การวิเคราะห์ข้อเสนอการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม

วรวุฒิ แซ่เอ้ง

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. ทนงศักดิ์ เทพสนธิ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการีบูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

วรวุฒิ แซ่เอ้ง

56920962: สาขาวิชา: การจัดการงานวิศวกรรม; วศ.ม. (การจัดการงานวิศวกรรม)
คำสำคัญ: ปรับปรุงกระบวนการผลิต/ แบบจำลองอุตสาหกรรม/ การผลิตแบบลีน

วรวุฒิ แซ่เอ้ง: การวิเคราะห์ข้อเสนอการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม (PROCESS IMPROVEMENT PROPOSAL ANALYSIS USING INDUSTRIAL SIMULATION) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ทนงศักดิ์ เทพสนธิ, Ph.D. 136 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำต้นแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวคิดการผลิตแบบลีน โดยใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อจำลองกระบวนการผลิตและวิเคราะห์ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงจัดทำข้อเสนอแนวทางการปรับปรุง และสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตเพื่อทดสอบความเป็นไปได้และคาดการณ์ผลลัพธ์ภายหลังการปรับปรุง สุดท้ายวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนและตัดสินใจเลือกลงทุนปรับปรุงตามข้อเสนอ โดยได้ทดลองประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิต พู่เล่ลดแรงสั่นสะเทือนของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งต้องการปรับปรุงกำลังการผลิตให้เพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ย 926 ชิ้นต่อวัน เป็นเฉลี่ย 1,100 ชิ้นต่อวัน ซึ่งผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับภายหลังการปรับปรุงเป็นดังนี้ กำลังการผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 926 ชิ้นเป็น 1,108 ชิ้นต่อวัน ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 83% เป็น 99.61% ใช้งบประมาณในการลงทุน 3,800,000 มีระยะเวลาคืนทุนภายใน 1 ปี และหลังจาก 1 ปี เป็นต้นไป บริษัทจะทำกำไรเพิ่มขึ้นปีละ 4,090,880 บาท

56920962: MAJOR: ENGINEERING MANAGEMENT; M, Eng. (ENGINEERING MANAGEMENT)
KEYWORDS: PROCESS IMPROVEMENT/ INDUSTRIAL SIMULATION/ LEAN MANUFACTURING
WORAWUT SAE-ANG: PROCESS IMPROVEMENT PROPOSAL ANALYSIS USING INDUSTRIAL SIMULATION. ADVISORY COMMITTEE: THANONGSAK THEPSONTHI, Ph.D. 136 P. 2015.

The purpose of this research is to develop a method of applying industrial simulation for improvement proposal evaluation and decision making based on lean manufacturing concepts. The industrial simulation was used to simulate the production process and analyze the wastes that occur in the process. Then the improvement proposal was made and simulated to check the feasibly and to evaluate the process outcomes. Finally, financial analysis and decision making were done based on the results obtained from the simulation. The developed method was implemented to an improvement of a damper pulley production line of the studied company; the goal of improvement was to increase the production capacity from an average of 926 units/day to 1,100 units/day. After the implement, the results indicated that the average production capacity will be increased from 926 to 1,108 units/day; the line balancing efficiency will be increased from 83% to 99.61%; the investment capital of 3,800,000 baht will be required; the payback period will be less than one year and after that the profit of 4,090,880 baht/year will be continuously obtained.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ซ

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 2

ข้อจำกัดของการวิจัย..... 3

2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง..... 5

ความน่าจะเป็นและสถิติ..... 5

กระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม..... 12

ฟังก์ชั่นการแจกแจง..... 13

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง..... 24

การผลิตแบบลีน..... 26

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 33

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 36

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย..... 36

การดำเนินงาน..... 38

สภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา..... 38

การเก็บข้อมูลเวลาในการผลิต..... 46

การวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล..... 51

การสร้างแบบจำลองของสายการผลิตปัจจุบัน..... 54

การตรวจสอบความถูกต้องและเชื่อถือได้ของแบบจำลอง..... 66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การวิเคราะห์ความสูญเปล่าในการผลิต ……	69
	แนวคิดการปรับปรุงสายการผลิตตามแนวคิดแบบลีน …….	71
	การวิเคราะห์สายการผลิตตามแนวคิดการปรับปรุงด้วยแบบจำลอง ……..	71
	วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการวิจัย ……...	71
4	ผลการวิจัย ……	72
	แนวคิดการปรับปรุงสายการผลิตตามแนวคิดแบบลีน ……..	72
	การวิเคราะห์สายการผลิตตามแนวคิดการปรับปรุงด้วยแบบจำลอง …….	74
	วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการวิจัย ……	77
	การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจากการลงทุนปรับปรุง ……..	84
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……..	86
	สรุปผลการวิจัย ……..	86
	ข้อเสนอแนะ ……..	87
บรรณานุกรม ……..		89
ภาคผนวก ……		91
	ภาคผนวก ก ……..	92
ประวัติย่อของผู้วิจัย …….		136

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 แผนการดำเนินงาน 4

2-1 รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่าง ๆ..... 14

3-1 ลักษณะการทำงาน และเวลาการผลิตของแต่กระบวนการผลิต 41

3-2 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 1 47

3-3 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 2 48

3-4 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 3 49

3-5 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 4 50

3-6 ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1 52

3-7 รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1 53

3-8 ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลอง 10 Replication และจำนวนการรันแบบจำลองที่ต้องการ 67

3-9 ผลวิเคราะห์ความสูญเปล่าจากการจำลองด้วยโปรแกรม 69

3-10 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยระบบคุณค่า 70

4-1 ข้อมูลด้านเทคนิคของหัวฉีดน้ำ 72

4-2 สรุปข้อมูลการปรับใช้งานหัวฉีดน้ำ 73

4-3 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต 74

4-4 รอบเวลาการผลิตจากโปรแกรมหลังปรับปรุงของพนักงานแต่ละคน 74

4-5 สรุปแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต 75

4-6 รอบเวลาการผลิตจากโปรแกรมหลังปรับปรุงของพนักงานแต่ละคนขั้นสุดท้าย 76

4-7 ผลวิเคราะห์ความสูญเปล่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมหลังปรับปรุงเสร็จสิ้น 77

4-8 เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตของพนักงานก่อน และหลังปรับปรุง 78

4-9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการผลิตก่อน และหลังปรับปรุง 78

4-10 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง 79

4-11 ราคาประเมินจากผู้รับเหมาปรับปรุงกระบวนการผลิต 84

4-12 ค่าใช้จ่าย และมูลค่าผลประโยชน์สุทธิ..... 85

5-1 สรุปรอบเวลาการผลิตของพนักงานแต่ละคน 86

5-2 สรุปผลลัพธ์ของการผลิต 87

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงเบต้า ……... 14

2-2 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงต่อเนื่อง …….. 15

2-3 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงไม่ต่อเนื่อง…... 16

2-4 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงเออร์แลงค์ ….. 17

2-5 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจง
เอ็กซ์โปเนนเชียล……... 18

2-6 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแกมมา …… 18

2-7 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงจอร์นสัน …… 19

2-8 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงล๊อกปกติ …… 20

2-9 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ …… 20

2-10 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงป๊วส์ซอง …... 21

2-11 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงสามเหลี่ยม ... 22

2-12 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงสม่ำเสมอ 23

2-13 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงไวบูลล์ …….. 24

2-14 ตัวอย่างผังแห่งคุณค่า ...……...……. 31

3-1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย …… 36

3-2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน……...…… 38

3-3 ตัวอย่างส่วนประกอบของ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน……... 39

3-4 ความต้องการสินค้ากับความสามารถในการผลิตของสายการประกอบ…….. 43

3-5 เวลาการทำงานแต่ละสถานีของสายการประกอบที่มีพนักงานทำงาน 4 คน……... 44

3-6 ลำดับการทำงานมาตรฐานของทุกกระบวนการ…….. 47

3-7 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 1…… 54

3-8 ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 1…… 55

3-9 การสร้างวัตถุเข้ามาในระบบ …… 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-10	กระบวนการขัดยางวงแหวน …….	56
3-11	กระบวนการล้างด้วยไอเคมี 1 ……	56
3-12	การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรก และกำหนดตัวแปรช่วยในการนับรอบ……..	57
3-13	กระบวนการอัดประกอบ……..	58
3-14	การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรก และการรวมชิ้นงาน 2 ชิ้นของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์……	58
3-15	การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรกของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์……..	59
3-16	กระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์……...	59
3-17	การบันทึกรอบเวลาการทำงาน และแยกงานออกกลับเป็น 2 ชิ้น……..	60
3-18	ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 2……	60
3-19	กระบวนการตั้งศูนย์ Balancer และมีการสร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก…….	61
3-20	กระบวนการตรวจสอบการแกว่ง Run-Out Check……	61
3-21	สร้างชิ้นงานสำหรับรอบแรก และกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2……...	62
3-22	การล้างด้วยไอเคมี2 และการบันทึกเวลารอบการทำงานของพนักงานคนที่ 2……..	62
3-23	ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 3……	62
3-24	กระบวนการขัดชิ้นงาน Damper pulley……...	63
3-25	กระบวนการพ่นสี…….	63
3-26	สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก และกระบวนการตากสี……...	64
3-27	การบันทึกเวลารอบการทำงานของพนักงานคนที่ 3…….	64
3-28	ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 4……	64
3-29	สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก และกระบวนการทำสัญลักษณ์……...	65
3-30	สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรกของกระบวนการบรรจุ……	65
3-31	กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย และบรรจุ……...	66
3-32	การบันทึกรอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 4…….	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-33 การประมาณช่วงความเชื่อมันที่ 99% ของจำนวน Damper pulley……... 68

4-1 ผลจากการรันโปรแกรมหลังทำการปรับปรุงเสร็จสิ้น …… 76

4-2 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 1…….. 80

4-3 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 2……...…….. 81

4-4 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 3...…….. 82

4-5 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 4……. 83

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะปัจจุบันมีผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เกิดขึ้นในท้องตลาดมากมาย ประกอบกับความต้องการของบริษัทผู้ประกอบรถยนต์ ในด้านของปริมาณ คุณภาพ ต้นทุน และการจัดส่ง ทำให้เกิดการแข่งขันในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ นำไปสู่ความจำเป็นที่ต้องมีการปรับตัว และพัฒนาความสามารถในการผลิตอยู่เสมอ กลยุทธ์ในการจัดการระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพ นับเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดและบรรลุเป้าหมายในการแข่งขันได้

จากที่มีการแข่งขันกันอย่างเข้มข้นในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ แต่กลับพบว่าปัจจุบันสายการผลิตของบริษัทกรณีศึกษายังคงมีความสูญเปล่า (Waste) อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตเป็นอย่างมาก อีกทั้งแนวโน้มความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะรองรับความต้องการในอนาคตได้ ดังนั้น หลักการบริหารจัดการระบบการผลิตต่าง ๆ จึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของสายการผลิตนี้

แนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) นับเป็นหลักการหนึ่งที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันและมีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แนวคิดแบบลีน เป็นระบบการผลิตที่มุ่งลดความสูญเปล่า กำจัดทุกสิ่งทุกอย่างที่ไม่สร้างคุณค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ การนำแนวคิดแบบลีนมาใช้ ส่งผลให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า เกิดการทำงานที่สะดวกรวดเร็ว สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานลงได้ สามารถลดเวลาการทำงานที่ไม่จำเป็น รวมทั้งสามารถเพิ่มคุณภาพในระบบการผลิตได้ ดังนั้นแนวคิดแบบลีนในการปรับปรุงสายการผลิตเพื่อรองรับปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นในอนาคตจึงเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาแก้ปัญหาในจุดนี้ได้

ในการที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ในความเป็นจริงแล้วมีความเป็นไปได้ยากที่จะทดลองเปลี่ยนแปลงวิธีการปรับปรุงไปตามรูปแบบต่าง ๆ ในสถานที่ทำงานจริง เนื่องจากอาจเป็นการก่อให้เกิดความขัดข้อง ไม่สะดวกในการทำงานตามปกติของระบบการทำงานจริง อีกทั้งยังเป็นการยากในการควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของการปรับปรุงให้มีค่าคงที่ และอาจจะต้อง

ใช้เวลา ค่าใช้จ่าย และความเสี่ยงที่ผลลัพธ์จะไม่เป็นไปดังที่ต้องการ ดังนั้นเอง เพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม (Industrial simulation) เพื่อช่วยในการจำลองและวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ก่อนที่จะดำเนินการตัดสินใจลงทุนในการปรับปรุง จึงเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ หนึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองอุตสาหกรรม คือ โปรแกรม Arena

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้ โปรแกรม Arena จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองอุตสาหกรรมของสายการผลิตกรณีศึกษา โดยแบบจำลองจะถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อเสนอในการปรับปรุงกระบวนการผลิตรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในแง่ของความสูญเปล่าที่มีในกระบวนการผลิต ประสิทธิภาพ และความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อช่วยให้ฝ่ายบริหารสามารถตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

จัดทำต้นแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในกระบวนการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวคิดการผลิตแบบลีน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อช่วยให้การตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการผลิต
2. ลดความเสี่ยงในการลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิต

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างแบบจำลองสายการประกอบกรณีศึกษา โดยใช้โปรแกรม Arena
2. หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงสายการประกอบตามแนวคิดแบบลีน ภายใต้เงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษา
3. ใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสายการประกอบก่อน-หลัง ปรับปรุง
4. จัดทำบทวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของข้อเสนอในการปรับปรุงสายการผลิตให้แก่บริษัทกรณีศึกษา

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ข้อมูลบางอย่างมีความสำคัญและเป็นความลับของบริษัทไม่อาจเปิดเผยได้ เพราะอาจส่งผลต่อการแข่งขันทางธุรกิจ ดังนั้นจึงไม่ขอเปิดเผยชื่อบริษัทในงานวิจัย

2. การปรับปรุงสายการผลิตจำเป็นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่าย รวมทั้งความเห็นชอบจากฝ่ายบริหาร ซึ่งไม่สามารถดำเนินการให้แล้วเสร็จได้ในช่วงระยะเวลาของงานวิจัยนี้ ดังนั้นผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นเพียงบทวิเคราะห์ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงเท่านั้น

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับที่	กิจกรรม	2557												2558																			
		ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	กำหนดขอบเขตของระบบงานวิจัย																																
2	ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																																
3	เก็บข้อมูลนำเข้า และวิเคราะห์ทางสถิติ																																
4	สร้างแบบจำลองสายการประกอบและตรวจสอบความถูกต้อง เชื่อถือได้																																
5	เสนอการปรับปรุงสายการประกอบตามแนวคิดแบบลีน																																
6	สร้างแบบจำลองสายการประกอบที่ปรับปรุงตามแนวคิดแบบลีน																																
7	ทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผล																																

บทที่ 2
ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ความน่าจะเป็นและสถิติ (Probability & Statistic)

ในการศึกษาถึงสถิติวิเคราะห์เชิงอนุมาน ซึ่งปีนศาสตร์ว่าด้วยการใช้ข้อมูลสถิติซึ่งสุ่มมาเป็นตัวอย่างจากประชากรทั้งหมดไปอนุมาน ประมาณ หรือทำนายเกี่ยวกับคุณลักษณะของประชากรทั้งหมด รวมทั้งการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาบางอย่าง การวางแผนงานและการสร้างสูตรสำหรับพยากรณ์เหตุการณ์หรือเพื่อปรับปรุงผลงานในอนาคตจะต้องอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability theory) เป็นเครื่องมือสำคัญ ทั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่า พื้นฐานของวิชาสถิติ คือ วิชาทฤษฎีความน่าจะเป็นโดยทฤษฎีความน่าจะเป็นนั้นเป็นคณิตศาสตร์บริสุทธิ์ ส่วนสถิติเป็นคณิตศาสตร์ประยุกต์ ซึ่งนำเอาทฤษฎีความน่าจะเป็นมาอธิบายความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และความคลาดเคลื่อนในการทดลอง การสร้างตัวแบบของการทดลอบสมมติฐาน แนวความคิดเกี่ยวกับการแจกแจงของตัวสถิติที่ได้จาการสุ่ม การวิเคราะห์ความแปรปรวนและใช้ความแปรปรวนมาเป็นส่วนวินิจฉัยในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด รวมทั้งการควบคุมคุณภาพ ฯลฯ อาจกล่าวได้ว่า สถิติวิเคราะห์เชิงอนุมานเป็นผลมาจากการรวมทฤษฎีความน่าจะเป็นกับข้อมูลสถิติเข้าด้วยกัน ดังนั้นทฤษฎีความน่าจะเป็น จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจก่อน

ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์หนึ่ง ๆ เป็นตัวเลขซึ่งใช้วัดค่าเหตุการณ์นั้นว่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด โดยปกติความน่าจะเป็นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าเท่ากับ 0 แสดงว่าเหตุการณ์นั้นไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลย ถ้าเท่ากับ 1 แสดงว่าเหตุการณ์นั้นต้องเกิดขึ้นแน่ ๆ ถ้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงว่าเหตุการณ์นั้นมีโอกาสเกิดน้อยหรือมาก แล้วแต่ว่าตัวเลขนั้นจะอยู่ใกล้ 0 หรือ 1 ทฤษฎีความน่าจะเป็น เป็นคณิตศาสตร์ประยุกต์แขนงหนึ่ง ซึ่งกำหนดกติกา กฎเกณฑ์ และระเบียบวิธีในการคิดคำนวณความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ซึ่งเกิดจากการทดลองเชิงสุ่ม ลักษณะการทดลองเชิงสุ่ม ก็คือ การที่ไม่สามารถทำนายผลลัพธ์ล่วงหน้าได้ แม้จะไม่สามารถทำนายผลลัพธ์ล่วงหน้าที่แน่นอนได้ แต่การรู้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์หนึ่ง ๆ จะช่วยให้มีความรู้ความเข้าใจ การทดลองเชิงสุ่มได้ดี พึงสังเกตว่า การใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นมาศึกษาถึงความไม่แน่นอนนี้เป็นการใช้ก่อนที่จะทำการทดลองแล้วเสร็จ เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองและทราบผลลัพธ์แล้ว การใช้ความน่าจะเป็นมาบรรยายการทดลองเชิงสุ่มใด ๆ จะไม่มีความหมายเลย (มิ่งขวัญ เหรียญประยูร, 2546)

วิธีการกำหนดความน่าจะเป็นให้กับผลลัพธ์ของการทดลองเชิงสุ่ม มี 3 วิธี คือ

1. การกำหนดความน่าจะเป็นโดยอาศัยตัวแบบการทดลอง (Experimental model) มีการทดลองสุ่มบางประเภทที่สามารถกำหนดความน่าจะเป็นให้กับผลลัพธ์ต่าง ๆ ของการทดลองได้ โดยใช้สมมติฐานบางประการเกี่ยวกับตัวแบบการทดลอง เช่น

1.1 การทดลองโยนเหรียญ ซึ่งแซมเปิลสเปซของการทดลอง คือ S = {หัว, ก้อย} ถ้าเหรียญไม่บิดเบี้ยว และในการโยนเหรียญ ผู้โยนไม่มีความเอนเอียงโดยไม่พยายามเจาะจงที่จะโยนเพื่อให้เกิดหัว หรือก้อย จึงไม่มีเหตุผลอันใดที่จะอ้างว่าหัวมีโอกาสขึ้นมากกว่าก้อย หรือก้อยมีโอกาสเกิดมากกว่าหัว กรณีนี้จึงให้ความน่าจะเป็นที่จะขึ้นหัว เท่ากับความน่าจะเป็นที่จะขึ้นก้อย และต่างกันเท่ากับ $\frac{1}{2}$

1.2 การทดลองดึงไพ่ 1 ใบจากสำรับ การทดลองนี้มีผลลัพธ์ที่จะเป็นไปได้ 52 หนทางหากก่อนดึงไพ่ได้มีการสลับไพ่อย่างดี จึงไม่มีเหตุผลที่จะอ้างว่าผลลัพธ์หนึ่ง ๆ จะมีโอกาสเกิดขึ้นมากว่าผลลัพธ์อื่น ความน่าจะเป็นของแต่ละผลลัพธ์เท่ากับ $\frac{1}{52}$

1.3 การทดลองหยิบบอลจากหีบที่รู้จำนวนบอลแต่ละประเภทแน่นอน ถ้าในหีบมีบอล 7 ลูก เป็นบอลขาว 3 ลูก แดง 2 ลูก และเหลือง 2 ลูก หากจะหยิบบอลออกมาจากหีบ 1 ลูก โดยไม่เจาะจง (หยิบอย่างสุ่ม) แซมเปิลสเปซของการทดลองนี้ คือ S = {W, R, Y} เมื่อ W เป็นสัญลักษณ์แทนบอลสีขาว R แทนบอลแดง และ Y แทนบอลเหลือง ตัวอย่างนี้ความน่าจะเป็นของแต่ละผลลัพธ์ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะมีบอลแต่ละสีไม่เท่ากัน โดยสามัญสำนึกจะรู้ว่ามีโอกาสที่จะได้ผลลัพธ์ W จะสูงกว่า และความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ต่าง ๆ ในแซมเปิลสเปซจึงเป็นดังนี้

$$P(W) = \frac{3}{7}, P(R) = \frac{2}{7} \text{ และ } P(Y) = \frac{2}{7}$$

2. การกำหนดความน่าจะเป็นโดยอาศัยผลจากการทดลอง (Empirical approach) ในการทดลองบางกรณี เราไม่อาจใช้ตัวแบบการทดลองในการกำหนดความน่าจะเป็นให้แก่ผลลัพธ์ต่าง ๆ ได้ เช่น ถ้าเหรียญอันหนึ่งมีน้ำหนักสองด้านไม่เท่ากัน หรือเป็นเหรียญที่บิดเบี้ยว การโยนเหรียญนี้คงให้ผลลัพธ์หัวหรือก้อย แต่กรณีนี้เราไม่สามารถกำหนดให้ $P(H) = P(T) = \frac{1}{2}$ ได้ เมื่อ H เป็นสัญลักษณ์แทนหัว และ T เป็นสัญลักษณ์แทนก้อย ทั้งนี้เพราะไม่รู้ว่าการที่เหรียญมีน้ำหนักสองหน้าไม่เท่ากัน หรือถูกบิดเบี้ยวไปนั้นมีผลอย่างไรต่อความน่าจะเป็นที่จะขึ้นหัว หรือก้อย แต่ที่รู้แน่ ๆ ก็คือ โอกาสที่จะขึ้นหัวหรือก้อยไม่เท่ากัน

ถ้าในกล่องใบหนึ่ง มีบอลสีขาว แดง เหลือง แต่ไม่รู้ว่ามีบอลสีละกี่ลูก จะหยิบบอลออกมา 1 ลูก อย่างสุ่ม แซมเปิลสเปซ คงเป็น S = {ขาว, แดง, เหลือง} แต่กรณีนี้จะไม่สามารถ

กำหนดความน่าจะเป็นให้แก่ผลลัพธ์ได้ ทั้งนี้เพราะไม่รู้ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตัวแบบของการทดลองนี้อย่างเพียงพอ

ในสภาพการณ์เช่นนี้ ยังคงสามารถกำหนดความน่าจะเป็นให้แก่ผลลัพธ์ต่าง ๆ ได้โดยอาศัยการดูผลลัพธ์จากการทดลองนั่นเอง ถ้าหากว่าสามารถทำการทดลองซ้ำ ๆ ได้หลาย ๆ ครั้ง ภายใต้สภาวการณ์เดียวกันและแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน แล้วบันทึกผลลัพธ์จาการทดลองแต่ละครั้ง หากทดลองไป n ครั้ง ผลลัพธ์ a_i เกิดขึ้นจำนวน n_i ครั้งอัตราส่วน $\frac{n_i}{n}$ เป็นความถี่สัมพัทธ์ของการเกิดผลลัพธ์ a_i เมื่อ n มีค่าใหญ่เพียงพอ อัตราส่วนดังกล่าวจะลู่เข้าสู่ค่าความน่าจะเป็น p_i หรือ กล่าวคือ

$$p_i = \lim_{n\to\infty} \left(\frac{n_i}{n}\right)$$

เรียกว่าเป็นความน่าจะเป็นซึ่งนิยามในเทอมของความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency definition of probability) ตัวอย่างเช่น

การทดลองโยนเหรียญที่บิดเบี้ยว หรือเหรียญที่มีน้ำหนักสองหน้าไม่เท่ากัน การหาความน่าจะเป็นที่จะขึ้นหัวของเหรียญนี้ ต้องโยนเหรียญนี้ซ้ำหลาย ๆ ครั้ง และแต่ละครั้งจะบันทึกผลลัพธ์ของการทดลองไว้ ความน่าจะเป็นที่จะขึ้นหัว คือ อัตราส่วนของจำนวนครั้งที่ขึ้นหัวต่อจำนวนครั้งที่ทำการทดลอง (ถ้าจำนวนครั้งที่โยนมากพอ)

สมมติว่าโยนไปแล้วเท่ากับ 1,000 ครั้ง แล้วเกิดหัว 650 ครั้ง และก้อย 350 ครั้ง จะประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะขึ้นหัว P(H) = $\frac{650}{1{,}000}$ = 0.65 และความน่าจะเป็นที่จะขึ้นก้อย P(T) = $\frac{350}{1{,}000}$ = 0.35

3. การกำหนดความน่าจะเป็นโดยวิธีอุปนัย (Subjective probability) มีการทดลองเชิงสุ่มบางประเภทซึ่งไม่สามารถกำหนดค่าความน่าจะเป็นได้โดยวิธีหนึ่งวิธีใดใน 2 วิธีที่กล่าวมาแล้ว สำหรับการทดลองประเภทนี้ ไม่ทราบข้อเท็จเกี่ยวกับตัวแบบอย่างเพียงพอ ขณะเดียวกันก็ไม่สามารถทำการทดลอง และบันทึกผลซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้งภายใต้สภาวการณ์เดียวกันได้ วิธีเดียวที่จะกำหนดความน่าจะเป็นได้ ก็คือ ใช้วิธีประมาณค่าความน่าจะเป็น โดยการชั่งใจ ใช้ความรู้สึกเป็นเครื่องกำหนด การกำหนดนี้จะถูกต้องตามความน่าจะเป็นที่แท้จริงหรือไม่ หรือจะใกล้เคียงเท่าไรก็ไม่สามารถจะพิสูจน์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ความน่าจะเป็นโดยอุปนัยมาช่วยประกอบในการตัดสินใจ ก็ยังได้ผลประโยชน์บ้างดีกว่าที่จะไม่ใช้ความน่าจะเป็นเสียเลย ตัวอย่างเช่น

นักศึกษาที่เรียนวิชาใดวิชาหนึ่ง การสอบของนักศึกษาแต่ละคนเป็นการทดลองเชิงสุ่ม

ผลลัพธ์ของการทดลอง คือ คะแนนสอบ ซึ่งอาจเป็นเกรด A, B, C, D หรือ F นักศึกษาแต่ละคนอาจจะสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะได้เกรดใด ๆ จากการประมาณสติปัญญาความสามารถของตนเอง นักศึกษาที่เคยเรียนดีและคิดว่าวิชาดังกล่าวตัวเองมีความสนใจและมีความถนัดก็อาจจะให้ความน่าจะเป็นแก่ตัวเองดังนี้ P(A) = 0.3; P(B) = 0.5; P(C) = 0.2; P(D) = P(F) = 0 ซึ่งเป็นการกำหนดโดยวิธีอุปนัย

ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Condition probability) พิจารณาการทดลองเชิงสุ่ม ซึ่งมีแซมเปิลสเปซเป็น S ให้ A และ B เป็นเหตุการณ์ของการทดลองนี้ สมมติว่าในการทดลองทราบมาก่อนแล้วว่าเหตุการณ์ B ได้เกิดขึ้นโดยไม่ทราบผลลัพธ์ใดเกิดขึ้นในการทดลอง ทราบเพียงแต่ว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลลัพธ์ของเหตุการณ์ B ไม่ทราบว่า A จะเกิดขึ้นหรือไม่ จากความรู้ที่ว่า B ได้เกิดขึ้นแล้ว ความน่าจะเป็นของ A อาจเปลี่ยนไปจากเดิม เรียกความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A เมื่อทราบว่าเหตุการณ์ B ต้องเกิดขึ้นว่า ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข แทนด้วยสัญลักษณ์ P(A|B) อ่านว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A เมื่อกำหนดว่าเหตุการณ์ B ต้องเกิดขึ้น หรือความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A จะเกิดขึ้นเมื่อเหตุการณ์ B เกิดขึ้นแล้ว พึงสังเกตว่า เซตของผลลัพธ์ใน B ที่ทำให้เกิด A คือ เซต A $\cap$ B นั่นเอง แต่ความน่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขไม่ได้เท่ากับ P(A $\cap$ B) ทั้งนี้เพราะ P(A $\cap$ B) เป็นความน่าจะเป็นที่ A และ B เกิดร่วมกัน โดยคำนวณความน่าจะเป็นจากทุกผลลัพธ์ในแซมเปิลสเปซ S ถ้ากำหนดว่า B ได้เกิดขึ้นแล้ว P(A|B) จะคำนวณได้โดยปรับ P(A $\cap$ B) ให้เข้ากับส่วนของแซมเปิลสเปซที่เซต B เท่านั้น โดยให้ถือเสมือนว่า B เป็นแซมเปิลสเปซใหม่ของการทดลอง เรียก B ว่าเป็น แซมเปิลสเปซลดทอน (Reduce sample space) เมื่อปรับแล้วจะสูตรความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ A ภายใต้เงื่อนไขของการกำหนดว่าเหตุการณ์ B เกิดขึ้นแล้ว แทนด้วยสัญลักษณ์ P(A|B)

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad \text{เมื่อ } P(B) > 0$$

P(A $\cap$ B) คือ ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A และ B จะเกิดร่วมกัน (Joint probability of A and B)

ตัวอย่าง ครอบครัวตั้งใจจะมีลูก 3 คน แต่ขณะนี้เพิ่งมีคนเดียวและเป็นลูกสาว จงหาความน่าจะเป็นที่เมื่อครอบครัวนี้มีลูกครบ 3 คนแล้ว จะได้ลูกชายอย่างน้อยที่สุด 1 คน

แซมเปิลสเปซของการมีลูก 3 คน คือ S = {ชชช, ชชญ, ชญช, ชญญ, ญชช, ญชญ, ญญช, ญญญ}

เมื่อ ช หมายถึง ลูกชาย; ญ หมายถึง ลูกหญิง

ให้ B เป็นเหตุการณ์ที่ลูกคนหัวปีเป็นหญิง

A เป็นเหตุการณ์ที่จะได้ลูกชายอย่างน้อยที่สุด 1 คน

B = {ญชช, ญชญ, ญญช, ญญญ}

A = {ชชช, ชชญ, ชญช, ชญญ, ญชช, ญชญ, ญญช}

$A \cap B$ = {ญชช, ญชญ, ญญช}

ถ้าถือว่าโอกาสของการเกิดหญิง และชาย เท่ากัน จะได้

$$P(A) = \frac{7}{8}, P(B) = \frac{4}{8} \text{ และ } P(A \cap B) = \frac{3}{8}$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ครอบครัวนี้จะได้ลูกชายอย่างน้อยที่สุด 1 คนโดยรู้ว่าลูกคนหัวปีเป็นหญิง คือ

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{3/8}{4/8} = \frac{3}{4}$$

ตัวสถิติ (Statistic) คือ ฟังก์ชั่นของตัวอย่างสุ่มที่ไม่ได้ขึ้นกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ตัวสถิติจะเป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามตัวอย่างที่เปลี่ยนไป มักใช้สัญลักษณ์อักษรลาติน ส่วนสัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าพารามิเตอร์ ส่วนใหญ่เป็นอักษรกรีก เช่น

	ตัวสถิติ	พารามิเตอร์
ค่าเฉลี่ย	$\bar{X}$	μ
ความแปรปรวน	S^2	σ^2
สัดส่วน	$\hat{P}$	p

ตัวสถิติถูกใช้เป็นตัวกะประมาณค่าพารามิเตอร์ ตัวสถิติที่นิยมใช้กัน มีดังนี้

ถ้า $X_1, X_2, \ldots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุมขนาด n แล้ว ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Sample mean) คือ ตัวสถิติ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$

ค่า ๆ หนึ่งของตัวสถิติ ที่คำนวณจากตัวอย่างสุ่มชุดหนึ่งที่มีขนาด n เรียกว่า ค่าสถิติแทนด้วยอักษรตัวเล็กที่ตรงกัน เช่น ค่าสถิติ $\bar{x}$ ของตัวสถิติ $\bar{X}$ ที่คำนวณจากตัวอย่างสุ่มชุดหนึ่งที่มีค่าสังเกตเป็น $x_1, x_2, \ldots, x_n$

ตัวอย่าง ผู้ตรวจสอบคุณภาพอาหารได้สุ่มตัวอย่างปลากระป๋องยี่ห้อ A มา 7 กระป๋อง นำมาหาน้ำหนักเนื้อปลาที่บรรจุต่อกระป๋องได้ดังนี้ 90, 84, 85,91, 88, 86 และ 89 กรัม ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างหาได้โดย ค่าสังเกต $\bar{x}$ ของตัวสถิติ $\bar{X}$ คือ

$$\bar{x} = \frac{90+84+85+91+88+86+89}{7} = 87.57 \text{ กรัม}$$

ตัวสถิติที่สำคัญตัวที่สอง ที่เป็นเครื่องวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง คือ ค่ามัธยฐานของตัวอย่าง (Sample median) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ $\tilde{X}$ ถ้า $X_1, X_2, \ldots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มขนาด n ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามากแล้ว ค่ามัธยฐานของตัวอย่าง คือ ตัวสถิติ

$$\widetilde{X} = \begin{cases} X_{\frac{n+1}{2}} & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคี่} \\ \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2} & \text{เมื่อ } n \text{ เป็นเลขคู่} \end{cases}$$

จะเห็นว่ามัธยฐานของตัวอย่าง ก็คือ ค่าสังเกตกึ่งกลาง ซึ่งแบ่งความถี่ทั้งหมดของข้อมูลที่เรียงลำดับแล้วออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน

ตัวอย่าง หาค่ามัธยฐานของ 90, 84, 85,91, 88, 86 และ 89 กรัม ได้ดังนี้

เรียงค่าสังเกตใหม่จากค่าน้อยไปยังค่ามาก 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91

จะได้ค่ามัธยฐาน $\widetilde{X} = X_{\frac{n+1}{2}} = 88$

ตัวอย่าง สุ่มตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อหนึ่งมา 8 มวน นำมาตรวจสอบหาปริมาณนิโคตินได้ดังนี้ 2.0, 2.8, 1.9, 3.1, 2.9, 2.5, 2.7 และ 2.3 มิลลิกรัม หาค่ามัธยฐานได้ดังนี้

เรียงค่าสังเกตใหม่จากค่าน้อยไปยังค่ามาก 1.9, 2.0, 2.3, 2.5, 2.7, 2.8, 2.9, 3.1

จะได้ค่ามัธยฐาน $\widetilde{X} = \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2} = \frac{2.5+2.7}{2} = 2.6$ มิลลิกรัม

ตัวสถิติตัวสุดท้ายที่ใช้เป็นเครื่องวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลางของตัวอย่างสุ่ม ที่จะกล่าวถึง คือ ฐานนิยมของตัวอย่าง (Sample mode) แทนด้วยสัญลักษณ์ M ถ้า $X_1, X_2, \ldots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มขนาด n ที่มีบางค่าซ้ำกันแล้ว ฐานนิยมของตัวอย่าง M คือ ค่าสังเกตในตัวอย่างที่มีความถี่สูงสุด ฐานนิยมอาจจะไม่มีหรืออาจจะมีมากกว่าหนึ่งค่าก็ได้ ฐานนิยมจะไม่มีในกรณีที่ค่าสังเกตที่รวบรวมได้มีความถี่เท่ากันหมด แต่ถ้ามีค่าสังเกตหลายค่ามีความถี่เท่ากันหมด และสูงกว่าค่าสังเกตอื่น ๆ ก็จะถือว่าข้อมูลนั้นมีฐานนิยมหลายค่าฐานนิยม เป็นสิ่งที่ใช้วัดแนวโน้มสู่ส่วนกลางชนิดเดียวที่ใช้ได้กับข้อมูลที่ไม่เป็นตัวเลข มีแต่ความถี่เท่านั้นมักใช้ในสถิติภาคพรรณนา มากว่าในสถิติอนุมาน

ตัวอย่าง เพื่อศึกษาถึงจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนถนนสายหนึ่งต่อสัปดาห์ ได้ทำการเก็บข้อมูลมา 10 สัปดาห์ บันทึกจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ดังนี้ 2, 1, 0, 2, 3, 0, 4, 2, 1, 5 ครั้ง

หาค่าฐานนิยม ได้คือ ค่าสังเกตที่เกิดขึ้นด้วยความถี่สูงสุด ในที่นี้ คือ m = 2 ครั้ง

ตัวอย่าง สุ่มตัวอย่างนักศึกษา 13 คน จากนักศึกษา ภาควิชาหนึ่ง ของมหาวิทยาลัย สอบถามจำนวนพี่น้องรวมทั้งตัวเอง ได้ข้อมูลดังนี้ 2, 3, 3, 1, 2, 4, 2, 5, 2, 5, 4, 3, 3 คน

หาค่าฐานนิยม ได้คือ 2 และ 3 เพราะทั้ง 2 และ 3 เกิดขึ้นด้วยความถี่สูงสุดที่เท่ากัน การแจกแจงแบบนี้เรียกว่า ทวิฐานนิยม (Bimodal)

ตัวอย่าง ผู้ตรวจสอบคุณภาพอาหารได้สุ่มตัวอย่างปลากระป๋องยี่ห้อ A มา 7 กระป๋อง นำมาหาน้ำหนักเนื้อปลาที่บรรจุต่อกระป๋องได้ดังนี้ 90, 84, 85,91, 88, 86 และ 89 กรัม

ไม่มีค่าฐานนิยม เพราะค่าสังเกตเกิดขึ้นครั้งเดียว

ทั้งค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และฐานนิยม ต่างก็เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแนวโน้มสู่ส่วนกลาง

ของข้อมูล แต่ค่าเฉลี่ยนิยมใช้มากที่สุด เพราะคำนวณง่าย และได้ใช้ข้อมูลทุกตัวในการคำนวณ การแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าเฉลี่ย ข้อเสียของค่าเฉลี่ยตัวอย่างมีเพียงอย่างเดียว คือ เมื่อมีข้อมูลที่มีค่ามาก หรือที่มีค่าน้อยผิดปกติเกิดขึ้นจะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ย ซึ่งในกรณีที่ข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีเพียงสองสามค่าแตกต่างออกไปมาก จะใช้ค่ามัธยฐานวัดแนวโน้มสู่ส่วนกลางได้ดีกว่าค่าเฉลี่ย ส่วนฐานนิยมจะใช้ในสถิติภาคพรรณนามากกว่าในสถิติอนุมาน คือ เมื่อมีการคำนวณสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้วไม่ค่อยนิยมใช้ฐานนิยมกัน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้แต่การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเพียงอย่างเดียวนั้นไม่พอเพียงเพราะข้อมูลสองชุดที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากัน หรือมัธยฐานเท่ากัน แต่อาจจะมีความแตกต่างของค่าของข้อมูลกันมากแค่ไหนก็ได้ จึงต้องมีการวัดการกระจายของข้อมูลด้วย สิ่งที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลมีอยู่หลายชนิด บางชนิดวัดได้เพียงหยาบ ๆ เท่านั้น แต่หาได้ง่ายและรวดเร็ว บางชนิดเป็นที่นิยมใช้ และบางชนิดไม่เป็นที่นิยมใช้ และตัวสถิติที่สำคัญซึ่งใช้วัดการกระจายของตัวอย่างสุ่ม ได้แก่ พิสัย (Rang) และความแปรปรวน (Variance)

พิสัย (Range) ของตัวอย่างสุ่ม $X_1, X_2, \ldots, X_n$ คือ ตัวสถิติ

$$R = X_{max} - X_{min}$$

เมื่อ X_{max} และ X_{min} คือ ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดตามลำดับ

พิสัยเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลอย่างง่าย ๆ โดยพิจารณาผลต่างระหว่างค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของข้อมูลเท่านั้น จึงใช้วัดการกระจายได้เพียงหยาบ ๆ โดยทั่วไปค่าของพิสัยจะมากขึ้นเมื่อจำนวนข้อมูลมากขึ้น

ความแปรปรวนของตัวอย่าง (Sample variance) คือ ตัวสถิติที่เป็นเครื่องมือวัดการกระจายของข้อมูลตัวอย่างได้ดี ถ้า $X_1, X_2, \ldots, X_n$ เป็นตัวอย่างสุ่มขนาด n แล้ว จะได้ความแปรปรวนของตัวอย่าง ดังนี้

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

ในกรณีที่ข้อมูลมีทศนิยมการคำนวณ S^2 โดยใช้สูตรดังกล่าวจะเป็นการยุ่งยากและเสียเวลา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจะเปลี่ยนแปลงสูตรเสียใหม่ให้ใช้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น ดังนี้

$$S^2 = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2}{n(n-1)}$$

ตัวอย่าง เพื่อศึกษาถึงจำนวนนักศึกษาที่ขาดเรียนในชั่วโมงบรรยายวิชาสถิติของภาคการศึกษาหนึ่ง จึงได้บันทึกจำนวนนักศึกษาที่ขาดเรียนใน 6 ครั้งบรรยาย ที่สุ่มมาเป็นตัวอย่างได้ข้อมูลดังนี้ 3, 4, 7, 5, 6 และ 6 คน ความแปรปรวนของตัวอย่าง คือ จากข้อมูลจะได้

$$\sum_{i=1}^{6} X_i = 31, \sum_{i=1}^{6} X_i{}^2 = 171, n = 6$$

$$S^2 = \frac{(6)(171)-(31)^2}{(6)(5)} = \frac{13}{6}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample standard deviation) แทนด้วยสัญลักษณ์ S คือ ค่าบวกของรากที่สองของความแปรปรวนของตัวอย่าง

$$S = \sqrt{S^2}$$

ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ของตัวสถิติ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงการสุ่มตัวอย่าง เช่น ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงการสุ่มตัวอย่างของ $\overline{X}$ เขียนได้ว่า $\sigma_{\overline{X}}$

กระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม (Stochastic Process)

ในการสร้างแบบจำลองจะต้องพิจารณาจากระบบที่สนใจ ว่าเป็นแบบจำลองแบบใด ซึ่งลักษณะของแบบจำลองมี 2 ลักษณะ คือ 1) กระบวนการแบบกำหนดค่าคงที่ (Deterministic process) และ 2) กระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม (Stochastic process) ซึ่งกระบวนการกำหนดค่าคงที่ หมายความว่า เมื่อกำหนดค่านำเข้าคงที่ เราจะได้ค่าผลลัพธ์ออกมา เช่น Y = X + 1 เมื่อกำหนดค่าให้กับ X เราจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่า Y ส่วนกระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม เป็นเรื่องของงานที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรสุ่ม โดยมุ่งเน้นการกระจายตัวทางสถิติของผลลัพธ์ภายหลังเมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจำนวนมากจากกระบวนการเป็นการกระจายตัวทางสถิติ และระบบโดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบที่มีกระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม

ในการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนอกจากตัวแปรสุ่มต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณแล้ว เรายังใช้ลำดับต่าง ๆ มากมาย และกลุ่มของตัวแปรสุ่มที่เป็นฟังก์ชั่นของเวลา ตัวอย่างเช่นให้ n(t) เป็นจำนวนของงานที่อยู่ในตัวประมวลผลกลางในระบบคอมพิวเตอร์ ถ้านำระบบคอมพิวเตอร์ที่เหมือนกันมาจำนวนหลายระบบ และเฝ้าสังเกตจำนวนงานที่ตัวประมวลผลกลางตามฟังก์ชั่นของเวลา จะพบว่า n(t) เป็นตัวแปรสุ่ม เพื่อที่จะระบุพฤติกรรมดังกล่าว จำเป็นต้องทราบการกระจายของ n(t) ทุกค่าเวลา t เช่นเดียวกัน ค่าเวลาการรอรับบริการ w(t) เป็นฟังก์ชั่นสุ่มที่แปรผันตามเวลา ฟังก์ชั่นสุ่มลักษณะดังกล่าวเรียกว่า กระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปร (วรา วราวิทยา, 2545) ซึ่งที่ใช้กันมากมีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการสถานะต่อเนื่อง และกระบวนการสถานะไม่ต่อเนื่อง (Discrete-state and continuous-state processes) กระบวนจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบไม่ต่อเนื่องขึ้นอยู่กับค่าของสถานะของกระบวนการนั้น ๆ ถ้าจำนวนของสถานะที่เป็นไปได้ของกระบวนการมีจำนวนจำกัดหรือนับได้ กระบวนการนั้นเป็นแบบสถานะไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ถ้าจำนวนงานในระบบ n(t)

มีค่าเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น 0,1,2,…n(t) เป็นกระบวนการแบบสถานะไม่ต่อเนื่อง เวลาที่รอรับบริการ w(t) สามารถเป็นค่าเวลาใด ๆ ก็ได้ในจำนวนจริง ดังนั้นจึงเป็นกระบวนการสถานะต่อเนื่อง กระบวนการแบบกำหนดค่าตัวแปรสุ่ม แบบสถานะไม่ต่อเนื่อง เรียกว่า ห่วงโซ่สโตคาสติก (Stochastic chain)

2. กระบวนการมาร์คอฟ (Markov processes) ถ้าสถานะในอนาคตของกระบวนการไม่ขึ้นอยู่กับอดีต และขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันเพียงอย่างเดียว กระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการมาร์คอฟ คุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า คุณสมบัติมาร์คอฟ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทราบการเปลี่ยนแปลงทั้งรอบการทำงาน เพียงแค่รู้ถึงสถานะปัจจุบันก็เพียงพอ กระบวนการมาร์คอฟแบบสถานะไม่ต่อเนื่องเรียกว่า ห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov chain)

3. กระบวนการเกิด-ดับ (Birth-death processes) กระบวนการมาร์คอฟแบบสถานะไม่ต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจำกัดเพียง สถานะข้างเคียง เรียกว่า กระบวนการเกิด-ดับ สำหรับกระบวนการเกิด-ดับ สามารถจะแสดงสถานะของกระบวนการ โดยตัวเลขจำนวนเต็ม โดยที่ตัวเลขแสดงสถานะของระบบที่สถานะ n และจะเปลี่ยนไปยังสถานะข้างเคียง คือ n+1 และ n-1 เท่านั้นตัวอย่าง เช่น จำนวนงานในระบบคิวที่มีเครื่องบริการหนึ่งเครื่อง และมีงานเข้าใช้ระบบครั้งละหนึ่งงาน สามารถแสดงได้โดยกระบวนการเกิด-ดับ โดยที่เลขจำนวนเต็มแสดงสถานะของกระบวนการ เมื่อมีงานเข้าใช้ระบบ กระบวนการจะเพิ่มสถานะขึ้นหนึ่ง +1 (เกิด) และเมื่องานเสร็จจากการบริการ (ออกงานระบบ หรือ ดับ) กระบวนการจะลดสถานะลงหนึ่ง -1

4. กระบวนการปัวส์ซอง (Poisson processes) ถ้าเวลาระหว่างการเข้าใช้ระบบเป็น IID และมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล จำนวนงานที่เข้าใช้ระบบ n ในช่วงการทำงาน (t,t+x) จะมีการกระจายแบบปัวส์ซอง ดังนั้นกระบวนการเข้าใช้ระบบจะถูกเรียกว่ากระบวนการปัวส์ซอง หรือกระแสการเข้าใช้งานระบบแบบปัวส์ซอง

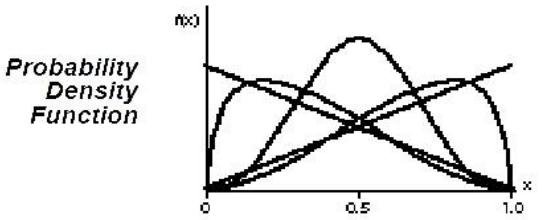
ฟังก์ชั่นการแจกแจง (Distribution Function)

ตัวแปรสุมในประชากรหรือการทดลองใด ๆ ก็ตาม จะมีรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นอย่างหนึ่ง ซึ่งรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรมีหลายรูปแบบ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงที่มีใช้ในโปรแกรม Arena เท่านั้น ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่าง ๆ (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015)

รูปแบบการแจกแจง	พารามิเตอร์	สัญลักษณ์
การแจกแจงเบต้า	Bata (Beta,Alpha)	BETA(β,α)
การแจกแจงต่อเนื่อง	Continuous ($ComP_1$,Val_1,…,$ComP_n$,Val_n)	CONT(C_1,X_1,…,$C_n$$X_n$)
การแจกแจงไม่ต่อเนื่อง	Discrete ($ComP_1$,Val_1,…,$ComP_n$,Val_n)	DISC(C_1,X_1,…,$C_n$$X_n$)
การแจกแจงเออร์แลงค์	Erlang (ExpoMean,K)	ERLA(β,k)
การแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล	Exponential (Mean)	EXPO(β)
การแจกแจงแกมมา	Gamma (Beta,Alpha)	GAMM(β,α)
การแจกแจงจอร์นสัน	Johnson (Gamma,Delta,Lambda,Xi)	JOHN(γ,δ,λ,ξ)
การแจกแจงล๊อกปกติ	Lognormal (LogMean,LogStd)	LOGN(μ,σ)
การแจกแจงปกติ	Normal (Mean,StdDev)	NORM(μ,σ)
การแจกแจงปัวส์ซอง	Poisson (Mean)	POIS(λ)
การแจกแจงสามเหลี่ยม	Triangular (Min,Mode,Max)	TRIA(a,m.b)
การแจกแจงสม่ำเสมอ	Uniform (Min,Max)	UNIF(a,b)
การแจกแจงไวบูลล์	Weibull (Beta,Alpha)	WEIB(β,α)

การแจกแจงเบต้า (Beta distribution) เป็นการแจกแจงสัดส่วนแบบสุ่ม เช่น สัดส่วนของเสียที่เกิดจากการผลิตจำนวนมาก ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และด้วยความสารมารถในการที่จะใช้ความหลากหลายของรูปทรงของการกระจายตัว จึงมักจะใช้เป็นแบบหยาบของการกระจายตัวในกรณีที่ไม่มีข้อมูล โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-1



$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta,\alpha)} & \text{for } 0 < x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where β is the complete beta function given by

$$B(\beta,\alpha) = \int_0^1 t^{\beta-1}(1-t)^{\alpha-1}dt$$

ภาพที่ 2-1 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงเบต้า

โดยมี พารามิเตอร์ BETA (β,α) คือ

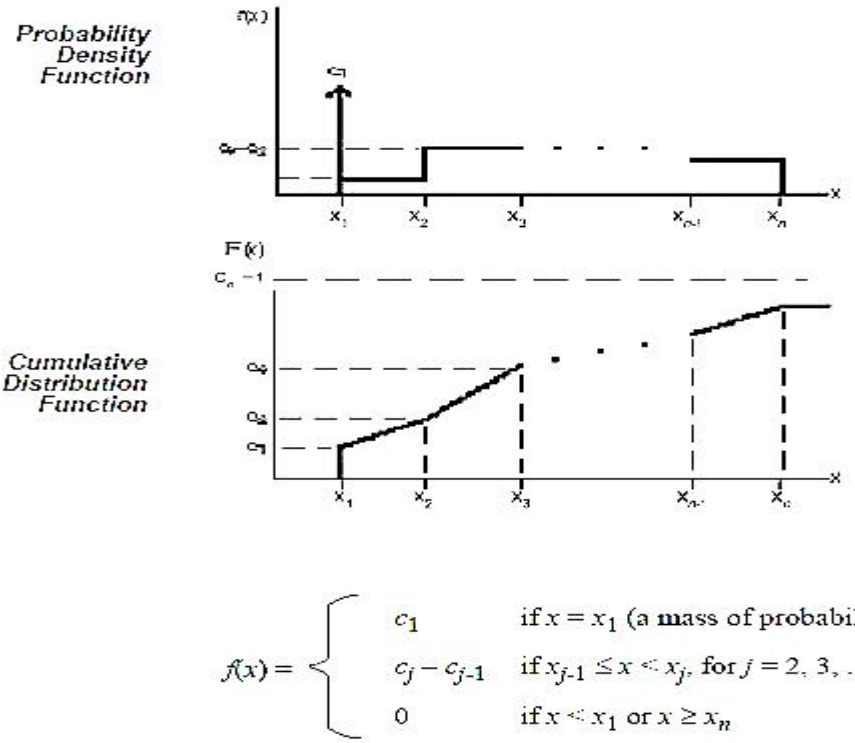
1. เบต้า (β) คือ ตัวแปรรูปทรงของเบต้า
2. อัลฟ่า (α) คือ จำนวนจริงบวกใด ๆ

การแจกแจงต่อเนื่อง (Continuous distribution) มักจะใช้ในการรวบรวมข้อมูลจริงสำหรับรูปแบบตัวแปรสุ่มต่อเนื่องโดยตรง การแจกแจงนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการแจกแจงทางทฤษฎีที่ได้รับการกำหนดข้อมูลมาให้ เช่น ในข้อมูลที่มีรายละเอียดต่อเนื่องหรือในกรณีที่มีค่าผิดปกติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-2

โดยมี พารามิเตอร์ CONT(C_1,X_1,…,$C_n$$X_n$) คือ

1. Cumulative probabilities, ComP (C_1) คือ ความน่าจะเป็นสะสม
2. Value, Val (X_1) คือ ค่าที่เกี่ยวข้อง

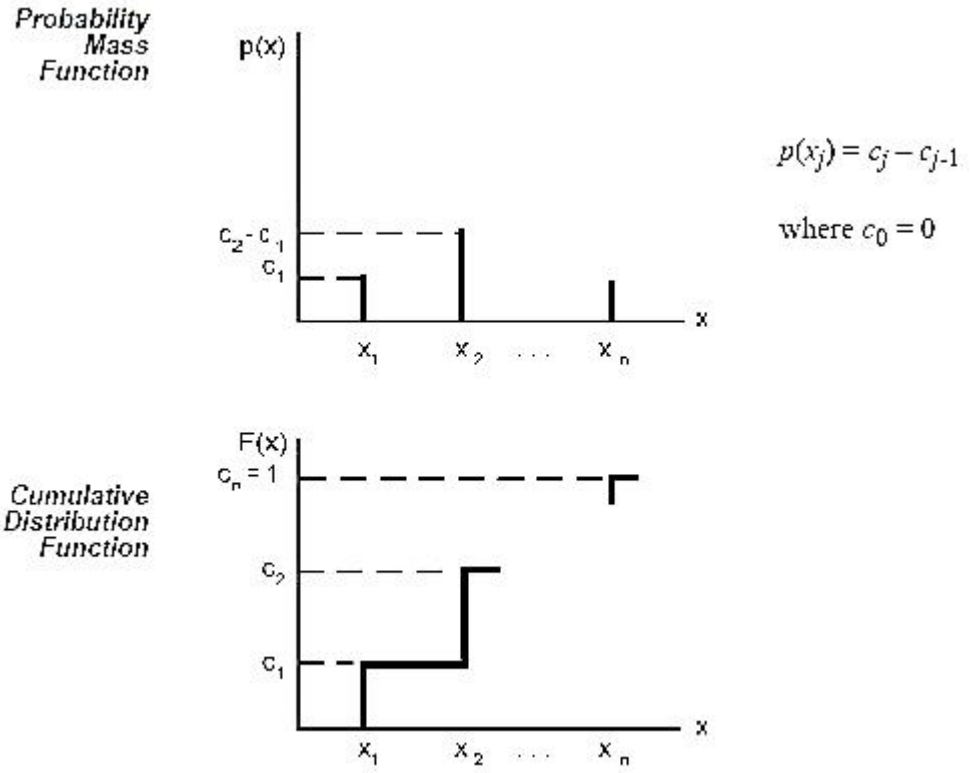
ในโปรแกรม Arena จะส่งกลับค่าตัวอย่างจากการนิยามการกระจายตัวของผู้ใช้งาน โดยจะเป็นคู่ความน่าจะเป็นสะสมกับค่าที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ ค่าตัวอย่างที่ส่งกลับจะเป็นจำนวนจริงระหว่าง X_1 ถึง X_n และจะน้อยกว่าหรือเท่ากับแต่ละ X_j ร่วมกับ C_j ค่าของ X_j ต้องเพิ่มขึ้นตามค่า j ค่าของ C_j ทั้งหมดต้องอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ต้องเพิ่มขึ้นตามค่า j และ C_n ต้องเป็น 1



$$f(x) = \begin{cases} c_1 & \text{if } x = x_1 \text{ (a mass of probability } c_1 \text{ at } x_1) \\ c_j - c_{j-1} & \text{if } x_{j-1} < x < x_j, \text{ for } j = 2, 3, \ldots, n \\ 0 & \text{if } x < x_1 \text{ or } x \geq x_n \end{cases}$$

ภาพที่ 2-2 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงต่อเนื่อง

การแจกแจงไม่ต่อเนื่อง (Discrete distribution) มักจะถูกนำมาใช้ในการรวบรวมข้อมูลการทดลองสำหรับรูปแบบตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่องโดยตรง การแจกแจงนี้มักถูกใช้สำหรับการมอบหมายงานที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น ประเภทงาน ลำดับการเยี่ยมชม หรือการมาถึงของกลุ่มวัตถุ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-3



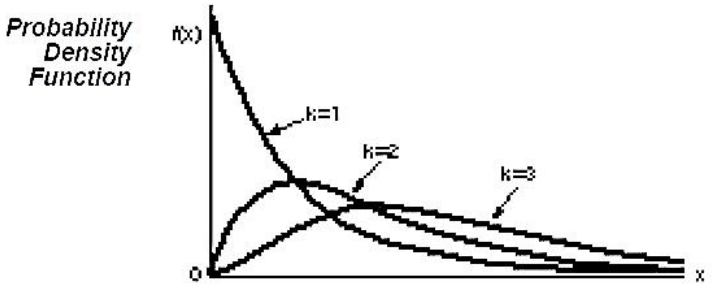
ภาพที่ 2-3 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงไม่ต่อเนื่อง

โดยมี พารามิเตอร์ DISC (C_1,X_1,…,$C_n$$X_n$) คือ

1. Cumulative probabilities, ComP (C_1) คือ ความน่าจะเป็นสะสม
2. Value, Val (X_1) คือ ค่าที่เกี่ยวข้อง

ในโปรแกรม Arena จะส่งกลับค่าตัวอย่างจากการนิยามการกระจายตัวไม่ต่อเนื่องของผู้ใช้งาน การกระจายตัวนี้นิยามโดยเซตของ n ค่าเป็นไปได้ที่ไม่ต่อเนื่อง แสดงโดย X_1, X_2…,X_n ซึ่งสามารถส่งกลับค่า โดยฟังก์ชั่นและความน่าจะเป็นสะสมที่เกี่ยวข้อง แสดงโดย C_1, C_2…,C_n กับค่าที่ไม่ต่อเนื่องเหล่านี้

การแจกแจงเออร์แลงค์ (Erlang distribution) ใช้ในสถานการณ์ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ต่อเนื่อง และแต่ละขั้นตอนมีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล สำหรับค่า k ขนาดใหญ่ เออร์แลงค์เป็นการแจกแจงปกติ การกระจายตัวนี้มักจะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนของเวลาที่ต้องการให้งานสำเร็จ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-4



$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{\beta^{-k} x^{k-1} e^{-x/\beta}}{(k-1)!} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

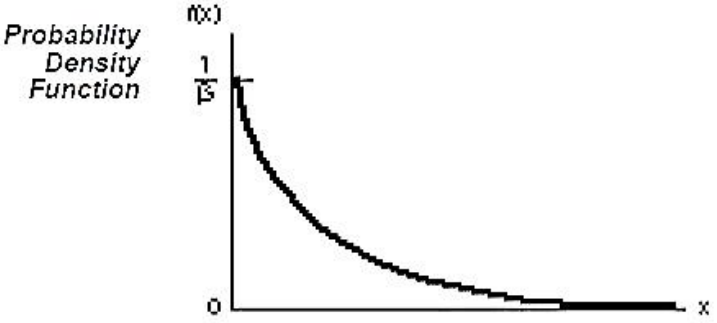
ภาพที่ 2-4 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงเออร์แลงค์

โดยมี พารามิเตอร์ ERLA (β,k) คือ

1. เบต้า (β) คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนชียล
2. จำนวนเต็ม (k) คือ จำนวนของตัวแปรสุ่มเอ็กซ์โปเนนเชียล

ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล ให้ระบุเป็นจำนวนจริงบวก และค่าจำนวนเต็มให้ระบุเป็นจำนวนเต็มบวก

การแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) มักจะใช้กับรูปแบบเวลาระหว่างเหตุการณ์การมาถึงแบบสุ่ม และกระบวนการที่เสียหาย แต่โดยทั่วไปไม่เหมาะสมกับรูปแบบของกระบวนการที่มีการล่าช้าของเวลา การกระจายตัวนี้จะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริการ เช่น ธุรกิจค้าปลีก หรือศูนย์โทรศัพท์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของลูกค้าตลอดทั้งวัน โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-5



$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

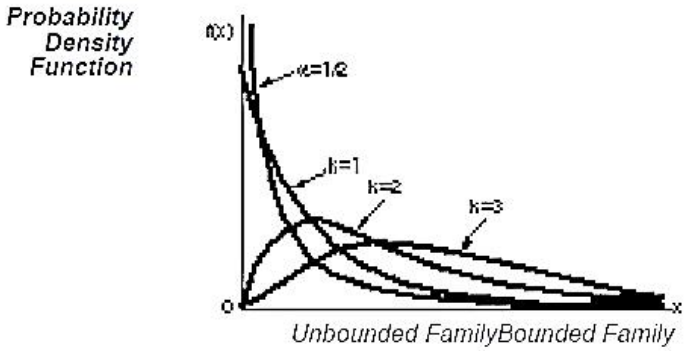
ภาพที่ 2-5 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล

โดยมี พารามิเตอร์ EXPO(β) คือ

1. เบต้า (β) คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง

ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงให้ระบุเป็น จำนวนจริงบวก

การแจกแจงแกมมา (Gamma distribution) มักจะถูกใช้ในการแสดงเวลาที่ต้องการให้บางงานสำเร็จ เช่น เวลาทำงานเครื่องจักร หรือ เวลาซ่อมแซมเครื่องจักร โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-6



$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)} & \text{for } x > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where Γ is the complete gamma function given by

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-1} dt$$

ภาพที่ 2-6 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแกมมา

โดยมี พารามิเตอร์ GAMM (β,α) คือ

1. เบต้า (β) คือ ตัวแปรขนาด ระบุจำนวนจริงบวกใด ๆ
2. อัลฟ่า (α) คือ ตัวแปรรูปทรง

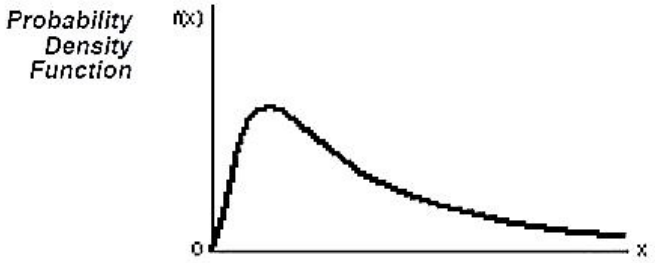
การแจกแจงจอร์นสัน (Johnson distribution) ความยืดหยุ่นของการกระจายตัว ช่วยให้มันเหมาะกับชุดข้อมูลจำนวนมาก โปรแกรม Arena สามารถได้ค่าตัวอย่างจากทั้งการกระจายตัวแบบมีขอบเขต และไม่มีขอบเขต ถ้าเดลต้า (δ) ส่งค่าเป็นจำนวนบวก จะใช้การกระจายตัวแบบมีขอบเขต และถ้าเดลต้าส่งค่าเป็นจำนวนลบ จะใช้การกระจายตัวแบบไม่มีขอบเขต โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-7

ภาพที่ 2-7 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงจอร์นสัน

โดยมี พารามิเตอร์ JOHN ($\gamma,\delta,\lambda,\xi$) คือ

1. แกมมา (γ) คือ ตัวแปรรูปทรง
2. เดลต้า (δ) คือ ตัวแปรรูปทรง
3. แลมด้า (λ) คือ ขนาดของตัวแปร
4. ซิ (ξ) คือ ตำแหน่งของตัวแปร

การแจกแจงล๊อกปกติ (Lognormal distribution) ถูกนำมาใช้ในสถานการณ์ซึ่งมีปริมาณการสุ่มจำนวนมากของปริมาณผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีการใช้บ่อยในการแสดงเวลาของงานทีมีการกระจายตัวไปทางบวก โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นดังภาพที่ 2-8



Denote the user-specified input parameters as LogMean = μ_l and LogStd = σ_l.

Then let $\mu = \ln(\mu_l^2 / \sqrt{\sigma_l^2 + \mu_l^2})$ and

$$\sigma = \sqrt{\ln\left[(\sigma_l^2 + \mu_l^2)/\mu_l^2\right]}$$

the probability density function can then be written as

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{\sigma x\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2/(2\sigma^2)} & \text{for } x > 0 \\ 0 \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

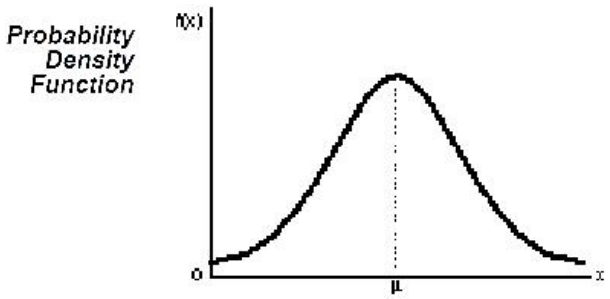
ภาพที่ 2-8 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงล๊อกปกติ

โดยมี พารามิเตอร์ LOGN (μ,σ) คือ

1. ล๊อกเฉลี่ย (μ) คือ ตัวแปรลู่เข้าสู่ค่าเฉลี่ย
2. ล๊อกมาตรฐาน (σ) คือ ตัวแปรลู่เข้าสู่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

พารามิเตอร์ทั้งสองจะต้องระบุเป็นจำนวนจริงบวกเท่านั้น

การแจกแจงปกติ (Normal distribution) จะใช้ในสถานการณ์ที่ทฤษฎีบทกำหนดศูนย์กลาง นั่นคือ ปริมาณที่มีผลรวมของจำนวนอื่น ๆ ซึ่งมีข้อมูลหลายชนิดโดยธรรมชาติเป็นการแจกแจงปกติ เช่น ค่าความผิดพลาดในด้านขนาด น้ำหนัก หรือปริมาตร นอกจากนี้ยังใช้สำหรับกระบวนการสังเกตหลายอย่างที่ปรากฏว่ามีค่าสมมาตร โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น ดังภาพที่ 2-9



$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad \text{for all real } x$$

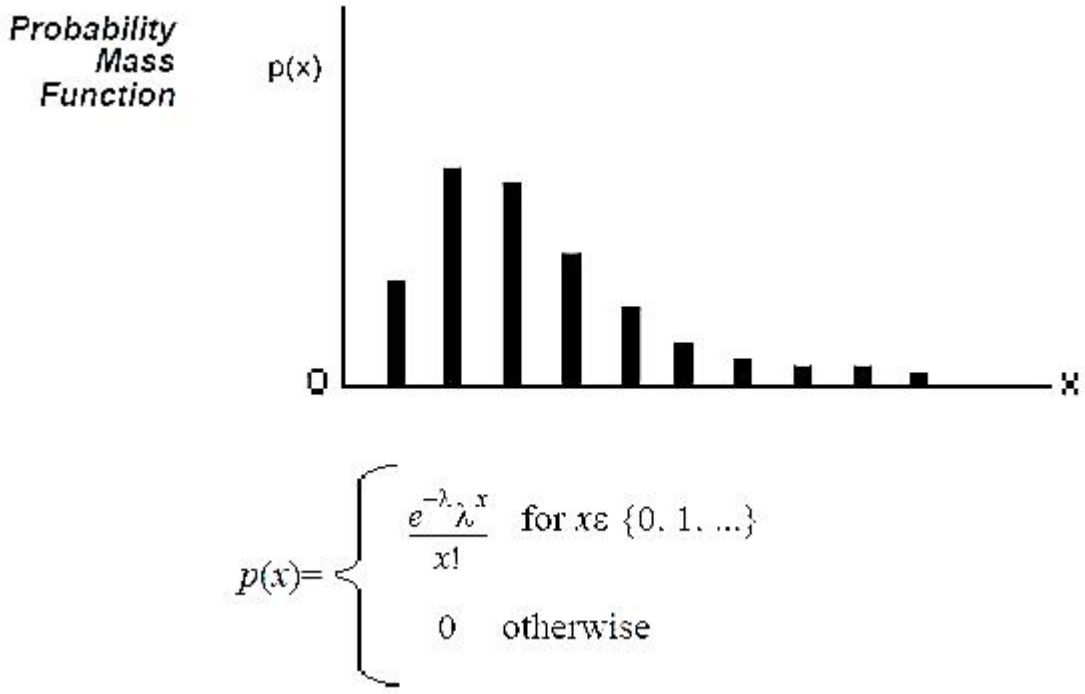
ภาพที่ 2-9 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ

โดยมี พารามิเตอร์ NORM (μ,σ) คือ

1. ค่าเฉลี่ย (μ) คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด ระบุเป็นจำนวนจริง

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) คือ ค่าที่แสดงความเบี่ยงเบนของข้อมูล ระบุเป็นจำนวนจริงบวก

การแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson distribution) เป็นการกระจายแบบไม่ต่อเนื่องที่มักใช้ในการสร้างแบบจำลองจำนวนเหตุการณ์สุ่มที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด หากเวลาระหว่างเหตุการณ์ต่อเนื่องรูปแบบการแจกแจงจะเปลี่ยนเป็น การแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังนั้นแล้วจำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดจะเป็นการแจกแจงแบบปัวส์ซอง การแจกแจงนี้จะใช้ในการสร้างแบบจำลองแบบกลุ่มทดลองสุ่ม โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่น และฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น ดังภาพที่ 2-10



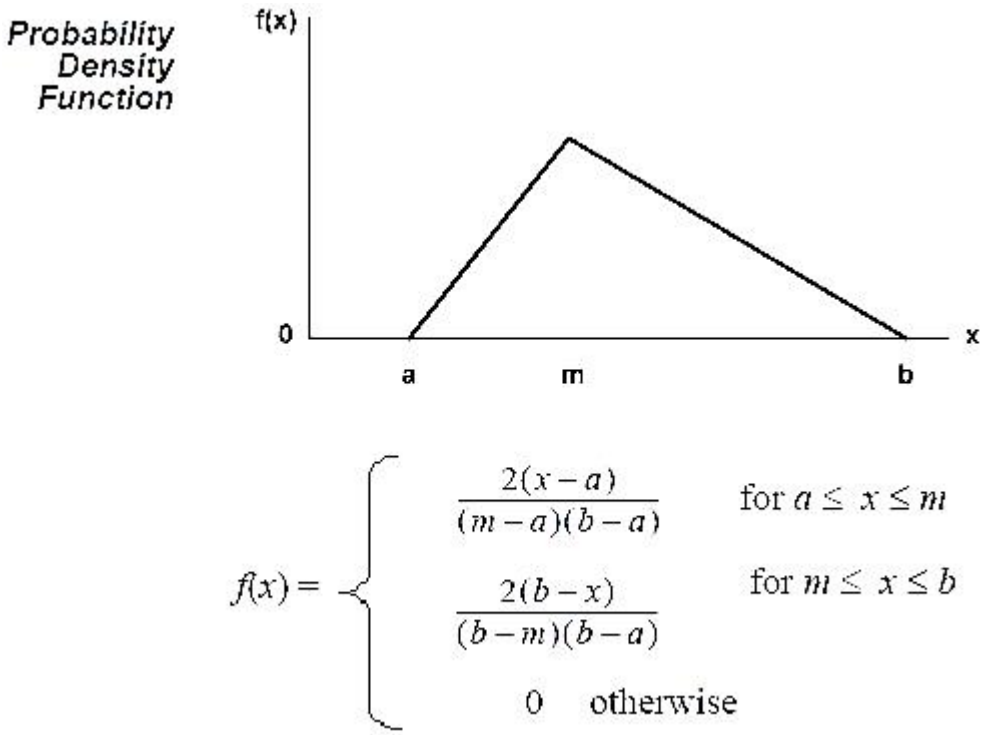
ภาพที่ 2-10 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงปัวส์ซอง

โดยมี พารามิเตอร์ POIS (λ) คือ

1. แลมด้า (λ) คือ ค่าเฉลี่ย ระบุจำนวนจริงบวก

การแจกแจงสามเหลี่ยม (Triangular distribution) เป็นที่นิยมใช้ในสถานการณ์ที่มีรูปแบบที่แน่นอนในกรณีที่ไม่รู้การแจกแจง แต่สามารถประมาณการ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าที่

นิยมมากที่สุดที่มีอยู่ การแจกแจงนี้จะง่ายต่อการใช้งานและอธิบายกว่าการแจกแจงอื่น ๆ ที่อาจถูกนำมาใช้ในสถานการณ์เช่นนี้ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น ดังภาพที่ 2-11



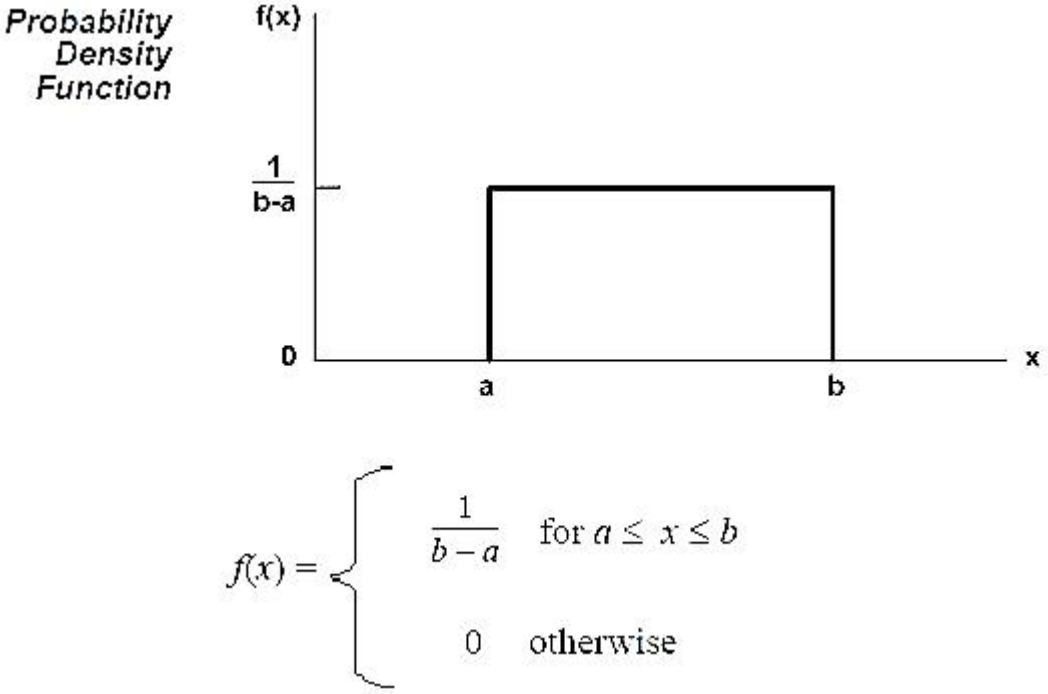
ภาพที่ 2-11 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงสามเหลี่ยม

โดยมี พารามิเตอร์ TRIA (a,m.b) คือ

1. Minimum (a) คือ ค่าต่ำสุด
2. Mode (m) คือ ค่าที่นิยมมากที่สุด
3. Maximum (b) คือ ค่าสูงสุด

ค่าการกระจายระบุเป็นจำนวนจริง ซึ่ง a < m < b

การแจกแจงสม่ำเสมอ (Uniform distribution) ใช้เมื่อค่าทั้งหมดในช่วงที่จำกัดจะพิจารณาให้มีค่าเทียบเท่ากัน บางครั้งใช้เมื่อไม่มีข้อมูลอื่น ดีกว่าช่วงข้อมูลที่มีอยู่ การแจกแจงนี้มีค่าความแปรปรวนมากกว่าการแจกแจงอื่น ๆ ที่ถูกนำมาใช้เมื่อมีข้อมูลไม่ครบ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น ดังภาพที่ 2-12



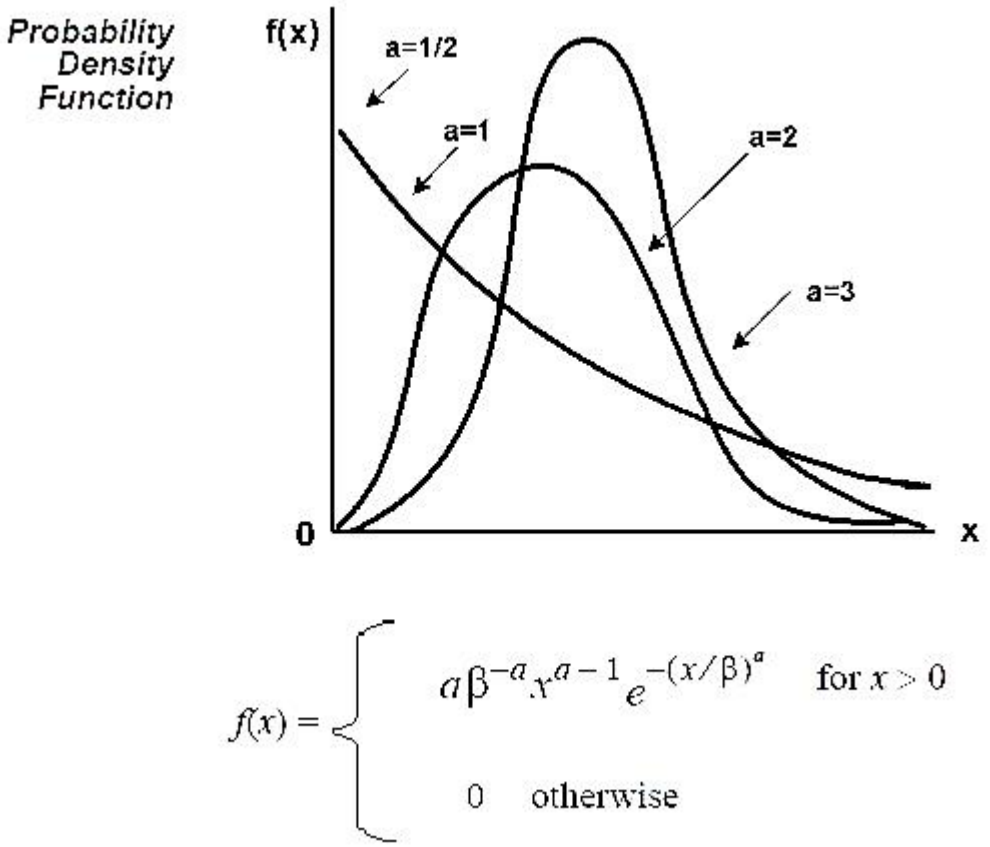
ภาพที่ 2-12 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงสม่ำเสมอ

โดยมี พารามิเตอร์ UNIF(a,b) คือ

1. Minimum (a) คือ ค่าต่ำสุด
2. Maximum (b) คือ ค่าสูงสุด

ค่าการกระจายระบุเป็นจำนวนจริง ซึ่ง a < b

การแจกแจงไวบูลล์ (Weibull distribution) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในรูปแบบที่น่าเชื่อถือเพื่อเป็นตัวแทนอายุการใช้งานของอุปกรณ์ หากระบบประกอบด้วยชิ้นส่วนจำนวนมากที่มีความเสียหายไม่เป็นอิสระต่อกัน และหากระบบล้มเหลวเมื่อชิ้นส่วนใดชิ้นส่วนหนึ่งเสียหาย เวลาระหว่างที่เกิดความล้มเหลวสามารถประมาณได้โดยการแจกแจงไวบูลล์ โดยมีกราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 กราฟฟังก์ชั่นความหนาแน่นและฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงไวบูลล์

โดยมี พารามิเตอร์ WEIB (β,α) คือ

1. เบต้า (β) คือ ค่าขนาดของตัวแปร
2. อัลฟ่า (α) คือ ค่าภาพทรงของตัวแปร

ระบุเป็นจำนวนจริงบวก

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง (Simulation Procedure)

การจำลองสถานการณ์โดยอาศัยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้น ตัวแบบต้องทำงานได้เสมือนระบบงานจริง โดยขั้นตอนในการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีดังนี้ (รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ, 2553)

1. การกำหนดลักษณะของปัญหาว่ามีอะไรบ้าง
2. การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา ซึ่งต้องกำหนดให้ชัดเจน
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรของระบบทั้งหมด

เพื่อนำเข้าข้อมูลเหล่านี้มาเป็นข้อมูลนำเข้า (Input data) ให้กับแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะการเก็บข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาด จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลองผิดพลาดตามไปด้วย

4. การสร้างแบบจำลอง ที่อธิบายพฤติกรรมของระบบลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Verification) ว่าโปรแกรมที่สร้างนั้นสามารถทำงานได้หรือไม่

6. การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Validation) เป็นการตรวจสอบว่าโปรแกรมรันผ่านแล้วให้ผลลัพธ์ถูกต้องหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับระบบงานจริง และมีการใช้เทคนิคทางสถิติเข้ามาตรวจสอบผลลัพธ์โดยการตั้งสมมติฐานทางสถิติ เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเป็นเพียงค่าประมาณ

7. การวางแผนการทดลองว่าจะใช้ตัวแบบจำลองอย่างไร และทำการทดลองซ้ำจำนวนเท่าใด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ

8. การดำเนินการทดลองตามแผนที่วางไว้

9. การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากตัวแบบจำลอง รวมทั้งวิเคราะห์วิธีปรับปรุงตัวแบบจำลองเมื่อระบบงานจริงมีการปรับเปลี่ยน

10. การจัดทำเอกสารแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

11. การนำผลสำเร็จที่ดีที่สุด ที่ได้จากตัวแบบจำลองไปใช้งาน

แบบจำลองควรใช้ในกรณีใดบ้าง

1. เมื่อต้องการปรับปรุงระบบก่อนดำเนินการจริง เช่น การเพิ่มจำนวนเครื่องจักรเข้าไปในจุดคอขวด (Bottleneck station) จะใช้แบบจำลองช่วยในการหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมก่อนที่จะลงทุนจริง

2. เมื่อต้องการเพิ่มทางเลือกให้กับระบบ เช่น การปรับเปลี่ยนผังโรงงาน จะใช้แบบจำลองช่วยในการวางผังโรงงานไว้หลาย ๆ ทางเลือก เพื่อศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในแต่ละผังโรงงาน เพื่อเลือกผังโรงงานแบบที่เหมาะสมที่สุด

3. เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงาน แบบจำลองจะถูกใช้ เพื่อชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการทำงานแบบเก่าและแบบใหม่

4. เมื่อต้องการออกแบบระบบขึ้นมาใหม่ จะใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับระบบ เพราะการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงจะทำให้เข้าใจระบบได้มากยิ่งขึ้น

ข้อดีของการใช้แบบจำลอง

1. สามารถใช้แบบจำลองกับระบบที่มีความซับซ้อน และไม่สามารถหาความสัมพันธ์โดยการเขียนสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ หรือใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ได้

2. สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายอนาคตของระบบได้ โดยใช้เวลาอันสั้นในการประมวลผลลัพธ์ของแบบจำลอง เช่น ต้องการทราบว่าเครื่องจักรที่มีอยู่ มีกำลังการผลิตที่สามารถรองรับความต้องการของสินค้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต 5 ปี ได้หรือไม่

3. สามารถใช้แบบจำลองกับระบบ ที่ไม่สามารถทดลองบนสถานการณ์จริงได้

ข้อเสียของการใช้แบบจำลอง

1. การสร้างตัวแบบจำลองนั้นจำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ด้านการใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลอง และผู้สร้างต้องมีพื้นฐานทางสถิติ เพื่อสามารถวิเคราะห์และนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไปปรับปรุงต่อได้ โดยผู้วิเคราะห์จะต้องมีความเข้าใจในระบบเป็นอย่างดี และมีการเก็บข้อมูลทางสถิติในอดีตอย่างถูกต้อง จึงจะทำให้แบบจำลองนั้นมีความใกล้เคียงกับระบบจริง

2. เนื่องจากตัวแบบจำลอง ผู้สร้างตัวแบบเป็นผู้สร้างทางเลือกให้กับระบบ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองอาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่บ่งบอกถึงทางเลือกที่ดีที่สุดให้กับระบบ

3. ผลที่ได้จากการจำลองมักเป็นค่าประมาณ

การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing)

การผลิตแบบลีน คือ การใช้หลักการชุดหนึ่งในการระบุและกำจัดความสูญเปล่าเพื่อส่งมอบสินค้าที่ลูกค้าต้องการ และทันเวลา หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ลีน คือ ปรัชญาในการผลิตที่ถือว่าความสูญเปล่า เป็นตัวทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตยาวนานขึ้น และควรมีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ในการกำจัดความสูญเปล่าออกไป (นิพนธ์ บัวแก้ว, 2549)

ความสูญเปล่า (Waste/ Muda/ NVA) คือ การกระทำใด ๆ ก็ตามที่ใช้ทรัพยากรไป ไม่ว่าจะเป็นแรงงาน วัตถุดิบ เวลา เงิน หรืออื่น ๆ แต่ไม่ทำให้สินค้าหรือบริการเกิดคุณค่า หรือการเปลี่ยนแปลง ภาษาญี่ปุ่นเรียกความสูญเปล่าว่า มุดะ (Muda) หรือความสูญเปล่า ก็คือ การกระทำที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าต่อตัวสินค้าหรือบริการนั่นเอง การที่จะบอกว่าการกระทำนั้นมีคุณค่าหรือไม่ให้ตัดสินกันที่สินค้าหรือบริการเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าสินค้าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั่นถือว่าการกระทำนั้นไม่มีคุณค่าต่อตัวผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไปพบว่างานที่ทำกันอยู่ 100 งาน จะเป็นงานที่มีคุณค่าอยู่เพียง 5 งาน หรือ 5% เท่านั้น ที่เหลืออีก 95% นั้นถือว่าเป็นงานหรือการกระทำที่ไม่มีคุณค่า สำหรับข้อเน้นย้ำ

ในการพิจารณา ก็คือ คุณค่าตัดสินที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสินค้า เราสามารถแบ่งกิจกรรมเหล่านี้ออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. กิจกรรมที่มีคุณค่า (Value added activity: VA) 5% คือ กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุดิบ หรือข้อมูลข่าวสาร ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เช่น การตัด การพ่นสี การขึ้นรูป การประกอบ เป็นต้น

2. กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า (Non value added activity: NVA) 95% คือ กิจกรรมที่ใช้เวลา ทรัพยากร หรือพื้นที่ แต่ไม่ได้ทำให้รูปร่าง หรือคุณสมบัติของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป หรือไม่ตอบสนองความต้องการของลูกค้า หรือไม่ได้เพิ่มมูลค่าให้กับตัวผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. ไม่มีคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ 60% (ชนิดที่ 1) เช่น การตรวจสอบ การขนย้าย เป็นต้น

2. ไม่มีคุณค่าและไม่จำเป็นต้องทำ 35% (ชนิดที่ 2) เช่น การบันทึกข้อมูลที่ไม่ได้ใช้งาน หรือไม่มีประโยชน์ การผลิตของเสีย การผลิตเกินความต้องการ เป็นต้น

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบชนิดของงานที่ทำไปในการผลิตแล้ว สิ่งที่ต้องทำ ก็คือ

1. หางานที่เป็น NVA ให้พบว่ามีอะไรบ้างและทำอยู่ที่ใดบ้าง

2. เมื่อพบ NVA ให้พิจารณาว่างานนั้น ๆ จำเป็นต้องทำจริง ๆ หรือไม่ เป็น NVA ชนิดที่ 1 หรือชนิดที่ 2

3. หากเป็น NVA ชนิดที่ 2 ให้ยกเลิกงานนั้นเสีย ไม่จำเป็นต้องทำอีกต่อไป

4. หากเป็น NVA ชนิดที่ 1 ให้พิจารณาดูว่าควรทำอย่างไรให้ประหยัดที่สุด ทำอย่างไรให้ทำน้อยลง โดยที่ผลงานยังคงดีเหมือนเดิม

ความสูญเปล่าในแนวคิดการผลิตแบบลีน สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด

1. การมีของเสีย (Defect)

2. การผลิตที่มากเกินไปโดยไม่จำเป็น (Over production)

3. การมีสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็น (Unnecessary inventory)

4. การมีกระบวนการที่ไม่จำเป็น (Unnecessary processing)

5. การเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่จำเป็น (Unnecessary motion)

6. การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Unnecessary transportation)

7. การรอคอย (Waiting)

การมีของเสีย (Defect) ก่อให้เกิดปัญหาต้นทุนของวัตถุดิบ เครื่องจักร แรงงาน สูญเสียไปโดย เปล่าประโยชน์ ทั้งยังสิ้นเปลืองสถานที่และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บและกำจัดของเสีย ทำให้

เกิดการทำงานซ้ำเพื่อแก้ไขงาน เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส ปัญหาด้านการวางแผนการผลิต การจัดส่ง ทำให้เสียความเชื่อมั่นในตัวผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงควรมีมาตรฐานของงานและมาตรฐานของวัตถุดิบที่ถูกต้อง และพนักงานต้องปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามมาตรฐานตั้งแต่แรก พยายามปรับปรุงอุปกรณ์ที่สามารถป้องกันการทำงานที่ผิดพลาด (Poka-yoke) ฝึกให้พนักงานมีจิตสำนึกทางด้านคุณภาพ ให้มีการตอบสนองข้อมูลทางด้านคุณภาพอย่างรวดเร็วในทุกขั้นตอนการผลิต (Quick response system)

การผลิตมากเกินความจำเป็น (Over production) ก่อให้เกิดปัญหาเสียวัตถุดิบ การทำงานของเครื่องจักร แรงงานคนเกินจำเป็น เสียเวลาขนย้าย ต้องย้ายไปแล้วก็ย้ายมา เปลืองพื้นที่จัดเก็บ ขาดความปลอดภัย ของมากอาจกีดขวางและดูแลลำบากอาจพลัดล้ม สิ้นเปลืองเวลาการผลิต ทำให้ของเสียไม่ได้รับการแก้ไขทันที การปรับปรุง ควรบำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีสภาพพร้อมผลิตตลอดเวลา และลดเวลาการตั้งเครื่องจักร โดยศึกษาเวลาในการตั้งเครื่องจักร จากนั้นทำการปรับปรุงจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนเริ่มตั้งเครื่อง แยกขั้นตอนที่ทำได้ในขณะที่เครื่องจักรยังทำงานอยู่ออกจากขั้นตอนที่ต้องทำเมื่อเครื่องจักรหยุดเท่านั้น จัดลำดับขั้นตอนในการตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสม กระจายงานอย่างเหมาะสมโดยไม่ให้เกิดการรองาน จัดหา ทำอุปกรณ์เพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่งอย่างรวดเร็ว ปรับปรุงขั้นตอนที่เป็นคอขวด (Bottle-neck) ในกระบวนการเพื่อลดรอบเวลาการผลิต ควรผลิตในปริมาณและเวลาที่ต้องการเท่านั้น และฝึกให้พนักงานมีทักษะหลายอย่าง

การมีสินค้าคงคลังมากเกินความจำเป็น (Unnecessary inventory) ก่อให้เกิดปัญหาใช้พื้นที่จัดเก็บมาก เกิดต้นทุนจม วัสดุเสื่อมคุณภาพ (หากระบบการควบคุมวัสดุคงคลังไม่ดีพอ) เกิดสั่งซื้อซ้ำซ้อน ทำให้ต้องการแรงงานและการจัดการมาก การปรับปรุง กำหนดระดับในการจัดเก็บ มีจุดสั่งซื้อที่ชัดเจน ควบคุมปริมาณวัสดุโดยใช้เทคนิคการควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual control) เพื่อให้สามารถเข้าใจและสังเกตได้ง่าย ใช้ระบบเข้าก่อน-ออกก่อน (First in first out) เพื่อป้องกันไม่ให้มีวัสดุตกค้างเป็นเวลานาน วิเคราะห์หาวัสดุทดแทน (Value engineering) ที่สามารถสั่งซื้อได้ง่ายมาใช้แทน เพื่อลดปริมาณวัสดุที่ต้องทำการจัดเก็บ

การมีกระบวนการที่ไม่จำเป็น (Unnecessary processing) ก่อให้เกิดปัญหาต้นทุนที่ไม่จำเป็นของการทำงาน สูญเสียพื้นที่การทำงานสำหรับกระบวนการนั้น ๆ ใช้เครื่องจักร แรงงาน และทรัพยากร โดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์ การปรับปรุง วิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยใช้ Operation process chart ใช้หลักการ 5 W 1 H เพื่อวิเคราะห์ความจำเป็นของแต่ละกระบวนการ หากระบวนการทดแทนที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ของงานอย่างเดียวกัน

การเคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่จำเป็น (Unnecessary motion) ก่อให้เกิดปัญหาทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตและเกิดความเมื่อยล้า การปรับปรุง ศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion study) เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานให้เกิดการเคลื่อนไหวน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดตามหลักกายศาสตร์ (Ergonomics) เท่าที่จะทำได้ จัดสภาพการทำงาน (Working condition) ให้เหมาะสม ปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ทำอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน (Jig, Fixtures) เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

การขนส่งที่ไม่จำเป็น (Unnecessary transportation) ก่อให้เกิดปัญหาต้นทุนในการขนส่ง ได้แก่ เชื้อเพลิง แรงงาน เสียเวลาในการผลิต วัสดุเสียหายหากวิธีการขนส่งไม่เหมาะสม เกิดอุบัติเหตุหากขาดความระมัดระวังในการขนส่ง การปรับปรุง วางผังเครื่องจักรใหม่ จัดลำดับเครื่องจักรตามกระบวนการผลิตให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน เพื่อลดระยะทางขนส่งในแต่ละขั้นตอน ลดการขนส่งซ้ำซ้อนใช้อุปกรณ์ขนถ่ายที่เหมาะสม ลดปริมาณในการขนส่งในแต่ละครั้ง

การรอคอย (Waiting) ก่อให้เกิดปัญหาต้นทุนที่สูญเปล่าของแรงงาน เครื่องจักร และค่าโสหุ้ย ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส เกิดปัญหาเรื่องขวัญและกำลังใจ การปรับปรุง ควรจัดวางแผนการผลิต วัตถุดิบ และลำดับการผลิตให้ดี บำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา จัดสรรงานให้มีความสมดุล วางแผนการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต และจัดสรรกำลังคนให้เหมาะสม

ระบบการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing system) เป็นระบบการผลิตที่มุ่งเน้นเรื่องการไหล (Flow) ของงาน โดยกำจัดความสูญเปล่า (Waste) ต่าง ๆ ของงาน เพิ่มคุณค่า (Value) ให้กับตัวสินค้าอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ

1. การระบุคุณค่าของสินค้าหรือบริการ (Specify value)
2. การแสดงสายธารแห่งคุณค่าหรือแผนผังแห่งคุณค่า (Value stream)
3. การทำให้คุณค่าเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow)
4. การให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงคุณค่าจากกระบวนการ (Pull)
5. การสร้างคุณค่าและการกำจัดความสูญเสียอย่างต่อเนื่อง (Perfection)

การระบุคุณค่าของสินค้าหรือบริการ (Specify value) ในแนวคิดนี้เสนอให้สามารถระบุคุณค่าของผลิตภัณฑ์หรือบริการให้ได้ ว่าคุณค่าของสินค้าที่ผลิตมีคุณค่าอยู่ที่ใด ตรงกับความต้องการของลูกค้าหรือไม่ การระบุว่าสินค้าหรือบริการ มีคุณค่าอยู่ที่ใด อาจจะเปรียบเทียบกับคู่แข่ง (Benchmarking) ก็ได้ แต่จำเป็นต้องมองในมุมของลูกค้า (Customer’s perspective) ไม่ใช่มุมมองของผู้ผลิต (Producer perspective) การที่สามารถระบุได้ว่า สินค้าหรือบริการ ที่เป็นผลิตผล

ขององค์กรมีคุณค่าอย่างไรนั้น นับเป็นบันไดขั้นแรกของแนวคิดลีน ซึ่งจะทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ ในขั้นตอนนี้ อาจใช้เทคนิคของ QFD (Quality function deployment) ได้ (ประภาศรี พงศ์ธนาพานิช, 2554)

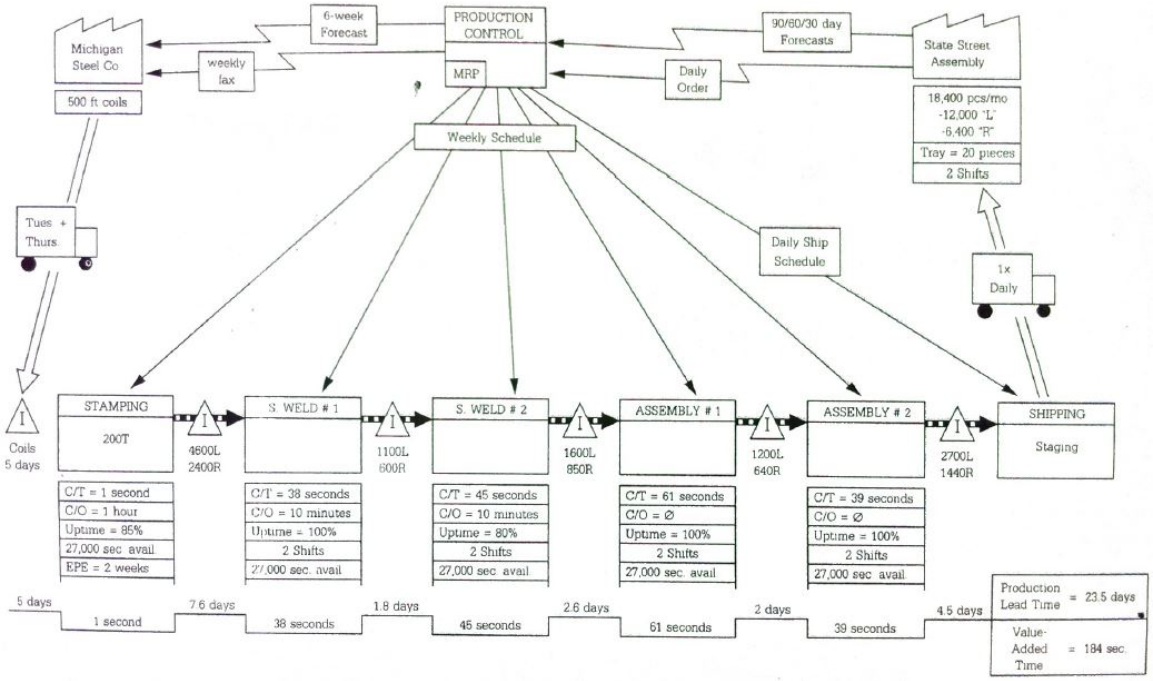
เทคนิคของ QFD เป็นเทคนิคที่นำความต้องการของลูกค้ามาวิเคราะห์ เปรียบเทียบกับความสามารถของตนเองและคู่แข่ง ในการบรรลุ ซึ่งความต้องการของลูกค้านั้น เพื่อหาหนทางในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า เป็นการนำความต้องการของลูกค้ามากำหนดสิ่งที่ต้องทำ ดังนั้น การสร้างความต้องการของลูกค้า ถือเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการพึงระลึกเสมอว่า

1. คุณค่าของสินค้าหรือบริการจะถูกตัดสินโดยลูกค้าเสมอ
2. ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการมีหน้าที่ในการสร้างคุณค่านั้นให้แก่สินค้าหรือบริการที่จะนำเสนอออกสู่ตลาด
3. ความต้องการของลูกค้าและเสียงตอบกลับ (Feedback) คือ สิ่งที่กำหนดว่า ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการจำเป็นจะต้องทำอะไรต่อไปในการพัฒนาสินค้าและบริการ เพื่อความพึงพอใจของลูกค้า

การแสดงสายธารแห่งคุณค่า (Value stream) คือ การจัดทำผังแห่งคุณค่า (Value stream mapping: VSM) ซึ่งเป็นการระบุกิจกรรมที่ต้องทำทั้งหมด ตั้งแต่รับวัตถุดิบเข้าที่ประตูโรงงานของผู้ผลิต จนกระทั่งสินค้าได้ถูกส่งถึงประตูโรงงานของบริษัทลูกค้า

การจัดทำผังแห่งคุณค่า จะทำให้มองเห็นกระบวนการทั้งระบบ และสามารถมองเห็นความสูญเปล่า (Muda) ได้ง่าย และยังมีประโยชน์ในการสื่อสารกับบุคคลอื่นอีกด้วย สิ่งที่จะเห็นจากการทำผังแห่งคุณค่า ได้แก่

1. หลาย ๆ กระบวนการเป็นกระบวนการที่มีคุณค่า และต้องทำอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ บริเวณเหล่านี้เป็นบริเวณที่ควรให้การใส่ใจอย่างยิ่ง
2. หลาย ๆ กระบวนการเป็นกระบวนการที่ไม่มีคุณค่า แต่จำเป็นต้องทำ โดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้
3. หลาย ๆ กระบวนการเป็นกระบวนการที่ ไม่มีคุณค่าและสามารถยกเลิกได้ทันที



ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างผังแห่งคุณค่า (Value stream mapping)

การทำให้คุณค่าเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow) คือ การทำให้สายการผลิต สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา โดยไม่มีการขัดขวาง หรือหยุดการผลิตด้วยเหตุอันใดก็ตาม การไหลของงานถือว่าเป็นหัวใจของระบบการผลิตแบบลีน และเป็นจุดเริ่มต้นที่จะต้องทำให้เกิดขึ้นก่อนที่จะทำการติดตั้งระบบอื่น ๆ ของลีนต่อไป

การทำให้สายการผลิตเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow) สามารถทำได้ดังนี้

1. อย่าให้เครื่องจักรว่างงานด้วยเหตุอันใดก็ตาม (Idle)
2. หากเครื่องจักรเสีย (Breakdown) หรือออกนอกการควบคุม (Out of control) ต้องแก้ไขให้กลับสู่สภาวะปกติให้เร็วที่สุด
3. การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน (Preventive maintenance: PM) เป็นสิ่งที่ต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด แม้ว่าจะอยู่ในแผนการผลิตก็ตาม เพราะบางกรณี ไม่สามารถควบคุมเวลานี้ได้
4. อย่าขัดจังหวะการผลิต ด้วยเหตุอันใดก็ตาม
5. จัดกำลังการผลิตของแต่ละกระบวนการให้มีความสมดุลกัน (Line balancing) ซึ่งจะทำให้ ไม่มีการรอของงาน หรือเกิดคอขวดขึ้น
6. ลดปริมาณการขนย้าย
7. ลดการเก็บงานเพื่อรอการผลิต (Waiting)

8. จัดผังโรงงาน (Line layout) ให้เหมาะสม

การให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงคุณค่าจากกระบวนการ (Pull) คือ การทำการผลิต เมื่อลูกค้ามีความต้องการสินค้านั้น และผลิตแค่เพียงพอกับที่ลูกค้าต้องการ โดยหมายถึงทั้งลูกค้าภายในและลูกค้าภายนอก เป็นการผลิตที่เข้าใกล้กับลักษณะของการผลิตตามสั่ง (Made to order) ไม่ใช่การผลิตเพื่อเก็บและรอการขาย (Made to stock) ซึ่งการผลิตเพื่อเก็บและรอการขายถือเป็นความสูญเปล่าชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเพราะการรอคอย (Waiting)

ในหัวข้อนี้ เป็นการบอกให้ผู้ผลิตทำงานแบบย้อนหลัง (Work backward) คือ การนำความต้องการของลูกค้า (Customer requirements) มากำหนดการทำงาน ไม่ใช่ทำออกไปเพื่อรอลูกค้ามาซื้อ การผลิตต้องทำเมื่อลูกค้าต้องการจริง ๆ ไม่ใช่ผลิตตามแผนการผลิตของผู้ผลิตหรือการผลิตตามการพยากรณ์ยอดขาย

ในการใช้ระบบดึงให้สมบูรณ์แบบให้ใช้กับทั้งลูกค้าภายนอก ซึ่งก็คือ บริษัทหรือบุคคลที่ซื้อสินค้าจากเราและกับทั้งลูกค้าภายใน ซึ่งก็คือ บุคคลหรือหน่วยงานที่เราต้องให้การสนับสนุนแก่เขาหรือบุคคลที่ได้รับผลกระทบจากการทำงานของเรา

การสร้างคุณค่าและกำจัดความสูญเปล่าอย่างต่อเนื่อง (Perfection) หลังจากที่เข้าใจความต้องการของลูกค้า รู้และเข้าใจในสินค้าที่ผลิต จัดทำผังของคุณค่า และให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงงาน และกำหนดกิจกรรมในการผลิตแล้ว ต่อมาก็คือ การพยายามเพิ่มคุณค่า ให้กับสินค้าและบริการอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการค้นหาความสูญเปล่าให้พบและกำจัดอย่างต่อเนื่องตลอดไป ซึ่งก็คือ แนวคิดของ PDCA (Plan Do Check Action) นั่นเอง

ผลที่ได้จากการมีระบบการผลิตแบบลีน ได้มีการพิสูจน์โดยการปฏิบัติกันมาแล้วว่า การมีระบบการผลิตแบบลีน จะทำให้เกิดสิ่งเหล่านี้ขึ้น ได้แก่

1. สินค้าคงคลังลดลง ในระดับที่ยังคงตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อยู่ ซึ่งเป็นการลดลงทั้งในส่วนของวัตถุดิบ (Raw material) งานระหว่างทำ (Work in process) ซึ่งจะลดลงได้ระหว่าง 30-90% และสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตเสร็จแล้ว (Finished goods) ซึ่งจะลดลงได้ 50-90% จะเห็นได้ว่า การที่สินค้าคงคลังลดลงมีผลต่อต้นทุนที่ลดลง โดยจะมีเฉพาะต้นทุนที่จำเป็นทั้งในแง่ของปริมาณและในเวลาที่เหมาะสม

2. ผลิตภาพเพิ่มขึ้น 5-50% ซึ่งจะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลง

3. เวลาในการผลิตลดลง (Lead time) 80-90% ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนการผลิตและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น

4 .ราคาจัดซื้อลดลง 20-60% หากผู้จัดส่ง (Supplier) มีระบบการผลิตแบบลีนด้วย

เครื่องมือ และเทคนิค หรือแนวคิดของลีนที่นำมาใช้ในการผลิต สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. 5ส และการควบคุมด้วยสายตา (5S & Visual control)
2. การมีมาตรฐานการทำงาน (Work standardization)
3. ผังแห่งคุณค่า (Value stream mapping: VSM)
4. การบำรุงรักษาที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total productive maintenance: TPM)
6. การลดเวลาในการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (Changeover reduction)
7. การป้องกันความผิดพลาดในงาน (Poka yoke)
8. การผลิตด้วยขนาดลอตเล็ก ๆ (Small lot production)
9. การผลิตที่เน้นการไหลของงาน (Flow based production)
10. ทฤษฎีของข้อจำกัด (Theory of constraint: TOC)
11. การจัดสายการผลิตแบบเซลล์ (Cellular manufacturing)
12. การผลิตแบบดึงและคัมบัง (Pull system & Kanban)
13. การปรับเรียบการผลิต (Smooth production sequence)
14. ดัชนีชี้วัดผลการปฏิบัติงาน (Performance metric)
15. ไคเซน (Kaizen)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดนุสรณ์ มงคลรัตน์ (2550) ศึกษาการแก้ปัญหาของปริมาณคิวรถบรรทุกที่จอดรออยู่หน้าโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อรอการขนถ่ายขี้เถ้าถ่านหิน โดยการหาวิธีในการบริหารจัดการกับคิวรถบรรทุกให้เกิดความหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Arena มาช่วยในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์และทำการทดลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่จะดำเนินการปรับปรุงแก้ไข แล้วดูผลที่เกิดขึ้นว่าเหมาะสมหรือไม่ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นในอนาคตถ้ามีการสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งโรง เพื่อให้สามารถปรับปรุงระบบการลำเลียงขี้เถ้าถ่านหินให้มีประสิทธิภาพ และสามารถรองรับความต้องการในการลำเลียงขี้เถ้าถ่านหินในช่วงเวลาปกติและช่วงเวลาที่มีปริมาณมากได้

ผลการวิจัยพบว่า การเปรียบเทียบระหว่างการเพิ่ม Dock และการเพิ่มอัตราการไหลของขี้เถ้านั้น การเพิ่มอัตราการไหลสามารถลดจำนวนที่จอดอยู่หน้าโรงงานโดยเฉลี่ยได้มากว่าการเพิ่ม Dock อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยที่การเพิ่มอัตราการไหลทำให้จำนวนรถบรรทุกที่จอดรออยู่หน้าโรงงานใกล้เคียงกับสถานการณ์ปัจจุบัน โดยที่สถานการณ์ปัจจุบันมีปริมาณคิวรถบรรทุกที่รออยู่หน้าโรงงาน 0.9 คันและเมื่อสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มอีก 1 โรงโดยเพิ่มอัตราการไหลของขี้เถ้าถ่านหินแล้วจะทำให้ปริมาณคิวรถบรรทุกที่รอหน้าโรงงานจะมีประมาณ 0.8 คัน

สิริลักษณ์ ลิ่มกังวาฬมงคล (2546) ศึกษาเกี่ยวกับระบบแถวคอยของกระบวนการผลิตและการจัดการระบบสินค้าคงคลัง ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการจัดวางกำลังคนให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตที่มีอยู่ในองค์กรให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด และการจัดหาปริมาณการสั่งผลิตหรือสั่งซื้ออย่างประหยัดที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุด โดยใช้วิธีการสร้างแบบจำลอง เพื่อทดลองจำลองสถานการณ์จริง และวิเคราะห์แบบจำลองนั้น โดยเครื่องมือที่นำมาช่วยในการศึกษา คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Arena BE สำหรับระบบแถวคอยของกระบวนการผลิต ได้สร้างแบบจำลอง 3 แบบตามชนิดของวัตถุดิบ ส่วนข้อมูลที่ทำการเก็บ คือ อัตราการไหลของวัตถุดิบ ระยะเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต และอัตราค่าจ้างบุคคลใน 1 วัน

เมื่อทำการทดลองจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบแบบจำลองที่ทำขึ้นกับสถานการณ์ปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าสามารถลดต้นทุนรวมทั้งระบบลงได้ 40.83%

นุชิดา อาจวิชัย (2542) ศึกษาการแก้ปัญญาเกี่ยวกับระบบแถวคอยภายในสายการประกอบปืน อีเล็กตรอน ณ บริษัทไทยอีเล็กตรอน จำกัด วัตถุประสงค์เพื่อจัดสมดุลในสายการประกอบ ไม่ให้เกิดการรอคอย และการว่างงานที่ไม่จำเป็น โดยทำการรวบรวมเก็บข้อมูลเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงาน แล้วประยุกต์ใช้โปรแกรม Arena ทำกาวิเคราะห์ข้อมูล สร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์ พบว่าบางสถานีงานเกิดการรอคอย บางสถานีงานเกิดการว่างงาน ดังนั้นจึงจัดการจำลองสถานการณ์ใหม่ โดยย้ายพนักงานสถานีงานที่ว่างงานมาอยู่สถานีงานที่เกิดการรอคอยเพื่อให้เกิดการสมดุล พบว่าการว่างงาน และการรอคอยของสถานีงานต่าง ๆ ลดน้อยลง ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

เบ็ญจพร เลิศสัฒนนนท์ (2552) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป วัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิต ลดระดับวัสดุคงคลังในส่วนของวัตถุดิบ งานระหว่างกระบวนการ และสินค้าสำเร็จรูป และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตโดยลดการสูญเสียในกระบวนการ โดยได้นำเทคนิคการจำลองสถานการณ์มาวิเคราะห์พฤติกรรมการผลิตโดยใช้โปรแกรม Arena เพื่อทำการสร้างระบบปัจจุบันและระบบปรับปรุงการผลิต สำหรับระบบปัจจุบันพบว่าเป็นระบบการผลิตแบบผลักไปข้างหน้าโดยไม่คำนึงถึงว่ากระบวนการถัดไปจะมีความต้องการผลิตเท่าใด ดังนั้นจึงปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยนำระบบดึง และระบบคัมบังมาควบคุมกระบวนการผลิต แล้วกำหนดปริมาณงานสำรองให้มีขนาดที่เหมาะสมเพื่อควบคุมการผลิตให้ไหลอย่างต่อเนื่องมีการปรับปรุง 3 แนวทาง 1) นำระบบดึงและระบบคัมบังมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานใด ๆ 2) เปลี่ยนการทำงานแผนกปักจาก 2 กะ เป็น 1 กะ 3) จัดเซลล์การผลิตโดยการจัดวางเครื่องจักรตามประเภทของชิ้นงานพร้อมกับใช้ระบบดึงและระบบคัมบังเป็นตัวควบคุมการผลิต จากการจำลองสถานการณ์พบว่า

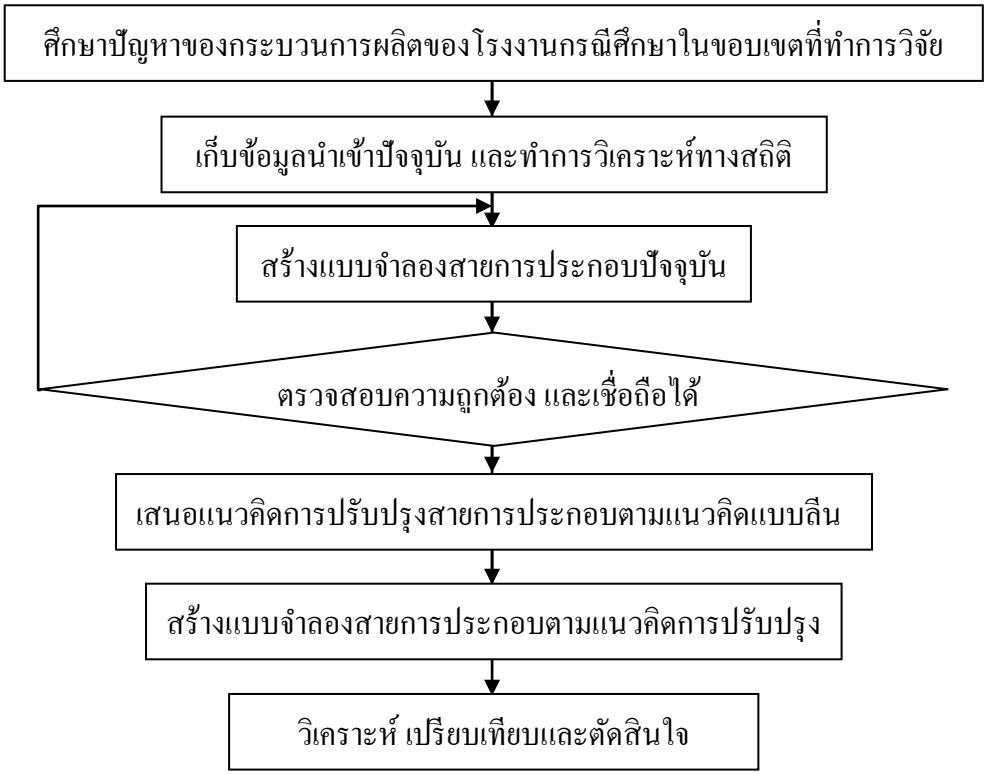
สามารถลดปริมาณงานรอระหว่างแผนก ลดเวลาไหลในกระบวนการผลิต และทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ก็พบว่าระบบการจัดการเซลล์มีกำไรส่วนเกินมากที่สุด และมีค่าใช้จ่ายอันเกิดจากสินค้าคงคลังน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระบบจำลองทุก ๆ แนวทาง

นพมาศ บุญศรี (2553) ศึกษาการทำงานของเครื่องตรวจวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของชุดหัวอ่านฮาร์ดดิส วัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบการตรวจสอบที่ได้ค่าอัตราการตรวจสอบของเครื่องทดสอบแต่ละเครื่อง จำนวนชิ้นงานที่ขนส่งต่อถาด จำนวนถาดที่เหมาะสมในการขนส่งต่อครั้ง และอัตราการผลิตของเครื่อง โดยใช้โปรแกรม Arena จำลองสถานการณ์รูปแบบการทำงานของเครื่องตรวจวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสจำนวน 8 เครื่อง และพนักงานขนส่งชิ้นงานอีก 1 คน ซึ่งมีจุดหมายการทำงานของเครื่องตรวจวัดค่าความเป็นแม่เหล็กของชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสที่ 120 ชุดต่อชั่วโมงต่อเครื่อง ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น การชำรุดของเครื่องจักร และรูปแบบการทำงานของพนักงานควบคุมเครื่องจักร ผลที่ได้คือ เสนอวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งชิ้นงานเข้าสู่ระบบการตรวจสอบค่าความเป็นแม่เหล็ก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา และสร้างแบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง และเปรียบเทียบกับข้อเสนอแนวทางการปรับปรุงการกระบวนผลิต ภายใต้หลักการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) หลังจากนั้นนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์ประกอบการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

ขั้นตอนการศึกษาวิจัย



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

จากขั้นตอนการศึกษาวิจัยตามภาพที่ 3-1 งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาปัญหาในกระบวนการผลิต และเสนอแนวคิดในการปรับปรุงเท่านั้น โดยจะมีการใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมมาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อตัดสินใจถึงความเหมาะสมก่อนนำไปปรับปรุงจริงต่อไป

1. ศึกษาปัญหาของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในขอบเขตที่ทำการวิจัย

ศึกษาสภาพการทำงานของกระบวนการผลิตปัจจุบัน เพื่อเก็บข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ปัญหา เช่น กระบวนการผลิต จำนวนพนักงาน จำนวนเครื่องจักร เวลาการทำงานของพนักงาน เวลาการทำงานของเครื่องจักร และสภาพแวดล้อมโดยรวมของสายการผลิต

2. เก็บข้อมูลนำเข้าปัจจุบันและทำการวิเคราะห์ทางสถิติ

เก็บข้อมูลของทุกกระบวนการผลิต เวลาการทำงานของคนและเครื่องจักร จากนั้นนำมาทดสอบหาประเภทของการแจกแจงความน่าจะเป็น และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

3. สร้างแบบจำลองสายการประกอบปัจจุบัน

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ทางสถิติทุกกระบวนการ มาทำการสร้างแบบจำลองการผลิตด้วยโปรแกรม Arena โดยอ้างอิงกับวิธีการทำงานปัจจุบัน โดยแบบจำลองนี้จะถูกใช้เพื่อเป็นจุดอ้างอิงแสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง และเป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน เช่น เวลาการรอคอยการผลิต จำนวนชิ้นงานรอการผลิต ร้อยละการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร เป็นต้น

4. ตรวจสอบความถูกต้องและเชื่อถือได้ของแบบจำลอง

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ด้วยชุดข้อมูลที่เป็นค่าคงที่และทราบคำตอบ เมื่อได้แบบจำลองที่ถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากที่สุดแล้ว ควรจำลองสถานการณ์เป็นช่วงระยะเวลานานที่สุดเพื่อให้ระบบเข้าสู่ระยะคงตัว (Steady state) และทำซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด จากนั้นทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงการผลิตจริงในปัจจุบัน

5. เสนอแนวคิดการปรับปรุงสายการประกอบตามแนวคิดแบบลีน

หลังจากที่ได้ศึกษากระบวนการผลิตผ่านทั้งกระบวนการผลิตจริงและแบบจำลองจนทราบถึงปัญหาของกระบวนการผลิต และจุดที่ทำให้เกิดคอขวดแล้ว จึงนำเสนอแนวทางการปรับปรุงตามหลักการของลีน โดยมุ่งเน้นที่จะลดความสูญเปล่า แก้ปัญหาของสายการผลิตแบบบูรณาการ และตอบสนองต่อความต้องการในอนาคต

6. สร้างแบบจำลองสายการประกอบตามแนวคิดการปรับปรุง

ทำการสร้างหรือปรับปรุงแบบจำลองการผลิตให้สอดคล้องกับแนวทางการปรับปรุง

ที่นำเสนอ จากนั้นใช้แบบจำลองนี้ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปอันเป็นผลมาจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามข้อเสนอที่จัดทำขึ้น

7. วิเคราะห์ เปรียบเทียบและตัดสินใจ

เมื่อได้ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองมาแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อวิเคราะห์ เวลาการผลิต ความสามารถในการผลิต และการใช้ประโยชน์จากคนและเครื่องจักร เพื่อที่จะสามารถจัดทำข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนปรับปรุงตามแนวคิดที่นำเสนอ

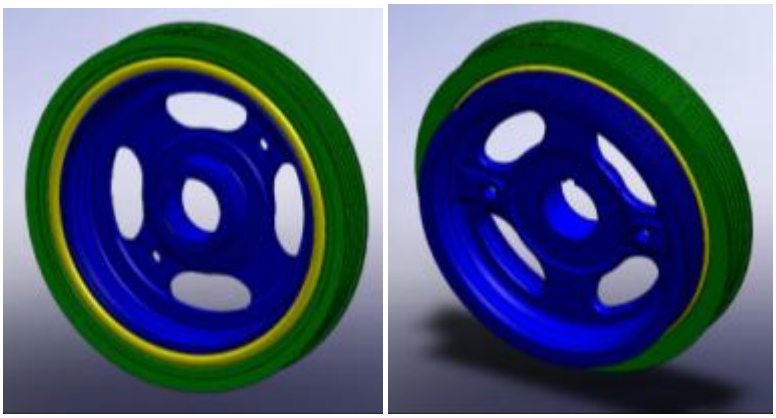
การดำเนินงาน

สภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาตั้งอยู่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกล์ ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ คือ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน (Damper pulley) บริษัทมีสายการประกอบทั้งหมด 6 สาย ซึ่งมีลักษณะการทำงานเหมือนกันทั้ง 6 สาย การวิจัยนี้เลือกสายการประกอบชื่อ IEMT ซึ่งทำการผลิตงานรุ่น RT50 เพื่อมาทำการวิจัย การทำงานเปิดดำเนินการ 2 กะ คือ

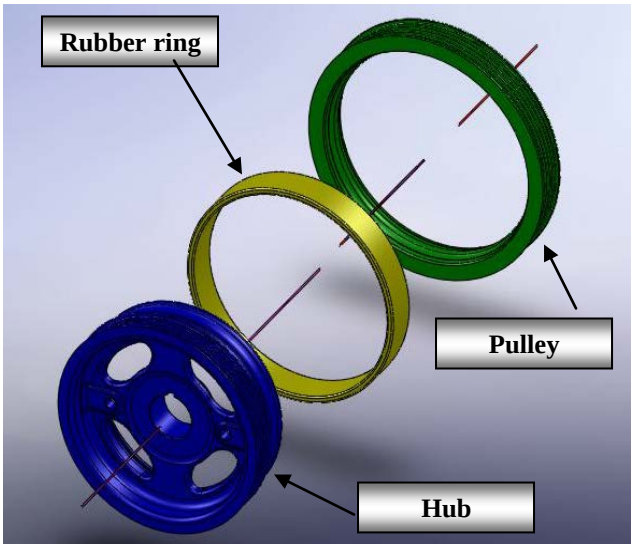
1. กะกลางวันดำเนินการตั้งแต่เวลา 08.00–17.00 และล่วงเวลา 17.20–20.00 (ถ้ามี)
2. กะกลางคืนดำเนินการตั้งแต่เวลา 20.00–05.00 และล่วงเวลา 05.20–08.00 (ถ้ามี)

โดยมีพนักงานดำเนินการทั้งสิ้น 5 คนต่อ 1 สายการประกอบ ประกอบด้วย หัวหน้างาน 1 คน และพนักงานผลิต 4 คน ทำงานผ่านกระบวนการผลิตทั้งหมด 12 กระบวนการ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 3-2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3-2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน (Damper pulley)

ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างส่วนประกอบของ พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน (Damper pulley)

1. ฮับ (HUB) คือ ชิ้นส่วนที่จะไปสวมประกอบกับเครื่องยนต์

2. พูลเล่ (Pulley) คือ ชิ้นส่วนที่จะรองรับสายพาน และทำหน้าที่ขับสายพานให้เคลื่อนที่

3. ยางวงแหวน (Rubber ring) คือ ชิ้นส่วนที่ทำให้ทั้ง 3 ชิ้น สวมประกอบประสานเป็นชิ้นเดียวกันได้ และยังทำหน้าที่รับการสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์อีกด้วย

กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในขอบเขตที่ทำการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเฉพาะในส่วนของการประกอบ ไปจนถึงจุดสุดท้าย คือ การบรรจุลงกล่อง ซึ่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เข้ามารอประกอบ ได้มีการเตรียมพร้อมเพื่อรอประกอบได้ทันที โดยไม่มีการรอคอย โดยกระบวนการประกอบนี้มีขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการขัดยางวงแหวน (Rubber ring) เป็นการเตรียมผิวชิ้นงานเพื่อทำให้การประกอบมีคุณภาพได้ตามข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่องจักร Buffing rubber ring machine ในการดำเนินการ

2. กระบวนการล้างด้วยไอเคมี 1 (Degreasing triklone 1) เป็นการทำความสะอาดวัตถุดิบ ฮับ (Hub) และพูลเล่ (Pulley) ล้างคราบสกปรก คราบน้ำมัน และทำให้ชิ้นงานแห้ง ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการอัดประกอบ โดยเครื่องล้างจะใช้หลักการไอความร้อนจากสารเคมีไตรโครน ทำให้ชิ้นงานแห้ง และสะอาด

3. กระบวนการอัดประกอบ (Press assembly) เป็นกระบวนการที่นำวัตถุดิบทั้ง 3 คือ

ฮับ (Hub) พูลเล่ (Pulley) และยางวงแหวน (Rubber ring) อัดประกอบรวมกันให้เกิดเป็น พูลเล่ลดการสั่นสะเทือน (Damper pulley) โดยใช้เครื่องอัดประกอบได้งานออกมาครั้งละ 1 ตัว

4. กระบวนการล้างด้วยน้ำยาอัลคาไลน์ (Degreasing alkaline) เป็นการทำความสะอาดชิ้นงาน ล้างคราบสกปรก และคราบน้ำมันจากการอัดประกอบ โดยเครื่องล้างใช้หลักการฉีดน้ำผสมน้ำยาอัลคาไลน์ในการล้างทำความสะอาด

5. กระบวนการตั้งศูนย์ (Balancing) เป็นการตรวจสอบความสมดุลโดยน้ำหนักว่าอยู่ในค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าสูงเกินกว่าค่าที่กำหนด ก็จะดำเนินการทำให้เกิดการสมดุล และตรวจสอบใหม่อีกครั้ง โดยเครื่องตรวจสมดุล

6. กระบวนการตรวจสอบการแกว่ง (Run out check) เป็นกระบวนการตรวจสอบการประกอบว่าชิ้นงานเมื่อผ่านการหมุนในแนวแกนแล้วเกิดการแกว่งเกินค่าที่กำหนดหรือไม่ โดยกระบวนการนี้พนักงานจะต้องทำงานพร้อมอุปกรณ์ตลอดเวลา

7. กระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 (Degreasing triklone 2) เป็นการทำความสะอาดชิ้นงานที่อัดประกอบแล้ว ล้างคราบสกปรก คราบน้ำมัน และทำให้ชิ้นงานแห้ง ก่อนจะทำการพ่นสี โดยเครื่องล้างจะใช้หลักการไอความร้อนจากสารเคมีไตรโครน ทำให้ชิ้นงานแห้ง และสะอาด

8. กระบวนการขัดพูลเล่ลดการสั่นสะเทือน (Buffing damper pulley) เป็นการขัดคราบสกปรก เพื่อเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการพ่นสี โดยกระบวนการนี้พนักงานจะต้องทำงานพร้อมอุปกรณ์ตลอดเวลา

9. กระบวนการพ่นสี (Painting) เป็นการเคลือบป้องกันชิ้นงานจากการเกิดสนิม และทำให้ชิ้นงานสวยงาม โดยกระบวนการนี้พนักงานจะต้องทำงานพร้อมอุปกรณ์ตลอดเวลา

10. กระบวนการตากสี (Drying) เป็นการพัก และตากสีให้แห้ง ก่อนที่จะไปสู่กระบวนการถัดไป โดยจะต้องพักไว้เป็นเวลา 1 ชม. ก่อนที่จะสัมผัสได้โดยสีไม่เลอะ และเครื่องตากสีสามารถตากได้สูงสุดถึง 60 ชิ้น

11. กระบวนการทำสัญลักษณ์ (Timing mark) เป็นการทำสัญลักษณ์ตามตำแหน่งที่ลูกค้ากำหนดเพื่อใช้ในการปรับตั้งเครื่องยนต์ โดยมีเครื่องจักรช่วยในการทำสัญลักษณ์ให้ได้ตำแหน่งองศาตามที่ลูกค้ากำหนด

12. กระบวนการบรรจุ (Packing) เป็นกระบวนการตรวจสอบตำแหน่งองศาของสัญลักษณ์ตรวจสอบผิว ลักษณะโดยรวมขั้นสุดท้าย ประทับตราวันที่ผลิต และทาน้ำมันกันสนิมแล้วบรรจุชิ้นงานลงกล่อง โดยกระบวนการนี้พนักงานจะต้องทำงานพร้อมอุปกรณ์ตลอดเวลา

จากกระบวนการผลิตทั้ง 12 กระบวนการ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-1 ซึ่งแสดงลักษณะการทำงานของทุกกระบวนการ เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น พร้อมทั้งยังมีเวลาการ

ดำเนินงานของแต่ละกระบวนการ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ โดยเวลาที่แสดงในตารางนั้นเป็นเวลาเฉลี่ยมาจากการจับเวลา 10 ครั้ง

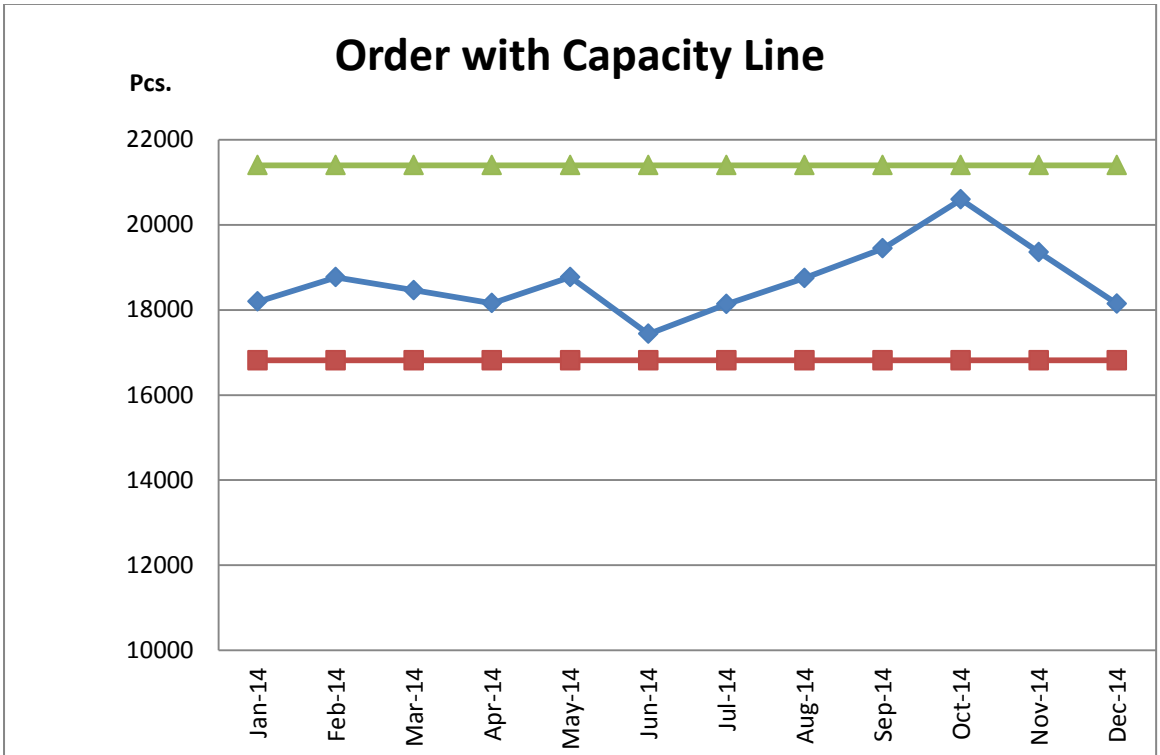
ตารางที่ 3-1 ลักษณะการทำงาน และเวลาการผลิตของแต่กระบวนการผลิต

สถานีงานที่	กระบวนการ	ลักษณะการทำงาน	เวลาเฉลี่ยต่อชิ้น (วินาที)
1	1) Buffing Rubber Ring	- ขัดผิวยางวงแหวน (Rubber ring) - เครื่องจักรทำงานถ่างยางวงแหวนออก แล้วหมุนให้ขัดกับกระดาษทราย	19
	2) D/G Triklone1	- ทำความสะอาดคราบน้ำมัน และสิ่งสกปรก - เครื่องจักรทำงานจุ่มลงไปในถัง แล้วใช้ไอจากสารเคมีทำให้แห้ง	38
	3) Press Assembly	- อัดประกอบ ชิ้นส่วนทั้ง 3 เข้าด้วยกัน - เครื่องจักรทำงานอัด ดันยางวงแหวนให้เกิดการสวมอัด จนเป็นชิ้นเดียวกัน	44
	4) D/G Alkaline1	- ล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันจากการสวมอัด - เครื่องจักรทำงานเอาชิ้นงานเข้าไปในตู้ล้าง แล้วใช้น้ำยาอัลคาไลน์ ฉีดแรงดันล้างคราบน้ำมัน	50.5
2	5) Balancer	- ตรวจสอบความสมดุลโดยน้ำหนัก แล้วทำให้สมดุล โดยไม่ให้เกินค่าที่กำหนด - เครื่องจักรทำงานโดยการหมุน แล้วตรวจสอบถ้าเกินค่าที่กำหนด จะทำการเจาะเพื่อลดน้ำหนักให้เกิดความสมดุล	33
	6) Run Out Check	- ตรวจสอบค่าความแกว่ง (Run out) - พนักงานตอก Collet ใส่ชิ้นงาน แล้วเอาเข้าอุปกรณ์ Bench center แล้วจึงหมุนตรวจสอบความแกว่งจาก Dial gauge	31

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

สถานีงานที่	กระบวนการ	ลักษณะการทำงาน	เวลาเฉลี่ยต่อชิ้น (วินาที)
2	7) D/G Triklone2	- ล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันอีกครั้ง ก่อนพ่นสี - เครื่องจักรทำงานจุ่มลงไปในถัง แล้วใช้ไอจากสารเคมีทำให้แห้ง	40
3	8) Buffing D/P	- ขัดเตรียมผิวชิ้นงานก่อนพ่นสี - เครื่องจักรทำงานหมุนชิ้นงานตามแนวแกน และพนักงานใช้สก๊อตไบต์ ขัดคราบที่ผิวของชิ้นงานให้สะอาด	18
	9) Painting	- พ่นสีป้องกันสนิม และให้เกิดความสวยงาม - เครื่องจักรทำงานหมุนชิ้นงานตามแนวแกน และพนักงานพ่นสีให้ทั่วชิ้นงานตามบริเวณที่กำหนด	44
	10) Drying	- ห้องตากสีให้แห้งโดยอากาศ ใช้เวลา 1 ชม - เครื่องจักรเป็นห้องเก็บงานได้ 60 ชิ้น โดยมีระบบสายพานลำเลียงชิ้นงาน	67
4	11) Timing Mark	- ทำสัญลักษณ์ ตามองศาการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ - เครื่องจักรทำงานเคลื่อนเข้ามาตัดเฉือนชิ้นงานที่วางได้ตำแหน่งองศา ทำเกิดรอยบาก	16
	12) Check & Packing	- พนักงานตรวจเช็คตำแหน่งองศาของสัญลักษณ์และแต้มสี - พนักงานประทับตราวันที่การผลิต - พนักงานตรวจสอบลักษณะรูปร่าง สี และสิ่งที่ผิดปกติโดยรวมของชิ้นงานด้วยสายตา - พนักงานทาน้ำมันกันสนิม - พนักงานวางชิ้นงานลงในกล่อง	69

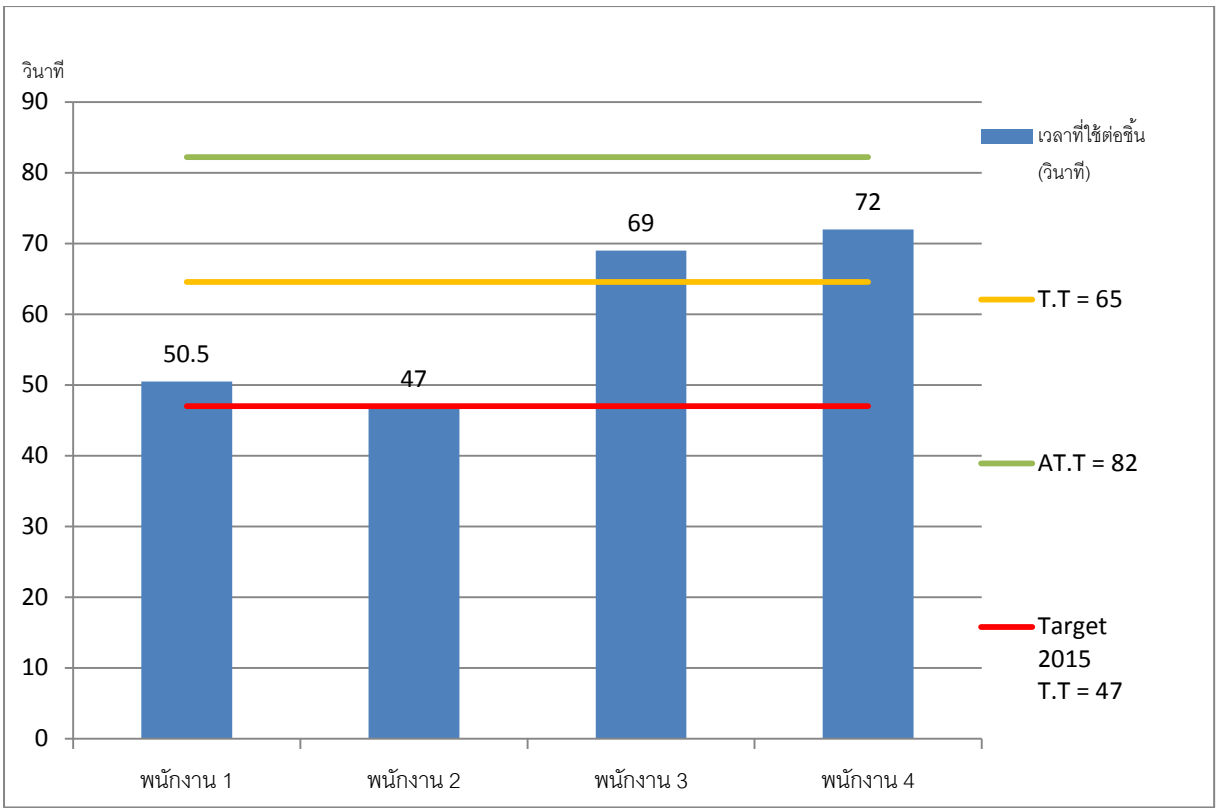
ภาพที่ 3-4 เป็นกราฟแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างความต้องการสินค้าและความสามารถในการผลิตในเวลาปกติที่ไม่สอดคล้องกัน ทำให้ต้องทำงานล่วงเวลาในการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าอยู่เสมอ และจากข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้นผลิต ลูกค้าได้แจ้งความต้องการสินค้าอยู่ที่เฉลี่ยเดือนละ 18,750 ชิ้นต่อเดือน และจะปรับเพิ่มเป็น 25,000 ชิ้นต่อเดือนภายในปี 2015



	Jan-14	Feb-14	Mar-14	Apr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Aug-14	Sep-14	Oct-14	Nov-14	Dec-14
Order (Pcs)	18197	18768	18465	18158	18774	17435	18136	18750	19447	20596	19355	18143
Normal Cap.	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816	16816
OT Cap.	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402	21402

ภาพที่ 3-4 ความต้องการสินค้ากับความสามารถในการผลิตของสายการประกอบ

ภาพรวมของปัญหาเบื้องต้น คือ ความสามารถของสายการผลิตไม่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ จึงต้องทำงานล่วงเวลาอยู่ทุกวัน ทำให้พนักงานอ่อนล้าจากการทำงานหนัก เครื่องจักรก็ขาดการบำรุงรักษาตามระยะเวลา และภายในปี 2015 ความต้องการของลูกค้าจะเพิ่มขึ้นจาก 18,750 เป็น 25,000 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งหมายถึงความต้องการกำลังการผลิตของลูกค้าเท่ากับ 47 วินาทีต่อชิ้น ในเวลาทำงานปกติ



ภาพที่ 3-5 เวลาการทำงานแต่ละสถานีของสายการประกอบที่มีพนักงานทำงาน 4 คน

จากภาพที่ 3-5 และข้อมูลข้างต้น ทำให้ทราบความสามารถการผลิตของสายการประกอบดังนี้

1. Takt Time; T.T คือ 65 วินาที คำนวณได้จากสูตร

$$T.T = \frac{\text{Working time}}{\text{Demand x 1.003}}$$

$$T.T = \frac{(440x60x23)x2}{18{,}750 \text{ x } 1.003}$$

T.T = 65 วินาทีต่อชิ้น

โดยที่

1.003 คือ 0.3% ค่าเผื่อปริมาณงานเสียที่บริษัทกำหนด

1 วัน มีเวลาในการทำงาน คือ 440 นาที และทำงาน 2 กะ

1 เดือน เวลาในการทำงาน คือ 23 วัน

ปริมาณความต้องการสินค้าเท่ากับ 18,750 ชิ้นต่อเดือน (ข้อมูลลูกค้า)

2. Actual Takt Time; AT.T คือ 82 วินาทีต่อชิ้น คำนวณได้จากสูตร

$$\text{AT.T} = \frac{\text{Working time+OT}}{\text{Demand x 1.003}}$$

$$\text{AT.T} = \frac{((440+120)\text{x}60\text{x}23)\text{x}2}{18{,}750 \text{ x } 1.003}$$

AT.T = 82 วินาทีต่อชิ้น

โดยที่

การทำงานล่วงเวลากะละ 2 ชั่วโมงต่อกะ (120 นาที)

3. Cycle Time; C.T หรือรอบเวลาการผลิตต่อชิ้น คือ 72 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งได้ทำการคิดจากรอบเวลาการที่ทำการผลิตสูงสุดต่อ 1 ชิ้น หรือเรียกว่าจุดคอขวดของกระบวนการ จากการแบ่งการทำงานออกเป็น 4 สถานีหลัก

4. ประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิต คือ 83% ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{Total time x 100}}{\text{Max time x Man}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(50.5+47+69+72)\text{x } 100}{72 \text{ x } 4}$$

ประสิทธิภาพ = 83%

5. Target 2015 Takt Time; T.T คือ 47 วินาที คำนวณได้จากสูตร

$$\text{T.T} = \frac{\text{Working time}}{\text{Demand x 1.03}}$$

$$\text{T.T} = \frac{(440\text{x}60\text{x}23)\text{x}2}{25{,}000 \text{ x } 1.03}$$

T.T = 47 วินาทีต่อชิ้น

โดยที่

1.03 คือ 3% ค่าเผื่อปริมาณงานเสียที่บริษัทกำหนดกรณีปรับปรุงกระบวนการผลิต

1 วัน มีเวลาในการทำงาน คือ 440 นาที และทำงาน 2 กะ

1 เดือน เวลาในการทำงาน คือ 23 วัน

ปริมาณความต้องการสินค้าเท่ากับ 25,000 ชิ้นต่อเดือน (ข้อมูลลูกค้า)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการดำเนินการผลิตในสถานการณ์ปัจจุบันนั้นใช้เวลา 72 วินาทีต่อชิ้น ไม่สามารถรองรับต่อความต้องการของลูกค้าที่ 65 วินาทีต่อชิ้น เพราะฉะนั้นจึงต้องทำงานล่วงเวลาอยู่เสมอเพื่อให้สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ และจากภาพที่ 3-5 แสดงให้เห็นถึงเวลาการทำงานของพนักงาน ที่มากกว่าความต้องการของลูกค้าในปี 2015 คือ พนักงานคนที่ 1 คนที่ 3 และคนที่ 4 เมื่อทราบดังนี้แล้ว ประกอบกับข้อมูลเวลาการผลิตแต่ละกระบวนการข้างต้น จึงทำการพิจารณาเข้าไปสู่กระบวนการผลิตของพนักงานแต่ละคน ถึงกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดคอขวด (Bottle neck) ดังนี้

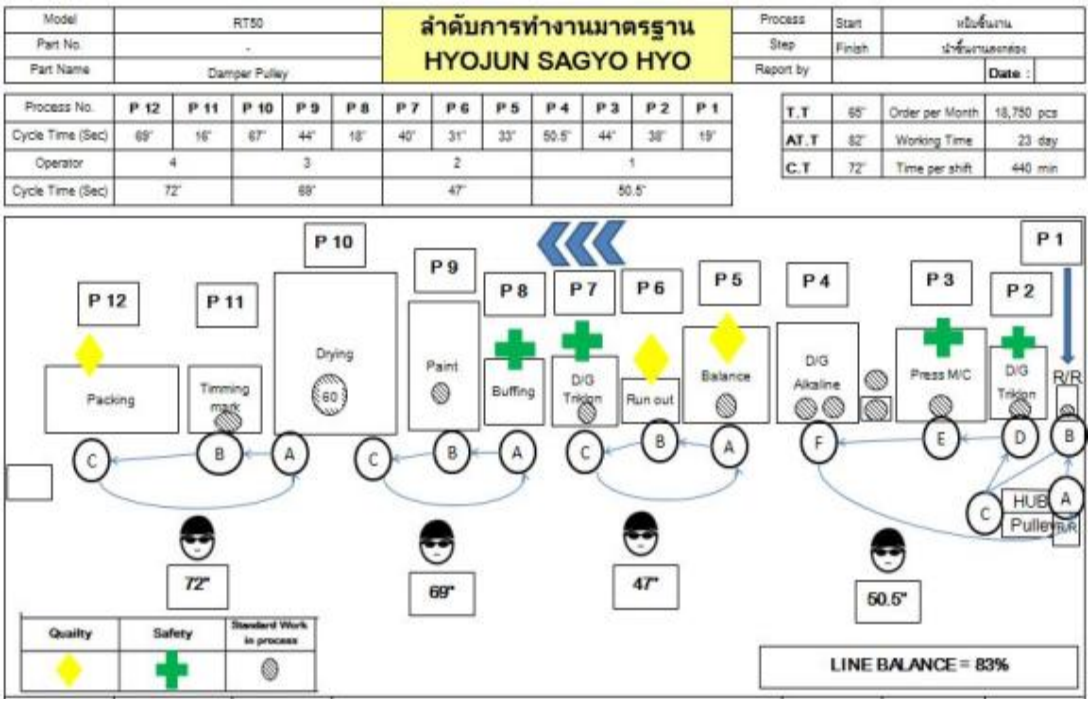
สำหรับพนักงานคนที่ 1 กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดคอขวด คือ กระบวนการ Degreasing alkaline การล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันจากการสวมอัด ใช้เวลา 50.5 วินาที

สำหรับพนักงานคนที่ 3 กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดคอขวด คือ กระบวนการ Drying การตากสีให้แห้งโดยอากาศ ใช้เวลา 67 วินาที และกระบวนการพ่นสีที่พนักงานทำงาน 44 วินาที

สำหรับพนักงานคนที่ 4 กระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดคอขวด คือ กระบวนการ Check & Packing การตรวจเช็คตำแหน่งองศาของสัญลักษณ์ และแต้มสี ประทับตราวันที่การผลิต ตรวจสอบลักษณะรูปร่าง สี และสิ่งที่ผิดปกติโดยรวมของชิ้นงานด้วยสายตา ทาน้ำมันกันสนิม และบรรจุชิ้นงานลงในกล่อง ใช้เวลา 69 วินาที

การเก็บข้อมูลเวลาในการผลิต

ปัจจุบันการดำเนินการผลิต จากกระบวนการผลิตทั้งหมด 12 กระบวนการ ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 4 สถานีหลัก โดยแต่ละสถานีให้พนักงานประจำอยู่สถานีละ 1 คน ดังแสดงในภาพที่ 3-6 และในภาพยังแสดงถึงลำดับการทำงานของพนักงานแต่ละคนอย่างชัดเจน มีผลทำให้รอบเวลาการผลิตเปลี่ยนจากแต่ละกระบวนการ มาเป็นรอบเวลาการผลิตแต่ละสถานีแทน โดยสถานีที่ 1 มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 50.5 วินาที สถานีที่ 2 มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 47 วินาที สถานีที่ 3 มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 69 วินาที และสถานีที่ 4 มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 72 วินาที



ภาพที่ 3-6 ลำดับการทำงานมาตรฐานของทุกกระบวนการ

ตารางที่ 3-2 แสดงเวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 1

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -1 Buffing Rubber Ring	-หยิบชิ้นงาน Rubber Ring ออก	⊕	1	1
	-หยิบชิ้นงาน Rubber Ring จากกล่อง	Δ	2	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	1	1
	-ทำงานขัด	Δ		15
D/P -2 D/G Triklone1	-หยิบชิ้นงาน Hub & Pulley ออก	⊕	3	3
	-หยิบชิ้นงาน Hub & Pulley จากกล่อง	Δ	2	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	3	3
	-ทำงานล้างคราบ	Δ		30

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -3 Press Assembly	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	⊕	3	3
	-หยิบชิ้นงาน Rubber & Hub & Pulley	Δ	3	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	6	6
	-ทำงานอัดประกอบ	Δ		32
D/P -4 D/G Alkaline	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley 2 ชิ้น ออก	⊕	1	1
	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley 2 ชิ้น	Δ	1	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	1	1
	-ทำงานล้าง (2 ชิ้นต่อครั้ง)	Δ		47.5
สรุปเวลาในการผลิต 1 รอบ			50.5 วินาที	

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

จากตารางที่ 3-2 แสดงรายละเอียดลำดับการทำงานของพนักงานคนที่ 1 กับเครื่องจักรทั้ง 4 กระบวนการ โดยใช้เวลาในการผลิต 1 รอบเท่ากับ 50.5 วินาที ซึ่งพนักงานคนที่ 1 มีการทำงานคิดเป็น 53% เครื่องจักรเครื่องที่ 1 ทำงาน 33% เครื่องจักรเครื่องที่ 2 ทำงาน 71% เครื่องจักรเครื่องที่ 3 ทำงาน 80% และเครื่องจักรเครื่องที่ 4 ทำงาน 98% โดยเวลาที่แสดงในตารางนั้นเป็นเวลาเฉลี่ยมาจากการจับเวลา 10 ครั้ง

ตารางที่ 3-3 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 2

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -5 Balancer	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	⊕	2	2
	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	2	2
	-ทำงานให้ Balance	Δ		27

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -6 Run Out Check	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
	-ใส่แกน Collet แล้วนำไปใส่เครื่อง	⊕	7	7
	-พนักงานทำการตรวจสอบ Run Out	⊕	15	15
	-หยิบชิ้นงานออก แล้วเอาแกน Collet ออก	⊕	7	7
D/P -7 D/G Triklone2	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	⊕	4	4
	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	4	4
	-ทำงานล้างคราบ	Δ		30
สรุปเวลาในการผลิต 1 รอบ			47 วินาที	

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

จากตารางที่ 3-3 แสดงรายละเอียดลำดับการทำงานของพนักงานคนที่ 2 กับเครื่องจักรทั้ง 3 กระบวนการ โดยใช้เวลาในการผลิต 1 รอบเท่ากับ 47 วินาที ซึ่งพนักงานคนที่ 2 มีการทำงานคิดเป็น 100% เครื่องจักรเครื่องที่ 1 ทำงาน 66% เครื่องจักรเครื่องที่ 2 ทำงาน 62% และเครื่องจักรเครื่องที่ 3 ทำงาน 81% โดยเวลาที่แสดงในตารางนั้นเป็นเวลาเฉลี่ยมาจากการจับเวลา 10 ครั้ง

ตารางที่ 3-4 เวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 3

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -8 Buffing D/P	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	1	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	4	4
	-ทำงานขัดคราบ	⊕	13	13

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -8	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	1	
Buffing D/P	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	4	4
	-ทำงานขัดคราบ	⊕	13	13
D/P -9	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
Painting	- ใส่งานในเครื่อง	⊕	4	4
	-ทำงานพ่นสี	⊕	38	38
D/P -10	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
Drying	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	5	5
	-ทำงานพักตากสี	Δ		60
สรุปเวลาในการผลิต 1 รอบ			69 วินาที	

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

จากตารางที่ 3-4 แสดงรายละเอียดลำดับการทำงานของพนักงานคนที่ 3 กับเครื่องจักรทั้ง 3 กระบวนการ โดยใช้เวลาในการผลิต 1 รอบเท่ากับ 69 วินาที ซึ่งพนักงานคนที่ 3 มีการทำงานคิดเป็น 100% เครื่องจักรเครื่องที่ 1 ทำงาน 25% เครื่องจักรเครื่องที่ 2 ทำงาน 61% และเครื่องจักรเครื่องที่ 3 ทำงาน 94% โดยเวลาที่แสดงในตารางนั้นเป็นเวลาเฉลี่ยมาจากการจับเวลา 10 ครั้ง

ตารางที่ 3-5 แสดงเวลาการทำงานคน-เครื่องจักร (Man-Machine) พนักงานคนที่ 4

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -11	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	⊕	1	1
Timming Mark	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	1	
	-ใส่งานในเครื่อง	⊕	1	1
	-ทำงานสร้างสัญลักษณ์	Δ		13

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

ตารางที่ 3-5 (ต่อ)

กระบวนการ	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม	เวลางาน (วินาที/ชิ้น)	
			คน	เครื่องจักร
D/P -12 Check & Packing	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley	Δ	2	
	-ใส่งานอุปกรณ์ตรวจ Timming Mark	⊕	2	2
	-ทำงานตรวจสอบตำแหน่ง และแต้มสี	⊕	5	5
	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	⊕	2	2
	-ทำงานตรวจสอบลักษณะรูปร่าง สี และสิ่งที่ผิดปกติโดยรวมของชิ้นงานด้วยสายตา ทำงานทาน้ำมันกันสนิม และประทับตราวันที่การผลิต	⊕	56	56
	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley บรรจุลงในกล่อง	Δ	2	
สรุปเวลาในการผลิต 1 รอบ			72 วินาที	

หมายเหตุ: Δ กิจกรรมอิสระ ⊕ กิจกรรมร่วม

จากตารางที่ 3-5 แสดงรายละเอียดลำดับการทำงานของพนักงานคนที่ 4 กับเครื่องจักรทั้ง 2 กระบวนการ โดยใช้เวลาในการผลิต 1 รอบเท่ากับ 72 วินาที ซึ่งพนักงานคนที่ 4 มีการทำงานคิดเป็น 100% เครื่องจักรเครื่องที่ 1 ทำงาน 21% และเครื่องจักรเครื่องที่ 2 ทำงาน 90% โดยเวลาที่แสดงในตารางนั้นเป็นเวลาเฉลี่ยมาจากการจับเวลา 10 ครั้ง

การวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1 ดังตารางที่ 3-6 มาทำการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจง โดยใช้โปรแกรม Input analyzer ที่มีมากับโปรแกรม Arena ซึ่งจะได้รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานทุกขั้นตอนดังตารางที่ 3-7 และตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของขั้นตอนที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 3-7 สำหรับรูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 2, 3 และ 4 สามารถดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 3-6 คือ ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1 โดยทำการจับเวลาการทำงาน 10 ครั้ง แต่ละขั้นตอน แล้วนำเวลาที่ได้ไปทำการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น และพิจารณาเวลาของเครื่องจักรเป็นเวลาคงที่

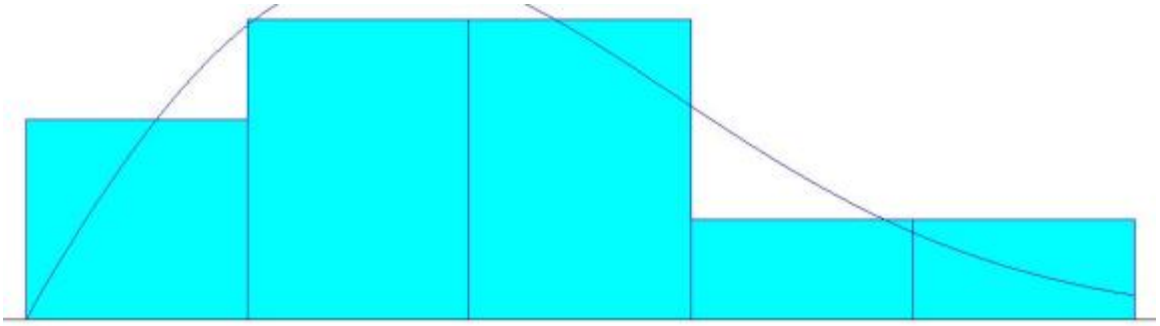
ตารางที่ 3-6 ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1

No.	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Min	Max	Flu.	Avg.
1	1.03	1.10	1.05	1.04	1.11	1.09	1.12	1.16	1.05	1.07	1.03	1.16	0.13	1.08
2	2.02	1.98	2.15	2.06	2.10	2.09	2.12	2.02	2.13	2.07	1.98	2.15	0.17	2.07
3	0.95	0.98	0.92	0.94	0.92	0.97	0.93	0.98	0.96	0.93	0.92	0.98	0.06	0.95
4														15.00
5	3.09	3.11	3.15	3.11	3.16	3.18	3.15	3.14	3.17	3.20	3.09	3.2	0.11	3.15
6	2.20	2.26	2.19	2.16	2.24	2.22	2.14	2.18	2.21	2.19	2.14	2.26	0.12	2.20
7	3.03	2.97	3.16	3.10	3.04	3.12	3.05	3.11	3.08	3.06	2.97	3.16	0.19	3.07
8														30.00
9	2.89	2.93	2.95	2.88	3.01	2.97	2.95	2.91	2.98	2.93	2.88	3.01	0.13	2.94
10	2.95	2.87	2.82	2.92	2.95	2.89	2.85	2.90	2.92	2.88	2.82	2.95	0.13	2.90
11	6.23	6.25	6.19	6.15	6.05	6.00	6.12	6.18	6.22	6.16	6	6.25	0.25	6.16
12														32.00
13	1.35	1.40	1.37	1.39	1.33	1.42	1.46	1.38	1.35	1.43	1.33	1.46	0.13	1.39
14	1.04	1.07	0.98	1.03	1.06	1.02	0.97	0.99	1.07	1.03	0.97	1.07	0.10	1.03
15	0.99	1.05	1.03	0.94	0.98	0.95	1.13	1.11	0.96	0.99	0.94	1.13	0.19	1.01
16														47.50

ตารางที่ 3-7 รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลาปฏิบัติงาน (วินาที)	Square Error
1	-หยิบชิ้นงาน Rubber Ring ออก	1.01 + WEIB(0.0815, 1.95)	0.007419
2	-หยิบชิ้นงาน Rubber Ring จากกล่อง	1.96 + 0.21 * BETA(1.45, 1.22)	0.005040
3	-ใส่งานในเครื่อง	0.91 + 0.08 * BETA(0.901, 0.995)	0.019798
4	-ทำงานขัด	15.00	
5	-หยิบชิ้นงาน Hub & Pulley ออก	TRIA(3.07, 3.15, 3.22)	0.005600
6	-หยิบชิ้นงาน Hub & Pulley จากกล่อง	TRIA(2.12, 2.2, 2.28)	0.005600
7	-ใส่งานในเครื่อง	TRIA(2.95, 3.09, 3.18)	0.002539
8	-ทำงานล้างคราบ	30.00	
9	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley ออก	TRIA(2.86, 2.94, 3.03)	0.037600
10	-หยิบชิ้นงาน Rubber & Hub & Pulley	NORM(2.9, 0.0398)	0.028067
11	-ใส่งานในเครื่อง	6 + 0.281 * BETA(1.15, 0.924)	0.055173
12	-ทำงานอัดประกอบ	32.00	
13	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley 2 ชิ้น ออก	TRIA(1.31, 1.37, 1.48)	0.002081
14	-หยิบชิ้นงาน Damper Pulley 2 ชิ้น	0.96 + 0.12 * BETA(0.94, 0.769)	0.030151
15	-ใส่งานในเครื่อง	0.92 + ERLA(0.0465, 2)	0.036103
16	-ทำงานล้าง (2 ชิ้นต่อครั้ง)	47.50	

ตารางที่ 3-7 คือ รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 1 โดยรูปแบบที่ได้นี้พิจารณาจากค่า Square Error ที่ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ และพิจารณาเวลาของเครื่องจักรเป็นเวลาคงที่



Distribution Summary

Distribution: Weibull

Expression: 1.01 + WEIB(0.0815, 1.95)

Square Error: 0.007419

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.119

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.03

Max Data Value = 1.16

Sample Mean = 1.08

Sample Std Dev = 0.0413

Histogram Summary

Histogram Range = 1.01 to 1.18

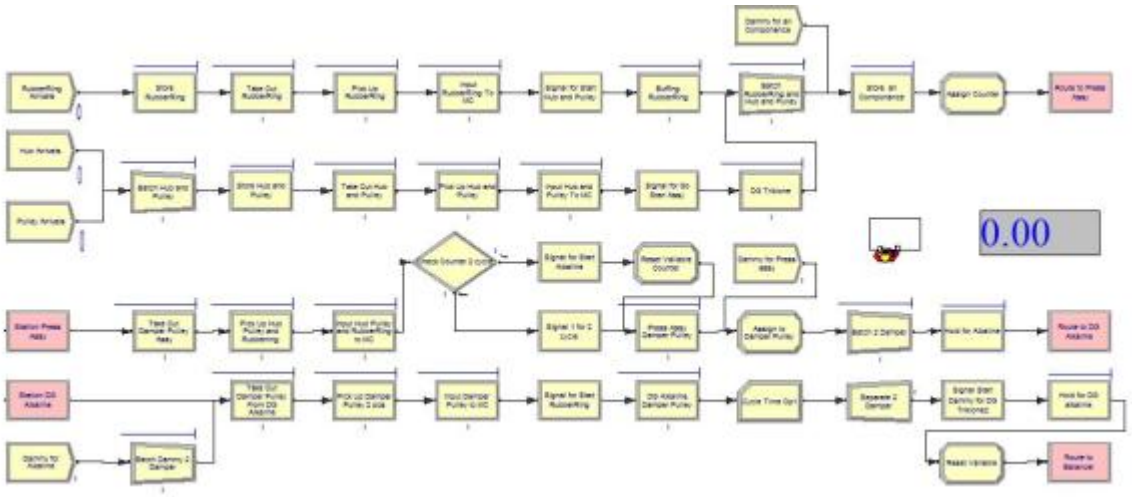
Number of Intervals = 5

ภาพที่ 3-7 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 1

การสร้างแบบจำลองของสายการผลิตปัจจุบัน

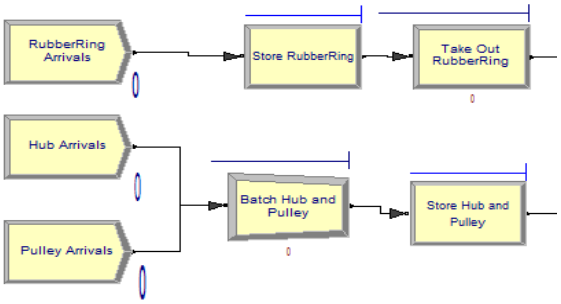
การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Arena version 14 ของกระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็นโมดูลใหญ่ 4 โมดูล คือ 1) พนักงานคนที่ 1 รับผิดชอบกระบวนการขัดยางวงแหวน กระบวนการล้างด้วยไอเคมี กระบวนการอัดประกอบ และกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์

2) พนักงานคนที่ 2 รับผิดชอบกระบวนการตั้งศูนย์ กระบวนการตรวจสอบการแกว่ง และกระบวนการล้างด้วยไอเคมี2 3) พนักงานคนที่ 3 รับผิดชอบกระบวนการขัดผิว กระบวนการพ่นสี และกระบวนการตากสี 4) พนักงานคนที่ 4 รับผิดชอบกระบวนการทำสัญลักษณ์ กระบวนการตรวจสอบและบรรจุ ในแต่ละโมดูลจะมีการสร้างแบบจะลองตามกระบวนการไหลของผลิตภัณฑ์



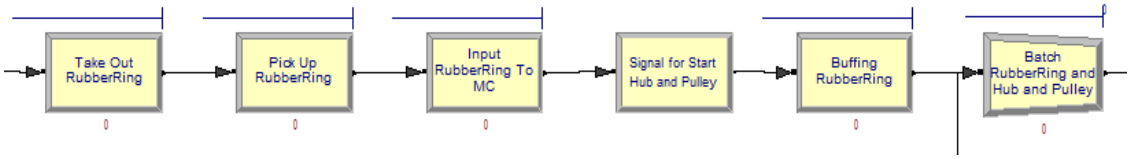
ภาพที่ 3-8 ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 1

จากภาพที่ 3-8 และภาพที่ 3-9 เริ่มจากสร้างวัตถุเข้ามาในกระบวนการผลิต คือ ฮับ พูลเล่ และยางวงแหวน โดยที่วัตถุทั้ง 3 นี้ จะเข้ามารออยู่ที่โมดูล HOLD ซึ่งหมายถึงวัตถุทั้ง 3 ถูกเตรียมจำนวนตามแผนพร้อมผลิตสำหรับวันนั้นแล้ว สำหรับ ฮับ และพูลเล่ จะใช้โมดูล BATCH รวมทั้งสองวัตถุไว้อย่างถาวร



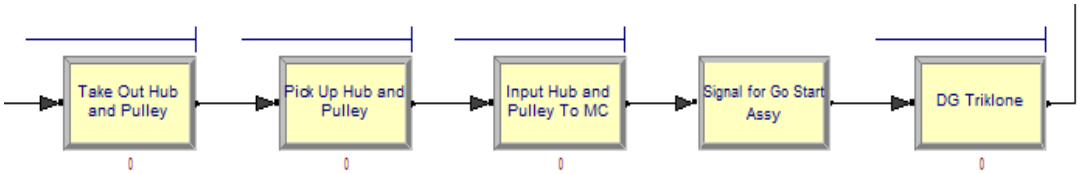
ภาพที่ 3-9 การสร้างวัตถุเข้ามาในระบบ

หลังจากนั้นเริ่มการทำงานที่กระบวนการแรก ขัดยางวงแหวน โดยเริ่มจากพนักงานหยิบงานออกจากเครื่องขัด จะใช้โมดูล PROCESS และใช้ทรัพยากร คือ คน และเครื่องขัด ต่อไปพนักงานจะหยิบยางวงแหวน จะใช้โมดูล PROCESS และใช้ทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่งานในเครื่องขัด จะใช้โมดูล PROCESS และใช้ทรัพยากร คือ คน และเครื่องขัด หลังจากนั้นวัตถุจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณให้โมดูล HOLD ของฮับ และพูลเล่ ปล่อยวัตถุออกมาเพื่อให้กระบวนการล้างทำงานต่อไป หลังจากวัตถุผ่านโมดูล SIGANL แล้วจะเข้าสู่การทำงานขัดยางวงแหวน จะใช้โมดูล PROCESS และใช้ทรัพยากร คือ เครื่องขัด หลังจากทำงานขัดเสร็จตามเวลา วัตถุจะไปรออยู่ที่โมดูล BATCH เพื่อรวมวัตถุทั้ง 3 ดังภาพที่ 3-10



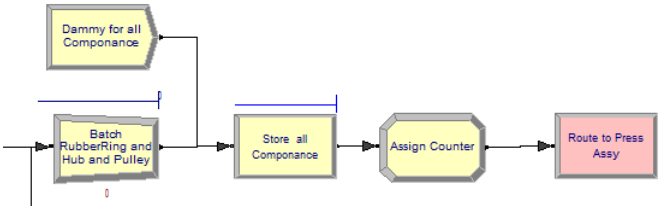
ภาพที่ 3-10 กระบวนการขัดยางวงแหวน

หลังจากที่สัญญาณของโมดูล SIGNAL ส่งมาทำให้โมดูล HOLD ของฮับ และพูลเล่ ปล่อยวัตถุออกมา เป็นการเริ่มต้นการทำงานของกระบวนการล้างด้วยไอเคมี เริ่มจากหยิบงานออกจากเครื่องล้าง จะใช้โมดูล PROCESS และใช้ทรัพยากร คือ คน และเครื่องล้าง ต่อไปพนักงานจะหยิบฮับ และพูลเล่ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่งานในเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากรคือ คน และเครื่องล้าง หลังจากนั้นวัตถุจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณให้โมดูล HOLD ของชิ้นส่วนทั้ง 3 ที่รวมกันเพื่อรอไปประกอบต่อไป หลังจากวัตถุผ่านโมดูล SIGNAL แล้วจะเข้าสู่การทำงานล้างฮับ และพูลเล่ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องล้าง หลังจากทำงานล้างเสร็จตามเวลา วัตถุจะไปรวมกันที่โมดูล BATCH ครบทั้ง 3 ชนิดแล้วจะไปรออยู่ที่โมดูล HOLD สำหรับประกอบต่อไป ดังภาพที่ 3-11



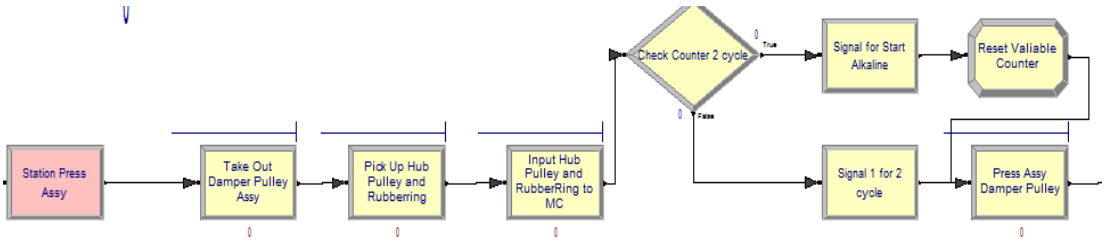
ภาพที่ 3-11 กระบวนการล้างด้วยไอเคมี 1

สำหรับรอบแรกเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างต่อเนื่อง จึงได้สร้างวัตถุเข้ามารออยู่ที่โมดูล HOLD ของชิ้นส่วนทั้ง 3 ดังนั้นเมื่อสัญญาณจากโมดูล SIGNAL ในกระบวนการล้างส่งมาทำให้ชิ้นส่วนทั้ง 3 ที่อยู่ที่โมดูล HOLD ถูกปล่อยออกมา และผ่านโมดูล ASSIGN เพื่อกำหนดตัวแปร counter ให้มีค่า counter + 1 หมายถึง ต้องการให้นับรอบเพื่อที่จะกำหนดให้งานครบ 2 ชิ้น ดังภาพที่ 3-12



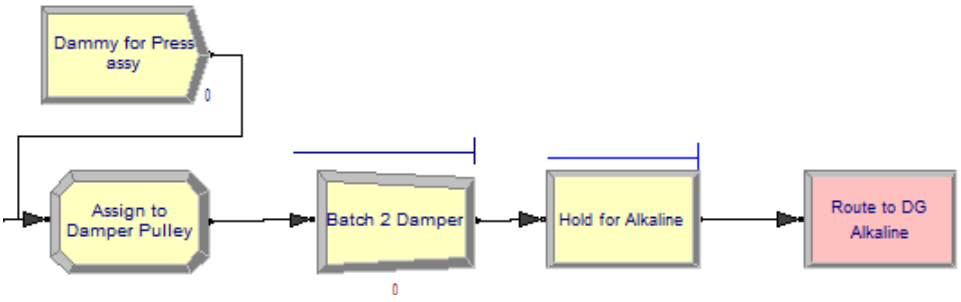
ภาพที่ 3-12 การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรก และกำหนดตัวแปรช่วยในการนับรอบ

หลังจากนั้นวัตถุก็จะไหลเข้าสู่กระบวนการประกอบ โดยเริ่มจากพนักงานหยิบงานออกจากเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องอัดประกอบ ต่อไปพนักงานจะหยิบงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่งานในเครื่องอัดประกอบ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องอัดประกอบ ถัดมาตรงนี้เอง จะใช้โมดูล DECIDE สร้างการตัดสินใจเพื่อตรวจสอบว่าชิ้นงานครบ 2 ชิ้นหรือยัง ถ้าครบ 2 ชิ้น เครื่องล้างถึงจะทำงานได้ รายละเอียดมีดังนี้ คือ เมื่อวัตถุผ่านโมดูล DECIDE จะทำการตรวจสอบตัวแปร counter ถ้าตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 วัตถุจะผ่านโมดูล SIGNAL และส่งสัญญาณไปให้โมดูล HOLD ของยางวงแหวนเพื่อปล่อยวัตถุออกมาเริ่มกระบวนการใหม่ เพื่อให้ได้ที่งานครบ 2 ชิ้น และถ้าตัวแปร counter มีค่าเท่ากับ 2 วัตถุจะผ่านโมดูล SIGNAL และส่งสัญญาณไปให้โมดูล HOLD ของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์ปล่อยวัตถุเข้าสู่กระบวนการต่อไป หลังจากวัตถุผ่านโมดูล SIGNAL แล้วก็จะผ่านไปยังโมดูล ASSIGN เพื่อปรับตัวแปร counter ให้มีค่า ศูนย์ เพื่อให้โปรแกรมเริ่มนับใหม่ต่อไป แล้วชิ้นงานจะเข้าสู่การทำงานอัดประกอบ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องอัดประกอบ ดังภาพที่ 3-13



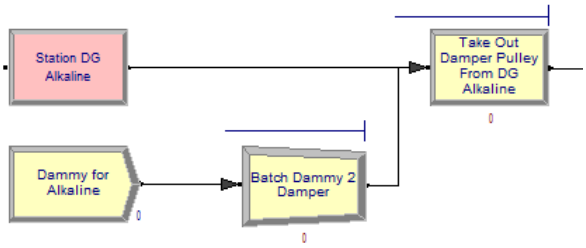
ภาพที่ 3-13 กระบวนการอัดประกอบ

หลังจากโมดูลนี้สำหรับรอบแรกได้มีการสร้างวัตถุเข้ามาเพื่อให้โปรแกรมสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่อง ถัดไปหลังจากการเอาชิ้นส่วนทั้ง 3 มาผ่านกระบวนการอัดประกอบเข้าด้วยกันแล้วก็ให้ผ่านโมดูล ASSIGN เพื่อกำหนดคุณสมบัติให้วัตถุเป็น DAMPER PULLEY แล้วก็ผ่านต่อไปยังโมดูล BATCH เพื่อรอให้ชิ้นงานครบ 2 ชิ้นเพื่อที่กระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์จะได้ทำงานได้ และเมื่อชิ้นงานรวมกันอย่างชั่วคราวครบ 2 ชิ้นก็จะผ่านต่อมายังโมดูล HOLD เพื่อรอสัญญาณมาปล่อยให้ชิ้นงานไหลไปยังกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์ต่อไป ดังภาพที่ 3-14



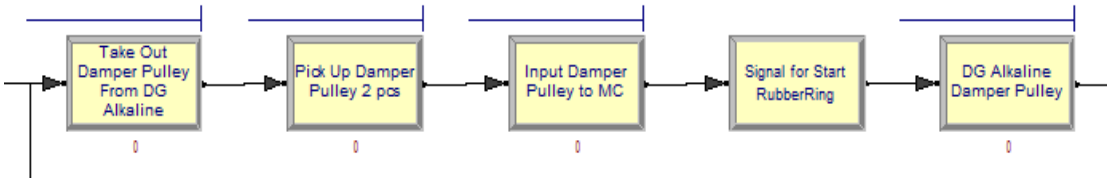
ภาพที่ 3-14 การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรก และการรวมชิ้นงาน 2 ชิ้นของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์

สำหรับรอบแรกเพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างต่อเนื่องจึงได้สร้างชิ้นงานเข้ามา 2 ชิ้น และผ่านโมดูล BATCH เพื่อรวมชิ้นงาน 2 ชิ้นไว้ด้วยกันเป็นการชั่วคราว แล้วผ่านเข้ากระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์ ดังภาพที่ 3-15



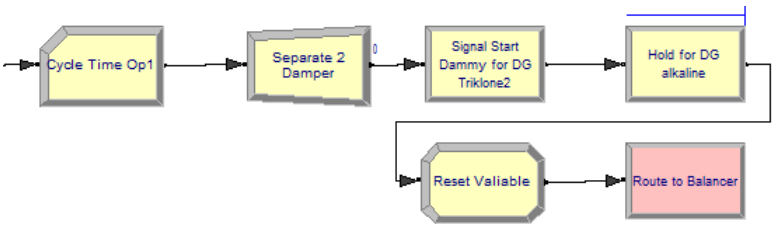
ภาพที่ 3-15 การสร้างตัวช่วยสำหรับงานรอบแรกของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์

สำหรับตั้งแต่รอบ 2 เป็นต้นไปชิ้นงานจะถูกปล่อยออกมาจากโมดูล HOLD ของกระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์ และเริ่มทำงานโดยพนักงานจะหยิบชิ้นงานออกจากเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องล้าง ต่อไปพนักงานจะหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่งานในเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องล้าง แล้ววัตถุจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อปล่อยสัญญาณให้โมดูล HOLD ของยางวงแหวนปล่อยชิ้นงานให้เริ่มกระบวนการในรอบใหม่ต่อไป หลังจากนั้นชิ้นงานจะโดนทำงานล้าง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องล้าง ดังภาพที่ 3-16

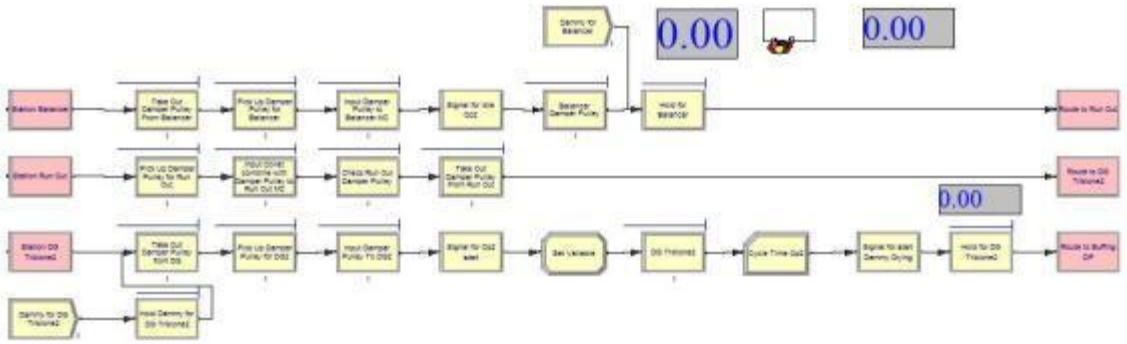


ภาพที่ 3-16 กระบวนการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์

เมื่อทำงานล้างเสร็จชิ้นงานจะถูกบันทึกรอบเวลาการทำงาน จะใช้โมดูล RECORD บันทึกเวลาแบบ เวลาระหว่างชิ้นงานแต่ละชิ้น แล้วชิ้นงานที่เคยรวมกันแบบชั่วคราว 2 ชิ้นก็จะมาผ่านโมดูล SEPARATE เพื่อแยกชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นออกจากกันอีกครั้ง ต่อมาชิ้นงานก็จะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณไปยังโมดูล HOLD ของกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 หลังจากนั้นชิ้นงานจะไปรออยู่ที่โมดูล HOLD เพื่อรอเงื่อนไขตัวแปร test เท่ากับ 555 ถึงจะปล่อยชิ้นงานให้ผ่านไปได้ ซึ่งตัวแปร test จะเท่ากับ 555 ก็ต่อเมื่อพนักงานคนที่ 2 นี้จะทำงานสุดท้ายของรอบ คือ ใส่งานในเครื่องล้างด้วยไอเคมี 2 หลังจากชิ้นงานผ่านโมดูล HOLD มาก็จะผ่านโมดูล ASSIGN เพื่อปรับตัวแปร test ให้เท่ากับ ศูนย์ ใหม่อีกครั้ง ดังภาพที่ 3-17

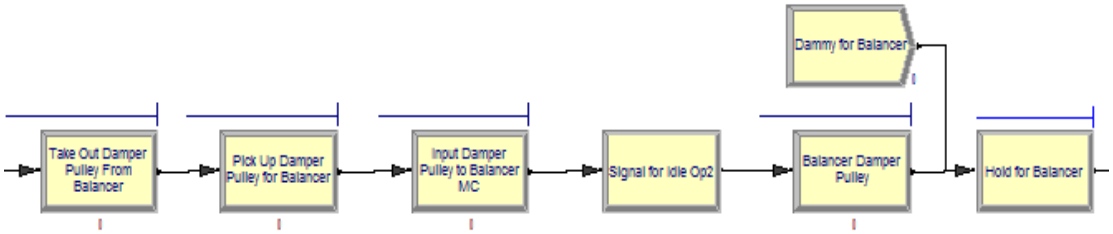


ภาพที่ 3-17 การบันทึกรอบเวลาการทำงาน และแยกงานออกกลับเป็น 2 ชิ้น



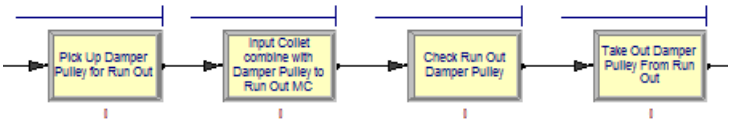
ภาพที่ 3-18 ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 2

จากภาพที่ 3-18 เมื่อชิ้นงานผ่านจากโมดูล 1 หรือความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 1 ชิ้นงานจะเริ่มเข้าสู่โมดูล 2 โดยความรับผิดชอบพนักงานคนที่ 2 เริ่มต้นจากพนักงานหยิบชิ้นงานอกจากเครื่องตั้งศูนย์ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตั้งศูนย์ ต่อไปพนักงานจะหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่องตั้งศูนย์ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตั้งศูนย์ หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณให้ปล่อยชิ้นงานจากโมดูล HOLD ของกระบวนการตั้งศูนย์เพื่อไปยังกระบวนการตรวจสอบการแกว่งต่อไป เมื่อผ่านโมดูล SIGNAL มาชิ้นงานก็จะทำการตั้งศูนย์ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องตั้งศูนย์ เมื่อทำงานเสร็จชิ้นงานก็จะมารอไว้ที่โมดูล HOLD ของกระบวนการตั้งศูนย์เพื่อรอสัญญาณมาปล่อยชิ้นงานต่อไป สำหรับรอบแรกจะมีการสร้างชิ้นงานมารอไว้ที่โมดูล HOLD เพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3-19



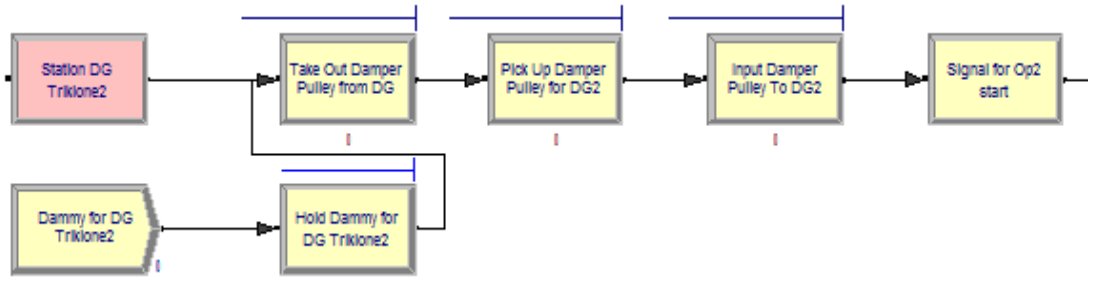
ภาพที่ 3-19 กระบวนการตั้งศูนย์ Balancer และมีการสร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก

เมื่อชิ้นงานถูกปล่อยจากกระบวนการตั้งศูนย์แล้วก็จะมาที่กระบวนการตรวจสอบการแกว่งโดยเริ่มจากพนักงานหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่องตรวจ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตรวจ ต่อไปพนักงานทำงานตรวจเช็คความแกว่งของชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตรวจ ต่อไปพนักงานหยิบชิ้นงานออกจากเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตรวจ แล้วชิ้นงานก็จะไหลผ่านไปยังกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 ต่อไป ดังภาพที่ 3-20



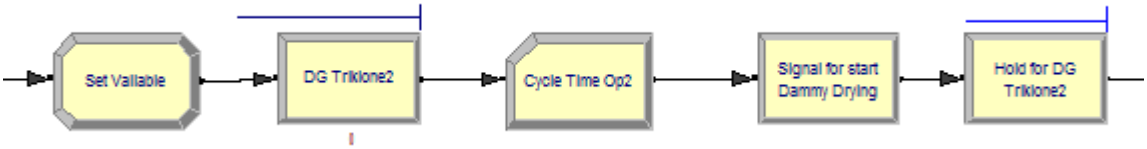
ภาพที่ 3-20 กระบวนการตรวจสอบการแกว่ง Run-Out Check

สำหรับรอบแรกได้มีการสร้างชิ้นงานออกมารอไว้ที่โมดูล HOLD สำหรับเริ่มกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 จำนวน 1 ชิ้น และชิ้นงานจะถูกปล่อยก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากโมดูล 1 เมื่อชิ้นงานผ่านจากกระบวนการตรวจสอบการแกว่งแล้ว ก็จะมาเริ่มกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 เริ่มจากพนักงานหยิบชิ้นงานออกจากเครื่องล้าง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องล้าง ต่อไปพนักงานจะหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่องล้าง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องล้าง ดังภาพที่ 3-21

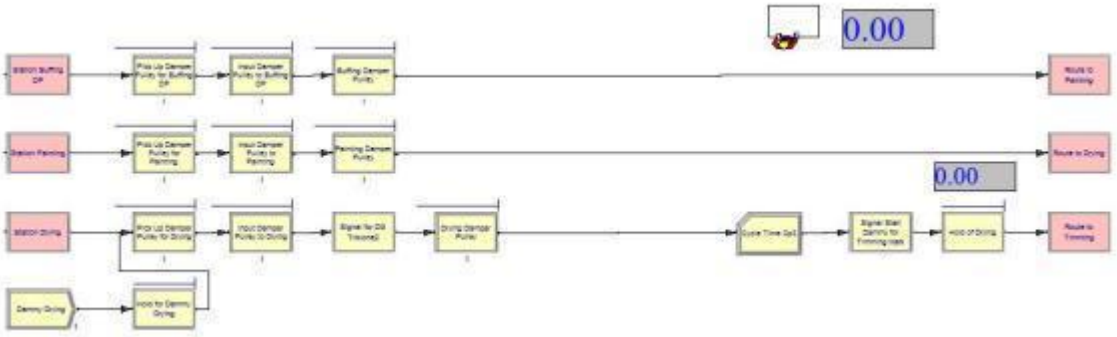


ภาพที่ 3-21 สร้างชิ้นงานสำหรับรอบแรก และกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2

หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล ASSIGN เพื่อกำหนดตัวแปร test ให้มีค่าเท่ากับ 555 เพื่อทำให้เงื่อนไขโมดูล HOLD ของการล้างด้วยอัลคาร์ไลน์เป็นจริง หลังจากนั้นเครื่องก็จะทำงานล้างด้วยไอเคมี2 จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องล้าง เมื่อทำงานเสร็จชิ้นงานจะผ่านโมดูล RECORD บันทึกเวลาแบบ เวลาระหว่างชิ้นงานแต่ละชิ้น หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณปล่อยชิ้นงานให้โมดูล HOLD ของกระบวนการตากแห้งต่อไป และหลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกรอไว้ที่โมดูล HOLD เพื่อรอสัญญาณจากกระบวนการตากแห้งต่อไป ดังภาพที่ 3-22

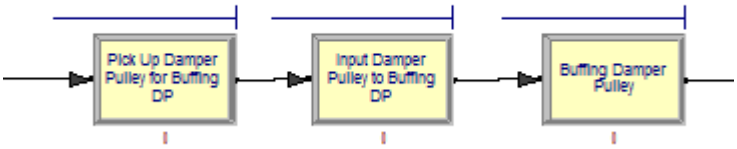


ภาพที่ 3-22 การล้างด้วยไอเคมี2 และการบันทึกเวลารอบการทำงานของพนักงานคนที่ 2



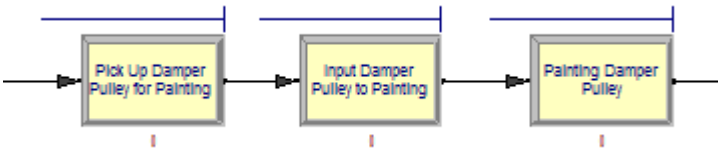
ภาพที่ 3-23 ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 3

จากภาพที่ 3-23 เมื่อชิ้นงานผ่านจากโมดูล 2 หรือความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 2 ชิ้นงานจะเริ่มเข้าสู่โมดูล 3 โดยความรับผิดชอบพนักงานคนที่ 3 เริ่มต้นจากพนักงานหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่องขัด จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องขัด ต่อไปพนักงานจะทำงานขัด จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องขัด เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการขัด ดังภาพที่ 3-24



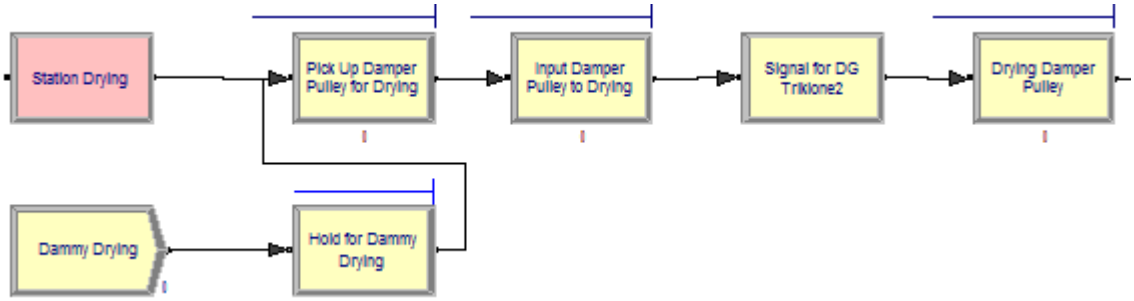
ภาพที่ 3-24 กระบวนการขัดชิ้นงาน Damper Pulley

หลังจากนั้นเริ่มกระบวนการพ่นสีโดยเริ่มจาก พนักงานหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่องพ่นสี จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องพ่นสี ต่อไปพนักงานทำงานพ่นสี จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องพ่นสี เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการพ่นสี ดังภาพที่ 3-25



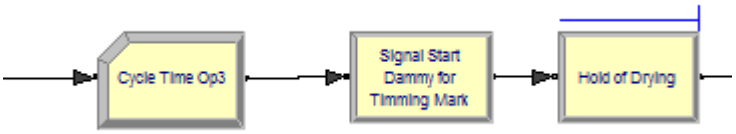
ภาพที่ 3-25 กระบวนการพ่นสี

หลังจากนั้นเริ่มกระบวนการตากสี สำหรับรอบแรกได้มีการสร้างชิ้นงานออกมารอไว้ที่โมดูล HOLD สำหรับเริ่มกระบวนการตากสี จำนวน 1 ชิ้น และชิ้นงานจะถูกปล่อยก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากโมดูล 2 เมื่อชิ้นงานผ่านจากกระบวนการพ่นสีแล้ว ก็จะมาเริ่มกระบวนการตากสี เริ่มจากพนักงานหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องตากสี หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณให้โมดูล HOLD ของกระบวนการล้างด้วยไอเคมี 2 ปล่อยชิ้นงานมาเริ่มต้นโมดูล 3 หลังจากนั้นชิ้นงานจะเข้าทำงานตากสี จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ เครื่องตากสี ดังภาพที่ 3-26

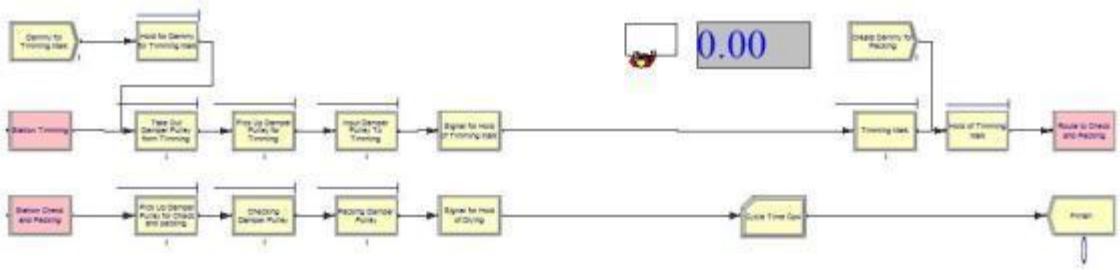


ภาพที่ 3-26 สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก และกระบวนการตากสี

เมื่อทำงานเสร็จชิ้นงานจะผ่านโมดูล RECORD บันทึกเวลาแบบ เวลาระหว่างชิ้นงานแต่ละชิ้น หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณปล่อยชิ้นงานให้โมดูล HOLD ของกระบวนการทำสัญลักษณ์ต่อไป และหลังจากนั้นชิ้นงานจะถูกรอไว้ที่โมดูล HOLD เพื่อรอสัญญาณจากกระบวนการบรรจุต่อไป ดังภาพที่ 3-27



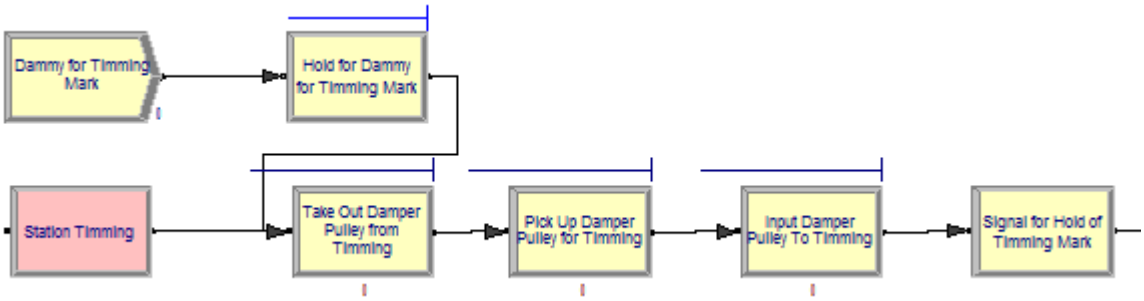
ภาพที่ 3-27 การบันทึกเวลารอบการทำงานของพนักงานคนที่ 3



ภาพที่ 3-28 ความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 4

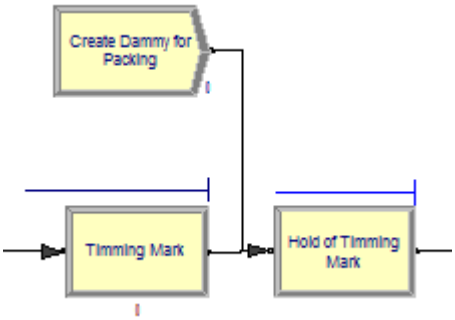
จากภาพที่ 3-28 เมื่อชิ้นงานผ่านจากโมดูล 3 หรือความรับผิดชอบของพนักงานคนที่ 3 ชิ้นงานจะเริ่มเข้าสู่โมดูล 4 โดยความรับผิดชอบพนักงานคนที่ 4 สำหรับรอบแรกได้มีการสร้างชิ้นงานออกมารอไว้ที่โมดูล HOLD สำหรับเริ่มกระบวนการทำสัญลักษณ์ จำนวน 1 ชิ้น และ

ชิ้นงานจะถูกปล่อยก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากโมดูล 3 เริ่มต้นจากพนักงานหยิบชิ้นงานออกจากเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่อง ต่อไปพนักงานจะหยิบชิ้นงานจะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะใส่ชิ้นงานในเครื่อง จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่อง หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านโมดูล SIGNAL เพื่อส่งสัญญาณให้โมดูล HOLD ของกระบวนการทำสัญลักษณ์ปล่อยชิ้นงานให้ไหลไปยังกระบวนการบรรจุต่อไป ดังภาพที่ 3-29



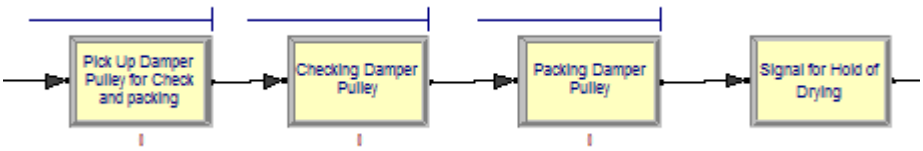
ภาพที่ 3-29 สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรก และกระบวนการทำสัญลักษณ์

และชิ้นงานจะผ่านต่อมายังทำงานทำสัญลักษณ์ จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และเครื่องทำสัญลักษณ์ หลังจากนั้นชิ้นงานจะมารอที่โมดูล HOLD ของการทำสัญลักษณ์ สำหรับรอบแรกจะมีการสร้างชิ้นงานมารออยู่ที่โมดูล HOLD นี้เพื่อให้โปรแกรมทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3-30



ภาพที่ 3-30 สร้างตัวช่วยสำหรับรอบแรกของกระบวนการบรรจุ

หลังจากนั้นก็จะเริ่มกระบวนการตรวจสอบและบรรจุ โดยพนักงานจะหยิบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ต่อไปพนักงานจะทำการตรวจสอบชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน และอุปกรณ์ตรวจ ต่อไปพนักงานจะทำการบรรจุชิ้นงาน จะใช้โมดูล PROCESS และทรัพยากร คือ คน ดังภาพที่ 3-31



ภาพที่ 3-31 กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย และบรรจุ

เมื่อทำงานเสร็จชิ้นงานจะผ่านโมดูล RECORD บันทึกเวลาแบบ เวลาระหว่างชิ้นงานแต่ละชิ้น และจบกระบวนการสำหรับชิ้นงานหนึ่งชิ้น ดังภาพที่ 3-32

ภาพที่ 3-32 การบันทึกรอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 4

การตรวจสอบความถูกต้องและเชื่อถือได้ของแบบจำลอง

การรันแบบจำลองจะทำการรันโปรแกรมตามขนาดตัวอย่าง โดยกำหนดขนาด ตัวอย่างจากค่า half width ของดัชนีที่สนใจซึ่งก็คือจำนวน Damper pulley ต่อวัน และจำนวนงานที่รอพนักงาน ด้วยสมการ

$$n = n_0 \frac{h_0^2}{h^2}$$

โดยที่

"n" คือ จำนวน Replication ที่จะทำให้ได้ half width เป้าหมาย

“n_0” คือ จำนวน Replication ที่รันครั้งก่อนหน้า

“h” คือ ค่า half width ที่ต้องการ

“h_0” คือ ค่า half width ที่รันครั้งก่อนหน้า

และนำผลลัพธ์ของดัชนีที่สนใจมาวิเคราะห์ตามหลักการทางสถิติ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบ

งานวิจัยนี้กำหนดให้จำนวน Replication เริ่มต้นเท่ากับ 10 Replication จากนั้นนำค่า half width ของจำนวน Damper Pulley และจำนวนงานที่รอพนักงานไปแทนค่าในสมการ โดยกำหนดให้ค่าของ half width ที่ต้องการมีค่าน้อยลงจากค่าเดิม 80% เมื่อทำการแทนค่าในสมการจะได้จำนวนขนาดตัวอย่าง เท่ากับ 250 ครั้ง จากนั้นทำการรันแบบจำลองจำนวน 250 Replication ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จาก การรันแบบจำลองที่ 10 Replication และการคำนวณหาจำนวน Replication ที่จะทำให้ได้ half width เป้าหมาย ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลอง 10 Replication และจำนวนการรันแบบจำลองที่ต้องการ

ดัชนี	ผลลัพธ์	Half Width	n_0	h_0	h	n
จำนวน Damper Pulley (ต่อวัน)	926.3	1.35	10	1.35	0.27	250
จำนวนงานที่รอพนักงานคนที่ 3	114.51	0.49	10	0.49	0.098	250
จำนวนงานที่รอพนักงานคนที่ 4	21.62	0.14	10	0.14	0.028	250

การตรวจสอบความถูกต้องจะพิจารณาการรันแบบจำลอง จะรันตามเวลาทำงานจริง คือ 2 กะ เป็นเวลา 1,120 นาที และจำนวนชิ้นงานที่จะผลิตออกมาได้ตามแผนการผลิตโดยคำนวณมาจากรอบเวลาการผลิต 72 วินาที จะได้ชิ้นงานออกมา 933 ชิ้น และสนใจเวลารอบการทำงาน

Verification โดยการใช้เวลาการทำงานของคน และเครื่องจักร ในแต่ละกระบวนการเป็นค่าคงที่ แล้วตรวจสอบ เวลารอบการทำงาน Cycle time ของแต่ละสถานีงาน ผลลัพธ์ที่ได้แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ทำการรันโปรแกรมแยกแต่ละสถานีงาน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ

สถานีงานที่ 1: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 50.9250 วินาที

สถานีงานที่ 2: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 46.9930 วินาที

สถานีงานที่ 3: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 68.9258 วินาที

สถานีงานที่ 4: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 72.1552 วินาที

ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลการปฏิบัติงานจริง

กรณีที่ 2 ทำการรันโปรแกรมแบบต่อเนื่อง 4 สถานีงาน ผลลัพธ์ที่ได้ คือ

สถานีงานที่ 1: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 50.9250 วินาที

สถานีงานที่ 2: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 50.9572 วินาที

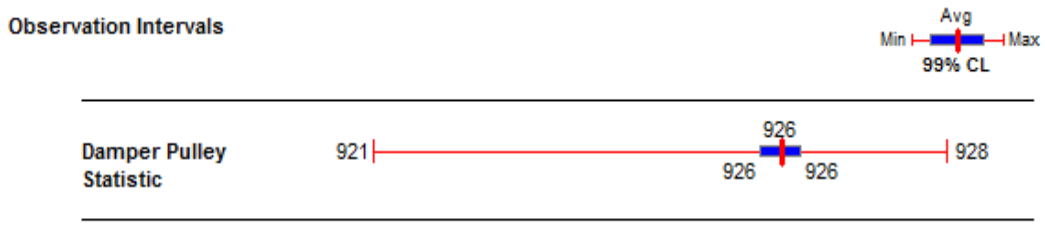
สถานีงานที่ 3: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 68.9522 วินาที

สถานีงานที่ 4: เวลารอบการทำงาน Cycle time เท่ากับ 72.3162 วินาที

ผลลัพธ์ที่ไม่ได้สอดคล้องกับข้อมูลการปฏิบัติงานจริงในสถานีงานที่ 2 เนื่องมาจากการมาถึงของชิ้นงานจากสถานีงานที่ 1 มีผลทำให้เวลารอบการทำงานของสถานีงานที่ 2 เปลี่ยนไปเป็นเท่ากับสถานีงานที่ 1

สรุปผล คือ โปรแกรมสะท้อนเวลาการปฏิบัติงานได้จริง

Validation โดยการใช้เวลาการทำงานของคน และเครื่องจักร ในแต่ละกระบวนการให้ตรงกับระบบจริง คือ ข้อมูลเวลาที่ได้จากการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นประมาณช่วงความเชื่อมั่นที่ 99% ของจำนวน Damper pulley รวมเฉลี่ยที่สามารถผลิตได้ต่อวันจากแบบจำลองมีค่าอยู่ระหว่าง 926 ถึง 926 ชิ้นต่อวัน ซึ่งจำนวน Damper pulley รวมเฉลี่ยของระบบจริงเท่ากับ 926 ชิ้นต่อวัน จึงอยู่ในช่วงความเชื่อมันที่ 99% ดังภาพที่ 3-33



Classical C.I. Intervals Summary

IDENTIFIER	AVERAGE	STANDARD DEVIATION	0.990 C.I. HALF-WIDTH	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE	NUMBER OF OBS.
Damper Pulley Statistic	926	1.58	0.259	921	928	250

ภาพที่ 3-33 การประมาณช่วงความเชื่อมันที่ 99% ของจำนวน Damper pulley

และได้ให้ผู้เชี่ยวชาญในการผลิตได้ตรวจดูความถูกต้อง ทางด้านผู้เชี่ยวชาญมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการสร้างตัวช่วยในการรันรอบแรกเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องได้ จึงทำการอธิบายให้ทราบแล้วจึงรันโปรแกรมให้ดูผล ซึ่งผลที่ออกมาสะท้อนความเป็นจริงทั้งด้านจำนวนงานที่ผลิตออกมา

ได้ คือ 926 ชิ้น จากที่เตรียมเข้าไปในระบบ 933 ชิ้นตามแผนการผลิต ส่วนต่าง 7 ชิ้นนั้นเป็นงาน NG และงานที่ยังค้างอยู่ในระบบ และเวลารอบการผลิตแต่ละสถานีงาน ทางผู้เชี่ยวชาญจึงให้ความยอมรับว่าโมเดลนี้สะท้อนความจริงได้

การวิเคราะห์ความสูญเปล่าในการผลิต

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสูญเปล่าโดยใช้โปรแกรมช่วยในการจำลองสถานการณ์จริง จากโปรแกรมส่งผลให้เห็นว่างานเกิดการรอคอยพนักงานระหว่างแต่ละสถานีงาน ทำให้การทำงานไม่เกิดสมดุล ซึ่งผลจากการรันโปรแกรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 แสดงให้เห็นเป็นเวลา และจำนวนชิ้นงานที่รอพนักงานคนที่ 2, 3 และ 4 เพื่อจะไปหยิบชิ้นงานมาปฏิบัติงานในสถานีงานของตนเอง ซึ่งตรงนี้เองสะท้อนให้เห็นถึงงานที่ค้างในกระบวนการผลิตจำนวนมาก

ตารางที่ 3-9 ผลวิเคราะห์ความสูญเปล่าจากการจำลองด้วยโปรแกรม

ลักษณะการทำงาน	เวลา (วินาที)	จำนวน (ชิ้น)
รอพนักงานคนที่ 2	23.40	0
รอพนักงานคนที่ 3	8335.75	115
รอพนักงานคนที่ 4	1562.57	22

ตารางที่ 3-10 เป็นการวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยระบบคุณค่า แสดงให้เห็นถึงการทำงานที่ไม่เกิดคุณค่า คือ การที่ชิ้นงานรอพนักงานคนที่ 2, 3 และ 4 เพื่อจะไปหยิบชิ้นงานมาปฏิบัติงานในสถานีงานของตนเอง ซึ่งตรงนี้เองสะท้อนให้เห็นถึงงานที่ค้างในกระบวนการผลิตจำนวนมาก

ดังนั้นทั้งจากการวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยการจำลองด้วยโปรแกรม และการวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยระบบคุณค่า ทั้งสองวิธีการนี้ผลที่ออกมาเป็นไปในทางเดียวและสอดคล้องกัน คือ เกิดการรอพนักงานคนที่ 2, 3 และ 4 มาหยิบชิ้นงานไปปฏิบัติงานในสถานีงานของตนเอง

ตารางที่ 3-10 การวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยระบบคุณค่า

กระบวนการ	ลักษณะการทำงาน	วิเคราะห์	สัญลักษณ์
D/P -1	-ทำงานขัด Rubber ring	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -2	-ทำงานล้างคราบ Hub & Pulley	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -3	-ทำงานอัดประกอบ Damper pulley	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -4	-ทำงานล้าง Damper pulley 2 ชิ้น	VA	
	-รอพนักงานคนที่ 2	**NVA**	
D/P -5	-ทำงานให้ Balance damper pulley	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -6	-ทำการตรวจสอบ Run out	NNVA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -7	-ทำงานล้างคราบ Damper pulley	VA	
	-รอพนักงานคนที่ 3	**NVA**	
D/P -8	-ทำงานขัดคราบ Damper pulley	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -9	-ทำงานพ่นสี Damper pulley	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -10	-ทำงานพักตากสี Damper pulley	VA	
	-รอพนักงานคนที่ 4	**NVA**	
D/P -11	-ทำงานสร้างสัญลักษณ์	VA	
	-ส่งชิ้นงานไปกระบวนการถัดไป	NNVA	
D/P -12	-ทำงานตรวจสอบ Damper pulley	NNVA	
	-บรรจุ Damper pulley ในกล่อง	VA	

แนวคิดการปรับปรุงสายการผลิตตามแนวคิดแบบลีน

งานวิจัยนี้มุ่งปรับปรุงกระบวนการที่เป็นคอขวดของการผลิต หลังจากที่พิจารณา คน วิธีการ วัตถุดิบ เครื่องจักร แล้วพบว่าสิ่งที่เหมาะสมที่จะปรับปรุงมากที่สุด คือ เครื่องจักร และนโยบายของบริษัทเองก็ต้องการให้กระบวนการผลิตทันสมัยมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ โดยรายละเอียดการปรับปรุงจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4

การวิเคราะห์สายการผลิตตามแนวคิดการปรับปรุงด้วยแบบจำลอง

เป้าหมายของการปรับปรุงในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ผลของรอบเวลาการผลิตของพนักงานแต่ละคน การรอคอย ประสิทธิภาพของคน และเครื่องจักร สุดท้าย คือ ความเหมาะสมของการลงทุน โดยรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4

วิเคราะห์ เปรียบเทียบการวิจัย และจุดคุ้มทุน

งานวิจัยนี้จะพิจารณาวิเคราะห์ เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงด้วยหัวข้อสำคัญ 3 เรื่อง คือ 1) รอบเวลาการผลิตของพนักงาน 2) ผลลัพธ์ของการผลิต 3) การใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร และ 4) ประสิทธิภาพของสายการผลิต สุดท้ายจะพิจารณาจุดคุ้มทุน โดยรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4
ผลการวิจัย

เนื้อหาของบทนี้กล่าวถึง แนวทางการปรับปรุงสายการผลิตตามแนวคิดแบบลีน ตลอดไปจนถึงผลการดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมที่ดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 และการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการวิจัย สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจากการลงทุนปรับปรุง

แนวคิดการปรับปรุงสายการผลิตตามแนวคิดแบบลีน

จากตาราง 3-9 การวิเคราะห์การสูญเปล่าแสดงให้เห็นว่า มีงานรอพนักงานจากสถานีงานที่ 4 เฉลี่ยทั้งวัน 22 ชิ้น และมีงานรอพนักงานสถานีงานที่ 3 เฉลี่ยทั้งวัน 115 ชิ้น ทั้งนี้ที่เป็นอย่างนี้เนื่องมาจากความไม่สมดุลของการผลิต และจากความต้องการผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเป็น 1,100 ชิ้นเฉลี่ยต่อวัน ดังนั้นจึงขอเสนอแนวทางการปรับปรุงตามแนวคิดแบบลีน โดยพิจารณาปรับปรุงกระบวนการที่เป็นคอขวด Bottle neck ของแต่ละสถานีงาน ดังนี้

สถานีงานที่ 1 กระบวนการ Degreasing alkaline จากการศึกษาข้อมูลทางด้านเทคนิคของหัวฉีดน้ำ ดังตารางที่ 4-1 เนื่องจากปัจจุบันหัวฉีดที่ใช้งานรุ่น FM-3X แรงดันใช้งานอยู่ที่ 0.3 MPa จะได้อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 3.9 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการฉีด 0.79 นาที หรือ 47.5 วินาที ซึ่งความสามารถของหัวฉีดสามารถที่จะปรับเพิ่มแรงดันเป็น 0.45 MPa เพื่อให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นอีก 13% และมีผลทำให้สามารถลดเวลาในการฉีดลงเหลือ 0.69 นาที หรือ 41.3 วินาที โดยที่ปริมาณการใช้น้ำเท่าเดิม ดังการสรุปในตารางที่ 4-2 แต่ในที่นี้จะปรับเหลือเพียง 44 วินาทีก็เพียงพอแล้ว

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลด้านเทคนิคของหัวฉีดน้ำ

Model		ϕ	Spray Angle			means	Spray Capacity (MPa) at each Pres. (l/min)					
		(mm.)	0.05	0.2	0.5	(μm)	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
FM	FM-2X	2	64º	85º	93º	310 ~ 450	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
	FM-3X	3	78º	92º	97º		3.6	3.9	4.2	4.5	4.8	5.1
	FM-4X	4	84º	95º	99º		5.8	6.4	6.9	7.4	7.8	8.2
	FM-5X	5	93º	103º	106º		9.2	10.0	10.8	11.6	12.3	13.0
	FM-6X	6	95º	103º	105º		12.9	14.1	15.2	16.3	17.3	18.2
	FM-8X	8	102º	108º	111º		20.1	22.0	23.8	25.5	27.0	28.5

ตารางที่ 4-2 สรุปข้อมูลการปรับใช้งานหัวฉีดน้ำ

ชื่อรุ่น	แรงดัน (MPa)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)
FM-3X	0.3	3.9	0.79 (47.5 วินาที)
	0.45	4.8	0.69 (41.3 วินาที)
อัตราไหลเพิ่มขึ้นประมาณ 13% ดังนั้นสามารถปรับเวลาลดลงได้สูงสุดถึง 13% เช่นกัน			

สถานีงานที่ 2 ไม่ต้องทำการปรับปรุงเนื่องจากเวลารอบในการผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการแล้ว

สถานีงานที่ 3 กระบวนการ Drying คือ การทำให้สีแห้ง จากการศึกษาคุณสมบัติประยุกต์ของสีที่ใช้งาน ผู้ผลิตสีแนะนำการแห้งของสี 2 วิธี คือ 1) การตากให้แห้งโดยอากาศ ใช้เวลา 50-60 นาที และ 2) การอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20-30 นาที เนื่องจากปัจจุบันใช้วิธีที่ 1 ดังนั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายลดเวลาการผลิตจึงต้องปรับปรุงเป็นวิธีที่ 2 คือ เพิ่มการให้อุณหภูมิ

สถานีงานที่ 4 กระบวนการ Check & Packing โดยที่ผ่านมาได้มีปัญหาด้านคุณภาพเกี่ยวกับการลืมแต้มสีที่ Timing mark การลืมประทับตราวันที่ผลิต และการลืมทำสัญลักษณ์จุดสี เพราะเกิดจากความผิดพลาดของพนักงาน ทำให้ขาดความน่าเชื่อถือของกระบวนการ บริษัทจึงมีนโยบายที่จะสร้างความน่าเชื่อถือโดยการหันมาใช้เทคโนโลยีทันสมัยช่วยในการทำงาน ประกอบกับความต้องการลดเวลาการผลิตลง จึงกำหนดเงื่อนไขออกมาเป็นเครื่องจักรสำหรับตรวจเช็คด้วยกล้อง พร้อมทั้งแต้มสี และประทับตราวันที่ผลิตได้ โดยใช้เวลาต่อชิ้นไม่เกิน 37 วินาที เพื่อให้ผู้รับเหมานำไปออกแบบเครื่องจักรต่อไป และมีผลทำให้เวลารอบการผลิตเหลือ 43 วินาที

จากแนวทางการปรับปรุงทั้ง 3 สามารถแสดงออกมาได้ดังตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นถึงปัญหา หลักการ และแนวทางการแก้ไข รวมถึงเวลาที่ได้จากการแก้ไขนั้น ๆ

ตารางที่ 4-3 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ลำดับ	ปัญหา	แนวทางการแก้ไข	หลัก ECRS	เวลา (วินาที) ก่อน	หลัง
1	คอขวด กระบวนการ Degreasing alkaline	ปรับแรงดันเพิ่มสูงขึ้น และลดเวลาลงได้	Eliminate Rearrange	47.5	44
2	คอขวด กระบวนการ Drying	เปลี่ยนจากการตากแห้งโดยอากาศเป็นการใช้ความร้อนอบช่วยให้แห้งเร็วขึ้น (ลดลง 50%)	Eliminate Rearrange	60	30
3	คอขวด ความน่าเชื่อถือ ของกระบวนการ Check & Packing	สร้างเครื่องตรวจเช็คด้วยกล้องพร้อมทั้งแต้มสี และประทับตราวันที่ผลิตลดเวลาลงได้ 37%	Simplify	68	43

การวิเคราะห์สายการผลิตตามแนวคิดการปรับปรุงด้วยแบบจำลอง

เป้าหมายของการปรับปรุงในงานวิจัยครั้งนี้ คือ การลดเวลาของ รอบเวลาการผลิตของพนักงานแต่ละคนให้เหลือโดยเฉลี่ย 47 วินาที โดยที่เวลาการปฏิบัติงานต่อวันต้องไม่มีการทำงานล่วงเวลา และสามารถผลิตชิ้นงานออกมาได้อย่างน้อย 1,100 ชิ้นต่อวัน

หลังจากทำการปรับโปรแกรมให้สอดคล้องกับการปรับปรุง แล้วทำการรันโปรแกรมผลของรอบเวลาการผลิต ไม่เป็นไปอย่างที่คาดการณ์ไว้

ตารางที่ 4-4 รอบเวลาการผลิตจากโปรแกรมหลังปรับปรุงของพนักงานแต่ละคน

รอบเวลา	เวลา (วินาที)	ผลการปรับปรุง
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 1	47.4249	ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 2	47.4170	ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 3	68.9248	ไม่ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 4	68.8538	ไม่ตรงกัน

ตารางที่ 4-4 แสดงรอบเวลาการผลิตจากโปรแกรมหลังปรับปรุงของพนักงานแต่ละคน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพนักงานคนที่ 1 รอบเวลาการผลิตเปลี่ยนไปดังที่ได้ทำการปรับปรุง ส่วนพนักงานคนที่ 2 ไม่ได้ทำการปรับปรุงใด ๆ และรอบเวลาการผลิตก็ถูกต้อง ส่วนพนักงานคนที่ 3 และ 4 รอบเวลาการผลิตไม่เปลี่ยนไปดังที่ได้ปรับปรุง จึงทำการวิเคราะห์จากโปรแกรม ซึ่งพบว่ามีผลมาจากรอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่ 3 การปรับปรุงกระบวนการตากสีอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ เพราะพนักงานคนที่ 3 ยังทำงานพร้อมเครื่องจักรทั้งกระบวนการพ่นสี และกระบวนการขัดผิว ดั้งนั้นจึงได้รับคำแนะนำจากบริษัทกรณีศึกษาให้ปรับปรุงกระบวนการพ่นสีให้เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ เพราะทางบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องจักรดังกล่าวอยู่แล้ว

หลังจากนั้นทำการปรับปรุงโปรแกรมอีกครั้ง ให้กระบวนการพ่นสีเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ คือ พนักงานป้อนงานใส่เครื่องจักร แล้วเครื่องจักรทำงานเอง โดยพนักงานสามารถไปทำงานอื่นได้

ตารางที่ 4-5 จึงเป็นการสรุปแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งหมดที่จะทำให้ได้รอบเวลาการผลิตตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ และยังทำให้เกิดความสมดุลในสายการผลิต

ตารางที่ 4-5 สรุปแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ลำดับ	ปัญหา	แนวทางการแก้ไข	หลัก ECRS	เวลา (วินาที)	
				ก่อน	หลัง
1	คอขวด กระบวนการ Degreasing alkaline	ปรับแรงดันเพิ่มสูงขึ้น และลดเวลาลงได้สูงสุด 13%	Eliminate Rearrange	47.5	44
2	ความล้าสมัย ของกระบวนการพ่นสี	ปรับจากคนทำงาน เป็นเครื่องจักรทำงานแทน	Simplify	38	38
3	คอขวด กระบวนการ Drying	เปลี่ยนจากการตากแห้งโดยอากาศเป็นการใช้ความร้อนอบช่วยให้แห้งเร็วขึ้น (ลดลง 50%)	Eliminate Rearrange	60	30
4	คอขวด ความน่าเชื่อถือ ของกระบวนการ Check & Packing	สร้างเครื่องตรวจเช็คด้วยกล้องพร้อมทั้งแต้มสี และประทับตราวันที่ผลิตลดเวลาลงได้ 37%	Simplify	68	43

ตารางที่ 4-6 แสดงรอบเวลาการผลิตหลังจากปรับปรุงโปรแกรมขั้นสุดท้ายของพนักงานแต่ละคน ซึ่งผลก็คือ รอบเวลาการผลิตเฉลี่ยของพนักงานแต่คน คือ 47 วินาที

ตารางที่ 4-6 รอบเวลาการผลิตจากโปรแกรมหลังปรับปรุงของพนักงานแต่ละคนขั้นสุดท้าย

รอบเวลา	เวลา (วินาที)	ผลการปรับปรุง
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่1	47.4255	ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่2	47.4168	ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่3	47.3952	ตรงกัน
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่4	47.6597	ตรงกัน

Tally

Between	Average	HalfWidt	Minimu Average	Maximu Average	Minimu Value	Maximu Value
Cycle Time Op1	94.8509	< .00	94.8314	94.8724	94.4228	96.32
Cycle Time Op2	47.4168	< .00	47.4065	47.4270	44.9303	51.77
Cycle Time Op3	47.3952	< .00	47.3851	47.4052	35.0000	57.34
Cycle Time Op4	47.6597	< .01	47.5175	47.9109	42.8001	229

Counter

Count	Average	HalfWidt	Minimu Average	Maximu Average
OutPut	1107.86	< .22	1102.00	1111.00
Product FG	1107.91	< .22	1102.00	1111.00
Record NG Final	3.2160	< .22	0.00	9.0000

ภาพที่ 4-1 ผลจากการรันโปรแกรมหลังทำการปรับปรุงเสร็จสิ้น

ภาพที่ 4-1 แสดงให้เห็นผลการผลิตหลังปรับปรุงเสร็จสิ้น ซึ่งสามารถที่จะผลิตงานออกมาได้ทั้งหมด 1,111 ชิ้น แยกเป็นงานดี 1,108 ชิ้น และงานเสีย 3 ชิ้น และผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการปรับปรุงสามารถทำให้บรรลุเป้าหมายได้จริง

ตารางที่ 4-7 ผลวิเคราะห์ความสูญเปล่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมหลังปรับปรุงเสร็จสิ้น

ลักษณะการทำงาน	เวลา (วินาที)	จำนวน (ชิ้น)
รอพนักงานคนที่ 2	0.4943	0
รอพนักงานคนที่ 3	0.0000	0
รอพนักงานคนที่ 4	0.0000	0

ตารางที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงเสร็จสิ้นทำให้ไม่เกิดการรอคอย ส่งผลให้สายการผลิตเกิดการสมดุลขึ้น พนักงานมีการทำงานที่ต่อเนื่อง และชิ้นงานเองก็มีการไหลอย่างต่อเนื่องด้วย ซึ่งก็คือ การลดการสูญเปล่าในการรอคอยนั่นเอง

ประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิต คือ 99.61% ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{Total time x 100}}{\text{Max time x Man}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(47.4255+47.4168+47.3952+47.6597)\text{x } 100}{47.6597 \text{ x } 4}$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = 99.61\%$$

วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จะพิจารณาวิเคราะห์ เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงด้วยหัวข้อสำคัญ 4 เรื่อง คือ 1) รอบเวลาการผลิตของพนักงาน 2) ผลลัพธ์ของการผลิต 3) การใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร และ 4) ประสิทธิภาพของสายการผลิต

1. รอบเวลาการผลิตของพนักงาน ตาราง 4-8 แสดงให้เห็นรอบเวลาการผลิตของพนักงานแต่ละคน ซึ่งผลการปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงแล้ว สามารถลดเวลารอบการผลิตของพนักงานทุกคนลงเหลือเฉลี่ย 47 วินาที และทำให้สายการผลิตเกิดสมดุลด้วย

ตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตของพนักงานก่อน และหลังปรับปรุง

รอบเวลา	ปรับปรุงเวลา (วินาที)		ผลการปรับปรุง
	ก่อน	หลัง	
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่1	50.9250	47.4255	เวลาลดลง
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่2	50.9572	47.4168	เวลาลดลง
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่3	68.9522	47.3952	เวลาลดลง
รอบเวลาการผลิตของพนักงานคนที่4	72.3162	47.6597	เวลาลดลง

2. ผลลัพธ์ของการผลิต ตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นผลลัพธ์ของการผลิต ที่สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นต่อวันจาก 926 ชิ้น เป็น 1,108 ชิ้น และทำให้ชิ้นงานไม่ต้องเกิดการรอพนักงานคนที่ 3 และ 4 มาหยิบ ชิ้นงาน และกระบวนการผลิตสามารถไหลได้อย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการผลิตก่อน และหลังปรับปรุง

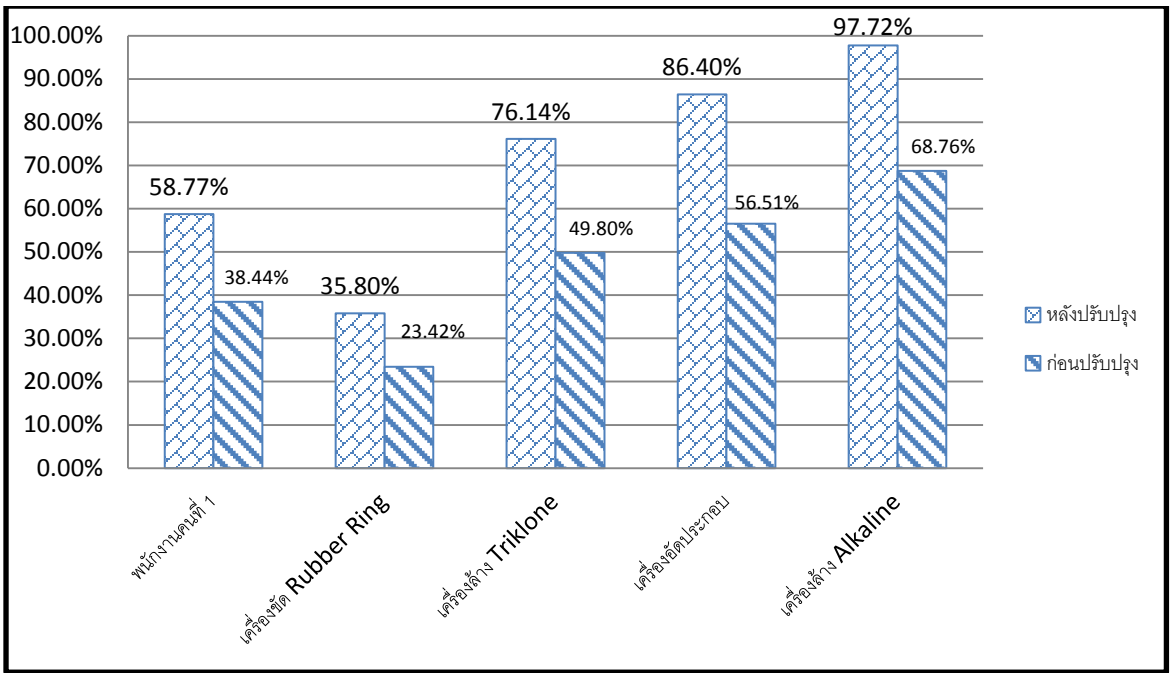
รายการ	การปรับปรุง (ชิ้น)		ผลการปรับปรุง
	ก่อน	หลัง	
จำนวน Damper pulley (ต่อวัน)	926	1,108	เพิ่มขึ้น
รอพนักงานคนที่ 2	0	0	ไม่รอคอย
รอพนักงานคนที่ 3	115	0	ไม่รอคอย
รอพนักงานคนที่ 4	22	0	ไม่รอคอย

3. การใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร ตารางที่ 4-10 แสดงให้เห็นการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร โดยรวมจะมีการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่จะมีสำหรับบางคน และบางเครื่องจักรที่การใช้ประโยชน์ลดลง สำหรับพนักงานคนที่ 3 ที่การใช้ประโยชน์ลดลงเนื่องมาจากก่อนปรับปรุงพนักงานได้ทำงานร่วมกับเครื่องพ่นสี แต่ได้มีการปรับปรุงเครื่องพ่นสีให้ทำงานเองโดยไม่ใช้พนักงาน ส่งผลให้การใช้ประโยชน์ลดลงนั่นเอง สำหรับเครื่องตากสี ได้มีการปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลงจึงทำให้การใช้ประโยชน์ลดลงด้วย สำหรับพนักงานคนที่ 4 ก่อนปรับปรุงได้ทำงานร่วมกับการตรวจสอบ แต่หลังปรับปรุงได้มีเครื่องตรวจสอบเองไม่ต้องใช้พนักงานทำให้การใช้ประโยชน์ลดลง สำหรับเครื่องตรวจสอบการใช้ประโยชน์ลดลงเพราะปรับปรุงให้ใช้เวลาน้อยลง

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง

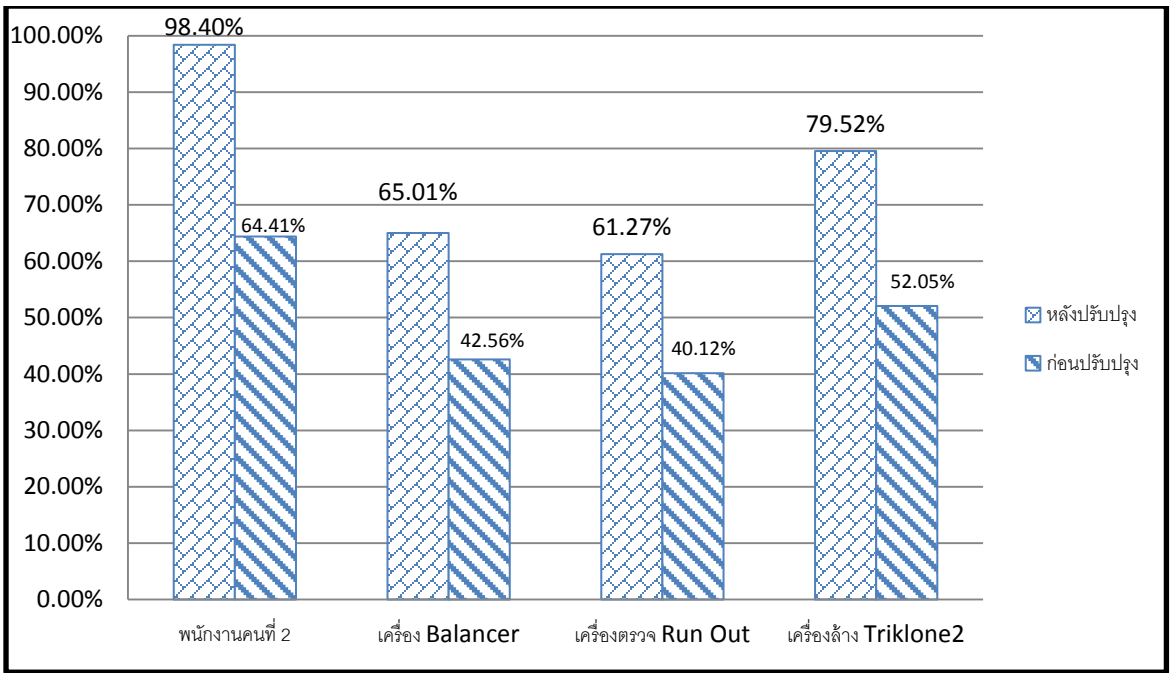
รายการ	ร้อยละการใช้ประโยชน์		ผลต่าง	วิเคราะห์
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
พนักงานคนที่ 1	38.44%	58.77%	20.33%	เพิ่มขึ้น
เครื่องขัด Rubber ring	23.42%	35.80%	12.39%	เพิ่มขึ้น
เครื่องล้าง Triklone	49.80%	76.14%	26.34%	เพิ่มขึ้น
เครื่องอัดประกอบ	56.51%	86.40%	29.89%	เพิ่มขึ้น
เครื่องล้าง Alkaline	68.76%	97.72%	28.96%	เพิ่มขึ้น
พนักงานคนที่ 2	64.41%	98.40%	33.99%	เพิ่มขึ้น
เครื่อง Balancer	42.56%	65.01%	22.45%	เพิ่มขึ้น
เครื่องตรวจ Run out	40.12%	61.27%	21.16%	เพิ่มขึ้น
เครื่องล้าง Triklone 2	52.05%	79.52%	27.47%	เพิ่มขึ้น
พนักงานคนที่ 3	94.99%	65.07%	-29.92%	ลดลง
เครื่องขัดเตรียมผิว	23.69%	36.17%	12.48%	เพิ่มขึ้น
เครื่องพ่นสี	58.02%	88.31%	30.29%	เพิ่มขึ้น
เครื่องตากสี	89.53%	73.65%	-15.88%	ลดลง
พนักงานคนที่ 4	99.61%	37.54%	-62.07%	ลดลง
เครื่อง Trimming mark	20.48%	31.20%	10.72%	เพิ่มขึ้น
เครื่อง Checking	90.18%	86.21%	-3.97%	ลดลง

การใช้ประโยชน์ของคน และเครื่องจักรแต่ละสถานีงาน จะมีการเปรียบเทียบ และอธิบายให้ละเอียดชัดเจนดังต่อไปนี้



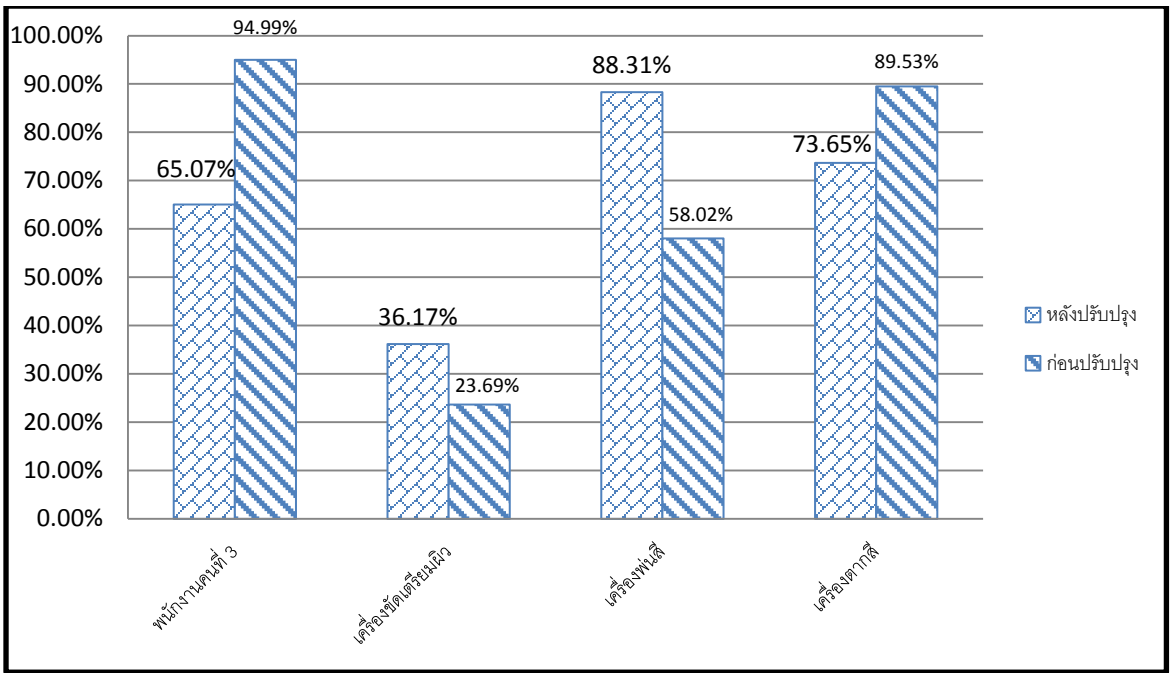
ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 1

จากภาพที่ 4-2 ร้อยละการใช้ประโยชน์ของสถานีงานที่ 1 เพิ่มขึ้นทุกกระบวนการทำงานทั้งคน และเครื่องจักร เนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการล้างคราบไขมันด้วยน้ำยา Alkaline โดยการเพิ่มแรงดันของน้ำ ทำให้สามารถลดเวลาของเครื่องล้าง Alkaline ในขณะที่กระบวนการอื่น ๆ ยังคงเหมือนเดิม ส่งผลทำให้รอบเวลาการผลิตของสถานีงานที่ 1 ลดลง เป็นผลให้สามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นด้วย



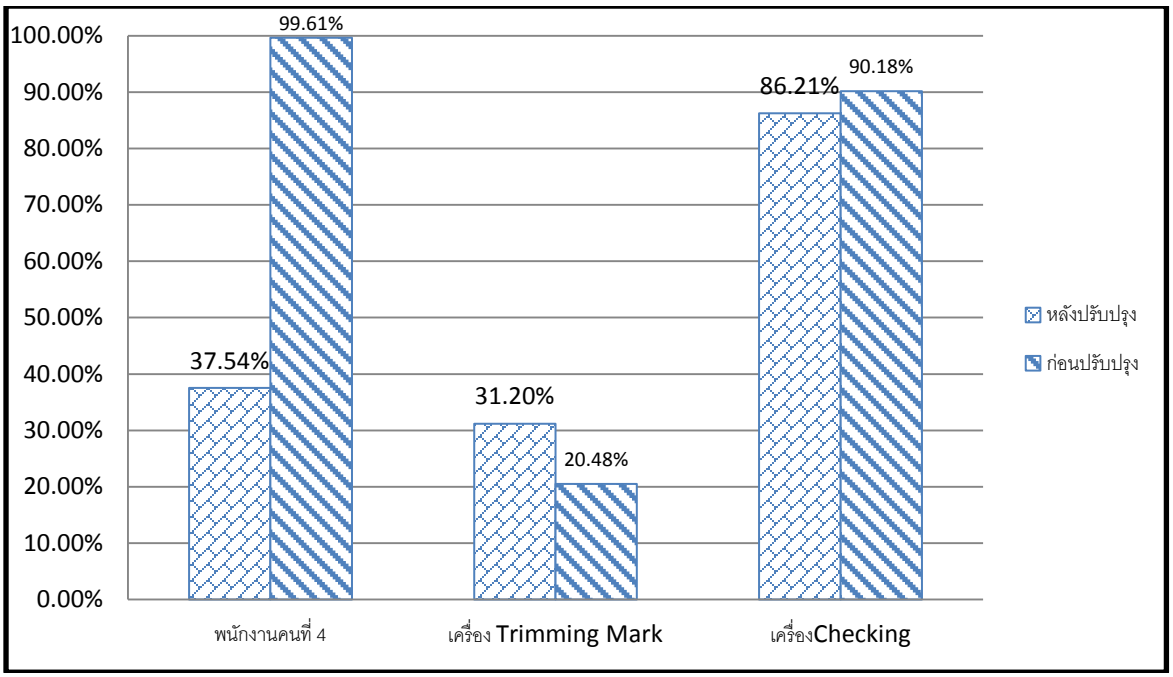
ภาพที่ 4-3 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 2

จากภาพที่ 4-3 ร้อยละการใช้ประโยชน์ของสถานีงานที่ 2 เพิ่มขึ้นทุกกระบวนการทำงาน ทั้งคน และเครื่องจักร โดยที่ไม่มีการปรับปรุงแต่อย่างใดที่สถานีงานนี้ เพราะก่อนปรับปรุงสถานีงานนี้มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 50.9572 วินาทีโดยเฉลี่ย ที่เป็นเช่นนี้ เพราะรอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้ผันแปรตามสถานีงานที่ 1 และหลังจากปรับปรุงสถานีงานที่ 1 ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้ลดลงด้วย ดังนั้นจึงสามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 3

จากภาพที่ 4-4 ร้อยละการใช้ประโยชน์ของเครื่องตากสี ลดลง เนื่องมาจากการปรับปรุงได้ทำการลดเวลาของเครื่องตากสีลงเหลือ 30 วินาที และรอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้ คือ 47.3952 วินาที ซึ่งผลต่างกันมากกว่าขณะก่อนปรับปรุง ที่เวลาเครื่องตากสี 60 วินาที และรอบเวลาการผลิต คือ 68.9522 วินาที สำหรับร้อยละการใช้ประโยชน์ของเครื่องพ่นสี เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้ปรับปรุงเครื่องพ่นสีเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ คือ เวลาที่ใช้จะเป็นเวลาของเครื่องพ่นสี มากกว่าเวลาของพนักงาน โดยที่ก่อนปรับปรุง พนักงานและเครื่องพ่นสีทำงานพร้อมกัน ใช้เวลาเท่ากัน ดังนั้นเองจึงส่งผลให้ร้อยละการใช้ประโยชน์ของพนักงาน ลดลงด้วย ส่วนร้อยละการใช้ประโยชน์ของเครื่องขัดเตรียมผิว เพิ่มขึ้น เนื่องจากรอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้ลดลงแต่เวลาของเครื่องขัดผิวเท่าเดิม ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักรสถานีงานที่ 4

จากภาพที่ 4-5 ร้อยละการใช้ประโยชน์ของเครื่อง Checking ลดลง เนื่องมาจากมีการปรับปรุงโดยใช้เครื่องจักรใหม่ เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ทำให้ลดเวลาลงเหลือ 43 วินาที และรอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้คือ 47.6597 วินาที ซึ่งผลต่างกันมากกว่าขณะก่อนปรับปรุง ที่เวลาเครื่อง Checking และพนักงานทำงานพร้อมกัน 68 วินาที และรอบเวลาการผลิต คือ 72.3162 วินาที แต่ก็ลดลงไม่เยอะมาก สำหรับร้อยละการใช้ประโยชน์ของพนักงาน ลดลง เนื่องจากการปรับปรุงโดยใช้เครื่องจักรใหม่ เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ พนักงานมีส่วนร่วมน้อยลง ทำให้เวลาของพนักงานน้อยลง ส่วนร้อยละการใช้ประโยชน์ของเครื่อง Trimming mark เพิ่มขึ้น เนื่องจากรอบเวลาการผลิตของสถานีงานนี้ลดลงแต่เวลาของเครื่องเท่าเดิม ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานได้เพิ่มขึ้นด้วย

4. ประสิทธิภาพของสายการผลิต จากการจำลองการปรับปรุงทำให้งานวิจัยนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตจาก 83% เป็น 99.61% เพิ่มขึ้น 16.61% ซึ่งถือว่าเข้าใกล้ค่าในทางอุดมคติมาก ทั้งนี้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากการที่สายการผลิตมีความสมดุลมากขึ้น

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจากการลงทุนปรับปรุง

งานวิจัยนี้จะได้นำผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายหลังการดำเนินการตามข้อเสนอการปรับปรุงมาพิจารณาถึงผลตอบแทนที่จะได้รับในอนาคต ซึ่งสามารถนำมาประกอบการพิจารณาตัดสินใจจัดสรรงบประมาณที่จะลงทุนในการปรับปรุง รวมไปถึงพิจารณาจุดคุ้มทุนที่เหมาะสม

จากการปรับปรุงจะทำให้สามารถผลิตชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก 926 ชิ้น เป็น 1,100 ชิ้นต่อวัน แสดงว่าสามารถผลิตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 174 ชิ้นต่อวัน โดยที่กำไรคิดเป็นเงิน 120 บาทต่อชิ้น โดยประมาณ ดังนั้นจะได้กำไรเพิ่มขึ้นต่อวัน คือ

$$174 \times 120 = 20,880 \text{ บาทต่อวัน}$$

โดยเฉลี่ยบริษัทใช้เวลาในการผลิต 23 วัน ต่อเดือน ดังนั้นในระยะเวลาหนึ่งปีบริษัทจะสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้น

$$20,880 \times 23 \times 12 = 5,762,880 \text{ บาทต่อปี}$$

หลังจากทำการสำรวจผู้รับเหมาสำหรับราคาเครื่องจักรและการติดตั้ง สามารถสรุปราคาประเมินจากผู้รับเหมาได้ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ราคาประเมินจากผู้รับเหมาปรับปรุงกระบวนการผลิต

	รายการปรับปรุง	วิธีการ	ราคา(บาท)
1.	เครื่องล้าง Alkaline	ปรับปรุง	-
2.	เครื่องพ่นสี	สร้างใหม่	1,500,000
3.	เครื่องอบสี	สร้างใหม่	800,000
4.	เครื่องตรวจสอบ	สร้างใหม่	1,500,000
รวม			3,800,000

สำหรับเครื่องจักรทางบริษัทมีนโยบายที่จะต้องคิดค่าเผื่อสำหรับการซ่อมบำรุงไว้ 40% ของราคาเครื่องจักรต่อปี ดังนั้นเงินลงทุนเพิ่มขึ้นเป็น

$$3,800,000 \times 0.4 = 1,520,000 \text{ บาทต่อปี}$$

จากข้อมูลราคาเครื่องจักรและการติดตั้งที่ได้จากผู้รับเหมา นำมาคิดเป็นเงินลงทุนแล้วทำให้สามารถคำนวณจุดคุ้มทุน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-12 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4-12 ค่าใช้จ่าย และมูลค่าผลประโยชน์สุทธิ

ปี	เงินลงทุนเริ่มแรก	ดอกเบี้ย (4% ต่อปี)	ค่าซ่อมบำรุง (40%)	กำไรที่เพิ่มขึ้นต่อปี	กำไรที่เพิ่มขึ้นสุทธิ
1	3,800,000	152,000	1,520,000	5,762,880	290,880
2		152,000	1,520,000	5,762,880	4,090,880
3		152,000	1,520,000	5,762,880	4,090,880
4		152,000	1,520,000	5,762,880	4,090,880
5		152,000	1,520,000	5,762,880	4,090,880
ทั้งหมด	3,800,000	760,000	7,600,000	28,814,400	16,654,400

จากตารางที่ 4-12 จะเห็นได้ว่าข้อเสนอการปรับปรุงนี้จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปี และหลังจาก 1 ปีเป็นต้นไป การปรับปรุงตามข้อเสนอดังกล่าวข้างต้นจะทำให้ บริษัทได้กำไรเพิ่มขึ้นปีละ 4,090,880 บาท

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายของงานวิจัยนี้ จะได้กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย และจัดทำบทวิเคราะห์เสนอแนะต่อผู้บริหารของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อทำการตัดสินใจในการลงทุนปรับปรุงต่อไป

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาอัตราการผลิตของกระบวนการผลิตพูลเล่ ลดแรงสั่นสะเทือนของบริษัทกรณีศึกษาที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า โดยจัดทำต้นแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในกระบวนการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวคิดการผลิตแบบลีน มีการดำเนินงานเริ่มจากศึกษาปัญหาของกระบวนการผลิต เก็บข้อมูลเวลาต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต แล้วจึงสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตปัจจุบัน หลังจากนั้นก็เสนอแนวคิดการปรับปรุงตามแนวคิดแบบลีน เมื่อได้แนวทางปรับปรุงแล้วก็มาสร้างแบบจำลองอีกครั้ง เพื่อวิเคราะห์ และตัดสินใจ ลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยผลของการเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม จะได้สรุปออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ คือ 1) รอบเวลาการผลิต 2) ผลลัพธ์ของการผลิต และ 3) ประสิทธิภาพของการผลิต

1. รอบเวลาของการผลิต ทั้ง 4 สถานีงาน คือ สามารถลดเวลาการผลิตลงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปรอบเวลาการผลิตของพนักงานแต่ละคน

รอบเวลาการผลิต	เวลา (วินาที)
พนักงานคนที่ 1	47.4255
พนักงานคนที่ 2	47.4168
พนักงานคนที่ 3	47.3952
พนักงานคนที่ 4	47.6597

2. ผลลัพธ์ของการผลิต คือ ไม่มีการอคอย และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ ดังตาราง 5-2

ตารางที่ 5-2 สรุปผลลัพธ์ของการผลิต

รายการ	ผลการปรับปรุง
จำนวน Damper pulley (ชิ้นต่อวัน)	1,108
รอพนักงานคนที่ 2	ไม่รอคอย
รอพนักงานคนที่ 3	ไม่รอคอย
รอพนักงานคนที่ 4	ไม่รอคอย

3. ประสิทธิภาพของการผลิต จากการที่สายการผลิตเกิดสมดุลมากขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 99.61% ซึ่งถือเป็นประสิทธิภาพที่สูงมาก

จากผลการจัดทำต้นแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม คือ สามารถลดเวลาการผลิตลงได้ และไม่มีการรอคอยระหว่างสถานีงาน เป็นผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ โดยการลงทุนสำหรับการปรับปรุงครั้งนี้ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 3,800,000 บาท โดยสามารถคืนทุนภายใน 1 ปี หลังจากนั้นบริษัทจะมีกำไรเพิ่มขึ้น ปีละ 4,090,880 บาท จากการลงทุนครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรมในการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีประโยชน์อย่างมาก ช่วยให้ลดความเสี่ยงในการลงทุน และง่ายต่อการปรับเปลี่ยนแนวคิดหลาย ๆ แบบ แต่อย่างไรก็ตาม จากที่ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองนั้น พบว่า ควรระวังเกี่ยวกับการเก็บข้อมูล การสร้างแบบจำลองจะต้องมีความรู้ความเข้าใจกระบวนการผลิตนั้น ๆ มากพอ และที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องระวัง คือ รอบเวลาในการผลิต ในการปฏิบัติงานจริงผู้วิจัยได้คิดแยกอิสระแต่ละกระบวนการ แต่เมื่อมาสร้างเป็นแบบจำลอง กระบวนการต้องต่อเนื่อง ดังนั้นจึงทำให้เกิดความแตกต่างกันบ้าง

2. งานวิจัยนี้ดำเนินการตามนโยบายของบริษัทกรณีศึกษา นำเสนอข้อมูลเพื่อการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยจำลองแบบลงทุนเครื่องจักรใหม่เป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงแล้วการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองอุตสาหกรรม สามารถจำลองเป็นการจัดสมดุลสายการผลิตแบบตัว U หรือสามารถจำลองเรื่องต้นทุนการผลิตเพิ่มเติมได้

3. จากผลของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสามารถจะขยายผลไปสู่สายการผลิตที่เหลืออีก 5 สายการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา และเพิ่มเติมแนวทางการปรับปรุงหลาย ๆ แนวทาง เพื่อค้นหาทางเลือกที่ดีที่สุดต่อไป

บรรณานุกรม

ดนุสรณ์ มงคลรัตน์. (2550). *การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการจัดการคิวรถบรรทุก : กรณีศึกษาโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า.* งานนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการขนส่งและโลจิสติกส์, บัญฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นิพนธ์ บัวแก้ว. (2547). *รู้จักระบบการผลิตแบบลีน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

นุชิดา อาจวิชัย. (2542). *การประยุกต์ใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองรูปแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษาระบบแถวคอยของสายการประกอบปืนอีเล็กตรอน ณ บริษัทไทยอีเล็กตรอน จำกัด.*โครงงานทางวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ , คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นพมาศ บุญศรี. (2553). *การจำลองสถานการณ์เครื่องทดสอบความเป็นแม่เหล็กด้วยโปรแกรม Arena.* โครงงานทางวิศวกรรมปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บริษัท อินเตอร์สเปรย์ จำกัด. (2553). *ข้อมูลด้านเทคนิคของหัวฉีดน้ำ หัวฉีดสเปรย์แบบใบพัด.* เข้าถึงได้จาก http://www.spray-nozzles.net/index.php?lay=show&ac=article&Id=538604656

เบ็ญจพร เลิศสัตนนนท์. (2552). *การปรับปรุงผลการดำเนินงานโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป โดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัญฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาเกษตรศาสตร์.

ประภาศรี พงศ์ธนาพาณิช. (2554). *การจัดการผลิตแบบลีน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี: โครงการส่งเสริมการแต่งตำราสำนักวิชาการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

มิ่งขวัญ เหรียญประยูร. (2546). *ความน่าจะเป็นและสถิติ.* กรุงเทพฯ: งานเอกสารและการพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. (2553). *คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena ฉบับปรับปรุง.* กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วรา วราวิทยา. (2545). *ชนิดของกระบวนการสโตคาสติก.* เข้าถึงได้จาก http://hpc.ee.kmutnb.ac.th/~vara/perf/node2.html

วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2543). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม* (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริลักษณ์ ลิ่มกังวาฬมงคล. (2546). *รูปแบบจำลองการวางแผนการผลิต บริษัท สยามซานิทารี ฟิตติ้ง จำกัด*. งานวิจัยเฉพาะกรณีวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, วิทยาลัยนวัตกรรมอุดมศึกษา, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุรินทร์ ขนาบศักดิ์. (2543). *ความน่าจะเป็นและการแจกแจงความน่าจะเป็น* (พิมพ์ครั้งที่ 1). เชียงใหม่: ธนบรรณการพิมพ์.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). *Simulation with arena* (6th ed.). Singapore: McGraw-Hill Education.

Park,C. S. (2004). *Fundamentals of engineering economics*. New Jersey: Pearson Education., Inc., Upper Sanddle Rever.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 2

ลำดับ	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Min	Max	Flu.	Avg.
1	1.97	1.93	1.96	1.99	2.01	1.95	1.92	1.96	2.01	2.05	1.92	2.05	0.13	1.98
2	2.05	2.15	2.11	2.09	2.13	2.16	2.08	2.10	2.14	2.06	2.05	2.16	0.11	2.11
3	1.87	1.93	1.97	1.85	1.95	1.93	1.86	1.97	1.94	1.90	1.85	1.97	0.12	1.92
4														
5	1.95	1.99	1.96	1.93	1.97	1.92	1.90	1.99	2.01	1.94	1.9	2.01	0.11	1.96
6	6.54	6.92	7.35	6.67	6.23	7.26	7.54	7.18	6.53	7.39	6.23	7.54	1.31	6.96
7	15.34	15.01	14.84	14.98	14.89	14.98	15.25	15.39	15.21	14.86	14.84	15.39	0.55	15.08
8	7.23	7.35	6.97	6.82	6.73	6.94	7.35	7.22	7.03	6.93	6.73	7.35	0.62	7.06
9	3.83	3.95	3.84	3.89	3.98	3.82	3.88	3.99	3.94	3.89	3.82	3.99	0.17	3.90
10	2.01	1.82	1.95	1.99	1.85	1.86	1.99	1.93	1.88	1.81	1.81	2.01	0.2	1.91
11	3.76	3.84	3.99	3.78	3.97	3.81	3.95	3.83	3.87	3.90	3.76	3.99	0.23	3.87
12														30.00

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 2

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลาปฏิบัติงาน (วินาที)	Square Error
1	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley ออก	1.9 + 0.17 * BETA(1.52, 1.92)	0.005607
2	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	2.03 + 0.15 * BETA(1.51, 1.44)	0.014714
3	-ใส่งานในเครื่อง	UNIF(1.83, 1.99)	0.060000
4	-ทำงานให้ Balance	27.00	
5	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.88 + ERLA(0.019, 4)	0.001655
6	-ใส่แกน Collet แล้วนำไปใส่เครื่อง	6.09 + 1.59 * BETA(1.58, 1.35)	0.033214
7	-พนักงานทำการตรวจสอบ Run out	14.8 + 0.67 * BETA(0.725, 0.921)	0.043190
8	-หยิบชิ้นงานออก แล้วเอาแกน Collet ออก	6.66 + 0.76 * BETA(1.43, 1.29)	0.012363
9	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley ออก	3.8 + 0.2 * BETA(0.828, 0.812)	0.014304
10	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.79 + 0.24 * BETA(0.792, 0.805)	0.032194
11	-ใส่งานในเครื่อง	3.73 + 0.27 * BETA(0.946, 0.878)	0.014152
12	-ทำงานล้างคราบ	30.00	

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 3

ลำดับ	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Min	Max	Flu.	Avg.
1	0.94	0.99	0.83	0.94	0.85	0.87	0.99	0.92	0.91	0.93	0.83	0.99	0.16	0.92
2	3.69	3.98	4.13	3.87	4.25	3.95	3.82	4.21	3.99	3.87	3.69	4.25	0.56	3.98
3	13.45	13.12	13.34	12.87	12.82	12.98	13.83	13.53	13.01	13.14	12.82	13.83	1.01	13.21
4	1.97	1.86	1.98	1.82	1.87	1.93	1.98	1.84	1.96	1.86	1.82	1.98	0.16	1.91
5	3.89	4.43	4.28	4.01	3.99	3.87	3.96	4.35	3.99	4.47	3.87	4.47	0.6	4.12
6	38.02	38.01	37.98	37.96	38.12	37.97	37.99	38.03	38.05	37.96	37.96	38.12	0.16	38.01
7	1.94	1.98	1.89	1.83	1.97	1.99	1.87	1.82	1.9	1.98	1.82	1.99	0.17	1.92
8	4.88	4.82	4.98	4.93	4.99	4.82	4.87	4.95	4.93	4.91	4.82	4.99	0.17	4.91
9														60.00

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 3

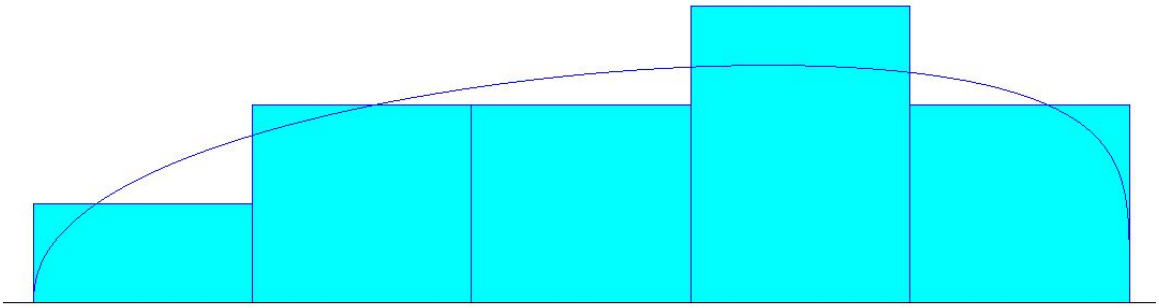
ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลาปฏิบัติงาน (วินาที)	Square Error
1	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	0.81 + 0.19 * BETA(0.307, 0.268)	0.109132
2	-ใส่งานในเครื่อง	3.63 + GAMM(0.108, 3.2)	0.018814
3	-ทำงานขัดคราบ	12.7 + LOGN(0.513, 0.408)	0.025974
4	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.8 + 0.2 * BETA(0.803, 0.698)	0.046094
5	- ใส่งานในเครื่อง	3.81 + LOGN(0.325, 0.313)	0.075561
6	-ทำงานพ่นสี	37.9 + 0.2 * BETA(0.926, 1.76)	0.035559
7	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.8 + 0.2 * BETA(0.804, 0.57)	0.011356
8	-ใส่งานในเครื่อง	UNIF(4.8, 5)	0.020000
9	-ทำงานพักตากสี	60	

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 ข้อมูลเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 4

ลำดับ	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	Min	Max	Flu.	Avg.
1	0.98	0.95	0.99	0.92	0.85	0.91	0.95	0.99	0.9	0.87	0.85	0.99	0.14	0.93
2	1.23	1.2	1.16	1.03	1.21	1.15	1.11	1.22	1.13	1.21	1.03	1.23	0.2	1.17
3	0.87	0.92	0.98	0.82	0.94	0.91	0.85	0.94	0.97	0.84	0.82	0.98	0.16	0.90
4														13.00
5	1.87	1.93	1.82	1.95	1.84	1.82	1.87	1.91	1.82	1.85	1.82	1.95	0.13	1.87
6	2.01	2.15	2.25	2.13	2.11	2.18	2.27	2.25	2.19	2.12	2.01	2.27	0.26	2.17
7	5.23	5.21	5.16	5.22	5.15	5.1	5.19	5.23	5.18	5.26	5.1	5.26	0.16	5.19
8	1.84	1.89	1.95	1.88	1.82	1.91	1.97	1.93	1.85	1.91	1.82	1.97	0.15	1.90
9	56.23	56.11	55.89	55.82	56.21	55.97	56.18	55.89	55.92	56.12	55.82	56.23	0.41	56.03
10	2.02	1.98	1.83	1.93	2.14	1.99	1.83	1.95	2.11	1.96	1.83	2.14	0.31	1.97

ตารางภาคผนวกที่ ก-6 รูปแบบการแจกแจงเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของพนักงานคนที่ 4

ลำดับ	ขั้นตอนการทำงาน	เวลาปฏิบัติงาน (วินาที)	Square Error
1	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley ออก	0.83 + 0.17 * BETA(1.49, 1.02)	0.015203
2	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.01 + 0.24 * BETA(1.53, 0.837)	0.035109
3	-ใส่งานในเครื่อง	UNIF(0.8, 1)	0.000000
4	-ทำงานสร้างสัญลักษณ์	13	
5	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley	1.8 + 0.17 * BETA(0.826, 1.24)	0.003120
6	-ใส่งานอุปกรณ์ตรวจ Timing mark	2 + 0.3 * BETA(1.4, 1.13)	0.031777
7	-ทำงานตรวจสอบตำแหน่ง และแต้มสี	TRIA(5.08, 5.22, 5.28)	0.013379
8	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley ออก	TRIA(1.8, 1.9, 1.99)	0.005600
9	-ทำงานตรวจสอบลักษณะรูปร่าง สี และสิ่งที่ผิดปกติโดยรวมของชิ้นงานด้วยสายตา ทำงานทาน้ำมันกันสนิม และประทับตราวันที่การผลิต	55.8 + 0.51 * BETA(0.935, 0.872)	0.094895
10	-หยิบชิ้นงาน Damper pulley บรรจุลงในกล่อง	NORM(1.97, 0.0962)	0.125738



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.96 + 0.21 * BETA(1.45, 1.22)

Square Error: 0.005040

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.103

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.98

Max Data Value = 2.15

Sample Mean = 2.07

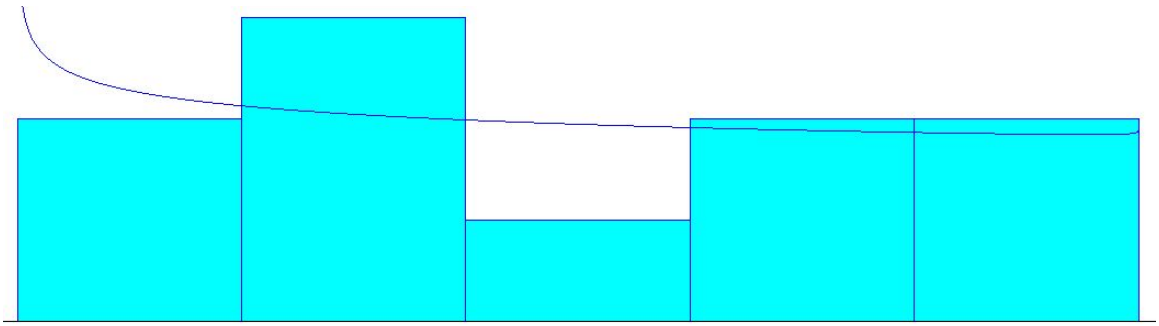
Sample Std Dev = 0.0546

Histogram Summary

Histogram Range = 1.96 to 2.17

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-1 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 0.91 + 0.08 * BETA(0.901, 0.995)

Square Error: 0.019798

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.157

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.92

Max Data Value = 0.98

Sample Mean = 0.948

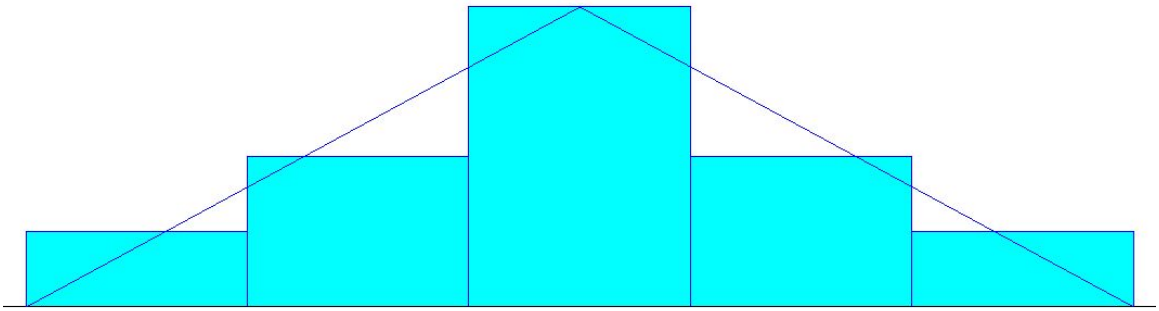
Sample Std Dev = 0.0235

Histogram Summary

Histogram Range = 0.91 to 0.99

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-2 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 3



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(3.07, 3.15, 3.22)

Square Error: 0.005600

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.164

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 3.09

Max Data Value = 3.2

Sample Mean = 3.15

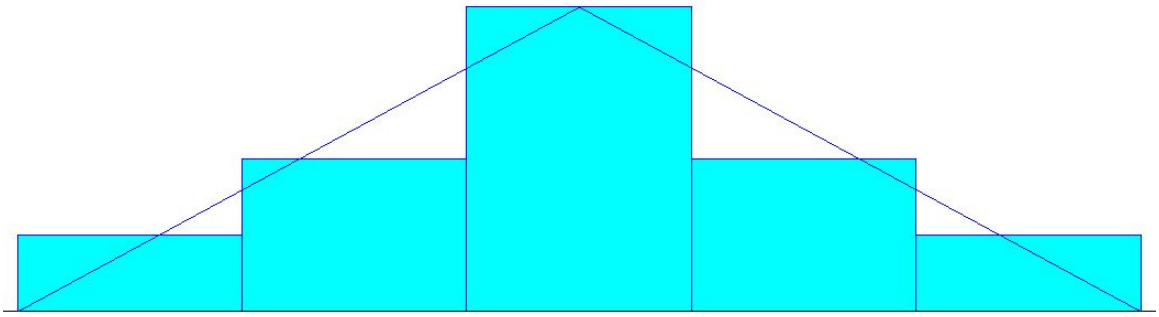
Sample Std Dev = 0.0344

Histogram Summary

Histogram Range = 3.07 to 3.22

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-3 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 5



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(2.12, 2.2, 2.28)

Square Error: 0.005600

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.1

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.14

Max Data Value = 2.26

Sample Mean = 2.2

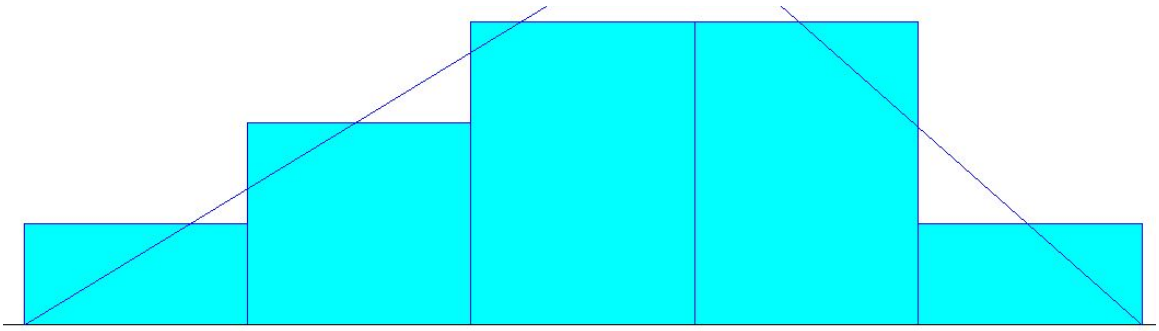
Sample Std Dev = 0.0357

Histogram Summary

Histogram Range = 2.12 to 2.28

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-4 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 6



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(2.95, 3.09, 3.18)

Square Error: 0.002539

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.113

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.97

Max Data Value = 3.16

Sample Mean = 3.07

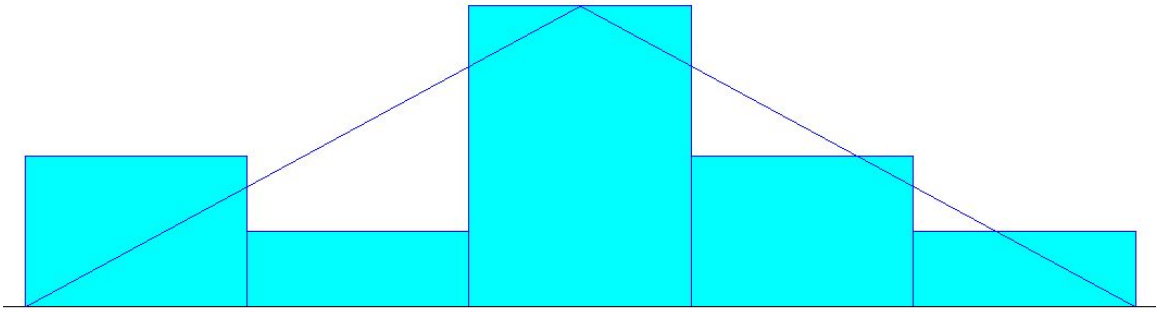
Sample Std Dev = 0.0539

Histogram Summary

Histogram Range = 2.95 to 3.18

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-5 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 7



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(2.86, 2.94, 3.03)

Square Error: 0.037600

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.138

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.88

Max Data Value = 3.01

Sample Mean = 2.94

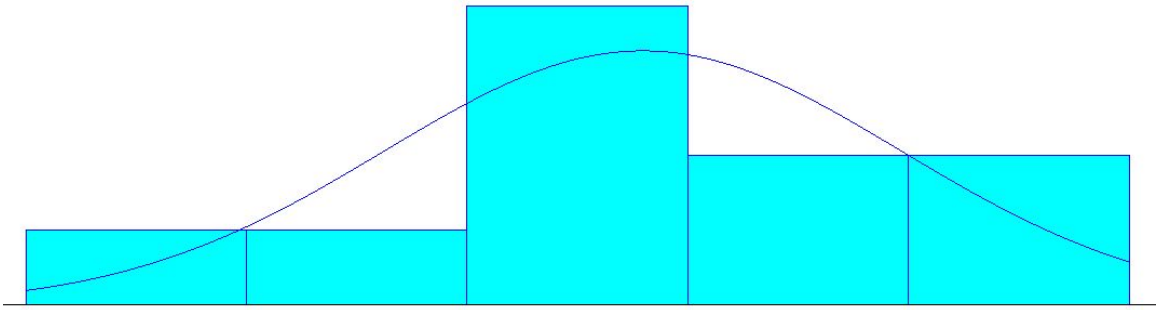
Sample Std Dev = 0.0406

Histogram Summary

Histogram Range = 2.86 to 3.03

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-6 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 9



Distribution Summary

Distribution: Normal

Expression: NORM(2.9, 0.0398)

Square Error: 0.028067

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.135

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.82

Max Data Value = 2.95

Sample Mean = 2.9

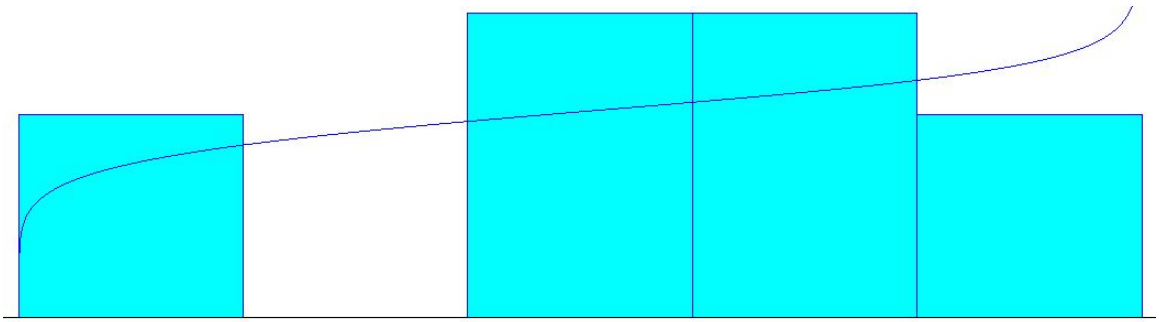
Sample Std Dev = 0.042

Histogram Summary

Histogram Range = 2.8 to 2.97

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-7 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 10



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 6 + 0.281 * BETA(1.15, 0.924)

Square Error: 0.055173

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.167

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 6

Max Data Value = 6.25

Sample Mean = 6.15

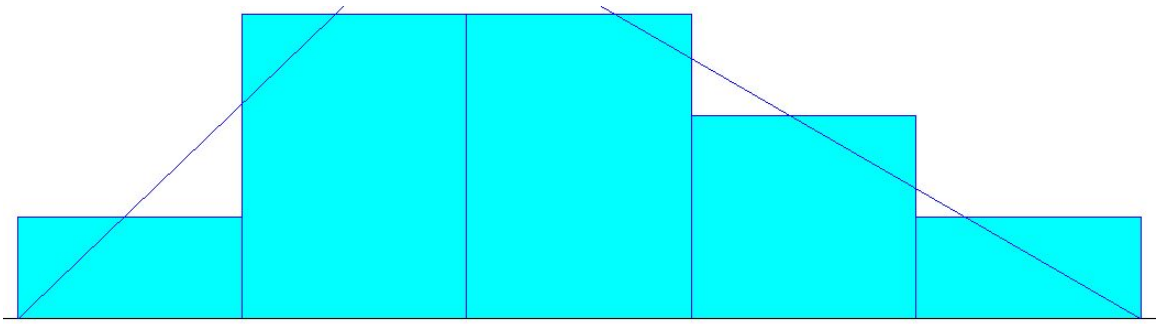
Sample Std Dev = 0.0796

Histogram Summary

Histogram Range = 6 to 6.28

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-8 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 11



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(1.31, 1.37, 1.48)

Square Error: 0.002081

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.1

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.33

Max Data Value = 1.46

Sample Mean = 1.39

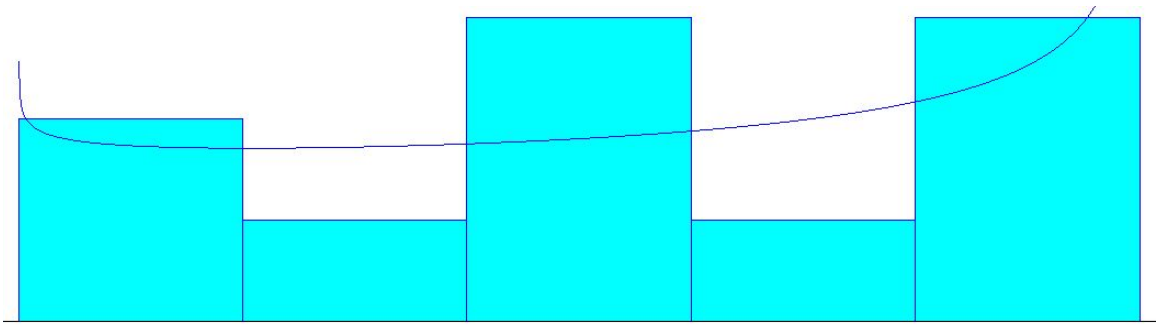
Sample Std Dev = 0.0405

Histogram Summary

Histogram Range = 1.31 to 1.48

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-9 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 13



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 0.96 + 0.12 * BETA(0.94, 0.769)

Square Error: 0.030151

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.14

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.97

Max Data Value = 1.07

Sample Mean = 1.03

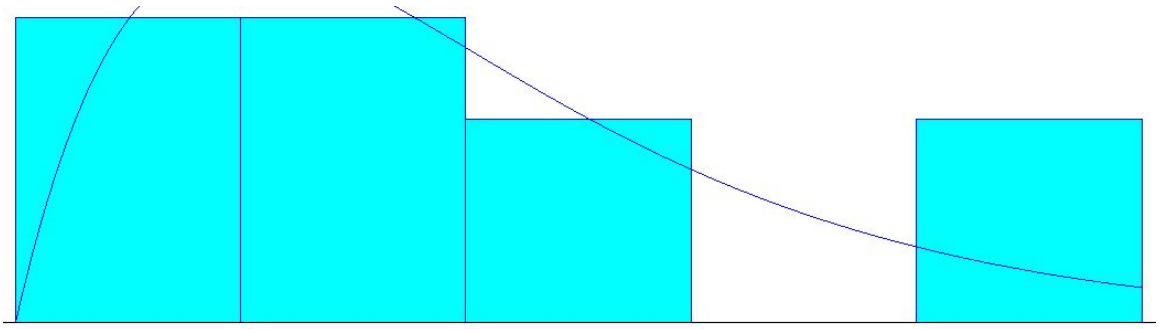
Sample Std Dev = 0.0363

Histogram Summary

Histogram Range = 0.96 to 1.08

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-10 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 14



Distribution Summary

Distribution: Erlang

Expression: 0.92 + ERLA(0.0465, 2)

Square Error: 0.036103

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.115

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.94

Max Data Value = 1.13

Sample Mean = 1.01

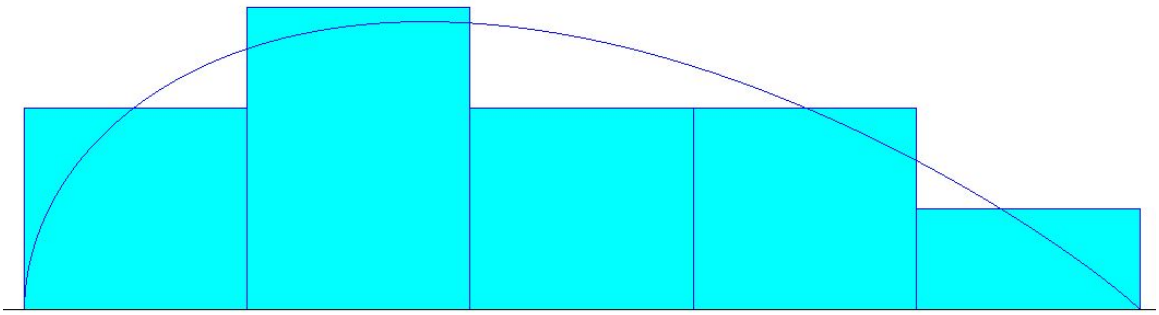
Sample Std Dev = 0.0658

Histogram Summary

Histogram Range = 0.92 to 1.15

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-11 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 1 ขั้นตอนที่ 15



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.9 + 0.17 * BETA(1.52, 1.92)

Square Error: 0.005607

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.117

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.92

Max Data Value = 2.05

Sample Mean = 1.97

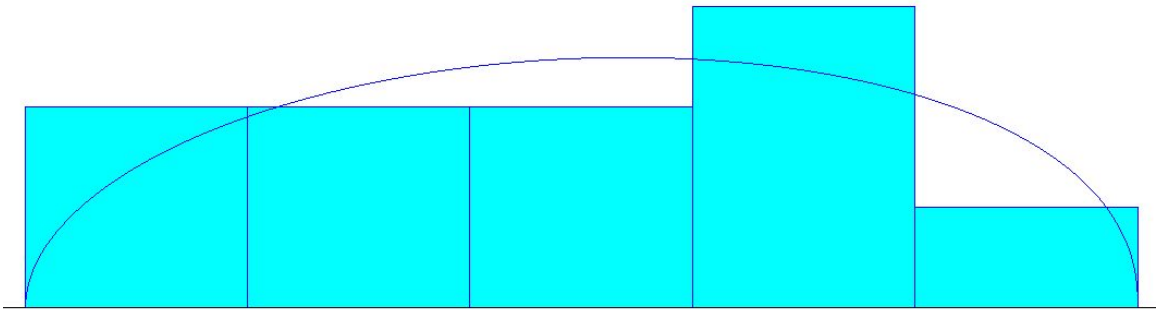
Sample Std Dev = 0.0401

Histogram Summary

Histogram Range = 1.9 to 2.07

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-12 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 1



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 2.03 + 0.15 * BETA(1.51, 1.44)

Square Error: 0.014714

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.1

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.05

Max Data Value = 2.16

Sample Mean = 2.11

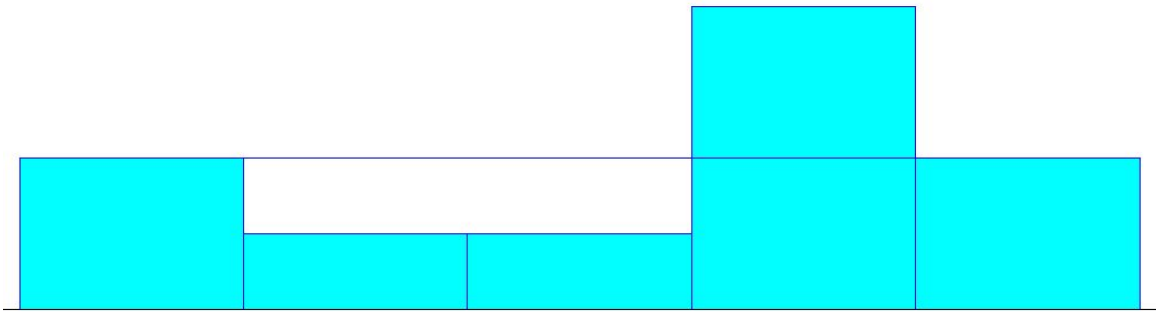
Sample Std Dev = 0.0377

Histogram Summary

Histogram Range = 2.03 to 2.18

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-13 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 2



Distribution Summary

Distribution: Uniform

Expression: UNIF(1.83, 1.99)

Square Error: 0.060000

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.225

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.85

Max Data Value = 1.97

Sample Mean = 1.92

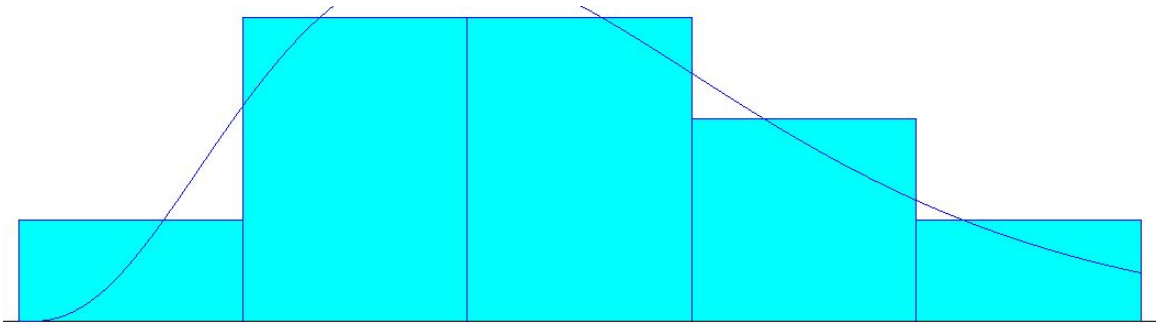
Sample Std Dev = 0.0445

Histogram Summary

Histogram Range = 1.83 to 1.99

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-14 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 3



Distribution Summary

Distribution: Erlang

Expression: 1.88 + ERLA(0.019, 4)

Square Error: 0.001655

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.129

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.9

Max Data Value = 2.01

Sample Mean = 1.96

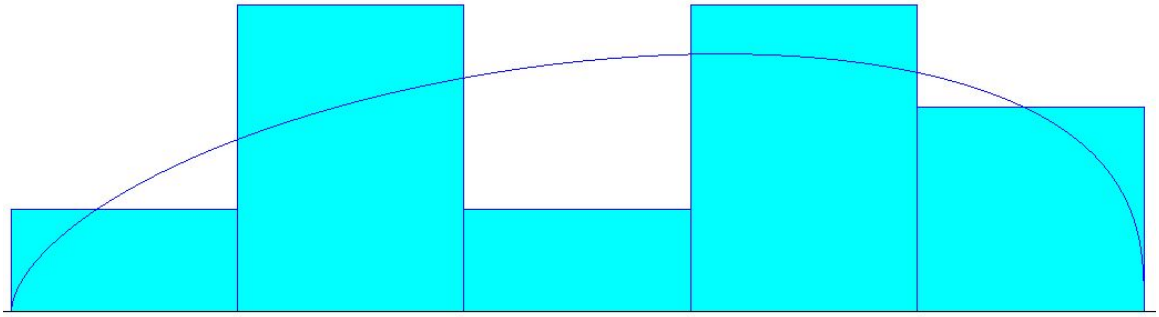
Sample Std Dev = 0.0347

Histogram Summary

Histogram Range = 1.88 to 2.03

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-15 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 5



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 6.09 + 1.59 * BETA(1.58, 1.35)

Square Error: 0.033214

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.164

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 6.23

Max Data Value = 7.54

Sample Mean = 6.96

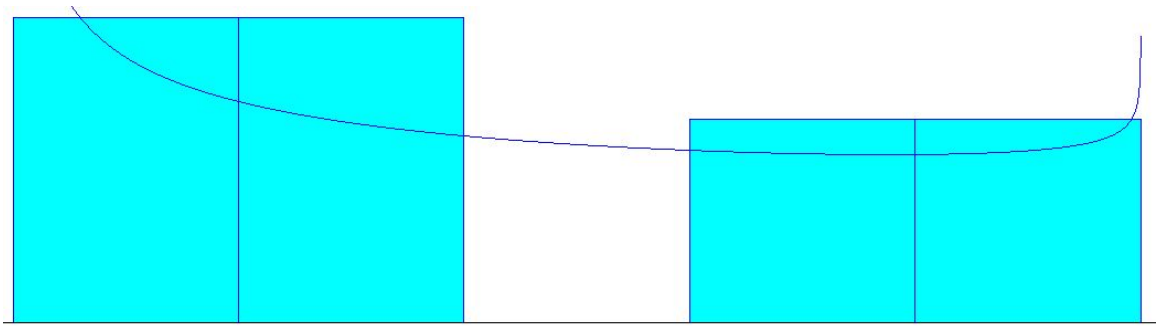
Sample Std Dev = 0.446

Histogram Summary

Histogram Range = 6.09 to 7.68

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-16 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 6



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 14.8 + 0.67 * BETA(0.725, 0.921)

Square Error: 0.043190

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.176

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 14.8

Max Data Value = 15.4

Sample Mean = 15.1

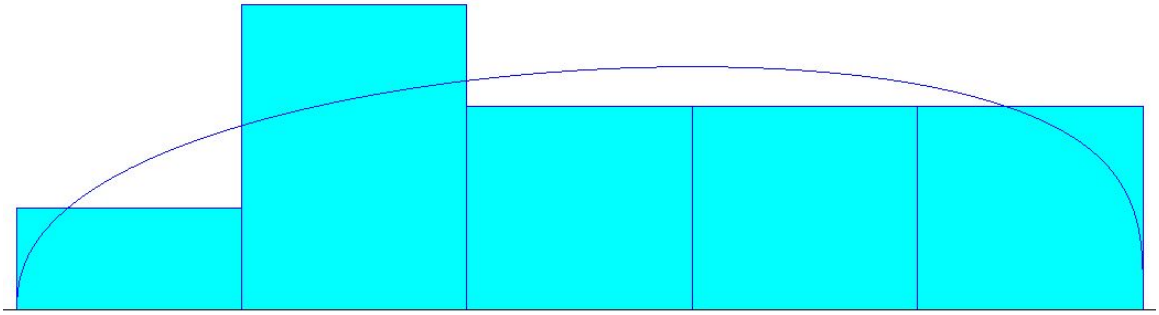
Sample Std Dev = 0.204

Histogram Summary

Histogram Range = 14.8 to 15.4

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-17 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 7



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 6.66 + 0.76 * BETA(1.43, 1.29)

Square Error: 0.012363

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.163

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 6.73

Max Data Value = 7.35

Sample Mean = 7.06

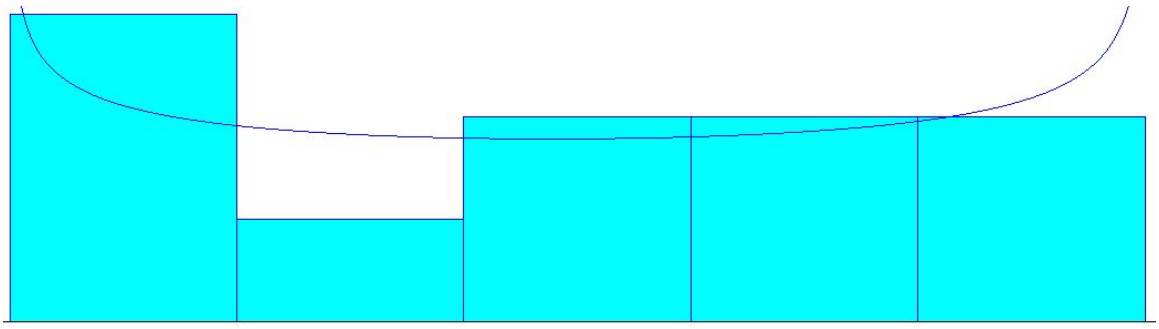
Sample Std Dev = 0.218

Histogram Summary

Histogram Range = 6.66 to 7.42

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-18 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 8



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 3.8 + 0.2 * BETA(0.828, 0.812)

Square Error: 0.014304

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.13

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 3.82

Max Data Value = 3.99

Sample Mean = 3.9

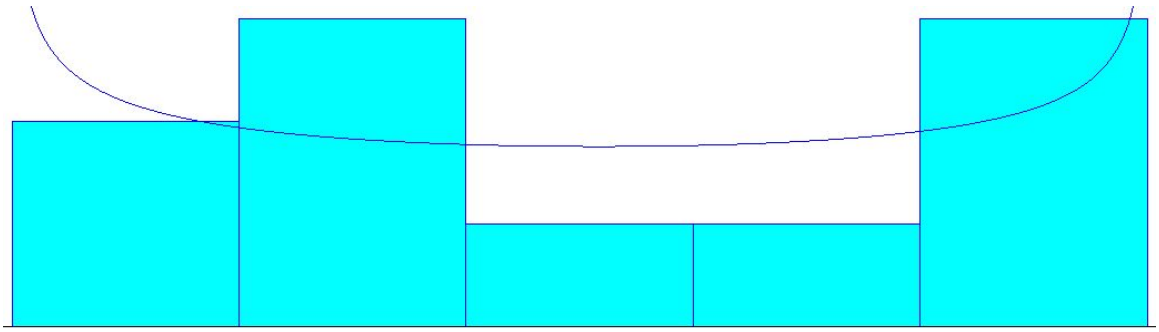
Sample Std Dev = 0.0615

Histogram Summary

Histogram Range = 3.8 to 4

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-19 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 9



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.79 + 0.24 * BETA(0.792, 0.805)

Square Error: 0.032194

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.122

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.81

Max Data Value = 2.01

Sample Mean = 1.91

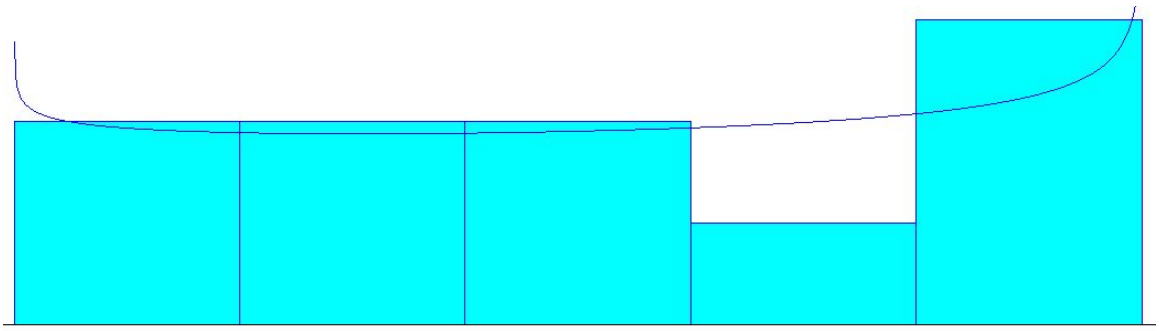
Sample Std Dev = 0.0745

Histogram Summary

Histogram Range = 1.79 to 2.03

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-20 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 10



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 3.73 + 0.27 * BETA(0.946, 0.878)

Square Error: 0.014152

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.113

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 3.76

Max Data Value = 3.99

Sample Mean = 3.87

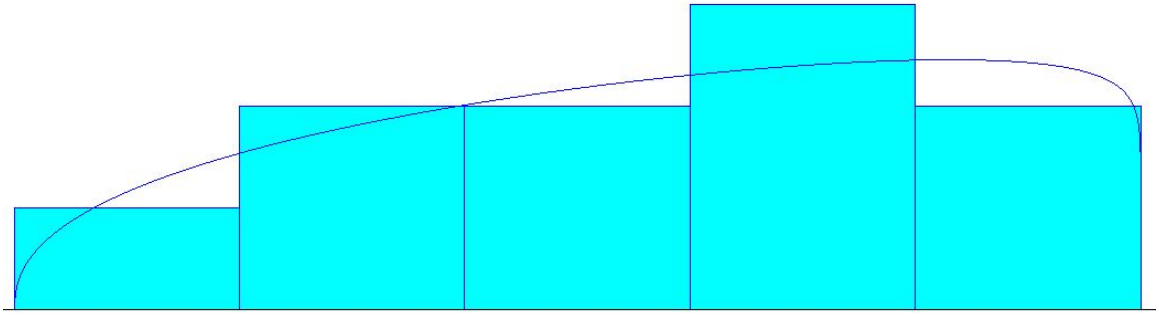
Sample Std Dev = 0.0803

Histogram Summary

Histogram Range = 3.73 to 4

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-21 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 2 ขั้นตอนที่ 11



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 0.81 + 0.19 * BETA(1.42, 1.09)

Square Error: 0.005761

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.126

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.83

Max Data Value = 0.99

Sample Mean = 0.917

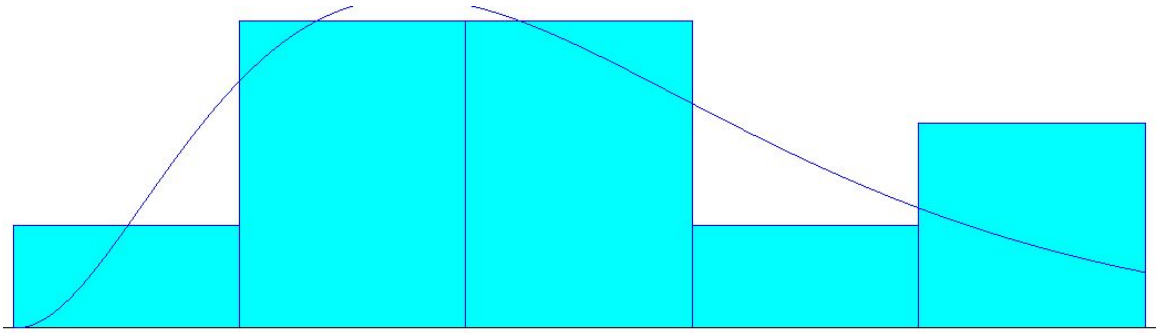
Sample Std Dev = 0.054

Histogram Summary

Histogram Range = 0.81 to 1

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-22 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 1



Distribution Summary

Distribution: Gamma

Expression: 3.63 + GAMM(0.108, 3.2)

Square Error: 0.018814

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.133

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 3.69

Max Data Value = 4.25

Sample Mean = 3.98

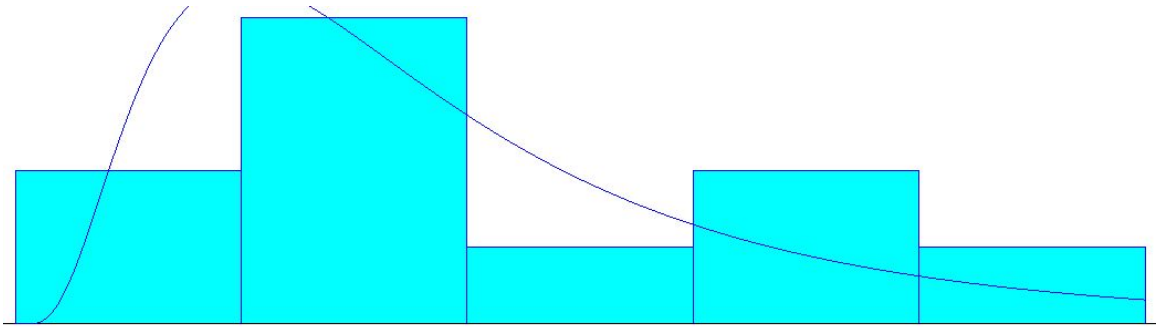
Sample Std Dev = 0.177

Histogram Summary

Histogram Range = 3.63 to 4.31

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-23 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 2



Distribution Summary

Distribution: Lognormal

Expression: 12.7 + LOGN(0.513, 0.408)

Square Error: 0.025974

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.14

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 12.8

Max Data Value = 13.8

Sample Mean = 13.2

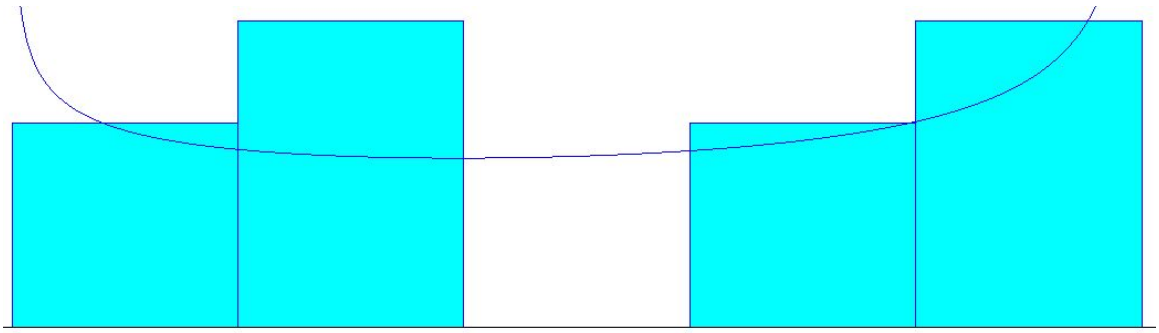
Sample Std Dev = 0.322

Histogram Summary

Histogram Range = 12.7 to 13.9

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-24 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 3



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.8 + 0.2 * BETA(0.803, 0.698)

Square Error: 0.046094

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.159

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.82

Max Data Value = 1.98

Sample Mean = 1.91

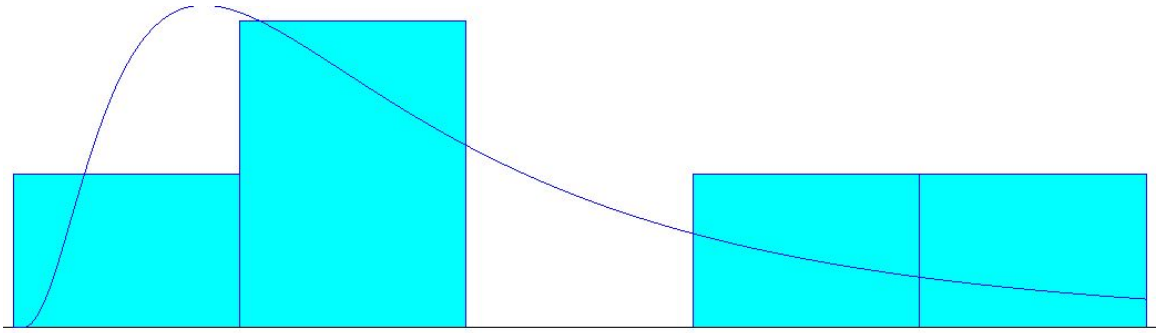
Sample Std Dev = 0.0631

Histogram Summary

Histogram Range = 1.8 to 2

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-25 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 4



Distribution Summary

Distribution: Lognormal

Expression: 3.81 + LOGN(0.325, 0.313)

Square Error: 0.075561

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.206

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 3.87

Max Data Value = 4.47

Sample Mean = 4.12

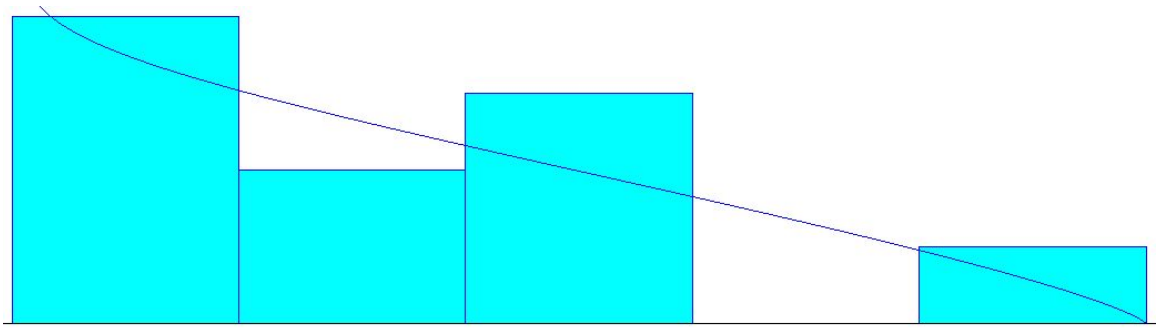
Sample Std Dev = 0.232

Histogram Summary

Histogram Range = 3.81 to 4.53

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-26 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 5



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 37.9 + 0.2 * BETA(0.926, 1.76)

Square Error: 0.035559

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.199

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 38

Max Data Value = 38.1

Sample Mean = 38

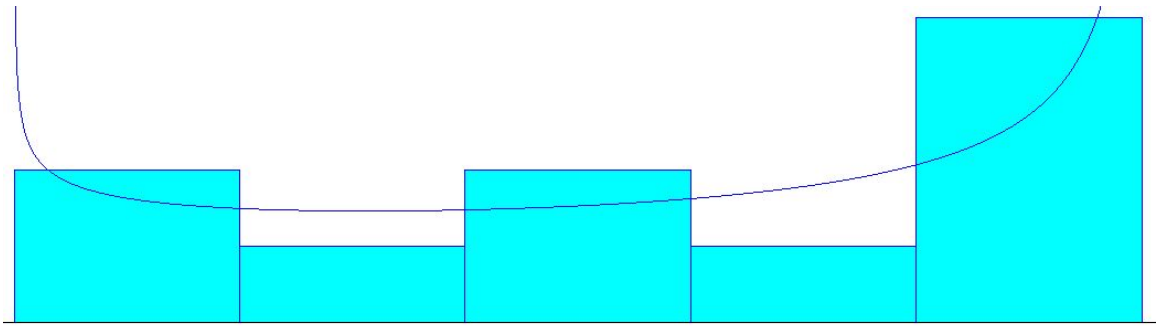
Sample Std Dev = 0.0495

Histogram Summary

Histogram Range = 37.9 to 38.1

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-27 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 6



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.8 + 0.2 * BETA(0.804, 0.57)

Square Error: 0.011356

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.141

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.82

Max Data Value = 1.99

Sample Mean = 1.92

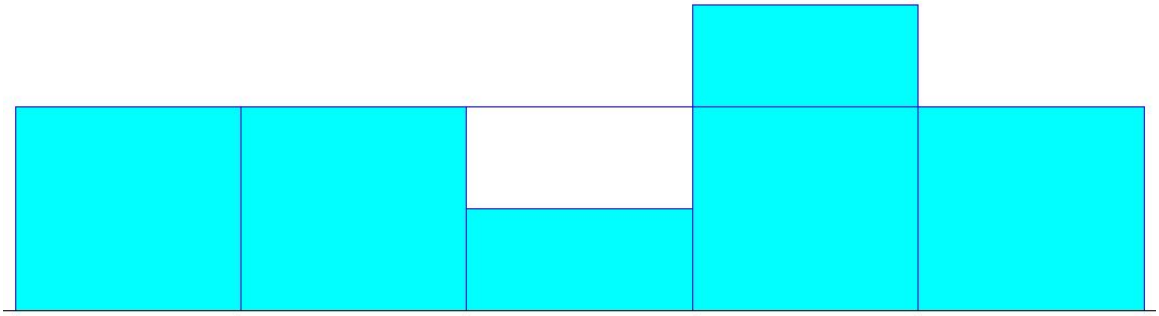
Sample Std Dev = 0.064

Histogram Summary

Histogram Range = 1.8 to 2

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-28 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 7



Distribution Summary

Distribution: Uniform

Expression: UNIF(4.8, 5)

Square Error: 0.020000

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.15

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 4.82

Max Data Value = 4.99

Sample Mean = 4.91

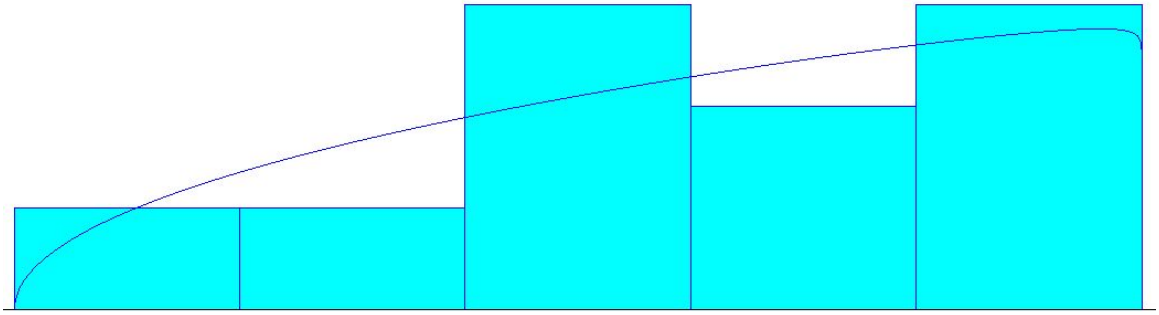
Sample Std Dev = 0.06

Histogram Summary

Histogram Range = 4.8 to 5

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-29 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 3 ขั้นตอนที่ 8



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 0.83 + 0.17 * BETA(1.49, 1.02)

Square Error: 0.015203

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.121

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.85

Max Data Value = 0.99

Sample Mean = 0.931

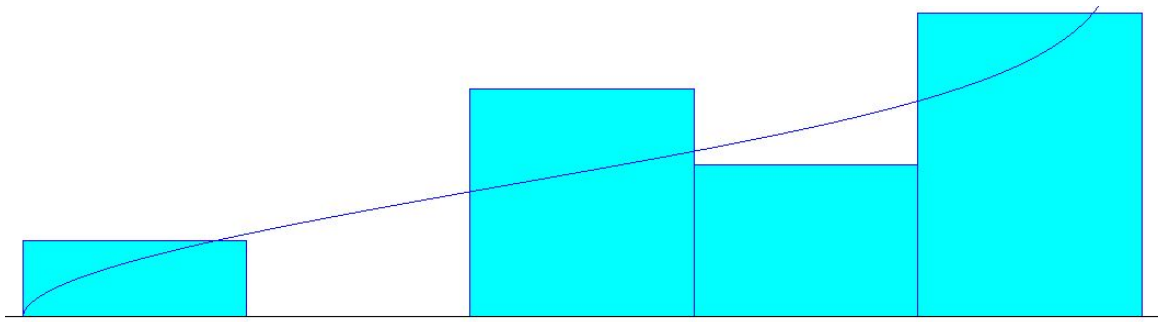
Sample Std Dev = 0.0493

Histogram Summary

Histogram Range = 0.83 to 1

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-30 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 1



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.01 + 0.24 * BETA(1.53, 0.837)

Square Error: 0.035109

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.166

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.03

Max Data Value = 1.23

Sample Mean = 1.17

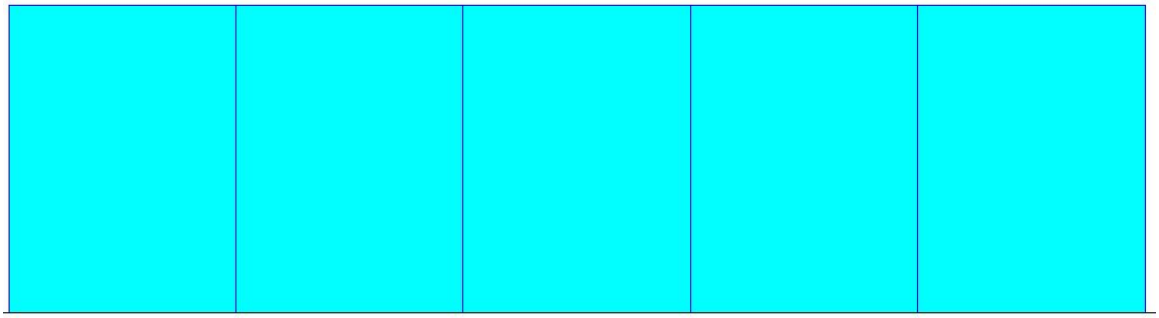
Sample Std Dev = 0.0626

Histogram Summary

Histogram Range = 1.01 to 1.25

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-31 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 2



Distribution Summary

Distribution: Uniform

Expression: UNIF(0.8, 1)

Square Error: 0.000000

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.15

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 0.82

Max Data Value = 0.98

Sample Mean = 0.904

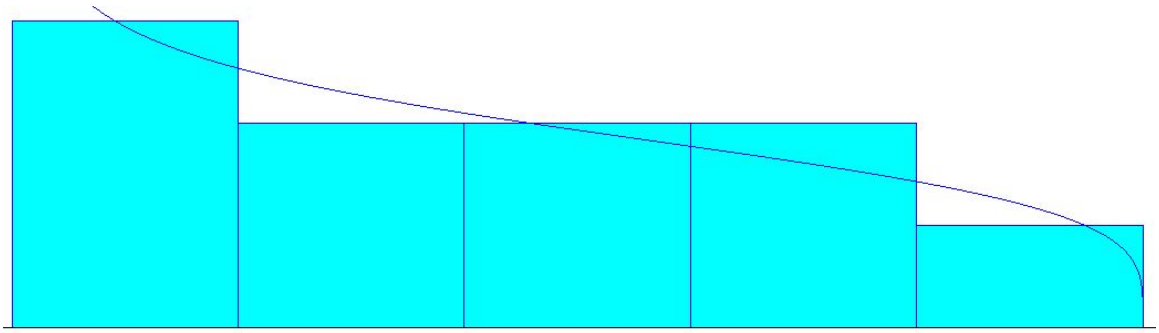
Sample Std Dev = 0.056

Histogram Summary

Histogram Range = 0.8 to 1

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-32 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 3



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 1.8 + 0.17 * BETA(0.826, 1.24)

Square Error: 0.003120

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.213

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.82

Max Data Value = 1.95

Sample Mean = 1.87

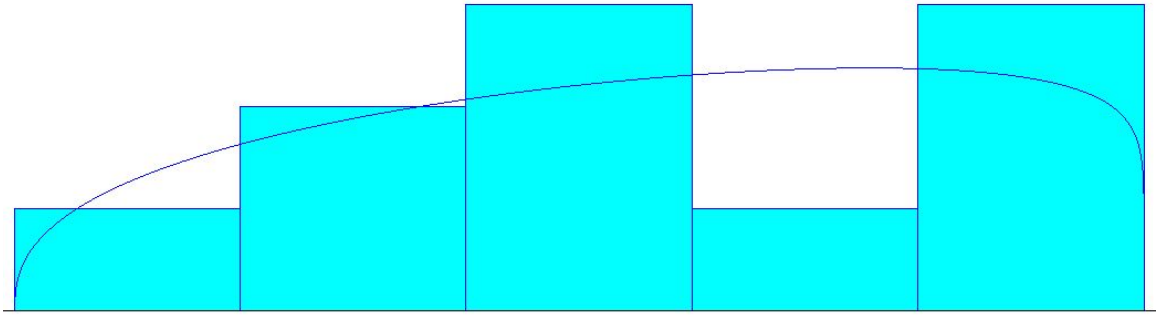
Sample Std Dev = 0.0476

Histogram Summary

Histogram Range = 1.8 to 1.97

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-33 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 5



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 2 + 0.3 * BETA(1.4, 1.13)

Square Error: 0.031777

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.172

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 2.01

Max Data Value = 2.27

Sample Mean = 2.17

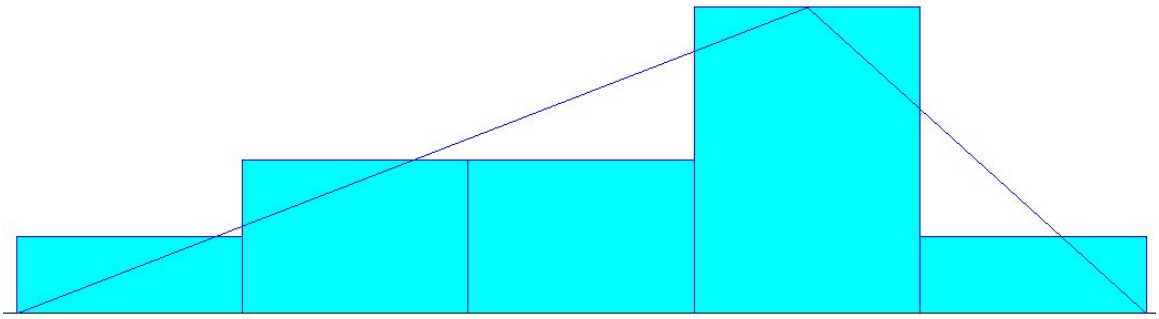
Sample Std Dev = 0.0795

Histogram Summary

Histogram Range = 2 to 2.3

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-34 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 6



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(5.08, 5.22, 5.28)

Square Error: 0.013379

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.104

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 5.1

Max Data Value = 5.26

Sample Mean = 5.19

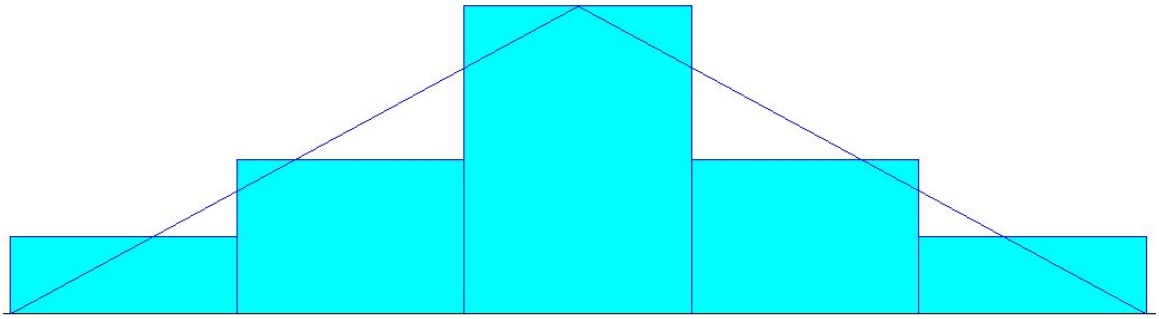
Sample Std Dev = 0.0472

Histogram Summary

Histogram Range = 5.08 to 5.28

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-35 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 7



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(1.8, 1.9, 1.99)

Square Error: 0.005600

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.161

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.82

Max Data Value = 1.97

Sample Mean = 1.9

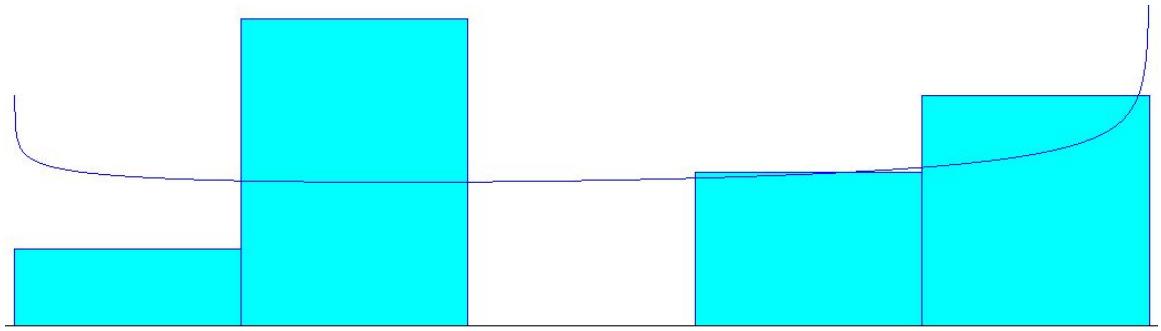
Sample Std Dev = 0.0486

Histogram Summary

Histogram Range = 1.8 to 1.99

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-36 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 8



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: 55.8 + 0.51 * BETA(0.935, 0.872)

Square Error: 0.094895

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.144

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 55.8

Max Data Value = 56.2

Sample Mean = 56

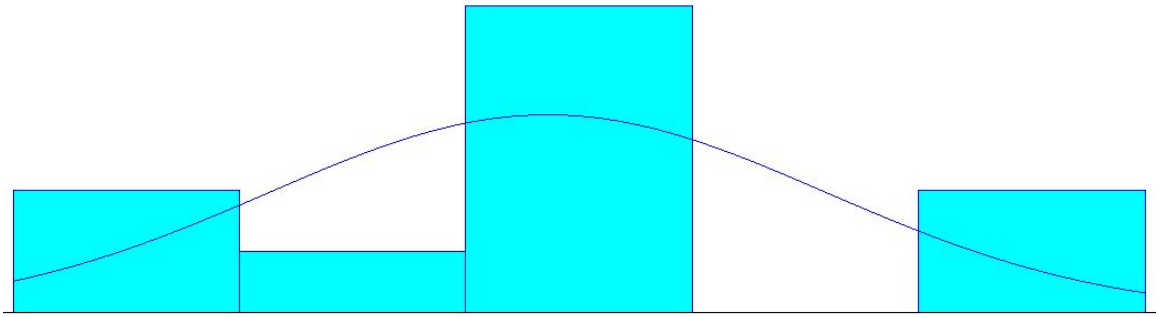
Sample Std Dev = 0.152

Histogram Summary

Histogram Range = 55.8 to 56.3

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-37 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 9



Distribution Summary

Distribution: Normal

Expression: NORM(1.97, 0.0962)

Square Error: 0.125738

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.135

Corresponding p-value > 0.15

Data Summary

Number of Data Points = 10

Min Data Value = 1.83

Max Data Value = 2.14

Sample Mean = 1.97

Sample Std Dev = 0.101

Histogram Summary

Histogram Range = 1.79 to 2.18

Number of Intervals = 5

ภาพภาคผนวกที่ ก-38 การวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานคนที่ 4 ขั้นตอนที่ 10