คือแบบจำลองจะเหมือนกับระบบงานจริงบางประการ โดยจะทำการแบ่งระบบงานออกเป็นระบบย่อยๆแล้วทำการศึกษาระบบย่อย โดยถือว่าแต่ละระบบย่อยเป็นอิสระต่อกัน เมื่อได้คำตอบของแต่ละระบบย่อยที่ต้องการแล้ว จึงนำเอาระบบย่อยมาต่อเข้าด้วยกันเพื่อศึกษาระบบใหญ่อีกที

3) การจัดเตรียมข้อมูล (Data preparation) ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบงานยังจำเป็นสำหรับการประมาณค่าคงที่และพารามิเตอร์,การหาค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆและการใช้ในการทดสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหา โดยข้อมูลที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานั้นมาจากแหล่งข้อมูลสองแหล่งคือแหล่งข้อมูลภายในระบบและแหล่งข้อมูลภายนอกระบบ ข้อมูลต่างๆที่ได้มา ไม่ว่าจากเอกสาร จากการทดลองหรือการเก็บข้อมูลด้วยวิธีใด เมื่อจะนำไปใช้ก็จำเป็นต้องจัดเตรียมให้อยู่ในรูปที่จะนำไปใช้งานได้โดยที่องค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่จะนำไปใช้คำนวณได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปเชิงปริมาณซึ่งค่าเชิงปริมาณนี้ได้มาจากข้อมูล การจัดเตรียมข้อมูลเชิงปริมาณนี้อาศัยเทคนิคทางสถิติ บางครั้งอาจจะจำเป็นต้องใช้ค่าเชิงปริมาณบางตัวซึ่งไม่มีข้อมูลในอดีตให้ใช้ในการวิเคราะห์ การหาค่าเชิงปริมาณอาจกระทำได้โดยการขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ

4) การแปรรูปแบบจำลอง (Model translation)

5) การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นควรจะเป็นผลที่ถูกต้องนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง กรรมวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้กันอยู่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

5.1 การพิสูจน์ยืนยัน(Verification) เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมอย่างที่ผู้สร้างต้องการให้เป็น วิธีการที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

ก)การถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Face validity) เป็นการถามความเห็นจากผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญจากการใช้งานองค์ประกอบต่างๆในระบบงานและการใช้ระบบงาน

ข)การทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง (Internal validity) เป็นการทดสอบองค์ประกอบในแบบจำลอง หรือแบบจำลอง โดยการใส่เงื่อนไข

ค)การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables-parameters validity) เป็นการทดสอบความไว (Sensitivity testing) ของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองอย่างไร ถ้าผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไวต่อค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใดก็เป็นเครื่องแสดงบอกให้เรารู้ว่าจะต้องระมัดระวังให้มากต่อการประมาณค่าตัวแปรและพารามิเตอร์เหล่านั้น

ง)การทดสอบความถูกต้องของสมมติฐาน (Hypothesis validity) เป็นการทดสอบความถูกต้องทางสถิติว่าผลที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองกับผลที่ได้จากองค์ประกอบของระบบงานจริงนั้นเหมือนกัน โดยอาจใช้เงื่อนไขต่างๆที่มีปรากฏจากข้อมูลในอดีตใส่ให้กับองค์ประกอบในแบบจำลองแล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้จากอดีตว่าสามารถยอมรับว่าเหมือนกันโดยมีระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้

5.2 การทดสอบความถูกต้อง(Validation) เป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบงานจริง โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีตของระบบงานจริงที่เงื่อนไขของการใช้ระบบงานที่เหมือนกัน การวิเคราะห์กระทำโดยอาศัยเทคนิคทางสถิติได้แก่

ก) การทดสอบสมมติฐานในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับของระบบงานจริง

ข) การทดสอบสมมติฐานของลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นของข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับของระบบงานจริง

ค) การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ของระบบงานจริง

ง) การพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับระบบงานจริง

5.3 การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis) เป็นการทดลองใช้แบบจำลองในการพยากรณ์พฤติกรรมต่างๆของระบบงานเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจริงของระบบงาน การวิเคราะห์อาศัยเทคนิคทางสถิติเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ได้การอธิบายวิธีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (Sargent, 2007)คือ การสำรวจพฤติกรรมของแบบจำลอง (Explore model behavior) ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองที่สำรวจได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ เช่น กราฟ การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) เป็นต้น และการเปรียบเทียบพฤติกรรมของผลลัพธ์จากแบบจำลอง (Comparisons of output behavior) สามารถทำได้อีก 3 วิธี ได้แก่ การใช้กราฟเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล เช่น ฮิสโตแกรม,แผนภาพรูปกล่อง การใช้ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence intervals)ของค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของตัวแปรในระบบ และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test)

6) การออกแบบการทดลอง (Strategic planning)

7) การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical planning)

8) การดำเนินการทดลอง (Experimentation)

9) การตีความผลการทดลอง (Interpretation)

10) การนำไปใช้งาน (Implementation)

11) การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation)

เนื่องจากในระหว่างการดำเนินการสร้างแบบจำลองนั้น ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองบ่อยครั้ง ดังนั้นขั้นตอนตั้งแต่1-9 ไม่จำเป็นต้องทำตามลำดับ อาจมีการย้อนกลับไปทำขั้นตอนต้นใหม่ ส่วนใหญ่การตั้งปัญหา การให้คำจำกัดความของระบบงาน การสร้างแบบจำลองและการจัดเตรียมข้อมูลมักจะกระทำไปพร้อมกัน

มีการจำแนกประเภทของข้อมูลป้อนเข้า (Input data) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองออกเป็น 2 กลุ่ม (Leemis,1999) ได้แก่

1)ข้อมูลป้อนเข้าที่ไม่ขึ้นกับเวลา กล่าวคือเมื่อมีตัวแปรที่สนใจหนึ่งตัวหรือมากกว่า และมีลักษณะการกระจายของตัวแปรเป็นแบบช่วง (Discrete), แบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือทั้งสองแบบร่วมกัน เช่น การกระจายแบบ Binomial เป็นต้น

2) ข้อมูลป้อนเข้าแบบไม่แน่นอน (Stochastic) ขึ้นกับสถานภาพและเวลาที่ใช้ในการประเมิน สำหรับตัวอย่างข้อมูลป้อนเข้า เช่น เวลาการให้บริการ (Service time), เวลาการมาถึง (Arrival time) เป็นต้น เมื่อได้ข้อมูลที่มาจากการสังเกตแล้ว จะต้องมีการประเมินว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบอิสระเหมือนๆกันหรือเรียกว่า IID (Independent and Identically Distributed) โดยการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการสร้างกราฟ และใช้วิธีการทางสถิติ ขั้นตอนถัดมาคือการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูลักษณะการกระจายของข้อมูลโดยสร้างกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) และคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น เพื่อนำไปใช้ตีความลักษณะการกระจายของข้อมูลป้อนเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

สำหรับการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ (Output) ของแบบจำลอง สามารถแบ่งได้เป็น2 ประเภท (Law, 2007) คือ

1)การใช้สถิติสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองที่มีระยะเวลาสิ้นสุด(Terminating simulation)

2)การใช้สถิติสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองที่ไม่มีระยะเวลาสิ้นสุด(Non-terminating simulation) โดยจะต้องกล่าวถึงค่า Steady-state หรือระยะเวลาที่ระบบเริ่มทำงานได้อย่างคงที่แล้ว หรือหาค่า Warming up เพื่อตัดข้อมูลบางส่วนก่อนที่จะเริ่มใช้แบบจำลอง โดยใช้วิธีการของ Welch (Welch's procedure) (Law,2007)

นอกจากนี้มีข้อควรระวังในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลลัพธ์คือ

1) การใช้สูตรสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากหนึ่งการทำซ้ำ (Replication) อาจจะได้ค่าประมาณที่ต่ำมากสำหรับค่าความแปรปรวนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะเกิดจากกาคำนวณโดยใช้ซอฟต์แวร์บางประเภท

2) การผิดพลาดในการวิเคราะห์ค่าของ Warmup period สำหรับช่วงที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงที่

3) การผิดพลาดในการกำหนดค่าสถิติที่แม่นยำ เมื่อใช้การประมาณค่าแบบช่วง

2.1.2.2 เทคนิคการลดความแปรปรวน

เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนของการประมาณค่าที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ซึ่งมีวิธีการที่ใช้อยู่ 3 วิธี (Banks, 1998:186-187) ได้แก่

ก) Common Random Numbers เป็นการใช้ตัวเลขสุ่มร่วมกันในการจำลองสถานการณ์ที่มีปัจจัยร่วมแตกต่างกัน เมื่อผลทางสถิติเกี่ยวข้องกัน แต่ไม่ทราบค่าของความแปรปรวนร่วม (covariance) ดังนั้นจึงต้องมีการประมาณค่าของความแปรปรวนร่วมนี้ เมื่อ m แทน

จำนวน replication เมื่อ y_{ij} และ $y_{i'j}$ เป็นตัวแปรตาม โดย $j \neq j'$ และ $j' = 1,...,m$ ดังนั้นสามารถประมาณค่าความแปรปรวนร่วมได้ดังนี้

$$S_{i,i'} = \sum_{j=1}^{m} \frac{(y_{i,j} - \bar{y}_i)(y_{i',j} - \bar{y}_{i'})}{m-1} \qquad (2.2)$$

สมการนี้สามารถลดรูปเป็นสมการที่ 2.3 ได้ถ้า $i = i'$ แล้ว $S_{ii} = S_i^2$

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{(y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{m_i - 1} \qquad (2.3)$$

ข) Antithetic Random Numbers เป็นวิธีที่ใกล้เคียงกับวิธีแรก แต่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์เชิงลบ(Negative correlation) ระหว่างคู่ของ replication โดยใช้ตัวเลขสุ่ม r แทน replicationแรก และ 1-r แทน replicationที่เหลือ ถ้ามีจำนวน m ของ replication แล้วจะมีจำนวนคู่เปรียบเทียบ $(\bar{y}_1,...,\bar{y}_{m/2})$ เมื่อ $\bar{y}_i = (y_{2i-1} + y_{2i})/2$ การประมาณค่าความแปรปรวนจะใช้สมการที่ 2.3 แต่แทนที่ค่า m_i ด้วย $m/2$ และค่า y_j ด้วย $\bar{y}_r$ เมื่อ $r = 1,...,m/2$

ค) Control Variatesหรือการสุ่มแบบถดถอย (regression sampling) กรณีที่ค่าตัวแปรสุ่มมีโอกาสคลาดเคลื่อน เช่น $y > E(Y)$ จึงปรับค่าของตัวแปรให้ลดลงตามสมการ

$$\bar{y}_{i,c} = \bar{y}_i + C_{i,1,OLS}[E(\bar{X}_{i,1}) - \bar{X}_{i,1}] \qquad (2.4)$$

เมื่อ $C_{i,1,OLS}$ เป็นการประมาณค่าของวิธี OLS (Ordinary least square) และผลลัพธ์ y_i คือการถดถอยบน $X_{i,1}$ ซึ่งใส่เลข 1 ใน I [การประมาณค่าOLS คำนวณจาก m_i replication ของคู่ $(y_i, X_i, 1)$]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในทางปฏิบัติจริงอย่างมากมาย ซึ่ง (Lima et al. 2008) ได้สรุปลักษณะที่สำคัญของคอขวดในกระบวนการผลิต 5 วิธี ดังตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 วิธีการระบุคอขวดของระบบ ที่มา : (Lima et al. 2008)

วิธีการ	ลักษณะที่สำคัญ	ตัววัดผลที่ใช้
1.อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization factor %)	แสดงร้อยละของเวลาที่เครื่องจักรมีการทำงานตลอดระยะเวลาที่วัดงาน เครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์สูงสุดจะเป็นคอขวดของระบบ	ร้อยละ (%)
2.ขนาดของแถวคอยที่รอคอยเข้าเครื่องจักร	เป็นการวัดปริมาณของงานที่อยู่ในแถวคอยที่รอเข้าเครื่องจักรซึ่งกำลังทำงานอยู่ โดยเครื่องจักรที่มีแถวคอยมากที่สุดเป็นคอขวดของระบบ	จำนวนปริมาณงาน
3.เวลารอคอยงานที่เข้าเครื่องจักร	คล้ายกับวิธีที่ 2 แต่ใช้การวัดเวลาของงานที่รอคอยที่เข้าเครื่องจักรก่อนที่เข้าสู่กระบวนการได้	เวลารอคอย
4.วิธีวัดเวลาที่เครื่องจักรทำงาน (Active Period)	พิจารณาที่ 2 สถานะ (ทำงาน/ไม่ทำงาน) เป็นการวัดผลรวมทั้งหมดของระยะเวลาที่เครื่องจักรทำงาน ซึ่งเครื่องจักรที่มีค่าของ Active period สูงสุดนั่นคือคอขวดของระบบ	หน่วยของเวลาหรือร้อยละของเวลา
5.วิธี Shifting Bottleneck	ผลรวมของระยะเวลาทำงาน(หรือร้อยละ) ของ 1 สถานีงานที่มีการทำงานโดยไม่มีการติดขัดตลอดรอบเวลาที่สนใจซึ่งประกอบไปด้วยเวลาที่สถานีงานเกิดคอขวดแบบเดี่ยวและเวลาที่สถานีงานมีคอขวดแบบสลับสับเปลี่ยนกัน เวลารวมทั้งหมดจะนำมาใช้ระบุหาคอขวด ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีเครื่องจักรบางเครื่องเป็นคอขวดอยู่ แต่ถ้าหากว่ามีเครื่องจักรใดมีค่าสูงที่สุดก็จะกลายเป็นคอขวดหลักของระบบได้	หน่วยของเวลาหรือร้อยละของเวลา

ในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมการผลิตมีการใช้การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หาคอขวดของระบบการผลิตในหลายอุตสาหกรรม เพื่อหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป เช่น อุตสาหกรรมไม้แปรรูป (Bassler et al. 2004) ที่ใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อระบุคอขวด โดยใช้การวิเคราะห์อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิต , อุตสาหกรรมสายการผลิตท่อสำหรับเครื่องล้างจาน (Harrell and Gladwin 2007) อุตสาหกรรมด้านเคมี (Lima et al. 2008) นอกจากนี้ยังมีใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์กำลังการผลิตของสายการประกอบเครื่องป้องกันการสั่นสะเทือนโดยนำเสนอผังการผลิตใหม่เปรียบเทียบกับปัจจุบันและวิเคราะห์ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไป (Gujarathi et al. 2004) อีกด้วย สำหรับอุตสาหกรรมโลหะมีการใช้แบบจำลองสถานการณ์สำหรับหาผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการใช้ประโยชน์ของหน่วยผลิตในกรณีที่มีการจัดตั้งศูนย์กลางการผลิตโลหะชนิดพิเศษ (Ruohonen et al. 2008)

นอกจากนี้ Law (1999) ยังได้กล่าวถึงวิธีเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสถานการณ์ที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอีกด้วยว่าตั้งแต่เริ่มต้นออกแบบระบบของตัววัดที่ใช้ จะต้องเป็นตัววัดเดิมไม่เปลี่ยนแปลง สำหรับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลของระบบ อาทิเช่นผังการผลิตและขั้นตอนการทำงานที่มีการใช้วิธีการสัมภาษณ์นั้นจะต้องอาศัยข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์สูงของระบบที่จะศึกษานั้น นอกจากนี้ต้องรวบรวมข้อมูลที่ได้มาแล้วนำมาสรุปบันทึกลงในเอกสาร รวมทั้งมีการสื่อสารกับบุคคลผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจเพื่อให้มั่นใจว่าปัญหาที่ระบุนั้น เป็นไปตามความต้องการของระบบที่ต้องมีการแก้ไขอย่างแท้จริง ซึ่งก่อนที่จะมีการดำเนินการสร้างแบบจำลองของระบบ จำเป็นต้องมีการอธิบายให้ผู้บริหารเห็นถึงกรอบแนวคิดของแบบจำลอง โดยนำเสนอให้เห็นชัดเป็นรูปธรรม เช่น การนำเสนอด้วยเอกสาร เป็นต้น จะต้องนำการวิเคราะห์ความไวมาใช้ในการประเมินปัจจัยที่มีความสำคัญต่อแบบจำลองด้วยเพื่อเป็นข้อควรระมัดระวังปัจจัยดังกล่าว และสุดท้ายจะต้องมีการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลที่เกิดจากระบบงานจริง เช่น เวลาเฉลี่ยของระบบ ปริมาณงานที่ทำได้ เป็นต้น จึงจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสถานการณ์มากขึ้น

ทั้งนี้องค์ประกอบที่ทำให้การจำลองสถานการณ์ประสบความสำเร็จมี 3 ประการได้แก่ (Grabau and Sadowski ,1999)

1) ข้อมูลมีความถูกต้อง โดยข้อมูลจะต้องสามารถตอบคำถามว่า “อะไร” คือข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบ และ “ทำไม” จึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลเหล่านั้นด้วย

2) เวลาที่เหมาะสม หากได้รับคำตอบที่มีความแม่นยำสูงจากการจำลองสถานการณ์ แต่ใช้ระยะเวลาล่าช้ากว่าช่วงเวลาที่ต้องทำการตัดสินใจ การจำลองสถานการณ์ก็ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆ
3) การตัดสินใจที่ถูกต้อง ซึ่งขึ้นกับการควบคุมและความเข้าใจของผู้สร้างแบบจำลองเอง แม้ว่าจะสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วนแล้ว แต่หากการนำไปใช้ไม่เหมาะสมกับคน สถานที่ ก็จะไม่เกิดประโยชน์เช่นกัน

นอกจากนี้ยังมีการเสนอแนวทางเพื่อประสบความสำเร็จในการทำแบบจำลองสถานการณ์ดังนี้คือต้องมีการตั้งเป้าหมายและขอบเขตให้ชัดเจน มีการวางแผนการทำงานอย่างละเอียดและรอบคอบ โดยจะต้องคำนึงถึงตั้งแต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะใช้ระยะเวลานานมากกว่าการสร้างแบบจำลอง สำหรับการประเมินระยะเวลาทำงานเพื่อนำไปปฏิบัติจริงนั้นพบว่า มักมีความล้มเหลวในการประเมินเวลาระยะเวลาของการเก็บรวบรวมข้อมูล การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) และเวลาการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง โดยประเมินระยะเวลาของการทำงานเหล่านี้น้อยเกินไป ซึ่งแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่นั้นการพิสูจน์ยืนยันของแบบจำลองจะใช้เวลาประมาณ 20-30% ของเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทั้งหมด ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงเวลาของการซ้ำ (replications) การหาช่วง Warm up period ของระบบแบบ Non-terminating และการทดลองที่มีหลายแบบ ทำให้ไม่สามารถสรุปผลของแบบจำลองได้ตามระยะเวลาที่ต้องการได้ สุดท้ายจะต้องมีการทบทวนความถูกต้องของแบบจำลองอย่างสม่ำเสมอ เพราะอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับขอบเขต เกิดปัญหาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ อาจจำเป็นต้องมีการแก้ไขแบบจำลองตามสถานการณ์ต่างๆที่เปลี่ยนไปเหล่านี้ด้วยเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียด ซึ่งประกอบไปด้วยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแผนภูมิกระบวนการผลิต และนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะการกระจายตัวและค่าพารามิเตอร์ สำหรับใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า (Input) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ จากนั้นจะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลองและการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการหาช่วงเวลาเข้าสู่สถานะคงตัวของระบบงาน โดยขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย

3.1 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องการของกระบวนการผลิต นำเสนอในรูปแบบของแผนภูมิกระบวนการผลิต (flow process chart) ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานในแต่ละกระบวนการอย่างละเอียด, ระยะทางและเวลาขนย้ายแม่พิมพ์ระหว่างสถานีงาน, ระยะเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการ ในการเก็บข้อมูลใช้ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลจำนวน 50 ค่า ซึ่งมากเพียงพอจากการคำนวณด้วยสมการที่ 2.1 ด้วยวิธีการสุ่ม จากนั้นสร้างแผนภาพกล่อง (box plot) เพื่อคัดกรองข้อมูลที่เป็น outliner ออกไป การตัดข้อมูลใดทิ้งไปจะต้องตรวจสอบสาเหตุที่เกิดผิดปกติของข้อมูล โดยจะทำการตัดข้อมูลที่มีความผิดปกติอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล หรือมีกิจกรรมการทำงานที่ต่างไปจากการทำงานปกติ ในที่นี้จะดำเนินการหาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลไปพร้อมกัน และจะทำการเก็บข้อมูลเพิ่มหากไม่สามารถจะระบุลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลชุดนั้นได้ จากนั้นคำนวณเพื่อหาเวลามาตรฐานของแต่ละกระบวนการ และนำไปสร้างแผนภูมิกระบวนการผลิตจะประกอบไปด้วย 4 กิจกรรมหลัก ได้แก่ การเตรียมผิวพิมพ์ การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร และการเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง แสดงดังตารางที่ 3.1-3.4 ต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การเตรียมผิวแม่พิมพ์)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○	5	
กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์	การขนถ่าย ⇨	9	
	การรอคอย D	4	
	การตรวจสอบงาน □	-	
	ที่เก็บของ ▽	1	
	ระยะทาง (เมตร)	70.3	
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)	128.76	

รายละเอียด	หน่วยใช้	(คนต่อเครื่อง)	(นาที/ชิ้น)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
1. แม่พิมพ์รอเข้าสายการผลิต									
2.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดหยาบ (coarse polishing)	1	9	0.36						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
3.ขัดหยาบแม่พิมพ์ที่เครื่อง polishing no.1			11.3						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
4.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอชุบทองแดง (copper plating)	1	8.5	0.18						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
5.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องชุบทองแดง									
6. เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปที่เครื่องชุบทองแดงชุบทองแดง (copper plating machine)	1	5.3	0.18						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	เวลา (นาที)		

รายละเอียด	หน่วย	ระยะทาง(เมตร)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
7. ชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยทองแดงที่เครื่อง copper plating	1		62.2						จำนวนเครื่องจักร 2 เครื่อง
8.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยใบมีด (fine polishing#1)	1	7.5	0.22						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
9.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด									
10.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปที่เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM)	1	12.2	0.37						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
11ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ครั้งที่ 1ด้วยใบมีดที่เครื่อง CFM	1		29.5						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	เวลา (นาที)		

รายละเอียด	หน่วย	คน(เครื่องมือ)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
12.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยหินขัด (fine polishing #2)	1	12	0.34						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
13.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด									
14.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (polishing no.2 machine)	1	4	0.13						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
15. ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 ด้วยหินขัดที่เครื่อง polishing no.2	1		12.3						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
16.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดมันวาว (buffing)	1	4.3	0.14						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
17.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องขัดมันวาว									

ตารางที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การเตรียมผิวแม่พิมพ์	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	เวลา (นาที)		

รายละเอียด	หน่วย	ระยะทาง(เมตร)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
18.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องขัดมันวาว (buff machine)	1	3.8	0.13						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
19.ขัดผิวแม่พิมพ์ให้มันวาวที่เครื่อง buff	1		11.3						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
20.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอสร้างภาพ	1	3.7	0.13						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
รวม		70.3	128.76						

จากตารางที่ 3.1 พบว่ามีจำนวนของกิจกรรมการขนถ่ายหรือเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์สูงที่สุด คือ 9 กิจกรรม โดยใช้เวลาในการขนถ่าย 2.16 นาที ด้วยระยะทางการเคลื่อนที่ 70.3 เมตร ซึ่งวิธีที่ใช้ในการขนถ่ายคือ การขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ รองลงมาคือกิจกรรมการปฏิบัติงานมีจำนวน 5 กิจกรรม ใช้เวลาเป็น 126.60 นาที และจำนวนของกิจกรรมการรอคอย 4 กิจกรรม ตามลำดับ ซึ่ง

เวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการเตรียมผิวแม่พิมพ์คือ 128.76 นาที ซึ่งยังไม่มีการบันทึกเวลาการรอคอยของแม่พิมพ์ในระบบ

ตารางที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○	3	
กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์	การขนถ่าย ⇨	7	
	การรอคอย D	4	
	การตรวจสอบงาน □	1	
	ที่เก็บของ ▽	-	
	ระยะทาง (เมตร)	41.1	
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)	65.87	

รายละเอียด	หน่วย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
1. แม่พิมพ์รอเข้าสู่ห้องเลเซอร์						●			
2.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าสู่ห้องเลเซอร์มายังพื้นที่เคลือบน้ำยาไวแสง (coating laser)	1	12.7	0.42		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
3.แม่พิมพ์รอเข้าสู่เครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง			11.3	●					
4.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องเคลือบน้ำยาไวแส (coat machine)	1	3	0.08		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
5.เคลือบน้ำยาไวแสงที่เครื่อง coat	4		11.8			●			จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง

ตารางที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)		

รายละเอียด	หน่วยผู้	(คน/เครื่อง)	(นาที/หน่วย)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
6. เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอยิงเลเซอร์ (laser shoot)	1	2	0.09		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
7.แม่พิมพ์รอเข้ายิงเลเซอร์				●					
8.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องยิงเลเซอร์ (laser machine)	1	2	0.09		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
9.ยิงเลเซอร์เพื่อสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ที่เครื่อง laser	1		32.2				●		จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
10.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอล้างน้ำยาไวแสง ไวแสง (develop cleaning)	1	2	0.085		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ

ตารางที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม:การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)		

รายละเอียด	หน่วยผู้	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
11. แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องล้างน้ำยาไวแสง						●			
12.ล้างน้ำยาไวแสงที่เครื่อง develop	1		13.4						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
13.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบงานจากเลเซอร์	1	12.7	0.50		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
14.ตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์	1		7.12				●		
15.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม (Cr plating)	4		11.8		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
รวม		41.1	65.87						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 3.2 แผนภูมิกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ กิจกรรมการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์พบว่าการขนถ่ายมีจำนวนกิจกรรมสูงสุด 7 กิจกรรมด้วยเวลา 1.35 นาที ระยะทางที่ใช้ 41.1 เมตร รองลงมาได้แก่ กิจกรรมการรอคอย การปฏิบัติงานและการตรวจสอบ มีจำนวนกิจกรรม 4, 3 และ1 กิจกรรมตามลำดับ รวมเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกิจกรรมนี้คือ 65.87 นาที ซึ่งยังไม่มีการบันทึกเวลาการรอคอยของแม่พิมพ์ในระบบ

ตารางที่ 3.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○	1	
กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร	การขนถ่าย ⇨	3	
	การรอคอย D	1	
	การตรวจสอบงาน □	1	
	ที่เก็บของ ▽	-	
	ระยะทาง (เมตร)	57.9	
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	เวลา (นาที)	52.7	

รายละเอียด	หน่วยนับ	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
1.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องเจาะเข็มเพชร									
2.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มายังเครื่องเจาะเข็มเพชร (helio K 500 machine)	1	24.2	0.65						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
3.สร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ด้วยการเจาะเข็มเพชรที่เครื่อง helio K 500	1		44						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง

ตารางที่ 3.3 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร)(ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
กิจกรรม : การสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร	การปฏิบัติงาน ○	1	
	การขนถ่าย ⇨	3	
	การรอคอย D	1	
	การตรวจสอบงาน □	1	
	ที่เก็บของ ▽	-	
	ระยะทาง (เมตร)	57.9	
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	เวลา (นาที)	52.7	

รายละเอียด	หน่วยใช้	ระยะทาง(เมตร)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
4.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบงานจากเครื่องเจาะเข็มเพชร	1	31.4	0.84		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
5.ตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร	1		7.17				●		
6.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม (Cr plating)	1	2.3	0.09		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
รวม		57.9	52.7						

จากตารางที่ 3.3 กิจกรรมการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรพบว่าการขนถ่ายเป็นกิจกรรมที่มีจำนวนสูงสุดคือ 3 กิจกรรม ด้วยระยะทางรวม 57.9 เมตร ใช้เวลา 1.57 นาที โดยเวลาการทำงานรวมทั้งหมดของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์คือ 52.74 นาที ซึ่งยังไม่มีการบันทึกเวลาการรอคอยของแม่พิมพ์ในระบบ

ตารางที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○	4	
กิจกรรม : การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง	การขนถ่าย ⇨	7	
	การรอคอย D	3	
	การตรวจสอบงาน □	1	
	ที่เก็บของ ▽	1	
	ระยะทาง (เมตร)	72.8	
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)	72.37	

รายละเอียด	หน่วย	ระยะทาง(เมตร)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
1. แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องชุบ						●			
2.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine)	1	3.8	0.12		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
3.ชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยโครเมียมที่เครื่อง hard-chrome plating	1		33.2	●					จำนวนเครื่องจักร 2 เครื่อง
4.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มาพื้นที่ตรวจงานชุบโครเมียม	1	2.8	0.07		●				ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
5.ตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์หลังชุบโครเมียม	1		5.24				●		

ตารางที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)		

รายละเอียด	หน่วย	(คน)แรงงาน	(นาที)เวลา	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
6.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing)	1	8.8	0.27						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
7.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing machine)	1	13.2	0.60						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
8.แม่พิมพ์รอขัดผิวด้วยกระดาษทราย									
9.ขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทรายที่เครื่อง sand paper polishing	1		12.4						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
10.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ห่อกระดาษ (wrapping)	1	3.2	0.08						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยมือ
11.ห่อแม่พิมพ์ด้วยกระดาษลูกฟูก	1		4.91						

ตารางที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ (กิจกรรม: การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง) (ต่อ)

แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต	สัญลักษณ์ของกิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
	การปฏิบัติงาน ○		
กิจกรรม : การเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็ง	การขนถ่าย ⇨		
	การรอคอย D		
	การตรวจสอบงาน □		
	ที่เก็บของ ▽		
	ระยะทาง (เมตร)		
สถานที่ : แผนกทำแม่พิมพ์	รวมเวลาทั้งหมด (นาที)		

รายละเอียด	หน่วยใช้	ระยะทาง(เมตร)	เวลา(นาที)	สัญลักษณ์ ○	⇨	D	□	▽	หมายเหตุ
12.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอปรู๊ฟ (proofing)	1	12	0.74						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
13.แม่พิมพ์รอเข้าเครื่องปรู๊ฟ									
14.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องปรู๊ฟ (proof machine)	1	17.5	0.69						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
15.ปรู๊ฟงานที่เครื่อง proof	1		13.4						จำนวนเครื่องจักร 1 เครื่อง
16.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอเก็บเข้าโกดัง	1	11.5	0.65						ขนย้ายแม่พิมพ์ด้วยรถเข็น
รวม		72.8	72.37						

จากตารางที่ 3.4 พบว่าการขนถ่ายเป็นกิจกรรมที่มีจำนวนสูงสุดคือ 7 กิจกรรม ใช้เวลาในการขนถ่าย 3.22 นาที ด้วยระยะทาง 72.8 เมตร รองลงมาได้แก่กิจกรรมการปฏิบัติงานมี 4 กิจกรรมใช้เวลาถึง 63.91 นาที และกิจกรรมการรอคอย 3 กิจกรรม โดยใช้เวลารวมทั้งหมด 72.37 นาที ซึ่งยังไม่มีการบันทึกเวลาการรอคอยของแม่พิมพ์ในระบบ

หลังจากได้แผนภูมิกระบวนการผลิตของแม่พิมพ์ สามารถวิเคราะห์ระบบของการทำงานเบื้องต้นได้ว่า ระยะเวลาของการผลิตแม่พิมพ์ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตเป็นหลัก แม้ว่าจำนวนของกิจกรรมการขนถ่ายจะมีมากแต่ระยะเวลาที่ใช้น้อย ทำให้ไม่มีผลต่อเวลารวมทั้งหมดของกระบวนการผลิต

3.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า (Input data analysis)

เมื่อตัดข้อมูลที่มีลักษณะความผิดปกติ (outliner) แล้ว จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ สำหรับวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ goodness of fit (Law,2007) และพิจารณาผลการทดสอบจากค่าของ kolmogorov-Smirnov Test ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม stat Fit (รายละเอียดเพิ่มเติมที่ ภาคผนวก ก.) กรณีที่ไม่สามารถสรุปผลของลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นอีกจนสามารถสรุปผลของลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลได้ ซึ่งผลสรุปทั้งหมดและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและค่า p-value ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
1.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดหยาบ	LOGNORMAL	L(0.355,2.85e-002)	0.177
2.ขัดหยาบแม่พิมพ์ที่เครื่อง polishing no.1	TRIANGULAR	T(8,12,13.4)	0.863
3.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอชุบทองแดง (copper plating)	LOGNORMAL	L(0.182,2.87e-002)	0.424

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
4.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine)	LOGNORMAL	L(0.181,2.54e-002)	0.101
5.ชุบผิวแม่พิมพ์ด้วยทองแดงที่เครื่อง copper plating	WEIBULL	60+W(1.68,2.4)	0.876
6.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยใบมีด (fine polishing #1)	LOGNORMAL	L(0.215,2.25e-002)	0.059
7.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปที่เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM)	LOGNORMAL	L(0.367,3.79e-002)	0.130
8.ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ครั้งที่ 1 ด้วยใบมีดที่เครื่อง CFM	TRIANGULAR	T(24,30.3.34.2)	0.879
9.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยหินขัด (fine polishing #2)	LOGNORMAL	L(0.339,3.98e-002)	0.388
10.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (polishing no.2 machine)	LORNORMAL	L(0.13,2.41e-002)	0.102
11.ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ครั้งที่ 2 ด้วยหินขัดที่เครื่อง polishing no.2	WEIBULL	9+W(2.51,3.7)	0.892
12.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดมันวาว (buffing)	LOGNORMAL	L(0.136,2.33e-002)	0.150

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
13.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องขัดมันวาว (buff machine)	LOGNORMAL	L(0.13,2.32e-002)	0.152
14.ขัดผิวแม่พิมพ์ให้มันวาวที่เครื่อง buff	TRIANGULAR	T(10,10.6,13.1)	0.553
15.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอสร้างภาพ	LOGNORMAL	L(0.13,2.33e-002)	0.103
16.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าสู่ห้องเลเซอร์มายังพื้นที่เคลือบน้ำยาไวแสง (coating laser)	LOGNORMAL	L(0.419,3.85e-002)	0.488
17.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง (coat machine)	LOGNORMAL	L(7.98e-002,2.32e-002)	0.0779
18.เคลือบน้ำยาไวแสงที่เครื่อง coat	TRIANGULAR	T(10,11.8,13.5)	0.978
19.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอยิงเลเซอร์ (laser shoot)	WEIBULL	W(5.18,0.104)	0.0625
20.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องยิงเลเซอร์ (laser machine)	LORNORMAL	L(9.73e-002,2.09e-002)	0.0636
21.ยิงเลเซอร์เพื่อสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ที่เครื่อง laser	WEIBULL	30+W(2.17,2.47)	0.618
22.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอล้างน้ำยาไวแสง (develop cleaning)	LORNORMAL	L(9.28e-002,2.08e-002)	0.0822

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
23.ล้างน้ำยาไวแสงที่เครื่อง develop	TRIANGULAR	T(11,12.8,16.1)	0.919
24.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบงานจากเลเซอร์	LORNORMAL	L(0.497,5.26e-002)	0.188
25.ตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์	TRIANGULAR	T(6,6.83,8.44)	0.854
26.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เลเซอร์ไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม	LORNORMAL	L(9.53e-002,2.27e-002)	0.0638
27.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มายังเครื่องเจาะเข็มเพชร (helio K 500 machine)	LOGNORMAL	L(0.648,3.85e-002)	0.151
28.สร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ด้วยการเจาะเข็มเพชรที่เครื่อง helio K 500	EXPO	15+E(29)	0.736
29.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบงานจากเครื่องเจาะเข็มเพชร	LOGNORMAL	L(8.35,4.24e-002)	0.300
30.ตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร	WEIBULL	6+W(2.16,1.32)	0.492
31.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข็มเพชรไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม (Cr plating)	LOGNORMAL	L(9.59e-002,2.04e-002)	0.0546

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
32.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มาที่เครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine)	WEIBULL	W(6.14,0.123)	0.0512
33.ชุบแม่พิมพ์ด้วยโครเมียมที่เครื่อง hard-chrome plating	UNIFORM	U(33.3,7.32)	0.770
34.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มาพื้นที่ตรวจงานชุบโครเมียม	LOGNORMAL	L(7.29e-002,1.79e-002)	0.0715
35.ตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์หลังชุบโครเมียม	TRIANGULAR	T(4,5.27,6.27)	0.585
36.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing)	LOGNORMAL	L(0.273,2.85e-002)	0.186
37. เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing machine)	LOGNORMAL	L(0.601,5.48e-002)	0.131
38.ขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทรายที่เครื่อง sand paper polishing	WEIBULL	11+W(1.8,1.61)	0.834
39.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ห่อกระดาษ (wrapping)	LOGNORMAL	L(9.47e-002,2.15e-002)	0.0515
40.ห่อแม่พิมพ์ด้วยกระดาษลูกฟูก	WEIBULL	3+W(3.62,2.12)	0.563

ตารางที่ 3.5 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลป้อนเข้าและค่าพารามิเตอร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล	พารามิเตอร์ (หน่วยเวลา:นาที)	ค่า p-value
41.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอปรู๊ฟ (proofing)	BETA	B(58.6,8.61,0,0.833)	0.0555
42.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องปรู๊ฟ (proof machine)	LOGNORMAL	L(0.689,4.31e-002)	0.156
43.ปรู๊ฟงานที่เครื่อง proof	TRIANGULAR	T(11,13.8,15.6)	0.695
44.เคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอเก็บเข้าโกดัง	LOGNORMAL	L(0.652,4.36e-002)	0.164

หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง และค่าพารามิเตอร์ได้แล้ว ขั้นตอนถัดมาก็คือการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

สำหรับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์นั้น ในที่นี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป promodel 7.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตได้หลากหลายโดยมีสมมติฐานของการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

3.2.1 สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

-แบบจำลองสถานการณ์นี้เป็นระบบแบบช่วงเวลา (discrete event)

-สร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ตั้งแต่เมื่อมีลูกเหล็กเข้ามายังพื้นที่รับลูกเหล็ก ผ่านขั้นตอนกระบวนการผลิตต่างๆตามรูปที่ 1.2 จนกระทั่งแม่พิมพ์เคลื่อนย้ายไปสู่พื้นที่รอเก็บแม่พิมพ์เข้าสู่โกดังเก็บแม่พิมพ์

-หน่วยเวลาที่ใช้ในแบบจำลองทั้งหมดคือนาที , หน่วยของระยะทางที่ใช้คือเมตร

-ระบบมีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น 3 กะ โดยถือว่าการทำงานของทุกกะไม่มีความแตกต่างกัน

-เครื่องจักรทุกเครื่องสภาพการทำงานเป็นปกติ โดยจะถือว่าไม่มีเครื่องจักรเสียหรือมีการหยุดเพื่อซ่อมแซม

3.2.2 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Promodel 7.0

องค์ประกอบสำคัญของการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่

3.2.2.1 ประเภทของentities

สำหรับ entity ของแบบจำลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- Cylinder คือแม่พิมพ์ที่เริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนแรก จากรูป 1.2 คือขั้นตอนที่ 1-9 ทั้งหมด

- Re-Cr cylinder คือแม่พิมพ์ที่เป็นงานชุบโครเมียมใหม่ ซึ่งกระบวนการผลิตจากรูป 1.2 นั้นจะมีเฉพาะขั้นตอนที่ 7-9 เท่านั้น

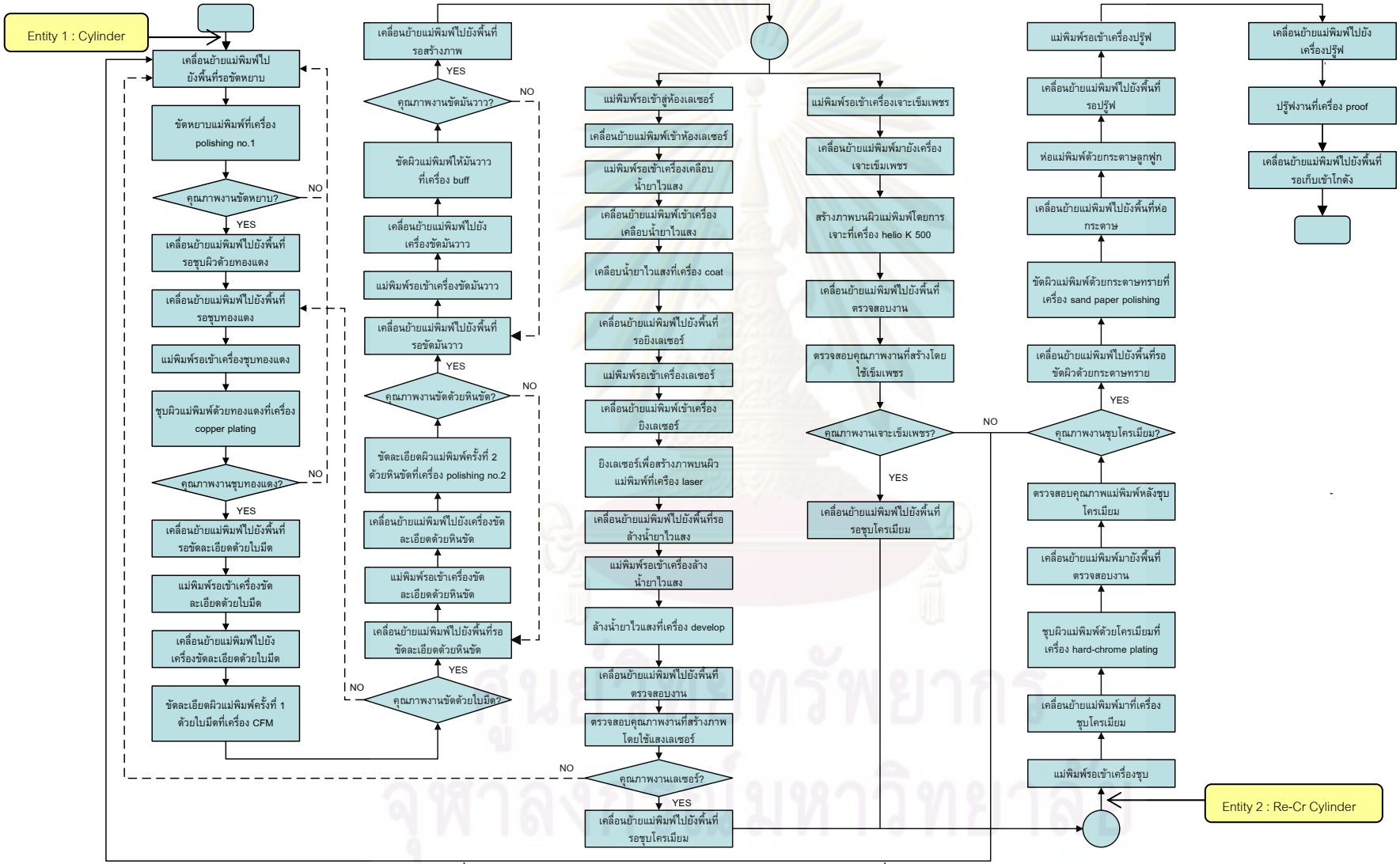
3.2.2.2 การกำหนด location

สำหรับ location ของแบบจำลองคือการกำหนดตัวแทนในระบบที่อยู่ในตำแหน่งตายตัวเช่น เครื่องจักร ตำแหน่งรับและเก็บ entities เป็นต้น ซึ่งในแบบจำลองนี้จะเป็นตัวแทนของ เครื่องจักรต่างๆในกระบวนการผลิต ,พื้นที่สำหรับพักแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการผลิต, พื้นที่ระหว่างรอคอยเข้าสู่เครื่องจักร, พื้นที่ตรวจสอบงาน และแถวคอยที่จะเข้าสู่เครื่องจักร โดยเครื่องจักรทุกประเภทจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง และมีเวลาที่เครื่องหยุดระหว่างช่วงเวลาพักของพนักงานประจำเครื่องทุกกะๆละ 1 ชั่วโมง รวมเวลาที่เครื่องจักรพักใน 1 วันทำงานคือ 3 ชั่วโมงต่อวัน

3.2.2.3.การกำหนด processing

การสร้างจะต้องอ้างอิงจากการทำงานจริงในกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนต่างๆจะมีลำดับตามแผนภูมิกระบวนการผลิตในตารางที่ 3.1-3.4 และนำค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3.5 มาใช้ สามารถเขียนเป็นแผนภูมิลำดับวิธีการสร้างแบบจำลองดังรูปที่3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงกิจกรรมกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

-สำหรับการสร้างแบบจำลองในส่วนของ processing นั้นจะต้องมีการกำหนดกฎการจ่ายงานในการลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักร ซึ่งทุกเครื่องจักรจะใช้กฎการจ่ายงานเดียวกันคือ FIFO (First In First Out) เมื่อเครื่องจักรว่างสามารถใช้งานได้ก็จะมีแม่พิมพ์ที่รออยู่ก่อนเข้าสู่เครื่องจักรเป็นลำดับแรกเสมอ

-มีการกำหนดของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ซึ่งงานที่พบว่าเป็นของเสียก็จะถูกส่งกลับไปยังเครื่องจักรในสถานีงานก่อนหน้านั้น โดยอัตราของเสียได้จากข้อมูลการผลิตประจำวันในอดีต โดยสามารถสรุปเปอร์เซ็นต์ของของเสียและสถานีงานที่จะต้องทำการแก้ไขงานเสีย แสดงดังตารางที่ 3.6 ซึ่งงานเสียส่วนใหญ่จะต้องกลับไปแก้ไขที่กระบวนการเตรียมผิวแม่พิมพ์ใหม่อีกครั้ง ยกเว้นงานเสียที่เกิดที่ขั้นตอนการขัดละเอียดด้วยหินขัด และขั้นการขัดมันวาวเท่านั้นที่สามารถกลับไปแก้ไขได้ที่สถานีงานเดิม สำหรับสถานีงานการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นั้น จะคิดเปอร์เซ็นต์ของเสียหลังจากแม่พิมพ์ผ่านการตรวจสอบทางคุณภาพของงานสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์แล้ว และขั้นตอนของการขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทราย จะไม่มีงานเสียที่สถานีงานนี้เนื่องจากแม่พิมพ์ทั้งหมดจะผ่านการตรวจสอบทางคุณภาพมาอย่างดีแล้ว จึงจะสามารถส่งต่อแม่พิมพ์มายังสถานีงานนี้ได้ ส่วนกระบวนการห่อกระดาษเป็นขั้นตอนสำหรับการปกป้องแม่พิมพ์ระหว่างการขนส่งเคลื่อนย้ายเท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์แต่อย่างใด และงานปรู๊ฟจะไม่มีรายงานการบันทึกของเสียเช่นกัน เนื่องจากหลังจากการปรู๊ฟแล้วนั้น จะมีการนำฟิล์มที่ได้จากการปรู๊ฟมาตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 วันหลังจากได้รับฟิล์มแล้ว และเมื่อพบความผิดปกติเกิดขึ้นจึงจะทำการตรวจสอบย้อนกลับไปแม่พิมพ์ที่พบปัญหาอีกครั้งต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 อัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่ละสถานีงาน

เครื่องจักร	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	สถานีงานที่แก้ไขงานเสีย
Polishing no.1 machine	2	Polishing no.1 machine
Copper plating machine	5	Polishing no.1 machine
CFM machine	5	Copper plating machine
Polishing no.2 machine	2	Polishing no.2 machine
Buff machine	2	Buff machine
laser machine (after QC)	5	Polishing no.1 machine
Helio K 500 machine	2	Polishing no.1 machine
Hard-chrome plating mc.	2	Polishing no.1 machine

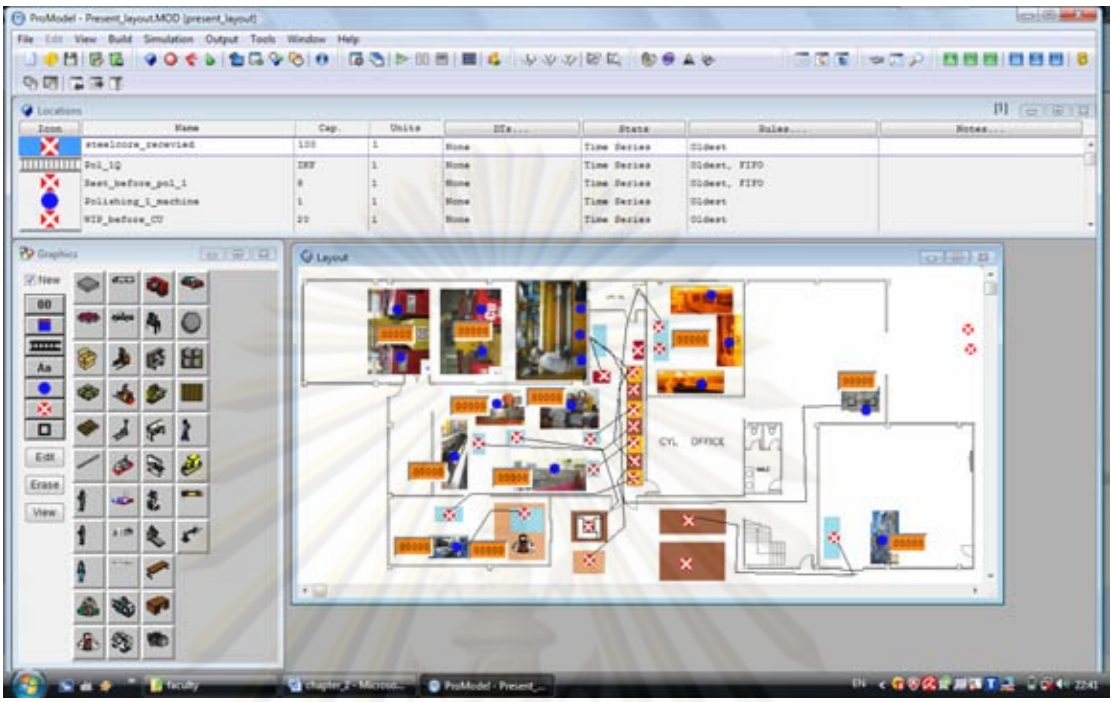
3.2.2.4 การกำหนด arrival

เนื่องจากมีจำนวนของ entities 2 ชนิด ดังนั้นจึงมีเวลาการมาถึงจำนวนเท่ากันซึ่งสามารถระบุเวลาได้ดังนี้

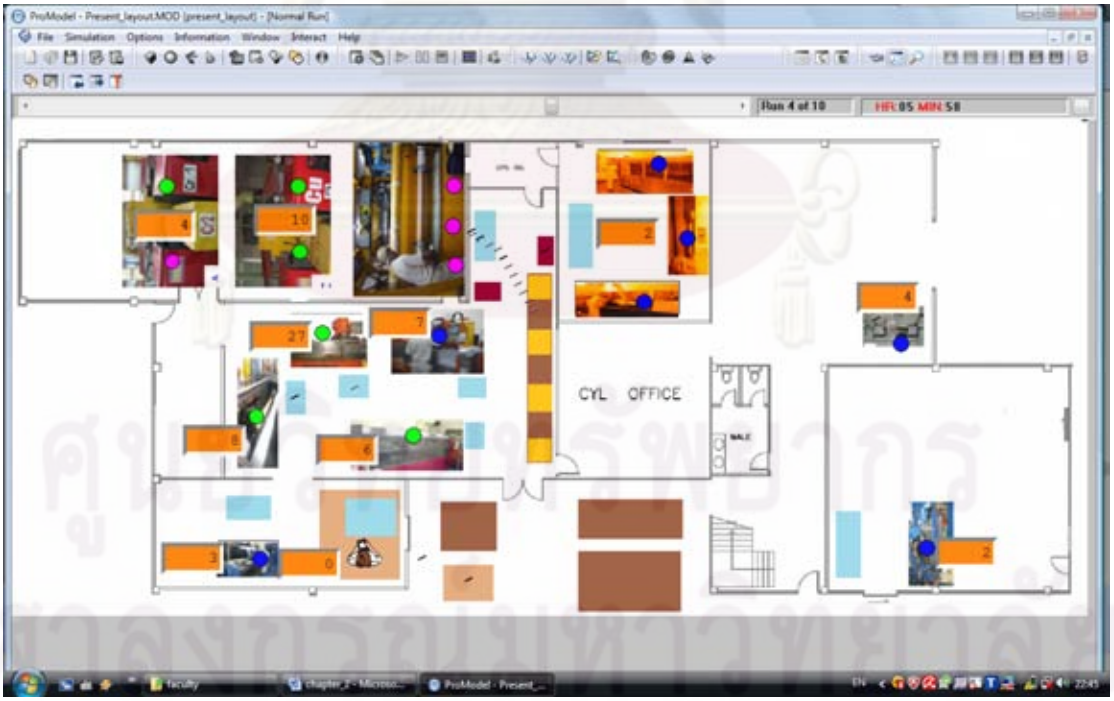
- เวลาการเข้ามาถึงของแม่พิมพ์ชนิด Cylinder หรือ arrival rate ของแม่พิมพ์ประเภทนี้ จะมีการจัดเตรียมแม่พิมพ์ที่จำเป็นต้องมีการทำใหม่ล่วงหน้า 1 วัน โดยในแต่ละวันแม่พิมพ์ชนิดนี้จะมีจำนวนที่แม่พิมพ์ที่เข้าสู่ระบบเป็นลักษณะการกระจายแบบ triangular ที่มีพารามิเตอร์ T(23,38.9,44) ลูกต่อวัน อัตราของเวลาการมาถึงคือทุกๆ 24 ชั่วโมงหรือ 1 ครั้งต่อวัน

-เวลาการเข้ามาถึงของแม่พิมพ์ชนิด Re-Cr Cylinder หรือ Arrival rate ของแม่พิมพ์งานชุบโครเมียมใหม่นั้น เป็นหน้าที่รับผิดชอบของแผนกโกดังแม่พิมพ์ ในการนำแม่พิมพ์ที่จำเป็นต้องมีการชุบโครเมียมใหม่มาส่งที่แผนกทำแม่พิมพ์ทุกกะๆละ 8 ลูก ดังนั้นแต่ละวันจะมีแม่พิมพ์ที่ต้องชุบโครเมียมใหม่ 24 ลูกต่อวัน

จากนั้นสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ด้วย โปรแกรม promodel 7.0 ต่อไป (รายละเอียดของการสร้างโปรแกรมดูที่ภาคผนวก-ข.) แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จากโปรแกรม Promodel 7.0



รูปที่ 3.3 ลักษณะการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.3 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง (Verification) และการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

3.3.1 การพิสูจน์ยืนยันแบบจำลอง (Verification)

ขณะที่มีการสร้างแบบจำลองนั้น จะต้องมีการตรวจสอบแบบจำลองเป็นระยะๆ ซึ่งการพิสูจน์ยืนยันแบบจำลองนั้นสามารถทำได้ดังนี้

-การตรวจสอบจากแผนภูมิกระบวนการผลิต โดยจะต้องสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนของแผนภูมิที่ผู้สร้างแบบจำลองนั้นได้ทำการบันทึกและสังเกตจากกระบวนการผลิตจริง โดยได้รับคำแนะนำจากผู้จัดการแผนกทำแม่พิมพ์สำหรับการอธิบายกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ด้วย นอกจากนี้ส่วนของโปรแกรมเองนั้นก็จะมีระบบการตรวจสอบวิธีการเขียนแบบจำลองหรือตรวจสอบคำสั่งต่างๆที่ใช้โดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้สร้างแบบจำลองนั้นจะไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้หากมีตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่เขียนผิดพลาดหรือใช้คำสั่งไม่ถูกต้อง ซึ่งสามารถตรวจทานและทำการแก้ไขได้ในระหว่างการเขียนและเมื่อจะวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม นอกจากนี้ยังตรวจสอบได้จากการใส่ข้อมูลป้อนเข้าและดูผลลัพธ์ที่ได้ว่ามีความสมเหตุสมผลกันหรือไม่ด้วยในเบื้องต้นได้ ตัวอย่างของหน้าต่างที่แสดงเมื่อมีข้อผิดพลาดในการเขียนคำสั่งจากโปรแกรม promodel 7.0 ดังรูป ทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ได้

รูปที่ 3.4 หน้าต่างแสดงตำแหน่งที่ผิดพลาดของการเขียนโปรแกรม

3.3.2 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้น เพื่อความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่าสามารถเป็นตัวแทนระบบงานจริงได้ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบทางสถิติแบบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในการผลิตจริง สำหรับข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

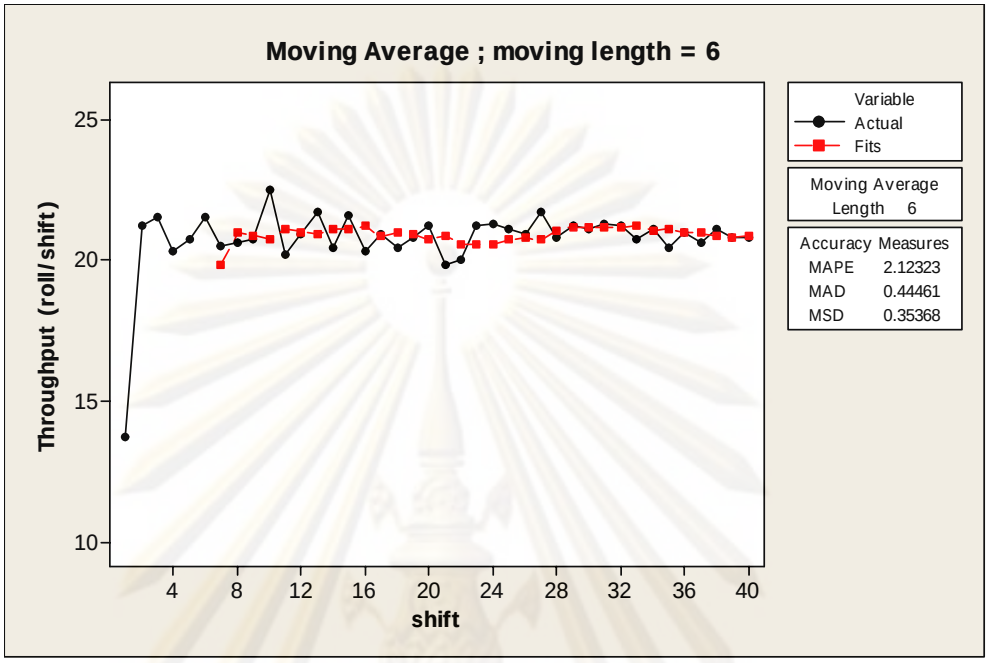
คือปริมาณงานที่ทำได้แต่ละวันของแต่ละเครื่องจักร ซึ่งได้นำข้อมูลมาจากรายงานผลผลิตของแต่ละขั้นตอนในแต่ละวันของแผนกทำแม่พิมพ์มาเปรียบเทียบกัน (ผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค.) ผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบจำนวนแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในแต่ละขั้นตอนเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม SPSS แสดงดังตารางที่ 3.7 นี้

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีทางสถิติ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์

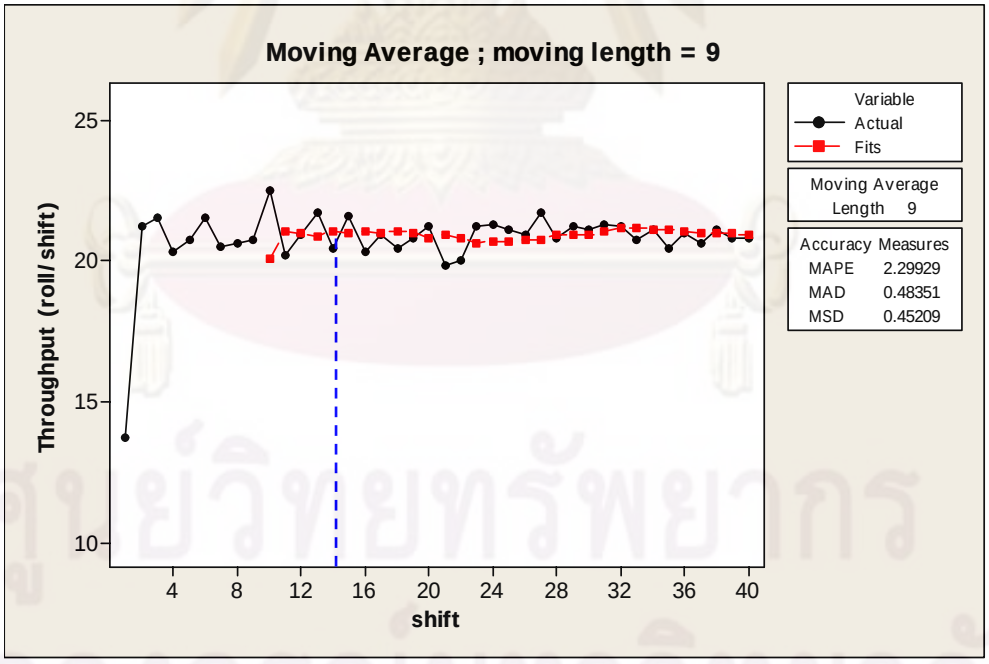
เครื่องจักร	ค่า P-value
Polishing no.1 machine	0.322
Copper plating machine	0.343
CFM	0.343
Polishing no.2 machine	0.468
Buff machine	0.247
Coat machine	0.372
Laser machine	0.607
Develop machine	0.422
Helio K 500 machine	0.824
Hard-chrome plating machine	0.096
Sand paper polishing machine	0.210
Proof machine	0.693

3.4 การหาช่วงเวลา Warm up period

เนื่องจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์นั้นเป็นระบบแบบNon-terminating นั่นคือมีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงการพิจารณาช่วงเวลาที่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (steady state) ด้วย ซึ่งการทำงานของระบบเป็นลักษณะวัฏจักรการทำงานเป็นกะๆละ 8 ชั่วโมง จึงต้องมีการคำนวณค่า warm-up period ด้วยวิธีของ Welch (Welch's procedure) แบบ cycle parameter (Law,2007:534-536) ทำการรันแบบจำลองและเก็บข้อมูลจำนวนของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในแต่ละกะ หรือทุกๆ 8 ชั่วโมงเป็นเวลาทั้งสิ้น 40 กะ (320 ชั่วโมง) จำนวนการซ้ำทั้งหมด 10 รอบ และใช้ค่า moving average (w) = 6 และ 9 เพื่อปรับให้กราฟเรียบขึ้นดังรูป 3.5



(ก) Moving length = 6



(ข) Moving length = 9

รูปที่ 3. 5 กราฟแสดงปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในแต่ละกะ (8 ชั่วโมง) ที่มีค่า Moving average

(ก) w =6 , (ข) w= 9 โดยใช้โปรแกรม MINITAB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.5 (ข) ที่มีค่า w= 9 เส้นกราฟที่ได้มีความเรียบมากกว่า ดังนั้นจึงพิจารณาค่า warm up period จากกราฟที่มีค่า moving length = 9 โดยพบว่า ค่า warm up period ที่ได้คือ เวลาการทำงาน 13 กะ หรือ 104 ชั่วโมง

จากวิธีดำเนินการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ทำให้ได้แบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถที่จะนำไปใช้งานเพื่อเป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้แล้ว ซึ่งจะนำเสนอวิธีการนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้งานสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยจะกล่าวไว้ในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การใช้งานแบบจำลองสถานการณ์และผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากบทที่แล้วได้กล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยตามแต่ละขั้นตอน จนกระทั่งได้แบบจำลองของระบบกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้งานเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตระบบการพิมพ์กราเวียร์ รวมทั้งการเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานและผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4.1 การใช้งานแบบจำลองสถานการณ์

สำหรับวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์นั้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ และพิจารณาหาจุดที่ทำให้ระบบเกิดการติดขัดหรือเป็นคอขวด ทั้งนี้เพื่อจะได้ทำการแก้ไขจุดที่เป็นปัญหาของระบบก่อน ดังนั้นในการใช้งานแบบจำลองสถานการณ์จึงทำการรันแบบจำลองเป็นเวลา 1 เดือน (720 ชั่วโมง) จำนวนการซ้ำ (replication) ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยมีค่า warm-up period = 104 ชั่วโมง (13 กะ) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4

4.1.1 **สมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษา** ได้แก่

ก) อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (% utilization)

เป็นการวัดผลการทำงานของเครื่องจักรตลอดระยะเวลาที่มีการผลิตว่าเครื่องจักรมีการใช้งานมากเพียงใด การวัดสมรรถนะของอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรนี้ยังเป็นตัวที่ชี้บ่งได้ว่า เครื่องจักรใดในกระบวนการผลิตเป็นคอขวดของระบบ ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้งานในกระบวนการผลิตติดขัด เนื่องมาจากมีจำนวนของงานที่รอคอยเข้าสู่เครื่องจักรนั้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่เกิดความสมดุลของการไหลของงานในระบบ ส่งผลไปยังเครื่องจักรในสถานีงานถัดไปเกิดการว่างงานเพราะไม่มีงานป้อนเข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องจักรใดที่มีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงที่สุดในระบบงานแสดงว่าเครื่องจักรนั้นเป็นคอขวดของระบบ

ข) เวลาการรอคอยงาน (waiting time)

สำหรับเวลารอคอยงานของในระบบ เป็นเวลาที่งานมีการรอคอยทั้งหมดในกระบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นเวลาของงานที่รออยู่บริเวณแถวคอยหน้าเครื่องจักร เวลาของงานที่เข้าสู่เครื่องจักรและรอให้เครื่องจักรพร้อมใช้งานได้ ซึ่งตัววัดสมรรถนะนี้สามารถ

ช่วยในการบ่งชี้ว่าเวลาการรอคอยที่สูญเปล่ามาจากเครื่องจักรใด ซึ่งเครื่องจักรเครื่องใดมีงานรอคอยงานมากที่สุดทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเครื่องจักรนั้นอาจจะเป็นคอขวดของระบบ ซึ่งจะต้องพิจารณาประกอบกับตัววัดสมรรถนะในข้อที่ ก) ร่วมด้วย

ค) เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิต (flow time)

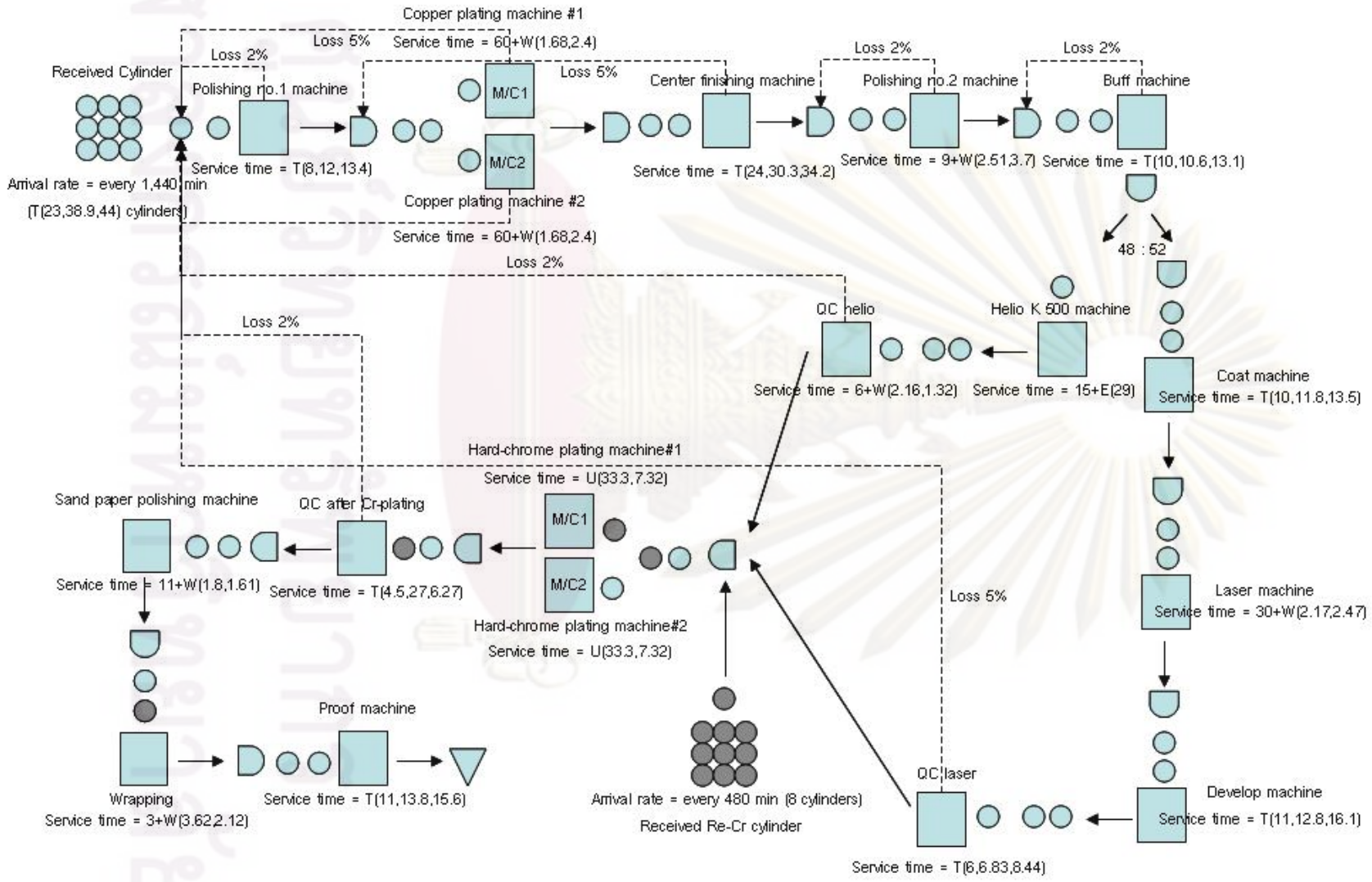
สำหรับเวลาไหลของงานในกระบวนการผลิตเป็นตัววัดสมรรถนะที่รวมเวลาทั้งหมดที่แม่พิมพ์อยู่ในระบบ ในที่นี้ประกอบไปด้วยเวลาทั้งหมด 4 ประเภทคือ เวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสถานีงาน เวลารอคอยงาน เวลาที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังสถานีงานต่างๆ และเวลาที่รอเข้าเครื่องจักรเนื่องจากเครื่องจักรยังไม่พร้อมใช้งาน ซึ่งประโยชน์ของการพิจารณาเวลาไหลของงานจะทำให้ทราบว่า เวลาของงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นอย่างไร เกิดเวลาที่สูญเปล่าเนื่องมาจากการรอคอยงานมากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่การพิจารณาถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากการทำงาน และหาทางปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นต่อไปได้

ง) ปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลา (throughput)

ตัววัดสมรรถนะนี้เป็นการวัดผลประสิทธิภาพผลของการทำงานในระบบว่าสามารถผลิตงานได้ตามจำนวนหรือแผนการผลิตในแต่ละช่วงเวลาหรือไม่ มีจำนวนของเสียระหว่างกระบวนการผลิตปริมาณมากน้อยเพียงใดในแต่ละสถานีการผลิตงาน ซึ่งสถานีงานใดที่พบงานเสียมากทำให้ต้องมีงานทำซ้ำ (rework) และเกิดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิตมากขึ้น เนื่องจากต้องมีการส่งงานกลับไปแก้ไข สำหรับกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์นี้จะพิจารณาปริมาณงานที่ทำได้แต่ละเดือน

4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์สภาพการผลิตปัจจุบัน

จากแบบจำลองสถานการณ์ที่ได้ ทำการรันแบบจำลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน หรือ 720 ชั่วโมง โดยมีค่า Warm up period = 104 ชั่วโมงหรือ 13 กะการทำงาน เพื่อให้เข้าใจระบบของแบบจำลองได้ง่ายยิ่งขึ้นจึงแสดงในรูปแบบของ queueing network ดังรูปที่ 4.1นี้ ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ระดับความเชื่อมั่นที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมีสมรรถนะของกระบวนการผลิตเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนภาพ queueing network ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์

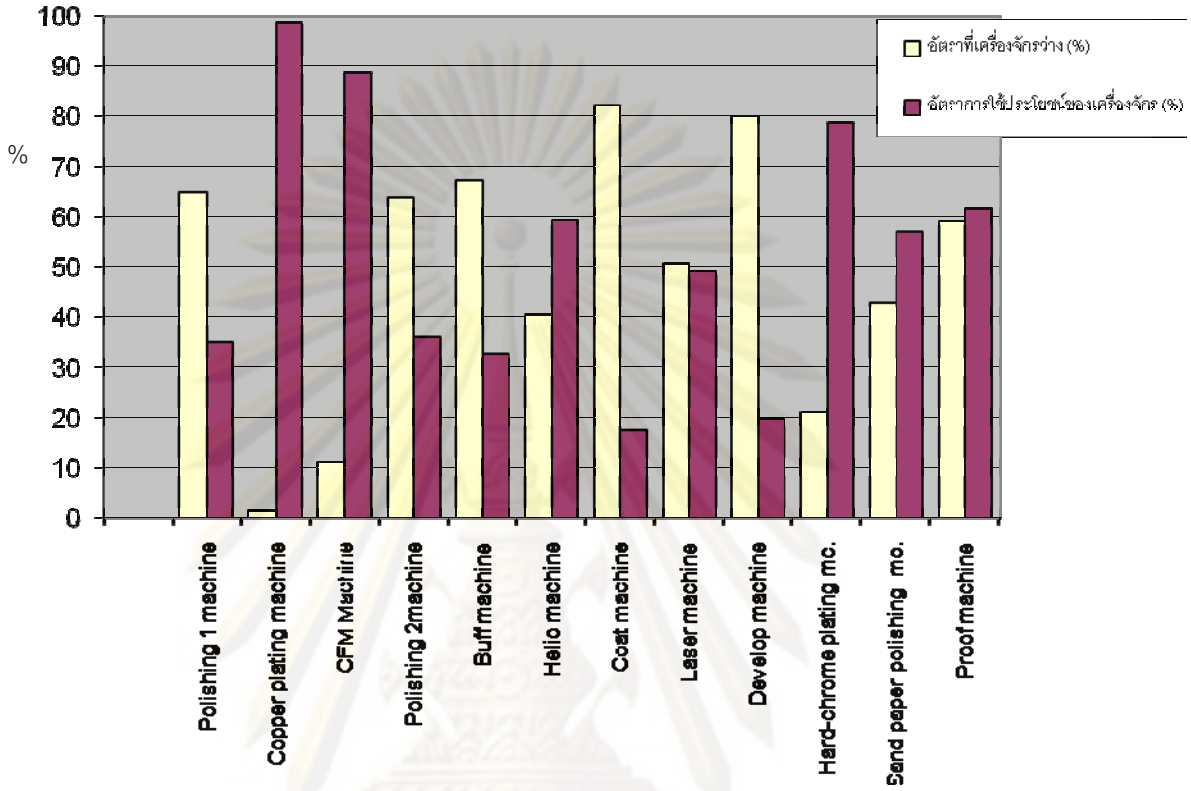
ตารางที่4.1 อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรและอัตราที่เครื่องจักรว่างงาน จากการจำลองสถานการณ์ ณ สภาพการผลิตปัจจุบัน ระยะเวลา 1 เดือน

เครื่องจักร	จำนวนของเครื่องจักร (เครื่อง)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เครื่องจักรผลิตได้เฉลี่ยต่อวัน (ลูก)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตต่อลูก (นาที)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)	อัตราที่เครื่องจักรว่าง (%)
Polishing no.1 machine	1	40	11.13	35.07	64.93
Copper plating machine	2	40	62.01	98.63	1.37
CFM Machine	1	39	29.44	88.77	11.23
Polishing no.2 machine	1	38	12.28	36.08	63.92
Buff machine	1	38	11.24	32.85	67.15
Helio machine	1	17	44.14	59.48	40.52
Coat machine	1	19	11.77	17.62	82.38
Laser machine	1	19	32.18	49.21	50.79
Develop machine	1	19	13.27	19.89	80.11
Hard-chrome plating mc.	2	60	33.31	78.82	21.18
Sand paper polishing mc.	1	58	12.44	56.95	43.05
Proof machine	1	58	13.45	61.65	59.03

หมายเหตุ : เวลาที่เครื่องจักรทำงานจริงคือ 21 ชั่วโมง เนื่องจากพนักงานควบคุมเครื่องจักรจะมีการพักระหว่างกะๆละ 1 ชั่วโมง

จำนวนแม่พิมพ์ใหม่ที่เข้ามาในแต่ละวันเฉลี่ยที่วันละ 34 ลูก จากตารางที่ 4.1 พบว่าจากจำนวนแม่พิมพ์ที่เครื่องจักรผลิตได้จะมีปริมาณแม่พิมพ์ที่สูงกว่า เนื่องมาจากมีงานแก้ไขระหว่างกระบวนการผลิตเกิดขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จำเป็นต้องส่งงานกลับมาแก้ไขที่เครื่อง polishing no. 1 สำหรับเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเคลือบผิวแม่พิมพ์ให้แข็งได้แก่ เครื่อง hard-chrome plating, sand paper polishing และ proof นั้นจะมีปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้สูงกว่าเครื่องจักรที่ขั้นตอนอื่นๆ เพราะมีงานของแม่พิมพ์ที่ต้องชุบโครเมียมใหม่เข้ามาด้วย

โดยเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์และอัตราที่เครื่องจักรว่างงานเป็นแผนภูมิแท่งแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรและอัตราที่เครื่องจักรว่างงาน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงที่สุดคือเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) ซึ่งมีอัตราการใช้ประโยชน์สูง 98.63 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์สูงสุดอันดับรองลงมา ได้แก่ เครื่องขัดละเอียดแม่พิมพ์ด้วยใบมีด (CFM) เครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine) และเครื่องปรู๊ฟ (proof machine) โดยมีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรเฉลี่ยที่ 88.77 ,78.82 และ 61.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สำหรับผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ของปริมาณแม่พิมพ์ใหม่ที่ผลิตได้ทั้งหมด ปริมาณแม่พิมพ์ใหม่ที่ค้างในระบบ และเวลาเฉลี่ยต่างๆในระบบ ณ เวลาที่ 720 ชั่วโมง (1 เดือน) พบว่า สำหรับงานผลิตแม่พิมพ์ใหม่ที่มีปริมาณแม่พิมพ์เข้ามาทั้งสิ้นจำนวน 1,031 ลูก/เดือน สามารถผลิตแม่พิมพ์ได้จำนวน 1,027 ลูกต่อเดือนหรือเฉลี่ยเดือนละ 34 ลูก มีจำนวนของแม่พิมพ์ค้างในระบบจำนวน 4 ลูกต่อเดือน ใช้เวลาเฉลี่ยทั้งหมดในระบบ 1,903.27.09 นาทีต่อลูก โดยเวลาส่วนใหญ่เป็นเวลารอคอยซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากถึง 1,493.47.75 นาที ซึ่งเวลาของแม่พิมพ์ที่รออยู่ในแถวคอยเฉพาะเพื่อเข้าเครื่องชุบทองแดงมีเวลาสูงเฉลี่ยถึง 1,054.85 นาที และเวลาที่ใช้ใน

การดำเนินการผลิตเฉลี่ยเพียง 276.90 นาที เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งานเฉลี่ย 121.81 นาที เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เฉลี่ย 11.09 นาที สาเหตุที่ทำให้มีงานค้างในระบบเนื่องมาจากการเกิดของเสียในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ต้องนำแม่พิมพ์กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตอีกครั้ง ซึ่งการแก้ปัญหาผลิตงานไม่ได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้เฉลี่ยที่ 38 ลูกต่อวันของทางแผนกทำแม่พิมพ์ ณ ปัจจุบันคือการกระจายงานออกไปให้ผู้ผลิตภายนอกบางส่วน รวมทั้งอาจจะมีการต่อรองกับทางฝ่ายขายในการเลื่อนวันมอบงานออกไป หากสามารถเจรจากับลูกค้าได้ นอกจากนี้กรณีที่มีการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานแล้วมีจำนวนของแม่พิมพ์ค้างสะสมมากขึ้นนั้น ทางแผนกทำแม่พิมพ์จะทำการเก็บงานที่ค้างจากช่วงที่มีวันหยุดนัตขัตฤกษ์ ด้วยการให้พนักงานทำงานล่วงเวลาในช่วงเวลาวันหยุดยาว เป็นการระบายงานออกจากแผนกทำแม่พิมพ์ หรือช่วงที่มีปริมาณงานเข้ามาลดลงก็จะเป็นช่วงเวลาที่สามารถระบายงานที่ค้างภายในแผนกได้เช่นกัน

ส่วนงานชุบโครเมียมใหม่สามารถชุบโครเมียมเสร็จจำนวนเฉลี่ย 704 ลูกต่อเดือน มีจำนวนงานชุบโครเมียมใหม่ค้างในระบบ 16 ลูกต่อเดือน ซึ่งมาจากการเกิดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียมทำให้ต้องนำแม่พิมพ์กลับไปทำการแก้ไขใหม่ โดยต้องเริ่มเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ขั้นตอนของการเตรียมผิวแม่พิมพ์ เวลาที่ใช้ทั้งหมดในระบบเฉลี่ย 195.53 นาทีต่อลูก โดยเวลาส่วนใหญ่เป็นเวลารอคอยเฉลี่ย 95.74 นาที มีเวลาที่ใช้ในการผลิตเฉลี่ย 70.65 นาที และเวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งานเฉลี่ย 25.19 นาที แสดงผลดังตารางที่ 4.2 นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ และค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆของระบบ

ประเภทของ Entities	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามา(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	เวลาเฉลี่ย (นาที/ลูก)				
				เวลาทั้งหมดในระบบ	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์	เวลารอคอยในระบบ	เวลาที่ใช้ในการผลิต	เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,903.27	11.09	1,493.47	276.90	121.81
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	195.53	3.95	95.74	70.65	25.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์สอดคล้องกับแผนภูมิกระบวนการผลิต (flow process chart) จากตารางที่ 3.1-3.4 เกี่ยวกับการที่มีกิจกรรมการขนถ่ายที่มีจำนวนมาก ในกระบวนการผลิต แต่ใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ระหว่างสถานีงานน้อย ทำให้ไม่มีผลต่อเวลารวมทั้งหมดของการผลิต สำหรับเวลารอคอยของแม่พิมพ์ซึ่งยังไม่มีการบันทึกไว้ในแผนภูมิกระบวนการผลิต ผลจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์สามารถแสดงให้เห็นได้ชัดว่าเวลาที่มีผลต่อเวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ เวลารอคอยของแม่พิมพ์เพื่อเข้าสู่เครื่องจักรในแต่ละสถานีงานนั่นเอง โดยเวลาของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการรอคอยเพื่อเข้าสู่เครื่องจักรเครื่องแต่ละเครื่องจากแบบจำลองสถานการณ์ของระบบแสดงผลดังตารางที่ 4.3

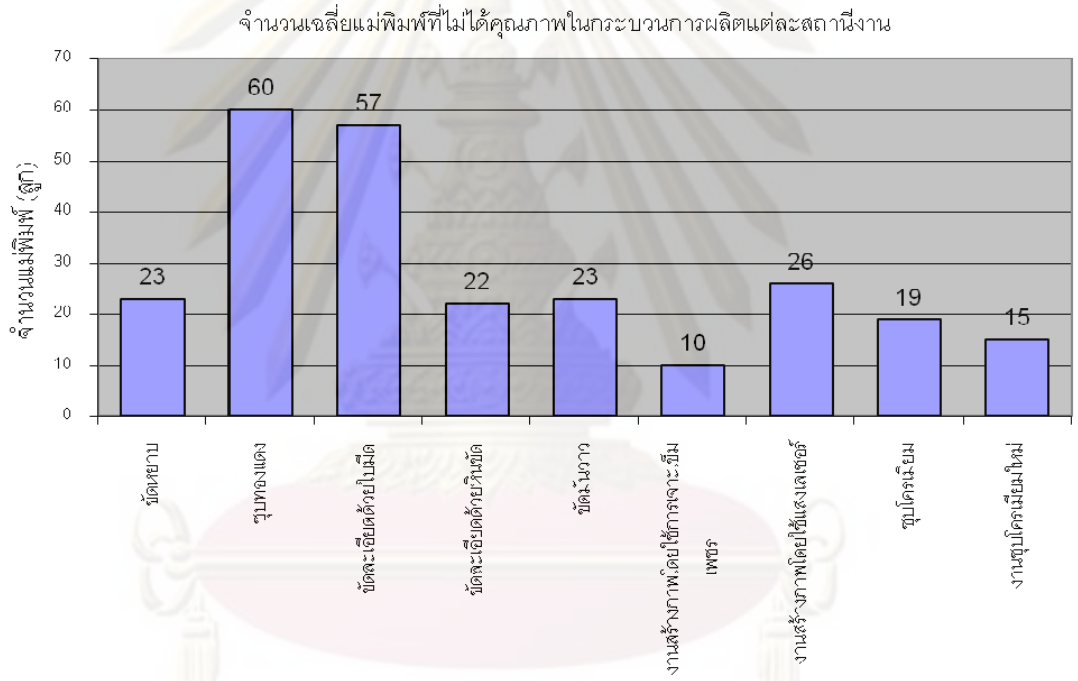
ตารางที่ 4.3 เวลาเฉลี่ยที่แม่พิมพ์รอคอยเพื่อเข้าเครื่องจักร

เครื่องจักร	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการรอคอยเพื่อเข้าเครื่องจักร (นาที/ลูก)
Polishing 1 machine	147.78
Copper plating machine	1,054.85
CFM Machine	16.95
Polishing 2machine	3.30
Buff machine	1.69
Helio machine	32.82
Coat machine	1.79
Laser machine	3.62
Develop machine	4.18
Hard-chrome plating mc.	74.25
Sand paper polishing mc.	7.11
Proof machine	2.45

จากผลของเวลาที่แม่พิมพ์ใช้ในการรอคอยเพื่อเข้าสู่เครื่องจักรพบว่า เครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) เป็นเครื่องจักรที่แม่พิมพ์ใช้ระยะเวลาในการรอคอยเพื่อเข้าสู่เครื่องจักรมากที่สุดถึง 1,054.85 นาที/ลูก เพราะระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการชุบทองแดงแต่ละลูกเฉลี่ยถึง 62 นาที แม้ว่าจะมีจำนวนเครื่องชุบทองแดงจำนวน 2 เครื่องแล้วก็ตาม รองลงมาได้แก่

เครื่องขัดหยาบ (polishing no.1 machine) เครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine) และเครื่องสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ (helio K500 machine) โดยมีเวลาเฉลี่ยที่แม่พิมพ์ใช้รอเพื่อเข้าสู่เครื่องจักรเป็น 147.78, 74.25 และ 32.82 นาทีต่อลูก ตามลำดับ

นอกจากนี้สามารถแสดงจำนวนของแม่พิมพ์เสียหรือไม่ได้คุณภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตของแต่ละสถานีงานดังรูปที่ 4.3 โดยสถานีงานที่พบว่ามีงานเสียมากที่สุดได้แก่ เครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) เฉลี่ย 60 ลูก รองลงมาคือเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM) มีจำนวนงานไม่ได้คุณภาพสูงเฉลี่ยถึง 57 ลูก งานสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ 26 ลูก ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการผลิต 720 ชั่วโมง (1 เดือน)



รูปที่ 4.3 จำนวนเฉลี่ยของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพแต่ละสถานีงานในกระบวนการผลิต

ผลของวัดสมรรถนะของกระบวนการผลิต ทำให้สามารถบ่งชี้ได้ว่าจุดที่เป็นคอขวดของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์คือ เครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) เพราะเครื่องชุบทองแดงเป็นเครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงที่สุดในระบบ และเป็นเครื่องจักรที่แม่พิมพ์ใช้เวลาในรอเพื่อเข้าสู่เครื่องชุบทองแดงมากที่สุดอีกด้วย

4.3 การวิเคราะห์แนวทางในการแก้ปัญหาของกระบวนการผลิต

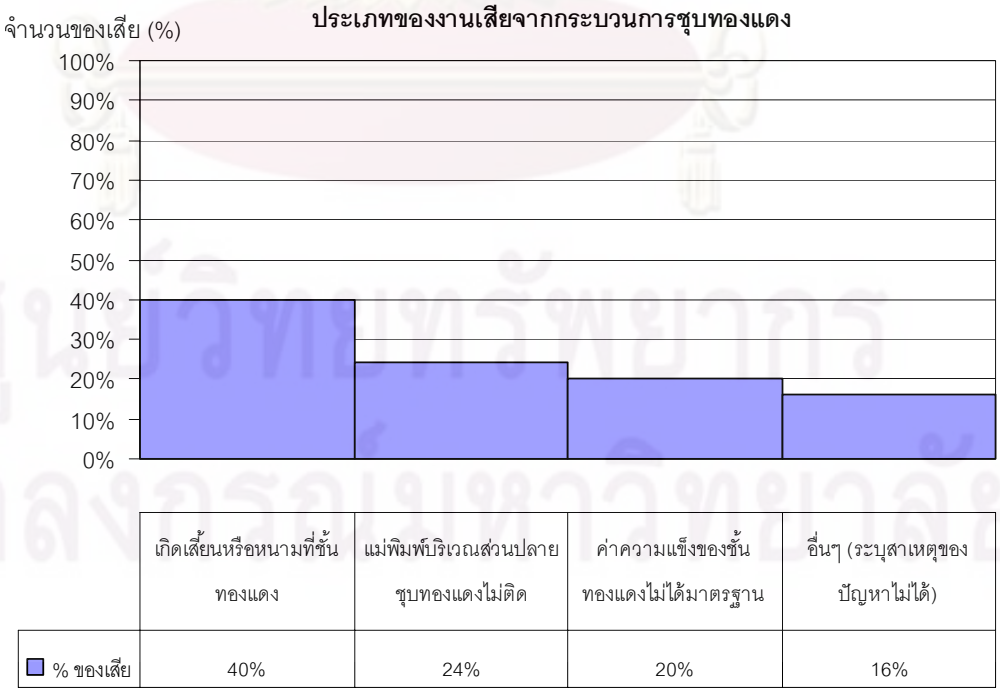
การแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตจะเริ่มพิจารณาจากจุดที่เป็นคอขวดของระบบก่อน ในที่นี้ได้แก่ เครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) สำหรับกระบวนการชุบทองแดงนี้เป็นกระบวนการที่มีปัจจัยเกี่ยวข้องกับสภาวะของน้ำยาเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบทองแดง และค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในเครื่องจักรเป็นสำคัญ สำหรับการพิจารณาเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดงสรุปสาเหตุมาจาก 2 กรณี คือการเกิดความสูญเปล่าจากการรอคอยของแม่พิมพ์ (waiting time) และความสูญเปล่าจากการมีของเสียในกระบวนการผลิต (defects) มีการพิจารณาแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้ดังนี้

4.3.1 การปรับลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดง

เมื่อมีแม่พิมพ์ไม่ได้คุณภาพในกระบวนการผลิต จะต้องมีการแก้ไขงานซึ่งจำเป็นต้องต้องส่งแม่พิมพ์กลับไปยังขั้นตอนของการขัดหยาบ เพื่อเตรียมผิวแม่พิมพ์ใหม่อีกครั้ง จึงทำให้เป็นการเพิ่มภาระงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ให้กับเครื่องจักร ดังนั้นหากสามารถลดปริมาณของของเสียลดจะทำให้สามารถผลิตงานได้มากขึ้น เพราะกระบวนการผลิตจะมีเวลาเพิ่มขึ้น โดยจะต้องพิจารณาถึงสาเหตุที่เกิดขึ้นของการเกิดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง

4.3.1.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

จากผลการบันทึกข้อมูลของปัญหาของแผนกทำแม่พิมพ์ที่กระบวนการชุบทองแดงในอดีต สามารถจำแนกประเภทของของเสียที่เกิดจากกระบวนการชุบทองแดงได้ แสดงดังรูปที่ 4.4

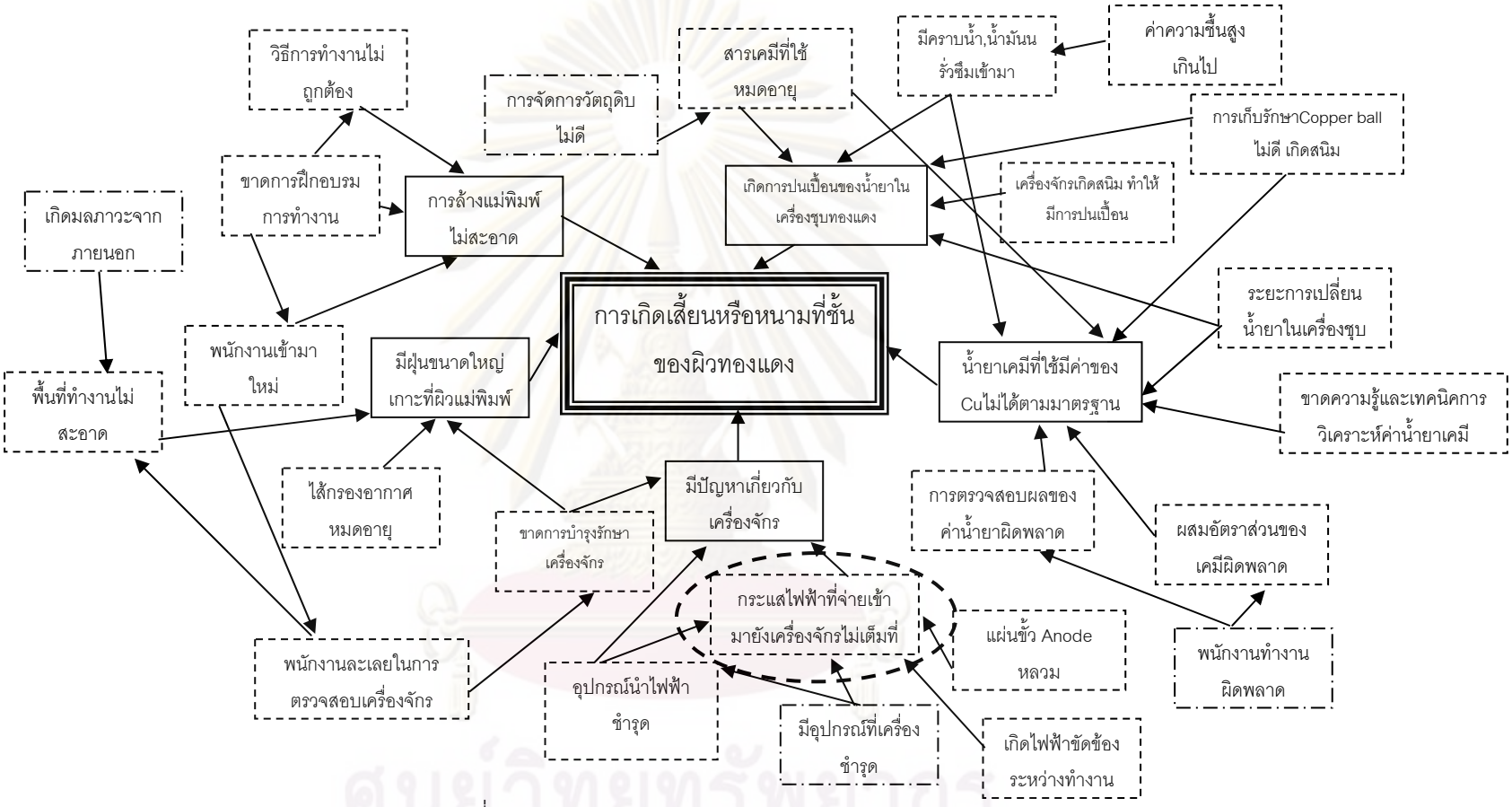


รูปที่ 4.4 ประเภทของงานเสียที่เกิดจากกระบวนการชุบทองแดง

จากรูปที่ 4.4 พบว่าประเภทของงานเสียที่พบมากที่สุดจากกระบวนการชุบทองแดงคือเกิดเสี้ยนหรือหนามที่ชั้นของทองแดงคิดเป็นจำนวน 40 เปอร์เซ็นต์ของของเสียที่เกิดทั้งหมด ซึ่งทำให้แม่พิมพ์เกิดเป็นรอยตำหนิเล็กๆ เมื่อนำไปขัดผิวจะเกิดเป็นคราบบนผิวแม่พิมพ์ ของเสียที่พบมากรองลงมาคือบริเวณส่วนปลายของแม่พิมพ์ชุบทองแดงไม่ติด ทำให้ชั้นของทองแดงไม่มีส่วนพื้นที่ยึดเกาะชั้นของทองแดงสามารถฉีกร่อนออกมาได้ และสำหรับของเสียที่ค่าความแข็งของชั้นทองแดงไม่ได้มาตรฐานนี้ เมื่อค่าความแข็งของชั้นทองแดงน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 220-240 HV จะไม่สามารถนำไปสร้างภาพได้ และอาจจะเกิดอันตรายต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะอีกด้วย

เมื่อทราบประเภทของงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดงซึ่งเป็นคอขวดของระบบแล้ว ขั้นตอนถัดไปก็คือการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย โดยจะพิจารณาจากปัญหาที่พบมากในกระบวนการชุบทองแดงก่อน นั่นก็คือปัญหาเกิดเสี้ยนหรือหนามที่ชั้นของทองแดง ในที่นี้จะใช้แผนผังความสัมพันธ์ (relations diagrams) เพื่อทำให้ความสัมพันธ์ของสาเหตุของปัญหาที่เกี่ยวข้องกันอย่างซับซ้อนเกิดความชัดเจนขึ้นในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและใช้สำหรับกำหนดกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาที่เหมาะสม (วิฑูรย์ สิมะโชคดี,2550) โดยการสร้างแผนผังความสัมพันธ์นี้ได้มาจากความร่วมมือของพนักงานประจำเครื่อง และหัวหน้าแผนกซึ่งเป็นบุคคลที่มีความเข้าใจถึงปัญหาได้เป็นอย่างดี แสดงแผนผังความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเกิดเสี้ยนหรือหนามที่ชั้นของทองแดงได้ดังรูป 4.5 นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.5 แผนผังความสัมพันธ์การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

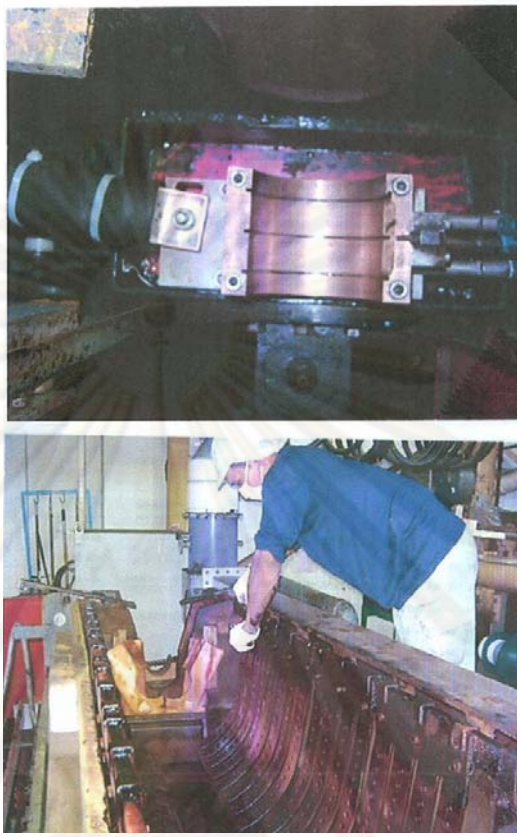
จากรูปที่ 4.5 สาเหตุที่ทำให้เกิดเสี้ยนหรือหนามที่ชั้นของทองแดง ผลสรุปจากการระดมความคิดของพนักงานประจำเครื่องและหัวหน้าแผนกที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือการที่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามายังเครื่องจักรไม่เต็มที่ เพราะกระบวนการชุบทองแดงปัจจัยสำคัญของกระบวนการอยู่ที่ค่าของน้ำยาเคมีและระแไฟฟ้าที่เข้าเครื่องจักร ซึ่งสำหรับการตรวจสอบและวิเคราะห์ค่าของน้ำยาเคมีนั้น มีการปฏิบัติตามช่วงเวลาทุวัน ดังนั้นผลของค่าน้ำยาเคมีจึงมี
ค่าปกติ ไม่พบบันทึกปัญหาเกี่ยวกับค่าน้ำยา ดังนั้นการที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่สมบูรณ์จนกระทั่งทำให้เกิเสี้ยนหรือหนามขึ้นมานั้น จึงสันนิษฐานว่าปัญหาน่าจะมาจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาในเครื่องชุบมากที่สุด

สำหรับการแก้ปัญหาจึงมีการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้าของเครื่องชุบทองแดง โดยขณะที่ทำการตรวจสอบจะต้องหยุดเครื่องจักร เนื่องจากมีเครื่องชุบทองแดงจำนวน 2 เครื่อง ดังนั้นเพื่อไม่ให้กระทบต่อการผลิตมากนัก จึงหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการตรวจสอบเพียง 1 เครื่องก่อนคือเครื่องชุบทองหมายเลข 1 จากการตรวจสอบพบว่าเกิดคราบสกปรกจากน้ำมันที่บริเวณของชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองง ดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 คราบน้ำมันสกปรกบริเวณชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองที่เครื่องชุบทองแดง

การเกิดคราบสกปรกของน้ำมันนี้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสไฟที่เข้าสู่เครื่องชุบทองแดงได้ไม่เต็มกำลังที่จ่ายเข้าระบบ ทำให้เกิดปัญหาแม่พิมพ์เกิดเป็นเสี้ยนหรือหนามได้ จากนั้นจึงทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการถอดชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองออกมาทำความสะอาด แล้วทำการยึดแผ่น anode ให้แน่นขึ้น เพื่อให้กระแสไฟฟ้าเข้าได้เต็มที่ แสดงดังรูป 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 (บน) ชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองที่ทำความสะอาดคราบน้ำมันแล้ว
(ล่าง) การยึดแผ่น Anode ให้แน่น

หลังจากนั้นทำการติดตามผลของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นที่กระบวนการชุบทองแดง หลังจากที่มีการแก้ไขที่ชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองแล้วเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยพบว่าจากรายงานบันทึกผลการผลิตประจำวันมีจำนวนของแม่พิมพ์ที่เกิดงานเสียลดลง

ตารางที่ 4.4 จำนวนแม่พิมพ์ไม่ได้คุณภาพจากกระบวนการชุบทองแดงก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
จำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพ (ลูก/เดือน)	61	จำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพ (ลูก/เดือน)	39
จำนวนแม่พิมพ์ที่ชุบทองแดง (ลูก/เดือน)	1,037	จำนวนแม่พิมพ์ที่ชุบทองแดง (ลูก/เดือน)	1,116
อัตราของเสีย (%)	5	อัตราของเสีย (%)	3.5

จากตารางพบว่าการแก้ปัญหานี้สามารถลดอัตราของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงลงเหลือ 3.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อกระแสไฟฟ้าสามารถจ่ายได้อย่างเต็มที่ก็ยังสามารถลดปัญหา

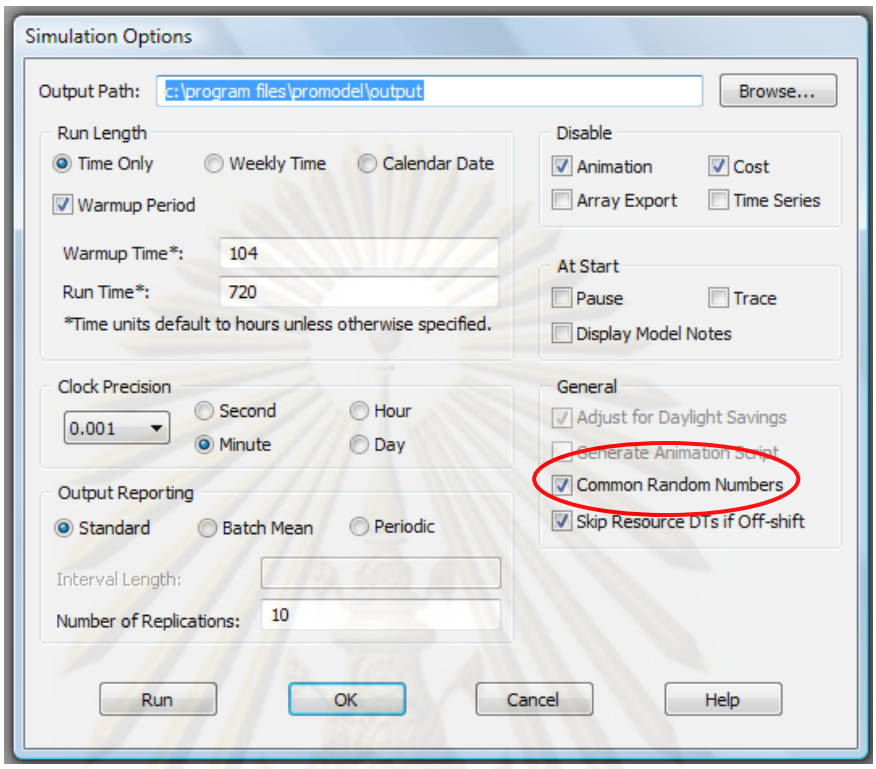
บริเวณส่วนปลายของแม่พิมพ์ชุบทองแดงไม่ติดและค่าความแข็งของชั้นทองแดงไม่ได้มาตรฐานร่วมอีกด้วยเพราะกระแสไฟฟ้ามีส่วนเกี่ยวข้องกับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาต่างๆในกระบวนการชุบทองแดง นอกจากนี้เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาจากสาเหตุนี้ซ้ำอีก จึงเพิ่มวิธีตรวจสอบและทำความสะอาดของชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองในรายการของการบำรุงรักษาของเครื่องชุบทองแดง โดยกำหนดให้มีการทำความตรวจสอบและทำสะอาดอุปกรณ์ของเครื่องชุบทองแดง สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยในแต่ละสัปดาห์ทำการตรวจสอบครั้งละ 1 เครื่อง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตจึงยังคงให้เครื่องชุบทองแดงที่เหลืออีก 1 เครื่องทำงานตามปกติ แล้วจึงสลับสับเปลี่ยนการตรวจสอบและบำรุงรักษาของเครื่องชุบทองแดงในแต่ละสัปดาห์

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์กราเวียร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์ หลังจากที่มีการปรับปรุงกระบวนการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดงแล้ว เพื่อเป็นการยืนยันว่าวิธีการปรับปรุงกระบวนการนี้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของระบบได้จริง โดยกำหนดเงื่อนในแบบจำลองให้มีอัตราของเสียที่เครื่องชุบทองแดงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดให้เครื่องชุบทองแดงจำนวน 1 เครื่อง มีการหยุดทำงานเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อตรวจสอบและทำความสะอาดทุกสัปดาห์ด้วย

4.3.1.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ที่ลดอัตราของเสียที่มีการกระบวนการชุบทองแดง และกำหนดเวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร

จากแบบจำลองสถานการณ์ที่สภาพการผลิตปัจจุบัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดงและรันแบบจำลองด้วยระยะเวลา 720 ชั่วโมง (1 เดือน) มีค่า Warm up period = 104 ชั่วโมง สำหรับการเปรียบเทียบผลของระบบที่ต่างกัน เพื่อเป็นการลดความแปรปรวนจึงนำเทคนิคการลดความแปรปรวนแบบ common random numbers ที่เป็นการใช้ตัวเลขสุ่มร่วมกันในการจำลองสถานการณ์ที่มีปัจจัยร่วมแตกต่างกัน ซึ่งในโปรแกรม promodel 7.0 มาใช้ด้วย แสดงหน้าต่างของโปรแกรมดังรูป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 การใช้เทคนิค Common Random Numbersในโปรแกรม Promodel 7.0

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.5 ซึ่งผลของสมรรถนะด้านอัตราการใช้ประโยชน์และอัตราที่เครื่องจักรว่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงจากการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดงนั้นไม่แตกต่างกัน สำหรับเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในกระบวนการผลิตก็เช่นเดียวกัน เพราะไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของเวลาการทำงานในกระบวนการผลิต

สำหรับผลการวิเคราะห์สมรรถนะของปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้และเวลาเฉลี่ยต่างๆในระบบซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร, อัตราที่เครื่องจักรว่าง และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง

เครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)		อัตราที่เครื่องจักรว่าง (%)	
		ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
Polishing no.1 machine	1	35.07	35.19	64.93	64.81
Copper plating machine	2	98.63	99.30	1.37	0.70
CFM	1	88.77	88.98	11.23	11.02
Polishing no.2 machine	1	36.08	35.78	63.92	64.22
Buff machine	1	32.85	32.91	67.15	67.09
Helio machine	1	59.48	60.81	40.52	39.19
Coat machine	1	17.62	17.52	82.38	82.48
Laser machine	1	49.21	47.89	53.15	52.11
Develop machine	1	19.89	19.81	80.11	80.19
Hard-chrome plating mc.	2	78.82	77.56	21.18	22.44
Sand paper polishing mc.	1	56.95	56.74	43.05	43.26
Proof machine	1	61.65	61.49	38.35	38.51

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ ก่อนและหลังจากปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	สภาพปัจจุบัน			ลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง		
	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,052	1,021	31
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	720	704	16

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆของระบบ ก่อนและหลังจากปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)									
	เวลาทั้งหมดในระบบ		เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์		เวลารอคอยในระบบ		เวลาที่ใช้ในการผลิต		เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	2,154.62	11.09	11.08	1,493.47	1,746.49	276.9	275.92	121.81	121.13
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	195.84	3.95	3.95	95.74	96.03	70.65	70.71	25.19	25.15

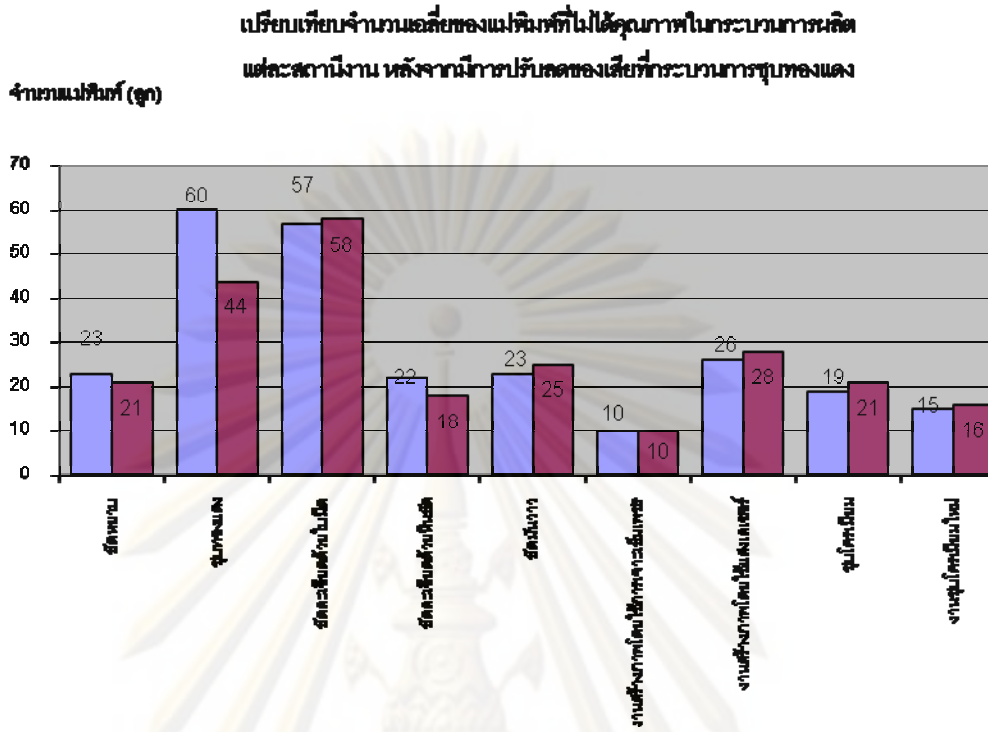
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการลดเปอร์เซ็นต์ของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงลงเหลือ 3.5 เปอร์เซ็นต์ สมรรถนะของการผลิตนั้นแม้ว่าจะมีปริมาณงานที่เข้ามามากกว่าก็ตาม แต่ทำให้ผลิตงานได้น้อยกว่าสภาพการผลิตปัจจุบัน สำหรับงานชุบโครเมียมใหม่ก็เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการลดของเสียในกระบวนการชุบทองแดงจำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มกำลังผลิตของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ได้ และจากตารางที่ 4.7 พบว่าส่วนเวลาเฉลี่ยที่ใช้ทั้งหมดในระบบเพิ่มขึ้นจาก 1,903.27 เป็น 2,154.62 นาที ส่วนเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์,เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตและเวลาเฉลี่ยที่แม่พิมพ์รอเครื่องจักรพร้อมใช้งานมีค่าไม่แตกต่างกัน

แม้ว่าจะสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบทองแดงได้ แต่ปริมาณของแม่พิมพ์ใหม่ที่สามารถผลิตได้น้อยกว่าสภาพการผลิตปัจจุบัน เพราะต้องใช้เวลาสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อป้องกันการเกิดของเสียที่เครื่องชุบทองแดง รวมทั้งยังมีแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพที่กระบวนการผลิตอื่นๆเกิดขึ้นปริมาณมากเช่นเดิม ได้แก่ กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด และการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ แสดงดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นจึงมีงานที่ต้องกลับไปแก้ไขและผ่านมายังกระบวนการชุบทองแดงอีก ทำให้ไม่สามารถผลิตงานได้ทันตามเป้าหมายที่ตั้งไว้เช่นเดิม และเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบคือเครื่องชุบทองแดงนั้นยังคงมีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงอยู่ ดังนั้นหากเครื่องจักรมีปัญหาขัดข้องต้องหยุดเพื่อรอซ่อมและกรณีที่มีการกำลังขยายกำลังผลิตเพิ่มจากเดิมในอนาคต

แนวทางการแก้ไขปัญหาต่อไปก็คือการลดของเสียที่กระบวนการอื่นๆ ซึ่งยังคงมีจำนวนของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพสูงในสถานีงานการขัดละเอียดด้วยใบมีด จากข้อมูลอัตราของเสียที่ตารางที่ 3.6 สถานีงานขัดละเอียดด้วยใบมีดนั้นมีอัตราของเสียสูง 5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีแม่พิมพ์ไม่ได้คุณภาพเกิดขึ้นจากสถานีงานนี้การแก้ไขงานจะส่งกลับมาที่กระบวนการชุบทองแดงอีกด้วย

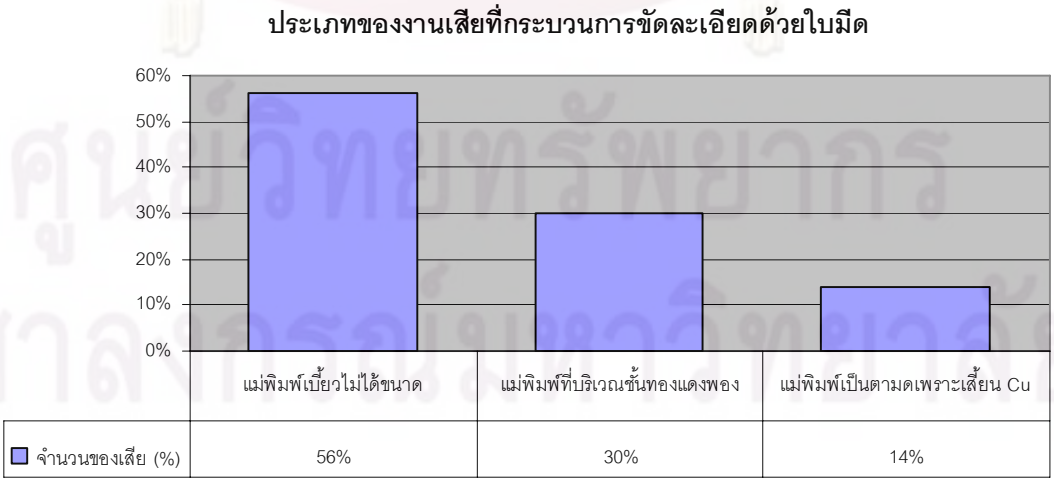
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบจำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

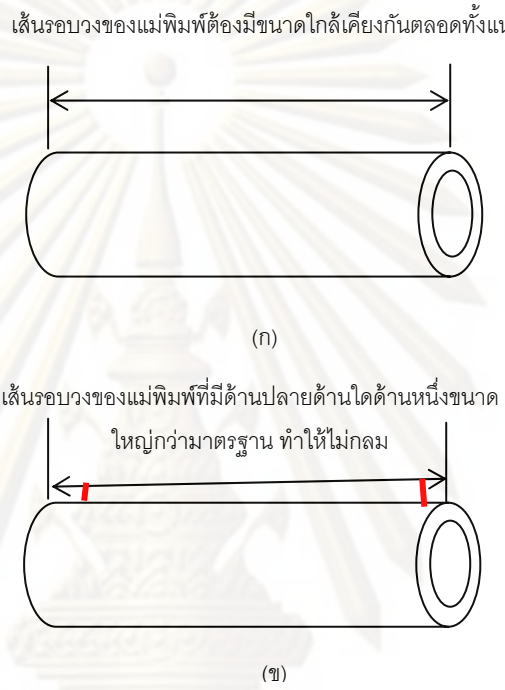
4.3.2 การนำเสนอแนวทางในการปรับลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด

สำหรับกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดนั้น จากผลบันทึกการทำงานประจำวันสามารถแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพจากกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.10 ประเภทของของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด

ซึ่งปัญหาแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพส่วนใหญ่จากกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดนี้ เกิดจากแม่พิมพ์เบี้ยวไม่กลม โดยมีขนาดของเส้นรอบวงแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งแนวของแม่พิมพ์ อธิบายได้ดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 (ก) แม่พิมพ์ขนาดของเส้นรอบวงปกติ (ข) แม่พิมพ์ที่มีลักษณะเบี้ยวไม่กลม

ปัญหาของแม่พิมพ์เบี้ยวนี้พบมากถึง 56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสาเหตุนั้นพบว่ามาจากผู้ผลิตที่ส่งแม่พิมพ์ที่กลึงไม่ได้ขนาด แต่ไม่ได้มีการตรวจสอบแม่พิมพ์จำนวนทั้งหมดที่ส่งมาจากผู้ผลิตอย่างเข้มงวด เพียงใช้วิธีการสุ่มตรวจแม่พิมพ์บางลูกเท่านั้น สำหรับการตรวจพบปัญหานั้นจะไม่สามารถพบได้ตั้งแต่กระบวนการขัดหยาบ กระทั่งเมื่อแม่พิมพ์ผ่านมายังเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดจึงจะพบปัญหานี้ เพราะเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM) นั้นเป็นเครื่องจักรที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง สามารถทำงานได้ภายในช่วง $\pm$ 5 ไมครอน รูปที่ 4.11(ก) เครื่องจักรมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัดทั้งประเภทการขัดหยาบ (polishing no.1 machine) และการขัดละเอียด (polishing no.2 machine) ที่สามารถทำงานได้ภายในช่วง $\pm$ 20 ไมครอน รูปที่ 4.11 (ข) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถพบปัญหานี้ได้ที่กระบวนการขัดหยาบ โดยแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น คือเพิ่มความเข้มงวดในการตรวจรับลูกเหล็กที่มาจากผู้ผลิตทุกลูก โดยใช้เวอร์เนียวัดขนาดของแม่พิมพ์จากผู้ผลิตบริเวณ 3 ตำแหน่งได้แก่ ด้านปลายทั้ง 2 ข้าง

และตรงกลางแม่พิมพ์ ตำแหน่งละ 3 ครั้ง หากพบว่าแม่พิมพ์มีความยาวของเส้นรอบวงผิดปกติก็จะส่งคืนให้แก่ผู้ผลิตทันที

(ก) ขนาดของเส้นรอบวงแม่พิมพ์ตามแนวระนาบจากเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM)

(ข) ขนาดของเส้นรอบวงแม่พิมพ์ตามแนวระนาบจากเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (Polishing no.2 machine)

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องขัด

แต่เนื่องจากไม่สามารถหาพนักงานประจำมาทำหน้าที่การตรวจสอบคุณภาพของลูกเหล็กจากผู้ผลิตได้ เพราะว่าพนักงานมีจำนวนจำกัด และการตรวจสอบลูกเหล็กแต่ละลูกต้องใช้เวลามาก และต้องทำการตรวจสอบลูกเหล็กทุกลูก ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะดำเนินการแก้ไขปัญหานี้ได้ทันที แต่จากการคาดการณ์ร่วมกับหัวหน้าแผนกและพนักงานที่เกี่ยวข้องนั้นสรุปได้ว่าหากใช้การตรวจสอบลูกเหล็กทุกลูกที่มาจากผู้ผลิตได้ จะสามารถลดปัญหาแม่พิมพ์เบี้ยวไม่กลมของแม่พิมพ์ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้อัตราของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดนี้ลดลงจากเดิมได้เป็น 2.75 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นทำการวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์กราเวียร์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์ กรณีที่หากสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนขัดละเอียดด้วยใบมีดลง เพื่อเป็นการประเมินว่าวิธีการปรับปรุงกระบวนการนี้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของระบบได้เป็นจำนวนเท่าไร โดยกำหนดเงื่อนในแบบจำลองให้มีอัตราของเสียที่เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดเป็น 2.75 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงจากหัวข้อที่ 4.3.1 ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์แสดงดังตารางที่ 4.8 นี้

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร อัตราที่เครื่องจักรว่าง ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

เครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)		อัตราที่เครื่องจักรว่าง (%)	
		ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
Polishing no.1 machine	1	35.07	34.48	64.93	65.52
Copper plating machine	2	98.63	98.57	1.37	1.43
CFM	1	88.77	88.71	11.23	11.29
Polishing no.2 machine	1	36.08	36.65	63.92	63.35
Buff machine	1	32.85	33.54	67.15	66.46
Helio machine	1	59.48	61.32	40.52	38.68
Coat machine	1	17.62	17.81	82.38	82.19
Laser machine	1	49.21	48.74	53.15	51.26
Develop machine	1	19.89	20.14	80.11	79.86
Hard-chrome plating mc.	2	78.82	78.45	21.18	21.55
Sand paper polishing mc.	1	56.95	57.53	43.05	42.47
Proof machine	1	61.65	62.39	38.35	37.61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	สภาพปัจจุบัน			ลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงและกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด		
	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,042	1,042	0
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	720	706	14

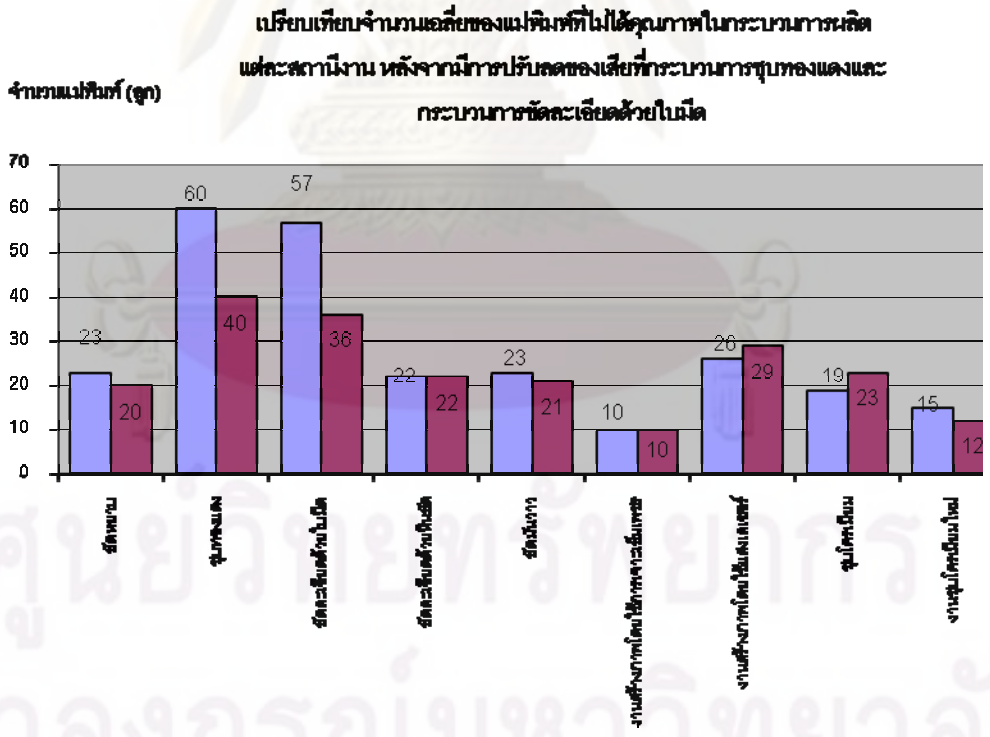
ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆในระบบก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)									
	เวลาทั้งหมดในระบบ		เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์		เวลารอคอยในระบบ		เวลาที่ใช้ในการผลิต		เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	1,497.35	11.09	11.1	1,493.47	1,091.28	276.9	273.27	121.81	121.7
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	196.04	3.95	3.95	95.74	96.13	70.65	70.67	25.19	25.29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากตารางที่ 4.8 พบว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรของเครื่องจักรไม่แตกต่างกันมากนัก มีความใกล้เคียงกันทุกเครื่องจักร

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่สามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดลงเหลือ 2.75 เปอร์เซ็นต์จะทำให้สามารถผลิตแม่พิมพ์ได้ตามปริมาณของแม่พิมพ์ที่ป้อนเข้ามาได้ทั้งหมดไม่มีงานค้างในระบบ และจากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ชัดว่าเวลารอคอยเฉลี่ยในระบบลดลงจากเดิม ส่งผลให้เวลาเฉลี่ยทั้งหมดในระบบลดลงด้วยเช่นกัน แต่ก็ยังไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตจนสามารถผลิตงานตามแผนการผลิตที่ 38 ลูกต่อวันได้ โดยเมื่อทดลองเพิ่มจำนวนปริมาณของแม่พิมพ์ที่เข้ามาในแต่ละวันในแบบจำลองสถานการณ์ให้มากกว่าวันละเฉลี่ยที่ 34 ลูก/วัน พบว่าแนวทางนี้สามารถผลิตงานได้ทันเมื่อมีปริมาณแม่พิมพ์ป้อนเข้ามาแต่ละวันเฉลี่ยไม่เกิน 35 ลูกต่อวันเท่านั้น เนื่องจากที่เครื่องชุบทองแดงยังต้องผลิตงานแก้ไขจากกระบวนการอื่นๆอีกแสดงจำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองดังรูปที่ 4.12 นี้ ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการลดอัตราของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์เนื่องจากมีปริมาณของเสียมากที่ 5 เปอร์เซ็นต์ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบจำนวนแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงร่วมกับแนวทางการลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด

4.3.3 การนำเสนอแนวทางในการปรับลดอัตราของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์

เนื่องจากการนำเสนอแนวทางให้มีการปรับลดของเสียที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดเพิ่มเติม จากการลดอัตราของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงแล้ว แต่ก็ยังคงไม่สามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้ตามปริมาณที่ต้องการ จากรูปที่ 4.13 พบว่าที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นยังมีอัตราของเสียอยู่เป็นจำนวนมากเช่นกันและหากสามารถลดของเสียลดได้อาจจะช่วยให้สามารถผลิตงานได้เพิ่มขึ้นอีก

สำหรับปัญหาส่วนใหญ่ของกระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นั้น คือตามด (Pinhole) เป็นหลัก โดยจะพบได้จากหลายสาเหตุ เช่น มีฝุ่นมาเกาะที่บริเวณน้ำยาไวแสง, มีคราบน้ำมันหยดบนผิวแม่พิมพ์ เป็นต้น

รูปที่ 4.14 บริเวณตามดที่เกิดจากละอองน้ำมัน

หากมีขนาดใหญ่ก็จะเห็นได้ชัดเจน เมื่อนำไปพิมพ์งาน สำหรับแนวทางการนำเสนอให้มีการลดของเสียที่กระบวนการสร้างภาพนั้น เนื่องจากปัจจัยที่ทำให้เกิดตามดของงานสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นั้นควบคุมได้ยาก จึงต้องหมั่นตรวจสอบอุปกรณ์ที่ช่วยในการลดปริมาณของฝุ่นในห้องที่ใช้ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นห้องระบบปิดป้องกันฝุ่นจากภายนอกเข้ามา แต่ฝุ่นอาจจะเกิดขึ้นได้จากการเปิดประตูเพื่อขนย้ายแม่พิมพ์เข้า-ออกห้องเลเซอร์ด้วย ดังนั้นแนวทางในการลดของเสียจากกระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ที่สามารถปฏิบัติได้คือการลดฝุ่นจากภายนอกที่มาจากแม่พิมพ์ เพราะแม่พิมพ์จะต้องผ่านหลายกระบวนการกว่าจะมาถึงกระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ อาจจะมีฝุ่นเกาะระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งด้านในของแม่พิมพ์ซึ่งเป็นจุดอับที่ฝุ่นเข้าไปเกาะได้ ดังนั้นก่อนที่จะมีการเอาแม่พิมพ์ไปสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์นะต้องมีการนำ

แม่พิมพ์ไปล้างด้านในของแม่พิมพ์ให้สะอาด ตัวอย่างการทำความสะอาดภายในผิวแม่พิมพ์ดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 การล้างทำความสะอาดแม่พิมพ์ก่อนเข้าห้องเลเซอร์

จากการประเมินโดยพนักงานที่เกี่ยวข้องและหัวหน้าแผนกถึงความเป็นไปได้ของอัตราของเสียที่ลดลงอยู่ที่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์จากอัตราของเสียเดิม โดยแสดงการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขลดอัตราของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์เป็น 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วพิจารณาผลของสมรรถนะในกระบวนการผลิตว่ามีแนวโน้มของระบบว่าดีขึ้นหรือไม่ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้การจำลองสถานการณ์พบว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรใกล้เคียงกับสภาพการผลิตปัจจุบัน แต่ปริมาณของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในแต่ละวันเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์,กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	สภาพปัจจุบัน			ลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงและกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีด		
	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,042	1,042	0
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	720	707	13

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบค่าเวลาเฉลี่ยต่างๆที่ใช้ในระบบ ก่อนและหลังกรณีที่ลดของเสียที่กระบวนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์,กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดง

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)									
	เวลาทั้งหมดในระบบ		เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์		เวลารอคอยในระบบ		เวลาที่ใช้ในการผลิต		เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	1,483.62	11.09	10.93	1,493.47	1,035.14	276.9	272.14	121.81	120.41
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	196.33	3.95	3.95	95.74	96.38	70.65	70.72	25.19	25.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.11 พบว่าสามารถผลิตแม่พิมพ์ได้ตามปริมาณที่ป้อนเข้ามาที่ 1,042 ลูก และตารางที่ 4.12 พบว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในระบบทั้งหมดและเวลารอคอยในระบบลดลงด้วยเช่นกัน

ผลของการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ กรณีที่มีการเสนอแนวทางในการลดอัตราของเสียที่สามารถลดลงได้ในกระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดและการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ร่วมกับการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงพบว่ากระบวนการผลิตสามารถผลิตงานได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากการทดลองเพิ่มปริมาณแม่พิมพ์ที่เข้ามาของระบบในแบบจำลองสถานการณ์พบว่าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ไม่เกิน 35 ลูกต่อเดือน เนื่องจากเป็นการลดปริมาณของงานทำซ้ำได้ จึงสามารถผลิตงานตามปริมาณที่ป้อนเข้ามาตามปกติได้มากขึ้นเท่านั้น โดยที่เครื่องชุบทองแดงก็ยังคงเป็นคอขวดของระบบ เพราะอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงเช่นเดิม แต่เวลาเฉลี่ยที่แม่พิมพ์ใช้รอคอยเข้าสู่เครื่องจักรลดลง การนำไปใช้ปฏิบัติจริงก็เป็นประโยชน์กับกระบวนการผลิตได้ด้วยแม้ว่าจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไม่ได้มากนักก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถผลิตงานได้ตามเป้าหมาย ดังนั้นจึงเสนอแนวทางให้มีการจัดสรรเวลาการทำงานของเครื่องจักรให้เต็มกำลังการผลิต เพื่อให้เครื่องจักรได้ใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าที่สุด

4.3.4 การจัดสรรเวลาการทำงานของเครื่องจักรให้เต็มกำลังการผลิต

เนื่องจากในการทำงานปกตินั้น จะมีเวลาพักของแต่ละกะของพนักงานกะละ 1 ชั่วโมง รวมชั่วโมงพักแต่ละวัน 3 ชั่วโมง ซึ่งเวลาช่วงนั้นพนักงานจะทำการหยุดเครื่องจักร ทำให้เวลาที่เครื่องจักรใช้ทำงานเสียประโยชน์ไป ดังนั้นสำหรับแนวทางนี้ทางแผนกอาจจะจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนพนักงานประจำกะ เพื่อให้มีพนักงานดำเนินงานที่เครื่องจักรในช่วงเวลาที่พักได้ โดยเฉพาะสำหรับเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบคือ เครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) ให้มีการทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพักเครื่องชุบทองแดงช่วงเวลาพักของพนักงาน

4.3.4.1 การจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีช่วงเวลาพักของเครื่องจักร

ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในแบบจำลองสถานการณ์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ

เครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)		อัตราที่เครื่องจักรว่าง (%)	
		ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
Polishing no.1 machine	1	35.07	35.21	64.93	64.79
Copper plating machine	2	98.63	88.45	1.37	11.55
CFM	1	88.77	91.33	11.23	8.67
Polishing no.2 machine	1	36.08	36.85	63.92	63.15
Buff machine	1	32.85	33.79	67.15	66.21
Helio machine	1	59.48	61.13	40.52	38.87
Coat machine	1	17.62	18.06	82.38	81.94
Laser machine	1	49.21	49.42	53.15	50.58
Develop machine	1	19.89	20.41	80.11	79.59
Hard-chrome plating mc.	2	78.82	78.97	21.18	21.03
Sand paper polishing mc.	1	56.95	57.83	43.05	42.17
Proof machine	1	61.65	62.66	38.35	37.34

ตารางที่ 4.14 ผลการเปรียบเทียบปริมาณของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ

ประเภทของ Entities	สภาพปัจจุบัน			การจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานตลอด 24 ชั่วโมง		
	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,035	1,035	0
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	720	706	14

ตารางที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆในระบบก่อนและหลังกรณีที่มีการจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีเวลาพักระหว่างกะ

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)									
	เวลาทั้งหมดในระบบ		เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์		เวลารอคอยในระบบ		เวลาที่ใช้ในการผลิต		เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	1,168.40	11.09	11.11	1,493.47	745.04	276.9	277.56	121.81	134.69
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	196.01	3.95	3.95	95.74	96.27	70.65	70.64	25.19	25.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.13 พบว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่องเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine) มีอัตราการใช้ประโยชน์ลดลง โดยเครื่องจักรที่มีอัตราการใช้ประโยชน์สูงสุดได้แก่ เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM) คือ 91.33 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.14 - 4.15 นั้นพบว่า ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้พบว่าสามารถผลิตงานได้ทันตามปริมาณแม่พิมพ์ที่ป้อนเข้ามาเฉลี่ย 34 ลูกต่อวัน รวมทั้งสามารถลดเวลาที่ใช้ในระบบทั้งหมดลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาการรอคอยของระบบ ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มเวลาการทำงานให้เครื่องชุบทองแดงนั้น สามารถที่จะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตได้เนื่องจากเวลาการรอคอยในระบบลดลง ดังนั้นจึงทำการทดลองเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของปริมาณแม่พิมพ์ที่เข้ามาแต่ละวันที่ลูกในแบบจำลองเป็นวันละ 38 ลูกพบว่าสามารถผลิตงานได้ตามแผนการผลิตที่ต้องการ แต่เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดและเครื่องชุบทองแดงนั้นมีอัตราการใช้ประโยชน์สูงถึง 99.99 และ 99.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งหากมีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องจักรขัดข้องก็จะเกิดปัญหาการผลิตตามมาได้อีกทั้งยังมีของเสียในอัตราที่สูงอยู่ ซึ่งทำให้เครื่องจักรใช้เวลาสูญเปล่าในการแก้ไขงานจึงมีอัตราการใช้ประโยชน์สูงมาก ดังนั้นจึงลองพิจารณาให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้มากขึ้น จึงมีการทดลองเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขโดยให้มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในแบบจำลองสถานการณ์โดยให้เครื่องชุบทองแดงมีการลดอัตราของเสียเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ และมีเวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร แต่ไม่มีการหยุดพักระหว่างกะ และเพิ่มการจัดสรรเวลาของเครื่อง CFM ให้มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

4.3.4.2 การจัดสรรเวลาให้เครื่องชุบทองแดงทำงานมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์และมีเวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร แต่ไม่มีการหยุดพักระหว่างกะ และเพิ่มการจัดสรรเวลาของเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดให้มีทำงานตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการหยุดระหว่างช่วงพักแต่ละกะ

ทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตเป็นดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง และเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ

เครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)		อัตราที่เครื่องจักรว่าง (%)	
		ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
Polishing no.1 machine	1	35.07	34.68	64.93	65.32
Copper plating machine	2	98.63	87.14	1.37	12.86
CFM	1	88.77	79.59	11.23	20.41
Polishing no.2 machine	1	36.08	36.70	63.92	63.30
Buff machine	1	32.85	33.60	67.15	66.40
Helio machine	1	59.48	62.62	40.52	37.38
Coat machine	1	17.62	17.99	82.38	82.01
Laser machine	1	49.21	49.17	53.15	50.83
Develop machine	1	19.89	20.31	80.11	79.69
Hard-chrome plating mc.	2	78.82	78.81	21.18	21.19
Sand paper polishing mc.	1	56.95	57.70	43.05	42.30
Proof machine	1	61.65	62.48	38.35	37.52

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ

ประเภทของ Entities	สภาพปัจจุบัน			เครื่อง CFM ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง/เครื่องชุบทองแดงอัตราของเสียลดลงเหลือ 3.5% มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องแต่ไม่มีการพักระหว่างกะ		
	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในระบบ(ลูก/เดือน)	ปริมาณแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ค้างในระบบ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	4	1,035	1,035	0
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	16	720	705	15

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆที่ใช้ในระบบก่อนและหลังการปรับปรุงกรณีให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานตลอด 24 ชั่วโมงและเครื่องชุบทองแดงมีอัตราของเสียลดลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาบำรุงรักษาเครื่องและทำงานโดยไม่มีการพักระหว่างกะ

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)									
	เวลาทั้งหมดในระบบ		เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์		เวลารอคอยในระบบ		เวลาที่ใช้ในการผลิต		เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	1,070.67	11.09	11.1	1,493.47	667.24	276.9	276.79	121.81	115.53
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	195.77	3.95	3.95	95.74	95.89	70.65	70.77	25.19	25.16

จากตารางที่ 4.16 พบว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรของเครื่องชุบทองแดงและเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดลดลงเนื่องจากการเพิ่มเวลาในการทำงานให้เครื่องจักร ทำให้สามารถระบายงานออกไปได้มาก รวมทั้งมีการลดอัตราของเสียที่เครื่องชุบทองแดง จึงมีงานกลับมาทำซ้ำน้อยลง แต่เครื่องจักรอื่นๆมีอัตราการใช้ประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะมีการผลิตงาน ได้มากขึ้น และตารางที่ 4.17 และ 4.18 พบว่านอกจากจะสามารถผลิตงานได้ทันตามปริมาณที่ต้องการแล้วยังสามารถลดเวลาที่ใช้ในระบบ รวมทั้งเวลารอคอยในระบบลงได้ และเมื่อทดลองเพิ่มปริมาณแม่พิมพ์ที่เข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นวันละ 40 ลูกพบว่าสามารถผลิตงานได้ทัน ซึ่งวิธีการนี้สามารถช่วยเพิ่มกำลังการผลิตมากกว่าแผนการผลิตที่แผนกทำแม่พิมพ์กำหนดไว้ และยังทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างคุ้มค่า รวมทั้งมีอัตราการใช้ประโยชน์เหลืออยู่พอประมาณ ซึ่งหากการปฏิบัติงานจริงจำเป็นต้องมีการหยุดเพื่อตรวจสอบหรือแก้ไขเครื่องจักรที่ใช้เวลาไม่มากก็จะเกิดผลกระทบน้อยกว่าการที่เครื่องจักรมีอัตราการใช้ประโยชน์สูงเกินไปอีกด้วย

สำหรับแนวทางนี้จำเป็นจะต้องหาพนักงานควบคุมเครื่องจักรขณะที่มีการพัก ซึ่งอาจจะเพิ่มจำนวนพนักงานในกะ หรือการให้พนักงานทำงานล่วงเวลาจนกระทั่งหมดช่วงเวลาพักก็ได้ อาจจะต้องเสียค่าแรงงานมากขึ้น แต่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ ทั้งนี้ควรจะพิจารณาการจัดสรรกำลังคนให้เหมาะสมต่อไปในอนาคต หากจะนำวิธีการนี้ไปปฏิบัติจริง

แนวทางเบื้องต้นที่กล่าวมานั้นเป็นแนวทางที่แก้ไขได้ภายในแผนกทำแม่พิมพ์ ไม่ว่าจะเป็นการลดอัตราของเสียในแต่ละสถานีงาน หรือการจัดสรรเวลาให้เครื่องจักรอย่างเต็มเวลาผลิต หากจำเป็นต้องการเพิ่มกำลังการผลิตแม่พิมพ์ให้ได้จำนวนที่มากขึ้นกว่าการทดลองที่มีอีก ก็ยังมีแนวทางที่สามารถแก้ไขได้จากภายนอกอีกเช่น การกระจายงานที่เป็นคอขวดของระบบการผลิตไปให้แก่ผู้ผลิตภายนอก (outsource) หรือการลงทุนซื้อเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการ ทั้งนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนด้วย เพราะวิธีการแก้ไขเหล่านี้จะเกิดค่าใช้จ่ายและต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)

การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์

เนื่องจากแนวโน้มในอนาคต ทางแผนกทำแม่พิมพ์มีความต้องการที่จะให้งานมีคุณภาพในการผลิตเพิ่มมากขึ้น และแม่พิมพ์มีความเสถียรในการผลิตและการใช้งาน ซึ่งแม่พิมพ์ที่สร้างภาพด้วยวิธีใช้แสงเลเซอร์นั้น ในขั้นตอนของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์มีงานที่เกิดของเสียระหว่างผลิตได้ง่าย โดยมีเปอร์เซ็นต์ของเสียจากตารางที่ 3.6 สูงถึง 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีความเสถียรของคุณภาพแม่พิมพ์ต่ำเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ที่สร้างภาพโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชร อันเนื่องมาจากกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตมีขั้นตอนซับซ้อน ทำให้การควบคุมคุณภาพของการผลิตทำได้ยาก ดังนั้นปัจจุบันที่มีสัดส่วนระหว่างการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชรอยู่ที่ 52 : 48 จึงมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต

แต่เดิมนั้นแผนกทำแม่พิมพ์มีวิธีการสร้างภาพเพียงแบบเดียวคือการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ ซึ่งมีบุคลากรที่มีความชำนาญมากเป็นพิเศษด้านเทคนิคและการกำหนดคุณลักษณะของแม่พิมพ์ หลังจากที่มีการนำเครื่องเจาะเข็มเพชรเข้ามาใช้ในการสร้างภาพเพิ่มขึ้นอีกประเภทด้วยเนื่องจากให้ภาพที่คมชัดกว่าและจากลักษณะวิธีการการทำงานจะทำให้แม่พิมพ์ที่ได้มีความเสถียรสูงกว่า แต่ขาดผู้มีความรู้ทางด้านเทคนิคต้องมีการทดลองเพื่อหาเทคนิคต่างๆที่เหมาะสมในแต่ละงาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับไฟล์ (file) ที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ สำหรับการกำหนดคุณลักษณะของแม่พิมพ์ (specification) นั้นเป็นหน้าที่ของแผนกออกแบบ (design) ซึ่งจะเป็นผู้กำหนดว่าแม่พิมพ์แต่ละลูกควรจะทำแม่พิมพ์โดยการสร้างภาพประเภทใด แต่สำหรับการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรบางกรณีก็ไม่สามารถทำได้ทันที ต้องมีการทดลองหาเทคนิคที่เหมาะสม ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะกระจายงานไปยังเครื่องเจาะเข็มเพชรได้ทั้งหมด เพราะยังมีงานบางประเภทจำเป็นต้องใช้วิธีการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ตามเดิม รวมทั้งบางเทคนิคของแม่พิมพ์ไม่สามารถใช้วิธีการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะได้ เพราะเป็นลักษณะเฉพาะพิเศษของงานที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์เท่านั้น

เมื่อแนวโน้มในอนาคตแผนกทำแม่พิมพ์มีนโยบายในการผลิตงานสร้างภาพโดยวิธีใช้เข็มเพชรเจาะ โดยปรับให้มีสัดส่วนของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ลดลงจากเดิม ทางแผนกทำแม่พิมพ์ต้องการทราบว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการสร้างภาพจะพบปัญหาหรือมีความเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตบ้าง และต้องการหาสัดส่วนของงานที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีการเตรียมความพร้อมด้านเทคนิคการผลิตอย่างเพียงพอทั้งแผนก

ออกแบบและแผนกทำแม่พิมพ์ เพราะความรู้ความชำนาญสำหรับการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรยังไม่มากพอ จำเป็นต้องมีการศึกษาด้านเทคนิคกันอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์ความไวเพื่อประเมินผลของสมรรถนะในกระบวนการผลิตที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไป ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยการใช้เข็มเพชรเจาะเป็น 40:60 ,30:70 และ 20:80 ตามที่ทางโรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้กำหนดและพิจารณาผลลัพธ์ที่คาดว่าเกิดขึ้นในอนาคต

ผลของการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์กับการเจาะด้วยเข็มเพชร ตามตารางที่ 4.19 นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร, อัตราที่เครื่องจักรว่าง เมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป

เครื่องจักร	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร (%)			
		สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ			
		สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	40:60	30:70	20:80
Polishing no.1 machine	1	35.07	35.37	34.81	34.69
Copper plating machine	2	98.63	98.95	98.36	98.73
CFM	1	88.77	89.35	88.87	89.13
Polishing no.2 machine	1	36.08	36.12	35.92	35.85
Buff machine	1	32.85	33.13	32.94	32.85
Helio machine	1	59.48	75.07	89.13	97.32
Coat machine	1	17.62	13.54	10.11	6.92
Laser machine	1	49.21	36.83	27.71	18.88
Develop machine	1	19.89	15.21	11.48	7.80
Hard-chrome plating mc.	2	78.82	78.08	77.90	77.25
Sand paper polishing mc.	1	56.95	57.11	57.08	56.69
Proof machine	1	61.65	61.89	61.87	61.38

ตารางที่ 4.20 ผลการเปรียบเทียบปริมาณแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ ปริมาณแม่พิมพ์ที่ค้างในระบบ เมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป

ประเภทของ Entities	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ							
	52:48		40:60		30:70		20:80	
	จำนวนแม่พิมพ์เข้าระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์เข้าระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์เข้าระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์เข้าระบบ (ลูก/เดือน)	จำนวนแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ (ลูก/เดือน)
แม่พิมพ์ใหม่	1,031	1,027	1,046	1,030	1,032	1,029	1,030	1,015
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	720	704	720	706	720	705	720	706

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาต่างๆของระบบ เมื่อสัดส่วนการสร้างภาพเปลี่ยนแปลงไป

ประเภทของ Entities	เวลาเฉลี่ย (นาที)							
	เวลาทั้งหมดในระบบ				เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์			
	สภาพการผลิต สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ			สภาพการผลิต สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ		
		40:60	30:70	20:80		40:60	30:70	20:80
แม่พิมพ์ใหม่	1,903.27	1,940.92	1,639.56	2,198.70	11.09	12.09	12.84	13.52
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	195.53	196.21	195.99	196.11	3.95	3.95	3.95	3.95
ประเภทของ Entities	เวลาที่ใช้ในการผลิต				เวลาที่รอเครื่องจักรพร้อมใช้งาน			
	สภาพการผลิต สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ			สภาพการผลิต สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ		
		40:60	30:70	20:80		40:60	30:70	20:80
แม่พิมพ์ใหม่	276.9	274.5	272.98	271.00	121.81	127.74	138.63	147.45
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	70.65	70.76	70.73	70.69	25.19	25.1	25.30	25.28
ประเภทของ Entities	เวลารอคอยในระบบ							
	สภาพการผลิต สัดส่วนปัจจุบัน (52:48)	สัดส่วนการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ต่อการสร้างภาพโดยใช้เข็มเพชรเจาะ						
		40:60	30:70	20:80				
แม่พิมพ์ใหม่	1,493.47	1,526,59	1,215.11	1,766.73				
แม่พิมพ์ชุบโครเมียมใหม่	95.74	96.4	96.01	96.19				

จากตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการสร้างภาพโดยลดการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ลดลง ทำให้เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์มีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรลดลงตามลำดับของสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับอัตราการใช้ประโยชน์จากเครื่องเจาะเข็มเพชรก็จะสูงขึ้นตามสัดส่วนเช่นกัน และอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรอื่นๆยังคงมีแนวโน้มตามเดิม

สำหรับปริมาณของแม่พิมพ์ที่ผลิตได้ในตารางที่ 4.20 พบว่าที่สัดส่วน 40:60 และ 20:80 มีงานค้างในระบบจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนที่ 30 : 70 และสภาพการผลิตปัจจุบัน จากตารางที่ 4.21 พบว่าสัดส่วนที่ 40:60 และ 20:80 นั้นมีเวลาที่ใช้ในระบบสูงกว่าสภาพผลิตปัจจุบัน โดยสำหรับสัดส่วนที่ 20 : 80 นั้นเป็นเพราะว่ามีปริมาณงานรอเข้าเครื่องเจาะเข็มเพชรมาก ทำให้เวลารอคอยเพิ่มมากขึ้นบริเวณเครื่องเจาะเข็มเพชร

ดังนั้นสัดส่วนของงานสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์ที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 30:70 เพราะสามารถผลิตแม่พิมพ์ใหม่ได้มากที่สุด และมีเวลารอคอยของระบบน้อยที่สุดด้วย เมื่อเทียบผลกับสภาพการผลิต ณ ปัจจุบัน และจากสัดส่วนอื่น หากมีการแก้ปัญหาคอขวดของเครื่องชุบทองแดงเพิ่มเติมตามแนวทางที่เสนอไปในหัวข้อที่แล้วนั้น ก็จะสามารถทำให้ผลิตแม่พิมพ์ได้ปริมาณที่มากขึ้นอีกด้วยเช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้หรือว่าเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจในการศึกษาต่อไป

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นพบว่าเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบได้แก่เครื่องชุบทองแดง (Copper plating machine) โดยพิจารณาจากอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานีงานนี้มีภาระงานมาก เมื่อพิจารณาเวลารอคอยของงานที่เข้าสู่เครื่องจักรหน่วยชุบทองแดงก็มีความสอดคล้องกันคือเป็นสถานีงานที่แม่พิมพ์ใช้เวลารอคอยงานเข้าสู่เครื่องจักรมากที่สุด ดังนั้นหน่วยชุบทองแดงจึงสรุปได้ว่าเป็นคอขวดที่แท้จริงของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์

สำหรับวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือการเสนอวิธีการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่เป็นคอขวดของระบบก่อน ซึ่งปัญหาของของเสียที่พบมากของงานที่เครื่องชุบทองแดงคือแม่พิมพ์ที่ชุบผิวทองแดงแล้วเกิดเป็นลักษณะหนามหรือเสี้ยนที่ชั้นของทองแดง ซึ่งการแก้ปัญหาของการลดของเสียที่กระบวนการชุบทองแดงนั้นคือ การใช้แผนผังความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดหนามหรือเสี้ยนที่ผิวทองแดงมาจากการที่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเครื่องชุบไม่เต็มที่ ทำให้การทำปฏิกิริยาเคมีไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายและรับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องซึ่งพบว่าบริเวณชุดสะพานไฟและบ่าทองเหลืองคราบน้ำมัน การแก้ไขโดยทำความสะอาดบริเวณจุดนั้น นอกจากนี้ยังยึดให้แผ่น anode แน่นมากยิ่งขึ้น เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าเข้าได้อย่างเต็มที่ สามารถลดของเสียลงเหลือ 3.5 เปอร์เซ็นต์ และทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบพบว่าการลดของเสียไม่สามารถผลิตแม่พิมพ์ใหม่เพิ่มได้ เนื่องจากเครื่องจักรจำเป็นต้องมีระยะเวลาในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น

จากนั้นนำเสนอแนวทางการลดของเสียที่กระบวนการผลิตที่มีอัตราของเสียมากเช่นเดียวกันที่กระบวนการขัดละเอียดด้วยใบมีดและการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ เนื่องจากยังไม่ได้มีการติดตามผลจากแนวทางที่นำเสนอ ดังนั้นจึงทำการประเมินอัตราของเสียที่ควรจะลดลงเพื่อใส่เป็นเงื่อนไขในแบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของสมรรถนะของระบบที่

เปลี่ยนไปซึ่งพบว่าการลดอัตราของเสียลงนั้น สามารถผลิตงานได้เพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มากเท่ากับปริมาณความต้องการที่เข้ามาในแต่ละวันได้ เนื่องจากยังคงมีของเสียจากสถานีงานอื่นกลับเข้ามา

สำหรับการจัดสรรเวลาให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เต็มเวลาผลิต เนื่องจากในแต่ละวันของกะจะมีช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งมีการหยุดเครื่องจักรด้วย ดังนั้นเมื่อใส่เงื่อนไขในแบบจำลองสถานการณ์ให้เครื่องชุบทองแดงที่เป็นคอขวดของระบบสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่มีการหยุดพักของพนักงานพบว่าสามารถทำให้ผลิตงานได้ทันตามปริมาณงานที่วางแผนไว้จริง แต่เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดมีแนวโน้มเป็นคอขวดของระบบอีก ดังนั้นจึงพิจารณาให้เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดทำงานเต็ม 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับเครื่องชุบทองแดงซึ่งเพิ่มเงื่อนไขให้มีการปรับลดอัตราของเสียลงเป็น 3.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาแต่ละสัปดาห์ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร กรณีนี้พบว่านอกจากจะสามารถผลิตงานได้ทันแล้ว ยังสามารถช่วยลดอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีดอีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถรองรับปริมาณงานเข้ามาได้เพิ่มอีกเล็กน้อย แต่แนวทางนี้จำเป็นต้องมีการหาพนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรช่วงเวลาพักด้วย ซึ่งอาจจ้างพนักงานเพิ่มหรือให้มีการทำงานล่วงเวลาก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณงานที่มอบหมายและค่าแรงของพนักงาน โดยผู้บริหารควรเป็นผู้ตัดสินใจถึงความคุ้มค่าของวิธีการดังกล่าวอีกครั้งต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์ความไว เมื่อสัดส่วนของงานที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากแนวโน้มในอนาคตสัดส่วนของงานที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์จะลดลง โดยจะเน้นไปที่งานสร้างภาพโดยใช้การเจาะด้วยเข็มเพชรมากขึ้น สำหรับสัดส่วนของงานที่ 40 :60 และ 30:70 นั้นพบว่าอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรอื่นๆไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก สำหรับปริมาณแม่พิมพ์ที่ทำได้เพิ่มขึ้นโดยสัดส่วนที่เหมาะสมก็คือ 30:70 เพราะทำให้เวลารอคอยในระบบลดลงมากที่สุดและผลิตงานได้มากที่สุด เนื่องจากการสร้างภาพใช้เวลาน้อยกว่าและขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากเท่ากับการสร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์ แต่ที่สัดส่วนของงาน 20 : 80 นั้นจะทำให้เครื่องเจาะเข็มเพชรมีงานรอหน้าเครื่องจักรมากเกินไป และเริ่มจะมีแนวโน้มที่จะกลายเป็นคอขวดของระบบเช่นเดียวกับเครื่องชุบทองแดงทำให้ผลิตงานได้น้อยกว่าสภาพการผลิตปัจจุบันอีกด้วย นอกจากนี้โอกาสผลิตงานได้ไม่ทันสูงมาก หากกรณีเครื่องจักรมีปัญหาเสียต้องหยุดซ่อมอีกด้วย จึงควรเตรียมแผนการรองรับความเสี่ยง หากจะนำแผนการผลิตนี้ไปใช้งานจริง

ดังนั้นประโยชน์ของการใช้แบบจำลองสถานการณ์มาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ผลนั้นสามารถช่วยในการวางแผนการดำเนินงานได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องทดลองกับพื้นที่ปฏิบัติงานจริงซึ่งอาจจะทำให้เสียเวลาการผลิตได้ และยังเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการใช้การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผล ขั้นตอนที่สำคัญและใช้เวลานานมากคือการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง ดังนั้นในการพิจารณาแผนการดำเนินงาน ควรเผื่อระยะเวลาสำหรับขั้นตอนในส่วนดังกล่าวนี้ให้เหมาะสมและยาวนานเพียงพอ เพื่อให้สามารถปฏิบัติได้ตามแผนงานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังสามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์สถานการณ์ที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสถานการณ์ปัจจุบันได้ด้วย เช่น กรณีที่มีการเพิ่มเครื่องจักรประเภทอื่น การเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต การเปลี่ยนแปลงจำนวนแม่พิมพ์ที่เข้ามาในแต่ละวัน เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางสำหรับการปรับปรุงงานเพียงบางส่วนเท่านั้น การเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการนั้น ยังสามารถหาวิธีที่จะลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตได้อีก ซึ่งต้องศึกษาจากพื้นที่จริงและศึกษาปัญหาเพื่อหาสาเหตุที่แน่ชัดของปัญหาอีกครั้ง เพื่อลดเวลาสูญเปล่าจากการทำงานซ้ำหรือมีการแก้ไขงานน้อย จะทำให้ระบบเดิมสามารถรองรับปริมาณความต้องการได้โดยที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากการส่งงานไปให้ผู้ผลิตภายนอก หรือแม้กระทั่งการเพิ่มจำนวนเครื่องจักร ซึ่งเป็นการลงทุนที่สูงและอาจจะไม่คุ้มค่า ดังนั้นเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขบางสิ่งบางอย่างจากสภาพการผลิตจริง ก็สามารถคาดการณ์จากการใช้แบบจำลองสถานการณ์ วิเคราะห์ผลและเพื่อพิจารณาประกอบการตัดสินใจได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คานาวาตี จอร์ช. การศึกษาการทำงาน. แปลโดยวิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคณะ.พิมพ์ครั้งที่6. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ชัยนนท์ ศรีสุภินานนท์ . การออกแบบผังโรงงานเพื่อเพิ่มผลผลิต. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา.พิมพ์ครั้งที่3. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี. TQM คู่มือพัฒนาองค์กรสู่ความเป็นเลิศ (ฉบับปรับปรุงใหม่).พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : เนชั่นบุ๊คส์, 2550.

ภาษาอังกฤษ

Bank J. Handbook of Simulation. New York : Wiley, 1998

Baesler, F.F Araya, E.Ramis, F.J and Sepulveda, J.A. The use of Simulation and Design of Experiments for Productivity Improvement in the Sawmill Industry. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference.Vol.2 2004 : 1218-1221.

Grabau, M.R.and Sadowski, D.A. Tips for successful Practice of Simulation. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference 1999 : 60-66.

Gujarathi, N.S., Ogale, R.M., and Gupta, T. Production Capacity Analysis of a Shock Absorber Assembly Line using Simulation. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. Vol.2 200 4: 1213-1217.

Harrell, C. and Gladwin, B. Productivity Improvement in Appliance Manufacturing. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference. 2007 : 1610-1614.

Law A.M. Simulation Modeling and Analysis. Singapore : McGraw-Hill, 2007

Law A.M. Statistical analysis of Simulation Output Data : The Practical state of the Art. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference 2007 : 77-83

Lima E., Chwif L and Barreto, M.R.P. Methodology for Selecting the Best Suitable Bottleneck Detection Method. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference 2008 : 1746-1751.

Ruohonen,T., Kamppila, M. and Jokitalo, A. the use of Simulation for Process Improvement in Metal Industry Case HT-Lasertekniikka. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference 2008 : 1891-1895.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

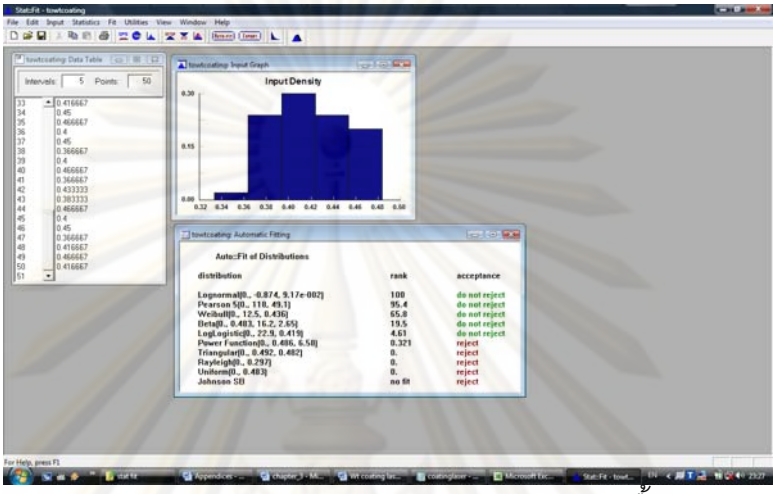
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้าโดยใช้โปรแกรม Stat Fit

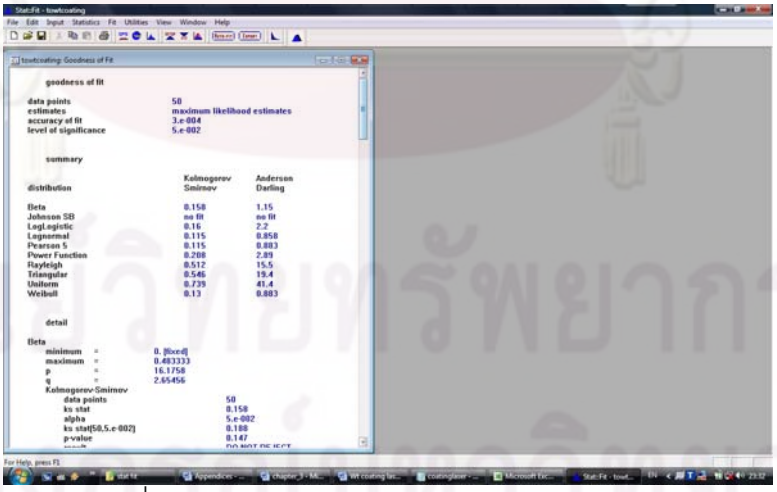
1.ป้อนข้อมูลเวลาที่รวบรวมได้ลงในตาราง (Data table)

2.จากนั้นเลือกที่แถบเครื่องมือ เพื่อให้แสดงกราฟฮิสโตแกรม และผลการคำนวณเบื้องต้นของลักษณะการกระจายของข้อมูลที่มีความเป็นไปได้ ดังรูป ก.1



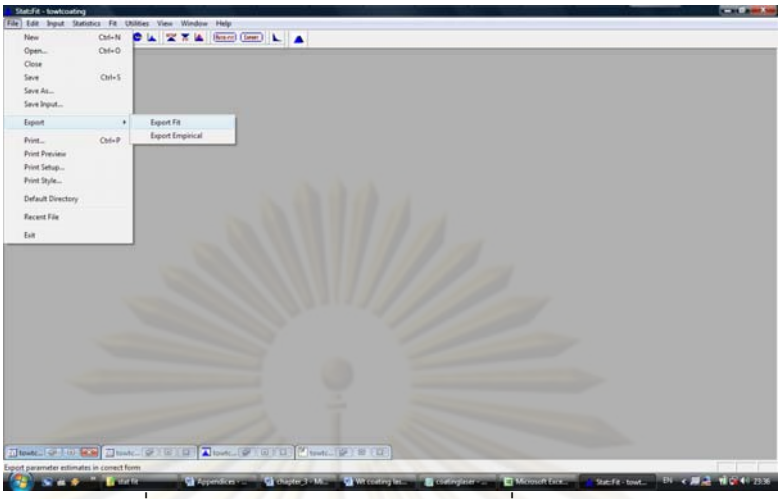
รูปที่ ก.1 การป้อนข้อมูล,กราฟฮิสโตแกรมและผลการคำนวณเบื้องต้นของลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลชุดหนึ่ง

3.จากนั้นสามารถเลือกแถบเครื่องมือที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยขึ้นกับวิธีที่ใช้ ในที่นี่เลือกวิธี Goodness of Fit ซึ่งจะแสดงผลการคำนวณทางสถิติอย่างละเอียด



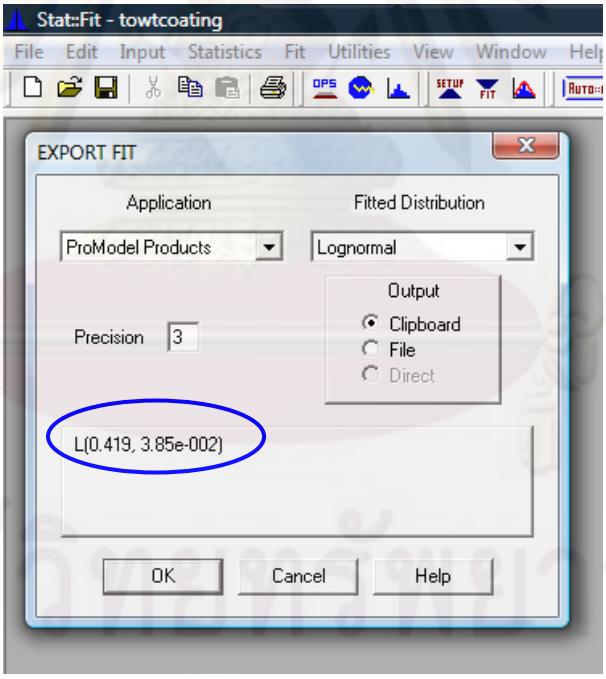
รูปที่ ก.2 ผลการคำนวณโดยใช้วิธี Goodness of fit

4.สำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เพื่อใส่ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้อง ป้องกันความผิดพลาดในการระบุค่าพารามิเตอร์ โดยเลือกแถบเครื่องมือที่ File/Export/Export Fit



รูปที่ ก.3 วิธีการระบุค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม

5.เลือกลักษณะการกระจายตัวที่เหมาะสม จะปรากฏหน้าต่างที่แสดงค่าพารามิเตอร์ ที่จะต้องใช้ป้อนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ ก.4 ค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลหนึ่งชุด

ข้อมูลดิบของเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการเคลื่อนที่หรือขนย้ายแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต

สำหรับเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลป้อนเข้า (Input) มีหน่วยของเวลาเป็นนาที สามารถแบ่งข้อมูลออกได้เป็น 2 ประเภทคือ เวลาที่ใช้กระบวนการผลิต และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่หรือขนย้ายแม่พิมพ์ในกระบวนการผลิต ซึ่งค่าพารามิเตอร์ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Stat Fit

1. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดหยาบ (coarse polishing)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.400	0.333	0.350	0.333	0.367	0.333	0.383	0.317	0.383	0.333
0.367	0.383	0.400	0.367	0.417	0.350	0.367	0.400	0.317	0.383
0.367	0.300	0.400	0.350	0.350	0.367	0.400	0.317	0.383	0.333
0.333	0.317	0.317	0.367	0.333	0.400	0.350	0.333	0.367	0.333
0.317	0.350	0.350	0.367	0.333	0.350	0.317	0.383	0.333	0.350

2. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องขัดหยาบ (polishing no.1 machine),ขัดหยาบ,นำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

9.53	11.82	9.38	10.47	12.63	11.58	12.83	9.72	9.79	11.53
13	12.03	10.57	11.89	9	12.06	11.59	11.43	11.52	11.72
10	12.05	10.19	13.12	10.34	11.76	11.32	11.67	10.78	12.3
11.9	11.74	9.55	11.47	10.5	11.28	10.49	12.65	12.04	10.88
10.32	10.65	10.3	10.74	12.69	11.12	12.06	10.38	12.29	12.95

3. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอชุบผิวด้วยทองแดง (copper plating)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.1833	0.1667	0.1667	0.1833	0.1833	0.15	0.2	0.2167	0.2167	0.1833
0.2333	0.1667	0.1833	0.1667	0.2333	0.15	0.1667	0.15	0.1667	0.2333
0.1333	0.1333	0.15	0.1667	0.2	0.1833	0.15	0.1833	0.1667	0.1333
0.2	0.2	0.1667	0.2	0.1833	0.2167	0.2	0.1333	0.15	0.2
0.15	0.1833	0.1833	0.2	0.1667	0.1667	0.2333	0.2333	0.2167	0.2

4.เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.15	0.2167	0.15	0.1667	0.15	0.1667	0.2	0.2	0.2167	0.2333
0.1667	0.1833	0.2	0.1667	0.1333	0.1833	0.15	0.2333	0.15	0.1667
0.1833	0.1667	0.1833	0.1833	0.15	0.2333	0.1667	0.15	0.1667	0.1667
0.15	0.1833	0.2333	0.1667	0.1667	0.1667	0.2	0.2	0.2167	0.15
0.1667	0.1667	0.1833	0.15	0.2	0.1833	0.2167	0.1667	0.1833	0.2167
0.1833	0.2	0.15	0.2167	0.2	0.2	0.15	0.1833	0.1667	0.15

5.เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องชุบทองแดง (copper plating machine),ชุบแม่พิมพ์ด้วยทองแดง และนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 49 ค่า

64.01	64.38	61.19	63.56	61.76	60.32	64.05	61.78	62.82	60.79
60.02	64.31	62.64	64.37	60.44	61.47	62.85	62.48	61.07	62.48
61.63	62.7	61.31	63.02	62.35	60.37	61.48	62.53	61.49	62.87
61.5	62.25	63.12	60.43	61.24	61.86	63.06	64.55	60.47	60.32
63.47	61.93	62.31	61.35	61.92	60.75	63.66	61.76	63.82	

6. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยใบมีด (fine polishing #1)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.2	0.2333	0.2	0.2167	0.2	0.2167	0.2167	0.25	0.2	0.2
0.2	0.2167	0.2167	0.1833	0.2333	0.2167	0.1833	0.1833	0.2	0.1833
0.25	0.2167	0.1833	0.2333	0.1833	0.2	0.25	0.2333	0.2	0.2333
0.2167	0.25	0.2167	0.2167	0.25	0.1833	0.2	0.2	0.2167	0.2
0.1833	0.2	0.25	0.2333	0.25	0.2167	0.2	0.25	0.25	0.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.3167	0.3833	0.3333	0.4	0.35	0.3167	0.4333	0.3667	0.3833	0.3167
0.4	0.35	0.4	0.35	0.4167	0.3333	0.35	0.4167	0.3167	0.4167
0.3833	0.3833	0.35	0.3667	0.4333	0.3167	0.3167	0.35	0.35	0.3333
0.35	0.3333	0.35	0.3333	0.3833	0.3333	0.3833	0.3167	0.4167	0.4167
0.4333	0.4333	0.3167	0.3833	0.3667	0.3833	0.3333	0.4333	0.3333	0.4

8.เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM),ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ และนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

33.45	26.23	32.21	29.76	33.28	27.25	33.27	30.32	28.78	30.32
25	32.5	28.16	26.19	27.87	31.22	31.74	27.92	30.2	28.8
27.75	30.8	28.63	29.64	30.02	32.18	29.83	31.43	29.64	30.05
30.44	25.31	32.67	30.54	25.06	31.63	30.56	27.66	26.29	31.79
29.86	29.65	26.19	29.56	25.31	26.59	28.89	31.39	31.47	28.54

9.เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดละเอียดด้วยหินขัด (fine polishing #2)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.2667	0.3	0.3333	0.3667	0.3333	0.3333	0.2833	0.4	0.4	0.3
0.3167	0.4	0.2833	0.3333	0.3	0.3167	0.3833	0.3667	0.3333	0.3667
0.3167	0.3333	0.3833	0.3667	0.3667	0.2667	0.3333	0.3333	0.35	0.3333
0.3333	0.4	0.35	0.3833	0.2667	0.4	0.2667	0.3	0.35	0.3333
0.3833	0.3833	0.3167	0.3167	0.3833	0.3333	0.3167	0.3667	0.3833	0.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (polishing no.2 machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.3167	0.3833	0.3333	0.35	0.3167	0.4333	0.4	0.3667	0.3833	0.3167
0.4	0.35	0.4	0.4167	0.3333	0.35	0.35	0.4167	0.3167	0.4167
0.3833	0.3833	0.35	0.4333	0.3167	0.3167	0.3667	0.35	0.35	0.3333
0.35	0.3333	0.35	0.3833	0.3333	0.3833	0.3333	0.3167	0.4167	0.4167
0.4333	0.4333	0.3167	0.3667	0.3833	0.3333	0.3833	0.4333	0.3333	0.4

11.เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์ด้วยหินขัด (polishing no.2 machine), ขัดละเอียดผิวแม่พิมพ์และนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

14.6	14.53	11.5	10.12	13.59	12.75	12.09	14.24	10.41	13.09
10.12	12.7	12.89	13.83	11.94	13.78	12.93	13.05	12.46	9.22
11.23	13	10.58	12	13.88	11.8	10.71	12.75	11.25	10.89
11.69	13.47	10.63	13.64	12.3	10.75	12.49	12.2	10.5	10.56
12.07	11.54	14.16	15.05	10.66	14.63	11.38	14.01	13.12	11.87

12. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดมันวาว (buffing)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 49 ค่า

0.1	0.1667	0.1167	0.15	0.1667	0.15	0.1667	0.15	0.1167	0.1
0.1167	0.1333	0.1667	0.1333	0.1667	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1667
0.1667	0.15	0.15	0.1167	0.1333	0.1333	0.1333	0.1333	0.15	0.1333
0.1333	0.1	0.1667	0.1333	0.1167	0.15	0.1333	0.1667	0.1667	0.1333
0.15	0.1333	0.15	0.1167	0.1167	0.1167	0.1667	0.1167	0.1333	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13.เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าสู่เครื่องขัดมันวาว (buff machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.1333	0.1333	0.1	0.1667	0.1167	0.15	0.1667	0.1333	0.1	0.1
0.15	0.15	0.1333	0.1167	0.1667	0.1167	0.1	0.1	0.15	0.1333
0.1	0.1333	0.1333	0.1333	0.15	0.1167	0.1333	0.1667	0.1167	0.1667
0.1	0.1	0.15	0.1667	0.15	0.1	0.1	0.1667	0.1333	0.1167
0.1167	0.1667	0.1333	0.1167	0.1	0.1333	0.1167	0.1167	0.1333	0.1

14. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องขัดมันวาว (buff machine), ขัดมันวาวตรวจสอบงานและนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

10.45	10.64	11	10.88	10.57	11.29	11.85	11.84	12.3	11.32
10.84	11.16	11.64	11.75	11.28	12.19	10.74	12.02	10.87	11.69
12.5	10.28	10.57	11.35	10.31	11.69	12.21	11.62	10.49	10.67
11.09	10.56	12.13	10.47	11.02	11.22	12.27	10.45	11.38	12.03
11.53	11.03	10.48	11.78	11.56	10.53	10.65	12.8	12.07	11.7

15. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอสร้างภาพ (image creation)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.1	0.1333	0.1167	0.1667	0.1	0.1	0.1333	0.15	0.15	0.1667
0.1	0.1333	0.1167	0.1333	0.15	0.1667	0.1667	0.1	0.1667	0.1
0.1167	0.1167	0.1167	0.15	0.1167	0.1	0.1667	0.1	0.1333	0.15
0.1	0.15	0.1333	0.1167	0.1333	0.1167	0.1333	0.1333	0.1333	0.1167
0.1167	0.15	0.1	0.1333	0.15	0.1167	0.1167	0.1667	0.15	0.1167

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าสู่ห้องเลเซอร์มายังพื้นที่รอเคลือบน้ำยาไวแสง (coating laser)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.3667	0.3667	0.4667	0.4167	0.3833	0.45	0.4833	0.4	0.3667	0.45
0.4333	0.4167	0.4333	0.3333	0.3667	0.3833	0.3667	0.45	0.4333	0.3667
0.4	0.45	0.4333	0.4667	0.4333	0.45	0.4167	0.3667	0.3833	0.4167
0.4833	0.4167	0.3833	0.4667	0.4333	0.4167	0.45	0.4	0.4667	0.4667
0.4	0.4	0.4833	0.4167	0.4	0.3667	0.4667	0.4667	0.4	0.4167

17. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง (coat laser)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.05	0.1	0.0833	0.1167	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
0.0833	0.0833	0.05	0.1	0.0833	0.1167	0.1167	0.1167	0.1167	0.0833
0.0667	0.1	0.05	0.0833	0.0667	0.1167	0.0833	0.0833	0.05	0.0833
0.0667	0.1	0.0667	0.0667	0.0833	0.0667	0.0667	0.1	0.05	0.05
0.0667	0.0833	0.1	0.05	0.1	0.0833	0.0667	0.1	0.0667	0.0667

18. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง (coat machine), เคลือบน้ำยาไวแสงง และนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 48 ค่า

11.5	11.63	12.67	10.65	10.38	11.63	12.84	11.57	11.64	10.8
13	12.23	10.68	12	12.1	12.56	10.73	11.82	11.09	12.05
11.82	11.34	11.16	10.41	12.94	12.32	11.67	13.01	12.58	11.83
12	13.22	12.41	11.66	10.18	11.87	11.43	12.85	10.23	
11.4	11.47	12.53	11.1	12.34	11.9	12.39	10.97	11.75	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอยิงเลเซอร์ (laser shoot)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.0833	0.1	0.0667	0.0667	0.0833	0.0667	0.0667	0.1167	0.1	0.0667
0.1333	0.0667	0.1	0.0833	0.1	0.1167	0.1333	0.1	0.0667	0.1167
0.0833	0.0833	0.1167	0.1333	0.1333	0.0833	0.0833	0.0667	0.1	0.0833
0.0667	0.1	0.0833	0.1	0.1	0.1	0.1167	0.1167	0.1333	0.0667
0.1	0.1333	0.1167	0.0833	0.1167	0.1	0.1	0.0833	0.1167	0.1
0.0833	0.1	0.0833	0.1167	0.1	0.0833	0.1167	0.0833	0.1	0.0667

20. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เข้าเครื่องยิงเลเซอร์ (laser machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.0833	0.1333	0.1	0.0833	0.0833	0.0667	0.0833	0.1167	0.0833	0.1333
0.0667	0.0833	0.1333	0.1	0.1	0.1	0.0667	0.0833	0.0833	0.1
0.1	0.0833	0.0667	0.0833	0.1167	0.0833	0.1	0.1	0.1333	0.1167
0.1167	0.1167	0.1	0.1167	0.0833	0.1	0.1167	0.0667	0.1167	0.0667
0.1	0.0833	0.0833	0.1	0.1	0.1167	0.0667	0.1	0.0667	0.0833
0.1167	0.0833	0.1167	0.1167	0.1333	0.0833	0.1333	0.1167	0.0667	0.1

21. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องยิงเลเซอร์ (laser machine), ยิงเลเซอร์เพื่อสร้างภาพ และนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 47 ค่า

32.16	32	33.18	31.31	32.12	32.56	32.82	30.98	31.94	34.02
33.15	32.65	31.37	32.41	31.03	31.34	31.01	32.4	31.27	31.69
31.74	33.16	31.75	32.16	34.53	31.69	32.33	31.67	32.83	
33.06	32.24	32.3	34.63	33	32.87	31.07	33.61	30.11	
30.53	32.84	32.47	32.15	33.94	30.96	32.65	30.09	32.3	

22.เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอล้างน้ำยาไวแสง (develop cleaning)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.1	0.0667	0.1	0.1	0.0667	0.0833	0.1	0.0833	0.1333	0.1
0.0833	0.0667	0.0833	0.0833	0.1	0.0833	0.1	0.0667	0.1	0.0833
0.1	0.1333	0.0667	0.0667	0.0667	0.1	0.0833	0.0833	0.1167	0.0667
0.1167	0.1167	0.0833	0.1	0.1167	0.1167	0.1167	0.1	0.1	0.1333
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.1	0.1167	0.1333	0.0667	0.0667	0.0667
0.1	0.0833	0.1333	0.0833	0.0667	0.0667	0.0667	0.0833	0.1333	0.1

23. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องล้างน้ำยาไวแสง (develop machine), ล้างน้ำยาไวแสง และนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

13.53	14.15	14.25	14.25	14.92	14.29	13.9	11.96	12.6	12.82
13.13	12.39	13.09	15.79	12	15.4	12.33	13.19	12.95	12.67
12.85	14.69	14.37	13.03	13.16	13.35	14.92	12.75	11.86	11.93
14.19	13.59	13.27	12.31	13.28	12.47	13.04	12.83	12.04	11.84
12.34	12.12	14.65	14.47	15.28	13.29	13.93	14.03	14.12	12.09

24. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบงานเลเซอร์

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.4167	0.5833	0.5667	0.5333	0.4167	0.45	0.4667	0.4667	0.4833	0.4833
0.45	0.4667	0.5333	0.5667	0.5333	0.4167	0.4833	0.5167	0.4167	0.5167
0.5	0.45	0.5333	0.5667	0.5333	0.4833	0.55	0.5833	0.55	0.45
0.5667	0.5	0.55	0.55	0.4333	0.4167	0.5	0.4833	0.5	0.4167
0.5	0.45	0.4833	0.5333	0.5	0.5833	0.4167	0.5667	0.4333	0.4833

25. เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้แสงเลเซอร์

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

8.15	6.57	7.29	7	7.66	7.1	8	7.93	7.01	6.83
7.68	7.19	7.25	7.36	7	7.28	7.1	7.29	7.6	6.7
7.26	6.34	6.83	6.55	7.19	6.49	6.76	6.64	8.2	7.3
7.59	6.4	6.35	6.57	7.73	6.95	6.49	6.82	7.85	7.81
6.5	6.73	6.75	7.38	7.21	6.5	8.1	6.69	7.19	6.93

26. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์เลเซอร์ไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม (Cr plating)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.0667	0.1333	0.0667	0.0833	0.1167	0.1167	0.0667	0.0833	0.1	0.0833
0.0833	0.0833	0.0833	0.1167	0.0667	0.1	0.1167	0.1167	0.0833	0.0667
0.1167	0.1	0.1167	0.0833	0.1	0.1333	0.0667	0.0833	0.0667	0.1
0.1	0.0833	0.0833	0.1333	0.0833	0.1167	0.0833	0.0667	0.1167	0.1167
0.1	0.0833	0.1	0.1167	0.0833	0.0833	0.1	0.1333	0.1	0.1333
0.1	0.1167	0.1	0.1	0.1	0.1333	0.1	0.1167	0.1167	0.0667

27. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มายังเครื่องเจาะเข็มเพชร (Helio K 500 machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.6	0.6667	0.6	0.6667	0.6667	0.6333	0.65	0.6667	0.6333	0.6
0.65	0.7167	0.6167	0.7333	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6167
0.6	0.6667	0.6667	0.6833	0.6	0.7	0.6667	0.7	0.7	0.6167
0.6667	0.6	0.6333	0.65	0.6667	0.6833	0.6167	0.6167	0.65	0.6
0.6333	0.6833	0.6	0.6333	0.6833	0.7167	0.6833	0.6	0.6667	0.6833

28. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องเจาะเข็มเพชร (Helio K 500 machine) , สร้างภาพด้วยการเจาะเข็มเพชร และนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

15.25	30.02	59.12	51.22	28.5	67.29	41.94	15.9	62.67	18.09
47.02	15.53	43.64	58.08	20.4	16.04	30.85	40.37	61.4	17.43
23.24	20.5	81.41	64.53	31.9	22.75	20.42	37.95	30.85	16.79
149.47	69.86	35.47	17.34	17.06	64.26	45.03	63.04	24.9	74.62
61.65	23.53	50.25	23.68	30.16	81.47	42.42	84.21	26.86	123.02

หมายเหตุ เวลาที่ใช้ในกระบวนการนี้ จะมีค่าของเวลาที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงมีความแปรปรวนสูงซึ่งถือเป็นลักษณะเฉพาะของเวลาที่ใช้ในการสร้างภาพโดยขึ้นกับขนาดของสกรีนและเทคนิคที่ใช้ในการเจาะแม่พิมพ์

29. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ที่เจาะด้วยเข็มเพชรไปยังพื้นที่ตรวจสอบงาน

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.8	0.8333	0.8167	0.8333	0.8167	0.85	0.8333	0.8667	0.8167	0.8833
0.7667	0.85	0.8667	0.7833	0.7333	0.7667	0.7333	0.8	0.7167	0.85
0.8333	0.7333	0.7167	0.8833	0.75	0.7333	0.8667	0.7667	0.8167	0.8167
0.9	0.7667	0.8	0.8333	0.8333	0.8333	0.7833	0.7167	0.8667	0.7333
0.7833	0.8333	0.7667	0.7833	0.8	0.8167	0.7667	0.85	0.7333	0.7833

30.เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพงานที่สร้างภาพโดยใช้เข็มเพชร

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

7.25	7.69	7.25	6.43	6.56	6.63	7.43	8	8.06	7.21
6.57	6.47	7.12	7.69	7.34	7	6.97	7.62	6.73	6.9
7.03	7.61	8.25	7.84	7.28	7.76	8.3	7.03	7.02	6.58
7.59	6.17	7.64	6.25	6.59	6.51	7.69	8.17	6.84	7.03
7.34	6.5	6.31	7.7	6.21	7.19	6.8	6.84	7.61	7.94

31. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ที่เจาะด้วยเข็มเพชรไปยังพื้นที่รอชุบโครเมียม

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.1167	0.1	0.0833	0.0833	0.1	0.0667	0.0833	0.0667	0.0833	0.0833
0.0667	0.1167	0.1167	0.0833	0.0667	0.1	0.1	0.0833	0.1167	0.0833
0.1	0.1	0.0833	0.0667	0.1333	0.1	0.1167	0.1167	0.1	0.0667
0.1167	0.0667	0.0667	0.1167	0.1167	0.1333	0.0833	0.1333	0.1	0.0833
0.1333	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0833	0.1167	0.0833	0.1167	0.0833
0.0833	0.0833	0.1167	0.0833	0.0667	0.1	0.1333	0.1	0.0667	0.1

32. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์มาที่เครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.1167	0.0833	0.0833	0.1	0.1167	0.0833	0.15	0.1333	0.1	0.1167
0.1	0.1167	0.1167	0.1	0.1	0.1167	0.1	0.15	0.1167	0.1
0.0833	0.1	0.1	0.1167	0.1333	0.1333	0.1333	0.1167	0.0833	0.15
0.0833	0.1	0.15	0.1333	0.1167	0.0833	0.1167	0.0833	0.1333	0.1333
0.1167	0.0833	0.1333	0.1167	0.1333	0.1	0.15	0.1333	0.15	0.0833
0.1333	0.1333	0.1167	0.15	0.1167	0.1	0.1	0.1	0.1167	0.1167

33. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องชุบโครเมียม (hard-chrome plating machine) ,ชุบโครเมียม และนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องชุบ

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

34.27	28.15	27.67	35.28	29.22	28.53	35.83	39.4	31.83	30.84
39.61	34.69	39.22	28.43	35.43	30.28	29.05	33.85	33.65	35.9
40.65	32.74	38.74	36.12	26.57	34.31	32.6	28.9	40	29.7
35.35	33.5	36.39	34.24	34.14	40.52	37.06	30.73	28.05	37.04
28.82	29.37	27.18	35.25	29.47	38.25	28.93	28.45	30.92	32.63

34. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ตรวจสอบคุณภาพงาน

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 48 ค่า

0.1167	0.0833	0.0833	0.0833	0.1	0.0667	0.0833	0.0667	0.0667	0.0667
0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.0667	0.0833	0.0667
0.0667	0.0667	0.0833	0.0667	0.05	0.0833	0.0667	0.0667	0.0833	0.05
0.0833	0.05	0.0667	0.0667	0.1	0.0667	0.0833	0.05	0.05	
0.1	0.0833	0.0667	0.0667	0.0667	0.05	0.05	0.1	0.0833	

35. เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์หลังชุบโครเมียม

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

5.17	4.76	5.2	5.14	5.07	5.73	4.63	5.63	5.83	5.88
5.32	5.03	5.25	4.56	5.06	4.31	5.9	4.77	4.9	4.92
4.56	5.31	6	5.85	4.56	5.06	5.38	5.02	6.03	5.67
5.24	5.32	5.65	4.58	4.54	4.64	5.61	4.6	5.3	5.3
5.67	5.86	5.33	5.66	5.39	5.19	6.04	5.28	4.9	5.25

36. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.2333	0.2667	0.3	0.3167	0.2667	0.2833	0.2333	0.25	0.2333	0.2667
0.2333	0.3	0.3	0.2667	0.2667	0.3167	0.2333	0.2333	0.3167	0.25
0.2667	0.25	0.2833	0.2667	0.3	0.2667	0.2833	0.3	0.2333	0.25
0.25	0.3167	0.3167	0.2667	0.25	0.25	0.3167	0.2667	0.3	0.3
0.3167	0.3	0.2833	0.3167	0.2667	0.2667	0.25	0.2833	0.2333	0.2333

37. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปเครื่องขัดผิวด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.5333	0.65	0.6667	0.55	0.5333	0.55	0.55	0.6167	0.5833	0.6833
0.55	0.5667	0.6833	0.6	0.6333	0.6833	0.6333	0.5667	0.6	0.6667
0.5833	0.6	0.6167	0.5833	0.6667	0.6	0.6	0.6667	0.5333	0.65
0.5333	0.6833	0.5667	0.65	0.6	0.6667	0.6667	0.5333	0.6833	0.55
0.5333	0.5333	0.5333	0.7	0.55	0.5333	0.5333	0.6333	0.6167	0.5333

38. เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทราย (sand paper polishing machine), ขัดผิวแม่พิมพ์ ตรวจสอบงานและนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

12.19	12.69	13.58	14.34	12.21	12.71	12.9	12.09	12.72	12.6
12	12.04	12.37	11.25	13.09	11.37	11.65	12.39	11.9	12.4
11.9	11.67	11.21	12.69	11.28	11.62	11.89	14.06	13.89	13.6
11.53	11.56	14.35	14	12.56	12.06	12.04	12.78	11.37	13.03
12.18	12.25	13.47	12.62	12.37	11.35	11.66	13.02	13.06	11.9

39. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่ห่อกระดาษ (wrapping)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 60 ค่า

0.0833	0.0667	0.1333	0.1333	0.0833	0.1333	0.1	0.0833	0.1	0.0833
0.0667	0.1333	0.0833	0.0667	0.1167	0.1	0.0833	0.0667	0.1	0.1167
0.0833	0.1	0.0667	0.0667	0.0833	0.0833	0.0667	0.1	0.1167	0.1167
0.1167	0.0667	0.1167	0.1	0.1	0.0833	0.1	0.1167	0.0667	0.0667
0.0833	0.0833	0.0833	0.1	0.0833	0.0667	0.1	0.0833	0.1333	0.1
0.0667	0.0833	0.0667	0.1333	0.1	0.1	0.0667	0.0833	0.1	0.1167

40. เวลาที่ใช้ในการห่อแม่พิมพ์ด้วยกระดาษลูกฟูก

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

5.53	4.66	4.34	4.38	3.57	4.96	4.79	5.6	5.63	3.94
4.18	5.09	6	6	5	4.3	5.02	4.28	5.79	4.06
5.12	6.03	5.03	5.46	5.5	4.34	4.82	4.32	5.21	4.8
5.16	5.86	4.28	4.24	4.46	5.28	4.9	5.02	4.72	5.78
4.37	4.32	5.22	4.61	5.12	5.09	5	4.87	4.29	4.93

41. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอปรู๊ฟงาน (proofing)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.7167	0.8	0.7	0.7167	0.7833	0.6833	0.7167	0.7333	0.7667	0.7167
0.7	0.7	0.7333	0.7333	0.8333	0.6667	0.8333	0.7167	0.7167	0.7667
0.7	0.7167	0.7667	0.6667	0.7167	0.7	0.7167	0.8333	0.7333	0.7167
0.7333	0.7167	0.8333	0.7667	0.6667	0.7333	0.75	0.7333	0.7833	0.7167
0.7167	0.7	0.7833	0.7167	0.7333	0.7167	0.7667	0.7167	0.7	0.7667

42. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังเครื่องปรู๊ฟ (proof machine)

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.7	0.6667	0.6333	0.7167	0.75	0.75	0.65	0.7167	0.7167	0.65
0.7333	0.7	0.6833	0.7	0.6333	0.6333	0.7	0.7333	0.6667	0.75
0.75	0.6333	0.6333	0.75	0.7	0.6833	0.6667	0.65	0.6333	0.6667
0.6333	0.65	0.75	0.6333	0.7333	0.6333	0.6333	0.6333	0.7333	0.7
0.6833	0.65	0.7167	0.7333	0.65	0.75	0.75	0.75	0.7	0.6833

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

43.เวลาที่ใช้ในการนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องปรู๊ฟ (proof machine) ,ปรู๊ฟงาน และนำแม่พิมพ์ลงจากเครื่อง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

11.56	12.63	13.28	13.66	13.88	13.71	13.63	12.83	15.03	13.9
15.24	14.18	13.1	12.06	12.08	12.25	14.29	15.02	12.79	13.84
13.21	14.82	13.47	11.53	12.45	13.41	13.82	13.92	14.02	12.89
11.24	14.06	12	12.12	12.31	15.02	15.02	14.02	13.97	13.62
12.4	14.78	11.38	13.15	12.15	13.36	13.9	13.48	14.76	13.84

44. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ไปยังพื้นที่รอเก็บเข้าโกดัง

ข้อมูลดิบ (หน่วย นาที) จำนวนข้อมูล 50 ค่า

0.7	0.6667	0.65	0.6833	0.6667	0.5667	0.5667	0.6333	0.7	0.5833
0.6	0.6333	0.6667	0.6167	0.65	0.6833	0.65	0.6	0.65	0.65
0.65	0.7167	0.6333	0.65	0.7167	0.6167	0.6	0.6833	0.6833	0.7
0.5667	0.65	0.6833	0.7167	0.7	0.6167	0.7	0.6667	0.6667	0.5667
0.6167	0.7167	0.7	0.65	0.7	0.6667	0.6667	0.6167	0.6	0.6667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์
ด้วยโปรแกรม Promodel 7.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์การพิมพ์กราเวียร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Promodel 7.0

1. กำหนดหน่วยที่ใช้ของแบบจำลอง (หน่วยของเวลา : Minutes, หน่วยระยะทาง : Meters)
2. การกำหนด Location ถือเป็นตัวแทนของระบบที่เป็นเส้นทางให้ Entities เกิดกิจกรรมการทำงาน, สถานที่เก็บของ หรือกิจกรรมต่างๆ หรือการตัดสินใจก็ได้
    a. Capacity คือปริมาณของงานที่ Location นั้นสามารถรองรับได้สูงสุด
    b. Unit คือจำนวนของ Location แต่ละชนิดที่มี ซึ่งจะต้องมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันทุกประการ
    c. Rules คือการระบุการเลือก Entities ที่จะเข้ามายัง location เช่น เป็นแบบสุ่มหรือตามลำดับงานที่รออยู่ก่อน และการกำหนดแถวคอยของ Output เช่น FIFO เป็นต้น
3. การกำหนด Entities ซึ่งอาจจะเป็นคน สิ่งของ เอกสาร ที่เคลื่อนไหวทำกิจกรรมในแบบจำลองทั้งนี้ขึ้นกับความต้องการว่าจะวัดผลอะไร
4. การกำหนด Processing เป็นการกำหนดเส้นทางกิจกรรมและลำดับการทำงานให้กับ Entities
5. การกำหนด Arrival หรือเวลาที่ Entities จะเข้าสู่ระบบ
6. การกำหนด Variable (Global) เป็นการกำหนดตัวแปรอื่นๆนอกจาก Entities เมื่อต้องการเก็บข้อมูลของตัวแปรเหล่านี้ระหว่างกระบวนการ นอกเหนือไปจากผลลัพธ์ เช่น จำนวนของเสีย งานที่ทำในแต่ละสถานี เป็นต้น โดยแสดง View text ของการเขียนโปรแกรมได้ดังรูป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
*************************************************************************
*
*                    Formatted Listing of Model:
*             C:\Users\user\Downloads\Desktop\Present_layout.MOD
*
*************************************************************************

  Time Units:                         Minutes
  Distance Units:                     Meters


*************************************************************************
*                              Locations
*************************************************************************

  Name                  Cap      Units Stats       Rules           C
  --------------------- -------- ----- ----------- --------------- -
  steelcore_recevied    100      1     Time Series Oldest, ,
  Pol_1Q                INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_pol_1     8        1     Time Series Oldest, FIFO,
  Polishing_1_machine   1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_CU         20       1     Time Series Oldest, ,
  CU_Q                  INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Font_Boomerange       1        1     Time Series Oldest, , First
  CU_plating_mc         1        2     Time Series Oldest, , First
  CU_plating_mc.1       1        1     Time Series Oldest, ,
  CU_plating_mc.2       1        1     Time Series Oldest, ,
  CR_plating_mc         1        2     Time Series Oldest, , First
  CR_plating_mc.1       1        1     Time Series Oldest, ,
  CR_plating_mc.2       1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_CFM        20       1     Time Series Oldest, ,
  CFM_Q                 INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_CFM       8        1     Time Series Oldest, FIFO,
  CFM_Machine           1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_pol2       20       1     Time Series Oldest, ,
  Pol2_Q                INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_pol2      8        1     Time Series Oldest, ,
  Polishing_2machine    1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_buff       20       1     Time Series Oldest, ,
  Buff_Q                INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_buff      8        1     Time Series Oldest, ,
  Buff_machine          1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_image      20       1     Time Series Oldest, ,
  Helio_Q               INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Helio_machine         1        1     Time Series Oldest, , First
  QC_microscope         1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_CR         20       1     Time Series Oldest, ,
  Laser_Q               INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_laser     10       1     Time Series Oldest, ,
  coat_laser_machine    1        1     Time Series Oldest, ,
  shooting_laser_machine 1       1     Time Series Oldest, ,
  Develop_laser_machine 1        1     Time Series Oldest, ,
  Laser_finished        20       1     Time Series Oldest, ,
  QC_laser              1        1     Time Series Oldest, ,
  CR_coat_Q             INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  WIP_before_surface    20       1     Time Series Oldest, ,
  Surface_Q             INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_surface   20       1     Time Series Oldest, ,
  Surface_sander_mc.    1        1     Time Series Oldest, ,
  Wrapper_Q             INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_Wrap      30       1     Time Series Oldest, ,
  Wrapping              1        1     Time Series Oldest, ,
  WIP_before_proof      50       1     Time Series Oldest, ,
  Proof_Q               INF      1     Time Series Oldest, FIFO,
  Proof_mc.             1        1     Time Series Oldest, ,
  rest_before_proof     20       1     Time Series Oldest, ,
  Received_ReCR_cyl     50       1     Time Series Oldest, ,
  Re_CRQ                INFINITE 1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_to_Godown        100      1     Time Series Oldest, ,
  QC_microQ             INFINITE 1     Time Series Oldest, FIFO,
  Rest_before_develop   8        1     Time Series Oldest, ,
  Rest_before_shooting  8        1     Time Series Oldest, ,
  losspol1              1        1     Time Series Oldest, ,
  losscu                1        1     Time Series Oldest, ,
  losscfm               1        1     Time Series Oldest, ,
  losspol2              1        1     Time Series Oldest, ,
  lossbuff              1        1     Time Series Oldest, ,
  losshelio             1        1     Time Series Oldest, ,
  losslaser             1        1     Time Series Oldest, ,
  losscr                1        1     Time Series Oldest, ,
  lossrecr              1        1     Time Series Oldest, ,


*************************************************************************
*                              Entities
*************************************************************************

  Name          Speed (mpm)  Stats       Cost
  ------------- ------------ ----------- ------------
  Cylinder      50           Time Series
  ReCR_cylinder 50           Time Series
```

รูปที่ ข1 การกำหนดหน่วยที่ใช้และ Location และ Entities

```
*****************************************************************************************
*                                    Processing                                         *
*****************************************************************************************
```

		Process				Routing		
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic	
Cylinder	steelcore_recevied		1	Cylinder	Pol_1Q	FIRST 1		
Cylinder	Pol_1Q		1	Cylinder	Rest_before_pol_1	FIRST 1		
Cylinder	Rest_before_pol_1		1	Cylinder	Polishing_1_machine	FIRST 1	move for	L(0.355,2.85e-002)
Cylinder	Polishing_1_machine	wait T(8,12,13.4)polishing1=polishing1+1						
			1	Cylinder	WIP_before_CU	0.980000 1	move for	L(0.182,2.87e-002)
				Cylinder	rework_pol1	0.020000	move for	L(0.355,2.85e-002)
Cylinder	rework_pol1	loss_pol1=loss_pol1+1						
			1	Cylinder	Pol_1Q	FIRST 1	move for	L(0.355,2.85e-002)
Cylinder	WIP_before_CU		1	Cylinder	CU_Q	FIRST 1	move for	L(0.181,2.54e-002)
Cylinder	CU_Q		1	Cylinder	CU_plating_machine	FIRST 1		
Cylinder	CU_plating_machine	wait 60+W(1.68,2.4)graphic 2 CU=CU+1						
			1	Cylinder	WIP_before_CFM	0.950000 1	move for	L(0.215,2.25e-002)
				Cylinder	rework_cu	0.050000	move for	L(0.355,2.85e-002)
Cylinder	rework_cu	loss_CU=loss_CU+1						
			1	Cylinder	Pol_1Q	FIRST 1		
Cylinder	WIP_before_CFM		1	Cylinder	CFM_Q	FIRST 1	move for	L(0.367,3.79e-002)
Cylinder	CFM_Q		1	Cylinder	Rest_before_CFM	FIRST 1		
Cylinder	Rest_before_CFM		1	Cylinder	CFM_Machine	FIRST 1		
Cylinder	CFM_Machine	wait T(24,30.3,34.2) CFM=CFM+1						
			1	Cylinder	WIP_before_pol2	0.950000 1	move for	L(0.339,3.98e-002)
				Cylinder	rework_cfm	0.050000	move for	4 sec
Cylinder	rework_cfm	loss_CFM=loss_CFM+1						
			1	Cylinder	WIP_before_CU	FIRST 1		
Cylinder	WIP_before_pol2		1	Cylinder	Pol2_Q	FIRST 1	move for	L(0.13,2.41e-002)
Cylinder	Pol2_Q		1	Cylinder	Rest_before_pol2	FIRST 1		
Cylinder	Rest_before_pol2		1	Cylinder	Polishing_2machine	FIRST 1		
Cylinder	Polishing_2machine	wait 9+W(2.51,3.7)polishing2=polishing2+1						
			1	Cylinder	WIP_before_buff	0.980000 1	move for	L(0.136,2.33e-002)
				Cylinder	rework_pol2	0.020000	move for	L(0.13,2.41e-002)
Cylinder	rework_pol2	loss_pol2=loss_pol2+1						
			1	Cylinder	WIP_before_pol2	FIRST 1	move for	L(0.13,2.41e-002)
Cylinder	WIP_before_buff		1	Cylinder	Buff_Q	FIRST 1	move for	L(0.13,2.32e-002)
Cylinder	Buff_Q		1	Cylinder	Rest_before_buff	FIRST 1		
Cylinder	Rest_before_buff		1	Cylinder	Buff_machine	FIRST 1		
Cylinder	Buff_machine	wait T(10,10.6,13.1) buff=buff+1						
			1	Cylinder	WIP_before_image	0.980000 1	move for	L(0.13,2.33e-002)
				Cylinder	rework_buff	0.020000	move for	L(0.13,2.32e-002)
Cylinder	rework_buff	loss_buff=loss_buff+1						
			1	Cylinder	WIP_before_buff	FIRST 1	move for	L(0.13,2.31e-002)
Cylinder	WIP_before_image		1	Cylinder	Helio_Q	0.480000 1		
				Cylinder	Laser_Q	0.520000		
Cylinder	Helio_Q		1	Cylinder	Helio_machine	FIRST 1	move for	L(0.648,3.85e-002)
Cylinder	Helio_machine	wait 15+E(29) graphic 3 Helio=Helio+1						
			1	Cylinder	QC_microQ	FIRST 1	move for	L(8.35,4.24e-002)
Cylinder	QC_microQ		1	Cylinder	QC_microscope	FIRST 1		
Cylinder	QC_microscope	wait 6+W(2.16,1.32)						
			1	Cylinder	WIP_before_CR	0.980000 1	move for	L(9.59e-002,2.04e-(
				Cylinder	rework_helio	0.020000	move for	L(0.648,3.85e-002)
Cylinder	rework_helio	loss_helio=loss_helio+1						
			1	Cylinder	Pol_1Q	FIRST 1	move for	10 sec

```
Cylinder      WIP_before_image                          1    Cylinder      Laser_Q                   FIRST 1
Cylinder      Laser_Q                                   1    Cylinder      Rest_before_laser         FIRST 1     move for L(0.419,3.85e-002)
Cylinder      Rest_before_laser                         1    Cylinder      coat_machine              FIRST 1     move for L(7.98e-002,2.32e-002)
Cylinder      coat_machine              wait T(10,11.8,13.5) graphic 4
                                                        1    Cylinder      Rest_before_lasershoot    FIRST 1     move for W(5.18,0.104)
Cylinder      Rest_before_lasershoot                    1    Cylinder      laser_machine             FIRST 1     move for L(9.73e-002,2.09e-002)
Cylinder      laser_machine             wait 30+W(2.17,2.47)
                                                        1    Cylinder      Rest_before_develop       FIRST 1     move for L(9.73e-002,2.09e-002)
Cylinder      Rest_before_develop                       1    Cylinder      Develop_machine           FIRST 1     move for L(9.28e-002,2.08e-002)
Cylinder      Develop_machine           wait T(11,12.8,16.1)
                                                        1    Cylinder      Laser_finished            FIRST 1
Cylinder      Laser_finished            Laser=Laser+1   1    Cylinder      QC_laser                  FIRST 1     move for L(0.497,5.26e-002)
Cylinder      QC_laser                  wait T(6,6.83,8.44)
                                                        1    Cylinder      WIP_before_CR             0.950000 1  move for L(9.53e-002,2.27e-002)
                                                             Cylinder      rework_laser              0.050000    move for L(0.215,2.25e-002)
Cylinder      rework_laser              loss_laser=loss_laser+1
                                                        1    Cylinder      Pol_1Q                    FIRST 1     move for 10 sec
Cylinder      WIP_before_CR                             1    Cylinder      CR_coat_Q                 FIRST 1
Cylinder      CR_coat_Q                                 1    Cylinder      Hard_CR_plating_machine   FIRST 1     move for W(6.14,0.123)
Cylinder      Hard_CR_plating_machine   wait U(33.3,7.32) graphic 5 CR=CR+1
                                                        1    Cylinder      QC_microQ                 FIRST 1
Cylinder      QC_microQ                                 1    Cylinder      QC_microscope             FIRST 1     move for L(7.29e-002,1.79e-002)
Cylinder      QC_microscope             wait T(4,5.27,6.27)
                                                        1    Cylinder      WIP_before_sand_paper     0.980000 1  move for L(0.273,2.85e-002)
                                                             Cylinder      rework_cr                 0.020000    move for L(7.29e-002,1.79e-002)
Cylinder      rework_cr                 loss_CR=loss_CR+1
                                                        1    Cylinder      Pol_1Q                    FIRST 1     move for 15 sec
Cylinder      WIP_before_sand_paper                     1    Cylinder      Surface_Q                 FIRST 1
Cylinder      Surface_Q                                 1    Cylinder      Rest_before_sandpaper     FIRST 1
Cylinder      Rest_before_sandpaper                     1    Cylinder      Sand_paper_polishing_mc.  FIRST 1     move for L(0.601,5.48e-002)
Cylinder      Sand_paper_polishing_mc.  wait 11+W(1.8,1.61)surface=surface+1
                                                        1    Cylinder      Wrapper_Q                 FIRST 1
Cylinder      Wrapper_Q                                 1    Cylinder      Rest_before_Wrap          FIRST 1
Cylinder      Rest_before_Wrap                          1    Cylinder      Wrapping                  FIRST 1     move for L(9.47e-002,2.15e-002)
Cylinder      Wrapping                  wait 3+W(3.62,2.12) Wrap=Wrap+1
                                                        1    Cylinder      Proof_Q                   FIRST 1     move for B(58.6,8.61,0,0.833)
Cylinder      Proof_Q                                   1    Cylinder      rest_before_proof         FIRST 1
Cylinder      rest_before_proof                         1    Cylinder      Proof_mc.                 FIRST 1     move for L(0.689,4.31e-002)
Cylinder      Proof_mc.                 wait T(11,13.8,15.6) proof=proof+1
                                                        1    Cylinder      Rest_to_Godown            FIRST 1     move for L(0.652,4.36e-002)
Cylinder      Rest_to_Godown                            1    Cylinder      EXIT                      FIRST 1
ReCR_cylinder Received_ReCR_cyl         wait L(0.355,2.85e-002)
                                                        1    ReCR_cylinder Re_CRQ                    FIRST 1

ReCR_cylinder Re_CRQ                                    1    ReCR_cylinder WIP_before_CR             FIRST 1     move for W(6.14,0.123)
ReCR_cylinder WIP_before_CR                             1    ReCR_cylinder Hard_CR_plating_machine   FIRST 1
ReCR_cylinder Hard_CR_plating_machine   wait u( 33.3,7.32)CR=CR+1
                                                        1    ReCR_cylinder QC_microQ                 FIRST 1
ReCR_cylinder QC_microQ                                 1    ReCR_cylinder QC_microscope             FIRST 1     move for L(7.29e-002,1.79e-002)
ReCR_cylinder QC_microscope             wait T(4,5.27,6.27)
                                                        1    ReCR_cylinder WIP_before_sand_paper     0.980000 1  move for L(0.273,2.85e-002)
                                                             ReCR_cylinder rework_recr               0.020000    move for L(7.29e-002,1.79e-002)

ReCR_cylinder rework_recr               loss_Recr=loss_Recr+1
                                                        1    ReCR_cylinder Pol_1Q                    FIRST 1     move for 15 sec
ReCR_cylinder WIP_before_sand_paper                     1    ReCR_cylinder Surface_Q                 FIRST 1
ReCR_cylinder Surface_Q                                 1    ReCR_cylinder Sand_paper_polishing_mc.  FIRST 1     move for L(0.601,5.48e-002)

ReCR_cylinder Sand_paper_polishing_mc.  wait 11+W(1.8,1.61) surface=surface+1
                                                        1    ReCR_cylinder Wrapper_Q                 FIRST 1
ReCR_cylinder Wrapper_Q                                 1    ReCR_cylinder Rest_before_Wrap          FIRST 1     move for L(9.47e-002,2.15e-002)
```

```
ReCR_cylinder Wrapper_Q                                  1    ReCR_cylinder Rest_before_Wrap        FIRST 1     move for L(9.47e-002,2.15e-00
ReCR_cylinder Rest_before_Wrap                           1    ReCR_cylinder Wrapping                FIRST 1
ReCR_cylinder Wrapping              wait 3+W(3.62,2.12)
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_proof        FIRST 1     move for B(58.6,8.61,0,0.833)

ReCR_cylinder WIP_before_proof                           1    ReCR_cylinder Proof_Q                 FIRST 1     move for B(58.6,8.61,0,0.833)

ReCR_cylinder Proof_Q                                    1    ReCR_cylinder rest_before_proof       FIRST 1
ReCR_cylinder rest_before_proof                          1    ReCR_cylinder Proof_mc.               FIRST 1     move for L(0.689,4.31e-002)
ReCR_cylinder Proof_mc.             wait T(11,13.8,15.6) Proof=proof+1
                                                         1    ReCR_cylinder Rest_to_Godown          FIRST 1     move for L(0.652,4.36e-002)
ReCR_cylinder Rest_to_Godown                             1    ReCR_cylinder EXIT                    FIRST 1
ReCR_cylinder steelcore_recevied                         1    ReCR_cylinder Pol_1Q                  FIRST 1
ReCR_cylinder Pol_1Q                                     1    ReCR_cylinder Rest_before_pol_1       FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_pol_1                          1    ReCR_cylinder Polishing_1_machine     FIRST 1     move for L(0.355,2.85e-002)
ReCR_cylinder Polishing_1_machine   wait T(8,12,13.4)polishing1=polishing1+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_CU           0.980000 1  move for L(0.182,2.87e-002)
                                                              ReCR_cylinder rework_pol1             0.020000    move for L(0.355,2.85e-002)
ReCR_cylinder rework_pol1           loss_pol1=loss_pol1+1
                                                         1    ReCR_cylinder Pol_1Q                  FIRST 1     move for L(0.355,2.85e-002)
ReCR_cylinder WIP_before_CU                              1    ReCR_cylinder CU_Q                    FIRST 1     move for L(0.181,2.54e-002)
ReCR_cylinder CU_Q                                       1    ReCR_cylinder CU_plating_machine      FIRST 1
ReCR_cylinder CU_plating_machine    wait 60+W(1.68,2.4)
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_CFM          0.950000 1  move for L(0.215,2.25e-002)
                                                              ReCR_cylinder rework_cu               0.050000    move for L(0.355,2.85e-002)
ReCR_cylinder rework_cu             loss_CU=loss_CU+1
                                                         1    ReCR_cylinder Pol_1Q                  FIRST 1
ReCR_cylinder WIP_before_CFM                             1    ReCR_cylinder CFM_Q                   FIRST 1     move for L(0.367,3.79e-002)
ReCR_cylinder CFM_Q                                      1    ReCR_cylinder Rest_before_CFM         FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_CFM                            1    ReCR_cylinder CFM_Machine             FIRST 1
ReCR_cylinder CFM_Machine           wait T(24,30.3,34.2) CFM=CFM+1



                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_pol2         0.950000 1  move for L(0.339,3.98e-002)
                                                              ReCR_cylinder rework_cfm              0.050000    move for 4 sec
ReCR_cylinder rework_cfm            loss_CFM=loss_CFM+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_CU           FIRST 1
ReCR_cylinder WIP_before_pol2                            1    ReCR_cylinder Pol2_Q                  FIRST 1     move for L(0.13,2.41e-002)
ReCR_cylinder WIP_before_pol2                            1    ReCR_cylinder Pol2_Q                  FIRST 1     move for L(0.13,2.41e-002)
ReCR_cylinder Pol2_Q                                     1    ReCR_cylinder Rest_before_pol2        FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_pol2                           1    ReCR_cylinder Polishing_2machine      FIRST 1
ReCR_cylinder Polishing_2machine    wait 9+W(2.51,3.7)polishing2=polishing2+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_buff         0.980000 1  move for L(0.136,2.33e-002)
                                                              ReCR_cylinder rework_pol2             0.020000    move for L(0.13,2.41e-002)
ReCR_cylinder rework_pol2           loss_pol2=loss_pol2+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_pol2         FIRST 1     move for L(0.13,2.41e-002)
ReCR_cylinder WIP_before_buff                            1    ReCR_cylinder Buff_Q                  FIRST 1     move for L(0.13,2.32e-002)
ReCR_cylinder Buff_Q                                     1    ReCR_cylinder Rest_before_buff        FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_buff                           1    ReCR_cylinder Buff_machine            FIRST 1
ReCR_cylinder Buff_machine          wait T(10,10.6,13.1) buff=buff+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_image        0.980000 1  move for L(0.13,2.33e-002)
                                                              ReCR_cylinder rework_buff             0.020000    move for L(0.13,2.32e-002)
ReCR_cylinder rework_buff           loss_buff=loss_buff+1
                                                         1    ReCR_cylinder WIP_before_buff         FIRST 1     move for L(0.13,2.31e-002)
ReCR_cylinder WIP_before_image                           1    ReCR_cylinder Helio_Q                 0.480000 1
                                                              ReCR_cylinder Laser_Q                 0.520000
ReCR_cylinder Helio_Q                                    1    ReCR_cylinder Helio_machine           FIRST 1     move for L(0.648,3.85e-002)
ReCR_cylinder Helio_machine         wait 15+E(29)Helio=Helio+1
                                                         1    ReCR_cylinder QC_microQ               FIRST 1     move for L(8.35,4.24e-002)
ReCR_cylinder QC_microQ                                  1    ReCR_cylinder QC_microscope           FIRST 1
ReCR_cylinder QC_microscope         wait 6+W(2.16,1.32)
```

```
ReCR_cylinder rework_helio      loss_helio=loss_helio+1                ReCR_cylinder rework_helio          0.020000    move for L(0.648,3.85e-002)
                                                 1                     ReCR_cylinder Pol_1Q                FIRST 1     move for 10 sec

ReCR_cylinder WIP_before_image                   1                     ReCR_cylinder Laser_Q               FIRST 1
ReCR_cylinder Laser_Q                            1                     ReCR_cylinder Rest_before_laser     FIRST 1     move for L(0.419,3.85e-002)
ReCR_cylinder Rest_before_laser                  1                     ReCR_cylinder coat_machine          FIRST 1     move for L(7.98e-002,2.32e-002)
ReCR_cylinder coat_machine      wait T(10,11.8,13.5)                                                                 
                                                 1                     ReCR_cylinder Rest_before_lasershoot FIRST 1    move for W(5.18,0.104)
ReCR_cylinder Rest_before_lasershoot             1                     ReCR_cylinder laser_machine         FIRST 1     move for L(9.73e-002,2.09e-002)
ReCR_cylinder laser_machine     wait 30+W(2.17,2.47)                                                                 
                                                 1                     ReCR_cylinder Rest_before_develop   FIRST 1     move for L(9.73e-002,2.09e-002)
ReCR_cylinder Rest_before_develop                1                     ReCR_cylinder Develop_machine       FIRST 1     move for L(9.28e-002,2.08e-002)
ReCR_cylinder Develop_machine   wait T(11,12.8,16.1)                                                                 
                                                 1                     ReCR_cylinder Laser_finished        FIRST 1
ReCR_cylinder Laser_finished                     1                     ReCR_cylinder QC_laser              FIRST 1     move for L(0.497,5.26e-002)
ReCR_cylinder QC_laser          Laser=Laser+1                                                                        
                                wait T(6,6.83,8.44)                                                                  
                                                 1                     ReCR_cylinder WIP_before_CR         0.950000 1  move for L(9.53e-002,2.27e-002)
                                                                       ReCR_cylinder rework_laser          0.050000    move for L(0.215,2.25e-002)
ReCR_cylinder rework_laser      loss_laser=loss_laser+1                                                              
                                                 1                     ReCR_cylinder Pol_1Q                FIRST 1     move for 10 sec
ReCR_cylinder WIP_before_CR                      1                     ReCR_cylinder CR_coat_Q             FIRST 1
ReCR_cylinder CR_coat_Q                          1                     ReCR_cylinder Hard_CR_plating_machine FIRST 1   move for W(6.14,0.123)
ReCR_cylinder Hard_CR_plating_machine wait U(33.3,7.32) CR=CR+1                                                      
                                                 1                     ReCR_cylinder QC_microQ             FIRST 1
ReCR_cylinder QC_microQ                          1                     ReCR_cylinder QC_microscope         FIRST 1     move for L(7.29e-002,1.79e-002)
ReCR_cylinder QC_microscope     wait T(4,5.27,6.27)                                                                  
                                                 1                     ReCR_cylinder WIP_before_sand_paper 0.980000 1  move for L(0.273,2.85e-002)
                                                                       ReCR_cylinder rework_cr             0.020000    move for L(7.29e-002,1.79e-002)
ReCR_cylinder rework_cr         loss_CR=loss_CR+1                                                                    
                                                 1                     ReCR_cylinder Pol_1Q                FIRST 1     move for 15 sec
ReCR_cylinder WIP_before_sand_paper              1                     ReCR_cylinder Surface_Q             FIRST 1
ReCR_cylinder Surface_Q                          1                     Cylinder      Rest_before_sandpaper FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_sandpaper              1                     ReCR_cylinder Sand_paper_polishing_mc. FIRST 1  move for L(0.601,5.48e-002)
ReCR_cylinder Sand_paper_polishing_mc. wait 11+W(1.8,1.61)surface=surface+1                                          
                                                 1                     ReCR_cylinder Wrapper_Q             FIRST 1
ReCR_cylinder Wrapper_Q                          1                     ReCR_cylinder Rest_before_Wrap      FIRST 1
ReCR_cylinder Rest_before_Wrap                   1                     ReCR_cylinder Wrapping              FIRST 1     move for L(9.47e-002,2.15e-002)
ReCR_cylinder Wrapping          wait 3+W(3.62,2.12) Wrap=Wrap+1                                                      
                                                 1                     ReCR_cylinder Proof_Q               FIRST 1     move for B(58.6,8.61,0,0.833)
ReCR_cylinder Proof_Q                            1                     ReCR_cylinder rest_before_proof     FIRST 1
ReCR_cylinder rest_before_proof                  1                     ReCR_cylinder Proof_mc.             FIRST 1     move for L(0.689,4.31e-002)
ReCR_cylinder Proof_mc.         wait T(11,13.8,15.6) proof=proof+1                                                   
                                                 1                     ReCR_cylinder Rest_to_Godown        FIRST 1     move for L(0.652,4.36e-002)
ReCR_cylinder Rest_to_Godown                     1                     ReCR_cylinder EXIT                  FIRST 1
```

รูปที่ ข3 การกำหนด Processing (ต่อ)

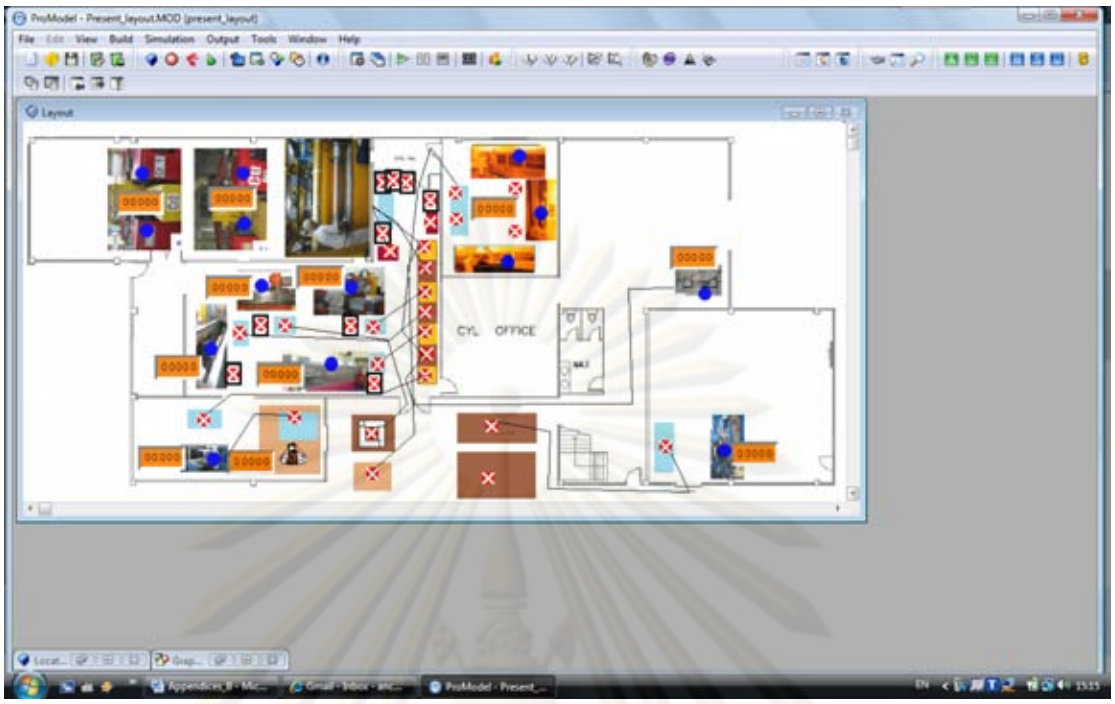
```
*****************************************************************************
*                        Clock downtimes for Locations                      *
*****************************************************************************

  Loc                        Frequency    First Time   Priority     Scheduled Disable Logic
  -------------------------- ------------ ------------ ------------ --------- ------- -------
  Polishing_1_machine        480          480          99           Yes       No      wait 60
  CU_plating_machine         480          480          99           Yes       No      wait 60
  CU_plating_machine.1       480          480          99           Yes       No      wait 60
  CU_plating_machine.2       480          480          99           Yes       No      wait 60
  Hard_CR_plating_machine    480          480          99           Yes       No      wait 60
  Hard_CR_plating_machine.1  480          480          99           Yes       No      wait 60
  Hard_CR_plating_machine.2  480          480          99           Yes       No      wait 60
  CFM_Machine                480          480          99           Yes       No      wait 60
  Polishing_2machine         480          480          99           Yes       No      wait 60
  Buff_machine               480          480          99           Yes       No      wait 60
  Helio_machine              480          480          99           Yes       No      wait 60
  coat_machine               480          480          99           Yes       No      wait 60
  laser_machine              480          480          99           Yes       No      wait 60
  Develop_machine            480          480          99           Yes       No      wait 60
  Sand_paper_polishing_mc.   480          480          99           Yes       No      wait 60
  Proof_mc.                  480          480          99           Yes       No      wait 60
```

รูปที่ ข4 การกำหนดเวลาของเครื่องจักรช่วง Downtimes

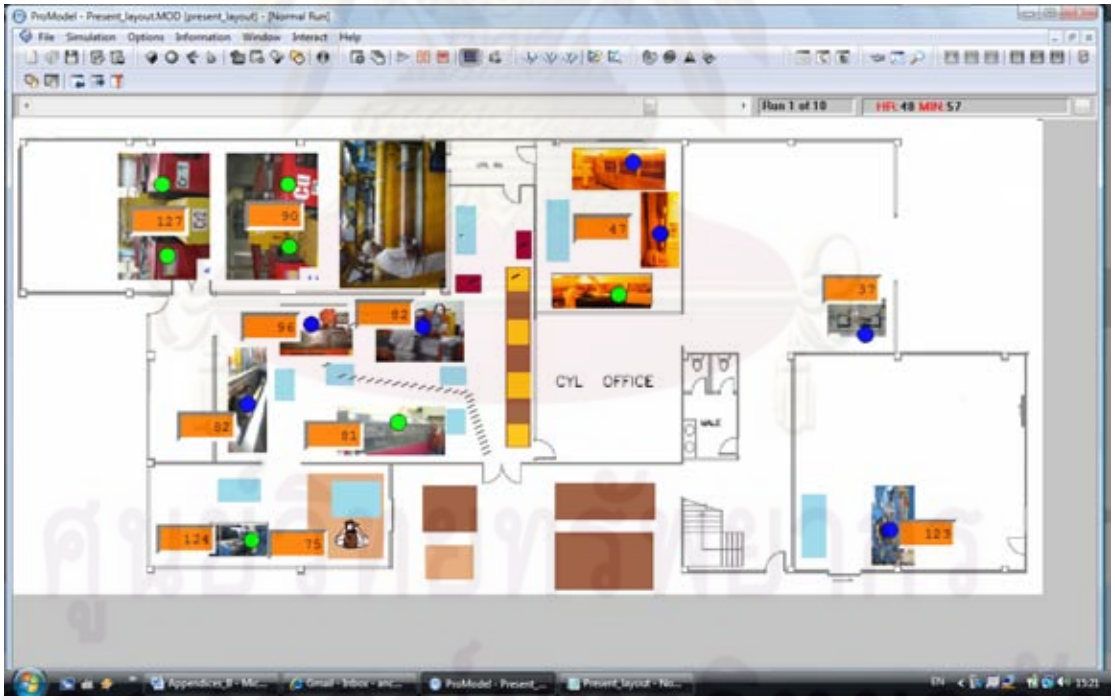
```
*****************************************************************************
*                                Arrivals                                   *
*****************************************************************************

  Entity         Location           Qty Each      First Time Occurrences Frequenc
  -------------- ------------------ ------------- ---------- ----------- --------
  Cylinder       steelcore_recevied T(23,38.9,44) 0          inf.        1440 min
  ReCR_cylinder Received_ReCR_cyl   8             0          inf.        480 min


*****************************************************************************
*                           Variables (global)                              *
*****************************************************************************

  ID          Type         Initial value Stats
  ----------- ------------ ------------- -----------
  Polishing1  Integer      0             Time Series
  CU          Integer      0             Time Series
  CFM         Integer      0             Time Series
  Polishing2  Integer      0             Time Series
  Buff        Integer      0             Time Series
  Helio       Integer      0             Time Series
  Laser       Integer      0             Time Series
  CR          Integer      0             Time Series
  Surface     Integer      0             Time Series
  Wrap        Integer      0             Time Series
  Proof       Integer      0             Time Series
  loss_pol1   Integer      0             Time Series
  loss_CU     Integer      0             Time Series
  loss_CFM    Integer      0             Time Series
  loss_pol2   Integer      0             Time Series
  loss_buff   Integer      0             Time Series
  loss_helio  Integer      0             Time Series
  loss_laser  Integer      0             Time Series
  loss_CR     Integer      0             Time Series
  loss_Recr   Integer      0             Time Series
```

รูปที่ ข5 ส่วนของ Arrival และ ค่า Variable ต่างๆ

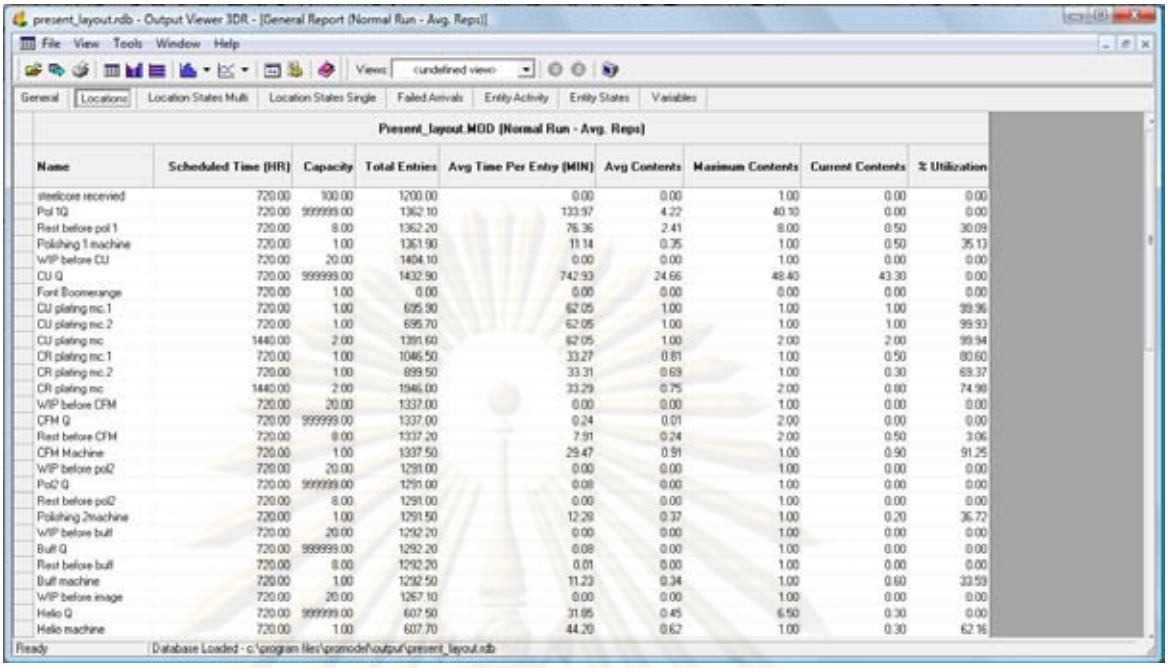
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข6หน้าต่างของแบบจำลองที่สร้างเสร็จแล้ว



รูปที่ ข7 หน้าต่างของแบบจำลองขณะกำลังทำงาน


present_layout.mdb - Output Viewer 3DR - [General Report (Normal Run - Avg. Reps)]

File View Tools Window Help

Views: <undefined view>

General | Locations | Location States Multi | Location States Single | Failed Arrivals | Entity Activity | Entity States | Variables

Present_layout.MOD (Normal Run - Avg. Reps)

Name	Scheduled Time (HR)	Capacity	Total Entries	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	Maximum Contents	Current Contents	% Utilization
steelcore recevied	720.00	100.00	1200.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Pol 1Q	720.00	999999.00	1362.10	133.97	4.22	40.10	0.00	0.00
Rest before pol 1	720.00	8.00	1362.20	76.36	2.41	8.00	0.50	30.09
Polishing 1 machine	720.00	1.00	1361.90	11.14	0.35	1.00	0.50	35.13
WIP before CU	720.00	20.00	1404.10	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
CU Q	720.00	999999.00	1432.90	742.93	24.66	48.40	43.30	0.00
Font Boomerange	720.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CU plating mc.1	720.00	1.00	695.90	62.05	1.00	1.00	1.00	99.96
CU plating mc.2	720.00	1.00	695.70	62.05	1.00	1.00	1.00	99.93
CU plating mc	1440.00	2.00	1391.60	62.05	1.00	2.00	2.00	99.94
CR plating mc.1	720.00	1.00	1046.50	33.27	0.81	1.00	0.50	80.60
CR plating mc.2	720.00	1.00	899.50	33.31	0.69	1.00	0.30	69.37
CR plating mc	1440.00	2.00	1946.00	33.29	0.75	2.00	0.80	74.98
WIP before CFM	720.00	20.00	1337.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
CFM Q	720.00	999999.00	1337.00	0.24	0.01	2.00	0.00	0.00
Rest before CFM	720.00	8.00	1337.20	7.91	0.24	2.00	0.50	3.06
CFM Machine	720.00	1.00	1337.50	29.47	0.91	1.00	0.90	91.25
WIP before pol2	720.00	20.00	1291.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Pol2 Q	720.00	999999.00	1291.00	0.08	0.00	1.00	0.00	0.00
Rest before pol2	720.00	8.00	1291.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Polishing 2machine	720.00	1.00	1291.50	12.29	0.37	1.00	0.20	36.72
WIP before buff	720.00	20.00	1292.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Buff Q	720.00	999999.00	1292.20	0.08	0.00	1.00	0.00	0.00
Rest before buff	720.00	8.00	1292.20	0.01	0.00	1.00	0.00	0.00
Buff machine	720.00	1.00	1292.50	11.23	0.34	1.00	0.60	33.59
WIP before image	720.00	20.00	1267.10	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Helio Q	720.00	999999.00	607.50	31.85	0.45	6.50	0.30	0.00
Helio machine	720.00	1.00	607.70	44.20	0.62	1.00	0.30	62.16

Ready | Database Loaded - c:\program files\promodel\output\present_layout.mdb

รูปที่ ข-8 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
ด้วยวิธีการทางสถิติแบบ T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลการผลิตที่ได้จริงของเครื่องจักรแต่ละเครื่องในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์ โดยใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.เครื่องขัดหยาบ (Polishing no.1 machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

44	42	42	42	45
44	45	42	41	40

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 42 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
polishing_no1	10	42.5000	1.50923	.47726

One-Sample Test

	Test Value = 42					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
polishing_no1	1.048	9	.322	.50000	-.5796	1.5796

2.เครื่องชุบทองแดง (Copper plating machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

42	41	43	42	42
43	42	42	43	42

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 42 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Cu_plating	10	42.2000	.63246	.20000

One-Sample Test

	Test Value = 42

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Cu_plating	1.000	9	.343	.20000	-.2524	.6524

3.เครื่องขัดละเอียดด้วยใบมีด (CFM machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

38	38	39	38	40
39	37	38	39	37

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 38 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
CFM	10	38.3000	.94868	.30000

One-Sample Test

	Test Value = 38					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
CFM	1.000	9	.343	.30000	-.3786	.9786

4.เครื่องขัดละเอียดด้วยหินขัด (Polishing no.2 machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

37	38	36	38	36
37	34	37	36	38

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 37 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
polishing_no2	10	36.7000	1.25167	.39581

One-Sample Test

	Test Value = 37					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
polishing_no2	-.758	9	.468	-.30000	-1.1954	.5954

5.เครื่องขัดมันวาว (Buff machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

35	37	37	34	38
36	35	40	36	40

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 36 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
buff	10	36.8000	2.04396	.64636

One-Sample Test

	Test Value = 36					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
buff	1.238	9	.247	.80000	-.6622	2.2622

6.เครื่องเคลือบน้ำยาไวแสง (Coat machine) ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

22	16	15	19	20
16	20	22	20	19

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 18 ลูก/วัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
coatlaser	10	19.0000	3.36650	1.06458

One-Sample Test

	Test Value = 18					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
coatlaser	.939	9	.372	1.00000	-1.4083	3.4083

7.เครื่องสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์โดยใช้แสงเลเซอร์ (Laser machine) ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

21	15	25	19	19
16	20	20	19	22

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 18 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
laser	10	18.6000	3.56526	1.12744

One-Sample Test

	Test Value = 18					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
laser	.532	9	.607	.60000	-1.9504	3.1504

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.เครื่องล้างน้ำยาไวแสง (develop machine) ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

21	19	24	18	12
15	19	19	19	19

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 19 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
develop	10	18.1000	3.38132	1.06927

One-Sample Test

	Test Value = 19					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
develop	-.842	9	.422	-.90000	-3.3189	1.5189

9.เครื่องสร้างภาพบนผิวแม่พิมพ์โดยใช้การเจาะเข็มเพชร (Helio K 500 machine)
ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

13	20	10	15	15
19	13	15	13	24

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 16 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
helio	10	15.7000	4.13790	1.30852

One-Sample Test

	Test Value = 16					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper

One-Sample Test

	Test Value = 16					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
helio	-.229	9	.824	-.30000	-3.2601	2.6601

8.เครื่องชุบโครเมียม (Hard-chrome plating machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

56	59	57	54	56
55	53	57	56	57

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 57 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Cr_plating	10	56.0000	1.69967	.53748

One-Sample Test

	Test Value = 57					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
Cr_plating	-1.861	9	.096	-1.00000	-2.2159	.2159

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.เครื่องขัดผิวแม่พิมพ์ด้วยกระดาษทราย (Sand paper polishing machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

53	57	54	52	54
52	53	56	54	57

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 55 ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
sand_paper	10	54.2000	1.87380	.59255

One-Sample Test

	Test Value = 55					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
sand_paper	-1.350	9	.210	-.80000	-2.1404	.5404

10.เครื่องปรู๊ฟ (Proof machine)

ผลที่ได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ จำนวนการซ้ำ 10 รอบ

53	56	54	52	54
52	52	55	54	56

โดยมีค่าจากข้อมูลการผลิตประจำวันในกระบวนการผลิตจริงเฉลี่ย = 54ลูก/วัน

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
proof	10	53.8000	1.54919	.48990

One-Sample Test

	Test Value = 54					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
proof	-.408	9	.693	-.20000	-1.3082	.9082

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัญชา แดงทองดี เกิดเมื่อวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ (เกียรตินิยมอันดับ 2) จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา พ.ศ. 2545 ระหว่างปี พ.ศ. 2545-2549 เข้าทำงานที่บริษัท ฟูจิ เอซ จำกัด ตำแหน่งผู้ช่วยหัวหน้าแผนกการวางแผนงาน และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย