สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน กรณีศึกษา บริษัทโคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด

นายจักรพันธ์ เทพพิทักษ์
น.ส.ชนัดดา เมธามณีโชติ
นายฐปนิก นาคเสน

เลขหมู่ .....
เลขทะเบียน 61745
วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A TRANSPORTION STSTEM IN THE FACTORY: A CASE STUDY IN KOYO STEERING (THAILAND) CO., LTD.

MR JUCKAPAN THEPPITUK

MISS CHANATDA METHAMANEECHOTE

MR THAPANIK NAKHASEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน
กรณีศึกษา บริษัท โคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
DEVELOPMENT OF A TRANSPORTION SYSTEM IN THE FACTORY:
A CASE STUDY IN KOYO STEERING (THAILAND) CO., LTD.

นักศึกษา

นายจักรพันธ์ เทพพิทักษ์	รหัสประจำตัว	44010656
น.ส.ชนัดดา เมธามณีโชติ	รหัสประจำตัว	44010660
นายฐปนิก นาคเสน	รหัสประจำตัว	44010686

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล)

(อาจารย์เชาวลิต หามนตรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน กรณีศึกษา บริษัท โคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด
นักศึกษา	นายจักรพันธ์ เทพพิทักษ์ น.ส.ชนัดดา เมธามณีโชติ นายฐปนิก นาคเสน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์เชาวลิต หามนตรี

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานรวมถึงสายการประกอบทั้งหมด 7 สายการประกอบ ของบริษัท โคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด โดยใช้ทฤษฎีระบบการผลิตแบบโตโยต้า ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ว่าภายหลังการปรับปรุงแล้วสามารถลดเวลาการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบไม่ทันและผิดรุ่นลงได้อย่างไร จากนั้นได้ทำการจัดการในส่วนของพื้นที่สำหรับวางชิ้นส่วนเพื่อลดพื้นที่ที่สูญเสียไปจากการจัดเก็บชิ้นส่วนหลายแห่ง นอกจากนั้นแล้วยังได้นำเส้นทางการขนย้ายที่ออกแบบไว้ จำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและวิธีการเบิกชิ้นส่วนมาสร้างเป็นแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ลงในโปรโมเดล เวอร์ชั่น 6 (ProModel Version 6) เพื่อวิเคราะห์ว่าก่อนและหลังการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนของทุกสายการประกอบสามารถลดเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นส่วนอยู่ในระบบการผลิต (Lead Time) และลดจำนวนชิ้นส่วนเฉลี่ยในสายการประกอบ ณ เวลาหนึ่งๆ (Work In Process) ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าในโรงงานได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of a Transportation System in the Factory:
	A Case Study in Koyo Steering (Thailand) Co.,Ltd.
Student	Mr Juckapan Theppituk
	Miss Chanatda Methamaneechote
	Mr Thapanik Nakhasen
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Sittiporn Pimsakul
	Mr. Chouwalit Hamontree

ABTRACT

This thesis aims to develop a transportation system in 7 assembly lines in Koyo Steering (Thailand) Co., Ltd. By applying the Toyota Production System. Researchers want to analyze whether transportation time after improvement can be decreased or not. After that we also manage excessive storage area in order to reduce waste from storing parts in various places. In addition, we develop a simulation model (ProModel Version 6) by using a designed transportation route, a number of electric cars and a part ordering procedure to analyze whether the new designed transportation system can decrease production lead time and work in process level or not. This improvement leads to cost reduction in the factory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน กรณีศึกษา บริษัทโคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้แนวคิดในการศึกษาปริญญานิพนธ์ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดเวลา

อาจารย์เชาวลิต หามนตรี อาจารย์ที่ปรึกษาทางด้านโปรแกรม กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ความเอาใจใส่ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ดิ่มนรรัตน์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้คำแนะนำ กำลังใจ และ ความเอาใจใส่ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือที่มีให้ตลอดมา

คุณอาณัติชัย วาสประเสริฐสุข ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัทโคโยสเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้และประสบการณ์ที่ดีที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายจักรพันธ์ เทพพิทักษ์
น.ส.ชนัดดา เมธามณีโชติ
นายฐปนิก นาคเสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฉ

สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบโตโยต้า.....3

2.1.1 แนวคิดพื้นฐาน.....3

2.1.2 การผลิตแบบทันเวลาพอดี.....4

2.1.3 การปรับระดับการผลิต.....5

2.1.4 การปรับเรียบการผลิต.....5

2.1.5 ปัญหาการเตรียมเครื่องจักร.....7

2.1.6 การออกแบบกระบวนการผลิต.....7

2.1.7 การกำหนดมาตรฐานของงาน.....8

2.1.8 การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ.....9

2.1.9 กิจกรรมปรับปรุงงาน.....10

2.1.10 ระบบคัมบัง.....10

2.2 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....16

2.2.1 ความหมายของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....16

2.2.2 การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิ.....16

2.3 การจำลองสถานการณ์.....17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 หลักการเบื้องต้นของการจำลองสถานการณ์....17
2.3.2 ระบบงานและแบบจำลอง....17
2.3.3 ประเภทของแบบจำลองในการจำลองสถานการณ์....18
2.3.4 ประเภทของแบบจำลองในการจำลองปัญหา....19
2.3.5 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์....20
2.3.6 ขั้นตอนในการจำลองสถานการณ์....20
2.3.7 รายละเอียดของโปรแกรมจำลองสถานการณ์....21
2.3.8 ขั้นตอนของสร้างแบบจำลอง....22
2.3.9 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง....24
2.3.10 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง....25
2.3.11 เหตุผลสนับสนุนในการนำวิธีจำลองแบบปัญหามาใช้แทนการทดลองกับ ระบบงานจริง....26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1. การจับเวลาในสายการประกอบ....28
3.2 การจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน....31
3.3 การกำหนดรอบเวลาที่จะเริ่มการผลิต....34
3.4 การกำหนดสถานที่จัดเก็บชิ้นส่วนและการกำหนดเส้นทางการขนย้ายชิ้นส่วนให้เหมาะสม....34
3.5 การจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ของการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วน....36
3.6 การปรับปรุงใบคัมบัง....39

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลจากการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์....42
4.2 ผลจากการออกแบบและปรับปรุงเส้นทางการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์....43
4.3 ผลการคำนวณหาค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีสุทธิของการขนส่งก่อนและหลังการปรับปรุง....44
4.4 ผลจากการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power....44

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน....46
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง....46

หนังสืออ้างอิง....47
ภาคผนวก ก....ผก 1
ภาคผนวก ข....ผก 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงการจับเวลาในสายการประกอบ B/S Power.....29
ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการทำงานของพนักงานแต่ละคน.....32
ตารางที่ 3.3 แสดงการปรับเรียบการผลิต.....34
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าแบบจำลองสถานการณ์ที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน.....37
ตารางที่ 3.5 แสดงรอบเวลาของการจัดส่งชิ้นส่วน (หลังปรับปรุง).....38
ตารางที่ 3.6 แสดงจำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและคู่ของสายการประกอบที่สามารถใช้รถไฟฟ้าคู่กันได้.....38
ตารางที่ 4.1 สรุปผลที่ได้จากการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์.....42
ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและคู่ของสายการประกอบที่สามารถใช้รถไฟฟ้าคู่กันได้.....43
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบการขนส่งก่อนและหลังทำการปรับปรุง.....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 ใบมาตรฐานการทำงานของสายการประกอบ B/S Power.....33
รูปที่ 3.2 แสดงผังโรงงานที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน.....35
รูปที่ 3.3 (ก) แสดงใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน (ด้านหน้า).....39
รูปที่ 3.3 (ข) แสดงใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน (ด้านหลัง).....39
รูปที่ 3.4 แสดงใบคัมบังที่ได้ทำการปรับปรุง.....40
รูปที่ 4.1 การสูญเสียเวลาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดจากการส่งชิ้นส่วน
เข้าสายการประกอบ B/S Power ไม่ทันและผิดรุ่น.....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน

จากสภาพเศรษฐกิจในยุคปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมต้องเผชิญกับการแข่งขันอย่างมาก ผู้บริโภคต้องการสินค้าที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาถูกดังนั้นเพื่อความอยู่รอดขององค์กรจึงต้องมีการนำเทคนิคที่จะลดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าให้กับองค์กรดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเล็งเห็นความสำคัญของการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานโดยมีบริษัท โคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด เป็นกรณีศึกษา

สภาพการในปัจจุบันระบบการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากเกิดการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่สายการผลิตไม่ทันการจัดส่งชิ้นส่วนผิดรุ่น หรือไม่มีใบคัมบังสั่งผลิต ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สายการผลิตต้องหยุดชะงักลง จึงต้องมีการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนใหม่เพื่อลดเวลาและเพิ่มความถูกต้องในการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงาน โดยนำทฤษฎีระบบการผลิตแบบโคโยต้า (Toyota Production System) มาประยุกต์ใช้

นอกจากนั้นในส่วนของการใช้พื้นที่ในการวางชิ้นส่วนเพื่อรอไปประกอบมีจุดวางหลายแห่งจัดเป็นความสูญเปล่าอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในองค์กรจึงนำเสนอวิธีการปรับปรุงโดยทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์(Simulation) ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงเพื่อดูผลที่เกิดขึ้นว่าสามารถลดเวลานำ (Lead Time) ลงได้อย่างไร อีกทั้งในเรื่องของการขนย้ายชิ้นส่วนจากคลังสินค้ามายังสายการประกอบยังมีความล่าช้าและไม่เป็นระบบซึ่งทางบริษัทจึงมีแผนที่จะนำรถไฟฟ้ามาใช้แทนการใช้รถเข็นเพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการขนย้ายชิ้นส่วน ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบเส้นทางการเดินรถ โดยทำการศึกษาระยะทางที่ใช้ในการขนย้ายชิ้นส่วนและความเร็วของรถไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาจำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและนำหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) มาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้เข็นและรถไฟฟ้าและสร้างเป็นแบบจำลองเพื่อนำเสนอให้กับทางบริษัท

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงการจัดส่งชิ้นส่วนในสายการประกอบโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์จำลองเส้นทางการเดินรถไฟฟ้าและปรับปรุงใบคัมบัง
2. เพื่อนำเสนอแนวทางในการลดการจัดเก็บชิ้นส่วนภายในบริษัท โคโย สเตียริ่ง (ประเทศไทย) จำกัดโดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ในการเปรียบเทียบจำนวนชิ้นส่วนในสายการประกอบ ณ เวลาหนึ่งๆ (Work In Process) ก่อนและหลังการปรับปรุง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยจะเป็นการปรับปรุงเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานโดยในส่วนของการปรับปรุงใบคัมบังจะทำการศึกษาในสายการประกอบ B/S Power เท่านั้น และในส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนจะทำการศึกษาสายการประกอบทั้ง 7 สายโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ซึ่งสายการประกอบทั้ง 7 สายมีดังนี้

1. สายการประกอบ B/S Power
2. สายการประกอบ B/S Unit
3. สายการประกอบ B/S Manual
4. สายการประกอบ R/P Power 1
5. สายการประกอบ R/P Power 2
6. สายการประกอบ R/P Manual 1
7. สายการประกอบ R/P Manual 2

โดยในการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์จะทำการแยกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. โปรแกรมในส่วนของเส้นทางการเดินรถไฟฟ้า
2. กระบวนการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนในสายการประกอบ

เนื่องจากโปรแกรมโปรโมเดลเป็นโปรแกรมฉบับนักเรียน (Student Version) ซึ่งจะมีข้อจำกัดในส่วนของจำนวนสถานี (Location) จำกัดไม่เกิน 20 สถานีและชนิดของเอ็นติตี้จำกัดไม่เกิน 8 ชนิดทำให้ทางคณะผู้จัดทำจะต้องสร้างแบบจำลองแยกเป็นแต่ละสายการประกอบและแยกการวิ่งของรถไฟฟ้าแต่ละคัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดเวลาในการหยุดการทำงานของเครื่องจักรเนื่องจากพนักงานจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบB/S Power ได้ถูกต้องตามเวลาและรุ่นการผลิต
2. ลดเวลาที่ชิ้นส่วนอยู่ในระบบการผลิต (Lead Time) และลดจำนวนชิ้นส่วนในสายการประกอบ (Work In Process) ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนในการจัดเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบโตโยต้า

2.1.1 แนวคิดพื้นฐาน

ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System) เป็นวิธีการผลิตสินค้าที่มีเหตุและผลระบบหนึ่ง ทั้งนี้เพราะเป็นระบบมุ่งขจัดองค์ประกอบที่ไม่จำเป็นในการผลิตออกอย่างสิ้นเชิง โดยมีเป้าหมายหลักที่จะลดต้นทุนการผลิต ความคิดพื้นฐานของระบบผลิตสินค้าเฉพาะที่ต้องการ เมื่อเวลาที่ต้องการ และด้วยจำนวนที่ต้องการเท่านั้น ถ้าทำได้ตามแนวคิดนี้แล้ว วัตถุที่เหลือที่ไม่จำเป็นในรูปแบบของสินค้ากึ่งสำเร็จรูปและสินค้าสำเร็จรูปจะถูกขจัดออกไปจนหมดสิ้น

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการลดต้นทุนจะเป็นวัตถุประสงค์หลักเบื้องต้นสำคัญที่สุดของระบบ ยังมีวัตถุประสงค์ประกอบอีก 3 ประการที่จะต้องบรรลุให้ได้เช่นกันเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เบื้องต้นดังกล่าวด้วย วัตถุประสงค์ประกอบ 3 ประการมีดังนี้ (สิงหา เจียมศิริ, 2528)

- การควบคุมปริมาณ (Quantity Control) ทำให้ระบบสามารถปรับตัวเองให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของความต้องการสินค้าในแต่ละวันและในแต่ละเดือนได้ ทั้งในแง่ปริมาณและชนิดของสินค้า
- การประกันคุณภาพ (Quality Assurance) ซึ่งรับประกันว่าในแต่ละกระบวนการผลิตจะส่งผลผลิตที่ดีเท่านั้นไปยังกระบวนการผลิตถัดไป
- เคารพความเป็นมนุษย์ (Respect-for-Humanity) ซึ่งจะต้องได้รับการปลูกฝังไปพร้อมกับระบบผลิตไดใช้ทรัพยากรมนุษย์ในการบรรลุวัตถุประสงค์ของการลดต้นทุน

วัตถุประสงค์ประกอบอันใดอันหนึ่งข้างต้น ไม่สามารถมีขึ้นได้โดยโดดเดี่ยวหรือบรรลุได้โดยลำพังโดยไม่กระทบกระเทือนซึ่งกันและกัน และกระทบกระเทือนวัตถุประสงค์หลักในการลดต้นทุน และระบบนี้ไม่สามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์หลักได้หากไม่สามารถบรรลุถึงวัตถุประสงค์ประกอบทั้งสามประการเสียก่อน

วัตถุประสงค์ทั้งหมดเป็นผลผลิต (Outputs) ของระบบเดียวกัน ซึ่งมีผลิตผล (Productivity) เป็นจุดหมายสูงสูงและวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังกล่าวเป็นแนวคิดชี้นำในการที่ระบบจะพยายามบรรลุถึงวัตถุประสงค์แต่ละประการที่ได้ตั้งเอาไว้

การไหลต่อเนื่องของระบบการผลิตโดยมีการปรับระดับการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการทั้งทางด้านปริมาณและชนิดของสินค้าที่ผลิตนั้น เป็นไปได้โดยอาศัยแนวคิด 2 ประการ คือ ทันเวลาพอดี (Just-In-Time) และการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation) แนวคิดสองประการนี้เปรียบได้เหมือนเสาหลักที่ค้ำจุนระบบการผลิตแบบโตโยต้า ทันเวลาพอดีหมายถึง การผลิตชนิดของสินค้าที่จำเป็นในปริมาณที่จำเป็นเมื่อเวลาที่จำเป็น ส่วนการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติหมายความอย่างคร่าวๆ ถึงการควบคุมของเสียไม่ให้เกิดขึ้นมาด้วยตัวเอง ซึ่งสนับสนุนสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันเวลาพอดี โดยไม่ยอมให้ของเสียถูกส่งผ่านจากกระบวนการผลิตก่อนหน้า (Preceding Process) ไปยังกระบวนการผลิตหลังหรือถัดมา (Subsequent Process) อันจะก่อให้เกิดการติดขัดที่กระบวนการผลิต

แนวคิดอีก 2 ประการที่เป็นส่วนสำคัญในการผลิตแบบโตโยต้า ได้แก่ แรงงานยืดหยุ่น ซึ่งหมายถึง การปรับระดับจำนวนคนงานให้สอดคล้องกับระบบการเปลี่ยนแปลงของความต้องการของสินค้า และ ความคิดสร้างสรรค์หรือแนวคิดประดิษฐ์กรรมซึ่งใช้ประโยชน์จากการแนะนำหรือเสนอแนะจากคนงาน

โตโยต้าได้สร้างระบบและวิธีการดังต่อไปนี้ ตามแนวทางของแนวคิดทั้ง 4 ข้างต้น

- ระบบคัมบัง (Kanban System) เพื่อที่จะมีการผลิตแบบทันเวลาพอดี
- วิธีการปรับเรียบการผลิต (Smoothing of Production) เพื่อปรับตัวให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความต้องการของสินค้า
- ลดเวลาเตรียมเครื่อง (Setup time) เพื่อลดเวลาการผลิต (Production Lead Time)
- กำหนดมาตรฐานการผลิตงาน (Standardization of Operation) เพื่อความสมดุลของสายการผลิต (Line Balancing)
- การวางผังติดตั้งเครื่องจักรและมีคนงานที่ทำงานได้หลายหน้าที่ (Multi-Function Workers) เพื่อสนับสนุนแนวคิดแรงงานยืดหยุ่น (Flexible Workforce)
- กิจกรรมปรับปรุงงานโดยกลุ่มคนขนาดเล็ก และระบบการเสนอความคิดเห็น เพื่อที่จะลดจำนวนคนงานและเพิ่มขวัญและกำลังใจของคนงานไปพร้อมๆกัน
- ระบบควบคุมแบบมองเห็นได้ (Control System) เพื่อให้บรรลุแนวคิดการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation)
- ระบบการจัดการตลาดและหน้าที่หรือการบริหารโดยกิจกรรม (Functional Managements) เพื่อสนับสนุนการควบคุมคุณภาพแบบบริษัท (Company-Wide Quality Control)

2.1.2 การผลิตแบบทันเวลาพอดี

แนวคิดที่จะผลิตชนิดของสินค้าที่จำเป็น ในปริมาณที่จำเป็น เมื่อถึงเวลาที่จำเป็น จะเรียกสั้นๆ ว่า การผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time Production) ยกตัวอย่าง เช่น ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อผลิตรถยนต์คันหนึ่งนั้น สายการประกอบย่อย (Subassemblies) ที่จำเป็นจากกระบวนการก่อนหน้าจะต้องมาถึงสายการประกอบรถยนต์เมื่อถึงเวลาที่จะทำการประกอบด้วยปริมาณที่ต้องการพอดี ถ้าสภาพทันเวลาพอดี ได้รับการปฏิบัติอย่างทั่วถึงในบริษัทแล้ว วัตถุดงเหลือต่างๆ ที่ไม่จำเป็นในโรงงานจะถูกกำจัดออกไปอย่างสิ้นเชิง และทำให้ไม่จำเป็นต้องมีโกดังหรือสโตร์อีกต่อไป ค่าใช้จ่ายในการเก็บวัสดุคงเหลือก็แทบจะไม่ต้องเสีย ส่งผลให้อัตราการหมุนเวียนกองทุนเพิ่มสูงขึ้น

อย่างไรก็ดี การที่จะใช้แนวทางการผลิตแบบส่วนกลาง ที่ออกคำสั่งผลิตไปยังหน่วยผลิตต่างๆ พร้อมกัน เป็นการอยากที่จะให้บรรลุถึงสภาพทันเวลาพอดีในแต่ละกระบวนการผลิตสินค้า เช่น รถยนต์ ซึ่งมีชิ้นส่วนเป็นพันๆชิ้น ดังนั้นในระบบโตโยต้าจำเป็นจะต้องมอง ระบบการผลิตที่มีการไหลในทางตรงกันข้าม นั่นคือให้พนักงานในกระบวนการผลิตหลังไปที่กระบวนการผลิตหน้า เพื่อดึงของหรือชิ้นส่วนที่จำเป็น ในปริมาณที่จำเป็นเมื่อถึงเวลาที่จำเป็น กระบวนการผลิตหน้าที่ถูกดึงของไปก็เพียงแต่ทำหน้าที่ผลิตสิ่งนั้นด้วยปริมาณที่เพียงพอกับจำนวนที่ถูกดึงไปเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบนี้ชนิดของสินค้าและจำนวนหน่วยที่ต้องการจะปรากฏอยู่บนบัตรซึ่งเรียกว่า คัมบัง คัมบังนี้จะถูกส่งจากกระบวนการหลังไปยังคนงานที่กระบวนการหน้า ดังนั้นหน่วยผลิตต่างๆ ในโรงงานจะถูกต่อกันหมดเป็นลำดับ ซึ่งการต่อในลักษณะดังกล่าวทำให้มีการควบคุมปริมาณที่จำเป็นของสินค้าต่างๆ ภายในโรงงานให้ง่ายขึ้น

ในระบบการผลิตแบบโตโยต้า ระบบการคัมบังจะต้องได้รับการสนับสนุนด้วยวิธีต่างๆ 6 ประการดังต่อไปนี้ (สิงหา เจียมศิริ, 2528)

- การปรับเรียบการผลิต (Smoothing of Production)
- การลดเวลาการเตรียมเครื่องจักร (Reduction of Setup Time)
- การวางผังติดตั้งเครื่องจักร (Design of Machine Layout)
- การกำหนดมาตรฐานของงาน (Standardization of Jobs)
- กิจกรรมปรับปรุงงาน (Improvement Activities)
- การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation)

2.1.3 การปรับระดับการผลิต

เราพิจารณาการปรับระดับการผลิต (Fine-Tuning Production) โดยการใช้คัมบัง สมมติว่าในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ ซึ่งจะต้องผลิต 100 เครื่องต่อวัน กระบวนการหลังหรือลัดมาต้องการรุ่นละ 5 เครื่อง โดยใช้คัมบังเบิกถอนแต่ละครั้งซึ่งจะมีการเบิกถอนวันละ 20 รุ่นซึ่งหมายถึงมีการผลิตเครื่องยนต์วันละ 100 เครื่องพอดี

ในแผนการตลาดดังกล่าว ถ้าหากมีความจำเป็นจะต้องลดระดับการผลิตลง 10 % ในทุกกระบวนการเพื่อปรับระดับการผลิตในการวางแผน กระบวนการสุดท้ายในตัวอย่างนี้ก็จะเบิกถอนเครื่องยนต์ 18 รุ่น หรือครั้งในหนึ่งวัน ดังนั้นหน่วยผลิตเครื่องยนต์จะผลิตเพียง 90 เครื่องต่อวัน สำหรับเวลาที่เหลือในแต่ละวัน เนื่องจากไม่ได้ผลิตเครื่องยนต์อีก 10 เครื่อง จะเป็นการหยุดพักของคนงานในหน่วยผลิตนี้ ในทางตรงกันข้ามถ้าเผื่อว่ามีความจำเป็นต้องเพิ่มการผลิตขึ้น 10 % กระบวนการท้ายสุดจะเบิกเครื่องยนต์ 22 รุ่นหรือครั้งต่อวันซึ่งหน่วยผลิตเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกระบวนการหน้าจะต้องผลิตให้ได้ 110 เครื่องต่อวัน ซึ่ง 10 เครื่องที่เพิ่มขึ้นจะผลิตในช่วงล่วงเวลา (Overtime)

ถึงแม้ระบบการผลิตแบบโตโยต้ามีปรัชญาการบริหารการผลิตว่าหน่วยของสินค้าจะถูกผลิตขึ้นโดยไม่มีเวลาเผื่อสินค้าคงเหลือไว้เลย โดยถือว่าทรัพยากรมนุษย์ เครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการผลิตจะอยู่ในสภาพสมบูรณ์ครบถ้วนตลอดเวลา แต่ความเสี่ยงและปัญหาที่เกิดจากความเปลี่ยนแปลงในการผลิตก็ยังมีอยู่ ซึ่งแก้ไขได้โดยการใช้การทำงานล่วงเวลา และการปรับปรุงงาน กรรมวิธีการผลิต อุปกรณ์และเครื่องจักร ในทุกกระบวนการผลิต

2.1.4 การปรับเรียบการผลิต

การเปรียบเทียบการผลิต (Smoothing of Production) เป็นเงื่อนไขสำคัญในการผลิตให้ทันเวลาพอดีและเพื่อเป็นการลดเวลาว่างของคนงาน ลดปริมาณเครื่องจักรและชิ้นงานที่อยู่ระหว่างการผลิต (Work in Process) ดังนั้น ถือได้ว่าการปรับเรียบการผลิตเป็นหัวใจสำคัญของระบบผลิตแบบโตโยต้า (พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2528)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กระบวนการหลังจะทำไปยังกระบวนการหน้าเพื่อเบิกของชนิดที่จำเป็น ในเวลาที่จำเป็น ตามจำนวนที่จำเป็น ภายใต้กฎการผลิตดังกล่าว ถ้ากระบวนการหลังดึงชิ้นส่วนในลักษณะที่ไม่แน่นอนทั้งเวลาที่ดึงและปริมาณที่ดึงแล้ว จะทำให้กระบวนการหน้ามีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมของคงเหลือ เครื่องจักรและคนงานเผื่อไว้มากมายเพื่อให้สามารถปรับได้กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนที่ต้องการ และถ้าหากมีกระบวนการผลิตที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเนื่องเป็นลำดับหลายๆกระบวนการ ขอดแปรผันของปริมาณที่ถูกดึงโดยกระบวนการหลังจะยิ่งเพิ่มขึ้นทุกที เมื่อเรามองย้อนกลับไปดูกระบวนการผลิตที่มีมาก่อนหน้าตามลำดับ เพื่อเป็นการป้องกันขอดการแปรผันมากๆดังกล่าวในสายการผลิต รวมทั้งบริษัทภายนอกที่ส่งของให้โรงงานด้วย เราจะต้องมีความพยายามในการที่จะลดการเปลี่ยนแปลงในระดับการผลิตในสายประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly Line) ดังนั้น ในสายการประกอบรถยนต์สำเร็จรูป ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายของโรงงานโตโยต้า จะทำการผลิตรถยนต์แต่ละชนิดด้วยรุ่นที่มีขนาดเล็กที่สุด ถ้าเป็นไปได้ จะบรรลุถึงสภาพของการผลิตชิ้นเดียวและส่งต่อ (One Piece Production and Conveyance) โดยสายการประกอบรถยนต์จะได้รับชิ้นส่วนที่จำเป็นด้วยรุ่นที่มีขนาดเล็กที่สุด (1 ชิ้น) จากกระบวนการหน้าทั้งหลาย หรืออีกนัยหนึ่ง การปรับเรียบการผลิตเป็นการลดความแปรผันในจำนวนของชิ้นส่วนที่ถูกดึง ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ถูกผลิตขึ้นโดยสายการประกอบย่อย (Subassemblies) ซึ่งจะทำให้สายการประกอบย่อยผลิตชิ้นส่วนด้วยอัตราที่คงที่หรือด้วยจำนวนที่คงที่ในแต่ละชั่วโมง การปรับเรียบการผลิตดังกล่าวจะยกตัวอย่างได้ดังนี้ สมมุติว่ามีสายการผลิตหนึ่งซึ่งจะต้องผลิตรถโคโรน่า 10,000 คัน โดยใช้เวลาทำการ 20 วันในหนึ่งเดือน และวันหนึ่งมีเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง ภายในจำนวนรถโคโรน่า 10,000 คัน แบ่งออกเป็นซีดาน 5,000 คัน ฮาร์ดท็อป 2,500 คัน และแวกกอน 2,500 คัน หารตัวเลขเหล่านี้ด้วยวันทำการ 20 วัน จะได้ ซีดาน 250 คัน/วัน ฮาร์ดท็อป 125 คัน/วัน และแวกกอน 125 คัน/วัน ดังนั้น ในแต่ละวันก็จะประกอบรถทั้งแบบซีดาน ฮาร์ดท็อป และแวกกอนคละกันไปตามอัตราดังกล่าว นี่คือตัวอย่างการปรับเรียบการผลิตโดยเฉลี่ยตามจำนวนวันตามแต่ละชนิดของรถยนต์ที่จะผลิตในแต่ละวัน การปรับเรียบการผลิตในขั้นต่อไป คือ เปรียบเทียบสัดส่วนของอัตราการผลิตต่อวันที่ต้องการของรถทั้งสามชนิด ได้แก่ 250: 125 : 125 หารด้วยตัวหารร่วมมากก็จะได้สัดส่วน 2: 1: 1 ซึ่งหมายความว่ารถโคโรน่าทุกๆ 4 คันที่ผลิตขึ้นจะประกอบไปด้วย ซีดาน 2 คัน ฮาร์ดท็อป 1 คัน และแวกกอน 1 คัน

ภายในวันทำงานซึ่งมีเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงจะต้องผลิตโคโรน่าทั้ง 500 คัน ดังนั้นรอบเวลาต่อหน่วย (Unit-Cycle Time) หรือเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตรถโคโรน่าชนิดใดก็ตามได้หนึ่งคันคือ 0.96 นาที (480/500) หรือประมาณ 57.5 วินาที

การผสมที่ถูกส่วนหรือการจัดลำดับของการผลิตของรถทั้งสามชนิดสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบรอบเวลา (Cycle Time) ในการผลิตรถแต่ละชนิดจำนวนหนึ่งคัน กับเวลาที่กำหนดให้สูงสุดที่จะผลิตโคโรน่าชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่นตัวอย่าง เวลาสูงสุดที่กำหนดให้ผลิตรถโคโรน่าชนิดซีดาน พิจารณาได้จากการหารเวลาทำงาน ด้วยจำนวนรถซีดานที่จะต้องผลิตในหนึ่งวันทำงาน (250 คัน) ซึ่งในกรณีนี้เวลาสูงสุดเท่ากับ 1 นาที 55 วินาที ซึ่งหมายความว่ารถซีดานหนึ่งคันจะต้องถูกผลิตขึ้นทุกๆ 1 นาที 55 วินาที เปรียบเทียบช่วงเวลาดังกล่าวกับรอบเวลา 57.5 วินาที จะเห็นว่าสามารถผลิตรถอีกชนิดหนึ่งได้จำนวนหนึ่งคัน ระหว่างเวลาที่ผลิตรถซีดานเสร็จหนึ่งคันกับเวลาที่ต้องเริ่มผลิตรถซีดานอีกหนึ่งคัน ดังนั้น ลำดับการผลิตควรเป็น ซีดาน-ชนิดอื่น-ซีดาน-ชนิดอื่นๆ

เวลาสูงสุดที่จะผลิตแวกกอนหรือฮาร์ดท็อป คือ 3 นาที 50 วินาที (480/ 125) เมื่อเปรียบเทียบตัวเลขนี้กับรอบเวลา 57.5 วินาที จะเห็นว่าสามารถผลิตรถอื่นใดก็ได้อีก 3 คัน ระหว่างการผลิตแวกกอนหรือฮาร์ดท็อปถ้าหากว่ารถแวกกอนได้รับการจัดอันดับต่อจากการผลิตรถซีดานคันแรก ลำดับของการผลิตของรถทั้งสามชนิดก็จะเป็น ซีดาน-แวกกอน-ซีดาน-ฮาร์ดท้อป-ซีดาน-แวกกอน-ซีดาน-ฮาร์ดท้อป อย่างนี้ไปเรื่อยๆ และนี่คือตัวอย่างของการปรับเรียบการผลิตในแง่ของการผลิตสินค้าหลายๆชนิด

ทีนี้มาพิจารณาถึงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ผลิตจริงๆ ซึ่งจะเห็นการขัดแย้งกันระหว่างชนิดหลากหลายของสินค้าที่ผลิต กับวิธีการปรับเรียบการผลิต ถ้าในกรณีที่ไม่ต้องผลิตสินค้าหลายชนิด การมีเครื่องจักรจำเพาะสำหรับการผลิตสินค้าชนิดเดียวกันจำนวนมาก (Mass Production) จะเป็นอาวุธที่ทรงพลังในการลดต้นทุนการผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างแน่นอน แต่ที่โตโยต้ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะผลิตรถออกมาหลายชนิด ซึ่งมีความหมายแตกต่างกันในแง่ของแบบ ยาง อุปกรณ์เผื่อเลือก สีและอื่นๆ จากตัวอย่างจริงจะมีโคโรน่าประมาณสามถึงสี่พันชนิดที่ถูกผลิตขึ้น ดังนั้น การที่จะส่งเสริมการปรับเรียบการผลิตให้สอดคล้องกับความหลากหลายของชนิดของสินค้า จึงจำเป็นที่จะมีเครื่องจักรที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible Machines) โดยโตโยต้าได้กำหนดกระบวนการผลิตที่สามารถทำให้เครื่องจักรดังกล่าวทำประโยชน์ได้อย่างกว้างหลายอย่างด้วยกัน โดยการติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์เพิ่มเท่าที่จำเป็นบนเครื่องจักรเหล่านั้น

ข้อดีประการหนึ่งของการปรับเรียบการผลิต ที่จะตอบสนองความหลากหลายของชนิดของสินค้าที่ผลิตคือ เป็นระบบที่สามารถปรับตัวสอดคล้องกับความแปรผันในความต้องการของลูกค้า โดยการค่อยๆ เปลี่ยนจำนวนครั้งที่ผลิต/ เบิกของ โดยไม่ต้องเปลี่ยนขนาดของรุ่นที่ผลิต/เบิกของในแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งก็คือ การปรับระดับการผลิต (Fine-tuning Production) โดยใช้คัมบัง

ในการที่จะปรับเรียบในการผลิตดังกล่าวได้ จะต้องมีการลดเวลานำการผลิตให้สั้นลง เพื่อที่จะสามารถผลิตสินค้าชนิดต่างๆ ได้อย่างทันเวลาและรวดเร็ว ซึ่งการลดเวลานำการผลิตดังกล่าวจะต้องมีการลดเวลาเตรียมเครื่องให้สั้นลงเพื่อจะทำให้ขนาดของรุ่นที่ผลิตลดลงด้วย

2.1.5 ปัญหาการเตรียมเครื่องจักร

ประเด็นหรือจุดที่อยากที่สุดในการส่งเสริมการผลิตแบบปรับเรียบการผลิต คือ ปัญหาการเตรียมเครื่อง (Setup Problems) ในกระบวนการขึ้นรูปโดยการอัด (Pressing Process) สามัญสำนึกจะบอกว่าการลดต้นทุนการผลิตจะทำได้โดยการใช้แบบแม่พิมพ์ ชนิดเดียวไปนาน ๆ ซึ่งจะทำให้มีการผลิตทีเดียวได้รุ่นขนาดใหญ่ที่สุด เพื่อจะได้ไม่ต้องเตรียมเครื่องบ่อย เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมเครื่อง แต่ว่าภายใต้ภาวการณ์ที่กระบวนการสุดท้ายได้ปรับเรียบการผลิตและลดสต๊อคหรือของคงเหลือระหว่างตัดและอัดขึ้นรูป (Punch Press) กับสายการประกอบตัวถังที่อยู่ถัดมา แผนกตัดและอัดขึ้นรูปซึ่งเป็นกระบวนการหน้าจะต้องทำการเตรียมเครื่องได้เร็วและทำบ่อยครั้งซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแบบแม่พิมพ์บนเครื่องตัดและอัดขึ้นรูปให้สอดคล้องกับความหลากหลายของชนิดสินค้าซึ่งถูกเบิกหรือดึงโดยกระบวนการหลัง (อัศถกร กลั่นความดี, 2528)

ที่โรงงานโตโยต้าในญี่ปุ่น เวลาในการเตรียมเครื่องในแผนกตัดและอัดขึ้นรูป เคยใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงในช่วง พ.ศ. 2488-2497 เวลาดังกล่าวได้ถูกลดลงมาเหลือ 15 นาที ปี พ.ศ. 2498-2507 และหลังจากปี พ.ศ. 2513 เวลาในการเตรียมเครื่องแต่ละครั้งจะเหลือเพียง 3 นาที

2.1.6 การออกแบบกระบวนการผลิต

แต่เดิมมาในโรงงานจะมีการจัดให้เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจาะ อยู่กันเป็นเฉพาะกลุ่มของตัวเองโดยเครื่องชนิดเดียวกัน จะเรียงอยู่ใกล้ ๆ กัน และเครื่องหนึ่งจะมีคนงานประจำอยู่หนึ่งคน เช่นช่างกลึงหนึ่งคนจะทำงานประจำเครื่องกลึงหนึ่งเครื่อง

ตามแนวคิดของระบบการผลิตแบบโตโยต้า การวางผังเครื่องจักรจะถูกจัดใหม่หมดเพื่อที่จะทำให้การไหลในกระบวนการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น ดังนั้นคนงานแต่ละคนจะสามารถปฏิบัติการได้กับเครื่องจักรทั้งสามชนิด คือ คนงานหนึ่งคนจะรับผิดชอบทั้งเครื่องกลึง เครื่องกัดและเครื่องเจาะ ในเวลาเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่ง คนงานที่ทำงานได้หน้าที่เดียว ซึ่งเป็นแนวคิดเดิมที่โตโยต้าเคยยึดถือได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นคนงานทำงานได้หลายหน้าที่

ในสายการผลิตแบบโตโยต้านี้ คนงานหนึ่งคนจะรับผิดชอบปฏิบัติงานกับเครื่องจักรหลายเครื่องของกระบวนการต่าง ๆ ทีละเครื่อง และจะปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการเป็นลำดับไปจนกระทั่งเสร็จภายในหนึ่งรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา ผลที่ได้คือการนำชิ้นงานใหม่เข้าสายการผลิตจะสมดุลกับเวลาเสร็จของสินค้าสำเร็จรูปหนึ่งหน่วย ซึ่งได้รับการสั่งให้ผลิตให้เสร็จในหนึ่งรอบเวลา การผลิตแบบนี้เรียกว่า การผลิตชิ้นเดียวและส่งต่อ ซึ่งการจัดผังเครื่องจักรใหม่แบบนี้จะทำให้เกิดประโยชน์หลายประการดังนี้ (อัตถกร กลั่นความดี, 2528)

- ของคงเหลือที่ไม่จำเป็นระหว่างการผลิตจะถูกกำจัดออก
- แนวคิดคนทำงานที่ทำงานได้หลายหน้าที่จะช่วยลดจำนวนคนงานที่ต้องการจริงลง เป็นการเพิ่มผลิตผล
- เมื่อคนงานทำงานได้หลายหน้าที่ เขาเหล่านั้นสามารถมีส่วนร่วมในระบบของโรงงาน ซึ่งทำให้มีความรู้สึกที่ดีต่องานของเขา
- เมื่อมีคนงานทำงานได้หลายหน้าที่ ทำให้มีการทำงานเป็นทีม และช่วยเหลือซึ่งกันและกันได้

แนวคิดคนงานที่ทำงานได้หลายหน้าที่เป็นวิธีการของญี่ปุ่นโดยเฉพาะ เพราะแต่ละบริษัทในญี่ปุ่นมีสหภาพบริษัทอยู่สหภาพเดียว ซึ่งทำให้การเคลื่อนย้ายคนงานกับเครื่องจักรต่าง ๆ นั้น ทำได้ง่ายไม่ค่อยมีปัญหา สำหรับบริษัทในยุโรปและอเมริกาที่มีสหภาพหลายสหภาพ ซึ่งแบ่งตามความชำนาญของคนงานในโรงงานเดียวกัน เช่น ช่างกลึงจะทำงานบนเครื่องกลึงโดยเฉพาะเท่านั้น และปกติจะไม่ยอมทำงานอย่างอื่น การที่บริษัทเหล่านั้นจะนำระบบการผลิตแบบโตโยต้า ไปใช้ อาจจะเกิดปัญหาและอุปสรรคในจุดนี้

2.1.7 การกำหนดมาตรฐานของงาน

การปฏิบัติงานมาตรฐานโตโยต้าจะแตกต่างเล็กน้อยกับการปฏิบัติงานธรรมดาทั่วไป โดยจะมีการแสดงถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานตามลำดับของคนงานคนหนึ่ง ซึ่งรับผิดชอบกับเครื่องจักรหลายชนิด ในฐานะที่เป็นคนงานที่ทำงานได้หลายหน้าที่

แผ่นป้ายที่บอกมาตรฐานการปฏิบัติงานจะมีอยู่สองชนิด คือ แผ่นป้ายขั้นตอนปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard Operation Routine Sheet) ซึ่งเหมือนกับผังแสดงการทำงานของคนและเครื่องจักรและแผ่นป้ายการปฏิบัติงานตามมาตรฐาน (Standard Operation Sheet) ซึ่งจะติดไว้ในโรงงานให้คนงานได้เห็น ในแผ่นป้ายการปฏิบัติงานมาตรฐานจะระบุถึงรอบเวลา ขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐาน และจำนวนมาตรฐานของชิ้นงานระหว่างผลิต

รอบเวลาการผลิตจริง (Cycle Time) เป็นจำนวนนาทีและวินาทีที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานว่าทุกสายการผลิตจะต้องผลิตให้ได้สินค้าหนึ่งชิ้นในช่วงเวลานั้น เวลาของรอบเวลาคำนวณโดยใช้สูตรของสูตรโดยในขั้นแรกจะต้องกำหนดผลผลิตที่จำเป็นต่อเดือนจากด้านความต้องการสินค้า

แผนกผลิตทุกแผนกจะได้รับการแจ้งถึงผลผลิตที่จำเป็นต่อวันและรอบเวลาจากสำนักวางแผนกลางเพียงครั้งเดียวเป็นการล่วงหน้าหนึ่งเดือน ผู้จัดการในแต่ละแผนกจะได้รับถึงผลผลิตที่จำเป็นต้องใช้ในแผนกในการที่จะผลิตสินค้าในส่วนทีแผนกรับผิดชอบในหนึ่งหน่วยในรอบเวลา คนงานในโรงงานทั้งหมดจะได้รับการจัดวางตำแหน่งใหม่โดยที่แต่ละกระบวนการจะผลิตได้โดยใช้จำนวนคนน้อยที่สุด

ข่าวสารการผลิตของแต่ละกระบวนการจะไม่มาจากคัมบังเพียงอย่างเดียวเท่านั้น กล่าวคือ คัมบังเป็นชนิดของข่าวสารการผลิตที่ให้ในระหว่างเดือนที่ทำการผลิต ในขณะที่ปริมาณผลิตประจำวันและในรอบเวลา จะเป็นข่าวสารที่ให้ล่วงหน้าเพื่อที่จะได้การเตรียมแผนลำดับการผลิตแม่บททั่วทั้งโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐานบ่งบอกถึงลำดับของการปฏิบัติงาน ซึ่งคนงานแต่ละคนจะต้องปฏิบัติในกระบวนการทั้งหลายในแผนกของตน นั่นคือคำสั่งให้คนงานหยิบชิ้นงาน ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่อง และปลดชิ้นงานออกจากเครื่องจักรที่ได้ทำงานของมันเสร็จแล้ว คำสั่งของการปฏิบัติงานนี้จะมีสำหรับเครื่องจักรทั้งหลายที่เขารับผิดชอบอยู่ การสมดุลของสายการผลิต จะมีได้ระหว่างคนงานในแผนกเดียวกัน เนื่องจากคนงานแต่ละคนจะปฏิบัติงานในส่วนของตนให้เสร็จภายในหนึ่งรอบเวลา

จำนวนมาตรฐานของชิ้นงานระหว่างการผลิต คือจำนวนต่ำสุดที่จำเป็นของชิ้นงานระหว่างผลิตซึ่งรวมถึงชิ้นงานที่อยู่ในเครื่องจักรด้วย ถ้าไม่มีจำนวนชิ้นงานนี้ไว้ในสายผลิต ลำดับขั้นตอนของการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ในสายผลิตทั้งหมดจะไม่มามารถปฏิบัติงานไปพร้อม ๆ กันได้ ในทางทฤษฎีเราสามารถจะได้สภาพของสายผลิตที่เป็นแบบระบบสายพานที่มองไม่เห็นตัว ที่ไม่มีความจำเป็นจะต้องมีชิ้นงานซึ่งถือเป็นของคงเหลือระหว่างกระบวนการผลิตต่างๆ

2.1.8 การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า เสาซึ่งค้ำจุนสนับสนุนระบบการผลิตแบบโตโยต้า ได้แก่ ทันเวลาพอดี (Just-In-Time) และการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation) ในการที่จะบรรลุถึงสภาพทันเวลาพอดีอย่างสมบูรณ์ หน่วยสินค้าที่ดี 100% จะต้องไหลไปยังกระบวนการหลัง และการไหลนี้จะต้องเป็นไปตามจังหวะและไม่มีการติดขัด เพราะฉะนั้นการควบคุมคุณภาพเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะต้องมีไปพร้อมกับการปฏิบัติงานแบบทันเวลาพอดีอย่างทั่วถึงภายใต้ระบบคัมบัง การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติหมายถึง การสร้างกลไกลที่สามารถจะป้องกันการผลิตของเสียเป็นจำนวนมากในเครื่องจักรหรือสายการผลิตได้อย่างชะงัด คำว่าการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติไม่ใช่คำเดียวกับระบบอัตโนมัติ (Automation) แต่หมายถึงการตรวจเช็คโดยตัวเองถึงจุดผิดปกติในกระบวนการผลิต

เครื่องจักรที่ควบคุมตัวเอง คือเครื่องจักรที่มีกลไกลที่จะหยุดตัวเองได้โดยอัตโนมัติอยู่ด้วย ในโรงงานของโตโยต้านั้น เครื่องจักรส่วนใหญ่จะควบคุมตัวเองได้ เพื่อที่จะป้องกันการผลิตของเสียออกมาเป็นจำนวนมากสามารถตรวจเช็คเครื่องจักรที่เสียได้โดยอัตโนมัติ สิ่งที่เรียกว่าระบบป้องกันความผิดพลาด (Foolproof) คือ กลไกชนิดหนึ่งที่ป้องกันชิ้นที่เสียหายไม่ให้เกิดขึ้น โดยการติดตั้งเครื่องตรวจเช็คทั้งหลายเข้ากับอุปกรณ์และเครื่องวัดต่าง ๆ ของเครื่องจักร

แนวคิดเรื่องการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ ยังถูกนำไปใช้กับสายการผลิตซึ่งใช้กับคนด้วย คือถ้าหากมีการเกิดสิ่งผิดปกติในสายการผลิต คนงานจะกดปุ่มให้สายการผลิตหยุดทั้งหมด แผงไฟอันดง (Andon) ในระบบโตโยต้ามีบทบาทสำคัญอันนี้แหละเป็นตัวอย่างหนึ่งของระบบควบคุมโดยการมองเห็นของโตโยต้า

แผงหลอดไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า อันดง จะถูกแขวนในที่สูงในที่ที่ทุกคนจะมองเห็นได้ เพื่อแสดงให้รู้ว่ามีการหยุดในสายการผลิต เพื่อประโยชน์ในการหาจุดที่เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต เมื่อคนงานคนใดในสายงานการผลิตต้องการความช่วยเหลือเพื่อต้องการให้เขาทำงานได้ทันเวลาของรอบเวลาการทำงาน เขาจะกดปุ่มไปเหลืองให้ปรากฏบนอันดง

โดยสรุปแล้ว การควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ คือกลไกลอันหนึ่งที่ตรวจเช็คโดยอัตโนมัติถึงสิ่งที่ผิดปกติในกระบวนการผลิตนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9 กิจกรรมปรับปรุงงาน

ระบบการผลิตแบบโตโยต้าผสมผสานเป้าหมายเพื่อที่จะบรรลุหลายเป้าหมายไปพร้อม ๆ กัน ได้แก่ การควบคุมปริมาณ การประกันคุณภาพ และการเคารพความเป็นมนุษย์ ในขณะที่ต้องการจะบรรลุเป้าหมายสูงสุดทางด้านการลดต้นทุน เป้าหมายทั้งหมดบรรลุได้โดยกระบวนการของการมีกิจกรรมปรับปรุงงาน(Improvement Activities) ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานของระบบการผลิตแบบโตโยต้า และเป็นสิ่งที่ทำให้ระบบการผลิตแบบโตโยต้าเดินหน้าไปได้โดยแท้จริง คนงานทุกคนจะได้รับโอกาสที่จะออกความเห็นและเสนอแนะข้อปรับปรุงโดยผ่านกลุ่มย่อยที่เรียกว่ากลุ่มสร้างคุณภาพงานหรือกลุ่ม (QC Circle) กระบวนการออกความคิดเห็นและเสนอแนะจะทำให้มีการปรับปรุงวิธีการผลิต ดังนั้น (สิงหา เจียมศิริ, 2528)

- ด้านการควบคุมปริมาณการผลิต โดยการปรับขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐานไปตามการเปลี่ยนแปลงของรอบเวลา
- ด้านการประกันคุณภาพ จะมีการป้องกันไม่ให้ของเสียหรือเครื่องจักรที่เสียเกิดขึ้นซ้ำกันอีก
- ด้านการเคารพมนุษย์ คนงานทุกคนจะมีส่วนร่วมในการผลิต

2.1.10 ระบบคัมบัง

หลายคนเข้าใจผิดเรียกระบบการผลิตแบบโตโยต้าว่าเป็นระบบคัมบัง ความจริงเป็นระบบการผลิตแบบโตโยต้าเป็นวิธีการผลิตสินค้าในขณะที่ระบบคัมบังเป็นวิธีที่จะจัดการให้มีการผลิตแบบทันเวลาพอดีกล่าวอย่างสั้นๆ

ระบบคัมบัง (Kanban System) คือ ระบบข่าวสารที่ควบคุมการผลิตให้เป็นไปอย่างราบรื่น การผลิตดังกล่าวเรียกว่าการผลิตแบบทันเวลาพอดี ซึ่งเป็นวิธีการที่จะปรับเปลี่ยนการผลิตไปตามการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและการเปลี่ยนแปลงความต้องการของสินค้า โดยให้ทุกกระบวนการผลิตทำการผลิตเฉพาะสินค้าที่ต้องการ เมื่อถึงเวลาที่ต้องการ ด้วยปริมาณที่ต้องการเท่านั้น โดยจะเป็นการนำระบบดึง(Pull System)มาใช้ ระบบดึง (Pull System) หมายถึงการที่กระบวนการผลิตหลังดึงชิ้นส่วนจากกระบวนการก่อนหน้าของตนเพื่อเบิกชิ้นส่วนที่จำเป็นในปริมาณที่จำเป็น และในเวลาที่จำเป็น ซึ่งโตโยต้าจะใช้คัมบังเข้าช่วย

ระบบคัมบังแบ่งเป็น 2 ชนิด (สิงหา เจียมศิริ, 2528)

- Pattle Kanban คือ ระบบที่ใช้คัมบังกำหนดให้ผลิตตามเวลา
- Lot Kaisei คือ ระบบที่ใช้คัมบังกำหนดปริมาณในการสั่งผลิต

สมมุติว่าผลิตสินค้า A B และ C ในสายประกอบสายหนึ่ง ชิ้นส่วนในการผลิตที่จำเป็นมี ชิ้นส่วน a และชิ้นส่วน b ซึ่งผลิตในกระบวนการหน้า ชิ้นส่วน a และชิ้นส่วน b เมื่อถูกผลิตขึ้นแล้วจะถูกเก็บในห้องเก็บชิ้นส่วนข้างหน่วยผลิต และคัมบังสั่งผลิตจะถูกติดไว้กับชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นนี้ ผู้ขนส่งจากสายการประกอบซึ่งกำลังประกอบผลิตภัณฑ์ A จะไปยังห้องเก็บชิ้นส่วนของหน่วยผลิตเพื่อเบิกถอนชิ้นส่วน a เท่าที่จำเป็น โดยนำคัมบังเบิกของไปด้วย และที่ห้องเก็บชิ้นส่วนของชิ้นส่วน a เขาจะหยิบกล่องบรรจุชิ้นส่วน a ตามจำนวนคัมบังเบิกของ และจะปลดคัมบังส่วนผลิตที่ติดอยู่กับชิ้นส่วน a ออกจากกล่องเหล่านี้ไว้ที่ห้องเก็บชิ้นส่วน จากนั้นเขาก็จะนำชิ้นส่วน a ไปยังสายการประกอบพร้อมกับคัมบังเบิกของ

ในเวลาเดียวกัน คัมบังสั่งผลิตที่โดนปลดไว้ที่ห้องเก็บชิ้นส่วน ชิ้นส่วน a ของหน่วยผลิตจะแสดงของจำนวนชิ้นส่วนที่โดนเบิกไป บัตรคัมบังเหล่านี้จะเป็นเหมือนคำสั่งผลิตให้แก่หน่วยผลิตในกระบวนการหน้าซึ่งชิ้นส่วน a ก็จะถูกผลิตขึ้นตามจำนวนที่ระบุไว้ตามจำนวนบัตรคัมบังสั่งผลิต ตามปกติในหน่วยงานผลิตดังกล่าว ชิ้นส่วน a และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วน b จะถูกเบิกไปทั้งคู่ แต่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกผลิตขึ้นตามลำดับการโดนปลดออกจากคัมบังสั่งผลิต หรืออีกนัยหนึ่งคือตามลำดับการเบิกถอนของชิ้นส่วนโดยสายการประกอบ

2.1.10.1 ระบบคัมบังที่ปรับได้สำหรับการผลิตแบบทันเวลาพอดี

ระบบคัมบังเป็นระบบข่าวสารที่ควบคุมการผลิตให้เป็นไปอย่างราบรื่นในการที่จะผลิตสินค้าที่จำเป็น ในปริมาณที่จำเป็น เมื่อถึงเวลาที่จำเป็น ในทุกกระบวนการผลิตในโรงงานและรวมทั้งในบริษัทที่เกี่ยวข้องด้วย ที่บริษัทโตโยต้าระบบคัมบังถือว่าเป็นระบบย่อยของการผลิตแบบโตโยต้า หรืออีกนัยหนึ่งระบบคัมบังไม่ใช่ระบบการผลิตแบบโตโยต้าทั้งหมด

ในระบบควบคุมการผลิตแบบธรรมดานั้น ทุกกระบวนการผลิตตั้งแต่การผลิตชิ้นส่วนรวมถึงสายการประกอบขั้นสุดท้ายจะได้รับคำสั่งผลิตตามแผนการผลิต โดยให้กระบวนการผลิตก่อนหน้าส่งชิ้นส่วนให้แก่กระบวนการผลิตถัดมาหรือเรียกว่า ระบบดัน (Push System) แต่มีข้อเสียคือวิธีนี้จะประสบปัญหาในการปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดขึ้น จากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตบางขั้นตอนหรือจากการเปลี่ยนแปลงในความต้องการของสินค้า ทางบริษัทจะต้องเปลี่ยนแผนการผลิตสำหรับทุกกระบวนการผลิตไปพร้อมๆ กัน ซึ่งเป็นการลำบากมากสำหรับวิธีการนี้ที่จะเปลี่ยนแผนการผลิตบ่อยๆ ผลที่ตามมาคือ บริษัทจะมีของคงเหลืออยู่ระหว่างกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนเพื่อที่จะรับกับปัญหาในกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงในความต้องการของสินค้า ดังนั้นระบบดังกล่าวมักจะทำให้เกิดความไม่สมดุลของของคงเหลือระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้มีสต๊อกที่ไร้ประโยชน์ (Dead Stock) เครื่องจักรอุปกรณ์ที่เกินความจำเป็น และคนงานมากเกินไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรุ่นของสินค้าที่จะทำการผลิต

ในทางกลับกัน ระบบโตโยต้าปฏิวัติแนวความคิดดังกล่าวโดยให้กระบวนการผลิตหลังหรือถัดมาดึงชิ้นส่วนจากกระบวนการก่อนหน้า ซึ่งเป็นวิธีที่เรียกว่า ระบบดึง (Pull System) เนื่องจากสายการประกอบสุดท้ายเท่านั้นที่ทราบดีว่าต้องการชิ้นส่วนไหนเท่าใดและเมื่อไร สายการประกอบสุดท้ายจะไปที่กระบวนการผลิตหน้าของตนเพื่อเบิกชิ้นส่วนที่จำเป็นในปริมาณที่จำเป็น และเมื่อเวลาที่จำเป็นสำหรับสายการประกอบรถ กระบวนการผลิตนั้นก็จะผลิตชิ้นส่วนที่ถูกเบิกไปโดยกระบวนการผลิตหลัง ยิ่งกว่านั้นแต่ละกระบวนการผลิตชิ้นส่วนก็จะเบิกชิ้นส่วนหรือวัสดุที่จำเป็นจากกระบวนการก่อนหน้าของตนต่อๆ กันไป

ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในช่วงระหว่างเดือนที่จะต้องออกแบบแผนการผลิตพร้อมกันสำหรับทุกกระบวนการผลิต เพียงแต่แจ้งให้สายการประกอบสุดท้ายทราบถึงแผนการผลิตที่เปลี่ยนไปแล้วใหม่ และกระบวนการผลิตอื่นจะทราบถึงเวลาที่จำเป็นและปริมาณที่จำเป็นในการผลิตชิ้นส่วนของตนเองนั้นโตโยต้าใช้คัมบังเข้าช่วย

2.1.10.2 คัมบังคืออะไร

คัมบังคือ เครื่องมือที่ทำให้บรรลุการผลิตแบบทันเวลาพอดี คัมบังเป็นบัตรซึ่งปรกติใส่ไว้ในซองพลาสติก คัมบังที่ใช้กันเป็นหลักมีอยู่สองชนิดคือ คัมบังเบิกของ และคัมบังสั่งผลิต คัมบังเบิกของจะระบุถึงชนิดและปริมาณของสินค้าที่กระบวนการหลังเบิกจากกระบวนการก่อนหน้า ในขณะที่คัมบังสั่งผลิตจะระบุถึงชนิดและปริมาณของสินค้าที่กระบวนการก่อนหน้าจะต้องผลิต

วิธีการใช้คัมบังชนิดต่างๆมีขั้นตอนคือผู้ส่งของกระบวนการหลังจะไปที่ห้องเก็บชิ้นส่วนของกระบวนการหน้า พร้อมกับจำนวนคัมบังเบิกของที่จำเป็นและแท่นวางของ (Pallets) หรือกล่องบรรจุเปล่า ซึ่งอาจอยู่บนรถยกหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถส่งของ ซึ่งเขาจะทำหน้าที่ดังกล่าวก็ต่อเมื่อได้มีคัมบังเบิกของจำนวนหนึ่งที่ระบุไว้แล้ว ซึ่งสะสมอยู่ที่เก็บคัมบังของเขา หรือเขาจะทำงานดังกล่าวตามเวลาที่กำหนดไว้เป็นช่วงๆสม่ำเสมอ

- เมื่อผู้ส่งจากกระบวนการหลังเบิกชิ้นส่วนไปจากห้องเก็บชิ้นส่วนเขาจะหยิบคัมบังสั่งผลิตซึ่งติดอยู่กับชิ้นส่วนซึ่งอยู่บนแท่นวางของ ออกมาวางไว้ที่รับคัมบังสั่งผลิต แท่นวางของเปล่าๆ ที่เขานำมาด้วยในขั้นตอนที่ 1 จะถูกวางไว้ตำแหน่งที่กำหนดในกระบวนการหน้า
- สำหรับคัมบังสั่งผลิตที่เขาหยิบออกมาแต่ละใบนั้น ผู้ขนส่งจะใส่คัมบังเบิกของที่เขานำมาด้วยในขั้นตอนที่ 1 เข้าไปแทนที่ ระหว่างที่มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งของคัมบังสองชนิดนี้ เขาจะทำการเปรียบเทียบดูว่า คัมบังเบิกของตรงกับคัมบังสั่งผลิตหรือไม่ เพื่อไม่ให้ผิดพลาด
- เมื่องานเริ่มในกระบานการหลัง คัมบังเบิกของจะถูกนำไปใส่คืนไว้ที่เก็บคัมบังเบิกของ
- ในกระบวนการผลิตหน้า เมื่อถึงเวลาหนึ่งหรือเมื่อได้ผลิตชิ้นส่วนไปแล้วจำนวนหนึ่ง คัมบังสั่งผลิตจะถูกรวบรวมไปวางไว้ในที่เก็บคัมบังสั่งผลิต
- ผลิตชิ้นส่วนตามลำดับของคัมบังสั่งผลิตที่อยู่ในที่เก็บคัมบังสั่งผลิต
- ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นมาและคัมบังสั่งผลิตจะต้องไปพร้อมกันเป็นคู่ในกระบวนการผลิต
- เมื่อผลิตชิ้นส่วนเสร็จเรียบร้อย ชิ้นส่วนและคัมบังจะถูกนำไปวางไว้ที่ห้องเก็บชิ้นส่วน พร้อมที่จะให้ผู้ขนส่งจากกระบวนการหลังมาเบิกไปตามความต้องการ

กระบวนการลูกโซ่ของคัมบังทั้งสองนี้ จะต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องเชื่อมโยงกันไปยังกระบวนการหน้าย้อนกลับขึ้นไป ผลที่ได้รับคือแต่ละกระบวนการผลิตจะได้รับของชนิดที่จำเป็น เมื่อเวลาที่จำเป็น ด้วยปริมาณที่จำเป็น ซึ่งทำให้เกิดการผลิตแบบทันเวลาพอดีในแต่ละกระบวนการผลิต กระบวนการลูกโซ่ของคัมบังจะช่วยทำให้เกิดการสมดุลของสายการผลิตสำหรับทุกกระบวนการผลิตที่จะผลิตของตนออกมาให้สอดคล้องกับรอบเวลา

2.1.10.3 กฎของคัมบัง

เพื่อที่จะให้คัมบังได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดีจะต้องมีกฎของการใช้คัมบังดังนี้ (สิงหา เจียมศิริ, 2528)

กฎข้อที่ 1 กระบวนการหลังจะเบิกเฉพาะของที่จำเป็นจากกระบวนการหน้า ในปริมาณที่จำเป็น เมื่อถึงเวลาที่จำเป็นเท่านั้น

ถ้าผู้จัดการฝ่ายผลิตแต่เพียงผู้เดียวประสงค์ที่จะนำคัมบังมาใช้ในโรงงานของตน เขาจะไม่สามารถสั่งการให้นำกฎข้อแรกนี้ไปปฏิบัติโดยลำพังได้จากตำแหน่งที่เขาเป็นอยู่ การที่จะปฏิบัติตามกฎข้อนี้ได้ ผู้บริหารระดับสูงของบริษัทจะต้องชนะใจคนงานทั้งหมดก่อน และจะต้องตัดสินใจอย่างเด็ดขาดที่จะยอมให้มีการหยุดชะงักของการผลิตที่เคยทำมาก่อน รวมทั้งการขนส่งและการส่งของ การตัดสินใจดังกล่าวอาจพบกับการต่อต้านอย่างรุนแรงเพราะกฎข้อนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบูรณ์แบบจากระบบการผลิตที่เคยปฏิบัติกันมาก่อน

กฎย่อยที่จะต้องมีไปพร้อมกับกฎข้อที่ 1 มีดังนี้

- ห้ามเบิกของโดยปราศจากคัมบัง
- ห้ามเบิกของเกินจำนวนคัมบัง
- คัมบังจะต้องควบคู่ไปกับของเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรระลึกไว้เสมอคือ มีสิ่งจำเป็นควบคู่ไปกับระบบคัมบังในระบบการผลิต ได้แก่ การปรับเรียบการผลิต การวางผังการผลิต และการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงาน

การปรับเรียบการผลิตประจำวันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเบิกของเป็นรุ่นขนาดเล็กและการผลิตเป็นรุ่นขนาดเล็กของกระบวนการหลัง และเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับกฎข้อที่ 1 ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากว่าระบบคัมบังถูกนำไปใช้ในการเบิกชิ้นส่วนจากบริษัทผู้จัดส่งมาจากภายนอก โดยปราศจากการปรับเรียบการผลิตในสายการผลิตของผู้ผลิตสินค้า คัมบังจะกลายเป็นอาวุธที่อันตรายอย่างยิ่งและจุดประสงค์สำคัญของคัมบังก็จะเสียไป ผู้จัดส่งจะต้องมีของคงเหลือมากมาย และมีเครื่องจักรอุปกรณ์ และคนงานจำนวนมาก เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการซึ่งเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆ อยู่ตลอดเวลาของผู้ผลิตสินค้า

อย่างไรก็ตามการใช้กฎข้อที่ 1 การผลิตแบบทันเวลาก็เป็นไปได้ยาก เพราะว่าคัมบังโดยตัวของมันเองเป็นเพียงแค่กลไกการออกคำสั่งผลิตระหว่างวันของแต่ละกระบวนการผลิต ก่อนที่จะถึงช่วงของการสั่งงานโดยคัมบังการวางแผนรวมทั้งโรงงานจะต้องทำกันล่วงหน้าเสียก่อน โดยในการนี้โตโยต้าจะใช้วิธีแจ้งให้ทุกกระบวนการผลิตและผู้จัดส่งทราบในแต่ละเดือนถึงจำนวนที่จะผลิตในเดือนหน้า เพื่อว่าแต่ละกระบวนการผลิตและผู้จัดส่งจะได้เตรียมการล่วงหน้าที่จะกำหนดรอบเวลา จำนวนคนงานที่จำเป็น จำนวนวัสดุหรือชิ้นส่วนที่จำเป็น และจุดที่ต้องแก้ไขและปรับปรุง ฯลฯ โดยอาศัยพื้นฐานของแผนรวมดังกล่าวรวมกัน ทุกกระบวนการผลิตในโรงงานจะได้มีการใช้กฎข้อ 1 พร้อมๆ กันตั้งแต่วันต้นเดือนของทุกเดือน

ยังมีสิ่งที่ควรกล่าวถึงอีกสองประเด็นเกี่ยวกับวิธีการดึงของคัมบัง ที่โตโยต้าจะมีระบบดึงอยู่สองชนิดคือ ระบบเบิกแบบปริมาณคงที่ และระบบเบิกแบบช่วงเวลาเบิกคงที่ จะอธิบายโดยใช้สองตัวอย่างดังนี้ วิธีที่จะส่งชุดของชิ้นส่วนในปริมาณคงที่ กับวิธีส่งชิ้นส่วนในช่วงเวลาคงที่โดยใช้ระบบขนส่งแบบผลัดผสม (A Round-Tour Mixed-Loading System)

ระบบแมลงผิวน้ำ (Whirligig) แมลงผิวน้ำเป็นแมลงชนิดหนึ่งซึ่งเคลื่อนไหวอยู่บนผิวน้ำเคลื่อนไหวไปมาอย่างรวดเร็ว ผู้ขนส่งโตโยต้าถูกให้ชื่อว่าเป็นแมลงผิวน้ำ (Mizusumashi) เพราะว่าพวกเขาจะเคลื่อนไหวไปมาระหว่างกระบวนการหน้าและกระบวนการหลังหลายเที่ยว

ระบบช่วงเวลาคงที่และการขนส่งแบบผลัดผสมเป็นระบบการขนส่งที่ใช้กับผู้รับเหมาช่วง การเบิกชิ้นส่วนจากผู้รับเหมาช่วงนั้น เป็นหน้าที่ของผู้รับเหมาที่จะต้องส่งชิ้นส่วนหรือสินค้าของตนไปที่บริษัทผู้ผลิตสินค้า ผลที่ตามมาคือจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการส่งชิ้นส่วนจะมีความสำคัญ เพราะว่ามีการส่งของถี่มากเนื่องจากการผลิตและเบิกแบบรุ่นขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตามในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อาจจะยากที่จะประยุกต์ระบบดังกล่าวข้างต้นในบางกรณี เนื่องจากสหรัฐฯ นั้นมีพื้นที่กว้างใหญ่ไพศาล ซึ่งบางครั้งบริษัทผู้รับเหมา A อาจจะอยู่ห่างไกลจากบริษัทอื่นๆ จึงต้องพัฒนากลยุทธ์เพิ่มเติมบางประการ เช่นเบิกชิ้นส่วนด้วยรุ่นขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ และจะต้องใช้เวลานำในการผลิตให้น้อยลงด้วย

<u>กฎข้อที่ 2</u> กระบวนการหน้าจะผลิตสิ้นค้าในปริมาณที่ถูกเบิกไปโดยกระบวนการหลังเท่านั้น

เมื่อกฎข้อที่ 1 และ 2 ได้รับการปฏิบัติอย่างเคร่งครัด กระบวนการผลิตทั้งหมดจะถูกต่อเชื่อมกันจนเป็นสายพานชนิดหนึ่ง การทำเวลาการผลิตให้สมดุลกันระหว่างกระบวนการผลิตทั้งหมดจะถูกรักษาไว้ได้โดยการปฏิบัติตามกฎสองข้อนี้อย่างเคร่งครัด ถ้าหากเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตใดก็ตาม การผลิตจะหยุดลงหมด แต่ความสมดุลระหว่างกระบวนการผลิตจะได้รับการรักษาไว้ ดังนั้นระบบการผลิตแบบโตโยต้าเป็นโครงสร้างซึ่งจะบรรลุถึงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตแบบสายพานเต็มรูป และคัมบังเป็นกลไกเชื่อมกระบวนผลิตทั้งหลาย ผลที่ตามมาคือ ปริมาณของคงเหลือที่แต่ละกระบวนการผลิตหน้าจะมีน้อยมาก

มีกฎย่อยสำหรับกฎข้อที่ 2 ดังนี้

- การผลิตที่มากกว่าจำนวนคัมบัง จะถูกห้ามไม่ให้เกิดขึ้นอย่างเด็ดขาด
- ถ้ากระบวนการผลิตหน้ามีการผลิตชิ้นส่วนหลายชนิด การผลิตจะต้องเป็นไปตามลำดับก่อนหลังที่คัมบังของแต่ละชนิดนั้นถูกส่งมา

เนื่องจากกระบวนการหลังจะต้องผลิตเพียงหน่วยเดียวหรือผลิตเป็นรุ่นขนาดเล็ก เพื่อจะให้มีการผลิตปรับเรียบ (Smoothed Production) กระบวนการหน้าจะต้องมีการตั้งเครื่อง (Set up) ถี่หรือบ่อยมากเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่ถี่ของกระบวนการหลัง ดังนั้นกระบวนการหน้าจะต้องมีการตั้งเครื่องให้รวดเร็วมาก

<u>กฎข้อที่ 3</u> ไม่มีการส่งของที่ชำรุดไปยังกระบวนการหลัง

ระบบคัมบังจะถูกทำลายทันทีถ้ากฎข้อที่ 3 นี้ไม่ได้รับการปฏิบัติ ถ้ามีการค้นพบของที่ชำรุดในกระบวนหลัง กระบวนการหลังนี้จะหยุดการผลิตทันทีเนื่องจากไม่มีของคงเหลือเผื่อไว้ และของที่ชำรุดจะถูกส่งกลับไปที่กระบวนการหน้าทันที การหยุดการผลิตดังกล่าวของกระบวนการหลังจะได้รับการสังเกตและเห็นชัดจากทุกคน ระบบนี้อยู่บนพื้นฐานของแนวคิดเรื่องการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation) จุดประสงค์ก็เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีการทำของชำรุดนั้นเกิดขึ้นอีก

ความหมายของของชำรุดนั้นได้ขยายให้ครอบคลุมถึงการปฏิบัติผลิตที่ชำรุดด้วย การปฏิบัติที่ชำรุดคือ งานที่ทำไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด และก่อให้เกิดความไม่มีประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงาน โดยคน ขั้นตอนการปฏิบัติงาน และชั่วโมงการทำงานของคนงาน การไม่มีประสิทธิภาพดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุของการผลิตของที่ชำรุดด้วยเช่นกัน ดังนั้นการปฏิบัติที่ชำรุดเหล่านี้จะต้องถูกขจัดออกไปจากกระบวนการหน้า เพื่อรับประกันให้เกิดการเบิกของอย่างมีจังหวะ (Rythmic Withdrawals) การกำหนดมาตรฐานของงานจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากของระบบคัมบัง

<u>กฎข้อที่ 4</u> ควรมีคัมบังให้น้อยที่สุด

เนื่องจากจำนวนของบัตรคัมบังเป็นตัวกำหนดระดับสูงสุดของชิ้นส่วนคงเหลือ ควรมีจำนวนของคัมบังให้น้อยที่สุด โตโยต้าตระหนักอยู่เสมอว่าการเพิ่มระดับของคงเหลือเป็นต้นเหตุของความสูญเปล่าทุกชนิด

อำนาจการตัดสินใจขั้นสุดท้ายในการที่จะเปลี่ยนแปลงจำนวนบัตรคัมบังได้รับมอบหมายไปที่หัวหน้าแผนกของแต่ละกระบวนการผลิต ถ้าหากหัวหน้าแผนกสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตของเขาโดยลดขนาดรุ่นที่ทำการผลิตลง และทำให้เวลาในการผลิตสั้นลงแล้ว จำนวนบัตรคัมบังของแผนกก็สามารถลดลงได้ การปรับปรุงดังกล่าวของกระบวนการผลิตของเขานั้นถือว่าจำเป็นต่อการปฏิบัติตามกฎข้อที่ 4 ถ้าต้องการที่จะปลูกฝังและส่งเสริมให้มีการปรับปรุงขีดความสามารถทางการจัดการแล้ว สิ่งแรกที่จะต้องทำคือมอบหมายอำนาจหน้าที่ในการพิจารณากำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่จำเป็นต้องมีให้แก่หัวหน้าแผนก

จำนวนบัตรคัมบังจะถูกรักษาไว้ให้คงที่ ดังนั้นเมื่ออัตราความต้องการเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น เวลาทำการผลิตควรจะต้องลดลง ซึ่งจำเป็นจะต้องลดรอบเวลาการปฏิบัติงานมาตรฐานโดยการเปลี่ยนการจัดสรรงานให้แก่คนงานในสายการผลิตใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากจำนวนบัตรคัมบังมีอยู่คงที่ แผนกผลิตที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงดังกล่าวได้จะได้รับผลเสียหายจากการหยุดการผลิตเป็นช่วงๆ หรือไม่ก็ถูกบีบให้ทำล่วงเวลา ที่โตโยต้าโอกาสที่คนงานจะปิดบังปัญหาจากการผลิตในหน่วยของตนนั้นแทบจะทำไม่ได้เลย เนื่องจากระบบคัมบังเป็นตัวทำให้เห็นการมีจุดบกพร่องหรือปัญหาอย่างชัดเจนในรูปของการหยุดสายการผลิต หรือไม่ก็ทำงานล่วงเวลา และจะทำให้มีกิจกรรมการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ แผนกการผลิตอาจจะเลือกที่จะเพิ่มระดับความปลอดภัยของสต๊อค (Safety Stock) หรือจำนวนของบัตรคัมบังทั้งหมดเพื่อปรับให้เข้ากับการเพิ่มความต้องการ ดังนั้นเราอาจจะใช้ระดับความปลอดภัยของสต๊อคเป็นตัวชี้ถึงความสามารถของหน่วยผลิตได้เช่นกัน

ในกรณีที่ความต้องการลดลง รอบเวลาของการปฏิบัติงานมาตรฐานจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีจะต้องหลีกเลี่ยงการมีเวลาว่างของคนงานผลิตโดยลดลดจำนวนคนงานจากสายการผลิต

กฎข้อที่ 5 ควรจะใช้คัมบังเพื่อปรับระดับการผลิตให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของความต้องการ

การปรับระดับการผลิตโดยคัมบัง เป็นคุณลักษณะเด่นของระบบคัมบังที่มีความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการอย่างกระทันหัน หรือปัญหาฉุกเฉินในการผลิต

เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการปรับตัวหมายถึงอะไร เราลองสำรวจปัญหาซึ่งประสบโดยบริษัทที่มีระบบควบคุมธรรมดา ซึ่งได้แก่บริษัทที่ไม่ได้ใช้คัมบัง จะเห็นว่าบริษัทเหล่านี้ขาดเครื่องมือที่จะจัดการด้วยความราบรื่นกับการเปลี่ยนแปลงความต้องการที่เกิดขึ้นกะทันหันอย่างคาดไม่ถึง ระบบควบคุมแบบธรรมดาจะมีการกำหนดแผนลำดับการผลิต (Production Schedules) จากส่วนกลางและออกคำสั่งไปยังกระบวนการผลิตทั้งหลายพร้อมๆกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความต้องการอย่างกะทันหันจะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 7-10 วัน ในการที่จะปรับลำดับแผนการผลิตใหม่และออกคำสั่งผลิตไปยังโรงงาน ซึ่งเวลาดังกล่าวใช้สำหรับให้คอมพิวเตอร์ทำการรวบรวมและคำนวณจากข้อมูลล่าสุดออกมา ผลที่ตามมาก็คือ กระบวนการผลิตทั้งหลายจะต้องพบกับการเปลี่ยนแปลงที่กระตุกอยู่ครั้งแล้วครั้งเล่าของความต้องการของการผลิต และปัญหาเหล่านี้ยังถูกทำให้สับสนทวีมากขึ้นจากการผลิตที่ไม่ราบรื่นของกระบวนการผลิตทั้งหลาย

ในทางตรงข้าม บริษัทที่ใช้ระบบคัมบังจะไม่ออกคำสั่งผลิตของแผนลำดับการผลิตอย่างละเอียดไปยังกระบวนการผลิตหน้าทั้งหลายพร้อมๆ กันในช่วงระหว่างเดือน แต่ละกระบวนการผลิตเพียงแต่ได้รับแจ้งให้ผลิตเมื่อคัมบังสั่งผลิตได้ถูกปลดออกจากกล่องบรรจุที่สโตร์ของหน่วยผลิตนั้น จะมีแต่สายการประกอบขั้นสุดท้ายเท่านั้นที่ได้รับลำดับการผลิตก่อนหลังสำหรับการผลิตในแต่ละวัน และลำดับการผลิตดังกล่าวจะถูกแสดงบนคอมพิวเตอร์ซึ่งระบุรายละเอียดของสินค้าที่จะต้องประกอบในลำดับถัดไป

ในที่นี้เราจะเห็นความหมายของการปรับระดับการผลิตเมื่อใช้คัมบังในการปรับเรียบการสนองตอบต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดจะทำได้ง่ายมาก โดยการผลิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากจำนวนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในแผนลำดับการผลิต การปรับตัวของระดับการผลิตโดยคัมบังจะสามารถปรับเข้ากับการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อยของความต้องการที่โตโยต้าสามารถปรับได้กับการขึ้นลงของความต้องการในช่วง 10% โดยเพียงการเปลี่ยนความถี่ของการหมุนเวียนคัมบังโดยไม่ต้องไปทบทวนการเพิ่มหรือลดจำนวนคัมบัง

ในกรณีความเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่ของความต้องการตามฤดูกาลหรือกรณีการเพิ่มหรือลดในความต้องการต่อเดือนที่เกิดขึ้นจริงจากความต้องการที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หรือความต้องการที่กำหนดไว้ในเดือนก่อนหน้า สายการผลิตจะต้องมีการจัดกันใหม่ กล่าวคือรอบเวลาของแต่ละกระบวนการผลิตจะต้องคำนวณขึ้นมาใหม่และเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนคนงานในแต่ละกระบวนการผลิตจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย หรือไม่นั้นก็จะต้องเพิ่มหรือลดจำนวนบัตรคัมบังที่จะต้องใช้

ในการที่จะเผชิญหน้ากับปัญหาของจุดสูงสุดและจุดต่ำสุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของความต้องการในช่วงปีนั้น ผู้บริหารระดับสูงจะต้องตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่งคือ ให้มีระดับการขายสม่ำเสมอตลอดปี หรือสร้างแผนที่ยืดหยุ่นได้สำหรับการจัดสายการผลิตให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในระหว่างปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับความสามารถในการปรับตัวของคัมบัง สิ่งที่ควรทราบอีกอย่างหนึ่งก็คือ คัมบังสามารถใช้ได้กับชิ้นส่วนที่มีความต้องการใช้ไม่สม่ำเสมอ เพียงแต่ว่าระดับความปลอดภัยของสต๊อคจะมีสูงขึ้น สำหรับกรณีนี้ดังตัวอย่างชิ้นเหล็กขนาดเล็กซึ่งเรียกว่า น้ำหนักถ่วงสมดุลจะถูกติดกับเพลาขับของรถยนต์โดยคนงาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความไม่สม่ำเสมอหรือการไม่สมดุลของการหมุนเหวี่ยง น้ำหนักถ่วงดังกล่าวมีอยู่ 5 ชนิดด้วยกัน และจะถูกคัดเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความไม่สมดุลในการหมุนของเพลาขับ ถ้าการหมุนของเพลาขับสมดุลก็ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำหนักถ่วง ถ้าไม่สมดุลต้องใช้น้ำหนักถ่วงหนึ่งหรือสองชิ้นติดกับเพลาขับเพื่อให้ได้สมดุล ดังนั้นความต้องการใช้น้ำหนักถ่วงห้าชนิดดังกล่าวจะไม่สม่ำเสมอ และไม่สามารถปรับเรียบให้สม่ำเสมอได้เลย

อย่างไรก็ดี ที่โตโยต้าคัมบังจะถูกผูกติดกับน้ำหนักถ่วงเหล่านี้ด้วยเช่นกัน เนื่องจากระดับสต๊อคของน้ำหนักถ่วงทั้ง 5 ชนิดนี้จะไม่เพิ่มมากไปกว่าจำนวนคัมบังทั้งหมด ระดับสต๊อคและจำนวนสั่งจะสามารถวัดได้ชัดเจน ดังนั้นจึงควบคุมระดับความปลอดภัยของสต๊อคได้พอสมควร

ถึงแม้ว่าการหมุนเวียนของคัมบังจะเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาสม่ำเสมอ จำนวนคัมบังสำหรับถ่วงน้ำหนักแต่ละชนิดจะขึ้นๆลงๆ ตามการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ อย่างไรก็ตาม ถ้าเราประสงค์จะทำให้การขึ้นๆลงๆของจำนวนคัมบังมีน้อยลง เราต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง

2.2 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.2.1 ความหมายของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจโครงการหรือทางเลือกในการลงทุน เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงสุดหรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจึงเป็นเรื่องการวิเคราะห์เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นของโครงการโดยมีจำนวนเงินเป็นตัวเปรียบเทียบ (เพียงจันทร์ จริงจิต, 2541)

2.2.2 การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิ

การเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิ (Equivalent-Uniform-Annual-Worth Comparison) คือ วิธีที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบทางเลือกหลายทางเลือกหรือการตัดสินใจแก้ปัญหาในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม มูลค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิหรือค่า EUAW เป็นปริมาณรายรับหรือรายจ่ายที่เกิดในปริมาณเท่าๆ กันคงที่ทุกช่วงเวลาที่กำหนดมีค่าแฟกเตอร์ที่ใช้หามูลค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิคือ

$$A = P\,(A/P,i\%,n) \qquad (2.1)$$

$$A = F\,(A/F,i\%,n) \qquad (2.2)$$

โดยที่ A หมายถึง รายรับหรือรายจ่ายที่เกิดขึ้นทุกคาบเวลา (วัน เดือน ปี) และจะมีค่าเท่ากันตลอดระยะเวลาที่กำหนดเรียกได้อีกอย่างว่า "Annual Payment"

P หมายถึง จำนวนเงินเริ่มต้นเมื่อมีการลงทุน เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Present Worth"

F หมายถึง จำนวนเงินรวมเมื่อครบกำหนดระยะเวลา n แล้ว

i หมายถึง อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (ปี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

n หมายถึง อายุการใช้งาน (ปี)

ทางเลือกที่มีมูลค่าเทียบเท่ารายปีสุทธิที่เป็นค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

2.3 การจำลองสถานการณ์

2.3.1 หลักการเบื้องต้นของการจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ คือ การทำการสร้างตัวจำลอง (Model) เพื่อทำการเลียนแบบกระบวนการดำเนินงานของระบบจริง (Real System) ที่เกิดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลของการดำเนินการที่ผ่านมาที่มีผลกระทบต่อการดำเนินงานของระบบนั้น ซึ่งข้อมูลได้มาจากการสังเกต (Observation) หรือจากการทำบันทึกข้อมูลในอดีต (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542)

นิยามของการจำลองสถานการณ์ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางก็คือคำนิยามของเชนนอน(Shannon) ซึ่งได้นิยามว่า "การจำลองสถานการณ์ คือ กระบวนการออกแบบตัวแบบจำลองของระบบงานจริงแล้วดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของระบบหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่ได้วางไว้"

การจำลองสถานการณ์ตามแนวคิดของเพ็กเดนและเชนนอน ได้จัดแบ่งกระบวนการของการจำลองสถานการณ์ออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ (Experimental) ซึ่งต้องรวมเอา 2 ส่วนนี้เข้าด้วยกันดังนั้นกลไกของวิธีการของการจำลองสถานการณ์ขึ้นอยู่กับแบบจำลอง และการใช้แบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์อาจจะเป็นระบบงาน หรือเป็นแนวความคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเหมือนระบบงานจริง แต่จะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรม และเพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบงานจริง ฉะนั้นการจำลองแบบปัญหาจะเน้นถึงการสร้างแบบจำลองและการทดลองเพื่อศึกษาปัญหาต่างๆ ที่ต้องการเรียนรู้และแสดงผลลัพธ์ออกเป็นค่าทางสถิติ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

- สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบ
- สามารถสร้างทฤษฎีหรือสมมติฐานที่จะอธิบายหรือแสดงถึงเหตุสำหรับพฤติกรรมที่กำลังสังเกตอยู่
- ใช้ต้นแบบที่จำลองขึ้นนี้ เพื่อจะพยากรณ์ถึงพฤติกรรมในอนาคต ตัวอย่างเช่น ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระบบหรือวิธีการในการดำเนินงานของระบบ

2.3.2 ระบบงานและแบบจำลอง

องค์ประกอบที่เป็นกลไกอันสำคัญในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ให้ประสบผลสำเร็จก็คือแบบจำลองการที่จะสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์จำเป็นต้องเรียนรู้และเข้าใจโดยละเอียดเกี่ยวกับระบบงานจริงๆนั้นเป็นอย่างดีเสียก่อน เพราะว่าสิ่งนี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างแบบจำลองและการนำแบบจำลองไปใช้งาน ดังนั้นผู้ที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนของระบบงานได้ เหตุผลที่ต้องใช้แบบจำลองก็เพราะว่าเราต้องการที่จะเรียนรู้บางสิ่งเกี่ยวกับระบบจริงบางระบบ ซึ่งเราไม่สามารถจะสังเกตหรือทำการทดลองกับระบบงานจริงได้โดยตรงได้ ไม่ว่าจะเป็นเพราะด้วยระบบยังไม่ได้มีอยู่จริงหรือเป็นเพราะด้วยความยากลำบากมากไปที่จะปฏิบัติด้วยความชำนาญได้ แบบจำลองที่ได้ถูกสร้างขึ้นมาด้วยความระมัดระวังจะสามารถช่วยขจัดความซับซ้อนของระบบงานจริงให้ลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61745

ระบบงาน (System) หมายถึงกลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและมีความร่วมมือประสานงานกัน เพื่อให้ได้ผลสำเร็จในวัตถุประสงค์บางอย่างของระบบงานนั้นๆ สิ่งสำคัญในการศึกษาระบบงานก็คือ การกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Environment) นอกจากการกำหนดขอบเขตของงานแล้ว ยังจำเป็นต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ขององค์ประกอบต่างๆทั้งองค์ประกอบภายในระบบงาน และองค์ประกอบภายนอกระบบงานซึ่งลักษณะเฉพาะตัวนี้จะทำให้เกิดกิจกรรมและกิจกรรมบางอย่างภายใต้เงื่อนไขบางข้อก็จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (System Status)

ประเภทของระบบงานเพื่อนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทดังนี้ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542)

- ระบบต่อเนื่อง (Continuous System) คือการเปลี่ยนสถานภาพของระบบเป็นการเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถแยกเวลา ณ จุดใดจุดหนึ่งได้ เช่น การเคลื่อนที่ผ่านในอากาศของเครื่องบินเพราะว่าตำแหน่งและความเร็วเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
- ระบบไม่ต่อเนื่องหรือระบบเป็นช่วง (Discrete System) คือการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบงานเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง โดยจะเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาหนึ่งไม่ต่อเนื่อง เช่น การเข้ามาใช้บริการของลูกค้าที่ธนาคาร ฯลฯ
- ระบบแน่นอน หรือระบบตายตัว (Deterministic System) คือการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบงานที่ระบบใหม่ สามารถบอกได้จากสถานภาพ และกิจกรรมของระบบงานที่ระดับก่อน ซึ่งในโลกความเป็นจริงแล้วที่ สามารถรู้องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบงานได้อย่างชัดเจน
- ระบบไม่แน่นอน (Stochastic System) คือการเปลี่ยนแปลงสภาพของระบบงานไม่มีความแน่นอน ต้องอาศัยการเดาสุ่ม และในบางกรณีก็สามารถอาศัยความน่าจะเป็น (Probability) ของการเปลี่ยนสถานภาพ
- ระบบสถิตย์ (Static System) คือระบบที่การเปลี่ยนแปลงสภานภาพของระบบไม่เกี่ยวข้องกับเวลา เช่น Monte Carlo Simulation
- ระบบพลวัต (Dynamic System) คือระบบที่การเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบมีความเกี่ยวข้องกับเวลา

แบบจำลอง (Model) หมายถึง ตัวแทนของลักษณะ หรือพฤติกรรมของสิ่งที่สนใจ ใช้ในการนำเสนอเพื่อศึกษาหรือเลียนแบบเพื่อใช้งาน โดยในการจำลองเพื่อการศึกษานั้น จะทำเฉพาะจุดที่สนใจ จะศึกษามาทำแบบจำลองเท่านั้น

2.3.3 ประเภทของแบบจำลองในการจำลองสถานการณ์

สามารถจำแนกประเภทของระบบออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete System) และระบบต่อเนื่อง (Continuous System) ซึ่งรายละเอียดของระบบแต่ละชนิดมีดังนี้ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542)

- ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete System) เป็นระบบซึ่งตัวแปรสถานภาพเปลี่ยนแปลงในพริบตาที่จุดเวลาต่าง ๆ ตัวอย่างระบบเป็นช่วงคือ ธนาคารเพราะว่าตัวแปรสถานภาพ เช่น จำนวนลูกค้าที่อยู่ในธนาคารมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีลูกค้าเข้ามาถึงธนาคาร หรือเมื่อลูกค้าเสร็จสิ้นจากการใช้บริการและออกไปจากธนาคารนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบต่อเนื่อง (Continuous System) เป็นระบบซึ่งตัวแปรสถานภาพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลา ตัวอย่างของระบบต่อเนื่องคือ การเคลื่อนที่ผ่านในอากาศของเครื่องบินเพราะว่าตัวแปรสถานภาพ อย่างเช่นตำแหน่งและความเร็วสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเวลา

ในทางปฏิบัติแล้วจะมีระบบจำนวนส่วนน้อยที่เป็นแบบช่วงโดยเฉพาะแต่อย่างเดียว หรือเป็นแบบต่อเนื่องโดยเฉพาะแต่อย่างเดียว แต่เนื่องจากระบบส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอำนาจเหนือมากกว่าการเปลี่ยนแปลงอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นตามปกติมันจะเป็นไปไม่ได้ที่จะจำแนกองค์ประกอบของระบบงานออกเป็นช่วง หรือแบบต่อเนื่องและรายละเอียดเฉพาะบางอย่างที่เกี่ยวกับความแท้จริงของระบบงานส่วนใหญ่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษารายละเอียดเหล่านั้นเพื่อจะพยายามได้รับความเข้าใจลึกซึ้งในความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ หรือเพื่อที่จะทำนายการกระทำที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขใหม่บางอย่างซึ่งถูกนำมาพิจารณา

2.3.4 ประเภทของแบบจำลองในการจำลองปัญหา

ประเภทของแบบจำลองในการจำลองปัญหาออกเป็น 3 วิธี (สิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542)

- แบบจำลองของการจำลองแบบปัญหาชนิดสถิต (Static Simulation) กับแบบจำลองของการจำลองแบบปัญหาชนิดพลวัต (Dynamic Simulation) แบบจำลองของการจำลองปัญหาชนิดสถิต เป็นตัวแบบอย่างเรียบง่ายไม่มีกฎเกณฑ์ ตัวอย่างของการจำลองแบบปัญหาชนิดสถิต คือแบบจำลองชนิดมอนติคาร์โล (Monte Carlo Model) ส่วนแบบจำลองของการจำลองแบบปัญหาชนิดพลวัตเป็นตัวแทนของระบบที่เปลี่ยนแปลงช้า ๆ ตลอดเวลา อย่างเช่นลำเลียงขนถ่ายในโรงงาน
- แบบจำลองของการจำลองสถานการณ์ชนิดแน่นอนหรือตายตัว (Deterministic Simulation Model) กับแบบจำลองของการจำลองสถานการณ์ชนิดไม่แน่นอน (Stochastic Simulation Model) ถ้าหากแบบจำลองของการจำลองสถานการณ์ปัญหาไม่ได้ระบุไว้ด้วยส่วนประกอบที่มีความน่าจะเป็น (Probabilistic Components) ตัวอย่างเช่น สุ่มแบบจำลองนี้จะถูกเรียกว่า แบบจำลองของการจำลองสถานการณ์ชนิดแน่นอนหรือตายตัว ระบบที่ถูกทำให้ยุ่งยากสับสน ด้วยสมการดิฟเฟอร์เรนเชียล ซึ่งใช้อธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยาทางเคมีอาจจะเป็นแบบจำลองตัวหนึ่งในลักษณะที่ว่านี้ในแบบจำลองชนิดแน่นอนหรือตายตัว ผลลัพธ์จะถูกกำหนดเมื่อชุดของจำนวนข้อมูลสำหรับแก้ปัญหาและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในแบบจำลองถูกจัดระบบไว้อย่างแจ้งชัด ถึงแม้ว่ามันอาจจะต้องใช้เวลามากในการคำนวณเพื่อจะหาค่าของผลลัพธ์ว่าเป็นอย่างไร แต่อย่างไรก็ตามระบบจำนวนมากจำเป็นต้องถูกสร้างหรือจำลองเหมือนว่ามีส่วนประกอบที่เกี่ยวกับข้อมูลที่ป้อนเข้าเป็นแบบสุ่มอย่างน้อยบางส่วน และส่วนประกอบเหล่านี้ก่อให้เกิดแบบจำลองของการจำลองปัญหาชนิดไม่แน่นอน ระบบสินค้าคงคลัง (Inventory System) และระบบแถวคอย (Queuing System) ส่วนใหญ่ถูกสร้างจำลองให้เป็นชนิดไม่แน่นอน แบบจำลองของการจำลองปัญหาชนิดไม่แน่นอนก่อให้เกิดผลลัพธ์ซึ่งเป็นไปโดยการสุ่มตัวมันเอง เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องถูกพิจารณาเหมือนว่าเป็นการประมาณค่าลักษณะพิเศษเฉพาะที่แท้จริงของแบบจำลอง ซึ่งสิ่งนี้ถือว่าเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของการจำลองปัญหา
- แบบจำลองของการจำลองสถานการณ์เพื่อค้นปัญหาชนิดต่อเนื่อง (Continuous Simulation Model) กับแบบจำลองของการจำลองแบบปัญหาชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Simulation Model) ถ้ากล่าวกันอย่างกว้าง ๆ เราสามารถนิยามแบบจำลองของการจำลองสถานการณ์เพื่อค้นปัญหาชนิดเป็นช่วงและแบบจำลองปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดต่อเนื่องได้อย่างคล้ายคลึงกันด้วยรูปแบบของปัญหาเป็นช่วง (Discrete System) และเป็นระบบต่อเนื่อง (Continuous System) การตัดสินใจที่จะใช้แบบจำลองชนิดเป็นช่วง หรือแบบจำลองชนิดต่อเนื่องสำหรับระบบงานที่เจาะจงไว้ย่อมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ในการศึกษา ตัวอย่างเช่น แบบจำลองของการเคลื่อนตัวของการจราจรบนถนนที่ไม่จำกัดความเร็วจะเป็นแบบจำลองชนิดเป็นช่วง ก็ต่อเมื่อการเคลื่อนที่ของรถยนต์แต่ละคันเป็นสาระสำคัญกว่า ในอีกด้านถ้าหากว่ารถยนต์ถูกพิจารณาในลักษณะของการไหลไปรวมตัวกัน การเคลื่อนตัวของการจราจรก็สามารถถูกอธิบายด้วยสมการดิฟเฟอร์เรนเชียลที่อยู่ในแบบจำลองต่อชนิดต่อเนื่อง

2.3.5 คำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์

ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จะต้องทำการศึกษาคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องซึ่งมีดังนี้

- เอ็นติตี้ (Entities) หมายถึง สิ่งที่ถูกกำหนดหรือให้ความสนใจ ซึ่งถูกป้อนเข้าในแบบจำลองปัญหา เพื่อเป็นตัวแทนของคน สัตว์ วัตถุสิ่งของ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่มีอยู่จริงในโลกหรือเป็นสิ่งที่มีอยู่แต่ในความคิด โดยสิ่งที่เป็นตัวแทนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ผ่านตลอดทั้งระบบงานที่ถูกจำลองขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานภาพภายในระบบงาน
- พฤติกรรมการเข้ามา (Attribute) หมายถึง คุณลักษณะประจำตัวของเอ็นติตี้ที่ถูกป้อนเข้ามาในแบบจำลอง ตัวอย่างเช่น การระบุคุณสมบัติประจำตัวให้กับชิ้นงานหนึ่งในสายงานประกอบ และลำดับก่อนหลังในการประกอบชิ้นงาน เป็นต้น
- การปฏิบัติงาน (Process) หมายถึง ลำดับก่อนหลังของกิจกรรมโดยตลอดทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นในระบบงาน ซึ่งเอ็นติตี้จะถูกดำเนินการภายใต้ลำดับงานนี้ และลำดับงานนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีเอ็นติตี้ถูกป้อนเข้าสู่แบบจำลองปัญหา ตัวอย่างเช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง การปฏิบัติงานประกอบด้วย การเจาะรูแล้วตามมาด้วยการตรวจสภาพโดยการปฏิบัติงานนี้จะยังคงรักษาสภาพหยุดนิ่งจนกระทั่งเอ็นติตี้หนึ่งชิ้นได้เข้ามาสู่ระบบงานเพื่อที่จะทำให้การปฏิบัติงานเกิดการเคลื่อนไหว

2.3.6 ขั้นตอนในการจำลองสถานการณ์

ก่อนการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์จะต้องมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การกำหนดปัญหา ทุก ๆ ครั้งของการศึกษาระบบควรเริ่มที่การกำหนดปัญหา เมื่อทราบถึงปัญหาก็จะสามารถเข้าไปศึกษาในจุดที่ถูกต้องรวมทั้งยังสามารถเข้าใจถึงปัญหาและการแก้ปัญหานั้นได้
- กำหนดวัตถุประสงค์และการวางแผนการทำงาน วัตถุประสงค์ก็คือคำตอบของปัญหาที่ได้จากการทำการจำลองสถานการณ์ ซึ่งควรจะต้องแน่ใจด้วยว่าปัญหานี้นั้นสามารถใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ เพื่อทำการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม เมื่อแน่ใจแล้วจะต้องมีการวางแผนในการจำลองสถานการณ์ให้เหมาะสม ซึ่งสิ่งที่แผนการทำงาน ควรมีแนวความคิดของทางเลือกต่าง ๆ เกณฑ์ในการตัดสินใจ และอื่น ๆ
- กำหนดแนวความคิดของแบบจำลอง ทำการออกแบบจำลองของระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งควรออกแบบให้แบบจำลองนี้มีความถูกต้องมากที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในผลที่ได้จากแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เก็บข้อมูล ในการที่จะสร้างแบบจำลองนั้น จะต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง โดยข้อมูลนั้นจะทำการเก็บมาจากระบบการทำงานจริง เพื่อนำข้อมูลนั้นมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งจะทำให้เกิดความเข้าใจในธรรมชาติการทำงานของระบบและปัญหาของระบบ
- สร้างแบบจำลอง หลังจากที่ได้ข้อมูลต่าง ๆ ของระบบการทำงานจริงที่เกี่ยวข้องในการสร้างแบบจำลองครบแล้ว ก็ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งคอมพิวเตอร์จะช่วยในการนำเสนอแบบจำลองและวิเคราะห์ระบบงาน
- ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อสร้างแบบจำลองแล้วก็ต้องทำการตรวจสอบว่า แบบจำลองมีข้อผิดพลาดในการสร้างที่จุดไหนหรือเปล่า แบบจำลองในโปรแกรมมีความพร้อมที่จะทำการจำลองหรือไม่ ถ้าไม่ทำการแก้ไขจนแบบจำลองพร้อมที่จะใช้ในการจำลองสถานการณ์
- ตรวจสอบความเหมือนจริงของแบบจำลอง เมื่อแบบจำลองพร้อมที่จะทำการจำลองสถานการณ์แล้ว ก็จะทำการทดลองจำลองสถานการณ์จริงของการทำงาน และทำการเปรียบเทียบว่า แบบจำลองมีความเหมือนจริงหรือไม่ ถ้าไม่ก็กลับไปตรวจสอบข้อมูลที่ได้เก็บมา และแนวความคิดของแบบจำลอง
- ทำการออกแบบการทดลอง เมื่อแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นเหมือนกับระบบงานจริงแล้ว การออบแบบการทดลองก็คือการนำแนวทางของทางเลือกต่าง ๆ ซึ่งก็คือกระบวนการทำงานแบบใหม่ ๆ หรือการปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ตามที่ได้วางแผนเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้น และจัดทำเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาต่อไป
- ทำการจำลองแบบและวิเคราะห์ผล เมื่อได้แบบการทดลองแล้วก็ดำเนินการจำลองแบบ และนำผลการจำลองนั้นมาวิเคราะห์เพื่อทำการแก้ปัญหา
- ดำเนินการจำลองเพิ่ม หลังจากได้ผลการจำลองแล้ว บางครั้งเรายังไม่สามารถสรุปผลการทดลองได้ ต้องดำเนินการจำลองแบบเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น หรืออาจจะต้องทำการปรับปรุงแบบการทดลองใหม่ให้สามารถวิเคราะห์ แล้วทำการแก้ปัญหาได้ดีขึ้น
- จัดทำเอกสารและรายงานผล เมื่อทำการทดลองจนได้ผลการทดลองที่สามารถวิเคราะห์แล้วทำการสรุปผลได้แล้ว ก็จะนำผลสรุปที่ได้นั้นจัดทำเป็นเอกสาร และทำการรายงานผลเพื่อจะนำไปใช้ในการแก้ปัญหาจริง

2.3.7 รายละเอียดของโปรแกรมจำลองสถานการณ์

ก่อนอื่นจะต้องอธิบายถึงตัวโปรแกรมของการจำลองสถานการณ์โดยงานนี้จะให้โปรแกรมที่มีชื่อว่าโปรโมเดล (ProModel) มาเป็นเครื่องมือใช้ในการแก้ไขปัญหารายละเอียดของโปรแกรมมีดังนี้

โปรแกรมโปรโมเดลเป็นโปรแกรมที่มีการทำงานพื้นฐานแบบ Windows หนึ่งในเครื่องมือจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ระบบการผลิต และการบริการต่าง ๆ โปรแกรมโปรโมเดลจะช่วยให้วิศวกร และผู้จัดการไปสู่การทดสอบแนวความคิดใหม่ ๆ สำหรับระบบการทำงานที่ได้ทำการออกแบบและแก้ไขจากเดิม ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ช่วยลดเวลา และความเสียหายแก่การทำงานที่ได้จากการทดสอบความคิดใหม่ ๆ ซึ่งมีส่วนจำเป็นในการสร้างระบบ ซึ่งสามารถทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงาน และอัตราของผลผลิตที่เพิ่มขึ้น และสามารถช่วยลดระบบสินค้าคงคลังที่อาจจะเกิดขึ้น โดยแบบจำลอง (Model) มีส่วนที่สำคัญของระบบการผลิตจนไปถึงประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงาน ความสามารถของระบบ และการออกแบบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของโปรแกรมโปรโมเดล

- แบบจำลองใช้ในการสร้างจุดแต่ละจุดขึ้นมา และลากเส้นเชื่อมจุด และสร้างกระบวนการผลิตในแต่ละจุดให้ทำงานตามลำดับแนวเส้น
- เป็นโปรแกรมที่ใช้ใน Windows สามารถใช้กับอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ได้ทุกอย่าง ที่มีการแปลงตัวแปรให้เป็นระบบเดียวกัน
- เป็นแบบจำลองที่สามารถกำหนดขนาดการจำลองได้
- ตัวจำลองส่วนใหญ่เป็น 2 มิติ มีมาตรส่วนและมุมมองในตัวจำลองไอคอนสามารถแสดงเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ ในตัวไอคอนที่ใช้ในการบันทึกและ Bitmaps (Bmp) ใช้สำหรับการจำลองแบบเมื่อมีการรันโปรแกรมแบบเร็ว ๆ
- โปรแกรมวาดรูปต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ในการทำแบบจำลอง
- ส่วนประกอบต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ในการทำแบบจำลอง
- รูปร่างของเอาท์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงได้
- โปรแกรมโปรโมเดลสามารถใช้ได้กับฮาร์ดแวร์มาตรฐานเท่านั้น ไม่สามารถใช้กับอุปกรณ์พิเศษอื่น ๆ ได้
- การทำโปรแกรมสามารถทำได้อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะเป็น Multi Unit Multi Capacity Location และอื่นๆ
- โปรแกรมสามารถสร้างข้อมูลทางสถิติได้โดยอัตโนมัติ

ลักษณะงานที่ใช้ในโปรแกรมโปรโมเดล ได้แก่

ส่วนของการผลิต (Production) ได้แก่

- สายการประกอบ (Assembly Line)
- ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System)
- ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีและระบบคัมบัง (JIT and Kanban System)
- การบริหารห่วงโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chains)

ส่วนของการให้บริการ (Service) ได้แก่

- Process Re-engineering
- การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการ (Workflow Analysis)
- การจัดการด้านลอจิสติกส์ (Logistics Management)

2.3.8 ขั้นตอนของสร้างแบบจำลอง

2.3.8.1 <u>ข้อมูลทั่วไป (General Information)</u>

เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะพื้นฐานต่าง ๆ ในการทำงานของตัวโปรแกรม เช่น หน่วยมาตรฐานการวัด เป็นเมตร หรือนิ้ว ชื่อแสดงผลของตัวโปรแกรม กำหนดค่ามาตรฐานในหน่วยระยะทาง เวลา และ Graphic Library และอาจกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8.2 ฉากหลัง (Background Graphic)

โปรแกรมโปรโมเดลสามารถที่จะอำนวยความสะดวกในการสร้างรูปภาพต่างๆ ในแบบจำลอง เพื่อให้เกิดความสวยงาม และความสะดวกสบายในการนำเสนอ โดยใช้การนำพื้นจากรูปภาพในรูปแบบต่าง ๆ เข้ามาใช้ในตัวโปรแกรม

2.3.8.3 สถานีงาน (Locations)

เป็นเส้นในการตรึงจุดต่าง ๆ ของระบบ ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางของเอ็นติตี้และเส้นทางสำหรับ Processing Storage หรือกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่ง Location ควรที่จะใช้ในส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลอง รวมไปถึงเครื่องจักร สถานที่ทำงาน และสายพานลำเลียง

2.3.8.4 เอ็นติตี้ (Entities)

ทุก ๆ สิ่งที่อยู่ในกระบวนการของระบบนั้นเรียกว่าเอ็นติตี้ผลิตภัณฑ์ คน เอกสาร หรือ โทรศัพท์ เป็นเอ็นติตี้ ซึ่งตัวเอ็นติตี้ อาจจะเป็นกลุ่มหรือเมื่อเวลาผ่านไป อาจจะเป็น Pallet ซึ่งตัวเอ็นติตี้จะทำการรวมหรือแยกกับเอ็นติตี้ อื่น ๆ ซึ่งชนิดของเอ็นติตี้สามารถบอกได้เป็นตัวเลขหรืออาจเป็นคุณลักษณะเอ็นติตี้โดยผู้ใช้โดยใช้ตัวแปรแบบ Attributes ในการบอกขนาด และน้ำหนักสถานะของตัวเอ็นติตี้ ได้

2.3.8.5 เส้นทางเดิน (Path Networks)

เมื่อพาหนะในการลำเลียงในตัวแบบจำลองจะมีการเคลื่อนที่พาหนะในการลำเลียงจะเคลื่อนที่ได้ระหว่างสถานีงานทั้งหมด โดยเส้นทางเดินตัวเอ็นติตี้เคลื่อนที่ โดยส่วนระหว่างสถานีงานอาจกระทำได้โดยเส้นทางเดินถ้ามีการอ้างอิงโดยเงื่อนไขคำสั่งในตัวของ ตรรกะในการเคลื่อนที่ (Move Logic) ของแต่ละเส้นทางการเดินทางของเอ็นติตี้ ซึ่งเส้นทางเส้นทางเดิน สามารถที่จะใช้ร่วมกันได้หลาย ๆ พาหนะในการลำเลียงโดยความยาวและเวลาในการเคลื่อนที่สามารถกำหนดความเร็วได้โดยตัวแปรเวลา

2.3.8.6 พาหนะในการลำเลียง (Resources)

พาหนะในการลำเลียงในตัวแบบจำลองจะกำหนดเป็นบุคคล หรืออุปกรณ์บางอย่างในการทำงาน สามารถกำหนดคุณลักษณะในการทำงานต่าง ๆ ในการเคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความเร็วขณะที่แบกภาระ ขนาดที่ไม่มีภาระ และกำหนดเวลาการพักผ่อนในตัวพาหนะในการลำเลียงได้ด้วย

2.3.8.7 กระบวนการ (Processing)

ในส่วนกระบวนการนั้นจะเป็นตัวกำหนดเส้นทางต่าง ๆ ของตัวเอ็นติตี้ ในตัวระบบการทำงานต่าง ๆ และการควบคุมการทำงานในแต่ละสถานีงานต่าง ๆ ของตัวเอ็นติตี้ซึ่งหนึ่งเอ็นติตี้ ที่มีการเข้ามาในระบบเป็นการกำหนดการเข้ามา และตัวกระบวนการจะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการทำงานทุก ๆ สิ่งที่เกิดขึ้นทั้งหมด จนกระทั่งออกจากระบบ

2.3.8.8 การเข้ามาของเอ็นติตี้ (Arrivals)

ทุก ๆ เวลาที่เกิดเอ็นติตี้เป็นการเริ่มต้นการเข้ามาสู่ในระบบงาน เราเรียกว่าการเข้ามาของเอ็นติตี้ ซึ่งการเข้ามาของเอ็นติตี้นั้น จะทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ตามรูปแบบที่เราได้ทำการกำหนดในส่วนแรก ความถี่การเข้ามาของเอ็นติตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของการเข้ามาของเอ็นติตี้เวลาในการเข้ามาเริ่มแรก ผลรวมทั้งหมดในการเข้ามาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทุก ๆ สิ่งของ ทุก ๆ ชนิดเอ็นติตี้เราสามารถที่จะกำหนดให้เป็นการเข้ามาในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งความถี่ในการเข้ามานั้น สามารถที่จะกำหนดเป็นการแจกแจงแบบต่าง ๆ ในการเข้ามานั้น จะมีทิศทางและเงื่อนไขของเวลา

2.3.8.9 การกระจายตัวที่ผู้สร้างกำหนดขึ้น (User Defined Distributions)

ในงานบางอย่างจะมีความละเอียดในการแจกแจง ตัวโปรแกรมโปรโมเดลจะมีส่วนมาเพื่อให้สามารถใช้กำหนดตัวข้อมูลต่าง ๆ เช่น ในกรณีที่ผู้ใช้สามารถกำหนดการกระจายตัวที่ผู้สร้างกำหนดจะแสดงผลข้อมูลตามความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นจริง กำหนดคุณลักษณะของตัวแปรต่าง ๆ โดยผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดว่า จะให้เป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องตามความน่าจะเป็น

2.3.8.10 เวลาทำงานและเวลาพัก (Shifts & Breaks)

เวลาทำงานและเวลาพักสำหรับสถานที่พักของพาหนะในการลำเลียงและความสามารถที่จะกำหนดการใช้โดยการกำหนดช่วงเวลาเริ่มต้นของการพักเป็นนาที หรือเป็นวันทำงาน โดยสามารถกำหนดโดยเลือกจากพื้นที่บนจุดได้ตามแผนงาน

2.3.8.11 คุณลักษณะและตัวแปร (Attributes and Variables)

คุณลักษณะจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับตัวแปร สามารถกำหนดลักษณะของสถานีงานและเอ็นติตี้และบ่อยครั้งที่ใช้ขยายส่วนของสถานีงานและเอ็นติตี้ ซึ่งคุณลักษณะอาจจะใส่ตัวเลขเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริง ซึ่งสามารถที่จะทำแบบจำลองส่วนต่าง ๆ ของชื่อไปในคุณลักษณะโดยสามารถกำหนดเป็นชื่อตัวแปรได้ตามต้องการ

ตัวแปรจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ Global และ Local ซึ่งตัว Global นั้นสามารถที่จะกำหนดได้โดยผู้ใช้งาน และสามารถทำการเปลี่ยนค่าได้ตลอดเวลา แต่ตัว Local จะใช้เพียงค่าเฉลี่ยเข้าไปในเงื่อนไข โดยสามารถใส่ตัวเลขจำนวนเต็ม และจำนวนจริง จะประกอบด้วยค่าและชนิดที่ผู้ใช้ทำการกำหนดเข้าไป

2.3.8.12 วัฏจักร (Arrival Cycles)

เป็นคำสั่งที่ช่วยในการกำหนดทิศทางมาเป็นสัญลักษณ์เฉพาะส่วนที่เกิดขึ้น โดยแปรผันกับเวลาที่แตกต่างกัน เช่น การเข้ามาของรถบรรทุกที่เข้ามาในตัวเมืองจะมีจำนวนมากกว่าในช่วงเวลาเช้ามืด ซึ่งการใช้งานสามารถกำหนดเป็นเปอร์เซนต์การเข้ามาตามช่วงเวลาที่เข้ามาจริงของตัวเอ็นติตี้ ที่กำหนดเป็นเวลาและปริมาณจนกระทั่งผลรวมของปริมาณที่เข้ามาผ่านช่วงเวลาที่เข้ามา ซึ่งช่วงเวลาอาจจะเป็นทิศทางหรือการแจกแจงการเข้ามา

2.3.9 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างแบบจำลอง

การศึกษาเวลาในการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิต ต้องทำการแยกงานของแต่ละสถานีงานออกเป็นงานย่อย (Element) จากนั้นทำการศึกษาเวลาในการทำงานของพนักงานในแต่ละสถานีงานให้ได้ระดับความเชื่อมั่น 95% ครบทุกสถานีงานโดยใช้หลักการทางสถิติ

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาเวลาในการทำงานในแต่ละรอบงาน (Cycle Time) ด้วยโปรแกรมโปรโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.10 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นควรจะเป็นผลที่ถูกต้องนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง ความถูกต้องของแบบจำลองคือ ความมั่นใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องใช้งานได้ ความมั่นใจจะได้มาโดยมีความเข้าใจในระบบงาน มีความละเอียดถี่ถ้วนในการตรวจสอบความเหมาะสมขององค์ประกอบ รวมถึงพฤติกรรมขององค์ประกอบของระบบงานจริง กรรมวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2542)

2.3.10.1 <u>การพิสูจน์ยืนยัน (Verification)</u>

เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมตามที่ผู้สร้างต้องการให้เป็นประกอบด้วยวิธีการดังนี้การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมตามที่ผู้สร้างต้องการให้เป็นประกอบด้วยวิธีการดังนี้

- การทดสอบความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Face Validity) เป็นการทดสอบความเห็นจากผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญจากการใช้งานองค์ประกอบต่างๆ ในระบบงานและการใช้งานระบบงานองค์ประกอบและระบบงานนั้นๆ มีพฤติกรรมอย่างไรภายใต้เงื่อนไขต่างๆ และการที่องค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองมีพฤติกรรมต่างๆควรจะเป็นพฤติกรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมขององค์ประกอบและระบบงานจริงหรือไม่
- การทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง (Internal Validity) เป็นการทดสอบองค์ประกอบในแบบจำลองโดยการใส่เงื่อนไขบางอย่างเช่น ป้อนค่าตัวแปรเข้า (Input Variable) เป็นค่าคงที่เพื่อดูผลที่ได้จากองค์ประกอบหรือแบบจำลองหลายๆครั้งว่ามีความแปรปรวน (Variance)มากน้อยแค่ไหน ถ้าพบว่าความแปรปรวนมากควรต้องมีการแก้ไของค์ประกอบในแบบจำลอง
- การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variable Parameters Validity) เป็นการทดสอบความไว (Sensitivity Test) ของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองอย่างไร
- การทดสอบความถูกต้องของสมมติฐานเป็นการทดสอบความถูกต้องทางสถิติว่าผลที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองกับผลที่ได้จากองค์ประกอบของระบบงานจริงนั้นเหมือนกันโดยใช้เงื่อนไขต่างๆ ที่ปรากฏจากข้อมูลในอดีตป้อนให้กับองค์ประกอบในแบบจำลอง แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากอดีตว่าสามารถยอมรับว่าเหมือนกันโดยมีระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้

2.3.10.2 <u>การทดสอบความถูกต้อง (Validation)</u>

เป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบงานจริง โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้ในอดีตของระบบงานจริงที่เงื่อนไขของการใช้ระบบงานที่เหมือนกัน การวิเคราะห์ทำโดยอาศัยเทคนิคทางสถิติประกอบด้วยเทคนิคดังนี้

- การทดสอบสมมติฐานในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบบมมติฐานของลักษณะการกระจายตัวของความน่าจะเป็นของข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับของระบบงานจริง
- การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ของระบบงานจริง
- การพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับระบบงานจริง

2.3.10.3 การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)

เป็นการทดลองโดยใช้แบบจำลองโดยการพยากรณ์พฤติกรรมต่างๆ ของระบบงานเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจริงของระบบงานการวิเคราะห์อาศัยเทคนิคทางสถิติ

โดยสรุปการสร้างความมั่นใจในความถูกต้องของแบบจำลองได้มาจาก

- การใช้วิจารณญาณและตรรกวิทยา
- การใช้ความรู้ความเข้าใจในระบบงาน
- การทำการทดสอบโดยเทคนิคทางสถิติในส่วนของข้อมูลเชิงปริมาณ
- การให้ความสนใจ ไตร่ตรอง ตรวจสอบรายละเอียดต่างๆในการสร้างแบบจำลอง
- การตรวจสอบดูว่าแบบจำลองประพฤติตนได้อย่างที่อยากให้เป็น
- การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรและพารามิเตอร์
- เปรียบเทียบข้อมูลเข้าและข้อมูลออกระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง
- การทดสอบการใช้งานจริงของแบบจำลอง

2.3.11 เหตุผลสนับสนุนในการนำวิธีจำลองแบบปัญหามาใช้แทนการทดลองกับระบบงานจริง

เนื่องจากการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของระบบงานจริงดังนั้นควรมีเหตุผลสนับสนุนดังนี้

- การทดลองกับระบบงานจริงอาจก่อให้เกิดความขัดข้องไม่สะดวกในการทำงานตามปกติของระบบงานจริง
- การทดลองกับระบบงานจริงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลประสิทธิภาพในการทำงานของคน อาจทำให้ได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อน โดยมีสาเหตุมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของคนจึงส่งผลให้ได้ข้อมูลที่อาจจะมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง
- การทดลองกับระบบงานจริงนั้นมีความยุ่งยากในการควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้มีค่าคงที่สม่ำเสมอ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งจากการทดลองอาจจะไม่ใช่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกัน
- การทดลองกับระบบจริง อาจจะต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จึงจะได้รับข้อมูลที่มีจำนวนเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์
- การทดลองกับระบบจริงอาจจะเป็นไปได้ยากที่จะทดลองกับเงื่อนไขในทุกรูปแบบที่ต้องการ

เงื่อนไขของระบบงานจริงที่เหมาะสมต่อการนำวิธีการจำลองแบบปัญหามาใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

- เมื่อระบบงานจริงนั้นไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ด้วยวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแก้ปัญหาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบงานจริงก่อให้เกิดขั้นตอนและวิธีการคำนวณในการวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก เสียเวลาและแรงงานมาก
- ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการจำลองแบบปัญหาวิเคราะห์ ถูกกว่าการว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญมาแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

มีความจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการจำลองแบบปัญหาเพียงวิธีการเดียว เพราะว่าไม่สามารถดำเนินการทดลองและตรวจวัดผลกับระบบงานจริงที่มีอยู่ในสภาวะการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในส่วนของวิธีการดำเนินงานจะแบ่งเป็นส่วนของการปรับปรุงเส้นทางในการจัดส่งชิ้นส่วนและปรับปรุงใบคัมบัง โดยในส่วนของการปรับปรุงเส้นทางการจัดส่งชิ้นส่วนจะเริ่มจากการจับเวลาในสายการประกอบเพื่อที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน (Standardized Work Chart) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงกำลังการผลิตที่สายการประกอบแต่ละสายสามารถผลิตได้ จากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการนำยอดการสั่งซื้อของลูกค้ามาคำนวณช่วงเวลาในการผลิตและการปรับเรียบการผลิต เพื่อทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่จะทำการส่งชิ้นส่วนแต่ละรุ่นและในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบเส้นทางในการจัดส่งชิ้นส่วนใหม่และทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการเขียนโปรแกรมจำลองสถานการณ์ โดยในส่วนที่สองจะเป็นการปรับปรุงใบคัมบังเพื่อลดเวลาในการหยุดสายการประกอบเนื่องจากส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบไม่ทันและการส่งชิ้นส่วนผิดรุ่น โดยจะแบ่งเป็นขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

3.1 การจับเวลาในสายการประกอบ

3.2 การจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน

3.3 การกำหนดรอบเวลาที่จะเริ่มการผลิต

3.4 การกำหนดสถานที่จัดเก็บชิ้นส่วนและการกำหนดเส้นทางการขนย้ายชิ้นส่วนให้เหมาะสม

3.5 การจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ของการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วน

3.6 การปรับปรุงใบคัมบัง

3.1 การจับเวลาในสายการประกอบ

การจับเวลาเป็นการเก็บข้อมูล เพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงานของคนงานซึ่งได้รับการฝึกการทำงานมาดีแล้ว ซึ่งจะทำให้ทราบถึงขีดความสามารถที่พนักงานและเครื่องจักรทำได้ การจับเวลาจะเป็นการจับเวลาหมดทั้ง 7 สายการประกอบ โดยมีขั้นตอนการศึกษาเวลาการทำงานดังนี้

1. บันทึกข้อมูลทั้งหมดที่จะทำได้ของงานของผู้ปฏิบัติและสภาพแวดล้อมการทำงานนั้น ซึ่งมีผลต่อการทำงานชิ้นนั้นทั้งหมด

2. บันทึกวิธีการทำงานทั้งหมด และแบ่งงานใหญ่ทั้งหมดออกเป็นงานย่อยๆ

3. พิจารณางานย่อยๆที่แตกออก เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าจะได้วิธีที่เกิดผลดีที่สุดแล้วหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ซึ่งขนาดตัวอย่างที่ทำการจับเวลาทางโรงงานได้กำหนดไว้ก่อนแล้วและมีตารางการกรอกข้อมูล

4. วัดค่าโดยนาฬิกาจับเวลา แล้วบันทึกเวลาที่วัดได้ในแต่ละงานย่อย

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการจับเวลาในสายการประกอบ B/S Power โดยจะทำการจับเวลาจำนวน 15 ครั้งในแต่ละกระบวนการทำงานซึ่งจะมีทั้งหมด 22 กระบวนการทำงานจากนั้นจะทำการหาเวลาเฉลี่ยของแต่ละกระบวนการ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน (Standardized Work Chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงการจับเวลาในสายการประกอบ B/S Power

ตารางข้อมูลการจับเวลา			สายการประกอบ				MODEL					เวลาในการทำงาน					
			B/S Power									☐ โดยคนงาน			☐ ชิ้นงาน 1 ชิ้น		
กระบวนการทำงาน	เวลาที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (วินาที)															เวลารวม	เวลาเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1. Burnishing & Washing	16	17	17	17	19	18	18	20	16	17	19	18	18	17	19	266	17.73
2. Y-Packing Backup Ring	9	10	11	10	9	9	10	9	10	10	10	9	10	10	9	145	9.67
3. Cross Sharf & Side Cover Assembly	21	21	24	21	20	24	21	22	21	20	21	21	22	21	21	321	21.40
4. Ball & Crimping	12	10	12	11	13	12	12	13	12	13	12	13	13	13	13	184	12.27
5. Take Back up ring & Y-Packing into Gear Box	10	11	11	12	10	10	10	10	10	11	11	10	10	10	10	156	10.40
6. Assemble by hand	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	79	5.27
7. Torque	19	19	19	19	18	19	19	18	18	19	20	18	19	19	18	281	18.73
8. To turn the oil pipe	49	46	43	46	43	45	42	44	45	48	47	48	44	48	49	687	45.80
9. Air-Leak Tester	49	49	49	49	49	48	49	48	49	49	49	49	49	49	49	733	48.87
10. Burnishing Machine	22	19	19	20	21	21	22	21	19	19	19	20	20	21	22	305	20.33
11. Oil-Leak Tester (R)	21	17	16	18	16	20	21	18	19	19	21	20	21	21	19	287	19.13
12. Oil-Leak Tester (L)	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	65	4.33
13. Characteristic Tester	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	89	5.93
14. Oil Empty Machine	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	61	4.07

ตารางที่ 3.1 แสดงการจับเวลาในสายการประกอบ B/S Power (ต่อ)

ตารางข้อมูลการจับเวลา				สายการประกอบ					MODEL			เวลาในการทำงาน					
				B/S Power								☐ โดยคนงาน			☐ ชิ้นงาน 1 ชิ้น		
กระบวนการทำงาน	เวลาที่วัดได้ในแต่ละครั้ง (วินาที)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	เวลารวม	เวลาเฉลี่ย
15. Torque Adjust	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	62	4.13
16. Torque Tester	5	6	6	5	5	5	5	7	6	5	6	6	6	7	5	85	5.67
17. Press Oil Seal	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	5	66	4.40
18. Marking Machine	36	34	35	32	34	34	36	36	36	32	33	33	34	35	36	516	34.40
19. Tighten Machine	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	55	3.67
20. Overall inspection	24	25	23	23	22	25	24	23	24	25	24	24	24	24	24	358	23.87
21. Gear Assy Washing	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	81	5.40
22. Marking Paper	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	60	4.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 การจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน

การจัดทำใบมาตรฐานการทำงาน (Standardized Work Chart) เป็นการจัดทำแบบฟอร์มกระบวนการทำงานที่คนงานแต่ละคนจะต้องทำภายในรอบเวลาที่กำหนดให้ สามารถช่วยลำดับขั้นตอนการทำงานของคนงานซึ่งทำงานหลายหน้าที่หลายเครื่องจักรภายในรอบเวลาหนึ่ง โดยจะต้องคำนวณจากยอดการผลิตของลูกค้า จำนวนวันทำงานในแต่ละเดือนซึ่งมีหลักการคำนวณดังนี้

ยอดการผลิตต่อ 1 วัน = ยอดการสั่งของลูกค้า / จำนวนวันทำงาน (3.1)

ยอดการผลิตต่อ 1 กะ = ยอดการผลิตต่อ 1 วัน / 2กะ (3.2)

ยอดการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง = ยอดการผลิตต่อ 1 กะ / 8ชั่วโมง (3.3)

รอบเวลาเป้าหมาย (Tact Time) = 3600/ ยอดการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง (3.4)

จำนวนคนที่ใช้ในการผลิต = รอบเวลาการผลิตจริงรวม / รอบเวลาเป้าหมาย (3.5)

รอบเวลาการผลิตจริง (Cycle Time) = สมดุลสายการผลิต (3.6)

เป้าหมายการผลิตต่อชั่วโมง = 3600/ รอบเวลาการผลิตจริง (3.7)

ตัวอย่างขั้นตอนการทำใบมาตรฐานการทำงานในสายการประกอบ B/S POWER

ต้องทราบยอดการสั่งซื้อ (Order) จากลูกค้า ซึ่งข้อมูลในปัจจุบันในเดือนกรกฎาคมมียอดการสั่งซื้อ จำนวน 24,300 ชิ้น วันทำงาน 23 วัน

ยอดการผลิตต่อ 1 วัน	= 24,300/23	=	1,056	ชิ้น/วัน
ยอดการผลิตต่อ 1 กะ	= 1,056/2	=	528	ชิ้น/กะ
ยอดการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง	= 528/8	=	66	ชิ้น/ชั่วโมง
รอบเวลาเป้าหมาย(Tact Time)	= 3600/66	=	54.5	วินาที/ชิ้น
จำนวนคนที่ใช้ในการผลิต	= 390/54.5	=	7.14	คน
รอบการทำงานใช้คนทำงาน 8 คนและต้องไม่เกิน			54.5	วินาที
โดยรอบการเดินคิดเครื่องละ			1	วินาที

ในวันที่ 2 กรกฎาคม มียอดการผลิต 1,125 ชิ้น โดยต้องทำการเปลี่ยน 8 รุ่น

ดังนั้นต้องทำการเปลี่ยนรุ่นทุกๆ	1,125/8	=	141	ชิ้น/การเปลี่ยนรุ่น
โดยการเปลี่ยนรุ่นแต่ละรุ่นต้องใช้เวลา		=	20	นาที
141	ชิ้น ใช้เวลาเปลี่ยน	=	1,200	วินาที
1	ชิ้น ใช้เวลาเปลี่ยน	=	8.5	วินาที

เวลาที่ใช้ในการทำงานของพนักงานแต่ละคน โดยจะเป็นการนำเวลาที่จับได้มารวมกับเวลาในการเดินและเวลาในการเปลี่ยนรุ่น เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงเวลาจริงที่ใช้ในการปฏิบัติงานของแต่ละคนดังแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่ใช้ในการทำงานของพนักงานแต่ละคน

ผู้ปฏิบัติงาน	ค่าจากการจับเวลา(วินาที)	เวลาเดิน(วินาที)	เวลาการเปลี่ยนรุ่น(วินาที)	เวลารวม(วินาที)
A	52.80	4	8.5	62.00
B	52.05	5	8.5	65.50
C	45.80	0	8.5	54.30
D	53.17	2	8.5	63.67
E	53.75	5	8.5	67.25
F	44.47	3	8.5	55.47
G	55.00	2	8.5	65.00

รอบเวลาการผลิตจริง (Cycle Time) = 67.25 วินาที

ยอดการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง = 3600/67.25 = 53.53 ชิ้น/ชั่วโมง

ยอดการผลิตต่อ 1 กะ = 53.53*8 = 428.24 ชิ้น/กะ

จากยอดการผลิตที่ได้คือ 428.24 ชิ้น/กะ ไม่สามารถผลิตได้ทันเนื่องจากยอดการผลิตที่ทันต่อความต้องการของลูกค้าคือ 528 ชิ้น/กะ

ดังนั้นต้องมีการทำล่วงเวลา (Over Time) โดยเวลาการทำงานจะเพิ่มเป็น 10.5 ชั่วโมง

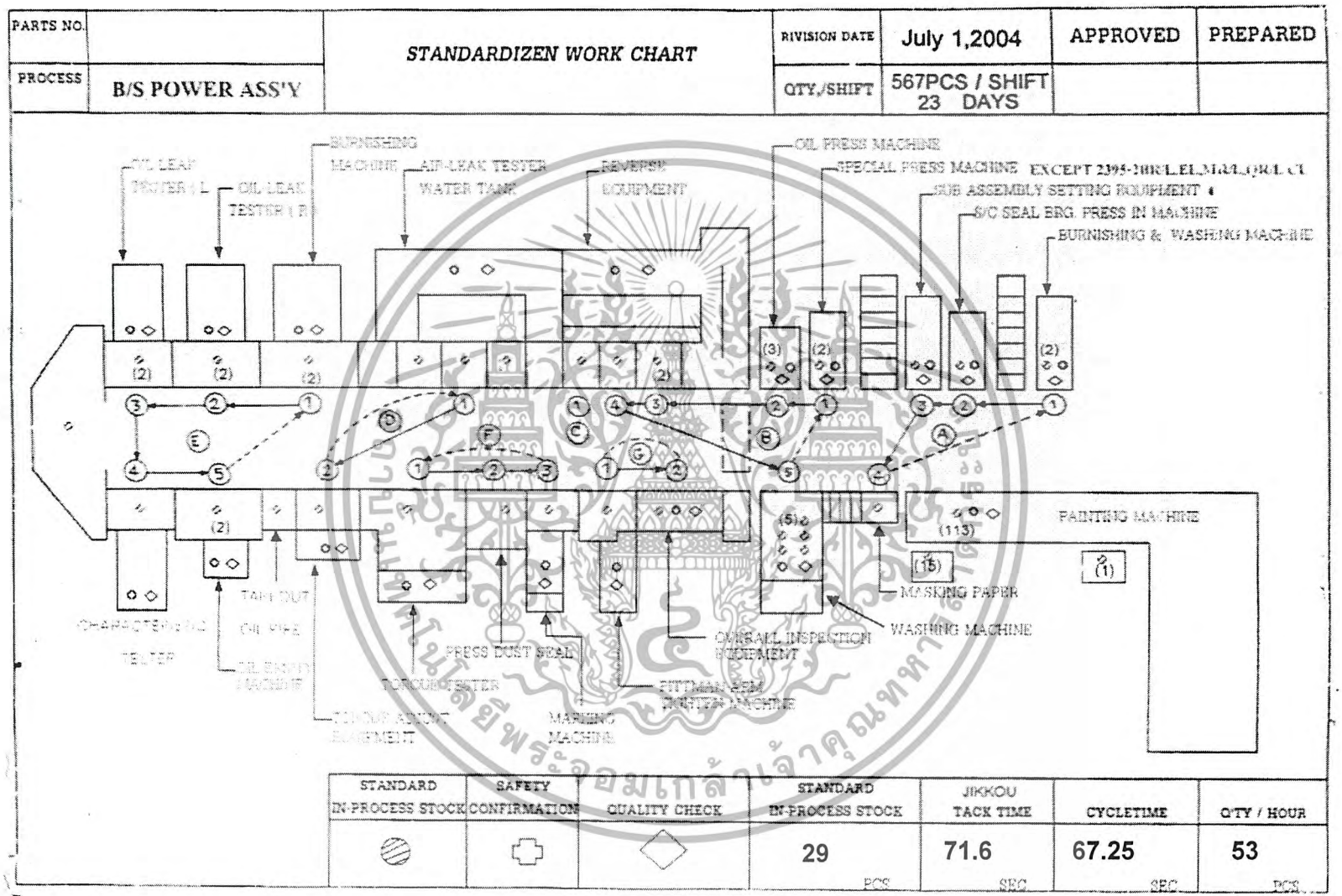
1 กะทำงาน 10.5 ชั่วโมง 528/10.5 = 50.28 ชิ้น/ชั่วโมง

รอบเวลาเป้าหมาย (Tact Time) จากการทำล่วงเวลา 3600/50.28 = 71.60 วินาที/ชิ้น

ซึ่ง รอบเวลาเป้าหมาย (Tact Time) ที่ได้มีค่ามากกว่ารอบเวลาการผลิตจริง (Cycle Time) จึงสามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า

การคำนวณสามารถสรุปได้ว่า จะต้องใช้พนักงาน 7 คน ทำงาน 23 วัน จำนวน 2 กะ และต้องมีการทำล่วงเวลา (Over Time) เป็น 10.5 ชั่วโมงจึงจะผลิตสินค้าได้ทันต่อความต้องการของลูกค้าซึ่งข้อมูลต่างๆจะแสดงให้เห็นในใบมาตรฐานการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยจากใบมาตรฐานการทำงานจะแสดงจำนวนผู้ปฏิบัติงานตั้งแต่ A ถึง G ซึ่งจะกำหนดวงรอบในการทำงานของแต่ละคนว่าจะต้องทำงานในกระบวนการไหนบ้าง จะมีการแสดงจำนวนรอบเวลาเป้าหมาย (Tact Time) รอบเวลาการผลิตจริง (Cycle Time) และยอดการผลิตต่อ 1 ชั่วโมง โดยข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ใบมาตรฐานการทำงานของสายการประกอบ B/S Power

3.3 การกำหนดรอบเวลาที่จะเริ่มการผลิต

การนำยอดการสั่งของลูกค้ามาเป็นตัวกำหนดรอบเวลาในการสั่งผลิต โดยจะต้องคำนวณเวลาที่จะใช้ทำการผลิตในแต่ละรุ่น (Model) รวมถึงเวลาของรอบที่ใช้ขนส่งชิ้นส่วนเพื่อไม่ให้เกิดการหยุดของสายการประกอบ

การปรับเรียบการผลิต คือ การปรับสภาพให้สอดคล้องกับความเปลี่ยนแปลงหรือความต้องการของลูกค้า ซึ่งสิ่งสำคัญที่ต้องทำก็คือจะต้องผลิตแต่ละรุ่นในจำนวนน้อยๆ และมีการเปลี่ยนรุ่นบ่อยๆ เพื่อให้เกิดจำนวนชิ้นส่วนคงเหลือ (Work In Process) ให้น้อยที่สุดซึ่งรอบเวลาการสั่งผลิตสามารถคำนวณได้จาก

ความต้องการเฉลี่ยต่อวัน(ชิ้น) = ความต้องการของสินค้าแต่ละรุ่นต่อเดือน/ จำนวนวันทำงาน (3.8)

รอบระยะเวลาในการสั่งผลิต (ชั่วโมง) = ความต้องการเฉลี่ยต่อวัน /ยอดการผลิตต่อชั่วโมง (3.9)

ซึ่งในการประกอบ B/S Power จำนวน 9 รุ่น สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งเป็นตารางการปรับเรียบการผลิต โดยจากตารางจะแสดงถึงรุ่น (Model) และจำนวนที่ต้องผลิตในแต่ละเดือน จากนั้นจะต้องนำมาคำนวณรอบระยะเวลาในการสั่งผลิตจะเป็นกี่ชม.ต่อวัน

ตารางที่ 3.3 แสดงการปรับเรียบการผลิต

	รุ่น	ความต้องการในเดือนนี้ (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อวัน (ชิ้น)	ยอดการผลิตต่อ 1ชั่วโมง(ชิ้น)	รอบระยะเวลาในการสั่งผลิต (ชม./วัน)
1.	2395-2MR0	8400	365	53	6.89
2.	2395-2ML0	3285	143	53	2.70
3.	2395-2NL0	552	24	53	0.45
4.	2395-2QR0	855	38	53	0.72
5.	2395-2QL0	1425	62	53	1.17
6.	2395-2FR0	3285	143	53	2.70
7.	2395-2FL0	720	32	53	0.60
8.	2310-3KR0	1849	81	53	1.53
9.	2310-3KL0	3929	171	53	3.23

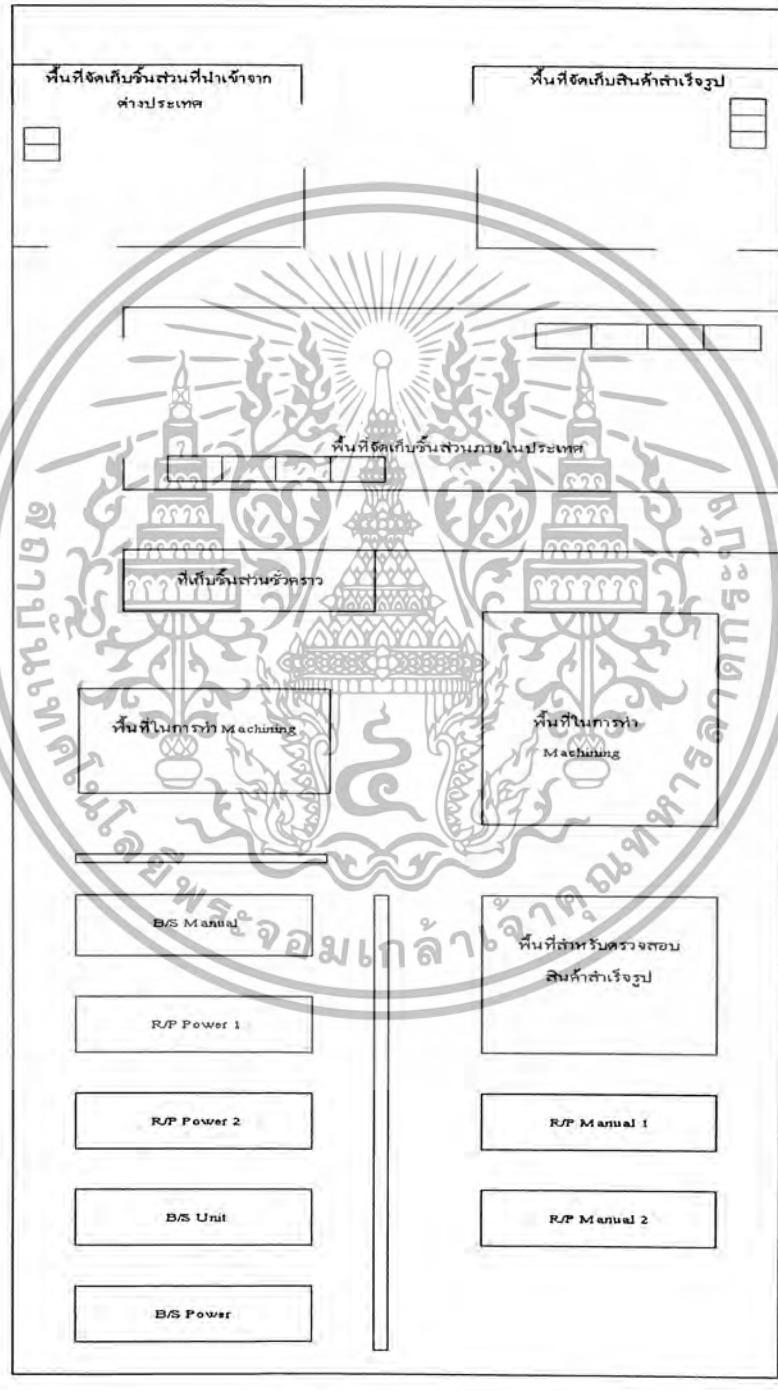
3.4 การกำหนดสถานที่จัดเก็บชิ้นส่วนและการกำหนดเส้นทางการขนย้ายชิ้นส่วนให้เหมาะสม

การกำหนดสถานที่เก็บชิ้นส่วนให้เหมาะสมเป็นการปรับปรุงสถานที่จัดเก็บชิ้นส่วนให้มีความสะดวกในการขนส่งมากที่สุดเพื่อทำให้เวลานำ (Lead Time) ลดลงซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่ใช้ในการเก็บสินค้า ลดพื้นที่ในการจัดเก็บเพื่อลดความสูญเสียพื้นที่โดยเปล่าประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการปรับปรุงสถานที่จัดเก็บจะต้องทำการกำหนดเส้นทางการขนย้ายชิ้นส่วนใหม่โดยมีการจับเวลาในการวิ่งของรถไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนรถไฟฟ้าให้เหมาะสมโดยจะต้องให้เกิดความสูญเปล่าของการหยุดวิ่งน้อยที่สุด

ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของพื้นที่ที่ใช้ในการวางชิ้นส่วน ซึ่งสามารถดูได้จากผังโรงงานที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงผังโรงงานที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 สามารถวิเคราะห์สภาพปัญหาการขนส่งชิ้นส่วน ณ ปัจจุบันได้ดังนี้

- การไปรับชิ้นส่วนของทุกสายการประกอบเพื่อนำไปประกอบจะเกิดขึ้นบริเวณที่เก็บชิ้นส่วนชั่วคราว (Part Set Zone) ซึ่งทางวัสดุคงคลังจะตัดจ่ายมากองรอไว้ ซึ่งถือว่าเป็นความสูญเปล่าจากการขนส่ง ขนย้ายซึ่งมีข้อนึงกล่าวไว้ว่า "ไม่ควรมีพื้นที่ในการจัดเก็บหลายแห่ง"
- ในส่วนของคลังสินค้าในประเทศที่ใช้ในการเก็บชิ้นส่วนพบว่าพื้นที่ในการจัดเก็บยังไม่เหมาะสมเนื่องจากตำแหน่งที่วางชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบอยู่ห่างกันซึ่งไม่สะดวกต่อการเบิกชิ้นส่วน
- เมื่อทุกๆ สายการประกอบทำการประกอบชิ้นส่วนจนได้เป็นสินค้าสำเร็จรูปแล้วจะทำการขนย้ายไปให้ QA ตรวจสอบบริเวณพื้นที่สำหรับตรวจสอบสินค้าสำเร็จรูป จากนั้นจึงขนย้ายสินค้าสำเร็จรูปเข้าไปเก็บในพื้นที่จัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป จะเห็นได้ว่าสินค้าสำเร็จรูปจะเกิดการหยุดรอตรวจบริเวณพื้นที่ตรวจสอบก่อนที่จะถูกขนย้ายไปเก็บไว้ที่พื้นที่จัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป

3.5 การจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ของการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วน

เนื่องจากการศึกษาโครงงานมีเป็นเพียงการเสนอแนะให้กับทางบริษัทจึงต้องนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยเลือกใช้โปรโมเดลมาช่วยในการวิเคราะห์ผลของก่อนและหลังการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนซึ่งมีทั้งหมด 7 สายการประกอบและเพื่อที่จะทำให้ทราบถึงเวลานำ (Lead Time) ที่ลดลงนำไปสู่การลดต้นทุนในการจัดเก็บซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าในแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 3.4 ตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6

โดยตารางที่ 3.4 แสดงกำลังการผลิตของแต่ละสายการประกอบที่ได้มาจากการจัดทำใบมาตรฐานการทำงานและรอบเวลาในการเบิกชิ้นส่วนของแต่ละสายการประกอบ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการจัดส่งชิ้นส่วนก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 3.5 เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งชิ้นส่วนชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบโดยเป็นเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้จากนั้นหาเวลาเฉลี่ยที่พนักงานใช้ในการจัดชิ้นส่วนและนำความเร็วเฉลี่ยของรถไฟฟ้ามาคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบทั้ง 7 สายการประกอบ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการจัดส่งชิ้นส่วนหลังการปรับปรุง

จากนั้นจะเป็นการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของทุกสายการประกอบทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงซึ่งมีหน้าจอของโปรแกรมดังแสดงในภาคผนวก ก

ในส่วนของภาคผนวก ข จะเป็นการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการจัดส่งชิ้นส่วนก่อนการปรับปรุงที่ได้สร้างเป็นแบบจำลองขึ้นว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบจริงได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการป้อนเข้าแบบจำลองสถานการณ์ที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน

ลำดับที่	สายการประกอบ	กำลังการผลิต (ชิ้น/ชั่วโมง)	จำนวนชิ้นส่วนที่เบิกจากที่เก็บชิ้นส่วนชั่วคราว	จำนวนชิ้นส่วนที่ทางคลังสินค้าจัดส่ง
1	B/S Power	53	15 ชิ้น/15 นาที	60 ชิ้น/ชั่วโมง
2	B/S Unit	28	15 ชิ้น/30 นาที	30 ชิ้น/ชั่วโมง
3	B/S Manual	14	15 ชิ้น/60 นาที	15 ชิ้น/ชั่วโมง
4	R/P Power 1	25	30 ชิ้น/60 นาที	30 ชิ้น/ชั่วโมง
5	R/P Power2	41	15 ชิ้น/20 นาที	45 ชิ้น/ชั่วโมง
6	R/P Manual1	40	15 ชิ้น/15 นาที	60 ชิ้น/ชั่วโมง
7	R/P Manual2	55	15 ชิ้น/15 นาที	60 ชิ้น/ชั่วโมง

ตารางที่ 3.5 แสดงรอบเวลาของการจัดส่งชิ้นส่วน(หลังปรับปรุง)

ลำดับที่	สายการประกอบ	ระยะทางที่ใช้ในการส่งของแต่ละรอบ (เมตร)	เวลาที่ใช้ในการวิ่งของรถไฟฟ้า1รอบ (นาที)	เวลาที่ใช้ในการจัดของ (นาที)	เวลารวมที่ใช้ในการส่งของในแต่ละรอบ (นาที)
1	B/S Power	756	5.67	21.46	27.13
2	B/S Unit	678	5.08	8.47	13.55
3	B/S Manual	645	4.84	6.5	11.34
4	R/P Power 1	693	5.19	6.78	11.97
5	R/P Power 2	715	5.36	11.61	16.97
6	R/P Manual 1	701	5.26	8.57	13.83
7	R/P Manual 2	731	5.48	8.83	14.31

ข้อกำหนด

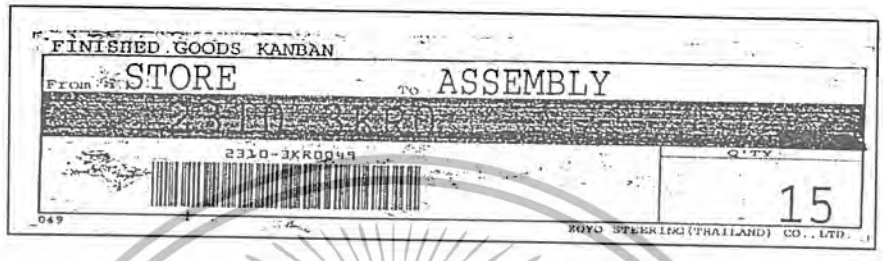
ความเร็วเฉลี่ยของรถไฟฟ้า คือ 8 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ ทุกๆ 30 นาทีจะต้องมีการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่ในแต่ละสายการประกอบ

ตารางที่ 3.6 แสดงจำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและคู่ของสายการประกอบที่สามารถใช้รถไฟฟ้าคู่กันได้

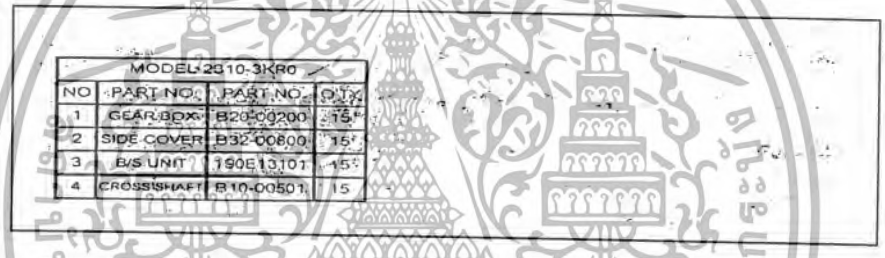
รถไฟฟ้าคันที่	สายการประกอบ	เวลารวมที่ใช้ในการขนส่ง (นาที)
1	B/S Power	27.13
2	B/S Unit และ B/S Power 1	26.36
3	B/S Manual และ R/P Power 2	28.61
4	R/P Manual 1 และ R/P Manual 2	28.21

3.6 การปรับปรุงใบคัมบัง

ระบบคัมบังเป็นระบบข่าวสารที่ใช้ในการควบคุมการผลิตให้ราบรื่น ในการผลิตสินค้าที่ต้องการ ปริมาณที่ต้องการ เมื่อถึงเวลาที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้จะทำการปรับปรุงในส่วนของใบคัมบัง วัตถุประสงค์เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียเวลาจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Power ไม่ทัน และผิดรุ่น ซึ่งใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) และ 3.3 (ข)



รูปที่ 3.3 (ก) แสดงใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.3 (ข) แสดงใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบัน (ด้านหลัง)

จากรูปที่ 3.3 (ก) และ 3.3 (ข) เป็นใบคัมบังที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันในสายการประกอบ B/S Power ซึ่งในการประกอบ B/S Power มีชิ้นส่วนหลัก ๆ ที่ต้องใช้ได้แก่ Gear Box Side Cover B/S Unit Cross Shaft และ Pitman Arm Assembly

ใบคัมบังที่ใช้อยู่ในสายการประกอบ B/S Power ยังมีข้อบกพร่องอยู่ดังนี้

- ใบคัมบังหนึ่งใบทำหน้าที่เป็นทั้งใบคัมบังเบิกของและสั่งผลิตซึ่งตามทฤษฎีระบบการผลิตแบบโตโยต้าแล้วในการเบิกของและสั่งผลิตควรใช้ใบคัมบังแยกกันเพื่อให้ผู้ใช้งานไม่เกิดความสับสน
- จากรูปที่ 3.3 (ก) และ 3.3 (ข) จะเห็นได้ว่าด้านหลังของใบคัมบังมีรายละเอียดของชิ้นส่วนหลักที่พนักงานจะต้องไปเบิกไม่ครบโดยมีชิ้นส่วนที่ขาดหายไปคือ Pitman Arm Assembly ซึ่งพนักงานจะอาศัยความเคยชินในการไปเบิกชิ้นส่วน
- ในส่วนของ Part Number จะเห็นได้ว่าประกอบไปด้วยตัวเลขถึง 8 หลัก ซึ่งเป็นตัวเลขที่ดูยาวเกินทำให้มีโอกาสที่พนักงานจะอ่านตัวเลขชุดนี้ผิดพลาดได้นั่นคือก่อให้เกิดปัญหาการเบิกชิ้นส่วนผิดรุ่นและไม่ทัน
- ในใบคัมบังไม่ได้ระบุถึงที่อยู่ของชิ้นส่วนนั้นๆทำให้การเบิกชิ้นส่วนเกิดขึ้นจากความเคยชินซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบผิดรุ่นและไม่ทันเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเบิกชิ้นส่วนหลักจะเกิดขึ้นในปริมาณครั้งละ 15 ชิ้น ซึ่งระบบคัมบังจะกล่าวถึงการใช้ระบบดึง(Pull System) ดังนั้นการเบิกชิ้นส่วนหลักครั้งละ 15 ชิ้น เป็นการเบิกในปริมาณที่มากเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดจำนวนชิ้นส่วนในสายการประกอบ (Work In Process) ในปริมาณมากกรณีที่สายการประกอบหยุดชะงักลง

ดังนั้นควรจะมีการจัดทำใบคัมบังเบิกชิ้นส่วนแยกต่างหากโดยในใบคัมบังจะต้องมีรายละเอียดต่างๆแสดงดังต่อไปนี้

- ที่อยู่ต้นทาง (Entrance Address) เป็นที่อยู่ที่จะต้องทำการเบิกชิ้นส่วนโดยกำหนดเป็นอักษรย่อเพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่าย
- ที่อยู่ปลายทาง (Destination Address) เป็นที่อยู่ที่จะต้องไปส่งชิ้นส่วนโดยกำหนดเป็นอักษรย่อเพื่อให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายเช่นกัน
- รหัสชิ้นส่วน (Part Number) เป็นเลขแสดงรหัสสินค้าซึ่งจะเป็นที่เข้าใจระหว่างผู้จัดส่งชิ้นส่วน (Supplier) และผู้รับชิ้นส่วน
- ชื่อของชิ้นส่วน (Part Name) เป็นชื่อของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ
- รหัส (Code Number) เป็นรหัสสั้นๆที่ทางโรงงานตั้งขึ้นมาเองเพื่อใช้แทนรหัสชิ้นส่วนเพื่อให้การเบิกชิ้นส่วนเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้นทำให้พนักงานไม่ต้องเสียเวลาอ่านรหัสชิ้นส่วนที่เป็นเลขที่มีจำนวนหลักมากๆ
- รุ่น (Model) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีหลายรุ่นการผลิตดังนั้นในใบคัมบังจึงต้องระบุด้วยว่าชิ้นส่วนที่จะทำการเบิกเป็นของรุ่นไหน เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการเบิก
- จำนวนชิ้นส่วนต่อคัมบัง (Quality/Kanban) เป็นตัวเลขที่แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่พนักงานต้องเบิกต่อหนึ่งใบคัมบัง
- ชื่อโรงงาน (Factory Name) แสดงถึงชื่อโรงงานที่ใช้ใบคัมบังนั้นๆ
- ชนิดของคัมบัง (Kanban Type) เป็นตัวแสดงว่าชิ้นส่วนที่จะทำการเบิกเป็นชิ้นส่วนประเภทใด เช่น เป็นชิ้นส่วนภายในประเทศหรือชิ้นส่วนต่างประเทศ

ซึ่งใบคัมบังที่ปรับปรุงใหม่มีลักษณะดังนี้

FROM W/H	W1	TO PROD	AR2
CODE NO.	PART NO. B20-00200	PART NAME GEAR BOX	
1	MODEL 2310-3R0,2310-3KL0		
	REMARK	Q'TY 3	
LOCAL INPROCESS KANBAN		KOYO STEERING (THAILAND) CO.,LTD.	

รูปที่ 3.4 แสดงใบคัมบังที่ได้ทำการปรับปรุง

ใบคัมบังที่ได้ทำการปรับปรุงและนำไปใช้จริงในสายการประกอบ B/S Power มีข้อดีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใบคัมบังแบบใหม่มีการกำหนดที่อยู่ต้นทางและที่อยู่ปลายทางได้ชัดเจนทำให้พนักงานไม่เกิดความสับสนเวลาไปเบิกชิ้นส่วน
- ใบคัมบังแบบใหม่มีการซอยย่อยจำนวนชิ้นส่วนต่อคัมบังลงไปอีก เช่น ก่อนการปรับปรุงการเบิกชิ้นส่วนใบคัมบัง 1 ใบจะทำการเบิกชิ้นส่วนครั้งละ 15 ชิ้น ข้อจำกัดประการหนึ่งคือตะกร้าที่ใส่ชิ้นส่วนที่รอเบิก 1 ตะกร้า สามารถใส่ชิ้นส่วนได้ 3 ชิ้น ดังนั้นจึงมีการซอยย่อยจำนวนชิ้นส่วนต่อคัมบังเหลือ 3 ชิ้นเพื่อง่ายต่อการนำระบบดึงมาใช้เนื่องจากการเบิกชิ้นส่วนแบบเดิมมีขนาดล๊อตที่มากเกินไป

ภายหลังการปรับปรุงในส่วนของใบคัมบังจะเป็นการเก็บข้อมูลเวลาที่สูญเสียจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Powerไม่ทันและผิดรุ่นว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร ซึ่งผลที่ได้จะแสดงให้เห็นในผลการดำเนินงานที่จะกล่าวถึงในบทที่ 4

สิ่งที่ได้จากการดำเนินงานได้แก่

1. การใช้พื้นที่ในการจัดเก็บชิ้นส่วนแบบใหม่และเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบจำลองสถานการณ์
2. ใบคัมบังแบบใหม่ของสายการประกอบ B/S Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ผลการดำเนินงานจะเป็นในส่วนของผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมโปรโมเดลในการเปรียบเทียบระบบการจัดส่งชิ้นส่วนของก่อนและหลังการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วน และ ผลจากการปรับปรุงใบคัมบัง ซึ่งผลการดำเนินงานที่จะกล่าวถึงประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่

4.1 ผลจากการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์

4.2 ผลจากการออกแบบและปรับปรุงเส้นทางการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์

4.3 ผลจากการนำหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีสุทธิของระบบการขนส่งก่อนและหลังการปรับปรุง

4.4 ผลจากการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power

4.1 ผลจากการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์

ผลการดำเนินงานจากการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆนำมาใช้เป็นข้อมูลอินพุท (Input Data) สำหรับการสร้างแบบจำลองโดยทำการสร้างแบบจำลองของเดือนสิงหาคม 2547 ซึ่งมี 23 วันทำงาน คิดเป็น 480 ชั่วโมง ทำซ้ำจำนวน 10 ครั้ง (10 Replications) โดยทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนของ 7 สายการประกอบได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลที่ได้จากการปรับปรุงระบบการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์

สายการประกอบ	จำนวนสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้(ชิ้น/เดือน)		จำนวนชิ้นส่วนเฉลี่ยในสายการประกอบ ณ เวลาหนึ่งๆ (ชิ้น)		เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นส่วนอยู่ในระบบการผลิต (นาที)	
	ก่อนรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
B/S Power	22665	22683	282.6	98.5	329.97	114.96
B/S Unit	12811	12817	163.1	79.5	335.37	165.63
B/S Manual	6418	6415	148.9	76.8	633.56	319.19
R/P Manual1	18301	18289.5	243	73.6	361.55	108.58
R/P Manual2	22471	22720	263.9	72.4	297.24	80.48
R/P Power1	11493	11497	164.6	65.2	381.46	140.81
R/P Power2	18589	18666	200	80.9	290.45	122.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 สรุปผลได้ดังนี้

- จำนวนสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตได้ก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นไปตามแผนการผลิต (Production Plan) ของทางโรงงาน
- จำนวนชิ้นส่วนเฉลี่ยในสายการประกอบ ณ เวลาหนึ่งๆ (Work In Process) ภายหลังการปรับปรุงใน 7 สายการประกอบมีจำนวนลดลงไป 920 ชิ้น/เดือน หรือคิดเป็น 63.3 % ต่อเดือนต่อเดือนของก่อนการปรับปรุง ซึ่งการที่สามารถลดจำนวนชิ้นส่วนในสายการประกอบลงได้จะทำให้การบริหารจัดการชิ้นส่วนและความสามารถในการมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานสามารถทำได้ง่ายกว่าการที่มีจำนวนชิ้นส่วนค้างอยู่ในสายการประกอบมากๆ
- เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นส่วนอยู่ในระบบการผลิต (Lead Time) ภายหลังการปรับปรุงใน 7 สายการประกอบลดลงไป 1577.62 นาที/เดือน หรือคิดเป็น 60 % ต่อเดือนของก่อนการปรับปรุง ซึ่งนำไปสู่การลดการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป

4.2 ผลจากการออกแบบและปรับปรุงเส้นทางการจัดส่งชิ้นส่วนภายในโรงงานโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์

ผลจากการการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของทั้งระบบโดยแสดงให้เห็นถึงจำนวนรถไฟฟ้าที่ใช้วิ่งในโรงงานดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งมีข้อจำกัด คือ ทุกๆ ครึ่งชั่วโมงจะต้องมีการส่งชิ้นส่วนเข้าสู่แต่ละสายการประกอบ

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนรถไฟฟ้าที่เหมาะสมและคู่ของสายการประกอบที่สามารถใช้รถไฟฟ้าคู่กันได้

รถไฟฟ้าคันที่	สายการประกอบ	เวลารวมที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)
1	B/S Power	27.13
2	B/S Unit และ B/S Power 1	26.36
3	B/S Manual และ R/P Power 2	28.61
4	R/P Manual 1 และ R/P Manual 2	28.21

เวลารวมที่ใช้ในการขนส่งของรถไฟฟ้าแต่ละคันมาจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3.5 และ 3.6 ในบทที่ 3 จากเวลารวมที่ใช้ในการขนส่งของรถไฟฟ้าแต่ละคันพบว่ามีค่าไม่เกิน 30 นาที ดังนั้น สรุปได้ว่าสามารถส่งชิ้นส่วนเข้าสู่สายการประกอบได้ทันในทุกๆ 30 นาที

ดังนั้นจำนวนรถไฟฟ้าที่จะใช้ในสายการประกอบคือ 4 คัน โดยคันที่ 1 ทำการวิ่งในสายการประกอบ B/S Power คันที่ 2 ทำการวิ่งในสายการประกอบ B/S Unit และ B/S Power 1 คันที่ 3 ทำการวิ่งในสายการประกอบ B/S Manual และ R/P Power 2 และ คันที่ 4 ทำการวิ่งในสายการประกอบ R/P Manual 1 และ R/P Manual 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการคำนวณหาค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีสุทธิของการขนส่งก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการจัดทำแบบจำลองสถานการณ์ในหัวข้อที่ 4.3 สรุปได้ว่าจำนวนรถไฟฟ้าที่ใช้คือ 4 คันและทำการสรุปค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีสุทธิของการขนส่งก่อนและหลังการปรับปรุงโดยคิดอัตราดอกเบี้ยโรงงานที่ 8 % ต่อปี แสดงได้ดังตารางที่4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบการขนส่งก่อนและหลังทำการปรับปรุง

รายละเอียด	การขนส่งก่อนปรับปรุง	การขนส่งหลังปรับปรุง
1. ราคารถไฟฟ้า (บาท)	-	4 x 400,000
2. ค่าใช้จ่ายต่อเดือน (บาท/เดือน)		
-ค่าจ้างแรงงาน / คน	16 x 4,500	4 x 4,500
-ค่าน้ำมันของรถยกชิ้นงาน (Folk Lift) / คัน	3 x 10,000	-
-ค่าไฟฟ้าของรถ / คัน	-	4 x 4,000
3. มูลค่าซาก (บาท)	3 x 10,000	4 x 40,000
4. อายุการใช้งาน (ปี)	10	5

จากตารางที่ 4.3 สรุปได้ดังนี้

$EUAW_{(\text{ก่อนปรับปรุง})}$ = 12 [(16 x 4,500) + (3 x 10,000)] – 15,000(A/F,8%,10)

= 1,221,929 บาท / ปี

$EUAW_{(\text{หลังปรับปรุง})}$ = 12 [(4 x 4,500) + (4 x 4,000)] + 1,600,000(A/P,8%,5) – 160,000(A/F,8%,5)

= 781,462 บาท / ปี

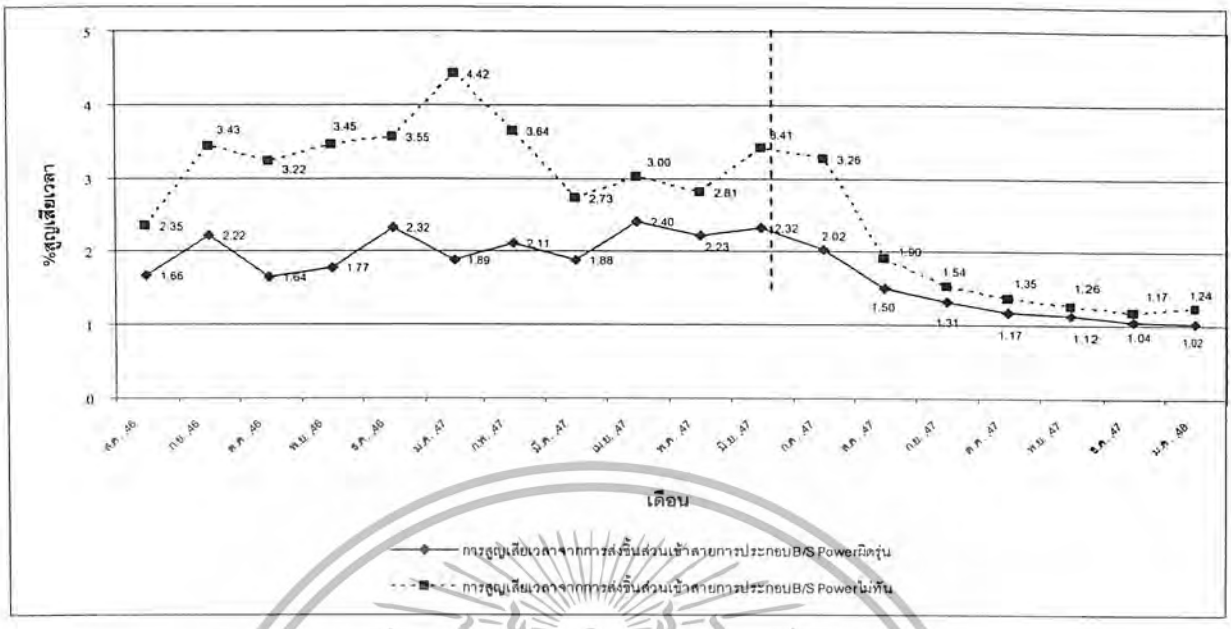
ดังนั้นวิธีการขนส่งหลังปรับปรุงสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,221,929 – 781,462 = 440,467 บาท/ปี

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายของระบบการขนส่งก่อนและหลังทำการปรับปรุงโดยใช้หลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมสรุปได้ว่าการนำรถไฟฟ้ามาใช้ในการจัดส่งชิ้นส่วนแทนการใช้รถเข็น สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ 12 คน อีกทั้งยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ถึง 440,467 บาท/ปี

4.4 ผลจากการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power

ภายหลังจากการปรับปรุงระบบคัมบังในช่วงเดือนมิถุนายน 2547 ถึง เดือนมกราคม 2548 โดยทำการปรับปรุงในส่วนของใบคัมบังให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้นและมีการแยกชนิดของคัมบัง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลในส่วนของเวลาที่สูญเสียไปจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Power ไม่ทันและส่งชิ้นส่วนผิดรุ่นแสดงในรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การสูญเสียเวลาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เกิดจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Power ไม่ทันและผิดรุ่น

จากผลการดำเนินงานในส่วนของการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power สรุปจากรูปที่ 4.1 ได้ว่าเวลาที่สูญเสียจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบไม่ทันลดลง 56.88% และเวลาที่สูญเสียจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบผิดรุ่นลดลง 41.66% จากเดิมที่ยังไม่ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การนำเสนอการปรับปรุงการจัดส่งชิ้นส่วนโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์สามารถชี้ให้เห็นถึงจำนวนชิ้นส่วนเฉลี่ยในสายการประกอบ ณ เวลาหนึ่งๆ (Work In Process) ของก่อนและหลังการปรับปรุงใน 7 สายการประกอบมีจำนวนลดลง 920 ชิ้น/เดือน หรือคิดเป็น 63.3 % ซึ่งการที่สามารถลดจำนวนชิ้นส่วนในสายการประกอบลงได้จะทำให้การบริหารจัดการชิ้นส่วนและความสามารถในการมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานสามารถทำได้ง่ายกว่าการที่มีจำนวนชิ้นส่วนค้างอยู่ในสายการประกอบมากๆ และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นส่วนอยู่ในระบบการผลิต (Lead Time) ของก่อนและหลังการปรับปรุงใน 7 สายการประกอบลดลง 1565.3 นาที/เดือน หรือคิดเป็น 59.81 % ซึ่งนำไปสู่การลดการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป ซึ่งจากโปรแกรมจำลองสถานการณ์ที่ได้นำเสนอสามารถชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหากทางบริษัทนำแนวทางนี้ไปใช้จริงในปัจจุบัน

จากผลการดำเนินงานในส่วนของการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power สรุปได้ว่า เวลาที่สูญเสียจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบไม่ทันลดลง 56.88 % และเวลาที่สูญเสียจากการส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบผิดรุ่นลดลง 41.66 % จากเดิมที่ยังไม่ทำการปรับปรุงซึ่งการปรับปรุงใบคัมบังในสายการประกอบ B/S Power จำนวนเวลาสูญเสียจากการหยุดเครื่องจักรลดลงอย่างชัดเจน จึงควรนำรูปแบบการปรับปรุงใบคัมบังไปใช้ในสายการประกอบอื่นๆ ซึ่งจะทำให้กระบวนการโดยรวมในสายการประกอบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง

1. ในส่วนของโปรแกรมโปรโมเดลเป็นโปรแกรมฉบับนักเรียน (Student Version) ซึ่งยังมีข้อบกพร่องอยู่บางประการ เช่นจำนวนสถานี (Location) จำกัดไม่เกิน 20 สถานีและชนิดของเอ็นติตี้จำกัดไม่เกิน 8 ชนิดทำให้ทางคณะผู้จัดทำจะต้องสร้างแบบจำลองแยกเป็นแต่ละสายการประกอบและแยกการวิ่งของรถไฟฟ้าแต่ละคัน ถ้าสามารถนำโปรแกรมโปรโมเดลฉบับสมบูรณ์มาใช้จะสามารถรวบรวมแบบจำลองเป็นภาพเดียวได้ซึ่งจะทำให้ผู้สนใจสามารถเห็นภาพได้ง่ายขึ้น

2. การปรับปรุงใบคัมบังให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นยังไม่สามารถทำให้เวลาในการหยุดของเครื่องจักรเป็นศูนย์ จึงควรมีการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

3. ในการปรับปรุงใบคัมบังทางกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงเฉพาะในสายการประกอบ B/S Power ดังนั้นในภายภาคหน้าจึงควรมีการปรับปรุงในสายการประกอบอื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

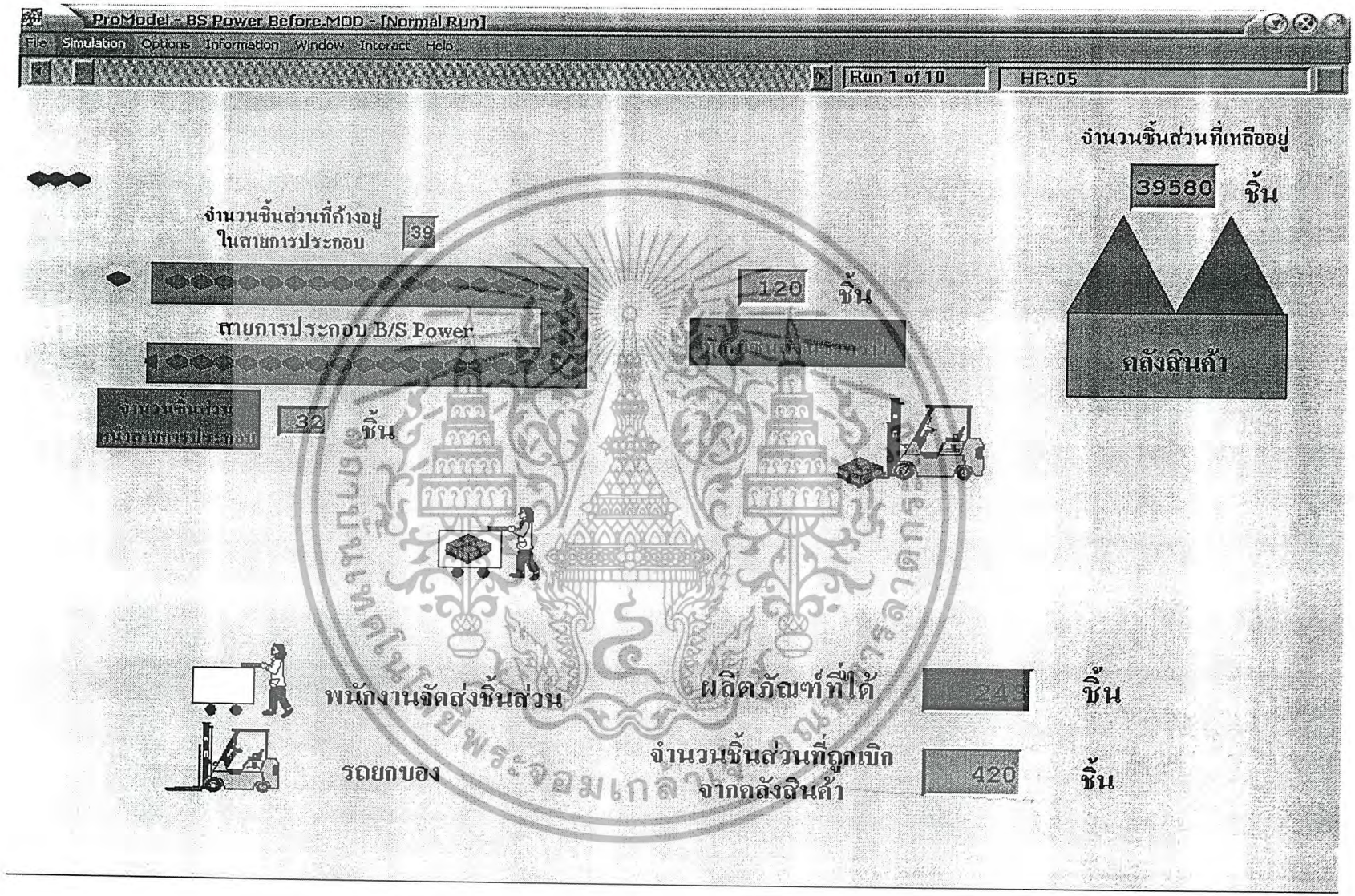
1. ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์, ระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota System, พิมพ์ครั้งที่2, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2531.
2. เพียงจันทร์ จริงจิตร, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy), พิมพ์ครั้งที่2, เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมส โปรดักส์, พ.ศ. 2541.
3. รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, เนื้อโสม ติงสัญชลี, การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion And Time Study), สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, พ.ศ. 2538.
4. วิจิตร ตัณฑสุทธิ์, วันชัย วิจิรวนิช, จรูญ มหิทธาฟองกุล และชูเวช ชาญสง่าเวช, การศึกษาการทำงาน (Work Study), Third edition, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2524.
5. ผศ.วิชัย สุรเชิดเกียรติ. การจำลอง. กรุงเทพฯ, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ.2542.
6. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, Ph.D.. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2542.
7. Harrel-Ghosh-Bowden, Simulation Using Promodel Second Edition, Mcgrawhill, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

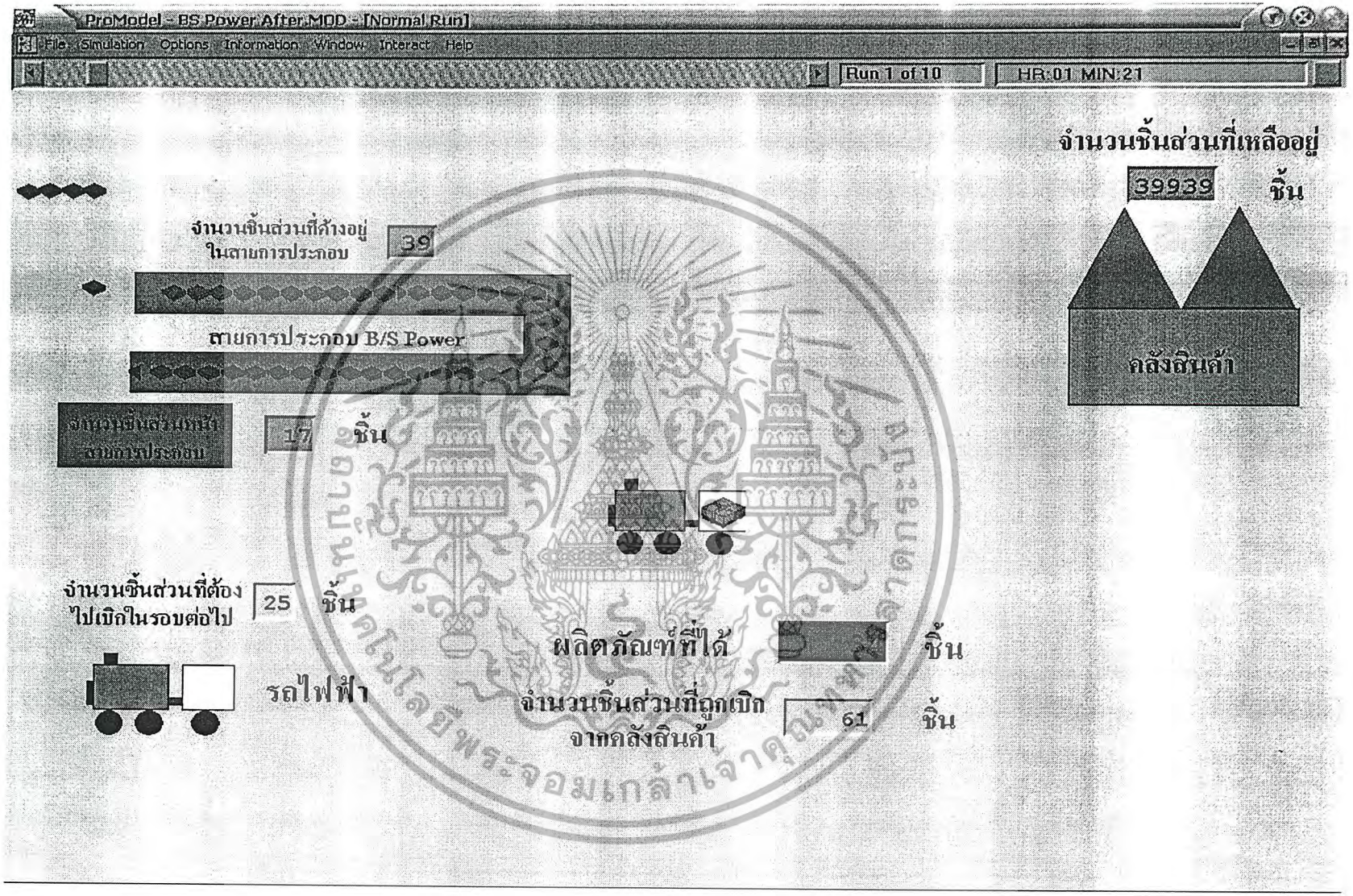
ภาคผนวก ก.

หน้าจอของแบบจำลองสถานการณ์

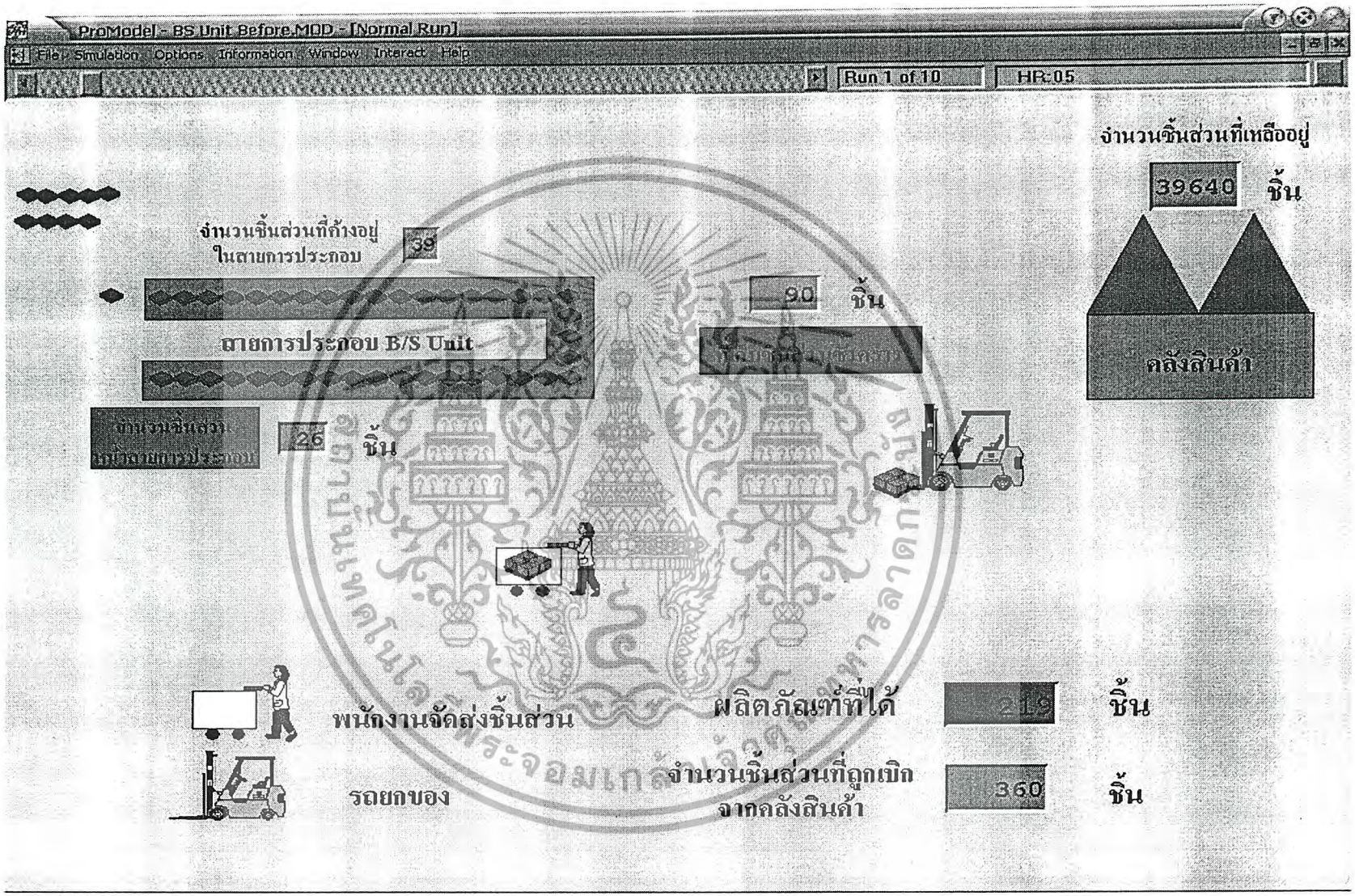
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



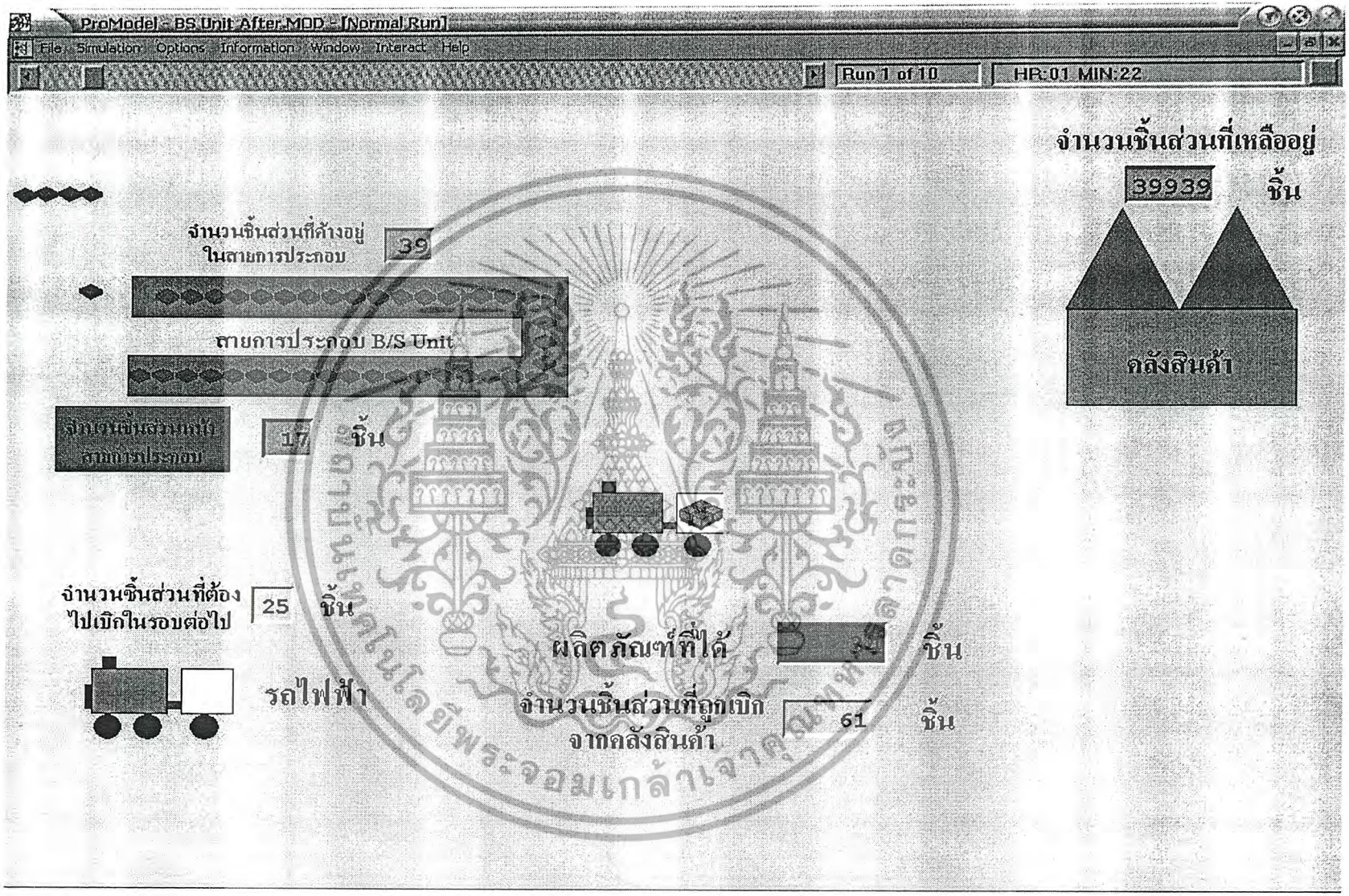
รูปที่ ผก 1 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Power ก่อนการปรับปรุง



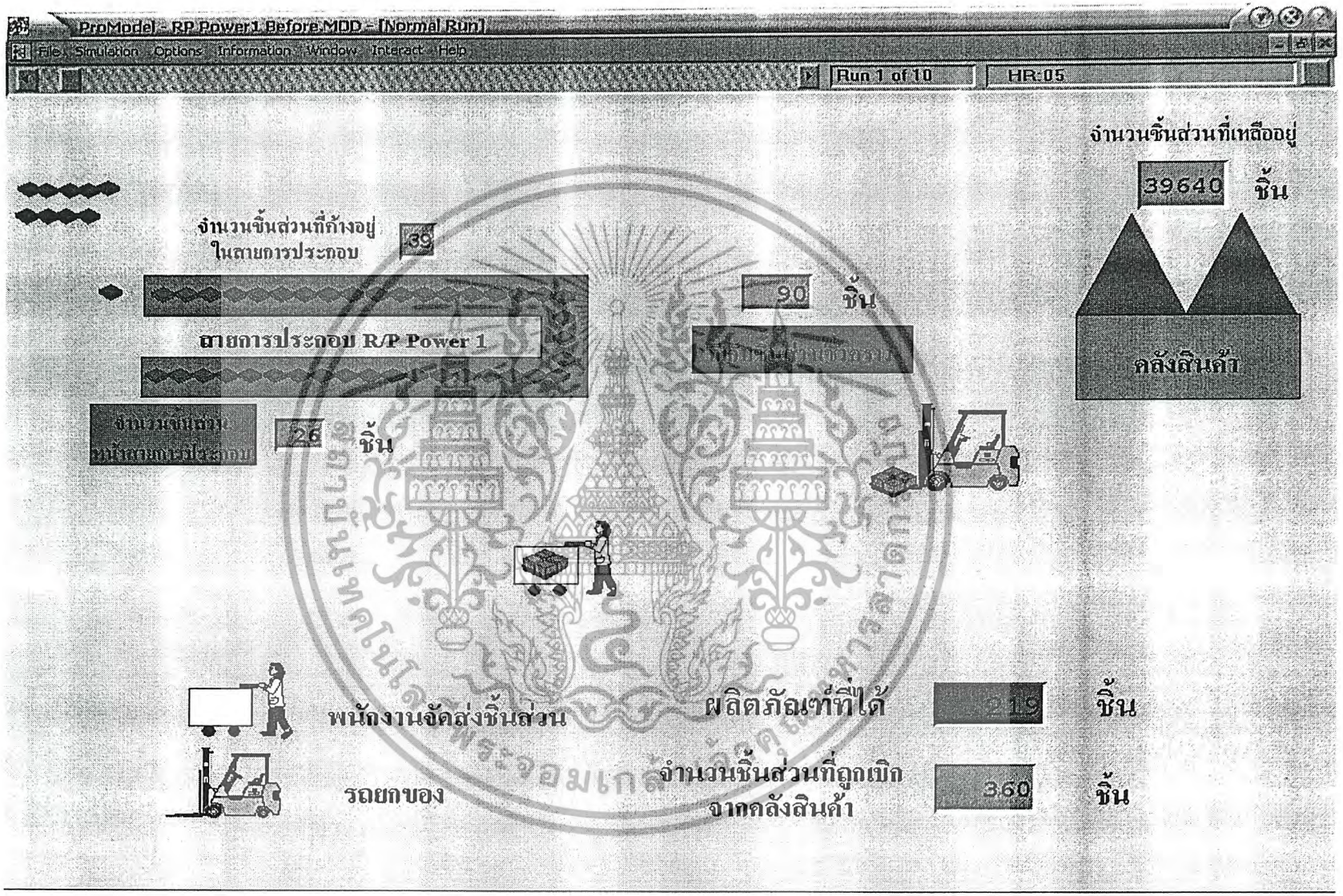
รูปที่ ผก 2 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Power หลังการปรับปรุง



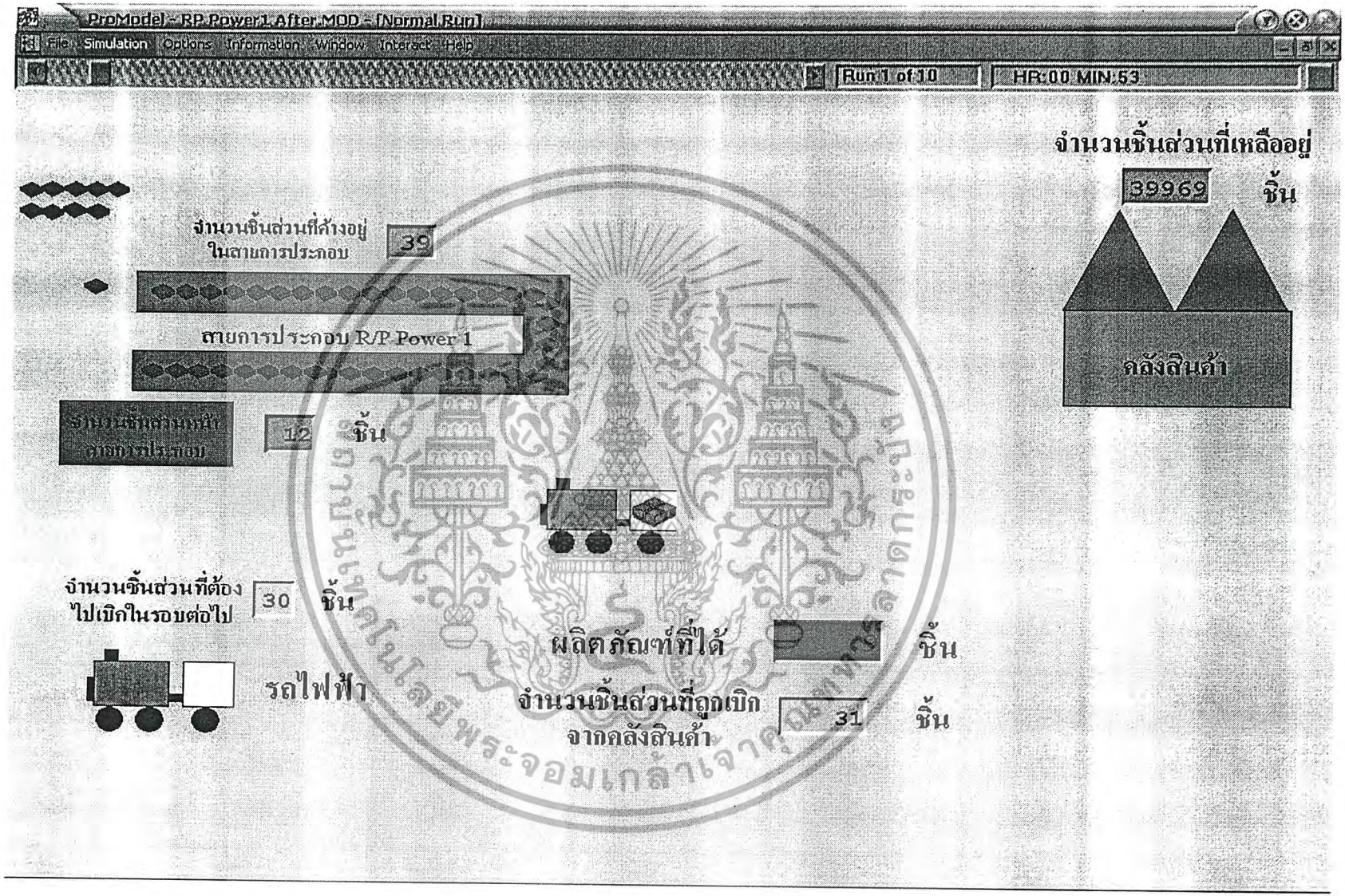
รูปที่ ผก 3 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Unit ก่อนการปรับปรุง



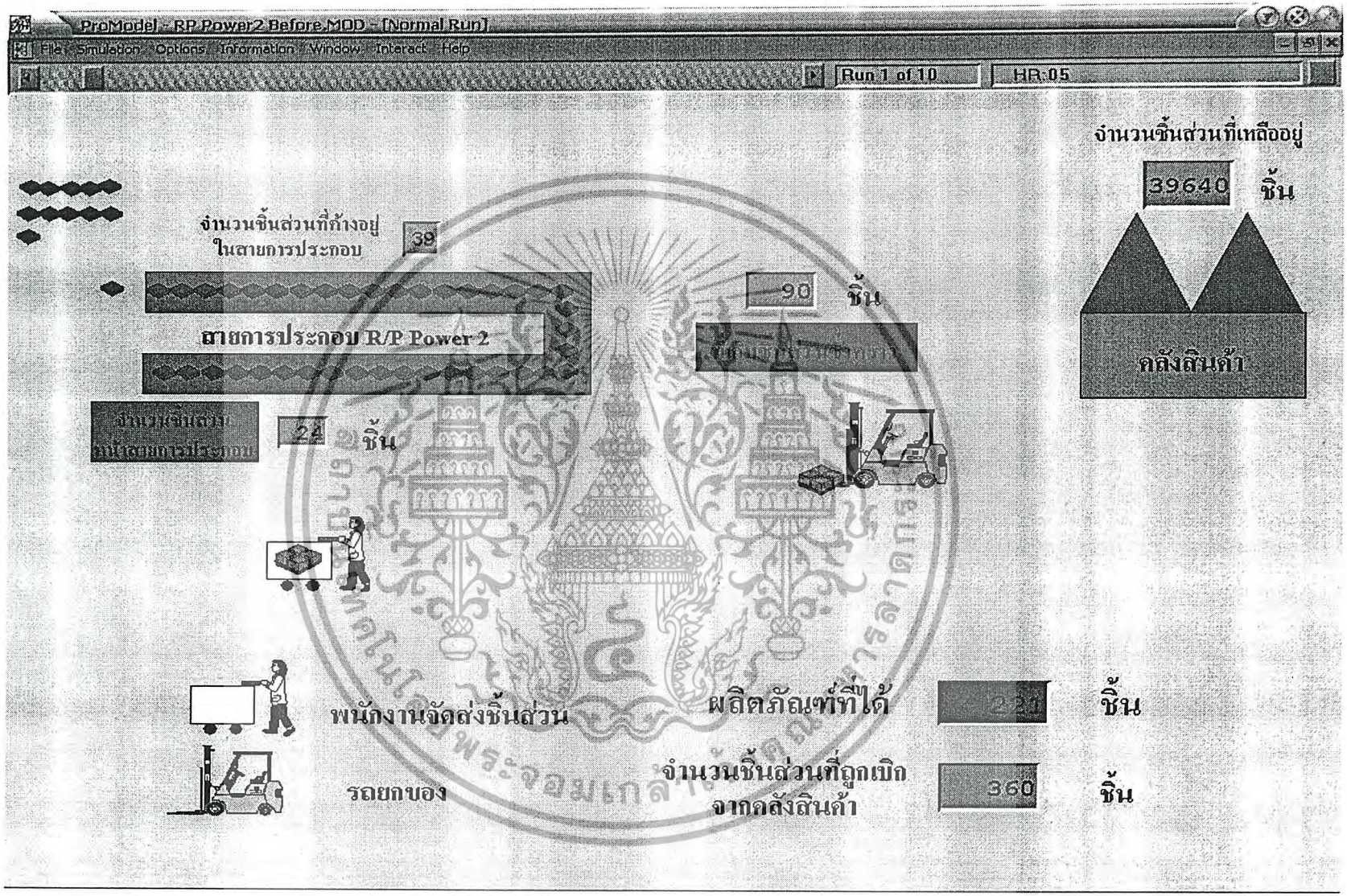
รูปที่ ผก 4 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Unit หลังการปรับปรุง



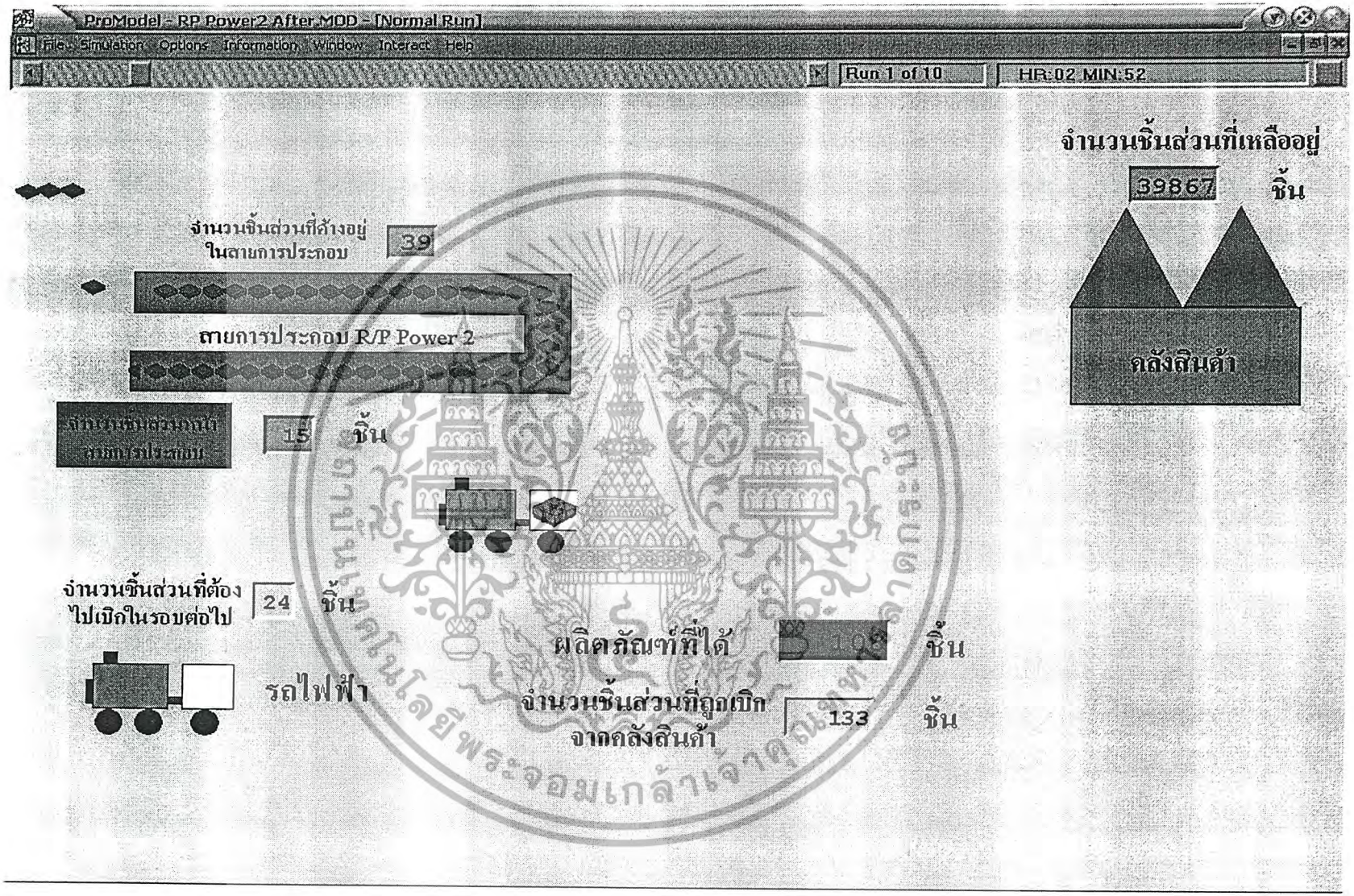
รูปที่ ผก 5 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Power1 ก่อนการปรับปรุง



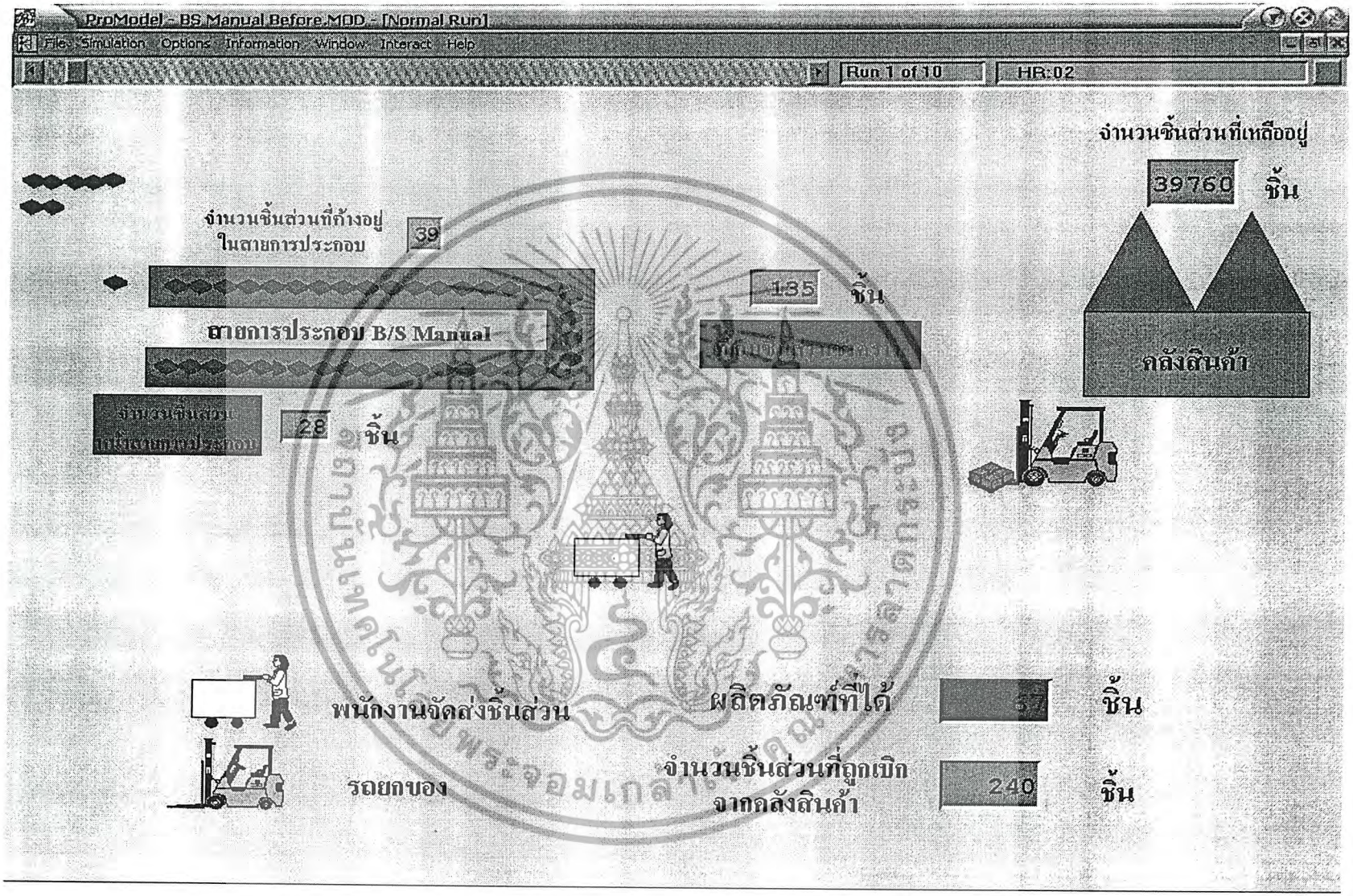
รูปที่ ผก 6 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Power1 หลังการปรับปรุง



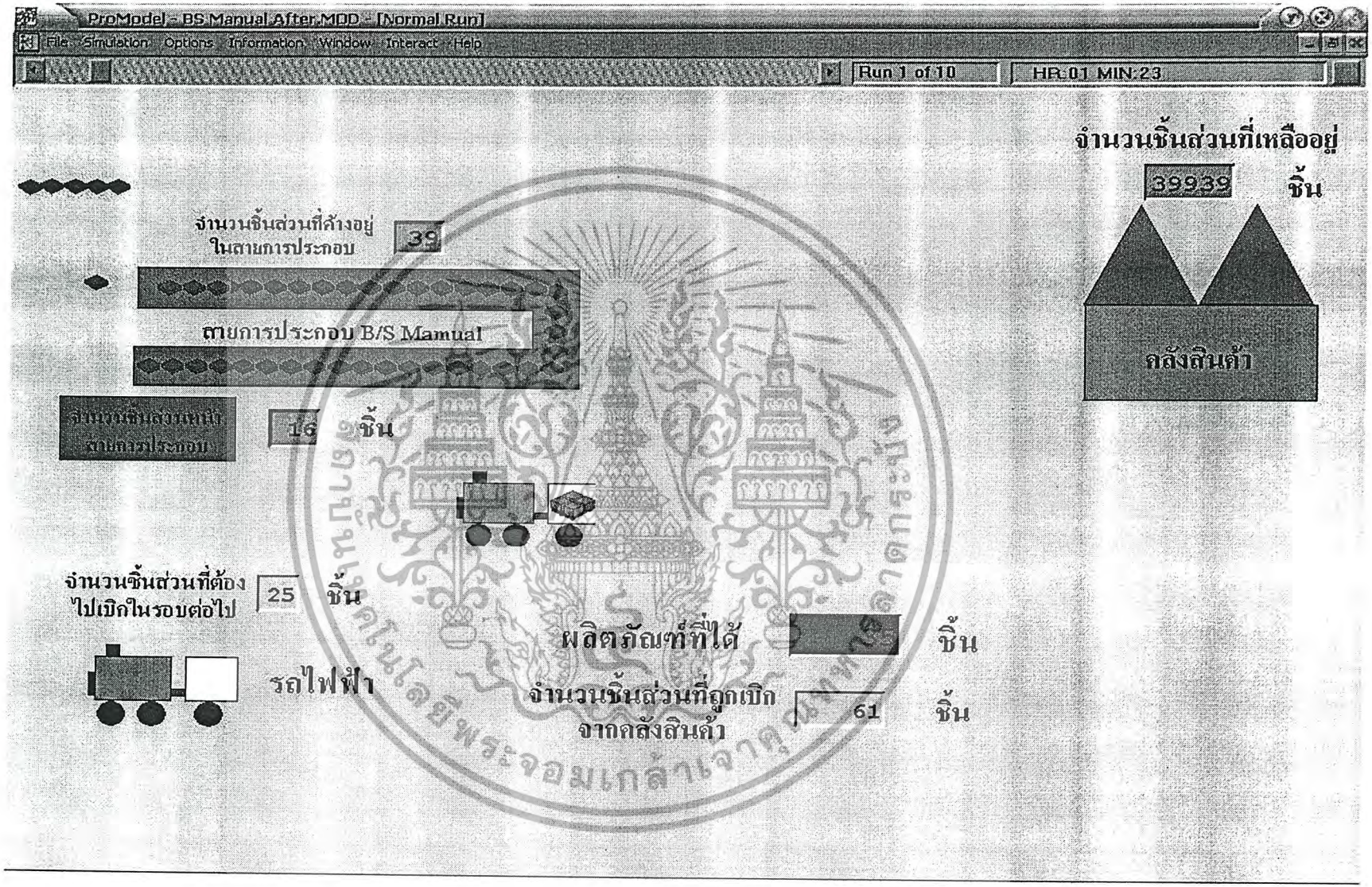
รูปที่ ผก 7 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Power2 ก่อนการปรับปรุง



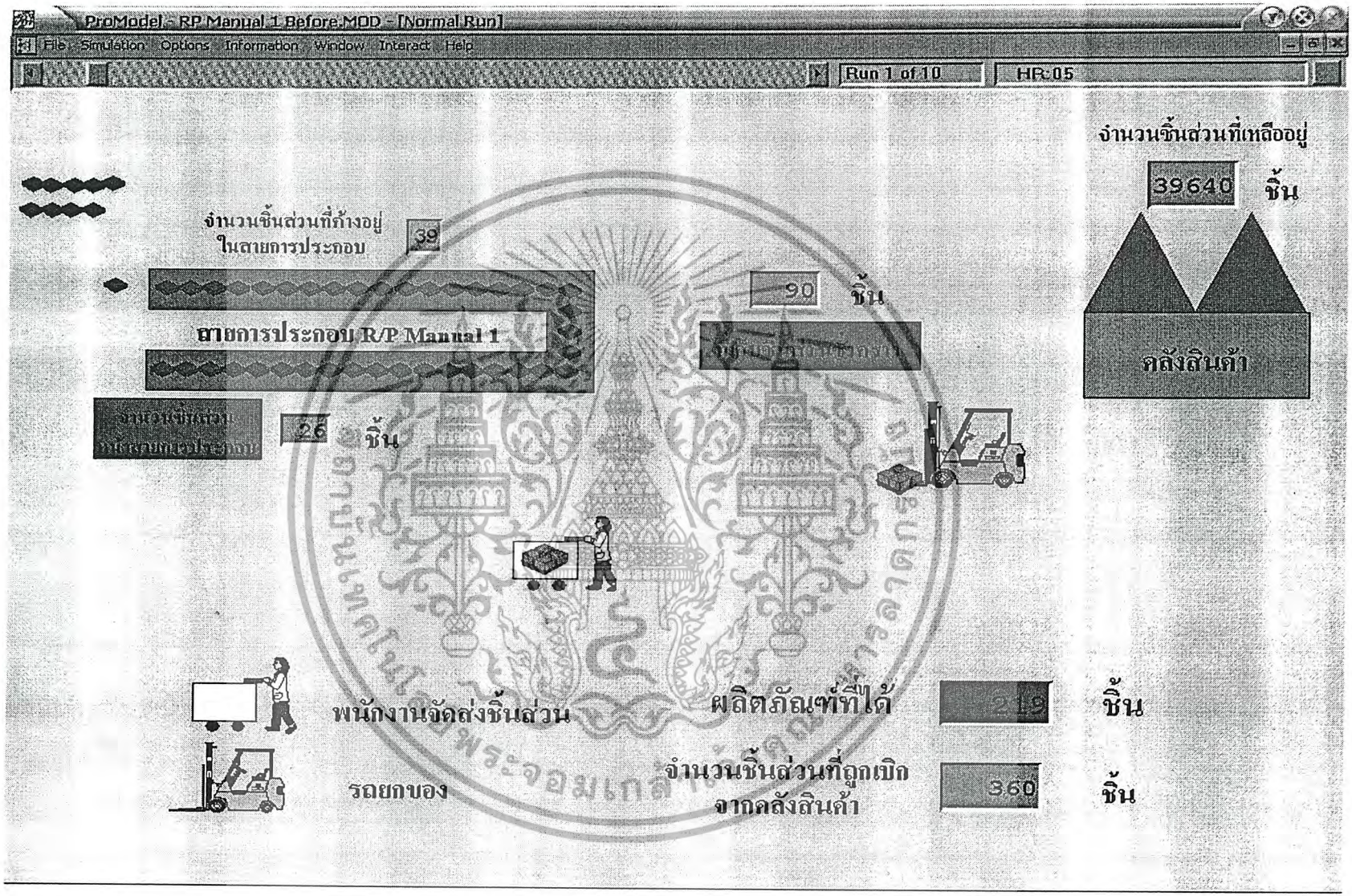
รูปที่ ผก 8 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Power2 หลังการปรับปรุง



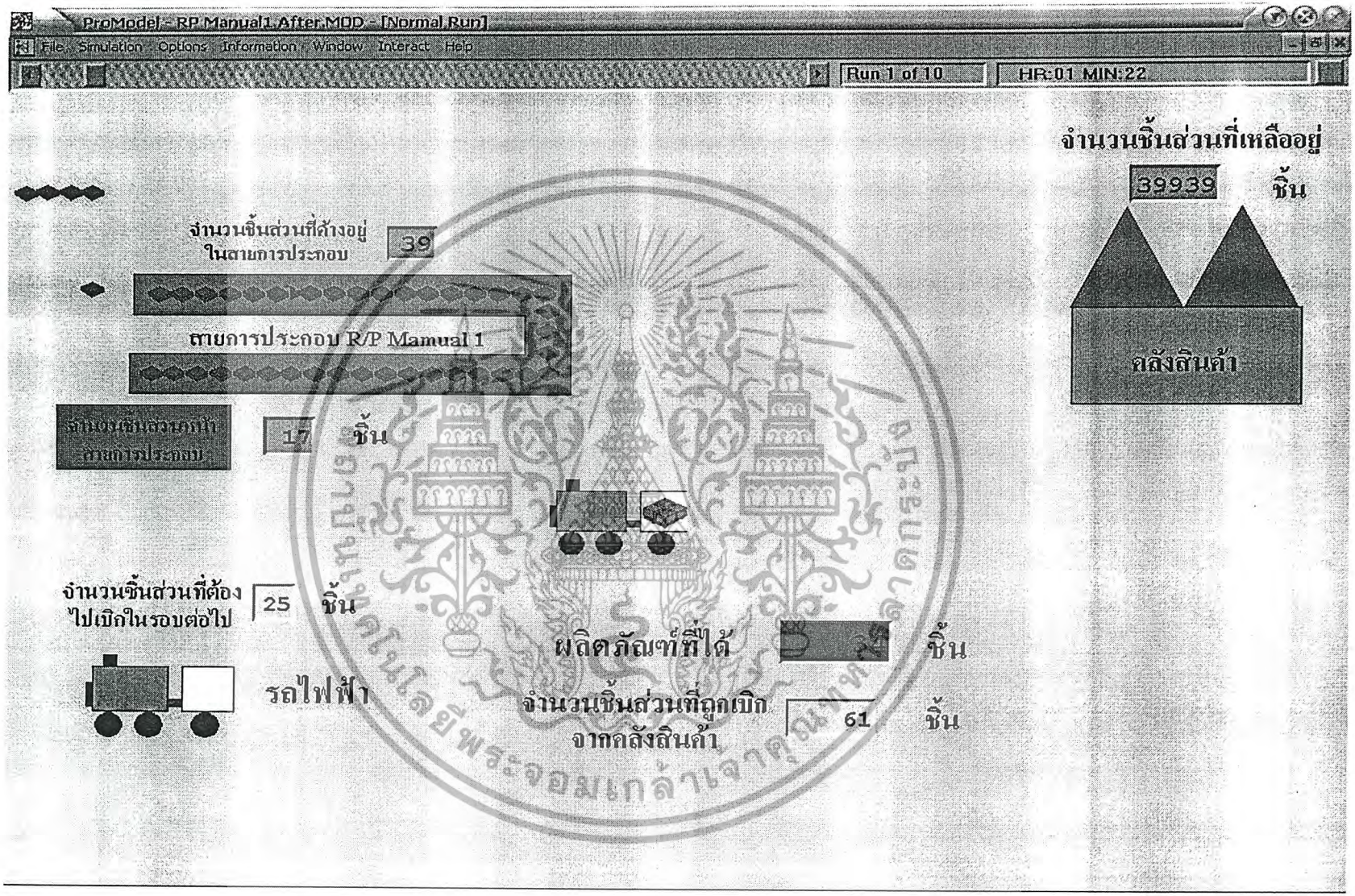
รูปที่ ผก 9 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Manual ก่อนการปรับปรุง



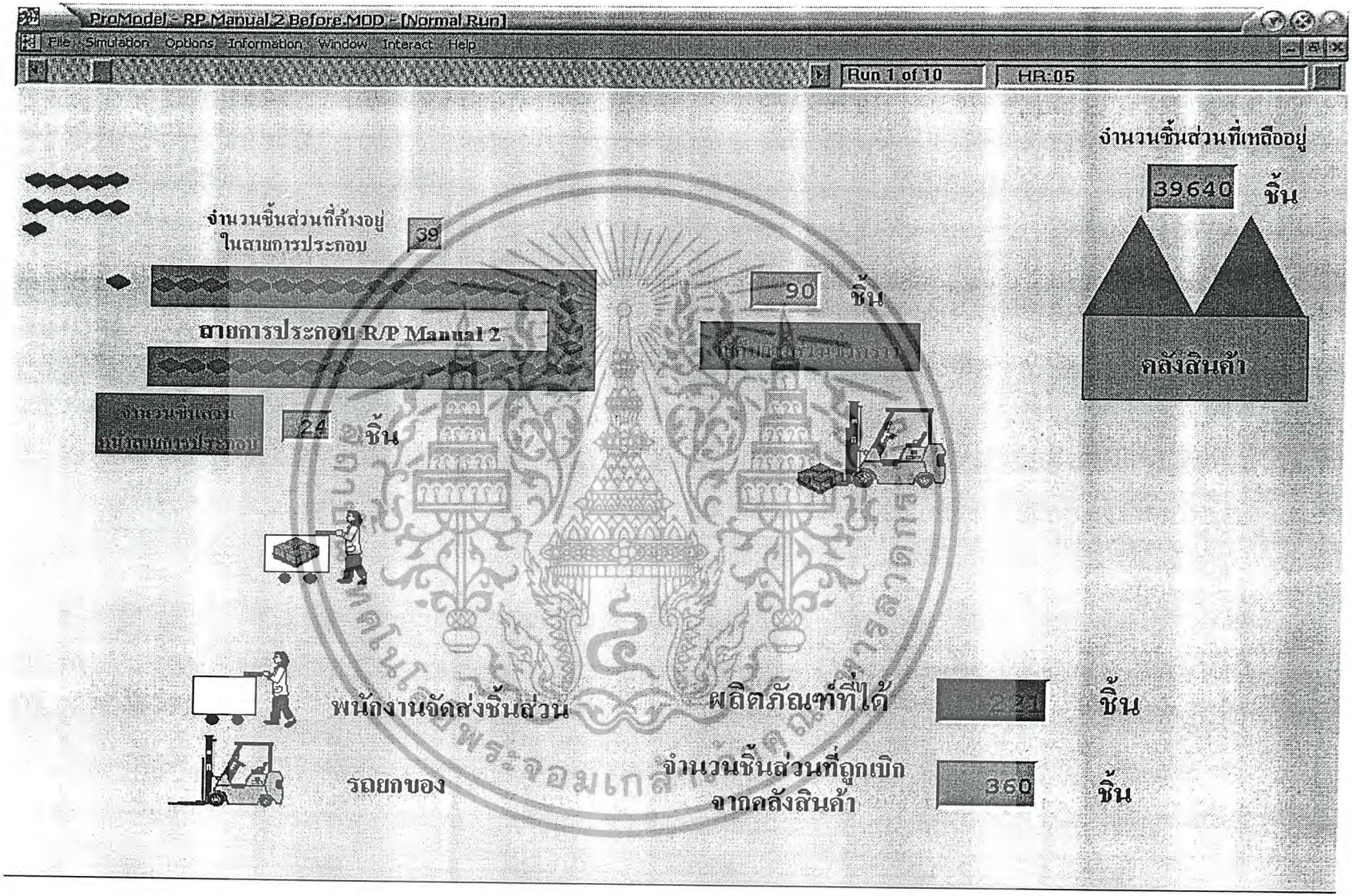
รูปที่ ผก 10 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ B/S Manual หลังการปรับปรุง



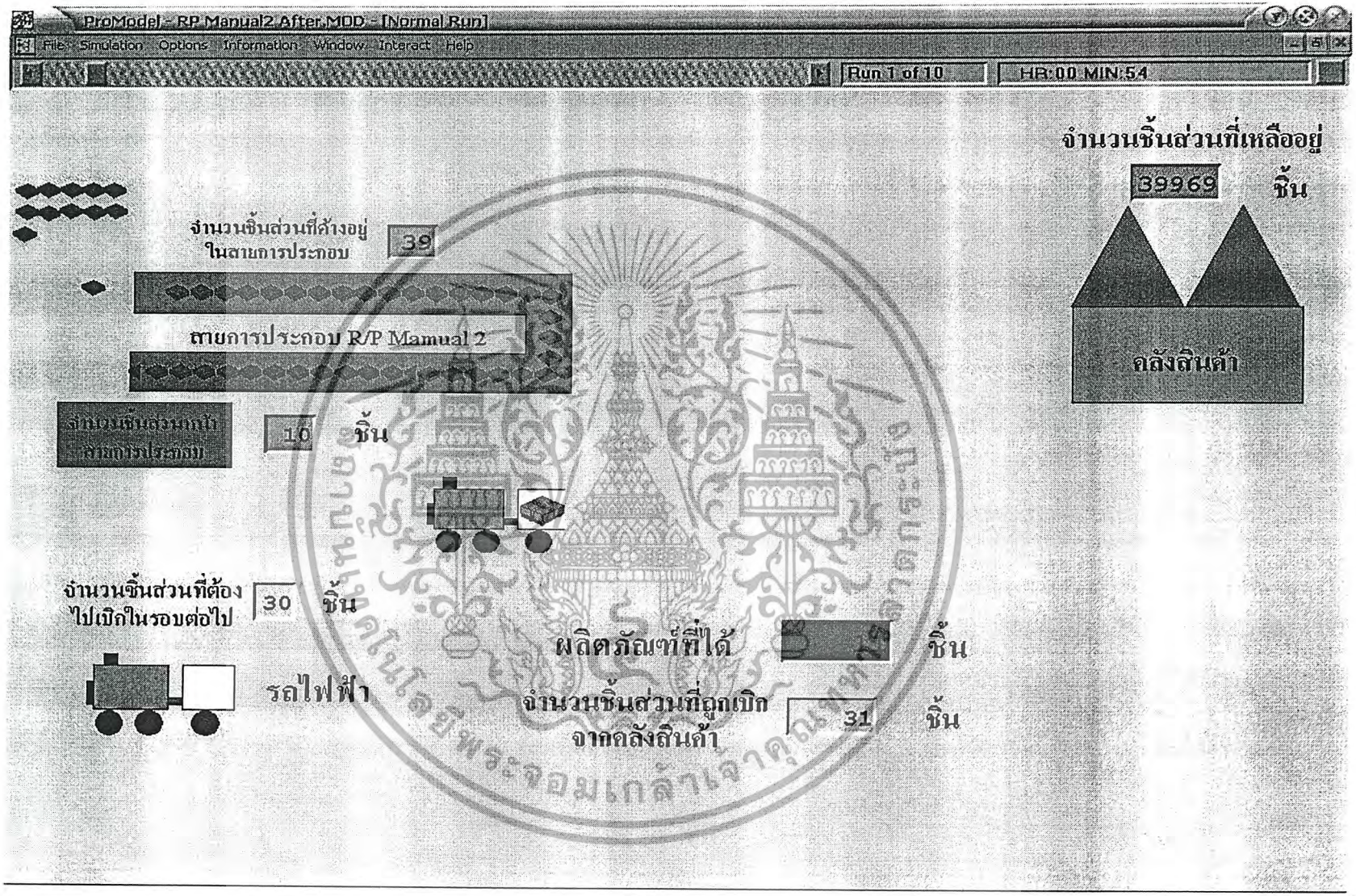
รูปที่ ผก 11 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Manual1 ก่อนการปรับปรุง



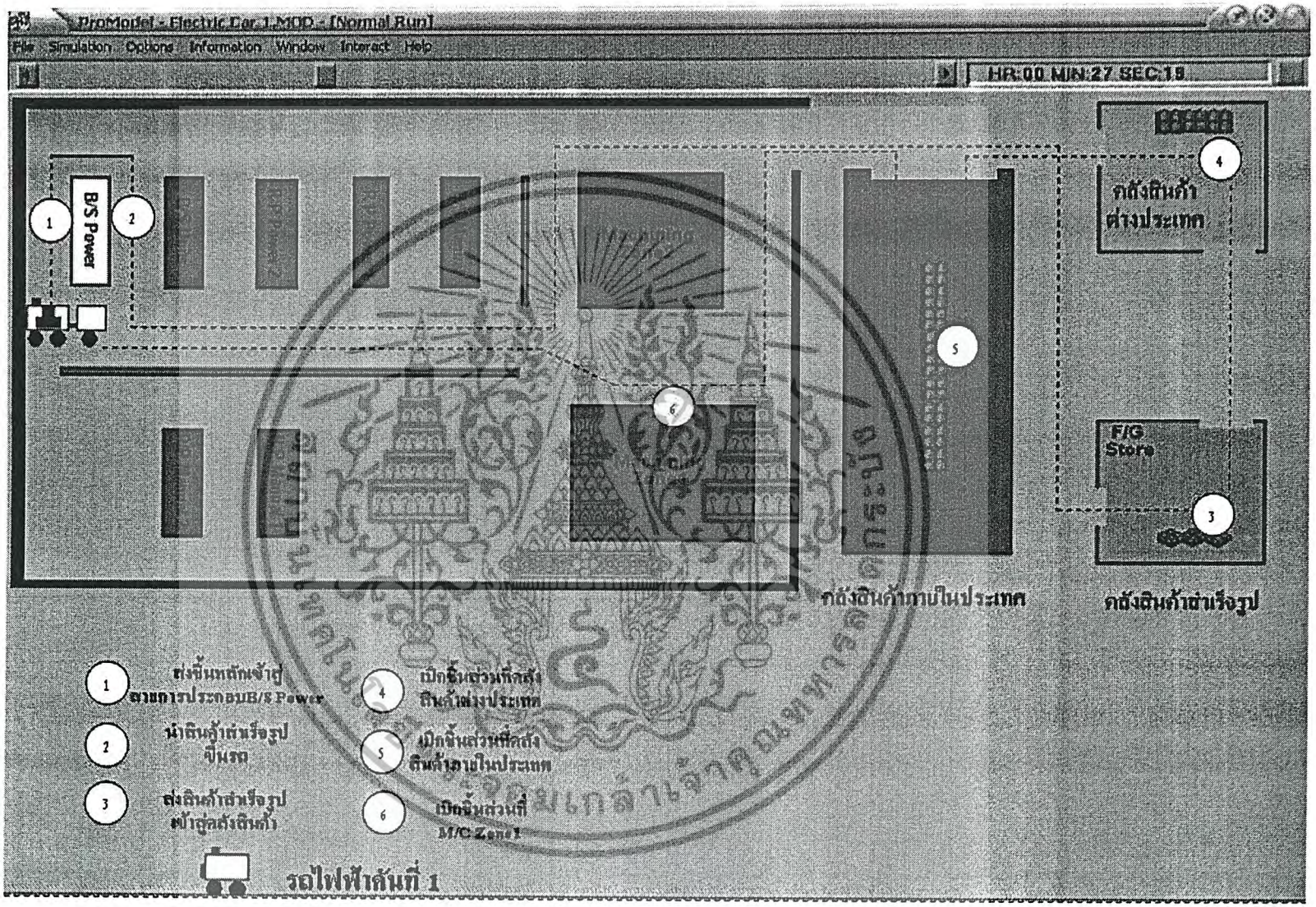
รูปที่ ผก 12 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Manual1 หลังการปรับปรุง



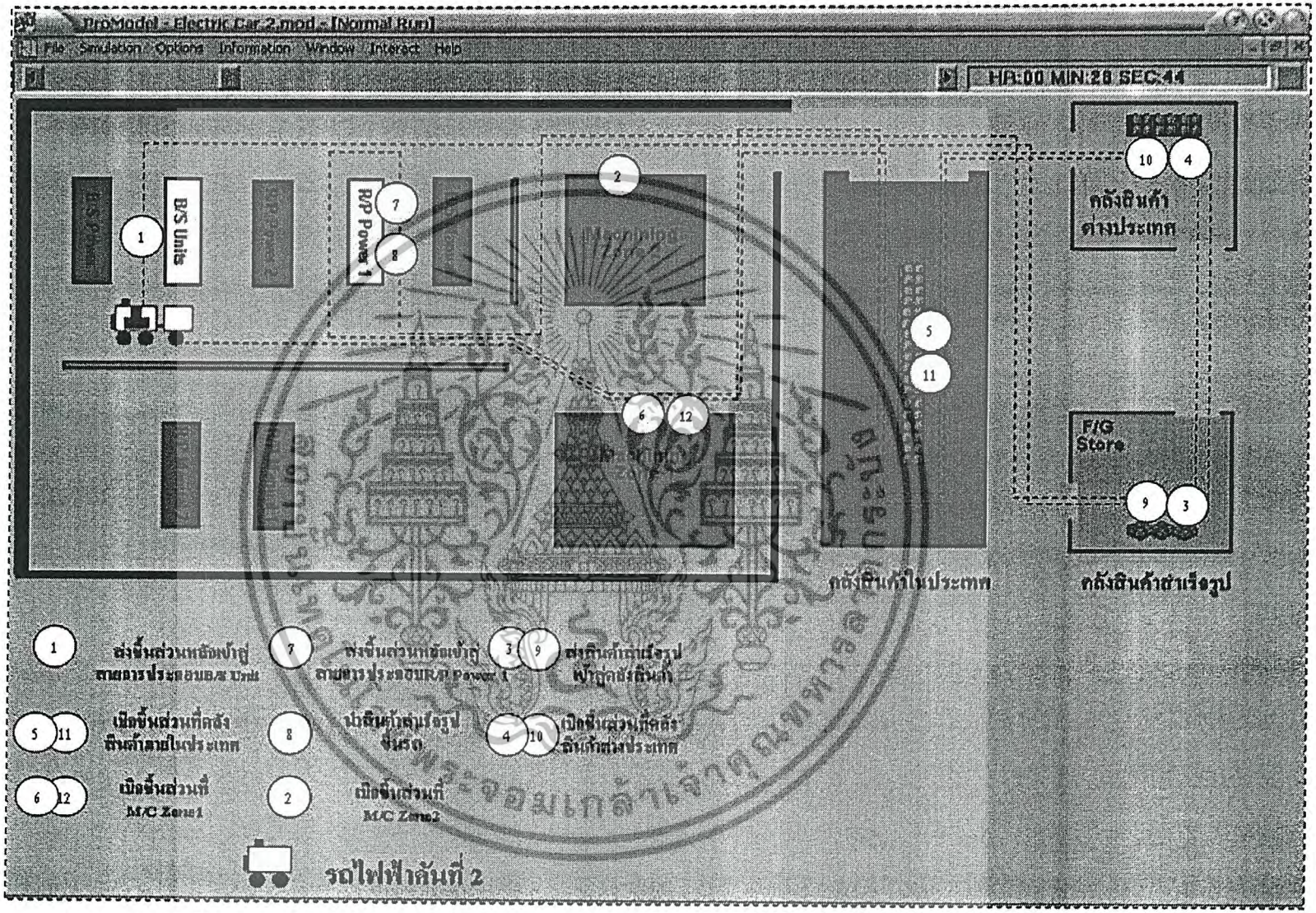
รูปที่ ผก 13 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Manual 2 ก่อนการปรับปรุง



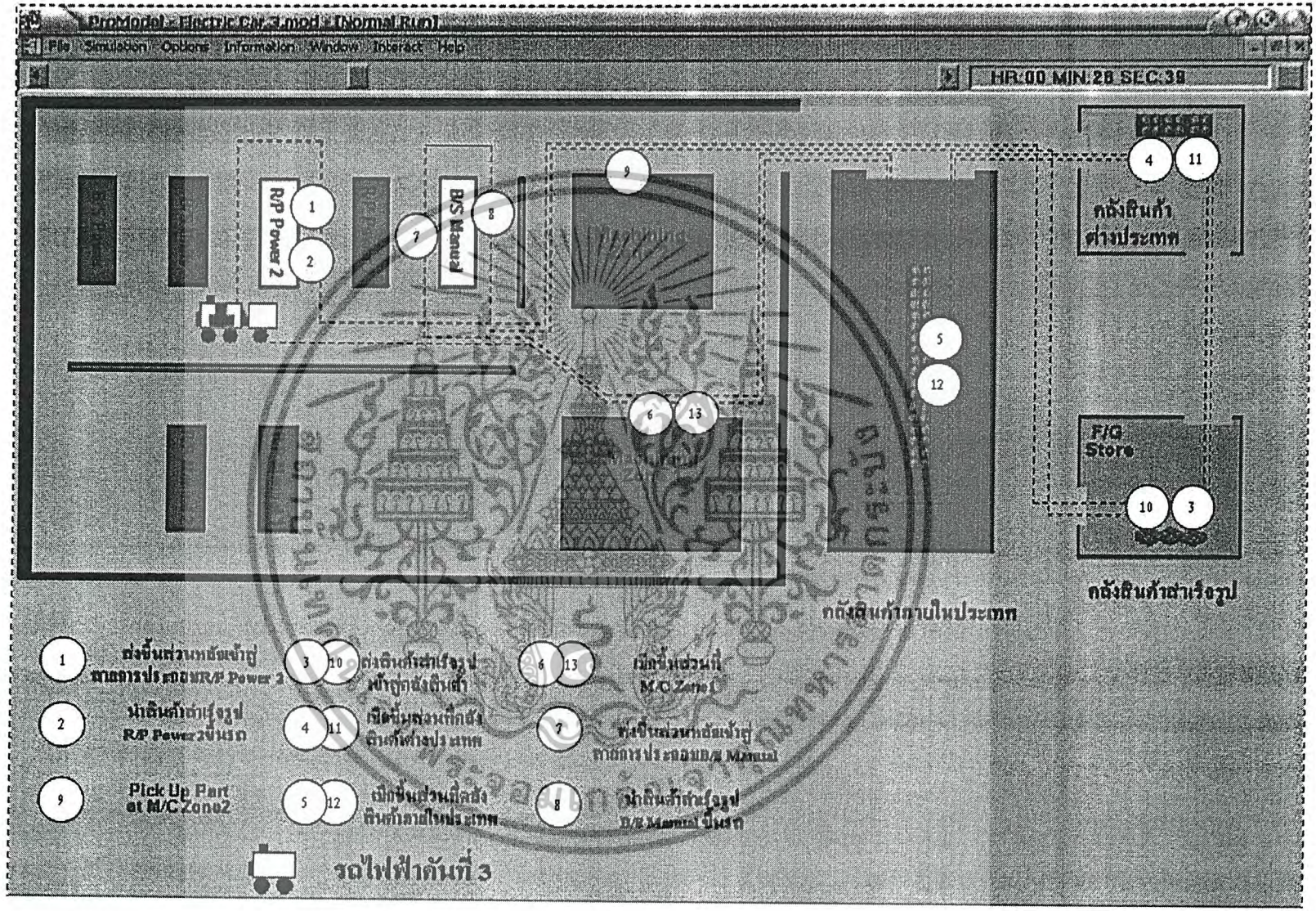
รูปที่ ผก 14 แสดงหน้าจอโปรแกรมของสายการประกอบ R/P Manual 2 หลังการปรับปรุง



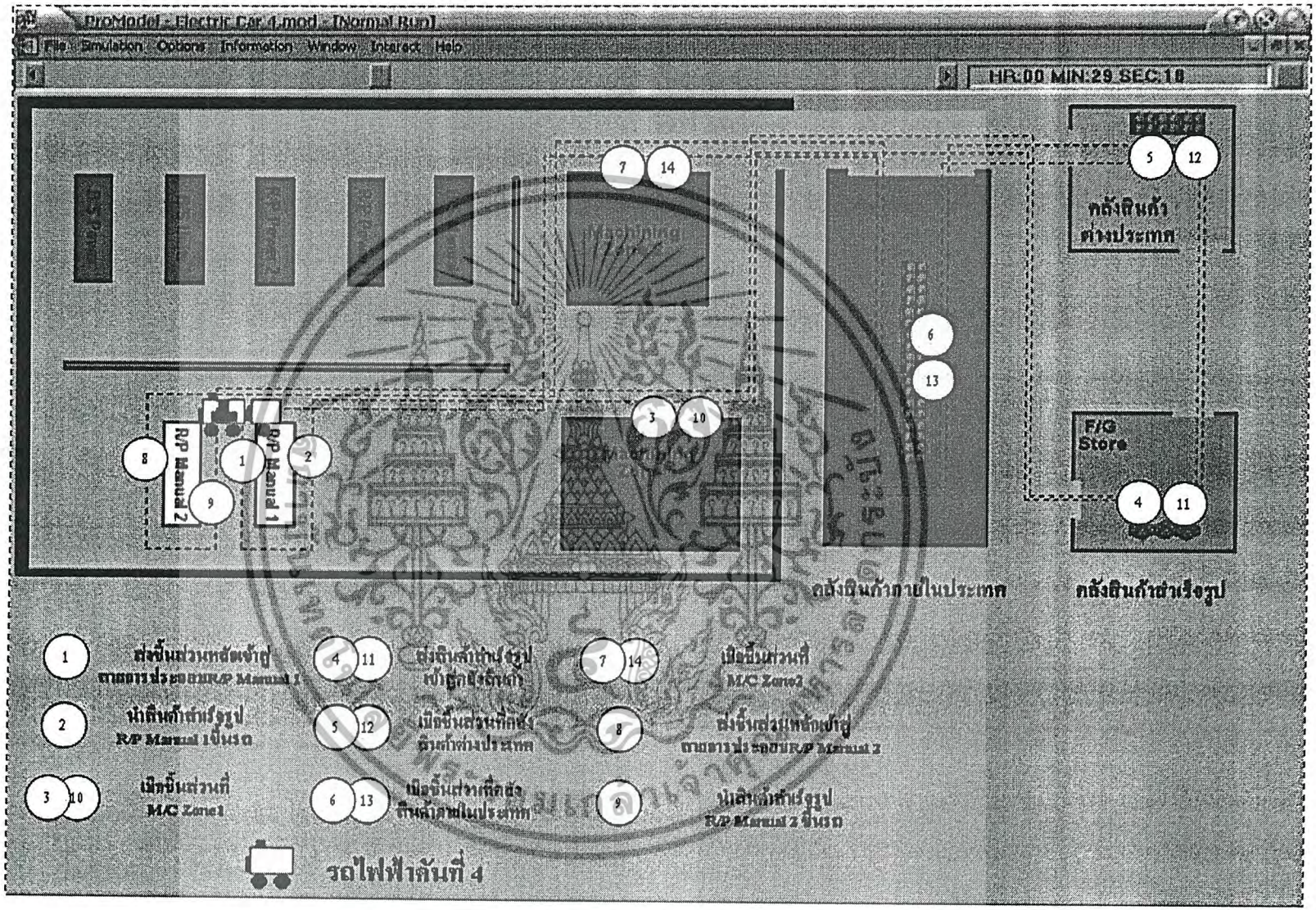
รูปที่ ผก 15 แสดงเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้าคันที่ 1 ซึ่งส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Power



รูปที่ ผก 16 แสดงเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้าคันที่ 2 ซึ่งส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ B/S Unit และ R/P Power 1



รูปที่ ผก 17 แสดงเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้าคันที่ 3 ซึ่งส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ R/P Power 2 และ B/S Manual



รูปที่ ผก 18 แสดงเส้นทางการวิ่งของรถไฟฟ้าคันที่ 4 ซึ่งส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ R/P Manual 1 และ R/P Manual 2

ภาคผนวก ข.

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสถานการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ B/S Power เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	22695	328	330.00
Product	2	22680	343	329.95
Product	3	22680	279	329.71
Product	4	22650	247	328.60
Product	5	22665	231	328.35
Product	6	22680	280	332.53
Product	7	22650	312	330.64
Product	8	22635	263	329.38
Product	9	22665	295	330.62
Product	10	22650	248	329.89

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	18.71	36.91	1.17
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	13.38	26.40	0.84
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	328	290	38
2	343	254	89
3	279	286	-7
4	247	272	-25
5	231	290	-59
6	280	261	19
7	312	278	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	263	288	-25
9	295	251	44
10	248	287	-39
Sample mean $X_{(1-2)}$			6.90
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			45.51
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			2071.43
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			32.56

$$-25.66 \leq \mu_{(1-2)} \leq 39.46$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	330.00	329.95	0.05
2	329.95	329.71	0.24
3	329.71	328.6	1.11
4	328.60	328.35	0.25
5	328.35	332.53	-4.18
6	332.53	325.64	6.89
7	330.64	329.38	1.26
8	329.38	330.62	-1.24
9	330.62	329.89	0.73
10	329.89	328.82	1.07
Sample mean $X_{(1-2)}$			0.62
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			2.73
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			7.48
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			1.96

$$-1.34 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.57$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ B/S Unit เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	12840	171	335.28
Product	2	12840	171	332.22
Product	3	12840	170	333.66
Product	4	12720	170	339.63
Product	5	12855	155	333.81
Product	6	12780	171	334.37
Product	7	12825	155	337.66
Product	8	12795	156	336.29
Product	9	12795	156	336.35
Product	10	12825	156	334.47

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	40.28	7.92	2.17
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	28.81	5.67	1.55
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	171	168	3
2	171	141	30
3	170	165	5
4	170	154	16
5	155	168	-13
6	171	146	25
7	155	159	-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	156	167	-11
9	156	139	17
10	156	166	-10
Sample mean $X_{(1-2)}$			5.80
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			15.54
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			241.51
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			11.12

$$-5.32 \leq \mu_{(1-2)} \leq 16.92$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	335.28	335.47	-0.19
2	332.22	334.35	-2.13
3	333.66	336.29	-2.63
4	339.63	333.66	5.97
5	333.81	335.37	-1.56
6	334.37	333.28	1.09
7	337.66	333.66	4.00
8	336.29	342.22	-5.93
9	336.35	334.63	1.72
10	334.47	335.81	-1.34
Sample mean $X_{(1-2)}$			-0.10
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			3.44
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			11.84
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			2.46

$$-2.56 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.36$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ R/P Power1 เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	11505	154	379.95
Product	2	11505	156	380.74
Product	3	11505	155	379.22
Product	4	11475	155	380.00
Product	5	11490	170	382.47
Product	6	11490	170	381.16
Product	7	11490	139	382.43
Product	8	11505	188	381.36
Product	9	11490	172	382.47
Product	10	11475	187	384.81

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	11.83	15.59	1.64
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	8.46	11.15	1.17
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	154	170	-16
2	156	143	13
3	155	167	-12
4	155	156	-1
5	170	170	0
6	170	148	22
7	139	161	-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	188	169	19
9	172	140	32
10	187	168	19
Sample mean $X_{(1-2)}$			5.40
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			18.23
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			332.49
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			13.04

$$-7.64 \leq \mu_{(1-2)} \leq 18.44$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	379.95	387.69	-7.74
2	380.74	382.05	-1.31
3	379.22	380.28	-1.06
4	380.00	379.79	0.21
5	382.47	379.28	3.19
6	381.16	379.63	1.53
7	382.43	379.34	3.09
8	381.36	379.92	1.44
9	382.47	387.86	-5.39
10	384.81	380.26	4.55
Sample mean $X_{(1-2)}$			-0.15
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			3.89
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			15.15
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			2.78

$$-2.93 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.64$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ R/P Power2 เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	18600	217	290.45
Product	2	18630	187	289.28
Product	3	18555	218	290.69
Product	4	18600	218	290.33
Product	5	18585	185	291.16
Product	6	18570	201	291.19
Product	7	18615	201	289.04
Product	8	18600	217	290.94
Product	9	18585	186	290.66
Product	10	18555	170	290.81

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	24.55	17.38	0.74
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	17.56	12.43	0.53
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	217	206	11
2	187	176	11
3	218	202	16
4	218	191	27
5	185	206	-21
6	201	182	19
7	201	195	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	217	204	13
9	186	173	13
10	170	203	-33
Sample mean $X_{(1-2)}$			6.20
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			18.58
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			345.29
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			13.29

$$-7.09 \leq \mu_{(1-2)} \leq 19.49$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	290.45	289.68	0.77
2	289.28	290.92	-1.64
3	290.69	289.86	0.83
4	290.33	290.49	-0.16
5	291.16	289.69	1.47
6	291.19	286.24	4.95
7	289.04	290.24	-1.20
8	290.94	285.51	5.43
9	290.66	295.54	-4.88
10	290.81	289.80	1.01
Sample mean $X_{(1-2)}$			0.66
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			3.02
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			9.12
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			2.16

$$-1.50 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.82$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ B/S Manual เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	6420	156	636.14
Product	2	6420	155	634.40
Product	3	6420	171	636.00
Product	4	6435	139	629.55
Product	5	6420	139	629.75
Product	6	6420	139	634.12
Product	7	6405	155	633.69
Product	8	6420	156	634.08
Product	9	6420	139	631.54
Product	10	6405	140	636.33

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	8.51	11.23	2.50
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	6.09	8.03	1.79
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	156	154	2
2	155	128	27
3	171	151	20
4	139	141	-2
5	139	154	-15
6	139	133	6
7	155	145	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	156	153	3
9	139	126	13
10	140	152	-12
Sample mean $X_{(1-2)}$			5.20
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			13.12
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			172.18
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			9.39

$$-4.19 \leq \mu_{(1-2)} \leq 14.59$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	636.14	631.38	4.76
2	634.40	635.72	-1.32
3	636.00	632.00	4.00
4	629.55	634.23	-4.68
5	629.75	631.42	-1.67
6	634.12	635.33	-1.21
7	633.69	633.35	0.34
8	634.08	631.66	2.42
9	631.54	635.82	-4.28
10	636.33	631.80	4.53
Sample mean $X_{(1-2)}$			0.29
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			3.50
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			12.28
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			2.51

$$-2.22 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.80$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ R/P Manual1 เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	18315	266	360.39
Product	2	18345	249	360.64
Product	3	18285	186	361.58
Product	4	18300	217	362.78
Product	5	18285	297	361.96
Product	6	18285	249	360.55
Product	7	18315	217	360.42
Product	8	18300	282	361.47
Product	9	18315	281	362.56
Product	10	18270	186	363.15

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	21.74	39.91	1.04
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	15.55	28.54	0.74
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	266	224	42
2	249	293	-44
3	186	233	-47
4	217	269	-52
5	297	224	73
6	249	286	-37
7	217	255	-38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	282	228	54
9	281	294	-13
10	186	230	-44
Sample mean $X_{(1-2)}$			-10.60
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			47.90
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			2294.71
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			34.27

$$-44.87 \leq \mu_{(1-2)} \leq 23.67$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	360.39	360.57	-0.18
2	360.64	360.08	0.56
3	361.58	358.21	3.37
4	362.78	361.25	1.53
5	361.96	361.65	0.31
6	360.55	360.2	0.35
7	360.42	359.47	0.95
8	361.47	361.54	-0.07
9	362.56	360.05	2.51
10	363.15	359.14	4.01
Sample mean $X_{(1-2)}$			1.33
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			1.48
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			2.20
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			1.06

$$0.27 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.39$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมโปรโมเดลของสายการประกอบ R/P Manual2 เป็นเวลา 460 นาทีและรันซ้ำ 10 ครั้ง

Name	Replication	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)
Product	1	22470	233	298.63
Product	2	22470	297	297.38
Product	3	22485	282	296.60
Product	4	22470	298	298.41
Product	5	22470	297	296.93
Product	6	22470	234	296.88
Product	7	22470	234	296.67
Product	8	22470	233	296.45
Product	9	22470	234	297.08
Product	10	22470	297	297.39

	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System
Confidence level	0.95	0.95	0.95
Sample size (n)	10	10	10
$t_{n-1,\alpha/2}$	2.262	2.262	2.262
Standard deviation	4.74	32.26	0.74
$Z_{\alpha/2}$	1.96	1.96	1.96
hw	3.39	23.08	0.53
Number of replications	7.51	7.51	7.51

การทดสอบในส่วนของ Current Qty In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	233	249	-16
2	297	240	57
3	282	266	16
4	298	234	64
5	297	256	41
6	234	236	-2
7	234	234	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	233	253	-20
9	234	240	-6
10	297	248	49
Sample mean $X_{(1-2)}$			18.30
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			31.68
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			1003.34
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			22.66

$$-4.36 \leq \mu_{(1-2)} \leq 40.96$$

การทดสอบในส่วนของ Avg Time In System

Replication	ระบบจากโปรแกรม X_{1j}	ระบบจริง X_{2j}	$X_{1j} - X_{2j}$
1	298.63	296.38	2.25
2	297.38	295.47	1.91
3	296.60	294.68	1.92
4	298.41	295.58	2.83
5	296.93	294.36	2.57
6	296.88	295.63	1.25
7	296.67	295.13	1.54
8	296.45	295.21	1.24
9	297.08	298.00	-0.92
10	297.39	295.69	1.70
Sample mean $X_{(1-2)}$			1.63
Sample Standard Deviation $S_{(1-2)}$			1.04
Sample Variance $S^2_{(1-2)}$			1.08
$t_{n-1,\alpha/2}$			2.262
hw			0.74

$$0.89 \leq \mu_{(1-2)} \leq 2.37$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้