



การปรับปรุงรอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดยวิธีการ

จำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา โรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Cycle Time Improvement of Manufacturing Process for Head Stack Assembly by

Computer Simulation : A Case Study of Hard Disk Drive Company

ศุภวรรณ ศรีทิพย์

Supawan Srithip

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขที่	TS 178.4 ๗74 2554 ๗.๒
Bib Key	351218
	17 ต.ค. 2554

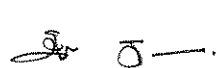
(1)


ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงรอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดย  
วิธีการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา โรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ผู้เขียน นางสาวสุภวรรณ ศรีทิพย์  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ

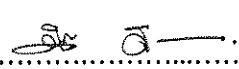
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

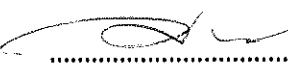
คณะกรรมการสอบ

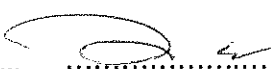
  
.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล)

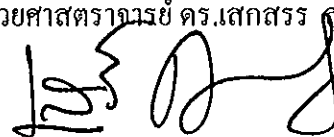
  
.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

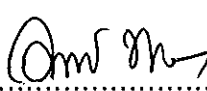
  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล)

  
.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี เสวตเสรี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
อุตสาหกรรมและระบบ

  
.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์            การปรับปรุงรอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly  
โดยวิธีการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา โรงงานประกอบ  
ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ผู้เขียน                    นางสาวศุภวรรณ ศรีทิพย์

สาขาวิชา                วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

ปีการศึกษา                2553

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตและศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของค่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดยใช้ตัวแบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งใช้โปรแกรม ProModel® เวอร์ชัน 7.0 ในการสร้างแบบจำลอง และกลุ่มของสถานีปฏิบัติงานและข้อมูลจริงที่ถูกเก็บมาในแต่ละการทำงานถูกเลือกมาใช้สร้างแบบจำลอง ในทำนองเดียวกันแบบจำลองได้รับการทวนสอบโดยวิศวกรผู้ดูแลระบบ ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเป็นทางเลือกหลักในการศึกษาประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ จำนวนเครื่องมือจับชิ้นงาน Shuttle จำนวนเครื่องมือจับชิ้นงาน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ารอบเวลาการผลิต นอกจากนี้ได้มีการใช้เครื่องมือ SimRunner เพื่อวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยทั้ง 4 เพื่อให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้ข้อสรุปว่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุดคือ จำนวนเครื่องมือจับชิ้นงาน Shuttle 6 ตัว จำนวนเครื่องมือจับชิ้นงาน Flow Fixture 9 ตัว จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR 23 คนและจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH 23 คน โดยที่สถานะนี้จะให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจาก 201,600 เป็น 217,600 ชิ้นต่อวันคิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้น 7.94% หรือทำให้ค่ารอบเวลาการผลิตลดลงจาก 0.43 เป็น 0.40 วินาทีต่อชิ้น

**Thesis Title**            Cycle Time Improvement of Manufacturing Process for Head Stack -  
Assembly by Computer Simulation : A Case Study of Hard Disk Drive  
Company

**Author**                    Ms. Supawan Srithip

**Major Program**        Industrial and Systems Engineering

**Academic Year**        2010

### **ABSTRACT**

This research aims to study the impact of factors affecting the cycle time and to study the optimum condition of the cycle time in manufacturing process for Head Stack Assembly by using computer models as a tool in the study. The ProModel simulation software version 7.0 was used to develop the model. In order to construct the model, a group of Head Stack Assembly process stations was selected and real data were collected for each operation in the model developing phase. After the developing was done, the model was validated by related engineer. Then it was implemented. In addition, factors taken into consideration as an alternative for the study consists of four main factors include number of Shuttle, number of Flow fixture, number of Pack CR and number of Load MH. The results showed that all four factors have a significant effect on the cycle time. The SimRunner was utilized to analyze the optimization of the four factors to obtain the optimum of cycle time. Which concluded that conditions that given the optimum cycle time are number of shuttle, Flow Fixture, Pack CR and Load MH are 6,9,23 and 23 respectively. This condition result the amount of Head Stack Assembly production increased from 201,600 to 217,600 pieces per day or 7.94% increase or reduce the cycle time from 0.43 remaining 0.40 seconds per piece.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และประสบการณ์ที่คณาจารย์ได้ให้ คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดี ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ไข ตรวจสอบ และให้กำลังใจตลอดการทำ วิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.เสวี เสวตเศรณี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณา แนะนำท้วงติง และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เพิ่มเติม อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณอรธรรัตน์ คอนสกุล หัวหน้าแผนกอุตสาหกรรม บริษัทเวสเทิร์น- ดิจิตอล และพี่ๆทุกท่านในแผนก ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำท้วงติง และให้ความช่วยเหลือ ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิस्क ไดรฟ์(I/UCRC in HDD Components) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center : NECTEC) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Science and Technology) รหัสโครงการ CPN-HR 13-03-51 M ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการ ดำเนินงานวิจัย พร้อมการให้คำแนะนำที่ดีในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณความดีทั้งหมดจากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้แต่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ ให้การดูแลเลี้ยงดูเป็นอย่างดี ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้และปลูกฝังคุณธรรม และเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ ความช่วยเหลือจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ศุภวรรณ ศรีทิพย์

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
ขอบเขตการวิจัย	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	9
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	10
การจำลองระบบ	10
การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด	19
การศึกษาการทำงาน	27
การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล	36
การทดสอบสมมติฐาน	38
อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ	39
3 วิธีดำเนินการวิจัย	45
กำหนดหัวข้อลักษณะของปัญหา	45
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	46
การพัฒนาแบบจำลองของระบบ	49
การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองของระบบ	53
การดำเนินการทดลองกับตัวแบบจำลองระบบ	55

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย	62
กำหนดหัวข้อลักษณะของปัญหา	62
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	68
การพัฒนาแบบจำลองของระบบ	76
การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองของระบบ	79
การดำเนินการทดลองกับตัวแบบจำลองระบบ	111
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	137
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	137
ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย	139
บรรณานุกรม	141
ภาคผนวก	144
ภาคผนวก ก ตารางแสดงการออกแบบการทดลองของข้อมูลเบื้องต้นในการทดลอง	144
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	162

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อการทำ Simulation-Optimization	27
2.2 หลักการของ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify)	29
2.3 แนวทางในการปรับปรุงงาน	30
2.4 วิธีการเหมาะสมสำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน	38
3.1 แสดงรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟลคทอเรียล 4 ปัจจัย	57
4.1 รูปแบบของ Prime Line ที่ทำการศึกษา	66
4.2 รูปแบบของ Head Rework Center Line ที่ทำการศึกษา	67
4.3 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X10HC	68
4.4 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 2X10HC	69
4.5 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X9HC	69
4.6 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 6X9HC	70
4.7 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X7HC	71
4.8 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 6X7HC	72
4.9 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC MB Full - Dip Line	72
4.10 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC MB Half - Dip Line	73
4.11 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC DT Full - Dip Line	73
4.12 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC DT Half - Dip Line	74

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.13 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Rewash Line	75
4.14 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Build Back Line	75
4.15 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X10HC	80
4.16 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 2X10HC	81
4.17 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X9HC	81
4.18 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 6X9HC	82
4.19 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X7HC	82
4.20 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 6X7HC	83
4.21 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ HRC Line DT Full Dip	83
4.22 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ HRC Line MB Full Dip	84
4.23 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Rewash Line	84
4.24 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Build Back Line	85
4.25 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X10HC	91
4.26 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 2X10HC	92
4.27 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X9HC	92
4.28 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 6X9HC	93
4.29 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X7HC	93
4.30 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 6X7HC	94
4.31 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง HRC Line DT Full Dip	94
4.32 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง HRC Line MB Full Dip	95
4.33 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Rewash Line	95
4.34 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Build Back Line	96
4.35 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X10HC	108

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.36	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 2X10HC	108
4.37	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X9HC	108
4.38	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 6X9HC	108
4.39	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X7HC	109
4.40	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 6X7HC	109
4.41	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง HRC DT Full Dip	109
4.42	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง HRC MB Full Dip	109
4.43	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Rewash Line	110
4.44	ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Build Back Line	110
4.45	วิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเบื้องต้น	111
4.46	แสดงการลองผิดลองถูกของการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม	118
4.47	วิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง	122
4.48	แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Shuttle และ # Flow Fixture	128
4.49	ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture	129
4.50	แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Pack CR และ # Load MH	130
4.51	ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH	131

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.52	แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Pack CR และ # Load MH	132
4.53	ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH	133

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
2-1	กระบวนการทำงานของการหาคำตอบด้วยวิธี Simulation-Optimization	20
2-2	กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	40
3-1	แผนภาพขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	47
3-2	การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยเครื่องมือ “Stat Fit”	48
3-3	กราฟแสดงการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยเครื่องมือ “Stat Fit”	48
3-4	การสร้างตัวแบบจำลองแทนระบบบนโปรแกรม ProModel <sup>®</sup> Version 7.0	49
3-5	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Prime Line	50
3-6	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Rework Line	51
3-7	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Rewash Line	52
3-8	แสดงขั้นตอนการทำ Model Verification โดยใช้คำสั่ง TRACE	54
3-9	แสดงการทำ Optimization โดยใช้เครื่องมือ SimRunner	60
4-1	แผนภูมิกระบวนการผลิต โดยสังเขปของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly	62
4-2	แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Prime Line	63
4-3	แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Head Rework Center Line	64
4-4	แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Rewash Line	64
4-5	แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Build Back Line	65
4-6	Prime Line 7 Operators Layout	76
4-7	Prime Line 9 Operators Layout	76
4-8	Prime Line 10 Operators Layout	76
4-9	Build Back Line Layout	77
4-10	HRC Line Pre-wash Full Dip Layout	77
4-11	HRC Line Post-wash Full Dip Layout	77
4-12	HRC Line Pre-wash Half Dip Layout	77
4-13	HRC Line Post-wash Half Dip Layout	78



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-14 Re-wash Line Pre-wash Layout	78
4-15 Re-wash Line Post-wash Layout	78
4-16 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X10HC	85
4-17 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 2X10HC	86
4-18 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X9HC	86
4-19 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 6X9HC	87
4-20 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X7HC	87
4-21 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Prime Line 6X7HC	88
4-22 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ HRC Line DT Full Dip	88
4-23 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ HRC Line MB Full Dip	89
4-24 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Rewash Line	89
4-25 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้รับมาจากระบบจริงของ Build Back Line	90
4-26 การจำลองตัวแบบเพื่อเก็บค่าที่สภาวะคงตัว	91

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4-27	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X10HC	97
4-28	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 2X10HC	97
4-29	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X9HC	98
4-30	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 6X9HC	98
4-31	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X7HC	99
4-32	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 6X7HC	99
4-33	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง HRC Line DT Full Dip	100
4-34	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง HRC Line MB Full Dip	100
4-35	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Rewash Line	101
4-36	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง Build Back Line	101
4-37	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 4X10HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	102
4-38	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 2X10HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	103

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4-39	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 4X9HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	103
4-40	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 6X9HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	104
4-41	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 4X7HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	104
4-42	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 6X7HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	105
4-43	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล HRC Line DT Full Dip ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	105
4-44	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล HRC Line MB Full Dip ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	106
4-45	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Rewash Line ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	106
4-46	ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Build Back Line ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง	107
4-47	การวิเคราะห์ค่าเสียหายและความเพียงพอของแบบจำลอง	112
4-48	การวิเคราะห์ค่าเสียหายและความเพียงพอของแบบจำลอง	123
4-49	กราฟแสดงผลที่เกิดจากแต่ละปัจจัยหลัก	125
4-50	กราฟแสดงผลที่เกิดจากอันตรกิริยาของทั้ง 4 ปัจจัย	125
4-51	เวลา Warm-up	128
4-52	พื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Shuttle และจำนวน Flow Fixture	130
4-53	พื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH	133
4-54	พื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH (ขยายขอบเขตบน)	136

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้บริโภคมีความต้องการที่หลากหลายและมีข้อจำกัดมากขึ้น อีกทั้งจำนวนประชากรมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ตลาดของผู้บริโภคมีความต้องการที่ซับซ้อนมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆจึงมีการแข่งขันกันในอัตราที่สูง นอกจากนี้ช่องว่างหรือความได้เปรียบเสียเปรียบในเชิงของความสามารถในการแข่งขันระหว่างโรงงานในปัจจุบันลดลงอย่างมากหรือแทบจะไม่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นด้านเครื่องจักร มาตรการการกีดกันทางภาษี ค่าแรงคนงานหรือวัตถุดิบ ดังนั้นความสามารถในการบริหารจัดการหรือความสามารถในการนำทรัพยากรต่างๆที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ให้ก่อประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างโรงงานแต่ละแห่ง การเพิ่มกำไรระยะยาวของโรงงานเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้โรงงานสามารถแข่งขันในตลาดได้ โดยปกติแนวทางการเพิ่มกำไรในระยะยาวของโรงงานมี 2 แนวทางคือการเพิ่มรายได้และการลดรายจ่าย ในส่วนของการเพิ่มรายได้เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อรายได้คือราคาขายและปริมาณที่ขายได้ วิธีการทำกำไรระยะยาวคือการเพิ่มราคาหรือการเพิ่มปริมาณการขาย การเพิ่มราคาจะทำได้ก็ต่อเมื่อมีผลิตภัณฑ์ใหม่ๆเท่านั้นซึ่งสิ่งที่ตามมาคือ โรงงานจะต้องมีการทำวิจัยและพัฒนา (Research and Development, R&D) ร่วมด้วย ส่วนการเพิ่มปริมาณการขายก็เป็นสิ่งที่ทำได้ยากในปัจจุบัน สำหรับแนวทางการลดต้นทุนการผลิตนั้นสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือการลดต้นทุนปัจจัยนำเข้าและการลดต้นทุนการดำเนินงาน ในการลดต้นทุนปัจจัยนำเข้าซึ่งได้แก่วัตถุดิบ เครื่องจักรและแรงงานนั้น โรงงานอาจลดต้นทุนได้บ้างแต่โดยส่วนมากแล้ววัตถุดิบและปัจจัยนำเข้าอื่นๆ จะถูกกำหนดและควบคุมทั้งด้านคุณภาพ ปริมาณและราคาจากสภาวะของตลาดภาวะทางเศรษฐกิจและการเมือง ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ ส่วนการลดต้นทุนการดำเนินงานเป็นกิจกรรมที่โรงงานสามารถปฏิบัติได้เอง การลดค่ารอบเวลาการผลิต (Cycle Time) เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ รวมถึงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเจริญก้าวหน้าทาง

วิทยาการสูง มีการคิดค้นเครื่องจักรใหม่ๆ อยู่เสมอ ส่งผลให้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตอยู่ในปัจจุบัน มีสภาพล้ำสมัย คุณค่าในการใช้งานลดลงหรือหมดอายุการใช้งานเร็วกว่าเครื่องจักรในอุตสาหกรรมทั่วไป ด้วยเหตุนี้ถ้าโรงงานสามารถลดค่ารอบเวลาการผลิตให้น้อยลงได้ย่อมหมายถึงโรงงานสามารถผลิตได้มากขึ้นในช่วงอายุการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่คุ้มค่าแล้วยังเป็นการลดต้นทุนนำไปสู่กำไรที่เพิ่มขึ้นของโรงงาน นอกจากนี้จากข้อจำกัดในด้านพื้นที่ของโรงงาน การลดค่ารอบเวลาการผลิตจะช่วยเพิ่มความสามารถในการรองรับความต้องการของลูกค้าในช่วงที่มีความต้องการสูงๆ ได้โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มในส่วนในพื้นที่ จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนแรงงานซึ่งเป็นการลดต้นทุนที่จะเกิดได้จำนวนมาก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อหาค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเพื่อให้โรงงานสามารถผลิตได้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ที่โรงงานมีอยู่ แต่เนื่องจากการทำการทดลองเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ เพื่อหาค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ในกระบวนการจริงจะเป็นการรบกวนกระบวนการผลิตเดิมซึ่งสิ่งตามมาคือ ค่าใช้จ่ายจำนวนมาก อีกทั้งยังสิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษาผ่านการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม ProModel® Version 7.0 เป็นเครื่องมือในการศึกษาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

## 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา กาญจนสุนทร [1] ศึกษาเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยนำเสนอความเป็นมา หลักการ ตัวอย่างของการนำเทคนิคนี้ไปใช้ในด้านต่างๆ การจำแนกประเภทของเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสม รวมถึงตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการทำ Simulation – Optimization

บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์ [2] ได้ศึกษาวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของสายการผลิตแผ่นวงจรชนิดอ่อน (ส่วนประกอบหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์) โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบจำลองของสายการผลิตที่สร้างขึ้นนั้นทำให้ทราบถึงสถานการณ์ที่เป็นข้อจำกัดตามหลักทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of Constraints) จึงทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขข้อจำกัดเหล่านั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตได้ 3 แนวทางคือ 1) เพิ่มพนักงานให้กับสถานีงานที่

เป็นข้อจำกัดของสายการผลิต 2) เพิ่มกำลังการผลิตให้แก่สายการผลิต โดยการเพิ่ม Printing Fixture ในสถานีงานที่ 1 จำนวน 1 หน่วย และ 3) เพิ่มกำลังการผลิตให้แก่สายการผลิต โดยการเพิ่ม Printing Fixture ในสถานีงานที่ 1 จำนวน 2 หน่วย โดยทั้ง 3 แนวทางสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตและเพิ่มผลประโยชน์ให้แก่สายการผลิตได้อย่างมาก

ประพันธ์ เพ็ญภากรณ์ [3] ได้วิเคราะห์ระบบแถวคอยการเข้ารับบริการของผู้ป่วยแผนกโรคภูมิแพ้ภายใน โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า เพื่อศึกษาปัญหาที่ทำให้การให้บริการเกิดความล่าช้า และผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนแพทย์และเวลาเริ่มการให้บริการ ว่าระบบใดมีประสิทธิภาพดีกว่า โดยการเปรียบเทียบเวลาทั้งหมดที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบ การวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงของเวลาที่ใช้ในการให้บริการแต่ละขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนตรวจโรค การจัดแฟ้ม การชำระเงินและตรวจสอบใบเสร็จ ผลการวิจัยพบว่า ช่วงเวลาในการเข้าสู่แผนกโรคภูมิแพ้ของผู้ป่วยและเวลาให้บริการในขั้นตอนการตรวจสอบใบเสร็จมีการแจกแจงแบบเอกซ์โปเนนเชียล ส่วนเวลาให้บริการในขั้นตอนการตรวจโรค ขั้นตอนการจัดแฟ้มและ ขั้นตอนการชำระเงินมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ จากการจำลองระบบการให้บริการที่ระบบพบว่า ภายใต้อัตราความเชื่อมั่นที่ระดับ 95% เวลาที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบการให้บริการในระบบที่หนึ่งมีค่าระหว่าง 27.276 - 29.436 นาที ในระบบที่สองมีค่าระหว่าง 49.059 - 52.222 นาที ในระบบที่สามมีค่าระหว่าง 16.291 - 17.316 นาที และในระบบที่สี่มีค่าระหว่าง 27.590 - 29.326 นาที เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการรอเข้ารับบริการในขั้นตอนการตรวจโรคในแต่ละระบบพบว่า ระบบการให้บริการ ระบบที่สามใช้เวลาน้อยที่สุดมีค่าระหว่าง 10.163 - 11.188 นาที ระบบที่หนึ่งและสี่ใช้เวลาใกล้เคียงกัน ได้แก่ 21.51 - 23.311 นาที และ 21.461 - 23.197 นาที ตามลำดับ และระบบที่สองใช้เวลานานที่สุด 42.532 - 46.095 นาที ส่วนเวลาที่ใช้คอยในขั้นตอนอื่น พบว่าทั้งสี่ระบบไม่แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่สามจะดีกว่าทุกระบบ

ภทวดี เต็มสุวรรณพานิช [4] ศึกษาเวลาการทำงานของเครื่องจักรและลดการสูญเสียเวลารอคอยในการซ่อมแซมเครื่องจักรที่ทำการผลิตในสายการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม ARENA เป็นเครื่องมือ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของฝ่ายบำรุงรักษาตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงธันวาคมปี 2550 นั้นนำมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) พบว่าตัวแบบแถวคอยที่ได้เป็นแบบ G/G/1 ทำให้ทราบเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรต้องรอคอยในการซ่อมมีค่าเท่ากับ 502.40 วินาที

จนถึงได้รับการซ่อมเสร็จเรียบร้อยและพบว่าเวลารวมเฉลี่ยของเครื่อง ST02 และ ST10 เท่ากับ 448.55 วินาที และ 554.24วินาที ตามลำดับ และนำค่าที่ได้จากตัวแบบแถวคอยมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่น้อยสุดในการบำรุงรักษาเครื่องจักร ทำให้ทราบระยะเวลาที่น้อยสุดในการบำรุงรักษาและยังเป็นการวางแผนเพื่อป้องกันก่อนการเกิดขัดข้องของเครื่องจักร เป็นการลดการสูญเสียเวลาของการผลิตและยังสามารถประเมินค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่เกิดขึ้นต่อวันเมื่อเครื่องจักรเสีย

วนัฐพงษ์ คงแก้ว [5] ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงานของแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ซึ่งแบบจำลองถูกนำมาใช้ศึกษาระบบในปัจจุบันและการวิเคราะห์วิธีการต่างๆเพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการไหลของใบสั่งยาในระบบโดยใช้โปรแกรม ProModel Version 6.0 ในการสร้างแบบจำลองและกลุ่มของสถานีปฏิบัติงานโดยข้อมูลจริงที่ได้รับรวบรวมมาในแต่ละการทำงานถูกเลือกมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ในทำนองเดียวกันแบบจำลองได้ทวนสอบโดยผู้เชี่ยวชาญและถูกเพิ่มเติมสารสนเทศที่เกี่ยวข้องโดยเภสัชกร นอกจากนี้ปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณาเป็นทางเลือกหลักในการปรับปรุงระบบประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกเกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวนเจ้าหน้าที่จัดยาในแต่ละสถานีปฏิบัติงาน ส่วนปัจจัยที่ 2 เป็นการประยุกต์ใช้สายพานในการลำเลียงใบสั่งยาในแต่ละกระบวนการจัดยา และได้ข้อสรุปว่าแบบจำลองที่มีผลทำให้ใบสั่งยาใช้เวลาอยู่ในกระบวนการจัดยาน้อยที่สุดและเหมาะสมต่อการลงทุนคือ แบบจำลองที่มีการจัดสรรให้สถานีปฏิบัติงานที่ 1 และ 2 มีเจ้าหน้าที่ประจำสถานีปฏิบัติงานละ 3 คน สถานีปฏิบัติงานที่ 3 4 5 และ 6 มีเจ้าหน้าที่ประจำสถานีปฏิบัติงานละ 1 คน ซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ใบสั่งยาอยู่ในกระบวนการจัดยาลงได้ 20.44% จากเวลาเฉลี่ยที่ใบสั่งยาอยู่ในกระบวนการจัดยาในปัจจุบัน 18.79 นาทีต่อใบ

อัญญา แดงทองดี [6] ได้วิเคราะห์สมรรถนะและหาแนวทางในการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบกรวย โดยนำหลักการของการศึกษาการทำงาน (Work study) มาศึกษาวิธีการทำงานและเก็บข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละกระบวนการ นำข้อมูลด้านเวลาที่รวบรวมได้มาหาลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) ของระบบงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และใช้การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ผลเนื่องจากไม่สามารถดำเนินงานในพื้นที่ปฏิบัติงานจริงได้ สมรรถนะของสภาพการผลิตที่ศึกษาได้แก่ อัตราการ

ใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เวลารอคอยงาน เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิต ปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลา โดยเปรียบเทียบกับผลปัจจุบันกับผลจากแบบจำลองที่มีการนำเสนอ แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ผลการเปรียบเทียบจากแบบจำลองที่มีการปรับปรุงด้วยการเพิ่มหน่วยชุกของแดง พบว่าสามารถผลิตงานได้เพิ่มอีกจากเดิมเฉลี่ยสัปดาห์ละ 252 เป็น 258 ลูก ทำให้ผลิตงานได้มากขึ้น เวลาไหลของงานในกระบวนการผลิตลดลงเฉลี่ย 155.94 นาที เวลารอคอยงานลดลงเฉลี่ย 170.71 นาที

Ahad Ali และคณะ [7] ได้ศึกษาและออกแบบจำลองแม่แบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพื่อใช้ในการจำลองระบบการประกอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยจะใช้กับโปรแกรม Arena ซึ่ง แม่แบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีความยืดหยุ่นสูงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยในขั้นตอนการสร้างแม่แบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะมีการใช้ข้อมูลคุณสมบัติในเชิงพลวัตของเครื่องจักร ซึ่งได้แก่ ช่วงเวลาการเสียของเครื่องจักร อัตราการเสียของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการยกชิ้นงาน เวลาการซ่อมบำรุงรวมถึงทักษะของคณงานอีกด้วย ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยใช้แม่แบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์นี้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแทนของระบบจริงได้เป็นอย่างดี

Chao Qi และคณะ [8] ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยนำเข้าต่างๆ ได้แก่ รูปแบบการแจกแจงการมา จำนวนชิ้นงานนำเข้าในแต่ละครั้ง รูปแบบช่วงเวลาเสียของเครื่องจักรและจำนวนชิ้นงานส่งออกในแต่ละครั้ง ที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิต จำนวนชิ้นงานในกระบวนการและการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือต่างๆ ของกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ของสารกึ่งตัวนำโดยใช้การจำลองแบบด้วยโปรแกรม ProModel เป็นเครื่องมือในการศึกษา จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าต่างๆกับค่ารอบเวลาการผลิตมีความซับซ้อนมาก ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตมากที่สุดคือ การกำหนดให้จำนวนชิ้นงานในกระบวนการมีค่าคงที่ที่ 14 ชิ้นซึ่งจะให้ค่ารอบเวลาการผลิตต่ำที่สุด

Charles R. Harrell และคณะ [9] ได้ศึกษาเทคนิคการจำลองแบบด้วยโปรแกรม ProModel ในงานวิจัยนำเสนอภาพรวมของโปรแกรม ProModel ตั้งแต่การสร้างแบบจำลอง การวิเคราะห์ผลรวมถึงการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด



Deborah L. Heflin และคณะ [10] ได้ศึกษารายละเอียดต่างๆ รวมถึงการใช้งาน ProModel ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้ง่าย สามารถใช้จำลองระบบการผลิตตั้งแต่ที่เป็นงานขนาดเล็กจนไปถึงระบบการผลิตขนาดใหญ่ รวมถึงระบบห่วงโซ่อุปทาน โดยให้รายละเอียดว่า ProModel เป็นวินโดวที่มีกราฟฟิคอินเตอร์เฟซที่เข้าถึงได้ง่าย มีโครงสร้างของโปรแกรมที่ขจัดความจำเป็นในการเขียนโปรแกรมในขั้นตอนการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ ProModel ยังมีเครื่องมือที่ช่วยหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเรียกว่า SimRunner ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลลัพธ์สำหรับคำถามจำพวก ‘what if ?’ หรือ “จะเกิดอะไรขึ้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นกับระบบ ไม่ว่าจะเป็น การเปลี่ยนแปลงนโยบาย เปลี่ยนแปลงเงื่อนไข หรือ เปลี่ยนแปลงข้อจำกัดต่างๆ” โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยการทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยอัตโนมัติผ่านแบบจำลองเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยรายละเอียดของ ProModel และนำเสนอขั้นตอนการจำลองสถานการณ์ การวิเคราะห์ข้อมูลและความสามารถในการหาค่าที่ดีที่สุดโดยการใช้ ProModel

Mohamed A. Ahmed และคณะ [11] ได้ศึกษาการนำการจำลองแบบมาใช้ร่วมกับการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อออกแบบเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจสำหรับการดำเนินงานของแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลรัฐในคูเวต ซึ่งในงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการในการนำการจำลองแบบมาใช้ร่วมกับการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อหาจำนวนที่มดแลร์กษาที่เหมาะสมที่สุดต่อจำนวนคนไข้ที่มากที่สุดและเพื่อลดเวลาที่คนไข้อยู่ในระบบ วัตถุประสงค์หลักของเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจนี้คือ การหาผลกระทบของจำนวนของที่มดแลร์กษาที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรักษา ซึ่งผลที่ได้คือ ในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เดิมของโรงพยาบาล การจำลองแบบและการหาค่าที่ดีที่สุด สามารถเพิ่มความสามารถในการรักษาคนไข้เพิ่มขึ้น 28% และลดเวลารอคอยโดยเฉลี่ยของคนไข้ลง 40%

Pochamarn T. [12] ประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ เพื่อช่วยตัดสินใจเกี่ยวกับการขยายกำลังการผลิตและการออกแบบผังโรงงานของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก แนวคิดการออกแบบผังโรงงานถูกใช้ในการออกแบบทางกายภาพจากนั้นจะนำการจำลองแบบมาทดสอบความสามารถของโรงงานที่สถานการณ์ความต้องการต่างๆของลูกค้านี้ จะใช้ ProModel เป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษา โดยจะใช้จำนวนชิ้นงานในกระบวนการและความสามารถในการผลิตให้ตรงเวลาเป็นตัววัดประสิทธิภาพ ในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนชั่วโมงการทำงานของคนงานหรือเพิ่มจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจะเลือกผังทางกายภาพที่การไหลของชิ้นงานในโรงงานเป็นไปได้ง่ายและมีพื้นที่ว่างสำหรับชิ้นงานในกระบวนการ

Qiuli Yu และคณะ [13] ได้ศึกษาผลจากการใช้ Lifting Assist Device (LAD) เพื่อช่วยป้องกันการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลัง (Low Back Pain, LBP) ของคนงานในขั้นตอนการติดตั้ง หลังคาแก้ว (Panoramic Glass Sunroof) ในอุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ที่ส่งผลต่อค่าผลิตภาพ โดยใช้โปรแกรม ProModel ในการจำลองระบบพบว่า การติดตั้งหลังคาแก้ว (Panoramic Glass Sunroof) โดยใช้ LAD จะให้ค่าผลิตภาพ 6,526 คันต่อเดือน ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งหลังคาแก้ว (Panoramic Glass Sunroof) ด้วยมือที่มีค่าผลิตภาพ 6,619 คันต่อเดือนถึง 93 คันต่อเดือน และนอกจากนี้ระบบที่จำลองขึ้นมายังสามารถแสดงให้เห็นถึงค่า ความเร็วสูงสุดที่เป็นไปได้ของสายพานลำเลียงและค่าเปอร์เซ็นต์การนำไปใช้ประโยชน์ (%Utilization) ของทั้งสายพานลำเลียงและของคนงานอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาถึงการเปรียบเทียบผลได้ผลเสียระหว่างผลิตภาพกับค่าความปลอดภัย

Sigurdur Ólafsson และคณะ [14] ได้ศึกษาเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยนำเสนอตั้งแต่ความเป็นมา หลักการ รวมถึงเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสมต่างๆทั้งในส่วนที่ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง เช่น การประมาณ โดยการสุ่ม (Stochastic Approximation) วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology) สำหรับแก้ปัญหาที่ใช้ตัวแปรตัดสินใจชนิดต่อเนื่องหรือการเลือกคำตอบเชิงสถิติ (Statistical Selection) การค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) และวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบเมทาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) สำหรับแก้ปัญหาที่ใช้ตัวแปรตัดสินใจชนิดไม่ต่อเนื่อง

Yong-Hee Han และคณะ [15] ได้ศึกษาการลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสีของกระบวนการพ่นสีในกระบวนการผลิตรถยนต์ เนื่องจากการเปลี่ยนสีในแต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายที่สูง เพราะจะเกิดการสูญเสียและตัวทำลายในระหว่างการเปลี่ยนสีในแต่ละครั้ง ซึ่งในการศึกษาจะทำการปรับเปลี่ยนสายพานลำเลียงในกระบวนการเพื่อให้ได้จำนวนครั้งในการเปลี่ยนสีน้อยที่สุดซึ่งจะทำการศึกษาโดยใช้การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์เพราะการทดลองปรับเปลี่ยนสายพานลำเลียงในกระบวนการผลิตจริงจะมีค่าใช้จ่ายสูง

จากข้อมูลการวิจัยเหล่านี้ทำให้สรุปได้ว่า การจำลองแบบสถานการณ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพอย่างมากที่นำมาช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์หาผลลัพธ์ เพื่อนำไปใช้ในการ

แก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งมีระบบหรือขั้นตอนการทำงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพของธุรกิจโลกปัจจุบันที่มีการแข่งขันกันอย่างรุนแรงในทุกๆ ด้าน การจำลองแบบปัญหาจึงกลายมาเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญและมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้งาน เพื่อช่วยในด้านการวิเคราะห์ การออกแบบ การวางแผน การควบคุมงาน และอื่นๆ อีกมากมาย สำหรับระบบงานต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง

จากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทำให้เกิดความสนใจและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ขึ้น โดยจะนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต HSA ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่มีความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและสอดคล้องกับข้อจำกัดที่มีอยู่ของโรงงาน เพื่อนำไปสู่การเพิ่มความสามารภในการแข่งขันให้กับโรงงานต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยวิธีการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

2) เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของค่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้การวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์และดำเนินการศึกษาตามกำหนดเวลาที่เหมาะสมจึงได้กำหนดขอบเขตการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1) ศึกษาและจำลองกระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้โปรแกรม ProModel Version 7.0

2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าการผลิตกับค่ารอบเวลาการผลิตโดยใช้ตัวแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิต Head Stack - Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 2) เพิ่มปริมาณการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มากขึ้นด้วยต้นทุนการผลิตที่บริษัทกำหนดไว้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคำหาค่ารอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ โดยใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับในบทความนี้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจำลองแบบปัญหา การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสม การศึกษาการทำงาน การทดสอบการแจกแจงข้อมูล การทดสอบสมมติฐานและรายละเอียดเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ถูกประมวลไว้และนำเสนอโดยสรุปในบทนี้

#### 2.1 การจำลองระบบ

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการอันหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ มาแต่โบราณแล้ว แต่ที่ได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่างๆ อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นผลมาจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ในระยะแรกๆ มีผู้ใช้ที่ให้คำจำกัดความของการจำลองแบบปัญหาตามความเห็นและวิธีการนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น “เป็นเทคนิคเพื่อการพัฒนา ทดสอบและประเมินผล โดยสมมติเหตุการณ์แวดล้อมเสมือนว่าเป็นจริงก่อนที่จะลงมือปฏิบัติการจริง” [16], “เป็นเทคนิคกระทำการทดลองกับแบบจำลองของระบบ การทดลองกระทำกับแบบจำลองไม่ต้องกระทำกับของจริง” [17], “เป็นการสร้างเครื่องมือทดลอง ซึ่งจะทำงานเลียนแบบระบบของเรื่องที่สนใจได้อย่างรวดเร็วและประหยัด” [18], “เป็นการสมมติเหตุการณ์เสมือนจริง ผู้ใช้เหมือนจริง โดยมีเป้าหมายแน่นอนทำให้ผู้ใช้ได้เรียนรู้โดยการกระทำ ได้ผลที่เป็นจริง ไม่ต้องเกิดการสูญเสียซึ่งต้องออกแบบระบบอย่างรอบคอบ” [19], แต่คำจำกัดความที่เป็นที่ยอมรับ สามารถครอบคลุมความหมายของการจำลองแบบปัญหาได้เหมาะสมที่สุดคือคำจำกัดความที่ให้โดย Shannon ซึ่งให้คำจำกัดความว่า “การจำลองแบบปัญหาคือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลอง โดยใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้”

จากคำจำกัดความดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการของการจำลองแบบปัญหานั้น แบ่งเป็นสองส่วน คือ การสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่งและการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กลไกของวิธีการของแบบจำลองแบบปัญหานั้นขึ้นอยู่กับแบบจำลองและการใช้แบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานี้อาจเป็นหุ่น เป็นระบบ หรือเป็นแนวความคิดลักษณะหนึ่งลักษณะใด โดยไม่จำเป็นต้องเหมือน (Identical) กับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง โดยที่กลไกสำคัญอันหนึ่งในการจำลองแบบปัญหาอยู่ที่แบบจำลอง การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาได้ ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นอย่างดี ความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างและใช้งานแบบจำลอง ผู้ที่ไม่มีความเข้าใจในระบบงานจริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้นๆ ได้

การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาค้นคว้าของระบบงานด้วยแบบจำลอง ซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบบจำลองก่อนที่จะมาอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้อาจจะอยู่ในรูปของแบบจำลองประเภทหนึ่งประเภทใดก็ได้ เช่น แบบจำลองทางกายภาพ แบบจำลองอนาล็อก แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยที่การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์นี้เป็นที่นิยมใช้ที่สุดของการใช้จำลองแบบปัญหา เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้หลายประเภท ในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ได้รับการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง [20]

### 2.1.1 ระบบ (System)

ในการที่จะสามารถสร้างแบบจำลองเพื่อเรียนรู้หรือประเมินการทำงานของระบบจริง ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบจริงเป็นอย่างดีจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้นๆ ได้

#### 2.1.1.1 นิยามระบบ

ระบบ หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์กัน ในการศึกษากระบวนการใด ๆ เพื่อกำหนดเป็นลักษณะของระบบงานนั้นจะใช้วิธีการกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Boundaries) ประกอบด้วย

1) การกำหนดองค์ประกอบของระบบโดยมีสิ่งที่ต้องพิจารณา ประกอบด้วย ลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) กิจกรรม (Activities) และสถานภาพของระบบ (System Status) ภายหลังจากการทำกิจกรรม

2) การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ

3) การกำหนดองค์ประกอบอื่นๆภายนอกระบบที่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ ซึ่งเรียกโดยรวมว่าสิ่งแวดล้อมระบบ (System Environment)

#### 2.1.1.2 ประเภทของระบบ

การจำแนกประเภทของระบบ สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นกับการนำไปใช้งาน สำหรับการจำลองจะจำแนกประเภทตามลักษณะการเปลี่ยนสถานะภาพ โดยสามารถจำแนกประเภทได้ 2 ลักษณะ ประกอบด้วย [21]

1) จำแนกตามพฤติกรรมในการเปลี่ยนสถานะภาพเทียบกับเวลา

1.1) ระบบต่อเนื่อง (Continuous Systems) ระบบมีการเปลี่ยนสถานะภาพไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง

1.2) ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Systems) ระบบมีการเปลี่ยนสถานะภาพในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2) จำแนกตามสถานะภาพที่เปลี่ยนแปลงไป

2.1) ระบบตายตัว (Deterministic Systems) ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานะภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน

2.2) ระบบไม่แน่นอน (Stochastic Systems) ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพเป็นแบบสุ่ม โดยใช้หลักการของความน่าจะเป็นในการทำนายสถานะภาพที่ระดับใหม่

#### 2.1.2 แบบจำลอง (Simulation Models)

ตัวแทนของวัตถุระบบหรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่งโดยสามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ

1) เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought) ช่วยให้ผู้สร้างมองเห็นขั้นตอนการทำงานว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างที่จะต้องทำและทำอะไรก่อนอะไรหลัง

2) เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication) ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงานและช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรมปัญหาและการแก้ปัญหาของระบบ

3) เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (A tool of training & instruction) เช่นแบบจำลองเครื่องควบคุมการบินช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและความคุ้นเคยกับระบบควบคุมเครื่องบินก่อนขึ้นฝึกบินจริง

4) เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool of prediction) ช่วยให้ผู้สร้างสามารถคาดคะเนหรือทำนายได้ว่าเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบเกิดขึ้นจะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับระบบ

5) เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation) ในกรณีที่ที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่าง ๆ กับระบบงานจริงแต่ไม่สามารถทำได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้นๆ มาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

#### 2.1.2.1 ประเภทของแบบจำลอง (Classification of Simulation Models)

ในการจำแนกประเภทของแบบจำลอง สามารถจำแนกได้ตามประเภทของระบบงานที่แบบจำลองเป็นตัวแทน หรือจำแนกตามลักษณะพิเศษ ดังนี้

1) แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Models) แบบจำลองที่มีลักษณะเหมือนกับระบบงานจริง โดยอาจมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่า (Scaled Models) อาจเป็นแบบจำลองในมิติใดมิติหนึ่งหรือ 3 มิติ ตัวอย่างเช่น เครื่องยนต์ต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถนะก่อนการผลิตจริง แบบจำลองของส่วนควบคุมการบินของเครื่องบินหรือแบบจำลองผังโรงงาน เป็นต้น

2) แบบจำลองอนาลอก (Analog Models) แบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง แต่อาจมีรูปลักษณะไม่เหมือนกับระบบงานจริง ตัวอย่างเช่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่าง ๆ ที่วัดค่าได้ โดยใช้ขนาดความยาวของเส้นกราฟในการแทนค่าปริมาณ แผนภูมิการจัดองค์กร (Organization Charts) หรือแผนภูมิการไหลของวัตถุดิบผ่านกระบวนการผลิต

3) เกมการบริหาร (Management Games) แบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Models) ในกิจการต่าง ๆ เช่น ธุรกิจ การลงทุน สงคราม ฯลฯ เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลเปรียบเทียบเมื่อมีการตัดสินใจในแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ

4) แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Models) แบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยอาจเป็นแบบจำลองที่แปลงมาจากแบบจำลองประเภทอื่นๆ เช่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) แบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบจริง เช่น X แทนค่าใช้จ่ายในการผลิต Y แทนจำนวน



สินค้าที่ผลิต และแทนค่าลงในสูตรการคำนวณต่าง ๆ ในระบบงานจริงที่มีความยุ่งยากซับซ้อน อาจใช้แบบจำลองหลาย ๆ ประเภทร่วมกัน

### 2.1.2.2 โครงสร้างของแบบจำลอง

สามารถเขียนในรูปแบบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ (2.1)

$$E = f(x_i, y_i) \quad (2.1)$$

โดยที่  $E$  = ผลของการปฏิบัติการของระบบ

$x_i$  = ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้

$y_i$  = ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้

$f$  = ความสัมพันธ์ระหว่าง  $x_i$  และ  $y_i$  ที่ทำให้เกิด  $E$

จากรูปแบบของฟังก์ชันข้างต้น โครงสร้างของแบบจำลองจะประกอบไปด้วย

1) องค์ประกอบ (Components) ทุกระบบจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองที่ใช้แทนระบบจริง ก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงาน of ระบบ

2) ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables & Parameters)

2.1) ตัวแปร เป็นค่าที่ผันแปร มีได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน แยกออกได้เป็น 2 ประเภท

2.1.1) ตัวแปรภายนอก (Exogeneous Variables) มีลักษณะเป็นตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ซึ่งหมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายนอกระบบ

2.2.2) ตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) ตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ มีลักษณะเป็นตัวแปรสถานภาพ (Status Variables) ตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบและตัวแปรนำออก (Output Variables) ผลที่ได้จากการใช้งานระบบ

ในเชิงสถิติ ตัวแปรจากภายนอกจะเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในจะเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables)

2.2) พารามิเตอร์ เป็นค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้น หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล

3. ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) ฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ซึ่งมีได้ 2 ลักษณะ

3.1) แน่นอนตายตัว (Deterministic) เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาผลลัพธ์ที่แน่นอนได้

3.2) ไม่แน่นอน (Stochastic) เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชัน จะไม่สามารถระบุผลลัพธ์ที่แน่นอนได้

รูปแบบของฟังก์ชันจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น  $Y = 4 + 0.7X$  ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้อาจหาได้จากสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

### 2.1.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้การจำลองแบบปัญหา

การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นเครื่องมือซึ่งใช้บอกผลต่างๆอันจะเกิดจากระบบงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ผลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหานั้นอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงหรืออาจจะต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีที่อาจใช้ช่วยแก้ปัญหาในการดำเนินงานของระบบงานได้ ดังนั้นเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นจึงต้องวิเคราะห์ปัญหานั้นๆ เสียก่อนว่าควรจะใช้เครื่องมือใดเข้าไปช่วยแก้ปัญหา เมื่อเป็นดังนี้จึงเป็นความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือ เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าเครื่องมือต่างๆ เหมาะสมเพียงใดในการนำไปใช้แก้ปัญหา

เหตุผลที่มีการนำแบบจำลองมาทดลองแทนการทำงานในระบบจริง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ

2. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลของสมรรถนะของคน อาจได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของตนเอง จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง

3. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้คงที่ทำให้ผลการทดลองที่ได้แต่ละครั้งของการทดลองอาจไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกัน

4. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

5. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการ

จากอุปสรรคที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองกับระบบงานจริงได้ จึงคิดที่จะใช้การจำลองแบบปัญหาในการช่วยแก้ไขปัญหา [18, 19] โดยสรุปเราควรพิจารณาใช้การจำลองแบบปัญหาเมื่อเงื่อนไขข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้เกิดขึ้น

1. กรณีที่ไม่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์

2. กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่การคำนวณและขั้นตอนในการวิเคราะห์ยุ่งยาก ทำให้เสียเวลาและแรงงานมาก และการจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีการแก้ไขปัญหที่ง่ายกว่า

3. กรณีที่มีวิธีการแก้ไขปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากมาก แต่เกินกว่าขีดความสามารถของบุคลากรที่มีอยู่และค่าใช้จ่ายในการจำลองแบบปัญหาถูกกว่าการจ้างผู้เชี่ยวชาญในวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นมาแก้ปัญหา

4. กรณีที่มีความจำเป็นในการสร้างสถานการณ์ในอดีตขึ้น เพื่อศึกษาหรือประเมินค่าพารามิเตอร์

5. กรณีที่การจำลองปัญหาเป็นวิธีเดียวที่จะสามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากไม่อาจทำการทดลองและวัดผลในสภาพจริง

6. กรณีที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบงานในช่วงระยะเวลาการใช้งานระบบนานๆ เช่น การศึกษาปัญหาเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ

ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของการจำลองแบบปัญหาก็คือ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาและฝึกอบรมเกี่ยวกับระบบงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมและองค์ประกอบต่างๆ ของระบบงาน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบงาน รวมทั้งผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการนำเอาวิธีการใหม่เข้าไปใช้ในการดำเนินงานของระบบงาน ทำให้การวางแผนการดำเนินงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การจะนำเอาเครื่องมือใดไปใช้ ควรต้องทราบถึงข้อเสียของ เครื่องมือนั้นๆ ดังนั้นจึงควรทราบว่าเพราะเหตุใดจึงไม่ควรใช้การจำลองแบบปัญหา สรุป โดยสังเขปได้ดังนี้

1. การที่จะได้มาซึ่งแบบจำลองที่ดีนั้นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมากรวมทั้งต้องอาศัยความสามารถอย่างสูงของผู้ออกแบบจำลอง
2. แบบจำลองที่ได้ในบางครั้งดูเหมือนว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้แต่ในความเป็นจริงแบบจำลองนั้นอาจจะไม่ใช่ตัวแทนของระบบงานนั้นๆ และการที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองนั้นใช้ได้หรือไม่ก็ไม่ใช่ว่าเรื่องง่าย
3. ข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองไม่มีความแม่นยำและไม่สามารถวัดขนาดของความไม่แม่นยำได้ แม้จะทำการวัดความไวของข้อมูลเหล่านั้นก็ไม่สามารถทำให้ข้อเสียข้อนี้หายไป
4. เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหานั้นโดยปกติจะเป็นตัวเลขซึ่งก่อให้เกิดปัญหาว่า ผู้สร้างแบบจำลองอาจให้ความสำคัญกับตัวเลขเหล่านั้นมากเกินไปและพยายามที่จะทดสอบความถูกต้องของตัวเลขแทนที่จะทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองอาจไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

#### 2.1.4 ขั้นตอนการจำลองแบบปัญหา [21]

การแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการจำลองแบบสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

2.1.4.1 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน โดยเริ่มตั้งแต่ผู้มีอำนาจการตัดสินใจให้ข้อมูลแก่นักวิเคราะห์ นักวิเคราะห์จะตั้งปัญหาขึ้นในใจและพิจารณาวิธีที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหา ความสามารถในการตั้งปัญหา (เช่น ปัญหาแฉกคอย) เกิดจากการฝึกฝนและประสบการณ์ ซึ่งต้องกำหนดให้ชัดเจน อาจใช้การจำลองแบบสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เพื่อศึกษาถึงสภาพและสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

2.1.4.2 พัฒนาตัวแบบจำลองของระบบ ขั้นตอนนี้เริ่มตั้งแต่ นักวิเคราะห์กำหนด คำจำกัดความของระบบ และกำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลอง พิจารณาองค์ประกอบของระบบ และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบเหล่านั้น มีการรวบรวมข้อมูล และสร้างตัวแบบ ซึ่งจะต้องสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องหรือมีอิทธิพลต่อวัตถุประสงค์ขึ้น โดยความสัมพันธ์

จะต้องแสดงถึงสถานภาพที่แท้จริงของปัญหา จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา และแปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.1.4.3 เก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อสร้างรูปแบบแทนระบบของปัญหาแล้ว จะต้องพิจารณาว่าควรจะใช้ข้อมูลอะไรบ้างในการวิเคราะห์ระบบของปัญหา รวมทั้งการจัดเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในลักษณะที่สามารถนำไปใช้ในรูปแบบปัญหาได้ โดยต้องศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลดิบต่างๆ ที่เป็นตัวแทนของสถานการณ์จริงที่แม่นยำ และถูกต้องแล้วหารูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม และประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงสำหรับข้อมูลที่เก็บได้ และทดสอบรูปแบบการแจกแจงและค่าพารามิเตอร์ที่หาได้ เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่เก็บมาในเชิงสถิติ

2.1.4.4 ตรวจสอบและทดสอบตัวแบบจำลองแทนระบบ เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียน และผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้น สามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้ ดังนั้นเมื่อสร้างรูปแบบแทนระบบของปัญหา โดยเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้ว ควรมีการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้สอดคล้องกับตัวแบบ และทวนสอบโดยการให้คนอื่นช่วยตรวจสอบ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนไว้ ใช้แผนภาพสายงานช่วยในการทวนสอบ ตรวจสอบผลลัพธ์ของตัวแบบว่าสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้พารามิเตอร์นำเข้าต่างๆ กันเป็นต้น เมื่อทวนสอบแล้วนำตัวแบบนั้นมาทดสอบความสมเหตุสมผลโดยการเปรียบเทียบตัวแบบกับระบบจริง เพื่อให้ตัวแบบนั้นมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงระบบจริงมากที่สุด โดยนำข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่รวมกับการพูดคุยกับผู้ที่เกี่ยวข้องหรือรับผิดชอบระบบที่กำลังศึกษา ใช้ทฤษฎีทางสถิติ หรือสังเกตระบบที่กำลังศึกษาเปรียบเทียบกับตัวแบบจนกว่าจะได้ตัวแบบที่เหมาะสม

2.1.4.5 การทดลองและหารูปแบบที่ดีที่สุดของตัวแบบจำลองระบบ เมื่อสร้างรูปแบบแทนระบบของปัญหา และเก็บรวบรวมข้อมูลได้แล้ว จะทำการทดลองรูปแบบที่สร้างขึ้น โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วนำข้อมูลที่เก็บรวบรวม และข้อมูลที่สุ่มได้เข้าระบบเพื่อหาผลลัพธ์ โดยต้องออกแบบการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขของการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ต้องการ และวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อ มั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ซึ่งจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขของการทดลองจนกว่าจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสมและมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ แล้วทำการจำลอง

รูปแบบแทนระบบตามเวลาที่กำหนด และนำผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบมาช่วยในการตัดสินใจ โดยเปรียบเทียบตัวแบบหรือประเมินทางเลือก (Scenarios) ที่แตกต่างกัน เพื่อหาตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.1.4.6 การนำผลลัพธ์ของการจำลองตัวแบบของระบบไปใช้งาน เมื่อเปรียบเทียบตัวแบบต่างๆ และได้วิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริงแล้ว นำวิธีการนั้นไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น ข้อจำกัดของหน่วยงาน ค่าใช้จ่ายในการประยุกต์ใช้จริง เป็นต้น แล้วจัดทำเป็นเอกสารเพื่อบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ ฯลฯ

## 2.2 การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Simulation - Optimization) [1, 22]

### 2.2.1 คำจำกัดความของการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด

การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด หมายถึง การหาคำตอบที่จะทำ ให้ได้ผลลัพธ์ของระบบที่ดีที่สุด โดยผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ภายใต้สถานการณ์ของความน่าจะเป็น

เมื่อพิจารณาจากความหมายของคำว่า การจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดตามที่กล่าวมา จะพบว่า การแก้ปัญหาด้วยวิธีการนี้สามารถนำเสนอออกมาในรูปของชุดสมการทางคณิตศาสตร์ได้ 2 รูปแบบ [14] ดังนี้

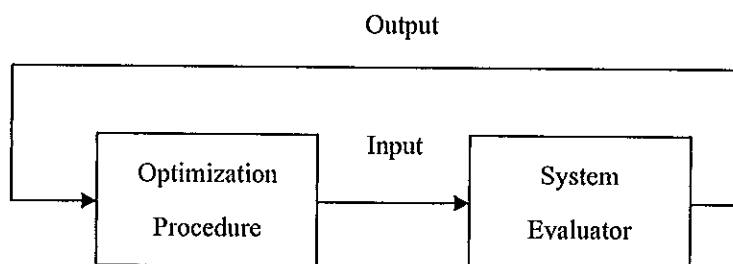
$$\begin{aligned} & \text{Maximize (Minimize)} f(x) = E[z(x)] \\ & \text{Subject to:} \quad g(x) = E[r(x)] < 0 \\ & \text{and} \quad h(x) < 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $z$  และ  $r$  คือเวกเตอร์ของตัวแปรซึ่งเป็นผลลัพธ์แบบสุ่มของการจำลองสถานการณ์ เมื่อกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจเป็นเวกเตอร์  $x$  ส่วนค่า  $f$  และ  $g$  หมายถึง มูลค่าคาดหวัง (Expected Values) ของเวกเตอร์เหล่านี้ ส่วนค่า  $h$  หมายถึง เวกเตอร์ของข้อจำกัดที่มีลักษณะของความแน่นอน (Deterministic Constraints) ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจ  $x$  นั้นเอง สำหรับการนำเสนอปัญหาในอีกรูปแบบหนึ่ง สามารถทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize (Minimize)} f(x) = E[z(x)] \\
 & \text{Subject to:} \quad P\{g(x) < 0\} > 1 - \alpha \\
 & \text{and} \quad h(x) < 0
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

เมื่อ  $P$  คือเวกเตอร์ของความน่าจะเป็นที่สมการเงื่อนไขจะถูกละเมิด โดยที่  $\alpha$  คือเวกเตอร์ของความเสียหายที่ผู้ตัดสินใจจะเลือกคำตอบที่เป็นการละเมิดสมการเงื่อนไข หรือทำให้สมการเงื่อนไขไม่เป็นจริง ส่วนการแปลความหมายของพจน์ หรือตัวแปรอื่นๆ ในชุดสมการด้านบนสามารถอ้างอิงได้จากความหมายที่แสดงไว้ในชุดสมการแรก

จากคำจำกัดความ รวมถึงรูปแบบการนำเสนอปัญหาของการทำ Simulation-Optimization ในรูปของชุดสมการทางคณิตศาสตร์ อาจสังเกตเห็นได้ว่า Simulation-Optimization มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทำ Optimization ของปัญหาที่เป็นปัญหาแบบสโตแคสติก (Stochastic Optimization) ซึ่งในเชิงหลักการแล้ว วิธีการทั้งสองนี้ก็มีความคล้ายคลึงกันและในทางปฏิบัติ ก็อาจนำมาใช้ทดแทนกันได้ หากแต่โดยทั่วไปแล้ว Simulation-Optimization จะเฉพาะเจาะจงนำมาใช้กับปัญหาที่ผลลัพธ์ของระบบได้มาจากการประเมินด้วยวิธีการ Simulation ในขณะที่ Stochastic Optimization จะมีความหมายกว้างๆ ไม่เฉพาะเจาะจงกับที่มาของผลลัพธ์ว่าจะหาได้ด้วยวิธีการใด



รูปที่ 2-1 แสดงกระบวนการทำงานของการหาคำตอบด้วยวิธี Simulation-Optimization

จากรูปที่ 2-1 ที่แสดงถึงกระบวนการทำงานของการหาคำตอบด้วยวิธี Simulation-Optimization จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนของการหาคำตอบที่ดีที่สุด ระบบจะอาศัยผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งถูกใช้เป็นตัววัดถึงความเหมาะสมของตัวแปรป้อนเข้า (Inputs) และนำมาประมวลผลร่วมกับผลที่ได้จากการประเมินในครั้งที่ผ่านมา แล้วทำการกำหนดชุดของตัวแปรนำเข้าสู่ชุดใหม่ เพื่อป้อนเข้าระบบของการจำลองสถานการณ์อีกครั้ง โดยกระบวนการ

ทำงานทั้งหมดจะดำเนินไปจนกระทั่งระบบบรรลุเงื่อนไขของการหยุดหาคำตอบ (Terminating Conditions) ด้วยเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง เป็นต้นว่า ได้ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เบื้องต้น หรือ บรรลุตามเงื่อนไขของระยะเวลาที่กำหนด

## 2.2.2 ลักษณะของปัญหาที่สามารถแก้ปัญหาด้วยเทคนิค Simulation - Optimization

การนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation) มาใช้ร่วมกับการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) ในปัจจุบันถือเป็นเรื่องที่ทำหายอย่างยิ่ง เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่ที่พบมักจะมี ความซับซ้อน และความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ และตัวแปรมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ทำให้เป็น การยากที่จะหาคำตอบโดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ในส่วนของการสร้างแบบจำลอง สถานการณ์ ก็ถือเป็นเรื่องที่ทำหายความสามารถของผู้สร้าง เนื่องจากต้องอาศัยศิลปะ ความสามารถ และประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลอง อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง สถานการณ์ ก็มีลักษณะของความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังจะเห็นได้ว่า ด้วยตัวแปรนำเข้าชุด เดียวกัน การจำลองสถานการณ์มักจะทำให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ส่วนในกระบวนการของการ วิเคราะห์หาคำตอบที่ดีที่สุด ปัจจุบันก็ได้มีการค้นคิดเทคนิคใหม่ ๆ เข้ามาช่วยในการหาคำตอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคนิค และวิธีการในการค้นหา (Search Method) ซึ่งในปัจจุบันสามารถทำได้ อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ พัฒนาการในด้านความเร็วของระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลก็ได้ เข้ามามีส่วนเสริมให้เกิดความท้าทายในการใช้เทคนิคนี้เพื่อการแก้ปัญหาต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้ว เทคนิค Simulation-Optimization มักจะถูกนำไปใช้สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีขนาด ใหญ่ เพื่อใช้คำนวณหาค่าของชุดตัวแปรตัดสินใจ ที่จะทำให้ได้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายสูงสุด หรือต่ำที่สุดตามที่ต้องการ หรือในทางกลับกันเทคนิคนี้อาจถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณหาค่าของตัว แปรตัดสินใจที่จะทำให้ได้ค่าผลลัพธ์ของระบบตามที่ต้องการ ตัวอย่างของการนำ Simulation- Optimization ไปใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่ ใช้เพื่อกำหนดกระบวนการทำงาน (Process Optimization) กำหนดนโยบายการบริหารงาน (Management Policy Optimization) การออกแบบ งานทางวิศวกรรม (Engineering Design Optimization) หรือ งานการกำหนดแบบโครงสร้าง (Structural Optimization) นอกจากนี้ ยังพบว่ามีการนำเทคนิค Simulation-Optimization ไปใช้ใน งานด้านแบบจำลองทางภูมิศาสตร์ และงานพยากรณ์อากาศอีกด้วย สำหรับการนำ Simulation- Optimization ไปใช้เพื่อกำหนดนโยบายการบริหารงานต่าง ๆ มีตัวอย่างดังนี้



1. ในระบบการผลิต (Manufacturing Systems) เช่น การกำหนดแผนการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหน่วยเวลาสูงสุด

2. ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chains) เช่น กำหนดนโยบายในการบริหาร คลังสินค้าในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อให้ได้ระดับสินค้าคงคลังรวมในระบบต่ำสุด ในขณะที่ยังสามารถ รักษา หรือเพิ่มระดับความพึงพอใจของลูกค้าไว้ได้ ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการขาดแคลนสินค้ามี ค่าต่ำ

3. ในศูนย์บริการรับเรียกสาย (Call Center) เช่น กำหนดวิธีการ หรือระบบการ ให้บริการเพื่อให้เกิดต้นทุนรวมของระบบต่ำที่สุด โดยที่สามารถรักษา หรือ เพิ่มระดับความพึง พึงพอใจของลูกค้า ซึ่งได้แก่เวลารอคอยลดลงได้

4. ในสถาบันการเงิน (Financial Institute) เช่น การคำนวณหาแผนการลงทุน เพื่อให้ได้ผลตอบแทนคาดหวังสูงสุดจากจำนวนเงินลงทุนที่มีอยู่ ในขณะที่มีระดับความเสี่ยงของ การลงทุนอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

5. ระบบการให้บริการที่มีลักษณะเป็นแถวคอย (Single / Multiple Server Queue) เช่น การกำหนดจำนวนช่องให้บริการที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมต่ำที่สุด หรือกำไรสูงสุด โดยได้ระดับความพึงพอใจของลูกค้าสูงสุดเช่นกัน

6. ระบบการควบคุมวัสดุคงคลัง (Inventory Control System) เช่น การคำนวณหา ค่า พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการบริหารงานวัสดุคงคลัง เช่น จุดสั่งซื้อ ระดับสินค้าคงคลังสูงสุด หรือ ปริมาณการสั่งซื้อที่ทำให้ต้นทุนรวมในการบริหารงานวัสดุคงคลังต่ำที่สุด

### 2.2.3 ประเภทของเทคนิค Simulation-Optimization

การจำแนกประเภทหรือวิธีการที่แตกต่างกันของเทคนิค Simulation-Optimization ได้ถูกนำเสนอโดยผู้เขียนบทความทางด้านนี้หลายท่าน แต่ในที่นี้จะยึดถือวิธีการจำแนกประเภท ของเทคนิค Simulation-Optimization ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามคุณลักษณะของตัวแปร ตัดสินใจ ดังนี้

#### 2.2.3.1 เทคนิค simulation-optimization ที่ใช้กับตัวแปรตัดสินใจชนิดต่อเนื่อง (Continuous Decision Variables)

เทคนิค Simulation-Optimization ที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่เทคนิคที่ใช้สำหรับหาค่า ของตัวแปรตัดสินใจ ในสถานการณ์ที่ค่าของตัวแปรที่ต้องการหา นั้น มีลักษณะที่ไม่สามารถนับ

จำนวนได้ (Uncountable) และมีจำนวนได้ไม่จำกัด (Infinite) เทคนิคในกลุ่มนี้ นับว่าพบมากที่สุด ในบทความวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับการนำเทคนิค Simulation-Optimization ไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหา สาเหตุก็เนื่องจากว่าปัญหาที่พบส่วนใหญ่ในสถานการณ์จริง มักจะมีลักษณะของตัวแปรตัดสินใจเป็นแบบดังกล่าว โดยเทคนิคที่ถูกจัดว่าอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่

### 1) Stochastic Approximation (SA)

วิธีการนี้เป็นกระบวนการหาคำตอบแบบทีละขั้นตอน หรือที่เรียกว่า (Iterative Process) โดยจะมีการเคลื่อนที่ของการค้นหาคำตอบจากจุดคำตอบหนึ่งไปยังอีกจุดคำตอบหนึ่ง ตามทิศทางของการประมาณของเกรเดียนท์ (gradient) ซึ่งกระบวนการเช่นนี้จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับวิธีการที่เรียกว่า 'Steepest Ascent/Descent Gradient Search' ในการทำ Optimization ของปัญหาที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Optimization Problem) แต่สำหรับวิธีการแบบ SA นี้ จะเฉพาะเจาะจงใช้กับปัญหาที่ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันเป้าหมายไม่สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการได้ ดังนั้น จึงไม่สามารถที่จะเขียนเกรเดียนท์ให้อยู่ในรูปของสมการได้เช่นเดียวกัน

### 2) วิธีการอื่น ๆ

ถึงแม้ว่าวิธี 'Gradient Search' ใน SA จะได้รับความสนใจอย่างมากในบทความที่เกี่ยวข้องกับการทำ Optimization ของปัญหาที่ตัวแปรตัดสินใจมีลักษณะต่อเนื่อง วิธีการอื่น ๆ ของเทคนิคในกลุ่มนี้ก็ยังคงได้รับการพัฒนา และนำเสนอขึ้นมาอีกหลายวิธี เป็นต้นว่า วิธีการ Sample Path Method และวิธีการ Response Surface Methodology หรือ RSM ดังที่กล่าวมาแล้วว่า ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบทั่วไปในสถานการณ์จริงมักจะมีลักษณะของตัวแปรแบบต่อเนื่อง และมีฟังก์ชันต่างๆที่ไม่สามารถเขียนความสัมพันธ์ออกมาในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ ทำให้วิธีการในกลุ่มนี้ ซึ่งได้แก่ SA หรือ RSM ได้รับความสนใจในการพัฒนาให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากความยาก และซับซ้อนของวิธีการ เช่น การประมาณการค่าเกรเดียนท์ และการคำนวณหา Path ตามวิธีของ RSM ทำให้วิธีการนี้ถูกนำไปใช้อย่างจำกัดเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีความรู้ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องเหล่านี้อยู่แล้ว เทคนิคในกลุ่มนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อการตัดสินใจในด้านการผลิต ได้แก่ การตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนการลงทุน การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการผลิต รวมถึงการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตและการกำหนดปริมาณสินค้าคงคลัง กรณีที่ตัวแปรที่ต้องการหามีลักษณะเป็นตัวแปรต่อเนื่อง เป็นต้น

### 2.2.3.2. เทคนิค Simulation-Optimization ที่ใช้กับตัวแปรตัดสินใจชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Variables)

เทคนิคในกลุ่มนี้ ได้แก่เทคนิคที่ใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาที่พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Feasible Region) มีขนาดจำกัด และสามารถนับจำนวนได้แน่นอน (Countable Finite) อย่างไรก็ตาม เทคนิคในกลุ่มนี้ ยังสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือกลุ่มที่ใช้ในกรณีที่พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้มีขนาดเล็กและจำนวนไม่มาก ซึ่งทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองประเมินหาค่าผลลัพธ์ของทุกๆ คำตอบที่เป็นไปได้ และส่วนเทคนิคประเภทนี้ในอีกกลุ่มหนึ่ง ก็คือกลุ่มที่ใช้หาคำตอบในกรณีที่มีพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ขนาดใหญ่ ซึ่งไม่สามารถที่จะประเมินผลในทุก ๆ คำตอบที่เป็นไปได้ได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ เทคนิคในกลุ่มนี้จึงจะมีการนำเอาวิธีการค้นหาคำตอบ (Search Method) แบบต่างๆ เข้ามาเพื่อช่วยในการทำ Optimization ด้วย สำหรับเทคนิคต่าง ๆ ที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มนี้ มีดังนี้

#### 1) Statistical Selection

เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ได้กับการทำ Optimization ของปัญหาในกลุ่มย่อยแรกที่มีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้มีจำนวนไม่มากนัก กล่าวคือ เซตของคำตอบที่เป็นไปได้มีค่าดังนี้

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\} \quad (2.4)$$

โดยที่  $m$  มีค่าน้อยๆ เมื่อเป็นเช่นนี้ ทำให้มีความเป็นไปได้ในการที่จะประเมินหาค่าผลลัพธ์จากเซตของคำตอบเหล่านี้ได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่ค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่าง ๆ ของปัญหามีลักษณะเป็นค่าคงที่ (Deterministic Problem) วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดก็จะสามารถทำได้โดยตรงโดยการประเมินทางเลือก หรือคำตอบทุกคำตอบใน  $\Theta$  แล้วเลือกคำตอบที่ให้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุดตามสมการเป้าหมาย แต่สำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เป็นผลได้จากการจำลองสถานการณ์ ซึ่งมีธรรมชาติของความแปรผันอันเนื่องมาจากความน่าจะเป็น (Stochastic Simulation Output) การหาคำตอบที่ดีที่สุดจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธีการที่ถูกนำมาใช้ แต่โดยภาพรวม วิธีการเหล่านี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งวิธีการเหล่านี้ได้แก่ วิธีการเปรียบเทียบแบบ Subset Selection, Indifference-Zone Ranking and Selection (R&S) และ Multiple Comparisons Procedure (MCP)

## 2) Random Search

เทคนิคนี้ สามารถนำไปใช้ได้กับการทำ Optimization ของปัญหาในกลุ่มย่อยที่สอง ที่เซตของคำตอบที่เป็นไปได้มีขนาดใหญ่มาก และเป็นไปไม่ได้ที่ประเมินทางเลือกหรือคำตอบทุกๆคำตอบในเซต ดังนั้นเทคนิคในกลุ่มนี้จึงต้องมีขั้นตอนที่นำเข้ามาช่วยเพื่อพิจารณาว่าในกลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้ คำตอบใดควรที่จะถูกนำไปประเมินผลด้วยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะอาศัยวิธีการของการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) ลักษณะโดยทั่วไปของวิธีการแบบ Random Search คือ วิธีการนี้จะมีลักษณะเป็นกระบวนการแบบที่ละขั้นตอน (Iterative Process) เช่นเดียวกับ SA ตามที่กล่าวมาแล้ว โดยที่ในแต่ละขั้นตอน การค้นหาคำตอบจะย้ายจุดไปยังจุดคำตอบใหม่ที่อยู่ใกล้เคียงกับคำตอบในปัจจุบัน โดยคาดว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ซึ่งกระบวนการที่กล่าวมาสามารถนำมาสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 0 กำหนด  $k = 0$  เลือกคำตอบแรกเริ่ม (Initial Solution) จากเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็น  $\theta^{(0)}$  แล้วทำการประเมินค่าผลลัพธ์ที่ได้จากคำตอบดังกล่าวโดยการ Simulation ผลที่ได้กำหนดให้มีค่าเป็น  $X(\theta^{(0)})$

ขั้นตอนที่ 1 เลือกคำตอบที่เป็นไปได้ขึ้นมาอีก 1 คำตอบจาก  $N(\theta^{(k)})$  ซึ่งเป็นเซตของคำตอบที่อยู่ใกล้เคียงกับคำตอบในปัจจุบัน (Neighborhood Solution) กำหนดให้มีค่าเป็น  $\theta^{(c)}$  แล้วทำการประเมินหาผลลัพธ์ด้วยวิธีการ Simulation ค่าผลลัพธ์ที่ได้กำหนดให้มีค่าเป็น  $X(\theta^{(c)})$

ขั้นตอนที่ 2 ถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการ Simulation ของคำตอบ  $\theta^{(c)}$  เป็นไปตามเงื่อนไขที่สามารถยอมรับได้ นั่นคือ ผลลัพธ์ที่ได้มานี้มีค่าที่ดีกว่าผลลัพธ์ในปัจจุบัน ให้กำหนดค่า  $\theta^{(k+1)} = \theta^{(c)}$  แต่ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ให้กำหนดค่า  $\theta^{(k+1)} = \theta^{(k)}$

ขั้นตอนที่ 3 ถ้ากระบวนการค้นหาคำตอบบรรลุตามเงื่อนไขของการหยุดการค้นหา (Stopping Criterion) ให้หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และถือว่าคำตอบที่ดีที่สุดคือ  $\theta^{(k)}$  ถ้าไม่เช่นนั้น ให้กำหนด  $k = k + 1$  แล้วย้อนกลับไปทำที่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับ Random Search ที่ได้รับการตีพิมพ์อยู่ในปัจจุบัน จะมีความหลากหลายและแตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการในการระบุโครงสร้างของจุดคำตอบใกล้เคียงที่อยู่ในขอบเขตการเคลื่อนที่ของการค้นหา (Neighborhood Structure) วิธีการที่ใช้ในการเลือกคำตอบเพื่อนำมาทำการประเมินโดย Simulation (Candidate Selection Method) เงื่อนไขของการยอมรับว่าผลการประเมินที่ได้จาก Simulation มีการปรับปรุงดีขึ้น (Acceptance Criterion) และเงื่อนไขที่ใช้เพื่อหยุดการค้นหา (Stopping Criterion) นั้นเอง

### 3) Metaheuristics

Metaheuristics หมายถึง วิธีการแบบฮิวริสติกส์อย่างหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการทดลองกับค่าคำตอบที่เป็นไปได้หลายๆค่า โดยการพัฒนาวิธีการต่างๆ ที่มีแนวโน้มว่าจะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด วิธีการแบบ Metaheuristics ที่สามารถนำมาใช้กับเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ หรือ Simulation-Optimization นั้น ได้แก่ Genetic Algorithm (GA) Simulated Annealing (SA) Tabu Search (TS) และ Neural Networks ซึ่งถึงแม้ว่าจากสถานการณ์ที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าวิธีการเหล่านี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้กับปัญหา Optimization ซึ่งมีลักษณะที่ชุดของตัวแปรตัดสินใจ ประกอบขึ้นจากค่าของตัวแปรหลายๆ ตัว (Combinatorial Optimization) และเป็นปัญหาที่มีค่าพารามิเตอร์ และผลลัพธ์ของแต่ละคำตอบเป็นค่าที่แน่นอน (Deterministic Problem) แต่วิธีการเหล่านี้ก็สามารถที่จะนำมาใช้ได้ดี และประสบความสำเร็จกับการทำ Simulation-Optimization

จากวิธีการที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ พบว่า วิธีการที่ได้รับความนิยมนำมาใช้มากในกลุ่มนี้ได้แก่วิธี Random Search และ วิธี Metaheuristics เนื่องจากวิธีการไม่ซับซ้อน มากนัก และสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคในกลุ่มเดียวกัน คือ Statistical Selection นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจุบันวิธีการแบบ Metaheuristics ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาการหาคำตอบที่เป็น Optimization บนสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอันที่จริงแล้ว วิธีการ Simulation-Optimization ก็ได้นำเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นมาเหล่านี้มาปรับใช้กับการทำ Simulation ยกตัวอย่างเช่น วิธี GA และ TS อย่างไรก็ตาม วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีการ Simulation-Optimization โดยใช้เทคนิคเหล่านี้ ยังมีอุปสรรคที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์จะได้รับการพัฒนาให้สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วก็ตาม จึงทำให้วิธีการเหล่านี้ ยังเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ไม่ใหญ่มากนัก ดังที่กล่าวมาแล้วเช่นการจัดตารางการผลิตสำหรับปัญหาขนาดเล็ก การตัดสินใจเกี่ยวกับนโยบายการบริหารสินค้าคงคลัง เป็นต้น

#### 2.2.4 ตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อการทำ Simulation-Optimization

ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการทำ Simulation-Optimization แสดงได้ดังตารางที่

2.1 สิ่งที่ใช้ผู้ใช้ควรต้องทำความเข้าใจ เกี่ยวกับการนำซอฟต์แวร์เหล่านี้ไปใช้งานเพื่อแก้ปัญหา ก็คือ ในทางปฏิบัติแล้ว ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้มาก เกี่ยวกับ Simulation-Optimization หากแต่ความรู้ที่จำเป็น และควรจะต้องมีก็คือ ความสามารถในการทำความเข้าใจกับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จาก

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) ซึ่งได้แก่ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถิติและความน่าจะเป็น นอกจากนั้นก็ได้แก่ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับหลักการของการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization) สำหรับวิธีการ หรือเทคนิคที่ซอฟต์แวร์นั้นใช้ ความเข้าใจดังกล่าวเหล่านี้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Simulation-Optimization โดยจะส่งผลให้เกิดความเข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้กับงานจริงได้อย่างได้ผล

ตาราง 2.1 ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อการทำ Simulation-Optimization

Optimization Package (Simulation Platform)	Primary Search Strategies
AutoStat (AutoMod)	Evolutionary, Genetic Algorithms
OptQuest (Arena, Crystal Ball, et al.)	Scatter Search and Tabu Search, Neural Networks
OPTIMIZ (SIMUL8)	Neural Networks
SimRunner (ProModel)	Evolutionary, Genetic Algorithms
Optimizer (WITNESS)	Simulated Annealing, Tabu Search

### 2.3 การศึกษาการทำงาน (Work Study) [23]

International Labor Organization (ILO) ได้กล่าวว่าการศึกษาการทำงานเป็นคำที่ใช้แทนถึงวิธีการต่าง ๆ จากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ซึ่งใช้ในการศึกษาอย่างมีระเบียบถึงการทำงานของคน และพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพ เพื่อการปรับปรุงการทำงานนั้นๆ ให้ดีขึ้น

จากนิยามที่กล่าวมาการศึกษาการทำงานประกอบด้วยการศึกษาวิธีการทำงาน และการวัดผลงาน เนื่องจากการศึกษาวิธีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการลดและกำจัดวิธีการทำงาน

หรืองานที่ไร้ประสิทธิภาพ ส่วนการวัดผลงานเกี่ยวข้องกับการลดและกำจัดเวลาไร้ประสิทธิภาพ ดังนั้นการกำหนดเวลามาตรฐานของการทำงานต้องกระทำภายหลังจากการศึกษาวิธีการทำงาน โดยสามารถที่จะแบ่งขั้นตอนในการศึกษาการทำงานได้ 8 ขั้นตอน ดังนี้

1. เลือกงานหรือกระบวนการที่จะทำการศึกษา
2. บันทึกและสังเกตการณ์โดยตรงในทุกสิ่งที่เกิดขึ้นในงานหรือกระบวนการที่เลือก โดยการใช้วิธีการบันทึกที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลที่เหมาะสมในการวิเคราะห์
3. ตรวจสอบรายชื่อเท็จจริงที่บันทึกมาทุกๆ เรื่องที่น่าสนใจโดยพิจารณาถึงจุดประสงค์ของการทำงานของงานนั้นๆ สถานที่ที่งานนั้นกำลังทำอยู่ ลำดับการทำงานของงานคนทำงาน และวิธีการอุปกรณ์การทำงาน
4. พัฒนาวิธีการทำงานที่ประหยัดในการทำงานโดยพิจารณาสิ่งแวดล้อมทั้งหมด
5. วัดปริมาณที่ต้องทำในวิธีการทำงานที่เราเลือกใช้ และคำนวณมาตรฐานเวลาที่ต้องใช้ในการทำงานนั้น
6. นิยามวิธีการทำงานที่เสนอขึ้นใหม่และเวลาที่เกี่ยวข้องเพื่อการอ้างอิง
7. ใช้งานวิธีการทำงานที่เสนอขึ้นใหม่โดยมีมาตรฐานของงานตามที่กำหนดไว้
8. ดำรงมาตรฐานของงานที่กำหนดขึ้นโดยวิธีการควบคุมที่เหมาะสม

### 2.3.1 การศึกษาวิธีการทำงาน

การศึกษาวิธีการทำงาน เป็นการเก็บข้อมูลอย่างมีขั้นตอน และตรวจสอบอย่างละเอียดของแนวทางการทำงานที่มีอยู่ แล้วทำการเสนอแนะวิธีการทำงานใหม่ ซึ่งการศึกษานี้จะนำไปสู่การพัฒนาและการประยุกต์วิธีการที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง นับได้ว่าเป็นเทคนิคในการเพิ่มผลผลิตที่ได้ผลที่สุด ซึ่งพัฒนาขึ้นมาต่อเนื่องจากวิธีการของการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) จุดมุ่งหมายในการศึกษาวิธีการทำงานก็คือ การมุ่งพัฒนาวิธีการทำงานที่ดีกว่า โดยใช้หลักการปรับปรุงงาน ซึ่งจะช่วยลดและตัดทอนงานหรือขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไป ซึ่งมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

2.3.1.1 การเลือกงาน เป็นการพิจารณาเลือกงานที่จะทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการทำงานที่ดีกว่า ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะงานที่จะศึกษามีอยู่ตลอดเวลา การทำงานให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดคือ เลือกที่มีความจำเป็นเร่งด่วนกว่ามาทำการศึกษาก่อน หรือเมื่อศึกษาปรับปรุงการทำงานแล้วจะให้ผลกระทบในด้านบวกสูงกว่า

2.3.1.2 การบันทึกการทำงาน เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนวิธีการทำงาน และปัญหาการทำงานต่างๆ เพื่อนำมาพิจารณาหาแนวทางแก้ไขต่อไป ในกรบันทึกการทำงานจะใช้สัญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐานสากลแทนกิจกรรมของขั้นตอนการทำงานต่างๆ เพื่อช่วยให้การพิจารณาปรับปรุงสามารถทำได้ง่ายขึ้น แล้วแสดงด้วยแผนภูมิการผลิต (Flow Process Chart) เพื่อแสดงทิศทางทงการไหลของกระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดของกระบวนการ

2.3.1.3 การพิจารณาตรวจตราเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุง เป็นการตรวจสอบว่าขั้นตอนที่ทำอยู่เหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมก็ให้หาแนวทางในการปรับปรุง และถึงแม้ว่าจะเหมาะสมแล้ว ยังจะค้นหาวามีวิธีการที่เหมาะสมกว่าอีกหรือไม่

2.3.1.4 การปรับปรุงงาน เป็นการหาวิธีการทำงานใหม่ที่ง่ายกว่า เร็วกว่า และถูกกว่าวิธีการเดิมโดยใช้หลักการของ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) ดังแสดงตามตาราง 2.2

ตาราง 2.2 หลักการของ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify)

หลักการ	ความหมาย	คำอธิบาย
E (Eliminate)	กำจัดทิ้ง	กำจัดทิ้งขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกไป
C (Combine)	รวมเข้าด้วยกัน	รวมขั้นตอนบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน
R (Rearrange)	จัดลำดับใหม่	สลับหรือจัดลำดับขั้นตอนในการทำงานใหม่
S (Simplify)	ทำให้ง่ายขึ้น	ปรับปรุงขั้นตอนในการทำงานให้ง่ายขึ้น

หลักเกณฑ์ในการปรับปรุงงานที่พยายามให้เหลือกิจกรรมที่เป็นการทำงาน หรือการปฏิบัติจริงๆ เท่านั้น คือ กิจกรรมหรือกระบวนการที่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (Value Added) แก่ชิ้นงาน ซึ่งถือว่าเป็นงานหลักของกระบวนการ โดยพยายามลดกิจกรรมหรือกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่ชิ้นงานไม่ว่าจะเป็น การขนย้าย การตรวจสอบปริมาณ และการควบคุม



คุณภาพ รวมทั้งการหาทางลดหรือกำจัดการหยุดหรือการพักระหว่างกระบวนการหรือขั้นตอนการผลิต ซึ่งถือว่าการว่างงานหรือความสูญเปล่าของกระบวนการให้น้อยลง ดังตาราง 2.3 [24]

ตาราง 2.3 แนวทางในการปรับปรุงงาน

สัญลักษณ์	ความหมาย	แนวทางในการปรับปรุง
○	กิจกรรมการปฏิบัติงาน	คงไว้หรือหาวิธีการใหม่ที่ดีกว่าเดิม
⇒	กิจกรรมการเคลื่อนย้าย	ทำให้ลดน้อยลงเท่าที่จะทำได้
□	กิจกรรมการตรวจสอบ	ทำให้ลดน้อยลงเท่าที่จะทำได้
D	การพักระหว่างหรือการหยุดชั่วคราว	หาทางลดหรือกำจัดทิ้งให้มากที่สุด
▽	การหยุดหรือการเก็บถาวร	หาทางลดหรือกำจัดทิ้งให้มากที่สุด

2.3.1.5 การประเมินผลการปรับปรุง เป็นการวัดผลจากการปรับปรุงการทำงานว่า ประสิทธิภาพในการปรับปรุงเพิ่มขึ้นหรือไม่อย่างไร โดยการเปรียบเทียบผลการทำงานก่อนการปรับปรุงกับผลการทำงานหลังการปรับปรุง

2.3.1.6 กำหนดเป็นมาตรฐานวิธีการในการทำงาน เมื่อวิธีการทำงานใหม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้ว นำวิธีการนั้นมาบัญญัติไว้เป็นวิธีมาตรฐาน โดยเขียนลายลักษณ์อักษรที่สามารถอ้างอิงได้

### 2.3.2 การศึกษาเวลา

การศึกษาเวลา (Time Study) เป็นเทคนิคในการวัดผลงานเพื่อหาแนวทางในการลดและกำจัดเวลาไร้ประสิทธิภาพ การศึกษาเวลา คือ เทคนิคของการวัดผลงาน เพื่อหาเวลา และอัตราการทำงานของงานส่วนย่อยของงานชิ้นหนึ่งๆ ภายใต้อันหนึ่ง นอกจากนี้ ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการเวลาที่ควรจะเป็นในการทำงานชิ้นหนึ่งในระดับการทำงานที่เหมาะสม โดยการใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงาน ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานในการหาค่าตั้งการผลิตของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง [25] การศึกษาเวลาสามารถแบ่งได้ 4 วิธีการดังนี้

### 2.3.2.1 การศึกษาเวลาจากข้อมูลเวลา

เป็นการศึกษาเวลาจากข้อมูลเวลามาตรฐานและสูตร (Standard Data and Formulas) เป็นการศึกษาเวลาที่ใช้ข้อมูลเวลาที่จัดทำเป็นมาตรฐานของโรงงานนั้น รวมทั้งการคำนวณหาเวลาจากสูตรสำเร็จ

### 2.3.2.2 การสุ่มงาน

เป็นการศึกษาเวลาเพื่อให้ได้เวลามาตรฐาน (Standard Time) จากการสุ่มจับเวลาการทำงานจริงของพนักงานในสายการผลิตๆ ต้องใช้เวลาในการศึกษาเวลาเป็นเวลานานหลายสัปดาห์

### 2.3.2.3 การศึกษาเวลาโดยระบบหาเวลาก่อนล่วงหน้า

การสังเคราะห์เวลา (Predetermined Time System or Synthesis Time) เป็นการศึกษาเวลาเพื่อให้ได้เวลามาตรฐานจากการหาเวลาล่วงหน้าก่อนที่งานจะเกิดขึ้นจริงหรือการสังเคราะห์เวลา โดยใช้ระบบการหาเวลาชนิดต่างๆ

### 2.3.2.4 การศึกษาเวลาโดยตรง

การศึกษาเวลาโดยตรง คือ การศึกษาเพื่อหาเวลามาตรฐานที่ต้องการโดยการจับเวลาจากพนักงาน ที่ผ่านการคัดเลือก และฝึกเป็นอย่างดี ต้องเป็นพนักงานที่ทำงานนั้นๆ จริง โดยใช้สถานที่จริงในสถานการณ์ที่ปกติซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ [26]

#### 1) การเลือกงาน

ในการศึกษาเวลาในการทำงานจะต้องทำหลังจากที่ได้กำหนดวิธีการทำงานหรือการศึกษาวิธีการทำงานมาก่อนแล้ว ทั้งนี้เพราะหากยังไม่สามารถหาวิธีการทำงานที่ดีที่สุดแล้ว อาจจะค้นพบวิธีการทำงานนั้นภายหลัง โดยคนงานหรือผู้เชี่ยวชาญก็ได้ ทำให้ต้องหาเวลามาตรฐานใหม่อีกครั้ง [23]

#### 2) การบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเวลานอกจากการบันทึกเวลาทำงาน ยังมีข้อมูลซึ่งแสดงรายละเอียดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขมาตรฐานของการศึกษาเวลา ซึ่งจำเป็นต้องบันทึกในแบบฟอร์มการศึกษาเวลา โดยจะทำการบันทึกก่อนการศึกษาเวลา ข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งควรบันทึกประกอบด้วย ข้อมูลเพื่อการอ้างอิง ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการผลิต เครื่องมือและอุปกรณ์ ข้อมูลระยะเวลาของการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผู้ปฏิบัติการ และสภาพแวดล้อม [26]

### 3) แบ่งงานเป็นงานย่อย

งานย่อย (Element) คือ งานที่เป็นส่วนประกอบของการทำงานหนึ่งๆ ในรอบการทำงานหนึ่งๆจะประกอบด้วยงานย่อยหลายๆงาน วัฏจักรการทำงาน (Work Cycle) คือ การทำงานวนซ้ำกัน เมื่อทำงานตั้งแต่แรก และเมื่อสิ้นสุดการทำงานนั้นจะเริ่มทำงานใหม่ที่จุดเริ่มต้นเดิมซ้ำๆ กันเป็นรอบๆ โดยมีจุดเริ่มต้นของการทำงานมาบรรจบกับจุดสิ้นสุดเป็นวงรอบเสมือนการแบ่งออกเป็นงานย่อย เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการศึกษาเวลา เนื่องจากจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ การสังเกต และการจับเวลาทำได้สะดวก จึงมีความจำเป็นที่ต้องแบ่งงานออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆ [23] โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาอยู่ 3 ประการดังนี้

- 3.1) ขั้นตอนย่อยๆ ต้องมีเวลาเพียงพอที่จะทำการจับหรือวัดเวลาได้
  - 3.2) แยกงานที่ทำด้วยคนออกจากงานที่ทำด้วยเครื่องจักร
  - 3.3) แยกชิ้นงานคงที่ออกจากงานแปรผัน
- 4) สังเกตและจับเวลาการทำงาน

ข้อมูลเวลาในการทำงานของแต่ละกิจกรรมถือเป็นข้อมูลหลักในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์มีลักษณะเป็น Time Base กล่าวคือ เป็นแบบจำลองที่ได้ใช้เวลาเป็นหลักในการอ้างอิงการจับเวลา โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธีซึ่งเป็นที่นิยมปฏิบัติ คือ

4.1) การจับเวลาต่อเนื่อง (Continuous Timing) เป็นการจับเวลาโดยที่ไม่มีการหยุดนาฬิกาเพื่อบันทึกค่าเวลา แต่จะปล่อยให้หน้าฬิกาเดินจับเวลาไปเรื่อย โดยผู้บันทึกเวลาจะสังเกตเวลา ณ จุดสิ้นสุดงานย่อยนั้น ตรงกับเวลาในนาฬิกาค่าใด ก็บันทึกค่านั้นลงไป ดังนั้นการบันทึกเวลาของงานย่อยต่างๆ จะเป็นการบันทึกเวลาที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเรียกว่าเวลา R จากนั้นถ้าต้องการเวลาที่แท้จริงของแต่ละงานย่อย จำเป็นต้องมีการคำนวณ โดยนำค่าเวลา R ของงานย่อยนั้น ลบด้วยค่าเวลา R ของงานย่อยก่อนหน้ามา 1 งาน เราจะได้เวลาของงานย่อยนั้นเรียกว่าเวลา T

4.2) การจับเวลาซ้ำ (Repetitive Timing) เป็นการจับเวลาที่ต้องหยุดเวลาเพื่ออ่านค่าและตั้งกลับไปหาค่าศูนย์ใหม่เพื่อจับเวลางานย่อยถัดไป ดังนั้น เวลาที่เราจับได้ จะเป็นเวลาของงานย่อยนั้นเลย หรือก็คือเวลา T นั้นเอง ข้อเสียของวิธีการแบบนี้ คือผู้บันทึกจับเวลาต้องมีความชำนาญในการจับ บันทึกค่า และตั้งค่าศูนย์ ซึ่งใช้เวลาที่ค่อนข้างรวดเร็วมาก

4.3) การจับเวลาสะสม (Accumulative Timing) เป็นการจับเวลาโดยการใช้นาฬิกาสองเรือนที่ต่อปุ่มพ่วงกัน เพื่อเวลาใดให้นาฬิกาตัวหนึ่งเดินจับเวลา นาฬิกาอีกตัวจะหยุด เมื่อนาฬิกาตัวแรกถูกกดให้หยุดจับเวลา นาฬิกาตัวที่สอง เข็มของมันจะหมุนกับมาตั้งที่ศูนย์แล้วเดิน

จับเวลาทันที ทำให้เกิดลักษณะการจับเวลาสลับกันระหว่างนาฬิกาสองเรือนข้อดีคือผู้ศึกษาเวลาสามารถอ่านค่าเวลาทำงานของงานย่อยนั้นได้เลยและไม่ต้องพะวงว่าจะจับเวลางานย่อยต่อไปไม่ทัน

วิธีการจับเวลาแบบต่อเนื่องและการจับเวลาซ้ำเป็นที่นิยมใช้ในการทำงานมากกว่าการจับเวลาสะสม เนื่องจากอุปกรณ์จับเวลาแบบสะสมจะหาได้ยากกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ใน 2 วิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามการจับเวลาสะสมจะได้เปรียบกว่าการจับเวลาซ้ำ เนื่องจากหากเกิดความผิดพลาดไม่ได้จับเวลางานย่อยช่วงใดไป ก็จะไม่เกิดผลกระทบต่อเวลาทั้งหมดจึงเป็นที่นิยมใช้มากกว่าในงานที่มีระยะเวลาสั้นมากๆ ถึงแม้ว่าวิธีการจับเวลาซ้ำจะให้ความสะดวกในการทำงานมากกว่า ก็ไม่ต้องนำข้อมูลที่อ่านได้มาหักลบระหว่างกันอีกสามารถนำข้อมูลที่ได้อ่านไปใช้ในการวิเคราะห์ได้ทันที ดังนั้นในกรณีที่งานย่อยแต่ละงานนั้นมีระยะเวลาในการทำงานค่อนข้างยาว การใช้วิธีการจับเวลาซ้ำก็น่าจะเหมาะสมกว่า

#### 5) หาจำนวนครั้งในการจับเวลา

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลก็มีความสำคัญในการวิเคราะห์เช่นกัน เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นทางสถิติ ในการทำงานโดยทั่วไปมักจะทำการเก็บข้อมูลทดลองจำนวนหนึ่งขึ้นมาเพื่อใช้กำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องใช้ในการเก็บจริง ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในสมการ 2.5 ดังนี้

$$N' = \left[ \frac{20\sqrt{N\sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad (2.5)$$

โดย

$N'$  = จำนวนครั้งของการจับเวลาที่ต้องการ ที่ระดับความเชื่อมั่น และค่าผิดพลาด หนึ่งๆ

$N$  = จำนวนครั้งของการจับเวลาเบื้องต้น (จำนวนตัวอย่าง)

$X$  = ค่าเวลาที่จับได้ของแต่ละครั้ง (ข้อมูลของแต่ละตัวอย่าง)

ข้อควรจำ

- (1) คำนวณได้  $N'$  น้อยกว่าเท่ากับ  $N$  ไม่ต้องจับเวลาเพิ่ม
- (2) คำนวณได้  $N'$  มากกว่า  $N$  ให้จับเวลาเพิ่มเท่ากับ  $N' - N$

เมื่อได้จำนวนข้อมูลที่จะต้องทำการศึกษาแล้ว จึงนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาไปแล้วว่าเพียงพอหรือไม่ หากไม่เพียงพอจึงทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป การบันทึกข้อมูลแต่ละครั้งมีข้อมูลบางตัวที่ควรจะต้องบันทึกก่อนลงมือทำงานจริง เพื่อป้องกันไม่ให้พลาดข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป เช่น วันที่บันทึก แผนก และบุคคลที่ทำการศึกษานอกจากนี้การเก็บข้อมูลโดยไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานรู้ตัวก็เป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ มักจะตื่นเต้น ทำงานคิดไปจากเดิมเมื่อมีผู้มาสังเกตหรือในบางครั้งผู้ปฏิบัติงานอาจไม่ได้ปฏิบัติงานตามความเป็นจริง เช่น ทำงานช้าหรือเร็วกว่าปกติ ซึ่งอาจทำได้โดยการคุยกับผู้ปฏิบัติงานถึงความจำเป็นในการบันทึกข้อมูลหรือใช้วิธีการเก็บข้อมูลโดยไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานรู้ตัว

#### 6) ให้อัตรสมรรถนะการทำงาน (Performance Rating)

ในการจับเวลา และบันทึกการทำงาน จะมีกรณีที่มีเวลาที่บันทึกอาจจะสูงเกินไปหรือต่ำเกินไปซึ่งอาจจะใช้วิธีการตัดเวลาดังกล่าวออกจากข้อมูลที่บันทึกได้ อย่างไรก็ตามมักจะพบว่า เวลาที่จับได้สูงหรือต่ำเกินไปนั้นมีส่วนที่เกิดจากเงื่อนไขของวัสดุซึ่งน่าจะเป็นส่วนของงานที่ทำให้เวลาที่บันทึกได้เป็นไปตามความเป็นจริงจึงไม่ควรจะขจัดเวลาเหล่านี้ออกไปทั้ง ๆ ที่เป็นเวลาที่ค่อนข้างจะผิดปกติก็ตาม แนวทางการใช้ข้อมูลเวลาที่บันทึกได้โดยใช้ค่าเวลาเฉลี่ยหรือค่าเวลาฐานนิยมยังไม่สามารถแก้ปัญหาด้านข้อมูลเวลาที่อาจจะเบี่ยงเบนไป เนื่องจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจของคนงานในการทำให้เวลาทำงานเร็วขึ้นหรือช้าลงได้ ซึ่งการประเมินอัตราความเร็วของการทำงานของคนงานระหว่างการศึกษาคือเป็นส่วนที่ยุ่งยาก และสำคัญมากในปัญหาของการจับเวลา และบันทึกเวลา

โดยปัญหาดังกล่าวข้างต้นทำให้เกิดความจำเป็นในการปรับค่าเวลาที่ได้ให้เหมาะสมโดยการใช้ค่าองค์ประกอบการประเมิน (Rating Factor) ดังสมการ 2.6

$$\text{ค่าเวลาที่เลือก} \times \text{องค์ประกอบการประเมิน} = \text{ค่าเวลาปกติของงาน} \quad (2.6)$$

มาตรฐานความสามารถในการทำงาน (Standard Performance) คือ อัตราการทำงานที่คนงานที่เหมาะสมทำได้โดยไม่ต้องเร่งการทำงานเกินกว่าอัตราการทำงานเฉลี่ยของเขาในแต่ละวันภายใต้เงื่อนไขว่า คนงานเข้าใจวิธีการทำงานเป็นอย่างดี และพอใจที่จะทำงานนั้น องค์ประกอบที่มีผลต่ออัตราการทำงานประกอบด้วย องค์ประกอบที่อยู่เหนือการควบคุมของคนงาน และองค์ประกอบที่อยู่ภายใต้การควบคุมของคนงาน

## 7) หนเวลาเพื่อการำงาน (Allowances)

การกำหนดเวลาเพื่อ การคำนวณเวลาปกติจากการใช้เวลาเลือก เมื่อปรับด้วยค่าองค์ประกอบการประเมิน จะยังถือเป็นเวลามาตรฐานไม่ได้ เนื่องจากยังไม่ได้ครอบคลุมเวลาเพื่อสำหรับการำงาน ดังนี้

### 7.1) เวลาเพื่อกิจส่วนตัว (Personal Allowance)

### 7.2) เวลาเพื่อความเมื่อยล้า (Fatigue Allowance)

### 7.3) เวลาเพื่อความล่าช้า (Delay Allowance)

เวลาเพื่อ เป็นเวลาที่เพิ่มให้จากเวลาปกติของคณงานที่เหมาะสมเพื่อกิจธุระส่วนตัว เพื่อลดความเมื่อยล้า และเพื่อสำหรับความล่าช้าของกิจกรรมรอต่าง ๆ เวลาเพื่อเพื่อกิจส่วนตัว อาทิ เช่น เข้าห้องน้ำ ล้างมือ ดื่มน้ำ จะถูกกำหนดให้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะความหนักเบาของงาน ระยะเวลาทำงาน เงื่อนไขการทำงาน เวลาเพื่อสำหรับกิจส่วนตัวอาจจะสูงกว่า 5% ของเวลาปกติ การทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันโดยไม่มีกรพักเลยจะมีเวลาที่เป็นกิจส่วนตัว 2-5% เวลาเพื่อส่วนตัวจะต้องสูงมากขึ้นถ้าเงื่อนไขการทำงานเลวลง อาทิเช่น งานหนัก ร้อน ฝุ่นจัด เสียงดัง เหม็น ขึ้นเวลาเพื่อสำหรับความเมื่อยล้าจำเป็นสำหรับงานที่มีเงื่อนไขการทำงานที่จะสร้างความเมื่อยล้าในการทำงานได้มาก อาทิเช่น งานหนัก สภาพแวดล้อมการทำงานไม่ดี มีความเครียดในการทำงาน ระยะเวลาในการทำงาน ฯลฯ คนจำเป็นต้องพักเมื่อรู้สึกวทำงานแล้วเกิดความเมื่อยล้าปัญหาที่คือควรให้เวลาสำหรับการพักผ่อนเป็นเวลามากน้อยเท่าใดซึ่งเวลาพักผ่อนนี้จะแปรผันไปตามสุขภาพเพศ และวัยของคณงานรวมทั้งลักษณะของงานที่ทำ เงื่อนไขการทำงาน วิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมการทำงานสำหรับงานทั่วไป กำหนดเวลาเพื่อไว้ประมาณ 4 % การทำงานที่เบาและมีช่วงเวลาพักผ่อนเพียงพอในระหว่างวัน ไม่จำเป็นต้องมีเวลาเพื่อความเมื่อยล้า เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า เป็นเวลาเพื่อสำหรับสาเหตุอื่นเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนเครื่องมือ เครื่องจักร หรือเวลาที่เสียไปเนื่องจากเครื่องจักรชำรุด ไฟฟ้าดับ ขาดแคลนวัสดุ วัสดุมาไม่ทัน รอเครื่องมือ

## 8) หนเวลาการทำงานปกติ (Normal Time)

เมื่อมีการจับเวลาบันทึกข้อมูลเวลาตามจำนวนวัฏจักรให้ได้ระดับความเชื่อมั่นและระดับความผิดพลาดที่ต้องการแล้วจะสามารถหาเวลาเลือกซึ่งจะให้ค่าเฉลี่ยหรือค่าฐานนิยมของข้อมูลเวลาจากนั้นจะปรับค่าองค์ประกอบการประเมิน ทำให้ได้ค่าเวลาปกติ เมื่อปรับค่าเวลาเพื่อจะได้เป็นเวลามาตรฐาน

การกำหนดหาเวลามาตรฐานจากค่าเวลาปกติปรับค่าเวลาเพื่อทำได้ 2 วิธี ดังสมการ

2.7 และ 2.8

$$\text{เวลามาตรฐาน} = \text{เวลาปกติ} + (\text{เวลาปกติ} \times \% \text{เวลาเผื่อ}) \quad (2.7)$$

$$\text{เวลามาตรฐาน} = \text{เวลาปกติ} \times [100 / (100 - \% \text{เวลาเผื่อ})] \quad (2.8)$$

ในการศึกษาเวลาเพื่อกำหนดเวลามาตรฐานจะใช้กระบวนการปรับค่าเวลาของทุกๆงานย่อยด้วยค่าองค์ประกอบการประเมิน และค่าเวลาเผื่อได้ค่ามาตรฐานเวลาของแต่ละงานย่อย รวมเวลามาตรฐานของทุก ๆ งานย่อยเป็นเวลามาตรฐานของงานหรือจะใช้กระบวนการหาค่าองค์ประกอบการประเมินเฉลี่ย แล้วเอาผลรวมของเวลาเลือกมาหาเวลาปกติ และหาเวลามาตรฐานของงาน โดยการปรับค่าเวลาเผื่อ

#### ประโยชน์ของการศึกษาเวลา

- (1) เพื่อใช้หาคำหนดการและการวางแผนการทำงานและการผลิต
- (2) ใช้หาค่าใช้จ่ายมาตรฐานและช่วยประมาณค่าใช้จ่าย
- (3) ใช้หาราคาของผลิตภัณฑ์ก่อนลงมือผลิต
- (4) ใช้หาประสิทธิภาพการทำงานของคนและเครื่องจักร
- (5) ใช้เวลาเป็นข้อมูลในการสมดุลสายการผลิต
- (6) หาเวลามาตรฐานที่ใช้เป็นตัวฐานในการจ่ายค่าตอบแทน
- (7) หาเวลามาตรฐานสำหรับใช้ในการควบคุมค่าแรง

#### 2.4 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล [27]

ในการวิเคราะห์ทางสถิตินั้น มักจะอยู่บนข้อสมมติที่ว่า ทราบถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่ทำการศึกษา โดยที่การแจกแจงเหล่านี้มักจะมาจากพื้นฐานการตัดสินใจโดยอาศัยทฤษฎีการแจกแจงต่างๆ เช่น ทฤษฎีข้อจำกัดสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem: CLT) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในบางสถานการณ์ผู้ตัดสินใจอาจไม่ทราบได้เลยว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบใด ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำก่อนทดสอบก่อนว่า ข้อมูลนั้นได้รับการเก็บมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบใด เพื่อเป็นสารสนเทศขั้นพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจต่อไป ซึ่งการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลโดยการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน (Goodness of Fit Test) มีการทดสอบที่นิยมใช้ 2 วิธี คือ การทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) สำหรับการทดสอบเทียบ

ความกลมกลืนกัน และการทดสอบโดยวิธีคอลโมโกรอฟ-สมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test หรือ K-S) ดังนี้

**2.4.1 การทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test)** สำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน จะอยู่ภายใต้แนวความคิดในการเปรียบเทียบความถี่ กล่าวคือ ถ้าหากข้อมูลมาจากราชการตามสมมติฐาน  $H_0$  ที่ระบุไว้จริงแล้ว ความถี่ที่เกิดขึ้นจริงของข้อมูล (Observed Frequency: O) จะต้องมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับความถี่ที่คาดหวัง (Expect Value: E) ที่ประเมินภายใต้  $H_0$  เป็นจริง แต่ถ้าหาก O และ E มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ก็แสดงว่าข้อมูลไม่ควรจะมาจากประชากรที่มีการแจกแจงภายใต้สมมติฐาน จึงควรมีการตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐาน

**2.4.2 การทดสอบโดยวิธีคอลโมโกรอฟ-สมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test หรือ K-S Test)** จะอยู่ภายใต้แนวความคิดในการเปรียบเทียบกันระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมของสิ่งตัวอย่างกับฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมที่คาดว่าจะได้รับจากการแจกแจง เมื่อสมมติฐาน  $H_0$  เป็นจริง ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าความหนาแน่นสะสมทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าข้อมูลที่ทดสอบมิได้แจกแจงตามสมมติฐาน (คือปฏิเสธสมมติฐาน)

ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกันดังกล่าวมานี้ จะพบว่าในการกำหนดว่า รูปแบบของการแจกแจงเป็นแบบใดเพื่อตั้งสมมติฐานนั้นถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก โดยที่ผู้ตัดสินใจอาจจะกำหนดได้ด้วยการตัดสินใจทางทฤษฎี โดยอาศัยทฤษฎีการแจกแจงของสิ่งตัวอย่างหรือรูปแบบของการแจกแจง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้อาจจะทำการตรวจสอบรูปแบบอย่างคร่าวๆ เพื่อกำหนดรูปแบบของการแจกแจงโดยผ่านการศึกษาดูฮิสโตแกรม (Histogram) ซึ่งในกรณีนี้มีความจำเป็นที่ผู้ตัดสินใจจะต้องวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นก่อน ซึ่งควรมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 50 ตัว แต่ในการพิจารณาเลือกใช้วิธีทดสอบทั้ง 2 วิธีดังกล่าวมีเกณฑ์ที่พอจะใช้เป็นแนวทางได้คือ ถ้าขนาดตัวอย่างใหญ่มาก ( $n \geq 100$  ตัว) วิธีไคสแควร์จะดีที่สุด ขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 10 ถึง 99 ตัว เหมาะกับวิธีคอลโมโกรอฟ-สมอร์นอฟ แต่ถ้าขนาดตัวอย่างเล็กกว่า 10 ตัว ควรใช้วิธีอื่นเช่น วิธีทดสอบของแครเมอร์-ฟอนไมส์ (Cramer-Von Mises Test) อย่างไรก็ตาม นักสถิติบางท่านพบว่า วิธีไคสแควร์ใช้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อ  $n \geq 30$  ตัว นอกจากนี้การ



ทดสอบแบบไคสแควร์จะมีการปรับค่าองศาความอิสระสำหรับตัวสถิติทดสอบเมื่อมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจง ในขณะที่การทดสอบแบบ K-S จะไม่มีการปรับค่าองศาความอิสระใดๆ จึงแสดงว่าการทดสอบแบบไคสแควร์จะมีความเหมาะสมกับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงตามสมมติฐาน นอกจากนี้แล้วการทดสอบแบบ K-S จะอาศัยการเปรียบเทียบความแตกต่างที่ทุกค่าของฟังก์ชันความหนาแน่นสะสมที่มีผลทำให้ตัวสถิติทดสอบมีความต่อเนื่อง จึงทำให้วิธีการทดสอบแบบ K-S มีความเหมาะสมกับการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่ทราบค่าพารามิเตอร์ ดังสรุปได้ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 วิธีการเหมาะสมสำหรับการทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน

ประเภทการแจกแจงตามสมมติฐาน	ค่าพารามิเตอร์	วิธีการทดสอบ
แบบช่วง	ทราบค่า	ไคสแควร์
แบบช่วง	ไม่ทราบค่า	ไคสแควร์
แบบต่อเนื่อง	ทราบค่า	K-S
แบบต่อเนื่อง	ไม่ทราบค่า	ไคสแควร์

ที่มา: กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547 : 358

## 2.5 การทดสอบสมมติฐาน [28]

เมื่อต้องการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของประชากร โดยการสุ่มเพื่อตรวจสอบดูว่าค่าพารามิเตอร์ยังเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้เดิมหรือไม่ เช่น การเพิ่มอัตราการใช้ปุ๋ยจะทำให้ผลผลิตต่อไร่ของข้าวเพิ่มขึ้นหรือไม่ เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวนี้จะใช้การทดสอบสมมติฐานช่วยในการหาคำตอบ ซึ่งในแต่ละกรณีจะต้องทราบการแจกแจงที่ถูกต้องของประชากรนั้นๆ เมื่อต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร แต่ในบางครั้งก็อาจทดสอบสมมติฐานว่าการแจกแจงนั้นๆ เป็นการแจกแจงแบบที่คาดว่าจะเป็นหรือไม่ก็ได้

ในการทดสอบสมมติฐานอาจจะทดสอบข้อสมมติฐานเกี่ยวกับประชากรชุดเดียวหรือสองชุดขึ้นไปก็ได้ คำตอบอาจจะจริงหรือไม่ก็ได้ ดังนั้นการทดสอบข้อสมมติฐานจึงต้องตั้งกฎเกณฑ์ในการตัดสินใจ ในการพิจารณาที่จะยอมรับหรือปฏิเสธข้อสมมติฐานนั้นๆ การยอมรับหรือปฏิเสธเกิดจากผลของการสุ่มตัวอย่างและการทดสอบสมมติฐานตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น ซึ่งที่แท้จริงแล้วอาจไม่เป็นไปตามข้อสรุปก็ได้ การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานไว้ 2 ข้อสมมติฐาน คือ

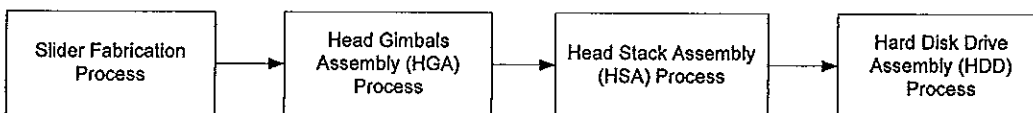
1.  $H_0$  หรือข้อสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ได้แก่ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ทราบค่าแน่นอน มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  ที่ต้องการทดสอบ

2.  $H_1$  หรือข้อสมมติฐานรองหรือข้อสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อแย้งกับ  $H_0$  มักเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการยอมรับที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  ที่ต้องการทดสอบ

## 2.5 อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการย่อยที่เกี่ยวข้อง 4 กระบวนการดังแสดงตามรูปที่ 2-2 ได้แก่

1. Magnetic Head Operation (MHO) แบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ
  - 1) Slider Fabrication
  - 2) Head Gimbal Assembly (HGA) Process
2. Hard Disk Drive (HDD) Operation แบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ
  - 1) Head Stack Assembly (HSA) Process
  - 2) Hard Disk Drive Assembly (HDD) Process



รูปที่ 2-2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

### 2.5.1 ความหมายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data Storage Device) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์นั้นมี 2 ประเภท คือ

2.5.1.1. อุปกรณ์เก็บข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Storage Device) เป็นอุปกรณ์ที่จัดเก็บข้อมูลต่างๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น RAM

2.5.1.2. อุปกรณ์เก็บข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Storage Device) เป็นอุปกรณ์ที่จัดเก็บข้อมูลต่างๆ ในช่วงเวลาที่นานจนกว่าข้อมูลเหล่านั้นจะถูกลบหรือถูกเขียนทับ เช่น เทป Cassette, แผ่น CD, VCD, Floppy Disk, Hard Disk Drive

### 2.5.2 กลุ่มการตลาดของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์และการใช้งานในปัจจุบัน

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลและความเร็วของการส่งผ่านข้อมูลในกลุ่มอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Storage Device) ด้วยกันจะพบว่า ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เป็นอุปกรณ์ที่มีความจุข้อมูลสูงและมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลเร็วแต่มีราคาสูงกว่าอุปกรณ์ตัวอื่นในกลุ่มนี้

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะการใช้งานของอุปกรณ์นั้นๆ ได้แก่

#### 2.5.2.1. Desktop Computer

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้ในตลาดกลุ่มนี้เกือบทั้งหมดจะมีขนาด 3.5 นิ้วและมีความเร็วของการส่งผ่านข้อมูลที่เหมาะสมตามสภาพการใช้งานที่จำเป็น

#### 2.5.2.2. Notebook (Mobile)

การใช้งานของคอมพิวเตอร์ที่ต้องมีการเคลื่อนย้ายอยู่เสมอๆ นั้น ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเคลื่อนย้ายได้ง่ายและขนาดพอเหมาะกับโต๊ะทำงานซึ่ง ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ประเภทนี้มีขนาด 2.5 นิ้วหรือเล็กกว่าอีกทั้งต้องประหยัดพลังงานเป็นพิเศษด้วย (จึงต้องมี 5400 rpm เพื่อประหยัดไฟ)

#### 2.5.2.3. Enterprise (High-Performance Server)

อุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่าย (Network Server) ต้องมีการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากและต้องรองรับการใช้งานจากผู้ใช้ปฏิบัติงานหลายคนซึ่งเข้าถึงข้อมูลในเวลาเดียวกัน (โดยทั่วไปมีการใช้งานพร้อมกันประมาณ 100 คน) อีกทั้งยังต้องทำงานหนักอยู่ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้น

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำหรับใช้งานในอุปกรณ์ประเภทนี้ต้องมีความจุข้อมูลปริมาณสูงมาก ๆ ใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วและมีความทนทานสูง

#### 2.5.2.4. การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ (Entertainment)

ปัจจุบันมีการนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาใช้ในอุปกรณ์เพื่อการบันเทิงมากมาย เช่น โทรทัศน์ เครื่องเล่น DVD เครื่องเล่นเกม ผลิตภัณฑ์เครื่องเสียง Palm อุปกรณ์พกพาต่างๆ ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในอุปกรณ์กลุ่มนี้มีหลายชนิดโดยจะพิจารณาคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในเรื่องของ ความจุข้อมูล ขนาดและประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของแต่ละผลิตภัณฑ์นั้นๆ

#### 2.5.2.5. อุปกรณ์หน่วยความจำภายนอก (External Drive)

ปัจจุบันมีการนำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาใช้เป็นอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มหน่วยความจำให้กับคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังช่วยในการพกพาข้อมูลปริมาณมากได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทนี้จะมีขนาด 3.5 นิ้วและ 2.5 นิ้วที่สำคัญจะต้องมีกล่องป้องกันแรงสะเทือนและมีสายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่สะดวกรวดเร็ว

### 2.5.3 โครงสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เมื่อสังเกตจากภายนอกจะพบว่า HDD มีโครงสร้างหลักอยู่ 2 ส่วนคือ

1. Hard Disk Assembly (HDA) ทุกชิ้นส่วนจะถูกประกอบภายในห้อง clean room ที่มีการควบคุมการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (Electrostatic Discharge, ESD) และการปนเปื้อนของสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็ก (Micro-Contamination)

2. Printed Circuit Board Assembly (PCBA) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักร (Mechanical Parts) และเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer, PC)

#### 2.5.3.1. ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะประกอบไปด้วย จานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ (Platter) ซึ่งออกแบบมาสำหรับบันทึกข้อมูลโดยขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมในการออกแบบด้วยว่าได้มีการกำหนดให้มีขนาดความจุต่อแผ่นเท่าใด และในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละรุ่นจำเป็นต้องใช้จำนวนแผ่นเท่าใด ซึ่งจานแม่เหล็กมีลักษณะเป็นทรงกลมและมีมอเตอร์สำหรับควบคุมการหมุนของจานดิสก์ (Spindle) โดยอัตราความเร็วในการหมุน ณ วันนี้ถูกจัดหมวดออกเป็น 5400, 7200 และ 10,000 รอบ

ต่อนาที (rpm) ซึ่งถ้าจำนวนรอบในการหมุนของจาน ดิสก์มีระดับความถี่ที่สูง ก็จะส่งผลให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้นตามไปด้วย

ในส่วนของลักษณะการอ่านเขียนข้อมูลภายในไดรฟ์นั้น จะมีสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้คือหัวอ่านเขียน(Read/Write Head) โดยหัวอ่านเขียนจะมีจำนวนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนจานดิสก์ด้วย สำหรับหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้นเป็นอุปกรณ์ที่จะเคลื่อนที่ไปบนจานดิสก์ โดยจะเว้นระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับจานดิสก์อย่างคงที่ ซึ่งหากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับการกระทบกระเทือนจนระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับ จานดิสก์ผิดเพี้ยนไป จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่สามารถทำงานได้เลย แต่ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่นใหม่ ๆ จึงได้มีการออกแบบจุดพักหัวอ่านเขียนไว้ด้านข้างเพื่อป้องกันการกระทบบนจานดิสก์ นอกจากนี้ ด้านหลังของตัวไดรฟ์ยังประกอบไปด้วย อินเทอร์เฟซ (Interface) ซึ่งเป็นช่องสำหรับเชื่อมต่อกับสายสัญญาณประเภทต่างๆ แบ่งได้ตาม ชนิดของฮาร์ดดิสก์ เช่น ฮาร์ดดิสก์แบบติดตั้งภายในมีอินเทอร์เฟซ IDE, SCSI และ Serial ATA และ ฮาร์ดดิสก์แบบติดตั้งภายนอกมักมีอินเทอร์เฟซแบบ USB และ Firewire ซึ่งทั้งสองแบบนี้จำเป็นต้องมีช่องสำหรับต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟเพื่ออาศัยพลังงานในการหล่อเลี้ยงอยู่เสมอด้วย

#### 2.5.3.2. ชนิดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แบ่งตามการเชื่อมต่อ (อินเทอร์เฟซ)

##### 1) แบบ IDE (Integrate Drive Electronics)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ IDE เป็นอินเทอร์เฟซรุ่นเก่า ที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้สายแพร์ขนาด 40 เส้น โดยสายแพร์ 1 เส้นสามารถที่จะต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ 2 ตัว บนเมนบอร์ดนั้นจะมีขั้วต่อ IDE อยู่ 2 ขั้วด้วยกัน ทำให้สามารถพ่วงต่อฮาร์ดดิสก์ได้สูงสุด 4 ตัว มีความเร็วสูงสุดในการถ่ายโอนข้อมูลอยู่ที่ 8.3 เมกะไบต์/ วินาที สำหรับขนาดความจุก็ยังน้อยอีกด้วย เพียงแค่ 504MB เท่านั้นเอง

##### 2) แบบ E-IDE (Enhanced Integrated Drive Electronics)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ E-IDE พัฒนามาจากประเภท IDE ด้วยสายแพร์ขนาด 80 เส้น ผ่านคอนเน็คเตอร์ 40 ขาเช่นเดียวกับ IDE ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพในการทำงานให้มากขึ้น โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ทำงานแบบ E-IDE นั้นจะมีขนาดความจุที่สูงกว่า 504MB และความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงขึ้น โดยสูงถึง 133 เมกะไบต์ต่อวินาทีเลยทีเดียว

วิธีการรับส่งข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ E-IDE ยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ PIO และ DMA

2.1) โหมด PIO (Programmed Input Output) เป็นการรับส่งข้อมูลโดยผ่านการประมวลผลของซีพียู คือรับข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์เข้ามายังซีพียู หรือส่งข้อมูลจากซีพียูไปยังฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เห็นได้ชัดเลยว่าการทำงานนั้นมีความเกี่ยวข้องกับซีพียู ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมในลักษณะงานที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บ่อยครั้งหรือการทำงานหลายๆ งานพร้อมกันในเวลาเดียวที่เรียกว่า Multitasking Environment ซึ่งการที่ต้องเข้าถึงข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บ่อยครั้งจะทำให้ความสามารถในการทำงานโดยรวมของระบบต่ำลง

2.2) โหมด DMA (Direct Memory Access) จะอนุญาตให้อุปกรณ์ต่างๆ ส่งผ่านข้อมูลหรือติดต่อไปยังหน่วยความจำหลัก (RAM) ได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดต่อไปที่ซีพียูก่อนเหมือนกระบวนการทำงานปกติ ประโยชน์ของการใช้ DMA ก็น่าจะได้ชัดเจน เพราะเมื่อซีพียูสามารถมุ่งมันกับงานของตนเองให้เสร็จโดยไม่ต้องพะวงว่าจะถูกรบกวนจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้ช่วยทำงานก็สามารถทำให้ซีพียูจัดการงานได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย

### 3) แบบ SCSI (Small Computer System Interface)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ SCSI เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีอินเทอร์เฟซที่แตกต่างจาก E-IDE โดยฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI จะมีการ์ดสำหรับควบคุมการทำงาน โดยเฉพาะ ซึ่งเรียกว่า การ์ด SCSI สำหรับความสามารถของการ์ด SCSI นี้ สามารถที่จะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบ SCSI ได้ถึง 7 ชิ้นอุปกรณ์ด้วยกัน ผ่านสายแพร์แบบ SCSI อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI จะมีความเร็วสูงสุดถึง 320 เมกะไบต์/วินาที รวมถึงกำลังรอบในการหมุนของจานดิสก์อย่างต่ำก็หลักหมื่น โดยปัจจุบันแบ่งเป็น 10,000 และ 15,000 รอบต่อนาที ซึ่งมีความเร็วที่มากกว่าประเภท E-IDE อยู่มากส่งผลให้ราคาแพง โดยส่วนใหญ่จะนำฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI มาใช้กับงานด้านเครือข่าย (Server) เท่านั้น

### 4) แบบ Serial ATA

เป็นอินเทอร์เฟซที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน และอีกไม่นานจะเปลี่ยนเข้าสู่ความเป็น Serial ATA II ซึ่งเมื่อการเชื่อมต่อในลักษณะ Parallel ATA หรือ E-IDE เริ่มเจือจางกันในเรื่องของความเร็วที่พัฒนาอย่างไรไม่ทัน SCSI และอีกสาเหตุมาจากสายแพร์แบบ Parallel ATA เพื่อการส่งผ่านข้อมูลนั้นมีขนาดความกว้างถึง 2 นิ้ว และเป็นที่ยึดเคยสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ทั่วไป แต่ปัจจุบันอินเทอร์เฟซแบบ Parallel ATA เริ่มพัฒนาต่อไปไม่ได้แล้วเช่นเดียวกัน เมื่ออัตราความเร็วในปัจจุบันทำได้สูงสุดเพียงระดับ 133 เมกะไบต์ต่อวินาทีเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้บรรดาผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่างหันมาให้ความสนใจเทคโนโลยีต่อเชื่อมรูปแบบแบบใหม่ที่

เรียกว่า Serial ATA โดยให้อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลขั้นแรกสูงสุดถึง 150 เมกะไบต์ต่อวินาที โดยเทคโนโลยี Serial ATA นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มผู้พัฒนา Serial ATA ซึ่งได้เผยแพร่ข้อกำหนดคุณสมบัติสำหรับ Serial ATA 1.0 ขึ้น ด้วยคาดหวังว่าจะสามารถขยายช่องสัญญาณ (Bandwidth) ในการส่งผ่านข้อมูลได้เพิ่มขึ้นถึง 2-3 เท่า และยังสามารถรับข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น ไม่เฉพาะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพียงเท่านั้นที่จะมีการเชื่อมต่อในรูปแบบนี้ แต่ยังรวมไปถึงอุปกรณ์ตัวอื่นๆ อย่าง CD-RW หรือ DVD อีกด้วย และด้วยการพัฒนาของ Serial ATA นี้เอง ที่จะทำให้เกิดปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านข้อมูลระหว่าง CPU ความเร็วสูงกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงได้ โดยสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วของระบบที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ Serial ATA จึงกลายเป็นความหวังใหม่สำหรับการเพิ่มความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) ในอนาคต นอกจากนี้ Serial ATA ยังแตกต่างจากฮาร์ดไดรฟ์ที่ใช้อินเทอร์เฟซ Parallel ATA ซึ่งเป็นแบบขนานอย่างชัดเจน เพราะอินเทอร์เฟซ Serial ATA นี้ มีการกำหนดให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวไหนเป็น Master (ตัวหลัก) หรือ Slave (ตัวรอง) ผ่านช่องเชื่อมต่อบนเมนบอร์ดได้โดยตรงซึ่งลดความยุ่งยากในการติดตั้งลงไปได้มาก อีกทั้งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภทนี้บางตัวยังรองรับการถอดสับเปลี่ยนโดยทันที (Hot Swap) ทำให้การเชื่อมต่อในลักษณะนี้กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาในข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยสนใจที่ใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือในการศึกษาค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิต และเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการดำเนินงานตามแผนภาพ (flow chart) ได้ดังรูปที่ 3-1 โดยในส่วนของ การตรวจสอบเอกสาร และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ผู้ทำวิจัยได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 และ 2 ดังนั้นในบทที่ 3 นี้จะอธิบายในส่วนของ การกำหนดหัวข้อลักษณะของปัญหา การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล การพัฒนาแบบจำลองของระบบ การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองของระบบ และการดำเนินการทดลองกับแบบจำลองซึ่งมีรายละเอียด คือ

#### 3.1 กำหนดหัวข้อลักษณะของปัญหา

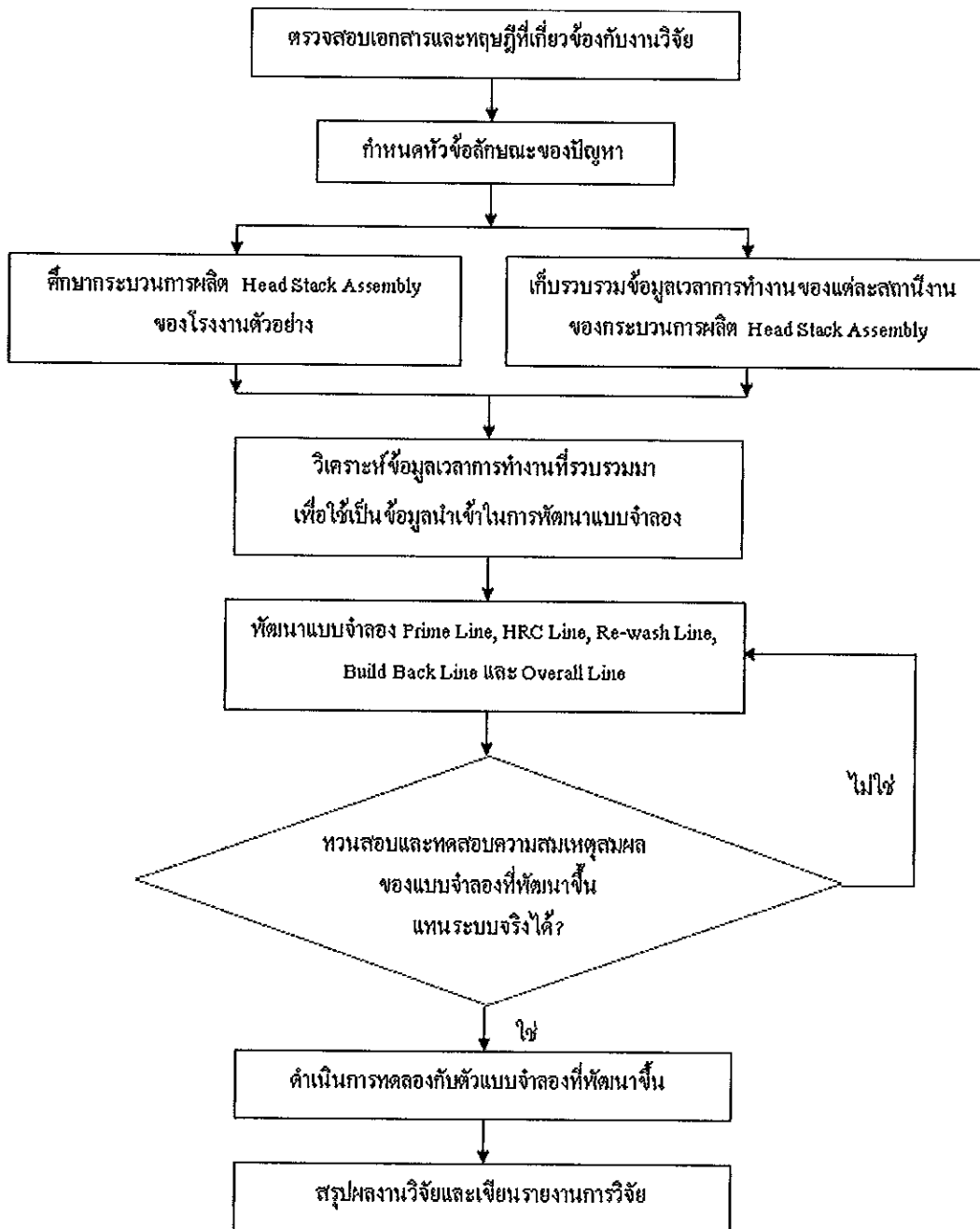
เนื่องจากความต้องการของลูกค้าของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีความไม่แน่นอน จึงมักเกิดปัญหาผลิตไม่ทันกับความต้องการของลูกค้าในช่วงที่ความต้องการสูงๆ เนื่องจากปัญหาข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่โรงงาน จำนวนเครื่องจักรตลอดจนจำนวนแรงงาน และเนื่องด้วยบริษัทมีลักษณะเป็นอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างรวดเร็ว อายุการใช้งานของเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสั้น ต้องเปลี่ยนแปลงตามเทคโนโลยีที่พัฒนาอยู่ตลอดเวลา วิธีที่จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้คือการเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับสายการผลิตให้สามารถผลิตเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าในช่วงความต้องการสูงๆ ได้ภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ การลดค่ารอบเวลาการผลิต เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้โดยที่บริษัทไม่ต้องลงทุนเพิ่มในส่วนของทั้งพื้นที่ จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนแรงงาน แต่การจะทำการทดลองในสายการผลิตจริงนอกจากจะมีค่าใช้จ่ายสูงแล้วยังเป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการทดลองอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดลองผ่านการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้โดยใช้โปรแกรม ProModel® Version 7.0 เป็นเครื่องมือช่วย



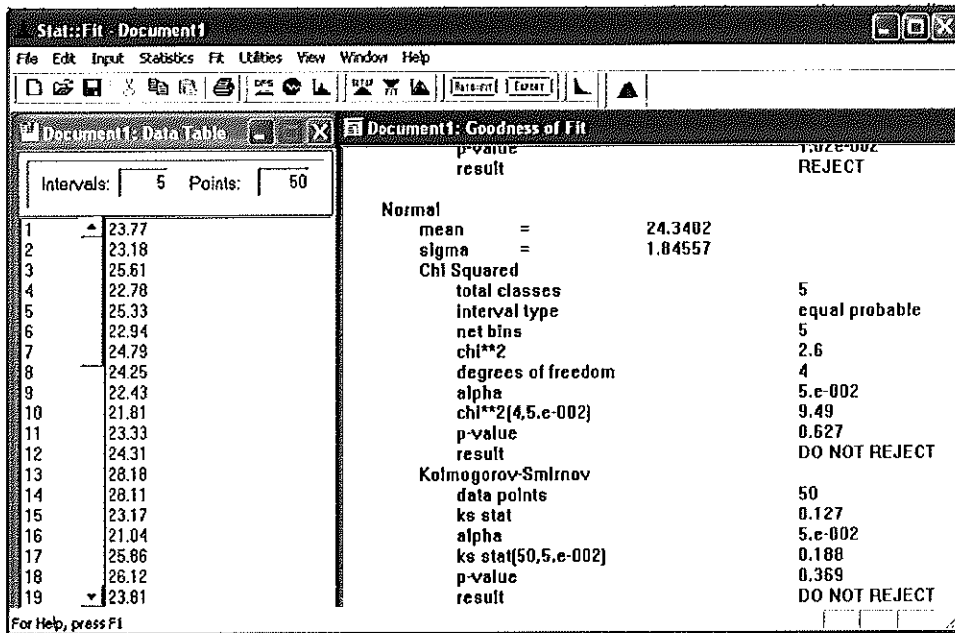
ซึ่งองค์ประกอบที่เป็นกลไกอันสำคัญในการจำลองแบบปัญหาให้ประสบผลสำเร็จ ก็คือ แบบจำลอง การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาจำเป็นต้องเรียนรู้และความเข้าใจโดยละเอียดเกี่ยวกับระบบงานจริงนั้นๆเป็นอย่างดีเสียก่อน เพราะว่าสิ่งนี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อการสร้างแบบจำลองและการนำแบบจำลองไปใช้งาน ดังนั้นผู้ที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริงอย่างแท้จริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนระบบงานจริงนั้นๆได้

### 3.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

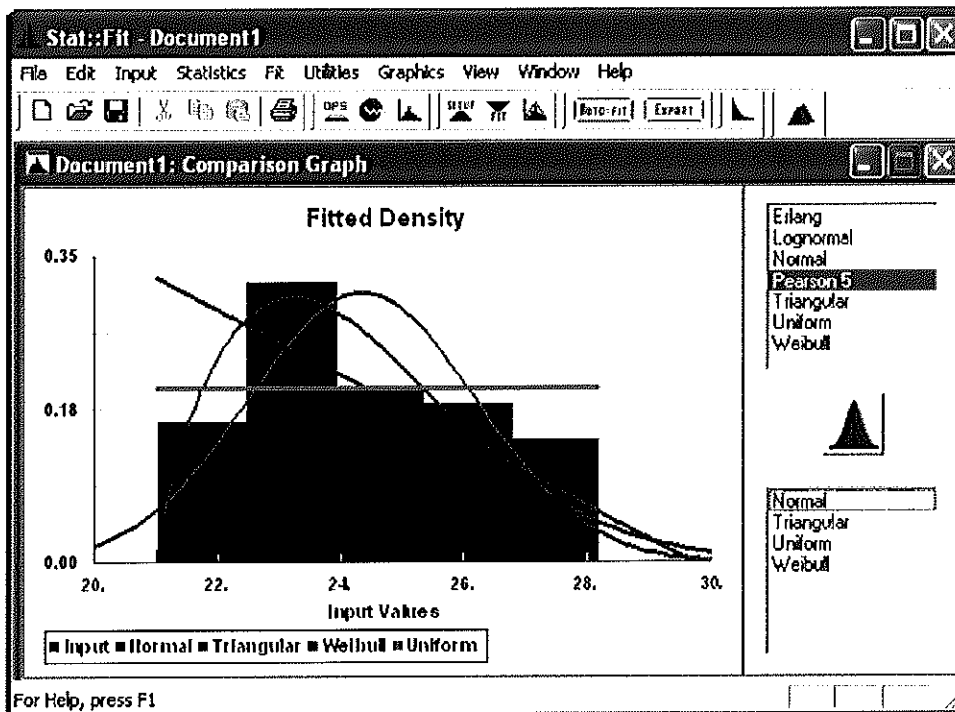
ข้อมูลนำเข้านับเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การสร้างตัวแบบจำลองดำเนินต่อไปในการหาคำตอบที่ต้องการได้ โดยข้อมูลที่เก็บมาได้แก่ เวลาระหว่างการเข้ามาของ Head Gimbal Assembly (HGA) และ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานของแต่ละสถานีงาน เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายระหว่างสถานีปฏิบัติงาน ระยะห่างระหว่างสถานีงาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดิบเหล่านี้ต้องนำมาหารูปแบบการแจกแจงของข้อมูลและประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่หาได้ ในการเก็บข้อมูลมักจะพบว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปที่เป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาของระบบไม่ได้อยู่ในรูปแบบที่จะนำมาใช้ได้ทันที เนื่องจากมีข้อจำกัดและอุปสรรคต่างๆ ที่ทำให้ไม่ได้ครบถ้วนตามต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนข้อมูลดิบแต่ละข้อมูลไม่น้อยกว่า 30 ข้อมูลมาทำการหารูปแบบการแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม ProModel<sup>®</sup> Version 7.0 ที่เรียกว่า “Stat Fit” [23] โดยเลือกใช้วิธีการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยวิธีไคสแควร์ (Chi-Square Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีฟังก์ชันความเป็นไปได้มีค่ามากที่สุด (Maximum Likelihood Equation: MLE) สำหรับข้อมูลดิบต่างๆ ที่เก็บมาจากระบบจริงต้องนำมาป้อนใส่ในเครื่องมือ “Stat Fit” แล้วประมาณการแจกแจงและค่าพารามิเตอร์โดยใช้คำสั่ง “Auto Fit” บน Toolbar ของโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 3-2 สำหรับข้อมูลที่ประมาณการแจกแจงและค่าพารามิเตอร์เพื่อเป็นข้อมูลเข้าในแบบจำลองโดยใช้คำสั่ง “Auto Fit” ของเครื่องมือ “Stat Fit” เมื่อพบว่ามีหลายการแจกแจงได้รับการยอมรับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของการทดสอบการแจกแจง จะต้องเลือกการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด โดยการดูกราฟแสดงการแจกแจงประกอบการพิจารณาในการเลือกการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย



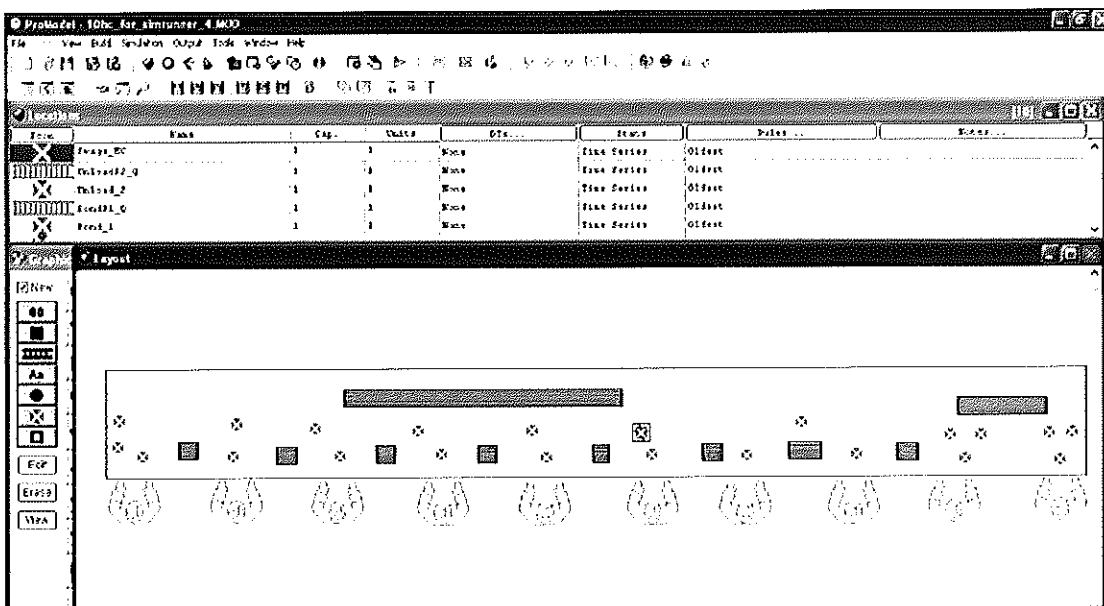
รูปที่ 3-2 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยเครื่องมือ “Stat Fit”



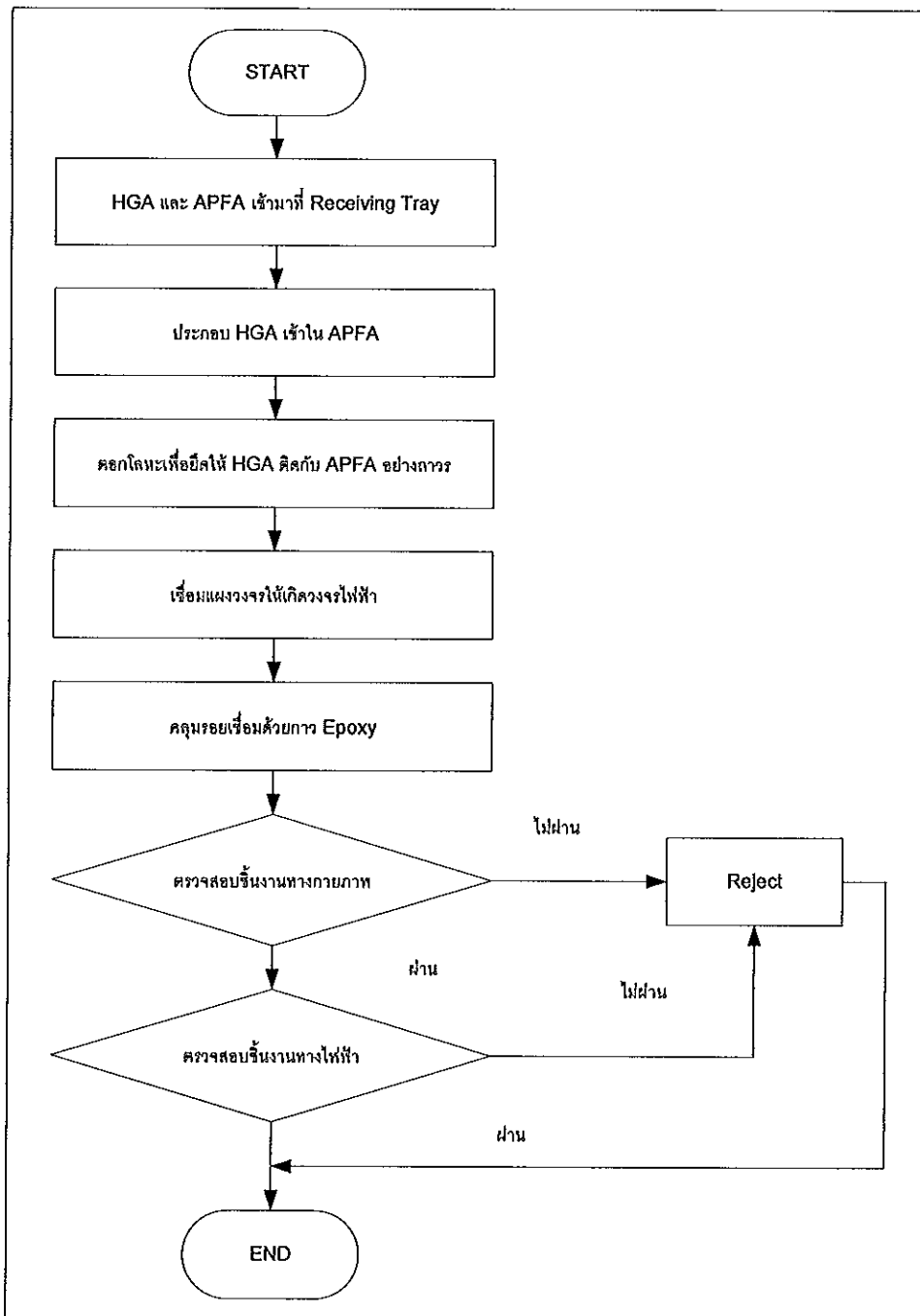
รูปที่ 3-3 กราฟแสดงการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยเครื่องมือ “Stat Fit”

### 3.3 การพัฒนาแบบจำลองของระบบ

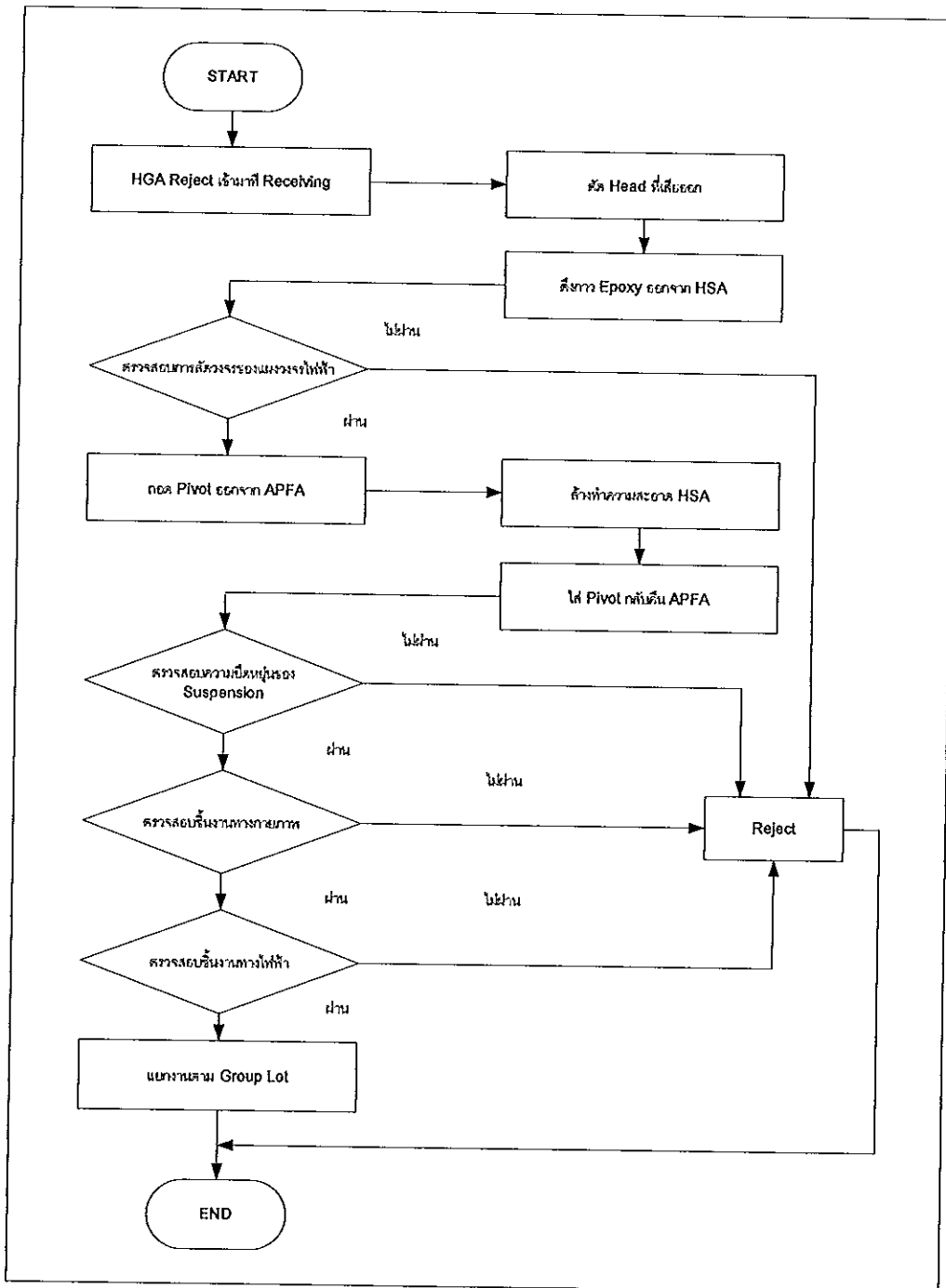
หลังจากที่ได้ศึกษากระบวนการผลิต Head Stack Assembly ซึ่งทำให้ทราบถึงขั้นตอนในการทำงานของแต่ละสถานีงานและเก็บรวบรวมตลอดจนวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนระบบ ภายในแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าที่ได้จากการรวบรวมและวิเคราะห์แล้ว เช่น เวลาในการทำงานของแต่ละสถานีปฏิบัติงาน เวลาในการเคลื่อนย้าย Head Stack Assembly ระหว่างสถานีปฏิบัติงาน เวลาระหว่างการมาถึงของ Head Gimbal Assembly ระยะห่างของแต่ละสถานีงานและระยะห่างระหว่างลามีนา เป็นต้น โดยใช้ภาษาโปรแกรม ProModel® เข้ามาช่วยในการสร้างตัวแทนแบบจำลองระบบดังรูปที่ 3-4 ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 3-5 ถึง 3-7



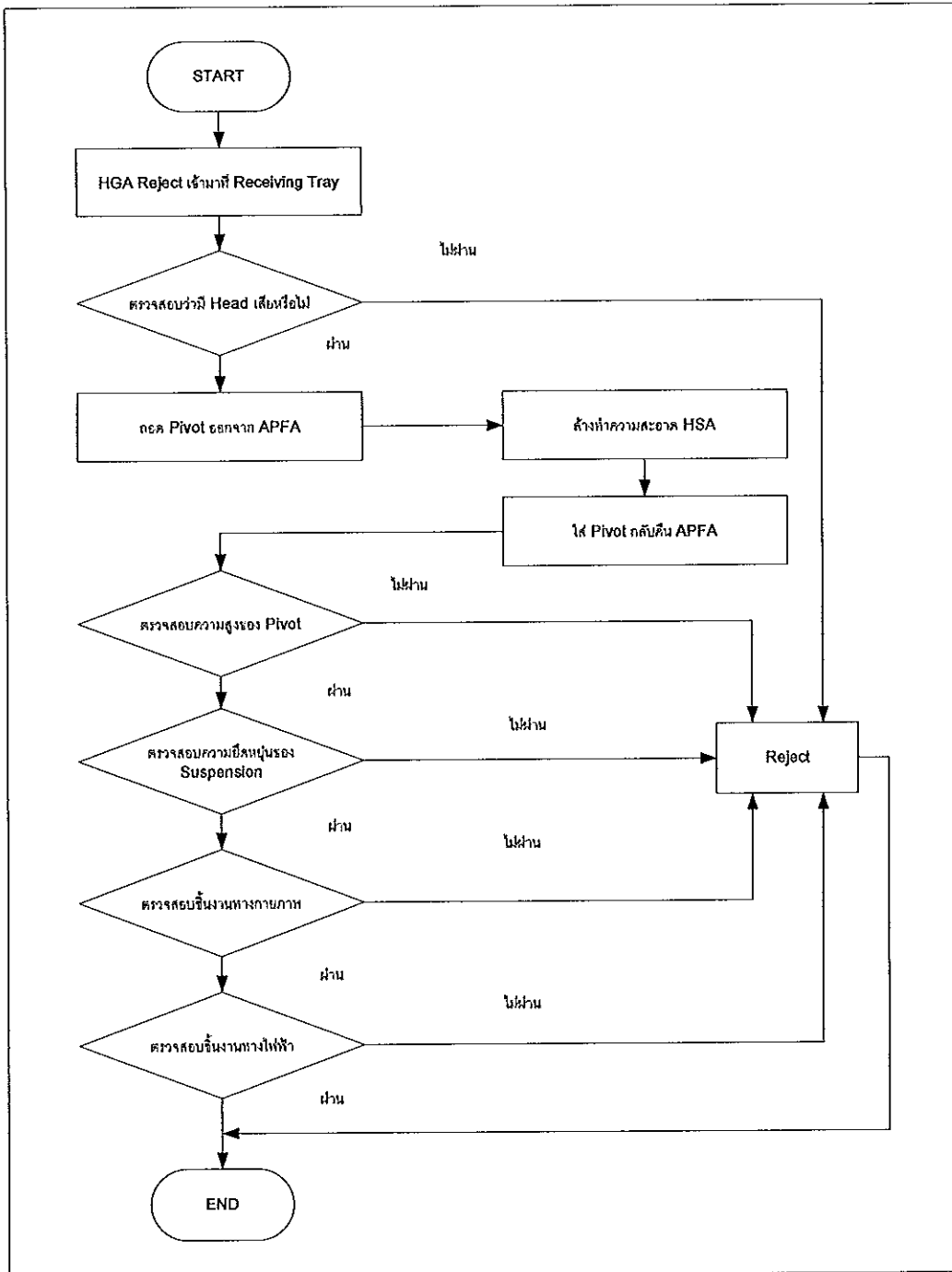
รูปที่ 3-4 การสร้างตัวแทนแบบจำลองระบบบนโปรแกรม ProModel®



รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Prime Line



รูปที่ 3-6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Rework Line



รูปที่ 3-7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนของ Rewash Line

### 3.4 การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองระบบ

โดยปกติผู้ใช้ตัวแบบมักจะมีคำถามอยู่ในใจเสมอว่าตัวแบบที่ได้นั้นมีความถูกต้องและเป็นตัวแทนของระบบที่สมเหตุสมผลหรือไม่ ซึ่งวิธีที่จะช่วยลดข้อสงสัยนี้และเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับตัวแบบคือ ผู้พัฒนาตัวแบบต้องทำงานใกล้ชิดกับผู้ที่นำตัวแบบไปใช้งานตลอดเวลาที่พัฒนาและปรับเปลี่ยนตัวแบบให้สมเหตุสมผล มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้สร้างตัวแบบที่เป็นตัวแทนที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมของระบบจริง และเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือให้ผู้ยอมรับตัวแบบจำลอง โดยกระบวนการทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองระบบมีด้วยกันหลายวิธี สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้การเปรียบเทียบแบบจำลองแทนระบบที่พัฒนาขึ้นกับแผนผังขั้นตอนกระบวนการปฏิบัติงาน โดยผู้ดูแลระบบของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly การนำข้อมูลที่ได้จากระบบจริงมาเปรียบเทียบกับข้อมูลออกจากการทดลองตัวแบบด้วยโปรแกรม ProModel โดยใช้วิธีทางสถิติ การสังเกตผลลัพธ์ระหว่างการจำลองตัวแบบบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรม ProModel เปรียบเทียบกับในความเป็นจริง [23]

#### 3.4.1 การทวนสอบตัวแบบจำลอง

ในการทวนสอบตัวแบบจำลองนั้นกระทำเพื่อให้ผู้พัฒนาตัวแบบมั่นใจว่า ตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องและสอดคล้องกับระบบจริง ซึ่งในการทวนสอบตัวแบบจำลองสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ให้คนอื่นช่วยตรวจดูโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้แผนภาพสายงาน (Flow Diagram) ช่วยในการทวนสอบ ตรวจสอบผลลัพธ์ของตัวแบบจำลองว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้พารามิเตอร์นำเข้าต่างๆ กัน สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการทวนสอบด้วยแผนผังขั้นตอนกระบวนการปฏิบัติงาน โดยผู้ดูแลระบบของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly และทวนสอบความถูกต้องของผลการจำลองระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้คำสั่ง “Trace” ของโปรแกรม ProModel โดยใช้การจำลองแบบภาพเคลื่อนไหว (Animation Graphic) ช่วยในการทวนสอบ ดังแสดงในรูป 3-8



```

TRACE - Free Off
02:16.758 For HSA1 at UnloadP2_O:
02:16.758 Process completed.
02:16.758 Release the captured capacity.
02:16.758 For HSA2 at Swage_MC:
02:16.758 The main entity is rotated out as HSA2.
02:16.758 Output is named as HSA2.
02:16.758 Start move to UnloadP2_O.
02:16.758 HSA2 arrives at UnloadP2_O.
02:16.758 For HSA2 at UnloadP2_O:
02:16.758 HSA2 enters UnloadP2_O.
02:16.758 Start moving for 0.019 Min.
02:16.758 For HSA2 at Swage_MC:
02:16.758 Process completed.
02:16.758 Release the captured capacity.
02:16.758 For HSA1 at Unload_I:
02:16.758 The main entity is rotated out as HSA1.
02:16.758 Output is named as HSA1.
02:16.758 Start move to Swage_MC.
02:16.758 HSA1 arrives at Swage_MC.
02:16.758 For HSA1 at Swage_MC:
02:16.758 HSA1 enters Swage_MC.
02:16.758 Wait 0.245 Min.
02:16.758 For HSA1 at Unload_I:
02:16.758 Process completed.
02:16.758 Release the captured capacity.
02:16.758 For HSA2 at UnloadP1_O:
02:16.758 The main entity is rotated out as HSA2.
02:16.758 Output is named as HSA2.

```

รูป 3-8 แสดงขั้นตอนการทำ Model Verification โดยใช้คำสั่ง TRACE

#### 3.4.2 การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง

เมื่อทวนสอบตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะต้องทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลอง เพื่อปรับเทียบพฤติกรรมของตัวแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมของระบบจริง โดยการใช้วิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการทดสอบ ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูลที่สุ่มเก็บมาจากระบบจริงกับข้อมูลออกจากตัวแบบจำลอง เพื่อปรับเทียบตัวแบบจำลองให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับระบบจริง การที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณค่าความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากระบบทั้งสองโดยการใช้วิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการทดสอบด้วยตัวสถิติทดสอบ  $t$  (Two Samples  $t$  Test) ซึ่งพารามิเตอร์ในการทดสอบที่ใช้ในการเปรียบเทียบในที่นี้ คือ จำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ต่อชั่วโมงของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly

### 3.5 การดำเนินการทดลองกับตัวแบบจำลองระบบ

3.5.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุหลัก (Key Process Input Variable, KPIV) ที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตซึ่งเป็นตัวหลักของกระบวนการ (Key Process Output Variable, KPOV)

จากการระดมความคิดร่วมกับโรงงานและจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตดังนี้

1. รูปแบบการแจกแจงการเข้ามาของชิ้นงาน (Arrival distribution)
2. รูปแบบการจัดสายการผลิต (Line Layout)
3. รูปแบบช่วงเวลาเสียของเครื่องจักร (Downtime pattern)
4. จำนวนคนงานแต่ละสถานีงาน
5. จำนวน Shuttle
6. จำนวน Flow Fixture
7. จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR
8. จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH

ในส่วนของ Line Layout และจำนวนคนงานแต่ละสถานีงาน โรงงานได้ทำการศึกษาไปแล้ว ในส่วนรูปแบบช่วงเวลาเสียของเครื่องจักร เนื่องจากข้อจำกัดของโรงงานจึงไม่สามารถศึกษาได้ จึงเลือกทำการศึกษาปัจจัย 4 ตัวคือ จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH จากการสำรวจสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly พบว่ามีการใช้ Shuttle จำนวน 7 ตัวต่อหนึ่งสายการผลิต ใช้ Flow Fixture จำนวน 11 ตัวต่อหนึ่งสายการผลิตใช้จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH จำนวน 21 คนและใช้จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR จำนวน 19 คน

3.5.2 การออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่สนใจประกอบด้วย 4 ปัจจัยคือ จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 4 ปัจจัย (Four-Factor Factorial Design) ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ที่ต้องทำการทดสอบพร้อมๆ กันดังนี้

1. จำนวน Shuttle ประกอบด้วย 4, 7 และ 10 คน
2. จำนวน Flow Fixture ประกอบด้วย 8, 11 และ 14 คน
3. จำนวน Pack CR ประกอบด้วย 15, 19 และ 23 คน
4. จำนวน Load MH ประกอบด้วย 17, 21 และ 25 คน

โดยแบบจำลองทางสถิติสำหรับการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 4 ปัจจัย จะประกอบด้วยเงื่อนไขการทดลองจำนวน 81 เงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยข้อมูลจากการทดลองสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) ดังในสมการ (3.1) คือ

$$y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + (\tau\beta\delta)_{ijl} + (\tau\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3; l = 1, 2, 3; m = 1, 2, \dots, n$

กำหนดให้	$y_{ijklm}$	คือ จำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ต่อวัน
	$\mu$	คือ ผลเฉลี่ยทั้งหมด
	$\tau_i$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ $i$ ของปัจจัยจำนวน Shuttle
	$\beta_j$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ $j$ ของปัจจัยจำนวน Flow Fixture
	$\gamma_k$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ $k$ ของปัจจัยจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน
	$\delta_l$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ $l$ ของปัจจัยจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน
	$(\tau\beta)_{ij}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i$ และ $\beta_j$
	$(\tau\gamma)_{ik}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i$ และ $\gamma_k$
	$(\tau\delta)_{il}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i$ และ $\delta_l$
	$(\beta\gamma)_{jk}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\beta_j$ และ $\gamma_k$
	$(\beta\delta)_{jl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\beta_j$ และ $\delta_l$
	$(\gamma\delta)_{kl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\gamma_k$ และ $\delta_l$
	$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i, \beta_j$ และ $\gamma_k$
	$(\tau\beta\delta)_{ijl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i, \beta_j$ และ $\delta_l$
	$(\tau\gamma\delta)_{ikl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i, \gamma_k$ และ $\delta_l$
	$(\beta\gamma\delta)_{jkl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\beta_j, \gamma_k$ และ $\delta_l$
	$(\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl}$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง $\tau_i, \beta_j, \gamma_k$ และ $\delta_l$
	$\varepsilon_{ijklm}$	คือ องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 4 ปัจจัย

เงื่อนไขที่	Factor A ( Shuttle)	Factor B ( Flow Fixture)	Factor C ( Pack CR)	Factor D ( Load MH)
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	1	1	3
4	1	1	2	1
5	1	1	2	2
6	1	1	2	3
7	1	1	3	1
8	1	1	3	2
9	1	1	3	3
10	1	2	1	1
11	1	2	1	2
12	1	2	1	3
13	1	2	2	1
14	1	2	2	2
15	1	2	2	3
16	1	2	3	1
17	1	2	3	2
18	1	2	3	3
19	1	3	1	1
20	1	3	1	2
21	1	3	1	3
22	1	3	2	1
23	1	3	2	2
24	1	3	2	3
25	1	3	3	1
26	1	3	3	2
27	1	3	3	3

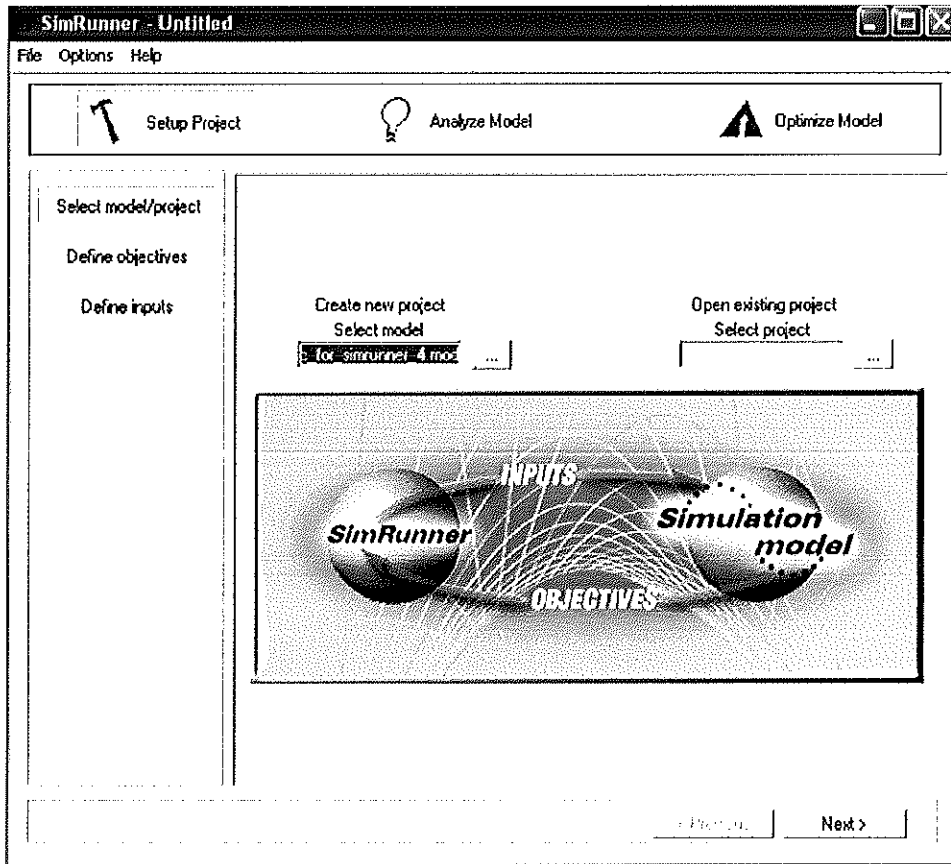
ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

เงื่อนไขที่	Factor A ( Shuttle)	Factor B ( Flow Fixture)	Factor C ( Pack CR)	Factor D ( Load MH)
28	2	1	1	1
29	2	1	1	2
30	2	1	1	3
31	2	1	2	1
32	2	1	2	2
33	2	1	2	3
34	2	1	3	1
35	2	1	3	2
36	2	1	3	3
37	2	2	1	1
38	2	2	1	2
39	2	2	1	3
40	2	2	2	1
41	2	2	2	2
42	2	2	2	3
43	2	2	3	1
44	2	2	3	2
45	2	2	3	3
46	2	3	1	1
47	2	3	1	2
48	2	3	1	3
49	2	3	2	1
50	2	3	2	2
51	2	3	2	3
52	2	3	3	1
53	2	3	3	2
54	2	3	3	3

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

เงื่อนไขที่	Factor A ( Shuttle)	Factor B ( Flow Fixture)	Factor C ( Pack CR)	Factor D ( Load MH)
55	3	1	1	1
56	3	1	1	2
57	3	1	1	3
58	3	1	2	1
59	3	1	2	2
60	3	1	2	3
61	3	1	3	1
62	3	1	3	2
63	3	1	3	3
64	3	2	1	1
65	3	2	1	2
66	3	2	1	3
67	3	2	2	1
68	3	2	2	2
69	3	2	2	3
70	3	2	3	1
71	3	2	3	2
72	3	2	3	3
73	3	3	1	1
74	3	3	1	2
75	3	3	1	3
76	3	3	2	1
77	3	3	2	2
78	3	3	2	3
79	3	3	3	1
80	3	3	3	2
81	3	3	3	3

3.5.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของค่ารอบเวลาการผลิต หลังจากทำการทดลองได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหาสภาวะของปัจจัยเหล่านั้นเพื่อให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือ SimRunner ของโปรแกรม ProModel® Version 7 ดังแสดงในรูป 3-9



รูป 3-9 แสดงการทำ Optimization โดยใช้เครื่องมือ SimRunner

การทำ Optimization ด้วยเครื่องมือ SimRunner จะเริ่มจากการขั้นตอนแรกคือการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับโปรแกรมซึ่งประกอบไปด้วย

1. เลือกแบบจำลองที่ต้องการทำ Optimization
2. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทำ Optimization ซึ่งในที่นี้ต้องการค่ารอบเวลาการผลิตที่น้อยที่สุดหรือผลิต Head Stack Assembly ให้ได้มากที่สุด

3. กำหนด Inputs ในที่นี้คือปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิต ซึ่งเราจำเป็นต้องกำหนดช่วงให้กับปัจจัยทั้ง 4 คือ จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ว่าจะให้โปรแกรมทำการทดลองในช่วงไหน

สำหรับขั้นตอนต่อไปจะเป็นในส่วนของกราฟวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดจะเป็นการกำหนดพารามิเตอร์ของการทดลอง ได้แก่ ระยะเวลาในการรัน จำนวนทำซ้ำ ระดับความเชื่อมั่น และเวลา Warm-up เมื่อกำหนดค่าต่างๆแล้วโปรแกรมจะทำการค้นหาค่าที่ดีที่สุด



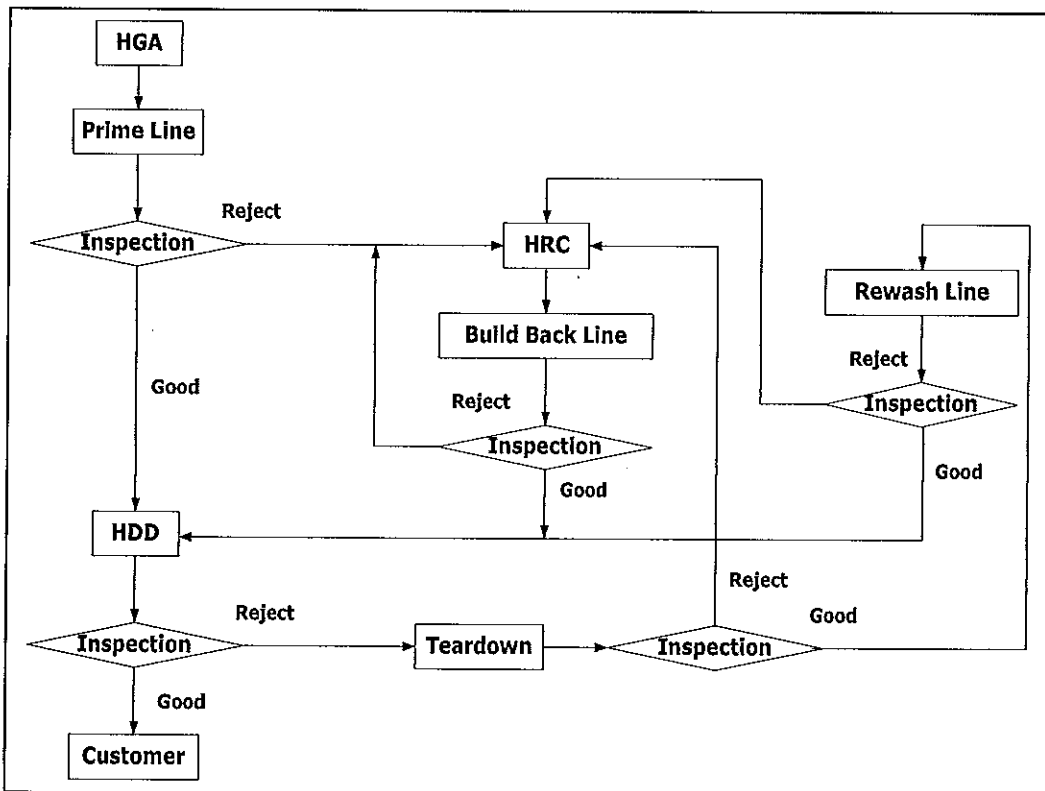
## บทที่ 4

### การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัยสำหรับการศึกษาค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly สามารถแบ่งการวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

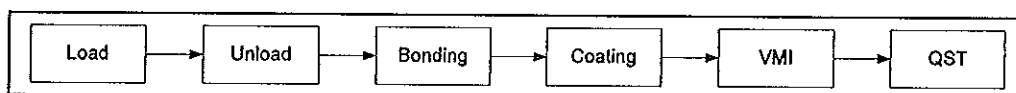
#### 4.1 กำหนดหัวข้อลักษณะของปัญหา

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ซึ่งมีรายละเอียดของกระบวนการผลิตดังนี้



รูปที่ 4-1 แผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly

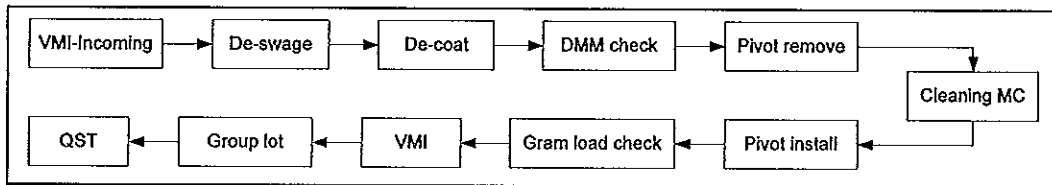
จากรูปที่ 4-1 จะเห็นว่ากระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) จะประกอบด้วยสายการผลิตหลักคือ Prime Line และสายการผลิตของงาน Rework คือ Head Rework Center Line (HRC), Rewash Line และ Build Back Line โดยชิ้นงานดีที่ผ่านการประกอบจาก Prime Line จะถูกส่งไปที่ Hard Disk Drive (HDD) เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป ในขณะที่ชิ้นงานเสียซึ่งเป็น Internal HSA จะถูกส่งไปแก้ไขที่ HRC และส่งต่อไปที่ Build Back Line สำหรับชิ้นงานเสียจาก HDD จะถูกแยกส่วนเพื่อตรวจสอบว่ามีชิ้นส่วนใดเสียบ้าง ซึ่ง HSA ที่ผ่านการแยกส่วนจาก HDD จะเป็น External HSA ในกรณีที่ตรวจสอบพบว่าเป็น HSA เสียก็จะถูกส่งไปแก้ไขที่ HRC และ Build Back Line เช่นเดียวกับ Internal HSA แต่ถ้าไม่เสียจะถูกส่งไปล้างที่ Rewash Line ส่วนชิ้นงานที่ออกจาก Build Back Line ถ้าเป็นชิ้นงานดีจะถูกส่งไปที่ HDD ชิ้นงานเสียจะถูกส่งกลับไปแก้ไขที่ HRC อีกครั้ง สำหรับแผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ของสายการผลิตแต่ละแบบแสดงในรูปที่ 4-2 ถึง รูปที่ 4-5



รูปที่ 4-2 แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Prime Line

จากรูปที่ 4-2 จะเห็นว่า Prime Line จะประกอบด้วยสถานีงานหลัก 6 สถานีคือ Load, Unload, Bonding, Coating, Visual Mechanical Inspection (VMI) และ Quasi Static Test (QST) ซึ่งแต่ละสถานีงานมีหน้าที่ดังนี้

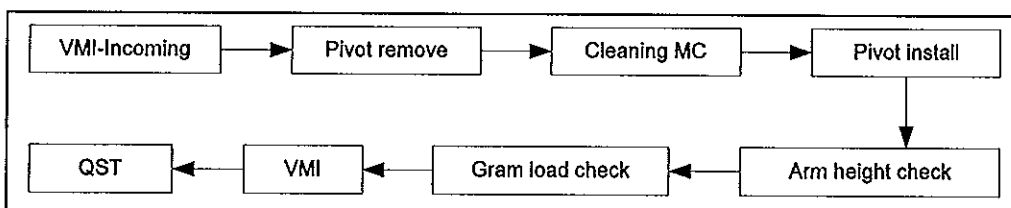
1. Load ทำหน้าที่ประกอบ Head Gimbal Assembly (HGA) เข้ากับ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) โดยใช้ shuttle เป็นตัวจับชิ้นงาน ในขณะที่ทำการประกอบ
2. Unload ทำหน้าที่ตอกโลหะเพื่อยึด Head Gimbal Assembly (HGA) ให้ติดกับ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) และ unload งานออกจาก shuttle ไปใส่ Flow fixture
3. Bonding ทำหน้าที่เชื่อมแผงวงจรให้เกิดวงจรไฟฟ้าในชิ้นงาน
4. Coating ทำหน้าที่ coat pad ด้วยกาว Epoxy
5. VMI ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานทางกายภาพ โดยจะตรวจตามที่มาตรฐานกำหนดไว้
6. QST ทำหน้าที่ตรวจสอบทางไฟฟ้าว่าหัวอ่านทำงานได้หรือไม่



รูปที่ 4-3 แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Head Rework Center Line

จากรูปที่ 4-3 จะเห็นว่า Head Rework Center Line (HRC) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการก่อนเข้าเครื่องล้าง (Pre-wash) และกระบวนการหลังเข้าเครื่องล้าง (Post-wash) ซึ่งประกอบด้วย 11 สถานีงานซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

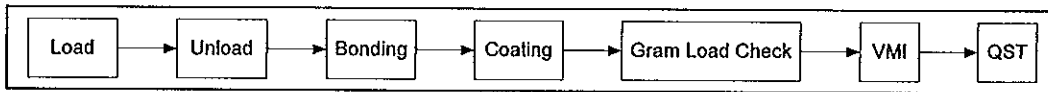
1. VMI Incoming ทำหน้าที่ตัด Long Tail Head ที่เสียออกจาก HSA
2. De-swage ทำหน้าที่ตัด Head ที่เสีย
3. De-coat ทำหน้าที่ดึงกาวออกจาก Head Stack Assembly
4. DMM check ทำหน้าที่ตรวจสอบการลัดวงจรของ Circuit
5. Pivot Remove ทำหน้าที่ถอด pivot ออกจาก APFA
6. Cleaning Machine ทำหน้าที่ล้าง Head Stack Assembly
7. Pivot Install ทำหน้าที่ใส่ pivot กลับเข้า APFA
8. Gram Load Check ทำหน้าที่ตรวจสอบความยืดหยุ่นของ Suspension
9. Post VMI ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานทางกายภาพ
10. Group Lot ทำหน้าที่แยกงานตาม Group Lot
11. Quasi Static Test ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานทางไฟฟ้า



รูปที่ 4-4 แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Rewash Line

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นว่า Rewash Line จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ กระบวนการก่อนเข้าเครื่องล้าง และ กระบวนการหลังเข้าเครื่องล้าง ซึ่งประกอบด้วย 8 สถานีงานซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

1. VMI Incoming ทำหน้าที่ตรวจสอบว่ามี Head เสียหรือไม่
2. Pivot Remove ทำหน้าที่ถอด pivot ออกจาก APFA
3. Cleaning Machine ทำหน้าที่ล้าง Head Stack Assembly
4. Pivot Install ทำหน้าที่ใส่ pivot กลับคืน APFA
5. Arm Height check ทำหน้าที่ตรวจสอบความสูงของ Pivot ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้
6. Gram Load Check ทำหน้าที่ตรวจสอบความยืดหยุ่นของ Suspension
7. Post Visual Mechanical Inspection ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานทางกายภาพ
8. Quasi Static Test ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานทางไฟฟ้า



รูปที่ 4-5 แผนภูมิกระบวนการผลิตของ Build Back Line

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นว่า Build Back Line จะประกอบด้วยสถานีงานหลักคล้ายกับ Prime Line แต่จะมีเพิ่ม 1 สถานีงานคือ Gram Load Check หลังสถานีงาน Coating ซึ่งแต่ละสถานีก็จะมีหน้าที่เหมือนกับในส่วนของ Prime Line ส่วน Gram Load Check จะทำหน้าที่ตรวจสอบความยืดหยุ่นของ Suspension

จากรูปที่ 4-2 ถึง 4-5 จะแสดงเฉพาะสถานีงานหลักเท่านั้นแต่ในโรงงานจริงสายการผลิตแต่ละประเภทจะมีการแบ่งแยกออกเป็นประเภทย่อยๆอีกซึ่งจะแตกต่างกันในส่วนของจำนวนคนงานในแต่ละสถานีงานหรือขั้นตอนการทำงานในบางขั้นตอน ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

#### ตาราง 4.1 รูปแบบของ Prime Line ที่ทำการศึกษา

Product	Load	Unload	Bond	Coat	VMI	QST
Mobile 2X10HC	2	2	2	2	1	1
Mobile 4X10HC	2	2	2	2	1	1
Desktop4X7HC	2	1	1	1	1	1
Desktop4X9HC	2	1	2	2	1	1
Desktop6X7HC	2	1	1	1	1	1
Desktop6X9HC	2	1	2	2	1	1

จากรูปแบบของ Prime Line ที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบของ Prime Line ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 6 รูปแบบคือ Mobile 2X10HC, Mobile 4X10HC, Desktop4X7HC, Desktop4X9HC, Desktop6X7HC และ Desktop6X9HC โดยแต่ละรูปแบบจะประกอบไปด้วยสถานีหลัก 6 สถานีงานแต่ละจะแตกต่างกันที่จำนวนสถานีงานซึ่งแสดงดังตารางข้างต้น

#### รูปแบบของ Head Rework Center Line (HRC) ที่ทำการศึกษา

รูปแบบของ Head Rework Center Line (HRC) ที่ทำการศึกษามี 4 รูปแบบคือ Mobile (MB) Full Dip, Mobile (MB) Half Dip, Desktop (DT) Full Dip และ Desktop (DT) Half Dip โดยรายละเอียดของรูปแบบสายการผลิตแสดงดังตารางที่ 4.2

#### รูปแบบของ Rewash Line ที่ทำการศึกษา

รูปแบบของ Rewash Line ที่ทำการศึกษามีเพียงรูปแบบเดียวคือแต่ละสถานีงานจะมีผู้ปฏิบัติงานเพียงแค่ 1 คน ดังแสดงในรูปที่ 4-4

#### รูปแบบของ Build Back Line ที่ทำการศึกษา

รูปแบบของ Build Back Line ที่ทำการศึกษามีเพียงรูปแบบเดียวเช่นเดียวกับ Rewash Line คือแต่ละสถานีงานจะมีผู้ปฏิบัติงานเพียงแค่ 1 คน ดังแสดงในรูปที่ 4-5

ตาราง 4.2 รูปแบบของ Head Rework Center Line ที่ทำการศึกษา

Product	VMI	De-swage	De-coat	DMM	Pivot		Gram Load	Post	QST	Group
	Incoming				Remove	Install				
Mobile Full Dip	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Mobile Half Dip	1	1	2	1	-	-	1	1	1	1
Desktop Full Dip	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desktop Half Dip	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าสายการผลิตที่เป็นแบบ Half Dip จะใช้ผู้ปฏิบัติงานน้อยกว่าสายการผลิตแบบ Full Dip 2 คนที่สถานีงาน Pivot Remove และ Pivot Install เนื่องจากสายการผลิตที่เป็นแบบ Half Dip ไม่จำเป็นต้องถอด Pivot ออกในขั้นตอนการล้าง

#### 4.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากนำข้อมูลดิบต่างๆ ที่เก็บมาจากระบบจริงมาประมาณการแจกแจงและค่าพารามิเตอร์ด้วยเครื่องมือ "Stat Fit" จะได้การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.14

ตาราง 4.3 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X10HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_1, \sigma_1)$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_2, \sigma_2)$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_3, \sigma_3)$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_4, \sigma_4)$	วินาที
Unload 2	Normal	$N(\mu_5, \sigma_5)$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_6, \sigma_6)$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_7, \sigma_7)$	วินาที
Bond 2	Normal	$N(\mu_8, \sigma_8)$	วินาที
Hybond Machine 2	Normal	$N(\mu_9, \sigma_9)$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{10}, \sigma_{10})$	วินาที
Oven 1	Normal	$a$	วินาที
Coat 2	Normal	$N(\mu_{11}, \sigma_{11})$	วินาที
Oven 2	Normal	$a$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{12}, \sigma_{12})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{13}, \sigma_{13})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{14}, \sigma_{14})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเศษได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.4 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 2X10HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{15}, \sigma_{15})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{16}, \sigma_{16})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{17}, \sigma_{17})$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{18}, \sigma_{18})$	วินาที
Unload 2	Normal	$N(\mu_{19}, \sigma_{19})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{20}, \sigma_{20})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{21}, \sigma_{21})$	วินาที
Bond 2	Normal	$N(\mu_{22}, \sigma_{22})$	วินาที
Hybond Machine 2	Normal	$N(\mu_{23}, \sigma_{23})$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{24}, \sigma_{24})$	วินาที
Oven 1	Normal	$a$	วินาที
Coat 2	Normal	$N(\mu_{25}, \sigma_{25})$	วินาที
Oven 2	Normal	$a$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{26}, \sigma_{26})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{27}, \sigma_{27})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{28}, \sigma_{28})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.5 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X9HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{29}, \sigma_{29})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{30}, \sigma_{30})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{31}, \sigma_{31})$	วินาที



ตาราง 4.5 (ต่อ)

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{32}, \sigma_{32})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{33}, \sigma_{33})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{34}, \sigma_{34})$	วินาที
Bond 2	Normal	$N(\mu_{35}, \sigma_{35})$	วินาที
Hybond Machine 2	Normal	$N(\mu_{36}, \sigma_{36})$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{37}, \sigma_{37})$	วินาที
Oven 1	Normal	$b$	วินาที
Coat 2	Normal	$N(\mu_{38}, \sigma_{38})$	วินาที
Oven 2	Normal	$b$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{39}, \sigma_{39})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{40}, \sigma_{40})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{41}, \sigma_{41})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.6 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 6X9HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{42}, \sigma_{42})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{43}, \sigma_{43})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{44}, \sigma_{44})$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{45}, \sigma_{45})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{46}, \sigma_{46})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{47}, \sigma_{47})$	วินาที
Bond 2	Normal	$N(\mu_{48}, \sigma_{48})$	วินาที
Hybond Machine 2	Normal	$N(\mu_{49}, \sigma_{49})$	วินาที

ตาราง 4.6 (ต่อ)

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Coat 1	Normal	$N(\mu_{50}, \sigma_{50})$	วินาที
Oven 1	Normal	$b$	วินาที
Coat 2	Normal	$N(\mu_{51}, \sigma_{51})$	วินาที
Oven 2	Normal	$b$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{52}, \sigma_{52})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{53}, \sigma_{53})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{54}, \sigma_{54})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเศษได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.7 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 4X7HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{55}, \sigma_{55})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{56}, \sigma_{56})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{57}, \sigma_{57})$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{58}, \sigma_{58})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{59}, \sigma_{59})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{60}, \sigma_{60})$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{61}, \sigma_{61})$	วินาที
Oven 1	Normal	$b$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{62}, \sigma_{62})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{63}, \sigma_{63})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{64}, \sigma_{64})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเศษได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.8 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Prime Line 6X7HC

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{65}, \sigma_{65})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{66}, \sigma_{66})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{67}, \sigma_{67})$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{68}, \sigma_{68})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{69}, \sigma_{69})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{70}, \sigma_{70})$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{71}, \sigma_{71})$	วินาที
Oven 1	Normal	$b$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{72}, \sigma_{72})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{73}, \sigma_{73})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{74}, \sigma_{74})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.9 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC DT Full - Dip Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
VMI Incoming	Normal	$N(\mu_{75}, \sigma_{75})$	วินาที
De-swage	Normal	$N(\mu_{76}, \sigma_{76})$	วินาที
De-coat 1	Normal	$N(\mu_{77}, \sigma_{77})$	วินาที
De-coat 2	Normal	$N(\mu_{78}, \sigma_{78})$	วินาที
DMM Check	Normal	$N(\mu_{79}, \sigma_{79})$	วินาที
Pivot Remove	Normal	$N(\mu_{80}, \sigma_{80})$	วินาที
Pivot Install	Normal	$N(\mu_{81}, \sigma_{81})$	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{82}, \sigma_{82})$	วินาที
Post VMI	Normal	$N(\mu_{83}, \sigma_{83})$	วินาที

ตาราง 4.9 (ต่อ)

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Group Lot	Normal	$N(\mu_{84}, \sigma_{84})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{85}, \sigma_{85})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.10 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC DT Half - Dip Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
VMI Incoming	Normal	$N(\mu_{86}, \sigma_{86})$	วินาที
De-swage	Normal	$N(\mu_{87}, \sigma_{87})$	วินาที
De-coat 1	Normal	$N(\mu_{88}, \sigma_{88})$	วินาที
De-coat 2	Normal	$N(\mu_{89}, \sigma_{89})$	วินาที
DMM Check	Normal	$N(\mu_{90}, \sigma_{90})$	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{91}, \sigma_{91})$	วินาที
Post VMI	Normal	$N(\mu_{92}, \sigma_{92})$	วินาที
Group Lot	Normal	$N(\mu_{93}, \sigma_{93})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{94}, \sigma_{94})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.11 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC MB Full - Dip Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
VMI Incoming	Normal	$N(\mu_{95}, \sigma_{95})$	วินาที
De-swage	Normal	$N(\mu_{96}, \sigma_{96})$	วินาที
De-coat 1	Normal	$N(\mu_{97}, \sigma_{97})$	วินาที
DMM Check	Normal	$N(\mu_{98}, \sigma_{98})$	วินาที

ตาราง 4.11 (ต่อ)

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Pivot Remove	Normal	$N(\mu_{99}, \sigma_{99})$	วินาที
Pivot Install	Normal	$N(\mu_{100}, \sigma_{100})$	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{101}, \sigma_{101})$	วินาที
Post VMI	Normal	$N(\mu_{102}, \sigma_{102})$	วินาที
Group Lot	Normal	$N(\mu_{103}, \sigma_{103})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{104}, \sigma_{104})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.12 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง HRC MB Half - Dip Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
VMI Incoming	Normal	$N(\mu_{105}, \sigma_{105})$	วินาที
De-swage	Normal	$N(\mu_{106}, \sigma_{106})$	วินาที
De-coat 1	Normal	$N(\mu_{107}, \sigma_{107})$	วินาที
DMM Check	Normal	$N(\mu_{108}, \sigma_{108})$	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{109}, \sigma_{109})$	วินาที
Post VMI	Normal	$N(\mu_{110}, \sigma_{110})$	วินาที
Group Lot	Normal	$N(\mu_{111}, \sigma_{111})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{112}, \sigma_{112})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

ตาราง 4.13 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Rewash Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
VMI Incoming	Normal	$N(\mu_{113}, \sigma_{113})$	วินาที
Pivot Remove	Normal	$N(\mu_{114}, \sigma_{114})$	วินาที
Pivot Install	Normal	$N(\mu_{115}, \sigma_{115})$	วินาที
Arm Height Check	Normal	$N(\mu_{116}, \sigma_{116})$	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{117}, \sigma_{117})$	วินาที
Post VMI	Normal	$N(\mu_{118}, \sigma_{118})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{119}, \sigma_{119})$	วินาที

\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

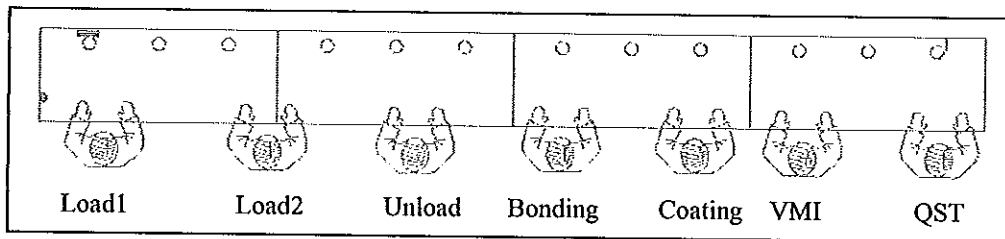
ตาราง 4.14 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง Build Back Line

ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของสถานีงาน	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
Load 1	Normal	$N(\mu_{120}, \sigma_{120})$	วินาที
Load 2	Normal	$N(\mu_{121}, \sigma_{121})$	วินาที
Unload 1	Normal	$N(\mu_{122}, \sigma_{122})$	วินาที
Swage Machine	Normal	$N(\mu_{123}, \sigma_{123})$	วินาที
Bond 1	Normal	$N(\mu_{124}, \sigma_{124})$	วินาที
Hybond Machine 1	Normal	$N(\mu_{125}, \sigma_{125})$	วินาที
Coat 1	Normal	$N(\mu_{126}, \sigma_{126})$	วินาที
Oven 1	Normal	c	วินาที
Gram Load Check	Normal	$N(\mu_{127}, \sigma_{127})$	วินาที
VMI	Normal	$N(\mu_{128}, \sigma_{128})$	วินาที
QST Machine	Normal	$N(\mu_{129}, \sigma_{129})$	วินาที
QST	Normal	$N(\mu_{130}, \sigma_{130})$	วินาที

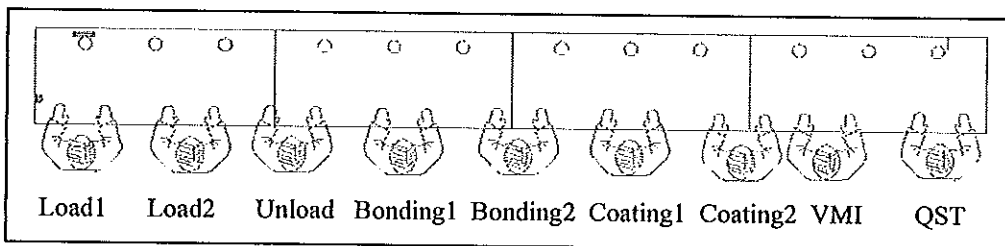
\* ค่าตัวเลขในตารางไม่สามารถเปิดเผยได้เพราะเป็นความลับของโรงงาน

### 4.3 การพัฒนาแบบจำลองของระบบ

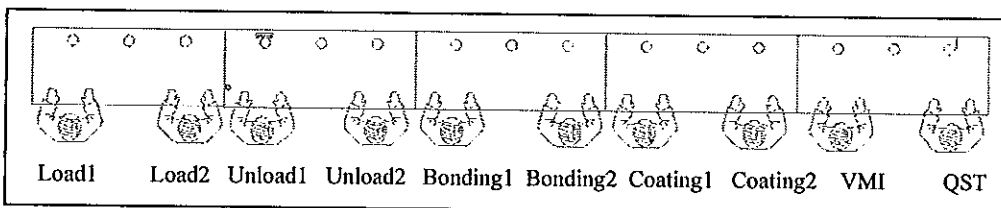
หลังจากที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลเวลาการทำงานของแต่ละสถานีงานที่เกี่ยวข้องรวมเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม ProModel<sup>®</sup> Version 7.0 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองแทนระบบแสดงดังรูปที่ 4-6 ถึง 4-15



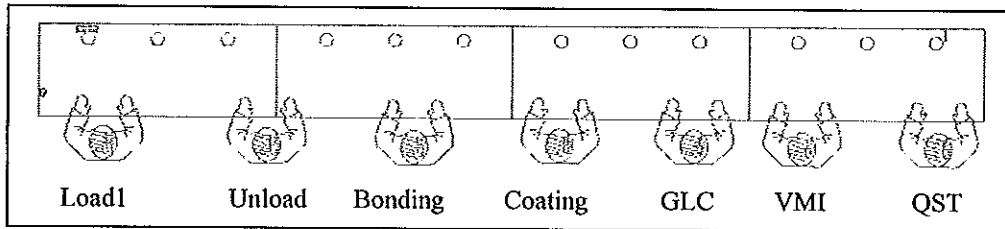
รูปที่ 4-6 Prime Line 7 Operators Layout



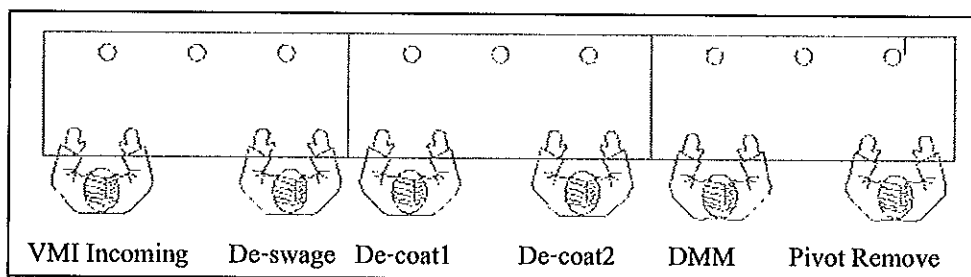
รูปที่ 4-7 Prime Line 9 Operators Layout



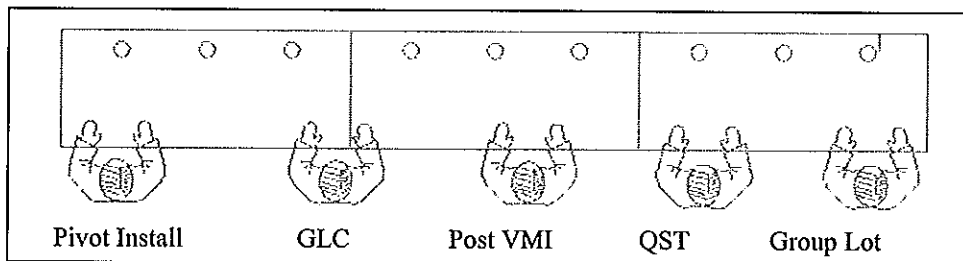
รูปที่ 4-8 Prime Line 10 Operators Layout



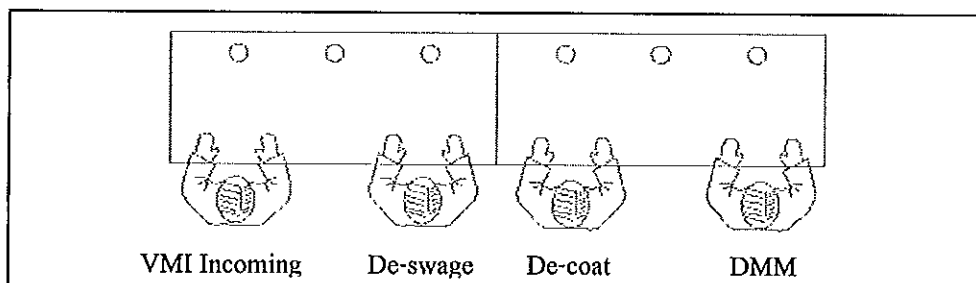
รูปที่ 4-9 Build Back Line Layout



รูปที่ 4-10 HRC Line Pre-wash Full Dip Layout

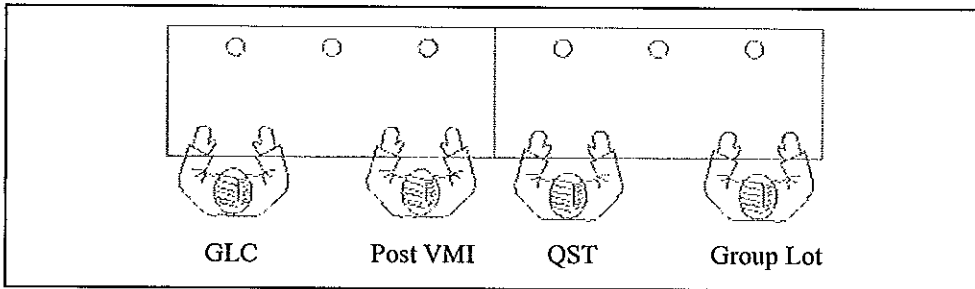


รูปที่ 4-11 HRC Line Post-wash Full Dip Layout

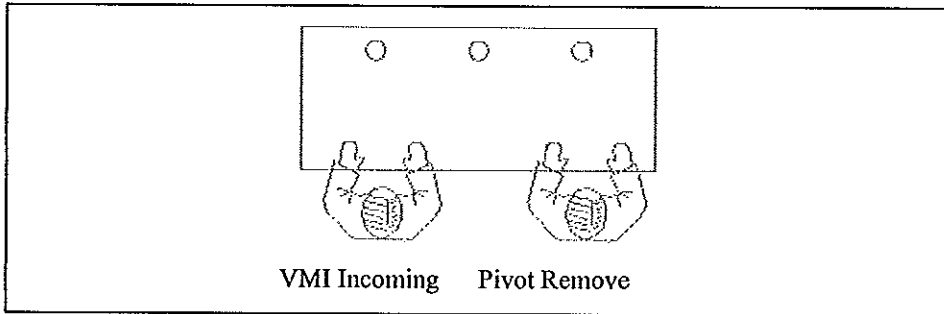


รูปที่ 4-12 HRC Line Pre-wash Half Dip Layout

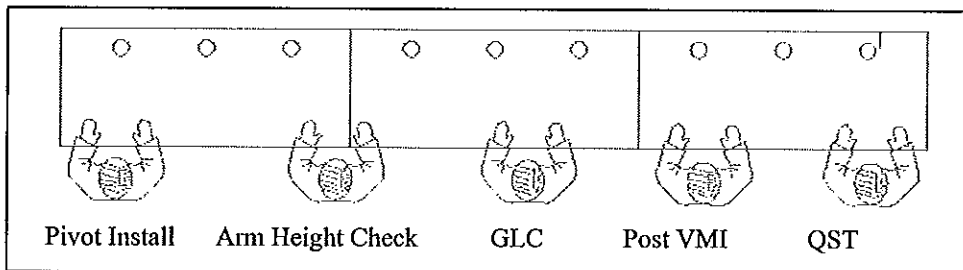




រូបភាព 4-13 HRC Line Post-wash Half Dip Layout



រូបភាព 4-14 Re-wash Line Pre-wash Layout



រូបភាព 4-15 Re-wash Line Post-wash Layout

#### 4.4 การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองระบบ

เมื่อพัฒนาตัวแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ก่อนจะนำตัวแบบจำลองไปใช้ต้องมั่นใจได้ว่าตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องและสอดคล้องกับระบบจริง จึงต้องทำการทวนสอบแบบจำลองก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทวนสอบตัวแบบจำลอง โดย

1. การสอบถามผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นวิธีตรวจสอบความถูกต้อง โดยการถามผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ที่ทำงานและมีความคุ้นเคยกับกระบวนการผลิต Head Stack Assembly แล้วปรับปรุงค่าหรือตัวแปรต่างๆจนกว่าผู้เชี่ยวชาญจะยอมรับในตัวแบบจำลองว่าสามารถเชื่อถือได้จริง
2. การกำหนดค่า เป็นการกำหนดค่าหนึ่งให้เป็นค่า Input ของแบบจำลอง จากนั้นจึงคำนวณผลที่น่าจะเกิดขึ้นโดยใช้ความเป็นเหตุเป็นผลแล้วนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่า Output ของแบบจำลองถ้าค่าที่ได้ตรงกันจะถือว่าแบบจำลองนั้นมีความถูกต้อง
3. การทดสอบสถานะที่ผิดปกติ เป็นการกำหนด Input ในระบบให้เป็นค่าที่มีค่ามากหรือน้อยผิดปกติ โดยผลของการจำลองแบบควรให้ค่าที่มีการแปรผันอย่างสอดคล้องกับค่า Input ที่ผิดปกตินั้น
4. ทวนสอบความถูกต้องของผลการจำลองระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้คำสั่ง "Trace" ของโปรแกรม ProModel โดยใช้การจำลองแบบภาพเคลื่อนไหว (Animation Graphic) ช่วยในการทวนสอบ

เมื่อทวนสอบตัวแบบที่สร้างขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะต้องทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบ เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของตัวแบบให้มีความเหมาะสมกับพฤติกรรมของระบบจริง โดยการใช้วิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยจะใช้ตัวสถิติทดสอบ  $t$  (Two Samples  $t$  Test) ซึ่งพารามิเตอร์ในการทดสอบที่ใช้ในการเปรียบเทียบในที่นี้ คือ คือ จำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ต่อชั่วโมงของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดยสามารถแสดงการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 ได้ดังนี้

$H_0$  : ตัวแบบมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

$H_1$  : ตัวแบบไม่มีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

จากข้อมูลของจำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ต่อชั่วโมงที่เกิดขึ้นในระบบจริงดังแสดงในตาราง 4.15 ถึง 4.24 ซึ่งข้อมูลที่เกิดขึ้นจะต้องทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลแต่ละตัวนั้นมีแนวโน้มเข้าหาค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากสาเหตุของการเกลี่ยออกของสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัตินี้ คือ การทดสอบความเป็นปกติ (Normal Probability Plot : NOOP) โดยทำการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงดังรูปที่ 4-16 ถึง 4-25 ซึ่งมีสมมติฐานทดสอบดังนี้

$H_0$  : ข้อมูลที่ได้จากระบบจริงมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลที่ได้จากระบบจริงไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.15 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X10HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	179	10	175
2	177	11	178
3	178	12	181
4	180	13	182
5	177	14	176
6	181	15	175
7	177	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 178.33 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.19 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	180		
9	179		

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 2X10HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	215	12	216
2	223	13	219
3	219	14	218
4	221	15	222
5	220	16	223
6	217	17	219
7	220	18	218
8	218	19	222
9	219	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 219.68 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.45 ชิ้นต่อชั่วโมง	
10	221		
11	224		

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X9HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	162	12	164
2	165	13	166
3	163	14	167
4	172	15	169
5	164	16	170
6	166	17	168
7	168	18	169
8	167	19	171
9	165	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 166.89 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.81 ชิ้นต่อชั่วโมง	
10	170		
11	165		

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 6X9HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	139	9	137
2	141	10	142
3	140	11	140
4	139	12	136
5	138	13	138
6	135	14	140
7	139	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 138.57 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.03 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	136		

ตารางที่ 4.19 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 4X7HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	116	9	119
2	118	10	117
3	116	11	118
4	119	12	116
5	120	13	120
6	114	14	119
7	121	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 117.86 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.96 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	117		

ตารางที่ 4.20 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Prime Line 6X7HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	85	8	87
2	86	9	85
3	86	10	87
4	84	11	85
5	87	12	88
6	83	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 85.58 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.51 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	84		

ตารางที่ 4.21 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ HRC Line DT Full Dip

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	138	8	136
2	133	9	134
3	131	10	136
4	131	11	132
5	135	12	134
6	137	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 134.33 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.27 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	135		

ตารางที่ 4.22 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ HRC Line MB Full Dip

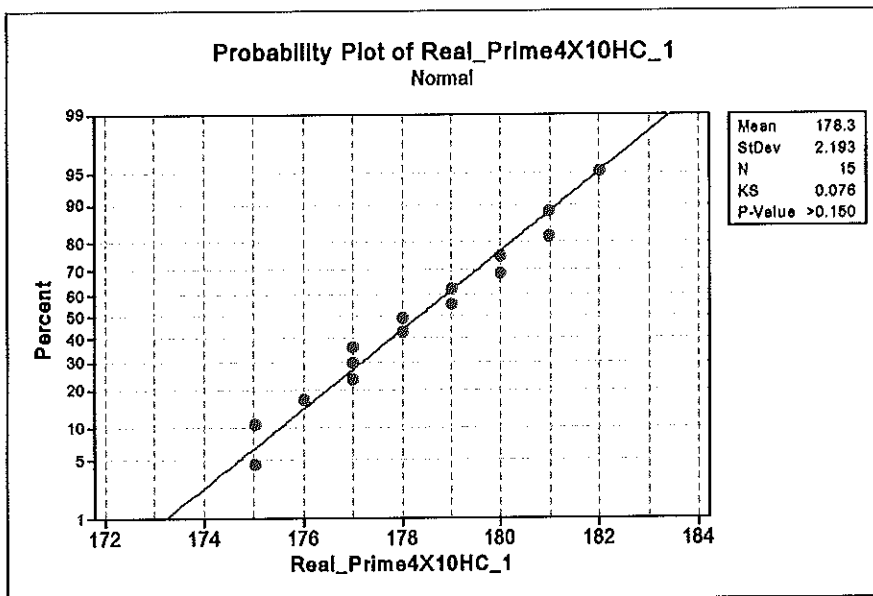
ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	120	8	125
2	125	9	120
3	122	10	119
4	125	11	122
5	121	12	119
6	121	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 121.83 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 2.25 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	123		

ตารางที่ 4.23 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Rewash Line

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	79	8	73
2	77	9	78
3	74	10	74
4	75	11	75
5	74	12	76
6	76	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 75.58 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.78 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	76		

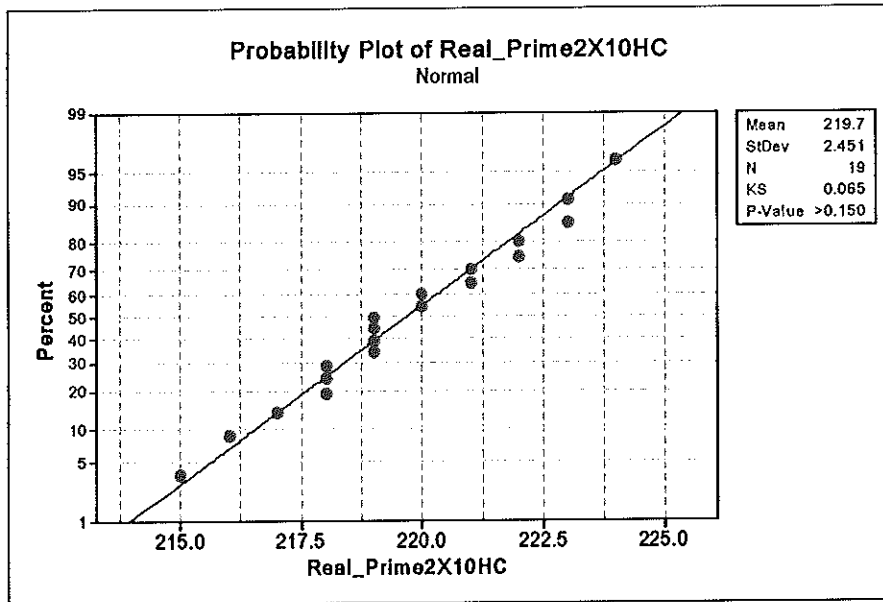
ตารางที่ 4.24 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของระบบจริงของ Build Back Line

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	98	8	97
2	94	9	94
3	93	10	93
4	97	11	96
5	96	12	98
6	98	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 95.75 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.91 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	95		

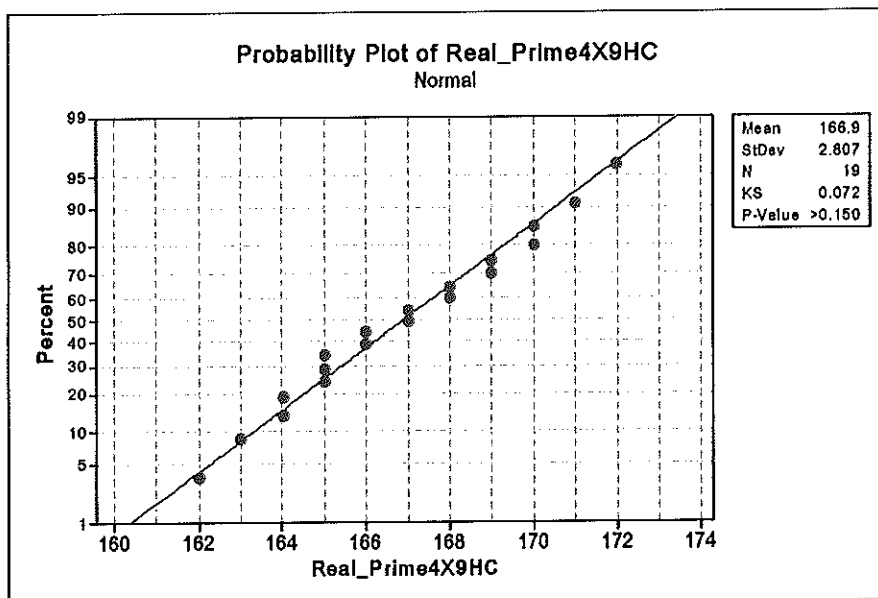


รูปที่ 4-16 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X10HC

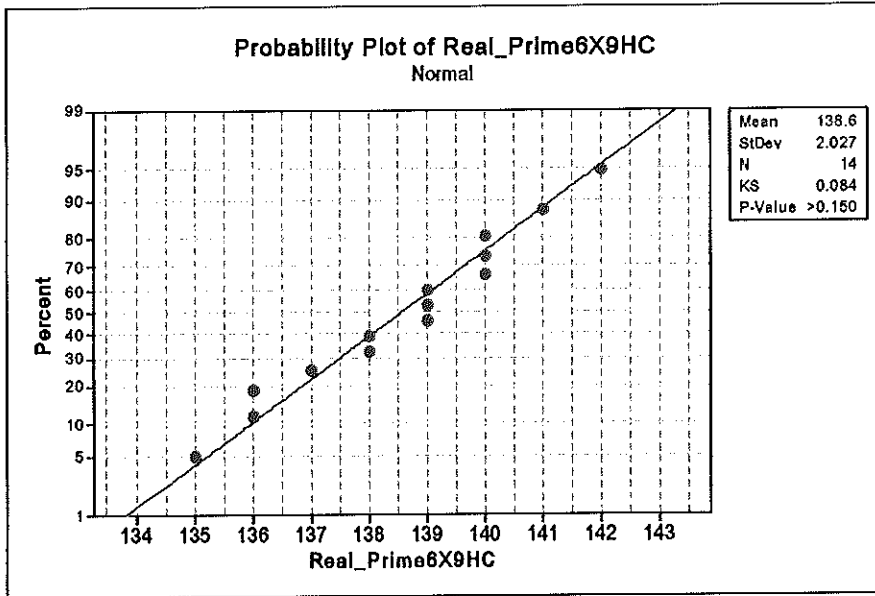




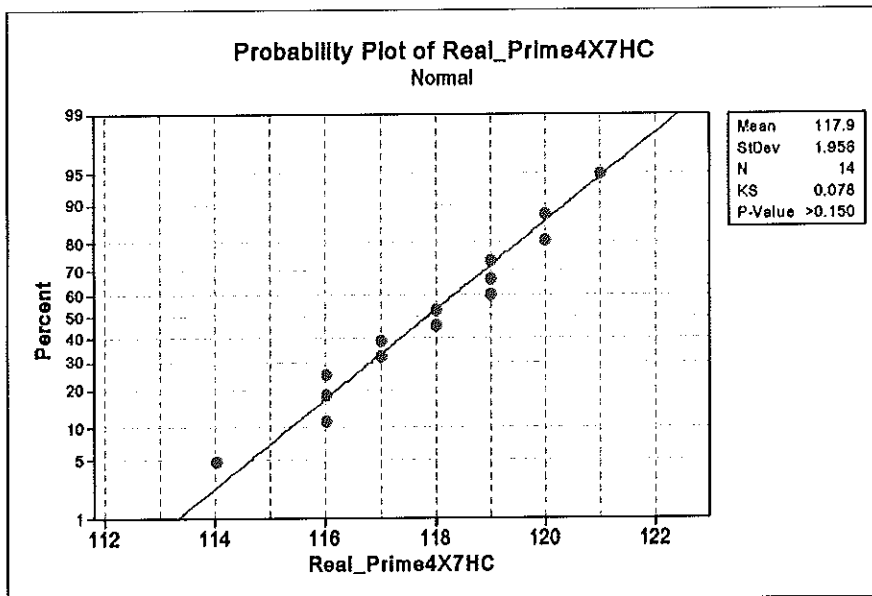
รูปที่ 4-17 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 2X10HC



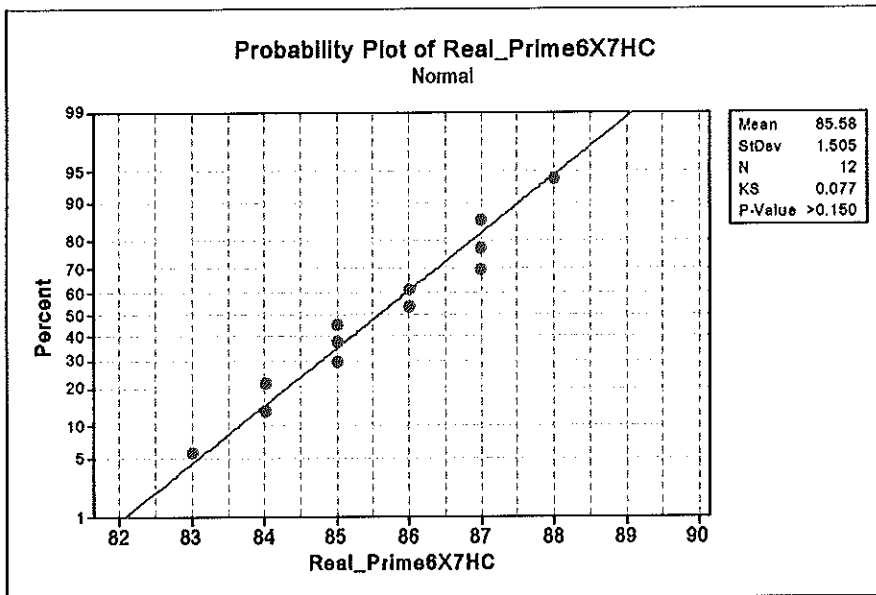
รูปที่ 4-18 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X9HC



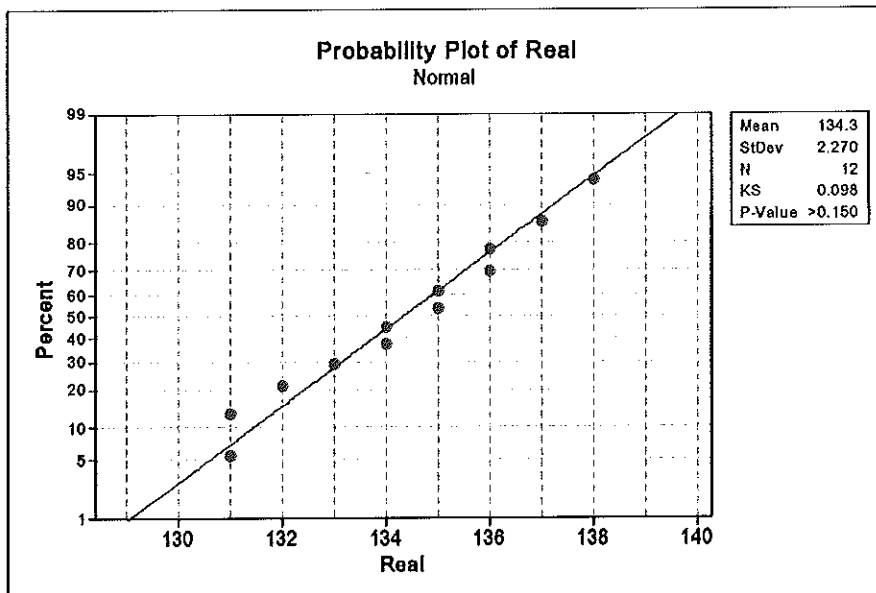
รูปที่ 4-19 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 6X9HC



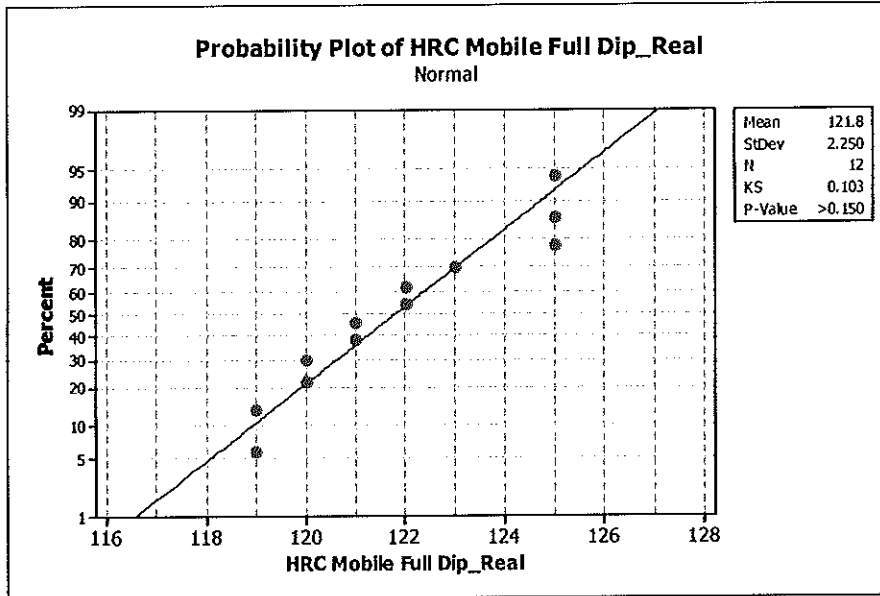
รูปที่ 4-20 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 4X7HC



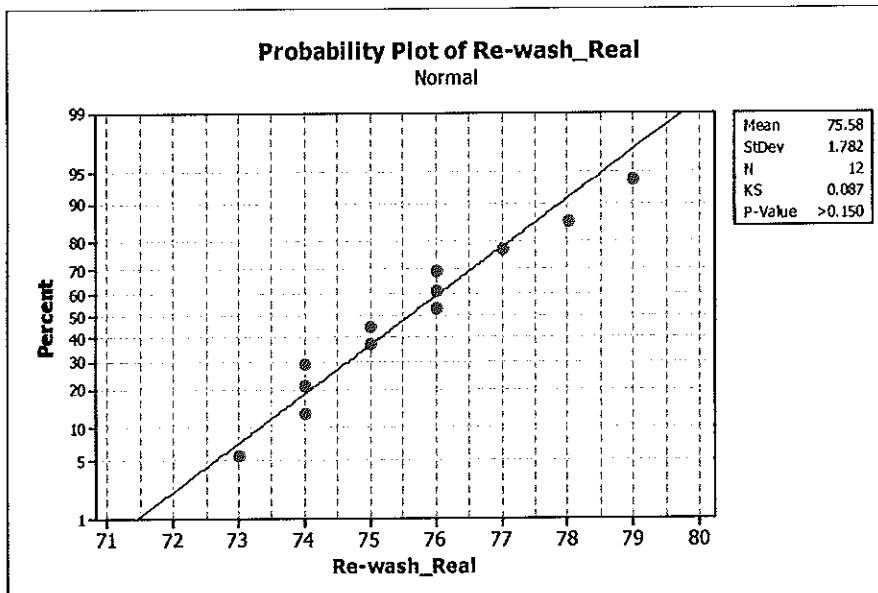
รูปที่ 4-21 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Prime Line 6X7HC



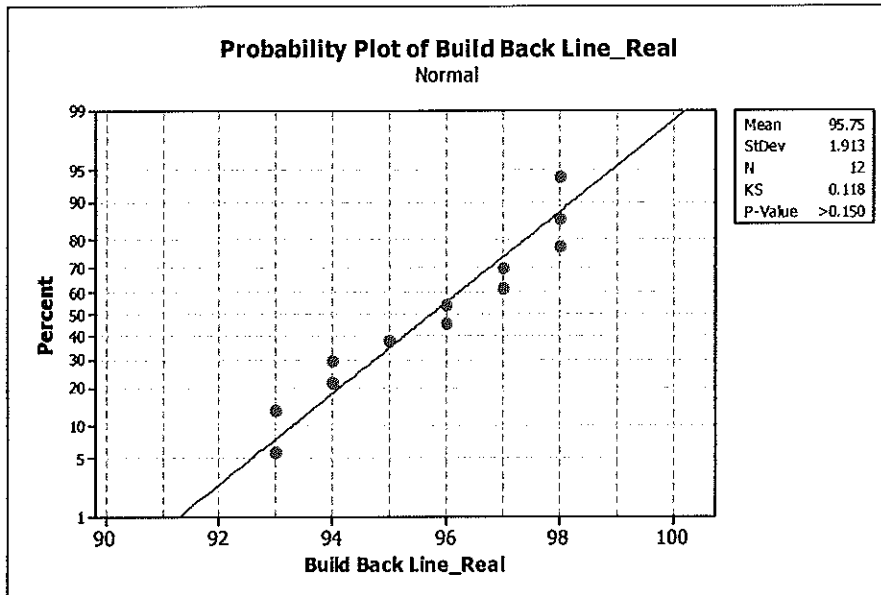
รูปที่ 4-22 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ HRC Line DT Full Dip



รูปที่ 4-23 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ HRC Line MB Full Dip

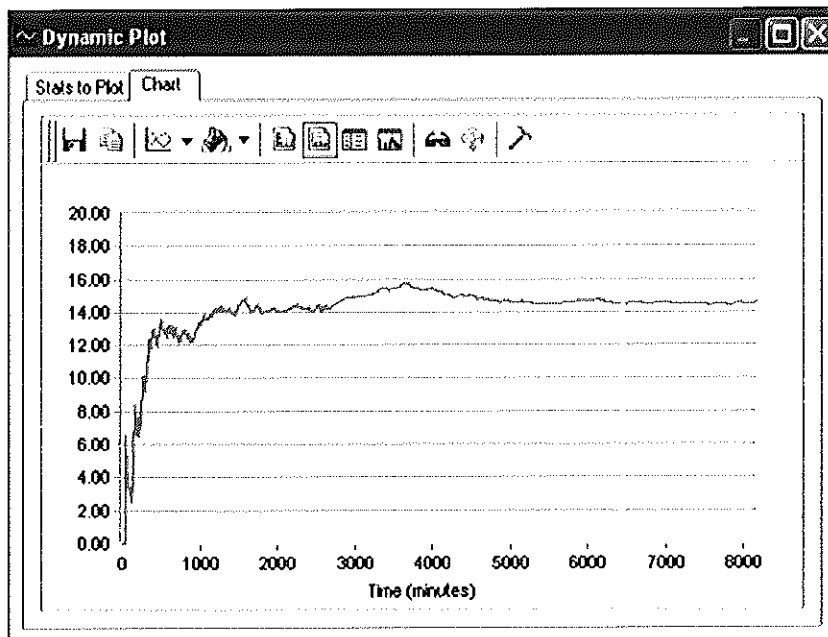


รูปที่ 4-24 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Rewash Line



รูปที่ 4-25 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่เก็บมาจากระบบจริงของ Build Back Line

จากรูปที่ 4-16 ถึง 4-25 พบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.15 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ได้ ดังนั้นข้อมูลปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ที่ได้มาจากระบบจริงมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ เมื่อทราบว่าข้อมูลที่เก็บมา มีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบปกติแล้ว ขั้นตอนถัดไปที่ต้องทำคือ การจำลองตามจำนวนรอบที่เท่ากับจำนวนของข้อมูลที่สุ่มเก็บมาจากระบบจริง โดยทำการเก็บค่าจากสภาวะคงตัว (Steady State) ของระบบ หลังจากช่วงเวลาวอร์มอัป (Warm-up Period) ที่สิ้นสุดลงในแต่ละรอบการจำลอง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-26 และสำหรับข้อมูลปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ที่เก็บจากแบบจำลองดังแสดงในตาราง 4.25 ถึง 4.34



รูปที่ 4-26 การจำลองตัวแบบเพื่อเก็บค่าที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.25 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X10HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้(ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้(ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	178	10	175
2	179	11	178
3	177	12	181
4	178	13	176
5	179	14	180
6	177	15	179
7	180	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 178.20 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.61 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	179		
9	177		

ตารางที่ 4.26 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 2X10HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	221	12	220
2	218	13	221
3	217	14	218
4	222	15	222
5	221	16	222
6	220	17	219
7	219	18	218
8	219	19	220
9	218	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 219.58 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $S$ ) = 1.64 ชิ้นต่อชั่วโมง	
10	220		
11	217		

ตารางที่ 4.27 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X9HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	164	12	164
2	165	13	167
3	163	14	167
4	170	15	168
5	169	16	165
6	169	17	169
7	167	18	166
8	168	19	168
9	165	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 166.68 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $S$ ) = 2.29 ชิ้นต่อชั่วโมง	
10	163		
11	170		

ตารางที่ 4.28 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 6X9HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	139	9	136
2	136	10	136
3	136	11	138
4	137	12	140
5	137	13	137
6	139	14	138
7	140	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 137.71 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.49 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	139		

ตารางที่ 4.29 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 4X7HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	119	9	118
2	117	10	118
3	121	11	121
4	117	12	120
5	118	13	120
6	120	14	119
7	119	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 119.00 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.30 ชิ้นต่อชั่วโมง	
8	119		



ตารางที่ 4.30 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Prime Line 6X7HC

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	84	8	86
2	87	9	85
3	85	10	85
4	88	11	87
5	86	12	86
6	87	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 86.08 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.16 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	87		

ตารางที่ 4.31 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง HRC Line DT Full Dip

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	134	8	137
2	136	9	134
3	134	10	138
4	135	11	135
5	133	12	137
6	136	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 135.42 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.51 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	136		

ตารางที่ 4.32 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง HRC Line MB Full Dip

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	122	8	120
2	121	9	121
3	122	10	119
4	123	11	121
5	121	12	119
6	120	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 121.08 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.51 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	124		

ตารางที่ 4.33 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Rewash Line

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	76	8	73
2	77	9	75
3	75	10	78
4	75	11	76
5	77	12	76
6	76	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 75.67 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.37 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	74		

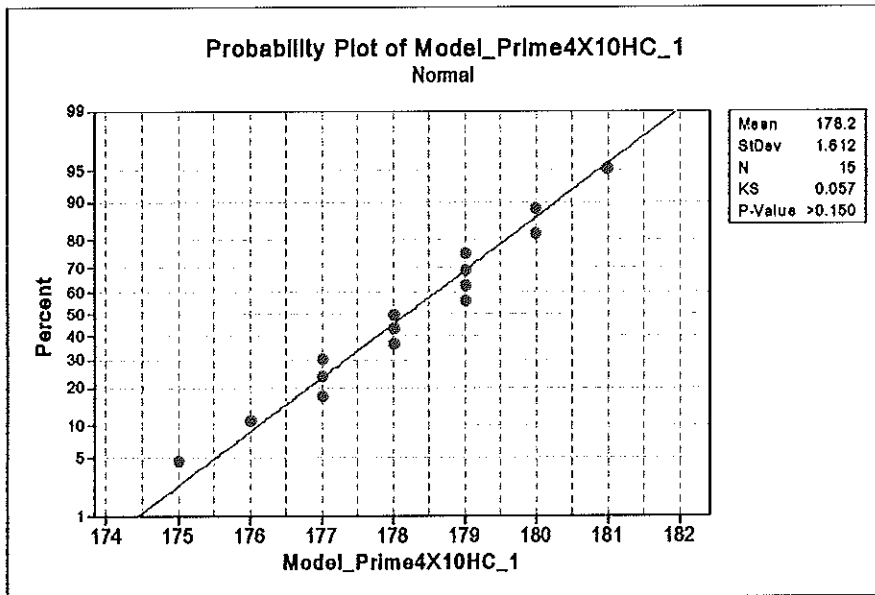
ตารางที่ 4.34 แสดงปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ของแบบจำลอง Build Back Line

ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ข้อมูลตัวที่	ปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง)
1	98	8	97
2	94	9	94
3	96	10	93
4	97	11	95
5	96	12	98
6	96	ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) = 95.92 ชิ้นต่อชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) = 1.71 ชิ้นต่อชั่วโมง	
7	98		

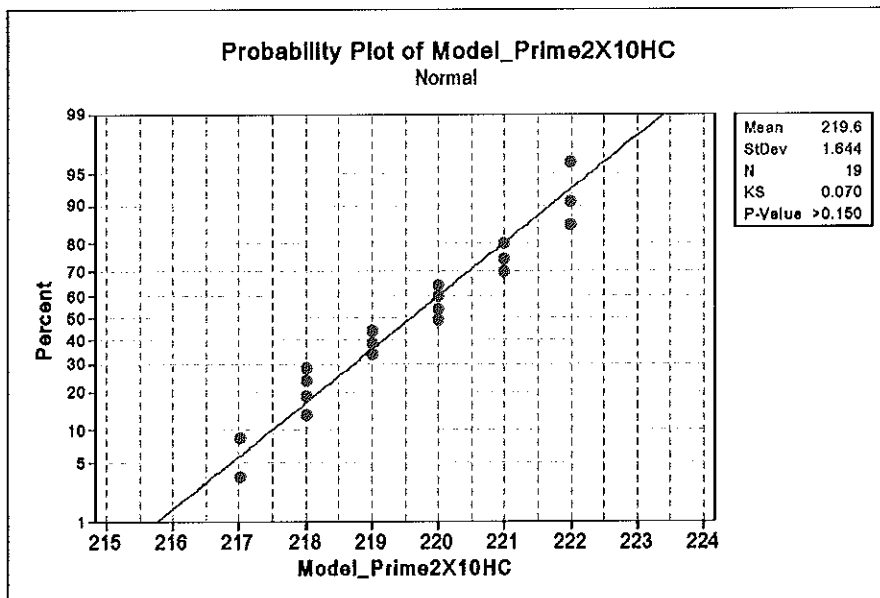
เมื่อทำการจำลองตามจำนวนรอบที่กำหนดและเก็บข้อมูลแล้ว ก่อนที่จะนำข้อมูลปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) มาทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองกับระบบจริง โดยใช้วิธีทดสอบแบบ t (T-Test) จำเป็นต้องทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลแต่ละตัวนั้นมีแนวโน้มเข้าหาค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากสาเหตุของการเฉลี่ยออกของสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัตินี้ คือ การทดสอบความเป็นปกติ (Normal Probability Plot : NOOP) โดยทำการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 4-24 ถึง 4-30 ซึ่งมีสมมติฐานในการทดสอบดังนี้

$H_0$  : ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีการแจกแจงแบบปกติ

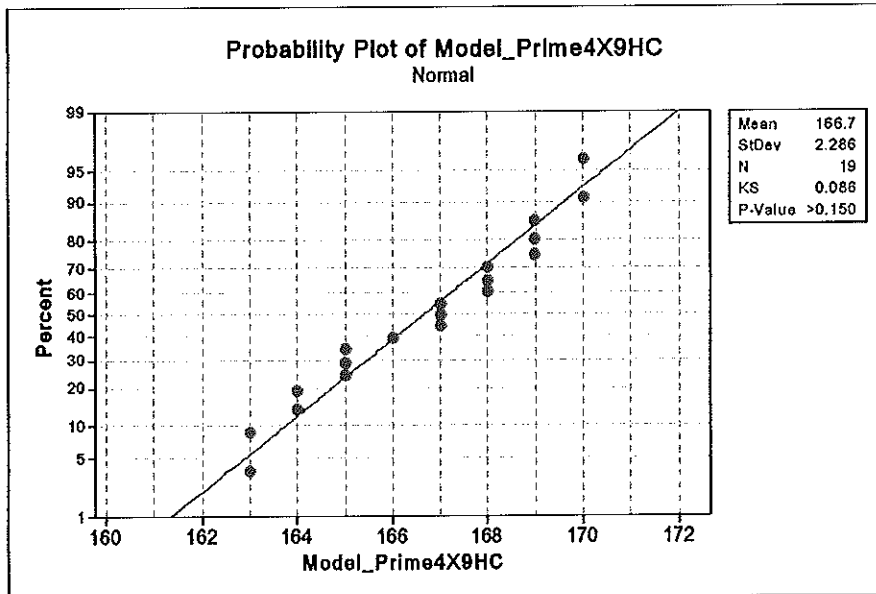
$H_1$  : ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองไม่มีการแจกแจงแบบปกติ



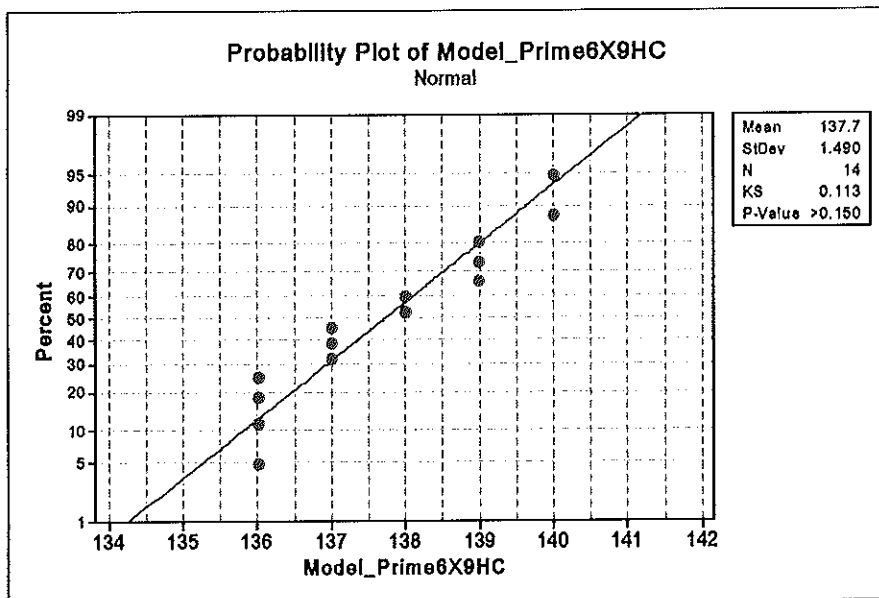
รูปที่ 4-27 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X10HC



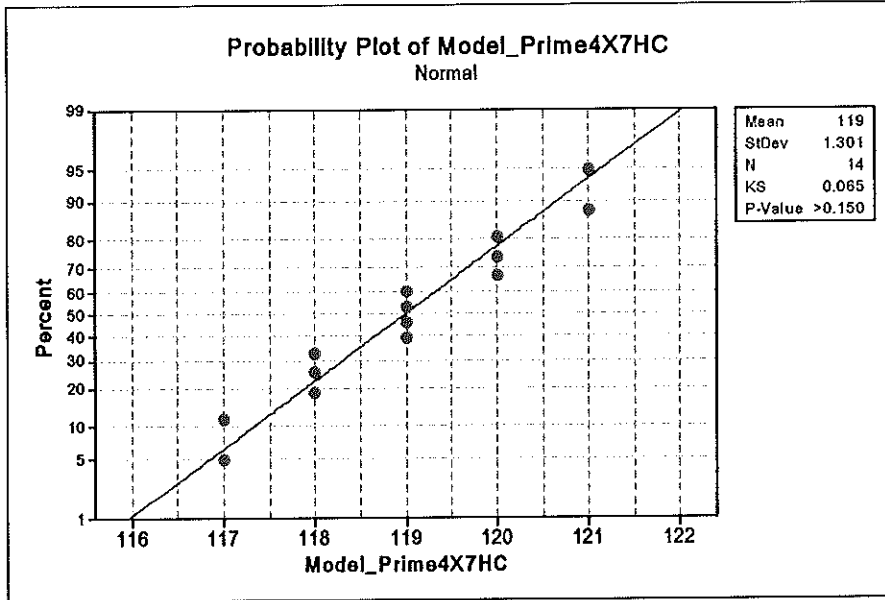
รูปที่ 4-28 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 2X10HC



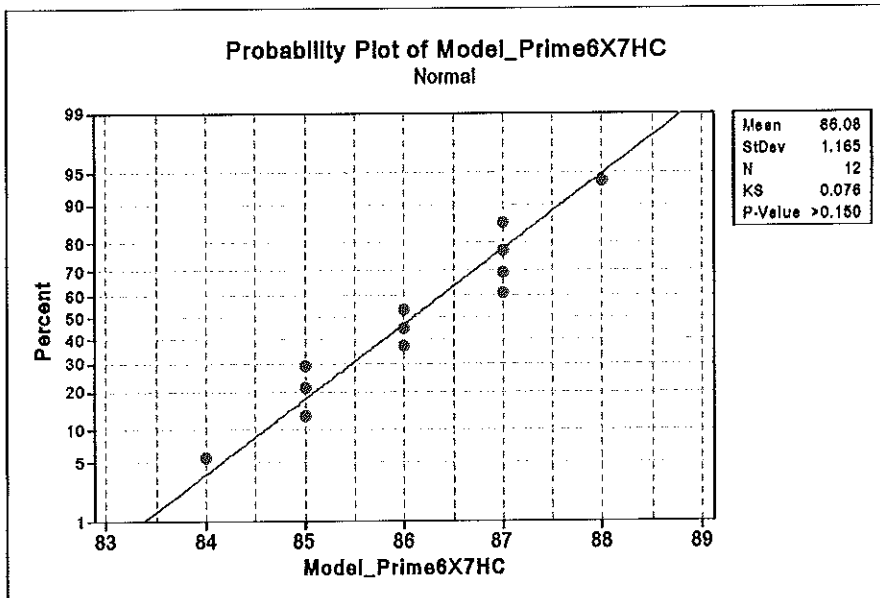
รูปที่ 4-29 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X9HC



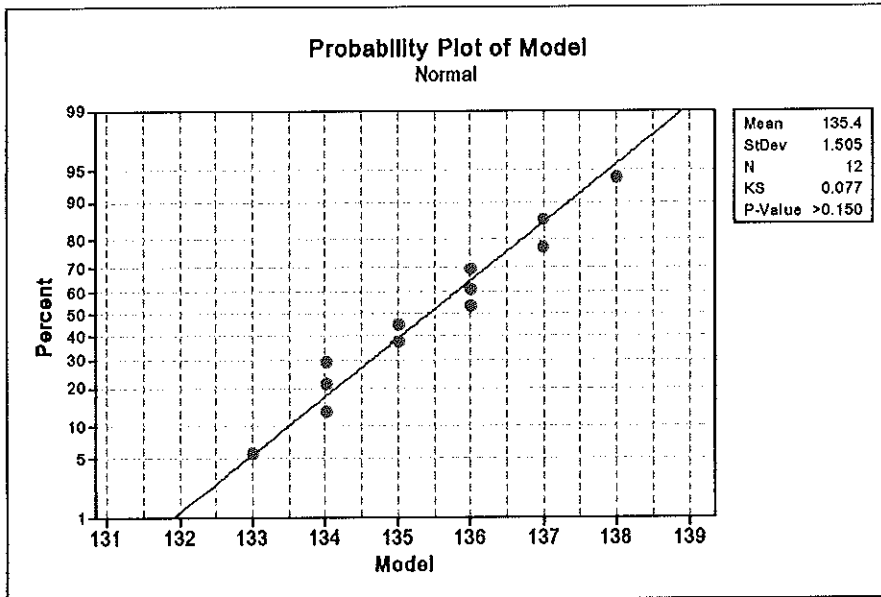
รูปที่ 4-30 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 6X9HC



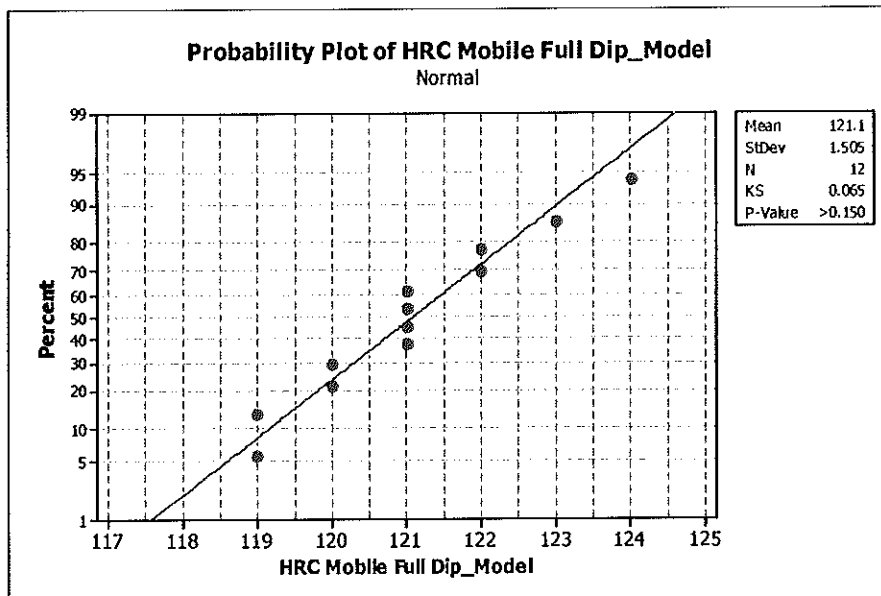
รูปที่ 4-31 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 4X7HC



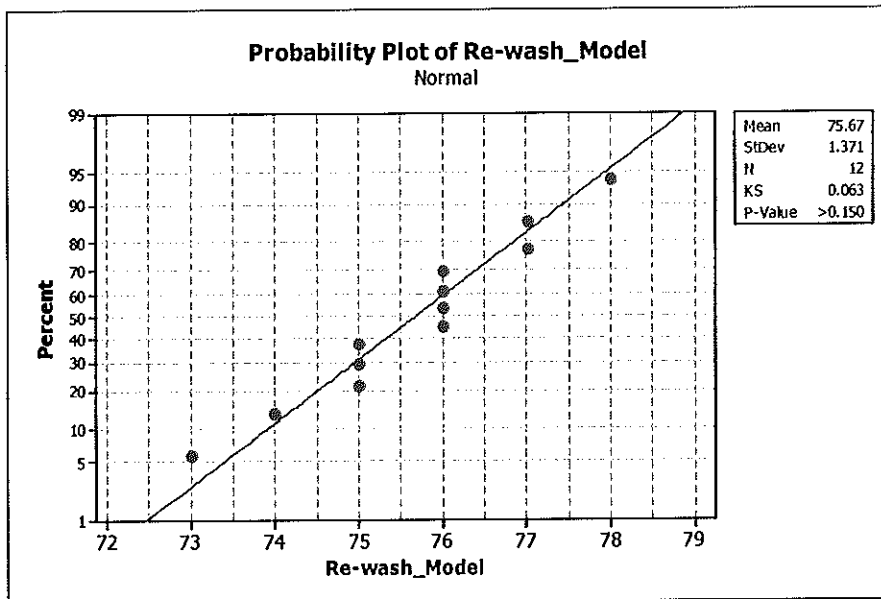
รูปที่ 4-32 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
ที่ได้จากแบบจำลอง Prime Line 6X7HC



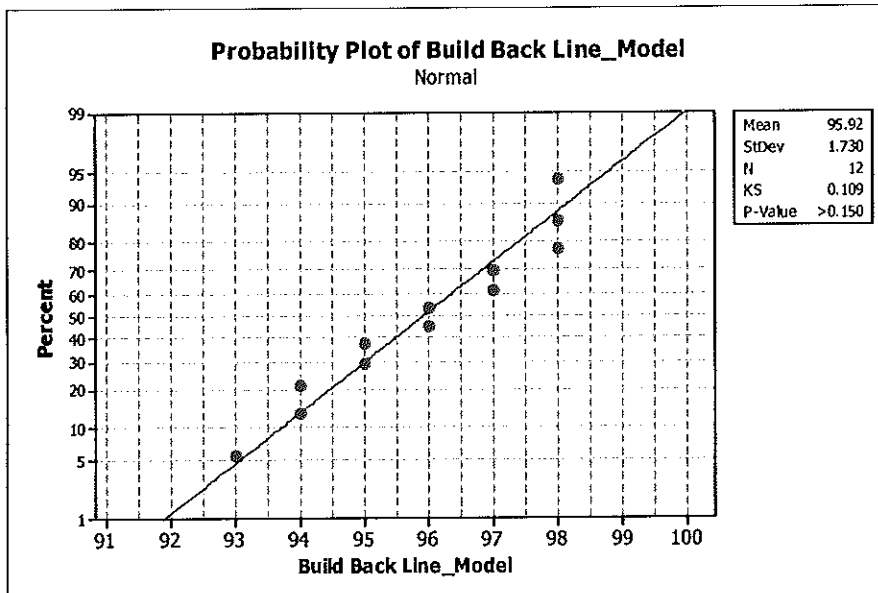
รูปที่ 4-33 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
จากแบบจำลอง HRC Line DT Full Dip



รูปที่ 4-34 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
จากแบบจำลอง HRC Line MB Full Dip



รูปที่ 4-35 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
จากแบบจำลอง Rewash Line



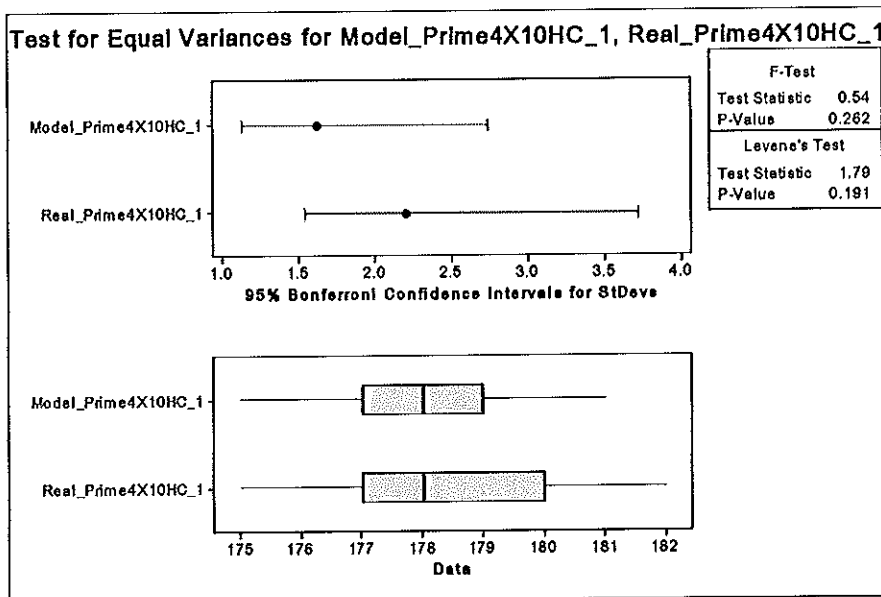
รูปที่ 4-36 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล  
จากแบบจำลอง Build Back Line



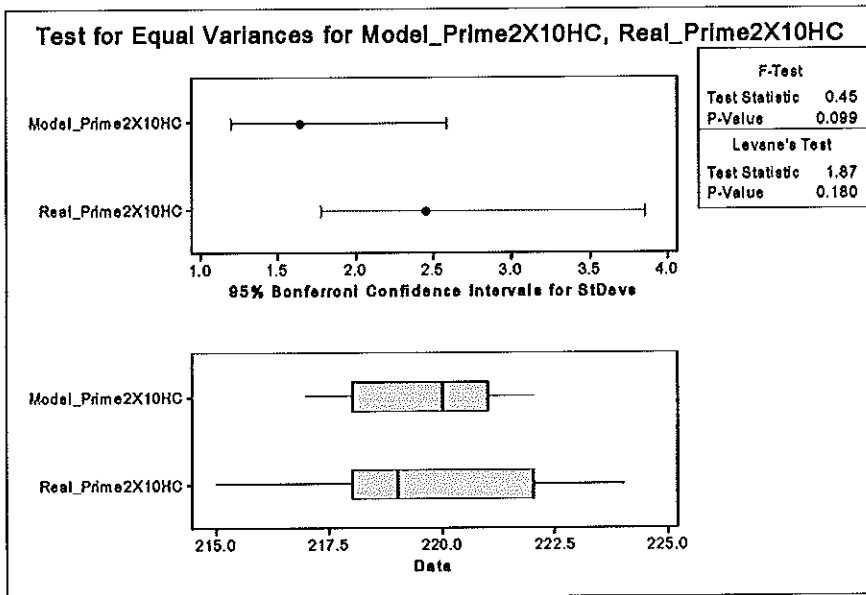
จากรูปที่ 4-27 ถึง 4-36 พบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.150 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ได้ ดังนั้นข้อมูลของปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ที่ได้จากแบบจำลองมีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อทราบว่าข้อมูลที่ได้มีรูปแบบการแจกแจงเป็นแบบปกติแล้ว สามารถทำการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองด้วยการทดสอบแบบ t (T-Test) ได้ แต่เนื่องจากไม่ทราบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลสองชุดแตกต่างกันหรือไม่ จึงต้องทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 4-37 ถึง รูปที่ 4-46 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ก่อน โดยมีสมมติฐานดังนี้

$H_0$  : ความแปรปรวนของปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน

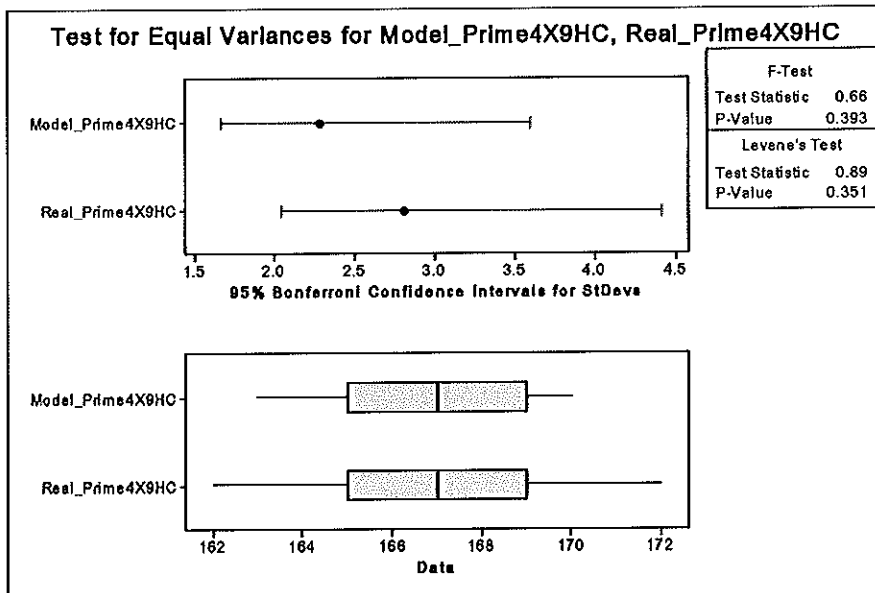
$H_1$  : ความแปรปรวนของปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ทั้งสองชุดแตกต่างกัน



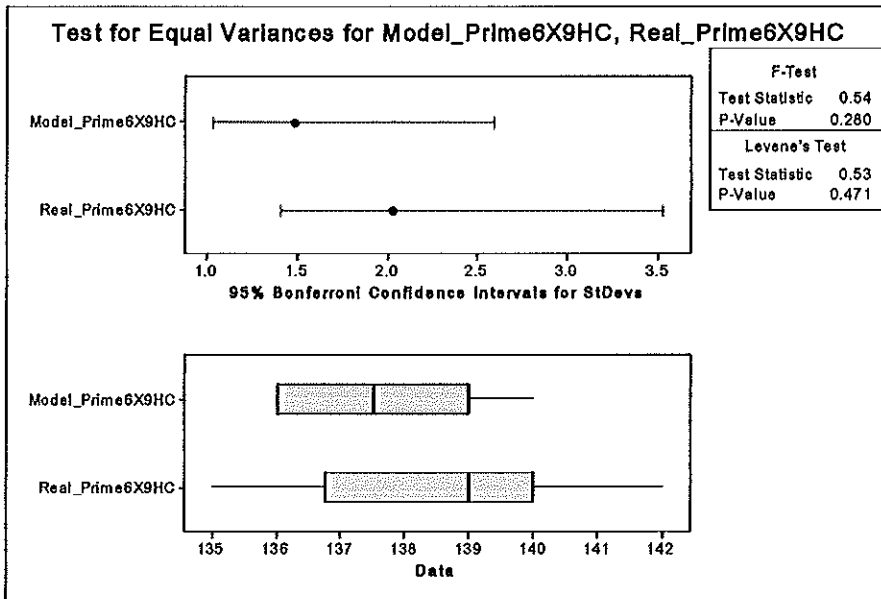
รูปที่ 4-37\_ ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 4X10HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



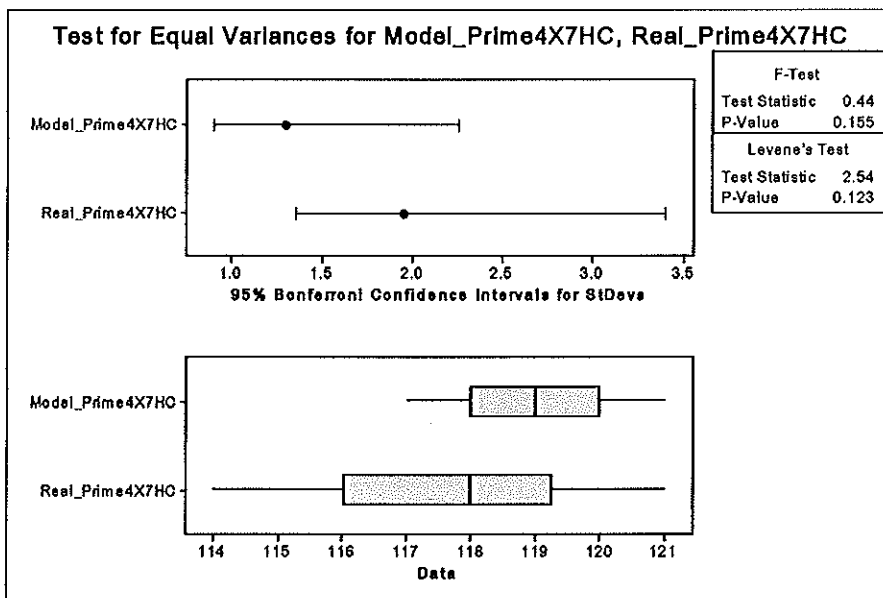
รูปที่ 4-38 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ  
ข้อมูล Prime Line 2X10HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



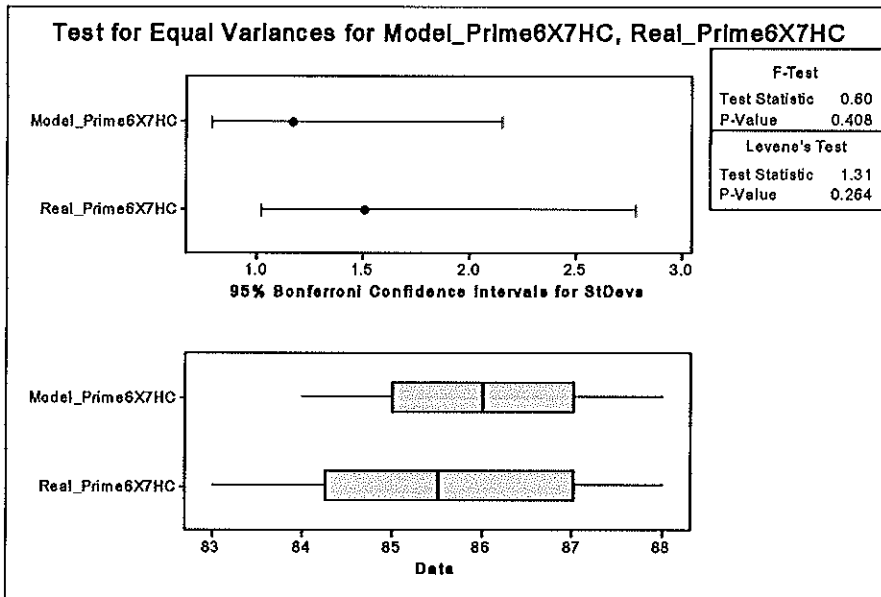
รูปที่ 4-39 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ  
ข้อมูล Prime Line 4X9HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



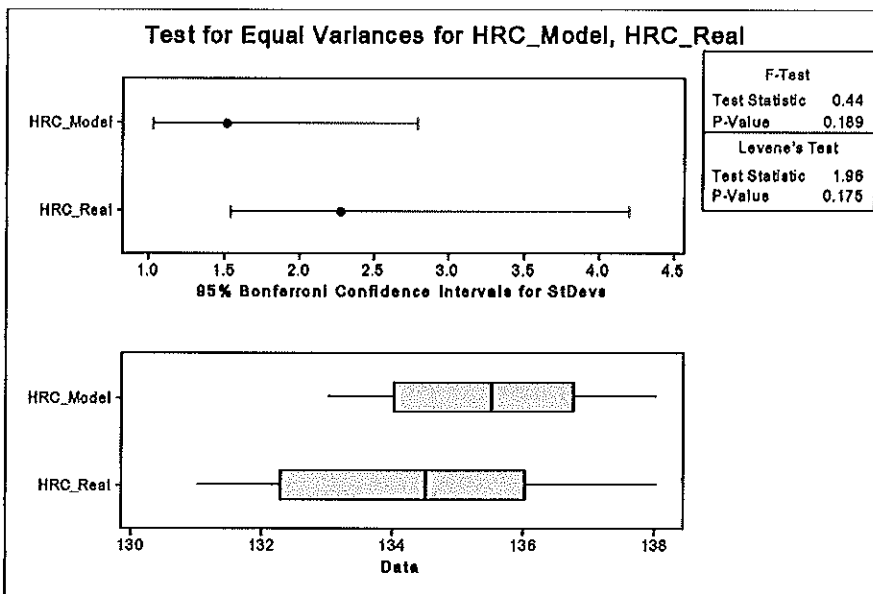
รูปที่ 4-40 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 6X9HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



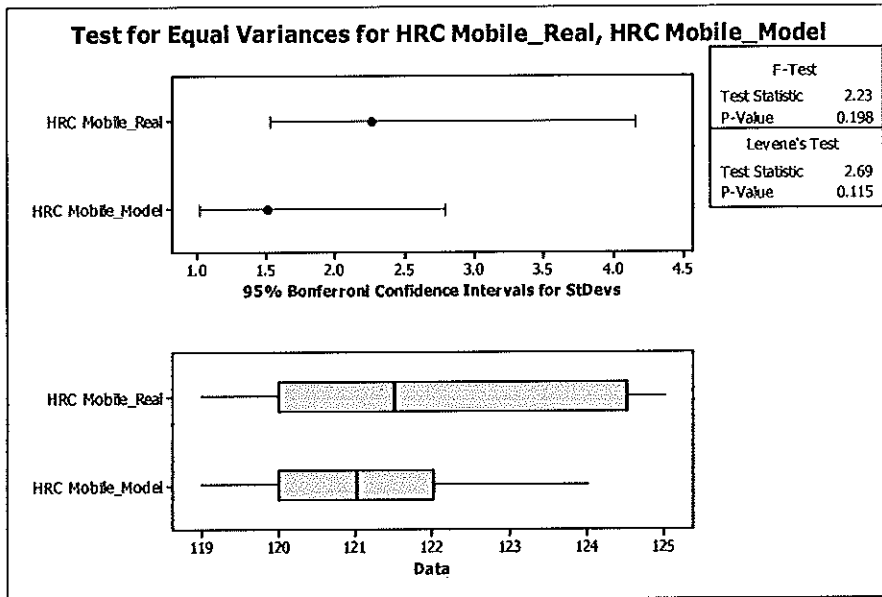
รูปที่ 4-41 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 4X7HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



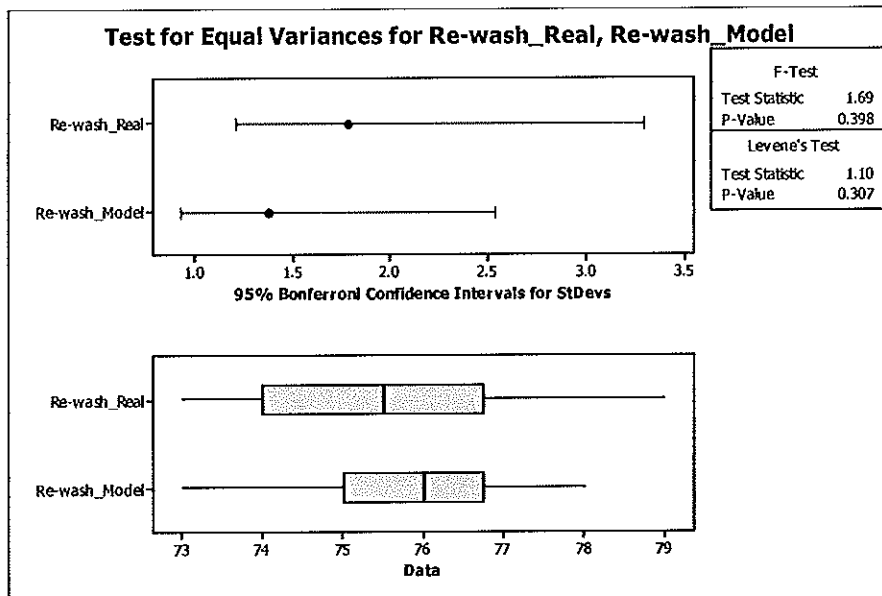
รูปที่ 4-42 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Prime Line 6X7HC ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



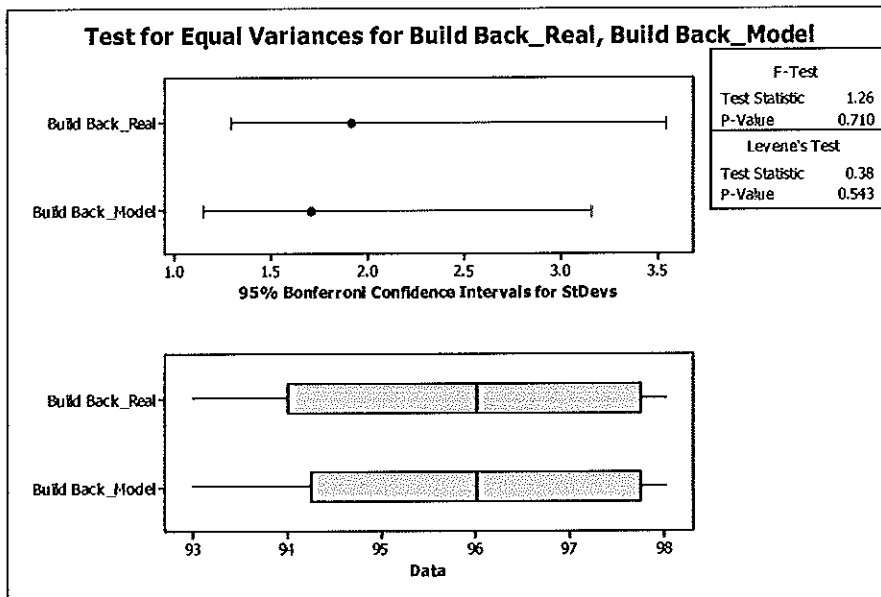
รูปที่ 4-43 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล HRC Line DT Full Dip ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



รูปที่ 4-44 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล HRC Line MB Full Dip ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



รูปที่ 4-45 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล Rewash Line ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง



รูปที่ 4-46 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน  
ของข้อมูล Build Back Line ระหว่างระบบจริงและแบบจำลอง

จากรูปที่ 4-37 ถึง 4-46 พบว่าไม่มีข้อมูลที่ผิดปกติ (Outlier) และมีมาตรฐานอยู่ตรงกลางของแผนภูมิกล่อง จึงอนุมานได้ว่าข้อมูลทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และอ่านค่า P-Value จากการทดสอบแบบ F พบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงว่าความแปรปรวนของปริมาณ HSA ที่ผลิตได้ (ชิ้นต่อชั่วโมง) ทั้งสองชุดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เมื่อทราบว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองชุดไม่แตกต่างกัน ในขั้นตอนต่อไป คือ การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบโดยวิธีการทดสอบแบบ t ดังแสดงในตาราง 4.35 ถึง 4.44 ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

$H_0$  : ตัวแบบมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

$H_1$  : ตัวแบบไม่มีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

ตารางที่ 4.35 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X10HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	15	178.33	2.19	0.57
แบบจำลอง	15	178.20	1.61	0.42
T-Test : T-Value = -0.19    P-Value = 0.851				

ตารางที่ 4.36 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 2X10HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	19	219.68	2.45	0.56
แบบจำลอง	19	219.58	1.64	0.38
T-Test : T-Value = -0.16    P-Value = 0.877				

ตารางที่ 4.37 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X9HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	19	166.89	2.81	0.64
แบบจำลอง	19	166.68	2.29	0.52
T-Test : T-Value = -0.25    P-Value = 0.801				

ตารางที่ 4.38 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 6X9HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	14	138.57	2.03	0.54
แบบจำลอง	14	137.71	1.49	0.40
T-Test : T-Value = -1.27    P-Value = 0.215				

ตารางที่ 4.39 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 4X7HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	14	117.86	1.96	0.52
แบบจำลอง	14	119.00	1.30	0.35
T-Test : T-Value = 1.82    P-Value = 0.082				

ตารางที่ 4.40 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line 6X7HC

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	12	85.58	1.51	0.43
แบบจำลอง	12	86.08	1.16	0.34
T-Test : T-Value = 0.91    P-Value = 0.374				

ตารางที่ 4.41 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง HRC DT Full Dip

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	12	134.33	2.27	0.66
แบบจำลอง	12	135.42	1.51	0.43
T-Test : T-Value = 1.38    P-Value = 0.184				

ตารางที่ 4.42 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง HRC MB Full Dip

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	12	121.83	2.25	0.65
แบบจำลอง	12	121.08	1.51	0.43
T-Test : T-Value = 0.96    P-Value = 0.349				



ตารางที่ 4.43 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Rewash Line

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	12	75.58	1.78	0.51
แบบจำลอง	12	75.67	1.37	0.40
T-Test : T-Value = -0.13    P-Value = 0.899				

ตารางที่ 4.44 ผลลัพธ์ของการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Build Back Line

	N	Mean	SD	SE
ระบบจริง	12	95.75	1.91	0.55
แบบจำลอง	12	96.00	1.71	0.49
T-Test : T-Value = -0.34    P-Value = 0.739				

จากตารางที่ 4.35 ถึง 4.44 พบว่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ได้ ดังนั้นทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าตัวแบบที่สร้างขึ้นมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริงที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เมื่อพบว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่ได้สร้างขึ้นนี้ มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้เป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์นี้ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลที่จะได้จากการปฏิบัติงานในระบบงานจริง ทั้งนี้การวิเคราะห์หาสาเหตุหลัก (Key Process Input Variable, KPIV) ที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตและหาค่าที่เหมาะสมของค่ารอบเวลาการผลิตได้แสดงในส่วนถัดไป

#### 4.5 การดำเนินการทดลองกับตัวแบบจำลองระบบ

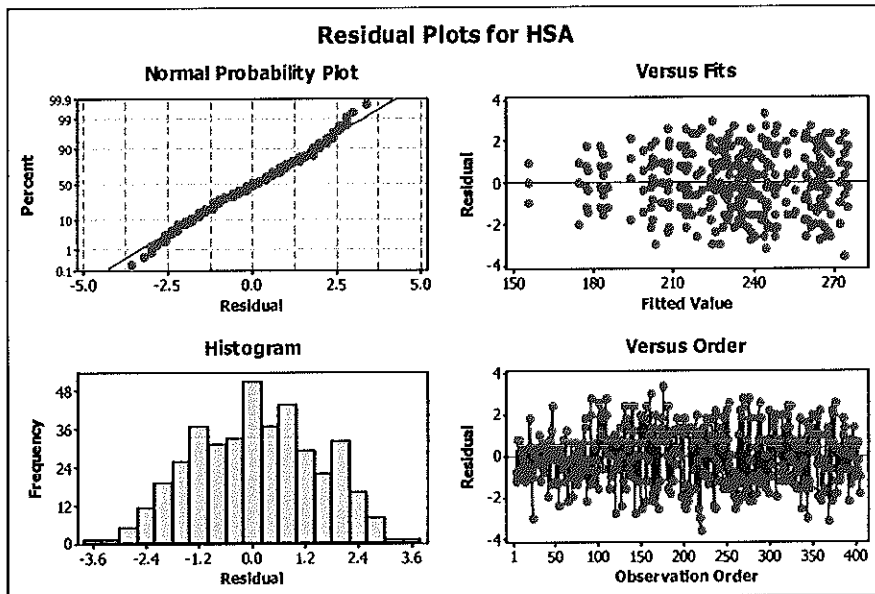
จากบทที่ 3 จะได้ปัจจัยที่สนใจ 4 ปัจจัยคือ จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH และได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 4 ปัจจัย (Four-Factor Factorial Design) ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ที่ต้องทำการทดสอบพร้อมๆ กัน ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิต โดยทำการทดลองเบื้องต้น และเก็บข้อมูลของการทดลอง 5 ซ้ำ ซึ่งการออกแบบการทดลองเพื่อเก็บค่าของข้อมูลในการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ก และนำข้อมูลในการทดลองไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเบื้องต้น

Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Shuttle	2	120568.7	120568.7	60284.3	25222.27	0.000
Flow Fixture	2	34731.5	34731.5	17365.7	7265.62	0.000
Pack CR	2	83705.4	83705.4	41852.7	17510.69	0.000
Load MH	2	43854.7	43854.7	21927.3	9174.14	0.000
Shuttle*Flow Fixture	4	2562.8	2562.8	640.7	268.06	0.006
Shuttle*Pack CR	4	17.0	17.0	4.2	1.78	0.133
Shuttle*Load MH	4	9.3	9.3	2.3	0.97	0.425
Flow Fixture*Pack CR	4	8.3	8.3	2.1	0.87	0.482
Flow Fixture*Load MH	4	14.0	14.0	3.5	1.46	0.214
Pack CR*Load MH	4	2044.6	2044.6	511.1	213.86	0.008
Shuttle*Flow *Pack	8	36.6	36.6	4.6	1.92	0.057
Shuttle*Flow *Load	8	35.0	35.0	4.4	1.83	0.071
Shuttle*Pack*Load	8	19.7	19.7	2.5	1.03	0.414
Flow *Pack*Load	8	19.1	19.1	2.4	1.00	0.437
Shut*Flow*Pack*Load	16	56.8	56.8	3.5	1.48	0.103
Error	324	774.4	774.4	2.4		
Total	404	288457.7				

S = 1.54617 R-Sq = 96.36% R-Sq (adj.) = 95.46%

ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้ จะต้องทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองทางสถิติที่จะนำไปใช้ ว่าได้รับการเก็บมาจากสภาวะควบคุมหรือไม่โดยการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ



รูปที่ 4-47 การวิเคราะห์ค่าเศษเหลือและความเพียงพอของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4-47 วิเคราะห์ค่าเศษเหลือและความเพียงพอของแบบจำลองหลังจากทำการป้อนข้อมูลตามลำดับการทดลองเพื่อพิจารณาภาวะสุ่มของข้อมูลจากแผนภูมิควบคุม I (Individual หรือ X-MR) ระหว่างค่าเศษเหลือกับลำดับการทดสอบ พบว่าข้อมูลทั้งหมดคอยู่ภายใต้พิกัดควบคุม แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองนี้เป็นอิสระต่อกันเนื่องจากความสุ่ม หลังจากนั้นพิจารณารูปทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) หรือฮิสโตแกรม (Histogram) เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ โดยในที่นี้เลือกพิจารณาจากฮิสโตแกรมเนื่องจากข้อมูลมากกว่า 30 ตัว จากกราฟพบว่า ฮิสโตแกรมแสดงรูปทรงระฆังคว่ำ ส่วนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น แสดงว่าข้อมูลที่ใช้ในการทดลองถูกเก็บมาในสภาวะที่ดี คือ ข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ เมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติมีลักษณะสุ่ม และเป็นอิสระต่อกันแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือ การทดสอบความ

แปรปรวนของข้อมูลโดยพิจารณาว่าข้อมูลมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ จากกราฟไม่พบข้อมูลที่ผิดปกติมากนักจึงสามารถยืนยันได้แน่ชัดว่าความแปรปรวนข้อมูลมีค่าคงที่

เมื่อทราบว่าความแปรปรวนในการทดลองไม่แตกต่างกันแล้ว จึงสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการหาค่าการจำลองของแบบจำลองที่เหมาะสม

การหาจำนวนรอบการจำลองที่เหมาะสมสำหรับการทดลองจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II error) โดยใช้สัญลักษณ์  $\beta$  (Beta) ซึ่งเป็นการตัดสินใจผิดพลาดจากการยอมรับสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) เมื่อสมมติฐานไม่เป็นจริง ในการทดสอบสมมติฐานจะต้องควบคุมความเสี่ยงในการตัดสินใจด้วยการกำหนดให้  $\alpha$  คงที่ แล้วพยายามออกแบบให้  $\beta$  มีค่าต่ำที่สุดด้วยการลดขนาดความคลาดเคลื่อนมาตรฐานลง โดยพิจารณาถึงค่าที่เหมาะสมของขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จากค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ของเส้นโค้งไอซี ( $\Phi^2$ ) โดยมีรายละเอียดดังนี้

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle (A)

$$\Phi^2 = \frac{nbcD^2}{2a\sigma^2} \quad (4.1)$$

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Flow Fixture (B)

$$\Phi^2 = \frac{nacdD^2}{2b\sigma^2} \quad (4.2)$$

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Pack CR (C)

$$\Phi^2 = \frac{nabdD^2}{2c\sigma^2} \quad (4.3)$$

สำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Load MH (D)

$$\Phi^2 = \frac{nabcD^2}{2d\sigma^2} \quad (4.4)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle และการจัดสรรจำนวน Flow Fixture (AB)

$$\Phi^2 = \frac{ncdD^2}{2\sigma^2[(a-1)(b-1)+1]} \quad (4.5)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle และการจัดสรรจำนวน Pack CR (AC)

$$\Phi^2 = \frac{nbdD^2}{2\sigma^2[(a-1)(c-1)+1]} \quad (4.6)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle และการจัดสรรจำนวน Load MH (AD)

$$\Phi^2 = \frac{nbcD^2}{2\sigma^2[(a-1)(d-1)+1]} \quad (4.7)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Flow Fixture และการจัดสรรจำนวน Pack CR (BC)

$$\Phi^2 = \frac{nadD^2}{2\sigma^2[(b-1)(c-1)+1]} \quad (4.8)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Flow Fixture และการจัดสรรจำนวน Load MH (BD)

$$\Phi^2 = \frac{nacD^2}{2\sigma^2[(b-1)(d-1)+1]} \quad (4.9)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Pack CR และการจัดสรรจำนวน Load MH (CD)

$$\Phi^2 = \frac{nabD^2}{2\sigma^2[(c-1)(d-1)+1]} \quad (4.10)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle การจัดสรรจำนวน Flow Fixture และการจัดสรรจำนวน Pack CR (ABC)

$$\Phi^2 = \frac{ndD^2}{2\sigma^2[(a-1)(b-1)(c-1)+1]} \quad (4.11)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle การจัดสรรจำนวน Pack CR และการจัดสรรจำนวน Load MH (ACD)

$$\Phi^2 = \frac{nbD^2}{2\sigma^2[(a-1)(c-1)(d-1)+1]} \quad (4.12)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Flow Fixture การจัดสรรจำนวน Pack CR และการจัดสรรจำนวน Load MH (BCD)

$$\Phi^2 = \frac{nadD^2}{2\sigma^2[(b-1)(c-1)(d-1)+1]} \quad (4.13)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle การจัดสรรจำนวน Flow Fixture และการจัดสรรจำนวน Load MH (ABD)

$$\Phi^2 = \frac{ncD^2}{2\sigma^2[(a-1)(b-1)(d-1)+1]} \quad (4.14)$$

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Shuttle การจัดสรรจำนวน Flow Fixture การจัดสรรจำนวน Pack CR และการจัดสรรจำนวน Load MH (ABCD)

$$\Phi^2 = \frac{nD^2}{2\sigma^2[(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)+1]} \quad (4.15)$$

สำหรับการตรวจจับความแตกต่างสูงสุดของค่าเฉลี่ย (D) จนทำให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐานซึ่งกำหนดจากความแตกต่างมากที่สุดของจำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ต่อวันของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ที่ถือว่าแตกต่างซึ่งคิดเป็นจำนวน 3 ขึ้นต่อวันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) เท่ากับ 1.5462 ขึ้นซึ่งประมาณค่าได้จากกราฟที่สองของค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกิดจากความผิดพลาด (Mean Square Error :  $MS_p$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.45

จากสมการสามารถแสดงได้ว่าค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของปัจจัยหลัก A ดังสมการ (4.1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \Phi^2 &= \frac{n(3)(3)(3)(3)^2}{2(3)(1.5462)^2} \\ &= 16.94n \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของปัจจัยหลัก B C และ D คือ

$$\Phi^2 = 16.94n$$

ค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AB ดังสมการ (4.5) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Phi^2 &= \frac{n(3)(3)(3)^2}{2(1.5462)^2[(3-1)(3-1)+1]} \\ &= 3.39n\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AC AD BC BD และ CD คือ

$$\Phi^2 = 3.39n$$

ค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ABC ดังสมการ (4.11) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Phi^2 &= \frac{n(3)(3)^2}{2(1.5462)^2[(3-1)(3-1)(3-1)+1]} \\ &= 0.63n\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ACD BCD และ ABD คือ

$$\Phi^2 = 0.63n$$

และค่าต่ำสุดของ  $\Phi^2$  ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ABCD ดังสมการ (4.15) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\Phi^2 &= \frac{n(3)^2}{2(1.5462)^2[(3-1)(3-1)(3-1)(3-1)+1]} \\ &= 0.11n\end{aligned}$$



ในการกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม จะต้องได้มาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ค่าของขนาดสิ่งตัวอย่าง โดยเลือกทำการทดสอบเฉพาะในส่วนของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ABCD ซึ่งจะให้ค่าขนาดของตัวอย่างที่มีขนาดมากที่สุดครอบคลุมทุกระดับของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งจะส่งผลให้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 มีค่าน้อยลงตามไปด้วย โดยกำหนดให้มีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และกำหนดให้อำนาจของการทดสอบ  $(1-\beta)$  เท่ากับ 0.95 โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0: (\tau\beta\gamma\delta)_{ijM} = 0$$

$$H_1: (\tau\beta\gamma\delta)_{ijM} \neq 0$$

กำหนดให้  $\tau_i$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่  $i$  ของปัจจัยจำนวน Shuttle  
 $\beta_j$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่  $j$  ของปัจจัยจำนวน Flow Fixture  
 $\gamma_k$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่  $k$  ของปัจจัยจำนวน Pack CR  
 $\delta_l$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากระดับที่  $l$  ของปัจจัยจำนวน Load MH  
 $(\tau\beta\gamma\delta)_{ijM}$  คือ อิทธิพลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง  $\tau_i$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_k$  และ  $\delta_l$

ตารางที่ 4.46 แสดงการลองผิดลองถูกของการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม

n	$\Phi^2$	$\Phi$	$v_1 = (a-1)(b-1)(c-1)(d-1)$	$v_2 = abcd(n-1)$	$\beta$	$1-\beta$
10	1.10	1.04	16	729	0.39	0.61
15	1.65	1.28	16	1134	0.12	0.88
20	2.20	1.48	16	1539	0.07	0.93
21	2.31	1.52	16	1620	0.06	0.94
22	2.42	1.56	16	1701	0.05	0.95
23	2.53	1.59	16	1782	0.04	0.96

จากตารางที่ 4.46 พิจารณาหาขนาดตัวอย่างของจำนวนรอบการจำลอง ควรใช้รอบการจำลองเท่ากับ 22 ซ้ำ ในแต่ละเงื่อนไขของการทดลอง ซึ่งจะทำให้เกิดความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานนั้นถูกต้องเท่ากับ 0.05 และมีอำนาจของการทดสอบเท่ากับ 0.95 ที่หมายถึงความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานนั้นผิด เนื่องจากแบบจำลองทางสถิติสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 4 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับซึ่งจะมีข้อมูลที่ได้ทั้งหมดในการทดสอบเท่ากับ  $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$  ระดับ เมื่ออันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำมาเข้ามาพิจารณาในแบบจำลอง จึงทำการจำลองรอบของแบบจำลองในทุกระดับของปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ 1782 ตัว โดยต้องจำลองเพิ่มอีก  $22 - 5 = 17$  รอบ ในแต่ละระดับของปัจจัย เนื่องจากมีจำนวนรอบที่ทำไปแล้ว 5 รอบในการจำลองเบื้องต้น

เมื่อได้จำนวนรอบการจำลองแล้วต่อไปก็จะทำการการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่มี 4 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH โดยแบบจำลองทางสถิติสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 4 ปัจจัย จะประกอบด้วยเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมด 81 เงื่อนไข โดยมีสมมติฐานของการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ได้ดังนี้

$H_0$  : จำนวน Shuttle ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Flow Fixture ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Flow Fixture มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle และจำนวน Flow Fixture ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle และจำนวน Flow Fixture มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR  
ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR  
มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH  
ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH  
มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน  
Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน  
Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อน  
ชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อน  
ชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_0$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวน  
คนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

$H_1$  : จำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวน  
คนงานป้อนชิ้นงาน Load MH มีผลต่อจำนวน Head Stack Assembly

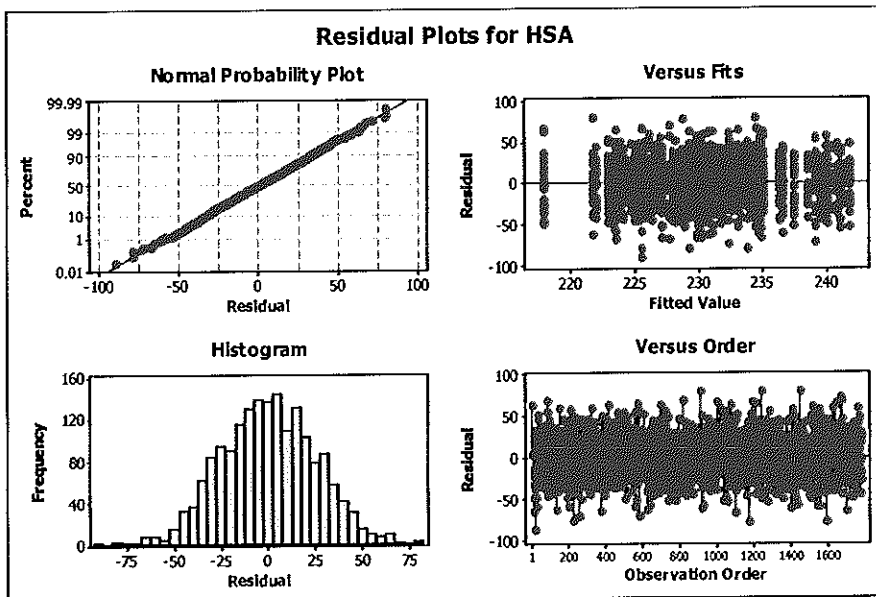
เนื่องจากในการทดลองเบื้องต้นทำการเก็บข้อมูล ไปแล้ว 5 ชั่วโมง จึงทำการเก็บ  
ข้อมูลของการทดลองเพิ่มอีก 17 ชั่วโมง ได้ข้อมูลครบทั้ง 22 ชั่วโมงต่อไปจะนำข้อมูลในการทดลอง  
ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 วิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Shuttle	2	500443	500443	250221.5	10623.31	0.000
Flow Fixture	2	153027	153027	76513.5	3248.43	0.000
Pack CR	2	361942	361942	180971.0	7683.24	0.000
Load MH	2	192482	192482	96241.0	4085.97	0.000
Shuttle*Flow Fixture	4	10440	10440	2610.0	110.81	0.028
Shuttle*Pack CR	4	80	80	20.0	0.85	0.484
Shuttle*Load MH	4	82	82	20.5	0.87	0.482
Flow Fixture*Pack CR	4	19	19	4.8	0.20	0.646
Flow Fixture*Load MH	4	59	59	14.8	0.63	0.533
Pack CR*Load MH	4	10306	10306	2576.5	109.39	0.031
Shuttle*Flow *Pack	8	205	205	25.6	1.09	0.402
Shuttle*Flow *Load	8	219	219	27.4	1.16	0.385
Shuttle*Pack*Load	8	95	95	11.9	0.51	0.607
Flow *Pack*Load	8	156	156	19.5	0.83	0.496
Shut*Flow*Pack*Load	16	254	254	15.9	0.68	0.528
Error	1701	40066	40066	23.6		
Total	1781	1269874	1269874			

S = 7.67817 R-Sq = 97.49% R-Sq (adj.) = 96.21%

ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้จะต้องทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองทางสถิติที่จะนำไปใช้ ว่าได้รับการเก็บมาจากสภาวะควบคุมหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ค่าเศษเหลือ



รูปที่ 4-48 การวิเคราะห์ค่าเศษเหลือและความเพียงพอของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4-48 วิเคราะห์ค่าเศษเหลือและความเพียงพอของแบบจำลองหลังจากทำการป้อนข้อมูลตามลำดับการทดลองเพื่อพิจารณาภาวะสุ่มของข้อมูลจากแผนภูมิควบคุม I ระหว่างค่าเศษเหลือกับลำดับการทดสอบ พบว่าข้อมูลทั้งหมดอยู่ภายใต้พิกัดควบคุม แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองนี้เป็นอิสระต่อกันเนื่องจากความสุ่ม หลังจากนั้นพิจารณารูปทดสอบการแจกแจงแบบปกติหรือฮิสโตแกรมเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่เก็บมามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ โดยในที่นี้เลือกพิจารณาจากฮิสโตแกรมเนื่องจากข้อมูลมากกว่า 30 ตัว จากกราฟพบว่าฮิสโตแกรมแสดงรูปทรงระฆังคว่ำส่วนกราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น แสดงว่าข้อมูลที่ใช้ในการทดลองถูกเก็บมาในสภาวะที่ดี คือ ข้อมูลการแจกแจงแบบปกติ เมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติมีลักษณะสุ่ม และเป็นอิสระต่อกันแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยพิจารณาว่าข้อมูลมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ จากกราฟไม่พบข้อมูลที่ผิดปกติ จึงสามารถยืนยันได้แน่ชัดว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าคงที่

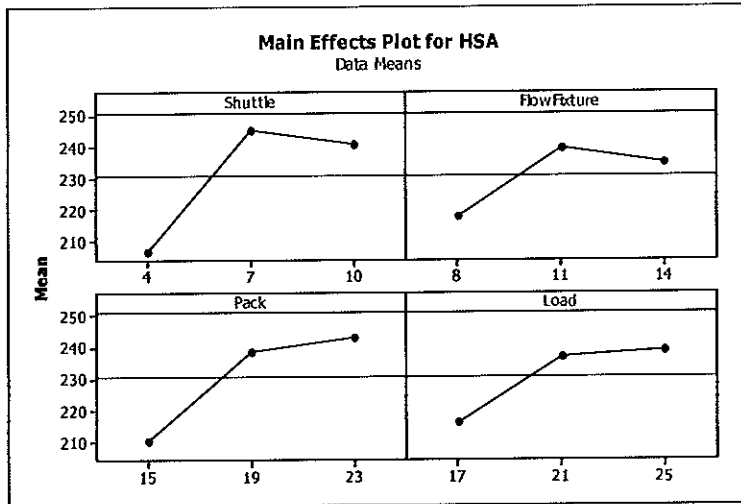
จากตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองทางสถิติ และแสดงผลแล้วว่าข้อมูลที่ได้มีความเพียงพอ และถูกต้องตามแผนการทดลองแล้ว ขั้นตอนถัดไปที่ต้องทำการวิเคราะห์ค่า  $R^2$  ซึ่งเกิดจากความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลว่าเกิดจากความผันแปรจากปัจจัยเท่าใด จากตารางที่ 4.47 พบว่าการทดลองนี้มีค่า  $R^2$  มีค่าเท่ากับ 97.49% แสดงว่าตัวแบบการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์ดี และ

สามารถสรุปได้ว่าความผันแปร 100 ส่วน มีผลเนื่องมาจากปัจจัยที่ควบคุมได้ 97.49 ส่วน อีก 2.51 ส่วนมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้

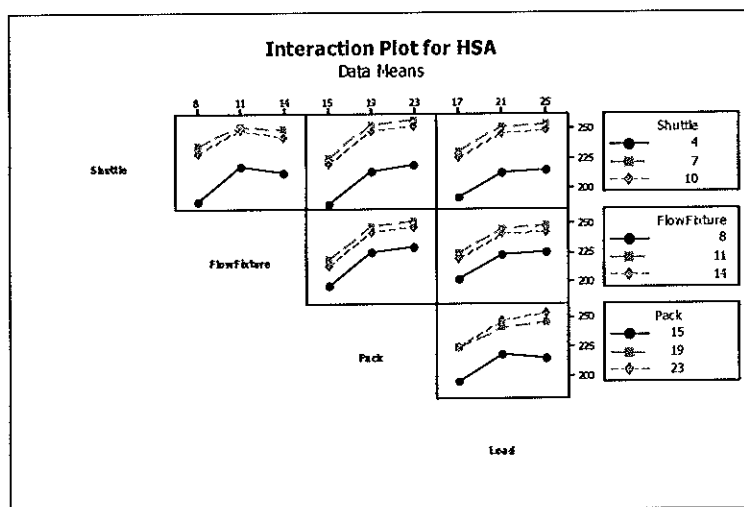
หลังจากทราบข้อมูลที่น่าวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ดี จากการทดสอบ  $R^2$  แล้ว ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองจากตารางที่ 4.47 พบว่าค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้ว่า ปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยมีผลทำให้จำนวน Head Stack Assembly แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟแสดงผลที่เกิดจากแต่ละปัจจัยหลักในรูปที่ 4-49

ในส่วนของอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยพบว่า ค่า P-Value ของอันตรกิริยาของจำนวน Shuttle และจำนวน Flow Fixture และอันตรกิริยาของจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH มีค่าเท่ากับ 0.028 และ 0.031 ตามลำดับ ซึ่งค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าอันตรกิริยาของของจำนวน Shuttle และจำนวน Flow Fixture และอันตรกิริยาของจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH มีผลทำให้จำนวน Head Stack Assembly แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน สำหรับอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยที่เหลือคือ อันตรกิริยาของจำนวน Shuttle และจำนวน Pack CR อันตรกิริยาของจำนวน Shuttle และจำนวน Load MH อันตรกิริยาของจำนวน Flow Fixture และจำนวน Pack CR และอันตรกิริยาของจำนวน Flow Fixture และจำนวน Load MH มีค่า P-Value 0.484, 0.482, 0.646 และ 0.533 ตามลำดับซึ่งค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าอันตรกิริยาของปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลทำให้จำนวน Head Stack Assembly แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของอันตรกิริยาของ 3 ปัจจัยได้แก่ อันตรกิริยาของของจำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวน Pack CR อันตรกิริยาของของจำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture และจำนวน Load MH อันตรกิริยาของของจำนวน Shuttle จำนวน Pack CR และจำนวน Load MH และอันตรกิริยาของของจำนวน Flow Fixture จำนวน Pack CR และจำนวน Load MH และอันตรกิริยาของ 4 ปัจจัยคือ อันตรกิริยาของของจำนวน Shuttle จำนวน Flow Fixture จำนวน Pack CR และจำนวน Load MH มีค่า P-Value 0.402, 0.385, 0.607, 0.496 และ 0.528 ตามลำดับซึ่งค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าอันตรกิริยาของปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลทำให้จำนวน Head Stack Assembly แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟแสดงผลที่เกิดจากอันตรกิริยาของทั้ง 4 ปัจจัยดังแสดงในรูปที่ 4-50



รูปที่ 4-49 กราฟแสดงผลที่เกิดจากแต่ละปัจจัยหลัก



รูปที่ 4-50 กราฟแสดงผลที่เกิดจากอันตรกิริยาของทั้ง 4 ปัจจัย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ได้แก่ จำนวน Shuttle, จำนวน Flow Fixture, จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ส่งผลต่อปริมาณ HSA ที่ผลิตได้หรือค่ารอบเวลาการผลิต ในส่วนต่อไปจะเป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุด และเนื่องจากการ



วิเคราะห์ความแปรปรวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือจับชิ้นงานคือจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนคนงานซึ่งได้แก่ จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และ จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกันดังนั้นในส่วนของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะแยกทำการศึกษาเป็น 2 กรณีคือ

1. หาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture
2. หาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และ จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือ SimRunner ของโปรแกรม ProModel<sup>®</sup> Version 7 เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ของระบบที่ดีที่สุด โดยผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ภายใต้สถานการณ์ของความน่าจะเป็น ซึ่งกระบวนการหาคำตอบของเครื่องมือ SimRunner จะอาศัยผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งถูกใช้เป็นตัววัดถึงความเหมาะสมของตัวแปรนำเข้าซึ่งในที่นี้คือ จำนวน Head Stack Assembly ที่ผลิตได้หรือค่ารอบเวลาการผลิตของการผลิต Head Stack Assembly และนำมาประมวลผลร่วมกับผลที่ได้จากการประเมินในครั้งที่ผ่านๆมา แล้วทำการกำหนดชุดของตัวแปรนำเข้าชุดใหม่เพื่อนำไปป้อนเข้าระบบของการจำลองสถานการณ์อีกครั้ง โดยกระบวนการทำงานทั้งหมดจะดำเนินไปจนกระทั่งระบบบรรลุเงื่อนไขของการหยุดหาคำตอบด้วยเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง เป็นต้นว่าได้ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้เบื้องต้นหรือบรรลุตามเงื่อนไขของระยะเวลาที่กำหนด

การกำหนดพารามิเตอร์ของการทดลองได้แก่ ระยะเวลาในการรัน จำนวนรอบการจำลอง ระดับความเชื่อมั่น และเวลา Warm-up แสดงได้ดังส่วนต่อไป

#### 4.5.1 การหาจำนวนรอบการจำลอง

กำหนดให้จำนวนรอบการจำลอง 10 รอบ ซึ่งได้จากการจำลองซ้ำ 5 รอบที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95% จะคำนวณค่ารอบของการทำซ้ำได้จากสมการ 2.16

$$n \geq \left( \frac{t_{\alpha, n-1} \times S}{E} \right)^2 \quad (4.16)$$

- โดย
- t คือค่าของตัวแปรสุ่ม t ที่กำหนดระดับค่าความเชื่อมั่นที่ 95%
  - s คือค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง
  - E คือค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

จากการรันแบบจำลองซ้ำที่ 5 รอบจะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ 217,440 ชิ้นต่อวันและมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 469 ชิ้นต่อวัน ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มาจากการประมาณค่าจากครึ่งหนึ่งของความยาวช่วง (half-width) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 415 ชิ้นต่อวัน

แทนค่าในสมการ 4.16 จะได้

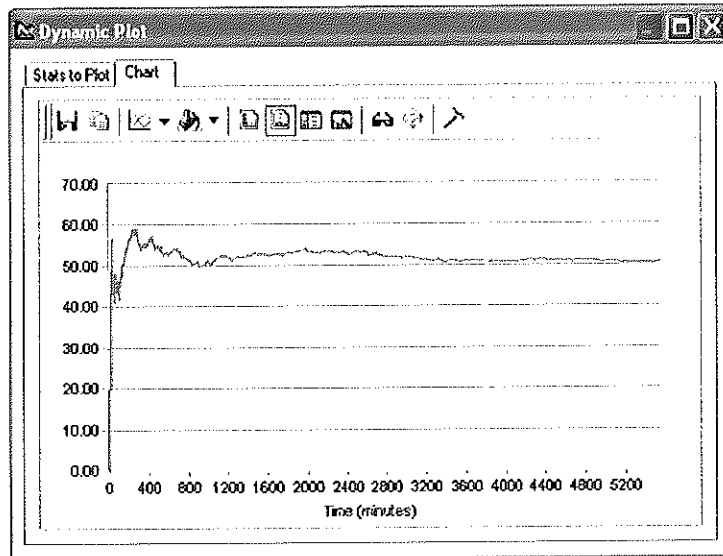
$$n \geq \left( \frac{2.776 \times 469}{415} \right)^2$$

$$n \geq 9.842$$

ดังนั้นจะได้จำนวนรอบในการจำลองคือ 10 รอบ

#### 4.5.2 การหาเวลา Warm-up

เวลา Warm-up ได้จากการรันค่าระหว่าง WIP กับ เวลาในการรันข้อมูล โดยเวลาที่ WIP คงที่ คือเวลา warm up แสดงดังรูป 4-51



รูปที่ 4-51 เวลา Warm-up

เมื่อได้จำนวนรอบการจำลอง 10 รอบและเวลา Warm-up ที่ 3,800 นาที ต่อไปจะเป็นการหาสถานะที่เหมาะสมของทั้ง 2 กรณีดังนี้คือ

1. การหาสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture

ค่าเงื่อนไขต่างๆที่ต้องกำหนดให้กับโปรแกรมก่อนทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดแสดงได้ดังต่อไปนี้

- ก. สมการวัตถุประสงค์ คือ Maximize #HSA
- ข. ตัวแปรนำเข้า คือ # Shuttle และ # Flow Fixture
- ค. ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า แสดงดังตาราง 4.36

ตารางที่ 4.48 แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Shuttle และ # Flow Fixture

Input	Lower Limit	Upper Limit
# Shuttle	5	8
# Flow Fixture	7	12

หลังจากกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการค้นหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture โดยโปรแกรม SimRunner แสดงได้ดังตารางที่ 4.37

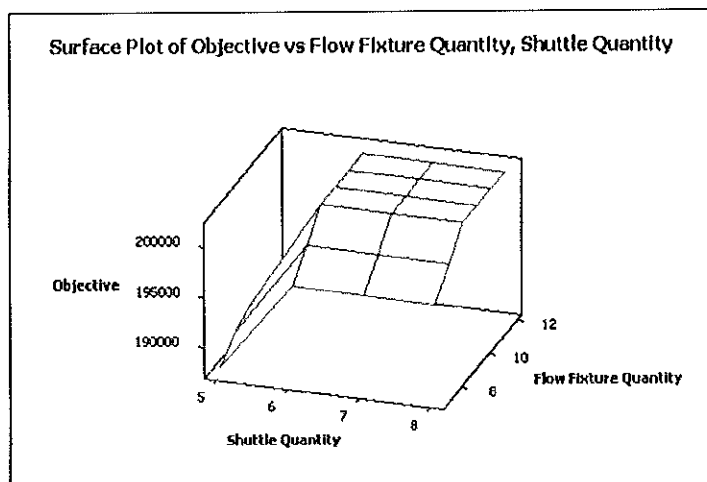
ตารางที่ 4.49 ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture

Experiment	Objective Function	Shuttle Quantity	Flow fixture Quantity
7	201600	6	10
11	201600	7	9
13	201600	6	9
1	201600	8	9
3	201600	6	11
14	201600	7	10
12	201600	7	11
24	201600	6	12
8	201600	8	10
5	201600	7	12
9	201600	8	11
15	201600	8	12
17	199200	6	8
18	199200	7	8
19	199200	8	8
23	196800	6	7
10	196800	8	7
2	196800	7	7
16	190400	5	11

ตารางที่ 4.49 (ต่อ)

Experiment	Objective Function	Shuttle Quantity	Flow fixture Quantity
20	190400	5	12
21	190400	5	10
22	190400	5	9
6	189600	5	8
4	187800	5	7

จากตารางที่ 4.49 จะเห็นว่าสถานะที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายสูงสุดคือผลิต Head Stack Assembly ได้ 201,600 ซึ่งต่อวันมีทั้งหมด 12 สถานะดังนั้นเราจะเลือกสถานะที่มีการใช้ทรัพยากรซึ่งก็คือ Shuttle และ Flow Fixture น้อยที่สุดซึ่งได้แก่ การทดลองที่ 13 ที่มีการใช้จำนวน Shuttle 6 ตัว และใช้ Flow Fixture 9 ตัว เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly สูงที่สุดซึ่งก็คือค่ารอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 4-52 แสดงพื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture

จากรูปที่ 4-52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Flow Fixture และจำนวน Shuttle พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวน Shuttle ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้จะเพิ่มมากขึ้นแต่จะคงที่เมื่อใช้จำนวน Shuttle ตั้งแต่ 6 ตัวขึ้นไปเช่นเดียวกับการเพิ่มจำนวน Flow Fixture จะส่งผลให้ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้เพิ่มมากขึ้นและจะคงที่เมื่อใช้จำนวน Flow Fixture ตั้งแต่ 9 ตัวขึ้นไป ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้สูงสุดในขณะที่มีการใช้ทรัพยากรซึ่งก็คือ Shuttle และ Flow Fixture น้อยที่สุดได้แก่การใช้จำนวน Shuttle 6 ตัว และใช้ Flow Fixture 9 ตัว

## 2. การหาสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH

ค่าเงื่อนไขต่างๆที่ต้องกำหนดให้กับ โปรแกรมก่อนทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดแสดงไว้ดังต่อไปนี้

- ก. สมการวัตถุประสงค์ คือ Maximize #HSA
- ข. ตัวแปรนำเข้า คือ # Pack CR และ # Load MH
- ค. ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า แสดงดังตาราง 4.38

ตารางที่ 4.50 แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Pack CR และ # Load MH

Input	Lower Limit	Upper Limit
# Pack CR	17	21
# Load MH	19	23

หลังจากกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการค้นหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH โดยโปรแกรม SimRunner แสดงได้ดังตารางที่ 4.39

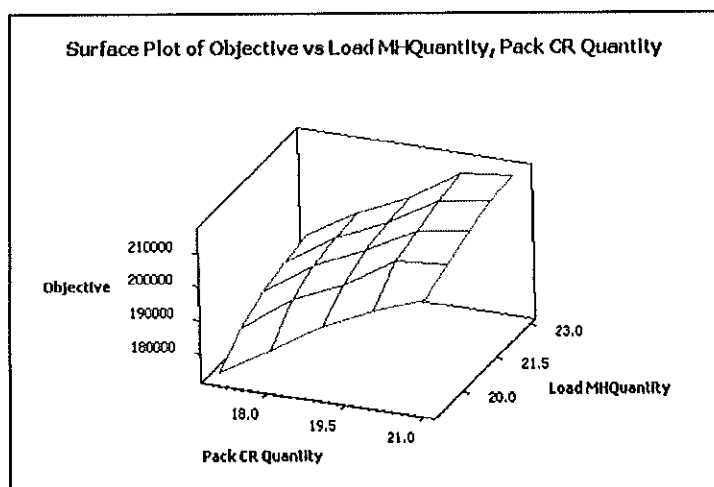
ตารางที่ 4.51 ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH

Experiment	Objective Function	Pack CR Quantity	Load MH Quantity
5	215200	21	23
12	214400	21	22
18	213600	20	23
24	212000	21	21
6	212000	20	22
13	209600	20	21
23	208800	21	20
14	207200	20	20
19	204800	21	19
7	204000	19	23
11	203200	19	22
20	201600	19	21
25	199200	20	19
8	197600	19	20
15	196800	18	23
21	196000	18	22
3	194400	18	21
17	192000	19	19
9	191200	18	20
4	188000	17	23

ตารางที่ 4.51 (ต่อ)

Experiment	Objective Function	Pack CR Quantity	Load MH Quantity
1	186400	17	22
16	184000	17	21
22	182400	18	19
2	180000	17	20
10	173600	17	19

จากตารางที่ 4.51 จะเห็นว่าสภาวะที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายสูงสุดคือผลิต Head Stack Assembly ได้ 215,200 ชิ้นต่อวันคือการทดลองที่ 24 ที่มีการใช้จำนวน Pack CR 21 คน และใช้ Load MH 23 คน เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly สูงที่สุดซึ่งคือค่ารอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มจำนวนคนงานทั้งในส่วน Pack CR และ Load MH มีแนวโน้มที่ปริมาณ Head Stack Assembly จะเพิ่มสูงขึ้นดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพิ่มโดยการขยายขอบเขตบนในการหาค่าที่ดีที่สุดของจำนวน Pack CR และจำนวน Load MH แสดงได้ดังตารางที่ 4.52 ซึ่งผลที่ได้จากการหาค่าตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH โดยโปรแกรม SimRunner แสดงได้ดังตารางที่ 4.53



รูปที่ 4-53 แสดงพื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH



จากรูปที่ 4-53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Load MH และจำนวน Pack CR พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวน Load MH และจำนวน Pack CR ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ จะเพิ่มมากขึ้น โดยสถานะที่เหมาะสมที่สุดคือสถานะให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ สูงสุดได้แก่การใช้จำนวน จำนวน Load MH และจำนวน Pack CR 23 และ 21 คนตามลำดับ

ตารางที่ 4.52 แสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของตัวแปรนำเข้า # Pack CR และ # Load MH (ขยายขอบเขตบน)

Input	Lower Limit	Upper Limit
# Pack CR	21	26
# Load MH	23	26

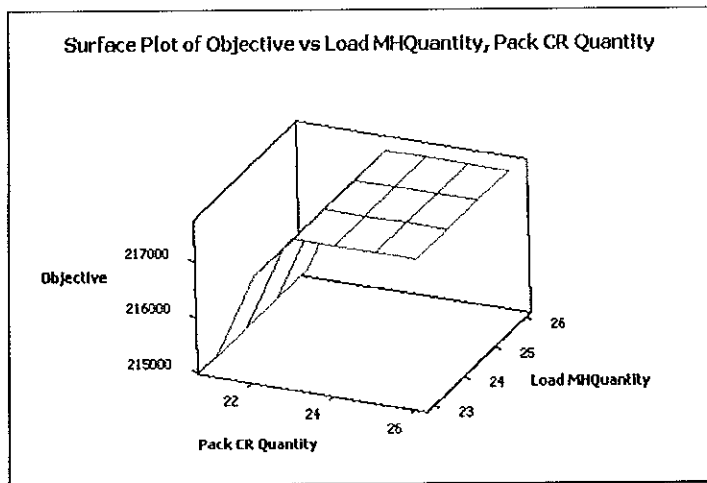
ตารางที่ 4.53 ผลการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load (ขยายขอบเขตบน)

Experiment	Objective Function	Pack CR Quantity	Load MH Quantity
21	217600	23	26
24	217600	24	23
17	217600	23	24
6	217600	23	23
22	217600	25	26
19	217600	23	25
11	217600	26	23
15	217600	24	26
7	217600	26	26
10	217600	25	23
3	217600	24	24
23	217600	25	25

ตารางที่ 4.53 (ต่อ)

Experiment	Objective Function	Pack CR Quantity	Load MH Quantity
5	217600	24	25
18	217600	26	24
12	217600	25	24
20	217600	26	25
13	216800	22	24
8	216800	22	23
16	216800	22	25
9	216800	22	26
2	215200	21	24
4	215200	21	23
14	215200	21	26
1	215200	21	25

จากตารางที่ 4.53 จะเห็นว่าสถานะที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายสูงสุดคือผลิต Head Stack Assembly ได้ 217,600 ชิ้นต่อวันมีทั้งหมด 16 สถานะดังนั้นเราจะเลือกสถานะที่มีการใช้ทรัพยากรซึ่งก็คือ Pack CR และ Load MH น้อยที่สุดซึ่งได้แก่ การทดลองที่ 6 ที่มีการใช้จำนวน Pack CR 23 คน และใช้ Load MH 23 คน เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly สูงที่สุดซึ่งก็คือค่ารอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 4-54 แสดงพื้นผิวตอบสนองสำหรับปัจจัยจำนวน Pack CR และ จำนวน Load MH  
(ขยายขอบเขตบน)

จากรูปที่ 4-54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Load MH และจำนวน Pack CR พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวน Load MH ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้ไม่เปลี่ยนแปลงแต่เมื่อเพิ่มจำนวน Pack CR ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้จะเพิ่มมากขึ้นแต่จะคงที่เมื่อใช้จำนวน Pack CR ตั้งแต่ 23 คนขึ้นไป ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้สูงสุดในขณะที่มีการใช้ทรัพยากรซึ่งก็คือจำนวน Load MH และจำนวน Pack CR น้อยที่สุดได้แก่การใช้ Load MH จำนวน 23 คนและ Pack CR 23 คน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิตและศึกษาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของค่ารอบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต Head Stack - Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ด้วยวิธีการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดจากเอกสารทางวิชาการต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย จากการศึกษากระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA) ของโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่า สายการผลิตจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ สายการผลิตหลัก (Prime Line) และสายการผลิตงานแก้ไข (Head Rework Center) แบบจำลองการผลิต Head Stack Assembly (HSA) กรณีศึกษาที่ได้สร้างขึ้นนี้ได้ถูกพัฒนาบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า ProModel<sup>®</sup> version 7.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย เนื่องจากใช้รูปภาพในการแสดงผล และมีความยืดหยุ่นในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ค่อนข้างสูง โดยข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองสถานการณ์สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ 1) ข้อมูลเวลาการเข้ามาของวัตถุดิบคือ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) และ Head Gimbal Assembly (HGA) 2) ข้อมูลการแจกแจงและพารามิเตอร์ของเวลาที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆของแต่ละสถานีงานในสายการผลิต 3) ข้อมูลระยะทางของแต่ละสายการผลิต โดยในการสร้างแบบจำลองจะใช้วิธีการสร้างและตรวจสอบแบบจำลองทีละส่วนย่อย ซึ่งจะกระทำได้ง่ายและมีความถูกต้องมากกว่าในกรณีที่พิจารณาพร้อมกันทั้งระบบ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีองค์ประกอบครบถ้วนเช่นเดียวกับระบบงานจริง ซึ่งผลที่ได้พบว่าแบบจำลองสถานการณ์การผลิต Head Stack Assembly (HSA) ที่ได้พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ ทั้งนี้จะมีการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองอีกครั้งด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง และจากการระดมความคิดร่วมกับโรงงานตัวอย่างจะได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ารอบเวลาการผลิต 4 ปัจจัยคือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวน Shuttle, ปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวน Flow

Fixture, ปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ และใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยในการทดสอบว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่ารอบเวลาการผลิตหรือไม่ โดยเลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งผลการทดสอบพบว่าปัจจัยทั้ง 4 ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ารอบเวลาการผลิตที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยปัจจัยในส่วน of เครื่องมือคือ Shuttle และ Flow Fixture จะไม่มีอันตรกิริยากับปัจจัยในส่วนของคนงานซึ่งได้แก่คนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ดังนั้นในส่วนของการหาค่าที่ดีที่สุดจะทำการทดลองแยกเป็น 2 กรณีคือ 1) การหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวน Shuttle และ Flow Fixture 2) การหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดของค่ารอบเวลาการผลิตจะใช้ SimRunner เป็นเครื่องมือในการดำเนินการทดลองเนื่องจากสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยไม่ต้องสร้างแผนดำเนินงานทางเลือกให้กับระบบ เพียงแค่กำหนดช่วงตัวแปรนำเข้าซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมที่ต้องการปรับปรุงค่า จากนั้น SimRunner จะเลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองเอง ภายใต้เงื่อนไขและวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ทำให้สามารถวิเคราะห์โดยคาดการณ์จากผลการจำลองสถานการณ์ล่วงหน้าได้ ซึ่งผลการหาค่าที่ดีที่สุดสามารถสรุปได้ดังนี้

### 5.1.1 การหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยที่เกี่ยวกับการจัดสรรจำนวน Shuttle และ Flow Fixture

จากการทดลองหาค่าที่ดีที่สุดภายใต้ขอบเขตที่กำหนดคือขอบเขตล่าง 5 ขอบเขตบน 8 สำหรับจำนวน Shuttle และขอบเขตล่าง 7 ขอบเขตบน 12 สำหรับจำนวน Flow Fixture พบว่าจำนวน Shuttle และ จำนวน Flow Fixture ที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่ดีที่สุดหรือผลิตได้มากที่สุดคือ 201,600 ชิ้นต่อวันคือ 6 ตัวและ 9 ตัวตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันซึ่งใช้ จำนวน Shuttle 7 ตัวและ จำนวน Flow Fixture 11 ตัวจะได้ว่าสามารถลดจำนวน Shuttle ได้ 1 ตัวและลดจำนวน Flow Fixture ได้ 2 ตัวต่อสายการผลิตซึ่งคิดเป็นจำนวนเครื่องมือที่สามารถลดได้ 16.67%

### 5.1.2 การหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจำนวน Pack CR และ

#### Load MH

จากการทดลองหาค่าที่ดีที่สุดภายใต้ขอบเขตที่กำหนดคือขอบเขตล่าง 17 ขอบเขตบน 21 สำหรับจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และขอบเขตล่าง 19 ขอบเขตบน 23 สำหรับจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH พบว่าจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานเก็บป้อนงาน Load MH ที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่ดีที่สุดหรือผลิตได้มากที่สุดคือ 215,200 ชิ้นต่อวัน คือ 21 คนและ 23 คนตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มจะเห็นว่าปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ดังนั้นจึงทำการขยายขอบเขตในการทดลองให้สูงขึ้นโดยกำหนดขอบเขตล่าง 21 ขอบเขตบน 26 สำหรับจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และขอบเขตล่าง 23 ขอบเขตบน 26 สำหรับจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH พบว่าจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR และจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH ที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่ารอบเวลาการผลิตที่ดีที่สุดหรือผลิตได้มากที่สุดคือ 217,600 ชิ้นต่อวัน มีจำนวนเท่ากับคือ 23 คน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันซึ่งใช้ จำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR 19 คนและจำนวนคนงานเก็บป้อนงาน Load MH 21 คนจะเห็นว่าถ้าเราเพิ่มจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR 4 คนและเพิ่มจำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH 2 คนจะทำให้ปริมาณ Head Stack Assembly ที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น 16,000 ชิ้นต่อวันซึ่งคิดเป็น 7.94%

### 5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากแบบจำลองการผลิต Head Stack Assembly (HSA) กรณีศึกษาที่ได้สร้างขึ้นนี้ไม่ได้พิจารณาในส่วนของระยะเวลาการเสียของเครื่องจักร (Downtime) ซึ่งอาจส่งผลให้ผลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากสถานการณ์จริง ผู้วิจัยขอเสนอแนะให้มีการนำระยะเวลาการเสียของเครื่องจักร (Downtime) เข้ามาพิจารณาพร้อมด้วยเพื่อให้ผลที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการพิจารณาในด้านเศรษฐศาสตร์เมื่อพิจารณาจำนวนคนงานที่ต้องเพิ่มขึ้นคือ จำนวนคนงานป้อนชิ้นงาน Load MH 2 คนและจำนวนคนงานเก็บชิ้นงาน Pack CR 4 คนคิดเป็นจำนวนคนงานที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด 6 คนซึ่งค่าแรงคนงานต่อคนต่อวันคือ 487 บาทดังนั้น

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นต่อวันคิดเป็นเงินทั้งหมด 2,922 บาทต่อวันในขณะที่เดียวกันสามารถผลิต Head Stack Assembly เพิ่มได้ 16,000 ชิ้นต่อวัน โดย Head Stack Assembly มีราคาประมาณ 1,000 บาทต่อชิ้น คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้นประมาณ 16,000,000 ต่อวัน จะเห็นได้ว่ารายได้ที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่ารายจ่ายในส่วนของการเพิ่มจำนวนคนงานค่อนข้างมากดังนั้นจึงคุ้มค่าที่จะลงทุนเพิ่มในส่วนของการเพิ่มจำนวนคนงาน สำหรับในส่วนเครื่องมือจับชิ้นงานจากสภาพปัจจุบันที่มีการใช้จำนวน Shuttle 7 ตัวและจำนวน Flow Fixture 11 ตัวเราสามารถลดปริมาณเครื่องมือจับชิ้นงานได้คือจำนวน Shuttle เหลือ 6 ตัวและจำนวน Flow Fixture เหลือ 9 ตัวคิดเป็นลดได้ทั้งหมด 3 ตัวต่อสายการผลิต ราคาเครื่องมือจับชิ้นงาน \$1,611.11 ต่อตัว สายการผลิตทั้งหมดมี 250 สายการผลิต ดังนั้นลดต้นทุนได้ \$402,777.5 หรือคิดเป็น 12,083,325 บาท ซึ่งเครื่องมือจับชิ้นงานเหล่านี้นอกจากจะมีราคาสูงแล้วยังมีลักษณะเฉพาะสำหรับจับชิ้นงานแต่ละประเภท แต่ละรุ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรุ่นการผลิตของผลิตภัณฑ์ก็ต้องเปลี่ยนเครื่องมือจับชิ้นงานด้วยเช่นกัน การลดจำนวนการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีการคิดค้นพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆอยู่เสมอซึ่งส่งผลให้มีการเปลี่ยนเครื่องมือจับชิ้นงานตามไปด้วย การลดจำนวนการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานเหล่านี้จึงหมายถึงการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือจับชิ้นงานทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใหม่

### บรรณานุกรม

1. กาญจนา กาญจนสุนทร 2550. เทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อการหาคำตอบที่เหมาะสมวารสารวิชาการปีที่ 27 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน – ธันวาคม. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
2. นุชบา พุกษาพันธุ์รัตน์. 2550. การจำลองสถานการณ์สำหรับสายการประกอบแผ่นวงจรชนิดอ่อนตามหลักการทฤษฎีข้อจำกัด. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2550.
3. ประพันธ์ เพ็ญภาภรณ์. 2538. การวิเคราะห์ระบบแถวคอยการเข้ารับบริการของผู้ป่วยแผนกโรคภูมิแพ้ โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ด้วยวิธีการจำลองแบบ.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
4. กัทวดี เต็มสุวรรณพานิช. 2552. การลดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ กรณีศึกษา โรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น.
5. วนัญณพงษ์ คงแก้ว. 2550. การใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในการปรับปรุงกระบวนการของแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสงขลานครินทร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
6. อัญชา แดงทองดี. 2552. การวิเคราะห์สมรรถนะในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ระบบการพิมพ์กราเวียร์โดยใช้การจำลองสถานการณ์. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น.
7. Ahad Ali and Robert de Souza, 2007. Modeling and Simulation of Hard Disk Drive Drive Final Assembly using a HDD template , Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
8. Chao Qi, et al. 2002. Simulation Base Cause and Effect Analysis of Cycle Time and WIP in Semiconductor Wafer Fabrication, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.
9. Charles R. Harrell. 2002, Simulation Modeling Using ProModel Technology, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.
10. Deborah L. Heflin. 1998, Simulation Modeling And Optimization using ProModel, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.



11. Mohamed A.Ahmed.2008.Simulation Optimization for an Emergency Department Healthcare Unit in Kuwait, European Journal of Operation Research 198, 936-942, October 2008.
12. Pochamarn T. 2008. Using ProModel as a simulation tools to assist plant layout design and planning : Case study Plastic Packaging factory, Songklanakarin Journal of Science and Technology 30(1), 117-123, Jan-Feb 2008.
13. Qiuli Yu, et al.2006. Productivity Simulation with ProModel for an Automotive Assembly Workstation Involving a lift assist device. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
14. Sigurdur Olafsson, et al.2002. Simulation Optimization. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference.
15. Yong – Hee Han, et al.2003. Paint Line Color Change Reduction in Automobile Assembly Through Simulation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
16. การจำลองเหตุการณ์ (ออนไลน์) สืบค้นจาก [http://www.krirk.ac.th/education/ dr\\_boonserm/simulation.pdf](http://www.krirk.ac.th/education/dr_boonserm/simulation.pdf) วันที่สืบค้น [02/08/2551]
17. Hiller, Frederick S. and Lieberman, Gerald J. *Introduction to Operations Research*. Oakland, California : Holden Day, Inc. 1980, p.643.
18. Eppen, G.D., Gould, F.J., and Schmidt. *Introduction to Management Science*. 4<sup>th</sup> ed. New York : Prentice Hall. 1985, p.551.
19. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2544. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
20. สงวน ตั้งโพธิธรรม. 2538. การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21. กัลยา วานิชย์บัญชา. 2541. การวิจัยขั้นดำเนินงาน : การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
22. Azadivar, F.1999. Simulation Optimization Methodologies. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference.
23. วิจิตร คัดเทศุทธิ์ และคณะ. 2537. การศึกษางาน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์.

24. ดวงรัตน์ ชีวะปัญญาโรจน์ และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. 2544. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.
25. รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม และเนื่อ โสม ดิงส์ชวลี. 2538. การศึกษาการเคลื่อนไหว และเวลา. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
26. คมสัน จิระภัทรศิลป์. 2545. การศึกษาเวลา.ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [http://www.ptonline.org/img-lib/staff/file/komson\\_000822.pdf](http://www.ptonline.org/img-lib/staff/file/komson_000822.pdf) (สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2552).
27. Montgomery, Douglas C. and Runger, George C. 1999. Applied Statistics and Probability for Engineers. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, Inc.
28. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2547. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2 (ประมวลผลด้วย Minitab). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

**ภาคผนวก**

**ภาคผนวก ก**

**ตารางแสดงการออกแบบการทดลองของข้อมูลเบื้องต้นในการทดลอง**

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
177	1	1	1	4	11	19	25	233
307	2	1	1	10	11	15	17	214
226	3	1	1	10	11	15	17	216
87	4	1	1	4	8	19	25	204
274	5	1	1	7	8	19	17	230
398	6	1	1	10	14	15	21	233
379	7	1	1	10	8	15	17	194
125	8	1	1	7	11	23	21	269
75	9	1	1	10	14	15	25	227
279	10	1	1	7	8	23	25	259
181	11	1	1	4	14	15	17	177
28	12	1	1	7	8	15	17	200
64	13	1	1	10	11	15	17	215
345	14	1	1	4	14	15	25	198
170	15	1	1	4	8	23	21	205
200	16	1	1	7	11	15	21	241
367	17	1	1	7	11	23	17	247
314	18	1	1	10	11	23	21	266
137	19	1	1	10	8	15	21	219
375	20	1	1	7	14	19	25	264
237	21	1	1	10	14	15	25	224
129	22	1	1	7	14	15	25	233
336	23	1	1	4	11	15	25	203
142	24	1	1	10	8	23	17	224
389	25	1	1	10	11	15	21	238
111	26	1	1	7	8	15	25	220

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
311	28	1	1	10	11	19	21	261
297	29	1	1	7	14	23	25	273
188	30	1	1	4	14	23	21	230
194	31	1	1	7	8	19	21	248
41	32	1	1	7	11	19	21	264
104	33	1	1	4	14	19	21	223
240	34	1	1	10	14	19	25	258
183	35	1	1	4	14	15	25	198
59	36	1	1	10	8	19	21	242
225	37	1	1	10	8	23	25	255
212	38	1	1	7	14	19	21	263
208	39	1	1	7	14	15	17	214
48	40	1	1	7	14	15	25	232
327	41	1	1	4	8	15	25	174
26	42	1	1	4	14	23	21	232
228	43	1	1	10	11	15	25	234
277	44	1	1	7	8	23	17	231
355	45	1	1	7	8	19	17	233
376	46	1	1	7	14	23	17	245
243	47	1	1	10	14	23	25	267
391	48	1	1	10	11	19	17	244
94	49	1	1	4	11	19	17	212
14	50	1	1	4	11	19	21	228
30	51	1	1	7	8	15	25	219
256	52	1	1	4	11	19	17	213
227	53	1	1	10	11	15	21	236

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
169	55	1	1	4	8	23	17	185
58	56	1	1	10	8	19	17	224
100	57	1	1	4	14	15	17	178
328	58	1	1	4	8	19	17	183
303	59	1	1	10	8	19	25	244
366	60	1	1	7	11	19	25	267
258	61	1	1	4	11	19	25	235
364	62	1	1	7	11	19	17	246
95	63	1	1	4	11	19	21	226
265	64	1	1	4	14	19	17	207
313	65	1	1	10	11	23	17	245
33	66	1	1	7	8	19	25	251
381	67	1	1	10	8	15	25	215
50	68	1	1	7	14	19	21	263
165	69	1	1	4	8	15	25	172
216	70	1	1	7	14	23	25	272
186	71	1	1	4	14	19	25	228
245	72	1	1	4	8	15	21	178
273	73	1	1	7	8	15	25	219
371	74	1	1	7	14	15	21	239
369	75	1	1	7	11	23	25	275
304	76	1	1	10	8	23	17	224
332	77	1	1	4	8	23	21	205
201	78	1	1	7	11	15	25	236
178	79	1	1	4	11	23	17	214
83	80	1	1	4	8	15	21	178

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
9	81	1	1	4	8	23	25	212
252	82	1	1	4	8	23	25	214
205	83	1	1	7	11	23	17	249
233	84	1	1	10	11	23	21	264
283	85	1	1	7	11	19	17	244
334	86	1	1	4	11	15	17	182
81	87	1	1	10	14	23	25	266
164	88	1	1	4	8	15	21	176
114	89	1	1	7	8	19	25	254
317	90	1	1	10	14	15	21	235
229	91	1	1	10	11	19	17	243
65	92	1	1	10	11	15	21	239
85	93	1	1	4	8	19	17	184
241	94	1	1	10	14	23	17	239
18	95	1	1	4	11	23	25	242
62	96	1	1	10	8	23	21	248
189	97	1	1	4	14	23	25	237
192	98	1	1	7	8	15	25	223
31	99	1	1	7	8	19	17	229
55	100	1	1	10	8	15	17	195
305	101	1	1	10	8	23	21	250
301	102	1	1	10	8	19	17	225
78	103	1	1	10	14	19	25	261
32	104	1	1	7	8	19	21	247
253	105	1	1	4	11	15	17	184
117	106	1	1	7	8	23	25	260



StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
143	108	1	1	10	8	23	21	251
25	109	1	1	4	14	23	17	209
244	110	1	1	4	8	15	17	155
306	111	1	1	10	8	23	25	253
68	112	1	1	10	11	19	21	262
335	113	1	1	4	11	15	21	207
84	114	1	1	4	8	15	25	174
182	115	1	1	4	14	15	21	202
325	116	1	1	4	8	15	17	156
199	117	1	1	7	11	15	17	216
249	118	1	1	4	8	19	25	206
47	119	1	1	7	14	15	21	236
42	120	1	1	7	11	19	25	268
202	121	1	1	7	11	19	17	246
29	122	1	1	7	8	15	21	225
400	123	1	1	10	14	19	17	239
37	124	1	1	7	11	15	17	218
204	125	1	1	7	11	19	25	265
168	126	1	1	4	8	19	25	205
351	127	1	1	4	14	23	25	238
23	128	1	1	4	14	19	21	222
284	129	1	1	7	11	19	21	265
287	130	1	1	7	11	23	21	271
269	131	1	1	4	14	23	21	233
39	132	1	1	7	11	15	25	234
373	133	1	1	7	14	19	17	244

StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
281	135	1	1	7	11	15	21	240
339	136	1	1	4	11	19	25	235
347	137	1	1	4	14	19	21	223
356	138	1	1	7	8	19	21	250
341	139	1	1	4	11	23	21	235
209	140	1	1	7	14	15	21	240
324	141	1	1	10	14	23	25	269
51	142	1	1	7	14	19	25	262
254	143	1	1	4	11	15	21	208
90	144	1	1	4	8	23	25	211
309	145	1	1	10	11	15	25	236
152	146	1	1	10	11	23	21	263
131	147	1	1	7	14	19	21	265
333	148	1	1	4	8	23	25	211
119	149	1	1	7	11	15	21	238
266	150	1	1	4	14	19	21	225
320	151	1	1	10	14	19	21	256
40	152	1	1	7	11	19	17	248
393	153	1	1	10	11	19	25	265
232	154	1	1	10	11	23	17	243
280	155	1	1	7	11	15	17	219
190	156	1	1	7	8	15	17	200
257	157	1	1	4	11	19	21	228
296	158	1	1	7	14	23	21	266
1	159	1	1	4	8	15	17	156
220	160	1	1	10	8	19	17	227

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
259	162	1	1	4	11	23	17	216
292	163	1	1	7	14	19	17	242
155	164	1	1	10	14	15	21	230
69	165	1	1	10	11	19	25	267
370	166	1	1	7	14	15	17	215
160	167	1	1	10	14	23	17	237
239	168	1	1	10	14	19	21	256
36	169	1	1	7	8	23	25	257
321	170	1	1	10	14	19	25	260
74	171	1	1	10	14	15	21	231
348	172	1	1	4	14	19	25	230
288	173	1	1	7	11	23	25	277
330	174	1	1	4	8	19	25	206
49	175	1	1	7	14	19	17	247
22	176	1	1	4	14	19	17	209
357	177	1	1	7	8	19	25	252
154	178	1	1	10	14	15	17	208
302	179	1	1	10	8	19	21	240
360	180	1	1	7	8	23	25	262
291	181	1	1	7	14	15	25	235
236	182	1	1	10	14	15	21	232
159	183	1	1	10	14	19	25	257
215	184	1	1	7	14	23	21	265
180	185	1	1	4	11	23	25	244
126	186	1	1	7	11	23	25	274
290	187	1	1	7	14	15	21	239

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
390	188	1	1	10	11	15	25	235
248	189	1	1	4	8	19	21	203
4	190	1	1	4	8	19	17	184
109	191	1	1	7	8	15	17	203
116	192	1	1	7	8	23	21	254
213	193	1	1	7	14	19	25	266
79	194	1	1	10	14	23	17	240
54	195	1	1	7	14	23	25	270
210	196	1	1	7	14	15	25	234
312	197	1	1	10	11	19	25	266
140	198	1	1	10	8	19	21	243
187	199	1	1	4	14	23	17	210
235	200	1	1	10	14	15	17	205
299	201	1	1	10	8	15	21	216
300	202	1	1	10	8	15	25	213
46	203	1	1	7	14	15	17	212
298	204	1	1	10	8	15	17	192
166	205	1	1	4	8	19	17	185
206	206	1	1	7	11	23	21	267
403	207	1	1	10	14	23	17	239
153	208	1	1	10	11	23	25	273
38	209	1	1	7	11	15	21	242
338	210	1	1	4	11	19	21	229
86	211	1	1	4	8	19	21	203
286	212	1	1	7	11	23	17	246
145	213	1	1	10	11	15	17	215

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
275	215	1	1	7	8	19	21	245
331	216	1	1	4	8	23	17	185
52	217	1	1	7	14	23	17	246
139	218	1	1	10	8	19	17	221
234	219	1	1	10	11	23	25	270
272	220	1	1	7	8	15	21	226
340	221	1	1	4	11	23	17	216
167	222	1	1	4	8	19	21	201
294	223	1	1	7	14	19	25	265
108	224	1	1	4	14	23	25	239
6	225	1	1	4	8	19	25	204
122	226	1	1	7	11	19	21	262
264	227	1	1	4	14	15	25	200
383	228	1	1	10	8	19	21	242
163	229	1	1	4	8	15	17	154
80	230	1	1	10	14	23	21	260
89	231	1	1	4	8	23	21	207
176	232	1	1	4	11	19	21	230
353	233	1	1	7	8	15	21	223
121	234	1	1	7	11	19	17	247
162	235	1	1	10	14	23	25	264
385	236	1	1	10	8	23	17	226
260	237	1	1	4	11	23	21	238
185	238	1	1	4	14	19	21	223
71	239	1	1	10	11	23	21	263
120	240	1	1	7	11	15	25	237

StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
7	242	1	1	4	8	23	17	186
156	243	1	1	10	14	15	25	228
405	244	1	1	10	14	23	25	267
118	245	1	1	7	11	15	17	215
53	246	1	1	7	14	23	21	268
323	247	1	1	10	14	23	21	262
247	248	1	1	4	8	19	17	182
88	249	1	1	4	8	23	17	184
388	250	1	1	10	11	15	17	216
326	251	1	1	4	8	15	21	177
397	252	1	1	10	14	15	17	210
262	253	1	1	4	14	15	17	176
359	254	1	1	7	8	23	21	251
399	255	1	1	10	14	15	25	227
293	256	1	1	7	14	19	21	261
106	257	1	1	4	14	23	17	207
368	258	1	1	7	11	23	21	266
358	259	1	1	7	8	23	17	229
365	260	1	1	7	11	19	21	262
263	261	1	1	4	14	15	21	199
3	262	1	1	4	8	15	25	175
270	263	1	1	4	14	23	25	235
99	264	1	1	4	11	23	25	245
103	265	1	1	4	14	19	17	207
134	266	1	1	7	14	23	21	268
261	267	1	1	4	11	23	25	241

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
396	269	1	1	10	11	23	25	276
150	270	1	1	10	11	19	25	263
337	271	1	1	4	11	19	17	212
97	272	1	1	4	11	23	17	213
395	273	1	1	10	11	23	21	265
149	274	1	1	10	11	19	21	264
386	275	1	1	10	8	23	21	246
127	276	1	1	7	14	15	17	216
289	277	1	1	7	14	15	17	214
377	278	1	1	7	14	23	21	264
295	279	1	1	7	14	23	17	244
45	280	1	1	7	11	23	25	274
135	281	1	1	7	14	23	25	271
315	282	1	1	10	11	23	25	274
5	283	1	1	4	8	19	21	200
98	284	1	1	4	11	23	21	235
310	285	1	1	10	11	19	17	246
250	286	1	1	4	8	23	17	186
308	287	1	1	10	11	15	21	241
61	288	1	1	10	8	23	17	223
344	289	1	1	4	14	15	21	203
77	290	1	1	10	14	19	21	254
276	291	1	1	7	8	19	25	251
175	292	1	1	4	11	19	17	214
350	293	1	1	4	14	23	21	230
374	294	1	1	7	14	19	21	263

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
195	296	1	1	7	8	19	25	252
271	297	1	1	7	8	15	17	202
161	298	1	1	10	14	23	21	258
132	299	1	1	7	14	19	25	267
147	300	1	1	10	11	15	25	236
158	301	1	1	10	14	19	21	255
173	302	1	1	4	11	15	21	207
76	303	1	1	10	14	19	17	241
110	304	1	1	7	8	15	21	227
70	305	1	1	10	11	23	17	247
123	306	1	1	7	11	19	25	268
214	307	1	1	7	14	23	17	243
372	308	1	1	7	14	15	25	236
151	309	1	1	10	11	23	17	246
171	310	1	1	4	8	23	25	213
238	311	1	1	10	14	19	17	240
404	312	1	1	10	14	23	21	259
101	313	1	1	4	14	15	21	200
318	314	1	1	10	14	15	25	229
146	315	1	1	10	11	15	21	238
115	316	1	1	7	8	23	17	229
44	317	1	1	7	11	23	21	270
19	318	1	1	4	14	15	17	176
378	319	1	1	7	14	23	25	274
380	320	1	1	10	8	15	21	221
24	321	1	1	4	14	19	25	230



StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
251	323	1	1	4	8	23	21	206
63	324	1	1	10	8	23	25	257
394	325	1	1	10	11	23	17	245
20	326	1	1	4	14	15	21	202
102	327	1	1	4	14	15	25	197
316	328	1	1	10	14	15	17	207
66	329	1	1	10	11	15	25	236
105	330	1	1	4	14	19	25	227
218	331	1	1	10	8	15	21	219
342	332	1	1	4	11	23	25	242
16	333	1	1	4	11	23	17	214
60	334	1	1	10	8	19	25	247
130	335	1	1	7	14	19	17	241
73	336	1	1	10	14	15	17	207
35	337	1	1	7	8	23	21	251
207	338	1	1	7	11	23	25	276
113	339	1	1	7	8	19	21	248
352	340	1	1	7	8	15	17	201
172	341	1	1	4	11	15	17	181
285	342	1	1	7	11	19	25	269
93	343	1	1	4	11	15	25	200
128	344	1	1	7	14	15	21	240
230	345	1	1	10	11	19	21	260
319	346	1	1	10	14	19	17	238
43	347	1	1	7	11	23	17	249
12	348	1	1	4	11	15	25	205

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
8	350	1	1	4	8	23	21	207
141	351	1	1	10	8	19	25	246
242	352	1	1	10	14	23	21	260
57	353	1	1	10	8	15	25	214
343	354	1	1	4	14	15	17	179
179	355	1	1	4	11	23	21	234
198	356	1	1	7	8	23	25	260
34	357	1	1	7	8	23	17	232
92	358	1	1	4	11	15	21	209
27	359	1	1	4	14	23	25	237
349	360	1	1	4	14	23	17	206
217	361	1	1	10	8	15	17	192
193	362	1	1	7	8	19	17	230
361	363	1	1	7	11	15	17	215
107	364	1	1	4	14	23	21	231
246	365	1	1	4	8	15	25	175
11	366	1	1	4	11	15	21	209
278	367	1	1	7	8	23	21	254
354	368	1	1	7	8	15	25	221
67	369	1	1	10	11	19	17	241
124	370	1	1	7	11	23	17	247
136	371	1	1	10	8	15	17	196
224	372	1	1	10	8	23	21	246
401	373	1	1	10	14	19	21	256
133	374	1	1	7	14	23	17	247
157	375	1	1	10	14	19	17	240

StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
223	377	1	1	10	8	23	17	222
10	378	1	1	4	11	15	17	181
112	379	1	1	7	8	19	17	231
346	380	1	1	4	14	19	17	207
384	381	1	1	10	8	19	25	244
15	382	1	1	4	11	19	25	234
322	383	1	1	10	14	23	17	238
255	384	1	1	4	11	15	25	204
13	385	1	1	4	11	19	17	215
221	386	1	1	10	8	19	21	241
72	387	1	1	10	11	23	25	275
329	388	1	1	4	8	19	21	202
267	389	1	1	4	14	19	25	228
21	390	1	1	4	14	15	25	199
392	391	1	1	10	11	19	21	259
91	392	1	1	4	11	15	17	183
174	393	1	1	4	11	15	25	203
138	394	1	1	10	8	15	25	213
203	395	1	1	7	11	19	21	264
268	396	1	1	4	14	23	17	209
362	397	1	1	7	11	15	21	242
231	398	1	1	10	11	19	25	264
211	399	1	1	7	14	19	17	244
363	400	1	1	7	11	15	25	235
402	401	1	1	10	14	19	25	258
222	402	1	1	10	8	19	25	245

StdOrder	RunOrder	PfType	Blocks	Shuttle	FlowFixture	Pack	Load	Response
96	404	1	1	4	11	19	25	232
82	405	1	1	4	8	15	17	154
2	403	1	1	4	8	15	21	178
219	376	1	1	10	8	15	25	217
144	349	1	1	10	8	23	25	255
382	322	1	1	10	8	19	17	223
387	295	1	1	10	8	23	25	253
148	268	1	1	10	11	19	17	247
197	27	1	1	7	8	23	21	253
282	54	1	1	7	11	15	25	236
184	107	1	1	4	14	19	17	210
191	134	1	1	7	8	15	21	226
196	161	1	1	7	8	23	17	228
17	214	1	1	4	11	23	21	238
56	241	1	1	10	8	15	21	218

ภาคผนวก ข  
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8  
22-23 เมษายน 2552

## การลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

กรณีศึกษา โรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

Reducing the number of tooling in Head Stack Assembly process  
using computer simulation

Case Study : Hard Disk Drive company

ศุภวรรณ ศรีทิพย์<sup>1</sup> นิกม สิริวงษ์ไพศาล<sup>2</sup> สุกเสวน สุขวงษาแห่<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: supawan\_m@hotmail.com

Supawan SriTip<sup>1</sup> Nikorn Sirivongpa'sal<sup>2</sup> Sakesun Suthummanon<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

E-mail: supawan\_m@hotmail.com

### บทคัดย่อ

จากสภาพการผลิตปัจจุบันของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly พบว่า มีการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานในแต่ละสายการผลิตเป็นจำนวนมาก งานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานให้ได้มากที่สุดโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณชิ้นงานที่ผลิตได้ โดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม ProModel เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต Head Stack Assembly และเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตและนำข้อมูลเวลาที่ได้อั้มาใช้วิเคราะห์เพื่อหาไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้รับการทวนสอบจากรัศวิทยาผู้เกี่ยวข้องและผ่านการทดสอบความแม่นยำผลด้วยวิธีการทดสอบแบบ t และเพื่อนำแบบจำลองไปทดลองเพื่อลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานพบว่า สามารถลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานจาก 17 ตัวเหลือ 14 ตัวคือ 1 สายการผลิตซึ่งคิดเป็น 17.65% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิตของสายการผลิต

คำหลัก SIMULATION, PROMODEL

### Abstract

From current production conditions of Head Stack Assembly process found that there are many tool's for workload capture in each production line. This research aims

to reduce the number of tool's without affecting the volume of work produced. The ProModel simulation software was used as a tool in this study. The research started from study Head Stack Assembly process and collect processing time in each operation and the processing time data was analyzed to use as input data. Similarly, the model was validated with t-test and also by related engineer. From experiments with the model found to reduce the tools from 17 remaining 14 per a production line which accounted for 17.65%, without affecting volume of production line.

Keywords: SIMULATION, PROMODEL

### 1. บทนำ

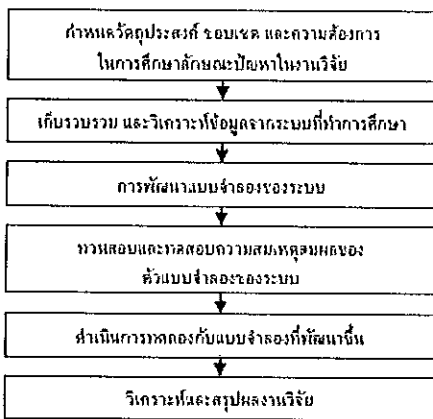
ปัจจุบันความต้องการการอุปโภคฮาร์ดดิสก์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดภาวะการแข่งขันกันระหว่างผู้ผลิตสูงมาก โดยเฉพาะด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ผู้ผลิตต้องมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการผลิตซึ่งอยู่ตลอดเวลาซึ่งถึงที่ตามมากคือ ค่าใช้จ่ายจำนวนมาก และขณะเดียวกันก็มีการขยายการผลิตเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดสภาพของการผลิตกันเกินส่งผลทำให้ราคาฮาร์ดดิสก์มีการปรับตัวลดลง จึงเห็นการบริหารต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุด จึงกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอยู่รอดของธุรกิจ

เนื่องจากในแผนการผลิตของกาวผลิต Head Stack Assembly ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดกระบวนการหนึ่งของการผลิตอาร์คติกส์โคโรฟของโรงงานตัวอย่างในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานจำนวนมาก ซึ่งเครื่องมือจับชิ้นงานเหล่านี้เนื่องจากจะมีราคาสูงแล้วยังมีลักษณะเฉพาะสำหรับจับชิ้นงานแต่ละประเภท แต่ละรุ่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรุ่นการผลิตของผลิตภัณฑ์ก็ต้องเปลี่ยนเครื่องมือจับชิ้นงานด้วยเช่นกัน การลดจำนวนการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เนื่องจากในอุตสาหกรรมอาร์คติกส์โคโรฟจะมีการติดกาวเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ อยู่เสมอซึ่งส่งผลให้มีการเปลี่ยนเครื่องมือจับชิ้นงานตามไปด้วย การลดจำนวนการใช้เครื่องมือจับชิ้นงานเหล่านี้จึงหมายถึงการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือจับชิ้นงานทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใหม่

แต่เนื่องจากการทดลองเปลี่ยนแปลงจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานของกระบวนการผลิตในกระบวนการจริงจะเป็นการรวมกระบวนการผลิตเดิมซึ่งถึงที่สามมากก็ ถ้าใช้จำนวนมากก็มักจะยังดีแต่เปลืองเวลาที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาด้านการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม ProModel version 7.0 เป็นเครื่องมือในการศึกษาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการทดลอง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

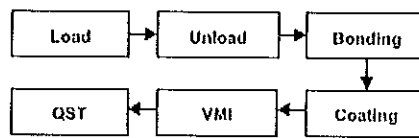
วิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาของโรงงานตัวอย่างและกำหนดขอบเขตและแนวทางในการแก้ปัญหา จากนั้นจึงทำการศึกษาระบบการผลิต Head Stack Assembly ของโรงงานตัวอย่างและเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนมาวิเคราะห์หารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาจำลองแบบ ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก่อนจะนำไปใช้ทดลองจะต้องผ่านการทบทวนและทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบจำลองก่อน



รูปที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3. รายละเอียดของระบบ

สายการผลิตหลัก (Prime Line) ของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ของโรงงานตัวอย่างจะประกอบด้วย 6 สถานีการผลิตดังแสดงในรูปที่ 2 คือ 1.Load ฟานหน้าประกอบ Head Gimbals Assembly (HGA) เข้ากับ Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) จากนั้นจะส่งต่อไปยัง Unload เพื่อ swage ball เข้าชิ้นงานและชิ้นงานจะถูกส่งไป bond ให้เกิดวงจรไฟฟ้าที่ Bonding และจะถูกส่งต่อไปยัง Coating เพื่อ coat pad ด้วยกาว Epoxy และชิ้นงานจะถูกตรวจสอบคุณภาพและทางไฟฟ้าว่าหัวอ่านทำงานได้หรือไม่ที่ Visual Mechanical Inspection (VMI) และ Quasi Static Test (QST) ตามลำดับ



รูปที่ 2 กระบวนการผลิต Head Stack Assembly

สายการผลิตหลัก (Prime Line) ของโรงงานตัวอย่างจะมีจำนวนคนงานที่ปฏิบัติงานทั้งหมด 10 คนต่อ 1 สายการผลิต ประกอบด้วย Load 2 คน, Unload 2 คน, Bonding 2 คน, Coating 2 คน, VMI และ QST สถานีละ 1 คน ซึ่งในสายการผลิตนี้จะมีการใช้เครื่องมือจับชิ้นงาน 2 ประเภทคือ Shuttle ใช้จับชิ้นงานในขั้นตอนการประกอบของสถานีปฏิบัติงาน Load และ Unload มีทั้งหมด 6 ตัว และ Flow fixture ใช้สำหรับจับชิ้นงานในขั้นตอนการประกอบของสถานีปฏิบัติงาน Unload, Bonding และ Coating มีทั้งหมด 11 ตัว

4. การเก็บรวบรวมข้อมูลของระบบ

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาใช้แก่ เวนาระหว่างการเข้ามาของชิ้นงานก่อนการประกอบ เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละสถานีปฏิบัติงาน และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างสถานีปฏิบัติงาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดิบเหล่านี้ต้องนำมาหาแบบการแจกแจงของข้อมูลและประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่หาได้ก่อนนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนข้อมูลดิบแต่ละข้อมูลไม่น้อยกว่า 30 ข้อมูลมาทำการหาแบบการแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรม ProModel ที่เรียกว่า "Stat Fit" ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะได้รับการทบทวนจากวิศวกรการผลิตก่อนนำมาใช้ การแจกแจงของข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละสถานีปฏิบัติงานมีการแจกแจงเป็นแบบปกติเหมือนกันในทุกสถานีปฏิบัติงานดังแสดงในตารางที่ 1

Processing time in Station	Distribution
Load 1	N(35.63, 2.27) SEC
Load 2	N(32.79, 2.34) SEC
Unload 1	N(13.01, 1.13) SEC
Swago Machine	N(14.61, 0.95) SEC
Unload 2	N(9.06, 1.04) SEC
Bond 1	N(27.71, 2.16) SEC
Hybond Machine 1	N(11.64, 0.75) SEC
Bond 2	N(25.14, 2.08) SEC
Hybond Machine 2	N(11.93, 0.71) SEC
Coat 1	N(12.37, 1.13) SEC
Oven 1	15 SEC
Coat 2	N(17.30, 1.38) SEC
Oven 2	15 SEC
VMI	N(15.69, 1.29) SEC
QST Machine	N(14.19, 0.87) SEC
QST	N(6.91, 0.88) SEC

ตารางที่ 1 เวลาการทำงานของแต่ละสถานีปฏิบัติงาน

5. การพัฒนาแบบจำลองของระบบ

ภายในแบบจำลองจะประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าที่ได้จาก การรวบรวมและวิเคราะห์การเห็นด้วย เช่น เวลาในการทำงานของแต่ละ สถานีปฏิบัติงาน เวลาในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างสถานี ปฏิบัติงาน เวลาระหว่างการมาถึงของชิ้นงาน เป็นต้น โดย แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะแทนขั้นตอนในการผลิต Head Stack Assembly ในส่วนของ Prime Line ซึ่งมีรายละเอียดดัง แสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 2 แสดง Simulation Model Characteristics

Entity	HGA, APFA and HSA
System Type	Steady state and Non-terminating
Resource	Shuttle and Flow fixture
Inputs	Time between arrivals
	Processing time
	Routing time
	Routing probability to each station
Outputs	Production quantity
Replication Length	22.73 hours per day
Warm-up Period	24 hours
Number of Replications	10

ตารางที่ 2 แสดง Simulation Model Characteristics



รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองระบบของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ของ Prime Line

6. การทวนสอบและทดสอบความสมเหตุสมผลของ ตัวแบบจำลองระบบ

การทวนสอบแบบจำลองที่กระทำเพื่อให้ผู้ศึกษาตัว แบบต้นใจ ว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มี ความถูกต้องและสอดคล้องกับระบบจริง สำหรับในงานวิจัยที่ใช้ คำสั่ง 'Trace' ของโปรแกรม ProModel เพื่อทวนสอบความ ถูกต้องของการทำงานของแบบจำลองว่าเป็นไปตามขั้นตอนการ ผลิตจริงหรือไม่ เมื่อทวนสอบตัวแบบที่สร้างขึ้นบนโปรแกรม คอมพิวเตอร์แล้วขั้นตอนต่อไปจะต้องทดสอบความสมเหตุ สมผล ของตัวแบบ เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของตัวแบบให้มีความ เหมาะสมกับพฤติกรรมของระบบจริง โดยการใช้วิธีการทางสถิติ เป็นเครื่องมือในการทดสอบ ซึ่งเปรียบเทียบข้อมูลที่สุ่มเก็บมาจาก ระบบจริงกับข้อมูลออกจากตัวแบบ เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบให้มี พฤติกรรมใกล้เคียงกับระบบจริงสามารถทำได้โดยใช้เป็นค่าแทนของ ระบบจริงได้ การทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบในงานวิจัย นี้จะใช้วิธีการทดสอบแบบ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

- H<sub>0</sub> : ตัวแบบมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง
- H<sub>1</sub> : ตัวแบบไม่มีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

```
Two-Sample T-Test and CI: Model_Prime4X10HC_1, Real_Prime4X10HC_1
Two-sample T for Model_Prime4X10HC_1 vs Real_Prime4X10HC_1
          N    Mean    StDev    SE Mean
Model_Prime4X10HC_1 15 178.28    1.41    0.362
Real_Prime4X10HC_1 15 178.39    2.19    0.572

Difference = mu (Model_Prime4X10HC_1) - mu (Real_Prime4X10HC_1)
Estimate for difference: -0.113333
95% CI for difference: (-1.549934, 1.314178)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Statistic = -0.19 P-Value = 0.851 DF = 25
```

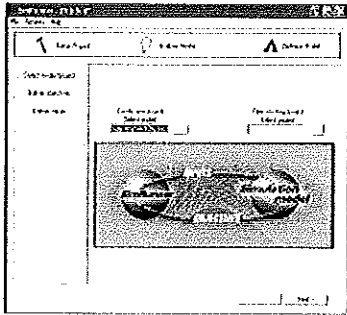
รูปที่ 4 การทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง Prime Line

7. การดำเนินการทดลองกับตัวแบบจำลอง

ปัจจุบันเครื่องมือจับชิ้นงานใน Prime Line จะ ประกอบด้วยเครื่องมือจับชิ้นงาน 2 ประเภทคือ Shuttle และ Flow Fixture โดยจำนวน Shuttle ที่ใช้คือ 6 ตัวต่อ 1 Line ส่วน Flow Fixture ใช้ 11 ตัวต่อ 1 Line สำหรับการศึกษาเพื่อลดจำนวน เครื่องมือจับชิ้นงานในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลจาก โปรแกรม ProModel ที่เรียกว่า 'SimRunner' ดังแสดงตามรูปที่ 5 โดยมีสมการวัตถุประสงค์คือ ปริมาณการผลิตสูงสุดและมีเงื่อนไข คือ จำนวน Shuttle มีค่า 3 ถึง 6 ตัวและจำนวน Fixture มีค่า 6 ถึง



11 ตัว ซึ่งจะมีจำนวนแถวทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง ผลการทดลองทั้ง 24 การทดลอง แยกในตารางที่ 3



รูปที่ 5 การทดลองโดยใช้เครื่องมือ SimRunner

Experiment	Objective Function	Shuttle Quantity	Flow fixture Quantity
7	4125	5	9
11	4125	6	10
3	4125	6	11
12	4125	5	10
13	4125	5	11
14	4125	6	9
24	4119	6	8
5	4119	6	7
1	4116	5	8
8	4116	5	7
9	4112	5	8
15	4112	6	8
17	4111	4	10
18	4111	4	11
19	4111	4	9
23	4109	4	8
10	4109	4	7
2	4105	4	8
16	3550	3	7
20	3550	3	9
21	3550	3	11
22	3550	3	8
6	3550	3	8
4	3550	3	10

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจาก SimRunner

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 จะเห็นว่าการใช้ Shuttle จำนวน 6 ตัวและใช้ Flow fixture จำนวน 9 ตัวจะให้ค่า

ปริมาณที่ผลิตได้คือ 4125 unit per day เท่ากับปริมาณที่ผลิตได้เมื่อใช้ Shuttle จำนวน 6 ตัวและใช้ Flow fixture จำนวน 11 ตัว ความสภาวะการผลิตในปัจจุบัน จึงเห็นจึงสามารถลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานของสายการผลิตหลักได้โดยไม่ต้องลดผลกระทบต่อปริมาณชิ้นงานที่ผลิตได้ ซึ่งสามารถลดจำนวน Shuttle เหลือ 5 ตัว และลดจำนวน Flow fixture เหลือ 9 ตัว

**8. สรุปผลงานวิจัย**

ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า เวลาที่ใช้ในการวางแอมและสถาปนาปฏิบัตินงานในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ในตัวเครื่อง Primo Line จะมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลเป็นแบบปกติเหมือนกัน เมื่อทำการพัฒนาแบบจำลองทางระบบของกระบวนการผลิต Head Stack Assembly แล้วพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและมีความเหมาะสมผลกับระบบจริงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อนำแบบจำลองไปทดลองเพื่อลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานในสายการผลิตพบว่า สามารถลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานจาก 17 ตัวเหลือ 14 ตัวต่อ 1 สายการผลิตซึ่งคิดเป็น 17.65% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณชิ้นงานที่ผลิตได้

แต่เนื่องจากในงานวิจัยเป็นการศึกษาในส่วนของการผลิตจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานให้มากที่สุดโดยไม่ต้องส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิต ซึ่งไม่ได้พิจารณาในแง่ของต้นทุนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนราคาเครื่องมือจับชิ้นงานและราคาของชิ้นงานที่ผลิตได้ จำนวนชิ้นงานที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงอาจจะไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุด

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะด้าน ส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (UCRC in HDD components) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center : NECTEC) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Science and Technology Development Agency : NSTDA)

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] กิริจีเทร์ ทองประเสริฐ. 2544. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] สงวน คังโพธิ์ธรรมา. 2538. การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [3] วรวิวัฒน์ กงแก้ว. 2550. "การใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ในการปรับปรุง กระบวนการของแผนกจ่ายยาผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลสงขลานครินทร์". วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- [4] บุญมา พุกษาพัธุ์ศิริ, วรพล อนุรักษ์สกุลและ วุฒินันท์ ฟูเนแก้ว. 2550. "การจำลอง สถานการณ์สำหรับสายการประกอบแผ่นวงจรชนิดอ่อนตามหลักการทำทฤษฎีข้อจำกัด"

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีสืบค้นในงาน  
แห่งชาติประจำปี 2550.

- [5] Hiller, Frederick S. and Lieberman, Gerald J. Introduction to Operation Research, Oakland, California : Holden Day, Inc.1980, p843.
- [6] Qiuli Yu, et al.2006. Productivity Simulation with ProModel for an Automotive Assembly Workstation Involving a lift assist device. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
- [7] Ahad Ali and Robert do Souza, 2007. Modeling and Simulation of Hard Disk Drive Final Assembly using a HDD template. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
- [8] Yong -- Hee Han, et al.2003. Paint Line Color Change Reduction In Automobile Assembly Through Simulation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
- [9] Harrell, C.R. and R.N. Price. 2003. Simulation modeling using ProModel technology. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
- [10] Harrell, C.R., Blman K. Ghosh, and Royce O. Bowden 2004. Simulation Using ProModel, 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill.

# Computer Simulation Model of Manufacturing Process for Head Stack Assembly

Supawan Srithip\*, Sakesua Suthanmanon, Nikorn Sirivongpaisal

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,

Kho Hong, Hat Yai, Songkhla, Thailand

\*Corresponding Author: supawan\_m@hotmail.com

**Abstract**—Due to demand rising of HSA in Hard Disk Drive company, it causes deficiency in production capacity to the company. Therefore in matching supply with demand of HSA, the company is having need of improving the manufacturing process in order to level up the production capacity under the resource constraints. In the company, where is a case study in this research, numerous performance indicators, which indicate the performance of the manufacturing process, have been used. Yet the apparent one that is chosen in this study is cycle time of manufacturing. In fact, manufacturing cycle time, which is closely related to unit per hour, is the “Key Process Output Variable” (KPOV), which is affected by many “Key Process Input Variables” (KPIV) in the process. So therefore an investigation of the relationship between KPOV and KPIV's is indeed importance. But the cost of study on the actual system in the company is so pricey. Thus computer simulation is a chosen tool in this research by using ProModel simulation package to investigate which KPIV's influence to KPOV. And the optimum value of manufacturing cycle time, which yields high production capacity, will be located. Ultimately, the output from this research will be used as a decision making tool in manufacturing process of HSA of the company.

**Keywords**—Cycle time, Computer Simulation

## I. INTRODUCTION

Current rate of economic growth and technological development is fast. Consumer demands are diverse and have more restrictions. Population is rapidly increasing rates make consumer market demands are increasingly complex. For this reason there is a variety of business and industry competitive in a high rate. Because the gap or lose competitive advantage. Positive advantage of the current competition between plants has significantly reduced or almost no different. Whether a machine. Section deprivation tax wage workers or materials. Ability of management or the ability to bring different resources. Existing limited use to generate the maximum benefit is what causes the differences between each of the plant. Increasing profitability in the long term the plant will help plants to compete in the market. Typically ways to increase profits in the long-term facilities are 2 ways to

increase revenue is to reduce expenditure or to increase their income because the source of income is. Price multiplied by quantity sold. How long-term profitability is to increase prices or increase sales. The price increases will be made when a new product which is what the plant is a must have to do R & D together with the increasing volume of sales it is difficult today. Guidelines for reducing the production cost can be considered is the nature of the 2 factors lead to lower costs and reduce operating costs. To reduce the import cost. Machinery, including materials and labor is. Plants may have reduced some costs, but by then most import raw materials and other factors will determine both the quality and control. Quantity and price from the state of the market, Economic conditions, And a political. The external factors are not controlled. The lower operating costs. Activity is viable organization can own. Minimizing the production cycle time (Cycle Time) is one method that can reduce costs in this section. Especially in the manufacture of industrial electronics devices, including hard drive that progress in science. The invention of new machinery has always resulted in the machinery used in production in the state obsolete. Value in use reduced the use of expired or faster machine industry in general. For this reason, if the factory can reduce the cost of production cycle time (Cycle Time) would have fewer means to produce more plants during the lifetime of the machine which will utilize a resource that has already cost. reducing production costs to increase profit of the factory. In addition, the restrictions in the area around the plant to reduce the cost of production time (Cycle Time) fewer will increase our ability to meet customer needs during the high demand by other investors that do not increase in the area. Number of machines or the number of employees which has reduced costs significantly. Therefore should be studied to determine the production cycle time (Cycle Time) in the most appropriate production facility to produce hard disk to hard disk has the largest facility producing under the conditions and limitations of various plants.

Computer simulation has increasingly become the most popular and frequently employed tool for problem solving and decision-making in the manufacturing and

production environment. It has been commonly used to study behavior of real world manufacturing system to gain better understanding of underlying problems. Jadhav and Smith (2005) describes a methodology developed for simulation modeling and analysis of printed circuit board (PCB) manufacturing lines, capturing the complex interactions between its components using a custom-developed PCB assembly template. Qiuli Yu et al. (2006) used ProModel simulation to evaluate the productivity of an automotive assembly workstation involving a lift assist device interfered by proactive ergonomic design. Ahad Ali and Robert de Souza (2007) designed and developed HDD template for modeling and simulation for final assembly of hard disk drive (HDD) manufacturing using Arena. The advance simulation tool ProModel is used in this study to analyze the production system in order to save cost, time – consuming and avoid disturbance to normal production.

## II. SYSTEM DESCRIPTION

Hard disk drive manufacturing company consists of a series of process to produce hard disk drive from raw material to finish goods including: slider fabrication process, head gimbal assembly (HGA) process, head stack assembly (HSA) process, and hard disk drive assembly (HDD) process, which are shown in Figure 1. The head stack assembly process is an important sector in the manufacturing of hard disk drive. HGA is produced by the components of actuator pivot flex assembly (APFA) and head gimbal assembly. Head stack assembly is the stage of operation where APFA and HGA are being mounted together. There are six stages to produce HSA, which are shown in Figure 2. At the first stage, loading operator will load APFA to shuttle and install HGA to the APFA, then move shuttle to unload stage to swage ball and unload HSA from shuttle to load to flow fixture. At the next stage, operator has function to bond electrical circuit after that flow fixture will be transferred to coat stage to coat pad with epoxy glue and unload HSA from flow fixture. Good and bad HSA are separated in the VMI and QST stage.

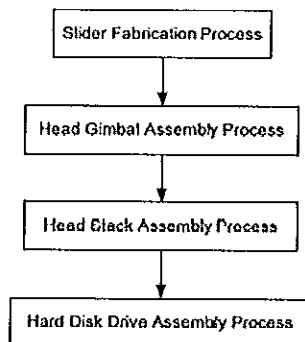


Figure 1: Hard Disk Drive Assembly system

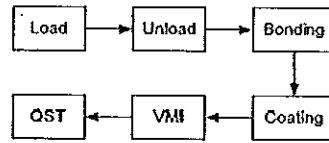


Figure 2: Head Stack Assembly process

## III. METHODOLOGY

### A. Simulation with ProModel

"ProModel is designed to model manufacturing systems ranging from small job shops and machining cells to large mass production, flexible manufacturing systems, and supply chain system" (Harrell & Price, 2003). The basic modeling elements in ProModel are locations, entities, arrivals, and processing (Harrell and et al, 2004).

Locations represent fixed places in the system where entities are routed for processing, delay, storage, decision making, or some other activity. We need some type of receiving locations where entities have value added to them. Anything that a model can process is called an entity. The mechanism for defining how entities enter the system is called arrivals. Entities can arrive singly or in batches. Processing describes the operations that take place at a location. In addition to these basic elements, ProModel also includes other elements, such as path network, attribute, resource, variable, etc. ProModel concentrates on resource utilization, production capacity, bottlenecks, throughput times, and other performance measures.

### B. Data Collection

The data collected over a period of two months were provided to estimate the statistical distributions used in the simulation model. This data mainly consisted of processing time in each stage, and routing time between each stage. Example of data is shown in Table 1. Subsequently, the data need to be fitted to an input distribution for the ProModel to utilize. The input distributions used in the ProModel model were all fitted according to the ProModel's Stat:Fit at a confidence level of 95%, which are shown in Figure 3.

Table 1: Processing Time for Prime Line 10 operators

Station	Processing Time distribution
Load 1	N(22.75, 1.38)
Load 2	N(23.46, 3.07)
Unload 1	N(11.67, 0.06)
Unload 2	N(14.02, 0.45)
Bond 1	N(26.38, 3.25)
Bond 2	N(27.23, 3.62)
Coat 1	N(17.20, 1.46)
Coat 2	N(21.43, 0.98)
VMI	N(11.66, 1.02)
QST	N(22.78, 0.94)

distribution	Kolmogorov-Smirnov	Anderson-Darling
Normal	0.185	0.457
detail		
Normal		
mean =	22.7481	
sigma =	1.38266	
Kolmogorov-Smirnov		
data points	37	
ks stat	0.186	
alpha	5.e-002	
ks stat(37,5.e-002)	0.218	
p-value	0.757	
result	DO NOT REJECT	
Anderson-Darling		
data points	37	
ad stat	0.467	
alpha	5.e-002	
ad stat(37,5.e-002)	2.49	
p-value	0.781	
result	DO NOT REJECT	

Figure 3: Test for statistical distributions

C. Model Construction

ProModel was used for model constructions and analysis in this study. This work focuses on prime line which separate into three types: 7 Operators, 9 Operators, and 10 Operators. In order to develop the simulation model, it is necessary to define entities, locations, arrival, path networks and resources. The entities considered in the model are the APFA, HGA, and HSA. Table 2 shows the simulation model's characteristics and the model layout are listed in Figure 4. The following assumptions were made during the development of the simulation model.

1. Head Stack Assembly line is operated 22.73 hours per day.
2. Entities arrivals and queue in head stack assembly process are First in First out (FIFO).
3. Times between arrivals, processing time, and routing time are embedded in the statistical distributions that are obtained from the time study technique.
4. Each workstation was operated by an operator.

Table 2. Simulation Model Characteristics

Entity	HGA, APFA, HSA, Empty shuttle, Full shuttle, Empty flowfixture, Full flowfixture
System Type	Steady state
Resource	Operators
Inputs	Time between arrivals Processing time Routing time
Outputs	Production quantity
Replication Length	22.73 hours per day
Number of Replications	7

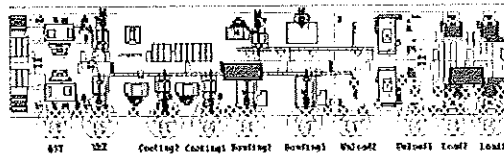


Figure 4: The Model Layout for Prime Line 10 Operators

The number of replications is analyzed and corresponded to Type II error of hypothesis testing, which are shown in Figure 5.

Power and Sample Size

1-Sample t Test

Testing mean = null (versus not = null)  
Calculating power for mean = null + difference  
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 11.7

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
20	7	0.95	0.951573

Figure 5: Result for the Number of Replications

IV. SIMULATION RESULTS

Simulation is run to gain an understanding of the behavior of the current system. This understanding of the behavior is an important input to decision-making concerning the system. The simulated throughput for head stack assembly is shown in Table 3. Work-in-process and % utilization of each location are shown in Figure 6 and Figure 7, respectively.

Table 3. Simulated throughput

No.	Unit/day	Cycle Time (sec)
1	3665	23.575
2	3689	23.504
3	3646	23.697
4	3669	23.549
5	3658	23.619
6	3673	23.671
7	3686	23.412

Implementation of information from the modeling approach is to increase productivity. The results from model systems are currently % Utilization of Resource and Location are high already. Increasing the number of stations and workers will increase plant production, but at the same time it must increase investment.

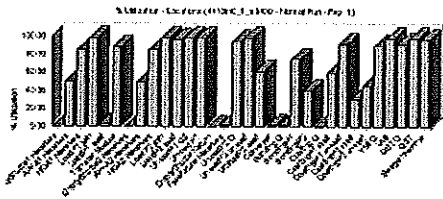


Figure 6: %Utilization of each location

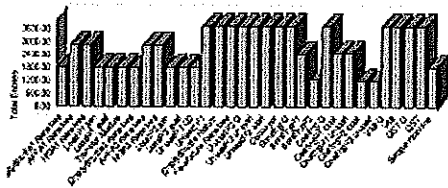


Figure 7: Work-In-Process

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

Given the processing time for prime line process, this model can be simulated with ProModel to determine production outputs. The model is simple and easy to simulate. However, the most difficulty is to abstract the model from the real world based on observations and appropriate assumptions. This work only focuses on model construction, how to verify and validate the model will be the future work. The valid model can help the research team to be able to understand the

current performance of the system and it also was possible to simulate different improvement scenarios for head stack assembly process to study the effect of various factors on cycle time.

ACKNOWLEDGMENT

This project is financially supported by the Industry/University Cooperative Research Center (IUCRC) in HDD Component, the Faculty of Engineering, Khon Kaen University and National Electronics and Computer Technology Center, National Science and Technology Development Agency.

REFERENCES

- [1] Hillier, Fredrick S. and Lieberman, Gerald J. *Introduction to Operations Research*. Oakland, California : Holden Day, Inc. 1960, p.643.
- [2] Quli Yu, et al. 2006. Productivity Simulation with ProModel for an Automotive Assembly Workstation Involving a lift assist device. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*.
- [3] Ahad Ah and Robert de Souza. 2007. Modeling and Simulation of Hard Disk Drive Final Assembly using a HDD template. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*.
- [4] Yong - Hee Han, et al. 2003. Paint Line Color Change Reduction in Automobile Assembly Through Simulation. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*.
- [5] Hanell, C.R. and R.N. Price. 2003. Simulation modeling using ProModel technology. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*.
- [6] Hanell, C.R., Binza K. Ghosh, and Royce O. Bowden 2004. *Simulation Using ProModel, 2<sup>nd</sup> ed.* McGraw-Hill.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวศุภวรรณ ศรีทิพย์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120071

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (I/UCRC in HDD - Components) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รหัสโครงการ CPN-HR 13-03-51 M

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Supawan Srithip ; Nikorn Sirivongpibal and Sakesun Suthummanon.2009. Computer Simulation Model of Manufacturing Process for Head stack Assembly. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Data Storage Technology Conference (DST-CON 2009), May 13-15,2009. Thailand Science Park Convention Center (TSP-CC) at NECTEC, Bangkok THAILAND.

ศุภวรรณ ศรีทิพย์ นิกอร์ ศิริวงศ์ไพศาล เสกสรร สุธรรมานนท์.2553.การลดจำนวนเครื่องมือจับชิ้นงานในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์กรณีศึกษา โรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.การประชุมทางวิศวกรรมศาสตร์ระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 22-23 เมษายน 2553.สงขลา, ประเทศไทย.