

การสร้างแบบจำลองไม่ต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลิตภาพ
กรณีศึกษา สายการผลิตซ่อมบำรุงรถ

ภฤศฐปกร รอดผล

TNII

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2565

CREATING DISCRETE SIMULATION MODEL FOR PRODUCTIVITY IMPROVEMENT
A CASE STUDY OF SEASONING SAUCE PRODUCTION LINE

Pharittapakorn Rodphon

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology
Academic Year 2022

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การสร้างแบบจำลองไม่ต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลิตภาพ กรณีศึกษา
สายการผลิตซ่อมบำรุงรถ

โดย

ภฤศฐปรกร รอดผล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์)

.....กรรมการ

(ดร.วัชรินทร์ หนูทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

กลยุทธ์ปร รอดผล : การสร้างแบบจำลองไม่ต่อเนื่องเพื่อเพิ่มผลิตภาพ กรณีศึกษา สายการผลิต
ซอสปรุงรส. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน, 96 หน้า.

การออกแบบและพัฒนาระบบงานใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เหตุการณ์ ก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบงานจริง เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Arena Simulation เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการแจกแจงมาสร้างแบบจำลอง โดยแบบจำลองได้ถูกทวนสอบความเป็นตัวแทนของระบบงานจริง โดยใช้วิธีทดสอบ Comparison with an Existing System เทียบผลลัพธ์ระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่า $P\text{-Value} = 0.958$ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลองโดยใช้วิธีทดสอบ Parameter Variability-Sensitivity Test เพื่อทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน ทุกเงื่อนไขมีค่า R-squared มากกว่าร้อยละ 80 ส่งผลให้แบบจำลองเป็นตัวแทนของระบบการผลิตจริงได้

นำผลรอบเวลาการผลิตต่อชิ้นงานจากแบบจำลองมาจัดสมดุลการผลิต เลือกตัวแปรที่มีค่ารอบเวลา สูงกว่าค่า Takt Time นำมาจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ผ่านซอฟต์แวร์ ARENA ใช้วิธี Trial and Error หลังจากจัดสมดุลสายการผลิตใหม่พบว่า ผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.5 ลดลงจาก 11 สถานีงาน คงเหลือ 6 สถานีงาน คิดเป็นร้อยละ 54.55 จำนวนพนักงาน ลดลงจาก 18 คน คงเหลือ 16 คน คิดเป็นร้อยละ 11.1 เวลานำการผลิตลดลง จาก 42.19 วัน คงเหลือ 28.48 วัน คิดเป็นร้อยละ 32.5 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 88 เป็นร้อยละ 97 คิดเป็นร้อยละ 9 ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 68.84 เป็น 80.48 เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.6 ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 426.69 แกลลอนต่อวัน เป็น 638.23 แกลลอนต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 49.6 ซึ่งเป็นการตอบวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PHARITTAPAKORN RODPHON : CREATING DISCRETE SIMULATION MODEL FOR
PRODUCTIVITY IMPROVEMENT : A CASE STUDY OF SEASONING SAUCE PROCUCTION
LINE. ADVISOR : ASST.PROF.DR.DUMRONGKIAT RATANAAMORNPIN, 96 PP.

Design and development of most real systems on the model as an important tool in considering and analyzing events before applying them to the real system in order to find ways to improve the operation of the system to be more efficient. This research uses Arena simulation software as a modeling tool. Use the data obtained from the distribution to create a model to improve and standardize.

The model was verified for the representation of the real system. Using the Comparison with an Existing System test method, the results were compared between the model and the real system. There was no difference at a 95% confidence interval, P-Value = 0.958. The null hypothesis H_0 could not be rejected. The model was validated for the representation by using the Parameter Variability-Sensitivity Test to test the sensitivity to respond to variance. All conditions have an R-squared greater than 80%, resulting in the model being representative of the actual production system. Take the cycle time result from the production per piece from the model to arrange the production balance. Select the variable whose Cycle Time value is higher than the Takt Time value and re-balance the production line through the software ARENA uses the Trial and Error method.

The result of the new job balancing resulted in productivity increased by 49.58%, workstations decreased from 11, the remaining 6 workstations, accounted for 54.55%, and the number of manpower decreased from 18 workers to the remaining 16 workers or 11.1 percent. The production lead time decreased from 42.19 days to 28.48 days or 32.5%. Overall equipment efficiency increased from 88% to 97% or 9%. Production line efficiency increased from 68.84 to 80.48 or 11.6%. Productivity increased from 426.69 gallons per day to 638.23 gallons per day, or 49.6%, in response to the research objectives.

Graduate School

Student's Signature.....

Field of Engineering of Technology

Advisor's Signature.....

Academic Year 2022

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย ขอขอบพระคุณทางสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น บัณฑิตวิทยาลัย ผู้อำนวยการหลักสูตรเทคโนโลยีวิศวกรรม ที่แนะนำแหล่งความรู้ อุปกรณ์ เครื่องมือ ในการทำงานวิจัย สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาในงานด้านแบบจำลองสายการผลิตต่อไป

ภฤศฐปกร รอดผล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องและรูปแบบแจกแจงข้อมูล.....	6
2.2 ซอฟต์แวร์ ARENA.....	9
2.3 การทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Verification).....	11
2.4 การทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Validation).....	14
2.5 การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) ผ่านแบบจำลอง.....	14
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.1 รวบรวมข้อมูลและปัญหา.....	18
3.2 สร้างแผนผังการไหลและรายละเอียดงาน.....	19
3.3 แบบจำลองสถานการณ์.....	22
3.4 วิเคราะห์แผนภูมิสมดุล (Balance Chart Analysis).....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	33
4.1 ผลการทดสอบรูปแบบการแจกแจง (Probability Distribution).....	33
4.2 ผลการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification).....	34
4.3 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation).....	37
4.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง (Model Analysis).....	38
4.5 ผลการปรับปรุงแบบจำลอง (Model Improvement).....	42
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผล.....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก. ข้อมูลเวลานำเข้าในแต่ละกระบวนการ	54
ภาคผนวก ข. คู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์ ARENA.....	69
ภาคผนวก ค. การนำเข้าข้อมูลตามรูปแบบแจกแจงต่างๆ	76
ภาคผนวก ง. ผลลัพธ์จากแบบจำลอง	86
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	96

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงานปี พ.ศ. 2564 - 2565.....	5
3.1 ออกแบบการทดลองแบบสุ่ม (Randomized) จำนวน 2 ตัวแปร.....	30
4.1 นำเข้าข้อมูลของแต่ละกระบวนการด้วยรูปแบบการแจกแจงต่างๆ.....	33
4.2 ผลการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองโดยใช้ Two-Sample T-Test.....	36
4.3 ผลการทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) ค่าระดับ (Level) 2, 3 คน 8, 9 คน.....	37
4.4 ผลการจำลองสถานการณ์ระบบงานจริง (Real System).....	41
4.5 บันทึกข้อมูลองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements Sheet) ของพนักงานผสมสาร (ปัจจุบัน).....	43
4.6 บันทึกข้อมูลองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements Sheet) ของพนักงานผสมสาร (หลังปรับปรุง).....	43
4.7 ผลการจำลองสถานการณ์ระบบงานจริง (หลังปรับปรุง).....	45
5.1 สรุปผลกระบวนการระบบปัจจุบันเทียบหลังปรับปรุง.....	47
ก.1 เวล่านำเข้าของถังที่เป็นภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งของเหลว ขนาด 1,000 กิโลกรัม (IBC) จำนวน 200 ข้อมูล.....	55
ก.2 เวลากระบวนการผสมสารต่อ 1 ถัง IBC จำนวน 92 ข้อมูล.....	56
ก.3 เวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังจากการผสมสารต่อ 1 ถัง IBC จำนวน 97 ข้อมูล.....	56
ก.4 เวลากระบวนการขนย้ายถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล.....	57
ก.5 เวลากระบวนการต่อท่อปั๊มใส่ถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล.....	57
ก.6 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 1) จำนวน 144 ข้อมูล.....	58
ก.7 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 2) จำนวน 143 ข้อมูล.....	58
ก.8 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 3) จำนวน 144 ข้อมูล.....	59
ก.9 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 4) จำนวน 139 ข้อมูล.....	60
ก.10 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 5) จำนวน 138 ข้อมูล.....	61
ก.11 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 6) จำนวน 138 ข้อมูล.....	62
ก.12 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 7) จำนวน 141 ข้อมูล.....	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ก.13 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 8) จำนวน 142 ข้อมูล.....	64
ก.14 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 9) จำนวน 138 ข้อมูล.....	65
ก.15 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 10) จำนวน 144 ข้อมูล.....	66
ก.16 เวลากระบวนการ Setup Batch จำนวน 143 ข้อมูล	67
ก.17 เวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้ง > 10 นาที จำนวน 93 ข้อมูล.....	68
ก.18 ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) จำนวน 93 ข้อมูล.....	68



สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	คะแนนแต่ละซอฟต์แวร์และการเปรียบเทียบอันดับปี 2006-2011 2
2.1	รูปแบบผู้ให้บริการเพียงคนเดียว (Single-Server Queue)..... 7
2.2	ความน่าจะเป็นของการกระจายข้อมูลในแต่ละรูปแบบ 9
2.3	ขั้นตอนการหล่อโลหะจากโรงงานตัวอย่างผลิตแผ่นรองรับลูมินีเยม..... 10
2.4	กราฟค่าของสถิติความถี่ (Histogram)..... 12
2.5	แผนภาพกล่อง (Box Plot) 13
2.6	ความสัมพันธ์เปรียบเทียบผลลัพธ์ระบบงานจริงกับแบบจำลอง..... 13
2.7	วิธีการจัดสมดุลงาน 15
2.8	หลังการจัดสมดุลดัดแปลง..... 16
3.1	ลำดับขั้นตอนการวิธีการดำเนินงานดัดแปลง 18
3.2	สายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา..... 18
3.3	แบบของถัง IBC (Intermediate Bulk Container)..... 20
3.4	ภาชนะเกลลอน 21
3.5	วิธีการเข้า Input Analyzer..... 23
3.6	การแบ่งส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบอื่น..... 24
3.7	แบบจำลองสถานีงานที่ 1-4 (ก่อนปรับปรุง) 26
3.8	แบบจำลองสถานีงานที่ 5-6 (ก่อนปรับปรุง) 27
3.9	แบบจำลองสถานีงานที่ 7-11 (ก่อนปรับปรุง)..... 28
4.1	ผลการทดสอบค้นหาแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug)..... 35
4.2	ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลระหว่างแบบจำลอง (Model) กับระบบงานจริง (Real System)..... 36
4.3	a-d ค่า R-squared ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง จำนวน 20 ข้อมูล..... 37
4.4	รายงานผลผลิต (Output) จากแบบจำลอง 38
4.5	เวลาการรอคอย (Waiting) ของชิ้นงานในระบบ..... 39
4.6	อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) ของแต่ละสถานีงาน..... 40
4.7	รอบเวลา (Cycle Time) ของแต่ละสถานีงานเทียบ Takt Time (ปัจจุบัน) 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8 รอบเวลา (Cycle Time) ของแต่ละสถานีงานเทียบ Takt Time (หลังปรับปรุง).....	46
ข.1 การใส่ข้อมูลลงใน Notepad.....	70
ข.2 การเลือก Input Analyzer	71
ข.3 การเลือก Use Existing	71
ข.4 การเลือก Fit All	72
ข.5 การเลือกเลือกการแจกแจงและสถิติ	72
ข.6 หน้า Menu หลักของ ARENA 16.10.00002.....	73
ข.7 หน้า Check Model, Replication Length, RUN.....	74
ข.8 หน้า Check Model	74
ข.9 หน้ารายงาน	75
ค.1 แบบการแจกแจงเวลานำเข้าของถังที่เป็นภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งของเหลว ขนาด 1,000 กิโลกรัม (IBC) จำนวน 200 ข้อมูล.....	77
ค.2 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการผสมสารต่อ 1 ถัง IBC จำนวน 92 ข้อมูล.....	77
ค.3 รูปแบบการแจกแจงเวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังจากการผสมสารต่อ 1 ถัง IBC จำนวน 97 ข้อมูล.....	78
ค.4 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการขนย้ายถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล	78
ค.5 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการต่อท่อปั๊มใส่ถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล.....	79
ค.6 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 1) จำนวน 144 ข้อมูล	79
ค.7 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 2) จำนวน 143 ข้อมูล	80
ค.8 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 3) จำนวน 144 ข้อมูล	80
ค.9 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 4) จำนวน 139 ข้อมูล	81
ค.10 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 5) จำนวน 138 ข้อมูล	81
ค.11 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 6) จำนวน 138 ข้อมูล	82
ค.12 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 7) จำนวน 141 ข้อมูล	82
ค.13 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 8) จำนวน 142 ข้อมูล	83
ค.14 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 9) จำนวน 138 ข้อมูล	83
ค.15 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 10) จำนวน 144 ข้อมูล	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ค.16 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการ Setup Batch จำนวน 143 ข้อมูล.....	84
ค.17 รูปแบบการแจกแจงเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้ง (MTTR) > 10 นาที จำนวน 93 ข้อมูล.....	85
ค.18 รูปแบบการแจกแจงเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) จำนวน 93 ข้อมูล	85
ง.1 รายงานเวลาทำงานต่อชิ้นงานของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน)	87
ง.2 รายงานเวลารอคอยของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน).....	88
ง.3 รายงานอัตราการใช้ประโยชน์ของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน).....	89
ง.4 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (ปัจจุบัน).....	90
ง.5 รายงานเวลาทำงานต่อชิ้นงานของแต่ละกระบวนการ (หลังปรับปรุง).....	91
ง.6 รายงานอัตราการใช้ประโยชน์ของแต่ละกระบวนการ (หลังปรับปรุง)	92
ง.7 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (หลังปรับปรุง)	93
ง.8 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (หลังปรับปรุง)	94
ง.9 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (ปัจจุบัน).....	95
ง.10 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (หลังปรับปรุง).....	95

TNI

THAI

NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตได้เริ่มตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม จนถึงปัจจุบันกลายเป็นอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อน และพึ่งพาเครื่องจักรมากขึ้น ประกอบกับความต้องการของผู้บริโภคที่สูงขึ้นจึงทำให้ภาคอุตสาหกรรม ต้องการประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและการดำเนินงานต่างๆ เช่น ภาควิสาหกรรมการผลิต การขนส่ง เพื่อให้สามารถผลิตสินค้า และส่งมอบให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า ด้วยต้นทุนต่ำ ในขณะที่มีข้อจำกัดด้านการใช้ทรัพยากรการผลิต เครื่องจักร พาหนะ แรงงาน และวัตถุดิบที่มีอย่างจำกัด และไม่สามารถกำหนดปริมาณความต้องการได้อย่างแม่นยำ ซึ่งการจำลองสถานการณ์นั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหา ที่เกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูลนำเข้า ที่มีรูปแบบการแจกแจงข้อมูลแบบปกติและไม่ปกติ สามารถทราบรูปแบบการแจกแจงจากการจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นข้อดีในการวิเคราะห์ข้อมูล

นอกจากนี้การออกแบบและพัฒนาระบบงานส่วนใหญ่ อาศัยแบบจำลองเป็นเครื่องมือสำคัญในการพิจารณา และวิเคราะห์เหตุการณ์ก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบงานจริง (Real System) เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาการดำเนินงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์มีมากขึ้นต่อเนื่อง เป็นการสร้างแนวทางการตัดสินใจให้ระบบ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้ระบบหรือปรับปรุงระบบงานเดิมที่มีอยู่ให้ดียิ่งขึ้นไปโดยไม่รบกวนระบบงานจริง โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรม เช่น การจำลองโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักร คน พาหนะสำหรับเคลื่อนย้ายวัสดุ และสายพานการประกอบ เพื่อประเมินกำลังการผลิตและผลกระทบหากมีการออกแบบใหม่ด้วยเครื่องจักรที่เร็วขึ้น โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Arena Simulation เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากเป็นที่นิยมตั้งแต่ปี 2006-2011 เป็นอันดับที่ 1 [1] ดังรูปที่ 1.1

DES Tools	WSC	DOCS	REVIEWS	SOCIAL	WWW	Growth	tot. (WSC docs social WWW)	Rank 2016
Arena	10	10	10	10	9	10	9,9	1
ProModel	10	9	9	5	9	5	7,6	2
FlexSim	6	7	7	9	8	6	7,2	3
Simul8	6	7	9	7	6	8	7,23	4
WITNESS	8	8	9	7	8	4	7,2	5
ExtendSim	7	8	8	4	5	5	6,2	6
Simio	6	6	4	5	8	9	6,1	7
Plant Simulation	1	6	7	6	7	8	6,1	8
AnyLogic	8	8	8	2	5	7	5,92	9
SIMPROCESS	9	10	4	1	6	4	5,0	10
AutoMod	9	6	7	1	4	4	4,83	11
Micro Saint	4	5	5	0	10	4	4,8	12
QUEST (Delmia)	3	6	4	3	8	4	4,8	13
Enterprise Dynamics	5	4	7	4	4	6	4,8	14
ProcessModel	4	5	1	4	10	3	4,7	15
SimCAD Pro	3	2	5	3	3	5	3,7	16
GPSS World	7	6	2	0	3	4	3,18	17
SLX + Proof 3D	7	3	3	1	3	3	2,9	18
ShowFlow	3	2	5	0	5	0	2,4	19

DES Tools	Ranking 2006	R2006 - R2011	Ranking 2011	in 5 years	Ranking 2016
Arena	1	0	1	0	1
ProModel	2	-2	4	2	2
FlexSim	10	3	7	4	3
Simul8	7	5	2	-2	4
WITNESS	5	2	3	-2	5
ExtendSim	6	0	6	0	6
Simio	NEW	14	7	7	7
Plant Simulation	17	8	9	1	8
AnyLogic	15	10	5	-4	9
SIMPROCESS	4	-8	12	2	10
AutoMod	3	-5	8	-3	11
Micro Saint	14	-1	15	3	12
QUEST	8	-2	10	-3	13
Enterprise Dynamics	16	5	11	-3	14
ProcessModel	12	-1	13	-2	15
SimCAD Pro	-	-	16	0	16
GPSS World	18	-1	19	2	17
SLX + Proof 3D	11	-6	17	-1	18
ShowFlow	-	-	18	-1	19

รูปที่ 1.1 คะแนนแต่ละซอฟต์แวร์และการเปรียบเทียบอันดับปี 2006-2011 [1]

ส่วนข้อจำกัดในการใช้เทคนิคแบบจำลองแก้ปัญหา คือคำตอบที่ได้จากแบบจำลองไม่ได้เป็นคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แต่เป็นคำตอบที่ได้จากผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดในสถานการณ์จริง การสร้างแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับระบบงานจริง (Real System) มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน และไม่สามารถจำลองได้กับทุกสถานการณ์ ที่สำคัญแบบจำลองจะช่วยประเมินหาวิธีซึ่งให้ได้มาเพื่อคำตอบ

แบบจำลองมี 2 ประเภทคือ 1.แบบต่อเนื่อง (Continuous) 2. แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิตในโรงงานที่ 1 จังหวัดสมุทรสาคร และหยุดการผลิตโรงงานที่ 2 จังหวัดระยอง เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน แต่ทางโรงงานกรณีศึกษา ไม่ต้องการความผิดพลาดในการตัดสินใจ จึงต้องการนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองและหาวิธีปรับปรุงโรงงานผลิตที่ 1 โดยหาค่าตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการและปรับปรุงกระบวนการผลิตนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลในแต่ละกระบวนการด้วยวิธี จับเวลาการผลิตต่อชิ้นงาน พบว่าประเภทของระบบเป็นแบบ Stochastic System มีความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเปลี่ยนไปตามเวลา และประเภทของแบบจำลองสถานการณ์เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Simulation)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิเคราะห์หาตัวแปรควบคุมในสายการผลิตและสร้างแบบจำลอง เพื่อเพิ่มผลผลิตในสายการผลิตขอสปริงรส

- 1.2.1 ปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์เพิ่มเป็นร้อยละ 97
- 1.2.2 ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 49
- 1.2.3 จำนวนพนักงานลดลงร้อยละ 11
- 1.2.4 เวลานำการผลิตลดลงร้อยละ 32
- 1.2.5 การส่งมอบตามเวลาร้อยละ 100

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การจำลองสถานการณ์ได้นำฐานข้อมูลเดิมจากโรงงานกรณีศึกษา เป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองเพื่อปรับปรุงและสร้างมาตรฐาน

1.3.2 นำผลรอบเวลา (Cycle Time) การผลิตต่อชิ้นงาน จากแบบจำลอง (Model) มาจัดสมดุลการผลิต (Line Balancing)

1.3.3 สร้างแบบจำลองการผลิตด้วยซอฟต์แวร์ ARENA 16.10.00002 Rockwell Software

1.3.4 ทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Verification) โดยใช้วิธีทดสอบ Comparison with an Existing System

1.3.5 ทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Validation) โดยใช้วิธีทดสอบ Parameter Variability-Sensitivity Test

1.3.6 ทดสอบสมมติฐานระหว่างระบบงานจริงกับแบบจำลองใช้วิธีทดสอบ Two-Sample T-test for the Mean ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แบบ Type I Error, α หรือเรียกว่า Model Builder's Risk

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถหาค่าตัวแปรควบคุมและปรับปรุงการผลิตโดยผ่านแบบจำลองสถานการณ์ และตัดสินใจเลือกการปรับปรุงโดยไม่รบกวนระบบงานจริง

1.4.2 สามารถเพิ่มผลผลิต ผลิตภาพ และความสามารถในการแข่งขัน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ค้นหาและกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษาจากโรงงานกรณีศึกษา คัดเลือกข้อมูลที่มีคุณภาพและน่าเชื่อถือก่อนนำข้อมูลไปใช้จริง

1.5.2 ทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Verification) ระบบงานจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลและทดสอบแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) ของแบบจำลอง

1.5.3 แบบจำลองที่ถูกสร้างด้วยซอฟต์แวร์ ARENA 16.10.00002 ดำเนินการทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Validation) ระหว่างระบบงานจริงกับแบบจำลอง เมื่อผ่านการทดสอบแล้ว แบบจำลองจะเป็นตัวแทนของระบบงานจริง

1.5.4 นำเวลาผลิตต่อชิ้นงานจากแบบจำลอง (Model) มาจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) โดยเทียบกับค่า Takt Time ที่คำนวณได้จากระบบงานจริง

1.5.5 เลือกตัวแปรที่มีค่า Cycle Time สูงกว่าค่า Takt Time นำมาจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ผ่านซอฟต์แวร์ ARENA ใช้วิธี Trial and Error บนพื้นฐานที่โรงงานกรณีศึกษาทำได้จริง

1.5.6 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ให้ตรงกับวัตถุประสงค์และสรุปผลดำเนินงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงานปี พ.ศ. 2564 - 2565

[illegible]

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อน และมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วยเสมอ เช่น อุตสาหกรรมขนส่งวัตถุดิบ อุตสาหกรรมผลิต ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้มีความไม่แน่นอนของการเข้ามาของทรัพยากร ความไม่แน่นอนของเวลาซ่อมเครื่องจักร ความไม่แน่นอนของตารางการทำงานเกี่ยวข้องอยู่ด้วย จึงเป็นการยากในการจัดสรรทรัพยากรต่างๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของอุตสาหกรรมนั้นๆ ด้วยการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ในการสร้างแบบจำลองด้วยซอฟต์แวร์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมของระบบ เพื่อให้ไปสู่การสร้างแนวทางปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

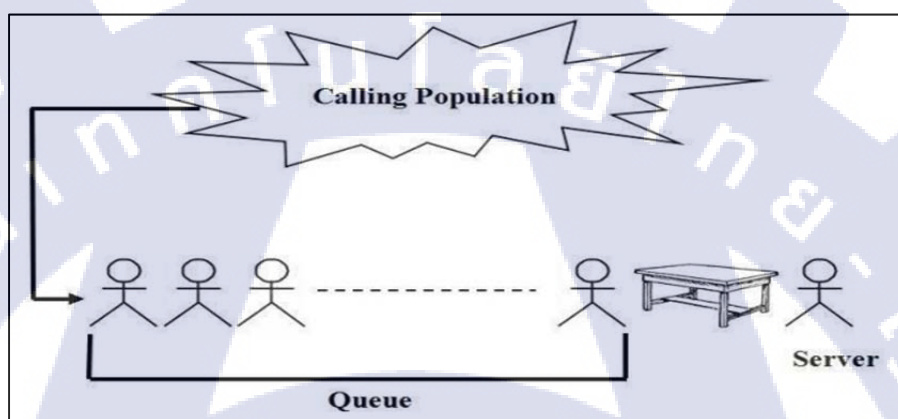
2.1 การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องและรูปแบบแจกแจงข้อมูล

การจำลอง (Simulation) คือ กระบวนการออกแบบจำลองของระบบงานจริง (Real System) เพื่อทดลองเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ที่วางไว้ เพื่อประเมินผลการดำเนินงานของระบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดลอง ก่อนนำไปใช้ศึกษาวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป การจำลองสถานการณ์เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางเนื่องจากสายการผลิตส่วนมากจะแบ่งเป็นสถานีงาน (Workstation) มีการเกิดแถวคอย (Queuing) สอดคล้องกับทฤษฎีการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของระบบเป็นการลำดับเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ประเภทของแบบจำลอง (Type of Simulation) สามารถแบ่งได้เป็น 2 มิติ [2]

2.1.1 มิติทางด้านเวลา แบบสถิต คือ แบบจำลองที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือเวลาไม่ใช้ปัจจัยสำคัญในการจำลอง ซึ่งมีชื่อเรียกบางครั้งเรียกว่า มอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ซึ่งมีชื่อเหมือนกับการเสี่ยงดวงเล่นการพนันที่ประเทศโมนาโก และแบบพลวัต (Dynamics) คือ สถานภาพของระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การจำลองแบบแถวคอย

2.1.2 มิติลักษณะของระบบ การจำลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Simulation) คือ การจำลองระบบที่ทราบถึงสถานะตลอดเวลา เช่น การจำลองเครื่องบินเวลาบิน น้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ การระเหยของน้ำ เป็นต้น การจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Simulation) คือ จำลองการทำงานของระบบเป็นลำดับเหตุการณ์ในเวลาแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ระบบคลังสินค้า ระบบแถวคอย เป็นต้น สถานะของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลง ณ เวลานั้น

ยกตัวอย่าง [3] กำหนดมีผู้ให้บริการเพียงคนเดียว (Single-Server Queue) การบริการเป็นแบบไม่สิ้นสุด บริการต่อเนื่อง เมื่อมีหนึ่งคนรับบริการเสร็จก็จะเรียกคนต่อไปเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดแถวคอยในสายบริการ เวลาการเข้ามาของผู้ใช้บริการก็จะเป็นการสุ่มไม่สามารถระบุระยะเวลาได้อย่างชัดเจน ระยะเวลาการให้บริการก็จะเป็นไปตามรูปแบบการแจกแจงของเวลา สมรรถนะของระบบจะไม่มีที่สิ้นสุดตราบใดที่ยังคงมีการรอคอยในสายบริการ ปกติแล้วแถวคอยส่วนมากก็จะใช้ระบบ FCFS (First Come, First Served) มาถึงก่อนได้รับการบริการก่อนแล้วก็ออกจากระบบ ซึ่งนำไปสู่รูปแบบการจำลองสถานการณ์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบผู้ให้บริการเพียงคนเดียว (Single-Server Queue) [3]

ความสามารถของการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องจะแตกต่างจากระบบอื่นที่ไม่สามารถทำได้เหมือนกันเป็นรูปแบบที่ให้ผลลัพธ์เฉพาะทาง และสามารถพูดได้ว่าเป็นการจำลองที่สะท้อนเหตุการณ์จริงได้ดี โครงสร้างส่วนประกอบที่สำคัญของแบบจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่องประกอบด้วย วัตถุนำเข้า (Entities), กิจกรรม (Activities), เหตุการณ์ (Event), ทรัพยากร (Resources), ค่าตัวแปร (Variables), ตัวเลขสุ่ม (Random Number), ปฏิทินการทำงาน (Work Calendar), ตัวแปรสถานะของระบบ (System State Variables), รวบรวมข้อมูลทางสถิติ (Statistics Collectors) แบบจำลองอีกประการที่สำคัญ คือ การสร้างขึ้นเพื่อการพัฒนาเลียนแบบระบบงานจริงและเป็นทางเลือกในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการจริง เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะในการสร้างแบบจำลองระบบที่มีความแปรผันของตัวแปร [4]

สิ่งสำคัญในการสร้างแบบจำลอง คือ ตัวเลขที่ได้จากการสุ่มในทางเทคนิคเรียกว่า สร้างเลขสุ่มเทียม (pseudo-random number generator) ปกติแล้วซอฟต์แวร์จะสร้างตัวเลขสุ่มระหว่าง 0 กับ 1 ที่ใช้ในการหาการแจกแจงข้อมูล ตัวอย่างเช่น มีตัวเลขของกระบวนการล่าช้าอยู่ระหว่าง 10-20

นาที่ ทุกๆ วัตถุนำเข้า (Entities) ที่เข้ามาจะถูกสร้างตัวเลขสุ่มระหว่าง 0 กับ 1 ซอฟต์แวร์จะสร้างตัวเลขที่ได้ออกมา 0.7312 ค่าต่ำสุดของกระบวนการจริง 10 นาที่ และค่าสูงสุด 20 นาที่ สร้างตัวเลขของกระบวนการจริง $10 + (0.732) \times (20 - 10)$ เท่ากับ 17.312 นาที่ [5] การสร้างตัวแปรสุ่มเป็นพื้นฐานเบื้องต้นที่จะต้องทราบเพื่อป้องกันตัวเลขแบบไม่แน่นอนและเป็นอิสระต่อกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า (Input Data Analyzer) มีความสำคัญกับแบบจำลอง เพราะถ้าผู้สร้างใส่รูปแบบการแจกแจงที่ไม่ถูกต้องให้กับระบบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะไม่ถูกต้องตามไปด้วย การกระจายตัวของข้อมูลจะสอดคล้องกับรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ กรณีที่มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่ปกติ ให้วิเคราะห์คุณลักษณะของข้อมูล โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มลักษณะแบบสถิต (Static Characteristic) เป็นคุณลักษณะมีค่าคงที่แท้จริงเพียงค่าเดียว และไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของปากกา อุณหภูมิเตาหลอม ความแข็งของโลหะ คุณลักษณะเหล่านี้จะแจกแจงแบบปกติเสมอ ยกเว้นมีปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ 2. กลุ่มลักษณะแบบพลวัต (Dynamics Characteristic) เป็นคุณลักษณะค่าแท้จริงเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา เช่น อัตราการขัดข้องของเครื่องจักร อายุการใช้งานเครื่องจักรมีผลต่อการล้มเหลว (Failure) ของเครื่องจักร เวลาการนำเข้าวัตถุดิบในแต่ละวัน [6] จากตารางที่ 2.1 รวบรวมความน่าจะเป็นของการกระจายข้อมูลในแต่ละรูปแบบ สามารถเลือกใช้โดยระบุชื่อรูปแบบการแจกแจง ทั้งชื่อเต็มของตัวแปรหรือตัวย่อสี่ตัวอักษรของชื่อที่ประกอบด้วยสี่ตัวอักษรตัวแรก ตัวอย่างเช่น UNIFORM หรือ UNIFORM การกระจายแบบสม่ำเสมอในรูปแบบเบื้องต้นรูปแบบรองถูกเลือกโดยการระบุการกระจายด้วยอักษรย่อสองตัว ตัวอย่างเช่น UN ส่วนในช่องสุดท้ายสามารถใส่ค่าพารามิเตอร์ในช่องดังกล่าวได้ ตัวอย่างเช่น UNIFORM (10, 25) หมายถึง ค่าสูงสุดเท่ากับ 25 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 10

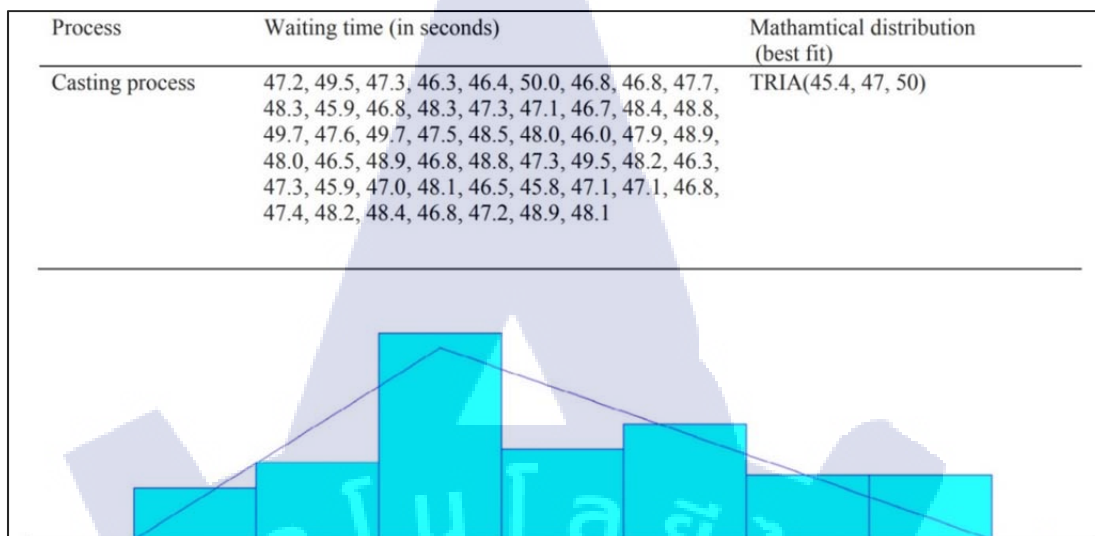
Distribution		Parameter Values	
Beta	BETA	BE	Beta, Alpha
Continuous	CONT	CP	CumP ₁ , Val ₁ , ... CumP _n , Val _n
Discrete	DISC	DP	CumP ₁ , Val ₁ , ... CumP _n , Val _n
Erlang	ERLA	ER	ExpoMean, k
Exponential	EXPO	EX	Mean
Gamma	GAMM	GA	Beta, Alpha
Johnson	JOHN	JO	Gamma, Delta, Lambda, Xi
Lognormal	LOGN	RL	LogMean, LogStd
Normal	NORM	RN	Mean, StdDev
Poisson	POIS	PO	Mean
Triangular	TRIA	TR	Min, Mode, Max
Uniform	UNIF	UN	Min, Max
Weibull	WEIB	WE	Beta, Alpha

รูปที่ 2.2 ความน่าจะเป็นของการกระจายข้อมูลในแต่ละรูปแบบ [7]

2.2 ซอฟต์แวร์ ARENA

Rockwell ARENA เป็นซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ (Simulation) ภาษาที่ใช้ในการสื่อสารของซอฟต์แวร์เรียกว่า ภาษา SIMAN (Simulation Analysis) ซึ่งเป็นภาษาทั่วไปที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง [8] ในซอฟต์แวร์ ARENA สามารถสร้างแบบจำลองได้โดยการเชื่อมโยงโมดูลเป็นตัวแทนของกระบวนการต่างๆ ในการเชื่อมต่อ เช่น ข้อมูลของตัวแปรในสายการผลิตขึ้นส่วนโดยผ่านแต่ละกระบวนการ เช่น เวลาการผลิต เวลาการขนส่ง เวลาการรอคอย จะถูกบันทึกและจัดเก็บไว้ใช้สำหรับการรายงานผลทุกครั้งการจำลองสถานการณ์ การสร้างแบบจำลองจะต้องสร้างเค้าโครงกระบวนการ (Process Layout) ลำดับขั้นตอนการผลิตการเก็บเวลาในการทำงานแต่ละกระบวนการ

2.2.1 Input Analyzer ยกตัวอย่าง [9] โรงงานผลิตแท่นรองรับลูมินีเยมเริ่มจากการลำดับเค้าโครงกระบวนการก่อน เพื่อเก็บข้อมูลการทำงานในแต่ละกระบวนการ และนำเข้าระบบการวิเคราะห์ (Input Analyzer) ผ่านการเลือก Fit All จะได้รูปแบบการแจกแจง โดยระบบจะคัดเลือกรูปแบบการแจกแจงที่มีค่า Square Error ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่กำหนดกับค่าที่วัดได้ ค่าที่ได้น้อยจะแสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสองค่า กำหนดให้เลือกค่าต่ำสุดเป็นที่ตั้ง ดังในรูปที่ 2.2 เป็นกระบวนการหล่อโลหะ



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการหล่อโลหะจากโรงงานตัวอย่างผลิตแท่นรองรับลูมินีเยม [9]

อย่างไรก็ตาม การใช้คำสั่ง Fit All นั้นไม่สามารถบอกได้ว่าการแจกแจงที่ได้นั้นเป็นตัวแทนที่เหมาะสมจนกว่าจะทำการทดสอบค่า P-Value ว่ามีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (Significance Level) หรือไม่ โดยซอฟต์แวร์ Arena มีการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงความน่าจะเป็น และทดสอบความพอดีของข้อมูล ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าคาดหวัง (Expected Values) กับค่าสังเกต (Observed Values) เรียกว่า ทดสอบภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness of Fit Test) [10]

เมื่อมีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ จะต้องมีการตัดสินใจว่าจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้หรือไม่ ซึ่งการตัดสินใจจะใช้เครื่องมือ Two-sample t-test ในการตัดสินใจบนค่าความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 คือ Type I error หรือเรียกว่า Model Builder's Risk หมายถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการปฏิเสธ H_0 ทั้งที่เป็นจริง จะมีค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ [11] การทดสอบสมมติฐานสามารถใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการจากข้อมูล ความแปรปรวน การแจกแจงและอนุกรมเวลาของตัวแปรของแบบจำลอง เพื่อทดสอบเงื่อนไขแต่ละชุดข้อมูล เพื่อพิจารณาว่าพฤติกรรมของแบบจำลองจะมีความแม่นยำที่ยอมรับได้หรือไม่

2.2.2 Output Analyzer ข้อมูลที่ถูกแสดงออกมาในรูปแบบผลการวิเคราะห์ทางสถิติผ่านแบบจำลองสถานการณ์ จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบเชิงสถิติ ผ่านเครื่องมือ T-test, Correlogram, Variance, Moving Average การทดสอบนี้จะทดสอบสมรรถนะ (Performance) หรือเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองมากกว่า 2 แบบขึ้นไป ข้อมูลที่ได้จากซอฟต์แวร์ ARENA จะถูกบูรณาการ (Integrate) แสดงสถานะของแบบจำลองได้

ซอฟต์แวร์ Arena ยังสามารถลดความแปรปรวนของผลลัพธ์ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยการคำนวณช่วงความกว้างจุดกึ่งกลาง (Half Width) โดยเพิ่มจำนวนครั้งในการเรียกใช้โปรแกรม ของแบบจำลอง เพื่อลดความแปรปรวน การหาจำนวนครั้งในการทำซ้ำ เรียกว่า Number of Replication สามารถทำได้โดยการกำหนดรอบการเรียกใช้โปรแกรม เริ่มต้นแทนสัญลักษณ์ n_0 แล้วทำการประมวลผล ดังสมการที่ 2.1

$$N \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2} \quad (2.1)$$

n คือ จำนวนรอบทำซ้ำ

n_0 คือ จำนวนรอบของการประมวลผลครั้งแรก

h^2 คือ ค่าความกว้างจุดกึ่งกลางที่ยอมรับได้

h_0^2 คือ ค่าความกว้างจุดกึ่งกลางจากการประมวลผลครั้งแรก

ยกตัวอย่าง [12] การจำลองสถานการณ์ เพื่อพัฒนาระบบการขนส่งและสินค้าคงคลัง สำหรับร้านขายวัสดุก่อสร้าง ทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง เพื่อทวนสอบว่าแบบจำลองสามารถเป็นตัวแทนของระบบการทำงานจริงได้หรือไม่ อ้างอิงสมการ (2.1) โดยการเปรียบเทียบความสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง เช่น ระยะเวลาในการรอสินค้าที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าใกล้เคียงจากค่าจริงและมีค่าความกว้างจุดกึ่งกลาง (Half Width) ไม่เกินร้อยละ 5 ของข้อมูลจริง โดยกำหนดค่าความกว้าง

จุดกึ่งกลาง 1.72 ชั่วโมง โดยคำนวณหาจำนวนรอบในการทำซ้ำใหม่ที่รอบประมวลผล 597 รอบ ได้ค่าความกว้างจุดกึ่งกลาง 1.59 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ สามารถยืนยันผลการทำซ้ำที่ 597 รอบ ในการเรียกใช้โปรแกรมดังกล่าว

2.3 การทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Verification)

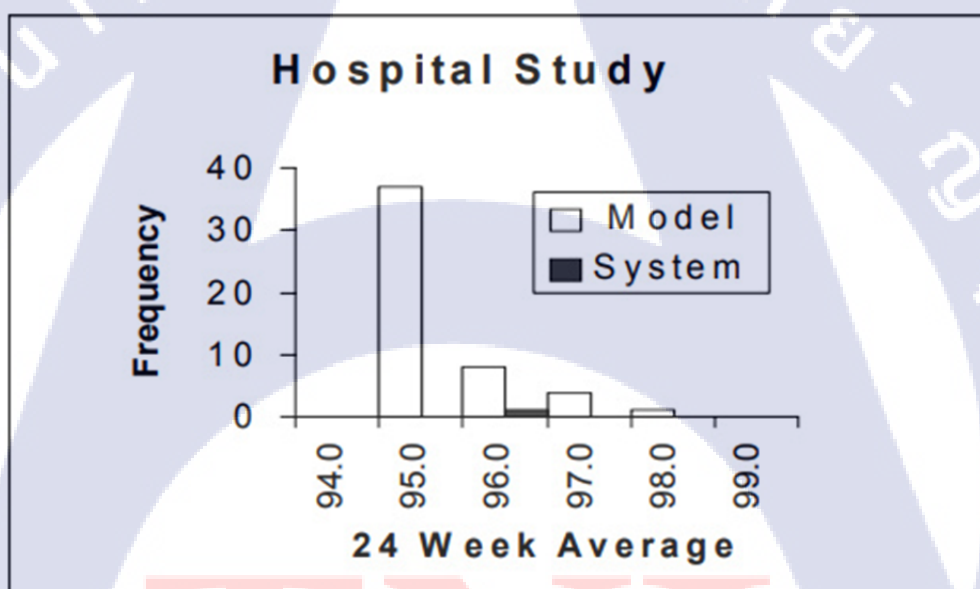
การทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง เป็นเทคนิคที่ทรงพลัง (Powerful) อย่างมาก เป็นการทดสอบแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) ของแบบจำลอง เมื่อพบว่าแบบจำลองมีข้อบกพร่อง debugger จะทำการวิเคราะห์ให้แบบจำลองหยุดทำงานที่จุดเวลานั้น และตรวจสอบความเป็นไปได้ในการเปลี่ยนค่าตัวแปร ซึ่งทุกๆ แบบจำลองจะมีสิ่งนี้ในการทวนสอบ หลังจากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทวนสอบความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบงานจริงเทียบแบบจำลอง

เมื่อกำหนด

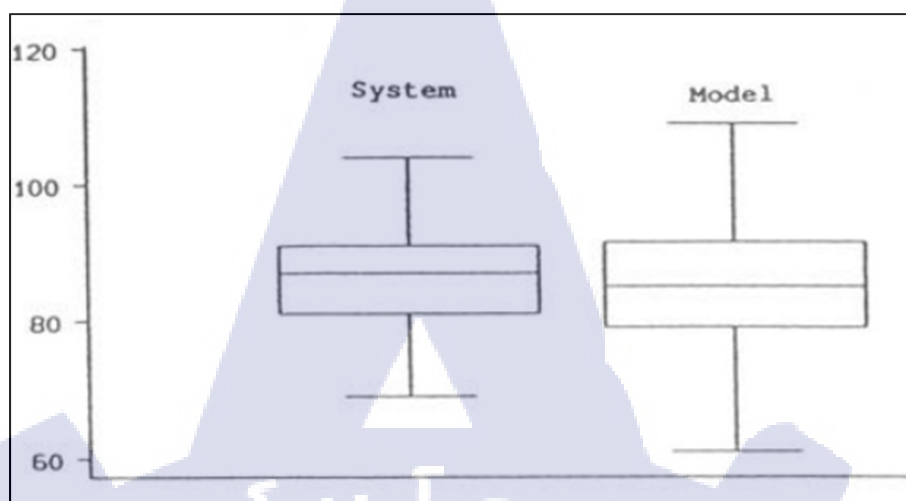
H_0 = Null Hypothesis สมมติฐานหลักค่าเฉลี่ยผลผลิตของระบบงานจริงไม่แตกต่างกับแบบจำลอง

H_1 = Alternative Hypothesis สมมติฐานทางเลือกค่าเฉลี่ยผลผลิตของระบบงานจริงแตกต่างกับแบบจำลอง

แบบจำลอง กรณี $P\text{-Value} > 0.05$ ไม่สามารถปฏิเสธค่าเฉลี่ยสมมติฐานหลักได้ แสดงว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอในการการสร้างความแตกต่าง ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองและระบบงานจริงมีความสำคัญอย่างมาก สามารถแสดงแผนภูมิออกมาทำการวิเคราะห์ ยกตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงค่าของสถิติความถี่ (Histogram) และรูปที่ 2.4 แผนภาพกล่อง (Box Plot) ทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 แบบจำลอง [13]

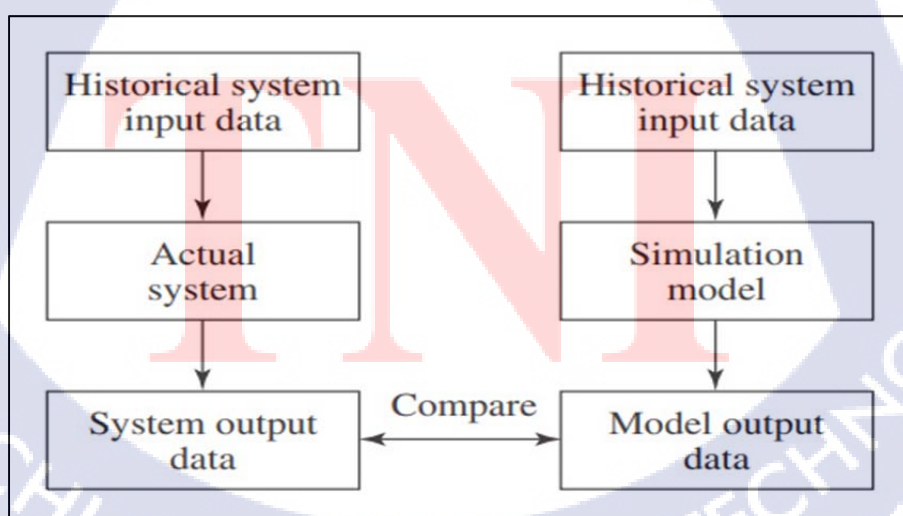


รูปที่ 2.4 กราฟค่าของสถิติความถี่ (Histogram) [13]



รูปที่ 2.5 แผนภาพกล่อง (Box Plot) [13]

การเลือกวิธีทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง จากผลผลิตโดยรวม (Validate the Output from the Overall Simulation Model) เป็นการทดสอบที่ชัดเจน เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการพิสูจน์ว่าข้อมูลมีความคล้ายคลึงกับข้อมูลที่ได้มาจากระบบงานจริงหรือไม่ มีวิธีการที่สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบกับระบบที่มีอยู่ (Comparison with an Existing System) และได้รับการพัฒนาเปรียบเทียบข้อมูลกับระบบที่มีอยู่ หากข้อมูลทั้งสองชุดเปรียบเทียบมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่า แบบจำลองของระบบที่มีอยู่สามารถนำไปเป็นตัวแทนของระบบได้จริง แสดงในรูป 2.5



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์เปรียบเทียบผลลัพธ์ระบบงานจริงกับแบบจำลอง

2.4 การทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Validation)

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation Model) โดยใช้เทคนิคการทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) การทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลอง (Explore Model Behavior) โดยวัดจากค่าเฉลี่ยของผลผลิต (Output) รวมถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ ที่ตัวแปรสามารถนำมาทดสอบความไวของแบบจำลอง โดยผ่านเครื่องมือการออกแบบจำลอง (Design Of Experiment)

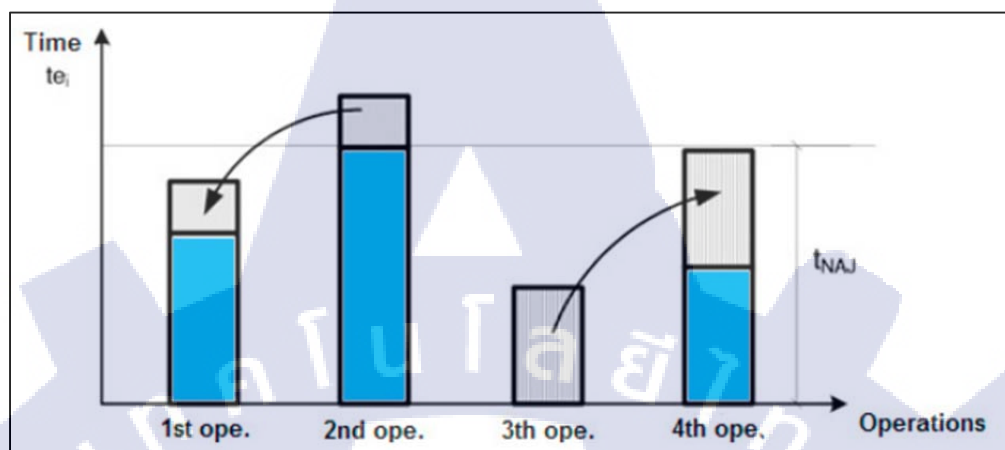
ยกตัวอย่าง [14] เลือกการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design 2^K ในการทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) เพื่อทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลอง (Explore Model Behavior) หลังจากที่ใช้แบบจำลองผ่านการทวนสอบและทดสอบความถูกต้องแล้ว ให้กำหนดปัจจัย (Factor) และค่าระดับ (Level) นำเข้า เลือกค่าตอบสนอง (Response) ในงานวิจัยนี้เลือกค่าผลผลิต (Output) หลังจากนั้นทำการทดสอบด้วยแบบการทดลอง Full Factorial Design เทียบผลผลิตระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง ถ้ามีค่าไม่แตกต่างกัน ก็ให้เลือกปัจจัยและค่าระดับที่เหมาะสมจากแบบจำลองต่อไป

2.5 การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) ผ่านแบบจำลอง

เมื่อแบบจำลองผ่านการสร้างและทดสอบความถูกต้องแล้ว ทางผู้วิจัยได้นำเทคนิคความรู้ในการปรับปรุงกระบวนการและแก้ไขปัญหาผ่านทางแบบจำลอง โดยแบบจำลองจะช่วยให้การคาดคะเนผลการจำลองออกมาโดยไม่กระทบกระบวนการผลิตจริง การปรับปรุงกระบวนการนิยมใช้เครื่องมือจัดสมดุลสายการผลิต ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นการปรับระดับการทำงาน สถานีงาน การทำงานที่แบบภาระมากเกินไป สำหรับกระบวนการผลิตที่จะต้องจัดสมดุลโดยจัดสถานีคอขวด (Bottleneck) ออกไป การจัดสมดุลสายการผลิตจะเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับการผลิตนั้น ซึ่งวิธีนี้จะถูกเลือกมาเป็นอันดับแรกเสมอ [15] สำหรับสายการผลิตใหม่ที่ต้องการทดลองการผลิต เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของการผลิต และศึกษาหลักเกณฑ์ของต้นทุนการผลิต สถานีคอขวดเป็นตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ที่ต้องปรับปรุงมากที่สุด [16] ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการจัดสายการผลิตให้เกิดความสมดุล ยกตัวอย่างการเพิ่มผลผลิตภาพของการผลิต โดยใช้สมดุลการผลิตผ่านการจำลองสถานการณ์ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตภาพและปรับเปลี่ยนการดำเนินงานแสดงในขั้นตอนดังนี้

1. การคำนวณหารอบเวลา (Cycle Time) ของรอบเวลาการทำงานหรือกระบวนการทำงาน แสดงถึงเวลาที่สินค้าถูกผลิตเสร็จ
2. การหาจำนวนสถานีงานสำหรับแต่ละสถานีทำงานจำนวนงานที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงาน
3. หาร้อยละการใช้ประโยชน์ (Utilization) ของอุปกรณ์เครื่องจักร
4. หาวิธีการลดรอบเวลา (Cycle Time) ของการดำเนินงาน

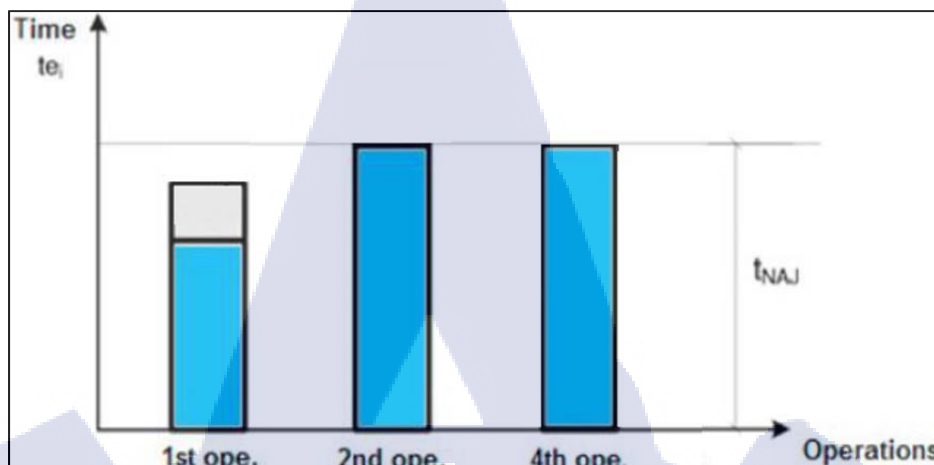
โดยขั้นตอนทั้ง 4 วิธีนี้มีความสำคัญในการจัดสมดุลการผลิต จากรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงตัวอย่างการปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อจัดสมดุล



รูปที่ 2.7 วิธีการจัดสมดุลงาน [17]

สามารถอธิบายได้ว่าแกน X กำหนดเป็นจำนวนสถานีดำเนินงาน ส่วนแกน Y กำหนดเป็นเวลาต่อหน่วยของการดำเนินงาน การผลิตนี้มีจำนวนสถานีดำเนินงาน 4 สถานี เส้นประ คือ เส้น Takt Time

1. สร้างการกระจายงานของแต่ละสถานีงานทั้งก่อนหน้าและหลัง เพื่อทำให้เกิดความสมดุลและลดภาระงาน
2. ปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่เพื่อตอบสนองกับการลดเวลาต่อหน่วย (Time Per Unit) แสดงให้เห็นว่าสถานีงานไหนที่มีแผนภูมิแท่ง (Bar Chart) สูงที่สุดแสดงว่าเป็นจุดที่ใช้เวลาต่อหน่วยนานสุด กล่าวคือ สถานีคอขวด ซึ่งบริเวณดำเนินงานก่อนหน้านี้จะทำให้เกิดการรอคอย (Waiting) ซึ่งเป็นแถวคอย (Queuing) ในระบบ
3. นำงานย่อยมาทำรวมกัน คือ นำงานที่ทำไปทำร่วมกันที่สถานีงานนั้น เวลาในการทำงานรวมกัน สามารถลดสถานีงานที่ 3 ลงได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 หลังการจัดสมดุลดัดแปลง

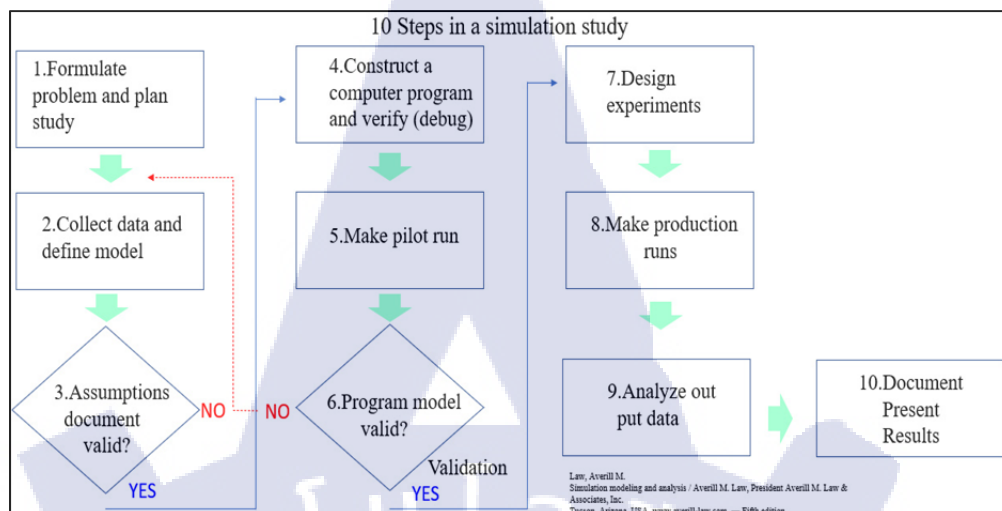
หลังจากเสร็จสิ้นการปรับสมดุลของสายการผลิตทั้งหมด ข้อมูลที่ได้รับและปรับปรุงใหม่จะต้องเข้าสู่แบบจำลอง การจำลองซึ่งปัจจุบัน เรียกว่า แบบจำลองสายการผลิตที่สมดุล [17] ถึงแม้ว่าจะมีการดำเนินการแก้ไขและพัฒนาหลายวิธี เช่น การจัดวางผังการผลิตใหม่ การกำจัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าในกระบวนการ ลดรอบเวลา และปรับสมดุลปริมาณงานของแรงงาน แต่ก็ต้องใช้เครื่องมือเส้นสมดุลผ่านแผนภูมิ Yamazumi และ Takt time เป็นเครื่องมือในการต่อยอด Kaizen สำหรับการปรับสมดุล ลักษณะแผนภูมิเป็นแผนภูมิแท่ง ที่แสดงเวลารวมสำหรับสถานีงานตามกระบวนการในสายการผลิต [18]

สมดุลผลิตเป็นกลยุทธ์ในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานและเครื่องจักร เพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการผลิตเท่ากับ Takt Time ทำให้การไหลของกระบวนการต่อเนื่องและสม่ำเสมอ สายการผลิตนั้นจะมีความสมดุล เมื่อเวลาในการผลิตมากกว่า Takt Time ควรจัดเรียงลำดับงานใหม่เพื่อแก้ปัญหาสถานีงานคอขวดที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

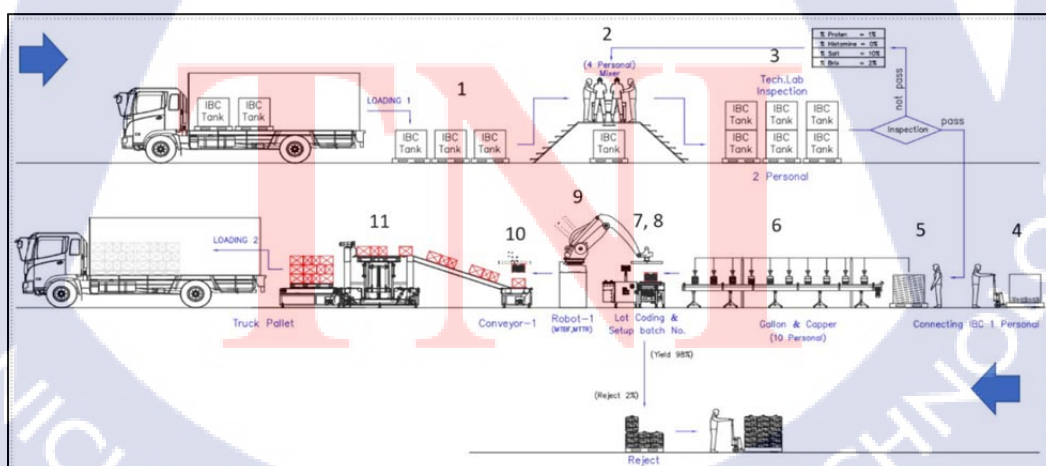
จากการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี พบว่าสามารถลำดับการดำเนินการวิจัยทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) ค่าที่แสดงคุณลักษณะ คุณสมบัติ และข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) ค่าที่เป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนนับ นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยลำดับขั้นตอนการสร้างแบบจำลองได้ดังรูปที่ 3.1 อ้างอิงขั้นตอนระเบียบการวิจัยจาก Law, Averill M เป็นหลักเกณฑ์เริ่มต้นจากรวบรวมปัญหาและเริ่มวางแผนการศึกษา เลือกข้อมูลและจัดวางระบบการจำลองไว้ล่วงหน้า ทำการคัดเลือกคุณภาพของข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยทดสอบข้อมูลเชิงคุณภาพและข้อมูลเชิงปริมาณ อ้างอิงข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาเป็นสำคัญ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาจัดทำแบบจำลอง ทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Verification) โดยมีการแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) ผ่านซอฟต์แวร์ หลังจากนั้นทดลองการจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบระบบงานจริงกับระบบจำลองว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Validation) ด้วยเทคนิคทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) กรณีที่ถูกต้องแล้วให้ดำเนินการออกแบบการปรับปรุงสายการผลิต กรณีที่ไม่ถูกต้องให้นำกลับไปหาข้อมูลเพิ่มเติมอีกครั้ง ถึงแม้ว่าแบบจำลองจะถูกต้องตามหลักการสมมติฐานแล้ว ยังต้องได้รับความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Expert Opinion) ทวนสอบและยืนยันแบบจำลองอีกครั้ง เมื่อแบบจำลองสมบูรณ์แล้ว ให้นำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมาวิเคราะห์และแปลผล นำมาปรับปรุงสายการผลิตโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิสมดุล (Balance Chart) ทำการปรับปรุงงาน นำข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าตามความต้องการของลูกค้า เวลาในการผลิตแต่ละวัน เพื่อหาค่าอัตราที่สินค้าต้องถูกผลิตให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า (Takt Time) มีหน่วยเป็นเวลาต่อหน่วยชิ้นงาน รวมถึงหาประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (Overall Equipment Effectiveness) รอบเวลา (Cycle Time) เพื่อปรับสมดุลการผลิตและหาค่าตัวแปรที่ต้องควบคุม เพื่อให้ตอบสนองความต้องการตามวัตถุประสงค์และกำหนดเป็นมาตรฐานต่อไป



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการวิธีการดำเนินงานดัดแปลง

3.1 รวบรวมข้อมูลและปัญหา

จากการประชุมร่วมกับผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษา พบว่าต้องการเพิ่มผลผลิต (Output) ลดเวลานำผลิต (Production Lead Time) ส่งมอบทันเวลา (On Time Delivery) เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (Overall Equipment Effectiveness) ลดปัญหาปริมาณผลผลิตออกไม่ต่อเนื่อง ณ เวลาใดๆ ส่งผลกระทบให้ฝ่ายวางแผนการผลิต ไม่สามารถคาดการณ์สถานการณ์ในการส่งมอบสินค้าได้ จึงต้องทำการลำดับขั้นตอนการทำงาน วิธีทำงาน จำนวนสถานงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปัญหาและวิธีการแก้ไข ซึ่งสามารถจัดสายการผลิตได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาวัตถุดิบ A ใส่ภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งของเหลวขนาด 1,000 กิโลกรัม เรียกว่าถัง IBC ซึ่งจะรับวัตถุดิบจากผู้จัดส่ง (Supplier) และนำมาแบ่งบรรจุลงในปริมาณของเหลวขนาดใหญ่ที่บรรจุในภาชนะขนาด 70 กิโลกรัม เรียกว่า แกลลอน ลูกค้านี้คำสั่งผลิตตามต้องการ 18,000 แกลลอนต่อเดือน (30 วัน) เวลาทำงานต่อวัน เริ่ม 08.00-16.00 รวม 480 นาที เวลาพักทานอาหาร 60 นาที และพักผ่อน 30 นาที คงเหลือเวลาสุทธิ 390 นาที จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา กำหนดค่า OEE (Overall Equipment Effectiveness) = 0.88 ประกอบด้วย ค่า A = 0.96, P = 0.93, Q = 0.98 โดยงานวิจัยนี้ใช้ค่า Takt Time กำหนดเวลาต่อชิ้นงานในการผลิตตามที่ลูกค้าต้องการ เป็นเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดความเร็วในการผลิตต่อชิ้นงาน ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time Per Day}}{\text{Customer Demand Per Day}} \quad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 ค่า Takt Time = $390 \div (18,000 \div 30) = 0.65$ นาทีต่อแกลลอน ซึ่งค่า Takt Time จะคูณด้วยค่า OEE เท่ากับ 0.88 ดังนั้นค่า Takt Time ที่ต้องการมีค่า $0.65 \times 0.88 = 0.57$ นาทีต่อแกลลอน การทดสอบปริมาณค่าทางเคมีของสินค้า ต้องผ่านการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (Lab Inspection) จากข้อมูลย้อนหลังของโรงงานกรณีศึกษา พบว่ารายงานด้านคุณภาพของค่าทางเคมีหลังจากการปรุงผสมสาร มีค่าเกลือละลายน้ำไม่ผ่านร้อยละ 10 ค่าโปรตีนไม่ผ่านร้อยละ 1 ปริมาณค่าความหวานไม่ผ่านร้อยละ 2 ค่าฮีสตามีน ผ่านทั้งหมด หลังผ่านการทดสอบค่าทางเคมีแล้ว นำไปแบ่งบรรจุจาก IBC ลงในแกลลอน กระบวนการผลิตกำหนดค่าอัตราผลผลิตดี (Yield) ร้อยละ 98 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น ไม่สามารถนำมาแก้ไขเพื่อใช้ใหม่ได้ รวมยอดผลิตสินค้าเฉลี่ย 427 แกลลอนต่อวัน คิดเป็น 12,810 แกลลอนต่อเดือน (30 วัน) และส่งมอบทันเวลา (On Time Delivery) ร้อยละ 71.17 เวลารนำผลิต (Production Lead Time) 42.19 วันต่อคำสั่งผลิตของลูกค้า

3.2 สร้างแผนผังการไหลและรายละเอียดงาน

การทดลองเพื่อหาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการจากรูปที่ 3.2 อธิบายรายละเอียดทั้ง 11 สถานีงาน ดังรายละเอียดนี้

3.2.1 Loading 1 ทำหน้าที่ในการส่งสินค้าเข้าสายการผลิตโดยรถบรรทุก 1 คัน สามารถบรรทุกวัตถุดิบได้ 6 ถัง ขนาดถังความจุ 1,000 ลิตร เป็นภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บ โดย IBC มีลักษณะเป็นถัง ตั้งอยู่บนแท่นวางสินค้า (Pallet) ซึ่งเป็นภาชนะที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม [19] ปัญหาที่พบ คือ

ระยะเวลาการนำเข้าวัตถุดิบจากบรรทุกเข้าสายการผลิตไม่แน่นอน พื้นที่ในการลงวัตถุดิบไม่เพียงพอ ต้องทยอยในการลงวัตถุดิบ



รูปที่ 3.3 แบบของถัง IBC (Intermediate Bulk Container) [19]

3.2.2 Mixing ทำหน้าที่ในการผสมสารให้ได้ตามสูตรที่กำหนดไว้ มีจำนวนพนักงาน 4 คน โดยแต่ละคนทำงานเป็นกลุ่มคนปฏิบัติงาน (Worker Pool) ลักษณะการผลิตแบบกลุ่ม (Batch Production) ระยะเวลาในการผสมสารกำหนดอยู่ในช่วง 6-8 นาที ซึ่งจะพอดีกับเวลาพนักงานทำงานต่อแบท ลักษณะของเนื้อสาร ละลายได้ง่าย ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำละลาย ปัญหาที่พบ คือ พนักงานมีเวลารว่าง (Idle Time) นานเกินไป ทำให้เกิดอัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) ของแต่ละคนต่ำ

3.2.3 Lab Inspection ทำหน้าที่ทดสอบค่าทางเคมีที่กำหนดไว้ โดยแบ่งเป็น 4 ชนิด ในการการตรวจ คือ ร้อยละโปรตีน ร้อยละฮีสตามีน ร้อยละเกลือละลายน้ำ ร้อยละปริมาณค่าความหวาน การตรวจต้องรอผลเพื่อตัดสินใจ สามารถแบ่งเงื่อนไขในการตัดสินใจได้เป็น 2 ประเภท คือ ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน กรณีปริมาณค่าทางเคมีชนิดใดชนิดหนึ่งไม่ผ่าน ต้องนำกลับไปผสมสารอีกครั้ง ในสถานงานที่ 2 จำนวนพนักงานทั้ง 2 คน ทำงานเป็นลักษณะแบบทำงานเป็นกลุ่มคนปฏิบัติงาน (Worker Pool) แบ่งการทำงานเป็นรายบุคคล (Individual)

3.2.4 Moving by Hand Lift ทำหน้าที่ในการขนย้ายถัง IBC ที่ผ่านการตรวจแล้วพร้อมแบ่งบรรจุลงแกลอน จำนวนพนักงาน 1 คน

3.2.5 IBC to Gallon ทำหน้าที่เชื่อมต่อจากถัง IBC ไปยังท่อบรรจุภาชนะแกลอน และเปิดปั๊มในการทำงาน อัตราการไหลหน่วยเป็น M^3/Sec จำนวนพนักงาน 1 คน เป็นผู้ควบคุม ปัญหาที่พบ คือ สูญเสียเวลาในการเชื่อมต่อระบบปั๊ม

3.2.6 Gallon Bottling ทำหน้าที่แบ่งวัตถุดิบจาก IBC ลงในภาชนะเกลลอน ดังรูปที่ 3.4 [20] ลงในภาชนะเกลลอน ละ 70 ลิตร 1 ถัง IBC แบ่งเป็นภาชนะเกลลอนได้ 14 ถัง จำนวนพนักงานที่ใช้ 10 คน ทำการแบ่งบรรจุ ปัญหาที่พบ คือ ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตภาพของงานได้



รูปที่ 3.4 ภาชนะเกลลอน [20]

3.2.7 Setup Batch ทำหน้าที่ปรับตั้งค่าตัวเลขที่เครื่อง Coding เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ 30 นาที ระหว่างที่มีการปรับตั้ง สายการผลิตในสถานงานนี้ต้องหยุดชั่วคราวจนกว่าปรับตั้งเสร็จ

3.2.8 Lot Coding ทำหน้าที่ยิงรหัสข้างภาชนะเกลลอนด้วยความเร็วที่คงที่ 0.033 นาทีต่อครั้ง

3.2.9 Robot Packing ทำหน้าที่ในการหยิบภาชนะเกลลอนที่ยิงรหัสแล้ว จัดเรียงเกลลอนตามรูปแบบที่ถูกกำหนดไว้ โดยการทำงานความเร็วจะถูกควบคุมด้วยค่าที่ถูกป้อนเข้าไปรอบเวลา (Cycle Time) เวลาจะเริ่มต้นเมื่อการดำเนินการเริ่มจนถึงเวลาที่การดำเนินการสิ้นสุด จากการสังเกตปัญหา พบว่าสถานงานนี้พบปัญหาเครื่องจักรชำรุด Breakdown บ่อยครั้ง ทำให้เกิดเวลาเฉลี่ยการทำงานของเครื่องจักรก่อนที่เครื่องจะเสียต่อครั้ง (MTBF) และจะเกิดงานซ่อมแซมขึ้น ทำให้เกิดเวลาเฉลี่ยการซ่อมแซมในส่วนที่เสียหายในแต่ละครั้ง (MTTR) [21]

3.2.10 Conveyor ทำหน้าที่ลำเลียงภาชนะเกลลอนเข้าสู่ Loading 2 ความเร็วของสายพานคงที่ แต่สามารถปรับตั้งได้ เพื่อให้ลำเลียงได้อย่างต่อเนื่อง ความเร็ว 250 เมตรต่อนาที ความยาวสายพาน 25 เมตร

3.2.11 Loading 2 ทำหน้าที่วางแท่นวางสินค้า (Pallet) และพันฟิล์ม กำหนดความเร็วคงที่ในการพันฟิล์ม 0.25 นาทีต่อรอบแท่นวางสินค้า (Pallet) และส่งขึ้นรถบรรทุกจำหน่ายต่อไป

3.3 แบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองสถานการณ์ได้รับการพัฒนาเพื่อเลียนแบบระบบงานจริง เป็นทางเลือกทดลองการปรับปรุง และประเมินสถานการณ์โดยไม่ขัดจังหวะการปฏิบัติงาน ได้เลือกเทคนิคนี้เพราะเหมาะสำหรับสายการผลิตที่มีแบบจำลองระบบที่มีการผันแปรมาก โดยกล่าวถึงแผนผังสายการผลิตโรงงานกรณีศึกษา ดังรูปที่ 3.2 มาสร้างแบบจำลอง โดยเก็บข้อมูลการทำงานแต่ละสถานีนงาน (นาที่) เพื่อมาหารูปแบบการแจกแจงและค่าพารามิเตอร์ โดยวิเคราะห์ผ่าน Arena Input Analyzer

3.3.1 การเก็บข้อมูลนำเข้า

การรวบรวมข้อมูลเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ รวบรวมจากภายในโรงงานกรณีศึกษา และสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง แบ่งเป็น 3 ระดับ

- ระดับผู้เชี่ยวชาญมีประสบการณ์จากสายการผลิต
- ระดับหัวหน้างานฝ่ายผลิตและวิศวกรรม
- ระดับปฏิบัติการและ Machine Operator

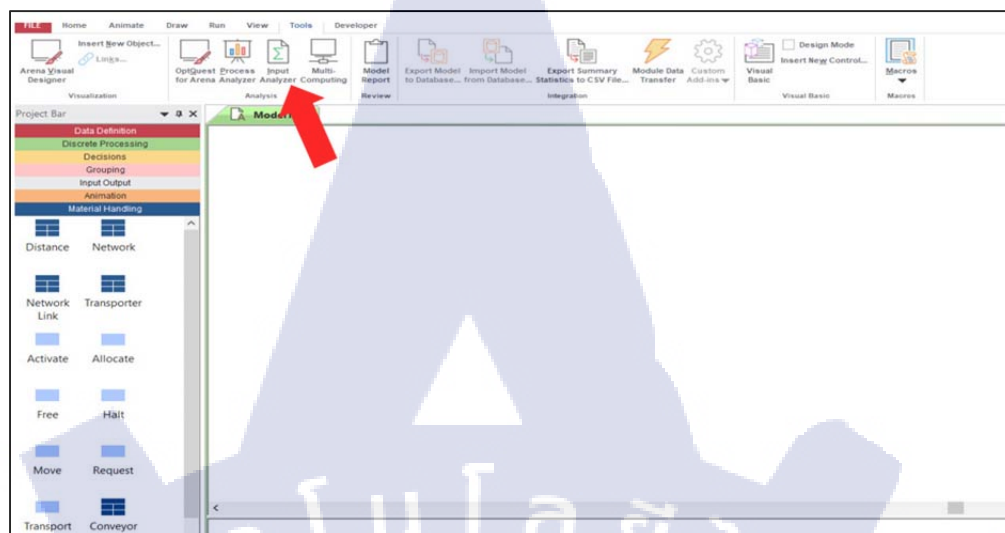
นำข้อมูลที่บันทึกไว้เป็นเวลาในการผลิต หรือเวลาการทำงานต่อ 1 ชิ้นงาน กำหนดหน่วยเป็นนาที่ต่อชิ้นงาน โดยเก็บจำนวนข้อมูลมากกว่า 50 ข้อมูล ($n > 50$) ทุกสถานีนงาน โดยนำข้อมูลแต่ละสถานีนงานนำเข้าซอฟต์แวร์ Arena → Tool → Input → Analyzer → Fit All ดังรูป 3.5 เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

เมื่อกำหนด

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ

TNI

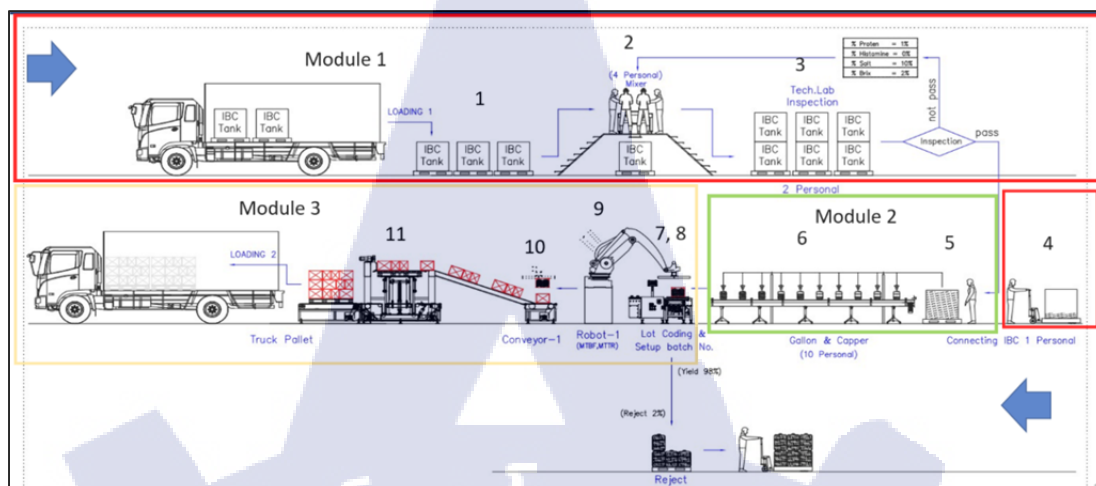


รูปที่ 3.5 วิธีการเข้า Input Analyzer

การเก็บจำนวนข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของข้อมูล และนำมาควบคุมคุณภาพของข้อมูล โดยผ่านเครื่องมือแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลโดยคัดเลือกข้อมูลที่นอกเหนือขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit) ผ่านซอฟต์แวร์ Minitab วิเคราะห์ผ่าน I-Chart ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [22] ในการเก็บข้อมูลของแต่ละขั้นตอนได้ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง ให้ครอบคลุมทุกช่วงเวลาเพื่อให้ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสม ในการสร้างแบบจำลองก่อนที่จะนำเอาข้อมูลไปใช้งานในซอฟต์แวร์ Arena นำข้อมูลมาทดสอบสมมติฐานการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลโดยวิธีการทดสอบโคโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test) หรือ วิธีการทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) ใช้โปรแกรม Input Analyzer ซึ่งเป็นโปรแกรมเสริมในซอฟต์แวร์ Arena โดยข้อมูลจะถูกทดสอบในการพิจารณารูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมผ่านการ Fit All เป็นการทดสอบภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness of Fit Test) โดยพิจารณาผ่านค่า P-Value ที่มากกว่า 0.05 และค่า Square Error ที่ต่ำสุดหรือเหมาะสมสำหรับลักษณะของกระบวนการนั้น ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดของสายการผลิตมี 11 สถานีงาน รายละเอียดในภาคผนวก ก.

3.3.2 การสร้างแบบจำลองโดยซอฟต์แวร์ Arena

การสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์ ARENA 16.10.00002 Rockwell Software ได้แบ่งด้วยกัน 3 ส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบอื่นดังรูปที่ 3.6 คู่มือในการจำลองสถานการณ์ รายละเอียดในภาคผนวก ข.



รูปที่ 3.6 การแบ่งส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบอื่น

แบบจำลองสถานการณ์โรงงานกรณีศึกษาถูกสร้างแบบจำลองแบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบ (Module) ประกอบด้วย 1. Mixing Module 2. Filling Module 3. Packing Module โดยกำหนดความยาวของการจำลอง (Model Length) 1 วัน คิดเป็นชั่วโมง เท่ากับ 6.50 ชั่วโมงหรือ 390 นาที (480-60-30) สามารถเขียนแบบจำลองได้ดังนี้

1. แบบจำลอง Mixing Module คือ การเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอาหาร (Food Processing) เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อเตรียมวัตถุดิบให้พร้อม แสดงสถานงานที่ 1-4 ดังแสดงในรูปที่ 3.7

สถานงานที่ 1 Loading 1 การนำงานเข้ามีรูปแบบแจกแจงแบบ Exponential $10 + \text{EXPO}(1.46)$ รับเข้าครั้งละ 1 Entity หน่วยเป็นถัง IBC และกำหนด Assignment Attribute ระบุคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุที่เข้าสู่โมดูลนี้

สถานงานที่ 2 Mixing ใช้จำนวนพนักงาน 4 คน ทำงานแบบเป็นกลุ่มคนปฏิบัติงาน (Worker Pool) ทุกคนช่วยกันทำงาน เวลาที่ได้มา คือเวลาที่ทำเสร็จใน 1 แบท มีรูปแบบแจกแจง $\text{TRIA}(6.0, 8.37, 10.8)$ การเวลาการทำงานแจกแจงแบบสามเหลี่ยม ค่าต่ำสุด 6.0 ค่าฐานนิยม 8.37 ค่าสูงสุด 10.8 หน่วยเป็นนาที เลือกกฎการบริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตแบบ Preempt

สถานงานที่ 3 Lab Inspection ใช้จำนวนพนักงาน 2 คน ทำงานแบบเป็นกลุ่มคนปฏิบัติงาน (Worker Pool) มีรูปแบบแจกแจง $10 + 7.97 * \text{BETA}(3.52, 3.78)$ มีการตัดสินใจ Lab Inspection แบบ N-way by Chance คือ ทางเลือกของโอกาสที่เป็นไปได้ N ทาง และมี Percent True 0-100 ผลรวมของความน่าจะเป็นของ N เท่ากับ 100% เสมอ เลือกกฎการบริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตแบบ Preempt

สถานีงานที่ 4 Moving by Hand Lift รูปแบบแจกแจง TRIA (1.3, 2.21, 2.49) เมื่อ Lab Inspection รายงานผลผ่านจะลำเลียงโดยใช้ Hand Lift มีการกระจายแบบสามเหลี่ยม ค่าต่ำสุด 1.3 ค่าฐานนิยม 2.21 ค่าสูงสุด 2.49 หน่วยเป็นนาที่

2. แบบจำลอง Filling Module คือ การบรรจุแบ่งแยกจากถัง IBC ลงในภาชนะเกลลอน แสดงสถานีงานที่ 5-6 แสดงในรูปที่ 3.8

สถานีงานที่ 5 IBC to Gallon เชื่อมต่อระหว่างถัง IBC ไปยังภาชนะเกลลอน รูปแบบแจกแจง $2+0.551*BETA(1.14, 2.24)$

สถานีงานที่ 6 Gallon Bottling มีจำนวนพนักงาน 10 คน แบ่งการทำงานเป็นรายบุคคล (Individual) อัตราผลผลิตดี (Yield) ร้อยละ 98 โอกาสที่เป็นไปได้ N ทาง และมี Percent True 0-100 ผลรวมของความน่าจะเป็นของ N เท่ากับ 100% เสมอ เลือก Separate Duplicate # 14 อ้างอิงตามการแบ่งบรรจุ 1 ต่อ 14 เลือกกฎการบริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตแบบ Preempt หลังจากบรรจุแล้วพบน้ำหนักต่ำกว่าถูกปฏิเสธ (Reject) ร้อยละ 2

3. แบบจำลอง Packing Line คือ งานจัดเรียงภาชนะเกลลอน ลงบนแท่นวางสินค้า (Pallet) แสดงสถานีงานที่ 7-11 แสดงในรูปที่ 3.9 ดังนี้

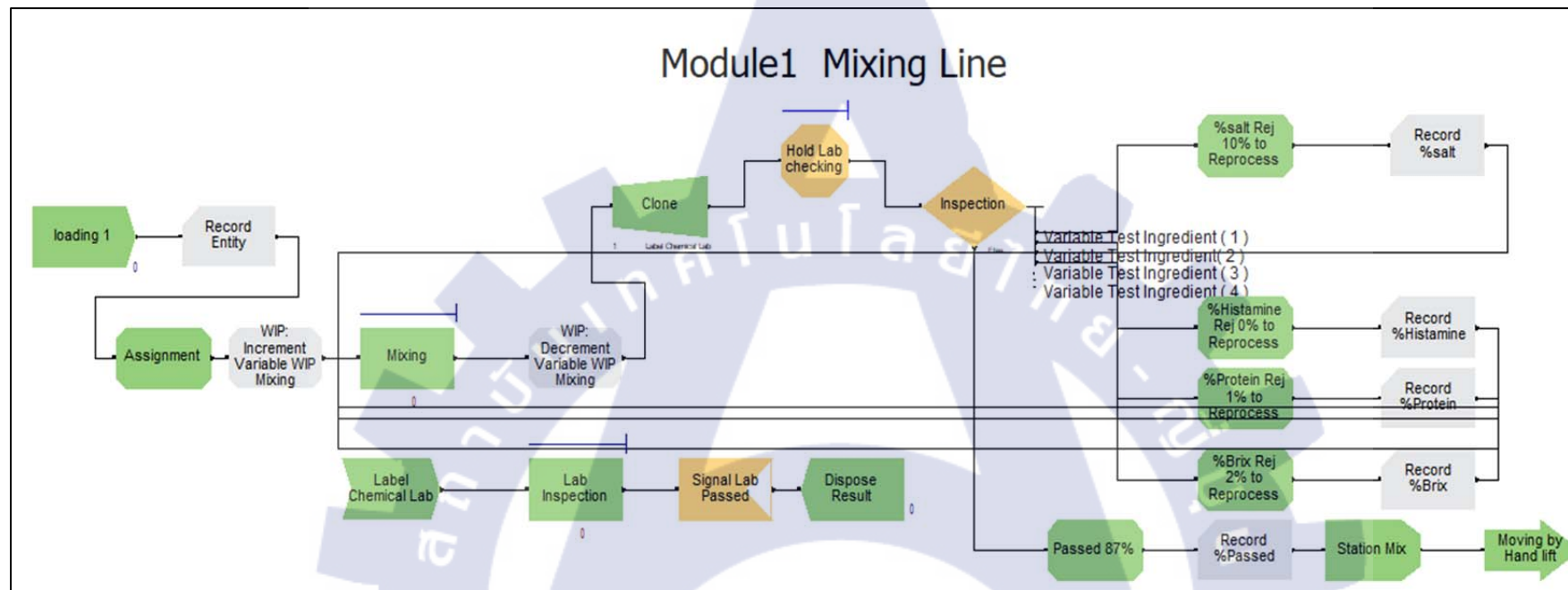
สถานีงานที่ 7 Setup Batch ทำการปรับตั้งค่า DDMMYYYY:hhmm ทุก 30 นาที โดยใช้เวลาในการปรับตั้งรูปแบบแจกแจง $5.0+0.65*BETA(2.75, 1.95)$ Failure Up time 30, Down Time $5.0+0.65*BETA(2.75, 1.95)$ กรณีไม่ปรับตั้งจะใช้ค่า Constant 0.033

สถานีงานที่ 8 Lot Coding เครื่องอัตโนมัติในการ Coding รูปแบบแจกแจง เป็น Constant 0.033

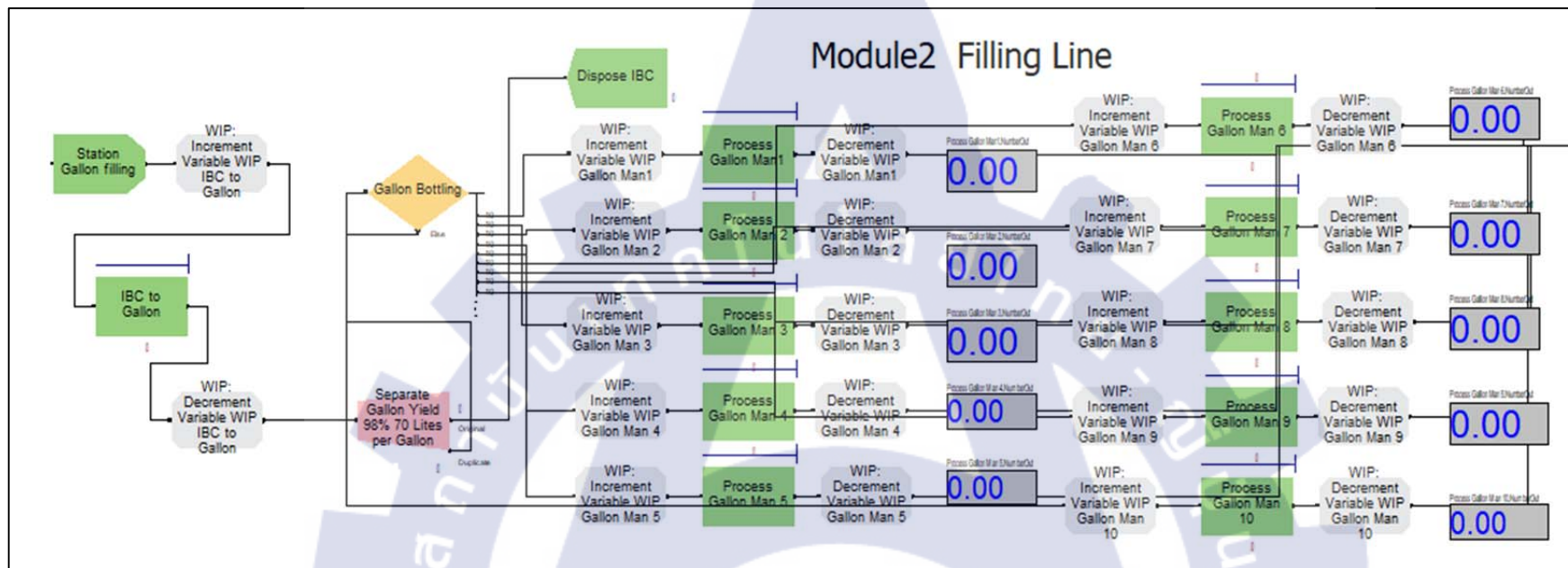
สถานีงานที่ 9 Robot Packing เครื่องอัตโนมัติในการจัดเรียงสินค้าด้วยหุ่นยนต์มีรูปแบบแจกแจงเป็น Constant 0.25 การเก็บข้อมูลเวลาซ่อมแซมให้เก็บข้อมูลที่มีเวลาซ่อมแซมมากกว่าเท่ากับ 10 นาทีต่อครั้งขึ้นไป รูปแบบการแจกแจง $10+WEIB(4.28, 0.841)$ Failure Up time 360 + $WEIB(16.5, 4.11)$ Down time 10 + $WEIB(4.28, 0.841)$

สถานีงานที่ 10, 11 จุดงาน Conveyor, Loading 2 การทำงานอัตโนมัติรูปแบบแจกแจง Constant 0.1, 0.25

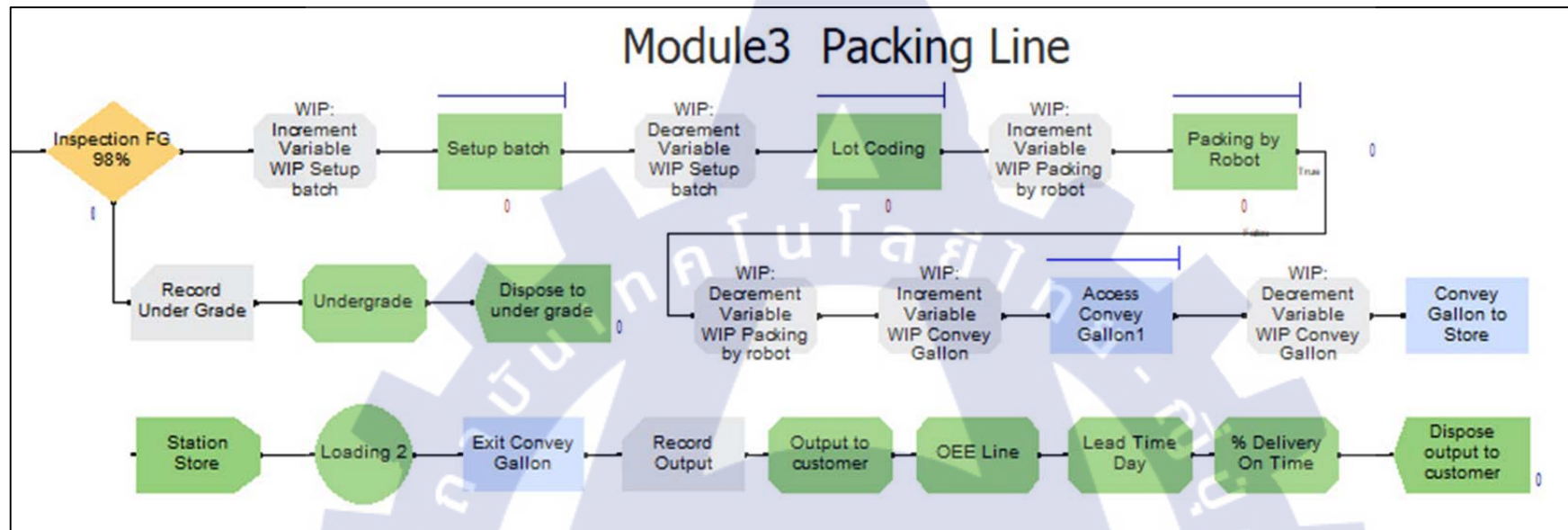
คำนวณค่าช่วงความกว้างจุดกึ่งกลาง (Half-Width) ยอมรับค่าช่วงความกว้างจุดกึ่งกลางข้อมูล ± 4 เนื่องจากเป็นช่วงที่ทางลูกค้ารับปริมาณขาดหรือเกินได้ในการส่งมอบ โดยกำหนดค่า n_0 เริ่มต้นเท่ากับ 50 ครั้ง อ้างอิงจากสมการที่ 2.1



รูปที่ 3.7 แบบจำลองสถานการณ์งานที่ 1-4 (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 3.8 แบบจำลองสถานที่งานที่ 5-6 (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 3.9 แบบจำลองสถานการณ์งานที่ 7-11 (ก่อนปรับปรุง)

3.3.3 การทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Verification)

- ทวนสอบแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug) ของแบบจำลอง เมื่อพบว่าแบบจำลองมีข้อบกพร่อง Debugger จะทำการวิเคราะห์ให้แบบจำลองหยุดทำงานที่จุดเวลานั้น [23]
- การทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Verification Model) ผ่านเครื่องมือซอฟต์แวร์ MINITAB ในการเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง โดยเลือกใช้การทดสอบความแตกต่าง Two-sample T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นำค่ากลางของสองกลุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายแบบปกติและอิสระต่อกันนำมาทดสอบความแตกต่าง แสดงวิธีการเข้า Minitab → Stat Basic Statistics → Two-Sample T-test โดยพิจารณาผ่านค่า P-Value ที่มากกว่า 0.05 เพื่อทดสอบสมมติฐาน

เมื่อกำหนด

H_0 = Null Hypothesis สมมติฐานหลักค่าเฉลี่ยผลผลิตของระบบงานจริงไม่แตกต่างกับแบบจำลอง

H_1 = Alternative Hypothesis สมมติฐานทางเลือกค่าเฉลี่ยผลผลิตของระบบงานจริงแตกต่างกับแบบจำลอง

3.3.4 การทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Validation)

ผู้วิจัยคัดเลือกตัวแปรที่สามารถนำมาทดสอบกับระบบงานจริง (Real System) ได้แก่ สถานีงานผสมสาร กำหนดปัจจัย (Factor) 2 ปัจจัย คือจำนวนพนักงานผสมสาร จำนวนพนักงานบรรจุแกลลอน ค่าระดับ (Level) 2, 3 คน 8, 9 คน จำนวนพนักงานปรับลดตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในสายการผลิตเพื่อให้ได้ค่าผลผลิต (Output) ตามระบบงานจริง โดยใช้เครื่องมือการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) แบบ Full Factorial 2^K เมื่อกำหนดค่า K คือ จำนวนตัวแปรที่ทดสอบ วิธีการทดสอบต้องทำการทดสอบให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกตัวแปร และต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อดัชนีตอบสนองทุกกรณี แสดงในตารางที่ 3.1 เมื่อกำหนดปัจจัย A คือ สถานีงานผสมสาร มีค่าระดับจำนวนพนักงาน 2, 3 คน และปัจจัย B คือ สถานีงานบรรจุ มีค่าระดับจำนวนพนักงาน 8, 9 คน

ตารางที่ 3.1 ออกแบบการทดลองแบบสุ่ม (Randomized) จำนวน 2 ตัวแปร

Run	Blk	A	B
1	1	+	+
2	1	-	+
3	1	-	-
4	1	+	-

ให้ทำการทดสอบตามตารางที่ 3.1 ทั้งแบบจำลอง (Model) และระบบงานจริง (Real System) เมื่อได้ค่าผลผลิต (Output) แล้วให้ทวนสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้ง 2 ระบบ ผ่านเครื่องมือการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กำหนดให้ค่า R-squared มากกว่า ร้อยละ 80 สามารถอธิบายได้อยู่ในตัวแบบสมการเชิงเส้น สามารถแสดงถึงความสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองและระบบงานจริง ส่งผลให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

3.4 วิเคราะห์แผนภูมิสมดุล (Balance Chart Analysis)

ผลการจำลองสถานการณ์ระบบงานจริงได้ข้อมูลด้านเวลารวมต่อหน่วยชิ้นงาน หรือสิ่งของที่เรานสนใจ (Total Time Per Entity) และรอบเวลา (Cycle Time) นำข้อมูลมาทำแผนภูมิสมดุล (Balance Chart) เป็นค่ากำหนดความสม่ำเสมอในการผลิต และนำรอบเวลาแต่ละสถานีงานที่ถูกสร้างข้อมูลจากซอฟต์แวร์ ARENA เพื่อมาปรับปรุงสมดุลของสายการผลิตทั้งหมด เพื่อหาตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าต้องปรับปรุงสถานีงาน ที่ส่งผลให้ได้ค่าความสมดุลและเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต

การวิเคราะห์หาสถานีงานที่ต้องปรับปรุง โดยใช้ Lean เป็นเครื่องมือในการช่วยระบุข้อบกพร่อง และขจัดสิ่งผิดปกติ (Waste) เพื่อช่วยพัฒนาด้าน เวลาผลิต ลดต้นทุน เทคนิคที่นิยมใช้ เช่น SMED, สถานี Bottleneck, Yamazumi Chart รวมถึงการหาประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ สามารถสะท้อนได้ถึง ประสิทธิภาพในการบำรุงรักษา ความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงการบริหารจัดการสายการผลิต [24] การทดลองการแก้ปัญหาทางผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดลองแบบลองผิดลองถูก (Trial & Error) เริ่มต้นด้วยการเลือกหรือสร้างวิธีใดวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา ทางเลือกที่เลือกใช้อาจมีความสำเร็จตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ต้องทดลองและปรับค่าพารามิเตอร์ วิธีดังกล่าวไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดแต่ต้องลองผิดลองถูกจนสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ได้ [25]

การจัดสมดุลสายการผลิตมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ เช่น ประสิทธิภาพสายการผลิต (Line Efficiency) ดังสมการที่ 3.3 จำนวนสถานีงาน (Number of Workstation) ดังสมการที่ 3.2

เมื่อกำหนด

$$W_{\min} = \sum_{t=1}^l \frac{(T_j)}{Tk} \quad (3.2)$$

โดยที่ $W_{\min}$ คือ จำนวนขั้นต่ำของสถานีงาน
 T_j คือ เวลาทำงานของแต่ละสถานีงาน
 TK คือ ค่า Takt Time

$$E = \frac{\sum_{j=1}^N T_i}{N \times C} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ E คือ ประสิทธิภาพสายการผลิต
 C คือ รอบเวลาทำงาน ในที่นี้กำหนดค่า Takt Time
 N คือ จำนวนสถานีงาน
 T_i คือ เวลาทำงานของแต่ละสถานีงาน

วิธีการใส่สูตรประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ ในซอฟต์แวร์ Arena ดำเนินการ

ดังนี้

เลือก Assign Assignments → Variable Performance → Variable → Availability
 Variable Quality Rate → Lead Time → On Time Delivery → Variable OEE

เมื่อกำหนด

$$\text{Variable Performance} = \frac{\text{Variable Output} + \text{Variable Undergrade}}{\text{Variable Capacity Design}} \quad (3.4)$$

นำค่าผลผลิตพร้อมจำหน่ายรวมกับผลผลิตที่ต่ำกว่าระดับชั้น นำมาหารด้วยความสามารถของกระบวนการผลิตสูงสุดเท่ากับ 460 แกลลอนต่อวัน

$$\text{Variable Availability} = \frac{\text{Uptime}}{\text{Plan Uptime}} \quad (3.5)$$

นำเวลาที่พร้อมผลิตจริงหารด้วยเวลาที่วางแผนผลิตไว้โดยหักเวลาพักหรือเวลาที่กำหนดให้หยุดเวลาผลิต บ่งบอกว่ากระบวนการมีความสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องหรือไม่

$$\text{Variable Quality Rate} = \frac{\text{Variable Output}}{\text{Variable Output} + \text{Undergrae}} \quad (3.6)$$

นำค่าชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบพร้อมจำหน่ายหารด้วยผลผลิตพร้อมจำหน่ายรวมกับผลผลิตที่ต่ำกว่าระดับชั้น ค่าอัตราคุณภาพจะบ่งบอกคุณภาพการผลิตว่ามีชิ้นงานที่บกพร่องหรือไม่

$$\text{OEE} = \text{Variable Performance} \times \text{Variable Availability} \times \text{Variable Quality Rate} \quad (3.7)$$

เป็นการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ทั้งสายการผลิต โดยมีค่า 3 ค่าในการบ่งบอกสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการ

TNI

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ ถูกนำเสนอและวิเคราะห์ในบทนี้ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลการทดสอบรูปแบบการแจกแจง (Probability Distribution)
- 4.2 ผลการทวนสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Verification)
- 4.3 ผลการทดสอบความเป็นตัวแทนของแบบจำลอง (Model Validation)
- 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง (Model Analysis)
- 4.5 ผลการปรับปรุงแบบจำลอง (Model Improvement)

4.1 ผลการทดสอบรูปแบบการแจกแจง (Probability Distribution)

ผลการเก็บข้อมูลนำเข้าแสดงรูปแบบการแจกแจงข้อมูลของแต่ละสถานีงาน โดยเลือก ค่า Square Error ที่ต่ำสุด แสดงในตารางที่ 4.1 ยกเว้นสถานีงานที่มีค่าการกระจายของตัวเลขเปลี่ยนสถานะไปตามเวลา เช่น Loading 1 เลือกรูปแบบการแจกแจง Exponential เหมาะสำหรับแบบจำลองที่เป็นตัวเลขเวลานำเข้าแบบสุ่ม เปลี่ยนสถานะตามเวลาที่เปลี่ยนไป เช่นเดียวกับ เวลาเฉลี่ยการซ่อมแซมในส่วนที่เสียหายในแต่ละครั้ง (MTTR) และเวลาเฉลี่ยการทำงานของเครื่องจักรก่อนที่เครื่องจะเสียต่อครั้ง (MTBF) เปลี่ยนแปลงตามอายุของเครื่องจักร เหมาะสมกับรูปแบบการแจกแจง Weibull ที่เกิดการล้มเหลว (Failure) ตามเวลาการใช้งานจริง [26]

ดังรายละเอียดใน รูปที่ ค.17 และ รูปที่ ค.18 แสดงรูปแบบการแจกแจงเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้ง จำนวน 93 ตัวอย่าง มีค่า Square Error เท่ากับ 0.022875 และแสดงรูปแบบการแจกแจงเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง จำนวน 93 ตัวอย่าง มีค่า Square Error เท่ากับ 0.065069 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 นำเข้าข้อมูลของแต่ละกระบวนการด้วยรูปแบบการแจกแจงต่างๆ

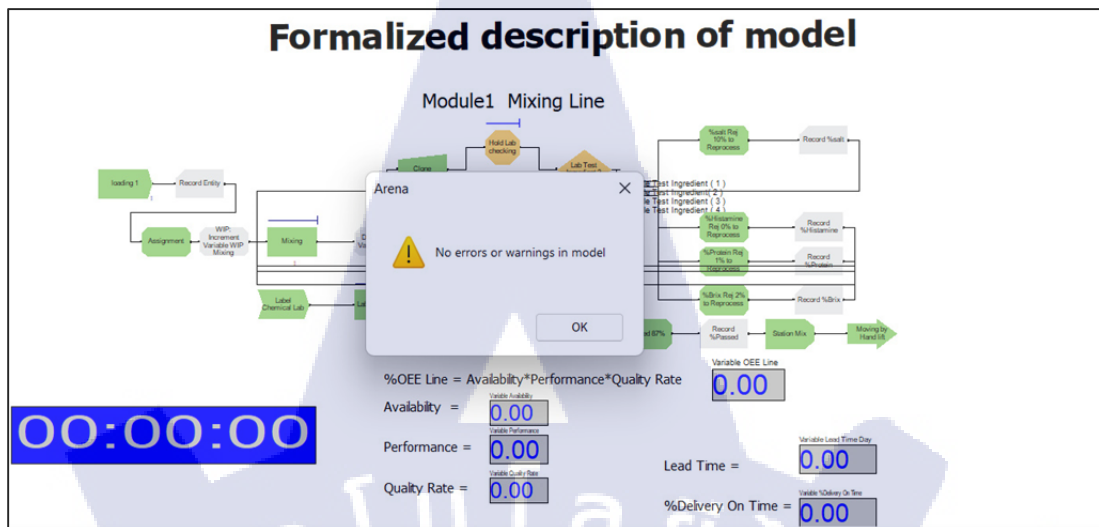
Module	No.	Workstations	Distribution	Expression (Min)
1	1	Loading 1	Exponential	10+EXPO(1.46)
	2	Mixing	Triangular	TRIA(6.0, 8.37, 10.8)
	3	Lab Inspection Ingredient	Beta	10+7.97*BETA(3.52, 3.78)
	4	Moving by Hand lift	Triangular	TRIA(1.3, 2.21, 2.49)
	5	IBC to Gallon	Beta	2+0.551*BETA(1.14, 1.33)

ตารางที่ 4.1 นำเข้าข้อมูลของแต่ละกระบวนการด้วยรูปแบบการแจกแจงต่างๆ (ต่อ)

Module	No.	Workstations	Distribution	Expression (Min)
2	6	Filling Gallon		
		Gallon Man#1	Weibull	5+WEIB(0.204, 1.61)
		Gallon Man#2	Beta	5.0+0.73*BETA(1.64, 2.24)
		Gallon Man#3	Beta	5.0+0.73*BETA(1.93, 2.37)
		Gallon Man#4	Beta	5.0+0.771*BETA(1.44, 2.27)
		Gallon Man#5	Triangular	TRIA(5.0, 5.34, 5.65)
		Gallon Man#6	Beta	5.06+0.58*BETA(2.63, 1.8)
		Gallon Man#7	Beta	5.0+0.65*BETA(2.37, 1.67)
		Gallon Man#8	Beta	5.0+0.65*BETA(1.39, 1.37)
		Gallon Man#9	Triangular	TRIA(5.0, 5.39, 5.65)
		Gallon Man#10	Triangular	TRIA(5.0, 5.57, 5.65)
3	7	Setup batch	Normal	5+ 0.65 * BETA(2.75, 1.95)
	8	IJP Coding	Constant	0.033
	9	Packing by Robot	Constant	0.25
		MTTR	Weibull	10+WEIB(4.28, 0.841)
		MTBF		360 + WEIB(16.5, 4.11)
	10	Conveyor	Constant	0.1
	11	Loading 2	Constant	0.25

4.2 ผลการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification)

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม ARENA 16.10.00002 Rockwell Software ผลการทวนสอบค้นหาแก้ไขจุดบกพร่อง (debug) พบว่าระบบไม่แสดงค่าเตือนจุดบกพร่องหรือความผิดพลาดของการสร้างแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.1 และได้รับการทวนสอบร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ (Expert) ทุกครั้งก่อนยืนยันความถูกต้องของลำดับสถานการณ์งาน เงื่อนไข และการตัดสินใจ แสดงผลว่าแบบจำลองสามารถนำมาทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification) ต่อไป



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบค้นหาแก้ไขจุดบกพร่อง (Debug)

การคำนวณหาจำนวนครั้งในการทำซ้ำ (Number of Replication) อ้างอิงจากสมการ (2.1) กำหนดจำนวนรอบของการประมวลผลครั้งแรกเท่ากับ 50 ครั้ง ค่าความกว้างจุดกึ่งกลางที่ยอมรับได้เท่ากับ 4 ได้ค่าความกว้างจุดกึ่งกลางจากการประมวลผลครั้งแรกเท่ากับ 4.51

$$n \cong n_0 = \frac{h_0^2}{h^2} = 50 \frac{4.51^2}{4^2} \quad (4.1)$$

n = จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

n_0 = 50

h_0^2 = $(4.51)^2$

h^2 = $(4)^2$

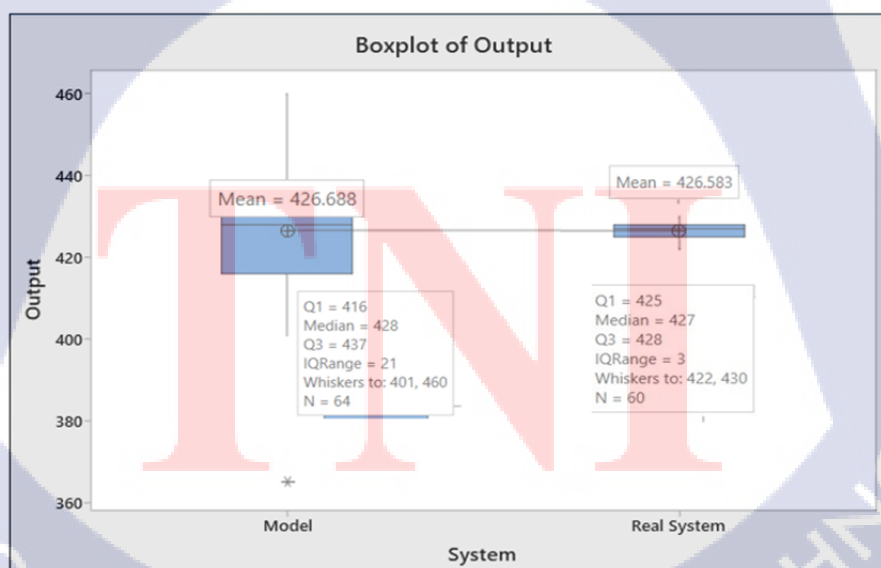
แทนค่าตัวเลขลงในสูตรพบว่า ค่า n มีค่าเท่ากับ 64 ครั้ง ผลการทดลองการจำลองสถานการณ์พบว่าค่าช่วงความกว้างจุดกึ่งกลาง (Half Width) เท่ากับ 3.77 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความกว้างจุดกึ่งกลางที่ยอมรับได้เท่ากับ 4

ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างแบบจำลอง (Model) กับระบบงานจริง (Real System) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่า $P\text{-Value}$ = 0.958 ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ได้ แสดงตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย

ผลผลิต (Output) ของระบบงานจริง (Real) ไม่แตกต่างกับแบบจำลอง (Model) โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐาน Two-Sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการทดสอบแบบจำลองมีค่าเฉลี่ย 426.68 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 15.0 ค่า Standard Error (SE) มีค่า 1.9 เนื่องจากการสุ่มตัวเลขตามรูปแบบการแจกแจงของแบบจำลองทำให้เกิดค่าความกว้างของข้อมูลดิบมาก ส่วนระบบงานจริงมีค่าเฉลี่ย 426.58 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.17 ค่า Standard Error (SE) มีค่า 0.28 จะมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่า เนื่องจากเป็นกลุ่มตัวอย่างที่เก็บข้อมูลจากการผลิต ตัวเลขผลผลิตมีความแตกต่างกันไม่เกิน 4 แกลลอนต่อวัน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองโดยใช้ Two-Sample T-Test

System	N	Mean	St Dev	SE Mean
Model	64	426.68	15	1.9
Real System	60	426.58	2.17	0.28
Null Hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative Hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
T-Value	DF	P-Value		
0.05	122	0.958		



รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลระหว่างแบบจำลอง (Model) กับระบบงานจริง (Real System)

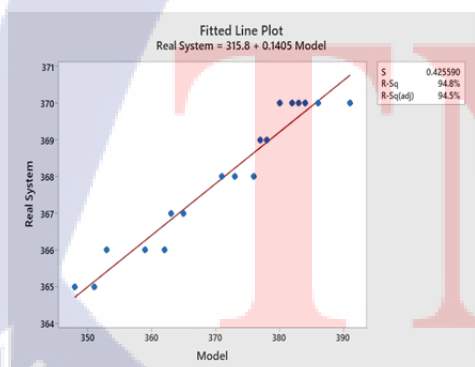
4.3 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลและเงื่อนไขการทวนสอบว่า พฤติกรรมของแบบจำลอง มีความเพียงพอตามวัตถุประสงค์ของการจำลองสถานการณ์ โดยใช้วิธีการทดสอบความไวต่อการตอบสนอง ค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) จำนวนข้อมูล 20 ข้อมูล ผลทดสอบ ดังตารางที่ 4.3

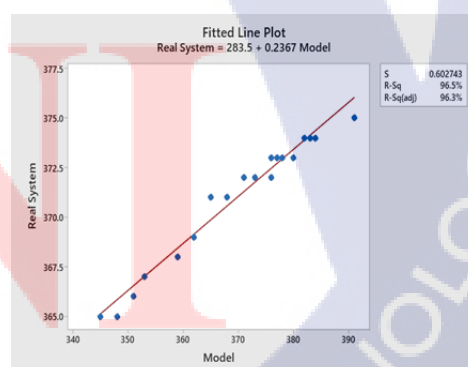
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความไวต่อการตอบสนองค่าความแปรปรวน (Parameter Variability-Sensitivity Test) ค่าระดับ (Level) 2, 3 คน 8, 9 คน

Runorder	CenterPt	Blocks	ผสมสาร พนักงาน	บรรจุ พนักงาน	ค่าเฉลี่ย ผลผลิตระบบจริง	ค่าเฉลี่ย ผลผลิตแบบจำลอง
1	1	1	3	8	370.9	369.35
2	1	1	2	8	367.85	370.3
3	1	1	2	9	404.7	406.35
4	1	1	3	9	406.3	406.35

พบว่า R-squared จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึง ค่าที่ได้จากแบบจำลอง ไม่ส่งผลความสัมพันธ์กับค่าของระบบงานจริงได้เลย ส่งผลให้แบบจำลองไม่น่าเชื่อถือ และ 100 หมายถึง ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าของระบบงานจริง การทดสอบทั้ง 4 เงื่อนไข มีค่า R-squared มากกว่าร้อยละ 80 ส่งผลให้แบบจำลองเป็นตัวแทนของระบบการผลิตจริงได้ ดังรูปที่ 4.3

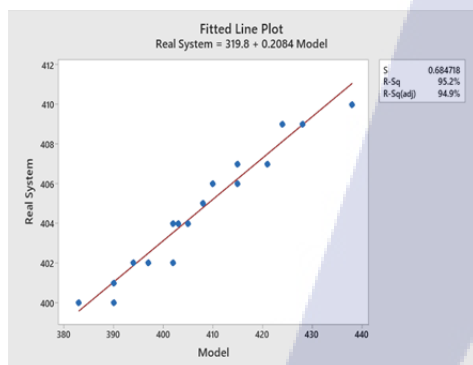


a) R-squared RunOrder 1

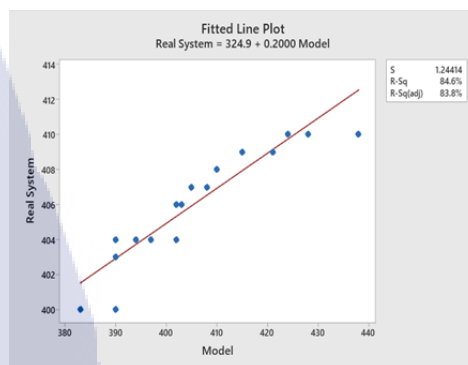


b) R-squared RunOrder 2

รูปที่ 4.3 a-d ค่า R-squared ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริงจำนวน 20 ข้อมูล



c) R-squared RunOrder 3



d) R-squared RunOrder 4

รูปที่ 4.3 a-d ค่า R-squared ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริงจำนวน 20 ข้อมูล (ต่อ)

4.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง (Model Analysis)

จากแบบจำลองจำนวนครั้งในการทำซ้ำ (Number of Replications) 64 ครั้ง พบว่าผลผลิตของแบบจำลองมีค่าเฉลี่ย 426.7 แกลลอนต่อวัน มีค่าช่วงความกว้างจุดกึ่งกลาง (Half Width) เท่ากับ 3.77 ค่าต่ำสุดของแบบจำลองที่ทำได้ต่อวัน เท่ากับ 365 แกลลอน และค่าสูงสุดของแบบจำลองที่ทำได้ 460 แกลลอน ผลทดสอบค่าทางเคมีจำนวนถึง IBC Entity 34.46 ถึง ผลทางเคมีผ่าน 33.2188 ถึง ค่าร้อยละโปรตีน (% Protein) ไม่ผ่าน 0.3125 ร้อยละเกลือละลายน้ำ (% Salt) ไม่ผ่าน 3.9488 ร้อยละปริมาณค่าความหวาน (% Brix) ไม่ผ่าน 0.875 ร้อยละฮีสตามีน (% Histamine) ผ่านทั้งหมด ดังรูปที่ 4.4

Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Counter %Brix	0.8750	0.25	0.00	5.0000
Counter %Histamine	0.00	0.00	0.00	0.00
Counter %Passed	33.2188	0.20	32.0000	35.0000
Counter %Protein	0.3125	0.14	0.00	2.0000
Counter %salt	3.9844	0.51	0.00	8.0000
Counter Entity	34.4688	0.18	33.0000	36.0000
Counter output	426.69	3.77	365.00	460.00
Counter Undergrade	2.2031	0.36	0.00	6.0000

รูปที่ 4.4 รายงานผลผลิต (Output) จากแบบจำลอง

เวลาการรอคอย (Waiting Time) ผลลัพธ์แบบจำลองแสดงดังรูปที่ 4.5 สถานีงานผสมสาร (Mixing) เท่ากับ 0.00 นาที สถานีงาน Lab Inspection เท่ากับ 0.7591 นาที ในขั้นตอน Hold Lab Checking เวลาการรอคอยเฉลี่ย 4.7884 นาที สถานีงาน IBC to Gallon ทำหน้าที่เชื่อมต่อจากถัง IBC ไปยังท่อบรรจุภาชนะเกลลอน เท่ากับ 2.2326 นาที Gallon Bottling (Man 1-10) เกิดเวลาการรอคอยมากกว่าสถานีงานอื่น เฉลี่ย 6.4422 นาที ซึ่งทำให้เกิดภาชนะเกลลอนรอบรรจุอยู่ในแถวคอย (Queuing) สถานีงาน Set up Batch, Lot Coding และ Robot Packing มีเวลาการรอคอย เท่ากับ 0.4319, 0.00, 0.4258 นาที ตามลำดับ

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Access Convey Gallon1.Queue	0.00134420	0.00	0.00127052	0.00143800	0.00	0.00391766
Hold Lab checking.Queue	4.7884	0.17	3.3624	6.3574	0.00261519	17.0627
IBC to Gallons.Queue	2.2326	0.17	0.9128	4.3443	0.00	21.4931
Lab Inspection.Queue	0.7591	0.16	0.00	3.5016	0.00	21.0170
Lot Coding.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mixing.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Packing by Robot.Queue	0.4258	0.03	0.2115	0.7729	0.00	21.4016
Process Gallon Man 10.Queue	6.1791	0.68	2.3072	17.0766	0.00	45.7827
Process Gallon Man 2.Queue	6.8925	1.03	2.3079	32.8387	0.00	86.9337
Process Gallon Man 3.Queue	6.3190	0.61	2.6843	13.4933	0.00	39.7101
Process Gallon Man 4.Queue	5.6729	0.65	2.0787	12.6529	0.00	43.9715
Process Gallon Man 5.Queue	6.7145	0.67	1.8967	16.2523	0.00	47.0752
Process Gallon Man 6.Queue	7.0703	0.94	2.1813	25.7961	0.00	73.2427
Process Gallon Man 7.Queue	6.6816	0.91	2.5004	25.4109	0.00	53.1614
Process Gallon Man 8.Queue	6.7106	0.73	2.1465	14.2570	0.00	48.1219
Process Gallon Man 9.Queue	6.0121	0.65	2.1029	13.1348	0.00	39.9560
Process Gallon Man1.Queue	6.1817	0.57	2.3525	12.8072	0.00	37.7472
Setup batch.Queue	0.4319	0.02	0.2597	0.6009	0.00	5.2656
Other						

รูปที่ 4.5 เวลาการรอคอย (Waiting) ของชิ้นงานในระบบ

อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) ของแต่ละสถานีงาน ดังรูปที่ 4.6 จากผลการจำลอง สถานีงานผสมสาร Mixing Man 1-4 มีอัตราการใช้ประโยชน์น้อยกว่าสถานีงานอื่นๆ มีค่าเฉลี่ย 0.2147, 0.2106, 0.2054, 0.2002 หรือคิดเป็นร้อยละ 21.47, 21.06, 20.54, 20.02 ตามลำดับ สถานีงาน Lab Inspection1, 2 0.6770, 0.6551 หรือคิดเป็นร้อยละ 67.70, 65.51 สถานีงาน IBC to Gallon ทำหน้าที่เชื่อมต่อจากถัง IBC ไปยังท่อบรรจุภาชนะเกลลอน มีค่าเท่ากับ 0.1913 หรือคิดเป็นร้อยละ 19.13 Gallon Bottling (Man 1-10) มีอัตราการใช้ประโยชน์เฉลี่ย 0.614 หรือคิดเป็นร้อยละ 61.40

สถานีงาน Set up Batch, Lot Coding และ Robot Packing 0.03747, 0.03746, 0.2776 คิดเป็นร้อยละ 3.737, 3.746, 27.76 ตามลำดับ

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource Gallon Man 1	0.6119	0.02	0.4255	0.8785
Resource Gallon Man 10	0.6281	0.02	0.3869	0.8040
Resource Gallon Man 2	0.6048	0.02	0.4152	0.8401
Resource Gallon Man 3	0.6168	0.02	0.4134	0.8123
Resource Gallon Man 4	0.6097	0.02	0.4364	0.8613
Resource Gallon Man 5	0.6261	0.02	0.4517	0.8508
Resource Gallon Man 6	0.6295	0.02	0.4515	0.9009
Resource Gallon Man 7	0.5998	0.02	0.4123	0.7846
Resource Gallon Man 8	0.6104	0.02	0.4394	0.8020
Resource Gallon Man 9	0.6033	0.02	0.4258	0.7797
Resource IBC to Gallons	0.1913	0.00	0.1759	0.2079
Resource Lab inspection1	0.6770	0.01	0.5871	0.7705
Resource Lab inspection2	0.6551	0.01	0.5637	0.7543
Resource Lot Coding	0.03746605	0.00	0.03494615	0.03951538
Resource Mixing Man1	0.2147	0.00	0.1850	0.2462
Resource Mixing Man2	0.2106	0.00	0.1790	0.2432
Resource Mixing Man3	0.2054	0.00	0.1725	0.2364
Resource Mixing Man4	0.2002	0.00	0.1640	0.2424
Resource Packing by Robot	0.2776	0.00	0.2590	0.2930
Resource Setup batch	0.03747680	0.00	0.03494615	0.03951538

รูปที่ 4.6 อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) ของแต่ละสถานีงาน

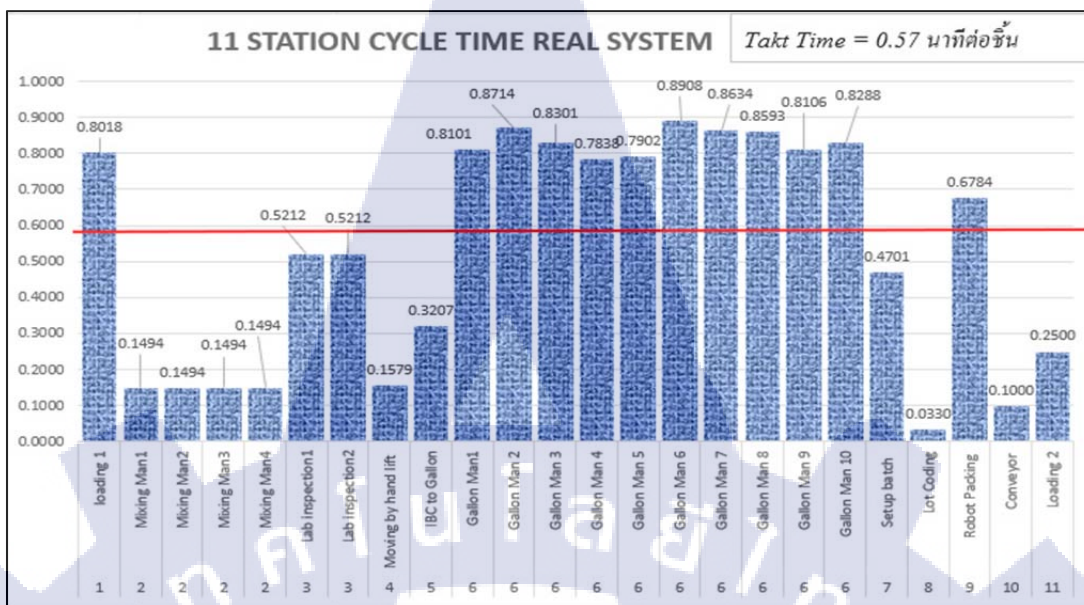
การหาตัวแปรที่นำไปปรับปรุงในสถานีงาน ที่ส่งผลให้ได้ค่าความสมดุลและเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยผ่านเครื่องมือการวิเคราะห์แผนภูมิสมดุล (Balance Chart) จำนวนสถานีงานของกระบวนการมีจำนวน 11 สถานีงาน จำนวนพนักงาน 18 คน ได้ข้อมูลค่าเวลารวมต่อหน่วยชิ้นงาน (Total Time Per Entities) หรือสิ่งของที่เราส่งใจ เรียงลำดับดังนี้ Loading1 0.8018, Mixing 0.1494, Lab inspection 0.5212, Moving by Hand lift 0.1579, IBC to Gallon 0.3207, Gallon Man (1-10) 0.8339, Set up Batch 0.4701, Lot Coding 0.033, Robot Packing 0.6784, Conveyor 0.1, Loading 2 0.25 เวลารวมของทุกสถานีงาน (Total Task Time) มีค่าเท่ากับ 4.3163 นาทีต่อแกลลอน ดังตารางที่ 4.4 และประสิทธิภาพสายการผลิต จากสมการที่ 3.3 มีค่าร้อยละ 68.84

$$E = \frac{\sum_{j=1}^N T_i}{N \times C} \times 100 = \frac{4.3163}{11 \times 0.57} \times 100 = 68.84 \quad (4.2)$$

นำข้อมูลมาทำแผนภูมิสมดุ เป็นค่ากำหนดความสม่ำเสมอในการผลิต และนำรอบเวลา (Cycle Time) แต่ละสถานีงานที่ถูกร้างข้อมูลจากซอฟต์แวร์ ARENA เพื่อมาปรับปรุงสมดุของสายการผลิตทั้งหมด ดังรูปที่ 4.7 เพื่อหาตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าต้องปรับปรุงสถานีงานใด

ตารางที่ 4.4 ผลการจำลองสถานการณ์ระบบงานจริง (Real System)

Work Elements		Real System Model		
Step No.	Workstation	Operator No.	Total Time (min)	Cycle Time (min)
			Per Entities	Workstation
1	Loading 1	Auto	11.45	0.8179
2	Resource Mixing Man	4	8.3676	0.1494
3	Resource Lab inspection	2	14.5928	0.5212
4	Moving by hand lift	1	2.2100	0.1579
5	Connecting IBC to Gallon	1	4.4898	0.3207
6	Process Gallon Man 1	1	11.3413	0.8101
	Process Gallon Man 2	1	12.2000	0.8714
	Process Gallon Man 3	1	11.6218	0.8301
	Process Gallon Man 4	1	10.9735	0.7838
	Process Gallon Man 5	1	11.0632	0.7902
	Process Gallon Man 6	1	12.4714	0.8908
	Process Gallon Man 7	1	12.0877	0.8634
	Process Gallon Man 8	1	12.0304	0.8593
	Process Gallon Man 9	1	11.3488	0.8106
	Process Gallon Man 10	1	11.6030	0.8288
7	Process Setup batch	Auto	0.4701	0.4701
8	Process Lot Coding	Auto	0.0330	0.0330
9	Process Robot Packing	Auto	0.6784	0.6784
10	Transport by Conveyor	Auto	0.1000	0.1000
11	Loading 2	Auto	0.2500	0.2500



รูปที่ 4.7 รอบเวลา (Cycle Time) ของแต่ละสถานีงานเทียบ Takt Time (ปัจจุบัน)

4.5 ผลการปรับปรุงแบบจำลอง (Model Improvement)

จากรูปที่ 4.7 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ประการแรกจากเส้น Takt Time ถึงรอบเวลาของสถานีงาน คือ จุดเวลาที่เกิดการรอคอย (Waiting) ซึ่งเป็นอัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) ที่สูญเสียไป ประการที่สอง เมื่อเปรียบเทียบความสูงของแท่งกราฟจะเห็นได้ว่า กระบวนการไม่สมดุล จำเป็นต้องปรับให้ความสูงทุกแท่งใกล้เคียงกัน ประการที่สาม ความสูงของแท่งสูงสุดคือ สถานีงานคอกขวด ผู้วิจัยดำเนินการปรับสมดุลทั้งหมด 8 หัวข้อดังนี้

1. แก้ไขสถานีงานที่ 1 กำหนดรอบเวลาการทำงานเข้าให้ทันกับ Takt Time เฉลี่ยทุกๆ 8 นาที Random (Expo) โดยปรับให้มีพื้นที่ในการวางถัง IBC ให้มากขึ้น เพื่อทำสินค้าคงเหลือระหว่างกระบวนการ หรือเรียกว่า WIP ให้มากขึ้น

2. แก้ไขสถานีงานที่ 2 ลดจำนวนพนักงานกระบวนการ Mixing ลงร้อยละ 50 จากพนักงาน 4 คน คงเหลือพนักงาน 2 คน เพื่อเพิ่ม ภาระงาน (Workload) และอัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) โดยเบื้องต้นใช้เครื่องมือตารางวิเคราะห์องค์ประกอบการทำงาน (Work Elements Sheet) ดังตารางที่ 4.5 วิเคราะห์ได้ว่าพนักงานคนที่ 2 และ 4 จะทำงานเฉพาะในส่วนงานเทสาร A และ B เท่านั้นระหว่างขั้นตอนงานอื่นจะเกิดเวลาว่าง (Idle Time) เป็นการรอคอย (Waiting)

ตารางที่ 4.5 บันทึกข้อมูลองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements Sheet) ของพนักงานผสมสาร (ปัจจุบัน)

องค์ประกอบการทำงาน (Work Elements) สถานีงานผสมสาร						
Step No.	Task	เวลา (นาท)	พนักงาน	พนักงาน	พนักงาน	พนักงาน
			คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4
1	เดินหยิบสารผสม A	1.0	work	×	×	×
2	ตัดปากถุงสาร A	0.08	work	×	×	×
3	เริ่มเทสาร A จนเต็มตวง ขนาด 50 กิโลกรัม	4.1	work	work	×	×
4	เดินหยิบสารผสม B	1.0	×	×	work	×
5	ตัดปากถุงสาร B	0.08	×	×	work	×
6	เริ่มเทสาร B จนเต็มตวง ขนาด 30 กิโลกรัม	2.07	×	×	work	work
เวลารวมต่อแบบผสมสาร		8.33				

4.6 หลังการปรับปรุงโดยใช้หลักการของ ECRS จึงได้ทำการปรับวิธีการทำงานใหม่ ดังตารางที่

ตารางที่ 4.6 บันทึกข้อมูลองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements Sheet) ของพนักงานผสมสาร (หลังปรับปรุง)

องค์ประกอบการทำงาน (Work Elements) สถานีงานผสมสาร				
Step No.	Task	เวลา (นาท)	พนักงาน	พนักงาน
			คนที่ 1	คนที่ 2
1	เดินหยิบสารผสม A	1.0	work	×
2	ตัดปากถุงสาร A	0.08	work	×
3	เริ่มเทสาร A จนเต็มตวง ขนาด 50 กิโลกรัม	4.1	work	work
4	เดินหยิบสารผสม B	1.0	×	work
5	ตัดปากถุงสาร B	0.08	×	work
6	เริ่มเทสาร B จนเต็มตวง ขนาด 30 กิโลกรัม	2.07	work	work
เวลารวมต่อแบบผสมสาร		8.33		

3. แก้ไขสถานีงานที่ 3 ลดเวลาการรอคอย Lab Inspection จากพนักงาน 2 คน เป็น 3 คน ในขั้นตอน Hold Lab Checking เพื่อลดภาระงาน (Workload) และสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น

4. แก้ไขสถานีงานที่ 4 เชื่อมต่อด้วยสายพานทดแทนการลำเลียงด้วย Hand Lift เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการขนส่ง

5. แก้ไขสถานีงานที่ 5 ลดเวลาการเปลี่ยนปั๊มดูดในทุกรอบถัง IBC ทำ Buffer Stock แบบอัตโนมัติเพิ่ม 1 ชุด เพื่อลดการรอคอยระหว่างการติดตั้ง (Setup)

6. แก้ไขสถานีงานที่ 6 เพิ่มผลผลิตภาพการบรรจุโดยปรับอัตราการไหล Flow Rate (m^3/sec) ให้พนักงานมีรอบเวลา (Cycle Time) การบรรจุเร็วมากขึ้น ลดลงจากเฉลี่ย 5.5 นาทีต่อแกลลอน เป็น 3.5 นาทีต่อแกลลอน

7. แก้ไขสถานีงานที่ 7, 8, 9, 10 ปรับปรุงองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements) โดยใช้เทคนิค ECRS รวมกันเป็นสถานีงานเดียวกัน

E (Eliminate) โดยปรับปรุงเครื่อง Set up Batch ให้สามารถตั้งระบบเป็นอัตโนมัติ โดยไม่ต้องหยุดตั้งเครื่องทุก 30 นาที สามารถตัดสถานีงานที่ 7 ออกได้

C (Combine) นำสถานีงานที่ 8 Coding สถานีงานที่ 9 Robot Packing และ สถานีงานที่ 10 Conveyor รวมกัน

จากสมการที่ 3.2 คำนวณหาจำนวนขั้นต่ำของสถานีงานที่ควรจะเป็น

$$W_{\min} = \sum_{i=1}^n \frac{(T_j)}{T_k} = \frac{4.3163}{0.57} = 7.57 \text{ หรือ } 8 \text{ สถานีงาน} \quad (4.3)$$

8. แก้ไขสถานีงานที่ 8 Robot Packing ปรับรอบเวลา (Cycle Time) จาก 0.25 เป็น 0.15 โดยปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในซอฟต์แวร์ เพื่อลดความล้มเหลว (Failure) ในแบบจำลอง (Model) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสถานีงาน

หลังจากมีการปรับปรุงงานแล้ว ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่าจากการปรับสมดุลรอบเวลา (Cycle Time) ของสถานีงานคอขวดลดลง และมีค่าใกล้เคียงกับค่า Takt Time เพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization Rate) และสร้างสมดุลภาระงาน (Workload Balancing) ส่งผลให้ลดสถานีงานคงเหลือ 6 สถานีงาน ซึ่งลดสถานีงานที่ควรจะเป็นได้มากกว่ารายการคำนวณ เวลาทำงานรวมของแต่ละสถานีงาน (Total Task Time) มีค่าเท่ากับ 2.7526 นาทีต่อแกลลอน ประสิทธิภาพสายการผลิตจากสมการที่ 3.3 มีค่าร้อยละ 80.48 ดังสมการที่ 4.4

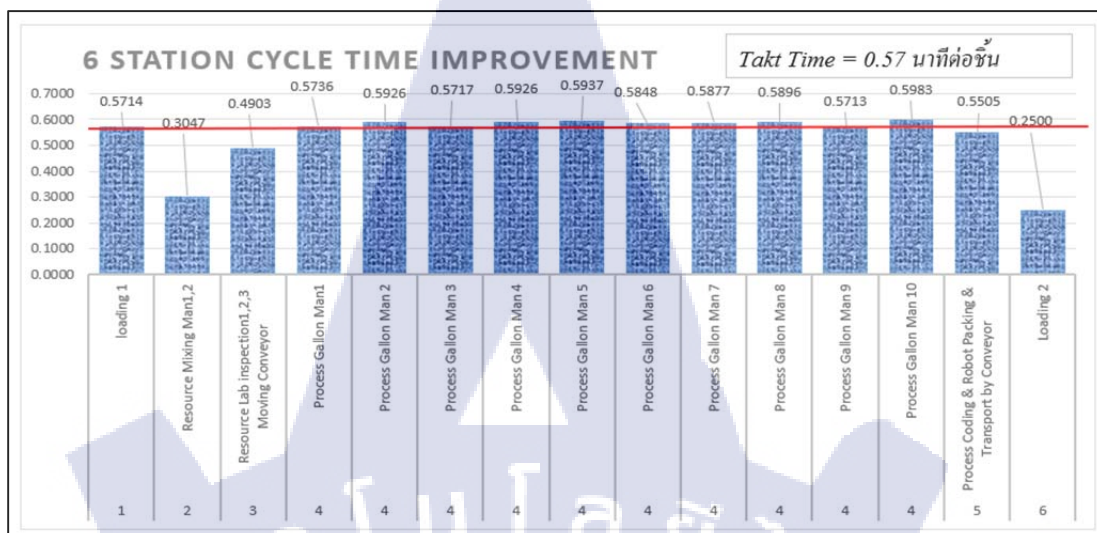
$$E = \frac{\sum_{j=1}^N T_i}{N \times C} \times 100 = \frac{2.7526}{6 \times 0.57} \times 100 = 80.48 \quad (4.4)$$

ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 68.84 เป็น 80.48 เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.64 จำนวนพนักงานลดลง 2 คน ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และผลผลิต (Output) แสดงผลลัพธ์จากแบบจำลอง

ดังรายละเอียดใน รูปผนวกที่ ง.4 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (ก่อนปรับปรุง) พบว่าได้ผลผลิต 426.69 แกลอนต่อวัน รูปผนวกที่ ง.8 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (หลังปรับปรุง) พบว่าได้ผลผลิต 638.23 แกลอนต่อวัน

ตารางที่ 4.7 ผลการจำลองสถานการณ์ระบบงานจริง (หลังปรับปรุง)

Work Elements		Improvement Model		
Step No.	Workstation	Operator No.	Total Time (min)	Cycle Time (min)
			Per Entities	Workstation
1	Loading 1	Auto	8.0	0.5714
2	Resource Mixing Man	2	8.5324	0.3047
3	Resource Lab Inspection	3	13.963	0.3325
	Moving Conveyor	Auto	2.210	0.1579
4	Connecting IBC to Gallon	1	0.0000	0.0000
	Process Gallon Man 1	1	8.0297	0.5736
	Process Gallon Man 2	1	8.2963	0.5926
	Process Gallon Man 3	1	8.0036	0.5717
	Process Gallon Man 4	1	8.2963	0.5926
	Process Gallon Man 5	1	8.3117	0.5937
	Process Gallon Man 6	1	8.1865	0.5848
	Process Gallon Man 7	1	8.2283	0.5877
	Process Gallon Man 8	1	8.2545	0.5896
	Process Gallon Man 9	1	7.9984	0.5713
	Process Gallon Man 10	1	8.3766	0.5983
5	Process Lot Coding	Auto	0.0827	0.0827
	Process Robot Packing	Auto	0.3678	0.3678
	Transport by Conveyor	Auto	0.1000	0.1000
6	Loading 2	Auto	0.2500	0.2500



รูปที่ 4.8 รอบเวลา (Cycle Time) ของแต่ละสถานีงานเทียบ Takt Time (หลังปรับปรุง)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา จากผลการจำลองสถานการณ์สามารถเพิ่มผลผลิตโรงงานที่ 1 จังหวัดสมุทรสาคร เท่ากับ ร้อยละ 49.58 สถานีนงาน สถานีนงานลดลงจาก 11 คงเหลือ 6 สถานีนงาน คิดเป็นร้อยละ 54.55 จำนวนพนักงาน ลดลงจาก 18 คน คงเหลือ 16 คน คิดเป็นร้อยละ 11.11 เวล่านำการผลิตลดลง จาก 42.19 วัน คงเหลือ 28.48 วัน คิดเป็นร้อยละ 32.49 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ เพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 88 เป็นร้อยละ 97 คิดเป็นร้อยละ 9 ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 68.84 เป็น 80.48 เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.64 ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 426.69 แกลลอนต่อวัน เป็น 638.23 แกลลอนต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 49.58 ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลกระบวนการระบบปัจจุบันเทียบหลังปรับปรุง

สรุปกระบวนการ				
ลำดับ	หัวข้อ	ระบบปัจจุบัน Real System	หลังปรับปรุง Model	คิดเป็น ร้อยละ
1	สถานีนงาน	11	8	27.27
2	ร้อยละการส่งมอบตรงเวลา	71.17	100.00	28.83
3	เวล่านำการผลิต (วัน)	42.19	28.48	32.49
4	จำนวนพนักงาน	18	16	11.11
5	ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์	88.00	97.00	9.00
6	ประสิทธิภาพสายการผลิต ร้อยละ	68.86	94.65	25.80
7	ผลผลิต (Output)	426.69	638.23	49.58

โรงงานกรณีศึกษาสามารถส่งมอบสินค้าได้ทันเวลา และสามารถบริหารจัดการสินค้าคงคลังเพื่อเพิ่มปริมาณคำสั่งผลิตได้ ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มโอกาสสร้างความสามารถในการแข่งขัน และทราบถึงค่าตัวแปรควบคุมที่ส่งผลกระทบ โดยทำการปรับแต่งกราฟที่สูงเกินค่า Takt Time ให้เกิดความสมดุลของแผนภูมิแท่ง ได้แก่ สถานีนงานการนำงานเข้า (Loading 1) การบรรจุแกลลอน (Gallon Bottling) การจัดเรียงบรรจุภัณฑ์ด้วยหุ่นยนต์ (Robot Packing) และนำแต่ละองค์ประกอบการทำงาน (Work Elements) มารวมกัน สามารถลดจำนวนสถานีนงานลงได้ ผลการทดสอบรูปแบบการแจกแจงจากข้อมูลนำเข้าในแต่ละสถานีนงาน พบว่ามีการแจกแจงของข้อมูลแบบไม่ปกติ เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลแบบสุ่ม

ตามระยะเวลาการทำงานจริงของพนักงานที่ทำงานในสถานีนานนั้น อาจเกิดความเมื่อยล้าในการทำงานตามระยะเวลาในแต่ละวัน และมีการเปลี่ยนแปลงของพนักงานใหม่ตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล ซึ่งไม่สามารถควบคุมตัวแปรนี้ได้เนื่องจากเป็นการจัดการกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเอง ผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล โดยคัดเลือกข้อมูล ที่นอกเหนือขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit) ที่ $+2\sigma$ และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit) ที่ -2σ วิเคราะห์ผ่าน I-Chart ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดสอบทวนสอบและทดสอบความเป็นตัวแทนระหว่างแบบจำลอง (Model) กับระบบงานจริง (Real System) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.958 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถนำแบบจำลองไปทดสอบในการปรับปรุงงานและสร้างมาตรฐานต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลนำเข้าบนพื้นฐานของการสุ่มระยะเวลาจริง ไม่ได้กำหนดทุกๆ ชั่วโมงการผลิต จึงมีผลให้การกระจายตัวของข้อมูลน้อย อย่างไรก็ตาม การเก็บข้อมูลทุกๆ ชั่วโมง ของตัวอย่างจะช่วยให้ข้อมูลมีการกระจายตัวมากขึ้น และรูปแบบการแจกแจงจะเป็นแบบปกติ
2. การสร้างแบบจำลองควรสร้างมาเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์หลัก แบบจำลองไม่สามารถให้ผลลัพธ์กับทุกกรณีที่ต้องการทราบ และไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ เป็นเพียงเครื่องมือที่สามารถพยากรณ์รูปแบบของสายการผลิต
3. เมื่อกระบวนการผลิตมีการปรับเปลี่ยนต้องมีการทวนสอบและทดสอบความถูกต้องของกระบวนการใหม่ทุกครั้ง

TNI



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] M. S. Dias et al., “Discrete simulation software ranking - a top list of the worldwide most popular and used tools,” *Proceedings of Winter Simulation Conference, NEDSI 2016 Proceedings*, Washington DC, USA, December 11-14, 2016, pp. 1,060-1,071.
- [2] W. David Kelton et al., *Simulation with Arena*, New York : McGraw-Hill, 2015.
- [3] Prateek Sharma, “Discrete-event simulation,” *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 4, no. 4, pp. 136-140, April 2015.
- [4] R. Pattawekongka and J. Buddhakulsomsiri, “Simulation modelling of chilled distribution center for order picking improvement,” *Journal of Engineering and Technology*, vol.4, no. 2, pp 35-39, July - December 2016.
- [5] G. Ricki, “Introduction to simulation,” *International Conference on Information and Communication Technology Convergence*, ICIT 2008, Florida, December 7-10, 2008, pp. 17-26.
- [6] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, “ทำอะไรเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ,” *Quality Production*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 14, หน้า 43-45, ตุลาคม 2551.
- [7] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, New York : McGraw-Hill, 2015.
- [8] J. E. Hammann and N. A. Markovitch, “Multiple-molecule drug design based on systems biology approaches and deep neural network to mitigate human skin aging,” *European Conference, ITS 2018*, Trento, Italy, August 27-28, 2018, pp. 135-140.
- [9] R. Neeraj et al., “Modelling and simulation of discrete manufacturing industry,” *Materials Today*, vol. 5, no. 1, pp. 24,971-24,983, May 2018.
- [10] Alberto Maydev-Olivares, “Goodness-of-fit-testing,” *International Encyclopedia of Education*, vol. 7, no. 7, pp. 190-196, December 2010.
- [11] O. Balci and R. G. Sargent, “A methodology for cost-risk analysis in the statistical validation of simulation models,” *Simulation Modeling and Statistical Computing*, vol. 24, no. 4, pp. 190-197, April 1981.

- [12] สรวิต กุลวัลลภ และคณะ, “การจำลองสถานการณ์เพื่อพัฒนาระบบการขนส่งและสินค้าคงคลังสำหรับร้านขายวัสดุก่อสร้าง,” สารนิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 2558.
- [13] R. G. Sargent, “Verification and validation of simulation models,” *International Conference in Distributed in Distributed Computing & Internet Technology*, ICDCIT-2008, Miami, Florida, December 6-9, 2008, pp. 157-169.
- [14] Wee Chuan Lim, *Discrete Event Simulation-Development and Application*, New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2012.
- [15] Lonnie Wilson, *How to Implement Lean Manufacturing*, New York : McGraw-Hill, 2010.
- [16] S. Velumani and H. Tang, “Operations status and bottleneck analysis and improvement of a batch process manufacturing line using discrete event simulation,” *Advances in Neural Networks and Applications Journal*, vol. 10, no. 5, pp. 100-111, July 2017.
- [17] H. Zupan and N. Herakovic, “The effect of microstructure and pore morphology on mechanical and dynamic properties of ferrous PIM materials,” *International Conference on Powder Metallurgy and Particulate Materials*, PM2TEC 1998, Las Vegas, USA, May 31-June 4, 1998, pp. 1-14.
- [18] S. Ariyanti et al., “Rethinking the inception architecture for computer vision,” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, CVPR, Las Vegas, USA, June 27-30, 2016, pp. 2,818-2,826.
- [19] Tranpak, “What is an Intermediate Bulk Container,” [Online]. Available : <https://www.tranpak.com/tools/faq/what-is-an-intermediate-bulk-containe>. [Accessed : June 15, 2021].
- [20] วิกีพีเดีย, “แกลลอน,” [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/แกลลอน>. [Accessed : 7 ธันวาคม 2559].
- [21] R. Smith and R. K. Mobley, *Rules of Thumb for Maintenance Reliability Engineers*, New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2008.
- [22] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, *การควบคุมคุณภาพสำหรับวิศวกร*, กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2558.
- [23] Mathworks, “Simulink Debugger,” [Online]. Available : <http://www.mathworks.com/help/simulink/debugging.html>. [Accessed : August 20, 2022].

- [24] ทวีชัย อวยพรกชกร, “กระบวนการหาค่าประสิทธิภาพโดยรวม (OEE) ด้วยพฤติกรรมเวลา,” *วารสารร่วมพฤษ มหาวิทยาลัยเกริก*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, หน้า 92-104, ตุลาคม 2554 - มกราคม 2555.
- [25] S. Thomke et al., “Metaheuristic technique for the disassembly line balancing problem,” *Proceedings of the 2004 Northeast Decision Science Institute Conference, NEDSI 2004 Proceedings*, New Jersey, USA, March 6-9, 2004, pp. 315-332.
- [26] D. A. Lihou and G. D. Spence, “Proper use of data with the weibull distribution,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 1, no. 2, pp. 110-113, April 1988.





ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลเวลานำเข้าในแต่ละกระบวนการ

TNI

ข้อมูลเวลานำเข้าในแต่ละกระบวนการ

ในการสร้างแบบจำลองเวลาในกระบวนการเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญที่ใช้ในการจัดทำระบบ ผู้จัดทำ ได้เก็บค่าเวลานำเข้าในกระบวนการการเก็บข้อมูลแบบสุ่ม แบ่งการเก็บข้อมูลมากกว่า 50 ข้อมูลในทุกๆ สถานีงาน

ตารางที่ ก.1 เวลานำเข้าของถังที่เป็นภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งของเหลว ขนาด 1,000 กิโลกรัม (IBC) จำนวน 200 ข้อมูล

เวลาการนำเข้าของถัง IBC : นาที									
10.00	10.08	11.07	10.25	12.59	10.13	12.14	10.22	12.16	12.03
12.03	12.07	10.11	12.48	12.02	10.07	11.27	12.52	12.38	11.29
12.18	10.05	12.17	11.14	12.39	12.49	11.33	12.26	11.28	11.35
12.43	11.28	10.01	12.19	10.05	11.28	11.09	11.35	12.01	11.30
12.52	12.00	11.03	10.56	12.30	12.09	11.24	11.09	11.04	10.33
10.49	10.60	12.25	10.56	12.09	10.75	10.09	12.07	12.18	11.30
12.30	12.05	11.02	12.30	11.42	12.04	12.19	11.45	10.18	10.17
12.17	10.46	10.38	12.07	10.34	11.47	10.28	11.35	12.50	12.27
10.17	11.41	12.35	12.14	12.35	11.29	12.37	11.27	12.45	10.33
11.39	11.05	12.26	12.07	11.37	11.51	10.22	11.44	11.44	10.28
10.22	12.13	12.01	10.20	12.29	10.21	12.13	12.25	11.06	12.19
10.35	12.33	11.29	10.10	12.50	11.15	11.17	10.48	12.35	12.00
12.40	12.03	11.35	11.29	12.16	12.32	12.41	11.40	10.42	12.07
12.20	12.00	11.34	11.24	10.43	11.14	10.41	12.11	12.07	12.24
12.40	11.38	12.28	12.45	11.28	10.95	10.18	10.55	11.52	12.15
10.42	12.36	11.33	11.18	12.08	11.50	10.27	11.26	10.08	11.41
12.11	10.23	12.03	12.15	11.25	12.46	12.03	10.46	11.31	12.00
11.28	11.02	11.22	12.11	12.20	12.17	12.37	12.21	11.59	10.08
10.56	11.06	11.21	11.00	12.04	11.27	11.38	10.37	12.58	10.17
12.23	11.25	11.29	12.59	11.03	11.52	12.21	12.11	11.19	12.30

ตารางที่ ก.2 เวลากระบวนการผสมสารต่อ 1 ถึง IBC จำนวน 92 ข้อมูล

เวลาการผสมสาร Mixing : นาที									
7.25	9.12	7.23	8.12	7.20	8.05	8.25	8.46	6.16	8.05
9.10	8.22	6.11	8.46	9.35	6.11	8.12	8.38	7.20	6.11
8.54	9.12	7.14	8.38	8.38	7.14	8.46	9.26	9.35	
8.14	9.21	8.37	9.26	9.26	8.37	8.38	10.28	8.54	
7.23	7.44	8.27	9.22	8.00	8.27	9.26	9.45	8.14	
6.11	8.12	6.16	9.00	7.20	8.05	8.25	9.21	7.23	
7.14	8.46	9.00	9.15	9.35	10.22	8.55	10.11	6.11	
10.00	7.00	8.45	8.37	8.38	9.35	10.31	9.17	8.38	
8.00	6.00	9.42	8.27	9.26	9.33	7.44	8.37	9.26	
9.34	6.26	7.44	6.16	9.22	8.13	8.12	8.27	9.22	

ตารางที่ ก.3 เวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังจากการผสมสารต่อ 1 ถึง IBC จำนวน 97 ข้อมูล

เวลาการตรวจสอบค่าเคมี Lab Inspection : นาที									
13.20	12.40	12.00	15.10	12.21	15.14	15.10	15.12	13.21	12.00
15.10	15.10	15.10	12.23	13.24	13.12	14.12	16.13	13.35	12.21
15.15	14.34	12.23	12.24	13.21	15.04	15.14	13.42	13.20	15.13
13.22	14.22	15.21	13.16	15.23	13.12	12.23	15.46	15.11	15.00
13.16	15.10	13.17	15.14	15.45	15.12	15.42	15.13	12.13	17.25
15.20	14.24	13.18	16.23	13.24	12.36	12.41	12.14	15.10	12.24
13.11	13.13	15.23	13.42	12.35	11.30	15.23	14.38	15.12	14.27
12.16	13.17	13.18	13.32	13.12	12.24	13.14	15.34	14.30	
10.06	15.14	15.23	13.09	15.24	15.13	12.23	13.20	15.34	
15.21	13.16	14.10	13.12	15.23	14.12	13.26	10.11	12.26	

ตารางที่ ก.4 เวลากระบวนการขนย้ายถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล

เวลาการขนย้ายถัง IBC ด้วย Hand Lift : นาที									
1.40	2.14	1.60	2.33	2.16	2.09	2.30	2.15	1.53	2.21
1.43	1.57	1.67	2.10	2.04	2.19	2.28	2.01	1.56	2.04
1.53	1.66	1.65	2.06	2.24	2.30	2.06	2.18	2.00	2.17
2.23	1.75	1.86	2.30	2.35	2.10	2.20	2.16	2.01	2.12
1.52	2.32	1.81	1.56	2.05	1.43	2.01	2.04	2.08	2.16
1.71	2.07	1.70	1.72	2.31	2.08	2.08	2.20	2.10	2.26
2.00	2.00	1.76	2.33	2.09	1.59	2.24	2.28	2.17	2.23
2.03	2.07	2.23	2.06	1.55	2.19	2.26	1.56	2.18	2.06
2.08	2.11	1.51	2.39	1.57	2.29	1.59	2.18	2.10	2.20
2.08	1.56	1.69	2.30	2.08	2.00	1.50	2.36	2.15	2.11

ตารางที่ ก.5 เวลากระบวนการต่อท่อปั๊มใส่ถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล

เวลาการต่อท่อระหว่างถัง IBC กับไลน์ Gallon : นาที									
2.41	2.06	2.30	2.07	2.28	2.44	2.47	2.26	2.36	2.43
2.36	2.17	2.00	2.26	2.44	2.25	2.18	2.25	2.04	2.50
2.27	2.25	2.45	2.42	2.21	2.41	2.07	2.19	2.18	2.20
2.48	2.44	2.25	2.39	2.00	2.14	2.23	2.01	2.20	2.29
2.40	2.13	2.12	2.45	2.46	2.12	2.13	2.22	2.21	2.43
2.27	2.41	2.40	2.45	2.18	2.45	2.44	2.29	2.02	2.09
2.30	2.35	2.14	2.30	2.11	2.06	2.41	2.30	2.08	2.24
2.18	2.29	2.04	2.24	2.44	2.44	2.33	2.25	2.13	2.02
2.08	2.35	2.28	2.03	2.18	2.41	2.41	2.39	2.04	2.12
2.37	2.47	2.41	2.11	2.20	2.01	2.24	2.01	2.00	2.35

ตารางที่ ก.6 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 1) จำนวน 144 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 1) : นาที								
5.09	5.10	5.14	5.12	5.05	5.30	5.04	5.20	5.05
5.13	5.05	5.32	5.13	5.15	5.30	5.08	5.20	5.15
5.15	5.18	5.70	5.22	5.25	5.00	5.12	5.08	5.20
5.23	5.32	5.70	5.23	5.15	5.10	5.34	5.17	5.20
5.15	5.43	5.54	5.10	5.21	5.20	5.02	5.25	5.55
5.16	5.07	5.55	5.05	5.23	5.30	5.19	5.25	5.57
5.17	5.09	5.56	5.36	5.09	5.21	5.19	5.06	5.58
5.12	5.21	5.59	5.21	5.07	5.32	5.20	5.44	5.59
5.22	5.17	5.02	5.01	5.10	5.02	5.20	5.05	5.03
5.23	5.13	5.11	5.02	5.20	5.07	5.20	5.05	5.22
5.23	5.19	5.56	5.23	5.10	5.43	5.23	5.08	5.12
5.12	5.28	5.32	5.12	5.03	5.23	5.04	5.18	5.21
5.36	5.14	5.11	5.11	5.23	5.12	5.43	5.28	5.45
5.21	5.55	5.22	5.14	5.43	5.44	5.39	5.06	5.54
5.02	5.21	5.11	5.32	5.11	5.44	5.32	5.26	5.13
5.01	5.45	5.27	5.33	5.11	5.21	5.08	5.21	5.56

ตารางที่ ก.7 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 2) จำนวน 143 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 2) : นาที							
5.10	5.33	5.32	5.12	5.09	5.13	5.40	5.32
5.25	5.43	5.44	5.45	5.33	5.32	5.33	5.12
5.23	5.21	5.55	5.23	5.41	5.08	5.08	5.05
5.12	5.22	5.56	5.07	5.07	5.22	5.11	5.45
5.34	5.56	5.34	5.55	5.51	5.34	5.23	5.33
5.43	5.34	5.23	5.01	5.52	5.42	5.43	5.21
5.22	5.33	5.21	5.34	5.53	5.55	5.22	5.45
5.48	5.16	5.55	5.33	5.45	5.32	5.55	5.33
5.21	5.33	5.34	5.21	5.22	5.12	5.56	5.23

ตารางที่ ก.7 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 2) จำนวน 143 ข้อมูล (ต่อ)

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 2) : นาที							
5.23	5.12	5.23	5.58	5.42	5.34	5.36	5.43
5.44	5.59	5.11	5.56	5.44	5.33	5.33	5.30
5.28	5.51	5.47	5.42	5.13	5.56	5.46	5.19
5.09	5.35	5.58	5.11	5.51	5.60	5.58	5.40
5.40	5.05	5.11	5.34	5.45	5.42	5.34	5.12
5.12	5.35	5.06	5.32	5.08	5.43	5.55	5.43
5.13	5.03	5.32	5.66	5.12	5.22	5.23	5.60
5.13	5.01	5.22	5.23	5.32	5.09	5.05	5.29
5.23	5.11	5.46	5.13	5.33	5.12	5.33	

ตารางที่ ก.8 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 3) จำนวน 144 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 3) : นาที							
5.46	5.32	5.44	5.21	5.45	5.21	5.38	5.09
5.32	5.44	5.37	5.5	5.22	5.67	5.12	5.43
5.33	5.39	5.19	5.22	5.42	5.49	5.23	5.22
5.12	5.12	5.21	5.34	5.12	5.48	5.31	5.18
5.45	5.32	5.58	5.12	5.43	5.32	5.54	5.07
5.44	5.59	5.32	5.41	5.56	5.27	5.23	5.32
5.32	5.32	5.21	5.07	5.22	5.32	5.12	5.25
5.57	5.12	5.55	5.51	5.53	5.33	5.32	5.12
5.28	5.32	5.07	5.52	5.13	5.32	5.34	5.44
5.48	5.47	5.49	5.53	5.46	5.47	5.01	5.57
5.34	5.44	5.34	5.32	5.14	5.33	5.13	5.52
5.48	5.45	5.13	5.11	5.34	5.47	5.45	5.16
5.33	5.56	5.56	5.33	5.56	5.58	5.21	5.34
5.29	5.12	5.12	5.59	5.22	5.28	5.33	5.24
5.12	5.30	5.23	5.17	5.14	5.01	5.34	5.32
5.32	5.32	5.56	5.33	5.32	5.11	5.57	5.6

ตารางที่ ก.8 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 3) จำนวน 144 ข้อมูล (ต่อ)

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 3) : นาที							
5.13	5.12	5.12	5.12	5.53	5.32	5.12	5.46
5.59	5.32	5.52	5.56	5.12	5.53	5.34	5.55

ตารางที่ ก.9 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 4) จำนวน 139 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 4) : นาที							
5.01	5.37	5.49	5.32	5.47	5.44	5.33	5.55
5.02	5.12	5.59	5.48	5.39	5.33	5.48	5.59
5.03	5.55	5.12	5.11	5.45	5.33	5.49	5.29
5.02	5.43	5.32	5.31	5.54	5.53	5.21	5.34
5.70	5.23	5.32	5.32	5.13	5.52	5.33	5.33
5.55	5.11	5.23	5.45	5.28	5.41	5.43	5.12
5.32	5.23	5.12	5.33	5.46	5.23	5.38	5.03
5.57	5.33	5.56	5.47	5.56	5.34	5.32	5.20
5.40	5.47	5.57	5.29	5.13	5.58	5.46	5.06
5.04	5.19	5.47	5.21	5.32	5.47	5.39	5.07
5.12	5.33	5.48	5.22	5.44	5.34	5.15	5.34
5.32	5.16	5.11	5.12	5.12	5.55	5.33	5.00
5.07	5.32	5.02	5.32	5.34	5.12	5.18	5.06
5.34	5.57	5.12	5.07	5.56	5.06	5.38	5.23
5.23	5.49	5.33	5.54	5.17	5.18	5.10	5.52
5.11	5.27	5.43	5.23	5.59	5.32	5.39	5.24
5.06	5.21	5.12	5.48	5.08	5.33	5.11	5.23
5.23	5.46	5.06					

ตารางที่ ก.10 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 5) จำนวน 138 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 5) : นาที							
5.47	5.43	5.12	5.10	5.12	5.44	5.32	5.35
5.12	5.32	5.33	5.20	5.32	5.21	5.33	5.28
5.53	5.19	5.42	5.34	5.58	5.32	5.55	5.49
5.18	5.33	5.38	5.12	5.34	5.48	5.11	5.53
5.33	5.41	5.33	5.32	5.51	5.22	5.03	5.32
5.22	5.40	5.13	5.07	5.52	5.48	5.41	5.48
5.23	5.33	5.45	5.45	5.53	5.44	5.38	5.33
5.54	5.23	5.11	5.28	5.56	5.28	5.33	5.58
5.11	5.59	5.10	5.33	5.33	5.48	5.18	5.17
5.21	5.33	5.20	5.45	5.58	5.12	5.19	5.33
5.38	5.13	5.50	5.31	5.38	5.45	5.42	5.18
5.39	5.09	5.40	5.43	5.22	5.22	5.52	5.36
5.15	5.32	5.59	5.11	5.39	5.38	5.35	5.33
5.23	5.33	5.22	5.19	5.31	5.33	5.38	5.15
5.22	5.44	5.35	5.46	5.21	5.44	5.11	5.50
5.33	5.18	5.58	5.49	5.26	5.32	5.25	5.31
5.46	5.56	5.33	5.38	5.45	5.31	5.29	5.48
5.07	5.51						

ตารางที่ ก.11 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 6) จำนวน 138 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 6) : นาที							
5.11	5.45	5.43	5.46	5.52	5.48	5.18	5.37
5.15	5.44	5.57	5.51	5.45	5.43	5.47	5.46
5.18	5.55	5.23	5.32	5.52	5.44	5.35	5.37
5.23	5.58	5.55	5.45	5.48	5.55	5.48	5.38
5.22	5.34	5.28	5.32	5.46	5.56	5.31	5.38
5.23	5.43	5.23	5.33	5.47	5.59	5.34	5.37
5.34	5.59	5.43	5.51	5.49	5.46	5.43	5.47
5.50	5.34	5.56	5.34	5.34	5.59	5.36	5.46
5.55	5.57	5.19	5.56	5.25	5.55	5.44	5.44
5.33	5.49	5.48	5.53	5.36	5.45	5.46	5.37
5.46	5.34	5.47	5.37	5.28	5.28	5.43	5.46
5.36	5.34	5.34	5.55	5.44	5.46	5.55	5.11
5.27	5.23	5.36	5.34	5.50	5.55	5.16	5.38
5.38	5.29	5.57	5.59	5.17	5.51	5.55	5.46
5.58	5.28	5.39	5.49	5.23	5.35	5.39	5.25
5.56	5.28	5.37	5.34	5.36	5.37	5.34	5.29
5.58	5.57	5.38	5.29	5.19	5.57	5.49	5.38
5.59	5.11						

ตารางที่ ก.12 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 7) จำนวน 141 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 7) : นาที							
5.30	5.39	5.39	5.47	5.37	5.34	5.11	5.33
5.39	5.55	5.24	5.39	5.26	5.55	5.36	5.38
5.39	5.38	5.56	5.49	5.45	5.58	5.39	5.47
5.55	5.39	5.09	5.58	5.46	5.37	5.19	5.55
5.40	5.11	5.05	5.56	5.27	5.32	5.36	5.47
5.38	5.34	5.50	5.36	5.12	5.51	5.32	5.38
5.37	5.57	5.38	5.38	5.36	5.50	5.31	5.39
5.55	5.55	5.34	5.22	5.41	5.48	5.28	5.50
5.09	5.59	5.12	5.34	5.51	5.05	5.55	5.02
5.30	5.38	5.35	5.21	5.16	5.23	5.09	5.22
5.09	5.45	5.21	5.38	5.55	5.50	5.27	5.37
5.55	5.39	5.12	5.44	5.56	5.39	5.50	5.33
5.59	5.55	5.31	5.58	5.56	5.09	5.47	5.44
5.39	5.48	5.13	5.39	5.27	5.05	5.34	5.38
5.49	5.45	5.26	5.55	5.37	5.30	5.39	5.49
5.58	5.46	5.45	5.48	5.55	5.38	5.24	5.59
5.26	5.46	5.37	5.55	5.40	5.41	5.33	5.55
5.39	5.55	5.44	5.43	5.47			

ตารางที่ ก.13 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 8) จำนวน 142 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 8) : นาที								
5.55	5.07	5.24	5.29	5.03	5.37	5.22	5.56	5.28
5.58	5.02	5.23	5.55	5.22	5.33	5.12	5.50	5.55
5.37	5.09	5.23	5.39	5.11	5.45	5.17	5.35	5.59
5.05	5.03	5.23	5.39	5.55	5.34	5.13	5.37	5.48
5.57	5.34	5.55	5.33	5.06	5.44	5.16	5.22	5.34
5.39	5.34	5.58	5.34	5.35	5.56	5.48	5.12	5.58
5.09	5.37	5.59	5.55	5.24	5.22	5.33	5.17	5.34
5.34	5.34	5.37	5.03	5.34	5.29	5.36	5.16	5.05
5.22	5.28	5.09	5.23	5.55	5.24	5.08	5.28	5.08
5.09	5.55	5.49	5.06	5.48	5.48	5.5	5.39	5.11
5.07	5.08	5.44	5.24	5.50	5.48	5.27	5.38	5.55
5.29	5.34	5.37	5.33	5.47	5.39	5.44	5.33	5.09
5.29	5.50	5.22	5.49	5.46	5.39	5.55	5.44	5.34
5.27	5.38	5.44	5.38	5.26	5.28	5.38	5.08	5.38
5.37	5.03	5.58	5.09	5.39	5.44	5.39	5.55	5.05
5.58	5.00	5.09	5.48	5.55	5.45	5.55		

ตารางที่ ก.14 เวลากระบวนกรบรรจุ Gallon (Man 9) จำนวน 138 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 9) : นาที							
5.45	5.45	5.56	5.41	5.33	5.37	5.38	5.55
5.59	5.45	5.56	5.45	5.39	5.33	5.46	5.35
5.55	5.34	5.59	5.34	5.49	5.37	5.55	5.37
5.44	5.37	5.23	5.23	5.35	5.38	5.38	5.44
5.56	5.14	5.26	5.18	5.57	5.59	5.17	5.57
5.55	5.35	5.11	5.38	5.55	5.29	5.16	5.57
5.20	5.36	5.10	5.49	5.34	5.33	5.00	5.55
5.34	5.38	5.18	5.24	5.47	5.01	5.37	5.03
5.55	5.40	5.34	5.39	5.34	5.29	5.09	5.33
5.39	5.55	5.55	5.36	5.48	5.11	5.13	5.25
5.37	5.33	5.06	5.55	5.36	5.07	5.02	5.37
5.37	5.34	5.28	5.47	5.39	5.19	5.37	5.36
5.44	5.16	5.37	5.37	5.38	5.07	5.09	5.07
5.05	5.06	5.47	5.48	5.47	5.38	5.24	5.45
5.49	5.04	5.49	5.37	5.28	5.28	5.22	5.55
5.05	5.33	5.50	5.47	5.09	5.33	5.37	5.39
5.47	5.37	5.45	5.55	5.55	5.39	5.22	5.09
5.01	5.55						

ตารางที่ ก.15 เวลากระบวนการบรรจุ Gallon (Man 10) จำนวน 144 ข้อมูล

เวลาการบรรจุ Gallon (Man 10) : นาที								
5.55	5.55	5.47	5.59	5.34	5.37	5.46	5.49	5.39
5.36	5.03	5.28	5.59	5.44	5.3	5.30	5.58	5.22
5.38	5.06	5.33	5.48	5.59	5.05	5.30	5.38	5.33
5.33	5.09	5.38	5.44	5.49	5.01	5.20	5.55	5.39
5.39	5.38	5.39	5.59	5.55	5.39	5.11	5.56	5.46
5.48	5.55	5.50	5.48	5.49	5.57	5.33	5.55	5.16
5.55	5.48	5.08	5.33	5.55	5.48	5.44	5.55	5.38
5.48	5.22	5.48	5.39	5.59	5.50	5.47	5.32	5.09
5.48	5.48	5.38	5.55	5.39	5.45	5.22	5.33	5.37
5.38	5.55	5.29	5.39	5.22	5.59	5.44	5.45	5.47
5.55	5.38	5.46	5.36	5.57	5.30	5.56	5.55	5.57
5.59	5.33	5.11	5.55	5.50	5.10	5.34	5.34	5.55
5.50	5.06	5.55	5.09	5.39	5.44	5.33	5.33	5.35
5.37	5.55	5.34	5.06	5.55	5.29	5.22	5.45	5.09
5.26	5.58	5.37	5.09	5.59	5.22	5.23	5.38	5.46
5.35	5.07	5.55	5.46	5.59	5.55	5.45	5.09	5.25

ตารางที่ ก.16 เวลากระบวนการ Setup Batch จำนวน 143 ข้อมูล

เวลาการ Setup Batch No.: นาทิ								
5.55	5.55	5.47	5.59	5.34	5.37	5.46	5.49	5.39
5.36	5.39	5.12	5.44	5.56	5.39	5.30	5.39	5.11
5.38	5.55	5.31	5.58	5.56	5.09	5.30	5.39	5.55
5.33	5.48	5.13	5.39	5.27	5.05	5.20	5.33	5.06
5.39	5.45	5.26	5.55	5.37	5.30	5.11	5.34	5.35
5.48	5.33	5.45	5.48	5.55	5.38	5.33	5.55	5.24
5.55	5.44	5.37	5.55	5.40	5.41	5.44	5.55	5.38
5.48	5.34	5.38	5.55	5.44	5.43	5.47	5.32	5.09
5.48	5.39	5.49	5.26	5.46	5.33	5.22	5.33	5.37
5.38	5.55	5.29	5.39	5.22	5.59	5.44	5.45	5.47
5.55	5.38	5.46	5.36	5.57	5.30	5.34	5.34	5.55
5.45	5.32	5.21	5.33	5.28	5.10	5.33	5.33	5.35
5.34	5.58	5.32	5.55	5.49	5.44	5.22	5.45	5.09
5.44	5.34	5.48	5.11	5.29	5.52	5.48	5.41	5.48
5.56	5.51	5.22	5.03	5.32	5.53	5.44	5.38	5.33
5.22	5.22	5.55	5.45	5.38	5.46	5.09	5.25	

ตารางที่ ก.17 เวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้ง > 10 นาที จำนวน 93 ข้อมูล

ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงต่อครั้ง (MTTR) กำหนดจับเวลาหยุดซ่อม > 10 นาที									
12.00	17.00	12.00	15.00	18.00	18.00	12.00	24.00	14.00	14.00
30.00	16.00	14.00	12.00	15.00	15.00	12.00	16.00	16.00	15.00
12.00	24.00	17.00	11.00	15.00	10.00	25.00	13.00	14.00	14.00
12.00	16.00	12.00	17.00	12.00	10.00	18.00	10.00	17.00	
25.00	13.00	14.00	19.00	15.00	10.00	12.00	11.00	12.00	
18.00	10.00	13.00	12.00	16.00	17.00	12.00	19.00	14.00	
17.00	11.00	15.00	11.00	10.00	13.00	12.00	16.00	13.00	
13.00	12.00	13.00	15.00	15.00	10.00	12.00	11.00	15.00	
10.00	15.00	10.00	12.00	16.00	17.00	12.00	15.00	13.00	
12.00	16.00	17.00	12.00	24.00	17.00	11.00	15.00	14.00	

ตารางที่ ก.18 ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) จำนวน 93 ข้อมูล

ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF)									
378.00	373.00	378.00	375.00	372.00	372.00	378.00	366.00	376.00	376.00
360.00	374.00	376.00	378.00	375.00	375.00	378.00	374.00	374.00	375.00
378.00	366.00	373.00	379.00	375.00	380.00	365.00	377.00	376.00	376.00
378.00	374.00	378.00	373.00	378.00	380.00	372.00	380.00	373.00	
365.00	377.00	376.00	371.00	375.00	380.00	378.00	379.00	378.00	
372.00	380.00	377.00	378.00	374.00	373.00	378.00	371.00	376.00	
373.00	379.00	375.00	379.00	380.00	377.00	378.00	374.00	377.00	
377.00	378.00	377.00	375.00	375.00	380.00	378.00	379.00	375.00	
380.00	375.00	380.00	378.00	374.00	373.00	378.00	375.00	377.00	
378.00	374.00	373.00	378.00	366.00	373.00	379.00	375.00	376.00	

ภาคผนวก ข.

คู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์ ARENA

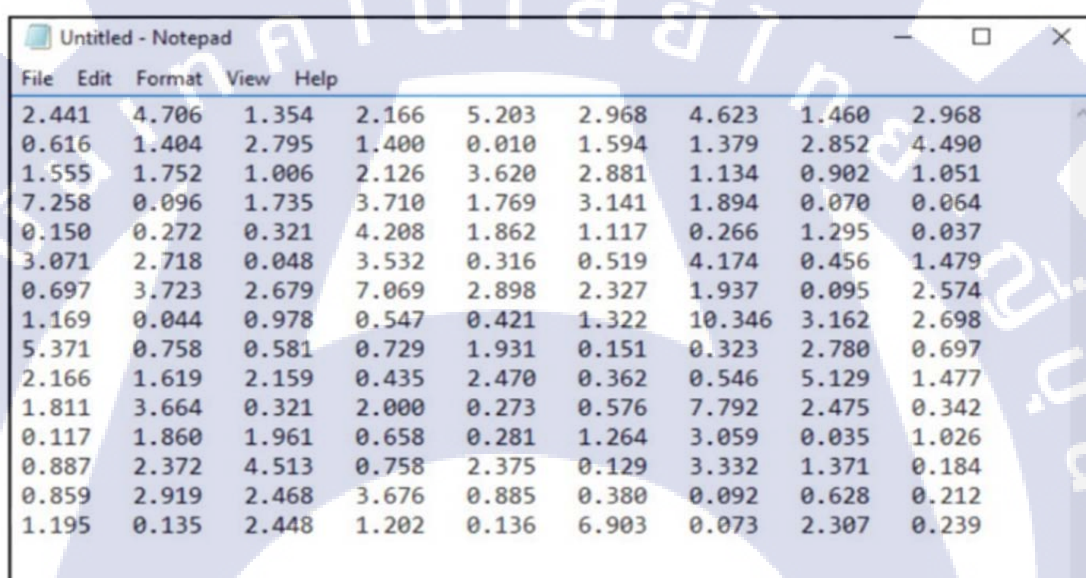
TNI

คู่มือการใช้งานซอฟต์แวร์ ARENA

คู่มือการใช้แบบจำลองสถานการณ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการกระบวนการเข้ารับสินค้า เพื่อช่วยในการใช้งานแบบจำลองสถานการณ์โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการใช้งานและวิธีอ่านใบรายงานประมวลผลแบบจำลองและการเปลี่ยนแปลงค่าที่ใช้ในปัจจุบันต่างๆ

1. Using Arena Input Analyzer

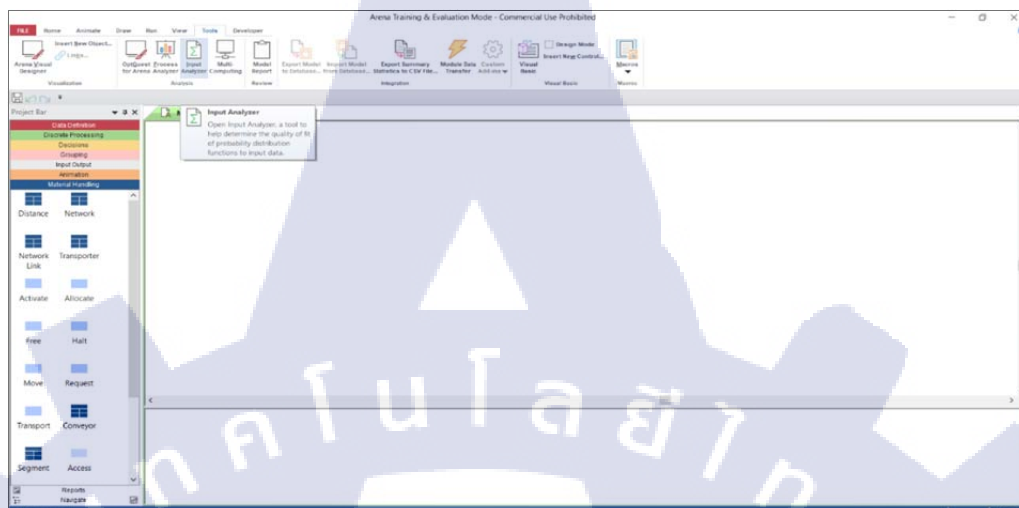
1.1 ป้อนข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงลงใน Notepad



2.441	4.706	1.354	2.166	5.203	2.968	4.623	1.460	2.968	
0.616	1.404	2.795	1.400	0.010	1.594	1.379	2.852	4.490	
1.555	1.752	1.006	2.126	3.620	2.881	1.134	0.902	1.051	
7.258	0.096	1.735	3.710	1.769	3.141	1.894	0.070	0.064	
0.150	0.272	0.321	4.208	1.862	1.117	0.266	1.295	0.037	
3.071	2.718	0.048	3.532	0.316	0.519	4.174	0.456	1.479	
0.697	3.723	2.679	7.069	2.898	2.327	1.937	0.095	2.574	
1.169	0.044	0.978	0.547	0.421	1.322	10.346	3.162	2.698	
5.371	0.758	0.581	0.729	1.931	0.151	0.323	2.780	0.697	
2.166	1.619	2.159	0.435	2.470	0.362	0.546	5.129	1.477	
1.811	3.664	0.321	2.000	0.273	0.576	7.792	2.475	0.342	
0.117	1.860	1.961	0.658	0.281	1.264	3.059	0.035	1.026	
0.887	2.372	4.513	0.758	2.375	0.129	3.332	1.371	0.184	
0.859	2.919	2.468	3.676	0.885	0.380	0.092	0.628	0.212	
1.195	0.135	2.448	1.202	0.136	6.903	0.073	2.307	0.239	

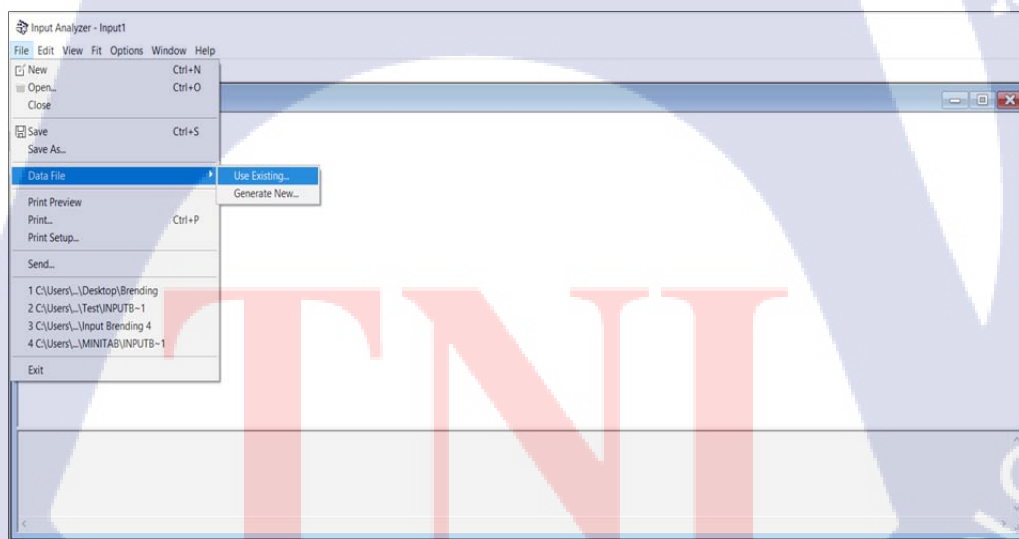
รูปที่ ข.1 การใส่ข้อมูลลงใน Notepad

1.2 เลือก Input Analyzer



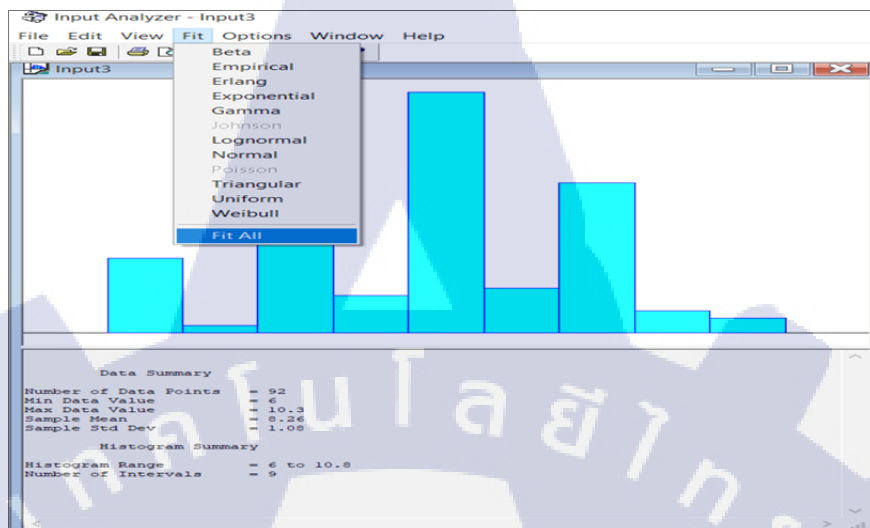
รูปที่ ข.2 การเลือก Input Analyzer

1.3 เลือก Data File และ Use Existing จาก Notepad



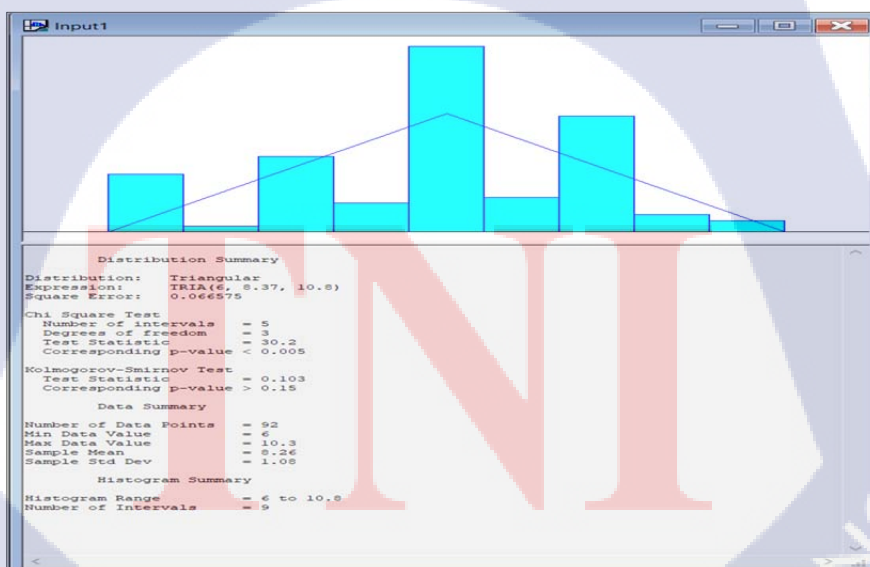
รูปที่ ข.3 การเลือก Use Existing

1.4 เลือก Fit All เพื่อเลือกการแจกแจงที่มีค่า Error น้อยที่สุด



รูปที่ ข.4 การเลือก Fit All

1.5 เลือก Fit All Input Analyzer ค้นหาข้อมูลที่เหมาะสม เพิ่มข้อมูลสถิติเกี่ยวกับการเลือกรูปแบบแจกแจง เช่น การทดสอบ Chi-Square Goodness of Fit และ Kolmogorov-Smirnov

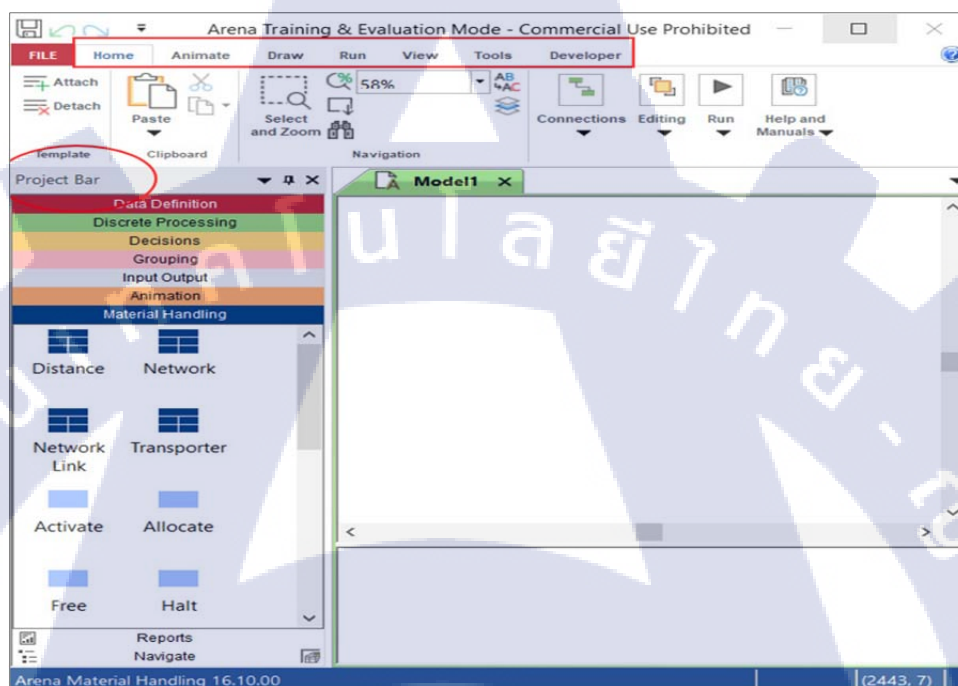


รูปที่ ข.5 การเลือกการแจกแจงและสถิติ

2. Arena Software

2.1 ติดตั้งโปรแกรม ARENA 16.10.00002 Rockwell Software

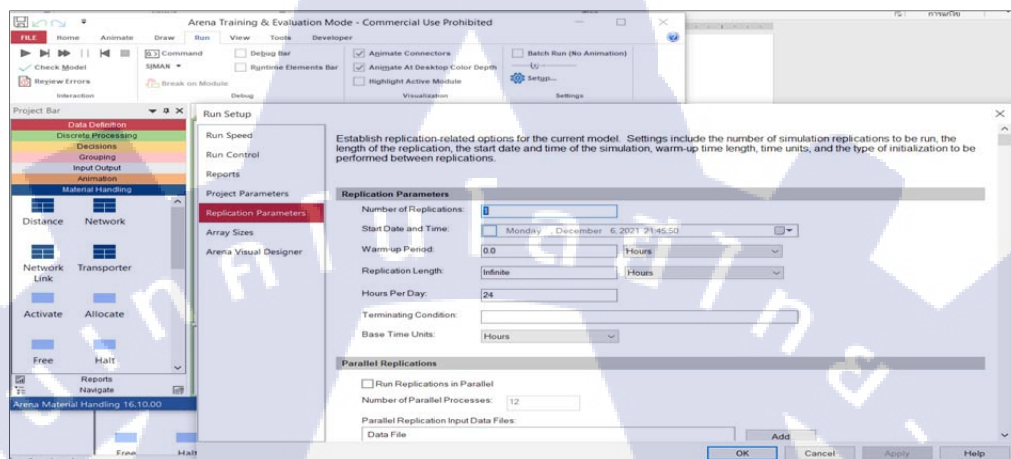
Project Bar ประกอบ ด้วย Data Definition, Discrete Processing, Decisions, Grouping, Input Output, Animation, Material Handling, Reports



รูปที่ ข.6 หน้า Menu หลักของ ARENA 16.10.00002

2.2 การ Check Model, Replication Length, RUN

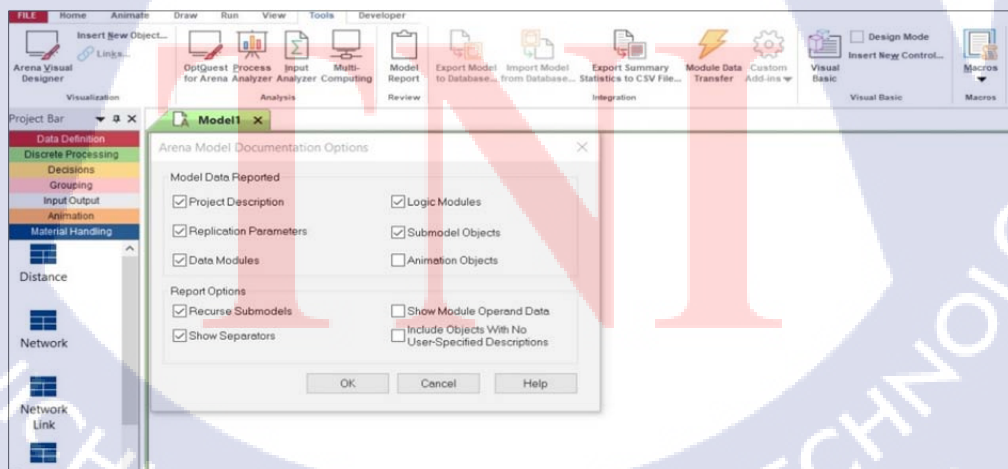
Check Model เป็นการตรวจสอบแบบจำลองว่าถูกต้องหรือไม่ในการสร้าง Model Length เป็นการกำหนดระยะเวลาและการทำซ้ำของแบบจำลอง RUN เป็นการเริ่มประมวลผลจากแบบจำลอง



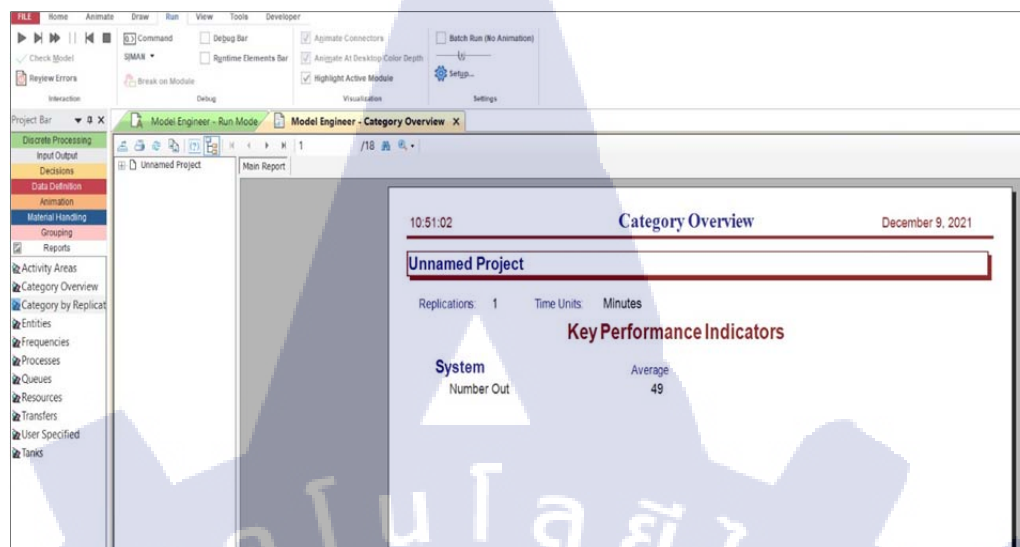
รูปที่ ข.7 หน้า Check Model, Replication Length, RUN

2.3 การเรียกรายงาน (Report) จาก ARENA 16.10.00002

เลือกที่ Tools → Model Report เลือก รูปแบบการรายงานที่ต้องการ → Report
→ เลือกข้อมูลที่ต้องการตาม Category ของรายงาน



รูปที่ ข.8 หน้า Check Model

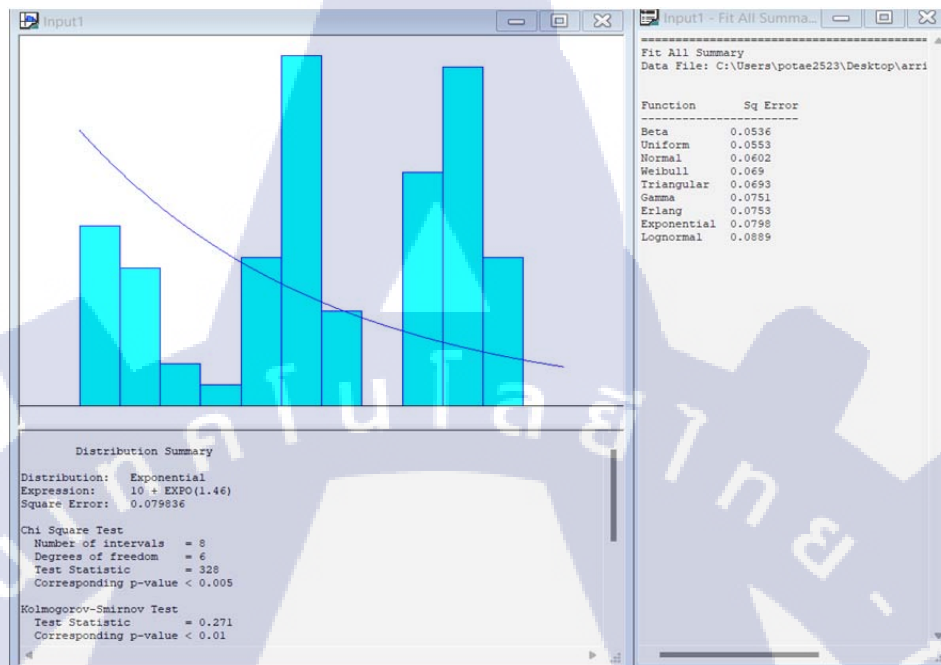


รูปที่ ข.9 หน้ารายงาน

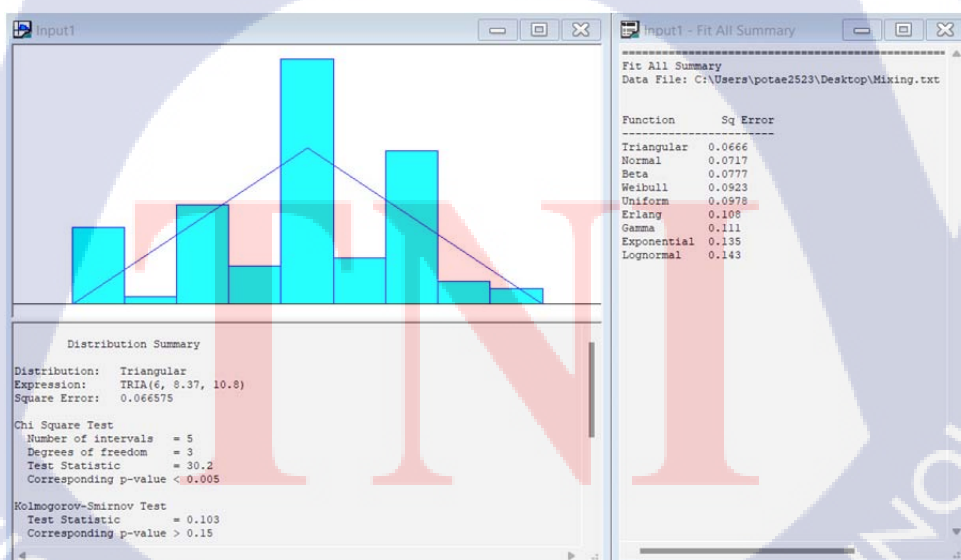
ภาคผนวก ค.
การนำเข้าข้อมูลตามรูปแบบแจกแจงต่างๆ

TNI

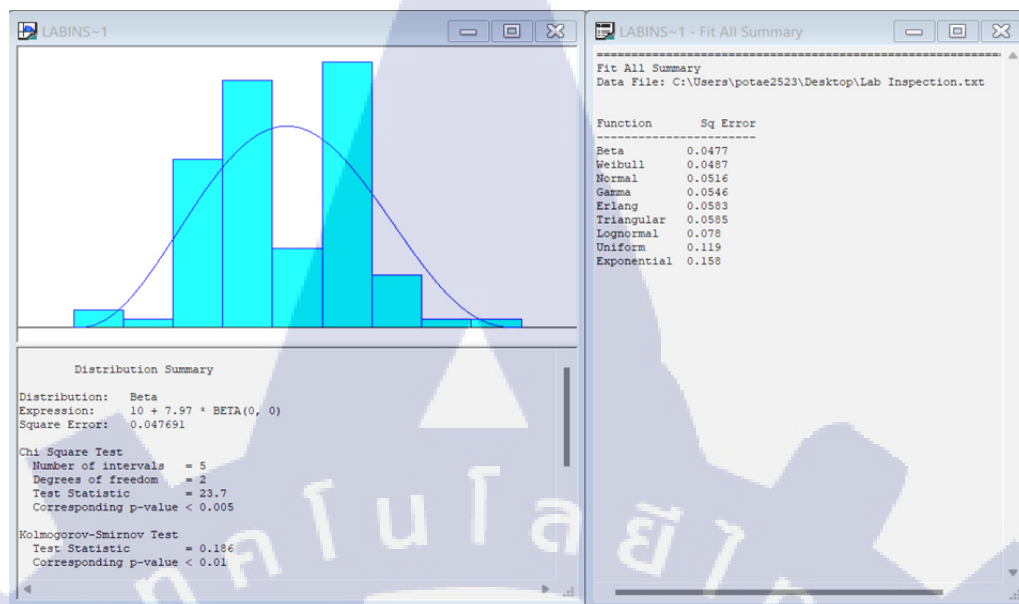
การนำเข้าข้อมูลตามรูปแบบแจกแจงต่างๆ



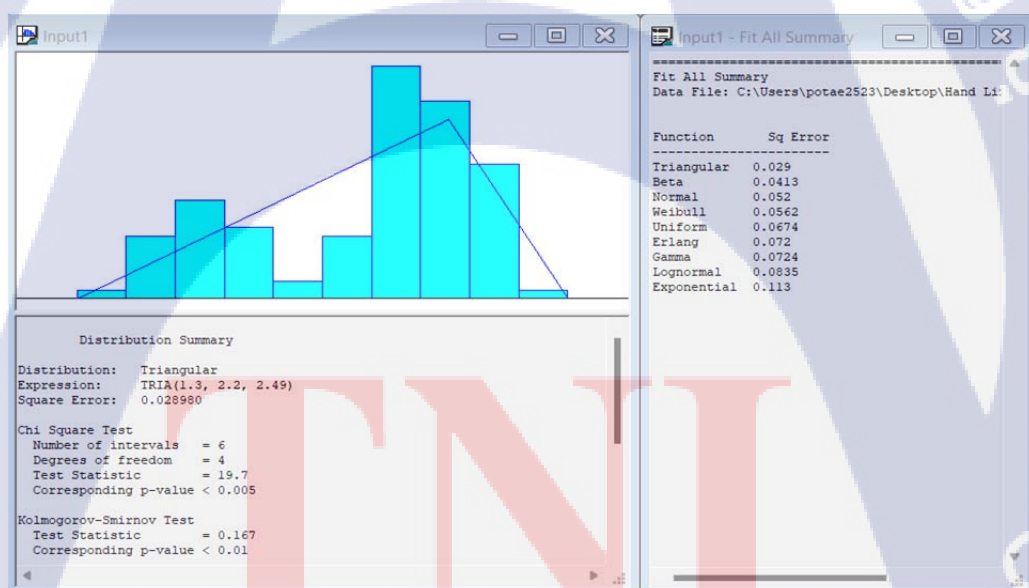
รูปที่ ค.1 แบบการแจกแจงเวลานำเข้าของถังที่เป็นภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บและขนส่งของเหลว ขนาด 1,000 กิโลกรัม (IBC) จำนวน 200 ข้อมูล



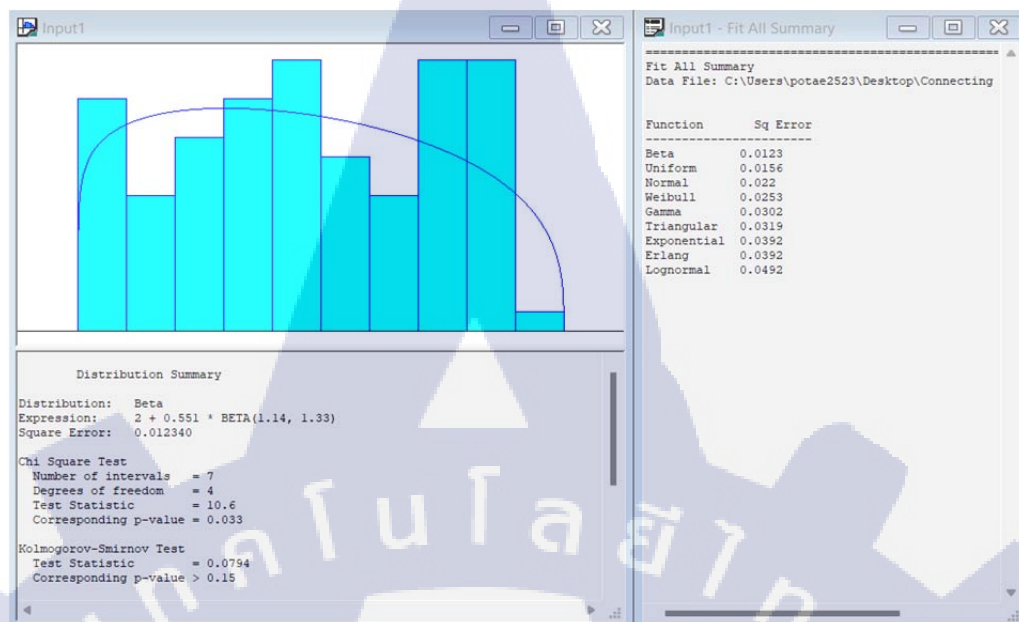
รูปที่ ค.2 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการผสมสารต่อ 1 ถัง IBC จำนวน 92 ข้อมูล



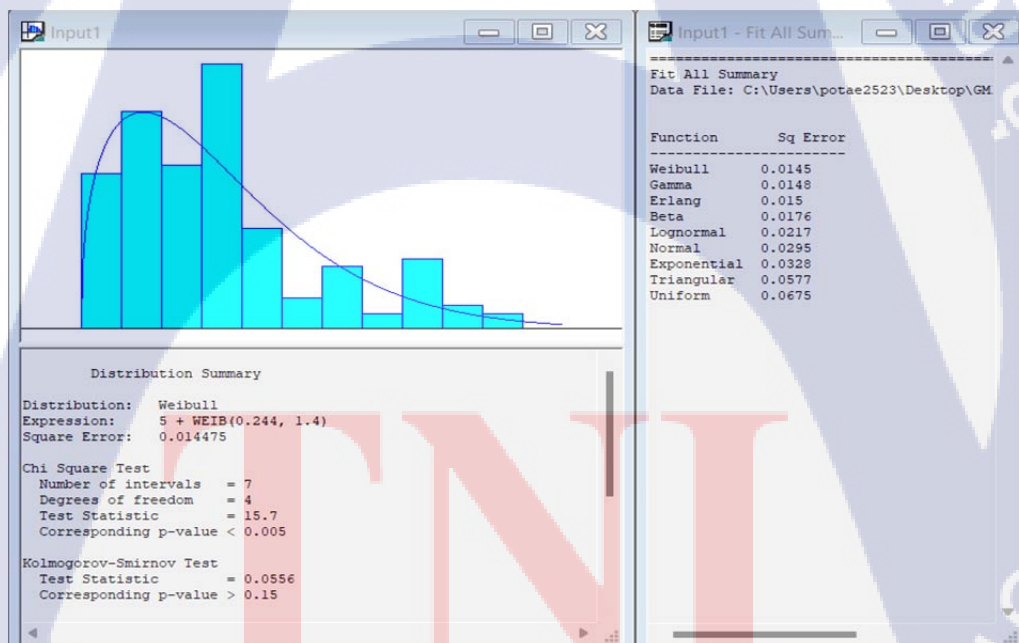
รูปที่ ค.3 รูปแบบการแจกแจงเวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพหลังจากการผสมสารต่อ 1 ถึง IBC จำนวน 97 ข้อมูล



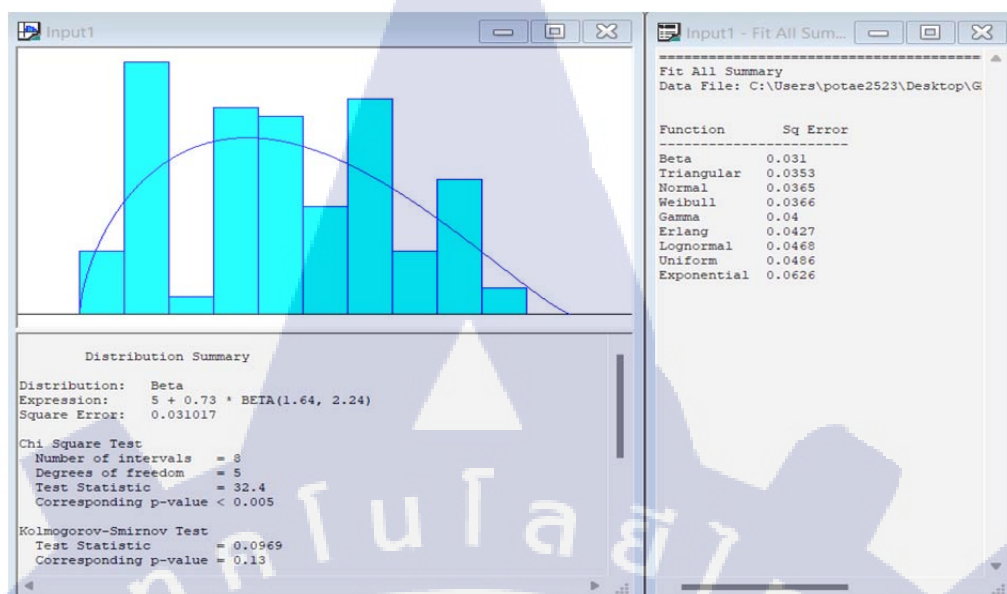
รูปที่ ค.4 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการขนย้ายถึง IBC จำนวน 100 ข้อมูล



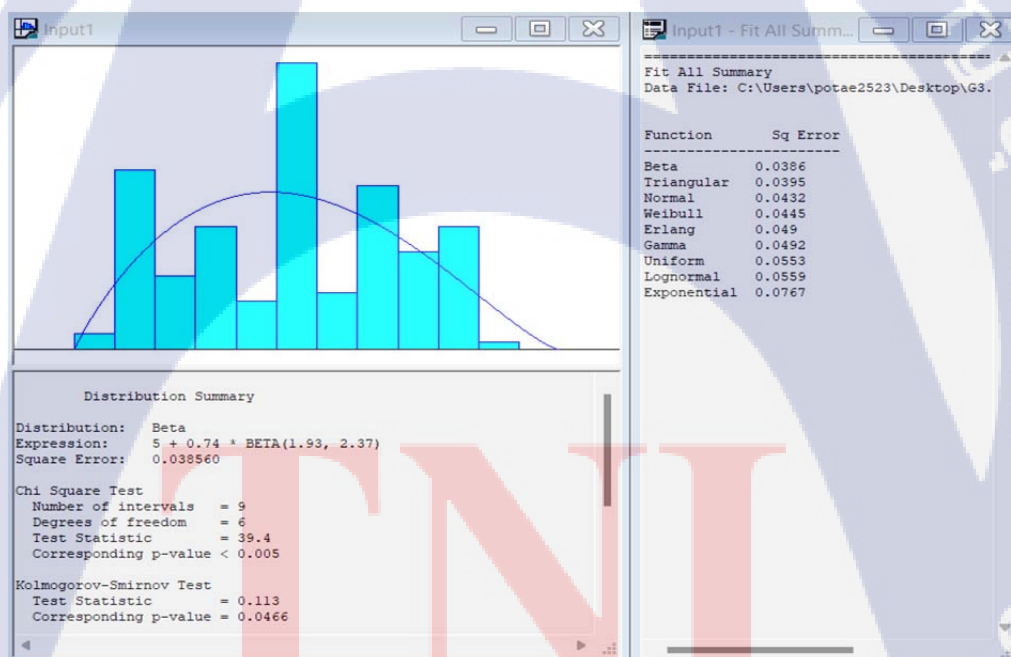
รูปที่ ค.5 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการต่อท่อปั๊มใส่ถัง IBC จำนวน 100 ข้อมูล



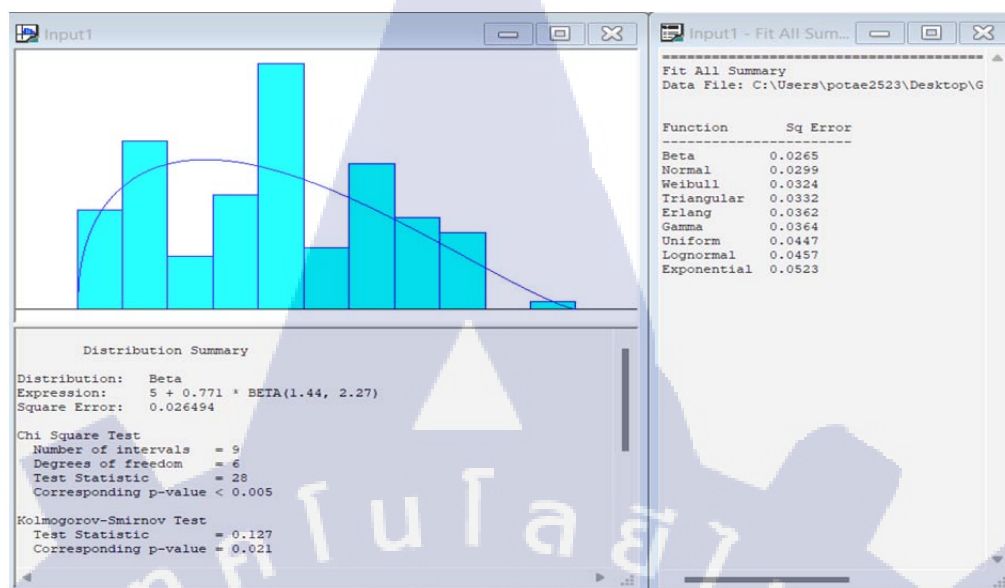
รูปที่ ค.6 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 1) จำนวน 144 ข้อมูล



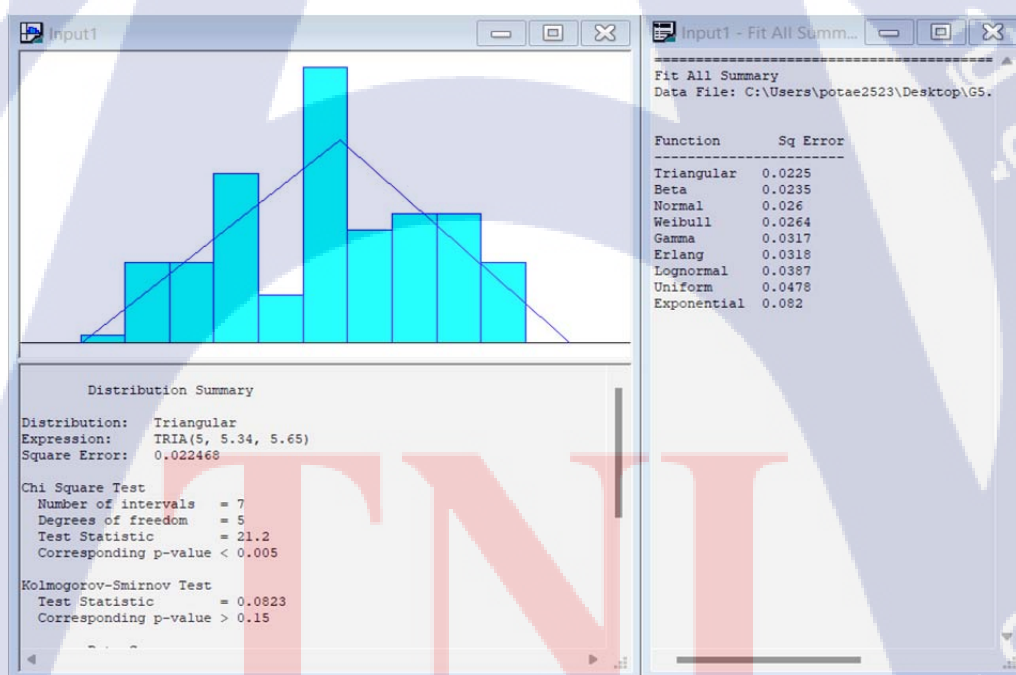
รูปที่ ค.7 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 2) จำนวน 143 ข้อมูล



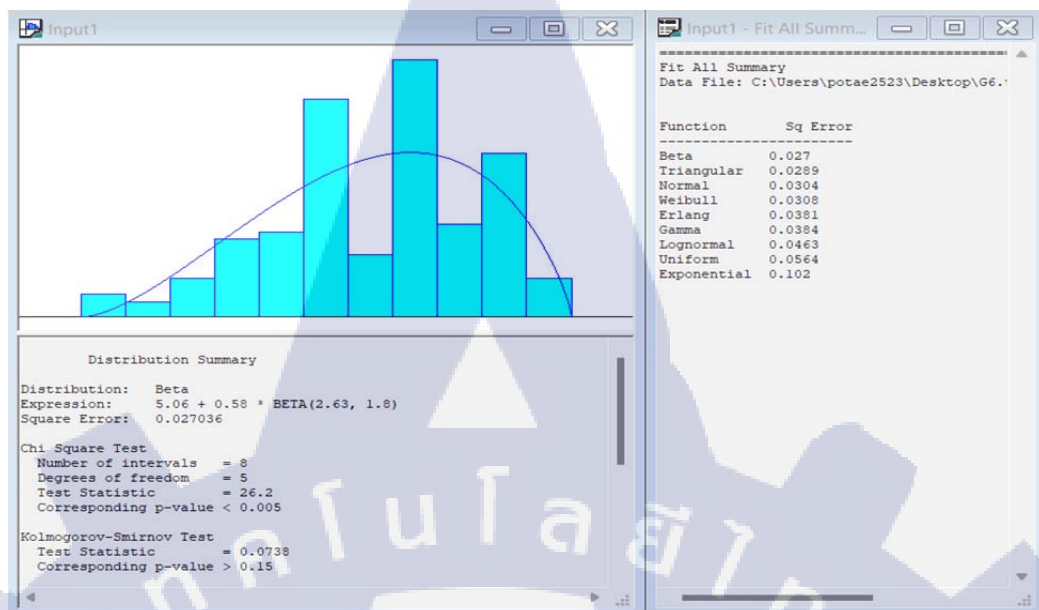
รูปที่ ค.8 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 3) จำนวน 144 ข้อมูล



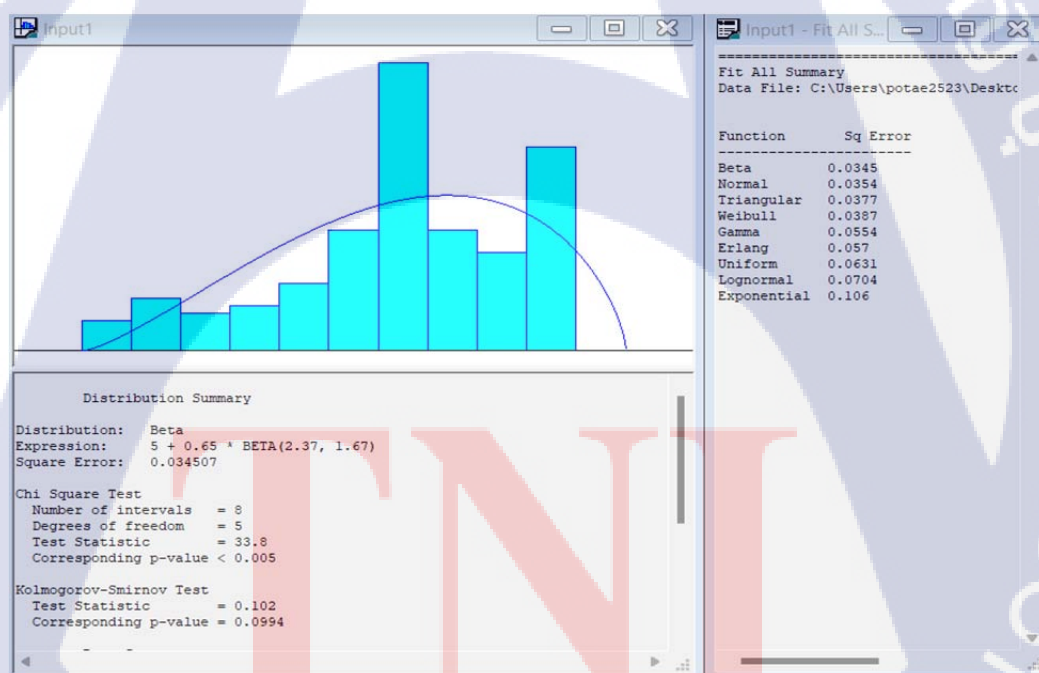
รูปที่ ค.9 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 4) จำนวน 139 ข้อมูล



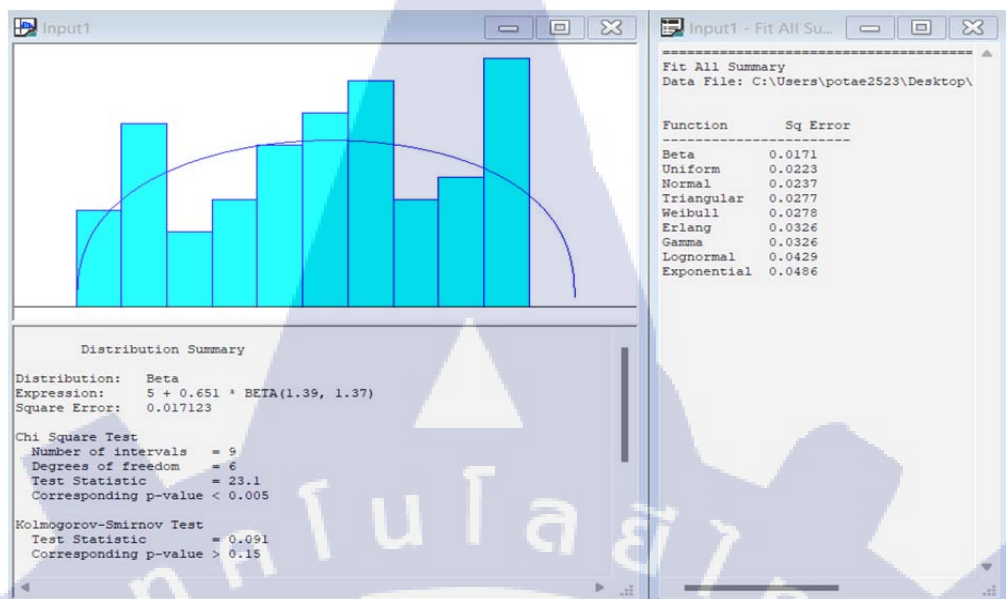
รูปที่ ค.10 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 5) จำนวน 138 ข้อมูล



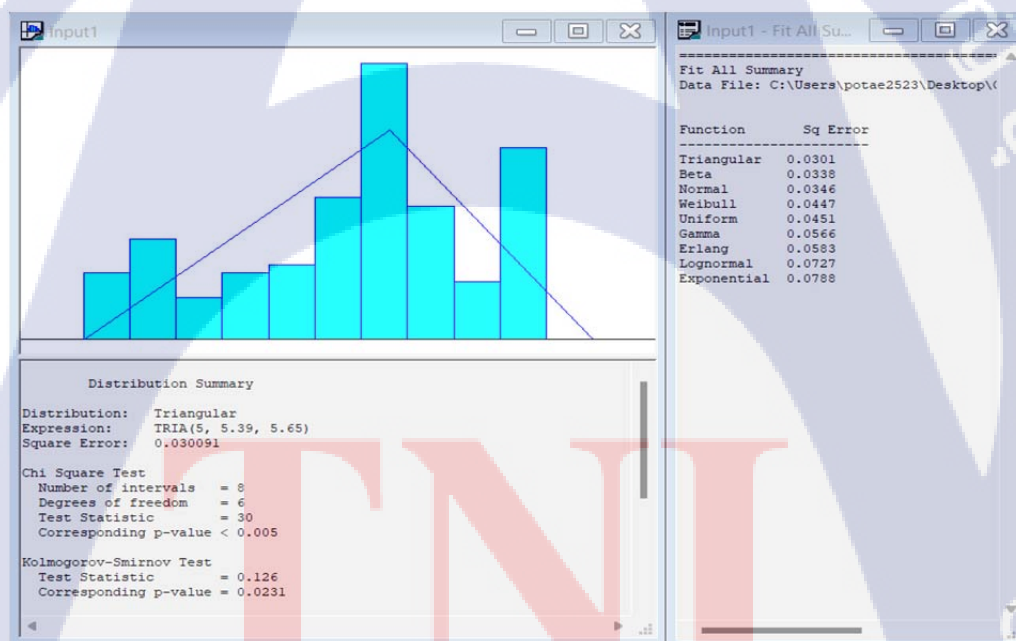
รูปที่ ค.11 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 6) จำนวน 138 ข้อมูล



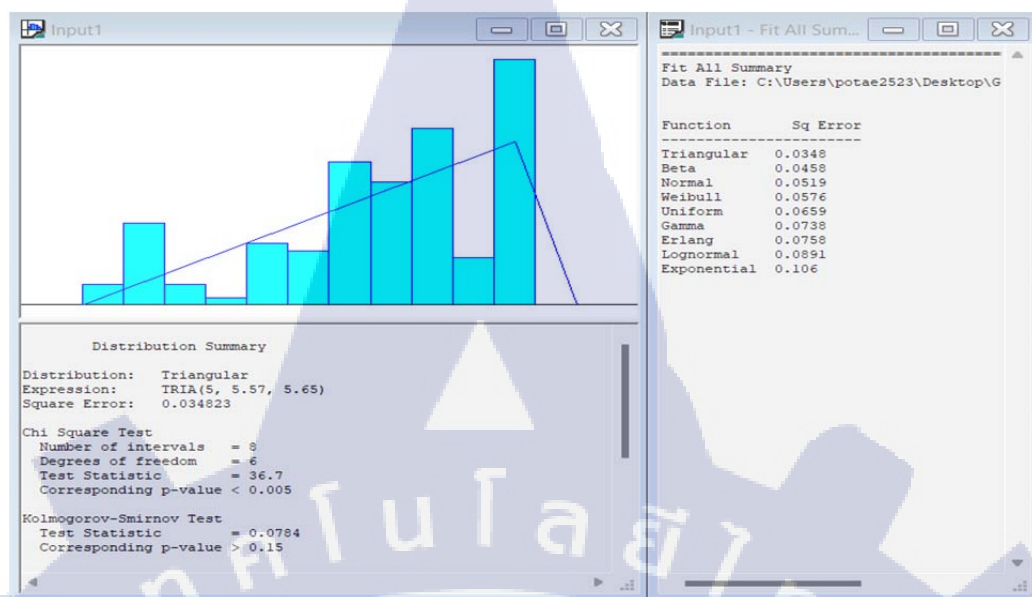
รูปที่ ค.12 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 7) จำนวน 141 ข้อมูล



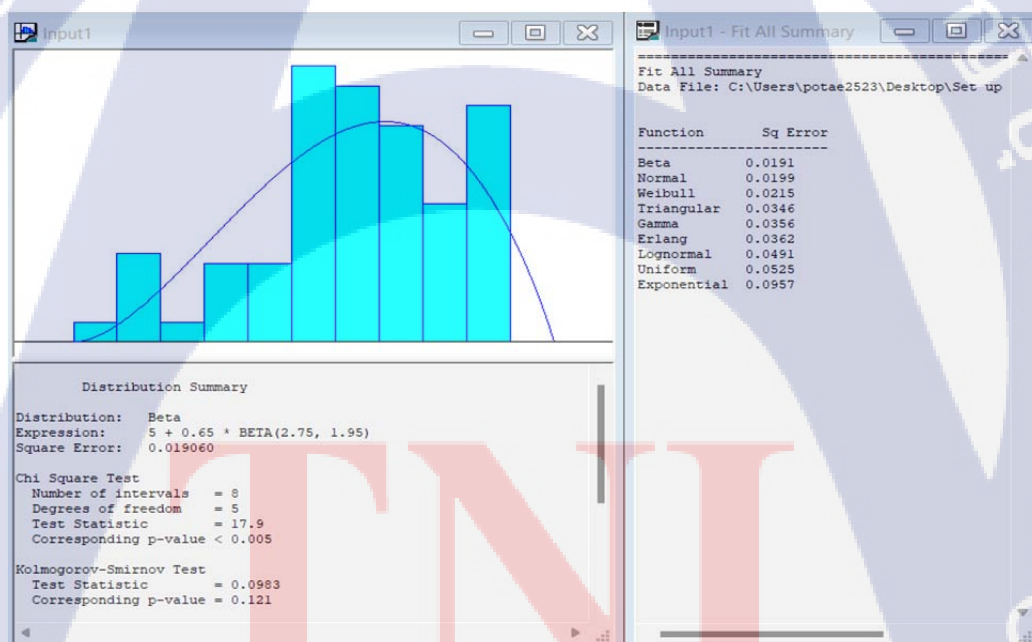
รูปที่ ค.13 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 8) จำนวน 142 ข้อมูล



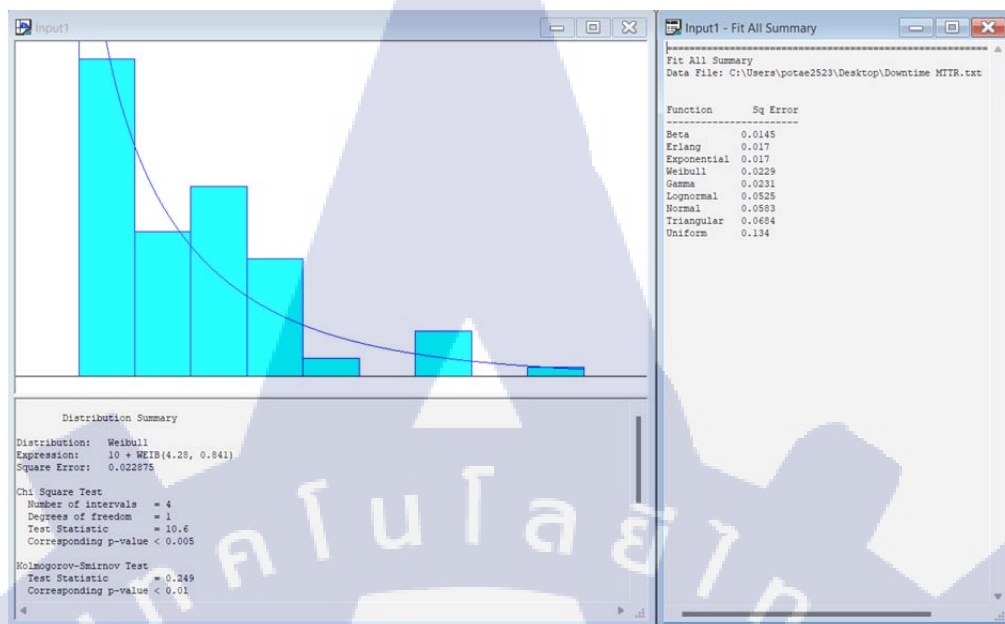
รูปที่ ค.14 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 9) จำนวน 138 ข้อมูล



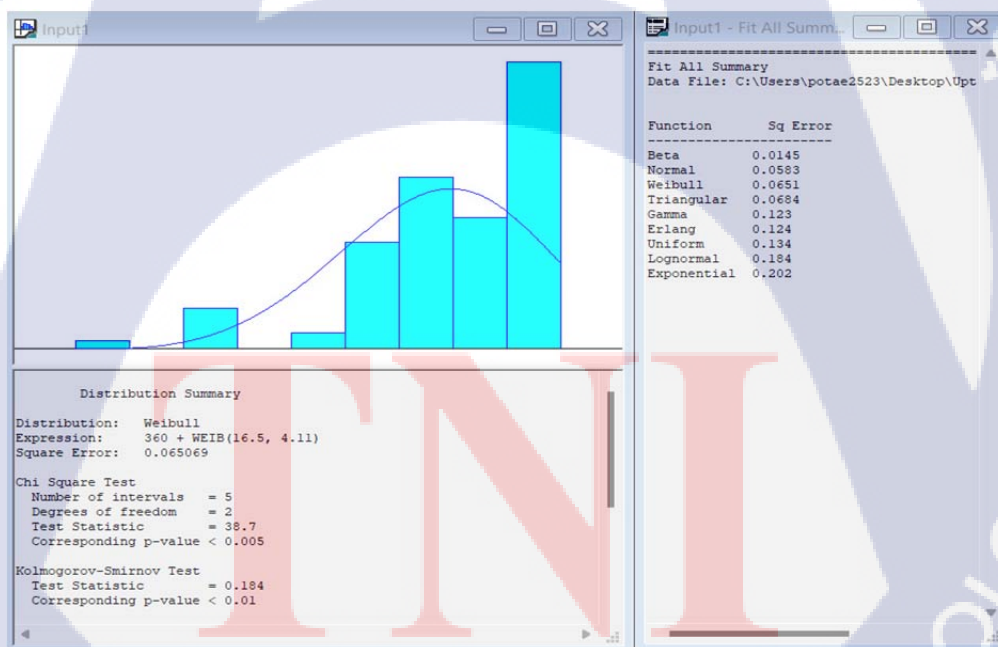
รูปที่ ค.15 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการบรรจุ Gallon (Man 10) จำนวน 144 ข้อมูล



รูปที่ ค.16 รูปแบบการแจกแจงกระบวนการ Setup Batch จำนวน 143 ข้อมูล



รูปที่ ค.17 รูปแบบการแจกแจงเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงแต่ละครั้ง (MTTR) > 10 นาที จำนวน 93 ข้อมูล



รูปที่ ค.18 รูปแบบการแจกแจงเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (MTBF) จำนวน 93 ข้อมูล

ภาคผนวก ง.
ผลลัพธ์จากแบบจำลอง

TNI

16:09:24

Category Overview

July 30, 2022

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 64 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
IBC to Gallons	4.4898	0.17	3.0795	6.6211	2.0009	23.5873
Lab Inspection	14.5928	0.18	13.5689	17.7368	10.5460	36.8040
Lot Coding	0.03300000	0.00	0.03300000	0.03300000	0.03300000	0.03300000
Mixing	8.3676	0.04	7.8145	8.6930	6.0218	10.7274
Packing by Robot	0.6784	0.03	0.4615	1.0475	0.2500	19.3375
Process Gallon Man 10	11.6030	0.69	7.7045	22.8583	5.0343	51.3835
Process Gallon Man 2	12.2000	1.03	7.5265	38.0602	5.0164	92.1302
Process Gallon Man 3	11.6218	0.61	7.9326	18.9764	5.0282	45.3311
Process Gallon Man 4	10.9735	0.65	7.2050	17.9025	5.0000	49.2976
Process Gallon Man 5	12.0632	0.67	7.0051	21.5592	5.0089	52.4368
Process Gallon Man 6	12.4714	0.95	7.5089	31.4838	5.1048	78.7287
Process Gallon Man 7	12.0877	0.93	7.8557	31.1088	5.0425	58.7133
Process Gallon Man 8	12.0304	0.73	7.5914	19.5614	5.0036	53.6168
Process Gallon Man 9	11.3488	0.65	7.3941	18.4914	5.0163	45.5549
Process Gallon Man1	11.3413	0.58	7.2802	18.0284	5.0032	41.6933
Setup batch	0.4701	0.02	0.2927	0.6458	0.03300000	5.3266

รูปที่ ง.1 รายงานเวลาทำงานต่อชิ้นงานของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน)

16:09:24

Category Overview

July 30, 2022

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 64

Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Access Convey Gallon1.Queue	0.00134420	0.00	0.00127052	0.00143800	0.00	0.00391766
Hold Lab checking.Queue	4.7884	0.17	3.3624	6.3574	0.00261519	17.0627
IBC to Gallons.Queue	2.2326	0.17	0.9128	4.3443	0.00	21.4931
Lab Inspection.Queue	0.7591	0.16	0.00	3.5016	0.00	21.0170
Lot Coding.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mixing.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Packing by Robot.Queue	0.4258	0.03	0.2115	0.7729	0.00	21.4016
Process Gallon Man 10.Queue	6.1791	0.68	2.3072	17.0766	0.00	45.7827
Process Gallon Man 2.Queue	6.8925	1.03	2.3079	32.8387	0.00	86.9337
Process Gallon Man 3.Queue	6.3190	0.61	2.6843	13.4933	0.00	39.7101
Process Gallon Man 4.Queue	5.6729	0.65	2.0787	12.6529	0.00	43.9715
Process Gallon Man 5.Queue	6.7145	0.67	1.8967	16.2523	0.00	47.0752
Process Gallon Man 6.Queue	7.0703	0.94	2.1813	25.7961	0.00	73.2427
Process Gallon Man 7.Queue	6.6816	0.91	2.5004	25.4109	0.00	53.1614
Process Gallon Man 8.Queue	6.7106	0.73	2.1465	14.2570	0.00	48.1219
Process Gallon Man 9.Queue	6.0121	0.65	2.1029	13.1348	0.00	39.9560
Process Gallon Man1.Queue	6.1817	0.57	2.3525	12.8072	0.00	37.7472
Setup batch.Queue	0.4319	0.02	0.2597	0.6009	0.00	5.2656

รูปที่ ๓.2 รายงานเวลารอคอยของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน)

Values Across All Replications

Unnamed Project

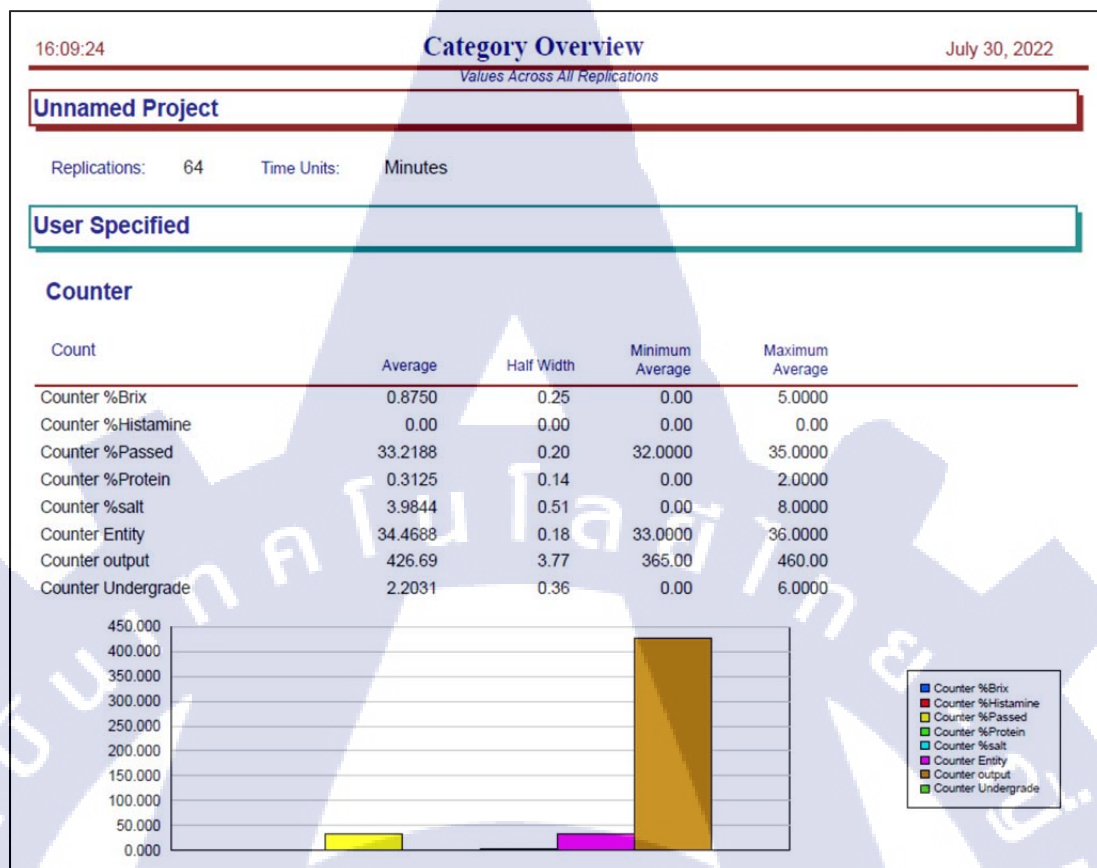
Replications: 64 Time Units: Minutes

Resource

Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource Gallon Man 1	0.6119	0.02	0.4255	0.8785
Resource Gallon Man 10	0.6281	0.02	0.3869	0.8040
Resource Gallon Man 2	0.6048	0.02	0.4152	0.8401
Resource Gallon Man 3	0.6168	0.02	0.4134	0.8123
Resource Gallon Man 4	0.6097	0.02	0.4364	0.8613
Resource Gallon Man 5	0.6261	0.02	0.4517	0.8508
Resource Gallon Man 6	0.6295	0.02	0.4515	0.9009
Resource Gallon Man 7	0.5998	0.02	0.4123	0.7846
Resource Gallon Man 8	0.6104	0.02	0.4394	0.8020
Resource Gallon Man 9	0.6033	0.02	0.4258	0.7797
Resource IBC to Gallons	0.1913	0.00	0.1759	0.2079
Resource Lab inspection1	0.6770	0.01	0.5871	0.7705
Resource Lab inspection2	0.6551	0.01	0.5637	0.7543
Resource Lot Coding	0.03746605	0.00	0.03494615	0.03951538
Resource Mixing Man1	0.2147	0.00	0.1850	0.2462
Resource Mixing Man2	0.2106	0.00	0.1790	0.2432
Resource Mixing Man3	0.2054	0.00	0.1725	0.2364
Resource Mixing Man4	0.2002	0.00	0.1640	0.2424
Resource Packing by Robot	0.2776	0.00	0.2590	0.2930
Resource Setup batch	0.03747680	0.00	0.03494615	0.03951538

รูปที่ ง.3 รายงานอัตราการใช้ประโยชน์ของแต่ละกระบวนการ (ปัจจุบัน)



รูปที่ ง.4 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (ปัจจุบัน)

13:42:59

Category Overview

August 1, 2022

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 64 Time Units: Minutes

Process

Time per Entity

Total Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
IBC to Gallon	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lab Inspection	13.9630	0.07	13.5628	15.0746	10.5313	22.1068
Mixing	8.5324	0.05	8.1955	9.1277	6.0758	18.0779
Packing by Robot	0.3647	0.00	0.3315	0.4083	0.1500	1.2030
Process Gallon Man 10	8.3335	0.43	5.6807	12.6102	3.5000	44.3320
Process Gallon Man 2	8.5662	0.59	5.8906	21.6282	3.5000	38.8066
Process Gallon Man 3	8.1708	0.31	6.1699	11.8107	3.5000	31.8054
Process Gallon Man 4	8.3044	0.55	5.6550	21.8153	3.5000	52.5743
Process Gallon Man 5	8.2184	0.46	5.7256	15.5732	3.5000	42.4791
Process Gallon Man 6	8.3184	0.40	6.2324	13.2704	3.5000	38.8527
Process Gallon Man 7	8.0340	0.38	5.6395	12.2597	3.5000	36.7361
Process Gallon Man 8	8.2913	0.45	5.1388	14.8754	3.5000	44.0565
Process Gallon Man 9	8.1635	0.33	5.9705	12.3376	3.5000	34.7507
Process Gallon Man1	8.1022	0.45	5.8367	15.0096	3.5000	47.4904
Setup batch and Lot Coding	0.08205702	0.00	0.07340376	0.0914	0.03300000	0.3300

รูปที่ ๓.5 รายงานเวลาทำงานต่อชิ้นงานของแต่ละกระบวนการ (หลังปรับปรุง)

13:42:59

Category Overview

August 1, 2022

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 64 Time Units: Minutes

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Access Convey Gallon 1.Queue	0.00128601	0.00	0.00117029	0.00141619	0.00	0.00391488
Hold Lab checking.Queue	4.8024	0.08	4.1335	5.5999	0.00322310	15.8643
IBC to Gallon.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lab Inspection.Queue	0.1343	0.04	0.00	0.6293	0.00	6.6306
Mixing.Queue	0.1504	0.03	0.00042899	0.6626	0.00	8.5089
Packing by Robot.Queue	0.2147	0.00	0.1815	0.2588	0.00	1.0530
Process Gallon Man 10.Queue	4.8474	0.43	2.1807	9.4856	0.00	40.8320
Process Gallon Man 2.Queue	5.0793	0.59	2.3601	18.1282	0.00	35.3066
Process Gallon Man 3.Queue	4.6802	0.31	2.6853	8.2748	0.00	28.3054
Process Gallon Man 4.Queue	4.8135	0.55	2.1782	18.1450	0.00	49.0743
Process Gallon Man 5.Queue	4.7255	0.46	2.2529	12.0732	0.00	38.9791
Process Gallon Man 6.Queue	4.8341	0.40	2.7324	9.9606	0.00	35.3527
Process Gallon Man 7.Queue	4.5360	0.38	2.1395	8.7493	0.00	33.2361
Process Gallon Man 8.Queue	4.7983	0.45	1.6723	11.3754	0.00	40.5565
Process Gallon Man 9.Queue	4.6880	0.33	2.4705	8.8376	0.00	31.2507
Process Gallon Man1.Queue	4.6015	0.44	2.4107	11.3561	0.00	43.9904
Setup batch and Lot Coding.Queue	0.04906166	0.00	0.04040376	0.05836284	0.00	0.2970

รูปที่ ๖.6 รายงานอัตราการใช้ประโยชน์ของแต่ละกระบวนการ (หลังปรับปรุง)

13:42:59

Category Overview

August 1, 2022

Values Across All Replications

Unnamed Project

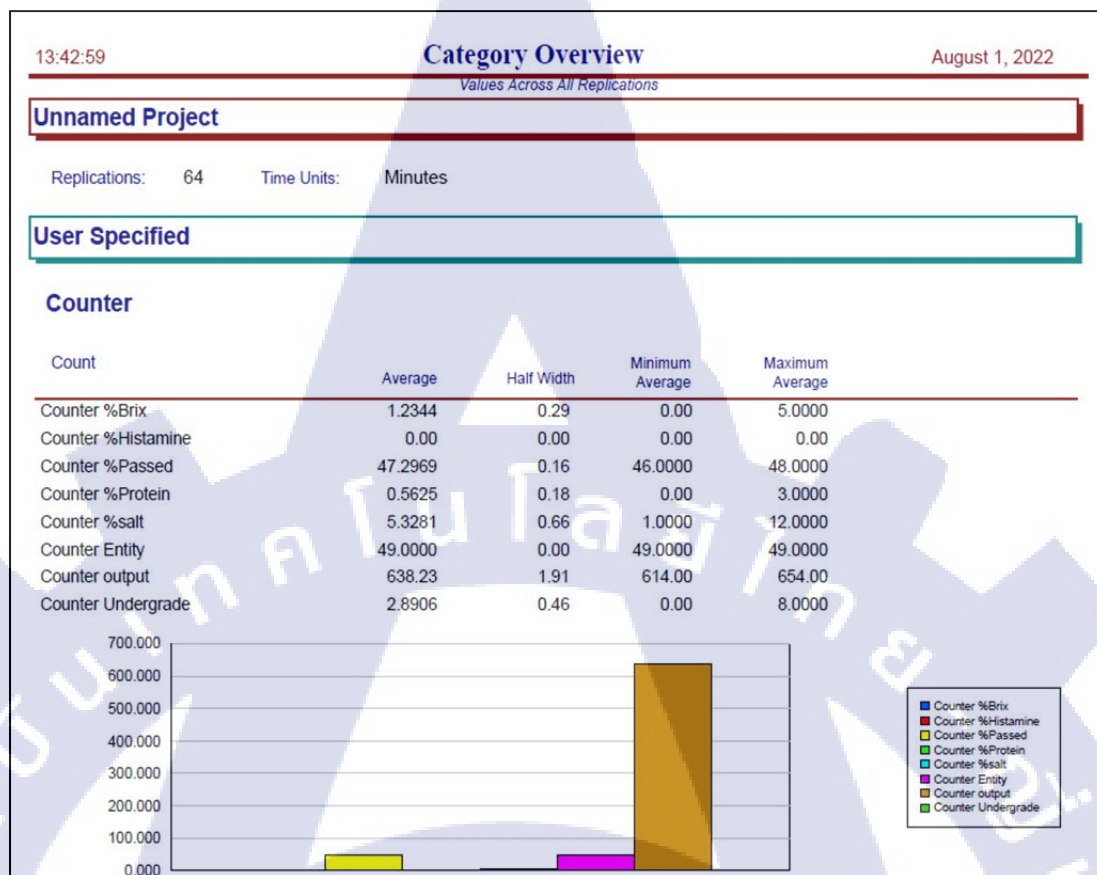
Replications: 64 Time Units: Minutes

Resource

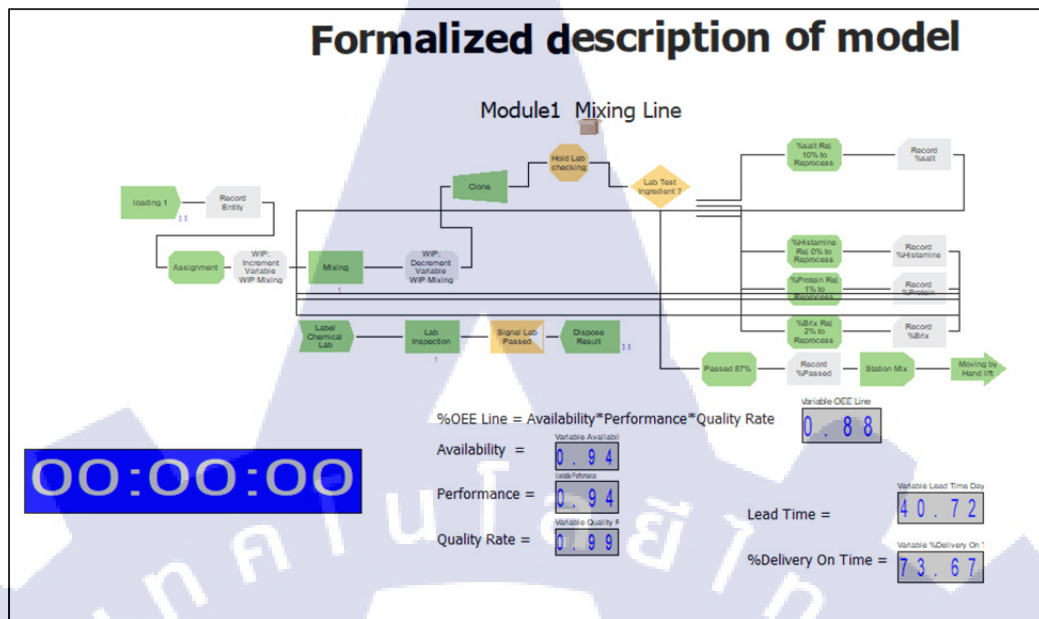
Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Resource Gallon Man 1	0.5660	0.02	0.4182	0.7090
Resource Gallon Man 10	0.5776	0.02	0.4397	0.7412
Resource Gallon Man 2	0.5838	0.02	0.4392	0.7538
Resource Gallon Man 3	0.5875	0.02	0.4308	0.7125
Resource Gallon Man 4	0.5847	0.02	0.4197	0.7859
Resource Gallon Man 5	0.5823	0.02	0.4486	0.8082
Resource Gallon Man 6	0.5805	0.02	0.4038	0.7272
Resource Gallon Man 7	0.5856	0.02	0.4038	0.7718
Resource Gallon Man 8	0.5720	0.02	0.3949	0.7763
Resource Gallon Man 9	0.5783	0.02	0.4501	0.7342
Resource IBC to Gallon	0.00	0.00	0.00	0.00
Resource Lot Coding	0.00	0.00	0.00	0.00
Resource Mixing Man1	0.6029	0.01	0.5399	0.6825
Resource Mixing Man2	0.5940	0.01	0.5138	0.6834
Resource Packing by Robot	0.2459	0.00	0.2362	0.2519
Resource QC inspection1	0.6499	0.01	0.5722	0.7438
Resource QC inspection2	0.6403	0.01	0.5494	0.7319
Resource QC inspection3	0.6293	0.01	0.5580	0.7450
Resource Setup batch and Lot Coding	0.05417624	0.00	0.05195385	0.05542308

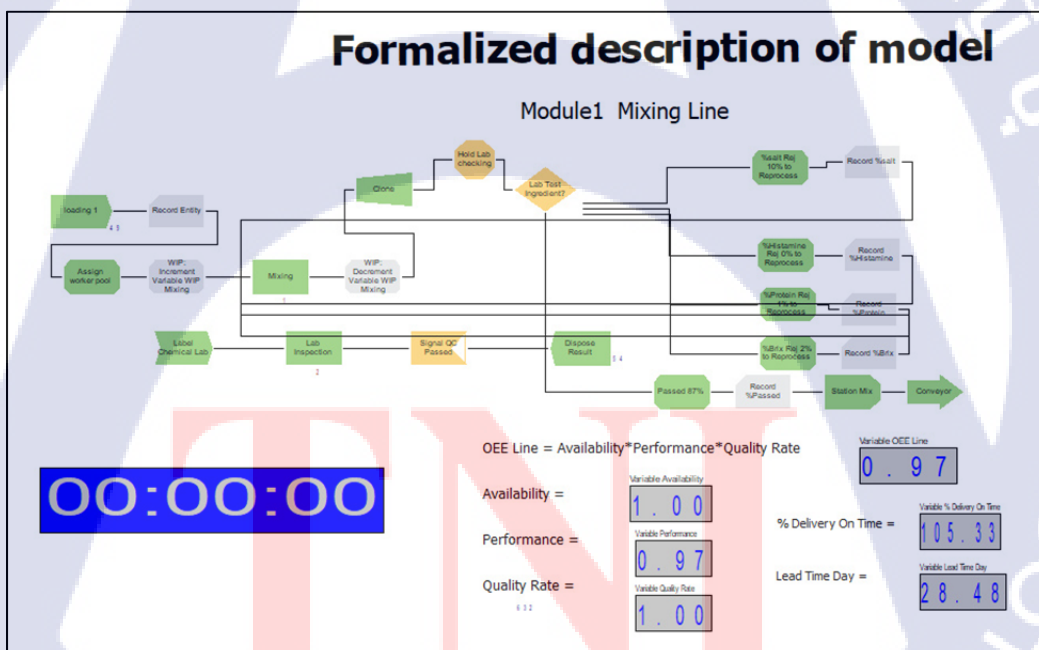
รูปที่ ง.7 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (หลังปรับปรุง)



รูปที่ ๖.8 รายงานผลผลิตของแบบจำลอง (หลังปรับปรุง)



รูปที่ ง.9 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (ปัจจุบัน)



รูปที่ ง.10 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์ (หลังปรับปรุง)