



วิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสายการผลิตหม้อแปลง

ANALYSIS AND PRODUCTIVITY IMPROVEMENT FOR
PRODUCTION LINE OF DISTRIBUTION TRANSFORMERS

นายวรพจน์ ยนตรพันธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสายการผลิตหม้อแปลง

Analysis and Productivity Improvement for Production Line of Distribution
Transformers

นามผู้วิจัย นายวรพจน์ ชนตรพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์พิภพ กลิตาภรณ์, วศ.ม.)

กรรมการ

(อาจารย์พรเทพ อนุสรณิศาร, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สายสุดา สมจิต, M.S.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสายการผลิตหม้อแปลง

Analysis and Productivity Improvement for Production Line of Distribution Transformers

โดย

นายวรพจน์ ยนตรพันธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2550

วรพจน์ ขนตรพันธ์ 2550: การวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสายการผลิต
หม้อแปลง วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์
พิภพ ลลิตาภรณ์, วศ.ม. 85 หน้า

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตของ
โรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือหลัก 2 อย่างด้วยกันคือ การจำลองสถานการณ์ด้วย
คอมพิวเตอร์ และการออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาจุดปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นในสถานงาน
และหาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งมีผลช่วยให้รอบเวลาการผลิตลดลง การ
จำลองสถานการณ์จะช่วยให้การหาจุดข้อขัดข้อง และขณะเดียวกันยังช่วยในการพิจารณาหาทาง
เลือกที่ดีที่สุด โดยใช้การเปรียบเทียบกับระบบเดิมและการวิเคราะห์ความไว

การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความไวจะเป็นเครื่องมือในการช่วยหาตัวแปร
ที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศการผลิตเมื่อข้อสมมุติฐานของตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับการลด
รอบเวลาการผลิตโดยที่ไม่ต้องลงทุนสูง ควรที่จะทำการเพิ่มชั่วโมงทำงานของหน่วยผลิตเดิม
น้ำมัน ปรับปรุงการผลิตก่อนหน้าเตาอบ และปรับปริมาณของเสีย ซึ่งสามารถลดรอบเวลาการ
ผลิตได้ถึง 26.64% นอกจากนี้การที่จะทำให้การปรับปรุงได้ผลนั้นจำเป็นต้องมีการฝึกฝนทักษะ
ของพนักงานควบคู่ไปด้วย

รศ.ดร.พิภพ ลลิตาภรณ์
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่อประธานกรรมการ 24 / 05 / 2550

Worapoj Yontarapunth 2007: Analysis and Productivity Improvement for Production Line of Distribution Transformers. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Piphop Lalhitaporn, M.E. 85 pages.

The objective of this research is to study and improve production line of distribution transformers. Simulation techniques and design of experiment were conducted to finding bottleneck. By reducing the bottleneck problem in some station in the assembly lines and finding the significant factors that affect on the productivity of the system, the cycle time will be decreased. For manufacturing system, simulation can determine the bottleneck, at the same time it can be used to determine the best alternative by using comparison and sensitivity analysis.

Experimental design and the sensitivity analysis were conducted to investigate the effect in cycle time when assumptions on factors are changed. By decreasing cycle time for a product without using a large amount of investment, the significant improvement is to increase the hours per day, improve production line before oven station and decrease defect, improvement can be reduce cycle time to 26.64%. By training more skill to the technicians will lead to the reduction of cycle time and increment of productivity.

Worapoj Yontarapunth
Student's signature

Piphop Lalhitaporn 01 / 06 / 07
Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.พิภพ สถิตาภรณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบพระคุณ ดร.พรเทพ อนุสรณ์นิตสาร กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และรศ.สายสุดา สมจิต กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณ คุณ เอกรัตน์ ชันคำรงค์ ผู้จัดการโรงงาน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิศวกรรม ที่ได้ให้การสนับสนุนและความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนพนักงานในฝ่ายผลิตที่กรุณาให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ข้อบกพร่องต่างๆจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

วรพจน์ ยนตรพันธ์

เมษายน 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ความเป็นมาและปัญหาของโรงงานตัวอย่าง	2
ขอบเขตการวิจัย	10
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	10
การตรวจเอกสาร	12
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการผลิต	12
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง	14
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจำลองแบบปัญหา	15
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	22
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	75
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สรุปขั้นตอนกระบวนการผลิตหม้อแปลง
2	สรุปลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต
3	ลักษณะการแจกแจงที่ถูกใช้ในโปรแกรม Arena
4	สรุปจำนวนการผลิตจริงของการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด
5	สรุปจำนวนการผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด
6	สรุปข้อมูลเวลารอคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด
7	สรุปข้อมูลงานรอคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด
8	สรุปข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด
9	สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลอง
10	สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 3 ระดับ
11	ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต High Volt-1 หลังแบ่งงานย่อย
12	ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต High Volt-2 หลังแบ่งงานย่อย
13	ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต Stacking หลังแบ่งงานย่อย
14	สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ
15	เครื่องหมายบวกและลบสำหรับการทดลอง
16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิต
17	สรุประดับปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิต
18	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput
19	สรุประดับปัจจัยที่มีผลต่อเวลา Throughput
20	สรุปข้อมูลเวลารอคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด หลังปรับปรุง

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	สรุปข้อมูลงานรอกคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมดหลังปรับปรุง	66
22	สรุปข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมดหลังปรับปรุง	67
23	แสดงการเปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง	72
ตารางผนวกที่		
ก1	แสดงรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput จากแบบจำลองสถานการณ์	77

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงหน่วยผลิต High Volt ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	3
2 แสดงหน่วยผลิต Cut ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	4
3 แสดงหน่วยผลิต Stacking ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	5
4 แสดงหน่วยผลิต Assembly ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	5
5 แสดงหน่วยผลิต Tanking ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง	6
6 แสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตหม้อแปลง	7
7 แสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต Kraft Coil	23
8 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง	26
9 แบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 1 ของโรงงานตัวอย่าง	28
10 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 2 ของโรงงานตัวอย่าง	29
11 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 3 ของโรงงานตัวอย่าง	30
12 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 4 ของโรงงานตัวอย่าง	31
13 กราฟแสดงปริมาณงานระหว่างผลิตที่เข้าสู่สถานะคงตัว	34
14 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ C กรณีรอบเวลาการผลิต	51
15 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D กรณีรอบเวลาการผลิต	51
16 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ E กรณีรอบเวลาการผลิต	52
17 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร D และ E กรณีรอบเวลาการผลิต	52
18 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ B กรณีเวลา Throughput	56
19 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ C กรณีเวลา Throughput	57
20 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ D กรณีเวลา Throughput	57
21 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ E กรณีเวลา Throughput	58
22 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ C กรณีเวลา Throughput	58
23 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D กรณีเวลา Throughput.	59
24 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร C และ D กรณีเวลา Throughput	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข1 แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบ เวลาการผลิต	83
ข2 แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput	84

การวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตสายการผลิตหม้อแปลง

Analysis and Productivity Improvement for Production Line of Distribution Transformers

คำนำ

ในปัจจุบันการผลิตได้ถูกพิจารณาว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการแข่งขันเพื่อความอยู่รอดในตลาด ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตต่างๆ จะพบว่าตัวเองต้องตกอยู่ในสภาพแวดล้อมใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไปอย่างสิ้นเชิงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะอุตสาหกรรมใดอุตสาหกรรมหนึ่งเท่านั้น แต่การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไป ผู้บริหารซึ่งกำลังเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้ จำเป็นต้องคิดค้นหากกลยุทธ์ใหม่ไว้รับมือกับธรรมชาติของการแข่งขันที่เป็นอยู่ในสภาวะใหม่ กลยุทธ์ดั้งเดิมที่เกี่ยวกับการผลิตปริมาณมาก ไม่สามารถนำมาใช้ได้อีกต่อไปแล้ว กลยุทธ์แบบนี้ได้รับแนวความคิดมาจากขนาดกำลังการผลิตที่ประหยัด ผู้ผลิตจึงได้หันมาเน้นในเรื่องของการลดรอบเวลาของการผลิต ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นลักษณะสำคัญของการผลิตปัจจุบัน เพื่อที่จะแข่งขันกับคู่แข่งหรือรองรับความต้องการของลูกค้าในอนาคตได้

การจัดสมดุลการผลิตเป็นเครื่องมือที่สำคัญอันดับแรกๆ ที่จะช่วยให้ระบบการผลิตที่มีอยู่ปรับปรุงไปสู่การลดรอบเวลาของการผลิต ปัญหาของการจัดสมดุลการผลิตนั้นเกิดจากการไม่สมดุลในการทำงานของสถานงาน กล่าวคือ บางสถานทำงานอาจจะต้องทำงานตลอดเวลาในขณะที่บางสถานทำงานต้องมีเวลาว่างงาน ผลงานที่ออกมาจากสายการผลิตจึงอาจล่าช้ากว่าที่ควรจะเป็น หรืออาจทำให้ต้นทุนของงานนั้นสูงยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงต้องมีการจัดสมดุลสายการผลิต

นอกจากนี้การจัดสมดุลสายการผลิตอาจถูกจำกัดด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะของโรงงาน ชั่วโมงการทำงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนพนักงาน ความสัมพันธ์ของตำแหน่งเครื่องจักรและแผนกต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นเครื่องมืออีกตัวที่จะนำมาช่วยแก้ปัญหาคือการออกแบบการทดลอง เพื่อพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลการลดรอบเวลาของการผลิตอย่างเต็มประสิทธิภาพที่สุด แต่การออกแบบ

การทดลองนั้นถ้ามีการทดลองจริงจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเครื่องมือที่จะมาช่วยแก้ปัญหาในส่วนนี้คือ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยทำการจำลองสถานการณ์ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดลองจริงแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้อนาคตได้ง่ายหากโรงงานต้องการปรับเปลี่ยนการผลิตหรือมีผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ออกสู่ตลาด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระบบการผลิตของโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า
2. เพื่อออกแบบการทดลองและปรับปรุงระบบการผลิตของโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม พร้อมเสนอแผนเพื่อนำไปปรับปรุง
3. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวกับการปรับปรุงระบบการผลิต

ความเป็นมาและปัญหาของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานผลิตหม้อแปลงเป็นโรงงานประเภทหนึ่งที่ใช้สายการผลิตแบบประกอบ (Assembly Line) โดยมีการใช้ทั้งเครื่องจักร และแรงงานคนในการผลิตร่วมกัน ซึ่งโรงงานที่เข้าไปทำการวิจัยนี้ก็เช่นเดียวกัน ซึ่งการผลิตของแต่ละสถานงานจะมุ่งผลิตชิ้นงานให้ได้จำนวนตามที่แผนผลิตกำหนดไว้ในแต่ละวัน โดยชิ้นงานที่ผลิตเสร็จจะนำไปวางรอให้สถานงานถัดไปรับชิ้นงานดังกล่าวไปผลิตต่อ ปัญหาที่พบในระหว่างผลิตเมื่อสถานงานที่รับชิ้นงานไปผลิตต่อแล้วสถานงานนั้นไม่สามารถผลิตต่อได้เช่น การผลิตที่ไม่ได้จังหวะหรือไม่เกิดสัมพันธ์กันระหว่างสถานงาน หรือชิ้นงานที่ผลิตเสร็จแล้วทดสอบค่าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จำเป็นต้องหยุดการผลิตในสถานนั้นเพื่อทำการแก้ไข จึงเป็นสาเหตุให้มีชิ้นงานเข้ามาวางรอจำนวนมากและถ้าชิ้นงานที่ส่งเข้ามามีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไข ทำให้เสียเวลาส่งผลให้การผลิตล่าช้า จนทำให้การส่งมอบไม่ทันตามกำหนดของลูกค้าได้

รายละเอียดของกระบวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 1 หน่วยผลิต Low Volt เป็นขั้นตอนแรกของการผลิตหม้อแปลงโดยประกอบด้วยงานย่อย แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกจะทำการตัดลวด, พันกระดาดย่น, ใส่ลวดเข้าแมกเนต, ใส่ End, พัน Layer 1-26, ใส่กระดาดกราฟซึ่งให้เครื่องจักรทั้งหมด 2 ตัวและส่วนที่ 2 จะทำการพัน Layer 1-23, ใส่ End, ตัดลวด, เอา Coil ลง, ปรับแมกเนตให้เหมือนเดิมซึ่งใช้เครื่องจักร 2 ตัว รวมเครื่องจักรที่ใช้งานทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน

ขั้นตอนที่ 2 หน่วยผลิต Kraft Coil ใช้แค่เพียงแรงงานคนในการผลิตจะทำติดกระดาดกราฟและColugate, ตอกไม้, ตัดปีก LV, บันทึกลำที่ได้ โดยจะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Low Volt 2 ชิ้นถึงเริ่มผลิตได้

ขั้นตอนที่ 3 หน่วยผลิต High Volt-1 ใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งานทั้งหมด 3 ตัวด้วยกันโดยมีขั้นตอนผลิตคือเอา Coil ขึ้นเครื่อง, ติดเอ็น, เริ่ม Layer ที่ 1-3, ออก Tap, ใส่ Channel, พัน Layer ที่ 4-5, ใส่ Channel, พัน Layer ที่ 6-7, พัน Layer ที่ 8-10, ออก Tap End, พันปีกเป็ก, วัดขนาด Coil, บันทึกลำ, เอา Coil ลง ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Kraft Coil ซึ่งภาพของการผลิตในหน่วยผลิต High Volt แสดงได้แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงหน่วยผลิต High Volt ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ขั้นตอนที่ 4 หน่วยผลิต High Volt-2 มีขั้นตอนคล้ายกับ High Volt-1 ใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งานทั้งหมด 3 ตัวด้วยกัน โดยมีขั้นตอนผลิตคือเอา Coil ขึ้นเครื่อง, ติดเอ็น, เริ่ม Layer ที่ 1-3, ออก Tap, ใส่ Channel, พัน Layer ที่ 4, พัน Layer ที่ 5-6, ใส่ Channel, ออก Tap 5, ออก Tap 3, 1, 2, ออก Tap 4, ออก Tap 6, ออก Tap End, พันปีกเป็ก, วัดขนาด Coil, บันทึกลำ, เอา Coil ลง ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Kraft Coil

ขั้นตอนที่ 5 หน่วยผลิต High Volt Prepare-1 ใช้แค่เพียงแรงงานคนในการผลิต โดยมีขั้นตอนผลิตคือวัด, กรีด, ตัด, ชูคณวนหุ้มสาย Tap, ดัดลวด LV, ลงแกนเหล็กตัวที่ 1 ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต High Volt-1

ขั้นตอนที่ 6 หน่วยผลิต High Volt Prepare-2 มีขั้นตอนคล้ายกับ High Volt Prepare-1 ใช้แค่เพียงแรงงานคนในการผลิต โดยมีขั้นตอนผลิตคือวัด, กรีด, ตัด, ชูคณวนหุ้มสาย Tap, ดัดลวด LV, ลงแกนเหล็กตัวที่ 2 ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต High Volt-2

ขั้นตอนที่ 7 หน่วยผลิต Cut-1 เป็นขั้นตอนแรกของการผลิตหม้อแปลงเช่นเดียวกับหน่วยผลิต Low Volt โดยใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งาน 1 ตัว มีขั้นตอนผลิตคือตั้งโปรแกรมเครื่องตัด, เจาะเหล็กหน้า 70mm-90mm

ขั้นตอนที่ 8 หน่วยผลิต Cut-2 ใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งาน 1 ตัว มีขั้นตอนผลิตคือตั้งโปรแกรมตัด, ตัดเหล็ก Cut 2 หน้า 70mm-90mm ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Cut-1 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงหน่วยผลิต Cut ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ขั้นตอนที่ 9 หน่วยผลิต Steel Checking เป็นขั้นตอนแรกของการผลิตหม้อแปลงเช่นเดียวกับหน่วยผลิต Low Volt และ Cut-1 โดยใช้แค่แรงงานคนในการผลิต มีขั้นตอนผลิตคือจัดเหล็ก Yoke, จัดเหล็ก Leg, ส่งเหล็กไปตามจุดต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 10 หน่วยผลิต Stacking ใช้แค่แรงงานในการผลิตมีขั้นตอนผลิตคือ วาง Core Clamp, ตัดกระดาษฉนวน, เรียงเหล็กหน้า 70 หน้า 10 mm, เรียงเหล็กหน้า 90 หน้า 20 mm, ปรับแต่ง, เรียงเหล็กหน้า 90 หน้า 50 mm, ปรับแต่ง, เรียงเหล็กหน้า 90 หน้า 20 mm, ปรับแต่ง, เรียงเหล็กหน้า 90 หน้าจนจบ, ปรับแต่ง, เรียงเหล็กหน้า 70 จนจบ, ตัดกระดาษ, วาง Core Clamp และวัดบันทึกค่า ดังแสดงในภาพที่ 3 ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Cut-2 และหน่วยผลิต Steel Checking



ภาพที่ 3 แสดงหน่วยผลิต Stacking ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ขั้นตอนที่ 11 หน่วยผลิต Assembly ใช้แค่แรงงานในการผลิตมีขั้นตอนผลิตแบ่งเป็น 3 ส่วนคือส่วนที่ 1 มีขั้นตอนคือถอด Core Clamp, ลง Coil, Restack ช่วงที่ 1 ส่วนที่ 2 มีขั้นตอนคือ Restack ช่วงที่ 2, ใส่ Core Clamp, ย้ายสาย Tap, ต่อสาย Dy และส่วนที่ 3 มีขั้นตอนคือบัดกรีชุด Tap และสาย Dy, พันฉนวน, ตรวจสอบ, นำเข้าเตาอบในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต High Volt Prepare-1, หน่วยผลิต High Volt Prepare-2 และหน่วยผลิต Stacking ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพแสดงหน่วยผลิต Assembly ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ขั้นตอนที่ 12 หน่วยผลิต Oven ใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งาน 2 ตัว สามารถรองรับการอบหม้อแปลงได้สูงสุด 16 ตัวต่อหนึ่งเครื่อง มีขั้นตอนผลิตคือจัดเรียงหม้อแปลง, เร่งอุณหภูมิการอบ, เดินเครื่อง Vacuum, ปรับลดอุณหภูมิถึง 60 องศา, นำออกจากเตาในหน่วยผลิตนี้ จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Assembly

ขั้นตอนที่ 13 หน่วยผลิต Tanking ใช้แค่แรงงานในการผลิต มีขั้นตอนผลิตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกมีขั้นตอนคือติด Seal, ดูดฝุ่น, ยกใส่หม้อแปลงลง, ปรับยึดใส่หม้อแปลง ส่วนที่ 2 มีขั้นตอนคือประกอบ Bushing, ยกฝาแท่งค้ำปิดชั้นน็อต ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Oven แสดงดังในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงหน่วยผลิต Tanking ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

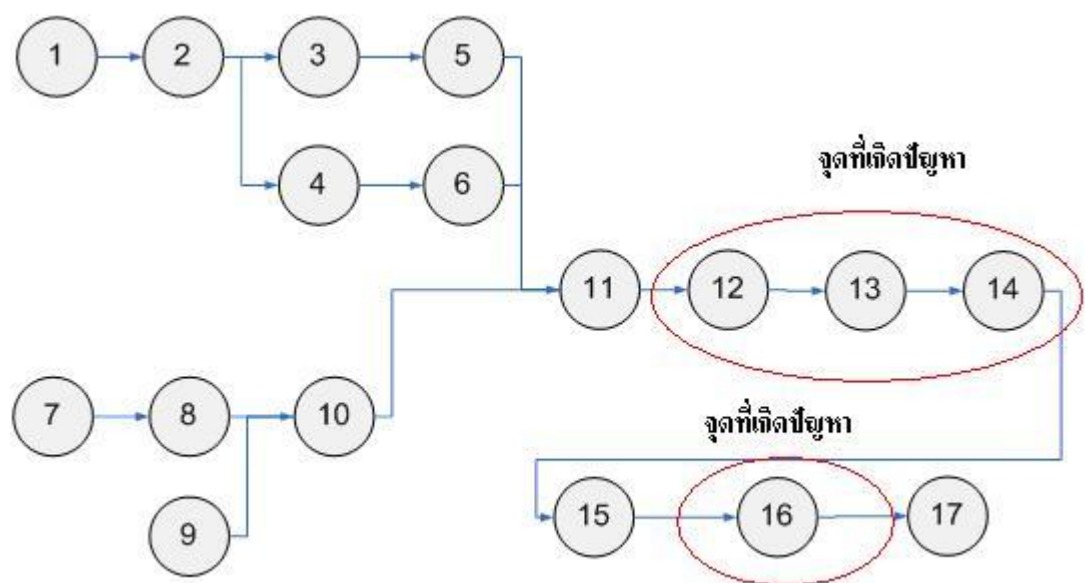
ขั้นตอนที่ 14 หน่วยผลิต Oil Filling ใช้เครื่องจักรในการผลิตมีเครื่องจักรใช้งาน 2 เครื่อง สามารถรองรับหม้อแปลงได้สูงสุด 2 ตัวต่อหนึ่งเครื่อง มีขั้นตอนผลิตคือติดตั้งสายน้ำมัน, เดินเครื่อง Vacuum, เติมน้ำมันและถอดสายน้ำมันนำออกจากเตา ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Tanking

ขั้นตอนที่ 15 หน่วยผลิต Oil Setting ใช้แค่แรงงานคนในการตรวจสอบเวลาการรอน้ำมันอิ่มตัว ใช้เวลาประมาณ 12 ชม. มีขั้นตอนการผลิตคือจัดวางหม้อแปลง, รอน้ำมันอิ่มตัว และบันทึกค่า ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Oil Filling

ขั้นตอนที่ 16 หน่วยผลิต Testing ใช้เครื่องจักรในตรวจสอบ มีเครื่องจักรใช้งาน 4 ชุด สามารถรองรับหม้อแปลงได้สูงสุด 1 ตัวต่อหนึ่งชุด มีขั้นตอนผลิตคือวัดค่า Resistance, ทดสอบค่า Impulse, Withstand, Load Loss, Ratio Auto และความต้านทานน้ำมัน ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Oil Setting ถ้าชิ้นงานไม่ผ่านการตรวจสอบจะถูกส่งไปแยกชิ้นส่วนและนำชิ้นส่วนที่ยังใช้งานได้เก็บไว้ใช้งานต่อไป

ขั้นตอนที่ 17 หน่วยผลิต Finishing เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตหม้อแปลงใช้แค่แรงงานคนในการผลิต มีขั้นตอนการผลิตคือทำความสะอาด, ตกแต่งรอยถลอก, ประกอบชิ้นส่วนภายนอก, ติดป้ายและประกอบถังไม้ ในหน่วยผลิตนี้จะรับชิ้นงานจากหน่วยผลิต Testing

สำหรับความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลังของแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงาน ได้แสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตหม้อแปลง

ตารางที่ 1 สรุปขั้นตอนกระบวนการผลิตหม้อแปลง

ขั้นตอน ที่	ชื่อหน่วย ผลิต	กำลังการผลิต ต่อหน่วยเวลา	เวลาผลิต ต่อหน่วย (นาท)	จำนวน แรงงาน	จำนวน เครื่องจักร
1	Low Volt-1	2	28.8	2	2
	Low Volt-2	2	28	2	2
2	Kraft Coil	2	28.7	1	-
3	High Volt-11	1	34.1	1	1
	High Volt-12	1	35.4	1	1
4	High Volt-21	1	30.3	1	1
	High Volt-22	1	33.9	1	1
	High Volt-23	1	29.2	1	1
5	High Volt Prepare-1	1	25.8	1	-
6	High Volt Prepare-2	1	27.3	1	-
7	Cut-1	1	39.9	1	1
8	Cut-2	1	39.9	1	1
9	Steel Checking	1	25.9	1	-
10	Stacking-1	1	24.7	1	-
	Stacking-2	1	36.4	1	-
	Stacking-3	1	37.1	1	-
11	Assembly-1	1	27.8	1	-
	Assembly-2	1	26.9	1	-
	Assembly-3	1	28.5	1	-
12	Oven-1	12	2260	1	1
	Oven-2	12	2260	1	1

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ขั้นตอน ที่	ชื่อหน่วย ผลิต	กำลังการผลิต ต่อหน่วยเวลา	เวลาผลิต ต่อหน่วย (นาท)	จำนวน แรงงาน	จำนวน เครื่องจักร
13	Tanking	2	51.5	2	-
14	Oil Filling	4	139	2	2
15	Oil Setting	-	730	1	-
16	Testing	4	99.7	4	4
17	Finishing	4	104	4	-

วิเคราะห์ปัญหาของโรงงานตัวอย่าง

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของโรงงานสามารถจำแนกปัญหาออกเป็นส่วนต่างๆได้ดังนี้ (ดูภาพที่ 1 และตารางที่ 1 ประกอบ)

1. ปัญหาความจุของเตาอบที่หน่วยผลิต Oven (หมายเลข 12 ในภาพที่ 6) เนื่องจากปัจจุบันทางโรงงานจะทำการอบไส้หม้อแปลงครั้งละ 12 ตัว แต่ความจุของเตาอบนั้นสามารถรองรับได้ถึง 16 ตัว สาเหตุที่ทางโรงงานอบไส้หม้อแปลงแค่ครั้งละ 12 ตัวนั้นมาจากการออกแบบรอบเวลาการผลิตของสายการผลิตก่อนหน้าเตาอบไว้ที่ 40 นาทีต่อ 1 ตัว ซึ่งถ้าสามารถปรับรอบเวลาการผลิตใหม่ให้ได้ 30 นาทีต่อ 1 ตัวก็จะสามารถผลิตไส้หม้อแปลงเพื่อป้อนได้เต็มความจุของเตาอบคือ 16 ตัว

2. ปัญหาคอขวดในสายการผลิตหลังจากเตาอบ เนื่องจากไส้หม้อแปลงที่ผ่านการอบจะออกจากเตาไม่เป็นเวลาแน่นอน บางครั้งหน่วยผลิต Tanking (หมายเลข 13 ในภาพที่ 6) ไม่สามารถประกอบชิ้นงานได้ทันทำให้เกิดปัญหาคอขวดบริเวณนี้ซึ่งมีปริมาณงานรอคอยโดยเฉลี่ยประมาณ 6-7 ตัว จุดถัดมาคือหน่วยผลิต Oil Filling (หมายเลข 14 ในภาพที่ 6) ซึ่งในเวลาในการผลิตโดยเฉลี่ย 139 นาที เป็นจุดหนึ่งที่ใช้เวลาการผลิตสูงทำให้เกิดการรอคอยซึ่งมีปริมาณงานรอคอยโดยเฉลี่ยประมาณ 1 ตัว และสุดท้ายหน่วยผลิต Testing (หมายเลข 16 ในภาพที่ 6) ซึ่งในเวลาในการผลิตโดยเฉลี่ย 99.7 นาที เป็นจุดหนึ่งที่ใช้เวลาการผลิตสูงทำให้เกิดการรอคอยซึ่งมีปริมาณงานรอ

คอยโดยเฉลี่ยประมาณ 5 ตัว ซึ่งมาจากลักษณะการผลิตหม้อแปลงที่ต้องมีการรอให้น้ำมันคงตัวเป็นเวลา 12 ชม. ก่อนทำทดสอบทำให้เกิดจุดคอขวดในหน่วยผลิตนี้

3. ปัญหาชิ้นงานไม่ผ่านการทดสอบ เนื่องจากกระบวนการผลิตหม้อแปลงไม่สามารถตรวจสอบได้เลยว่าชิ้นงานที่อยู่ระหว่างการผลิตนั้นมีของเสียเกิดขึ้นจนกว่าจะผ่านการทดสอบที่หน่วยผลิต Testing ซึ่งอัตราของเสียในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 5% ซึ่งทางหน่วยวิศวกรรมของโรงงานวิเคราะห์ว่าของเสียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากความไม่สะอาดในกระบวนการผลิต ดังนั้นทางโรงงานงานจึงมีแผนที่จะนำระบบ 5ส. มาใช้เพื่อรักษาความสะอาดภายในโรงงาน โดยคาดหวังว่าอัตราของเสียจะลดลงเหลือ 3%

ขอบเขตการวิจัย

1. เลือกศึกษากระบวนการผลิตภัณฑ์จากโรงงานตัวอย่าง คือผลิตภัณฑ์ รุ่น 30 KVA
2. ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้อาจจะไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุด แต่จะเป็นวิธีการที่สามารถนำไปใช้งานได้ดีและสะดวก
3. การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ระหว่างสถานีงาน เป็นแบบการเคลื่อนย้ายด้วยมือไปบนรถเข็นหรือแบบไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ เมื่อสถานีงานใดก็ตามที่ทำงานชิ้นใดเสร็จก็จะส่งต่อไปยังสถานีงานถัดไปทันที โดยไม่รอส่งพร้อมกับสถานีงานอื่นๆ
4. การวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์ระบบการผลิตจากแบบจำลองสถานการณ์
5. ทำการประเมินผลและเปรียบเทียบระบบแบบเดิมและแบบใหม่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตหม้อแปลงจากที่มีอยู่เดิม

2. ใช้เป็นเครื่องมือแสดงประสิทธิภาพการผลิตหม้อแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิต, เปลี่ยนแปลงกำลังคนในการผลิต, เปลี่ยนแปลงจำนวนเครื่องจักรหรือความจุในการผลิต
3. ทำให้มองเห็นความสัมพันธ์ขององค์ประกอบภายในระบบการผลิต ทำให้ผู้จัดการมองเห็นภาพรวมระบบการผลิต และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิตหม้อแปลง
4. เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่ต้องการปรับปรุงสายการผลิต เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการผลิต

ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีการผลิตสินค้าชนิดหนึ่งเป็นจำนวนมาก มักใช้การผลิตเป็นสายการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยมีการแบ่งงานออกเป็นชิ้นงานย่อยๆ (Work Element) และมีพนักงานทำงานเฉพาะชิ้นงานนั้นหรืออาจจะรวมชิ้นงานหลายชิ้นให้ทำได้ การผลิตต่อเนื่องกันชนิดนี้มีทั้งระบบสายการประกอบ (Assembly Line System) และระบบสายการผลิต (Production Line System) เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและผลิตได้รวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามระบบดังกล่าวมีข้อเสียคือ ไม่ค่อยยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงการผลิตได้รวดเร็ว และจะต้องมีปริมาณผลิตสินค้าแต่ละชนิดจำนวนมากๆ และสม่ำเสมอ จึงจะคุ้มกับการลงทุนที่ค่อนข้างสูงในการจัดสายการผลิต ชิ้นงานทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในลำดับการผลิตที่แน่นอนและชิ้นส่วนจะถูกเคลื่อนย้ายหรือส่งไปตามสายระหว่างสถานีงาน (Work Station) ต่างๆ ส่วนแต่ละสถานีงานอาจจะมีจำนวนพนักงาน และชิ้นงานที่จะต้องทำมากหรืออ้อยแล้วแต่การแบ่งสรร โดยจะมีเวลาการทำงานเฉลี่ยสำหรับงานแต่ละชิ้นเรียกว่าเวลาของสถานีงาน

การจัดสมดุลในสายการผลิต (Production Line Balancing) หมายถึงการพยายามที่จะจัดให้สถานีงานต่างๆ มีอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้สำหรับทำงานแต่ละชิ้นเท่าๆกัน ถ้าหากว่าการทำงานไม่เท่ากันแล้ว อัตราการผลิตสินค้าของสายการผลิตนั้น จะถูกกำหนดโดยอัตราการทำงานของสถานีงานที่ช้าที่สุด ฉะนั้นกรณีเช่นนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียอัตราการผลิตหรือว่างงานเกิดขึ้น เพราะสถานีงานอื่นๆที่เสร็จเร็วกว่าจะต้องรอ มิฉะนั้นจะเกิดมีชิ้นส่วนหรือของกึ่งสำเร็จรูปจำนวนมาก รอที่จะผ่านสถานีงานที่ช้าๆหรือมีสถานีงานที่หยุดรอการป้อนงานจากสถานีงานที่ทำงานช้า

ตามปกติในการจัดสายการผลิต จะเริ่มด้วยการกำหนดรอบเวลาการผลิตลำดับชิ้นงานต่างๆ และเวลาเฉลี่ยหรือเวลามาตรฐานของการทำงานแต่ละชิ้นนั้นจากนั้นก็พยายามรวมชิ้นงานเข้าด้วยกันให้เป็นสถานีงานให้มีเวลาว่างทั้งหมดน้อยที่สุด ในกรณีที่จำนวนสถานีงานมีมากหรือน้อยไป ก็อาจจะจัดใหม่โดยให้รอบเวลาผลิตมากขึ้นหรือน้อยลง นอกจากนี้การจัดก็อาจจะพยายามให้เกิดมีเวลาว่างไม่แตกต่างกันมากนักระหว่างสถานีทำงาน

ในการอธิบายรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการผลิตควรทำความเข้าใจกับนิยามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการผลิต

1. พนักงาน (Operators) หมายถึง บุคคลที่ถูกกำหนดให้ทำงานเฉพาะเมื่อสินค้าถึงสำเร็จรูปผ่านตามสายงานการผลิต

2. งานย่อย (Work Elements) หมายถึง งานประกอบชิ้นส่วนหรืองานผลิตแต่ละงานที่กำหนดให้พนักงานทำการประกอบหรือผลิต และเมื่องานย่อยทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันตามแผนผังลำดับก่อนหลังก็จะเป็นกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

3. เวลางานย่อย (Work Element Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำงานย่อยแต่ละงาน เวลางานย่อยนี้ควรจะเป็นเวลามาตรฐาน (Standard Time) ซึ่งจะหาได้จากการศึกษาการทำงาน

4. สถานีงาน (Work Station) หมายถึง บริเวณที่ทำงานย่อยงานเดียว หรืองานย่อยหลายงานรวมกัน ซึ่งจะต่อเนื่องกันเป็นอนุกรมไปตามสายงานการผลิต สถานีงานจะมีพนักงานประจำอยู่หนึ่งคน แต่ในบางครั้งอาจจะมีพนักงานประจำอยู่หลายคนก็ได้

5. เวลาสถานีงาน (Work Station Time) หมายถึง ผลรวมของเวลางานย่อยที่ทำในสถานีงานเดียวกัน ซึ่งอาจจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับรอบเวลาการผลิตก็ได้ แต่จะมากกว่ารอบเวลาการผลิตไม่ได้

6. รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) หมายถึง เวลาซึ่งชิ้นส่วนต่างๆจะถูกปฏิบัติจนเสร็จบนสายการผลิตโดยทั่วไปรอบเวลาการผลิตจะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิต ยกตัวอย่างเช่น ถ้าอัตราการผลิตคือ 10 หน่วยต่อชั่วโมง นั่นคือ รอบเวลาการผลิตจะเท่ากับ 6 นาทีต่อหน่วย

7. เวลา Throughput (Throughput time) หมายถึง เวลาทั้งหมดที่ชิ้นส่วนเริ่มผลิตไปจนเสร็จสิ้น ซึ่งรวมเวลาต่างๆเข้าด้วยกัน คือเวลาสถานีงาน เวลาเตรียมงาน เวลาเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนและเวลารอคอย

8. เวลาสูญเปล่า (Idle Time) หมายถึง เวลาที่เหลืออยู่ในแต่ละสถานีงานหลังจากที่พนักงานได้ทำงานย่อยที่ได้รับมอบหมายเสร็จแล้ว

9. เวลาสูญเปล่ารวม (Total Idle Time) หมายถึง ผลรวมของเวลาสูญเปล่าในแต่ละสถานีงานที่มีอยู่ทั้งหมดในสายงานการผลิต

10. แผนผังลำดับก่อนหลัง (Precedence Diagram) หมายถึง แผนผังลำดับก่อนหลังของงานย่อยทั้งหมดในสายงานการผลิต ซึ่งประกอบด้วยวงกลมที่แสดงถึงงานย่อย และลูกศรที่แสดงถึงลำดับงาน โดยงานย่อยที่อยู่ตรงหัวลูกศรจะต้องทำหลังงานย่อยที่อยู่ตรงหางลูกศร

11. ประสิทธิภาพสายงานการผลิต (Line Efficiency) หมายถึง ตัวเลขที่บอกถึงความสมบูรณ์ของการสมดุลของสายงานการผลิต ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 100%

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

การทดลอง (Experiment) คือการจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลจากการปฏิบัติในการศึกษาทดลอง โดยที่การทดลองจะแบ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นคือ การทดลองเพื่อให้ทราบผลอย่างกว้างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป และการทดลองขั้นตัดสินใจ เป็นขั้นตอนการนำสิ่งที่คัดเลือกได้จากการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบหรือหาสิ่งที่ดีที่สุดในกลุ่ม โดยจะมีการใช้แผนการทดลองแบบต่างๆ

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม ที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดและทำความเข้าใจปัญหา คือ การศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการหรือระบบ เพื่อกำหนดปัญหาในการออกแบบการทดลองให้แน่ชัด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง คือ การเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง การกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ โดยจะเลือกตัวแปรตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ในการเลือกการออกแบบการทดลองจะต้องคำนึง วัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ โดยจะพิจารณานาของตัวอย่าง การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกหรือแรนดอมไมเซชันอย่างไรอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่

5. ทำการทดลองตามวิธีการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้ว

6. วิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือ การนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการทดลองไว้ เพื่อช่วยในการหาข้อสรุปที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการสรุปผลของกระบวนการที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจแสดงในรูปของตาราง กราฟ หรือแผนภูมิ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจำลองแบบปัญหา

คำจำกัดความของการการจำลองแบบปัญหา หรือการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้ว

ดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้น เพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน หรือเพื่อประเมินผล การใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

ศิริจันทร์ (2544) กล่าวว่ากระบวนการของการจำลองแบบปัญหานั้นแบ่งเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่ง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากลไกของวิธีการของการจำลองแบบปัญหานั้นขึ้นอยู่กับแบบจำลอง และการใช้แบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานี้อาจเป็นหุ่นระบบหรือเป็นแนวความคิดลักษณะหนึ่งลักษณะใด โดยไม่จำเป็นต้องเหมือน (Identical) กับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง

ประเภทของแบบจำลองในการจำลองแบบปัญหานั้นนอกจากจะสามารถจำแนกได้ตามประเภทของระบบงานที่มันเป็นตัวแทนอยู่แล้ว ยังมีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแบบจำลองซึ่งทำให้มันสามารถจำแนกประเภทออกไปตามคุณลักษณะพิเศษดังนี้

1. แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Models) เป็นแบบจำลองที่มีรูปร่างหน้าตาเหมือนระบบงานจริง อาจมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่า (Scaled Models) อาจเป็นแบบจำลองของระบบงานจริงในมิติใดมิติหนึ่ง (Dimension) หรือทั้งสามมิติ ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้เช่น แบบจำลองผังโรงงาน ฯลฯ

2. แบบจำลองอะนาล็อก (Analog Models) เป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริงตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้เช่น การใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆที่วัดค่าได้ อย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตกับจำนวนสินค้าที่ผลิต ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ขนาดความยาวของเส้นกราฟแสดงค่าของเงินหรือจำนวนสินค้า ฯลฯ

3. เกมการบริหาร (Management Games) เป็นแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Models) ในกิจการต่างๆเช่น ธุรกิจ สงคราม การลงทุน ฯลฯ เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลถ้ามีการตัดสินใจแบบต่างๆเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ

4. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Models) เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปคอมพิวเตอร์โปรแกรม ซึ่งก่อนที่จะมาเป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรม แบบจำลองอาจอยู่ในรูปของแบบจำลองประเภทหนึ่งประเภทใดที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบระบบงานจริงเช่น ใช้ X แทนค่าใช้จ่ายในการผลิต Y แทนจำนวนสินค้าที่ผลิต

กระบวนการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนต่างๆต่อไปนี้ เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการจำลองแบบปัญหาที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบการกำหนดขอบเขตข้อจำกัดต่างๆและวิธีการวัดผลของระบบงาน

2. การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation) จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

4. การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้สามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

6. การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning) เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นเพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม กล่าวคือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับในราคาที่เหมาะสม

8. การดำเนินการทดลอง (Experimentation) เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง

9. การตีความผลการทดลอง (Interpretation) จากผลการทดลองตีความว่าระบบงานจริงจะมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาก็ได้ผลอย่างไร

10. การนำไปใช้งาน (Implementation) จากผลการทดลองเลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาคือดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง

11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation) เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งานเพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ ฯลฯ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาพร (2543) ได้นำเทคนิคการจำลองแบบปัญหาวิเคราะห์ระบบการผลิตจริง โดยจะเน้นการจัดส่งงานระหว่างสถานงานในสายการประกอบ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพสายงานการประกอบซึ่งมีปัจจัยหลักคือ เวลาการผลิตของแต่ละชิ้นงาน งานระหว่างการผลิต กำลังการ

ผลิต และอัตราการใช้งานเครื่องจักรและพนักงาน ในการนำเทคนิคจำลองแบบปัญหานี้ได้จำลองแบบปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และพัฒนาแบบจำลองปัญหาโดยใช้โปรแกรม Arena

ผลจากแบบจำลองสรุปได้ว่าการกำหนดปริมาณงานขนย้ายระหว่างการผลิตที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตได้ แต่ความสามารถในการเพิ่มกำลังการผลิตและอัตราการใช้งานเครื่องจักรและพนักงานจะแปรตามกันกับปริมาณชิ้นงานในระหว่างการผลิต และเวลาเฉลี่ยของการประกอบแต่ละชิ้นงาน ซึ่งคุณสมบัติที่แตกต่างของทั้งสองดัชนีที่ใช้วัดนี้ จะมีประโยชน์กับลักษณะการผลิตและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

Wu (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายของรอบเวลาการผลิต IC โดยแบบจำลองสถานการณ์ได้พิจารณาผลกระทบจากการหยุดการผลิต และผลกระทบจากการบำรุงรักษา ผลจากการทดลองพบว่าหากพิจารณาเพิ่มทรัพยากรในหน่วยซ่อมบำรุงเพื่อช่วยลดเวลาซ่อมเครื่องจักร จะส่งผลให้รอบเวลาการผลิตลดลงอย่างมาก

Mohamad (2000) ได้ทำการวิจัยหาตัวแปรที่มีผลต่อระบบการผลิต โดยได้นำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์และการออกแบบการทดลองมาใช้ร่วมกัน โดยการใช้การจำลองสถานการณ์ในการศึกษากระบวนการทำงานของการผลิตปัจจุบันเทียบกับหลังปรับปรุงโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน และใช้การออกแบบการทดลองเพื่อระบุหาตัวแปรที่มีผลต่อระบบ หลังจากทำการทดลองพบว่า ตัวแปรที่มีผลคือการปรับเปลี่ยนตัวให้ความร้อนกับความจุของเครื่องปั๊ม

Navdecip (1999) ได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตจากแบบจำลองและของจริงมีความแตกต่างกัน เมื่อได้ตัวแปรที่ต้องการแล้วจึงเพิ่มตัวแปรเข้าไปในแบบจำลองเพื่อเพิ่มความถูกต้องมากที่สุด โดยแบบจำลองนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลของงานที่ต้องแก้ไข ทรัพยากรในการผลิต เป็นต้น ผลการทดลองพบว่าตัวแปรที่ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตจากแบบจำลองและของจริงมีความแตกต่างกันคือ จำนวนของเครื่องมือ จำนวนพนักงาน ความชำนาญของพนักงาน งานที่ต้องแก้ไขและเวลาที่เสียไปเมื่อหยุดผลิต

John (1997) ได้ใช้การวิเคราะห์ความไวในแบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดรอบเวลาการผลิตโดยตัวแปรที่ได้ศึกษาเช่น การลดเวลาติดตั้ง การกำหนดขนาด batch โดยตัวแปรทั้งหมดอยู่บน

พื้นฐานของการปรับใช้ได้จริง โดยขั้นตอนได้ใช้ตัวแปรที่มีผลต่อระบบการผลิต 5 ตัวด้วยกัน หลังจากนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้งานจริงพบว่า สามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ถึง 25%

Yurttal (1996) ได้เสนอวิธีสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้ร่วมกับการออกแบบการทดลองเพื่อให้ใช้งานได้ง่าย เนื่องแบบจำลองสถานการณ์เริ่มมีบทบาทสำคัญในระบบอุตสาหกรรมอย่างมาก แต่การจำลองสถานการณ์นั้นจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ การวางแผนและออกแบบการทดลองจะช่วยให้การวิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องมากขึ้น ผลจากวิจัยพบว่าถ้ามีการออกแบบการทดลองควบคู่ไปกับการจำลองสถานการณ์จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ระบบได้เร็วขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 1 เครื่อง
2. โปรแกรมสำเร็จรูป Arena 7.01 สำหรับนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อศึกษาวิเคราะห์ระบบการผลิต
3. โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติสำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผลการศึกษา

วิธีการ

1. ศึกษาปัญหาและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการผลิตและการจัดผังการผลิต
2. ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับระบบการผลิตหม้อแปลงบริษัทฯกรณีศึกษา ซึ่งใช้วิธีการจัดสมดุลการผลิต การออกแบบการทดลองและการจำลองสถานการณ์
3. ศึกษาข้อมูลต่างๆของระบบการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งหมด
4. ทำการแก้ปัญหาตามวิธีที่ได้ศึกษามาข้างต้น โดยการจำลองสถานการณ์ของการผลิตเดิม และออกแบบการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อการลดรอบเวลาการผลิตมากที่สุด
5. เปรียบเทียบค่าต่างๆที่ได้ของระบบการผลิตในปัจจุบันและที่ปรับปรุงแล้วตามวิธีการแก้ปัญหาที่เสนอ
6. สรุปผลพร้อมจัดทำแผนเพื่อเสนอแนะ

ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาและสร้างกระบวนการผลิตเพื่อจำลองในโปรแกรม Arena สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกคือการรวบรวมข้อมูลดิบต่างๆจากโรงงานตัวอย่างในช่วงปี 2549 ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้ได้อธิบายต่อไปในย่อหน้าถัดไป

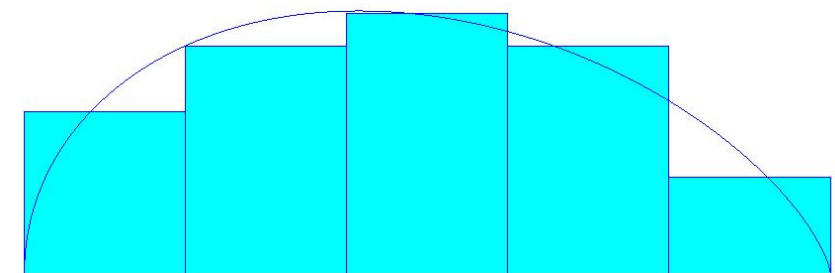
1. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจะถูกเก็บโดยการจับเวลาโดยเริ่มจับเวลาตัวอย่างมาก่อนในขั้นแรก 10 ตัวอย่างเพื่อทดสอบความต้องการข้อมูลอีกเท่าไรเพื่อนำไปวิเคราะห์ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลทั้งหมดของโรงงานพบว่าตัวอย่างที่จะทำการเก็บนั้นจะใช้ที่ 30 ตัวอย่าง ข้อมูลที่ทำการเก็บจากระบบคือ

1. เวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละหน่วยงาน (Processing Time) ซึ่งได้ข้อมูลจากฝ่ายวิศวกรของโรงงานตัวอย่าง
2. แผนการผลิตในแต่ละวันของหม้อแปลงเพื่อดูค่า Arrival Time ของการผลิตที่ส่งเข้าในหน่วยผลิตแรกของโรงงานซึ่งก็คือ หน่วย Low Volt, Cut-1 และ Steel Checking
3. เก็บข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละวันของแต่ละหน่วยผลิต
4. เก็บข้อมูลรอบเวลาการผลิตโดยเฉลี่ย (Cycle Time) ซึ่งจะมี 2 ส่วนคือส่วนก่อนหน้าหน่วยผลิต Oven และส่วนสุดท้ายสุดหลังหน่วยผลิต Finishing

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการสร้างการแจกแจงของเวลาการผลิต

หลังเก็บข้อมูลเวลาของระบบการผลิตในแต่ละสถานีนงานเพื่อนำมาสร้างแบบการแจกแจงของเวลาการผลิตสำหรับแต่ละกระบวนการผลิตทั้งหมด ทำการสุ่มเก็บข้อมูลเวลาการผลิตแต่ละกระบวนการผลิตขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 ครั้ง จากนั้นทำการสร้างแบบการแจกแจงของเวลาการผลิตนี้โดยใช้โปรแกรม Input Analyzer ของโปรแกรม Arena ในการวิเคราะห์



Distribution Summary

Distribution: Beta
 Expression: $27.2 + 3.13 * \text{BETA}(1.49, 1.69)$
 Square Error: 0.00095

Chi Square Test

Number of intervals 4
 Degrees of freedom 1
 Test Statistic 0.107
 Corresponding p-value 0.746

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic 0.0629
 Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points 30
 Min Data Value 27.5
 Max Data Value 30.1
 Sample Mean 28.7
 Sample Std Dev 0.764

Histogram summary

Histogram Range = 27.2 to 30.4
 Number of Intervals 5

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างของการวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต Kraft Coil

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าลักษณะการแจกแจงของเวลากระบวนการผลิต Kraft Coil นี้คือแบบ Beta มีค่า $27.2 + 3.13 * \text{BETA}(1.49, 1.69)$ โดยมีค่า P-value ของการทดสอบการแจกแจงข้อมูลเท่ากับ 0.746 มากกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับ 0.05 และกำลังสองของความผิดพลาด (Square Error)

เท่ากับ 0.000945 จึงสามารถสรุปได้ว่าลักษณะการแจกแจงของเวลากระบวนการผลิต Kraft Coil คือ $27.2 + 3.13 * \text{BETA}(1.49, 1.69)$ เป็นลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 สรุปลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต

กระบวนการผลิต	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิต (นาที)	ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต	p-value
Low Volt-1	28.8	$27.3 + 3.12 * \text{BETA}(1.42, 1.63)$	0.627
Low Volt-2	28	$26.5 + 2.89 * \text{BETA}(1.09, 0.925)$	0.741
Kraft Coil	28.7	$27.2 + 3.13 * \text{BETA}(1.49, 1.69)$	0.746
High Volt-11	34.1	$32.1 + 4.44 * \text{BETA}(1.18, 1.51)$	0.697
High Volt-12	35.4	$33 + 5 * \text{BETA}(1.25, 1.33)$	0.364
High Volt-21	30.3	$29 + 2.85 * \text{BETA}(1.23, 1.52)$	0.33
High Volt-22	33.9	$33.1 + 1.8 * \text{BETA}(0.947, 1.32)$	0.547
High Volt-23	29.2	$27 + 4 * \text{BETA}(1.11, 0.982)$	0.549
High Volt Prepare-1	25.8	$24.6 + 2.04 * \text{BETA}(2.01, 1.52)$	0.325
High Volt Prepare-2	27.3	$26 + 2.29 * \text{BETA}(1.62, 1.36)$	0.437
Cut-1	39.9	TRIA(39.5, 40.1, 40.3)	0.34
Cut-2	39.9	$39.7 + 0.48 * \text{BETA}(0.757, 0.737)$	> 0.75
Steel Checking	25.9	UNIF(24.3, 27.8)	0.232
Stacking-1	24.7	$22 + 6 * \text{BETA}(0.773, 0.924)$	0.332
Stacking-2	36.4	$34.5 + 3.96 * \text{BETA}(1.04, 1.11)$	0.473
Stacking-3	37.1	$35 + 4.94 * \text{BETA}(0.939, 1.27)$	0.447
Assembly-1	27.8	$26 + 3.85 * \text{BETA}(0.785, 0.861)$	0.488
Assembly-2	26.9	$24.2 + 4.84 * \text{BETA}(1.23, 0.929)$	0.39
Assembly-3	28.5	TRIA(27.1, 28.8, 29.5)	0.245
Oven-1	2.26E+03	UNIF(2.24e+003, 2.27e+003)	0.443
Oven-2	2.26E+03	UNIF(2.25e+003, 2.27e+003)	0.676
Tanking	51.5	$50 + 3.73 * \text{BETA}(1.2, 1.73)$	0.216
Oil Filling	139	$134 + 10 * \text{BETA}(1.11, 1.11)$	> 0.75

ตารางที่ 2 (ต่อ)

กระบวนการผลิต	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิต (นาทีก)	ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต	p-value
Oil Setting	730	$721 + 20 * \text{BETA}(1.12, 1.26)$	0.594
Testing	99.7	$94 + 12 * \text{BETA}(1.02, 1.11)$	0.244
Finishing	104	$97 + 15 * \text{BETA}(1.09, 1.16)$	0.645

จากตารางที่ 2 แสดงการสรุปลักษณะการแจกแจงของเวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมด รวมถึงค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในแต่ละหน่วยผลิต ซึ่งทุกการแจกแจงมีค่า p-value มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 0.05 จึงสรุปได้ว่าการแจกแจงของเวลากระบวนการทั้งหมดเป็นลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่เหมาะสม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena

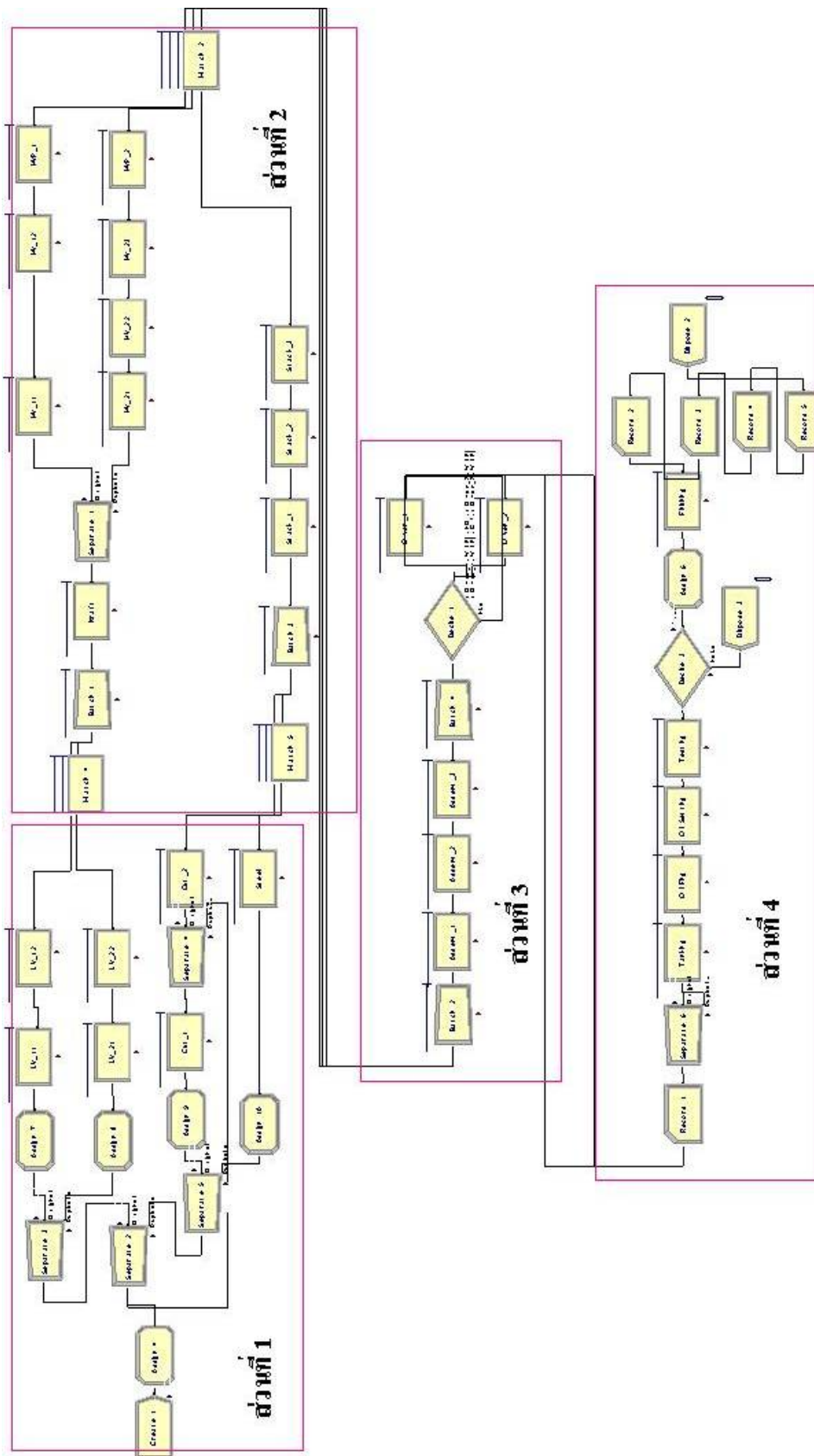
ตารางที่ 3 ลักษณะการแจกแจงที่ถูกใช้ในโปรแกรม Arena

รูปแบบการกระจาย	สัญลักษณ์	ค่าตัวแปร
Beta	BETA	Beta, Alpha
Triangular	TRIA	Min, Mode, Max
Uniform	UNIF	Min, Max

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะการแจกแจงที่ถูกใช้ในโปรแกรม Arena เช่น BETA (1.49, 1.69) หมายถึงมีการแจกแจงแบบเบต้า ที่มีค่าตัวแปร Beta เท่ากับ 1.49 และค่าตัวแปร Alpha เท่ากับ 1.69

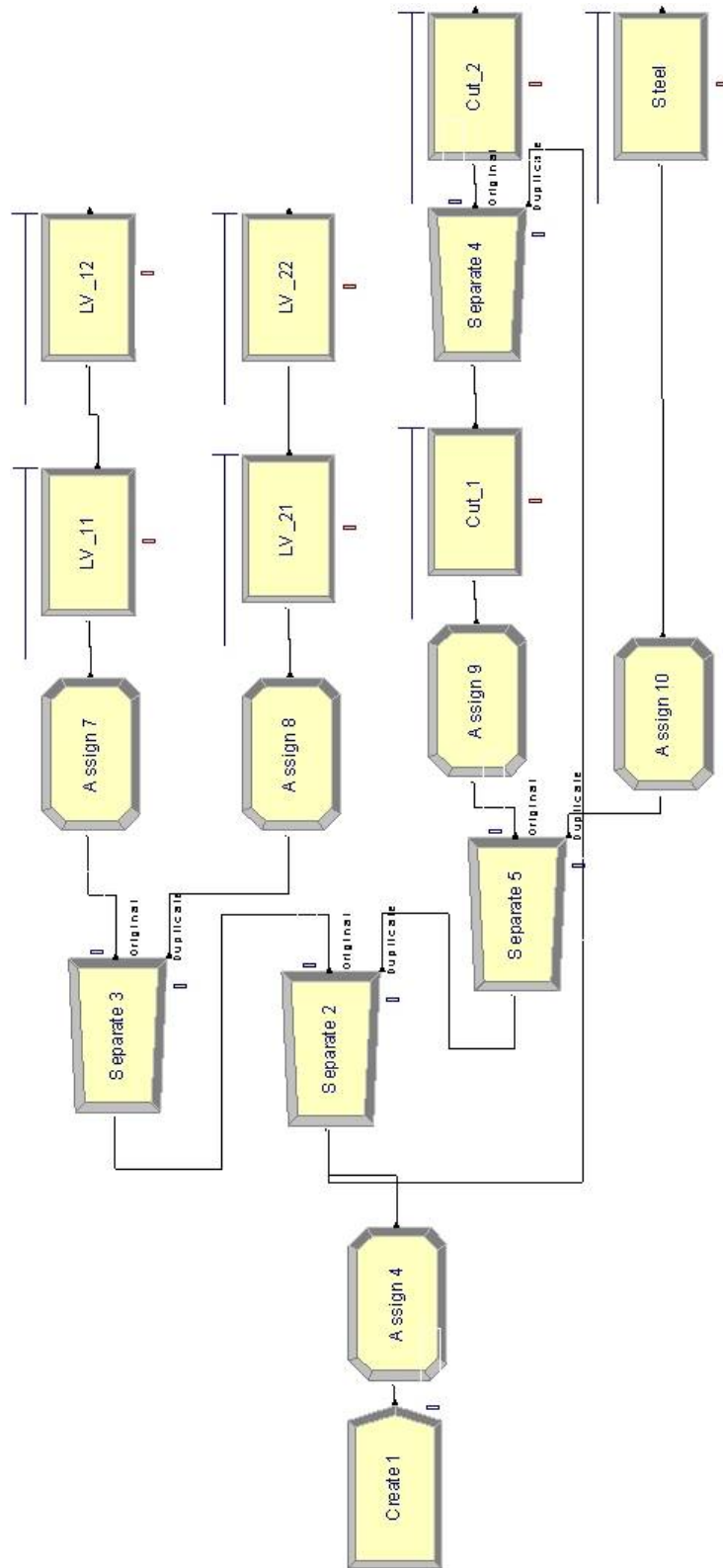
3. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของโรงงานตัวอย่าง

เมื่อรวบรวมข้อมูลที่ต้องการ Input เข้าไปในแบบจำลอง ต่อไปจึงทำการสร้างแบบจำลอง โดยพิจารณาตามลำดับขั้นตอนการผลิตประกอบกับสภาพการผลิตจริงเช่น อัตราการทำงานต่อวันของแต่ละหน่วยผลิต อัตราชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียที่ผ่านการตรวจสอบของระบบการผลิตในโรงงานตัวอย่าง รวมถึงลักษณะการแจกแจงของเวลาของกระบวนการผลิตทั้งหมดจากตารางที่ 2 จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองที่สมบูรณ์ดังแสดงในภาพที่ 8

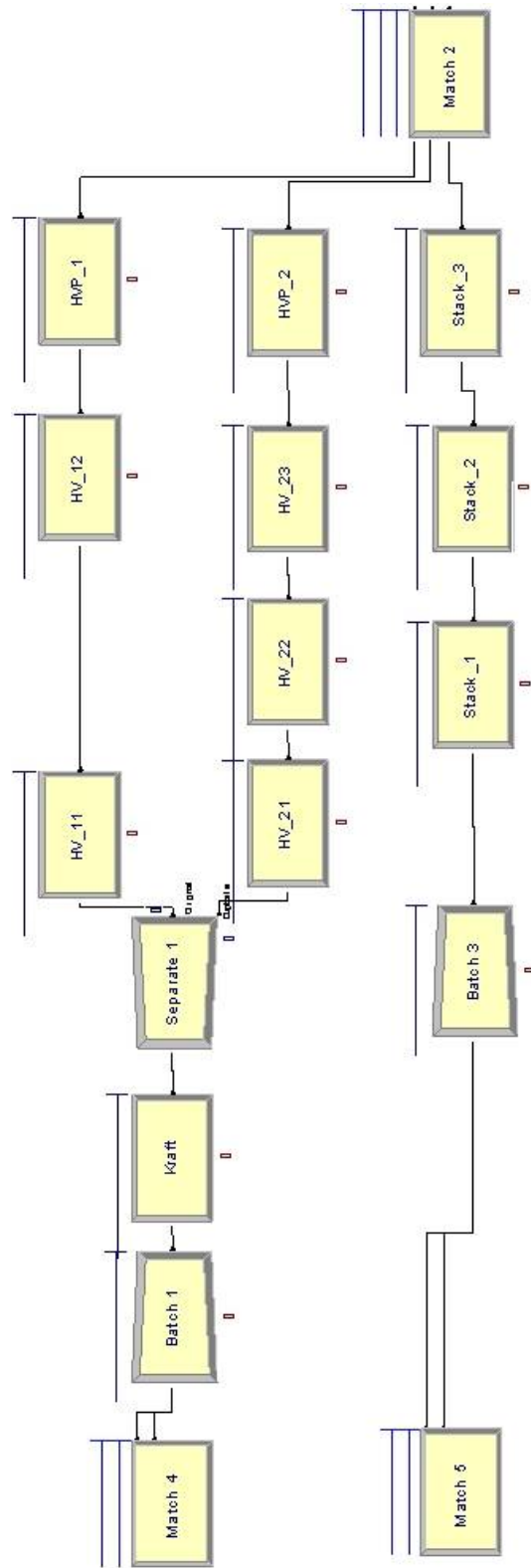


ภาพที่ 8 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตของโรงงาน

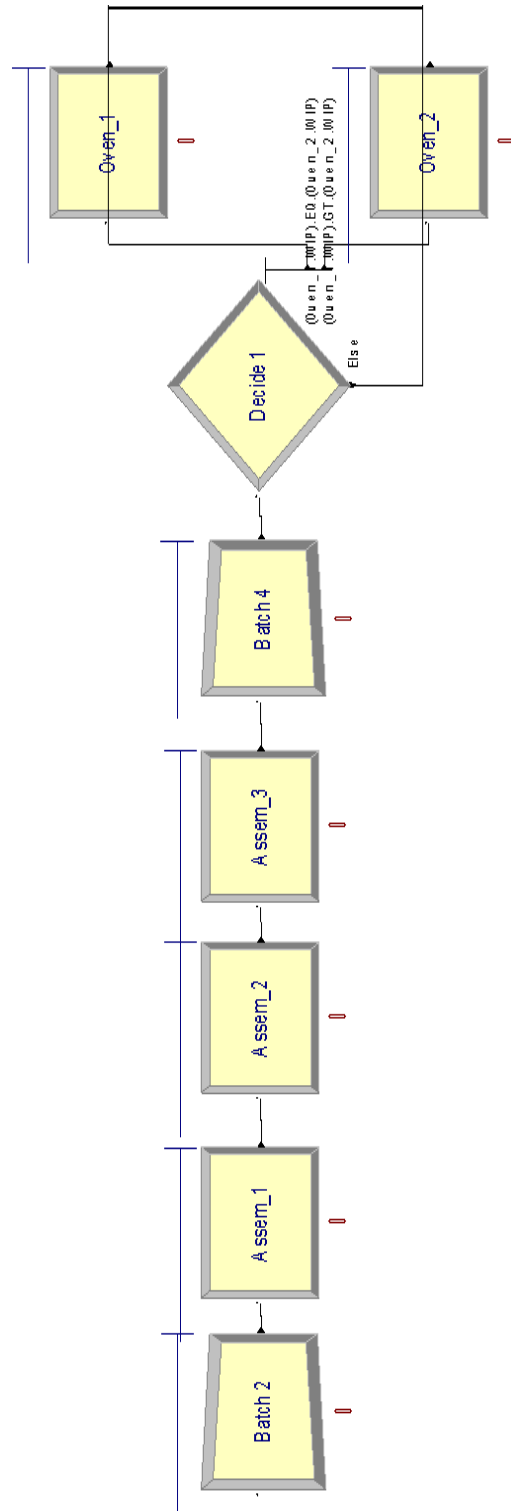
จากภาพที่ 8 แสดงแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง จากข้างต้นได้แบ่งภาพออกเป็นส่วนๆทั้งหมด 4 ส่วนเพื่ออธิบายการทำงานของคำสั่งในแต่ละส่วนของแบบจำลอง โดยแบ่งได้ดังต่อไปนี้



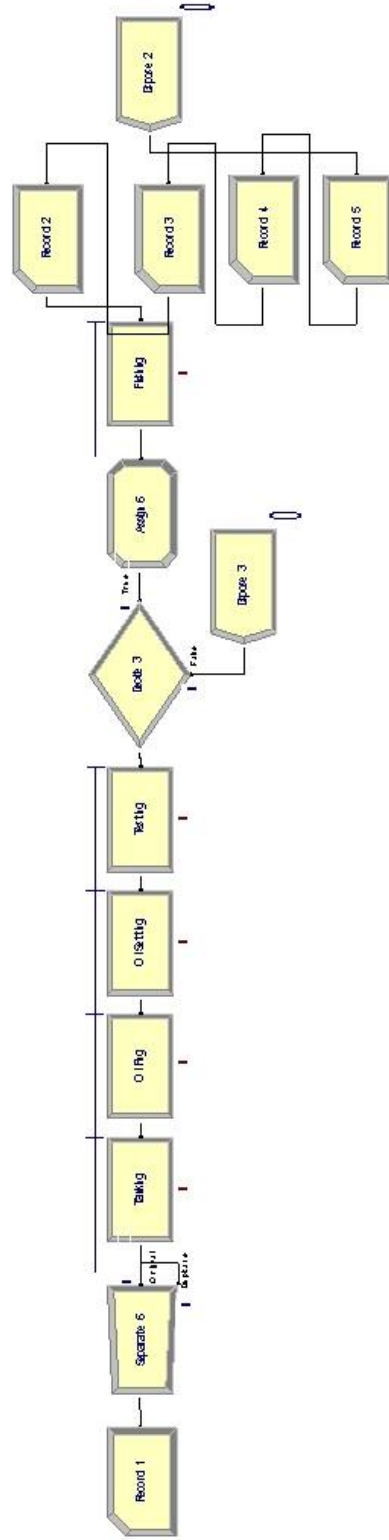
ภาพที่ 9 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 1 ของโรงงานตัวอย่าง



ภาพที่ 10 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 2 ของโรงงานตัวอย่าง



ภาพที่ 11 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 3 ของโรงงานตัวอย่าง



ภาพที่ 12 แสดงแบบจำลองของระบบการผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 4 ของโรงงานตัวอย่าง

ภาพที่ 9 แสดงส่วนผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยหน่วยผลิต Low Volt, หน่วยผลิต Cut และหน่วยผลิต Steel Checking โดยคำสั่งผลิตจะถูกส่งออกมาจาก Create Block ซึ่งกำหนดให้สร้าง Entity ซึ่งใช้เป็นตัวแทนชิ้นงานผลิตจริง ให้ออกมาทุกๆ 40 นาทีตามรอบเวลาการผลิตของโรงงานต่อมาผ่าน Assign Block เพื่อส่งให้ Entity มีการเก็บค่าทางสถิติต่างๆ จากนั้นจะผ่าน Separate Block เพื่อส่ง Entity เข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตทั้ง 3 หน่วย โดยเวลาที่ใช้ใน Process Block จะนำมาจากตารางที่ 1

ภาพที่ 10 แสดงแบบจำลองส่วนผลิตหม้อแปลงส่วนถัดมาโดย Entity ซึ่งเป็นตัวแทนชิ้นงานจะถูกให้คอยรอประกอบโดยคำสั่ง Match Block จากนั้นจะถูก Batch Block ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 คีอ รอ Entity จนครบ 2 ตัวแล้วถึงส่งต่อไป เหมือนในการผลิตจริงที่ต้องรอชิ้นงานประกอบถึงจะถูกผลิตพร้อมกัน หลังจากชิ้นงานผ่านเข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตทั้ง 4 หน่วยคือ หน่วยผลิต Kraft Coil, High Volt, High Volt Prepare และ Stacking โดยเวลาที่ใช้ใน Process Block จะนำมาจากตารางที่ 1 หลังจากนั้นชิ้นงานต้องเข้าสู่ Match Block อีกครั้งเพื่อรอประกอบพร้อมกันในหน่วยผลิต Assembly

ภาพที่ 11 แสดงส่วนผลิตหม้อแปลงส่วนถัดมาโดย Entity ซึ่งเป็นตัวแทนชิ้นงานจะถูกให้ผ่าน Batch Block ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 เพื่อให้ชิ้นงานที่รอคอยประกอบนั้นถูกผลิตพร้อมกัน หลังจากนั้นชิ้นงานผ่านเข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Assembly และผ่านเข้าสู่ Batch Block อีกครั้งซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 ตามข้อมูลจริงที่โรงงานใช้บดไส้หม้อแปลง จากนั้นจึงเข้าสู่ Decide Block โดยออกแบบให้มีเงื่อนไขตรวจสอบว่าเตาอบว่างหรือไม่ ถ้าว่างถึงจะส่ง Entity เข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Oven

ภาพที่ 12 แสดงส่วนผลิตหม้อแปลงส่วนที่ 4 โดย Entity ซึ่งเป็นตัวแทนชิ้นงานจะถูกให้ผ่าน Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Tanking และเข้าสู่ Decide Block โดยออกแบบให้มีเงื่อนไขตรวจสอบว่าหน่วยผลิตว่างหรือไม่ ถ้าว่างถึงจะส่ง Entity เข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Oil Filling หลังจากชิ้นงานผ่าน Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Oil Setting และ Testing และเข้าสู่ Decide Block ที่กำหนดให้มี Entity เพียง 95% ที่ผ่านไปได้และแยกชิ้นงานที่เสียออก 5% ไปเก็บค่าทางสถิติไว้ ก่อนที่จะเข้าสู่ Process Block ซึ่งเป็นตัวแทนหน่วยผลิตคือ หน่วยผลิต Finishing ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

4. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีสองส่วน คือ การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) และการทดสอบความถูกต้อง (Validation)

4.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification)

ในการสร้างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างได้มีการศึกษาลักษณะการดำเนินงานของระบบการผลิตจริงในกระบวนการผลิตต่างๆอย่างละเอียด และสร้างแบบจำลองระบบการผลิตให้สอดคล้องกับระบบการผลิตจริงทุกประการ ซึ่งได้มีการตรวจสอบการทำงานของขั้นตอนต่างๆให้เป็นไปตามลำดับขั้นตอนการผลิตของระบบการผลิตจริง

ตัวอย่างที่แสดงถึงการพิสูจน์ยืนยันเช่น การตรวจสอบจำนวนของชิ้นงานที่รอคอยก่อนเข้าเตาอบ ทำการพิสูจน์ยืนยันโดยใส่ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตจากตารางที่ 1 ใน Process Block แต่ละตัวสำหรับหน่วยผลิต Low Volt, Cut, Steel Checking, Kraft Coil, High Volt, High Volt Prepare, Stacking และหน่วยผลิต Assembly เป็นค่าคงที่ ทำการรันโปรแกรม Arena พบว่าชิ้นงานจะถูกผลิตออกมา 12 ตัวเสมอ ซึ่งตรงกับข้อมูลโรงงานที่กำหนดให้รอบเวลาการผลิต 40 นาทีผลิตของได้ 1 ชิ้นหรือภายใน 8 ชม. ทำงานผลิตของได้ 12 ชิ้น นอกจากนี้หากพิจารณาหน่วยผลิต Oven รวมทั้งหน่วยผลิตที่เหลือทั้งหมดก็สามารถตรวจสอบได้สอดคล้องเช่นเดียวกัน รวมทั้งหน่วยผลิต Testing ที่มีของเสียเกิดขึ้น ก็สามารถตรวจสอบได้ว่ามีของเสียเกิดขึ้น 5% ตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรม Arena

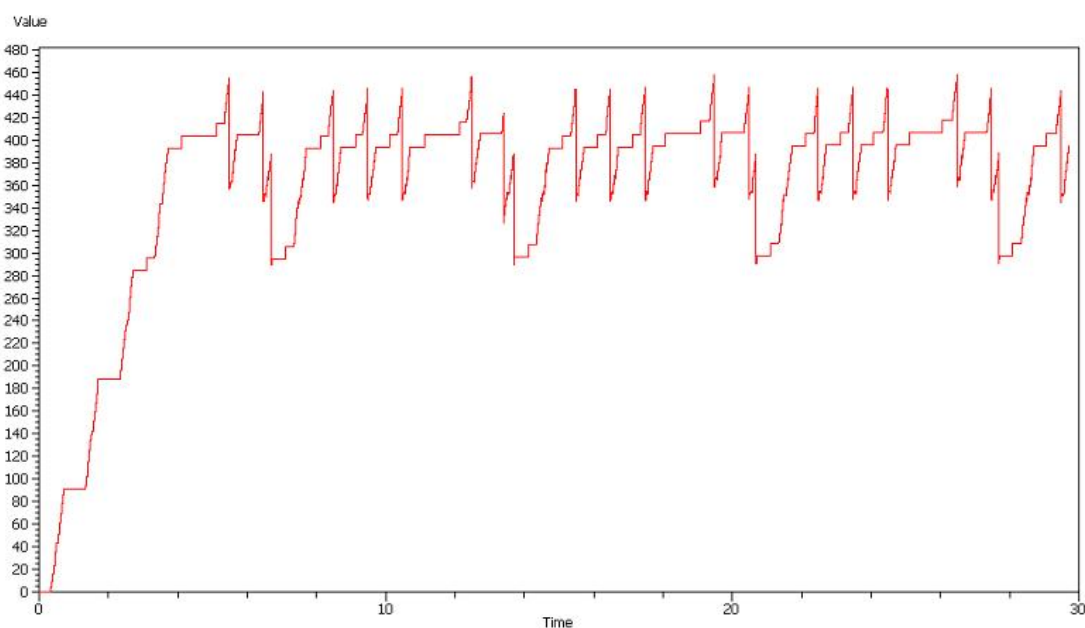
4.2 การทดสอบความถูกต้อง (Validation)

โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือแบบ Terminating และแบบ Non-Terminating ซึ่งแต่ละระบบจะมีวิธีการนำไปใช้งานต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณากระบวนการผลิตที่ศึกษาก่อนว่าเป็นแบบใด เพื่อให้การนำแบบจำลองไปใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์มากที่สุด

แบบจำลองแบบ Terminating เป็นระบบที่มีจุดเริ่มต้น และจบการทำงานในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนด และเมื่อจบสิ้นการทำงานในแต่ละช่วงเวลานั้นผลของช่วงเวลานั้นจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาถัดไป

แบบจำลองแบบ Non-Terminating เป็นระบบที่ผลของการทำงานในช่วงเวลาก่อนหน้านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาถัดมาสำหรับการศึกษาระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างเป็นลักษณะของ Non-Terminating ซึ่งมีการป้อนชิ้นงานเข้าสู่สายการผลิตอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ และมีการผลิตชิ้นงานออกจากระบบเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ชิ้นงานในระบบการผลิตมีการผลิตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อมีชิ้นงานรอคอยค้างในระบบการผลิตจะได้รับช่วงต่อการผลิตในกะการทำงานต่อไป

สำหรับแบบจำลองลักษณะ Non-Terminating จะต้องทำการทดลอง Run แบบจำลองเพื่อกำหนดระยะเวลา Warm Up Period ให้แบบจำลองมีความถูกต้องเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) และสามารถนำผลการศึกษาแบบจำลองไปศึกษาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง โดยการกำหนดช่วงระยะเวลาในการ Warm Up จะกำหนดโดยการเก็บค่าวัดปริมาณงานระหว่างผลิตและนำมา Plot เทียบกับระยะเวลาที่ Run แบบจำลองแสดงดังภาพ



ภาพที่ 13 กราฟแสดงปริมาณงานระหว่างผลิตที่เข้าสู่สภาวะคงตัว

จากภาพที่ 13 เมื่อวิเคราะห์จากค่าของปริมาณงานระหว่างผลิตที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) ที่เวลา 5 วัน จึงนำมากำหนด Warm Up Period สำหรับแบบจำลองระบบการผลิตนี้เท่ากับ 5 วัน

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับระบบการผลิตจริง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ใช้การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีตของระบบการผลิตจริง โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนผลผลิตจากระบบจริงที่ได้ในสายการผลิตในตารางที่ 4 กับจำนวนผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองในตารางที่ 5 โดยพิจารณาจากผลผลิตต่อสัปดาห์ของชิ้นงานที่ออกจากการผลิตจากหน่วยผลิต Finishing เพื่อดูจำนวนการผลิตจริงของการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

ตารางที่ 4 สรุปจำนวนการผลิตจริงของการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

สัปดาห์ที่	จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จริง (ชิ้น)
1	69
2	68
3	67
4	70
5	69
6	67
7	68
8	70
9	70
10	67
11	67
12	69

ตารางที่ 5 สรุปจำนวนการผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

รอบการจำลองครั้งที่	จำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จากแบบจำลอง (ชิ้น)
1	68.41
2	68.76
3	68.50
4	68.74
5	68.37
6	68.32
7	68.60
8	68.39
9	68.46
10	68.46
11	68.55
12	68.62

หลังจากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อสรุปผลความแตกต่างของระบบการผลิตจริงและแบบจำลอง โดยทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ย จากการทดสอบค่า P-value เมื่อพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของหม้อแปลงที่ผลิตได้จริงกับจำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จากแบบจำลองมี P-value เท่ากับ 0.79 มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าจำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จริงกับจำนวนหม้อแปลงที่ผลิตได้จากแบบจำลองไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างระบบการผลิตจริง และระบบการผลิตของแบบจำลอง

ตารางที่ 6 สรุปข้อมูลเวลารอคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

หน่วยผลิต	เวลารอคอย	เวลารอคอย	เวลารอคอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	เฉลี่ย (นาทีก)	น้อยสุด (นาทีก)	มากที่สุด (นาทีก)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Low Volt-11	77.4832	0.00	2340.00	64.46	90.50
Low Volt-12	70.2981	0.00	2340.00	66.63	73.97
Low Volt-21	76.2867	0.00	2340.00	59.68	92.90
Low Volt-22	71.2520	0.00	2340.00	63.21	79.29
Kraft Coil	68.6275	0.00	2340.00	63.81	73.45
High Volt-11	82.4643	0.00	2340.00	70.98	93.94
High Volt-12	91.0279	0.00	2340.90	83.68	98.38
High Volt-21	75.0054	0.00	2340.00	68.99	81.03
High Volt-22	86.8691	0.00	2340.00	78.28	95.46
High Volt-23	74.0003	0.00	2340.00	71.57	76.43
High Volt Prepare-1	66.8169	0.00	2340.00	56.43	77.21
High Volt Prepare-2	64.4998	0.00	2340.00	54.22	74.78
Cut-1	99.74	0.00	2340.00	98.75	100.73
Cut-2	102.83	0.00	2344.50	99.68	105.98
Steel Checking	70.2129	0.00	2340.00	50.41	90.01
Stacking-1	69.1016	0.00	2340.00	53.40	84.80
Stacking-2	91.6186	0.00	2342.02	87.68	95.56
Stacking-3	93.1093	0.00	2343.64	90.58	95.64
Assembly-1	69.0660	0.00	2340.00	63.62	74.52
Assembly-2	69.8509	0.00	2340.00	55.64	84.06
Assembly-3	70.3796	0.00	2341.65	54.18	86.58
Oven-1	877.32	0.00	2847.83	799.70	954.94
Oven-2	877.32	0.00	2847.83	799.70	954.94
Tanking	929.28	299.69	2285.31	897.71	960.85
Oil Filling	198.86	0.00	2416.27	193.15	204.57
Oil Setting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หน่วยผลิต	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	เฉลี่ย (นาทีก)	น้อยสุด (นาทีก)	มากที่สุด (นาทีก)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Testing	720.81	358.96	2124.72	718.61	723.01
Finishing	9.0966	0	76.77	8.99	9.21

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลเวลารอกอยผลิตจากแบบจำลองซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าหน่วยผลิตที่มีค่าเวลารอกอยเฉลี่ยสูงคือหน่วยผลิต Oven, Tanking, Oil Filling และ Testing นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าหน่วยผลิต Oil Setting ไม่มีเวลารอกอยเนื่องจากลักษณะงานของหน่วยนี้คือการปล่อยในน้ำมันคงตัว และใช้แค่พื้นที่ในโรงงานในการวางชิ้นงานเท่านั้น

ตารางที่ 7 สรุปข้อมูลงานรอกอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

หน่วยผลิต	จำนวนงาน	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	รอกอยเฉลี่ย (ชิ้น)	น้อยสุด (ชิ้น)	มากที่สุด (ชิ้น)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Low Volt-11	0	0	0	0	0
Low Volt-12	0	0	0	0	0
Low Volt-21	0	0	0	0	0
Low Volt-22	0	0	0	0	0
Kraft Coil	0	0	0	0	0
High Volt-11	0	0	1	0	0
High Volt-12	0	0	1	0	0
High Volt-21	0	0	0	0	0
High Volt-22	0	0	1	0	0
High Volt-23	0	0	0	0	0
High Volt Prepare-1	0	0	0	0	0
High Volt Prepare-2	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หน่วยผลิต	จำนวนงาน	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	รอกอยเฉลี่ย (ชิ้น)	น้อยสุด (ชิ้น)	มากที่สุด (ชิ้น)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Cut-1	0	0	0	0	0
Cut-2	0.02	0	1	0	0.04
Steel Checking	0	0	0	0	0
Stacking-1	0	0	0	0	0
Stacking-2	0	0	1	0	0.01
Stacking-3	0.01	0	1	0	0.02
Assembly-1	0	0	0	0	0
Assembly-2	0	0	1	0	0
Assembly-3	0	0	1	0	0
Oven-1	6.28	0	12	5.72	6.84
Oven-2	6.28	0	12	5.72	6.84
Tanking	6.53	0	24	6.3	6.76
Oil Filling	0.8	0	6	0.76	0.84
Oil Setting	0	0	0	0	0
Testing	5.1	0	15	5.08	5.12
Finishing	0.03	0	4	0.03	0.03

จากตารางที่ 7 แสดงข้อมูลงานรอกอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี งานรอกอยที่แสดงในตารางที่ 7 นั้นจะคือจำนวนงานที่อยู่ในแถวคอย ไม่นับรวมงานที่อยู่ระหว่างการผลิต (Work in Process) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมข้อมูลของงานรอกอยในบางหน่วยผลิตจึงมีค่าเป็น 0 เพราะเมื่องานมาถึงหน่วยผลิตก็จะเกิดการผลิตทันที โดยไม่ต้องเข้าสู่แถวคอย นอกจากนี้พบว่าหน่วยผลิตที่มีงานรอกอยเฉลี่ยสูงคือหน่วยผลิต Oven, Tanking, Oil Filling และ Testing

ตารางที่ 8 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมด

หน่วยผลิต	ประสิทธิภาพ
Low Volt-11	0.72
Low Volt-12	0.70
Low Volt-21	0.72
Low Volt-22	0.70
Kraft Coil	0.72
High Volt-11	0.85
High Volt-12	0.89
High Volt-21	0.76
High Volt-22	0.85
High Volt-23	0.73
High Volt Prepare-1	0.64
High Volt Prepare-2	0.68
Cut-1	0.99
Cut-2	0.99
Steel Checking	0.65
Stacking-1	0.62
Stacking-2	0.91
Stacking-3	0.93
Assembly-1	0.70
Assembly-2	0.67
Assembly-3	0.71
Oven-1	0.67
Oven-2	0.67
Tanking	0.64
Oil Filling	0.87
Oil Setting	0.05
Testing	0.62
Finishing	0.62

จากตารางที่ 8 ข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี เมื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งระบบจะมีค่า

เท่ากับ 0.74 ซึ่งหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงคือ หน่วยผลิต High Volt-11, High Volt-12, High Volt-22, Cut-1, Cut-2, Stacking-2, Stacking-3 และหน่วยผลิต Oil Filling

หลังจากที่สามารถจำลองกระบวนการผลิตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ขึ้นต่อไปคือทำการทดลอง โดยมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ทำการวิเคราะห์จุด Bottleneck

พิจารณาจุดที่มีการรอกอยมาก เพื่อที่จะหาสาเหตุของการรอกอย โดยสาเหตุหลักของการรอกอยมี 2 แบบคือ

รอกอยเนื่องจากการผลิตแบบ batch size ซึ่งถ้ายังไม่เต็มขนาดรุ่นที่กำหนดจะถือเป็นการรอกอยที่ยอมรับได้เช่น หน่วยผลิต Oven ที่ต้องรอกอยชิ้นงานให้ครบ 12 ชิ้นก่อนอบให้หม้อแปลง

รอกอยเนื่องจากหน่วยผลิตไม่สามารถผลิตได้ทัน ซึ่งจุดนี้จะทำการพิจารณาเลือกทางแก้ไข 2 แบบคือเพิ่มชั่วโมงทำงานของหน่วยผลิต หรือเพิ่มแรงงานและเครื่องจักรที่หน่วยผลิต

2. ออกแบบการทดลอง

ทำการออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิต และเวลา Throughput ตัวแปรที่พิจารณานั้นมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 9 สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลอง

ตัวแปร	คำอธิบาย
A	เพิ่มจำนวนชม.หรือเพิ่มแรงงานและเครื่องจักรการทำงานของจุดที่มีการรอกอยจุดที่ 1
B	เพิ่มจำนวนชม.หรือเพิ่มแรงงานและเครื่องจักรการทำงานของจุดที่มีการรอกอยจุดที่ 2
C	เพิ่มจำนวนชม.หรือเพิ่มแรงงานและเครื่องจักรการทำงานของจุดที่มีการรอกอยจุดที่ 3
D	การปรับระบบการผลิตเพื่อให้ได้ batch size ก่อนเข้าเตาอบ
E	เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ผ่านการ Testing

จากตารางที่ 9 แสดงข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลองซึ่งตัวแปร A, B และ C จะถูกกำหนดให้กับจุด Bottleneck และตัวแปร D จะถูกกำหนดให้สำหรับการปรับระบบการผลิต เพื่อให้ได้ batch size ก่อนเข้าเตาอบ ส่วนตัวแปร E กำหนดให้เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ผ่านการ Testing ทำการวิเคราะห์จุด Bottleneck พบว่าจุดที่เกิดการรอคอยเกิดขึ้นที่ 3 จุดคือ

1. สถานีงาน Tanking ที่จุดนี้พบว่าการจำนวนชิ้นงานที่รอผลิตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.53 ชิ้น และมีค่าเวลารอคอยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 929.28 นาที เนื่องจากจุดนี้ไม่ได้ใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิต ใช้เพียงแรงงานและอุปกรณ์บางอย่างเท่านั้น ทำให้เป็นจุดที่ง่ายต่อการเพิ่มกำลังการผลิต เพื่อลดปัญหาการรอคอย จึงเสนอให้กำหนดเป็นตัวแปร A ที่มีระดับในการทดลอง 3 ระดับคือ

1. ระดับต่ำ จะไม่ทำการเพิ่มแรงงานที่จุดนี้
2. ระดับปานกลาง จะทำการเพิ่มแรงงาน 1 คนเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต
3. ระดับสูง จะทำการเพิ่มแรงงาน 2 คนเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต

2. สถานีงาน Oil Filling ที่จุดนี้พบว่าการจำนวนชิ้นงานที่รอผลิตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.8 ชิ้น และมีค่าเวลารอคอยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 198.86 นาที เนื่องจากจุดนี้ใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิต การเพิ่มเครื่องจักรไม่สามารถทำได้เพราะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ดังนั้นการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อลดปัญหาการรอคอย จึงเสนอให้เพิ่มชั่วโมงการทำงาน โดยกำหนดเป็นตัวแปร B ที่มีระดับในการทดลอง 3 ระดับคือ

1. ระดับต่ำ จะไม่มีการเพิ่มชั่วโมงการทำงานที่จุดนี้
2. ระดับปานกลาง จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทำงาน 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ 18.00น.ถึง 21.00น.
3. ระดับสูง จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทำงาน 6 ชั่วโมง ตั้งแต่ 18.00น.ถึง 24.00น.

3. สถานีงาน Testing ที่จุดนี้พบว่าการจำนวนชิ้นงานที่รอผลิตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.1 ชิ้น และมีค่าเวลารอคอยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 720.81 นาที เนื่องจากจุดนี้ใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิต รวมถึงต้องสร้างห้องทดสอบโดยเฉพาะ การเพิ่มเครื่องจักรไม่สามารถทำได้เพราะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ดังนั้นการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อลดปัญหาการรอคอย จึงเสนอให้เพิ่มชั่วโมงการทำงาน โดยกำหนดเป็นตัวแปร C ที่มีระดับในการทดลอง 3 ระดับคือ

1. ระดับต่ำ จะไม่มีการเพิ่มชั่วโมงการทำงานที่จุดนี้
2. ระดับปานกลาง จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทำงาน 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ 18.00น.ถึง 21.00น.
3. ระดับสูง จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทำงาน 6 ชั่วโมง ตั้งแต่ 18.00น.ถึง 24.00น.

ตารางที่ 10 สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 3 ระดับ

ตัวแปร	ระดับต่ำ	ระดับปานกลาง	ระดับสูง
A	ไม่เพิ่มแรงงาน	เพิ่ม 1คน	เพิ่ม 2คน
B	ไม่เพิ่มชม.ทำงาน	เพิ่ม 3ชม.	เพิ่ม 6ชม.
C	ไม่เพิ่มชม.ทำงาน	เพิ่ม 3ชม.	เพิ่ม 6ชม.

นอกจากตัวแปรข้างต้นทั้ง 3ตัว ยังมีตัวแปรที่นำมาพิจารณาอีก 2 ตัวคือ

1. ขนาดของ batch size ก่อนเข้าเตาอบ โดยปกติส่วนของการผลิตหม้อแปลงก่อนนำเข้าเตาอบนั้นจะทำการผลิตเพื่ออบไส้หม้อแปลงพร้อมกันครั้งละ 12 ตัว ซึ่งจากการศึกษากระบวนการผลิตแล้วพบว่า เตาอบสามารถรองรับการอบไส้หม้อแปลงได้สูงสุด 16 ตัว ดังนั้นจึงเสนอแนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิตหม้อแปลงโดยให้เพิ่มขนาดของ batch size ก่อนเข้าเตาอบจากเดิม 12 ตัว เป็น 16 ตัว

แนวทางในการเพิ่มกำลังการผลิตนั้น ไม่ใช่เพียงการปรับขนาดของ batch size เท่านั้นแต่จะทำการออกแบบระบบการผลิตหม้อแปลงก่อนนำเข้าเตาอบใหม่ โดยการลดรอบเวลาการผลิตโดยเฉลี่ยลงจากเดิมที่ผลิต 12 ตัวต่อวันหรือรอบเวลาผลิตโดยเฉลี่ย 40 นาทีต่อ 1 ตัว เป็น 16 ตัวต่อวันหรือรอบเวลาผลิตโดยเฉลี่ย 30 นาทีต่อ 1 ตัว

ทำการพิจารณาหน่วยผลิตที่มีเวลาในการผลิตเกิน 30 นาที ซึ่งมีดังนี้

หน่วยผลิต High Volt-1 ทำการศึกษางานเพื่อที่จะแบ่งงานย่อยออกเป็นส่วนๆไม่ให้เกิน 30 นาที ได้ดังนี้

ตารางที่ 11 ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต High Volt-1 หลังแบ่งงานย่อย

กระบวนการผลิต	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิต	ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต	p-value
High Volt-11	24.7	$23 + 3.84 * \text{BETA}(1.07, 1.37)$	0.468
High Volt-12	20.1	UNIF(18, 22.6)	0.38
High Volt-13	24.8	$23 + 3.37 * \text{BETA}(0.875, 0.901)$	> 0.75

หลังจากแบ่งงานย่อยใหม่แล้วพบว่าจำเป็นต้องเพิ่มเครื่องจักร High Volt อีก 1 เครื่องซึ่งโรงงานไม่จำเป็นต้องจัดซื้อเพิ่มเนื่องจากมีเหลือใช้งานอยู่แล้ว 2 เครื่อง รวมเครื่องจักรที่ใช้งานในหน่วยนี้ทั้งหมด 3 เครื่อง

หน่วยผลิต High Volt-2 ทำการศึกษางานเพื่อที่จะแบ่งงานย่อยออกเป็นส่วนๆไม่ให้เกิน 30 นาที ได้ดังนี้

ตารางที่ 12 ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต High Volt-2 หลังแบ่งงานย่อย

กระบวนการผลิต	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิต	ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต	p-value
High Volt-22	20.8	$19 + 3 * \text{BETA}(1.65, 1.16)$	0.381
High Volt-23	24.3	UNIF(23.2, 25.3)	> 0.75
High Volt-24	22.8	$21.4 + 3 * \text{BETA}(1.38, 1.56)$	0.437

หลังจากแบ่งงานย่อยใหม่แล้วพบว่าจำเป็นต้องเพิ่มเครื่องจักร High Volt อีก 1 เครื่องซึ่งโรงงานไม่จำเป็นต้องจัดซื้อเพิ่มเนื่องจากมีเหลือใช้งานอยู่แล้ว 2 เครื่อง รวมเครื่องจักรที่ใช้งานในหน่วยนี้ทั้งหมด 4 เครื่อง

หน่วยผลิต Stacking ทำการศึกษางานเพื่อที่จะแบ่งงานย่อยออกเป็นส่วนๆไม่ให้เกิน 30 นาที ได้ดังนี้

ตารางที่ 13 ข้อมูลเวลาผลิตของกระบวนการผลิต Stacking หลังแบ่งงานย่อย

กระบวนการผลิต	ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิต	ลักษณะการแจกแจงของเวลาการผลิต	p-value
Stacking-1	24.7	$22 + 6 * \text{BETA}(0.773, 0.924)$	0.332
Stacking-2	24.9	$23.6 + 2.42 * \text{BETA}(1.09, 0.874)$	0.203
Stacking-3	23.4	$21 + 4.95 * \text{BETA}(0.72, 0.743)$	0.695
Stacking-4	25.9	TRIA(25.1, 25.9, 26.9)	0.317

หลังจากแบ่งงานย่อยใหม่แล้วพบว่าจำเป็นต้องเพิ่มแรงงานสำหรับ Stacking อีก 1 คน รวมแรงงานที่ใช้งานในหน่วยนี้ทั้งหมด 4 คน

หน่วยผลิต Cut-1 และ Cut-2 หลังทำการศึกษางานพบว่าไม่สามารถที่จะแบ่งงานในหน่วยผลิตนี้ออกเป็นงานย่อยเพื่อลดรอบเวลาการผลิตโดยเฉลี่ยได้ ดังนั้นจึงเสนอให้เพิ่มชั่วโมงทำงานโดยปกติจะผลิตเฉลี่ย 12 ตัวต่อวันใช้เวลาเฉลี่ย 480 นาที ถ้าต้องการ 16 ตัวต่อวันจึงต้องใช้เวลาเพิ่มอีก 160 นาทีหรือ 2 ชั่วโมง 40 นาที

2. เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ผ่านจากหน่วย Testing จากการศึกษาและขอข้อมูลจากหน่วยวางแผนการผลิตของโรงงาน พบว่าทางโรงงานมีแนวคิดจะนำหลักการ 5 ส.มาใช้ในโรงงานเพื่อควบคุมเรื่องความสะอาด เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาเรื่องความสะอาดส่งผลกระทบต่อการผลิตหม้อแปลง เช่น ปัญหาเรื่องฝุ่นหรือคราบน้ำมัน ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทางฝ่ายวิศวกรรมวิเคราะห์แล้วว่ามีส่วนทำให้หม้อแปลงเสีย โดยระดับของเสียในปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 5% หลังจากการนำหลักการ 5 ส.มาใช้ในโรงงานคาดว่าจะระดับของเสียจะลดลงอยู่ที่ 3%

ตารางที่ 14 สรุปข้อมูลตัวแปรสำหรับการออกแบบการทดลองแบบ 2 ระดับ

ตัวแปร	ระดับต่ำ	ระดับสูง
D	batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12	batch size ก่อนเข้าเตาอบ 16
E	% ของเสียเท่าเดิม (5%)	%ของเสียลดลง (3%)

ทำการออกแบบการทดลองตามข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์และทำการวิเคราะห์
ความแปรปรวน

ตารางที่ 15 เครื่องหมายบวกและลบสำหรับการทดลอง

ครั้งที่	A	B	C	D	E
1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	-1	1	1
5	-1	-1	0	-1	-1
6	-1	-1	0	-1	1
7	-1	-1	0	1	-1
8	-1	-1	0	1	1
9	-1	-1	1	-1	-1
10	-1	-1	1	-1	1
11	-1	-1	1	1	-1
12	-1	-1	1	1	1
13	-1	0	-1	-1	-1
14	-1	0	-1	-1	1
15	-1	0	-1	1	-1
16	-1	0	-1	1	1
17	-1	0	0	-1	-1
18	-1	0	0	-1	1
19	-1	0	0	1	-1
20	-1	0	0	1	1
21	-1	0	1	-1	-1
22	-1	0	1	-1	1
23	-1	0	1	1	-1
24	-1	0	1	1	1
25	-1	1	-1	-1	-1
26	-1	1	-1	-1	1
27	-1	1	-1	1	-1
28	-1	1	-1	1	1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ครั้งที่	A	B	C	D	E
29	-1	1	0	-1	-1
30	-1	1	0	-1	1
31	-1	1	0	1	-1
32	-1	1	0	1	1
33	-1	1	1	-1	-1
34	-1	1	1	-1	1
35	-1	1	1	1	-1
36	-1	1	1	1	1
37	0	-1	-1	-1	-1
38	0	-1	-1	-1	1
39	0	-1	-1	1	-1
40	0	-1	-1	1	1
41	0	-1	0	-1	-1
42	0	-1	0	-1	1
43	0	-1	0	1	-1
44	0	-1	0	1	1
45	0	-1	1	-1	-1
46	0	-1	1	-1	1
47	0	-1	1	1	-1
48	0	-1	1	1	1
49	0	0	-1	-1	-1
50	0	0	-1	-1	1
51	0	0	-1	1	-1
52	0	0	-1	1	1
53	0	0	0	-1	-1
54	0	0	0	-1	1
55	0	0	0	1	-1
56	0	0	0	1	1
57	0	0	1	-1	-1
58	0	0	1	-1	1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ครั้งที่	A	B	C	D	E
59	0	0	1	1	-1
60	0	0	1	1	1
61	0	1	-1	-1	-1
62	0	1	-1	-1	1
63	0	1	-1	1	-1
64	0	1	-1	1	1
65	0	1	0	-1	-1
66	0	1	0	-1	1
67	0	1	0	1	-1
68	0	1	0	1	1
69	0	1	1	-1	-1
70	0	1	1	-1	1
71	0	1	1	1	-1
72	0	1	1	1	1
73	1	-1	-1	-1	-1
74	1	-1	-1	-1	1
75	1	-1	-1	1	-1
76	1	-1	-1	1	1
77	1	-1	0	-1	-1
78	1	-1	0	-1	1
79	1	-1	0	1	-1
80	1	-1	0	1	1
81	1	-1	1	-1	-1
82	1	-1	1	-1	1
83	1	-1	1	1	-1
84	1	-1	1	1	1
85	1	0	-1	-1	-1
86	1	0	-1	-1	1
87	1	0	-1	1	-1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ครั้งที่	A	B	C	D	E
88	1	0	-1	1	1
89	1	0	0	-1	-1
90	1	0	0	-1	1
91	1	0	0	1	-1
92	1	0	0	1	1
93	1	0	1	-1	-1
94	1	0	1	-1	1
95	1	0	1	1	-1
96	1	0	1	1	1
97	1	1	-1	-1	-1
98	1	1	-1	-1	1
99	1	1	-1	1	-1
100	1	1	-1	1	1
101	1	1	0	-1	-1
102	1	1	0	-1	1
103	1	1	0	1	-1
104	1	1	0	1	1
105	1	1	1	-1	-1
106	1	1	1	-1	1
107	1	1	1	1	-1
108	1	1	1	1	1

จากตารางที่ 15 ได้แสดงเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการทดลองซึ่งค่า -1 หมายถึง ระดับต่ำของตัวแปร, ค่า 0 หมายถึง ระดับปานกลางของตัวแปรและค่า 1 หมายถึง ระดับสูงของตัวแปร ทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ทั้งหมด 108 การทดลอง โดย แต่ละการทดลองจะรันเป็นเวลา 1 ปีรวมทั้งหมด 3 รอบเพื่อทำการเฉลี่ยค่า ซึ่งข้อมูลผลการทดลองทั้งหมดสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก

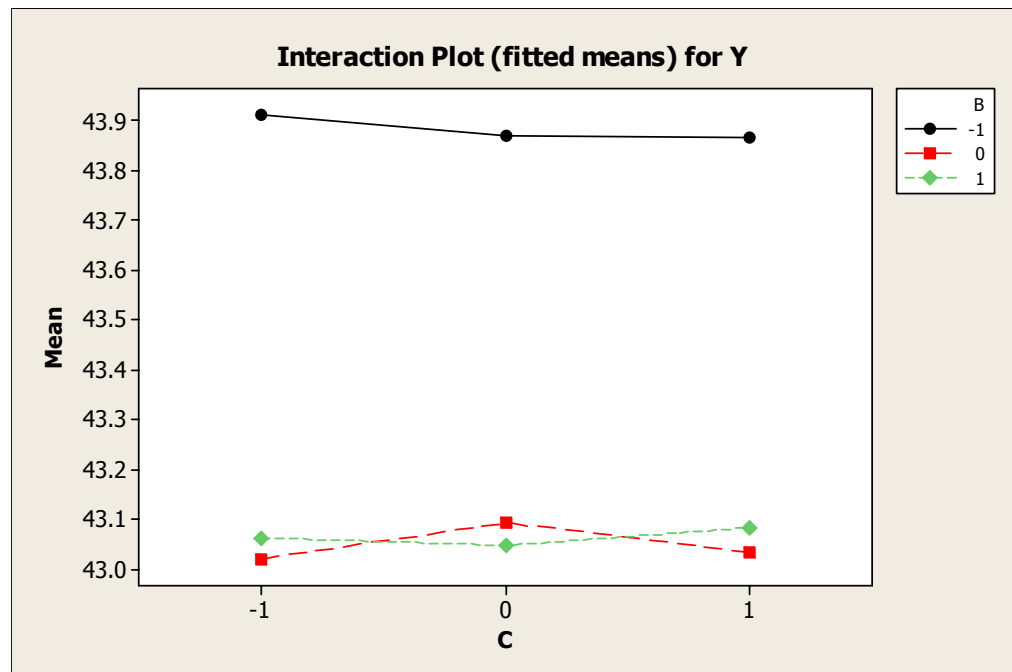
หลังจากทำการทดลองโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ขึ้นต่อไปจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตนี้ กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบอยู่ที่

0.05 โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โปรแกรม Minitab 14 ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 16

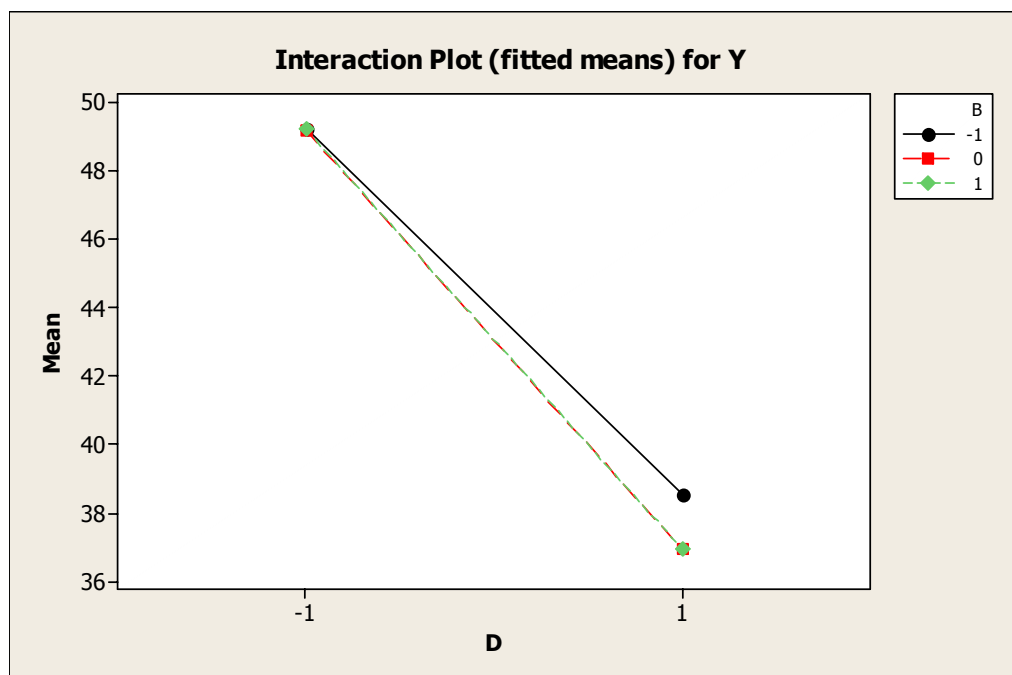
ตารางที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิต

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	14.96	0.03	0.01	1.51	0.223
B	2	71.21	41.64	20.82	2334.24	0.00
C	2	8.33	0.00	0.00	0.19	0.829
D	1	9479.97	9357.79	9357.79	1049177	0.00
E	1	50.96	51.36	51.36	5758.66	0.00
A*B	4	0.49	0.08	0.02	2.16	0.074
A*C	4	0.11	0.06	0.02	1.73	0.144
A*D	2	0.07	0.01	0.00	0.35	0.703
A*E	2	0.23	0.03	0.02	1.94	0.146
B*C	4	0.16	0.15	0.04	4.18	0.003
B*D	2	36.5	36.46	18.23	2043.9	0.00
B*E	2	0.08	0.07	0.04	4.07	0.018
C*D	2	0.04	0.03	0.02	1.85	0.16
C*E	2	0.02	0.02	0.01	0.95	0.387
D*E	1	0.69	0.69	0.69	76.82	0.00
Error	245	2.19	2.19	0.01		
Total	278	9666				

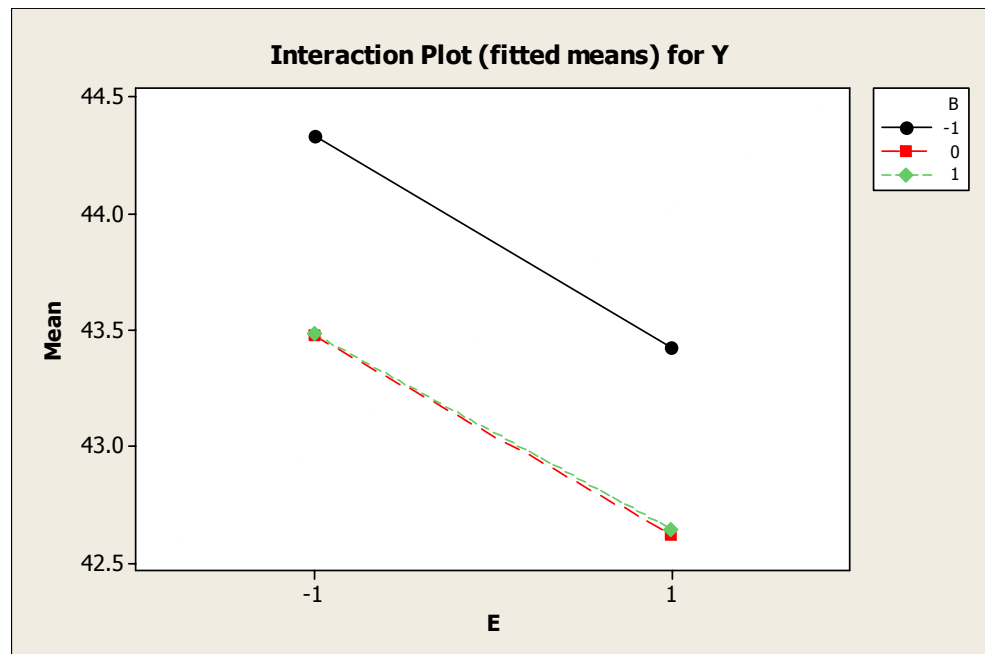
จากตารางที่ 16 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตเมื่อพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า P-value ของปัจจัยร่วม BC, BD, BE และ DE มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยร่วม BC, BD, BE และ DE มีผลต่อรอบเวลาการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ สามารถแสดงอันตรกิริยาของตัวแปรได้ในรูปที่ 14 ถึง 17



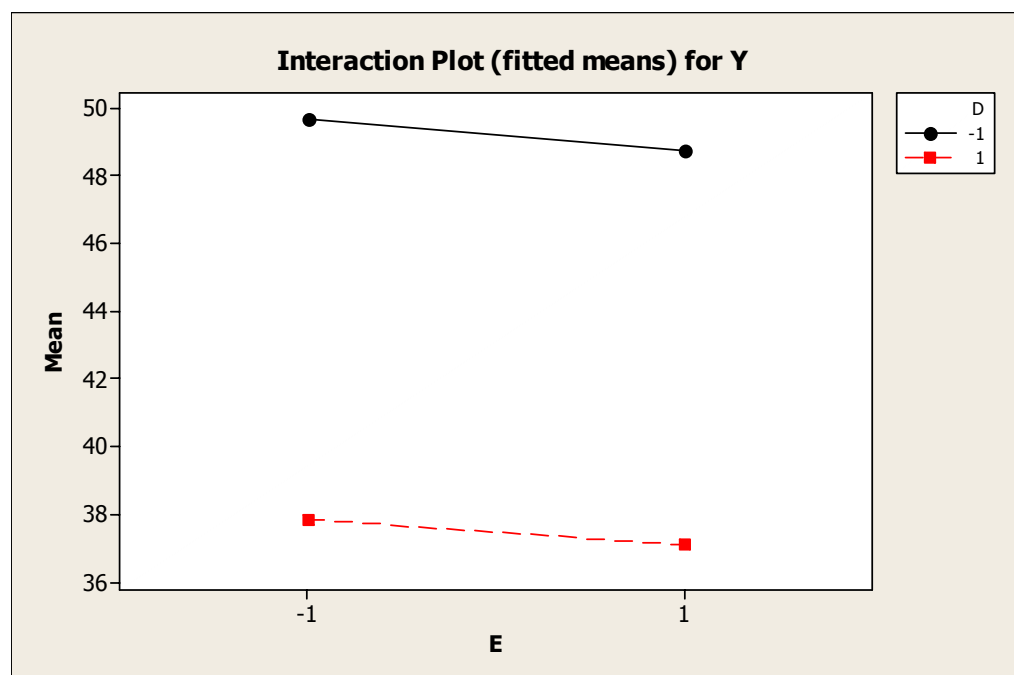
ภาพที่ 14 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ C กรณีรอบเวลาการผลิต



ภาพที่ 15 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D กรณีรอบเวลาการผลิต



ภาพที่ 16 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ E กรณีรอบเวลาการผลิต



ภาพที่ 17 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร D และ E กรณีรอบเวลาการผลิต

จากภาพที่ 14 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ C พบว่าผลของตัวแปร B จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยที่ผลของตัวแปร C แต่ละระดับส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 43.02 นาฬิกาเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร B อยู่ในระดับปานกลางและตัวแปร C อยู่ในระดับต่ำ

จากภาพที่ 15 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D พบว่าผลของตัวแปร B จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยที่ผลของตัวแปร D ในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 36.92 นาฬิกาเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร B อยู่ในระดับปานกลางและตัวแปร D อยู่ในระดับสูง

จากภาพที่ 16 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ E พบว่าผลของตัวแปร B จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยที่ผลของตัวแปร E ในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 42.62 นาฬิกาเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร B อยู่ในระดับปานกลางและตัวแปร E อยู่ในระดับสูง

จากภาพที่ 17 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร D และ E พบว่าผลของตัวแปร D จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับสูง โดยที่ผลของตัวแปร E ในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 37.07 นาฬิกาเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร D อยู่ในระดับสูงและตัวแปร E อยู่ในระดับสูงเช่นกัน

ข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 14 ถึง 17 สามารถแสดงเป็นตัวเลขได้ดังตารางที่ 17 ซึ่งจะใช้สำหรับพิจารณาเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการลดรอบเวลาการผลิตให้มากที่สุด

ตารางที่ 17 สรุประดับปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิต

ระดับปัจจัย			รอบเวลาการผลิต (นาที)
BC	-1	-1	43.91
	-1	0	43.87
	-1	1	43.87
	0	-1	43.02
	0	0	43.09
	0	1	43.03
	1	-1	43.06
	1	0	43.05
	1	1	43.08
BD	-1	-1	49.24
	-1	1	38.53
	0	-1	49.18
	0	1	36.92
	1	-1	49.2
	1	1	36.93
BE	-1	-1	44.34
	-1	1	43.42
	0	-1	43.48
	0	1	42.62
	1	-1	43.48
	1	1	42.64
DE	-1	-1	49.69
	-1	1	48.72
	1	-1	37.84
	1	1	37.07

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิต สามารถสรุปให้เห็นปัจจัยร่วมที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 มีผลต่อรอบเวลาการผลิตคือ

ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling และชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing
 ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling และการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch
 size ก่อนเข้าเตาอบ

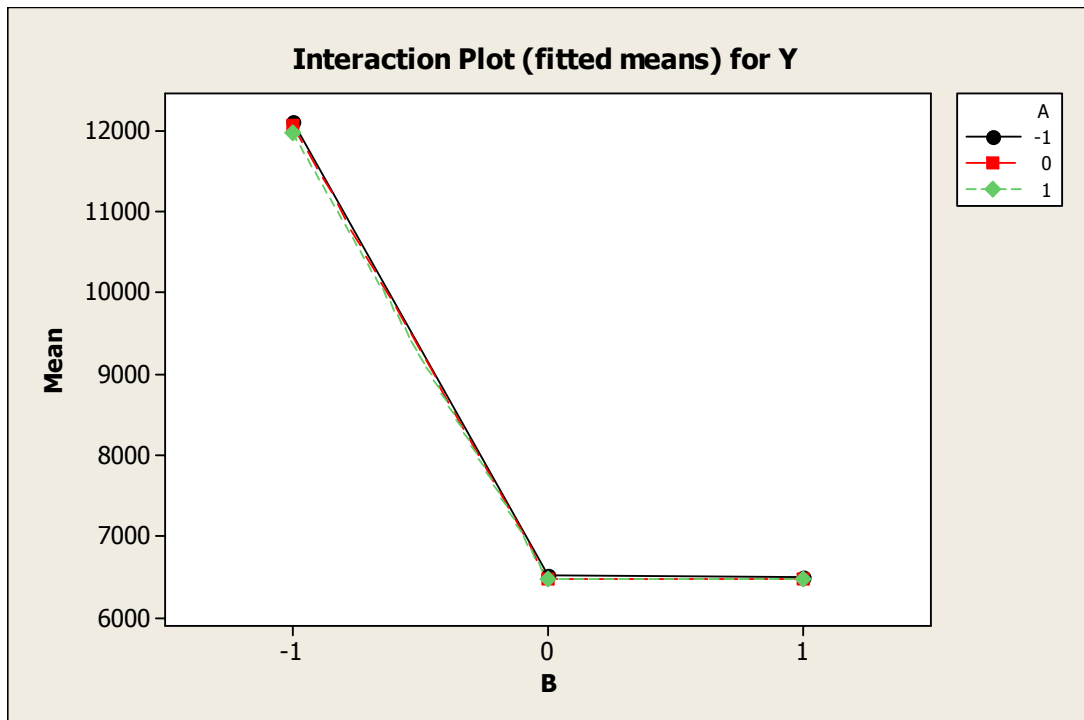
ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling และปรับลดขนาดของเสีย
 การปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบและปรับลดขนาดของเสีย

ขั้นต่อไปจะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput สาเหตุที่พิจารณาเวลา
 Throughput ด้วยนั้นเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจร่วมกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบ
 เวลาของการผลิต โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบอยู่ที่ 0.05 การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้
 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 18

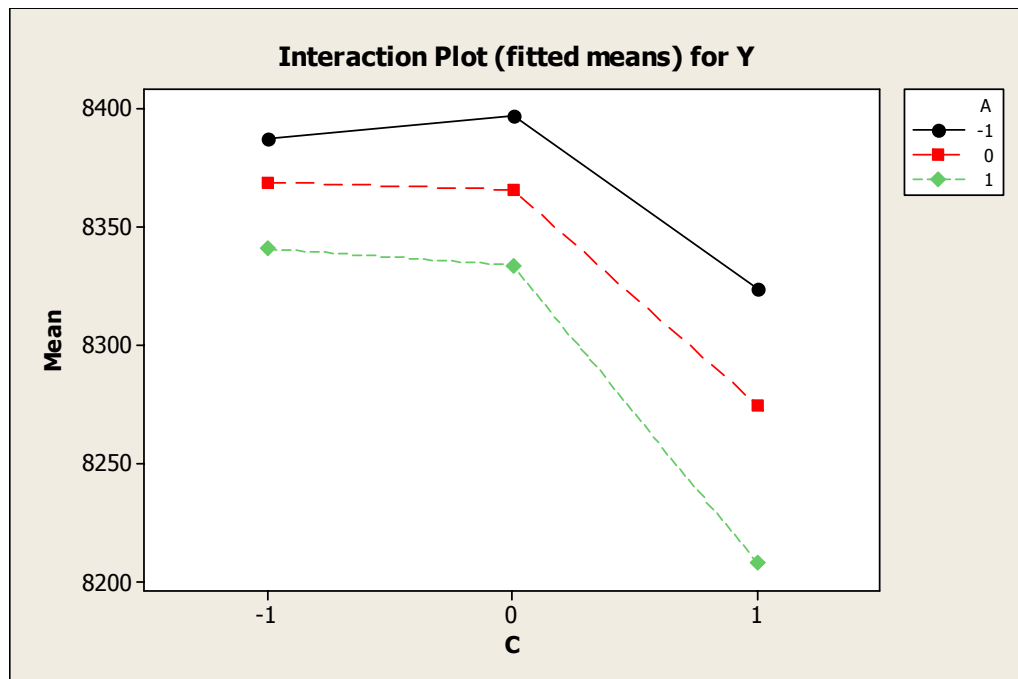
ตารางที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	3898371	174981	87490	1742.54	0.00
B	2	5.81E+08	9.85E+08	4.93E+08	9811389	0.00
C	2	5462618	368928	184464	3673.97	0.00
D	1	3.08E+08	5.47E+08	5.47E+08	10893738	0.00
E	1	3175534	878	878	17.49	0.00
A*B	4	4207362	71147	17787	354.26	0.00
A*C	4	18367066	28330	7083	141.06	0.00
A*D	2	4836760	590	295	5.88	0.003
A*E	2	1282205	1159	579	11.54	0.00
B*C	4	13030761	590	148	2.94	0.022
B*D	2	9.35E+08	9.2E+08	4.6E+08	9160066	0.00
B*E	2	228	203	102	2.02	0.135
C*D	2	48579	48529	24264	483.27	0.00
C*E	2	270	274	137	2.73	0.068
D*E	1	42	42	42	0.84	0.361
Error	170	8535	8535	50		
Total	203	1.88E+09				

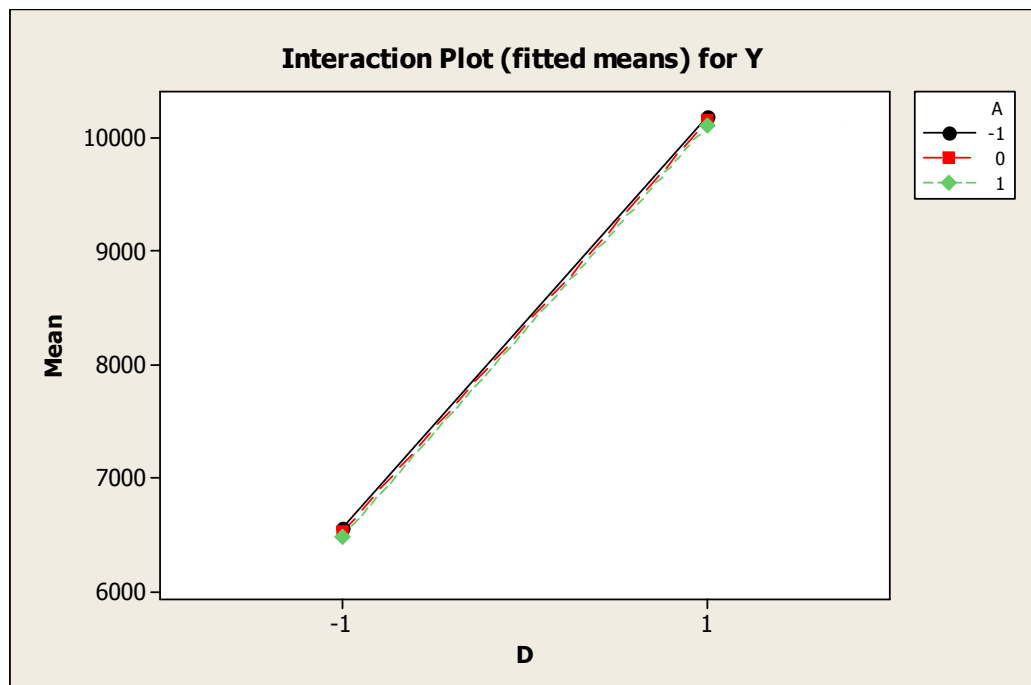
จากตารางที่ 18 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput เมื่อพิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า P-value ของปัจจัยร่วม AB, AC, AD, AE, BC, BD และ CD มีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยร่วม AB, AC, AD, AE, BC, BD และ CD มีผลต่อรอบเวลาการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ สามารถแสดงอันตรกิริยาของตัวแปรได้ในรูปที่ 18 ถึง 24



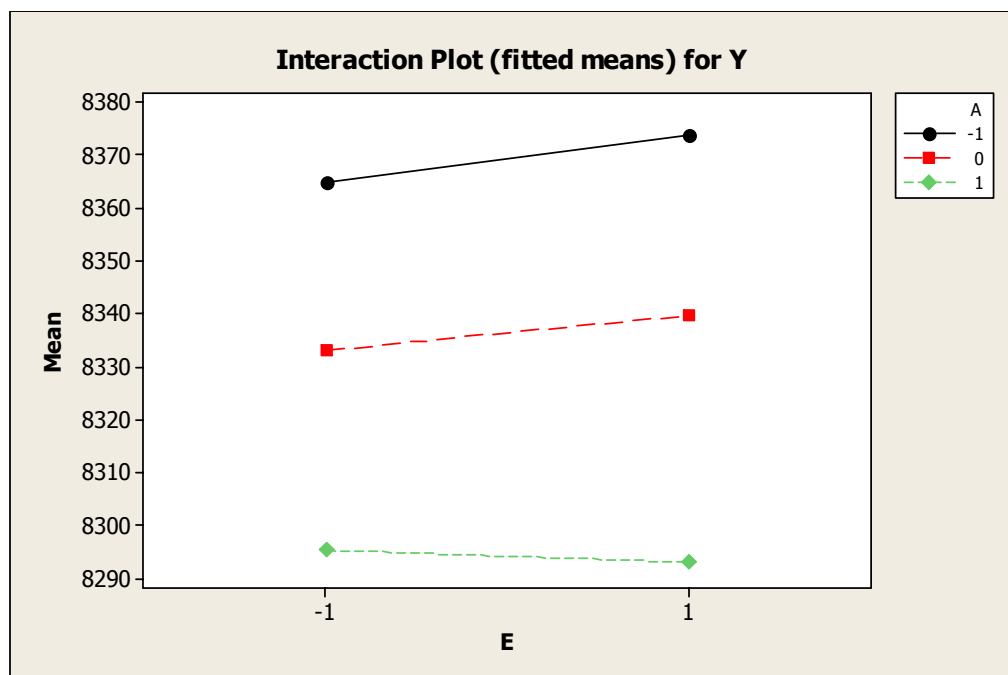
ภาพที่ 18 กราฟแสดงอันตรกิริยาของตัวแปร A และ B กรณีเวลา Throughput



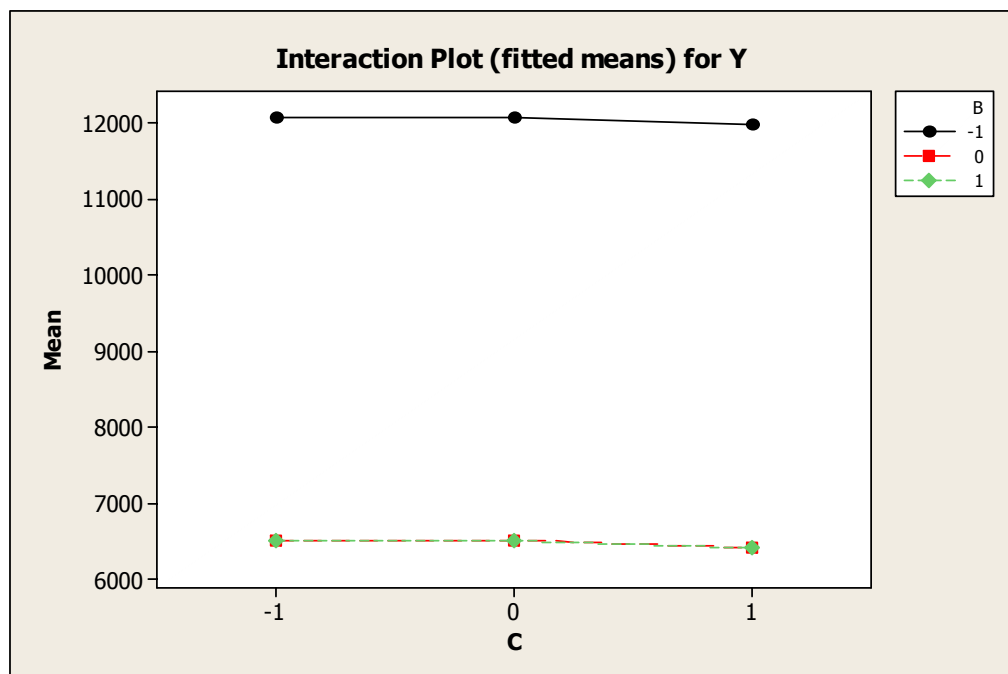
ภาพที่ 19 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ C กรณีเวลา Throughput



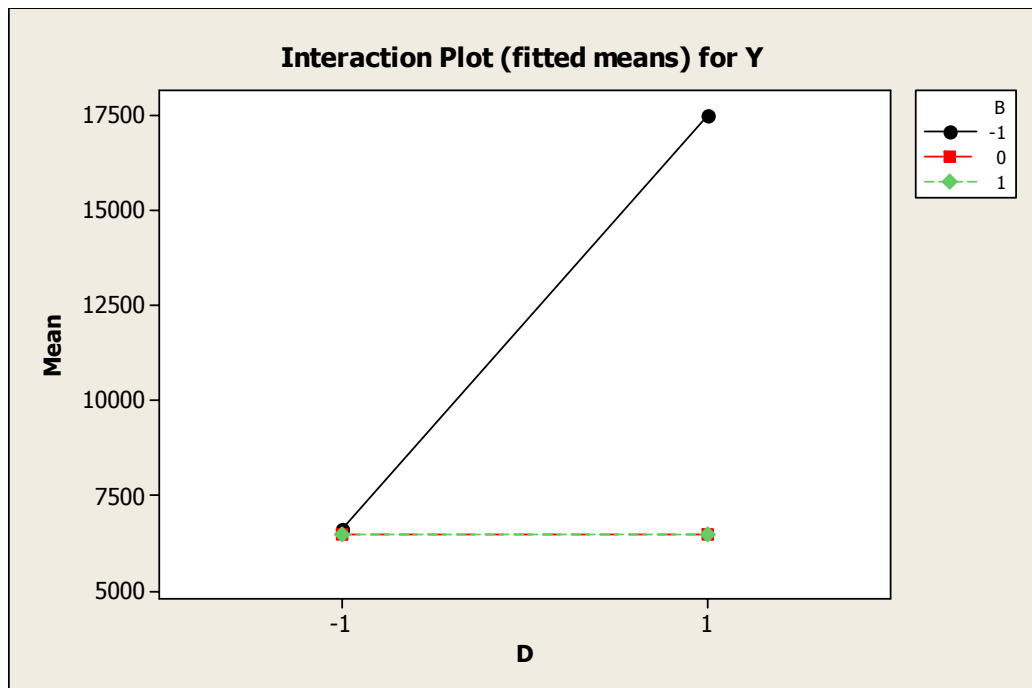
ภาพที่ 20 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ D กรณีเวลา Throughput



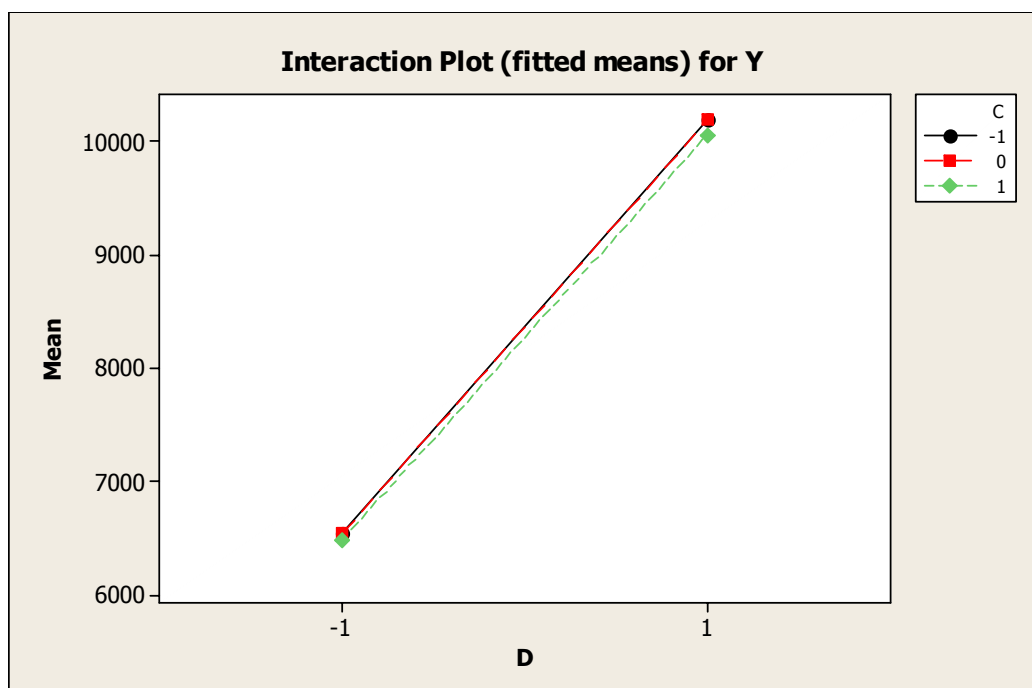
ภาพที่ 21 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร A และ E กรณีเวลา Throughput



ภาพที่ 22 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ C กรณีเวลา Throughput



ภาพที่ 23 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D กรณีเวลา Throughput



ภาพที่ 24 กราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร C และ D กรณีเวลา Throughput

จากภาพที่ 18 เป็นกราฟแสดงอันติกรียาของตัวแปร A และ B พบว่าผลของตัวแปร A แทบจะไม่มี ความแตกต่างในแต่ละระดับ โดยที่ผลของตัวแปร B ในระดับปานกลางและสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6458 นาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร A อยู่ในระดับสูงและตัวแปร B อยู่ในระดับสูง แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร A อยู่ในระดับต่ำและตัวแปร B อยู่ในระดับปานกลางมีเวลา Throughput เท่ากับ 6492 นาฬิกา ซึ่งใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 19 เป็นกราฟแสดงอันติกรียาของตัวแปร A และ C พบว่าผลของตัวแปร A จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับสูง โดยที่ผลของตัวแปร C ในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 8208 นาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร A อยู่ในระดับสูงและตัวแปร C อยู่ในระดับสูง แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร A อยู่ในระดับต่ำและตัวแปร C อยู่ในระดับสูงมีเวลา Throughput เท่ากับ 8324 นาฬิกา ถ้าทำการเปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดพบว่าแตกต่างกันเพียง 116 นาฬิกา ซึ่งไม่มากเมื่อเทียบกับเวลา Throughput

จากภาพที่ 20 เป็นกราฟแสดงอันติกรียาของตัวแปร A และ D พบว่าผลของตัวแปร A แทบจะไม่มี ความแตกต่างในแต่ละระดับ โดยที่ผลของตัวแปร D ในระดับต่ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6479 นาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร A อยู่ในระดับสูงและตัวแปร D อยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร A อยู่ในระดับต่ำและตัวแปร D อยู่ในระดับต่ำมีเวลา Throughput เท่ากับ 6554 นาฬิกา ซึ่งใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 21 เป็นกราฟแสดงอันติกรียาของตัวแปร A และ E พบว่าผลของตัวแปร A จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับสูง โดยที่ผลของตัวแปร E ในระดับสูงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 8293 นาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร A อยู่ในระดับสูงและตัวแปร E อยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร A อยู่ในระดับต่ำและตัวแปร E อยู่ในระดับสูงมีเวลา Throughput เท่ากับ 8374 นาฬิกา ถ้าทำการเปรียบเทียบกับค่าต่ำสุดพบว่าแตกต่างกันเพียง 81 นาฬิกา ซึ่งไม่มากเมื่อเทียบกับเวลา Throughput

จากภาพที่ 22 เป็นกราฟแสดงอันติกรียาของตัวแปร B และ C พบว่าผลของตัวแปร B จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยที่ผลของตัวแปร C ในแต่ละระดับมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6410 นาฬิกาจะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร B อยู่ในระดับสูงและตัวแปร C อยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร B อยู่

ในระดับปานกลางและตัวแปร C อยู่ในระดับสูงมีเวลา Throughput เท่ากับ 6413 นาที่ ซึ่งใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 23 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร B และ D พบว่าผลของตัวแปร B จะมีมากเมื่ออยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยที่ผลของตัวแปร C ในแต่ละระดับมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6470 นาที่ จะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร B อยู่ในระดับสูงและตัวแปร D อยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร B อยู่ในระดับปานกลางและตัวแปร D อยู่ในระดับสูงมีเวลา Throughput เท่ากับ 6490 นาที่ ซึ่งใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 24 เป็นกราฟแสดงอันตกริยาของตัวแปร C และ D พบว่าผลของตัวแปร C แทบจะไม่มี ความแตกต่างในแต่ละระดับ โดยที่ผลของตัวแปร D ในระดับต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเวลา Throughput ที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 6478 นาที่ จะเกิดขึ้นเมื่อตัวแปร C อยู่ในระดับสูงและตัวแปร D อยู่ในระดับต่ำ แต่เมื่อสังเกตพบว่าที่ระดับตัวแปร C อยู่ในระดับต่ำและตัวแปร D อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกันมีเวลา Throughput เท่ากับ 6538 นาที่ ซึ่งใกล้เคียงกัน

ข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 18 ถึง 24 สามารถแสดงเป็นตัวเลขได้ดังตารางที่ 19 ซึ่งจะใช้สำหรับพิจารณาเลือกตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการลดเวลา Throughput ให้มากที่สุด

ตารางที่ 19 สรุประดับปัจจัยที่มีผลต่อเวลา Throughput

ระดับปัจจัย			เวลา Throughput
AB	-1	-1	12112
	-1	0	6504
	-1	1	6492
	0	-1	12062
	0	0	6476
	0	1	6472
	1	-1	11964
	1	0	6461
	1	1	6458
AC	-1	-1	8387
	-1	0	8397
	-1	1	8324

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ระดับปัจจัย		เวลา Throughput	
AD	0	-1	8369
	0	0	8366
	0	1	8275
	1	-1	8341
	1	0	8334
	1	1	8208
	-1	-1	6554
	-1	1	10185
	0	-1	6525
	0	1	10148
AE	1	-1	6479
	1	1	10109
	-1	-1	8365
	-1	1	8374
	0	-1	8333
	0	1	8340
	1	-1	8295
	1	1	8293
	-1	-1	12079
	-1	0	12075
BC	-1	1	11984
	0	-1	6513
	0	0	6514
	0	1	6413
	1	-1	6505
	1	0	6507
	1	1	6410
	-1	-1	6620
BD	-1	-1	6620

ตารางที่ 19 (ต่อ)

	ระดับปัจจัย		เวลา Throughput
	-1	1	17472
	0	-1	6470
	0	1	6490
	1	-1	6469
	1	1	6479
CD	-1	-1	6538
	-1	1	10193
	0	-1	6542
	0	1	10189
	1	-1	6478
	1	1	10059

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา Throughput สามารถสรุปให้เห็นปัจจัยร่วมที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 มีผลต่อเวลา Throughput คือ

จำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking และชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling

จำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking และชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing

จำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking และการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ

จำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking และปรับลดขนาดของเสีย

ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling และชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing

ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling และการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ

ชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing และการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ

หลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput ทำให้สามารถพิจารณาได้ถึงตัวแปรที่มีผลต่อเวลาการผลิตและเวลา Throughput แต่การพิจารณาเพื่อเลือกตัวแปรในการออกแบบให้ระบบการผลิตของโรงงานนั้นจะพิจารณาเลือกตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิตเป็นหลักและใช้การพิจารณาเลือกตัวแปรที่มีผลต่อเวลา Throughput ช่วยประกอบการตัดสินใจ หลังจากพิจารณาแล้วพบว่าตัวแปรที่เหมาะสมคือ เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 3 ชั่วโมง, ปรับระบบการผลิตให้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12 ตัวเป็น 16 ตัวและปรับลดขนาดของเสียจากเดิม 5% เหลือ 3%

จากตัวแปรที่ปรับระบบการผลิตทั้ง 3 ตัวข้างต้นสามารถทำการจำลองสถานการณ์ได้ข้อมูลต่างๆดังต่อตารางที่ 20

ตารางที่ 20 สรุปข้อมูลเวลารอคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมดหลังปรับปรุง

หน่วยผลิต	เวลารอคอยเฉลี่ย (นาท)	เวลารอคอยน้อยสุด (นาท)	เวลารอคอยมากที่สุด (นาท)	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
				ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Low Volt-11	75.1456	0.00	2340.00	75.05	75.25
Low Volt-12	75.1456	0.00	2340.00	75.02	75.28
Low Volt-21	78.7530	0.00	2340.28	76.34	81.16
Low Volt-22	71.5868	0.00	2341.45	69.18	74.00
Kraft Coil	75.2639	0.00	2341.61	75.25	75.27
High Volt-11	75.1456	0.00	2340.00	75.05	75.25
High Volt-12	75.1456	0.00	2340.00	75.04	75.26
High Volt-13	75.1172	0.00	2344.06	74.85	75.39
High Volt-21	75.1456	0.00	2340.00	75.07	75.23
High Volt-22	75.1456	0.00	2340.00	74.94	75.36
High Volt-23	75.1461	0.00	2340.00	75.05	75.25
High Volt-24	32.2431	0.00	2340.00	26.31	38.17
High Volt Prepare-1	67.5733	0.00	2343.03	64.87	70.27
High Volt Prepare-2	46.3076	0.00	2345.16	42.13	50.49
Cut-1	65.0974	0.00	2120.00	64.81	65.39
Cut-2	67.6448	0.00	2126.81	64.00	71.28

ตารางที่ 20 (ต่อ)

หน่วยผลิต	เวลารอคอย	เวลารอคอย	เวลารอคอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	เฉลี่ย (นาทีก)	น้อยสุด (นาทีก)	มากที่สุด (นาทีก)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Steel Checking	75.1456	0.00	2340	75.15	75.15
Stacking-1	269.92	0.00	2340	256.44	283.4
Stacking-2	51.151	0.00	2340	45.05	57.25
Stacking-3	43.901	0.00	2340	35.73	52.07
Stack_4	53.8246	0.00	2340	52.58	55.06
Assembly-1	70.5938	0.00	2355.37	65.6	75.58
Assembly-2	73.2262	0.00	2345.65	70.46	76
Assembly-3	84.2887	0.00	2359.17	83.43	85.15
Oven-1	749	0.00	2861.65	734.33	763.67
Oven-2	749	0.00	2861.65	734.33	763.67
Tanking	929.83	224.38	2183.5	925.05	934.61
Oil Filling	70.6949	0.00	849.76	69.89	71.49
Oil Setting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Testing	660.14	220.23	1971.69	659.43	660.85
Finishing	71.3294	0	2373.23	69.31	73.35

ตารางที่ 20 แสดงข้อมูลเวลารอคอยผลิตจากแบบจำลองซึ่งข้อมูลทั้งหมดหลังปรับปรุงได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าหน่วยผลิตที่มีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยสูงจากตารางที่ 4 คือหน่วยผลิต Tanking, Oil Filling และ Testing มีค่าลดลงหลังปรับปรุงตามการทดลองที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าหน่วยผลิต Oven มีเวลารอคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเนื่องจากลักษณะงานของหน่วยนี้ที่ถูกปรับให้รอบสัปดาห์เปลี่ยนจาก 12 ตัวเป็น 16 ตัวนั่นเอง และยังสังเกตได้ว่าหน่วยผลิต Stacking-1 มีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยสูงจากเดิม 69.1 นาที เป็น 269.92 นาที เพราะมีงานจากผลิตในหน่วยผลิต Cut-2 บางส่วนที่ผลิตออกมาในช่วงเวลาทำงานที่ถูกเพิ่มจากเดิมอีก 2 ชั่วโมง 40 นาที เป็นไปตามการปรับปรุงการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ

ตารางที่ 21 สรุปข้อมูลงานรอกคอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมดหลังปรับปรุง

หน่วยผลิต	จำนวนงานรอกคอย	จำนวนงานรอกคอย	จำนวนงานรอกคอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	เฉลี่ย (ชิ้น)	น้อยสุด (ชิ้น)	มากที่สุด (ชิ้น)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Low Volt-11	0	0	0	0	0
Low Volt-12	0	0	0	0	0
Low Volt-21	0.03	0	1	0.01	0.05
Low Volt-22	0	0	1	0	0
Kraft Coil	0	0	1	0	0
High Volt-11	0	0	0	0	0
High Volt-12	0	0	0	0	0
High Volt-13	0	0	1	0	0
High Volt-21	0	0	0	0	0
High Volt-22	0	0	0	0	0
High Volt-23	0	0	1	0	0
High Volt-24	0	0	1	0	0
High Volt Prepare-1	0	0	1	0	0
High Volt Prepare-2	0.02	0	1	0.02	0.02
Cut-1	0	0	0	0	0
Cut-2	0.02	0	1	0	0.04
Steel Checking	0	0	0	0	0
Stacking-1	2.09	0	5	1.97	2.21
Stacking-2	0.02	0	1	0.01	0.03
Stacking-3	0	0	1	0	0
Stack_4	0.03	0	1	0.03	0.03
Assembly-1	0.04	0	2	0.04	0.04
Assembly-2	0.01	0	1	0	0.02
Assembly-3	0.09	0	1	0.08	0.1
Oven-1	7.13	0	16	6.99	7.27
Oven-2	7.13	0	16	6.99	7.27

ตารางที่ 21 (ต่อ)

หน่วยผลิต	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	จำนวนงานรอกอย	ช่วงความเชื่อมั่น 95%	
	เฉลี่ย (ชิ้น)	น้อยสุด (ชิ้น)	มากที่สุด (ชิ้น)	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
Tanking	8.7	0	32	8.65	8.75
Oil Filling	0.54	0	6	0.53	0.55
Oil Setting	0	0	0	0	0
Testing	6.22	0	16	6.21	6.23
Finishing	0.05	0	4	0.05	0.05

จากตารางที่ 21 แสดงข้อมูลงานรอกอยผลิตจากแบบจำลองการทำงานหลังปรับปรุงซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี งานรอกอยที่แสดงในตารางที่ 21 นั้นจะไม่นับรวมงานที่อยู่ระหว่างการผลิต (Work in Process) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมข้อมูลของงานรอกอยในบางหน่วยผลิตจึงมีค่าเป็น 0 เพราะเมื่องานมาถึงหน่วยผลิตก็จะเกิดการผลิตทันที โดยไม่ต้องเข้าสู่แถวคอย นอกจากนี้พบว่าหน่วยผลิตที่มีงานรอกอยเฉลี่ยสูงจากตารางที่ 5 คือหน่วยผลิต Oven, Tanking, Oil Filling และ Testing มีเพียงหน่วยเดียวที่ลดลงคือหน่วยผลิต Oil Filling นอกนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการที่เพิ่มปริมาณอบไส้หม้อแปลงจาก 12 ตัวเป็น 16 ตัวนั่นเอง ซึ่งถือว่ายอมรับได้เนื่องจากเวลารอกอยลดลง แต่จำเป็นต้องจัดสรรพื้นที่วางชิ้นงานเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 22 สรุปข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานของสายการผลิตทั้งหมดหลังปรับปรุง

หน่วยผลิต	ประสิทธิภาพ
Low Volt-11	0.98
Low Volt-12	0.93
Low Volt-21	0.96
Low Volt-22	0.93
Kraft Coil	0.96
High Volt-11	0.82
High Volt-12	0.68
High Volt-13	0.82

ตารางที่ 22 (ต่อ)

หน่วยผลิต	ประสิทธิภาพ
High Volt-21	0.83
High Volt-22	0.69
High Volt-23	0.81
High Volt-24	0.76
High Volt Prepare-1	0.86
High Volt Prepare-2	0.91
Cut-1	0.99
Cut-2	0.99
Steel Checking	0.87
Stacking-1	0.82
Stacking-2	0.83
Stacking-3	0.78
Stack_4	0.87
Assembly-1	0.93
Assembly-2	0.9
Assembly-3	0.95
Oven-1	0.67
Oven-2	0.67
Tanking	0.86
Oil Filling	0.84
Oil Setting	0.07
Testing	0.83
Finishing	0.84

จากตารางที่ 22 ข้อมูลประสิทธิภาพจากแบบจำลองการทำงานหลังปรับปรุงซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้จากการรันโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 1 ปี เมื่อทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งระบบจะมีค่าเท่ากับ 0.83 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 0.74 ซึ่งเทียบข้อมูลประสิทธิภาพเดิมจากตารางที่ 6 แต่ละหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นผลมาจากการลดรอบเวลาการผลิตนั่นเอง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาทดลองที่ผ่านเป็นการสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับโรงงานผลิตหม้อแปลงและออกแบบการทดลอง สำหรับการหาปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput เพื่อนำไปออกแบบกระบวนการทำงานภายในโรงงานใหม่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

หลังจากการสร้างและคำนวณโดยแบบจำลองสถานการณ์ พบจุดที่เป็นคอขวด (Bottleneck) ด้วยกันคือ ที่หน่วยผลิต Tanking, หน่วยผลิต Oil Filling และหน่วยผลิต Testing โดยหน่วยผลิต Tanking นั้นจะทำการพิจารณาแก้ปัญหาโดยการเพิ่มจำนวนแรงงานเนื่องเป็นจุดที่ไม่มีเครื่องจักรเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนหน่วยผลิต Oil Filling และหน่วยผลิต Testing จะทำการพิจารณาแก้ปัญหาโดยการเพิ่มชั่วโมงทำงานเนื่องจากการใช้เครื่องจักรในการผลิต เหตุที่ไม่พิจารณาการเพิ่มเครื่องจักรเพราะจะเป็นการลงทุนสูงและติดปัญหาพื้นที่วางเครื่องจักร

ในส่วนของปัจจัยอีก 2 ตัวที่เหลือนั้นตัวแรกคือการปรับขนาด Batch size ก่อนเข้าเตาอบ เนื่องจากเตาอบนั้นยังอบไม่ได้เต็มความจุสูงสุด จึงนำปัจจัยนี้เข้ามาเพิ่มเพื่อดูผลปัจจัย ส่วนตัวที่สองคือการปรับลดของเสียจากเดิม 5% เหลือ 3% เนื่องจากแผนงานของโรงงานจะมีการนำระบบ 5 ส.มาใช้เพื่อรักษาความสะอาดในโรงงาน ซึ่งความสะอาดนั้นเป็นสาเหตุหลักของการเสียของหม้อแปลง

หลังทำการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการลดรอบเวลาการผลิต ได้ระดับปัจจัยที่มีผลคือ

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 3 ชั่วโมงและไม่เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 3 ชั่วโมงและการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 16 ตัว

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 3 ชั่วโมงและปรับลดขนาดของเสียลงเหลือ 3%

การปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 16 ตัวและปรับลดขนาดของเสียลงเหลือ 3%

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการลดเวลา Throughput ได้ระดับปัจจัยที่มีผลคือ

เพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking 2 คนและเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 6 ชั่วโมง

เพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking 2 คนและเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing 6 ชั่วโมง

เพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking 2 คนและการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12 ตัว

เพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking 2 คนและปรับลดขนาดของเสียลงเหลือ 3%

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 6 ชั่วโมงและเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing 6 ชั่วโมง

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 6 ชั่วโมงและการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12 ตัว

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing 6 ชั่วโมงและการปรับระบบการผลิตให้ได้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12 ตัว

เมื่อพิจารณาระดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput โดยคำนึงถึงการนำไปปรับใช้งานในโรงงานจริง ควรปรับระดับให้ได้ดังนี้

ไม่ปรับเพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อรอบเวลาการผลิต ถึงแม้ว่าปัจจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อเวลา Throughput แต่เมื่อเทียบค่าระหว่างปัจจัยร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น การเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling พบว่ามีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงไม่ปรับเพิ่มจำนวนแรงงานที่หน่วยผลิต Tanking เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต

เพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling 3 ชั่วโมง เนื่องจากการปรับที่เหมาะสมที่สุด ถ้าเพิ่มชั่วโมงการทำงานที่จุดนี้เป็น 6 ชั่วโมงก็ไม่ช่วยลดลดรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput หรือลดได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตที่เพิ่มขึ้น

ไม่ปรับเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing เนื่องจากไม่ส่งผลต่อรอบเวลาการผลิต ถึงแม้ว่าปัจจัยนี้จะส่งผลต่อเวลา Throughput แต่เมื่อเทียบค่าระหว่างปัจจัยร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น การเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงไม่ปรับเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Testing เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต

ปรับระบบการผลิตให้ขนาด batch size ก่อนเข้าเตาอบ 12 ตัว เป็น 16 ตัว เนื่องจากการปรับที่เหมาะสมเป็นการลดรอบเวลาการผลิตอย่างมาก แม้การปรับนี้จะส่งผลให้เวลา Throughput เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบค่าระหว่างปัจจัยร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น การเพิ่มชั่วโมงการผลิตของหน่วยผลิต Oil Filling พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ปรับลดขนาดของเสียจากเดิม 5% เหลือ 3% เนื่องจากการปรับที่เหมาะสมที่สุดเป็นการลดรอบเวลาการผลิตอย่างมาก การปรับนี้จะไม่ส่งผลให้เวลา Throughput เพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากปัจจัยนี้ไม่มีความเกี่ยวข้องกับเวลาในการผลิตหรือเวลาการรอคอยผลิต

ทำการเปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput ก่อนปรับปรุงเปรียบเทียบกับ หลังปรับปรุงแสดงได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

การเปรียบเทียบ	หน่วยผลิต	ก่อนปรับปรุง	ช่วงความเชื่อมั่น		หลังปรับปรุง	ช่วงความเชื่อมั่น		%เปลี่ยนแปลง
			เชื่่อมั่น			เชื่่อมั่น		
			ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน		ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน	
รอบเวลา								
	การผลิต	49.88	49.58	50.18	36.59	36.32	36.86	-26.64
เวลา								
	Throughput	6708.44	6676.78	6740.10	6554.68	6527.42	6581.94	-2.29
	เวลา Tanking	929.28	897.71	960.85	929.83	925.05	934.61	0.06
	รอกอย Oil Filling	198.86	193.15	204.57	70.69	69.89	71.49	-64.45
	Testing	720.81	718.61	723.01	660.14	659.43	660.85	-8.42
	จำนวนงาน Tanking	6.53	6.30	6.76	8.70	8.65	8.75	33.33
	รอกอย Oil Filling	0.80	0.76	0.84	0.54	0.53	0.55	-32.81
	Testing	5.10	5.08	5.12	6.22	6.21	6.23	21.93
	ประสิทธิภาพ Tanking	0.64	-	-	0.86	-	-	33.28
	Oil Filling	0.87	-	-	0.84	-	-	-3.02
	Testing	0.62	-	-	0.83	-	-	33.86

จากตารางข้างต้นแสดงรอบเวลาการผลิตหลังการปรับปรุงมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ 26.64% ส่วนเวลา Throughput นั้นมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ 2.29% นอกจากนี้เวลารอกอยที่หน่วยผลิตที่มีการปรับปรุงคือ Oil Filling มีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ 64.45% รวมถึงจำนวนงานรอกอยก็ลดลงเช่นกันคือมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ 32.81%

ส่วนหน่วยผลิต Tanking และ Testing ที่ไม่มีการปรับปรุงนั้นมีเวลารอกอยที่หน่วยผลิตเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 0.06% สำหรับหน่วยผลิต Tanking และลดลง 8.42% สำหรับหน่วยผลิต Testing ส่วนจำนวนงานรอกอยที่หน่วยผลิต Tanking และ Testing นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นคือ 33.33% สำหรับหน่วยผลิต Tanking และ 21.93% หน่วยผลิต Testing มีสาเหตุมา

จากชิ้นงานที่ออกจากเตาอบนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ 12 ตัวเป็น 16 ตัวจึงส่งผลถึงจำนวนงานรอคอยที่หน่วยผลิต Tanking และ Testing

สำหรับประสิทธิภาพที่หน่วยผลิต Tanking และ Testing มีค่าเพิ่มขึ้นคือ 33.28% และ 33.86%ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพที่หน่วยผลิต Oil Filling มีค่าลดลงเล็กน้อยคือ 3.02%

โดยสรุปผลการทดลองศึกษาจากกรณีโรงงานตัวอย่าง เมื่อทำการปรับปรุงตามกระบวนการต่างๆข้างต้นจะสามารถลดรอบเวลาการผลิตได้จริง ซึ่งทำให้โรงงานมีกำไรจากการผลิตเพิ่มขึ้น ทางโรงงานสามารถนำผลการปรับปรุงไปใช้ได้ทันทีโดยปรับปรุงระบบการทำงานเพียงไม่กี่อย่าง นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับหม้อแปลงรุ่นอื่นๆของโรงงานด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโรงงานไม่สามารถให้ข้อมูลเรื่องค่าใช้จ่ายได้ การออกแบบการทดลองข้างต้นจึงมุ่งเน้นตัวแปรที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิตเป็นหลัก และดูเรื่องค่าใช้จ่ายในการลงทุนเป็นส่วนรองลงมา เช่น พิจารณาการเพิ่มชั่วโมงทำงานแทนการเพิ่มปริมาณเครื่องจักร จากเหตุผลนี้ถ้าโรงงานมีการพิจารณาเรื่องเงินลงทุนเข้ามาเสริม ก็จะสามารถประยุกต์และเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตได้สูงขึ้น

การออกแบบระบบการผลิตข้างต้นไม่ได้คำนึงถึงกรณีที่เกิดความล้มเหลวของระบบการผลิตเนื่องฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานได้แจ้งว่ามีอัตราความล้มเหลวของระบบการผลิตที่ต่ำมาก นอกจากนี้ทางโรงงานได้ปรับระบบการทำงานใหม่ ในกรณีที่พบว่ามีของเสียเกิดขึ้น ของเสียจะถูกดึงออกจากระบบไปหน่วยแยกชิ้นส่วน เพื่อนำชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ โดยที่ไม่หยุดระบบการผลิต ซึ่งต่างจากแบบเดิมที่จะหยุดระบบทันทีเมื่อพบของเสีย

การผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับโรงงานตัวอย่าง จะใช้แรงงานคนมากกว่าเครื่องจักร ซึ่งปัจจัยเรื่องคนงานมักมีผลต่อการผลิตเสมอ ดังนั้นหากจะให้การปรับปรุงได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ต้องมีการฝึกฝนทักษะของพนักงานไปด้วยเช่นกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สถาพร พลแสน. 2543. การใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2544. การจำลองแบบปัญหา. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

Fowler, J. 1997. Measurable Improvements in Cycle Time Constrained Capacity, p. 4. *In Proceedings of the 6th International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM)*. San Francisco.

Masudy, M. 2000. Integrated approach for design of blow heat recovery system, using simulation and design of experiments, p. 6. *In Control Systems Conference 2000* . TAPPI Press

Navden, S.G. and Jennifer Robinson. 1999. Validation Simulation Model Cycle Time at SEAGATE Technology, pp. 843-849. *In Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference* . Phoenix, AZ.

Ozdemirel, Y. 1996. Computer-Aided Planning and Design of Manufacturing Simulation Experiments. **Simulation** (67) September 1996. : 171-191.

WU, M.C. 2000. A Management Mechanism for Cycle Time Reduction in an IC Foundry, p. 8. *In Proceedings of International Conference on Production Research* . Thailand.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput จากการทดลองด้วยแบบจำลองสถานการณ์

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงรอบเวลาการผลิตและเวลา Throughput จากแบบจำลองสถานการณ์

ปัจจัย					รอบเวลาการผลิต			เวลา Throughput		
A	B	C	D	E	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
-1	-1	-1	-1	-1	49.79	49.91	49.93	6673.09	6690.16	6762.08
-1	-1	-1	-1	1	48.88	48.79	48.84	6686.60	6727.93	6694.31
-1	-1	-1	1	-1	38.85	38.96	38.80	17603.79	17627.58	17650.03
-1	-1	-1	1	1	38.13	38.14	38.23	17594.93	17546.07	17658.16
-1	-1	0	-1	-1	49.74	49.63	49.82	6672.36	6702.59	6703.54
-1	-1	0	-1	1	48.79	48.75	48.56	6698.14	6706.33	6666.54
-1	-1	0	1	-1	38.89	38.87	39.05	17637.41	17654.17	17569.49
-1	-1	0	1	1	38.05	38.18	38.34	17667.70	17568.01	17582.38
-1	-1	1	-1	-1	49.74	50.17	49.59	6614.28	6600.93	6656.82
-1	-1	1	-1	1	48.49	48.67	48.90	6652.82	6675.17	6628.63
-1	-1	1	1	-1	39.18	38.87	38.86	17470.22	17477.61	17523.86
-1	-1	1	1	1	38.09	38.19	38.15	17516.13	17473.18	17412.23
-1	0	-1	-1	-1	49.67	49.49	49.84	6556.14	6532.32	6543.51
-1	0	-1	-1	1	48.56	48.76	48.71	6550.57	6496.49	6549.21
-1	0	-1	1	-1	37.24	37.36	37.13	6538.88	6553.01	6535.56
-1	0	-1	1	1	36.79	36.46	36.52	6559.63	6551.73	6552.68
-1	0	0	-1	-1	49.73	49.76	49.84	6501.74	6512.69	6528.81
-1	0	0	-1	1	48.73	48.84	48.59	6508.02	6564.51	6557.42
-1	0	0	1	-1	37.36	37.50	37.24	6548.75	6565.80	6545.58
-1	0	0	1	1	36.47	36.55	36.55	6534.01	6549.84	6561.94
-1	0	1	-1	-1	49.59	49.52	49.46	6456.87	6514.50	6451.87
-1	0	1	-1	1	48.79	48.61	48.67	6475.50	6477.71	6451.70
-1	0	1	1	-1	37.36	37.36	37.06	6443.93	6432.76	6451.58
-1	0	1	1	1	36.59	36.48	36.48	6445.88	6454.72	6454.97
-1	1	-1	-1	-1	49.90	49.58	49.48	6500.36	6476.37	6482.70
-1	1	-1	-1	1	48.59	48.46	48.83	6493.80	6505.11	6516.21
-1	1	-1	1	-1	37.36	37.37	37.34	6515.43	6522.94	6528.64
-1	1	-1	1	1	36.61	36.42	36.65	6539.69	6534.23	6533.24
-1	1	0	-1	-1	49.51	49.59	49.62	6497.07	6503.70	6532.90
-1	1	0	-1	1	48.56	48.88	48.68	6491.26	6517.28	6534.49

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ปัจจัย					รอบเวลาการผลิต			เวลา Throughput		
A	B	C	D	E	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
-1	1	0	1	-1	37.13	37.1	37.4	6540.55	6531.92	6522.44
-1	1	0	1	1	36.54	36.41	36.65	6532	6547.74	6536.6
-1	1	1	-1	-1	49.96	49.69	49.62	6505.16	6438.2	6458.33
-1	1	1	-1	1	48.94	48.78	48.65	6495.47	6458.44	6508.24
-1	1	1	1	-1	37.43	37.39	37.28	6456.07	6454.1	6433.89
-1	1	1	1	1	36.44	36.61	36.47	6427.71	6429.71	6436.84
0	-1	-1	-1	-1	49.79	50.06	49.52	6651.94	6673.86	6710.11
0	-1	-1	-1	1	48.65	48.71	48.65	6671.74	6668.62	6663.16
0	-1	-1	1	-1	38.96	39.02	39.02	17584.17	17493.38	17532.54
0	-1	-1	1	1	38.16	38.43	38.16	17563.36	17534.76	17484.94
0	-1	0	-1	-1	49.83	49.76	49.89	6654.97	6682.4	6657.61
0	-1	0	-1	1	48.5	48.55	48.57	6662.2	6696.72	6643.19
0	-1	0	1	-1	38.99	39.05	38.94	17575.64	17517.99	17456.4
0	-1	0	1	1	38.22	38.19	38.05	17586.49	17505.89	17514.74
0	-1	1	-1	-1	49.72	49.77	49.58	6591.51	6571.22	6615.92
0	-1	1	-1	1	48.69	48.78	48.68	6610.62	6575.05	6598.3
0	-1	1	1	-1	38.71	38.94	38.81	17397.79	17368.65	17382.18
0	-1	1	1	1	38.3	38.06	38.14	17406.38	17310.76	17369.47
0	0	-1	-1	-1	49.99	49.48	49.66	6469.96	6502.85	6480.07
0	0	-1	-1	1	48.63	48.61	48.92	6485.03	6533.33	6523.42
0	0	-1	1	-1	37.32	37.02	37.36	6504.62	6531.51	6525.02
0	0	-1	1	1	36.69	36.49	36.61	6533.35	6523.56	6530.9
0	0	0	-1	-1	50.07	49.82	49.69	6504.46	6495.04	6544.94
0	0	0	-1	1	48.68	48.49	48.59	6486.94	6474.7	6543.43
0	0	0	1	-1	37.41	37.24	37.52	6518.59	6532.81	6517
0	0	0	1	1	36.65	36.43	36.6	6532.26	6526.66	6524.28
0	0	1	-1	-1	49.9	49.34	49.77	6375.72	6424.04	6454.45

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ปัจจัย					รอบเวลาการผลิต			เวลา Throughput		
A	B	C	D	E	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	0	1	-1	1	48.75	48.6	48.92	6434.52	6393.01	6388.38
0	0	1	1	-1	37.32	37.36	37.4	6393.06	6387.65	6396.94
0	0	1	1	1	36.34	36.38	36.61	6398.87	6402.05	6381.98
0	1	-1	-1	-1	49.62	49.86	49.6	6474.74	6481.41	6488.03
0	1	-1	-1	1	48.9	48.73	48.8	6464.57	6534.63	6484.25
0	1	-1	1	-1	37.61	37.27	37.26	6512.72	6507.3	6520.21
0	1	-1	1	1	36.55	36.68	36.6	6518.69	6527.41	6526.69
0	1	0	-1	-1	49.58	49.79	49.73	6478.83	6481.69	6544.85
0	1	0	-1	1	48.88	48.8	48.79	6484.4	6511.71	6544.88
0	1	0	1	-1	37.4	37.41	37.23	6505.49	6516.67	6517.6
0	1	0	1	1	36.6	36.31	36.48	6528.36	6516.39	6525.18
0	1	1	-1	-1	49.73	49.62	49.86	6417.16	6415.9	6439.15
0	1	1	-1	1	48.75	48.94	48.52	6410.51	6443.43	6444.87
0	1	1	1	-1	37.31	37.2	37.2	6391.83	6379.41	6392.56
0	1	1	1	1	36.36	36.59	36.58	6371.26	6389.42	6382.42
1	-1	-1	-1	-1	49.52	49.65	49.77	6522.15	6565.45	6567.13
1	-1	-1	-1	1	48.67	48.5	48.8	6536.79	6563.75	6579.22
1	-1	-1	1	-1	38.94	38.92	38.94	17485.23	17447.81	17471.33
1	-1	-1	1	1	38.02	38.16	38.19	17460.82	17422.8	17429.91
1	-1	0	-1	-1	49.45	49.56	49.73	6530.65	6554.79	6600.16
1	-1	0	-1	1	48.84	48.76	48.46	6561.59	6619.24	6570.65
1	-1	0	1	-1	38.98	38.89	38.91	17497.69	17495.67	17370.69
1	-1	0	1	1	38.04	38.11	38.02	17438.84	17424.17	17517.5
1	-1	1	-1	-1	49.49	49.84	49.74	6415.22	6489.46	6504.59
1	-1	1	-1	1	48.72	48.57	48.86	6473.66	6499.46	6462.71
1	-1	1	1	-1	38.92	38.94	38.87	17313.39	17270.32	17293.28
1	-1	1	1	1	38.29	38.1	37.97	17305.22	17335.73	17377.28

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ปัจจัย					รอบเวลาการผลิต			เวลา Throughput		
A	B	C	D	E	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0	-1	-1	-1	49.51	49.46	49.63	6485.21	6480.65	6498.69
1	0	-1	-1	1	48.76	48.73	48.72	6475.49	6484.6	6556.43
1	0	-1	1	-1	37.17	37.16	37.32	6538.63	6535.1	6543.16
1	0	-1	1	1	36.49	36.51	36.8	6533.17	6533.21	6524.94
1	0	0	-1	-1	49.42	49.59	49.79	6494.35	6486.63	6476.71
1	0	0	-1	1	48.9	48.64	48.75	6486.93	6536.37	6474.72
1	0	0	1	-1	37.29	37.25	37.22	6505.66	6522.94	6525.69
1	0	0	1	1	36.63	36.75	36.55	6507.84	6518.52	6528.72
1	0	1	-1	-1	49.69	49.44	49.87	6391.48	6391.98	6357.35
1	0	1	-1	1	48.87	48.68	48.69	6374.97	6425.69	6332.8
1	0	1	1	-1	37.52	37.24	37.21	6360.09	6353.41	6358.49
1	0	1	1	1	36.52	36.54	36.61	6360.61	6347.32	6361.45
1	1	-1	-1	-1	49.7	49.76	49.6	6475.98	6490.52	6476.25
1	1	-1	-1	1	48.6	48.63	48.55	6497.88	6544.13	6454.73
1	1	-1	1	-1	37.3	37.28	37.4	6513.92	6524.12	6516.94
1	1	-1	1	1	36.6	36.46	36.54	6520.28	6527.58	6518.05
1	1	0	-1	-1	49.93	50.01	49.39	6480.75	6506.45	6537.3
1	1	0	-1	1	48.84	48.6	48.64	6477.48	6457.99	6473.97
1	1	0	1	-1	37.24	37.26	37.28	6518.47	6518.06	6508.96
1	1	0	1	1	36.58	36.61	36.57	6523.57	6514.89	6522.96
1	1	1	-1	-1	49.7	49.76	49.39	6353.31	6361.8	6399.84
1	1	1	-1	1	48.49	48.84	48.75	6384.82	6391.36	6355.83
1	1	1	1	-1	37.32	37.15	37.47	6360.76	6347.34	6353.09
1	1	1	1	1	36.59	36.52	36.5	6365.35	6354.06	6347.15

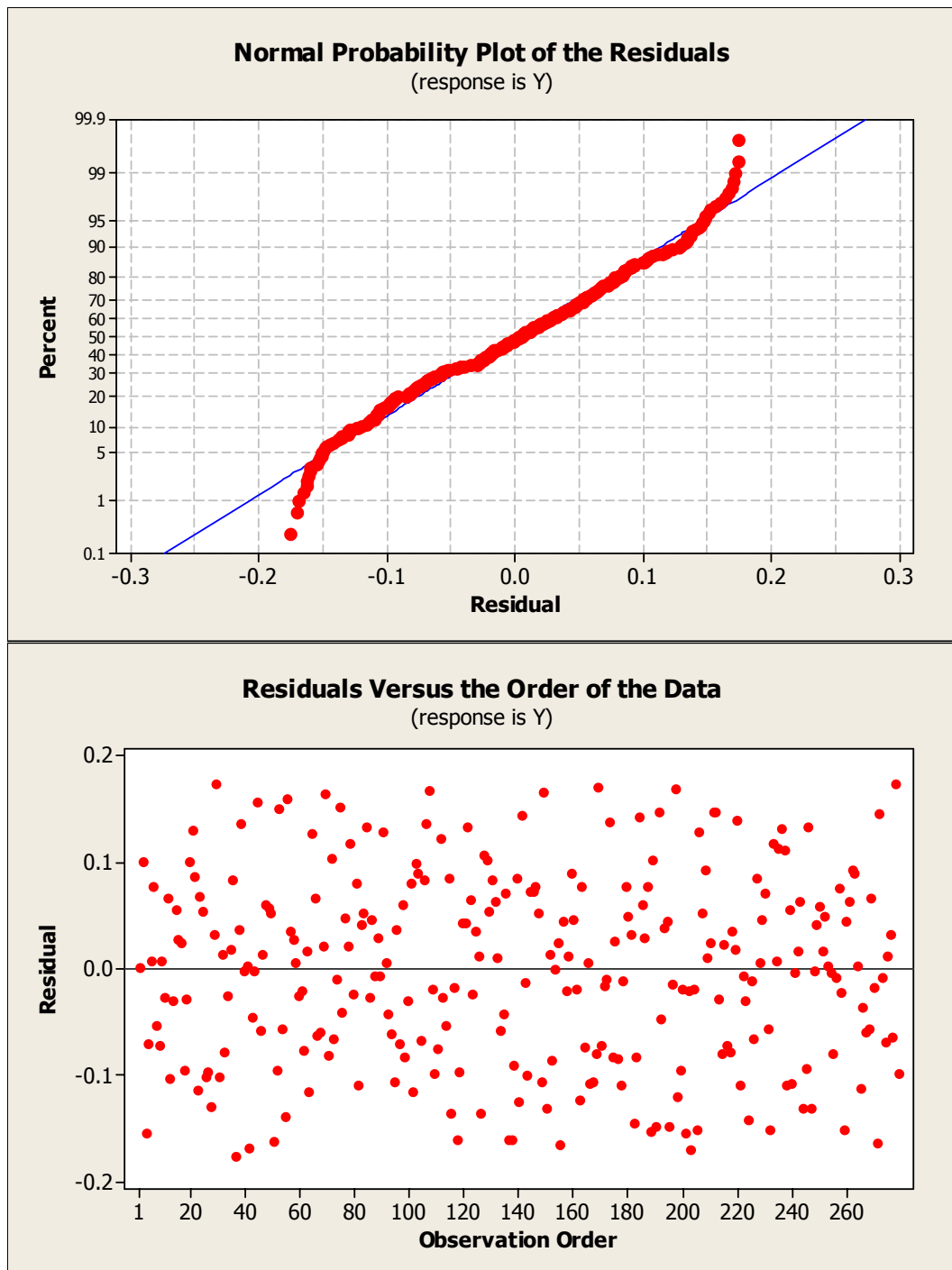
ภาคผนวก ข

การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

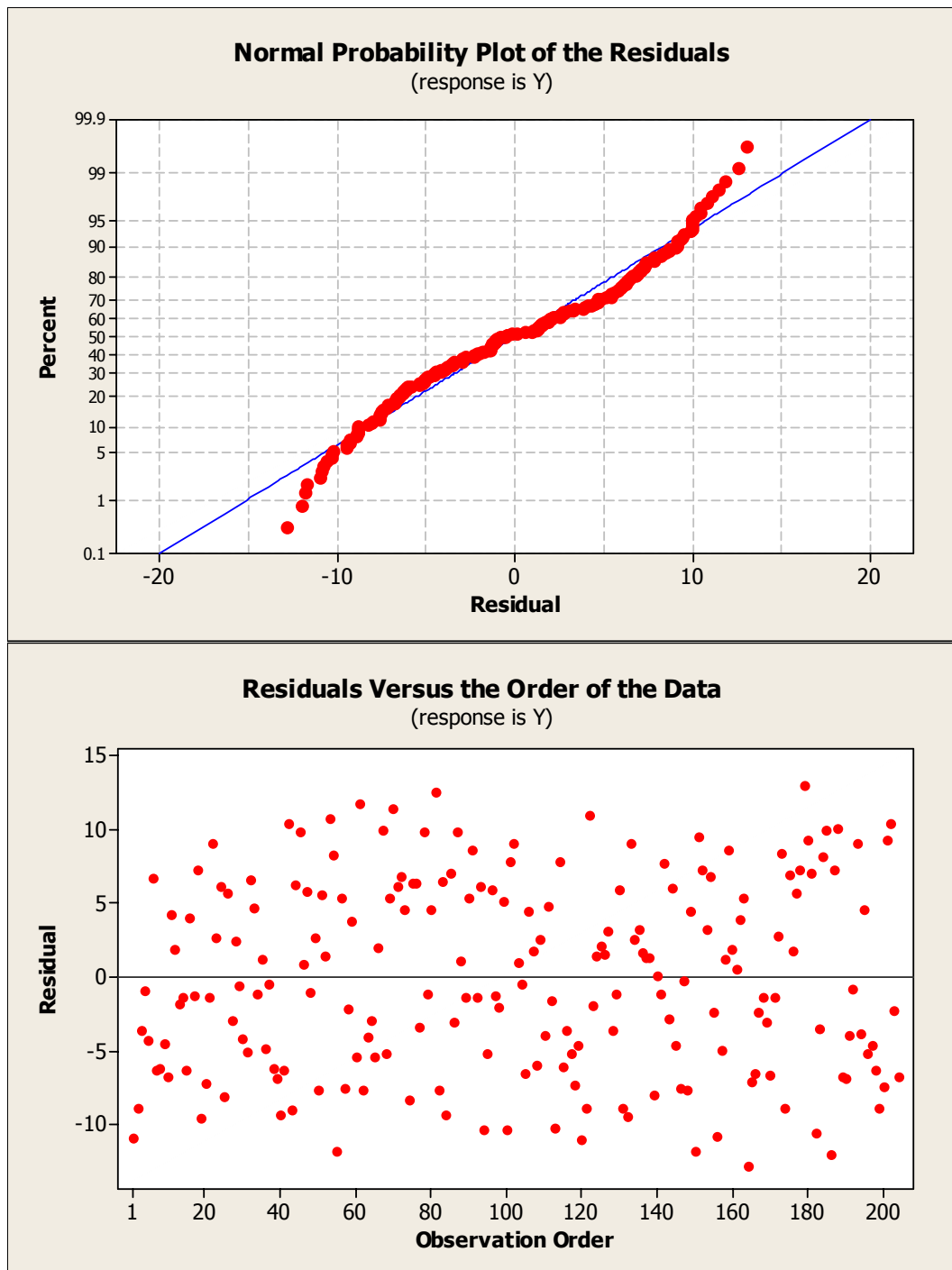
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะทำการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ

1. ทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ซึ่งหากการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติ รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะเป็นเส้นตรง
2. ทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ ระหว่างส่วนตกค้าง โดยการพล็อตส่วนตกค้างตามลำดับเวลา ซึ่งหากไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้าง รูปที่พล็อตขึ้นมานี้จะมีลักษณะกระจายรอบแกนอย่างสุ่ม



ภาพผนวกที่ ข1 แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรอบ
เวลาการผลิต



ภาพผนวกที่ ข2 แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลา
Throughput

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล

นายวรพจน์ ยนตรพันธ์

วัน เดือน ปี ที่เกิด

8 ตุลาคม 2522

สถานที่เกิด

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา

วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์