



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมในระบบสายพานการผลิตด้วยแบบจำลอง
สถานการณ์

Determining the Optimal Kanban Cards in Conveyor Production Processes by Using
Simulation Models

นามผู้วิจัย นางสาวศิริประภา ดีประดิษฐ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งรัตน์ ภิรัชเพ็ญ, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑา พิชิตลำเค็ญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสม
ในระบบสายพานการผลิตด้วยแบบจำลองสถานการณ์

Determining the Optimal Kanban Cards in Conveyor Production Processes
by Using Simulation Models

โดย

นางสาวศิริประภา ดีประดิษฐ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

พ.ศ. 2553

ศิริประภา ดีประดิษฐ์ 2553: การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมในระบบสายพานการผลิตด้วยแบบจำลองสถานการณ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ, D.Eng. 123 หน้า

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์เบื้องต้นสำหรับโรงงานที่ใช้สายพานในอุตสาหกรรมการผลิต โดยผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้บัตรคัมบังในระบบสายพานการผลิตในโรงงานบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง ที่ประกอบด้วย 2 ผลิตภัณฑ์ ที่ใช้สถานีงานร่วมกัน 6 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีงานใช้ระบบสายพานในการลำเลียง โรงงานประสบปัญหาการผลิตคือ ปริมาณชิ้นงานระหว่างการผลิตมากเกินไปเกินความต้องการ ดังนั้น โรงงานแห่งนี้จึงต้องการหาระบบการผลิตเพื่อลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต โดยการใช้ระบบคัมบังเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการ โดยจะผลิตชิ้นงานเมื่อมีความต้องการจากลูกค้าเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองระบบการผลิตของโรงงาน และทำการเปรียบเทียบแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างกับแบบจำลองระบบการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีการใช้บัตรคัมบัง โดยมีดัชนีชี้วัดผลการดำเนินงาน คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างการผลิต และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิต นอกจากนี้งานวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมภายใต้ระบบที่มีความไม่แน่นอน โดยใช้สูตรของบริษัทโตโยต้าเป็นค่าเริ่มต้นในการหาจำนวนบัตรคัมบัง จากนั้นใช้ OptQuest เพื่อปรับเปลี่ยนจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด ผลจากการศึกษาพบว่าระบบการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีการใช้บัตรคัมบังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตให้ดีขึ้น เนื่องจากสามารถลดค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ลงได้ 64.40% และ 63.39% ตามลำดับ สามารถลดค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ลงได้ 43.02% และ 34.92% ตามลำดับ

ลายมือชื่อผู้คิด

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Siraphapha Deepradit 2010: Determining the Optimal Kanban Cards in Conveyor Production Processes by Using Simulation Models. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Roongrat Pisuchpen, D.Eng. 123 pages.

This research studies simulation modeling for conveyor production process of a factory. Researcher shows application of kanban card in conveyor production process. This production system of a factory has 2 products and consists of 6 workstations. Each workstation uses conveyors to convey parts. The factory faces problems, such as delay in production and large work-in-process. Therefore, it would like to find the appropriate production system that use kanban system to manage part when demand arrival. This paper presents a simulation modeling by using Arena. Moreover, the performance between the tradition and pull kanban production systems is studied and compared. Two performance measures are the average work-in-process and the average cycle time. In addition, this research applies optimization technique by using the OptQuest for Arena under uncertainty system in accordance with current situation. This model can be applied to a factory that has a similar production system and also be used as a decision-making tool. The result shows that the pull kanban production system increases efficiency of production system because average work-in-process of product A decreases by 64.40%, average work-in-process of product B decreases by 63.39%, average cycle time of product A decreases by 43.02% and average cycle time of product B decreases by 34.92%.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.รุ่งรัตน์ กิตซ์เพ็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.จุฑา พิชิตคำเคี้ยว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้กำลังใจ แนะนำแนวทางต่างๆ วางแผนเรื่องการเรียนรู้ รวมทั้งให้โอกาสได้ทำงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณพี่สุมพร สำหรับความช่วยเหลือในด้านข้อมูลเกี่ยวกับโรงงานแห่งนี้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ชนะ รัชศิริ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมอันจะนำมาซึ่งความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดาและเพื่อนๆ ของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี และขอบคุณทุกท่านที่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนในการช่วยเหลือให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี

ศิริประภา ดีประดิษฐ์

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	55
ผล	55
วิจารณ์	67
สรุปและข้อเสนอแนะ	68
สรุป	68
ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก รายละเอียดของแบบจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม Arena	74
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าโดยใช้ Input Analyzer	85
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป	108
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลลัพธ์จากแบบจำลองและดัชนีชี้วัดสำหรับการเปรียบเทียบ 2 แบบจำลอง	18
2	สรุปการแจกแจงของอัตราการเข้าของวัตถุดิบ (หน่วยต่อวัน)	25
3	สรุปการแจกแจงของอัตราการเข้าของออร์เดอร์ (นาฬิกาต่อหน่วย)	25
4	สรุปการแจกแจงเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ A (นาฬิกา)	25
5	สรุปการแจกแจงเวลาการขนย้ายระหว่างสถานีงานของผลิตภัณฑ์ A (นาฬิกา)	26
6	สรุปการแจกแจงเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ B (นาฬิกา)	26
7	สรุปการแจกแจงเวลาการขนย้ายระหว่างสถานีงานของผลิตภัณฑ์ B (นาฬิกา)	26
8	ข้อมูลสายพานลำเลียงที่ใช้ในระบบการผลิต	27
9	สรุปข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B จากระบบการผลิตจริง จำนวน 12 รอบ	32
10	สรุปข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B จากแบบจำลองระบบการผลิตจำนวน 12 รอบทำซ้ำ	33
11	การเปรียบเทียบความแตกต่างของรอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยระบบการผลิตจริงและแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ A จำนวน 12 รอบทำซ้ำ	34
12	การเปรียบเทียบความแตกต่างของรอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยระบบการผลิตจริงและแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ B จำนวน 12 รอบทำซ้ำ	35
13	จำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแต่ละสถานีของผลิตภัณฑ์ A	38
14	จำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแต่ละสถานีของผลิตภัณฑ์ B	39
15	การกำหนดสมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดจาก OptQuest บน โปรแกรม Arena	43
16	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 2	44
17	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 4	45
18	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 6	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 8	47
20	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 10	48
21	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 12	49
22	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 14	50
23	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 16	51
24	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 18	52
25	การกำหนดจำนวนคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 20	53
26	สรุปจำนวนบัตรคัมบังของผลิตภัณฑ์ A (OptQuest)	57
27	สรุปจำนวนบัตรคัมบังของผลิตภัณฑ์ B (OptQuest)	57
28	ค่าเฉลี่ยดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของระบบการผลิต	58
29	ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงาน (ระบบที่ 1)	59
30	ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตของ โรงงาน (ระบบที่ 1)	60
31	ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองที่ใช้จำนวนบัตรคัมบังจากการใช้ OptQuest (ระบบที่ 2)	61
32	ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองที่ใช้จำนวนบัตรคัมบังจากการใช้ OptQuest (ระบบที่ 2)	62
33	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ A)	63
34	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ B)	64
35	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ A)	65
36	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ B)	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบการไหลของระบบควบคุมแบบคั้ง	7
2	ระบบการผลิตแบบคั้งที่มีการใช้บัตรคั้ง	10
3	ชนิดของคั้ง	11
4	ขั้นตอนการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิต	28
5	แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคั้งส่งผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานี	39
6	แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคั้งส่งขนย้ายที่ใช้ในแต่ละสถานี	39
7	ส่วนป้จย้นำเข้า	40
8	ส่วนป้จยนำออก	41
9	ส่วนป้จยนำออก (ผลจากโปรแกรม Arena)	41
10	ลำดับการป้อนข้อมูลป้จยนำเข้า	42
11	ผลสรุปสมการวัตถุประสงค์จากการใช้ OptQuest (ช่วงคั้ง ± 16)	55
12	ผลสรุปตัวแปรควบคุมจากการใช้ OptQuest (ช่วงคั้ง ± 16)	55
13	ผลสรุปตัวแปรตอบสนองจากการใช้ OptQuest (ช่วงคั้ง ± 16)	56
14	ผลสรุปสมการข้อจำกัดจากการใช้ OptQuest (ช่วงคั้ง ± 16)	56
15	กราฟผลสรุปสมการวัตถุประสงค์และรอบประมวลผลจาก OptQuest	56
16	แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคั้งส่งผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานี (OptQuest)	57
17	แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคั้งส่งขนย้ายที่ใช้ในแต่ละสถานี (OptQuest)	58

ภาพผนวกที่

ก1	ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Supplier)	75
ก2	ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Station)	77
ก3	ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Customer)	79

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก4	ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้ บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena (ส่วน Supplier)	80
ก5	ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้ บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena (ส่วน Station)	81
ก6	ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้ บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena (ส่วน Customer)	83
ข1	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของวัตถุดิบ A	86
ข2	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของวัตถุดิบ B	87
ข3	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของออร์เคอร์ A	88
ข4	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของออร์เคอร์ B	89
ข5	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ A	90
ข6	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ A	91
ข7	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ A	92
ข8	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตของกระบวนการผลิต 1, 2, 3	93
ข9	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ A	94
ข10	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ A	95
ข11	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ B	96
ข12	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ B	97
ข13	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ B	98
ข14	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตของกระบวนการผลิต 4, 5, 6	99
ข15	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ B	100
ข16	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ B	101
ข17	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 1 และสถานีที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ A และ B	102
ข18	การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ A	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข19 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ B	104
ข20 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 3 และสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ A และ B	105
ข21 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 4 และสถานีที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ A และ B	106
ข22 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 5 และสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ A และ B	107
ค1 หน้าต่าง Main Menu	109
ค2 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อคำนวณคัมบัง	110
ค3 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูล	110
ค4 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้ไม่ได้กรอกข้อมูล	111
ค5 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลเป็นตัวอักษร	111
ค6 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลติดลบ	111
ค7 หน้าต่างแสดงผลเมื่อรันด้วย Arena	112

การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมในระบบสายพานการผลิต
ด้วยแบบจำลองสถานการณ์

**Determining the Optimal Kanban Cards in Conveyor Production Processes
by Using Simulation Models**

คำนำ

เทคโนโลยีการผลิตได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในปัจจุบันมีการแข่งขันเกิดขึ้นสูง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีเข้ามาจัดการระบบการผลิตให้มีความสมดุลและมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อน โดยการตัดสินใจเลือกว่าจะใช้ระบบการผลิตประเภทใด จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิตและเวลาที่ใช้ในการผลิต ซึ่งระบบการผลิตที่ใช้อยู่ ถึงแม้ว่าความสามารถในการผลิตจะเพิ่มมากขึ้น แต่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาในหลายด้าน ความต้องการให้มีผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดและคุณลักษณะที่หลากหลายของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตต้องผลิตสินค้าเป็นชุดเล็กลง ขณะที่ยังคงต้องรักษาแผนการส่งมอบในระยะเวลาอันสั้นและคุณภาพในระดับสูงเอาไว้ด้วย ผู้ผลิตคงไม่สามารถอยู่ได้ ถ้าไม่มีความสามารถในการจัดการการผลิตให้มีความหลากหลายในขณะที่ต้องพยายามรักษาต้นทุนให้ต่ำไว้ด้วยนั้น ทำให้จำเป็นต้องนำระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) เข้ามาใช้

ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีให้ความสำคัญกับเรื่องการผลิตที่ทันกับความต้องการไม่ว่าจะเป็นความต้องการของลูกค้าหรือความต้องการของกระบวนการขั้นตอนถัดไป โดยผลิตชิ้นส่วนที่จำเป็นที่เข้ามาถึงกระบวนการผลิตในเวลาที่เหมาะสมและด้วยจำนวนที่จำเป็น โดยใช้ความต้องการของลูกค้าเป็นเครื่องกำหนดปริมาณการผลิตและการใช้วัตถุดิบ ซึ่งลูกค้าในที่นี้รวมถึงบุคลากรในหน่วยงานอื่นที่ต้องการงานระหว่างทำหรือวัตถุดิบเพื่อทำการผลิตต่อเนื่องด้วย ซึ่งการผลิตแบบทันเวลาพอดีมีการใช้บัตรคัมบัง (Kanban Card) เป็นสัญญาณในการแสดงความต้องการให้ส่งชิ้นส่วนเพิ่ม หรือผลิตชิ้นส่วนเพิ่ม เพื่อเป็นกชประสานงานให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถ้าทำได้ตามแนวคิดนี้แล้ววัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็นในรูปของวัตถุดิบ งานระหว่างทำและสินค้าสำเร็จรูปจะถูกขจัดออกไปอย่างสิ้นเชิง ซึ่งในปัจจุบันระบบการผลิตนี้ได้รับความสนใจดังจะเห็นได้จากงานวิจัยต่างๆ เช่น Chan (2001) ได้ใช้การจำลองสถานการณ์ในการศึกษา

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงขนาดคัมบังในระบบการผลิต Shahabudeen *et al.* (2002) ทำการศึกษาในระบบคัมบังภายใต้ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้จำนวนคัมบังและขนาดของรุ่นสินค้าเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ แต่ไม่ว่าจะใช้ระบบการผลิตแบบใดก็ตามเรื่องที่สำคัญที่ช่วยในการเพิ่มผลผลิตก็คือการสร้างสมดุลของสายการผลิต ซึ่งควรมีการพิจารณาให้มีการใช้ชิ้นส่วนร่วมกันมากที่สุด เพื่อลดต้นทุนการผลิตและสามารถตอบสนองกับความต้องการของลูกค้าได้

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตข้าวโพดอ่อนบรรจุขวดแก้ว เป็นกรณีศึกษา โรงงานตัวอย่างนี้เป็นระบบการผลิตแบบผลึก โรงงานประกอบด้วยสถานีนงานหลัก 6 สถานีนงาน ซึ่งแต่ละสถานีนงานจะใช้สายพานลำเลียงทำงานร่วมกับคนงานและเครื่องจักรและจะทำงานต่อเนื่องกันไปตลอด โรงงานตัวอย่างนี้ประสบปัญหาในการวางแผนการผลิต เนื่องจากปริมาณวัตถุดิบที่รับเข้ามาไม่สัมพันธ์กับปริมาณออร์เดอร์ของลูกค้า และเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมอาหารวัตถุดิบสามารถเน่าเสียได้ ซึ่งมีวัตถุดิบที่เน่าเสียมากถึง 22% ของวัตถุดิบทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องเพิ่มกำลังการผลิต ทำให้ในแต่ละวันต้องเสียพื้นที่ในการจัดเก็บปริมาณมาก และสายการผลิตนี้จะหยุดทำงานเมื่อสถานีนงานใดๆ ในสายการผลิตขัดข้อง ทำให้มีปริมาณชิ้นงานที่รอการผลิตที่ไม่แน่นอนในแต่ละสถานีนงาน เป็นสาเหตุให้ในบางช่วงเวลาสายการผลิตมีปริมาณชิ้นงานที่มากเกินไปเกินความต้องการ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความสูญเสียต่างๆ คือ ปริมาณงานระหว่างผลิตที่มากเกินไปจนจำเป็นต้องมีปริมาณงานระหว่างผลิตของ A คิดเป็น 47.40% ของผลิตภัณฑ์สำเร็จ และปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของ B คิดเป็น 23.70% ของผลิตภัณฑ์สำเร็จ ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวางแผนการผลิตที่มากเกินไปจนเกินไป ส่งผลให้ระยะเวลาการรอคอยและรอบระยะเวลาการผลิตของชิ้นงานมาก โรงงานได้ให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีความสนใจในแนวคิดเรื่องระบบการผลิตแบบทันเวลา โดยต้องการนำระบบควบคุมการผลิตแบบคิงที่มีการใช้บัตรคัมบังมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว และโรงงานต้องการให้ระบบที่นำเสนอใหม่นี้สามารถลดรอบระยะเวลาการผลิตลงอย่างน้อย 10% ลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตลงอย่างน้อย 15% และยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลาแต่หากต้องมีการปรับปรุงระบบการผลิตในระบบการผลิตของอุตสาหกรรมที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่องอาจทำให้การผลิตต้องหยุดชะงักลง ไม่สามารถผลิตได้ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนในการปรับปรุงระบบสูง ผู้วิจัยจึงได้มีการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบการผลิตโดยใช้การจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และนำเสนอระบบใหม่ซึ่งเป็นระบบควบคุมการผลิตแบบคิงที่มีการใช้บัตรคัมบัง โดยมีการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจ ในการเลือกระบบการผลิตที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้จริง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลของโรงงานมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์ และทำการวิจัยว่าถ้ามีการเปลี่ยนระบบการผลิตของโรงงาน โดยมีการใช้บัตรคัมบังส่งสัญญาณการผลิต (Production Kanban) และบัตรคัมบังส่งสัญญาณการขนส่ง (Conveyance Kanban) ระบบการผลิตของโรงงานจะสมดุลและมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นหรือไม่ ซึ่งระบบที่นำเสนอใหม่นี้คือ ระบบที่ควบคุมการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบัง โดยมีดัชนีชี้วัดผลการดำเนินงาน คือค่าเฉลี่ยปริมาณงานระหว่างผลิต (Average Work-In-Process) และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิต (Average Cycle Time) นอกจากนี้งานวิจัยได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมภายใต้ระบบที่มีความไม่แน่นอน โดยใช้สูตรของบริษัทโตโยต้าเป็นค่าเริ่มต้นในการหาจำนวนบัตรคัมบัง จากนั้นใช้ OptQuest เพื่อปรับเปลี่ยนจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสม ให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตอาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น หากไม่ทำให้เกิดระบบการผลิตที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้ในการจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ

วัตถุประสงค์

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาดังนี้ คือ

1. เพื่อศึกษา เปรียบเทียบและเสนอแนะระบบการผลิตปัจจุบัน และระบบการผลิตใหม่ที่เป็นระบบการผลิตแบบดิ่งที่มีการใช้บัตรคัมบัง
2. เพื่อกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์
3. เพื่อสร้างกลยุทธ์ในการเปลี่ยนมาใช้ระบบคัมบังในการควบคุมการผลิต

ขอบเขตของงานวิจัย

1. การวิจัยนี้ใช้โรงงานอุตสาหกรรมผลิตข้าวโพดอ่อนบรรจุขวดแก้วเป็นกรณีศึกษา
2. การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะส่วนกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง
3. การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งหมายถึงข้าวโพดอ่อนขนาดกลาง (ผลิตภัณฑ์ A) และข้าวโพดอ่อนขนาดเล็ก (ผลิตภัณฑ์ B)
4. ข้อมูลการผลิตที่ได้มาจากข้อมูลการผลิตจริงในเดือนมีนาคม พศ. 2552
5. กำหนดให้พนักงาน เครื่องจักร และสายพานลำเลียงทำงานติดต่อกัน 10 ชั่วโมง
6. เริ่มการผลิตทันทีเมื่อมีงานเข้ามา
7. การทำงานของพนักงานถือว่าไม่มีความผิดพลาดจึงเป็นการทำงานที่ไม่มีการย้อนกลับ
ไปทำงานใหม่

8. งานแต่ละงานพร้อมเข้าสู่สายพานลำเลียงที่เวลาศูนย์
9. ไม่คิดเวลาในการเสียบของเครื่องจักร (Break Down)
10. วัตถุดิบน้ำหนัก 25 กิโลกรัม เท่ากับ วัตถุดิบ 1 หน่วย ในแบบจำลองสถานการณ์
11. โรงงานตัวอย่างสามารถควบคุมปริมาณการจัดส่งวัตถุดิบได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวิธีการและเครื่องมือในการปรับปรุงระบบการผลิตของโรงงาน
2. พัฒนากิจการคำนวณหาจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมโดยใช้การจำลองสถานการณ์ ซึ่งพิจารณาจากระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณลงไป และทันต่ออัตราการเข้ามาของชิ้นงาน
3. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบการควบคุมแบบผลัดในโรงงานตัวอย่าง หรือระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบัง
4. ทราบถึงความเป็นไปได้และเงื่อนไขในการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้คัมบังเข้ากับระบบการผลิตจริงของโรงงานตัวอย่าง

การตรวจเอกสาร

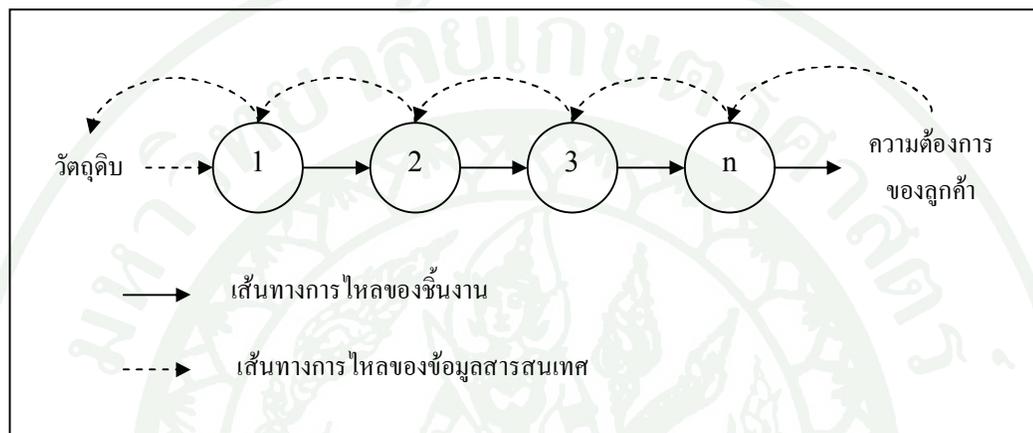
การดำเนินงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมในระบบสายพานการผลิตด้วยแบบจำลองสถานการณ์ ได้อาศัยข้อมูลและทฤษฎีต่อไปนี้เป็นพื้นฐานในการดำเนินงานวิจัย

1. ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี
2. ระบบคัมบัง
3. การจำลองสถานการณ์
4. การเปรียบเทียบดัชนีชี้วัด
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี

วิทยา (2549) กล่าวว่า การผลิตแบบทันเวลาพอดี หรือนิยมเรียกว่า “JIT” เป็นเทคนิคที่เริ่มใช้ในบริษัทชั้นนำของญี่ปุ่น โดยมีแนวคิดว่าการทำงานต้องทันเวลาพอดี ได้แก่ ผลิตและส่งสินค้าให้ทันขายพอดี ส่งชิ้นส่วนการผลิตหรือ โครงรูปการผลิตให้ทันกับความต้องการของสายการผลิตแต่ละสายพอดีหรือส่งวัตถุดิบให้ทันกับการผลิตชิ้นส่วนพอดี แนวคิดเรื่องการผลิตแบบทันเวลาพอดีจึงเป็นทั้งกลยุทธ์และเป็นปรัชญาที่เป็นแนวทางในการแสวงหาความเป็นเลิศในการผลิต แนวคิดในการผลิตแบบทันเวลาพอดีจะใช้การไหลของวัสดุแบบดึงเพื่อต้องการให้วัตถุดิบหรือชิ้นส่วนการผลิตมาถึงวันสุดท้ายหรือชั่วโมงสุดท้ายก่อนที่จะนำไปผลิตเพราะต้องการกำจัดสินค้าคงคลังหรือลดปริมาณสินค้าคงคลังให้เหลือน้อยที่สุด โดยพยายามตัดสิ่งที่เป็นสาเหตุของภาระเก็บสินค้าคงคลังออกไป ซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนในระบบการผลิตและความไม่พอดีกันในการผลิตของแต่ละส่วน กับสาเหตุอื่นๆ เช่น การส่งวัตถุดิบไม่แน่นอน เครื่องจักรเสียพนักงานขาดความสามารถ สายการผลิตหยุดชะงักเพราะเกิดปัญหาคุณภาพหรือผลผลิตได้ในปริมาณที่ไม่พอหรือเกิดปัญหาจากลูกค้าภายนอกและการวางแผนการผลิตไม่ดี เมื่อตัดปัญหาเหล่านี้ไปได้และทุกอย่างทำงานลงตัว จึงเกิดแนวความคิดเรื่องการผลิตแบบทันเวลาพอดีขึ้น

การวางแผนการผลิตแต่ละขั้นตอน จะเกิดจากอุปสงค์ในลำดับขั้นต่อไปของระบบ เช่น ในสายการผลิตซึ่งต้องเจาะชิ้นงาน แล้วส่งไปตัด แผนกเจาะจะทำการเจาะชิ้นงานให้พอกับความต้องการของแผนกตัดเท่านั้น นั่นคืออุปทานจะเกิดขึ้นเมื่อมีอุปสงค์มาดึงแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบการไหลของระบบควบคุมแบบดึง

ในระบบการไหลของวัสดุแบบดึงนั้น การวางแผนการผลิตเน้นให้กระบวนการผลิตแต่ละขั้น ทำการผลิตให้พร้อมเสร็จให้ตรงตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด ดังนั้นในกระบวนการย่อยจำเป็นต้องวางแผน ลำดับการผลิต ปริมาณการผลิต โดยต้องคำนึงถึงความสามารถในการผลิตที่มีของแต่ละกระบวนการว่าจะทำได้ตรงตามแผนที่ต้องการ ตัวอย่างวิธีของระบบดึง ได้แก่ การส่งแผ่นคัมบัง (Kanban) ไปยังแผนกที่ส่งส่วนประกอบมาให้ เพื่อบอกถึงความต้องการส่วนประกอบ และจำนวนที่ต้องการ ซึ่งเมื่อแผนกที่ได้รับ เห็นแผ่นคัมบัง จะรู้ว่าส่วนประกอบถูกใช้จนถึงระดับที่ต้องมีการเติม หรือต้องมีการผลิตเพิ่มซึ่งแผ่นคัมบังจะเป็นตัวช่วยกำหนดให้แผนกที่ส่งส่วนประกอบมาให้เริ่มทำการผลิต

ระบบดึง เหมาะกับระบบที่มีการตอบสนองความต้องการในการผลิตที่รวดเร็ว ต้นทุนในการเตรียมการผลิตไม่สูง เหมาะกับกระบวนการที่สามารถควบคุมความไม่แน่นอนได้ดี เช่น สามารถจัดการให้การส่งมอบวัตถุดิบตรงตามความต้องการทั้งด้านปริมาณและเวลา และจะเห็นว่าความจำเป็นของปริมาณพัสดุคงคลังมีน้อยเนื่องจากความสามารถในการตอบสนองความต้องการที่รวดเร็ว แต่การที่พัสดุคงคลังมีจำนวนน้อยอาจทำให้เกิดการขาดแคลนวัสดุ หากการผลิตเกิดการติดขัด การจะใช้ระบบดึงต้องมีความพร้อมและมีมาตรการในการรองรับความไม่แน่นอนที่อาจ

เกิดขึ้นได้ เช่น เครื่องจักรเสีย หรือการที่วัตถุดิบในการผลิตไม่มาส่งตามเวลาและปริมาณที่ต้องการ เป็นต้น

1. วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดี

ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีให้ความสำคัญกับการลดความไม่มีประสิทธิภาพและเวลาที่สูญไปในการกระบวนการผลิต เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตและคุณภาพของสินค้าและบริการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การมีส่วนร่วมของพนักงาน และการทำให้วัสดุคงคลังลดลงเป็นสิ่งจำเป็นของการดำเนินงานระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีอาจถูกเรียกในชื่อต่อไปนี้อย่างเช่น ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Production) ระบบวัสดุคงคลังเป็นศูนย์ (Zero Inventory) ระบบการผลิตที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน (Synchronous Manufacturing) ระบบการผลิตแบบมีสินค้าคงคลังน้อย (Stockless Production) ระบบวัสดุตามความต้องการ (Material as Needed) หรือระบบการผลิตแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Manufacturing) ซึ่งอาจเรียกแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมขององค์กร

2. ผลกระทบจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี

2.1 ปริมาณการผลิตขนาดเล็กในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีจะพยายามควบคุมวัสดุคงคลังให้อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดเพื่อไม่ก่อให้เกิดต้นทุนในการจัดเก็บและต้นทุนค่าเสียโอกาสจึงผลิตในปริมาณที่ต้องการ

2.2 ระยะเวลาการติดตั้งและเริ่มดำเนินงานสั้น ผลจากการลดขนาดการผลิตให้เล็กลงทำให้ฝ่ายผลิตต้องเพิ่มความถี่ในการจัดการขึ้น ดังนั้นผู้ควบคุมกระบวนการผลิตจึงต้องลดเวลาการติดตั้งให้สั้นลงเพื่อไม่ให้เกิดเวลาว่างเปล่าของพนักงานและอุปกรณ์และให้เกิดประสิทธิภาพเต็มที่

2.3 วัสดุคงคลังในระบบการผลิตลดลง เหตุผลที่จำเป็นต้องมีวัสดุคงคลังสำรองเกิดจากความไม่แน่นอน ไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีมีนโยบายที่จะขจัดวัสดุคงคลังสำรองออกไปจากกระบวนการผลิตให้หมด โดยให้พนักงานช่วยกันแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้น

2.4 สามารถควบคุมคุณภาพสินค้าได้อย่างทั่วถึง ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี ผู้ปฏิบัติงานจะเป็นผู้ควบคุมและตรวจสอบคุณภาพด้วยตนเอง หรือที่เรียกว่า “คุณภาพ ณ แหล่งกำเนิด (Quality at the source)”

3. ประโยชน์ที่เกิดจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี

3.1 เป็นการยกระดับคุณภาพสินค้าให้สูงขึ้นและลดของเสียจากการผลิตให้น้อยลง เมื่อคนงานผลิตชิ้นส่วนเสร็จก็จะส่งต่อไปให้กับคนงานคนต่อไปทันที ถ้าพบข้อบกพร่องคนงานที่รับชิ้นส่วนมาก็จะรีบแจ้งให้คนงานที่ผลิตทราบทันทีเพื่อหาสาเหตุและแก้ไขให้ถูกต้อง คุณภาพสินค้าจึงดีขึ้น

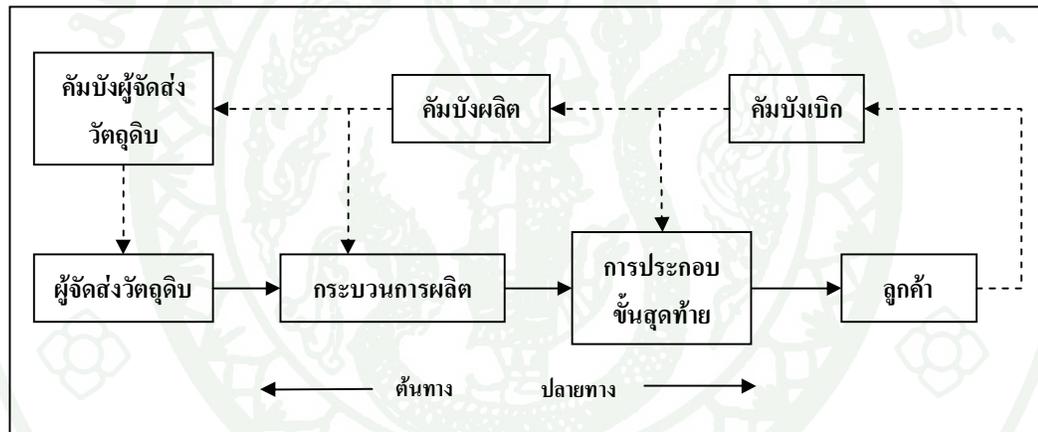
3.2 ตอบสนองความต้องการของตลาดได้เร็ว เนื่องจากการผลิตมีความคล่องตัวสูง การเตรียมการผลิตใช้เวลาน้อยและสายการผลิตก็สามารถผลิตสินค้าได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน จึงทำให้สินค้าสำเร็จรูปคงคลังเหลืออยู่น้อยมาก เพราะเป็นไปตามความต้องการของตลาดอย่างแท้จริง การพยากรณ์การผลิตแม่นยำขึ้นเพราะเป็นการพยากรณ์ระยะสั้น ผู้บริหารไม่ต้องเสียเวลาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในโรงงาน ทำให้มีเวลาสำหรับการกำหนดนโยบาย วางแผนการตลาด และเรื่องอื่นๆ ได้มากขึ้น

3.3 คนงานจะมีความรับผิดชอบต่องานของตนเองและงานของส่วนรวมสูงมาก ความรับผิดชอบต่อตนเองก็คือจะต้องผลิตสินค้าที่ดี มีคุณภาพสูง ส่งต่อให้คนงานคนต่อไปโดยถือเหมือนว่าเป็นลูกค้า ด้านความรับผิดชอบต่อส่วนรวมก็คือคนงานทุกคนจะต้องช่วยกันแก้ปัญหาเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในการผลิต เพื่อไม่ให้เกิดการผลิตหยุดชะงักเป็นเวลานาน

ระบบคัมบัง

วิทยา (2549) กล่าวว่า ระบบคัมบัง (Kanban System) เป็นตัวกำหนดปริมาณการผลิตในทุกๆ กระบวนการ ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตแบบ JIT โดยใช้ระบบดึง ระบบคัมบังถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการสื่อสาร เพื่อให้การผลิตในแต่ละขั้นมีจังหวะความเร็วในการผลิตที่สอดคล้องกัน เป็นการควบคุมการไหลของงาน ประโยชน์เบื้องต้นคือการลดการผลิตมากเกินไป (Overproduction) และมุ่งหมายเพื่อผลิตสิ่งที่สั่ง และตามจำนวนที่สั่งเท่านั้น

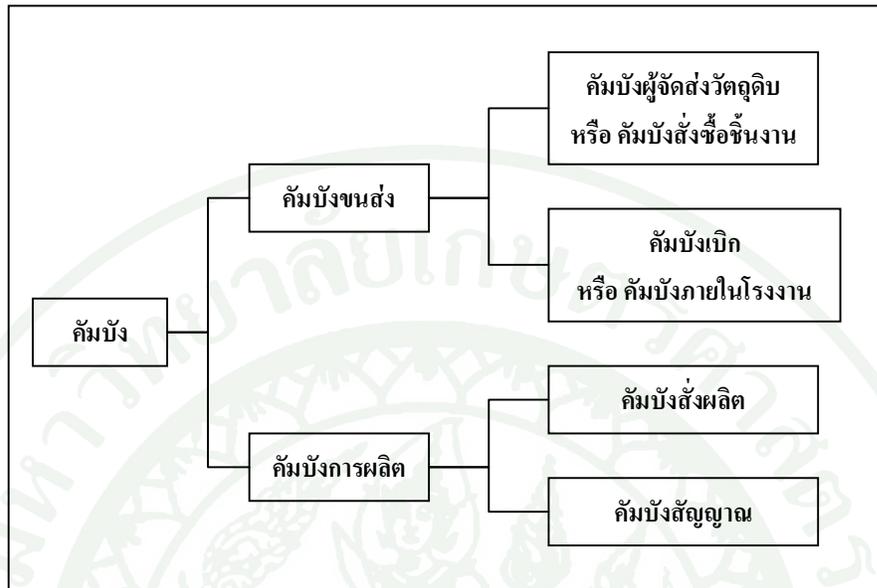
“คัมบัง” เป็นคำในภาษาญี่ปุ่นหมายถึง ป้ายหรือสัญญาณและถูกใช้เป็นชื่อเรียก ป้ายการควบคุมวัตถุดิบในระบบดึง ซึ่งคือคำสั่งการผลิตที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับวัตถุดิบ ในทุกๆป้ายคัมบังจะระบุชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบย่อย คัมบังจึงเป็นเสมือนระบบข้อมูลสารสนเทศที่จะบูรณาการให้โรงงานเป็นอันหนึ่งอันเดียว เชื่อมต่อทุกกระบวนการจากกระบวนการหนึ่งไปยังกระบวนการอื่นเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าได้พอดี ในระบบคัมบังกระบวนการต้นทางจะผลิตเพียงเพื่อที่จะทดแทนสิ่งที่กระบวนการปลายทางได้เบิกออกไปเท่านั้น พนักงานในกระบวนการหนึ่งจะไปยังกระบวนการก่อนหน้าเพื่อเบิกชิ้นส่วนที่พวกเขาต้องการซึ่งจะเบิกเฉพาะปริมาณที่ต้องการในเวลาที่ต้องการเท่านั้น จุดเริ่มต้นในระบบการเบิกรเริ่มที่ “คำสั่งซื้อของลูกค้า” ซึ่งเรียกว่าระบบดึงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบัง

1. ชนิดของคัมบัง

คัมบัง คือ ป้ายที่ติดอยู่กับสินค้าคงคลังในกระบวนการเพื่อบ่งชี้คำสั่งผลิต คัมบังสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ชนิดของคัมบัง

1.1 คัมบังขนส่ง (Transport Kanban) คัมบังชนิดหลักๆ อย่างแรกคือ คัมบังขนส่ง ซึ่งจะบ่งชี้ว่าเมื่อไรที่ชิ้นงานจำนวนมากจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังสายการผลิต หรือเคลื่อนย้ายระหว่างกระบวนการในการผลิตและการประกอบ นอกจากนี้ยังระบุถึงชิ้นส่วนและปริมาณด้วยโดยจะระบุว่าชิ้นส่วนมาจากที่ไหนและกำลังจะไปที่ไหน คัมบังขนส่งนี้ประกอบด้วย คัมบังผู้จัดส่งวัตถุดิบ และคัมบังเบิก

1.1.1 คัมบังผู้จัดส่งวัตถุดิบ (Supplier Kanban) หรือที่เรียกว่า คัมบังสั่งซื้อชิ้นส่วน (Part-ordering Kanban) นี้ เป็นการสั่งซื้อชิ้นส่วนที่ต้องการใช้ในสายการประกอบไปยังผู้จัดส่งวัตถุดิบภายนอก ถ้าระบบคัมบังได้มีการขยายออกไปจนถึงเครือข่ายผู้จัดส่งวัตถุดิบแล้ว เมื่อนั้นผู้จัดส่งวัตถุดิบก็จะส่งมอบตามความต้องการเมื่อได้รับคัมบังผู้จัดส่งวัตถุดิบมาจากโรงงาน

1.1.2 คัมบังเบิก (Withdrawal Kanban) หรือที่เรียกว่า คัมบังในโรงงาน (In-factory Kanban) นี้ จะใช้อยู่ระหว่างกระบวนการต่างๆ ในโรงงาน โดยจะให้รายละเอียดที่จำเป็นต่อการเบิกชิ้นส่วนจากกระบวนการที่อยู่ต้นทาง จะมีการใช้คัมบังเบิกในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความจำเป็นและชนิดของชิ้นส่วนที่จะเบิก คัมบังหนึ่งใบอาจใช้เบิกชิ้นส่วนเพียงหนึ่งชิ้นหรือเบิกชิ้นส่วนทั้งภาชนะที่บรรจุเลยก็ได้ หรืออาจใช้คัมบังเป็นชุดๆ เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อไรที่ชิ้นส่วนจะต้องถูก

จัดส่งไปตามคำสั่งที่ระบุมาให้กับจุดประกอบที่อยู่ปลายทางตามลำดับไป ซึ่งอาจใช้ในรูปแบบของกล่องคัมบังหรือรถเข็นคัมบัง เพื่อช่วยให้การขนส่งไปยังกระบวนการที่อยู่ปลายทางสะดวกขึ้นก็ได้เช่นกัน

1.2 คัมบังการผลิต (Production Kanban) คัมบังชนิดหลักๆ อย่างที่สองนี้ รู้จักกันในชื่อคัมบังสั่งผลิต คัมบังชนิดนี้จะระบุวิธีการปฏิบัติการสำหรับกระบวนการที่เจาะจง คัมบังการผลิตประกอบด้วย คัมบังสั่งผลิต และ คัมบังสัญญาณ

1.2.1 คัมบังสั่งผลิต (Production-ordering Kanban) ซึ่งเป็นชนิดที่คนส่วนมากจะนึกถึงเมื่อพูดถึงระบบคัมบัง คัมบังประเภทนี้จะถูกใช้เป็นประจำในกระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร คัมบังสั่งผลิตจะคล้ายกับคำสั่งผลิตมาตรฐาน (Standard Production Order) ที่ใช้ในระบบผลึก ที่จะระบุว่าต้องผลิตอะไรในปริมาณเท่าไร เมื่อคัมบังยกตั้งให้ทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากสายการผลิตหรือเซลล์ คัมบังสั่งผลิตก็จะเริ่มสั่งให้ผลิตเพื่อนำไปทดแทนชิ้นงานที่ถูกย้ายออกไปนั้น

1.2.2 คัมบังสัญญาณ (Signal Kanban) จะใช้อยู่ที่งานป้อนหรือกระบวนการอื่นๆ ที่จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร คัมบังประเภทนี้จะส่งสัญญาณให้ว่าเมื่อไรจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรตามลำดับของคัมบังการผลิตนั้น

2. การคำนวณคัมบัง

วิลาสินี (2548) กล่าวว่า ระบบคัมบังของโตโยต้าใช้แผ่นกระดาษเพื่อเป็นสัญญาณแสดงความต้องการให้มีการ “ส่ง” ชิ้นส่วนเพิ่มเติม และใช้แผ่นกระดาษเดียวกันหรือที่มีลักษณะเหมือนกันเพื่อเป็นสัญญาณ แสดงความต้องการให้ “ผลิต” ชิ้นส่วนเพิ่มขึ้น ซึ่งบัตรนี้จะติดไปกับภาชนะ (Container) ที่ใส่วัตถุดิบ หรือระบบบัตรสองใบ (Two-card System) ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนบัตรคัมบังได้ดังสมการที่ (1)

$$K = \frac{D \times LT \times (1 + PV)}{CS} \quad (1)$$

K: จำนวนคัมบัง (Number of Kanban)

D: อัตราความต้องการ (Demand Rate) อัตราความต้องการผลิตต่อช่วงระยะเวลาที่พิจารณา

LT: ระยะเวลา นำ (Lead Time) ระยะเวลาตั้งแต่ออกแผนการผลิตจนถึงผลิตผลิตภัณฑ์ตามแผนที่กำหนดเสร็จพร้อมส่งมอบให้กับลูกค้า หรือเวลานำในการผลิต (เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต + เวลาที่ใช้ในการจัดเก็บ) + เวลานำในการได้คัมบังกลับคืนมา

PV: ตัวแปรตามนโยบาย (Policy Variable) ค่าตัวแปรที่ต้องการเพื่อความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายของบริษัทกำหนด เช่น ชั่งงานสำรอง (Safety Stock) เป็นศูนย์วันหรือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

CS: ขนาดบรรจุภาชนะ (Container Size) ปริมาณการบรรจุชิ้นงานต่อ 1 ภาชนะ

ระบบคัมบังจะช่วยสนับสนุนการปรับเรียบการผลิตให้มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพ จำนวนคัมบังที่ต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนแท่นรองสินค้าหรือภาชนะบรรจุ และความจุของแท่นรองหรือภาชนะนั้น อีกทั้งเวลานำ ระยะปลอดภัยหรือสินค้าคงคลังสำรอง และเวลาที่ใช้ในการขนส่งเพื่อให้ได้คัมบังกลับคืนมาก็เป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นกัน การหาจำนวนคัมบังที่ได้นั้นสำคัญน้อยกว่าการหาวิธีการปรับปรุงระบบการผลิตเพื่อให้ลดจำนวนคัมบังได้ เพื่อบรรลุผู้จำนวนคัมบังที่น้อยที่สุดต้องทำการผลิตในแบบซุกเตี๊ยะๆ และจะต้องกำจัดสต็อกสำรองที่ถูกเก็บไว้เพื่อเป็นส่วนเผื่อเพื่อความปลอดภัยเพื่อแก้ปัญหาความผันแปรขึ้นลงของตลาดและความไม่เสถียรของการผลิตออกไป

การจำลองสถานการณ์

Shannon (1975) ให้คำจำกัดความว่า “การจำลองแบบปัญหาคือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริงแล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้นโยบาย (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

1. ระบบงาน

ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ความหมายของระบบงานบอกเฉพาะลักษณะว่าระบบงานมีลักษณะอย่างไร โดยไม่ได้บอกรูปร่างหน้าตาที่แน่ชัด

ดังนั้นเมื่อเวลาที่จะทำการศึกษาระบบงานใดระบบงานหนึ่ง จึงจำเป็นที่จะต้องบอกรูปร่างหน้าที่ชัดเจนของระบบงานที่กำลังศึกษา การบอกรูปร่างหน้าที่แจ้งชัดของระบบงานมักจะบอกโดยการกำหนดขอบเขตของระบบงาน ซึ่งก็คือ การกำหนดองค์ประกอบของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการกำหนดองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ องค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบนี้ เรียกโดยรวมว่า สิ่งแวดล้อมระบบงาน องค์ประกอบต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกระบบงานจะมีลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ที่ทำให้เกิดกิจกรรม (Activities) และกิจกรรมเหล่านั้นภายใต้เงื่อนไขบางประการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงาน ดังนั้นนอกจากการกำหนดขอบเขตของระบบงานแล้วยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบ กิจกรรมที่จะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบเหล่านั้น และการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงานอันเนื่องมาจากกิจกรรมขององค์ประกอบ

2. ประเภทของระบบงาน

2.1 ระบบต่อเนื่องหรือระบบเป็นช่วง (Continuous versus Discrete Systems)

โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบเทียบกับเวลา ถ้าการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบเป็นการเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็จะเป็ระบบต่อเนื่อง แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งไม่ต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็จะเป็ระบบช่วง

2.2 ระบบตายตัวหรือระบบไม่แน่นอน (Deterministic versus Stochastic Systems)

ระบบตายตัว หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานะภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน ส่วนระบบไม่แน่นอน หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพเป็นแบบสุ่มและในบางกรณีก็สามารถหาค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพ

3. การจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์

ศิริจันทร์ (2544) กล่าวว่า การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบบจำลองก่อนที่จะมาอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้อาจอยู่ในรูปของแบบจำลองประเภทหนึ่งประเภทใดดังได้กล่าว

มาแล้ว โดยที่การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์นี้เป็นที่นิยมใช้ที่สุดของการใช้การจำลองแบบปัญหา เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้มากมายหลายประเภท ปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ได้รับการนำมาไปใช้อย่างกว้างขวาง ในสหรัฐอเมริกาจัดการจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการนำไปใช้มากที่สุดและได้นำไปใช้ในงานต่างๆมากกว่า 70 สาขาอาชีพ และเมื่อมีผู้กล่าวถึงการจำลองแบบปัญหาทุกคนก็มักจะนึกถึง เข้าใจว่าเป็นการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เสมอ

โดยที่การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์จะต้องมีการคำนวณ มีข้อมูลทั้งที่เป็นข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์จากแบบจำลอง และโดยปกติข้อมูลต่างๆในระบบงานจะเป็นข้อมูลซึ่งมีความผันแปรไม่แน่นอนและมีการแปรเปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นการจัดเตรียมและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ รวมทั้งขั้นตอนต่างๆที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหานี้จึงต้องอาศัยวิธีการต่างๆทางสถิติเข้าช่วย

ในวิธีการทางสถิติต่างๆที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหานั้นมีวิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากและเกือบจะมีความจำเป็นในทุกๆการจำลองแบบปัญหา ก็คือ การสุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Sampling Technique) และเพื่อที่จะเน้นถึงความจำเป็นในการใช้เทคนิคดังกล่าว การจำลองแบบปัญหาจึงถูกเรียกว่า การจำลองแบบปัญหาด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

4. การจำลองแบบปัญหาด้วยโปรแกรม Arena

โปรแกรม Arena (<http://arenasimulation.com>) ของบริษัทซิสเต็มโมเดลลิง (System Modeling Corporations) สามารถใช้สร้างแบบจำลองของระบบที่เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete - Time Systems) และระบบที่เวลาต่อเนื่อง (Continuous - Time Systems) ได้ โปรแกรม Arena แสดงแบบจำลองในรูปแบบของแผนภูมิการไหล (Flowchart) และข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบของสเปรดชีต (Spreadsheets) โดยสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมวิสิโอ (Visio) ได้

การสร้างแบบจำลองถูกสร้างจากวัตถุกราฟฟิก เรียกว่า โมดูล (Module) เพื่ออธิบายถึงตรรกะ (Logics) ของระบบ โดยที่โมดูลจะอยู่ในรูปของไอคอน (Icon) รวมกับข้อมูลที่อยู่ในรูปหน้าต่างไดอะล็อก (Dialog Window) ไอคอนเหล่านี้อยู่ในเทมเพลต (Template) โดยแต่ละเทมเพลตบ่งบอกถึงวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง ส่วนเทมเพลตของโปรแกรม Arena เน้นไปยังระบบงานอุตสาหกรรม และระบบการจัดการวัสดุ

โปรแกรม Arena พัฒนาจาก ภาษา SIMAN ส่วนการสร้างรูปเคลื่อนไหว (Animation) แบบจำลองของ Arena มีการสร้างกราฟฟิก เพื่อแสดงรูปแถวคอย สถานะของทรัพยากร (Resource Status) และการไหลของเอนติตี้ (Entity Flow) ซึ่งกราฟฟิก 2 มิติของโปรแกรม Arena จะถูกสร้างจากเครื่องมือวาด (Drawing Tool) ที่โปรแกรม Arena มีให้ และสามารถสร้างจากโปรแกรมอื่นๆ เช่น โปรแกรม AutoCAD และโปรแกรม Visio เป็นต้น นอกจากนี้แล้วโปรแกรม Arena ยังมีโปรแกรมเสริม ได้แก่ ตัววิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า (Input Analyzer) สำหรับการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูล ตัววิเคราะห์ผล (Output Analyzer) และตัววิเคราะห์กระบวนการ (Process Analyzer) ซึ่งใช้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระบบที่มีหลายทางเลือก (Banks *et al.*, 2005)

รุ่งรัตน์ (2551) กล่าวว่า โปรแกรม Arena มี OptQuest เป็นเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือนี้ช่วยหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดให้กับแบบจำลองภายใต้วัตถุประสงค์ที่ต้องการ (Objective Function) และข้อกำหนดสมการเงื่อนไข (Constraints) โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Maths Model)

5. กระบวนการจำลองแบบปัญหา

Banks *et al.* (2005) ขั้นตอนต่างๆต่อไปนี้ เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการจำลองแบบปัญหาที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

5.1 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) ขั้นตอนนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆและวิธีการวัดผลของระบบงาน

5.2 การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation) จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

5.3 การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

5.4 การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.5 การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

5.6 การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning) เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

5.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นแค่เพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็น การบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่ เหมาะสม กล่าวคือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ในราคาที่เหมาะสม

5.8 การดำเนินการทดลอง (Experimentation) เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการ และความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง

5.9 การตีความผลการทดลอง (Interpretation) จากผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริง มีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหานั้นจะได้อย่างไร

5.10 การนำไปใช้งาน (Implementation) จากผลการทดลอง เลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหานั้นได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง

5.11 การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation) เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ ฯลฯ

การเปรียบเทียบดัชนีชี้วัด

Banks *et al.* (2005) การเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง จำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อแยกแยะความแตกต่างของดัชนีชี้วัดที่เกิดขึ้น ว่าเกิดจากการออกแบบ หรือเกิดจากความไม่แน่นอนของการสุ่ม โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองและดัชนีชี้วัดสำหรับการเปรียบเทียบ 2 แบบจำลอง

ระบบที่	รอบทำซ้ำที่				ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง	ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง
	1	2	...	R		
1	Y_{11}	Y_{21}	...	Y_{R1}	$\bar{Y}_{.1}$	S_1^2
2	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{R2}	$\bar{Y}_{.2}$	S_2^2

จากตารางที่ 1 กำหนดให้

Y_{ri} คือ ค่าที่ได้จากการรันสมูเลชัน เช่น จำนวนลูกค้าในแถวเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าประมาณของค่าเฉลี่ยดัชนีชี้วัดของระบบที่ i สำหรับ $i = 1$ (ระบบปัจจุบัน), 2 (ระบบเสนอแนะ) ของรอบทำซ้ำที่ r สำหรับ $r = 1, 2, \dots, R$

$\bar{Y}_{.i}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง (Sample Means) ของระบบที่ i สำหรับ $i = 1, 2$ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $\bar{Y}_{.i} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R Y_{ri}$

S_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างของระบบที่ i สำหรับ $i = 1, 2$

θ_i คือ ค่าเฉลี่ยดัชนีชี้วัดของระบบที่ i สำหรับ $i = 1, 2$

จุดมุ่งหมายของการรันสมูเลชัน ก็เพื่อประมาณผลต่างค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัด ($\theta_1 - \theta_2$) ที่ใช้เปรียบเทียบว่าแบบจำลองทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ จากกรณีดังต่อไปนี้คือ

1. ถ้าช่วงความเชื่อมั่นมีค่าอยู่ทางซ้ายมือของค่าศูนย์ จะสรุปสมมติฐานได้ว่า $\theta_1 < \theta_2$
2. ถ้าช่วงความเชื่อมั่นมีค่าอยู่ทางขวามือของค่าศูนย์ จะสรุปสมมติฐานได้ว่า $\theta_1 > \theta_2$

3. ถ้าช่วงความเชื่อมั่นมีค่าศูนย์รวมอยู่ด้วย จะไม่สามารถสรุปได้ว่าระบบใดดีกว่า จึงจำเป็นต้องทำการเพิ่มรอบทำซ้ำ เพื่อทำให้ความแตกต่างที่ชัดเจนมากขึ้น

ช่วงความเชื่อมั่นของ $\theta_1 - \theta_2$ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบทางสถิติ ประมาณได้ดังนี้

$$\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2} - t_{\alpha/2, v} s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2}) \leq \theta_1 - \theta_2 \leq \bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2} + t_{\alpha/2, v} s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2}) \quad (2)$$

โดยค่า $s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2})$ คือค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ของผลต่างค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดของ 2 แบบจำลอง ซึ่งจะมีค่าตามลักษณะของเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ และค่า $t_{\alpha/2, v}$ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ $100(1 - \alpha/2)$ ของการแจกแจงแบบทีที่องศาเสรี v และ $s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2})$ ที่ใช้การสุ่มแบบมีความสัมพันธ์ จะคำนวณได้จาก

$$s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2}) = s.e.(\bar{D}) = \frac{S_D}{\sqrt{R}} \quad (3)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R D_r$$

$$D_r = Y_{r1} - Y_{r2}$$

$$S_D^2 = \frac{1}{R-1} \left(\sum_{r=1}^R (D_r^2 - R\bar{D}^2) \right)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่า $s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2})$ ที่ได้จากสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (2) ก็จะสามารถกำหนดช่วงความเชื่อมั่นของ $\theta_1 - \theta_2$ ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิลาลินี (2548) ศึกษาเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างระบบควบคุมการผลิตแบบผลึกและดิ่ง โดยนำเสนอวิธีการกำหนดขนาดบัตกรรมด้วยแบบจำลองสถานการณ์ และเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้สมการกำหนดขนาดบัตกรรมของโตโยต้า โดยศึกษาแบบจำลองกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์จากโรงงานตัวอย่าง โดยค่าวัดผลการดำเนินงานที่นำมาพิจารณาคือ ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิต และค่าเฉลี่ยปริมาณงานระหว่างผลิต ผลการศึกษาที่ได้คือ ระบบการผลิตแบบดิ่งมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายนอก เช่น ความต้องการการผลิต และเวลาการผลิต นอกจากนี้วิธีการกำหนดขนาดบัตกรรมด้วยแบบจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอให้ค่าวัดผลการดำเนินงานที่ดีกว่าวิธีการที่ใช้สมการกำหนดขนาดบัตกรรมของโตโยต้าแม้ว่าระบบการผลิตจะมีความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอก

Andijani (1998) ศึกษากระบวนการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์เดียว แต่มีหลายขั้นตอนการผลิตต่อเนื่องกัน และควบคุมวัตถุดิบในระบบการผลิตที่ใช้บัตกรรม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณชิ้นงานต่อหน่วยเวลา (Throughput Rate) มากที่สุด ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยของเวลาการไหลที่น้อยที่สุด ซึ่งใช้ AHP (Analytic Hierarchy Process) ในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของแบบจำลองสถานการณ์แบบสโตแคสติก (Stochastic) นอกจากนี้มีการใช้ Expert Choice ในการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ใช้

Ardalan (1997) ทำการศึกษาผลกระทบของแบบจำลองสถานการณ์ที่มีการใช้นโยบายควบคุมระบบการผลิตโดยใช้บัตกรรม และวิเคราะห์หาเวลารอคอยเฉลี่ยของลูกค้าและปริมาณสินค้าคงคลังทั้งหมด ซึ่งนำเสนอผลการทดลองของแบบจำลองโดยพิจารณา 4 ตัวแปร คือ ช่วงเวลาการถอนบัต (Withdrawal Cycle) กฎที่ใช้ (Priority Rule) จำนวนของบัตกรรมที่รอการถอนคืน (Status of Waiting Withdrawal Kanbans) และจำนวนบัตกรรมที่ใช้ โดยตัวแปรทั้ง 4 ตัวมีผลต่อค่าวัดผลการดำเนินการ 4 ค่า คือ ค่าเฉลี่ยเวลารอคอยของลูกค้า (Average Customer Wait-Time) ปริมาณสินค้าคงคลังทั้งหมด และค่าเฉลี่ยจำนวนที่เก็บสินค้าเข้าและออก (Average Number of Full Containers in The Input and Output Stock Points) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดเวลารอคอยของลูกค้าและปริมาณสินค้าคงคลังที่น้อยที่สุด

Chan (2001) ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงจำนวนบัตรคัมบังในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยศึกษาการจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตแบบดึง และระบบการผลิตแบบผสมระหว่างระบบดึงและระบบผลักดันด้วยโปรแกรม SIMPROCESS โดยผลการดำเนินการที่พิจารณาคือ อัตราการส่งสินค้าให้กับลูกค้าอย่างทันเวลา (Fill Rate) ปริมาณสินค้าคงคลังในระบบการผลิต (In-Process Inventory) และระยะเวลาการผลิต (Manufacturing Lead Time) งานวิจัยศึกษาระบบที่มีผลิตภัณฑ์เดียว (Single-Product) และหลายผลิตภัณฑ์ (Multi-Product) ผลที่ได้จากการศึกษาการผลิตแบบผลิตภัณฑ์เดียวในระบบการผลิตแบบดึงและแบบผสมคือ เมื่อจำนวนของบัตรคัมบังเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ยการส่งสินค้าให้กับลูกค้าอย่างทันเวลาจะลดลง ส่วนปริมาณสินค้าคงคลังในระบบการผลิตและระยะเวลาการผลิตจะเพิ่มขึ้น และในระบบการผลิตที่มีหลายผลิตภัณฑ์ในระบบการผลิตแบบผสมเมื่อนำคัมบังเพิ่มขึ้น อัตราเฉลี่ยการส่งสินค้าให้กับลูกค้าอย่างทันเวลาจะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลจนถึงระดับหนึ่งและจะคงที่ ปริมาณสินค้าคงคลังในระบบการผลิตจะเพิ่มขึ้น และระยะเวลาการผลิตจะลดลงแบบเอกซ์โปเนนเชียลจนถึงระดับหนึ่งและจะคงที่

Husseini *et al.* (2006) ศึกษากระบวนการผลิตแบบทันเวลาพอดี เพื่อหาจำนวนคัมบังที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณความต้องการของตลาด โดยใช้เทคนิค Integer Linear Programming ในการวิเคราะห์หาจำนวนคัมบังในแต่ละกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายของปริมาณสินค้าคงคลังทั้งหมดน้อยที่สุด และหาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการของลูกค้าและการเปลี่ยนแปลงจำนวนคัมบัง นอกจากนั้นพิจารณาและเปรียบเทียบวิธีการในการกำหนดจำนวนคัมบังซึ่งวิธีแรกจะกำหนดจำนวนคัมบังที่แน่นอนในการผลิต อีกวิธีหนึ่งจะมีจำนวนคัมบังที่ยืดหยุ่น โดยหาข้อได้เปรียบของการกำหนดจำนวนคัมบังในเรื่องค่าใช้จ่าย ผลที่ได้คือเมื่อความต้องการมีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายมาก โดยวิธีที่มีจำนวนคัมบังที่ยืดหยุ่นจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีที่กำหนดจำนวนคัมบังแน่นอน

Junichi and Soemon (2004) ศึกษากระบวนการผลิตแบบทันเวลาพอดีที่ใช้คัมบัง 2 ชนิด คือ คัมบังสั่งผลิตและคัมบังสั่งเคลื่อนย้าย โดยใช้โปรแกรม Arena รุ่น 8.0 ในการสร้างแบบจำลอง โดยในงานวิจัยนี้ทำการพิจารณาระบบการผลิต 2 ระบบ คือ ระบบการผลิตแบบหลายขั้นตอน (Flow-Type Multistage Manufacturing System) และระบบการผลิตที่ใช้บัตรคัมบัง 2 ชนิด (Dual-Card Kanban System) ซึ่งแบบจำลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ลูกค้า (Customer Section) สถานีงาน (Workstation Section) และผู้จัดส่งชิ้นส่วน (Supplier Section) โดยใช้โมดูล Route และ Station ในการสร้างแบบจำลอง และมีส่วนติดต่อผู้ใช้งานทั้ง 3 ส่วน นอกจากนี้สามารถกำหนดเวลาในการ

ผลิต (Production Time) เวลาในการเดินทาง (Travel Time) และเวลาการเข้ามาของวัตถุดิบ (Inter-Arrival Time) ให้เป็นดีเทอร์มินิสติกหรือแบบสโตแคสติกได้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้โมดูลในการจำลองสถานการณ์สามารถทำได้รวดเร็ว

Seki and Hoshino (1999) ศึกษากระบวนการผลิตแบบคัมบังที่มีขั้นตอนเดียว กำหนดให้อัตราการเข้ามาของลูกค้ามีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และเวลาการผลิตมีการแจกแจงแบบเออร์แลง (Erlang Distribution) เพื่อหาจำนวนคัมบังที่เหมาะสมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหนดของระบบ โดยพิจารณาเป็นระบบแถวคอยแบบ $M/E_r/1$ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของระบบที่ไม่คงที่ด้วยข้อจำกัดที่ทำให้เกิดค่าคาดหวังของระดับสินค้าคงคลังที่น้อยที่สุด และค่าคาดหวังเวลารอคอยเพื่อให้เกิดความต้องการที่พึงพอใจ โดยจะนำเสนอจำนวนคัมบัง และเวลาที่ความต้องการเพื่อทำให้เกิดค่าที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังนำเสนอระบบคัมบังในสถานะคงที่และไม่คงที่ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าคาดหวังสินค้าคงคลังกับค่าคาดหวังของเวลารอคอยของระบบในการเลือกจำนวนคัมบัง

Tardif and Maaseidvaag (2001) ทำการศึกษากระบวนการผลิตแบบคิงโดยใช้คัมบัง ซึ่งพิจารณาที่จุดสั่งซื้อวัตถุดิบตามความต้องการของลูกค้า สินค้าคงคลังและสินค้าที่จะส่งให้ลูกค้าในภายหลัง ระบบนี้แตกต่างจากระบบเดิมคือจำนวนคัมบังสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณชิ้นงานที่อยู่ระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งพิจารณาระบบที่มีขั้นตอนเดียวและมีผลิตภัณฑ์เดียว โดยการเข้ามาของความต้องการมีการแจกแจงแบบปัวซอง และเวลาการผลิตมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์จะใช้การจำลองสถานการณ์ และทำการพิสูจน์อัลกอริทึมในการหาจำนวนคัมบัง เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยพิจารณา 3 กรณีคือกรณีที่มีสถานีนงานเดียว ประกอบด้วยสถานีที่ขนานกัน กรณีที่มีสถานีนงาน M สถานี และกรณีที่มีบัตรพิเศษ (Extra Card) โดยจะเพิ่มบัตรพิเศษเมื่อปริมาณสินค้าคงคลังที่จุดเริ่มต้นต่ำกว่าที่กำหนด และจะเรียกบัตรคืนเมื่อปริมาณสินค้าคงคลังที่จุดเริ่มต้นมากกว่าที่กำหนด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณี จะได้ว่ากรณีที่มีการเพิ่มบัตรพิเศษทำให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

Mark and Jeffrey (2005) ศึกษาการจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตชนิดคิงโดยใช้คัมบังและใช้โปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งมี 2 วิธี คือ กำหนดให้แบบจำลองคัมบังเป็นเอนิตี (Entity) และกำหนดให้แบบจำลองคัมบังเป็นทรัพยากร (Resources) ซึ่งมีตำแหน่งของสถานีนงาน 3 ตำแหน่งคือ สถานีนงานเริ่มต้น (Beginning Workstation) ทำหน้าที่

สร้างชิ้นงานและส่งไปยังสถานีงานต่อไป สถานีงานปกติ (Normal Workstation) และสถานีงานสุดท้าย (End Workstation) และมีส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) ในการรับข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน มีการเปรียบเทียบและหาว่าชนิดของแบบจำลองที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อการสร้างแบบจำลองสถานการณ์และการคำนวณหรือไม่ โดยพิจารณาจำนวนของ Statement ในแต่ละตำแหน่งของสถานีงาน เปรียบเทียบ User Effort ของแต่ละแบบจำลองเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสม

Gun *et al.* (2004) ทำการศึกษากระบวนการผลิตแบบแยกชิ้นส่วน (Disassembly Line) ซึ่งกำหนดให้มี 6 สถานีงาน มีชิ้นส่วน 7 ชนิด โดยใช้ระบบคัมบังในการควบคุมการผลิต และใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งพิจารณารูปแบบการเข้ามาของผลิตภัณฑ์ (Arrival Pattern of End-of-Life Product) การเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (Demand Fluctuation) และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสินค้าคงคลัง (Inventory Fluctuation) โดยพิจารณาแบบจำลอง 2 ระบบคือ ระบบการผลิตแบบผลัด และระบบการผลิตคัมบังแบบดึง ค่าวัดผลการดำเนินงานคือความสามารถในการเติมเต็มความต้องการของระบบ (System's ability to fulfill demand) และปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยผลที่ได้จากการศึกษาสำหรับระบบที่เหมาะสมในระบบการผลิตแบบแยกชิ้นส่วนที่มีระดับสินค้าคงคลังที่เปลี่ยนแปลงคือระบบการผลิตคัมบังแบบดึงซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณความต้องการของที่ถูกค่าพึงพอใจและมีปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer Hardware) และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer Software) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.1 หน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium M 1.73 GHz

1.2 หน่วยความจำ 1.49 MB

1.3 ความจุของ Hard Disk Drive 80 GB

2. โปรแกรมสำเร็จรูป Arena รุ่น 12.0 สำหรับนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิต

วิธีการ

1. ศึกษาวิเคราะห์และสรุปข้อมูลระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

ศึกษากระบวนการผลิต ข้อมูลการผลิต และขั้นตอนการผลิตต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เพื่อทำการวิเคราะห์การไหลของชิ้นงาน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยใช้ Input Analyzer ในโปรแกรม Arena เพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสม และนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งข้อมูลระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษาประกอบด้วย

(1) ข้อมูลอัตราการเข้ามาของวัตถุดิบ (2) ข้อมูลอัตราการเข้ามาของออร์เคอร์ (3) ข้อมูลรอบระยะเวลาการผลิต (4) ข้อมูลของระบบสายพานการผลิต โดยแสดงข้อมูลการแจกแจงทั้งหมดดังภาพผนวกที่ ข1 – ข22 และผู้วิจัยได้ทำการสรุปการแจกแจงของข้อมูลดังกล่าว ดังตารางที่ 2 – 8

ตารางที่ 2 สรุปการแจกแจงอัตราการเข้ามาของวัตถุดิบ (หน่วยต่อวัน)

วัตถุดิบ	การแจกแจงที่ใช้ในโปรแกรม Arena
A	$380+249*BETA(1.66,2.01)$
B	$23+EXPO(74.9)$

ตารางที่ 3 สรุปการแจกแจงอัตราการเข้ามาของออร์เคอร์ (นาทีต่อหน่วย)

ออร์เคอร์	การแจกแจงที่ใช้ในโปรแกรม Arena
A	$2.13 + GAMM(0.0208, 6.42)$
B	$6.67 + LOGN(1.76, 0.957)$

ตารางที่ 4 สรุปการแจกแจงเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ A (นาที)

สถานีที่	เวลาการผลิต	
	ค่าเฉลี่ย	การแจกแจง
2	5.96	$5 + WEIB(1.08, 2.24)$
3	38.2	$37.4 + 1.64 * BETA(1.46, 1.41)$
4	16.6	$12 + 8 * BETA(1.47, 1.06)$
5	2.97	$WEIB(3.25, 1.32)$
6	58.9	$NORM(58.9, 0.986)$

ตารางที่ 5 สรุปการแจกแจงเวลาการขนย้ายระหว่างสถานีงานของผลิตภัณฑ์ A (นาที)

สถานีที่		เวลาการผลิต	
จาก	ไป	ค่าเฉลี่ย	การแจกแจง
1	2	2.14	WEIB(2.36, 1.43)
2	3	3.35	TRIA(2, 3.33, 4.73)
3	4	8.59	5 + WEIB(4.02, 2.11)
4	5	2.06	TRIA(1.1, 2.07, 3)
5	6	2.04	NORM(2.04, 0.432)

ตารางที่ 6 สรุปการแจกแจงเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ B (นาที)

สถานีที่	เวลาการผลิต	
	ค่าเฉลี่ย	การแจกแจง
2	1.52	1.14 + ERLA(0.0634, 6)
3	60.8	TRIA(54, 61.8, 66)
4	22.2	NORM(22.2, 5.37)
5	2.45	0.19 + WEIB(2.54, 2.88)
6	77	76.4 + 1.2 * BETA(1.4, 1.44)

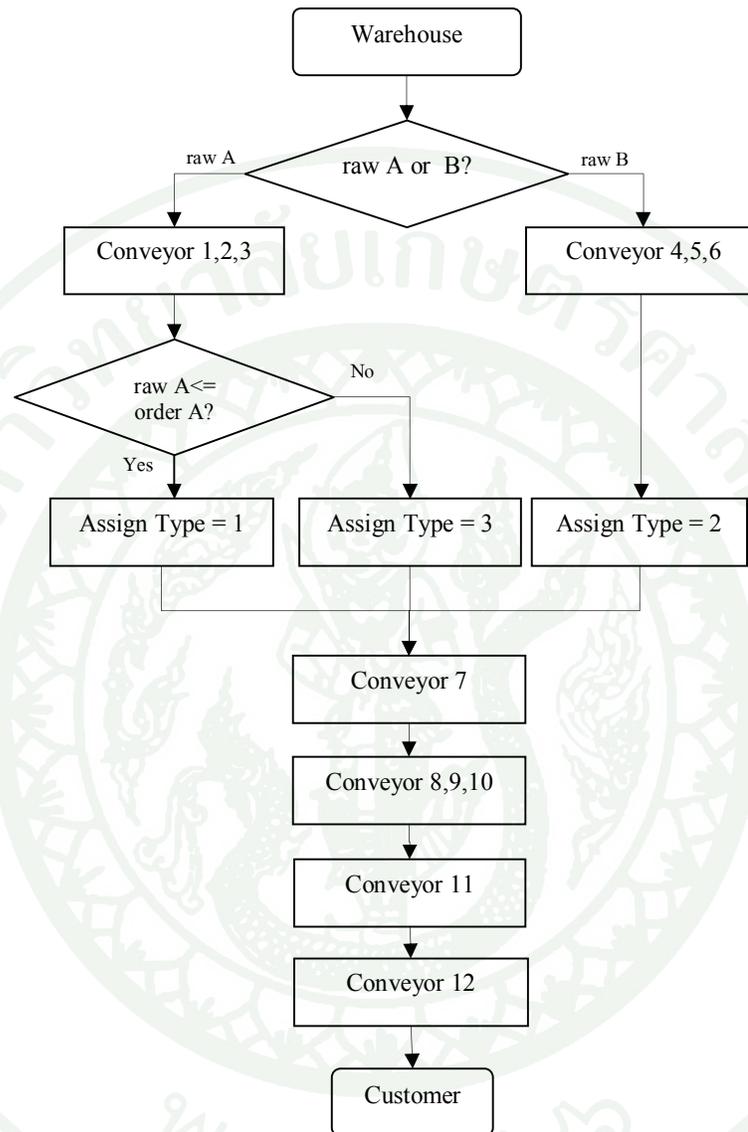
ตารางที่ 7 สรุปการแจกแจงเวลาการขนย้ายระหว่างสถานีงานของผลิตภัณฑ์ B (นาที)

สถานีที่		เวลาการผลิต	
จาก	ไป	ค่าเฉลี่ย	การแจกแจง
1	2	2.14	WEIB(2.36, 1.43)
2	3	6.49	6 + 1 * BETA(1.47, 1.06)
3	4	8.59	5 + WEIB(4.02, 2.11)
4	5	2.06	TRIA(1.1, 2.07, 3)
5	6	2.04	NORM(2.04, 0.432)

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการผลิตของสายพาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองบนโปรแกรม Arena ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 8 และภาพที่ 4

ตารางที่ 8 ข้อมูลสายพานลำเลียงที่ใช้ในระบบการผลิต

สายพานลำเลียงตัวที่	ความเร็ว (เมตรต่อนาที)	ความยาว (เมตร)
1	4.50	12.00
2	4.50	12.00
3	4.50	12.00
4	16.80	24.25
5	16.80	21.70
6	16.80	19.10
7	1.80	9.00
8	10.80	10.00
9	10.80	10.00
10	10.80	10.00
11	12.90	50.00
12	0.51	23.00



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิต เริ่มการผลิตโดยมีชิ้นงานเข้ามายังสถานีที่ 1 แล้วจะพิจารณาว่าเป็นวัตถุดิบ A หรือ B แล้วจะส่งไปยังสถานีงานที่ 2 ถ้าเป็น A จะส่งไปตักแต่งชิ้นส่วน โดยใช้สายพานลำเลียงที่ 1 2 หรือ 3 ถ้าเป็น B จะส่งไปตักแต่งชิ้นส่วนที่สายพานลำเลียง 4 5 และ 6 จากนั้นลำเลียงมายังสถานีที่ 3 ซึ่งทำการตัดวัตถุดิบ โดยใช้สายพานที่ 7 การผลิตที่สถานีนี้ จะนำมาพิจารณาจำนวนการผลิตรอบแรกไม่เกินออร์เดอร์ A โดยให้ทำการผลิตเป็นกลุ่มที่ 1 ผลิตเท่ากับออร์เดอร์ B เป็นกลุ่มที่ 2 และที่มากกว่าออร์เดอร์ A กำหนดให้ผลิตเป็นกลุ่มที่ 3 จากนั้นจะ

ส่งมาเข้าสู่สถานีที่ 4 ในการนำวัตถุดิบมาบรรจุขวด ซึ่งมีสายพานลำเลียง 3 ตัว คือสายพานลำเลียงตัวที่ 8 9 และ 10 ส่งไปสถานีที่ 5 ในการปิดฝาโดยใช้สายพานลำเลียงตัวที่ 11 และสถานีที่ 6 ทำการพาสเจอร์ไรซ์ ซึ่งใช้สายพานลำเลียงตัวที่ 12 และเมื่อผลิตเสร็จจะดำเนินการส่งให้ลูกค้าต่อไป

2. พัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

ระบบการผลิตของโรงงานที่ทำการศึกษากลับมาเป็นระบบการผลิตแบบผลึก ประกอบด้วยสถานีงาน 6 สถานี แต่ละสถานีจะใช้สายพานลำเลียงทำงานร่วมกับคนงานและเครื่องจักร ทำงานต่อเนื่องกันไปตลอด ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์และสรุปข้อมูลระบบการผลิตแล้วในข้อ 1 มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena ซึ่งแสดงตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างดังภาพผนวกที่ ก1 – ก3

3. การกำหนดค่าเริ่มต้นของการรันแบบจำลองสถานการณ์ (Run Setup)

3.1 ความยาวของแต่ละรอบการทำซ้ำ (Replication Length)

ผู้วิจัยได้กำหนดให้ความยาวของแต่ละรอบการทำซ้ำเท่ากับ 1 วัน (1 วันทำงานเท่ากับ 10 ชั่วโมง) สำหรับการรันแบบจำลองสถานการณ์ เนื่องจาก โรงงานตัวอย่างมีปริมาณออเดอร์ที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงทุกวัน ผู้วิจัยจึงกำหนดให้สอดคล้องกับระบบการผลิตจริง

3.2 การกำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำ (Number of Replications)

Banks *et al.* (2002) จำนวนรอบการทำซ้ำสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R = \left(\frac{t_{\alpha/2, R_0-1} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (4)$$

โดยที่ R คือ จำนวนรอบการทำซ้ำที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่เกินค่า ε

S_0 คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่สามารถยอมรับได้

ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยที่สามารถยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ 0.50

ซึ่งค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่นำไปแทนค่าลงในสมการ (4) นี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S_0 = \left(\frac{H.W. \times \sqrt{R_0}}{t_{\alpha/2, R_0-1}} \right) \quad (5)$$

โดยที่ S_0 คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

H.W. คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการทดลองสุ่มตัวอย่างคร่าวๆ

R_0 คือ จำนวนรอบการทำซ้ำเริ่มต้นที่ทำการทดลองมาอย่างคร่าวๆ

ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำเริ่มต้นสำหรับการรันแบบจำลองสถานการณ์เท่ากับ 10 รอบ ซึ่งนำผลจากการรันแบบจำลองได้ค่าของรอบระยะเวลาการผลิต จากนั้นนำค่า Half Width ที่ได้ไปคำนวณหารอบการทำซ้ำที่เหมาะสม โดยยอมรับความผิดพลาดที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จะได้จำนวนรอบในการประมวลผลเท่ากับ 12 รอบ

3.3 ช่วงเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period)

เนื่องจากระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างเป็นระบบที่มีการสิ้นสุด (Terminating System) ซึ่งเป็นระบบที่มีการสิ้นสุดการรันที่แน่นอนด้วยเงื่อนไขที่กำหนด หรือด้วยเวลาที่กำหนด ระบบนี้จะไม่มีส่วนเวลาการแกว่งของข้อมูล (Warm-up Period เท่ากับศูนย์) และสามารถทำซ้ำการรันแบบจำลองได้มากกว่าหนึ่งครั้ง เพื่อความถูกต้อง และความแม่นยำของผลลัพธ์ โดยความยาวของแต่ละรอบทำซ้ำขึ้นกับเวลาที่ระบบทำงาน (รุ่งรัตน์, 2551)

4. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วย (1) การพิสูจน์ยืนยัน (Verification)
(2) การทดสอบความถูกต้อง (Validation)

4.1 การพิสูจน์ยืนยัน

ในการสร้างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง ได้มีการศึกษาลักษณะการดำเนินงานของระบบการผลิตจริงในกระบวนการผลิตต่างๆ อย่างละเอียด และสร้างแบบจำลองระบบการผลิตให้สอดคล้องกับระบบการผลิตจริงทุกประการ ซึ่งได้มีการตรวจสอบการทำงานของขั้นตอนต่างๆ ให้เป็นไปตามลำดับขั้นตอนการผลิตของระบบการผลิตจริง

4.2 การทดสอบความถูกต้อง

การศึกษาระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างเป็นลักษณะของระบบ Terminating ซึ่งเป็นระบบที่มีจุดเริ่มต้น และจบการทำงานในแต่ละช่วงที่กำหนด ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองขึ้นมา ดังนั้นเพื่อความถูกต้องจึงจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานเพื่อหาความแตกต่างของทั้งสอง

การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานไว้ 2 ข้อสมมติฐาน คือ

4.2.1 ข้อสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ทราบค่าแน่นอน มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการปฏิเสธ

4.2.2 ข้อสมมติฐานรอง หรือข้อสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis, H_1) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อให้แย้งกับ H_0 มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการยอมรับ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับระบบการผลิตจริง ผู้วิจัยใช้การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากระบบการผลิตจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งพิจารณาจากรอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B แสดงดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ตารางที่ 9 สรุปข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B จากระบบการผลิตจริงจำนวน 12 รอบการผลิต

รอบการผลิตที่	รอบระยะเวลาการผลิต A (นาที)	รอบระยะเวลาการผลิต B (นาที)
1	145	181
2	140	182
3	142	181
4	142	181
5	143	182
6	140	182
7	141	183
8	142	183
9	141	182
10	144	182
11	141	183
12	145	183

ตารางที่ 10 สรุปข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B จากแบบจำลองระบบการผลิต จำนวน 12 รอบทำซ้ำ

รอบทำซ้ำที่	รอบระยะเวลาการผลิต A (นาที)	รอบระยะเวลาการผลิต B (นาที)
1	147.65	185.43
2	139.58	184.04
3	146.43	182.60
4	142.65	181.69
5	143.71	182.76
6	142.41	182.15
7	140.38	181.80
8	142.27	181.89
9	142.64	182.51
10	143.21	183.12
11	142.13	182.35
12	143.18	182.44

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 9 และตารางที่ 10 มาทำทดสอบสมมติฐานเพื่อหาความแตกต่างของระบบการผลิตจริงและแบบจำลองสถานการณ์ โดยทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของความแปรปรวน และทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 11 และตารางที่ 12

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างของรอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยระบบการผลิตจริงและแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ A จำนวน 12 รอบทำซ้ำ

รอบที่	เวลาของระบบจริง, Z_{ij}	เวลาของแบบจำลอง, W_{ij}	ค่าแตกต่าง, d_j	$(d_j - \bar{d})^2$
1	145	147.65	-2.65	3.23
2	140	139.58	0.42	1.62
3	142	146.43	-4.43	12.79
4	142	142.65	-0.65	0.04
5	143	143.71	-0.71	0.02
6	140	142.41	-2.41	2.42
7	141	140.38	0.62	2.17
8	142	142.27	-0.27	0.34
9	141	142.64	-1.64	0.62
10	144	143.21	0.79	2.70
11	141	142.13	-1.13	0.08
12	145	143.18	1.82	7.15

จากตารางที่ 11 การหาค่า $d_j = Z_{ij} - W_{ij}$ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ย μ_d และความแปรปรวน σ_d^2 โดยการตั้งสมมติฐานที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนี้

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_d = 0$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_d \neq 0$

ทำการคำนวณเพื่อทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานรองตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย $\bar{d} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K d_j$ มีค่าเท่ากับ -0.85
2. คำนวณหาค่าความแปรปรวน $S_d^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^K (d_j - \bar{d})^2$ มีค่าเท่ากับ 3.02
3. คำนวณหาค่าการแจกแจง t, $t_o = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$ มีค่าเท่ากับ -1.70

4. หาค่าวิกฤติ $t_{\alpha/2, K-1}$ ซึ่งเท่ากับ $t_{0.025, 11}$ แล้วนำค่าที่ได้ไปเปิดตาราง
ซึ่งจะได้ $t_{0.025, 11}$ มีค่าเท่ากับ 2.20

5. ทดสอบว่า ถ้า $|t_0| > t_{\alpha/2, K-1}$ จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และถ้า $|t_0| \leq t_{\alpha/2, K-1}$ จะ
ไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ผลการคำนวณสรุปได้ว่า $|t_0| \leq t_{\alpha/2, K-1}$ ซึ่งไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน
หลัก ดังนั้นระบบการผลิตจริงของโรงงานและแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ A ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความแตกต่างของรอบระยะเวลาการผลิตเฉลี่ยระบบการผลิตจริงและ
แบบจำลองของผลิตภัณฑ์ B จำนวน 12 รอบทำซ้ำ

รอบที่	เวลาของ ระบบจริง, Z_{ij}	เวลาของ แบบจำลอง, W_{ij}	ค่าแตกต่าง, d_j	$(d_j - \bar{d})^2$
1	181	185.43	-4.43	14.30
2	182	184.04	-2.04	1.94
3	181	182.60	-1.60	0.91
4	181	181.69	-0.69	0.00
5	182	182.76	-0.76	0.01
6	182	182.15	-0.15	0.25
7	183	181.80	1.20	3.42
8	183	181.89	1.11	3.09
9	182	182.51	-0.51	0.02
10	182	183.12	-1.12	0.22
11	183	182.35	0.65	1.69
12	183	182.44	0.56	1.46

จากตารางที่ 12 การหาค่า $d_j = Z_{ij} - W_{ij}$ ซึ่งค่าความแตกต่างนี้จะมีการแจกแจงแบบปกติ
ที่มีค่าเฉลี่ย μ_d และความแปรปรวน σ_d^2 โดยการตั้งสมมติฐานในช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนี้

สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_d = 0$

สมมติฐานรอง $H_1 : \mu_d \neq 0$

ทำการคำนวณเพื่อทดสอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานรองตามขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ย $\bar{d} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K d_j$ มีค่าเท่ากับ -0.65
2. คำนวณค่าความแปรปรวน $S_d^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^K (d_j - \bar{d})^2$ มีค่าเท่ากับ 2.48
3. คำนวณค่าการแจกแจง t, $t_o = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{K}}$ มีค่าเท่ากับ -1.43
4. หาค่าวิกฤติ $t_{\alpha/2, K-1}$ ซึ่งเท่ากับ $t_{0.025, 11}$ แล้วนำไปค่าไปเปิดค่าจากตาราง ซึ่งจะได้ออกมาเท่ากับ 2.20
5. ผลการคำนวณสรุปได้ว่า $|t_o| \leq t_{\alpha/2, K-1}$ ซึ่งไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นระบบการผลิตจริงของโรงงานและแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ B ไม่มีความแตกต่างกัน

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาความแตกต่างของระบบการผลิตจริงและแบบจำลองสถานการณ์ โดยพิจารณารอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B แสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตของโรงงานและระบบการผลิตจากแบบจำลองไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองสถานการณ์มีความถูกต้อง

5. สร้างนโยบายที่แตกต่างจากระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยสร้างระบบควบคุมการผลิตแบบดิงที่มีการใช้บัตรคัมบัง

เนื่องจากโรงงานประสบปัญหาการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ เกิดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตมากเกินไปความต้องการส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นโรงงานมีความจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบการผลิตใหม่ ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดิงเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยศึกษาการพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตแบบดิงที่มีการใช้บัตรคัมบังทำหน้าที่ส่งสัญญาณการผลิตเพื่อให้ผลิตในปริมาณที่ต้องการ และลดเวลารอคอยที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างแบบจำลองของระบบควบคุมการผลิตแบบดิงที่มีการใช้บัตรคัมบัง ดังภาพผนวกที่ ก4 – ก6

6. ทดสอบขนาดคัมบังด้วยการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์

จากแบบจำลองสถานการณ์ ระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังจะใช้สูตรของบริษัทโตโยต้าในการกำหนดจำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นให้กับแบบจำลอง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$K = \frac{D \times LT \times (1 + PV)}{CS} \quad (1)$$

K: จำนวนคัมบัง (Number of Kanban)

D: อัตราความต้องการ (Demand Rate) อัตราความต้องการผลิตต่อช่วงระยะเวลาที่พิจารณา

LT: ระยะเวลาล่า (Lead Time) ระยะเวลาตั้งแต่ออกแผนการผลิตจนถึงผลิตผลิตภัณฑ์ตามแผนที่กำหนดเสร็จพร้อมส่งมอบให้กับลูกค้า หรือเวลาในการผลิต (เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต + เวลาที่ใช้ในการจัดเก็บ) + เวลานำในการได้คัมบังกลับคืนมา

PV: ตัวแปรตามนโยบาย (Policy Variable) ค่าตัวแปรที่ต้องการเพื่อความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ นโยบายของบริษัทกำหนด เช่น ชั้นงานสำรอง (Safety Stock) เป็นศูนย์วันหรือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

CS: ขนาดบรรจุภาชนะ (Container Size) ปริมาณการบรรจุชั้นงานต่อ 1 ภาชนะ

จากสมการที่ (1) นำรอบระยะเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานมาคำนวณหาจำนวนบัตรคัมบัง

สำหรับผลิตภัณฑ์ A สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$K = \frac{D_A \times LT_A \times (1 + PV)}{CS}$$

โดยที่ D_A คือ อัตราความต้องการของผลิตภัณฑ์ A (หน่วยต่อนาที) LT_A คือ ระยะเวลาการผลิตหรือระยะเวลาการขนส่งของแต่ละสถานีงาน ซึ่งจะแยกเป็นสองส่วนเพื่อคำนวณหาคัมบังสั่งผลิต (ตารางที่ 4) และคัมบังส่งขนย้าย (ตารางที่ 5) PV คือ นโยบายของโรงงานที่กำหนดค่าเพื่อให้ ซึ่งในที่นี้ทางโรงงานกำหนดให้มีค่า 0.1 CS คือ ปริมาณการบรรจุชั้นงานต่อ 1 ภาชนะ เท่ากับ 1

เมื่อแทนค่าจำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena แล้ว ทำการรันแบบจำลองต่อเนื่องจำนวน 12 รอบทำซ้ำ และทำการเก็บค่าผลการรันที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนจำนวนบัตรคัมบังโดยใช้ OptQuest ในโปรแกรม Arena แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 จำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแต่ละสถานีของผลิตภัณฑ์ A

สถานีที่	จำนวนบัตรสั่งผลิต	จำนวนบัตรส่งขนย้าย
2	3	2
3	19	2
4	8	5
5	2	1
6	29	1

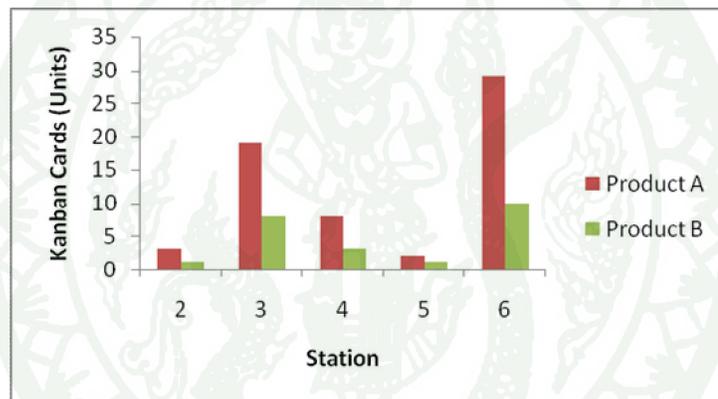
สำหรับผลิตภัณฑ์ B สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$K = \frac{D_B \times LT_B \times (1 + PV)}{CS}$$

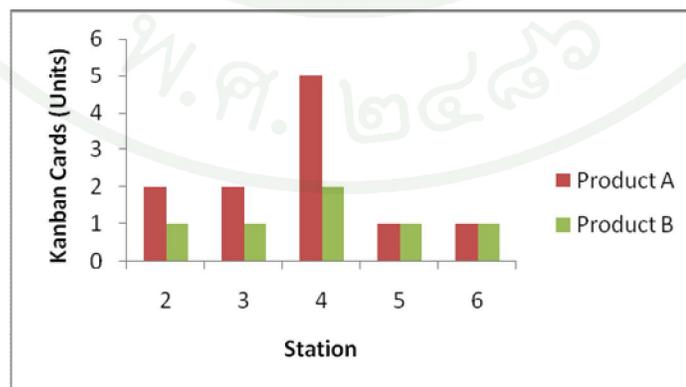
โดยที่ D_B คือ อัตราความต้องการของผลิตภัณฑ์ B (หน่วยต่อนาที) LT_B คือ ระยะเวลาการผลิตหรือระยะเวลาการขนส่งของแต่ละสถานีงาน ซึ่งจะแยกเป็นสองส่วนเพื่อคำนวณหาคัมบังสั่งผลิต (ตารางที่ 6) และคัมบังส่งขนย้าย (ตารางที่ 7) PV คือ นโยบายของโรงงานที่กำหนดค่าเพื่อไว้ซึ่งในที่นี้ทางโรงงานกำหนดให้มีค่า 0.1 CS คือ ปริมาณการบรรจุชิ้นงานต่อ 1 ภาชนะ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อแทนค่าจำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena แล้ว ทำการรันแบบจำลองต่อเนื่องจำนวน 12 รอบทำซ้ำ และทำการเก็บค่าผลการรันที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนจำนวนบัตรคัมบังโดยใช้ OptQuest ในโปรแกรม Arena แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 14 และแสดงแผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคัมบังทั้งสองชนิดของแต่ละผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6

ตารางที่ 14 จำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นที่คำนวณได้ในแต่ละสถานีของผลิตภัณฑ์ B

สถานีที่	จำนวนบัตรสั่งผลิต	จำนวนบัตรส่งขนย้าย
2	1	1
3	8	1
4	3	2
5	1	1
6	10	1



ภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคัมบังสั่งผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานี



ภาพที่ 6 แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคัมบังส่งขนย้ายที่ใช้ในแต่ละสถานี

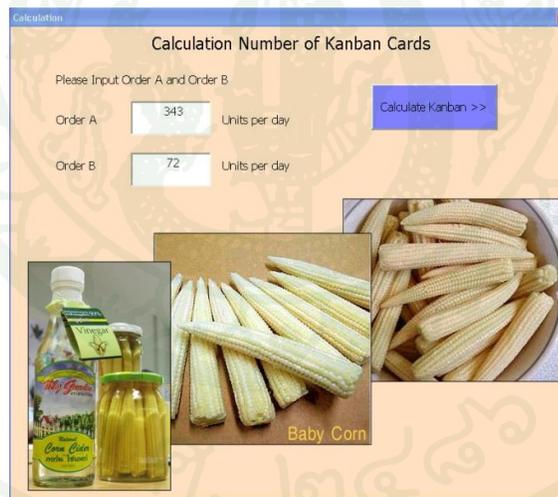
7. การพัฒนาส่วนติดต่อสื่อสารผู้ใช้งาน (User Interface)

7.1 การออกแบบส่วนติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้

ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Arena เป็นโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนป้อนข้อมูลเข้า (Input) และส่วนป้อนข้อมูลออก (Output) โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1.1 ส่วนป้อนข้อมูลเข้า

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณออร์เดอร์ A และออร์เดอร์ B ที่เข้ามาในแต่ละวัน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ส่วนป้อนข้อมูลเข้า

7.1.2 ส่วนป้อนข้อมูลออก

เป็นส่วนที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการนำป้อนข้อมูลเข้ามากำหนดหาจำนวนบัตรคัมบังที่ใช้ในแต่ละสถานี ดังแสดงในภาพที่ 8 และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการรัน โปรแกรม Arena ดังแสดงในภาพที่ 9

Calculation Number of Kanban Cards

Please Input Order A and Order B

Order A: 343 Units per day

Order B: 72 Units per day

Buttons: Calculate Kanban >>, << Clear

Number of Kanban Cards (Product A)			Number of Kanban Cards (Product B)		
	Production Card	Conveyance Card		Production Card	Conveyance Card
Station 2	4	1	Station 2	1	1
Station 3	24	2	Station 3	8	1
Station 4	10	5	Station 4	3	1
Station 5	2	1	Station 5	1	1
Station 6	37	1	Station 6	10	1

Buttons: <<Run Simulation >>, << Exit >>

ภาพที่ 8 ส่วนป้อนข้อมูล

Summary Report From ARENA

Summary Report

Average Work In Process A	144	units
Average Work In Process B	75	units
Average Cycle Time A	159	minutes
Average Cycle Time B	100	minutes

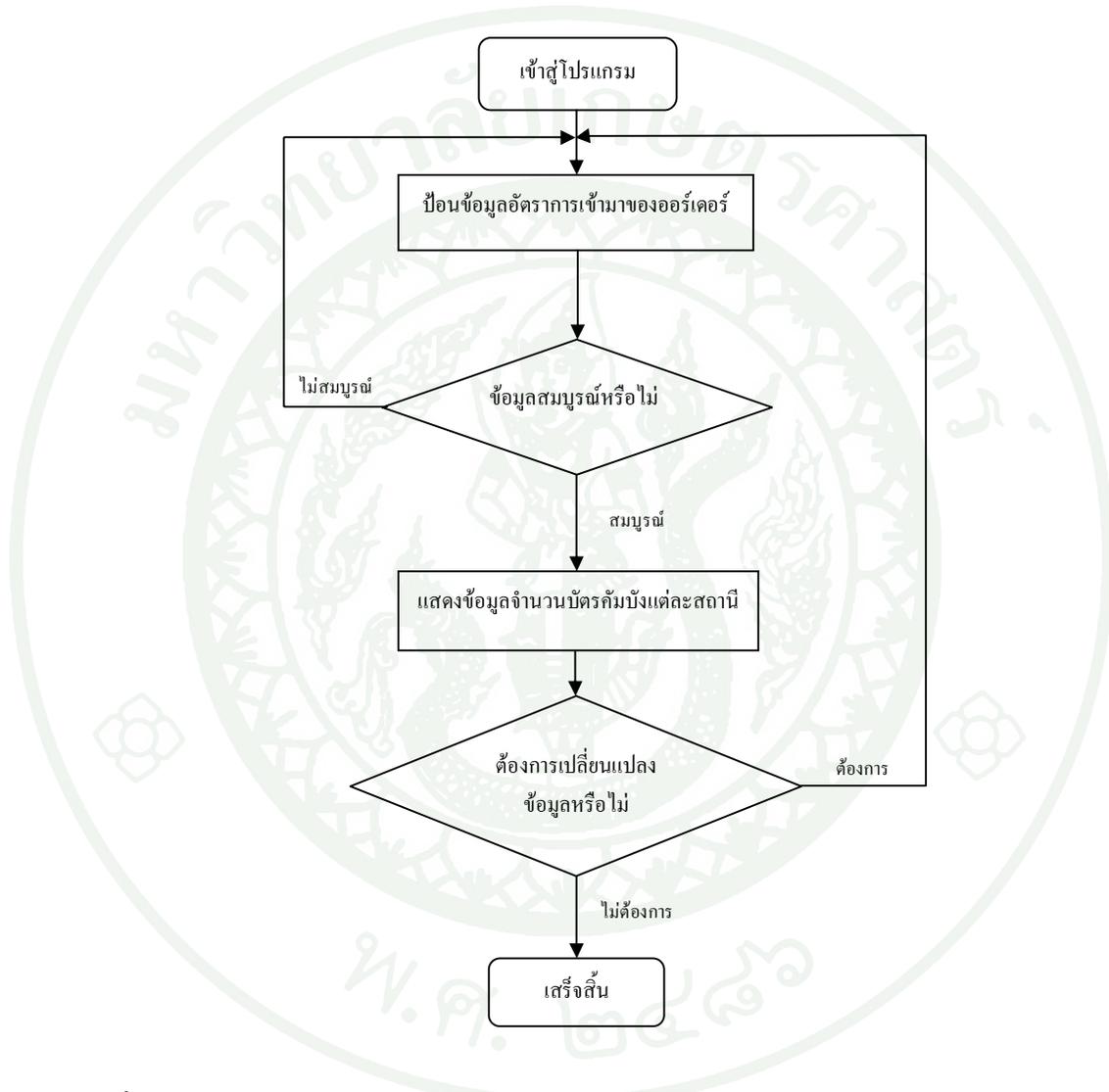
Buttons: <<Back, Exit>>

ภาพที่ 9 ส่วนป้อนข้อมูล (ผลจากโปรแกรม Arena)

7.2 ลำดับการป้อนข้อมูลป้อนเข้า

เมื่อผู้ใช้เข้าสู่โปรแกรม เพื่อคำนวณจำนวนบัตรคัมบังในแต่ละสถานีงาน ชุดคำสั่ง VBA ของโปรแกรม Arena จะถูกเรียกใช้งานเพื่อแสดงข้อมูลป้อนเข้า ซึ่งได้แก่ ปริมาณออเดอร์ A และออเดอร์ B ที่เข้ามาในแต่ละวัน ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลป้อนเข้านี้ได้ โดย

การกรอกข้อมูลผ่านหน้าต่างผู้ใช้ (User Form) ซึ่งสามารถแสดงลำดับการป้อนข้อมูลป้อนเข้า
ได้ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ลำดับการป้อนข้อมูลป้อนเข้า

7.3 การเชื่อมโยงโปรแกรม Arena กับ VBA

ผู้วิจัยออกแบบใช้ชุดคำสั่ง VBA ของ โปรแกรม Arena เพื่อรับข้อมูลป้อนเข้า เป็น
ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งได้แก่ ปริมาณออร์เดอร์ A และปริมาณออร์เดอร์ B

หลังจากที่ผู้ใช้ได้ป้อนข้อมูลปัจจัยนำเข้าแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณหาจำนวนบัตรคัมบังที่ใช้ในแต่ละสถานี จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปหาดัชนีชี้วัดผ่านแบบจำลองสถานการณ์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการรันแบบจำลอง คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของทั้งสองผลิตภัณฑ์

8. การกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้ OptQuest

เมื่อได้แบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบดิ่งที่มีการใช้บัตรคัมบัง ซึ่งจำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้นคำนวณจากสูตรของบริษัท โตโยต้า ซึ่งเป็นการกำหนดขนาดคัมบังในระบบที่ไม่มี ความแปรปรวนเกิดขึ้น (Deterministic) แล้วทำการรันแบบจำลองจำนวน 12 รอบทำซ้ำ ด้วยช่วง ความเชื่อมั่น 95% จากนั้นผู้วิจัยได้ใช้ OptQuest ใน โปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในระบบที่มีความแปรปรวน (Stochastic) ภายใต้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด โดยใช้จำนวนบัตรคัมบัง (คัมบังส่งผลิตและคัมบังขนส่ง) ของทั้งสองผลิตภัณฑ์เป็นตัวแปรตัดสินใจ โดยมีสมการวัตถุประสงค์และเงื่อนไขแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การกำหนดสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัด จาก OptQuest บน โปรแกรม Arena

ฟังก์ชัน	สมการ
สมการวัตถุประสงค์	Minimize [Work In Process A] + [Work In Process B]
ข้อจำกัด	1. [Product A.TotalTime] <= 128 2. [Product B.TotalTime] <= 163 3. [Product A.NumberOut] >= 260 4. [Product B.NumberOut] >= 65

จากตารางที่ 15 ผู้วิจัยต้องการหาจำนวนบัตรคัมบังซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจ โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตที่น้อยที่สุดของทั้งสองผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัด คือ ต้องการให้ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ลดลงจากระบบเดิม 10 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ 128 นาที และ 163 นาที ตามลำดับ และต้องการให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าจึงกำหนดให้จำนวนผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ที่ได้มีค่า

มากกว่าหรือเท่ากับปริมาณออร์เดอร์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ A มากกว่าหรือเท่ากับ 260 หน่วย และออร์เดอร์ B มากกว่าหรือเท่ากับ 65 หน่วย

การกำหนดช่วงของจำนวนบัตรคัมบัง ผู้วิจัยทำการทดลองกำหนดช่วงของจำนวนบัตรคัมบังซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจ อยู่ในช่วง $\pm 2, \pm 4, \pm 6, \pm 8, \pm 10, \pm 12, \pm 14, \pm 16, \pm 18, \pm 20$ ซึ่งค่าจำนวนบัตรคัมบังน้อยที่สุดมีค่าไม่น้อยกว่า 1 แสดงดังตารางที่ 16 – 25

ตารางที่ 16 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 2 จาก OptQuest บน โปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	4
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	4
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	7
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	3
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	3
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	3
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	3
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	4
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	3
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	3
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	5
P_Kanban A WS3	Integer	17	19	21
P_Kanban A WS4	Integer	6	8	10
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	4
P_Kanban A WS6	Integer	27	29	31
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	3
P_Kanban B WS3	Integer	6	8	10
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	5
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	3
P_Kanban B WS6	Integer	8	10	12

ตารางที่ 17 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 4 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	6
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	6
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	9
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	5
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	5
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	5
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	5
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	6
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	5
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	5
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	7
P_Kanban A WS3	Integer	15	19	23
P_Kanban A WS4	Integer	4	8	12
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	6
P_Kanban A WS6	Integer	25	29	33
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	5
P_Kanban B WS3	Integer	4	8	12
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	7
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	5
P_Kanban B WS6	Integer	6	10	14

ตารางที่ 18 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 6 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	8
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	8
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	11
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	7
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	7
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	7
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	7
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	8
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	7
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	7
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	9
P_Kanban A WS3	Integer	13	19	25
P_Kanban A WS4	Integer	2	8	14
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	8
P_Kanban A WS6	Integer	23	29	35
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	7
P_Kanban B WS3	Integer	2	8	14
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	9
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	7
P_Kanban B WS6	Integer	4	10	16

ตารางที่ 19 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 8 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	10
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	10
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	13
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	9
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	9
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	9
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	9
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	10
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	9
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	9
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	11
P_Kanban A WS3	Integer	11	19	27
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	16
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	10
P_Kanban A WS6	Integer	21	29	37
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	7
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	16
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	11
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	9
P_Kanban B WS6	Integer	2	10	18

ตารางที่ 20 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 10 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	12
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	12
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	15
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	11
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	11
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	11
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	11
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	12
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	11
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	11
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	13
P_Kanban A WS3	Integer	9	19	29
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	18
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	12
P_Kanban A WS6	Integer	19	29	39
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	9
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	18
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	13
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	11
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	20

ตารางที่ 21 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 12 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	14
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	14
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	17
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	13
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	13
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	13
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	13
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	14
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	13
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	13
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	15
P_Kanban A WS3	Integer	7	19	31
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	20
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	14
P_Kanban A WS6	Integer	17	29	41
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	11
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	20
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	15
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	13
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	22

ตารางที่ 22 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 14 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	16
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	16
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	19
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	15
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	15
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	15
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	15
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	16
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	15
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	15
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	15
P_Kanban A WS3	Integer	5	19	33
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	22
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	16
P_Kanban A WS6	Integer	15	29	43
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	13
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	22
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	17
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	15
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	24

ตารางที่ 23 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 16 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	18
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	18
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	21
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	17
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	17
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	17
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	17
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	18
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	17
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	17
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	17
P_Kanban A WS3	Integer	3	19	35
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	24
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	18
P_Kanban A WS6	Integer	13	29	45
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	15
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	24
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	19
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	17
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	26

ตารางที่ 24 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 18 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	20
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	20
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	23
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	19
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	19
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	19
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	19
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	20
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	19
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	19
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	19
P_Kanban A WS3	Integer	3	19	37
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	26
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	20
P_Kanban A WS6	Integer	13	29	47
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	17
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	26
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	21
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	19
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	28

ตารางที่ 25 จำนวนบัตรคัมบังเปลี่ยนแปลงในช่วง ± 20 จาก OptQuest บนโปรแกรม Arena

Control Name	Type	Lower Bound	Suggested Value	Upper Bound
C_Kanban A WS2	Integer	1	2	22
C_Kanban A WS3	Integer	1	2	22
C_Kanban A WS4	Integer	1	5	25
C_Kanban A WS5	Integer	1	1	20
C_Kanban A WS6	Integer	1	1	21
C_Kanban B WS2	Integer	1	1	21
C_Kanban B WS3	Integer	1	1	21
C_Kanban B WS4	Integer	1	2	22
C_Kanban B WS5	Integer	1	1	21
C_Kanban B WS6	Integer	1	1	21
P_Kanban A WS2	Integer	1	3	23
P_Kanban A WS3	Integer	1	19	39
P_Kanban A WS4	Integer	1	8	28
P_Kanban A WS5	Integer	1	2	22
P_Kanban A WS6	Integer	11	29	49
P_Kanban B WS2	Integer	1	1	19
P_Kanban B WS3	Integer	1	8	28
P_Kanban B WS4	Integer	1	3	23
P_Kanban B WS5	Integer	1	1	21
P_Kanban B WS6	Integer	1	10	30

9. ทำการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดที่ต้องการศึกษา

ทำการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดที่ต้องการศึกษา โดยเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของ (1) ระบบการผลิตของโรงงานที่ศึกษา (2) ระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังในการสั่งผลิต ซึ่งมีการปรับค่าจำนวนบัตรคัมบังโดยใช้ OptQuest โดยการเปรียบเทียบใช้วิธี Common Random Number (CRN) ในการเปรียบเทียบระบบการผลิต ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดการยอมรับที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ซึ่งหมายถึงระดับนัยสำคัญของการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 0.05

2. กำหนดรอบทำซ้ำ R เท่ากับ 12 รอบทำซ้ำ

3. หาค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) ν เท่ากับ $R-1$

4. นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทั้งหมดไปเปิดหาค่า $t_{\alpha/2, \nu}$ จากตารางการแจกแจงที

5. หาค่า Standard Error เท่ากับ $s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2}) = s.e.(\bar{D}) = \frac{S_D}{\sqrt{R}}$

6. หาค่า $D_r = Y_{r1} - Y_{r2}$

7. หาค่าความแปรปรวน $S_D^2 = \frac{1}{R-1} \sum_{r=1}^R (D_r - \bar{D})^2$

8. นำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบพิจารณา

หาทางเลือกที่ดีที่สุด $\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2} - t_{\alpha/2, \nu} s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2}) \leq \theta_1 - \theta_2 \leq \bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2} + t_{\alpha/2, \nu} s.e.(\bar{Y}_{\cdot 1} - \bar{Y}_{\cdot 2})$

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการหาค่าตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้ OptQuest

จากแบบจำลองระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังที่คำนวณ โดยใช้สูตรของบริษัท โตโยต้า เมื่อนำมาหาค่าตัวแปรตัดสินใจโดยใช้ OptQuest แสดงผลการทดลองเปลี่ยนแปลงค่า จำนวนบัตรคัมบังที่ใช้ในแต่ละสถานีของทั้งสองผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในช่วง $\pm 2, \pm 4, \pm 6, \pm 8, \pm 10, \pm 12, \pm 14, \pm 16, \pm 18, \pm 20$ ผลการทดลองได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของคัมบังที่อยู่ในช่วง ± 16 ให้ค่าสมการวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขที่ดีที่สุด แสดงผลดังภาพที่ 11 – 15

Objective Summary	
Objective	Status
55.000000	Feasible

ภาพที่ 11 ผลสรุปสมการวัตถุประสงค์จากการใช้ OptQuest (ช่วงคัมบัง ± 16)

Control Summary				
Control Nam	Type	Low Bound	Solution	High Bound
C_Kanban A W52	Integer	1	2	18
C_Kanban A W53	Integer	1	1	18
C_Kanban A W54	Integer	1	1	21
C_Kanban A W55	Integer	1	1	17
C_Kanban A W56	Integer	1	1	17
C_Kanban B W52	Integer	1	1	17
C_Kanban B W53	Integer	1	1	17
C_Kanban B W54	Integer	1	1	18
C_Kanban B W55	Integer	1	1	17
C_Kanban B W56	Integer	1	1	17
P_Kanban A W52	Integer	1	3	19
P_Kanban A W53	Integer	3	6	35
P_Kanban A W54	Integer	1	8	20
P_Kanban A W55	Integer	1	3	18
P_Kanban A W56	Integer	13	13	41
P_Kanban B W52	Integer	1	1	17
P_Kanban B W53	Integer	1	4	25
P_Kanban B W54	Integer	1	1	19
P_Kanban B W55	Integer	1	1	17
P_Kanban B W56	Integer	1	4	26

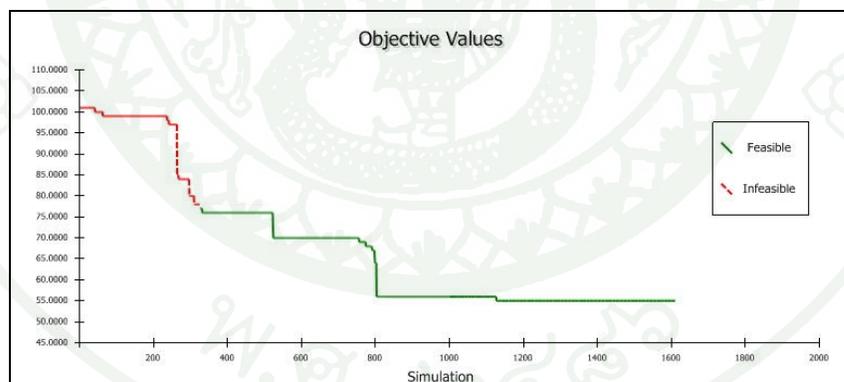
ภาพที่ 12 ผลสรุปตัวแปรควบคุมจากการใช้ OptQuest (ช่วงคัมบัง ± 16)

Response Summary	
Response Name /	Value
product A.NumberOut	265.333333
product A.TotalTime	81.618743
product B.NumberOut	72.666667
product B.TotalTime	117.93095
Work In Process A	39
Work In Process B	16

ภาพที่ 13 ผลสรุปตัวแปรตอบสนองจากการใช้ OptQuest (ช่วงคัมบัง ± 16)

Constraint Summary					
Constraint Na /	Type	Status	Left Side	Operator	Right Side
New Constraint1	Non Linear	Feasible	81.618743	<=	128.000000
New Constraint2	Non Linear	Feasible	117.930950	<=	163.000000
New Constraint3	Non Linear	Feasible	265.333333	>=	260.000000
New Constraint4	Non Linear	Feasible	72.666667	>=	65.000000

ภาพที่ 14 ผลสรุปสมการเงื่อนไขจากการใช้ OptQuest (ช่วงคัมบัง ± 16)



ภาพที่ 15 กราฟผลสรุปสมการวัตถุประสงค์และรอบประมวลผลจาก OptQuest

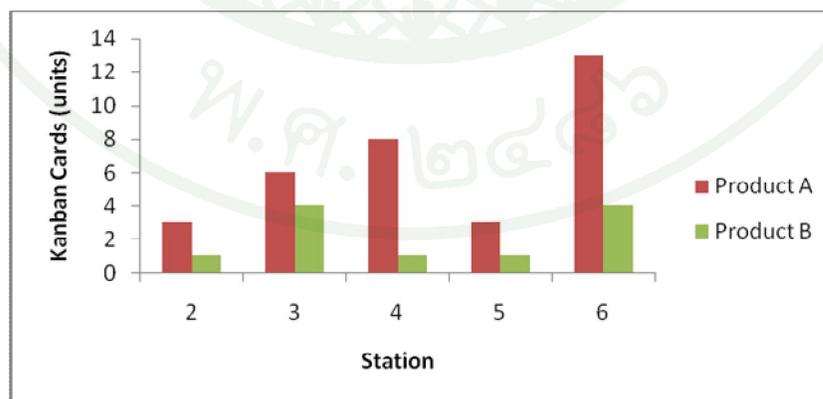
จากการทดลองกำหนดช่วงของจำนวนบัตรคัมบังทั้ง 10 ช่วง แสดงให้เห็นว่าช่วงของจำนวนบัตรที่ให้ค่าดีที่สุดในเรื่องของปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตน้อยที่สุด และอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด คือ การกำหนดจำนวนบัตรคัมบังให้อยู่ในช่วง ± 16 ซึ่งแสดงจำนวนบัตรคัมบังของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ดังตารางที่ 26 – 27 และดังภาพที่ 16 – 17

ตารางที่ 26 สรุปจำนวนบัตรคัมบังของผลิตภัณฑ์ A (OptQuest)

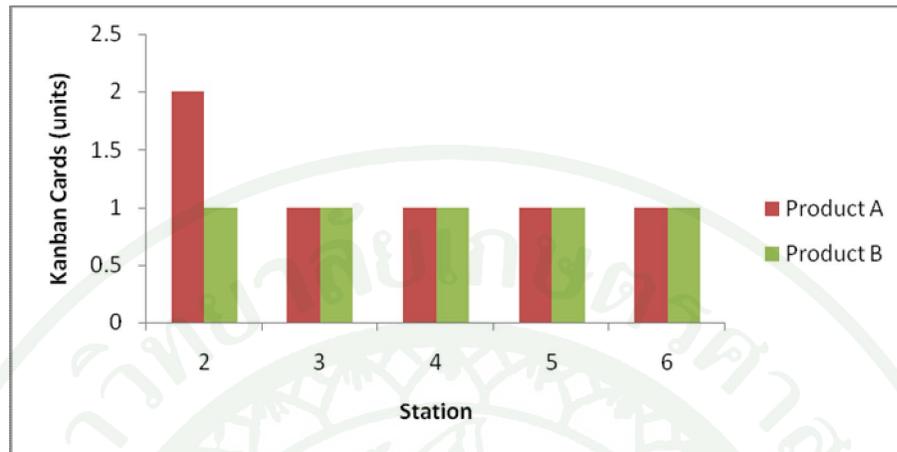
สถานีที่	จำนวนบัตรสั่งผลิต	จำนวนบัตรสั่งขนย้าย
2	3	2
3	6	1
4	8	1
5	3	1
6	13	1

ตารางที่ 27 สรุปจำนวนบัตรคัมบังของผลิตภัณฑ์ B (OptQuest)

สถานีที่	จำนวนบัตรสั่งผลิต	จำนวนบัตรสั่งขนย้าย
2	1	1
3	4	1
4	1	1
5	1	1
6	4	1



ภาพที่ 16 แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคัมบังสั่งผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานี (OptQuest)



ภาพที่ 17 แผนภูมิแท่งจำนวนบัตรคัมบังสั่งขนย้ายที่ใช้ในแต่ละสถานี (OptQuest)

นำค่าที่ได้จากตารางที่ 26 และตารางที่ 27 ไปปรับเปลี่ยนค่าจำนวนบัตรคัมบังในแบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิตแบบคิงที่มีการใช้บัตรคัมบังแล้วทำการรันแบบจำลองเพื่อนำผลมาใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองสถานการณ์ โดยแสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดของระบบการผลิตแต่ละระบบในช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ค่าเฉลี่ยดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของระบบการผลิต

ค่าดัชนีชี้วัด	ระบบการผลิต	
	ระบบที่ 1 (ระบบเดิม)	ระบบที่ 2 (ระบบใหม่)
ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A (หน่วย)	109.76 ± 3.12	39.07 ± 1.04
ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ B (หน่วย)	43.52 ± 1.74	15.93 ± 0.07
ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A (นาที)	143.18 ± 7.02	81.59 ± 0.08
ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ B (นาที)	182.44 ± 2.66	118.73 ± 0.65

2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองสถานการณ์

จากการศึกษาวิจัยการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ โดยการสร้างนโยบายที่แตกต่างจากระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างแบบดั้งเดิม โดยการสร้างระบบควบคุมระบบการผลิตแบบดั้งเดิมมีการใช้บัตรคัมบัง แสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอใหม่สามารถลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและรอบระยะเวลาการผลิตลงได้ ซึ่งแสดงดัชนีชี้วัดของแต่ละระบบดังตารางที่ 29 – 32

ตารางที่ 29 ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงาน (ระบบที่ 1)

รอบทำซ้ำที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต (หน่วย)	
	กระบวนการผลิต A	กระบวนการผลิต B
1	115.68	50.91
2	101.94	32.37
3	117.03	25.13
4	109.86	21.72
5	111.04	50.10
6	108.45	44.41
7	104.74	40.39
8	108.47	37.15
9	108.91	42.35
10	109.84	42.94
11	107.97	39.80
12	109.76	43.52

ตารางที่ 30 ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงาน (ระบบที่ 1)

รอบทำซ้ำที่	ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิต (นาที)	
	กระบวนการผลิต A	กระบวนการผลิต B
1	147.65	185.43
2	139.58	184.04
3	146.43	182.60
4	142.65	181.69
5	143.71	182.76
6	142.41	182.15
7	140.38	181.80
8	142.27	181.89
9	142.64	182.51
10	143.21	183.12
11	142.13	182.35
12	143.18	182.44

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตแบบดึงที่ใช้
บัตรคัมบัง (ระบบที่ 2)

รอบทำซ้ำที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต (หน่วย)	
	กระบวนการผลิต A	กระบวนการผลิต B
1	39.07	15.93
2	39.07	15.93
3	39.07	15.93
4	39.08	15.92
5	39.08	15.92
6	39.07	15.93
7	39.07	15.93
8	39.07	15.93
9	39.07	15.93
10	39.07	15.93
11	39.07	15.93
12	39.07	15.94

ตารางที่ 32 ค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบการผลิตแบบดิ่งที่ใช้บัตรคัมบัง (ระบบที่ 2)

รอบทำซ้ำที่	รอบระยะเวลาการผลิต (นาที)	
	กระบวนการผลิต A	กระบวนการผลิต B
1	81.70	118.70
2	81.45	117.16
3	81.71	117.93
4	81.42	119.50
5	81.51	119.89
6	81.53	117.67
7	81.71	118.77
8	81.57	118.03
9	81.68	119.12
10	81.38	118.74
11	81.67	118.33
12	81.74	120.90

จากการศึกษาวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองสถานการณ์ระบบการผลิต 2 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง (2) ระบบการผลิตแบบดิ่งที่มีการใช้บัตรคัมบัง ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นดังตารางที่ 33 – 36 โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้

1. นัยสำคัญของการทดสอบ α_i เท่ากับ 0.05
2. ค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ε เท่ากับ 5% ของค่าเฉลี่ย
3. รอบทำซ้ำ k เท่ากับ 12 รอบทำซ้ำ
4. องศาอิสระ ν เท่ากับ 11

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ A)

รอบทำซ้ำที่	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2
1	115.68	39.07
2	101.94	39.07
3	117.03	39.07
4	109.86	39.08
5	111.04	39.08
6	108.45	39.07
7	104.74	39.07
8	108.47	39.07
9	108.91	39.07
10	109.84	39.07
11	107.97	39.07
12	109.76	39.07
Sample mean, \bar{D}_i	70.40	
Sample standard deviation, S_{D_i}	4.07	
Sample variance, $S^2_{D_i}$	16.56	
Standard error, S_{D_i} / \sqrt{R}	1.17	
$t_{\alpha/2, v}$	2.20	

ค่าความเชื่อมั่นที่คำนวณได้เมื่อกำหนดค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ϵ เท่ากับ 5% ของค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง (82.42, 87.58) แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองระบบที่ 1 และระบบที่ 2 ในด้านของค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A ระบบที่ 2 ให้ผลการดำเนินการที่ดีกว่าระบบที่ 1

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ B)

รอบทำซ้ำที่	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2
1	50.91	15.93
2	32.37	15.93
3	25.13	15.93
4	21.72	15.92
5	50.10	15.92
6	44.41	15.93
7	40.39	15.93
8	37.15	15.93
9	42.35	15.93
10	42.94	15.93
11	39.80	15.93
12	43.52	15.94
Sample mean, \bar{D}_i	23.30	
Sample standard deviation, S_{D_i}	8.95	
Sample variance, $S^2_{D_i}$	80.14	
Standard error, S_{D_i} / \sqrt{R}	2.58	
$t_{\alpha/2, v}$	2.20	

ค่าความเชื่อมั่นที่คำนวณได้เมื่อกำหนดค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ε เท่ากับ 5% ของค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง (15.94, 30.67) แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองระบบที่ 1 และระบบที่ 2 ในด้านของค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ B ระบบที่ 2 ให้ผลการดำเนินการที่ดีกว่าระบบที่ 1

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ A)

รอบทำซ้ำที่	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2
1	147.65	81.70
2	139.58	81.45
3	146.43	81.71
4	142.65	81.42
5	143.71	81.51
6	142.41	81.53
7	140.38	81.71
8	142.27	81.57
9	142.64	81.68
10	143.21	81.38
11	142.13	81.67
12	143.18	81.74
Sample mean, \bar{D}_i	61.43	
Sample standard deviation, S_{D_i}	2.19	
Sample variance, $S^2_{D_i}$	4.78	
Standard error, S_{D_i}/\sqrt{R}	0.63	
$t_{\alpha/2, v}$	2.20	

ค่าความเชื่อมั่นที่คำนวณได้เมื่อกำหนดค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ϵ เท่ากับ 5% ของค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง (60.04, 62.82) แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองระบบที่ 1 และระบบที่ 2 ในด้านของค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ระบบที่ 2 ให้ผลการดำเนินการที่ดีกว่าระบบที่ 1

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของแบบจำลองระบบที่ 1 กับระบบที่ 2 (ผลิตภัณฑ์ B)

รอบทำซ้ำที่	ระบบที่ 1	ระบบที่ 2
1	185.43	118.70
2	184.04	117.16
3	182.60	117.93
4	181.69	119.50
5	182.76	119.89
6	182.15	117.67
7	181.80	118.77
8	181.89	118.03
9	182.51	119.12
10	183.12	118.74
11	182.35	118.33
12	182.44	120.90
Sample mean, \bar{D}_i	64.00	
Sample standard deviation, S_{D_i}	1.61	
Sample variance, $S^2_{D_i}$	2.59	
Standard error, S_{D_i} / \sqrt{R}	0.46	
$t_{\alpha/2, v}$	2.20	

ค่าความเชื่อมั่นที่คำนวณได้เมื่อกำหนดค่าความแตกต่างที่ยอมรับได้ ϵ เท่ากับ 5% ของค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง (62.98, 65.03) แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองระบบที่ 1 และระบบที่ 2 ในด้านของค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ B ระบบที่ 2 ให้ผลการดำเนินการที่ดีกว่าระบบที่ 1

วิจารณ์

เมื่อพิจารณาดัชนีชี้วัดจากแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตโรงงานตัวอย่างโดยยอมรับความผิดพลาดในช่วงความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B คือ 109.47 ± 3.12 หน่วย และ 43.52 ± 1.74 หน่วย ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B คือ 143.18 ± 7.02 นาที และ 182.44 ± 2.66 นาที ตามลำดับ จุดที่เป็นปัญหาของกระบวนการผลิต คือ สถานีที่ 3 ซึ่งเป็นสถานีต้ม ซึ่งต้องใช้เครื่องจักรร่วมกันทั้งผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ทำให้มีปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและเวลาในระบบการผลิตมาก เนื่องจากแต่ละสถานีทำงานไม่สัมพันธ์กัน และต้องสลับกันทำระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์ คือต้องทำการผลิต A จนเสร็จก่อนแล้วจึงทำการผลิต B

เมื่อนำแบบจำลองระบบการผลิตที่นำเสนอใหม่ ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดิงที่มีการใช้บัคคัมบังมาใช้ในการควบคุมการผลิต เพื่อต้องการลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและรอบระยะเวลาการผลิตของทั้งสองผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณจำนวนบัคคัมบังเริ่มต้นในแบบจำลองสถานการณ์โดยใช้สูตรของบริษัทโตโยต้า และมาปรับเปลี่ยนจำนวนบัคคัมบังโดยใช้ OptQuest บนโปรแกรม Arena ภายใต้วัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่กำหนด คือ ต้องการให้มีปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตน้อยที่สุด โดยที่สามารถลดรอบระยะเวลาผลิตลงจากระบบเดิมได้อย่างน้อย 10% และยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ผลการรัน OptQuest ได้ว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B คือ 39.07 ± 1.04 หน่วย และ 15.93 ± 0.07 หน่วย ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B คือ 81.59 ± 0.08 นาที และ 118.73 ± 0.65 นาที ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอใหม่สามารถลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและรอบระยะเวลาการผลิตได้ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของดัชนีชี้วัดของระบบการผลิตทั้งสอง แสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตทั้งสองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยได้นำเสนอแบบจำลองระบบการผลิตแบบใหม่ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกใช้ระบบการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตและรอบระยะเวลาการผลิต โดยแบบจำลองระบบการผลิตที่นำเสนอมีทั้งหมด 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบการผลิตของโรงงานที่ศึกษา
2. ระบบการผลิตแบบคิงที่มีการใช้บัตรคัมบังในการสั่งผลิตซึ่งปรับเปลี่ยนจำนวนบัตรคัมบังโดยใช้ OptQuest บน โปรแกรม Arena

ในการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองระบบการผลิตที่นำเสนอใหม่กับระบบการผลิตแบบเดิมของโรงงานตัวอย่าง เมื่อพิจารณาดัชนีชี้วัดในด้านค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ของระบบการผลิตที่นำเสนอใหม่ แสดงให้เห็นว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ลงได้ 64.40% และ 63.39% ตามลำดับ และลดค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B ลงได้ 43.02% และ 34.92% ซึ่งสรุปได้ว่าระบบการผลิตที่นำเสนอใหม่ดีกว่าระบบการผลิตแบบเดิมซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบผลึก

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่า การนำวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์มาใช้ในการศึกษาช่วยให้สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบการผลิต ทำให้สามารถทราบแนวทางในการนำเทคนิคการควบคุมระบบการผลิตแบบคิงไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมสำเร็จรูป VBA เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ และสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณออร์เดอร์ที่เข้ามาของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ โดยโปรแกรมจะรายงานจำนวนบัตรคัมบังเริ่มต้น ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ประมาณได้จากการรันแบบจำลองสถานการณ์ และจะรายงานค่าเฉลี่ยปริมาณชิ้นงานระหว่างผลิต และค่าเฉลี่ยรอบระยะเวลาการผลิตของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

ในการนำเสนอแนวทางการเปลี่ยนระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นการผลิตสินค้าทางการเกษตรมาใช้ระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้ปริมาณออร์เดอร์เป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการผลิตแทนการใช้ปริมาณวัตถุดิบ สามารถทำได้เนื่องจากโรงงานตัวอย่างนี้สามารถจัดการ ควบคุมปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบจากผู้จัดส่งได้ แต่โรงงานผลิตสินค้าทางการเกษตรบางโรงงาน อาจมีสัญญาหรือเงื่อนไขกับผู้จัดส่งวัตถุดิบ ทำให้ไม่สามารถจัดการกับปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบ และมีความจำเป็นต้องผลิตสินค้าไว้เผื่อสำรอง เพื่อป้องกันการขาดแคลนสินค้า ดังนั้นต้องใช้ปริมาณของวัตถุดิบที่เข้ามาเป็นตัวขับเคลื่อนการผลิต ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบผลักในการผลิตอย่างต่อเนื่องจะมีความเหมาะสมมากกว่าระบบการผลิตแบบดึง ดังนั้นการเลือกใช้ระบบการผลิตจึงต้องพิจารณาในหลายๆ ปัจจัย เพื่อให้ระบบการผลิตเกิดประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมมากที่สุด

ข้อสมมติฐานหรือขอบเขตงานวิจัยที่กำหนดขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการดำเนินงานในการวิจัย เช่น การศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ซึ่งโรงงานตัวอย่างนี้ยังมีกระบวนการผลิตอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้งานวิจัยยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความเร็วของสายพานลำเลียงที่ใช้เป็นแบบค่าคงที่ ดังนั้นถ้าหากในระบบการผลิตจำเป็นต้องเปลี่ยนความเร็วของสายพานลำเลียงที่ใช้ในแต่ละสถานี อาจทำให้ผลที่ได้จากระบบการผลิตจริงกับงานวิจัยไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นหากมีการวิจัยต่อไป อาจมีการศึกษา กำหนดให้ครอบคลุม และยืดหยุ่นกับระบบการผลิตจริง เพื่อให้สามารถมองภาพรวมในการปรับปรุงระบบการผลิตของทั้งโรงงาน และทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้กำหนดขนาดคัมบังในแต่ละสถานี โดยใช้ OptQuest มาปรับค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากการคำนวณด้วยสูตรของบริษัทโตโยต้า ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณจะสมมติให้มีค่าคงที่ เพราะเป็นสูตรที่ใช้คำนวณในระบบการผลิตที่ไม่มีความแปรปรวน (Deterministic) แต่ในความเป็นจริงระบบการผลิตของโรงงานย่อมมีความแปรปรวนเกิดขึ้น (Stochastic) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ OptQuest ในการกำหนดขนาดคัมบังให้กับระบบการผลิต

การทำวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มดัชนีชี้วัดตัวอื่น (Key Performance Index: KPI) เช่น ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Holding Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนการ

สั่งซื้อ ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองจากการกำหนดปัจจัยต่างๆ ได้ผลอย่างชัดเจนมากขึ้น และจะทำให้เครื่องมือที่ใช้มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้นแต่เนื่องจากโรงงานตัวอย่างไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลส่วนนี้ได้ ทำให้ไม่สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนมาใช้ระบบการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีการใช้บัตรคัมบัง จะส่งผลในด้านค่าใช้จ่ายและต้นทุนการผลิตมากน้อยเพียงใด

การนำวิธีการควบคุมระบบการผลิตโดยใช้บัตรคัมบังมาใช้ในโรงงานตัวอย่างจำเป็นต้องมีการทำความเข้าใจหลักการและขั้นตอนจึงต้องอาศัยการอบรมและใช้เวลาในการทำความเข้าใจเนื่องจากเป็นการเปลี่ยนลงระบบการผลิตใหม่ทั้งหมด และเป็นระบบที่ไม่เคยใช้มาก่อนและควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สอดคล้องกับการทำงานจริงโดยเชื่อมโยงข้อมูลของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- บัณฑิต ประดิษฐานวงษ์. 2544. **100** ถามตอบระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. แปลจาก Hirano Hiroyuki and Zaburi Kotaemasu. **JIT Donyu 100 no Q&A.** The Nikkan Kogyo Shimbun Ltd, Tokyo.
- วิลาสินี รอดนันทน์. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมการผลิตผลึกและตั้งและกำหนดขนาดคัมบังในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้วิธีการจำลองสถานการณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิทยา สุหฤตดำรง และ ชุพา กลอนกลาง. 2549. การผลิตแบบทันเวลาพอดี. อี.ไอ.สแควร์ พับลิชซิ่ง, กรุงเทพฯ. แปลจาก Productivity Development Team. **Just-in-time for Operators.** The Kraus Organization.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2544. การจำลองแบบปัญหา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ. 2551. คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม ARENA. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- Andijani, A.A. 1998. A multi-criterion approach for kanban allocation. **International Journal of Management Science** (26): 483-493.
- Ardalan, A. 1997. Analysis of local decision rules in a dual-kanban flow shop. **Decision Science** (28): 195-211.
- Banks, J., J.S. Carson, B.C. Nelson and D.M. Nicol. 2005. **Discrete-Event System Simulation.** 4th ed. Pearson Education, London.

- Chan, F.T.S. 2001. Effect of kanban size on just-in-time manufacturing systems. **Journal of Materials Processing Technology** (116): 146-160.
- Husseini, S.M. Moattar, C. O'Brien and S.T. Hosseini. 2006. A method to enhance volume flexibility in JIT production control. **International Journal of Production Economics**. (104): 653-665.
- Monden, Y. 1994. **Toyota Production System**. 2nd ed. Chapman&Hall, London.
- Nomura, J. and S. Takakuwa. 2004. Module-based modeling of flow-type multistage manufacturing systems adopting dual-card kanban system, pp. 1065-1072. *In* R.G. Ingalls, M.D. Rossetti, J.S. Smith and B.A. Peters, eds. **Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference**.
- Seki, Y. and N. Hoshino. 1999. Transient behavior of a single-stage kanban system based on the queueing model. **International Journal of Production Economics** (60-61): 369-374.
- Shannon, R.E. 1975. **System Simulation; the Art and Science**. Prentice Hall Inc., USA.
- Tardif, V. and L. Maaseidvaag. 2001. An adaptive approach to controlling kanban systems. **European Journal of Operational Research**. (132): 411-424.
- Treadwell, M.A. and J.W. Herrmann. 2005. A kanban module for simulating pull production in Arena, *In* M.E. Kuhl, N.M. Steiger, F.B. Armstrong and J.A. Joines, eds. **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference**. Institute for Systems Research University of Maryland, USA.
- Udomsawat, G., S.M. Gupta and S.V. Kamarthi. 2004. Multi-kanban mechanism for personal computer disassembly. **Environmentally Conscious Manufacturing** 4 (5583): 67-78.



ภาคผนวก

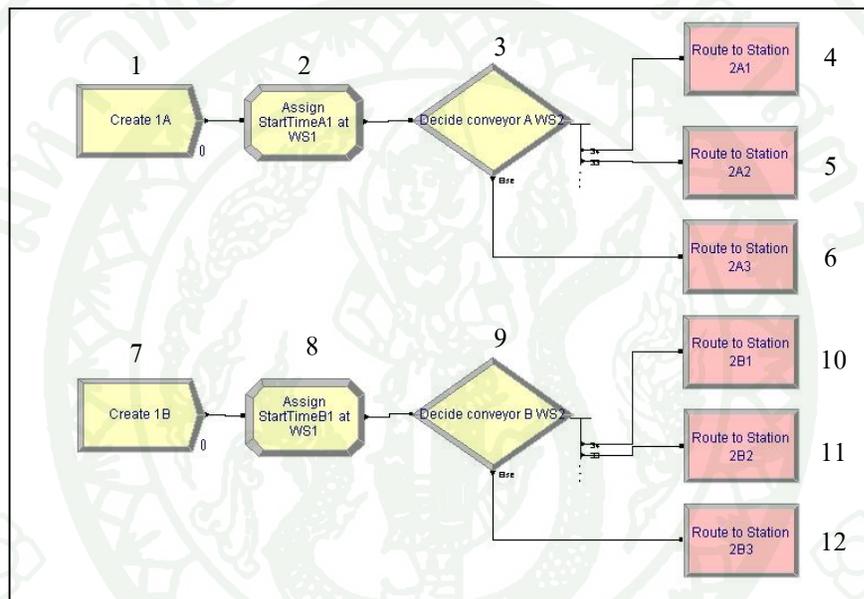


ภาคผนวก ก

รายละเอียดของแบบจำลองสถานการณ์บน โปรแกรม Arena

รายละเอียดของแบบจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม Arena

ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตและระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวเลขลงในแบบจำลอง เพื่อให้อธิบายหน้าที่ในแต่ละโมดูล (Module) ซึ่งแสดงดังภาพผนวกที่ ก1 – ก6



ภาพผนวกที่ ก1 ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบน โปรแกรม Arena (ส่วน Supplier)

ภาพผนวกที่ ก1 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Supplier) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **Create 1A** ทำหน้าที่สร้างเอนติตี้ material A ที่รับมาจาก Supplier โดยเข้ามาด้วยการสมการการแจกแจง $380 + 249 * \text{BETA}(1.66, 2.01)$ ขึ้นต่อวัน
2. **Assign StartTimeA1 at WS1** ทำหน้าที่เริ่มต้นในการจับเวลาที่สถานีที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ A
3. **Decide conveyor A WS2** พิจารณาการส่งวัตถุดิบ A เพื่อไปสถานีที่ 2
4. **Route to Station 2A1** ส่งวัตถุดิบ A ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 1 สถานีที่ 2

โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

5. Route to Station 2A2 ส่งวัตถุดิบ A ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 2 สถานีที่ 2

โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

6. Route to Station 2A3 ส่งวัตถุดิบ A ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 3 สถานีที่ 2

โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

7. Create 1A ทำหน้าที่สร้างเอนติตี้ material B ที่รับมาจาก Supplier โดยเข้ามาด้วยการสมการการแจกแจง 23 + EXPO(74.9) ชิ้นต่อวัน

8. Assign StartTimeB1 at WS1 ทำหน้าที่เริ่มต้นในการจับเวลาที่สถานีที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ B

9. Route to Station 2B1 ส่งวัตถุดิบ B ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 1 สถานีที่ 2

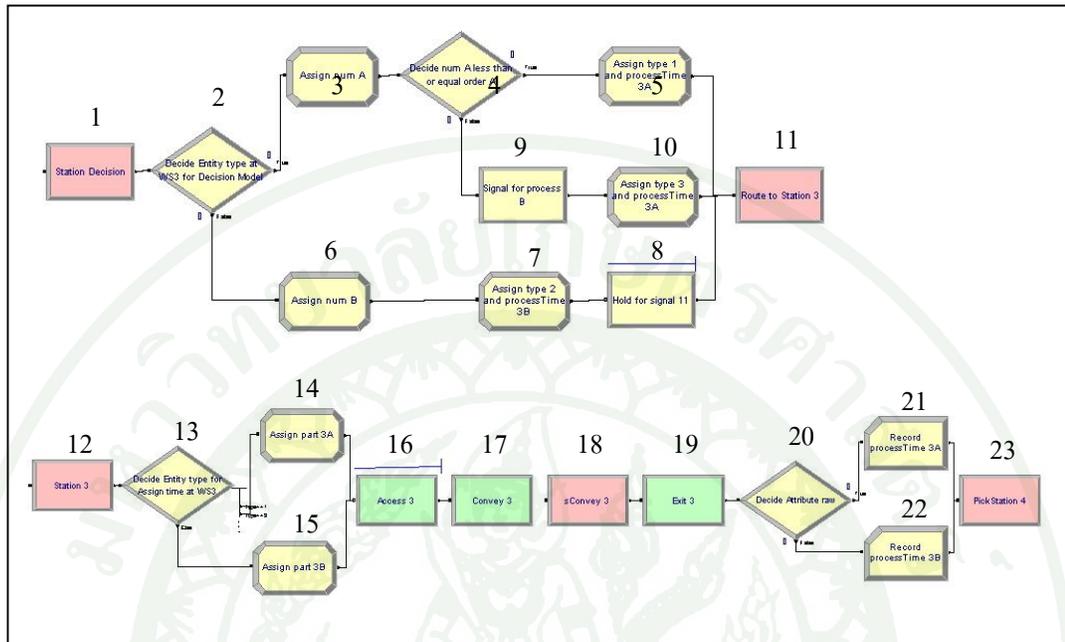
โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

10. Route to Station 2B2 ส่งวัตถุดิบ B ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 2 สถานีที่ 2

โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

11. Route to Station 2B3 ส่งวัตถุดิบ B ไปยังสายพานลำเลียงตัวที่ 3 สถานีที่ 2

โดยมีเวลาการขนส่งระหว่างสถานีด้วยสมการการแจกแจง WEIB(2.36, 1.43) นาที

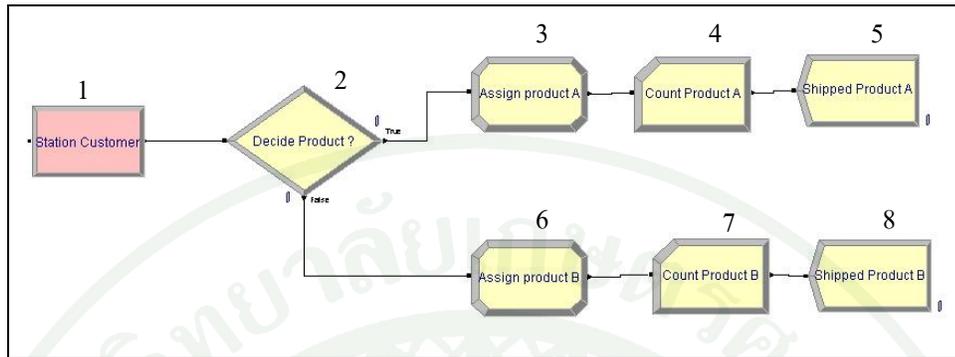


ภาพผนวกที่ ก2 ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบน โปรแกรม Arena (ส่วน Station)

ภาพผนวกที่ ก2 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบน โปรแกรม Arena (ส่วน Station) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **Station Decision** รับเอนติตี้เข้ามาเพื่อพิจารณาลำดับการผลิต A และ B
2. **Decide Entity type at WS3 for Decision Model** พิจารณาชนิดของเอนติตี้ โดยถ้าเป็น A เข้ามาที่สถานีนี้จะเป็นเอนติตี้ part2A และถ้าเป็น B เข้ามาที่สถานีนี้จะเป็นเอนติตี้ part2B
3. **Assign num A** สร้างตัวแปร num A เพื่อให้มีจำนวนเอนติตี้ที่เข้ามาที่โมดูลนี้โดยนับเพิ่มขึ้นทีละ 1
4. **Design num A less than or equal order A** พิจารณาว่า num A ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนออร์เดอร์ของลูกค้าหรือไม่ ถ้าเป็นจริงจะส่งไปเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป ถ้าไม่จริงจะส่งไปกำหนดลำดับการผลิตอื่น
5. **Assign type 1 and ProcessTime3A** กำหนดเอนติตี้ที่เข้ามาของ A ให้มีคุณสมบัติประจำตัวเป็น 1 และเริ่มจับเวลาการผลิตของสถานีนี้

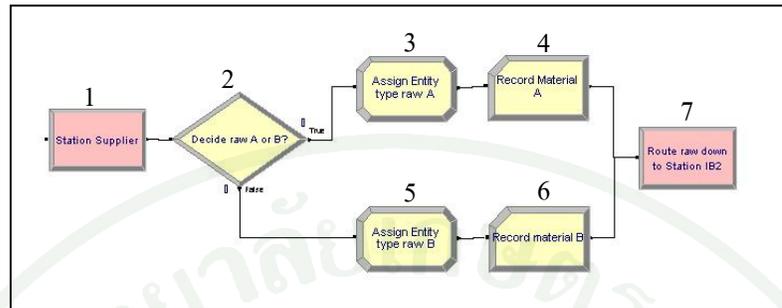
6. **Assign num B** สร้างตัวแปร num B เพื่อให้นับจำนวนเอนติตี้ที่เข้ามาที่โมดูลนี้โดยนับเพิ่มขึ้นทีละ 1
7. **Assign type 2 and ProcessTime3B** กำหนดเอนติตี้ที่เข้ามาของ B ให้มีคุณสมบัติประจำตัวเป็น 2 และเริ่มจับเวลาการผลิตของสถานีนี้
8. **Hold for signal** ทำหน้าที่รอสัญญาณการส่งชิ้นงานเข้าสู่โมดูลต่อไป โดยจะส่งไปได้ก็ต่อเมื่อชิ้นงานที่มีคุณสมบัติประจำตัวเป็น 1 ถูกผลิตหมดแล้ว
9. **Signal for Process B** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณการปล่อยชิ้นงานยังโมดูลที่ 8
10. **Assign type 3 and ProcessTime3A** กำหนดเอนติตี้ที่เข้ามาโมดูลนี้ ให้มีคุณสมบัติประจำตัวเป็น 3 และเริ่มจับเวลาการผลิตของสถานีนี้
11. **Route to Station 3** ส่งชิ้นงานที่พิจารณาลำดับการผลิตแล้วไปยังสถานีที่ 3
12. **Station 3** รับชิ้นงานมาเพื่อทำการผลิต
13. **Design Entity type for Assign time at WS3** พิจารณาว่าชิ้นงานมีคุณสมบัติประจำตัวเท่ากับ 1 หรือ 2 หรือ 3
14. **Assign part3A** กำหนดให้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติประจำตัวที่มีค่าเท่ากับ 1 และ 3 เป็นเอนติตี้ part 3A
15. **Assign part3B** กำหนดให้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติประจำตัวที่มีค่าเท่ากับ 2 เป็นเอนติตี้ part3B
16. **Access 3** ทำหน้าที่จองสายพานลำเลียงให้แก่ชิ้นงาน โดยจะต้องกำหนดให้เลือกลำดับการผลิตเป็น Lowest Attribute Value
17. **Convey 3** ทำหน้าที่ขนส่งชิ้นงาน
18. **sConvey 3** ทำหน้าที่ขนส่งชิ้นงาน
19. **Exit 3** ชิ้นงานออกจากสายพานลำเลียงนี้
20. **Decide Attribute raw** พิจารณาว่าชิ้นงานที่เข้ามาโมดูลนี้เป็น A หรือ B
21. **Record ProcessTime3A** เก็บข้อมูลเวลาการผลิตที่สถานีนี้ของ A
22. **Record ProcessTime3B** เก็บข้อมูลเวลาการผลิตที่สถานีนี้ของ A
23. **Pickstation 4** พิจารณาเลือกส่งชิ้นงานไปยังสถานีงานต่อไป



ภาพผนวกที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบน โปรแกรม Arena (ส่วน Customer)

ภาพผนวกที่ 3 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบน โปรแกรม Arena (ส่วน Customer) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

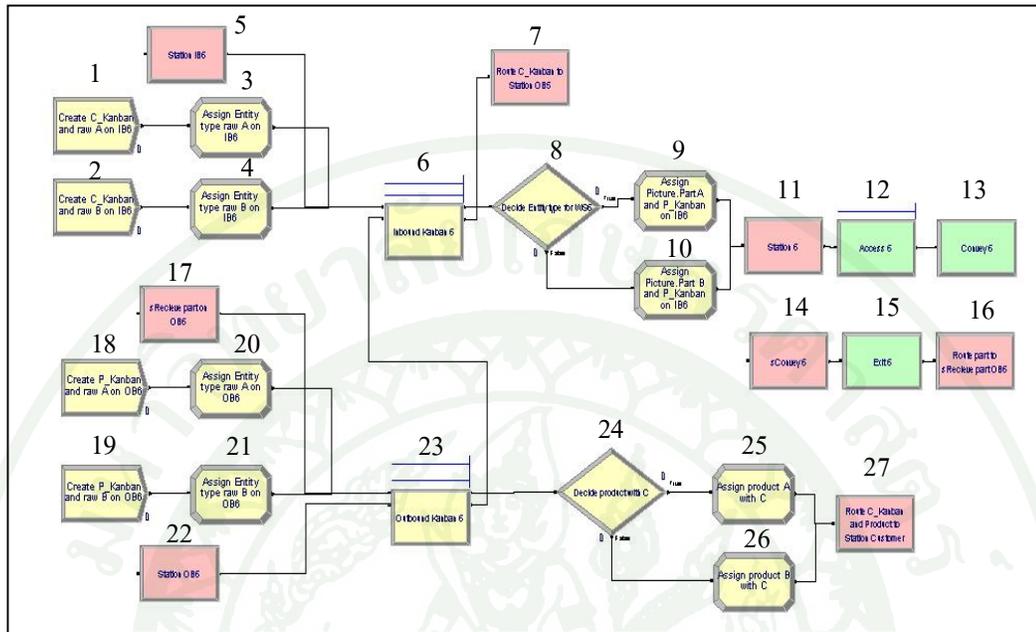
1. **Station Customer** รับผลิตภัณฑ์ที่มาจากสถานีงานก่อนหน้า
2. **Decide Product ?** พิจารณาว่าเป็น Product A หรือ Product B
3. **Assign product A** กำหนดชนิดเอนติตี้เป็น Product A
4. **Count Product A** นับจำนวนเอนติตี้ Product A ที่เข้าโมดูลนี้เพื่อเก็บข้อมูลในการผลิต
5. **Shipped Product A** ขนส่ง Product A ไปยังลูกค้าเพื่อนำเอนติตี้ออกจากระบบ
6. **Assign product B** กำหนดชนิดเอนติตี้เป็น Product B
7. **Count Product B** นับจำนวนเอนติตี้ Product A ที่เข้าโมดูลนี้เพื่อเก็บข้อมูลในการผลิต
8. **Shipped Product B** ขนส่ง Product A ไปยังลูกค้าเพื่อนำเอนติตี้ออกจากระบบ



ภาพผนวกที่ ก4 ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบคิงที่มีการใช้บัตรคัมบังบน โปรแกรม Arena (ส่วน Supplier)

ภาพผนวกที่ ก4 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Supplier) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **Station Supplier** ทำหน้าที่รับ C-Card เพื่อให้ส่งวัตถุดิบไปทำการผลิต
2. **Decide raw A or B?** พิจารณาว่าสัญญาณ C-Card ที่ได้รับเป็นของ A หรือ B ถ้าเป็น A จะส่งต่อไปยังโมดูลที่ 3 และถ้าเป็น B ส่งไปยังโมดูลที่ 5
3. **Assign Entity type raw A** กำหนดชนิดของเอนติตี้เป็น raw A
4. **Record Material A** นับจำนวน raw A ที่จัดส่งไป
5. **Assign Entity type raw B** กำหนดชนิดของเอนติตี้เป็น raw B
6. **Record Material B** นับจำนวน raw B ที่จัดส่งไป
7. **Route raw down to Station IB2** ส่งชิ้นงานที่ติด C-Card กลับไปยังสถานีถัดไปเพื่อนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการผลิต



ภาพผนวกที่ ก5 ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena (ส่วน Station)

ภาพผนวกที่ ก5 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Station) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **Create C_Kanban and raw A on IB6** ทำหน้าที่สร้างบัตรคัมบัง C-Card สำหรับ A
2. **Create C_Kanban and raw B on IB6** ทำหน้าที่สร้างบัตรคัมบัง C-Card สำหรับ B
3. **Assign Entity type raw A on IB6** ทำหน้าที่สร้างชนิดของเอนติตี้ที่เข้ามาเป็นให้มีคุณสมบัติประจำตัวเท่ากับ 1
4. **Assign Entity type raw B on IB6** ทำหน้าที่สร้างชนิดของเอนติตี้ที่เข้ามาเป็นให้มีคุณสมบัติประจำตัวเท่ากับ 2
5. **Station IB6** ทำหน้าที่รับสัญญาณ C-Card จากสถานีก่อนหน้าเพื่อให้อผลิตชิ้นงานส่งไป
6. **Inbound Kanban 6** ทำหน้าที่แกะ C-Card จากชิ้นงานและติด P-Card ให้กับ

ชิ้นงานเพื่อสั่งให้สถานีทำการผลิต

7. **Route C_Kanban to Station OB5** ส่ง C-Card กลับไปยังสถานีก่อนหน้าเพื่อเป็นการส่งสัญญาณให้สถานีก่อนหน้าส่งชิ้นงานมาให้

8. **Decide Entity type for WS6** พิจารณาชนิดของเอนติตี้เพื่อให้สถานีงานรู้ว่า เป็นชิ้นงาน A หรือ B

9. **Assign Picture partA and P_Kanban on IB6** สร้างรูปภาพให้ติดชิ้นงานไปเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

10. **Assign Picture partB and P_Kanban on IB6** สร้างรูปภาพให้ติดชิ้นงานไปเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา

11. **Station 6** รับชิ้นงานเพื่อทำการผลิตต่อไป

12. **Access 6** ทำหน้าที่จ้องสายพานลำเลียง

13. **Convey 6** ขนส่งชิ้นงานโดยใช้สายพานลำเลียง

14. **sConvey 6** ขนส่งชิ้นงานโดยใช้สายพานลำเลียง

15. **Exit 6** ชิ้นงานออกจากสายพานลำเลียง

16. **Route part to sRecieve part OB6** ส่งชิ้นงานไปยังสถานีเพื่อพิจารณาการติด

C-Card

17. **sRecieve part on OB6** รับชิ้นงานจากสายพานลำเลียง

18. **Create P_Kanban and raw A on IB6** ทำหน้าที่สร้างบัตรคัมบัง P-Card

สำหรับ A

19. **Create P_Kanban and raw B on IB6** ทำหน้าที่สร้างบัตรคัมบัง P-Card

สำหรับ A

20. **Assign Entity type raw A on OB6** ทำหน้าที่สร้างชนิดของเอนติตี้ที่เข้ามา เป็นให้มีคุณสมบัติประจำตัวเท่ากับ 1

21. **Assign Entity type raw B on OB6** ทำหน้าที่สร้างชนิดของเอนติตี้ที่เข้ามา เป็นให้มีคุณสมบัติประจำตัวเท่ากับ 1

22. **Station OB6** รับ C-Card ของออร์เดอร์ที่ส่งมาจาก Station Customer

23. **Outbound Kanban 6** ทำหน้าที่แกะสัญญาณ P-Card และติดสัญญาณ C-Card ให้กับชิ้นงาน โดยที่ P-Card จะส่งกลับไปยัง Inbound Kanban 6 เพื่อรอการส่งผลิต

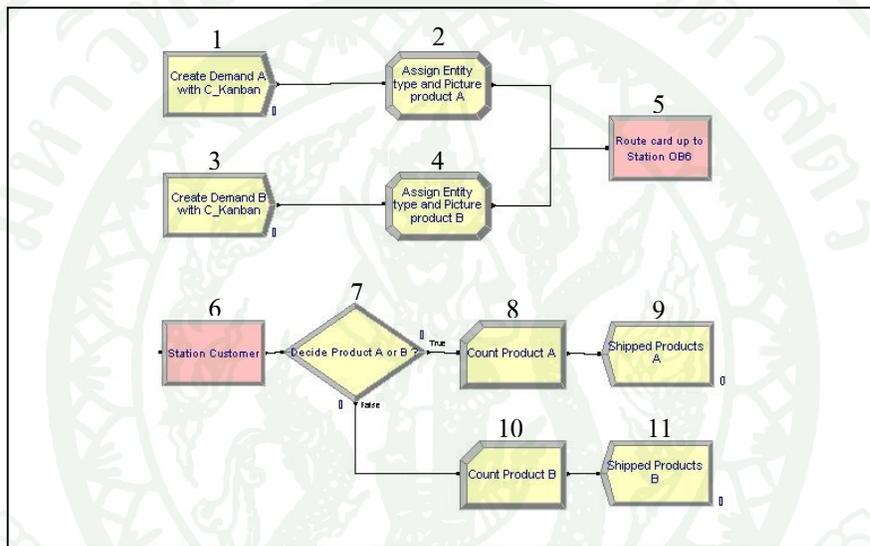
24. **Decide product with C** พิจารณาชิ้นงานที่ติด C-Card ว่ามีคุณสมบัติ

ประจำตัวมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2

25. Assign product A with C กำหนดชิ้นงาน A เป็นเอนติตี้ product A with C

26. Assign product B with C กำหนดชิ้นงาน B เป็นเอนติตี้ product B with C

27. Route C_Kanban and Product to Station Customer ทำหน้าที่ส่งชิ้นงานที่มีสัญญาณ C-Card ติดอยู่กับผลิตภัณฑ์เพื่อทำการจัดส่งไปยัง Station Customer



ภาพผนวกที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอใหม่ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบังบนโปรแกรม Arena (ส่วน Customer)

ภาพผนวกที่ 6 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่างบนโปรแกรม Arena (ส่วน Supplier) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. **Create Demand A with C_Kanban** ทำหน้าที่สร้างการเข้ามาของออเดอร์ A โดยออเดอร์ที่เข้ามาจะใช้ C-Card ส่งสัญญาณเพื่อให้สถานีที่ 6 ส่งชิ้นงานที่ผลิตเสร็จแล้วมาให้

2. **Assign Entity type and Picture product A** กำหนดชิ้นงานที่เข้ามาเป็นเอนติตี้ product A

3. **Create Demand B with C_Kanban** ทำหน้าที่สร้างการเข้ามาของออเดอร์ B โดยออเดอร์ที่เข้ามาจะใช้ C-Card ส่งสัญญาณเพื่อให้สถานีที่ 6 ส่งชิ้นงานที่ผลิตเสร็จแล้วมาให้

4. **Assign Entity type and Picture product B** กำหนดชิ้นงานที่เข้ามาเป็น

เอนดีตี product A

ที่ 6

ลูกค้า

A หรือ product B

จากระบบ

จากระบบ

5. **Route card up to Station OB6** ส่ง C-Card ทำหน้าที่ส่ง C-Card ไปยังสถานี

6. **Station Customer** ทำหน้าที่รับผลิตภัณฑ์สำเร็จจากสถานีงานเพื่อจัดส่งให้

7. **Decide Product A or B ?** พิจารณาผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จัดส่งมาว่าเป็น product

8. **Count Product A** นับจำนวนผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จัดส่งให้ลูกค้า A

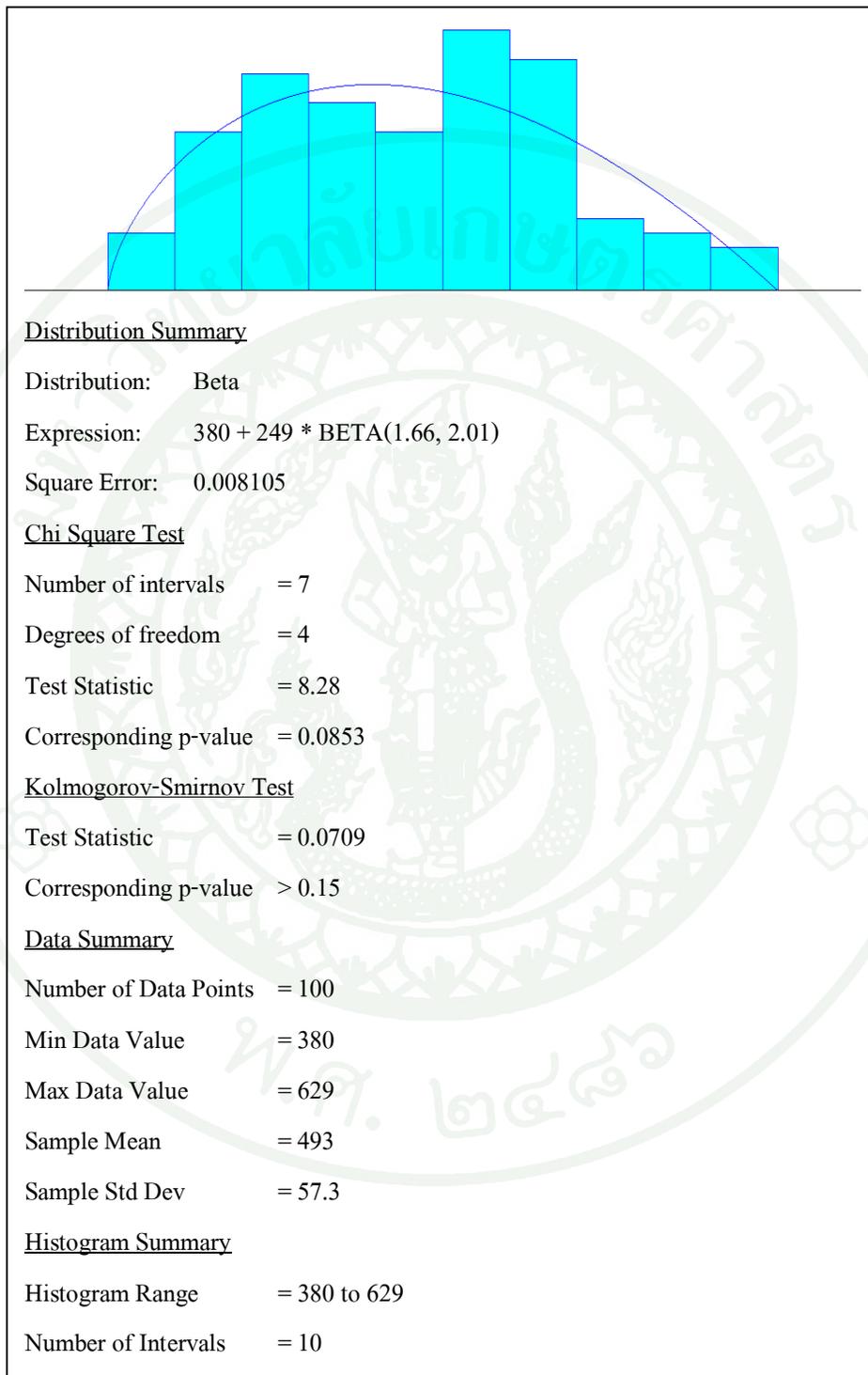
9. **Shipped Products A** ทำหน้าที่จัดส่ง Product A ให้ลูกค้าและนำเอนดีตีออก

10. **Count Product B** นับจำนวนผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จัดส่งให้ลูกค้า A

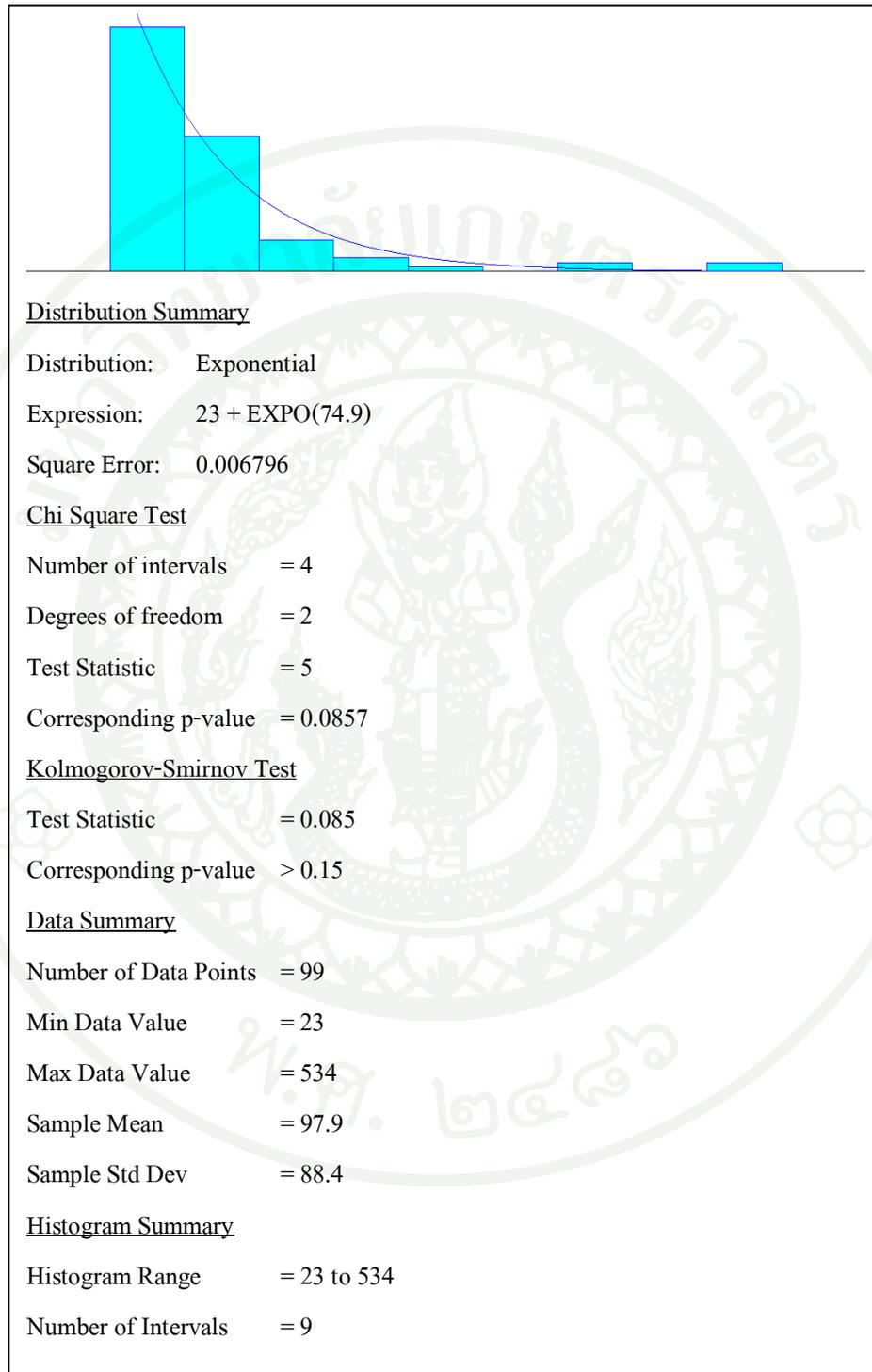
11. **Shipped Products B** ทำหน้าที่จัดส่ง Product B ให้ลูกค้าและนำเอนดีตีออก



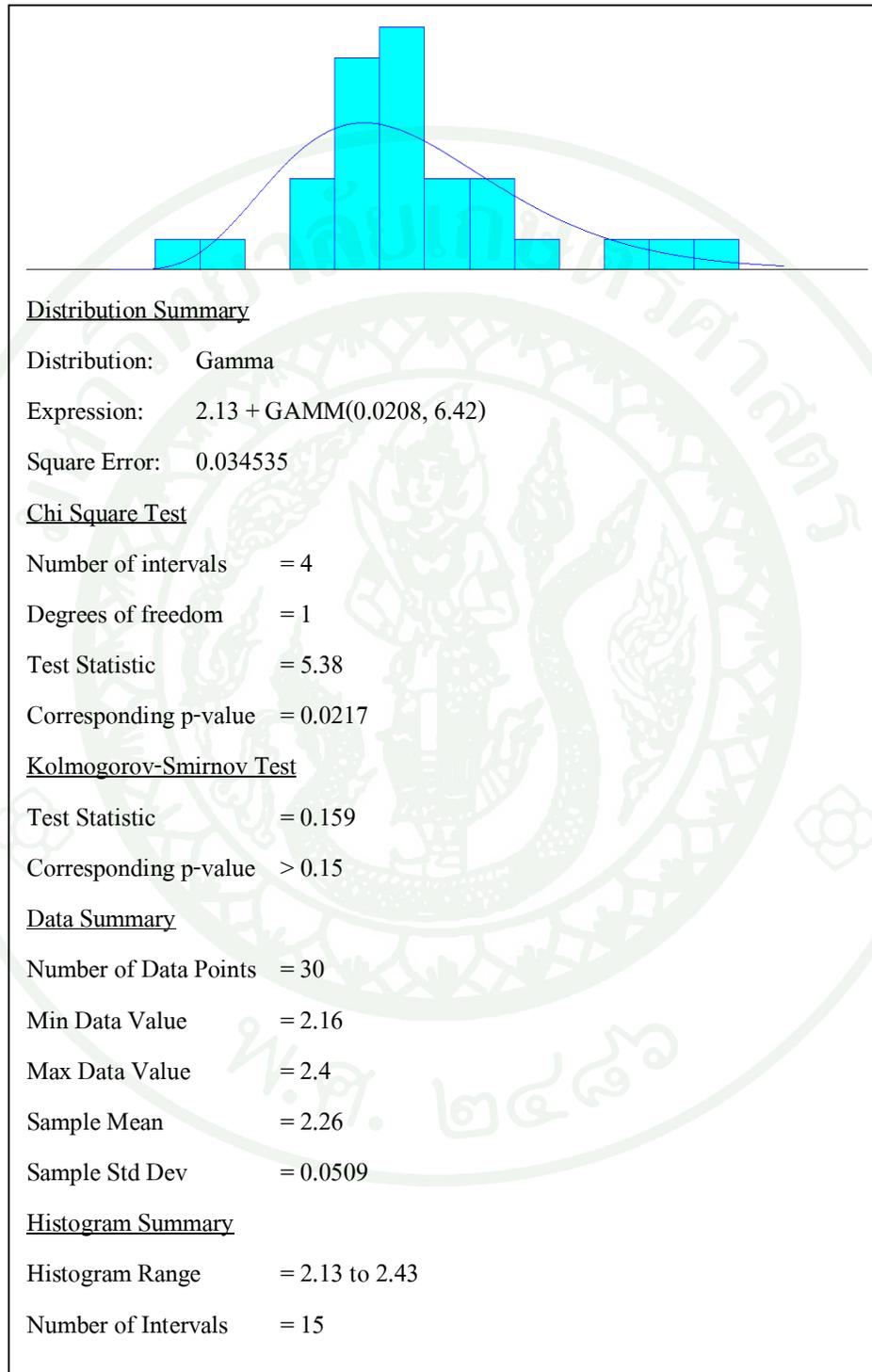
ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าโดยใช้ Input Analyzer



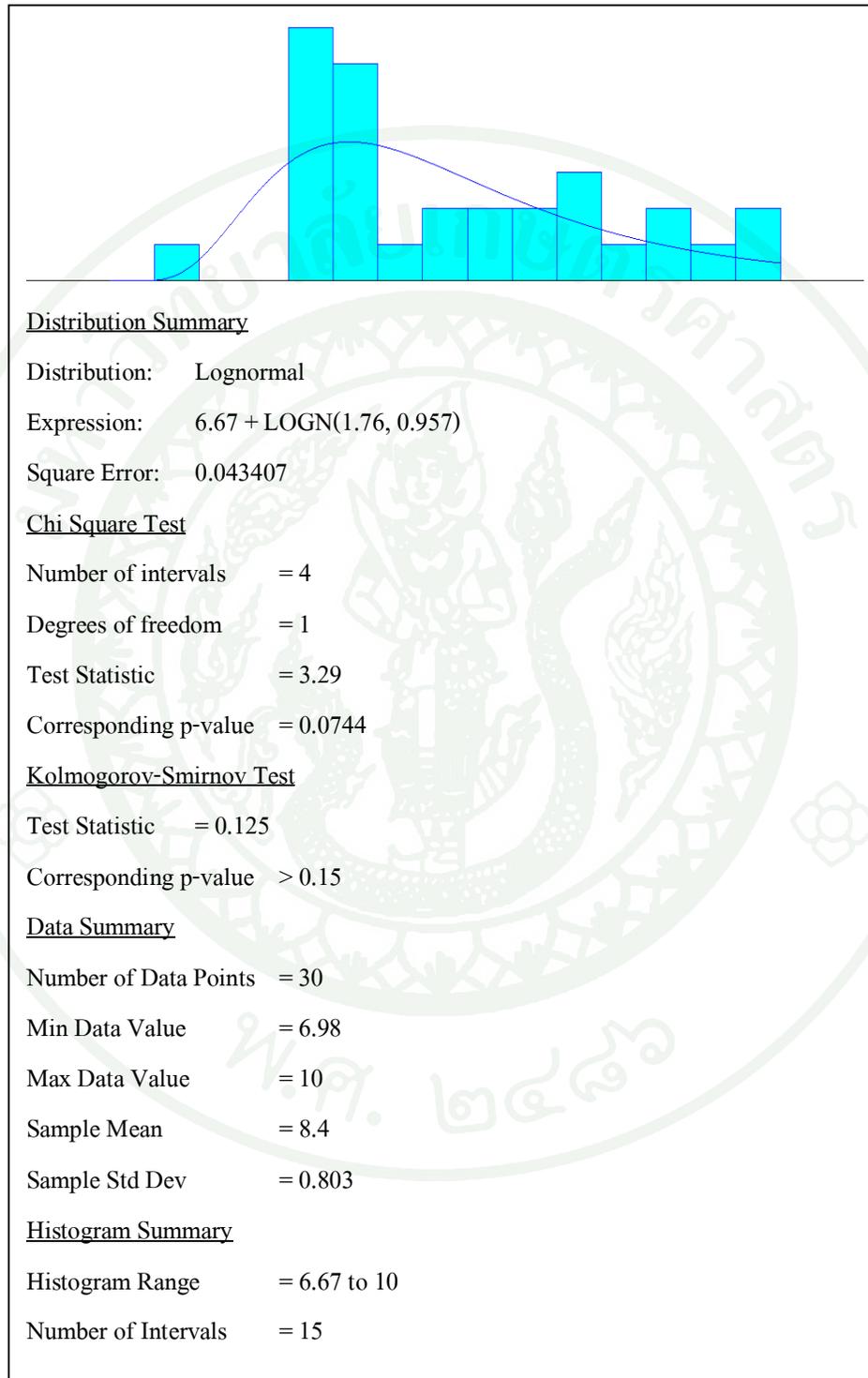
ภาพผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของวัดฤดูดับ A



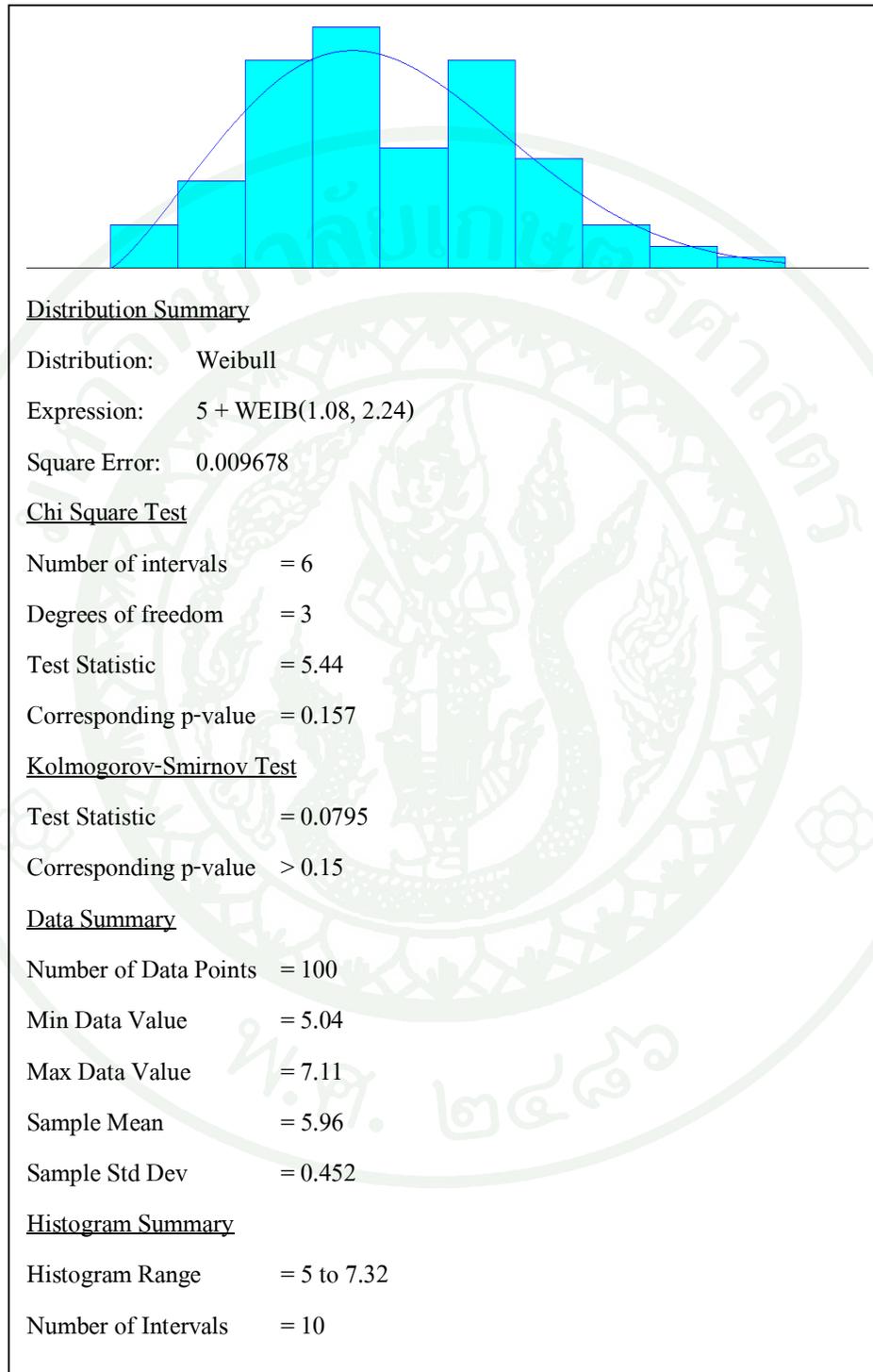
ภาพผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตรการเข้ามาของวัดถุดิบ B



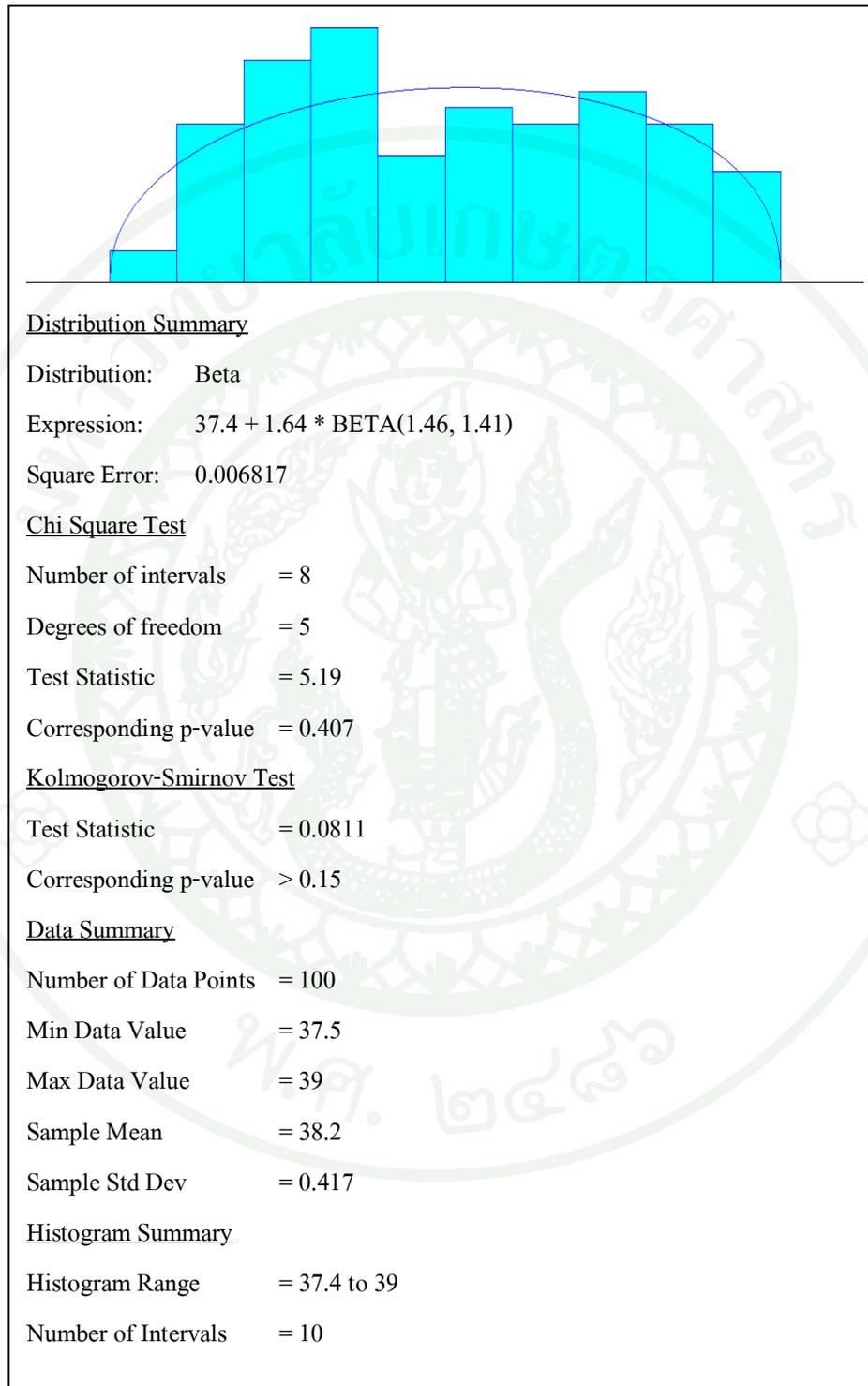
ภาพผนวกที่ ๓3 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตรการเข้ามาของออร์เดอร์ A



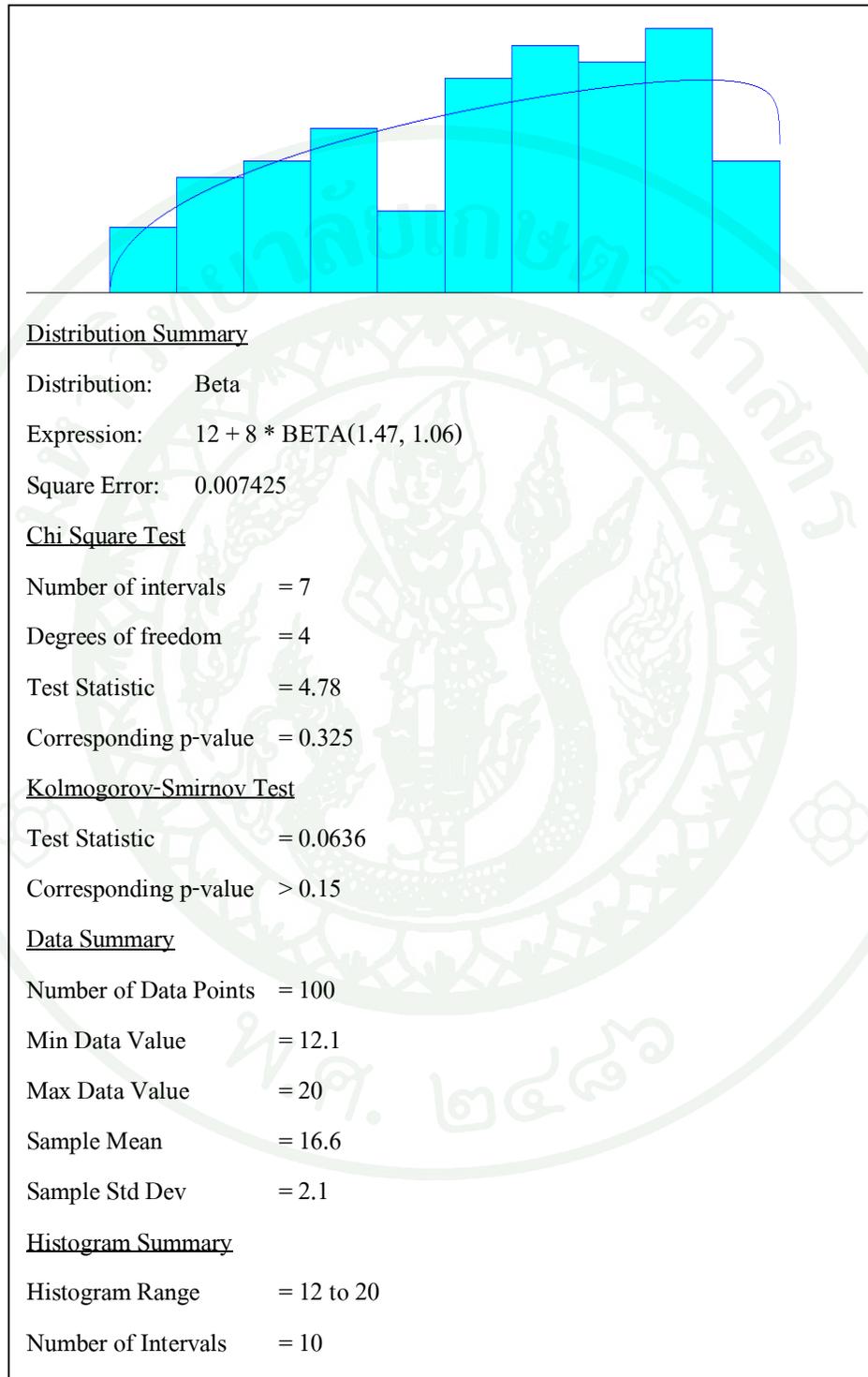
ภาพผนวกที่ ๗4 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงอัตราการเข้ามาของออร์เดอร์ B



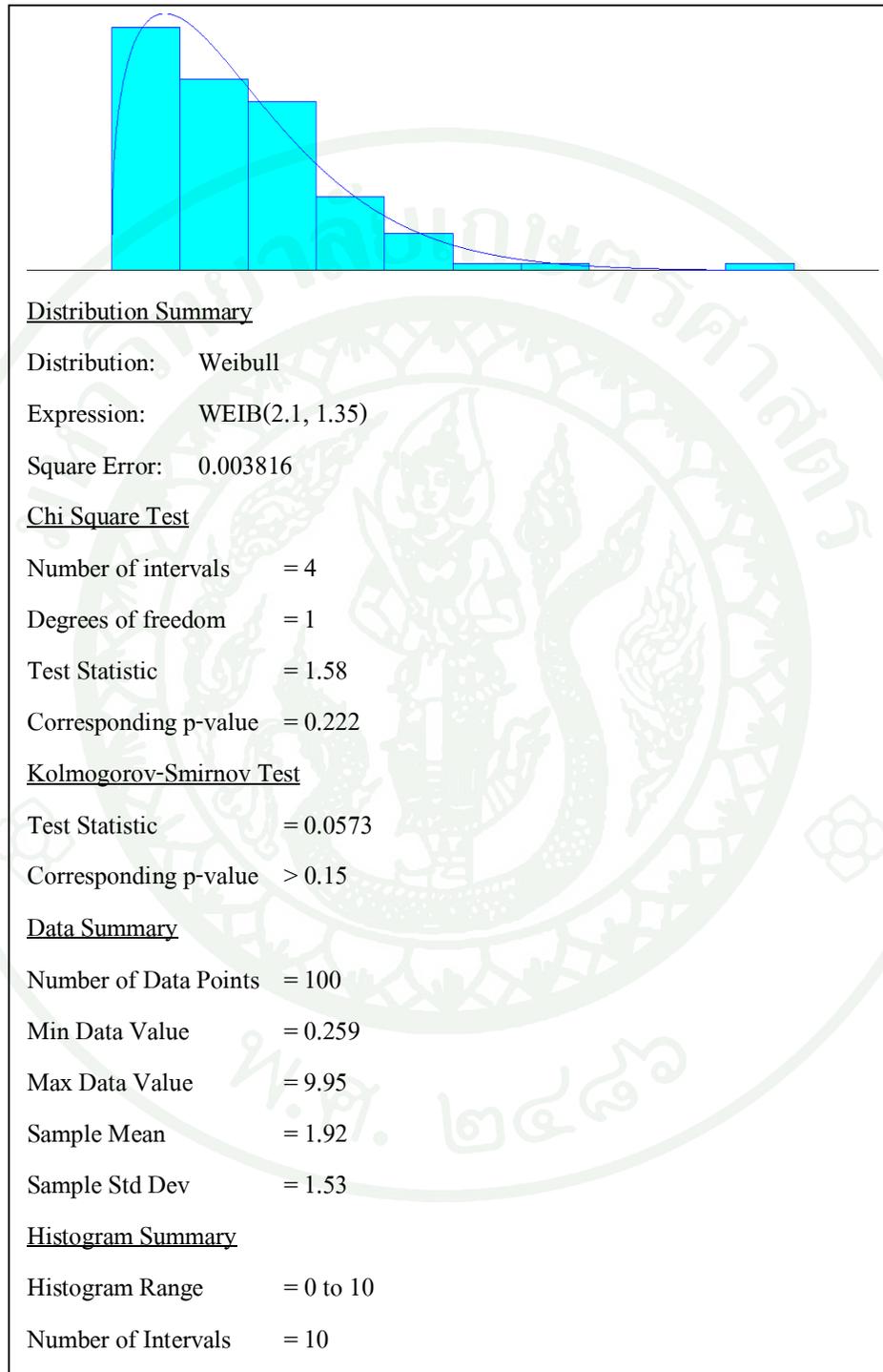
ภาพผนวกที่ ข5 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ A



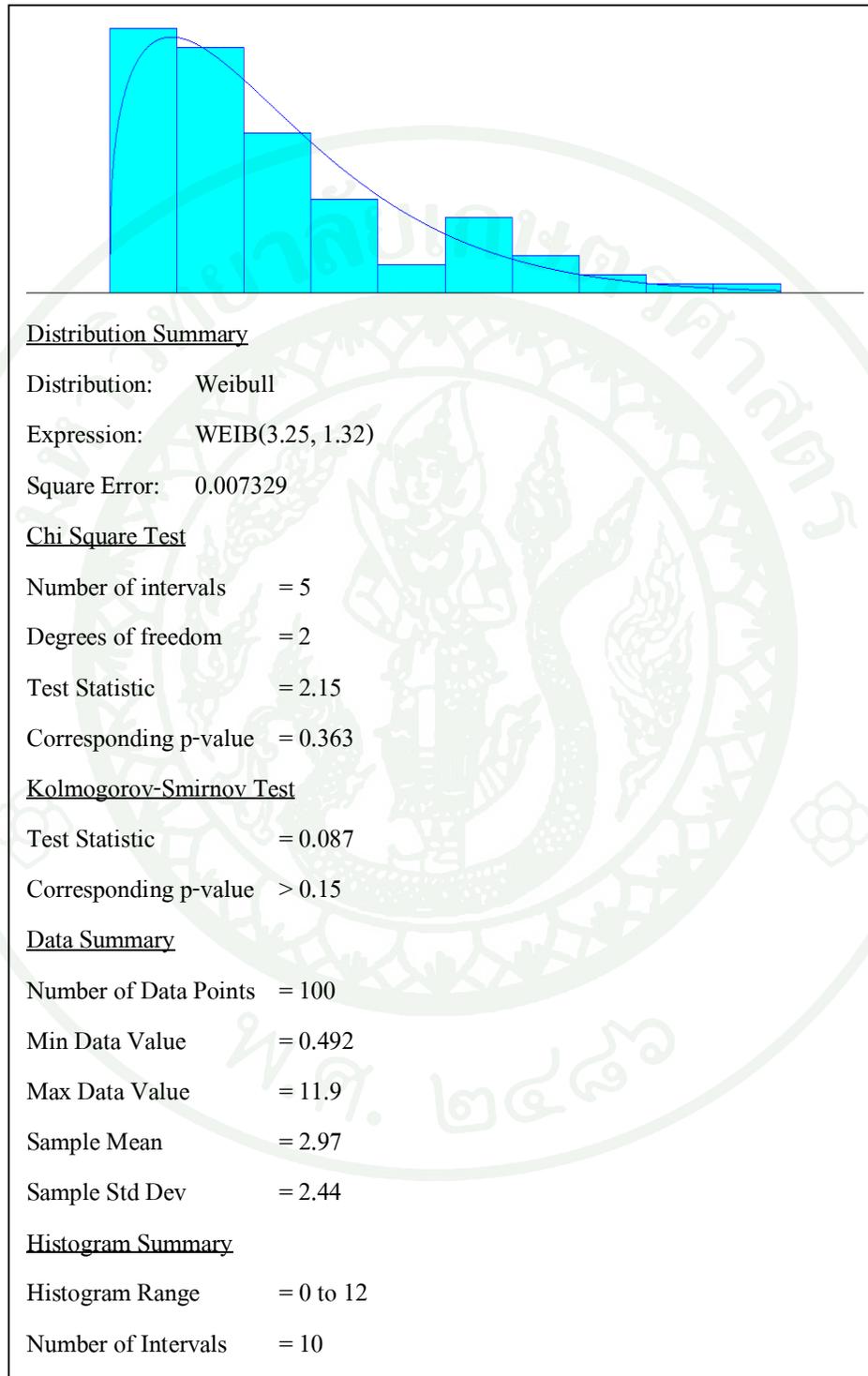
ภาพผนวกที่ ๖ การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ A



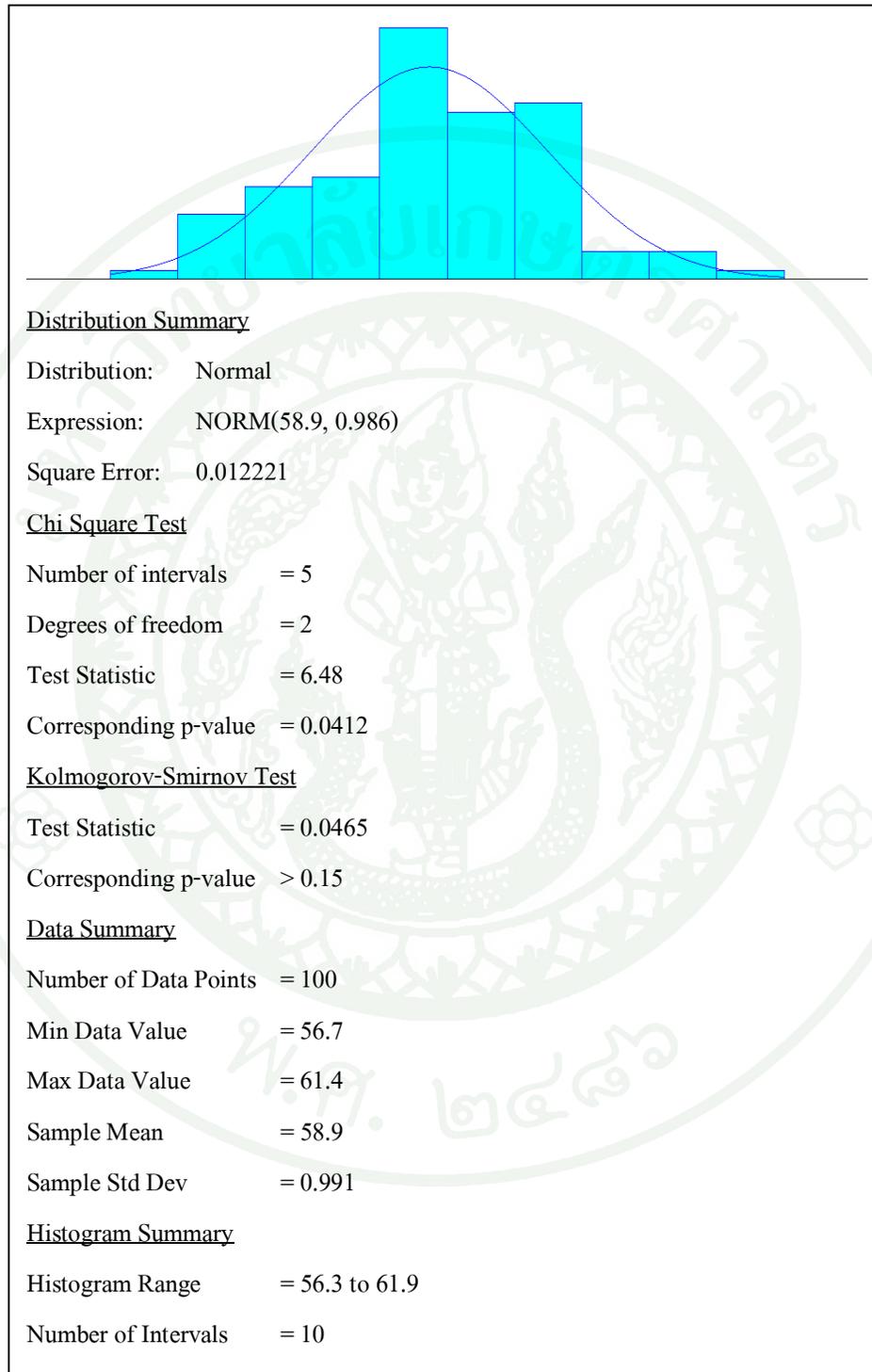
ภาพผนวกที่ ข7 การวิเคราะห์ห้ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ A



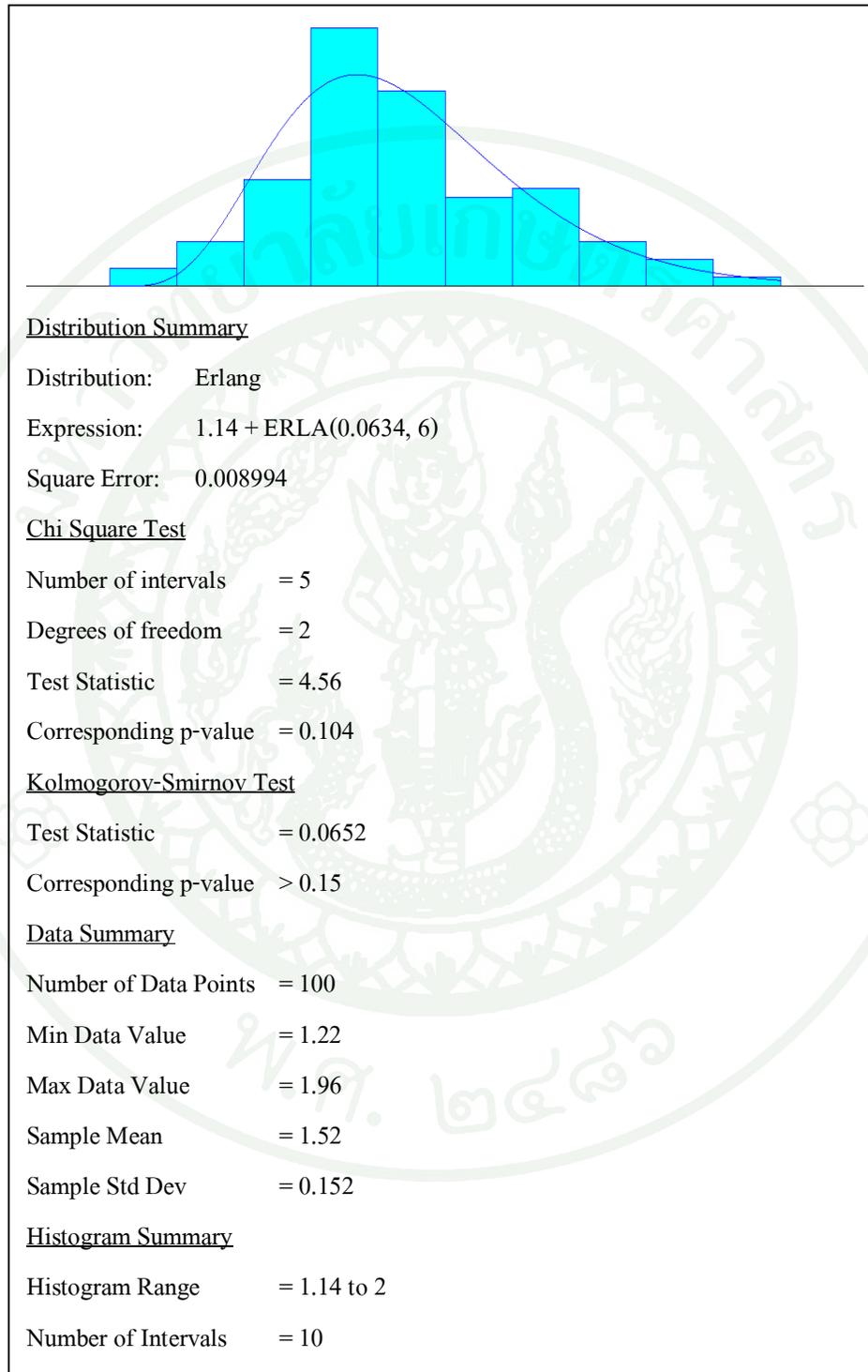
ภาพผนวกที่ ข8 การวิเคราะห์ห้ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตของกระบวนการผลิต 1, 2, 3



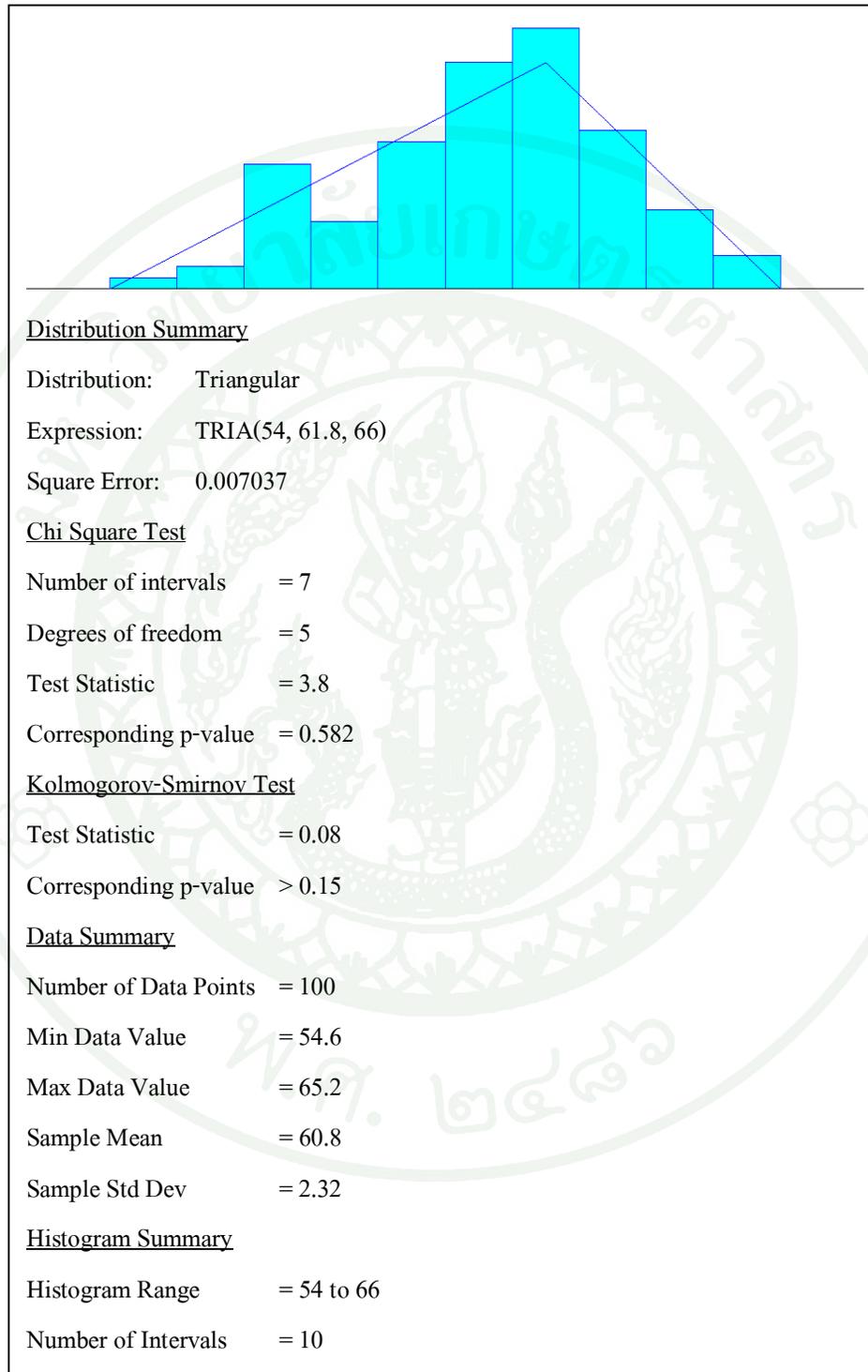
ภาพผนวกที่ ๗9 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ A



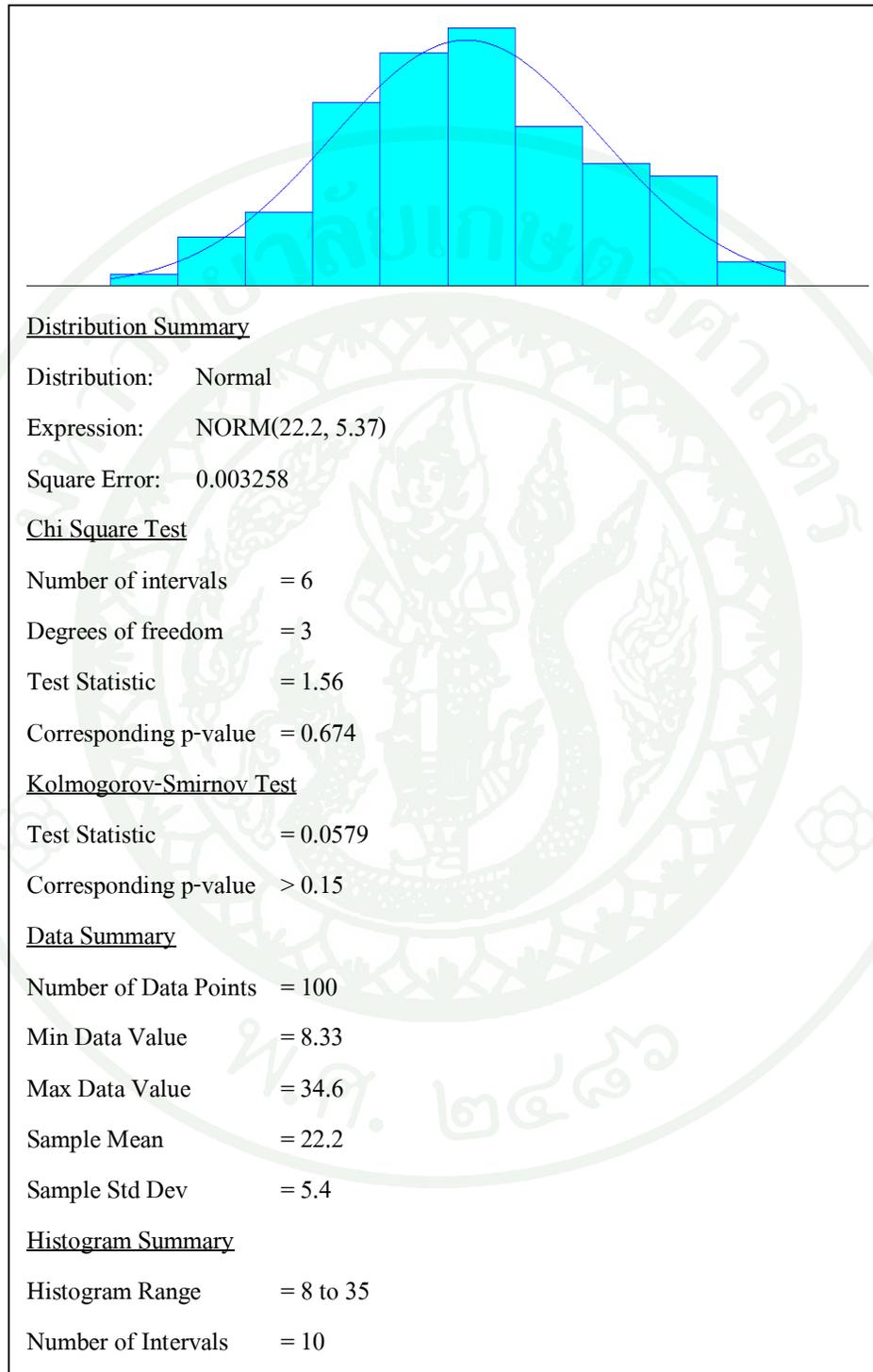
ภาพผนวกที่ ข10 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ A



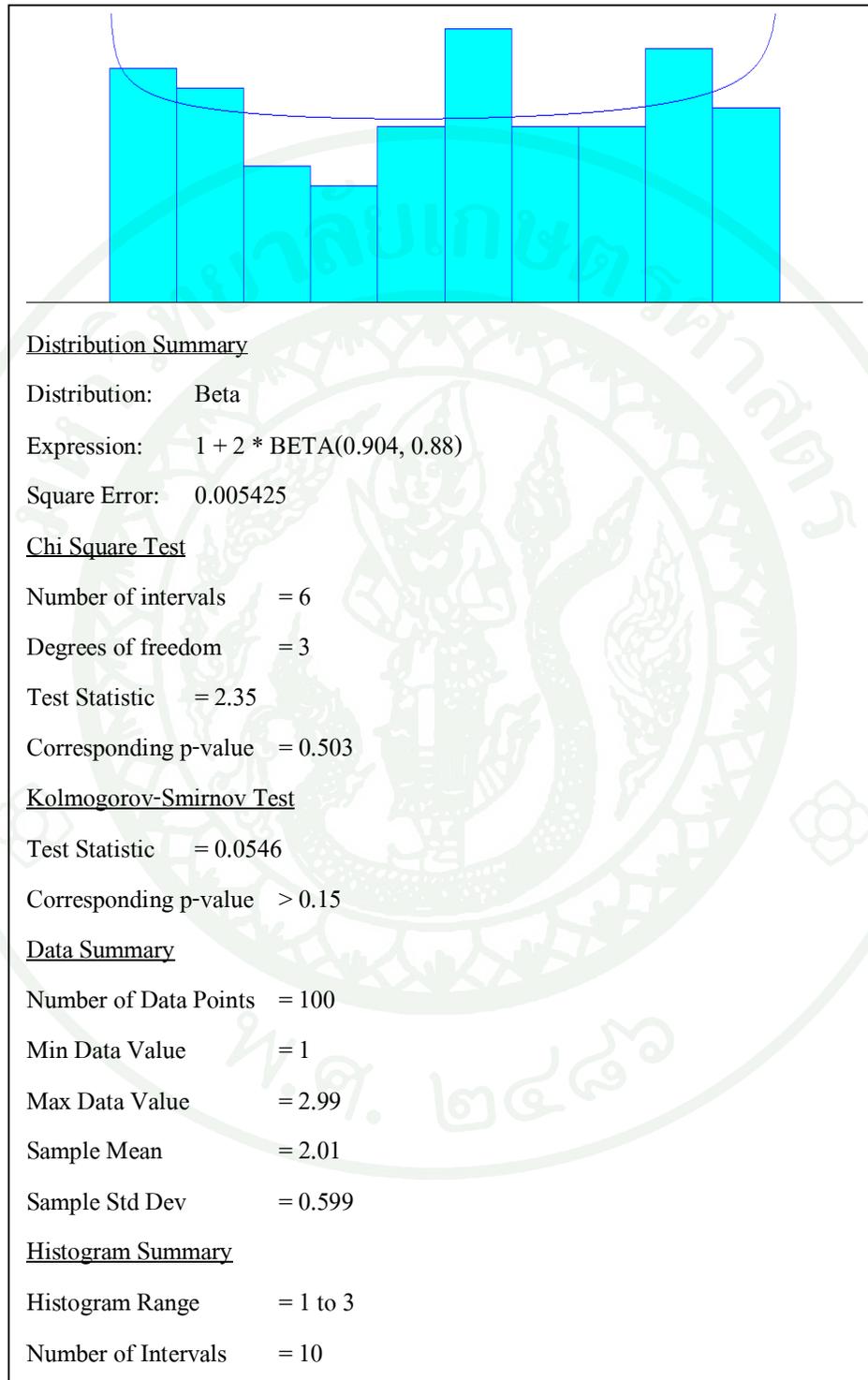
ภาพผนวกที่ ข11 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ B



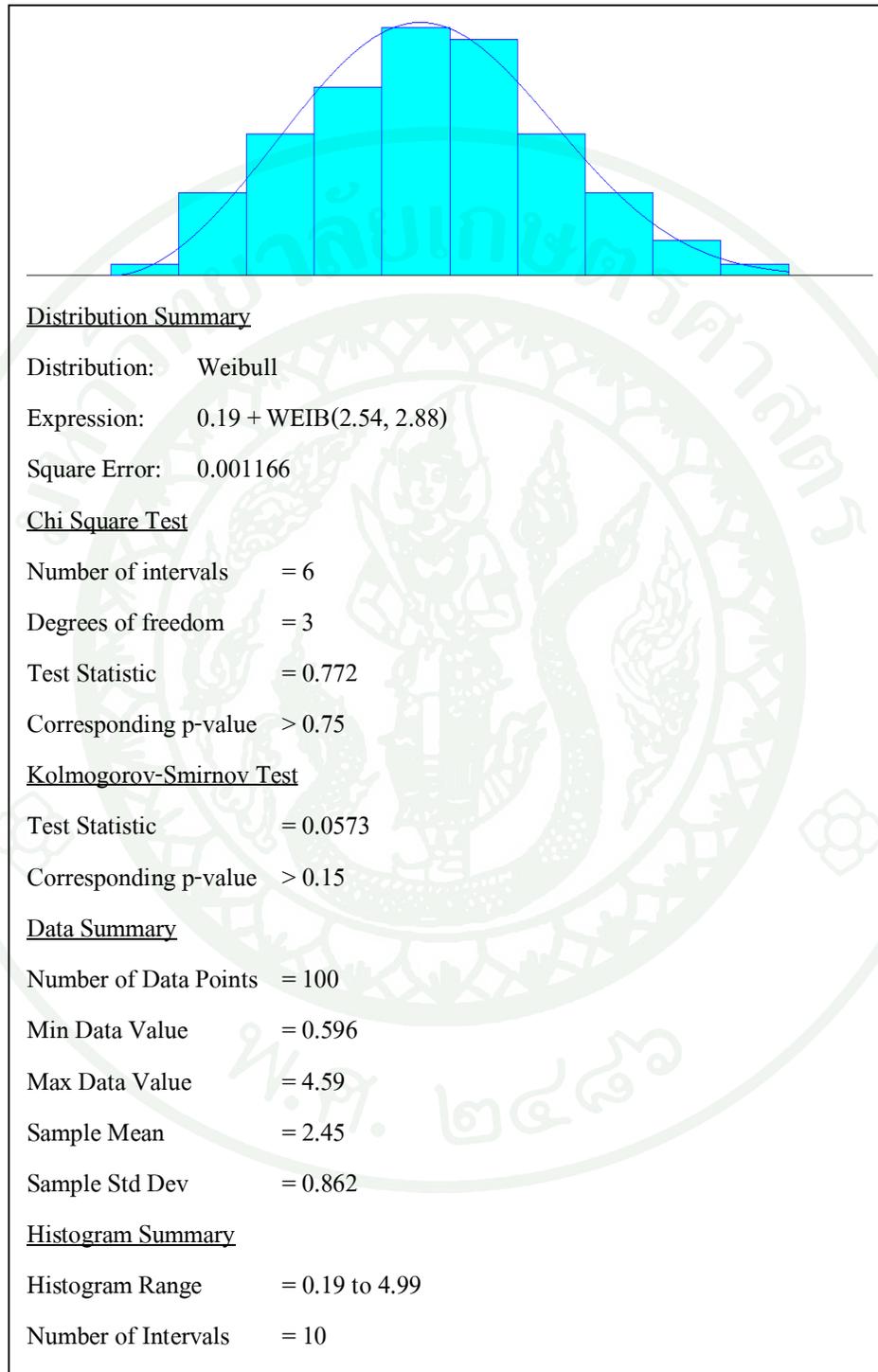
ภาพผนวกที่ ข12 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ B



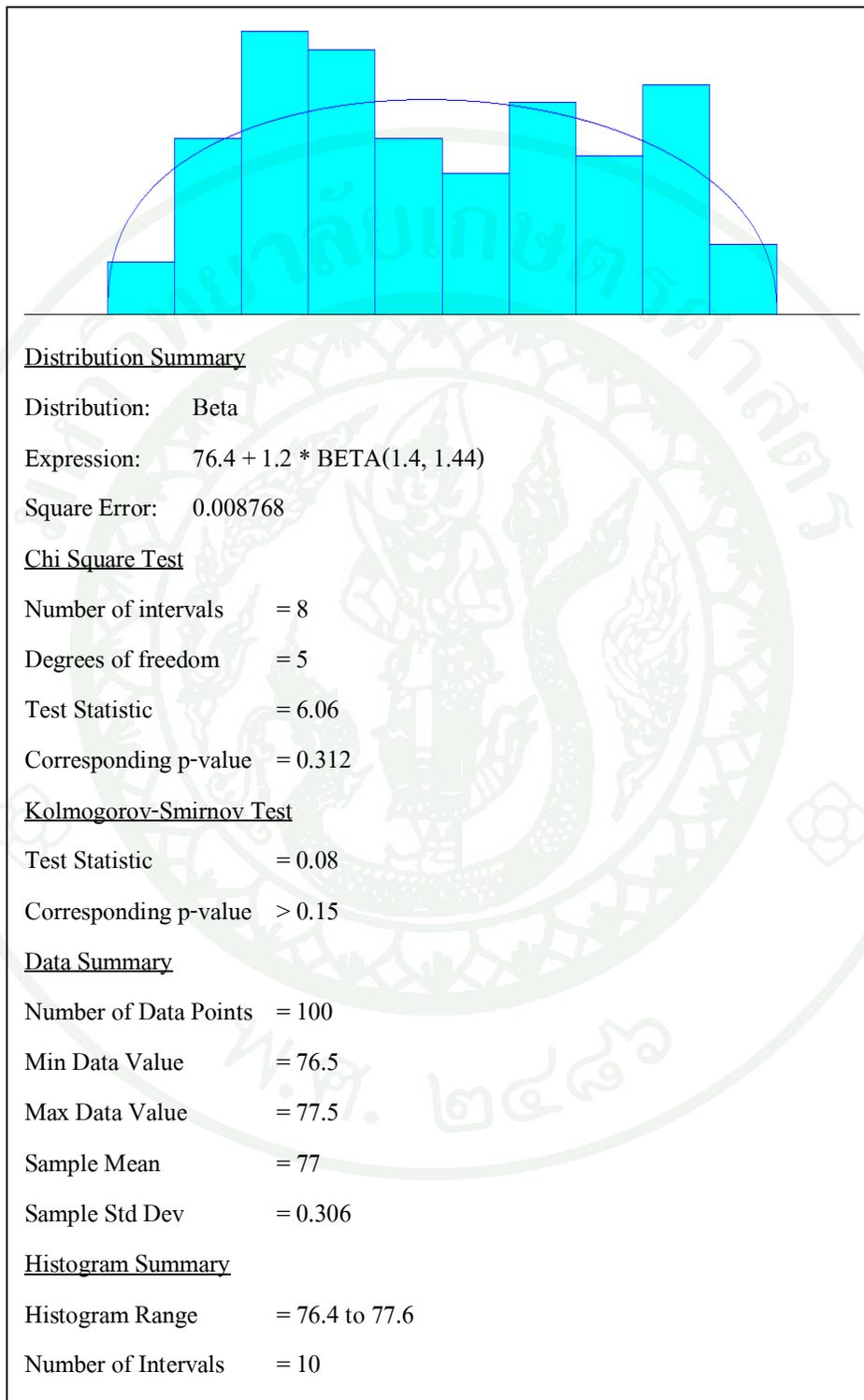
ภาพผนวกที่ ข13 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ B



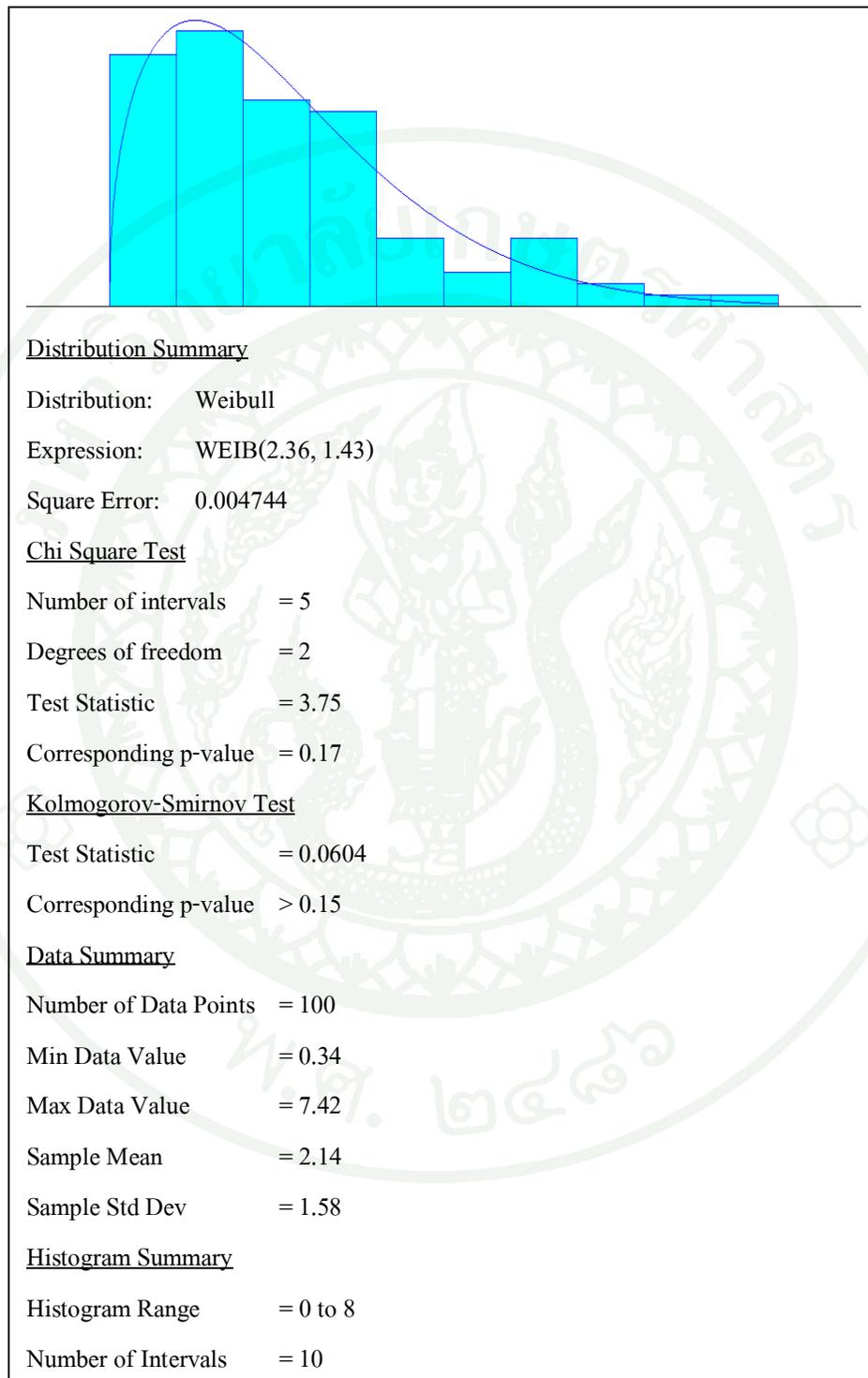
ภาพผนวกที่ ข14 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตของกระบวนการผลิต 4, 5, 6



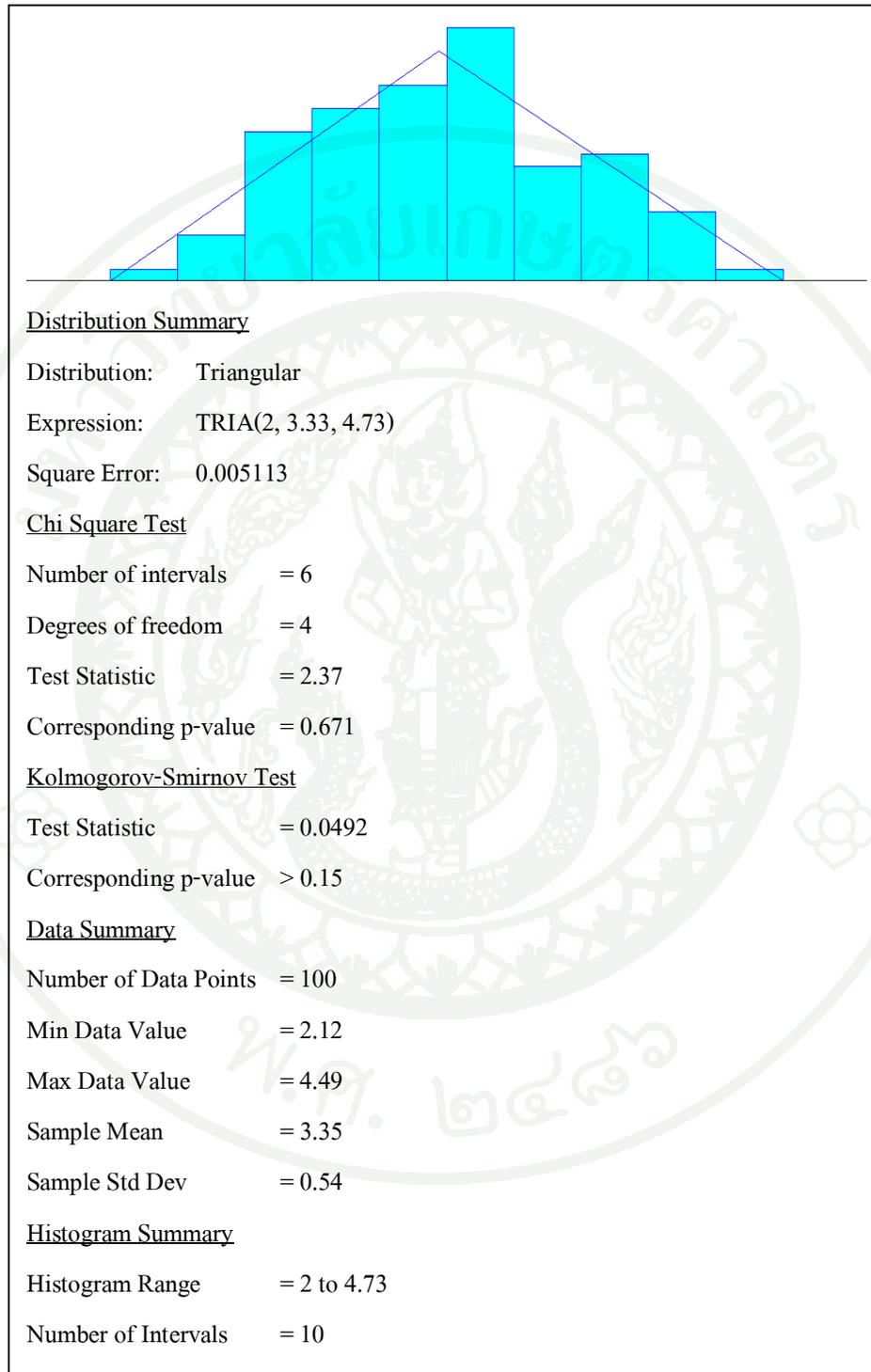
ภาพผนวกที่ ข15 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ B



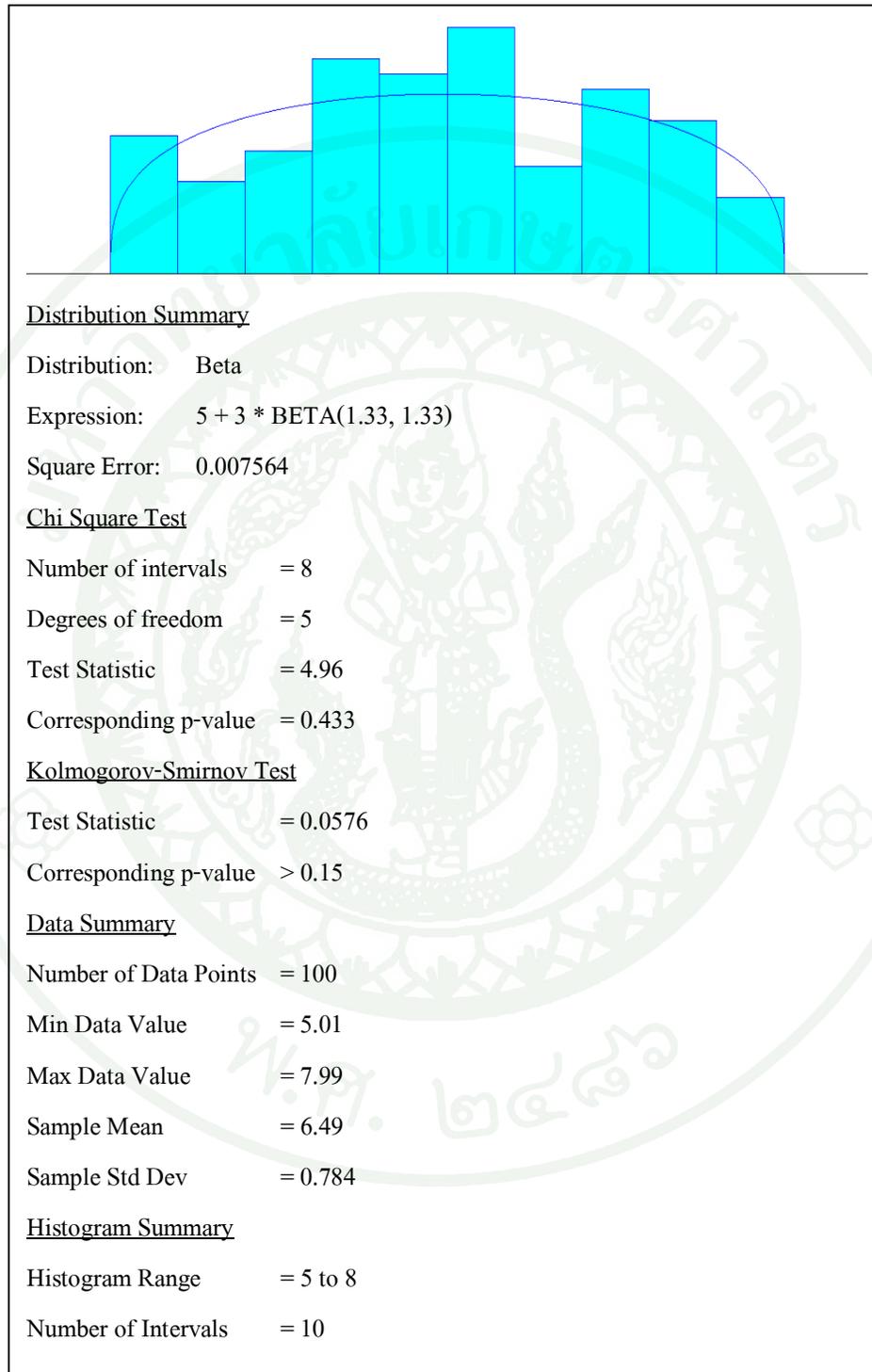
ภาพผนวกที่ ข16 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการผลิตสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ B



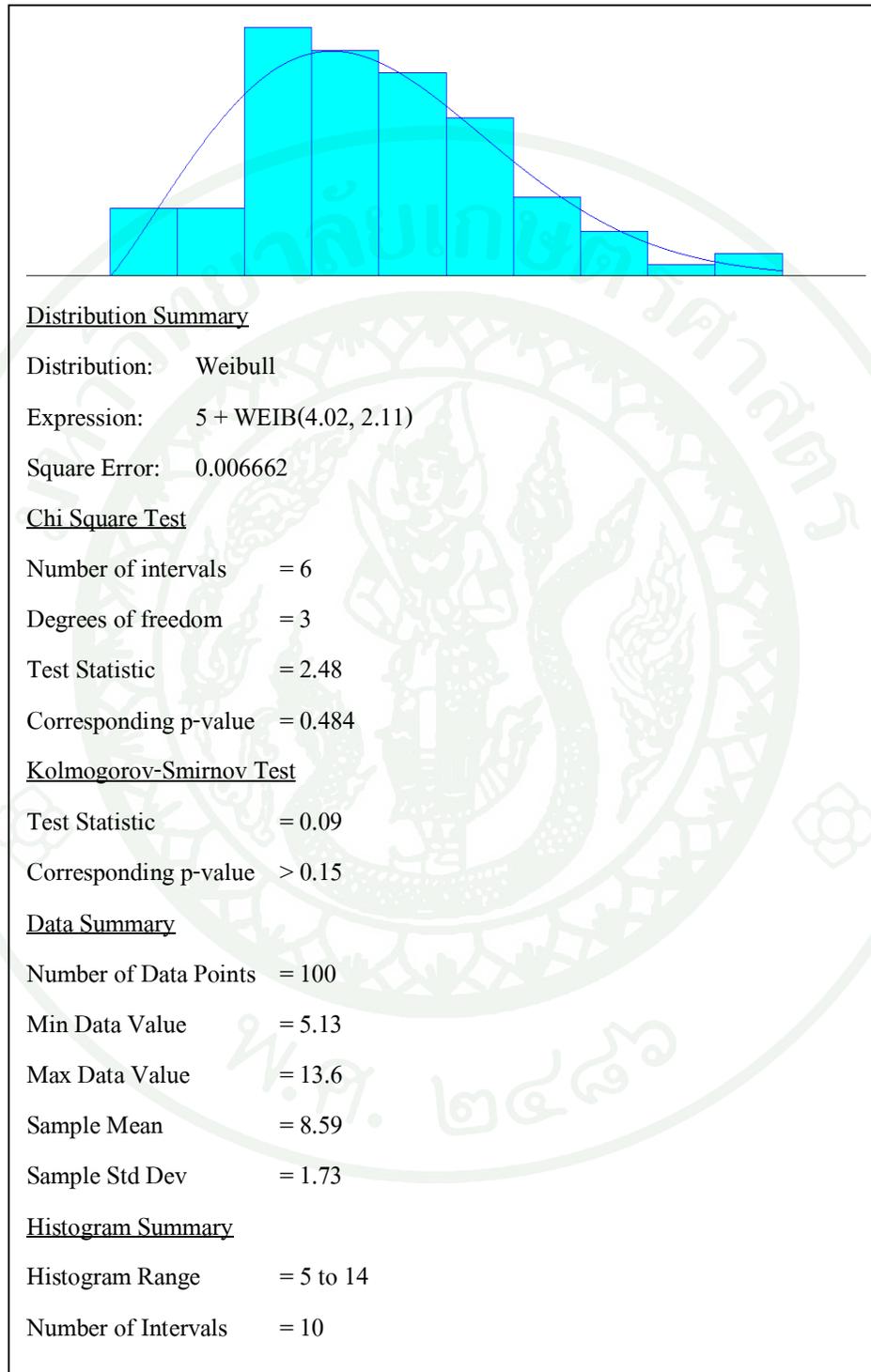
ภาพผนวกที่ ข17 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 1 และสถานีที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ A และ B



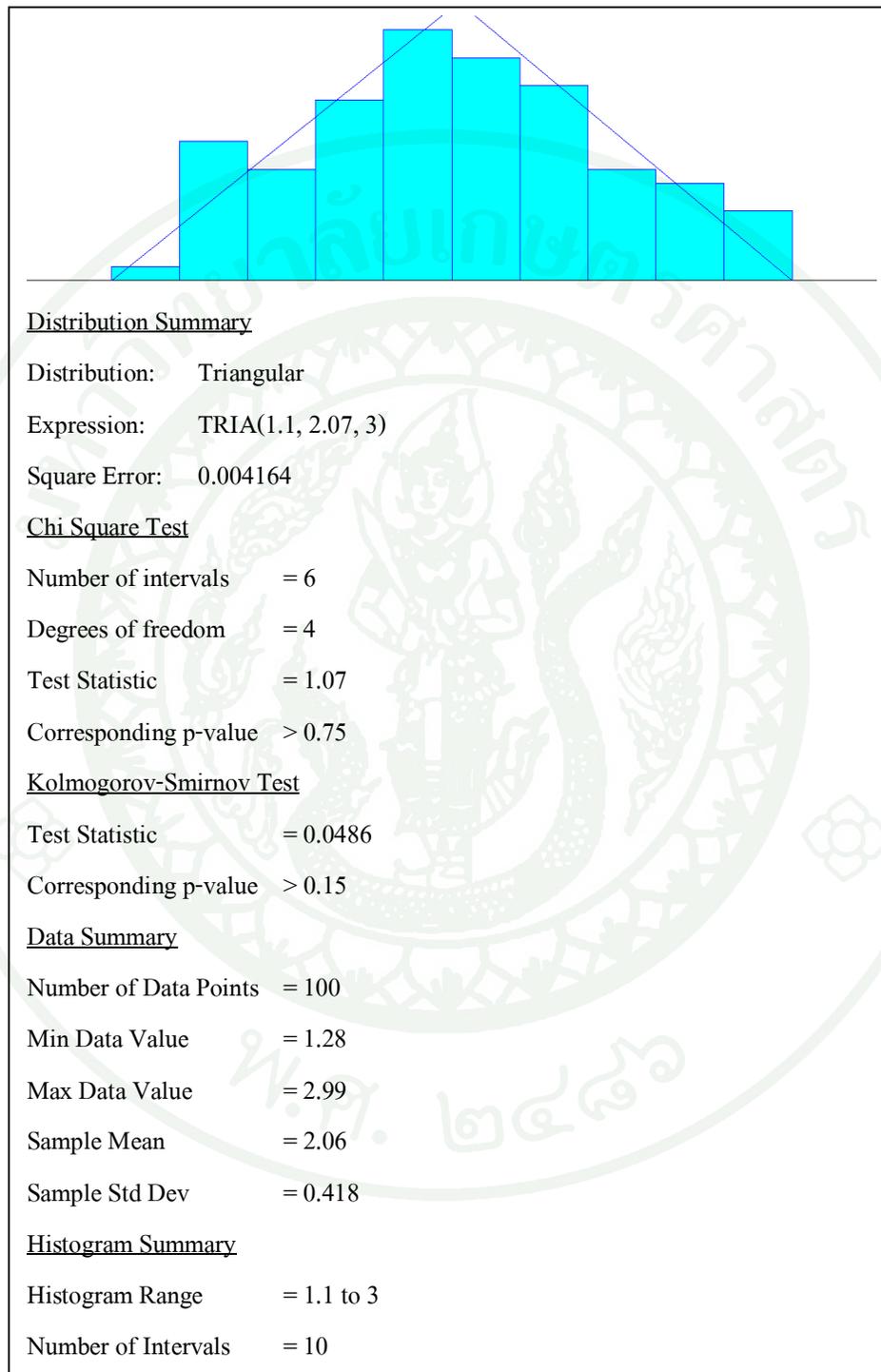
ภาพผนวกที่ ข18 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ A



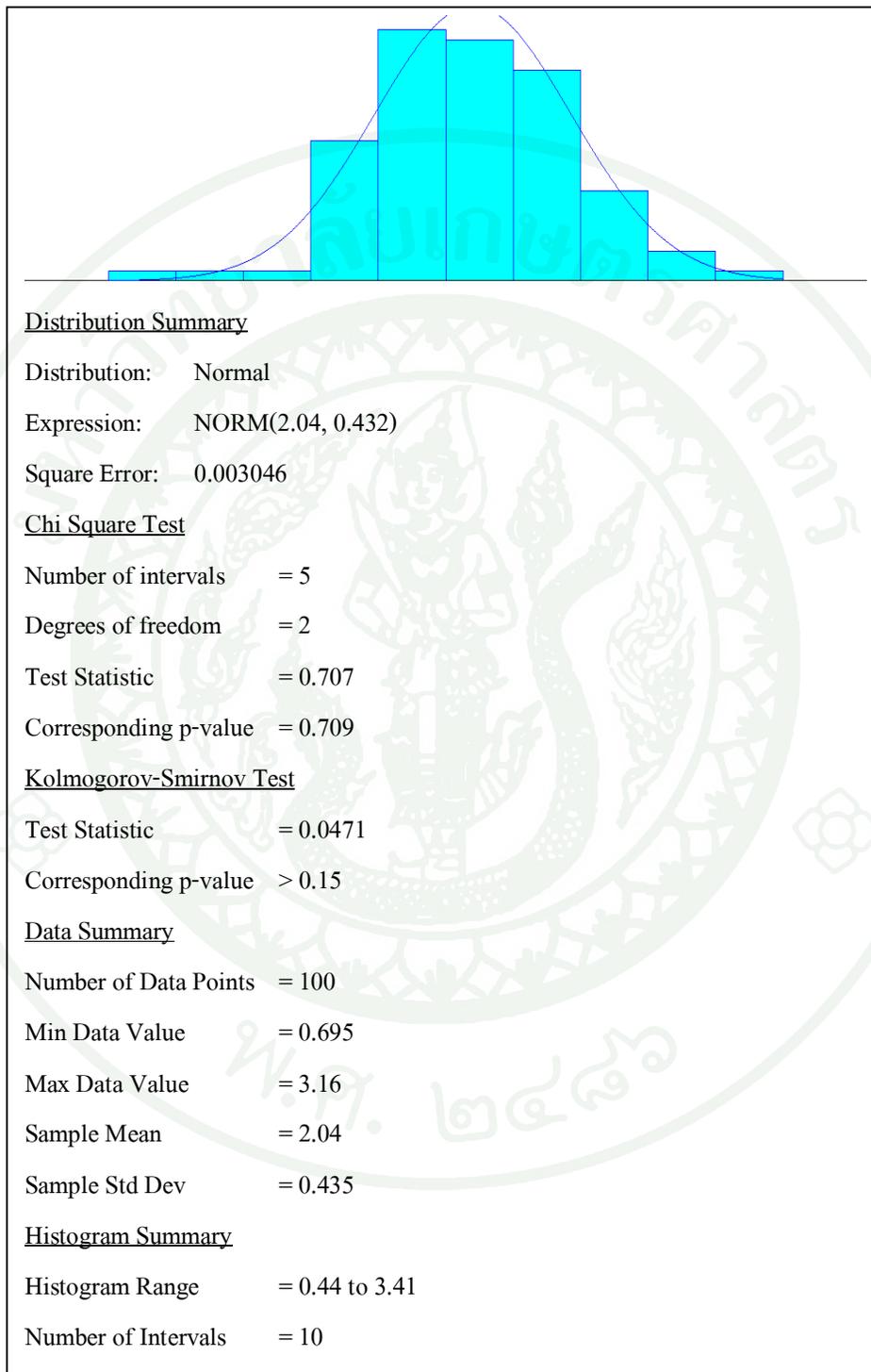
ภาพผนวกที่ ข19 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ของผลิตภัณฑ์ B



ภาพผนวกที่ ข20 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 3 และสถานีที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ A และ B



ภาพผนวกที่ ข21 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 4 และสถานีที่ 5 ของผลิตภัณฑ์ A และ B



ภาพผนวกที่ ข22 การวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงเวลาการขนส่งระหว่างสถานีที่ 5 และสถานีที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ A และ B



ภาคผนวก ค
คู่มือการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป

คู่มือการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป

ผู้วิจัยจะได้ทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบการผลิตแบบดึงที่มีการใช้บัตรคัมบัง และเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานผู้วิจัยได้ใช้ VBA (Visual Basic for Arena) ในการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. โครงสร้างของโปรแกรมการใช้งาน

เมนูหลักๆ ของโปรแกรมการคำนวณ ประกอบด้วย

- 1.1 ส่วนป้อนข้อมูลนำเข้า (ปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ A และปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ B)
- 1.2 ส่วนป้อนข้อมูลออก (จำนวนบัตรคัมบังที่เหมาะสมในแต่ละสถานี)
- 1.3 ออกจากโปรแกรม

2. ขั้นตอนการใช้งาน

2.1 เริ่มต้นด้วยการเปิดโปรแกรม Arena จะปรากฏหน้าต่าง Main Menu ขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ค1



ภาพผนวกที่ ค1 หน้าต่าง Main Menu

2.2 หลังจากคลิกปุ่ม **Calculate Kanban >>** จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ค2

Calculation Number of Kanban Cards

Please Input Order A and Order B

Order A: 343 Units per day

Order B: 72 Units per day

Buttons: Calculate Kanban >>, << Clear

Number of Kanban Cards (Product A)			Number of Kanban Cards (Product B)		
	Production Card	Conveyance Card		Production Card	Conveyance Card
Station 2	4	1	Station 2	1	1
Station 3	24	2	Station 3	8	1
Station 4	10	5	Station 4	3	1
Station 5	2	1	Station 5	1	1
Station 6	37	1	Station 6	10	1

Buttons: << Run Simulation >>, << Exit >>

ภาพผนวกที่ ค2 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อคำนวณคัมบัง

2.3 ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์เดอร์ A และปริมาณออร์เดอร์ B คลิกปุ่ม

<< Clear

จะปรากฏหน้าต่างดังภาพผนวกที่ ค3

Calculation Number of Kanban Cards

Please Input Order A and Order B

Order A: Units per day

Order B: Units per day

Buttons: Calculate Kanban >>, << Clear, Run Simulation >>, Close Arena, << Exit >>

Number of Kanban Cards (Product A)			Number of Kanban Cards (Product B)		
	Production Card	Conveyance Card		Production Card	Conveyance Card
Station 2			Station 2		
Station 3			Station 3		
Station 4			Station 4		
Station 5			Station 5		
Station 6			Station 6		

ภาพผนวกที่ ค3 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูล

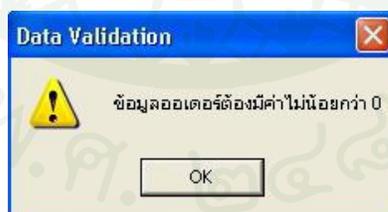
2.4 การกรอกข้อมูลปริมาณออร์เดอร์จะต้องกรอกข้อมูลทั้ง 2 ช่อง ไม่กรอกข้อมูลเป็นตัวอักษร และไม่กรอกข้อมูลที่เป็นค่าลบ ซึ่งถ้ากรอกข้อมูลไม่ถูกต้องจะปรากฏหน้าต่างดังภาพผนวกที่ ค4 – ค6



ภาพผนวกที่ ค4 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้ไม่ได้กรอกข้อมูล



ภาพผนวกที่ ค5 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลเป็นตัวอักษร



ภาพผนวกที่ ค6 หน้าต่างรายละเอียดเมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลติดลบ

2.5 เมื่อกรอกข้อมูลและคลิกคำนวณจำนวนคัมบังแล้ว สามารถคลิกปุ่ม

Run Simulation >>

เพื่อนำค่าไปรันผ่านโปรแกรม Arena ที่สร้างขึ้นโดยอัตโนมัติแสดงดังภาพผนวกที่ ค7

Summary Report		
Average Work In Process A	144	units
Average Work In Process B	75	units
Average Cycle Time A	159	minutes
Average Cycle Time B	100	minutes
<input style="background-color: #00FF00;" type="button" value=" <<Back "/> <input style="background-color: #00FFFF;" type="button" value=" Exit>> "/>		

ภาพผนวกที่ ค7 หน้าต่างแสดงผลเมื่อรันด้วย Arena

2.6 เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมคำนวณ สามารถคลิกปุ่ม

Exit>>

2.7 เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าจอหลักของ โปรแกรมคำนวณ ทำการคลิกปุ่ม

<<Back

3. รายละเอียดของ VBA

3.1 สั่งให้แสดงหน้าจอ Main Menu เมื่อเปิดโปรแกรม Arena

```
Private Sub ModelLogic_DocumentOpen()
    UserForm1.Show
End Sub
```

3.2 สั่งให้แสดงผลคำนวณจำนวนบัตรคัมบัง

```
Private Sub cmdCal_Click()
    If txt1 = Empty Or txt2 = Empty Then
        MsgBox "กรุณากรอกข้อมูลให้ครบถ้วน", vbOKOnly + vbExclamation,
            "Data Validation"
```

```

txt1.SetFocus
Exit Sub
ElseIf txt1 < 0 Then
MsgBox "ค่าผิดพลาด! กรุณาตรวจสอบค่าที่กรอก", vbOKOnly +
vbExclamation, "Data Validation"
txt1.Text = ""
txt1.SetFocus
Exit Sub
ElseIf IsNumeric(txt1.value) = False Then
MsgBox "กรุณากรอกตัวเลข", vbOKOnly +
vbExclamation, "Data Validation"
txt1.Text = ""
txt1.SetFocus
Exit Sub
End If
If txt2 = Empty Then
MsgBox "กรุณากรอกชื่อ", vbOKOnly + vbExclamation, "Data
Validation"
txt2.Text = ""
txt2.SetFocus
Exit Sub
ElseIf txt2 < 0 Then
MsgBox "ค่าผิดพลาด! กรุณาตรวจสอบค่าที่กรอก", vbOKOnly +
vbExclamation, "Data Validation"
txt2.Text = ""
txt2.SetFocus
Exit Sub
ElseIf IsNumeric(txt2.value) = False Then
MsgBox "กรุณากรอกตัวเลข", vbOKOnly +
vbExclamation, "Data Validation"

```

```
txt2.Text = ""
txt2.SetFocus
Exit Sub
End If
Image1.Visible = False
Image2.Visible = False
Image3.Visible = False
Frame1.Visible = True
Frame2.Visible = True
cmdRun.Visible = True
cmdClose.Visible = True
cmdClear.Visible = True
cmdExit.Visible = True

Dim a As Double, b As Double, c As Double
a = Cdbl(txt1.Text)
b = Cdbl(txt2.Text)
c = Cdbl(1.1 / 600)
TextBox1.Text = CInt(a * 5.96 * c)
TextBox2.Text = CInt(a * 2.14 * c)
TextBox3.Text = CInt(a * 38.2 * c)
TextBox4.Text = CInt(a * 3.35 * c)
TextBox5.Text = CInt(a * 16.6 * c)
TextBox6.Text = CInt(a * 8.59 * c)
TextBox7.Text = CInt(a * 2.97 * c)
TextBox8.Text = CInt(a * 2.06 * c)
TextBox9.Text = CInt(a * 58.9 * c)
TextBox10.Text = CInt(a * 2.04 * c)
TextBox11.Text = CInt(b * 1.52 * c)
TextBox12.Text = CInt(b * 2.14 * c)
```

```
TextBox13.Text = CInt(b * 60.8 * c)
TextBox14.Text = CInt(b * 6.49 * c)
TextBox15.Text = CInt(b * 22.2 * c)
TextBox16.Text = CInt(b * 8.59 * c)
TextBox17.Text = CInt(b * 2.45 * c)
TextBox18.Text = CInt(b * 2.06 * c)
TextBox19.Text = CInt(b * 77 * c)
TextBox20.Text = CInt(b * 2.04 * c)
If TextBox1.Text < 1 Then
    TextBox1.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox2.Text < 1 Then
    TextBox2.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox3.Text < 1 Then
    TextBox3.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox4.Text < 1 Then
    TextBox4.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox5.Text < 1 Then
    TextBox5.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox6.Text < 1 Then
    TextBox6.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox7.Text < 1 Then
    TextBox7.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox8.Text < 1 Then
```

```
TextBox8.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox9.Text < 1 Then
    TextBox9.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox10.Text < 1 Then
    TextBox10.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox11.Text < 1 Then
    TextBox11.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox12.Text < 1 Then
    TextBox12.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox13.Text < 1 Then
    TextBox3.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox14.Text < 1 Then
    TextBox14.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox15.Text < 1 Then
    TextBox15.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox16.Text < 1 Then
    TextBox16.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox17.Text < 1 Then
    TextBox17.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox18.Text < 1 Then
```

```

TextBox18.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox19.Text < 1 Then
TextBox19.Text = 1
Exit Sub
ElseIf TextBox20.Text < 1 Then
TextBox20.Text = 1
Exit Sub
End If
End Sub

```

3.3 สั่งให้ลบข้อมูลออกจากหน้าจอเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าที่กรอก

```

Private Sub cmdClear_Click()
Call ClearAll
End Sub
Sub ClearAll()
txt1.Text = ""
txt2.Text = ""
TextBox1.Text = ""
TextBox2.Text = ""
TextBox3.Text = ""
TextBox4.Text = ""
TextBox5.Text = ""
TextBox6.Text = ""
TextBox7.Text = ""
TextBox8.Text = ""
TextBox9.Text = ""
TextBox10.Text = ""
TextBox11.Text = ""
TextBox12.Text = ""

```

```

TextBox13.Text = ""
TextBox14.Text = ""
TextBox15.Text = ""
TextBox16.Text = ""
TextBox17.Text = ""
TextBox18.Text = ""
TextBox19.Text = ""
TextBox20.Text = ""
End Sub

```

3.4 ตั้งให้โปรแกรม Arena รันผล

```

Private Sub cmdRun_Click()
Dim m As Model
Dim theMod As Module
Dim i As Long, j As Long, k As Long, l As Long
Dim pa2 As Integer, pa3 As Integer, pa4 As Integer, pa5 As Integer, pa6
As Integer, pb2 As Integer, pb3 As Integer, pb4 As Integer, pb5 As
Integer, pb6 As Integer
Dim ca2 As Integer, ca3 As Integer, ca4 As Integer, ca5 As Integer, ca6
As Integer, cb2 As Integer, cb3 As Integer, cb4 As Integer, cb5 As
Integer, cb6 As Integer
Dim a As Double, b As Double, c As Double, d As Double
a = Cdbl(txt1.Text)
b = Cdbl(txt2.Text)
c = Cdbl(a / 600)
d = Cdbl(b / 600)
Set m = ThisDocument.Model
k = m.Modules.Find(smFindTag, "ExpressionOrderA")
Set theMod = m.Modules(k)
theMod.Data("Value") = a

```

```
Set m = ThisDocument.Model
l = m.Modules.Find(smFindTag, "ExpressionOrderB")
Set theMod = m.Modules(l)
theMod.Data("Value") = b
Set m = ThisDocument.Model
i = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateOrderA")
Set theMod = m.Modules(i)
theMod.Data("Expression") = c
Set m = ThisDocument.Model
j = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateOrderB")
Set theMod = m.Modules(j)
theMod.Data("Expression") = d
Set m = ThisDocument.Model
pa2 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP2A")
Set theMod = m.Modules(pa2)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox1.value
Set m = ThisDocument.Model
ca2 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC2A")
Set theMod = m.Modules(ca2)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox2.value
Set m = ThisDocument.Model
pa3 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP3A")
Set theMod = m.Modules(pa3)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox3.value
Set m = ThisDocument.Model
ca3 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC3A")
Set theMod = m.Modules(ca3)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox4.value
Set m = ThisDocument.Model
pa4 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP4A")
```

```
Set theMod = m.Modules(pa4)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox5.value
Set m = ThisDocument.Model
ca4 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC4A")
Set theMod = m.Modules(ca4)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox6.value
Set m = ThisDocument.Model
pa5 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP5A")
Set theMod = m.Modules(pa5)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox7.value
Set m = ThisDocument.Model
ca5 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC5A")
Set theMod = m.Modules(ca5)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox8.value
Set m = ThisDocument.Model
pa6 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP6A")
Set theMod = m.Modules(pa6)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox9.value
Set m = ThisDocument.Model
ca6 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC6A")
Set theMod = m.Modules(ca6)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox10.value
Set m = ThisDocument.Model
pb2 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP2B")
Set theMod = m.Modules(pb2)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox11.value
Set m = ThisDocument.Model
cb2 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC2B")
Set theMod = m.Modules(cb2)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox12.value
```

```
Set m = ThisDocument.Model
pb3 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP3B")
Set theMod = m.Modules(pb3)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox13.value
Set m = ThisDocument.Model
cb3 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC3B")
Set theMod = m.Modules(cb3)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox14.value
Set m = ThisDocument.Model
pb4 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP4B")
Set theMod = m.Modules(pb4)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox15.value
Set m = ThisDocument.Model
cb4 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC4B")
Set theMod = m.Modules(cb4)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox16.value
Set m = ThisDocument.Model
pb5 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP5B")
Set theMod = m.Modules(pb5)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox17.value
Set m = ThisDocument.Model
cb5 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC5B")
Set theMod = m.Modules(cb5)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox18.value
Set m = ThisDocument.Model
pb6 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanP6B")
Set theMod = m.Modules(pb6)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox19.value
Set m = ThisDocument.Model
cb6 = m.Modules.Find(smFindTag, "CreateKanbanC6B")
```

```

Set theMod = m.Modules(cb6)
theMod.Data("Max Batches") = TextBox20.value

    m.Go
    m.End
End Sub

```

3.5 สั่งให้แสดงผลรันจากโปรแกรม Arena

```

Private Sub ModelLogic_RunEndSimulation()
Dim ArenaModel As Arena.Model
Dim ArenaSIMAN As SIMAN
Set ArenaModel = ThisDocument.Model
Set ArenaSIMAN = ArenaModel.SIMAN
UserForm2.TextBox1 =
Round(ArenaSIMAN.OutputAverageAcrossReplications(ArenaSIMAN.
SymbolNumber("Work In Process A")), 0)
UserForm2.TextBox3 =
Round(ArenaSIMAN.OutputAverageAcrossReplications(ArenaSIMAN.
SymbolNumber("Work In Process B")), 0)
UserForm2.TextBox5 =
Round(ArenaSIMAN.OutputAverageAcrossReplications(ArenaSIMAN.
SymbolNumber("TotalTime A")), 0)
UserForm2.TextBox7 =
Round(ArenaSIMAN.OutputAverageAcrossReplications(ArenaSIMAN.
SymbolNumber("TotalTime B")), 0)
End Sub

```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศิริประภา ดิประคิษฐ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 ธันวาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมกรรมการอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ได้รับรางวัลชมเชยการแข่งขันสร้างแบบจำลอง สถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ครั้งที่ 2
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2551)