การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร

กิรณา มหิพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ธันวาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ กิรณา มหิพันธ์ ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชัย รุ่งเรืองอนันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

..... กรรมการ
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

..... กรรมการ
(ดร. เพชร์รัตน์ ลิ้มสุปรียารัตน์)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 26 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา อาจารย์ที่ปรึกษางานวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางที่ถูกต้อง และเป็นกำลังใจให้มีแรงผลักดันได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อพกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่เสมอมา ผู้วิจัยรับรู้ถึงความปรารถนาดีและรู้สึกซาบซึ้งใจอย่างที่สุด จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. จักรวาล คุณะดิลก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะแนวทางแก้ไขปัญหาทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จด้วยดี รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ สรรพวิทยา และจริยธรรม อันเป็นพื้นฐานสำคัญที่ส่งผลให้เกิดผลสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบคุณข้อมูลจากงานวิจัยของ ธีทัต สุดพิทักษ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลในการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ และสำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา เพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและแรงผลักดันที่สำคัญแก่ผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีปัญญาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

กิรณา มหิพันธ์

58910230: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: ชิ้นส่วนอะไหล่/ โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม/ การจัดการอะไหล่คงคลัง/
กระบวนการมอนติคาร์โล/ การซ่อมบำรุงเครื่องจักร

กิรณา มหิพันธ์: การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร (A STUDY OF INVENTORY MANAGEMENT POLICY OF SPARE PARTS FOR MACHINE MAINTENANCE OPERATIONS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: บรรหาญ ลิลา, Ph.D., 115 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงของเครื่องจักรที่สำคัญของกระบวนการผลิต เมื่อมีปริมาณความต้องการต่ำ ไม่ต่อเนื่องแต่มีความผันแปรสูง โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ Q, r ตัวแบบ Max-Min ตัวแบบ T, s, S สำหรับกรณีที่ไม่ทราบความต้องการ และตัวแบบคณิตศาสตร์ชนิดโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับกรณีที่ทราบความต้องการ ใช้ตัวอย่างชิ้นส่วนอะไหล่จำนวน 15 ชนิด ที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง 10 ชนิด และแบบลอคนอร์มอล 5 ชนิด ประสิทธิภาพของตัวแบบพิจารณาจากดัชนีต้นทุนการจัดการรวมเฉลี่ยและระดับบริการเฉลี่ย การประเมินคำตอบของตัวแบบ Q, r ตัวแบบ Max-Min และตัวแบบ T, s, S ใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล ส่วนตัวแบบคณิตศาสตร์จะประเมินคำตอบที่ดีที่สุดด้วยเอ็กเซลโอเพ่นโซลเวอร์ 2.8.6

ผลการวิจัยพบว่าในกรณีที่ทราบความต้องการตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมจะให้ผลลัพธ์ที่มีต้นทุนการจัดการรวมเฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบอื่น ๆ เสมอที่ความต้องการชุดเดียวกันและระดับบริการเฉลี่ยในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับกรณีที่ไม่ทราบความต้องการตัวแบบ Max-Min ให้ผลลัพธ์ที่มีต้นทุนการจัดการรวมเฉลี่ยต่ำกว่าตัวแบบ Q, r และตัวแบบ T, s, S ร้อยละ 6.99 และร้อยละ 24.70 ตามลำดับ และมีระดับบริการในระดับที่ยอมรับได้ งานวิจัยนี้ยังพบว่าในกรณีของความต้องการต่ำและไม่ต่อเนื่อง การกำหนดระดับชิ้นส่วนสำรองเพื่อความปลอดภัยจากการแจกแจงของความต้องการที่แท้จริงจะมีความเหมาะสมมากขึ้น ดังนั้นการเลือกนโยบายการจัดการอะไหล่คงคลังที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาพฤติกรรมของความต้องการที่แท้จริงด้วย

58910230: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: SPARE PART/ MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMING/ INVENTORY MANAGEMENT/ MONTE CARLO PROCESS/ MACHINE MAINTENANCE

KIRANA MAHIPAN: A STUDY OF INVENTORY MANAGEMENT POLICY OF SPARE PARTS FOR MACHINE MAINTENANCE OPERATIONS. ADVISORY COMMITTEE: BANHAN LILA, Ph.D. 115 P. 2017.

This research presents a comparative study of spare part inventory models. The spare parts are inventoried to support future needs of the maintenance operations of significant machines. The demand of the spare parts is low, intermittent with high variation but known distribution. With an unknown demand, the Q, r, Max-Min and T, s, S models were utilized to determine the average total management cost and average service level. The Mixed Integer Linear Programing (MILP) model was also developed to determine the optimal lot size with a known demand assumption. The sample of 15 spare part types were taken from prior research and utilized in the comparison study. The demands for 10 and 5 of those types follows the Poisson and the Lognormal distributions, respectively. Results of the Q, r, Max-Min model and T, s, S models were evaluated using the concept of the Monte Carlo Simulation while the optimal solution of the MILP was solved using the OpenSolver 2.8.6 of Excel 2013.

The results indicated that the MILP always provided the minimum average total management cost and acceptable service level compared to other models with the same sets of known demand. For the case of unknown demand, the Max-Min model provided 6.99 % and 24.70 % lower average total management cost than the Q, r and the T, s, S models, respectively, with acceptable service level. This study also revealed that, in the case of low and intermittent demand, considering its actual probability distribution would result in more suitable of the safety stock level. Thus, behavior of demand must be investigated in selecting of appropriate spare parts inventory management policy.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ห่วงโซ่อุปทาน 6

งานบำรุงรักษา 8

การบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง 14

การสร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดการอะไหล่คงคลัง 32

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

3 วิธีดำเนินการวิจัย 39

โครงสร้างปัญหางานวิจัย 39

การวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ 39

นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 42

การกำหนดปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง 55

วิธีการประเมินคำตอบ 55

4 ผลการวิจัย 57

การทดสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ 57

การประเมินนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 60

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินผลลัพธ์ 71

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ผลการรันเบื้องต้น 77

การคำนวณรอบการรันที่เหมาะสม 79

ผลลัพธ์จากตัวแบบนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 80

5 อภิปรายและสรุปผล 84

สรุปผลการวิจัย 84

อภิปรายผลการดำเนินงาน 87

ข้อเสนอแนะการวิจัย 88

บรรณานุกรม 90

ภาคผนวก 97

ภาคผนวก ก 98

ภาคผนวก ข 106

ภาคผนวก ค 113

ประวัติย่อของผู้วิจัย 115

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 การแบ่งประเภทอะไหล่คงคลังตามวิธีการ ABC analysis 19

3-1 แนวทางการกำหนดรูปแบบ Max และ Min 4 กรณี 48

3-2 ดัชนี Total cost จากการรันแบบจำลองจากค่า Max และ Min จำนวน 20 รอบ 49

3-3 ดัชนี Total cost จากการรันแบบจำลองจากค่า Max และ Min 100 รอบ 49

3-4 วิธีการประเมินคำตอบของปัญหาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง 56

4-1 ปริมาณความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่จำนวน 15 ชนิดสำหรับกรณีศึกษา 57

4-2 พฤติกรรมการแจกแจงความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด 60

4-3 ข้อมูลความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด จากกรณีศึกษาเดิมตามนโยบาย Q, r 61

4-4 การคำนวณจุดสั่งซื้อเมื่อความต้องการแจกแจงแบบปัวส์ซองชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 63

4-5 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย Q, r 65

4-6 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย Max-Min 67

4-7 การวิเคราะห์ค่า $D_{max,i}$ ของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด 68

4-8 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย T, s, S 69

4-9 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการเพื่อสร้างแบบจำลอง MILP 71

4-10 ผลการรันแบบจำลองเบื้องต้น 10 รอบของค่าใช้จ่ายรวม 77

4-11 ผลการรันแบบจำลองเบื้องต้น 10 รอบของระดับบริการ 78

4-12 การคำนวณหารอบการรันที่เหมาะสม 79

4-13 ผลการรันตัวแบบที่ 20 รอบการรัน 79

4-14 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมของนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่จากการรัน 20 รอบ 80

4-15 ผลการวิเคราะห์ระดับบริการของนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่จากการรัน 20 รอบ 82

5-1 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยของตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5-2 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของระดับบริการของตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง 86

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 กิจกรรมโลจิสติกส์ในส่วนของผู้ผลิต 1

1-2 ความสัมพันธ์ของกิจกรรมโลจิสติกส์ส่วนผู้ผลิต 3

2-1 ประเภทของงานบำรุงรักษา 9

2-2 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) 12

2-3 ตัวอย่างการสร้างกราฟแบ่งประเภทอะไหล่โดยใช้วิธี ABC 20

2-4 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังจากการให้คะแนน 22

2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและค่าใช้จ่ายการถือครอง 23

2-6 การกำหนดจุดสั่งซื้อและระดับอะไหล่สำรอง 26

2-7 นโยบายการควบคุมอะไหล่คงคลังแบบ (Q, r) เชิงสโตคาสติก 28

2-8 นโยบายการควบคุมอะไหล่คงคลังแบบ Max-Min 29

3-1 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ 40

3-2 แผนผังการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่ 41

3-3 แผนผังนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 42

3-4 การคำนวณในระบบ Max Min ทั่วไป 46

4-1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 59

4-2 ตัวอย่างแบบจำลอง Q, r สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 72

4-3 ตัวอย่างแบบจำลอง Max-Min สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 73

4-4 ตัวอย่างแบบจำลอง T, s, S สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 74

4-5 ตัวอย่างแบบจำลอง MILP สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 75

4-6 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขบน OpenSolver สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 76

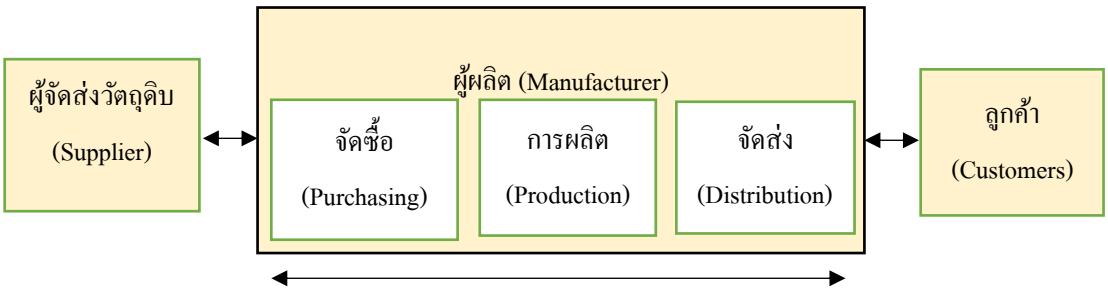
4-7 กราฟค่าใช้จ่ายรวมจากการรัน 20 รอบ 81

4-8 กราฟระดับบริการเฉลี่ยจากการรัน 20 รอบ 83

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน เป็นการวางแผนจัดการกับทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในระบบทั้งหมดตั้งแต่ผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (Supplier) ผู้ผลิต (Manufacturer) ไปถึงลูกค้า (Customer) เป้าหมายพื้นฐานของการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คือ การเติมเต็มความต้องการของลูกค้า โดยใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด ลดผลกระทบของความไม่แน่นอน (Uncertainty) ด้วยกระบวนการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ บนต้นทุนที่เหมาะสม (แจ่มจิต ศรีวงษ์, 2558) สมาชิกหลักของห่วงโซ่อุปทาน คือ ผู้ผลิต (Manufacturer) ซึ่งต้องบริหารกิจกรรมโลจิสติกส์ตั้งแต่การจัดซื้อ การผลิต ไปจนถึงการจัดส่ง โดยคำนึงถึงความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ สรุปได้ดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 กิจกรรมโลจิสติกส์ในส่วนของผู้ผลิต

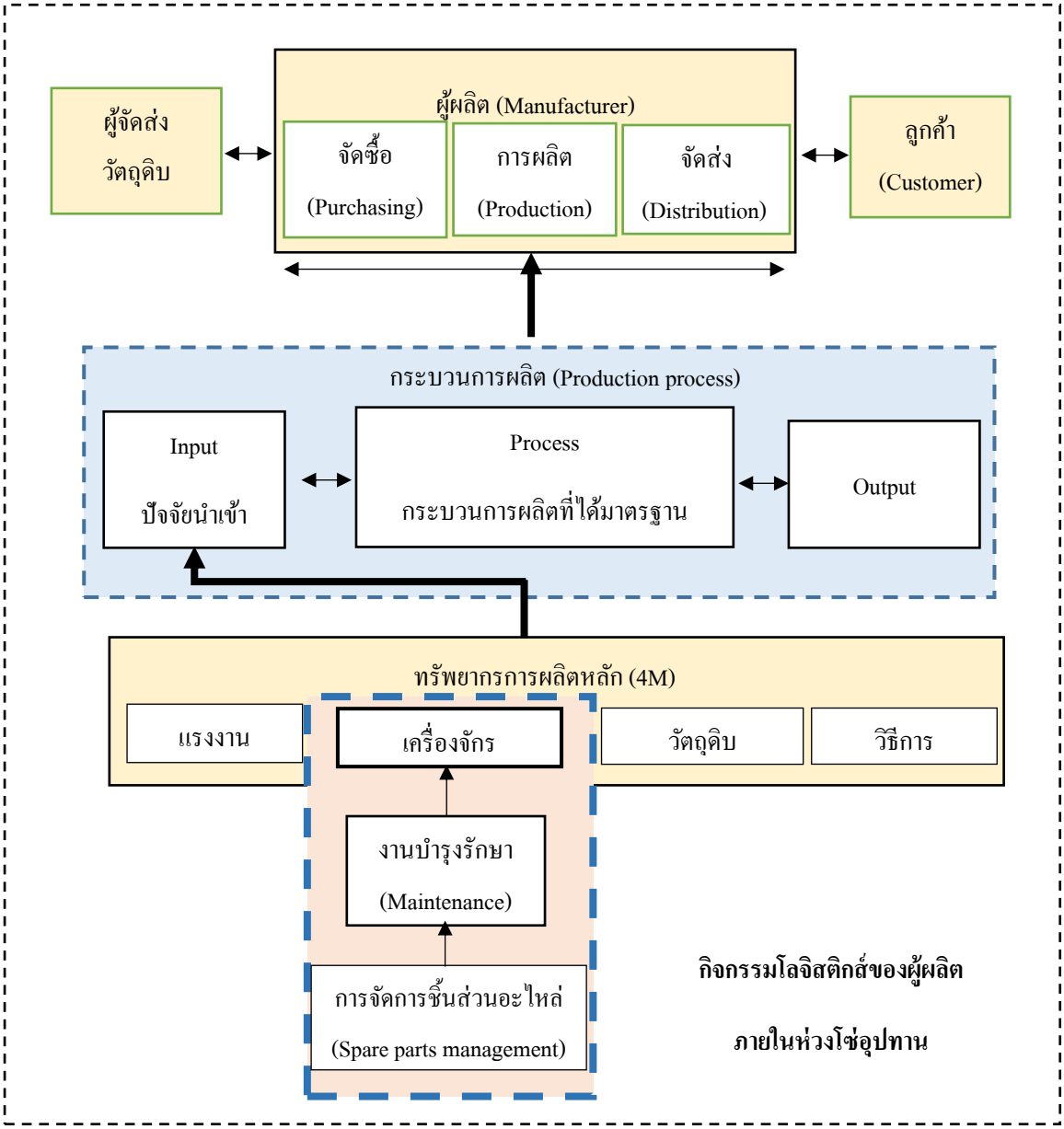
การผลิตเป็นฟังก์ชันที่สำคัญของผู้ผลิต จิรายุทธ คิ้วเที่ยง (2551); ไพฑูรย์ กำลังดี (ม.ป.ป.) กล่าวว่า ประสิทธิผลของกระบวนการผลิตขึ้นกับปัจจัยนำเข้า (Inputs) ต่าง ๆ ได้แก่ แรงงาน วัตถุดิบ วิธีการทำงาน และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป (Transformation Process) ในกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เครื่องจักรเป็นทรัพยากรหลักในการแปรรูปวัตถุดิบ เช่น เครื่องปั๊มสำหรับการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องฉีดพลาสติกในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เป็นต้น การทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพของเครื่องจักรหลักจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิผลโดยรวมของกระบวนการ การหยุดทำงานของเครื่องจักรที่มีสาเหตุมาจากการล้มเหลว (Failure) หรือขัดข้อง (Breakdown) ของชิ้นส่วน อุปกรณ์ หรือระบบ จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงให้กลับเข้าสู่สถานะที่ใช้งานได้โดยเร็วที่สุด

ปัจจุบันอุตสาหกรรมได้มีการนำเครื่องจักร อุปกรณ์และเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต การใช้งานเครื่องจักรให้มีสิทธิภาพสูงสุด และลดอัตราการหยุดการทำงานของเครื่องจักรให้น้อยที่สุดเป็นสิ่งสำคัญต่อการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร ที่จะต้องมีการดำเนินการให้สมรรถนะความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดด้วยกลยุทธ์การบำรุงรักษาที่เหมาะสมกับเครื่องจักรแต่ละประเภท ซึ่งรวมถึงการมีระบบการจัดการอะไหล่คงคลังอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของการซ่อมบำรุง เมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น (สุจิตรา อดุลย์เกษม, อภิรัตน์ สุวรรณเพ็ชร, นิชาภัทร ผ่องใส และอรวรรณ เชาวลิต, 2558; สุวิทย์ ภูลี และปารเมศ ชุติมา, 2555)

ระบบการผลิตที่ใช้เครื่องจักร (Machine) เป็นทรัพยากรหลัก จะต้องคำนึงถึงความสามารถของเครื่องจักรให้มีความพร้อมใช้งานอยู่เสมอ เพื่อลดการหยุดชะงักของกระบวนการอันก่อเกิดความสูญเสียต่อองค์กร (ประจวบ นำนาผล, 2555; อัษฎาวุฒิ ทาปลัด, 2556) การประเมินความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรประเมินได้จากดัชนีประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall equipment effectiveness หรือ OEE) โดยดัชนี OEE นี้ประเมินจากผลคูณของดัชนีย่อย คือ อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability) ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักร (Performance efficiency) และอัตราคุณภาพ (Quality rate) ดัชนีย่อยทั้ง 3 จึงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า OEE ในส่วนของ Availability ของเครื่องจักรจะเป็นผลโดยตรงจากเวลาที่เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการซ่อมบำรุงจึงเป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่ส่งผลต่อ Availability ของเครื่องจักร กระบวนการผลิต และประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานในภาพรวม (ประจวบ นำนาผล, 2555; อัษฎาวุฒิ ทาปลัด, 2556)

งานซ่อมบำรุงมีเป้าหมายในการรักษาสมรรถนะความพร้อมในการใช้งานเครื่องจักร ให้สามารถใช้งานได้ตามแผน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้เครื่องจักรเสียเวลาจากการหยุดการทำงาน (Downtime) ให้น้อยที่สุด (ธีรศักดิ์ พรหมแสน, 2556) Downtime อาจเกิดจากความขัดข้องหรือล้มเหลว (Failure) ของเครื่องจักร หรือการหยุดเครื่องเพื่อตรวจสอบในลักษณะของการซ่อมบำรุงรูปแบบอื่น ๆ ในกรณีของ Downtime จากการล้มเหลวของเครื่องจักร ควรใช้เวลาในการซ่อม (Repair time) เพื่อให้เครื่องจักรกลับไปอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานโดยเร็ว อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบในการซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรสำคัญเกิดการขัดข้องและเสียหาย (Failure) คือ การใช้เวลาซ่อมนานเนื่องจากต้องรอชิ้นส่วนอะไหล่ที่จำเป็นต่อการซ่อมบำรุง ทั้งนี้มีสาเหตุจากการสำรองชิ้นส่วนอะไหล่ไว้ไม่เหมาะสมทั้งชนิด และจำนวน โดยมีการจัดเก็บมากเกินไป หรือน้อยเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาณความต้องการใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร การลดเวลาการรอชิ้นส่วนอะไหล่จะทำให้งานซ่อมบำรุงดำเนินการได้โดยเร็ว ส่งผลให้สามารถลดเวลา Downtime ของเครื่องจักรได้ การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ต่อการเพิ่ม

อัตราความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรที่จะส่งผลต่อเนื่องไปยังประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และภาพรวมของกิจกรรมผู้ผลิตภายในห่วงโซ่อุปทาน ความสมันพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 1-2 (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557; บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว, 2559; อัษฎาวุฒิ ทาปลัด, 2556)



ภาพที่ 1-2 ความสัมพันธ์ของกิจกรรมโลจิสติกส์ส่วนผู้ผลิต

อย่างไรก็ตามความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในการซ่อมบำรุงมีความสัมพันธ์กับอัตราการล้มเหลวของเครื่องจักร และอุปกรณ์ ซึ่งมีความไม่แน่นอนสูง การจะจัดเตรียมชิ้นส่วนอะไหล่เหล่านี้จึงต้องทำให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการใช้งาน จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอการประยุกต์แนวทางของการจัดการสินค้าคงคลังในการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ (จรีรัตน์ อ้วนเสมอ และโอพาร กิตติธีรพรชัย, 2557; ศิริกานดา คำภูษา, 2559; เอกชัย ใจแจ่ม 2556) โดยพิจารณาต้นทุนการจัดการซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนการสั่ง (Ordering cost) ต้นทุนการเก็บรักษา (Carrying cost) และต้นทุนการขาดชิ้นส่วนอะไหล่ (Shortage cost) บนสมมติฐานของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แบบต่อเนื่อง (Continuous demand) ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง ด้วยตัวแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด (Economic order quantity; EOQ) ที่มีสมมติฐานอัตราความต้องการคงที่ตลอดทั้งปีหรือทราบค่าแน่นอน จรีรัตน์ อ้วนเสมอ และโอพาร กิตติธีรพรชัย (2557) กล่าวว่า ตัวแบบนี้จะใช้ได้ดีเมื่อความต้องการของสินค้ามีค่าคงที่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นไปได้ยากกับสถานการณ์จริงเนื่องจากความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงความต้องการ ในกรณีที่ความต้องการไม่คงที่มีแนวทางการประยุกต์เพื่อจัดการสินค้าคงคลัง คือ การใช้ตัวแบบ Q, r โดยทำการสั่งสินค้าที่ Q หน่วย เมื่อระดับสินค้าคงคลังลดลงมาอยู่ระดับที่ r ทันที (วัชรินทร์ แสงมา และพิษณุ ทองขาว, 2555) หรือการใช้ตัวแบบ Max-Min หรือตัวแบบ T, s, S เพื่อคำนวณปริมาณการสั่งซื้อ (Order quantity) จุดสั่งซื้อ (Reorder point) และอะไหล่คงคลังสำรอง (Safety stock) (จรีรัตน์ อ้วนเสมอ และโอพาร กิตติธีรพรชัย, 2557)

Rego and Mesquita (2011); Willemain, Smart, and Schwarz (2004); Hua and Zhang (2006) แสดงให้เห็นว่าลักษณะของปัญหาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในสภาพจริง คือ ความต้องการเป็นช่วง (Intermittent demand) จำนวนที่ต้องการต่อหน่วยเวลาย่อยต่ำ (มีข้อมูลความต้องการต่อหน่วยเวลาย่อยเป็นศูนย์) มีความผันแปรสูง และข้อมูลในอดีตมีจำกัด เคลื่อนไหวช้า (Slows moving) ดังนั้นตัวแบบเฉพาะตัวใดตัวหนึ่งอาจไม่เหมาะสมกับทุกสถานการณ์ แนวทางการศึกษาเพื่อบ่งชี้ตัวแบบที่เหมาะสมกับสถานะการณ์ของปัญหาหนึ่ง ๆ จึงจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดนโยบายเพื่อการจัดการพัสดุคงคลังสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ต่อไป งานวิจัยนี้จึงจะนำเสนอแนวทางการศึกษาเพื่อกำหนดนโยบายการจัดการพัสดุคงคลังสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่เพื่องานซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต บนสมมติฐานความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังแบบไม่คงที่ และไม่ต่อเนื่อง และปริมาณความต้องการต่ำ โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวม อันเกิดจากต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการเก็บรักษา และต้นทุนในการเสียโอกาส มีค่าต่ำที่สุด และมีระดับการให้บริการที่ยอมรับได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของนโยบายการจัดการพัสดุคงคลัง ในการประยุกต์กับการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่สำคัญ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถกำหนดนโนบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ได้เหมาะสมกับรูปแบบพฤติกรรมความต้องการ
2. นำเสนอแนวทางการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่จากการจำลองสถานการณ์ที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดได้อย่างเหมาะสม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 3 นโยบาย ได้แก่ นโยบาย Q, r นโยบาย Max-Min และนโยบาย T, s, S
2. ศึกษารูปแบบนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ ภายใต้พฤติกรรมความต้องการเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ไม่คงที่ มีปริมาณต่ำ และช่วงเวลานำคงที่
3. ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด เป็นอิสระต่อกัน
4. การจำลองสถานการณ์จะดำเนินการบนโปรแกรม Microsoft excel

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้แสดงรายละเอียดของทฤษฎี แนวคิด และเครื่องมือ ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและนำมาใช้เป็นแนวทางการทำวิจัย มีรายละเอียดการศึกษาความสำคัญของห่วงโซ่อุปทานที่มีต่อระบบการผลิตในปัจจุบัน การมีระบบซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ดีนั้น ความพร้อมใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare parts) เป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนและควบคุม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุงสูงสุด และลดการสูญเสียเวลาในการผลิต ซึ่งส่งผลโดยรวมต่อห่วงโซ่อุปทาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการซ่อมบำรุงด้วยการศึกษาการกำหนดนโยบายการควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง เพื่อบูรณาการแนวคิดเครื่องมือที่เกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยแบ่งเนื้อหาเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแสดงทฤษฎี แนวคิดและเครื่องมือการวิเคราะห์ข้อมูล และส่วนแสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain)

ความหมายของห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain)

ชัยยันต์ ชิโนกุล (2551) กล่าวว่า ห่วงโซ่อุปทานเป็นกิจกรรมจากผู้ผลิตถึงผู้บริโภคที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ไปพร้อม ๆ กับการไหลของข้อมูลในระบบให้มีการดำเนินการอย่างยั่งยืนร่วมกัน

ชุติระ ระบอบ (2553) กล่าวว่า ห่วงโซ่อุปทาน คือ การรวมกิจกรรมทางธุรกิจทางตรงและทางอ้อม เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ได้แก่ กิจกรรมการผลิต จัดหา รวมถึงการขนส่ง คลังสินค้า ลูกค้า และกิจกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน

ชัยยันต์ ชิโนกุล (2551) กล่าวว่า การจัดการโซ่อุปทาน (Supply chain management: SCM) เป็นการสร้างความสัมพันธ์ภายในโซ่อุปทาน ด้วยการดำเนินการกิจกรรมร่วมกัน เพื่อแปลงสภาพไปเป็นผลิตภัณฑ์จากแหล่งวัตถุดิบถึงผู้บริโภค ให้ประสบผลสำเร็จอย่างยั่งยืน

ชุติระ ระบอบ (2553) กล่าวว่า การจัดการโซ่อุปทาน เป็นการจัดสรรวัสดุ ข้อมูล และการเงินขณะที่เคลื่อนผ่านกระบวนการทางธุรกิจ ตั้งแต่ผู้จัดหาไปยังลูกค้าด้วยการทำงานร่วมกัน โดยมีเป้าหมายให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด

อมรศิริ ดิสสร (2556) กล่าวว่า การจัดการโซ่อุปทาน เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายข้อมูล ด้วยการบูรณาการประสานงานร่วมกันของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ผู้ขาย ผู้ผลิต จนถึงลูกค้า เพื่อตอบสนองตามความพึงพอใจของลูกค้า

สามารถสรุปได้ว่า การจัดการโซ่อุปทานเป็นการประสานงานร่วมกันภายในหน่วยงาน ทุกหน่วยที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ตั้งแต่ผู้ผลิตไปยังลูกค้า โดยมีเป้าหมายในการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างยั่งยืน ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด

การจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์

พิภพ ลลิตาภรณ์ (2559) ระบุว่า หัวใจของความสำเร็จในการบริหารจัดการโซ่อุปทาน คือ การดำเนินการ วางแผน ออกแบบ ระบบการดำเนินการต่าง ๆ ให้กิจกรรมทั้งหมดสามารถดำเนินการได้เป็นหนึ่งเดียว ให้ผลประโยชน์โดยรวมส่งผลให้มีผลกำไรสูงสุด และได้ระดับบริการที่ต้องการ อย่างไรก็ตามความยากในการบริหารจัดการภายในห่วงโซ่อุปทานจะมีความสัมพันธ์กับการวางแผนเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมของทั้งระบบมีค่าต่ำสุด ในขณะที่ต้องรักษาระดับบริการไว้ให้ได้ ถึงแม้จะต้องเผชิญกับปัญความยุ่งยาก ความไม่แน่นอนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังเช่น ความต้องการของลูกค้า ซึ่งไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องแท้จริง ระยะเวลาการรอคอยที่ไม่แน่นอน หรือเครื่องจักรในกระบวนการที่มักเกิดความเสียหายขึ้น เป็นต้น ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คือ การมุ่งเน้นขจัดความไม่แน่นอนให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การผลิต (Production) เป็นกิจกรรมภายในส่วนผู้ผลิต (Manufacturer) ที่อยู่ภายในห่วงโซ่อุปทาน ระบบการผลิตที่ดีนั้นจะต้องมีการดำเนินการวางแผนและควบคุมอย่างเหมาะสม ตั้งแต่การจัดซื้อ การผลิต ไปถึงการจัดส่ง ประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดสินค้าหรือบริการ โดยการแปรสภาพทรัพยากรการผลิตไปเป็นสินค้าหรือบริการ แต่การจัดการระบบผลิตที่ดีนั้น จะต้องเป็นการแปรสภาพทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างไรเพื่อให้เป็นสินค้าหรือบริการที่มีประสิทธิภาพ (บรรหาญ ลิลา, 2553)

การวางแผนและการควบคุมการผลิต มุ่งเน้นที่กระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีหน้าที่เฉพาะเพื่อบรรลุเป้าหมายของหน่วยงาน เช่น พนักงานในแผนกผลิตจะต้องทำการผลิตเพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งการดำเนินงานตามเป้าหมายนั้นจะต้องมีการวางแผนจัดการที่ดี ประกอบกับการวางแผนเผื่อเมื่อประสบกับปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น เช่น การขาดงานของพนักงาน ปัญหาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต หรือฝ่ายขายที่ต้องการมีสินค้าสำรองให้มากเพื่อเป็นการป้องกันการขาดสินค้าเมื่อมีความต้องการสูง สำหรับแผนกการเงิน ก็มีเป้าหมายในการลดต้นทุน ดังนั้นการบริหารจัดการระบบการผลิตเป็นกิจกรรมที่ต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบ บนเป้าหมายที่แตกต่าง

และเหมือนกันของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อบรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมายขององค์กร (บรรหาญ ลิลา, 2553)

ในปัจจุบันระบบการผลิตในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการนำเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ใช้ในกระบวนการผลิต การที่จะดำเนินการผลิตให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการจัดการปัจจัยต่าง ๆ ภายใต้กระบวนการผลิตให้เหมาะสม ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรเป็นหนึ่งตัวแปรสำคัญที่จะสามารถทำให้กระบวนการผลิตดำเนินการไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นภารกิจหลักของกิจกรรมงานบำรุงรักษา (คะเนย์ วรรณโท, 2553)

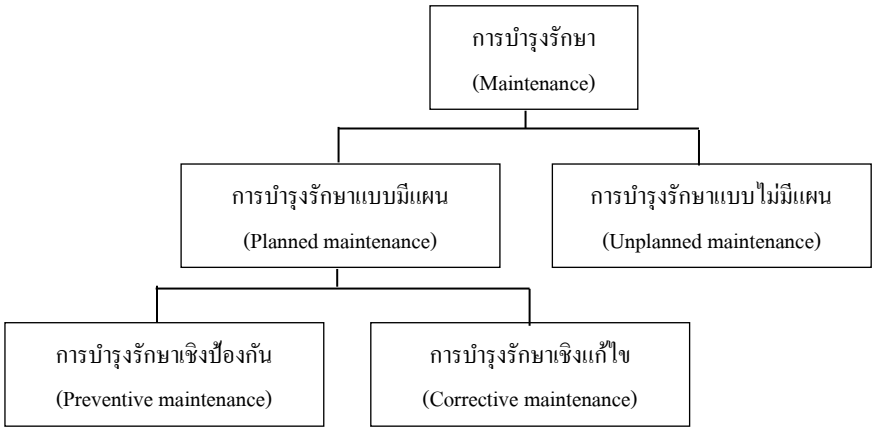
งานบำรุงรักษา (Maintenance)

ความเป็นมาของงานบำรุงรักษา ขวัญชัย หักทะเล (2557) กล่าวว่า งานบำรุงรักษา (Maintenance) หรืองานซ่อมบำรุง เป็นการดำเนินงานเพื่อให้เครื่องจักรตลอดจนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือบริการ คงอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา วินัย เวชวิทยาขลัง (2550) กล่าวถึงโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตที่มีเครื่องจักรเป็นส่วนประกอบสำคัญในการดำเนินการผลิต การบริหารจัดการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเป็นระบบเป็นเบื้องหลังของความสำเร็จส่วนหนึ่ง ในยุคแรกของอุตสาหกรรมที่ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับระบบซ่อมบำรุงจะใช้วิธีการซ่อมบำรุงรูปแบบ Breakdown maintenance หรือ BM ซึ่งเป็นรูปแบบการซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เกิดความเสียหายแล้ว ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง ระบบการผลิตอาจต้องหยุดชะงัก ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาระบบการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance หรือ PM) ซึ่งเป็นระบบที่มีการวางแผนซ่อม เปลี่ยน ตรวจสอบล่วงหน้า จึงทำให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นลดลง แต่ก็ยังเกิดค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากอะไหล่ชิ้นส่วนบางชนิด ยังสามารถใช้ต่อไปได้ โดยไม่มีความจำเป็นในการเปลี่ยนหรือซ่อม เมื่อมีการวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของเครื่องจักรได้จึงกำเนิดวิธีการบำรุงรักษาล่วงหน้า และขจัดสาเหตุขัดข้องก่อนมีการใช้งาน ซึ่งเรียกว่า การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive maintenance) ความเสื่อมสภาพของเครื่องจักรเมื่อทำงานจะต้องมีการดำเนินการเฝ้าติดตามดูแนวโน้มการเสื่อมสภาพ โดยการทำนายอายุการใช้งานเครื่องจักรล่วงหน้า เรียกระบบนี้ว่า ระบบบำรุงรักษาตามการเสื่อมสภาพ (Condition based maintenence) หรือระบบบำรุงรักษาพยากรณ์ (Predictive maintenence) เมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น การวิเคราะห์ ปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาระบบผลิต การลดความเสียหาย ทำให้เกิดความเชื่อมั่นมากขึ้นรวมถึงการร่วมมือกันในการดูแลรักษาเครื่องจักรในระบบที่ไม่ใช่เพียงแค่ฝ่ายซ่อมบำรุงเท่านั้นที่จะสามารถช่วยขจัดปัญหา ลดความสูญเสีย หรือความสูญเปล่า

ในการผลิตได้ จึงกำเนิดเป็นระบบบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total production maintenance) หรือ TPM ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล, 2555)

ความสำคัญของงานบำรุงรักษา ขวัญชัย หักทะเล (2557) พบว่า การให้ความสำคัญกับงานบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นสิ่งสำคัญปัญหาของงานซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มาจากการขาดระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (เกษม รุ่งเรือง, 2552) หรือมีสาเหตุจากการขาดการควบคุมแผนการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ (พรทิพย์ อินสองใจ และบดินทร์ รุมารถ, 2557) เมื่อเกิดปัญหาความขัดข้องของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดผลเสียตามมา เช่น ไม่สามารถผลิตสินค้าหรือบริการได้ทันตามความต้องการของลูกค้า นำมาซึ่งการสูญเสียรายได้ให้กับองค์กร อีกทั้งยังกระทบต่อรายจ่ายที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เครื่องจักรและอุปกรณ์จะต้องมีความพร้อมใช้งานได้อย่างเต็มสมรรถนะ และมีเวลาหยุดเดินเครื่องจักรเนื่องจากสาเหตุขัดข้อง (Breakdown) น้อยที่สุด โดยมีแนวทางในการดำเนินงาน เช่น การสร้างระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ไว้วางใจได้ (Reliability tactics) การวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร หรือเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้เวลาซ่อมแซม เป็นต้น (เอกชัย พิจารณ์ และนารินทร์ เกิดแก้ว, 2554) เป้าหมายเพื่อให้เกิดการผลิตสินค้าหรือบริการได้อย่างต่อเนื่อง ใช้ทรัพยากรในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพตามแผนการผลิต สามารถสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า และบุคลากรที่มีส่วนเกี่ยวข้องในระบบการผลิต

การแบ่งประเภทของงานบำรุงรักษา การซ่อมบำรุง หรือการบำรุงรักษา อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การบำรุงรักษาแบบมีแผน (Planned maintenance) และการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน (Unplanned maintenance) (อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล และณัฐพงศ์ ฉิ่นไพศาล, 2559) มีโครงสร้างหลักดังนี้ ภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ประเภทของงานบำรุงรักษา (คะเนย์ วรรณโท, 2553; ภาคินัย มนปราณีต, 2557)

การบำรุงรักษาแบบมีแผน จะทำตามกำหนดเวลาเพื่อบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ให้แน่ใจว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ส่วนมากถูกนิยามว่าเป็นการซ่อมใหญ่ มีการดำเนินการจัดการอย่างเป็นระบบและวางแผนไว้ล่วงหน้า เพื่อให้สามารถแน่ใจได้ว่าหน้าที่ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใด ๆ จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หลีกเลี่ยงการหยุดชะงัก และการขัดข้องของเครื่องจักร จึงต้องมีการดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการบำรุงรักษาต่าง ๆ ให้เครื่องจักรและอุปกรณ์มีความเชื่อมั่นสูง และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ลักษณะของการบำรุงรักษาแบ่งเป็น การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective maintenance) แสดงรายละเอียดดังนี้ (อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล และณัฐพงศ์ ฉิ่นไพศาล, 2559)

1. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) มีเป้าหมายป้องกันไม่ให้เครื่องจักรชำรุดเสียหาย แบ่งเป็น 2 ลักษณะ (สุวิทย์ ภูลี และปารเมศ ชุติมา, 2555)

1.1 การบำรุงรักษาขณะเดินเครื่อง (Running maintenance) การบำรุงรักษาประเภทนี้สามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องทำการหยุดเดินเครื่องจักร เช่น การหล่อลื่น เป็นต้น

1.2 การบำรุงรักษาขณะหยุดเครื่อง (Shutdown maintenance) จะกระทำตามแผนการบำรุงรักษาที่แน่นอนแต่จะต้องมีการหยุดเดินเครื่องจักร เช่น การเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ เป็นต้น

2. การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective maintenance) เป็นการบำรุงรักษาตามแผนมีเป้าหมายเพื่อทำการแก้ไขให้เครื่องจักรกลับสู่สภาวะการทำงานปกติ สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ (สุวิทย์ ภูลี และปารเมศ ชุติมา, 2555) ดังนี้

2.1 การบำรุงรักษาขณะหยุดเครื่อง (Shutdown maintenance) ดำเนินการอย่างมีแบบแผนแน่นอน เช่น การซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่เสียหายแต่ไม่มีความจำเป็นต้องซ่อมในทันที

2.2 การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องขัดข้อง (Breakdown maintenance) เป็นรูปแบบการดำเนินการตามแผนที่กำหนดไว้แล้วว่าเมื่อเกิดเครื่องจักรชำรุดเสียหาย จะมีการปฏิบัติอย่างไร

งานซ่อมบำรุงที่ไม่มีแผน เป็นการดำเนินงานในรูปแบบที่ไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า แก้ไขตามสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น รูปแบบการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผนส่งผลต่อระบบการผลิต การผลิตต้องหยุดเพื่อรอตั้งแต่การพิจารณาปัญหา เวลาที่รอคอยการซ่อมบำรุง หรือเวลาการรอคอยอะไหล่เมื่อไม่ได้มีการสำรองไว้เพื่อเหตุฉุกเฉิน ตลอดจนการสรรหาบุคคลากรที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงตามสาเหตุการขัดข้อง สูญเสียเวลาในการทำงานของพนักงาน และส่งผลเสียต่อองค์กรในด้านค่าใช้จ่ายในการซ่อมมักมีมูลค่าสูงกว่าการซ่อมบำรุงรูปแบบอื่น ๆ (อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล และณัฐพงศ์ ฉิ่นไพศาล, 2559)

ความสูญเปล่าในงานบำรุงรักษา การบำรุงรักษาตามแนวคิดลีน เป็นแนวทางการบำรุงรักษาเชิงรุกที่มุ่งเน้นให้เกิดการลดความสูญเปล่าในงานซ่อมบำรุง โดยองค์กรจะต้องมีการดำเนินงานภายใต้แนวคิดการบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม TPM อย่างต่อเนื่อง การลดความสูญเปล่าในงานบำรุงรักษา เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินเครื่องจักร ซึ่งความสูญเปล่าในงานบำรุงรักษาสามารถแบ่งได้ดังนี้ (โกศล ดีศีลธรรม, ม.ป.ป.)

1. การรอคอย เป็นความสูญเสียที่ไม่ก่อเกิดงาน หรือคุณค่า เช่น การรอคอยในการซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหาย

2. การผลิตที่มากเกินไป เป็นการคาดการณ์สำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Over maintenance) ก่อเกิดค่าใช้จ่ายสูงแต่ไม่สร้างคุณค่า

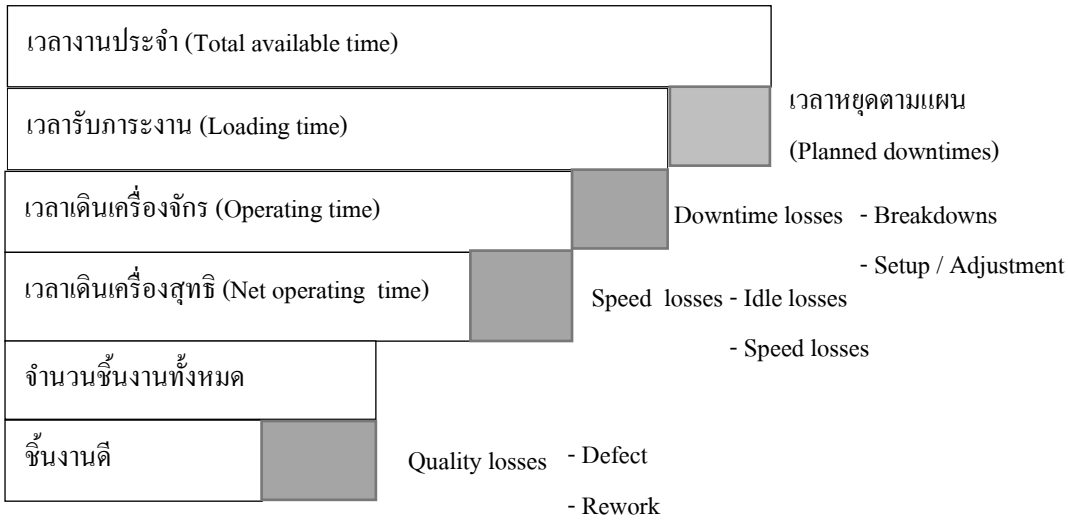
3. การขนส่ง ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อฝ่ายซ่อมบำรุงดำเนินการซ่อมล่าช้า เนื่องจากการค้นหาเครื่องมือ หรือการรอเบิกอะไหล่ ทำให้สูญเสียเวลาโดยไม่เกิดคุณค่า

4. ความสูญเสียจากการสต็อก ชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare parts) ที่ไม่มีความจำเป็นหรือไม่ค่อยมีการเบิกไปใช้มักมีความเสื่อมสภาพ หรือไม่มีการบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ ส่งผลต่อความพร้อมใช้งานเมื่อมีความต้องการเบิกอะไหล่เร่งด่วน ส่งผลต่อการรอคอยสะสมเช่นเดียวกับจุดคอขวดในสายการผลิต

5. การเคลื่อนไหว ความสูญเปล่าจากการดำเนินการซ่อมบำรุงที่ไม่มีผลต่อการปรับปรุงสมรรถนะการเดินเครื่องจักร เช่น การตรวจสอบสภาพการใช้งานทุก ๆ สัปดาห์โดยที่มีการใช้งานได้ปกติหรืออยู่ในระยะเวลาประกัน

6. การเกิดของเสีย ความสูญเสียเกิดขึ้นจากการดำเนินการบำรุงรักษาในจุดเดิมซ้ำ ๆ เนื่องจากดำเนินการแก้ไขปัญหาไม่เหมาะสม ไม่คำนึงถึงสาเหตุของปัญหา หรือทักษะของผู้ปฏิบัติงานไม่มีเพียงพอ เป็นต้น

การประเมินประสิทธิภาพงานบำรุงรักษา วินัย เวชวิทยาขลัง (2550) ระบุว่า ประสิทธิภาพในงานบำรุงรักษา ประเมินจากประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall equipment effectiveness) เป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการทำงานได้ของเครื่องจักร และเป็นหนึ่งในดัชนีชี้วัดความสำเร็จของการบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) ซึ่งเป็นการประเมินทั้งประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องจักร ไม่ใช่การประเมินประสิทธิภาพของพนักงาน แต่ให้ความสนใจที่ความสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานเครื่องจักร สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2-2 การประเมินค่า OEE มี 3 ดัชนีที่สัมพันธ์กัน คือ อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance rate) อัตราคุณภาพ (Quality rate) ดังนี้ (ภาคินัย มนปราณีต, 2557)



ภาพที่ 2-2 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE)

1. อัตราการเดินเครื่องจักร (Availability หรือ A) เป็นค่าดัชนีที่แสดงความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรในการทำงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่เครื่องจักรเกิดการหยุด (Downtime) มีสาเหตุมาจากความขัดข้อง (Breakdown) หรือการปรับแต่งเครื่องจักร (Setup time/ Adjustment) เป็นต้น (กาญจนา จิตรจุน, 2550; ภาคินัย มนปราณีต, 2557) คำนวณได้ดังสมการที่ 2-1 และ 2-2

$$\text{อัตราการเดินเครื่องจักร(A)} = \frac{\text{เวลารับภาระงาน} - (\text{เวลาที่เครื่องจักรหยุด})}{\text{เวลารับภาระงาน}} \text{ X } 100 \qquad (2\text{-}1)$$

$$\text{อัตราการเดินเครื่องจักร(A)} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องจักร}}{\text{เวลารับภาระงาน}} \text{ X } 100 \qquad (2\text{-}2)$$

2. ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance rate) แสดงสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร โดยมีเกณฑ์เป้าหมายระดับโลกเท่ากับหรือสูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรขึ้นกับการสูญเสียที่เกิดขึ้นมากจาก การหยุดเล็กน้อย การเดินเครื่องเปล่า (Idle Loss) การสูญเสียความเร็ว (Speed loss) เป็นต้น เวลาการเดินเครื่องจักรจะไม่เท่ากับเวลารับภาระงานเนื่องจากความสูญเสียดังกล่าวจึงทำให้เวลาการเดินเครื่องลดน้อยลงไปอีก เมื่อนำเวลาการเดินเครื่องจักรหักล้างกับเวลาที่สูญเสียแล้ว จะได้เวลาที่เดินเครื่องสุทธิ และคำนวณหาประสิทธิภาพการเดินเครื่องดังสมการที่ 2-3 และ 2-4

$$\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P)} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องจักร} - (\text{เวลาที่สูญเสียในการเดินเครื่องจักร})}{\text{เวลาเดินเครื่องจักร}} \text{ X } 100 \quad (2\text{-}3)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P)} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ}}{\text{เวลาเดินเครื่องจักร}} \text{ X } 100 \quad (2\text{-}4)$$

หากในทางปฏิบัติไม่สามารถคำนวณเวลาที่สูญเสียได้ ประสิทธิภาพการเดินเครื่องจักรสามารถประเมินได้จาก สมการที่ 2-5 และ 2-6

$$\text{P} = \frac{\text{เวลามาตรฐาน}}{\text{รอบเวลาจริง}} \; \boldsymbol{x} \; \frac{\text{จำนวนงานที่ผลิตได้ } \boldsymbol{x} \text{ รอบเวลาจริง}}{\text{เวลาเดินเครื่องจักร}} \quad (2\text{-}5)$$

$$\text{P} = \frac{\text{เวลามาตรฐาน } \boldsymbol{x} \text{ จำนวนงานที่ผลิตได้}}{\text{เวลาเดินเครื่องจักร}} \text{ X } 100 \quad (2\text{-}6)$$

3. อัตราคุณภาพ (Quality rate) เป็นดัชนีแสดงความสามารถในการผลิตของดีที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ การสูญเสียคุณภาพ (Quality loss) เกิดจากสาเหตุ เช่น ของเสีย (Defect) งานซ่อม (Rework) เป็นต้น สามารถคำนวณอัตราคุณภาพได้ดังสมการที่ 2-7

$$\text{อัตราคุณภาพ (Q)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \text{ X } 100 \quad (2\text{-}7)$$

4. การคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมทั้งหมดของเครื่องจักร (OEE) เป็นค่าที่ได้จากผลคูณของดัชนีดังกล่าวทั้ง 3 ดัชนี ดังสมการที่ 2-6

$$\text{OEE} = \text{A x P x Q} \quad (2\text{-}6)$$

ธีรศักดิ์ พรหมแสน (2556) การวางแผนงานบำรุงรักษามีความสำคัญยิ่งต่อประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ในกระบวนการผลิตจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการดำเนินงานวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน (Downtime) เนื่องจากความขัดข้อง (Breakdown) น้อยที่สุด เมื่อเครื่องจักรมีการทำงานได้อย่างเต็มสมรรถนะก็จะส่งผลให้กระบวนการ

ผลิตสามารถดำเนินไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งส่งผลเชื่อมโยงให้เกิดความสมบูรณ์ภายในห่วงโซ่อุปทาน

การบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง (Spare parts management)

ความหมายของสินค้าคงคลัง

สินค้าคงคลัง (Inventory) หมายถึง ทรัพยากรที่องค์กรเก็บไว้หรือนำมาใช้ในการผลิต (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559)

สินค้าคงคลัง หมายถึง รายการพัสดุที่เก็บไว้เพื่อเป็นส่วนประกอบในการผลิต จัดเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนในธุรกิจที่ต้องจัดการให้คุ้มค่าต่อการลงทุน (ปวีณา ภูเขม่า, 2557)

การจัดการสินค้าคงคลัง หมายถึง การจัดการให้มีพัสดุและสินค้าในการรองรับการผลิตหรือบริการ เพื่อตอบสนองการบริการของลูกค้าและมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด (ปวีณา ภูเขม่า, 2557)

ดังนั้นการจัดการสินค้าคงคลัง จึงหมายถึงการจัดการทรัพยากรที่มีในระบบ อันเป็นส่วนประกอบในการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุดบนต้นทุนที่ต่ำที่สุด

สินค้าคงคลังถือเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญในห่วงโซ่อุปทาน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบนโยบายการบริหารจัดการส่งผลต่อความมีประสิทธิภาพ และความรวดเร็วในการตอบสนองต่อความต้องการการเก็บสินค้าคงคลังสำรองไว้จำนวนมากทำให้สามารถตอบสนองได้รวดเร็ว มีระดับบริการที่สูง ถึงแม้ว่าการมีระดับคงคลังสูงจะส่งผลให้ต้นทุนสูง อย่างไรก็ตามการมีสินค้าคงคลังเป็นจำนวนมากอาจส่งผลกระทบต่อความเสื่อมสภาพของสินค้าทำให้เกิดต้นทุนเสียโอกาสที่เพิ่มสูงขึ้นได้ บทบาทที่สำคัญของวัสดุคงคลังในห่วงโซ่อุปทาน คือ การจัดการให้สามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการได้อย่างเพียงพอเมื่อเกิดความต้องการโดยลดต้นทุนให้ต่ำที่สุด (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559)

ระบบการควบคุมสินค้าคงคลัง

ระบบการควบคุมสินค้าคงคลังเป็นการประเมินว่าจะต้องสั่งซื้อมาในปริมาณเท่าใด เมื่อใด ซึ่งแบ่งรูปแบบการควบคุมออกเป็น 2 ระบบพื้นฐาน ได้แก่ ระบบสินค้าคงคลังต่อเนื่องหรือปริมาณการสั่งคงที่ (Continuous or Fixed order quantity system) และระบบช่วงเวลาหรือระยะเวลาการสั่งคงที่ (Periodic or Fixed time period system) (บรรหาญ ลิลา, 2553)

1. ระบบสินค้าคงคลังต่อเนื่องหรือปริมาณการสั่งคงที่ (Continuous or Fixed order quantity system) เป็นระบบสินค้าคงคลังที่ต้องมีการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา ทำการสั่งเมื่อถึงระดับที่กำหนดไว้ (Reorder point) และสั่งเป็นปริมาณคงที่เท่ากันทุกครั้ง ตามที่นโยบายขององค์กรกำหนด ซึ่งจะต้องเป็นนโยบายที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมมีค่าต่ำสุด หรือเรียกว่า ปริมาณการสั่งที่

ประหยัด (Economic order quantity หรือ EOQ) ระบบนี้มีการลงบันทึกทุกครั้งที่มีการรับและจ่ายสินค้า ซึ่งส่งผลให้ระบบนี้มีค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการสูง (บรรหาญ ลิลา, 2553; พงษ์ทัย กงยนต์, 2557) การกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ทำให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการจัดซื้อในแต่ละครั้งส่งผลให้เกิดความรวดเร็วในการจัดซื้อ แต่หากไม่ได้มีการกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ที่แน่นอนก็อาจส่งผลต่อการเสียเวลาในการตรวจสอบสินค้าคงคลังตลอดเวลา (อมรศิริ ดิสสร, 2556)

2. ระบบช่วงเวลาหรือระยะเวลาการสั่งคงที่ (Periodic or Fixed time period system) ระบบสินค้าคงคลังที่มีการตรวจสอบเป็นระยะตามกำหนดที่แน่นอนและสม่ำเสมอ เช่น ทุกสัปดาห์หรือทุกปลายเดือน เป็นต้น โดยจะทำการสั่งซื้อในปริมาณที่จะทำให้ระดับคงคลังอยู่ในระดับที่กำหนด สามารถตัดสินใจได้ 2 กรณี คือ จำนวนการสั่งซื้อในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับระดับสินค้าคงคลังที่มีอยู่กับระดับสินค้าคงคลังสูงสุด หรืออาจสั่งซื้อในปริมาณเท่ากันทุกครั้งเมื่อได้กำหนดเวลาการสั่งซื้อใหม่อย่างแน่นอนแล้ว (อมรศิริ ดิสสร, 2556) ส่วนช่วงเวลาที่ไม่ได้อยู่ในระยะเวลาการตรวจนับจะไม่มีการตรวจ หรือมีระบบการบันทึกตลอดเวลาแบบระบบต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการที่ต่ำกว่า แต่ก็อาจทำให้เกิดการสูญเสียหากขาดการควบคุมสินค้าคงคลังอย่างใกล้ชิด เช่น สินค้าขาดแคลน หรือสินค้าคงคลังที่มากเกินไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระบบนี้จะมีระดับสินค้าคงคลังเหลือสูงกว่าระบบต่อเนื่อง เพราะมีการคำนวณสินค้าสำรองเผื่อ (Safety Stock) ขาดมือร่วมด้วย (บรรหาญ ลิลา, 2553; พงษ์ทัย กงยนต์, 2557; อมรศิริ ดิสสร, 2556)

พงษ์ทัย กงยนต์ (2557) ระบุว่า อย่างไรก็ตามการกำหนดรูปแบบการควบคุมอาจขึ้นอยู่กับความสำคัญของสินค้าคงคลังแต่ละประเภท สำหรับการใช้ระบบสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องจะเผื่อสินค้าในช่วงระยะเวลารอคอยเท่านั้น ทำให้มีสินค้าเผื่อในปริมาณที่น้อยกว่าระบบช่วงเวลาที่จะคำนวณการเผื่อทั้งในช่วงระยะเวลาการรอคอยและช่วงระยะเวลาการสั่งซื้อในแต่ละครั้งด้วย แต่ก็ไม่สามารถตรวจสอบสินค้าคงคลังแต่ละชนิดได้อย่างอิสระและเข้มงวดโดยเฉพาะรายการที่มีราคาสูงได้เหมือนกับระบบต่อเนื่อง การแบ่งประเภทของสินค้าคงคลัง ปวีณา ภูเขม่า (2557) ได้สรุปสินค้าคงคลังเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.1 วัตถุดิบ (Raw material) เป็นของคงคลังที่จะต้องเข้าสู่กระบวนการผลิต และกลายเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มีมูลค่าเพิ่มขึ้นเมื่อไหลผ่านกระบวนการผลิต

2.2 สินค้าคงคลังระหว่างการผลิต (Work in process หรือ WIP) เป็นสินค้าที่มีการดำเนินการในกระบวนการผลิตแต่ยังไม่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ และต้องรอเข้ากระบวนการผลิตต่อไป

2.3 สินค้าสำเร็จรูป (Finished good) เป็นสินค้าที่ผ่านกระบวนการผลิตจนถึงขั้นสุดท้ายของกระบวนการจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมนำไปขายให้ลูกค้า และมีการเก็บรักษาใน

คลังสินค้าก่อนที่จะทำการส่งมอบให้ลูกค้า ดังนั้นจึงมีความสำคัญต่อการควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังประเภทนี้ให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

2.4 วัสดุซ่อมบำรุง (Spare parts) เป็นสินค้าประเภทชิ้นส่วน หรืออะไหล่ที่นำมาใช้ในงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร ที่สำรองไว้เผื่อเปลี่ยนเมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายหรือหมดอายุการใช้งาน (ปวีณา ภูเขม่า, 2557) โดยการจัดการกับสินค้าคงคลังประเภทนี้เป็นการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะการขาดแคลนอะไหล่ หรือมีการเก็บอะไหล่ที่มากเกินความจำเป็น ซึ่งมีความสำคัญและส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตโดยรวม (กิตติศักดิ์ จิตต์เกื้อ และจิรวัฒน์ สุวรรณพฤกษ์, 2552)

นอกจากนี้ยังอาจหมายความรวมถึง แรงงาน เงินลงทุน เครื่องมือ เครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557; ธีทัต สุดพิทักษ์, 2559) เมื่อมองจากมุมมองของการผลิต วัตถุประสงค์หลักของการบริหารจัดการ วิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลัง คือ การจัดเตรียมของคงคลังให้เพียงพอเพื่อสนองความต้องการของลูกค้าด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม (บรรหาญ ลิลา, 2553)

สินค้าคงคลังประเภทวัสดุซ่อมบำรุง (Spare parts)

สินค้าคงคลังประเภทวัสดุซ่อมบำรุง (Spare parts) หรือชิ้นส่วนอะไหล่ มีความสำคัญสำหรับงานบำรุงรักษาเครื่องจักรสำคัญในกระบวนการผลิต เนื่องจากจะต้องมีการจัดการให้พร้อมใช้งานและรองรับต่อการบำรุงรักษาทั้งในแผนและนอกแผนของเครื่องจักร การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ในงานซ่อมบำรุงส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร OEE หากมีการเสียเวลาในกระบวนการซ่อมที่มีสาเหตุมาจากความพร้อมต่อการใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่ อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในระบบได้ การขาดการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่อย่างเหมาะสม เกิดจากสาเหตุการประเมินปริมาณการจัดซื้อและความต้องการไม่สอดคล้องกัน ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอะไหล่ หรือเก็บสต็อกมากเกินความจำเป็นได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ให้มีประสิทธิภาพนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากรูปแบบของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุง มักมีความต้องการต่ำ อีกทั้งยังมีความหลากหลายของชนิดอะไหล่ที่ใช้กับเครื่องจักรแต่ละประเภท จึงทำให้การหาความสมดุลในการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ทำได้ยาก ประกอบกับมูลค่าของอะไหล่เครื่องจักรบางชนิดมีราคาสูง การตัดสินใจเก็บในปริมาณมากอาจส่งผลให้เกิดเงินจมที่มีมูลค่ามหาศาล ดังนั้นการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ หรือวัสดุซ่อมบำรุงอย่างเป็นระบบ จึงมีความสำคัญต่อการลดเวลาในการซ่อมบำรุง (Repair time) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในสายการผลิต (สุพรรณ์ ทองเพชร, 2554; หัสนัย สำเร็จ, ศักดิ์ชาย รักการ, ปพน สีหอมชัย และอนัญญา จินดาวัฒนะ, 2557)

สุพรรณ์ ทองเพชร (2554) แบ่งชิ้นส่วนอะไหล่หรือวัสดุซ่อมบำรุงเป็น 9 ประเภท ได้แก่

1. อะไหล่พิเศษเฉพาะเครื่อง (Unique parts) เป็นอะไหล่ที่ใช้ได้กับเฉพาะเครื่องจักรใดเครื่องหนึ่งเท่านั้น จัดเป็นอะไหล่ที่มีความสำคัญและจะต้องจัดซื้อโดยตรงกับผู้ผลิตหลัก จึงต้องคำนึงถึงความสำคัญในการสำรองไว้ในคลังเป็นอันดับแรก

2. อะไหล่ประกันเตรียมพร้อม (Insurance and Standby spare parts) เป็นอะไหล่ที่มาจากการประกันความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรรวมถึงเครื่องจักรประกันความพร้อม และอะไหล่พิเศษเฉพาะเครื่องอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องจัดให้มีในคลังตลอดเวลา เนื่องจากอะไหล่ประเภทนี้ส่งผลต่อการหยุดชะงักในการดำเนินการซ่อมบำรุง

3. อะไหล่ที่สามารถใช้ได้กับเครื่องหลายเครื่อง (Interchangeable parts) เป็นอะไหล่ทั่วไปที่สามารถใช้ได้กับเครื่องหลายเครื่อง เช่น ตลับลูกปืน สายพาน เป็นต้น

4. อะไหล่และวัสดุทั่วไป ที่เป็นอะไหล่สำหรับการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน และสามารถตัดสินใจสั่งซื้อได้เมื่อมีความต้องการใช้งาน (Order as required)

5. อะไหล่ที่เป็นสินทรัพย์ถาวร (Capitalized parts) อะไหล่ประเภทนี้มีมูลค่าต่อหน่วยสูง จัดเป็นกลุ่มอะไหล่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอะไหล่ประกันเตรียมพร้อม และมีความสำคัญในการคำนึงถึงการจัดเก็บสต็อกไว้ในคลัง

6. อะไหล่วัสดุทั่วไป (General used items) จัดเป็นวัสดุที่เป็นองค์ประกอบทั่วไปในโครงสร้างหน่วยผลิต ได้แก่ ท่อ วาล์ว สกรู หลอดไฟ รวมถึงสิ่งของสิ้นเปลืองต่าง ๆ เป็นต้น

7. เคมีและก๊าซ (Chemical and Gas) อะไหล่ประเภทนี้จะกำหนดการจัดเก็บสต็อกไว้ตามมาตรฐาน เช่น ก๊าซเพื่อการทำความสะอาด หรือสารละลายต่าง ๆ เป็นต้น

8. เครื่องมือและเครื่องมือกล (Tools and Machine tools) เป็นอะไหล่ที่จัดเป็นวัสดุโรงงานประเภทหนึ่ง ส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในประเภทสินทรัพย์ถาวรที่เคลื่อนที่ได้ เช่น ดอกสว่าน ไขควง และเครื่องมือที่ราคาต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจะถูกจัดเป็นทรัพย์สินถาวร

9. อะไหล่สำรองเดินเครื่องครั้งแรก มาจากการเพิ่มเครื่องจักรใหม่ หรือเดินเครื่องใหม่ในครั้งแรก

นิตยา เซ่งถาวร (2549); สุพรรณ์ ทองเพชร (2554) แบ่งจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำหรับงานดูแลการทดสอบการใช้งาน (Commissioning spare part) และการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำหรับงานบำรุงรักษา (Maintenance spare part) ซึ่งแบ่งใช้ตามรูปแบบการบำรุงรักษา 2 ลักษณะ ดังนี้

1. อะไหล่ไม่สำรองเพื่องานตามแผน (Planned maintenance) คือ อะไหล่ที่ใช้กับงานตามแผนที่จะต้องมีการสั่งซื้อตามแผนการใช้งาน โดยไม่ต้องเก็บรอไว้ในคลัง หรือเรียกลักษณะนี้ว่า Just in time อย่างไรก็ตามการสำรองอะไหล่รูปแบบนี้ยังคงมีความแปรปรวนสูง ในกรณีของ

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่สามารถใช้ร่วมกันได้หลายเครื่องจักร โดยที่แต่ละเครื่องจักรมีตารางการใช้งานไม่พร้อมกัน ส่งผลให้ความต้องการอะไหล่สามารถคาดการณ์ได้ยาก เวลาที่ครบกำหนดไม่พร้อมกัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยทำการคำนวณร่วมกันกับงานนอกแผน ที่มีการกำหนดระดับ Max-Min อะไหล่คงคลังสำรอง เป็นต้น

2. อะไหล่สำรองคลังเพื่องานบำรุงนอกแผน (Unplanned maintenance) งานนอกแผนเป็นงานที่ไม่สามารถทราบได้ว่าจะเกิดความสูญเสียขึ้นเมื่อใด การเก็บอะไหล่สำรองในปริมาณที่ไม่เหมาะสมเพื่อจัดการกับความเสี่ยงในการเกิดความขัดข้องนั้น ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง โดยเฉพาะกับชิ้นส่วนที่มีราคาสูง (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557) ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนการจัดการกับชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานได้เมื่อเครื่องจักรขัดข้อง หรือชำรุดเสียหาย และขจัดความเสี่ยงต่อการขาดแคลนอะไหล่ โดยการสำรองชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังของงานนอกแผนจะมีความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในรูปแบบที่ไม่แน่นอน วิธีการช่วยลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น คือ การวางแผนบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำรองเพื่อให้ตอบสนองปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอน และพร้อมนำไปใช้งานเมื่อเครื่องจักรเกิดความขัดข้อง โดยไม่ต้องสูญเสียเวลาในการรอคอยชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว (2559); สุพรรณ์ ทองเพชร (2554) ระบุว่าการบริหารจัดการกับชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรมีหลายปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ มูลค่าของชิ้นส่วน อัตราการใช้งาน ต้นทุนในการเก็บรักษา ความวิกฤติของชิ้นส่วนอะไหล่ต่อการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง

การควบคุมอะไหล่คงคลังส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการสั่งซื้อ การจัดเก็บ และส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการเสียโอกาสเมื่อเกิดการขาดแคลนอะไหล่ โดยการบริหารจัดการค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องสรุปได้ดังนี้ (บรรหาญ ลิลา, 2553; ธีทัต สุดพิทักษ์, 2559)

1. ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งอะไหล่ต่าง ๆ โดยปกติอยู่ในหน่วยเงินตรา เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ ไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณการสั่ง แสดงในรูปแบบเงินตราต่อการซื้อหนึ่งครั้ง ประกอบด้วย ค่าเอกสาร ค่าติดต่อสั่งซื้อ การขนส่ง เป็นต้น

2. ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Carrying cost) คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาอะไหล่คงคลังเพื่อให้อะไหล่คงคลังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ ประกอบด้วย ต้นทุนจมที่อยู่กับอะไหล่ ซึ่งนั่นหมายถึง อัตราดอกเบี้ยเมื่อต้นทุนนั้นมาจากการกู้ยืม หรือค่าเช่าคลังอะไหล่ เป็นต้น การเก็บเป็นจำนวนมากจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายส่วนนี้สูง ส่งผลให้เกิดการเสียโอกาสในการนำเงินไปลงทุนด้านอื่น ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาประเมินในหน่วยของเงินตรา เช่น บาทต่อชิ้นต่อปี เป็นต้น

3. ค่าใช้จ่ายเมื่อมีของขาดมือ (Shortage cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อไม่มีอะไหล่ตอบสนองต่อความต้องการใช้งานในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเมื่อเกิดความขัดข้อง ซึ่งอาจส่งผลให้กระบวนการผลิตหยุดลง และอาจเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถมีของส่งให้ลูกค้าตามเวลาที่กำหนด แสดงในรูปแบบค่าปรับตามที่ตกลงในสัญญาซื้อขาย หรือในรูปแบบของการสูญเสียชื่อเสียง ความเชื่อมั่น เป็นต้น

4. ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) เป็นค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง แสดงผลรวมของค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และรวมกับค่าใช้จ่ายของขาดมือเมื่อมีการพิจารณาร่วมด้วย (อาคม ชินวงศ์, 2550)

การแบ่งกลุ่มอะไหล่ซ่อมบำรุง ธีทัต สุดพิทักษ์ (2559); ธีรพงษ์ พรมประเสริฐ (2555); บรรหาญ ลิลา (2553); พงษ์ทัย กงยนต์ (2557) กล่าวว่าการแบ่งกลุ่มอะไหล่ซ่อมบำรุงเป็นการจำแนกความสำคัญในการควบคุมของคงคลังเพื่อให้ค่าใช้จ่ายการดำเนินงานของสินค้าคงคลังมีค่าต่ำสุด ภายใต้การควบคุมที่เหมาะสม ชิ้นส่วนอะไหล่มักประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายชนิดที่จะต้องมีการจัดลำดับความสำคัญ โดยวิธีพื้นฐานทั่วไปใช้ ABC analysis มีพื้นฐานจากหลักการพาเรโต พิจารณาการแบ่งประเภทจากอัตราการใช้งานต่อปี ความต้องการใช้งานต่อปี และราคาต่อหน่วยเฉลี่ย ซึ่งแบ่งอะไหล่คงคลังออกเป็น 3 ประเภท A จะเป็นอะไหล่ที่มีมูลค่าหมุนเวียนมากที่สุด B เป็นระดับปานกลาง และ C ระดับต่ำสุด สามารถแบ่งได้ดังตารางที่ 2-1

อะไหล่คงคลังประเภท A มีปริมาณคงคลังประมาณ 5–15 เปอร์เซ็นต์ ของรายการอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด แต่จะมีมูลค่าสูงที่สุดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด

อะไหล่คงคลังประเภท B มีปริมาณคงคลังประมาณ 20–30 เปอร์เซ็นต์ ของรายการอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด แต่จะมีมูลค่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด

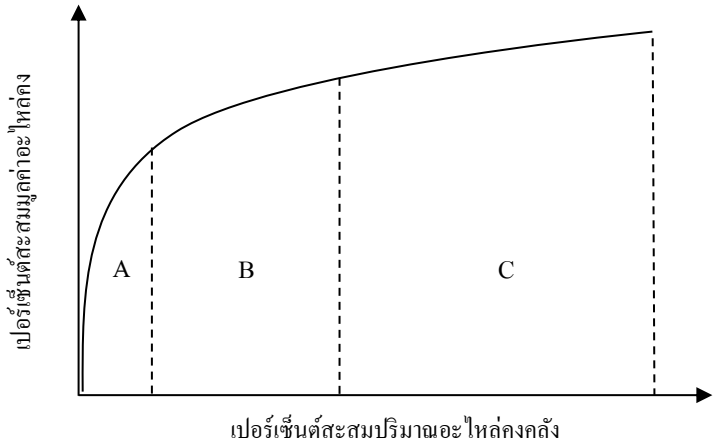
อะไหล่คงคลังประเภท C มีปริมาณคงคลังในสัดส่วนที่คงเหลือของรายการอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด แต่จะมีมูลค่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าอะไหล่ซ่อมบำรุงทั้งหมด

ตารางที่ 2-1 การแบ่งประเภทอะไหล่คงคลังตามวิธีการ ABC analysis (บรรหาญ ลิลา, 2553)

ประเภท	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	มูลค่า (เปอร์เซ็นต์)
A	5-15	80
B	20-30	15
C	ส่วนที่เหลือ	5

บรรหาญ ลิลา (2553) สรุปว่าเกณฑ์ในการกำหนดเพื่อแบ่งประเภทของอะไหล่คงคลังนี้เป็นเกณฑ์ที่กล่าวถึงในหนังสือ ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีการปรับให้เหมาะสมกับงานได้ เช่น งานวิจัยของ ธีรพงษ์ พรมประเสริฐ (2555), ธีทัต สุดพิทักษ์ (2559) และพงษ์ทัย กงยนต์ (2557) เป็นต้น ขั้นตอนการดำเนินการแบ่งอะไหล่คงคลังตามระบบ ABC สรุปได้ดังนี้ (ธีรพงษ์ พรมประเสริฐ, 2555; พงษ์ทัย กงยนต์, 2557 และธีทัต สุดพิทักษ์, 2559)

1. คำนวณปริมาณการใช้งานของอะไหล่คงคลังในรอบเวลา
2. เก็บข้อมูลราคาของอะไหล่คงคลังต่อหน่วยของแต่ละประเภท
3. คำนวณหามูลค่าของอะไหล่คงลังที่หมุนเวียนในรอบปี ได้จากผลคูณของปริมาณการใช้อะไหล่คงคลังแต่ประเภทในรอบเวลากับราคาต่อหน่วย
4. เรียงลำดับรายการของอะไหล่คงคลังแต่ละประเภทตามมูลค่าจากมากไปน้อย
5. คำนวณเปอร์เซ็นต์สะสมของปริมาณและมูลค่าของอะไหล่คงคลังตามลำดับ
6. สร้างกราฟโดยให้เปอร์เซ็นต์สะสมของปริมาณของอะไหล่คงคลังเป็นแกนแนวนอน (X) และให้เปอร์เซ็นต์สะสมมูลค่าของอะไหล่คงคลังเป็นแกนแนวตั้ง (Y) ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างการสร้างกราฟแบ่งประเภทอะไหล่โดยใช้วิธี ABC

แนวทางการควบคุมสินค้าคงคลังในแต่ละประเภทจะต้องมีการพิจารณาถึงมาตรการในการควบคุม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการบริหารจัดการของคงคลัง โดยสินค้าประเภท A จำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมอย่างเข้มงวด และมีการบันทึกและตรวจสอบข้อมูลการสั่งและการใช้งานอย่างถูกต้อง แผนกจัดซื้ออาจต้องมีการสำรองสินค้าในปริมาณมากที่สอดคล้องกับปริมาณการใช้งาน เพื่อให้ไม่เกิดการขาดสินค้าหรือเก็บไว้มากเกินความจำเป็นและจะต้องอยู่ใน

ระดับที่ทำให้ระดับการบริการดีเยี่ยม สำหรับสินค้าประเภท B ของคงคลังประเภทนี้ จะมีการกำหนดช่วงเวลาในการควบคุมและตรวจสอบ เช่น ทุก ๆ 1-2 เดือน เป็นต้น โดยผ่านระบบควบคุมทางคอมพิวเตอร์ การพิจารณาการสั่งซื้อจะไม่บ่อยเท่ากับของคงคลังประเภท A โดยสั่งให้มีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการและไม่ควรมีต้นทุนของขาดแคลนเกิดขึ้น (Shortage cost) แม้ว่าจะมีการสั่งซื้อไม่บ่อยครั้ง ส่วนสินค้าประเภท C เป็นของคงคลังที่มีปริมาณมาก แต่มีมูลค่าต่ำ ดังนั้นการควบคุมของคงคลังจึงไม่มีความเข้มงวดนัก (ธีรพงษ์ พรมประเสริฐ, 2555; พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559)

การแบ่งกลุ่มอะไหล่ด้วยวิธีการ ABC เป็นพื้นฐานที่นิยมใช้ เช่น งานวิจัย ปวีณา ภูเขม่า (2557); ศิริกานดา คำภูษา (2559) นอกจากนี้เมื่อมีการวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น การทำงานของเครื่องจักรประเภทนั้น ๆ อาจแบ่งตามความวิกฤติของเครื่องจักร ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์ ABC (ABC analysis) และความสำคัญของเครื่องจักร VED (Vital/ Essential/ Desirable) หรือเรียกว่า ABC-VED matrix การแบ่งกลุ่ม ABC จะใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้เพื่อการซ่อมบำรุงของชิ้นส่วนอะไหล่ และราคาต่อหน่วย แบ่งกลุ่มตามหลักของพาเรโต ดังนั้นมูลค่าของชิ้นส่วนอะไหล่คำนวณได้ ดังสมการที่ 2-7

$$\text{มูลค่าของการใช้} = \text{ปริมาณที่ใช้} \times \text{ราคาต่อหน่วย} \qquad (2\text{-}7)$$

โดยกำหนดร้อยละมูลค่าสะสมเมื่อเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้

กลุ่ม A คือ กลุ่มที่มีมูลค่าสะสม ร้อยละ 0-80 ของมูลค่าทั้งหมด

กลุ่ม B คือ กลุ่มที่มีมูลค่าสะสม ร้อยละ 80-95 ของมูลค่าทั้งหมด

กลุ่ม C คือ กลุ่มที่มีมูลค่าสะสม ร้อยละ 95-100 ของมูลค่าทั้งหมด

VED มีเกณฑ์การจัดลำดับอะไหล่ตามความสำคัญของเครื่องจักร ดังนี้ (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557; บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว, 2559)

V (Vital) กลุ่มที่อะไหล่มีความสำคัญมากที่สุด มีต้นทุนจากผลกระทบของการหยุดงาน (Downtime) สูงมากมีผลต่อการทำงานของเครื่องจักร ทำให้ไม่สามารถทำงานได้ หรือทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดลง เมื่อเกิดความขัดข้อง เช่น มอเตอร์ขับเกียร์บล็อค อะไหล่ชุดไฮดรอลิคตัดแผ่นพลาสติก เป็นต้น

E (Essential) กลุ่มอะไหล่ที่มีความสำคัญปานกลางชิ้นส่วนที่มีต้นทุนจากผลกระทบของการหยุดงาน (Downtime) ปานกลางเครื่องยังทำงานได้ แต่หากถูกละเลยจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนอะไหล่ในกลุ่ม V ให้เกิดความเสียหายด้วย เช่น ชุดวัดอุณหภูมิ ตลับลูกปืน เป็นต้น

D (Desirable) กลุ่มอะไหล่ที่มีความสำคัญ มีผลต่อการทำงานของเครื่องจักรบ้างแต่เครื่องยังทำงานได้ และไม่ส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ เช่น น็อต สกรู เป็นต้น

VED / ABC	v 5 คะแนน	E 3 คะแนน	D 1 คะแนน
A 3 คะแนน	AV = 15	AE = 9	AD = 3
B 2 คะแนน	BV = 10	BE = 6	BD = 2
C 1 คะแนน	CV = 5	CE = 3	CD = 1

ภาพที่ 2-4 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังจากการให้คะแนน (บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว, 2559)

การนำผลคะแนนของ ABC Analysis มารวมกับค่าถ่วงน้ำหนักของ VED Analysis โดยการนำเอาคะแนนมาคูณกันเพื่อให้ได้กลุ่มใหม่ที่ใช้เกณฑ์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ดังภาพที่ 2-4 การจัดกลุ่มนั้นจะพิจารณาจากคะแนนตามความเหมาะสม แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้ (บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว, 2559)

Class I (คะแนน > 9) คือ ชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีความสำคัญมาก มีความต้องการสูง และต้องมีการควบคุมเข้มงวด

Class II (คะแนน 6-9) คือ ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญสูง มูลค่าการจัดเก็บไม่มากแต่มีความวิกฤต ควรมีการสำรองอย่างน้อยตามระดับบริการ

Class III (คะแนน < 6) คือ ชิ้นส่วนที่มีความสำคัญน้อย มูลค่าต่ำแต่มีจำนวนมาก นโยบายการจัดเก็บที่กำหนด หากมีระยะเวลาการสั่งไม่นานและหาง่ายอาจไม่จำเป็นต้องเก็บ

อย่างไรก็ตามเกณฑ์คะแนนที่กำหนดอาจมีการปรับได้ตามความเหมาะสม เช่น พงษ์ทัย กงยนต์ (2557) ให้ Class I มีค่ามากกว่า 10 คะแนน Class II มีค่า 4-10 คะแนน และ Class III มีค่า 4 คะแนน เป็นต้น

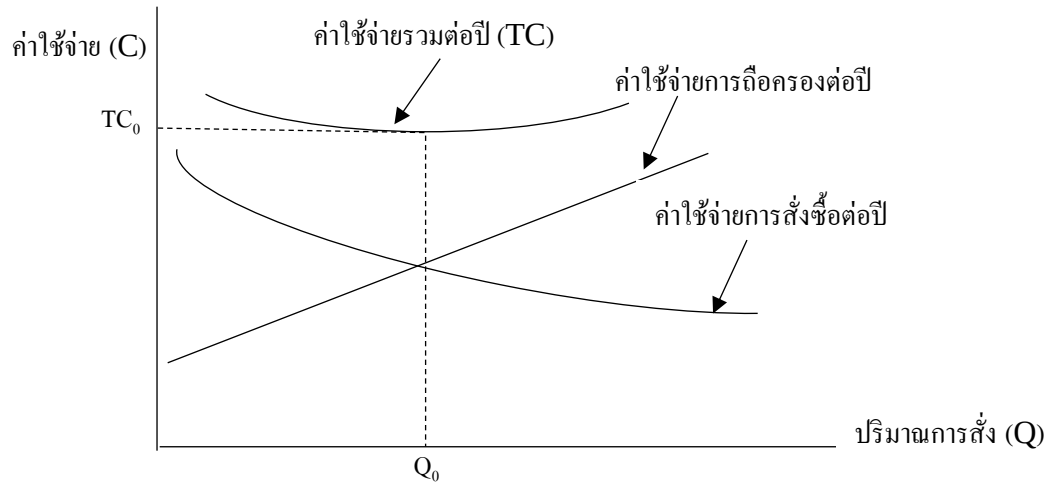
การบริหารจัดการอะไหล่ซ่อมบำรุง พิภพ ลลิตาภรณ์ (2559) กล่าวว่า ความสัมพันธ์ของการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรกับห่วงโซ่อุปทาน หมายถึง การตอบสนองความต้องการ

ชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรที่ต้องการใช้งาน เมื่อเปรียบเครื่องจักรเสมือนลูกค้า ดังนั้นการทำให้กิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทานสามารถดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่องจะต้องมีการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรคงคลังให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการใช้งาน การตัดสินใจขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับวัสดุคงคลัง คือ การพยายามประเมินความเหมาะสมในการถือครองสินค้าคงคลังเพื่อที่จะให้ต้นทุนโดยรวมในการดำเนินการควบคุมวัสดุคงคลังมีค่าต่ำที่สุด และอยู่ในระดับบริการที่ยอมรับได้ (Ballou, 1992) บนสมมติฐานความไม่แน่นอนต่าง ๆ (Uncertainty) แต่อย่างไรก็ตามภายใต้ความไม่แน่นอนเหล่านี้ จะต้องมีการตัดสินใจขั้นพื้นฐาน 2 ประการ ได้แก่

ประการแรก การตัดสินใจว่าวัสดุแต่ละรายการนั้น จะสั่งซื้อเป็นจำนวนเท่าใด หรือเรียกว่า ปริมาณการสั่ง (Lot size หรือ Quantity)

ประการที่สอง การตัดสินใจว่าจะต้องทำการสั่งเมื่อใด เรียกว่า จุดสั่งซื้อ (Order point)

การตัดสินใจขั้นพื้นฐานนี้มีจุดสังเกตในความขัดแย้งกัน เนื่องจากหากต้องการให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering cost) มีค่าต่ำ จะต้องมีการสั่งซื้อในปริมาณมาก ซึ่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการถือครองมีค่าสูงขึ้น (Carrying cost) จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะมีการสั่งซื้อที่ปริมาณใดก็ตาม ค่าใช้จ่ายทั้งสองประเภทนี้จะมีค่าแปรผันกัน ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาให้ค่าใช้จ่ายทั้งสองอยู่ในระดับสมดุล เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) มีค่าต่ำสุด (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559; Liao, Wang & Jin, 2012) ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและค่าใช้จ่ายการถือครอง

การหาปริมาณการสั่งซื้อที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดในทางปฏิบัติทำได้ยากเนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลังหลายประการ ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณาจากการหาขนาดการสั่ง

ที่ประหยัด (Economic order quantity หรือ EOQ) ส่วนการตัดสินใจว่าจะทำการสั่งซื้อเมื่อใดนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาร่วมกัน เช่น ระดับคงคลังสูงสุด (Max) หรือต่ำสุด (Min) ระดับจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) และระดับสินค้าเผื่อสำรอง (Safety stock) โดยมีความสัมพันธ์ร่วมกันกับการหาขนาดการสั่งด้วย ปัจจัยเหล่านี้จะไม่ส่งผลกระทบเมื่อระบบอยู่ภายใต้สถานการณ์คงที่ แต่ในความเป็นจริงนั้น ระบบมักเผชิญกับปัญหาความไม่นอนต่าง ๆ จึงต้องอาศัยข้อมูลที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และอาศัยเครื่องมือทางสถิติเข้ามาร่วมวิเคราะห์ด้วย (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559)

1. รูปแบบของความต้องการ

บรรหาญ ลิลา (2553); พิมสิริ เซ่งจัน (2557) กล่าวถึงความต้องการว่ายังคงเป็นองค์ประกอบแรกที่มีความสำคัญในการบริหารจัดการ เนื่องจากการจัดให้มีการเก็บของคงคลังนั้นมีเป้าหมายเพื่อการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า หรือความต้องการใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในกรณีของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในการซ่อมบำรุงนั้น มีเป้าหมายเพื่อสนองต่อความต้องการใช้ในการซ่อมบำรุงของเครื่องจักร ความต้องการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

1.1 ความต้องการอิสระ (Dependent demand) ความต้องการหรืออุปสงค์คงที่ (Deterministic demand) เป็นความต้องการที่ทราบค่าแน่นอนจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในอดีต

1.2 ความต้องการไม่อิสระ (Independent demand) ความต้องการสินค้าแบบไม่คงที่หรือแบบความน่าจะเป็น (Probabilistic demand) เป็นความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน เป็นตัวแปรสุ่ม สามารถนำข้อมูลปริมาณสินค้าวิเคราะห์การแจกแจงด้วยวิธีการทางสถิติ

2. นโยบายการควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง

2.1 การวิเคราะห์นโยบายชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง กรณีที่ค่าพารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ (Deterministic parameters) ดัชนีที่ประเมินแบ่งเป็นหัวข้อย่อย ดังนี้

2.1.1 ปริมาณการสั่งซื้อ (Lot size หรือ Quantiy)

ธีทัต สุดพิทักษ์, (2559); บรรหาญ ลิลา (2553); พงษ์ทัย กงยนต์ (2557) กล่าวว่า เมื่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นค่าคงที่การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อ สามารถประเมินจากการคำนวณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic order quantity) วิธีการนี้เป็นการวิเคราะห์ระบบคงคลังแบบต่อเนื่อง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง คือ ความต้องการ (Demand) และเวลานำ (Lead time) กำหนดเป็นค่าคงที่ (Deterministic) และทราบค่า สรุปสูตรคำนวณทั่วไปดังสมการที่ 2-8 โดยมีสมมติฐานดังนี้ 1) ความต้องการหรืออัตราการใช้เป็นค่าคงที่ 2) ปริมาณการสั่งซื้อแต่ละครั้งจะเท่ากัน 3) ช่วงเวลาตั้งแต่สั่งของจนได้รับของมีค่าคงที่และทราบค่า 4) ของที่ทำการสั่งมาจะมาพร้อมกันทั้งหมด 5) ไม่มีการเกิดภาวะของขาดมือ

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DC_o}{C_c}} \quad (2\text{-}8)$$

โดย

EOQ = ปริมาณการสั่งที่ประหยัด (หน่วย)

D = ปริมาณความต้องการหรืออัตราการใช้ (หน่วย/ หน่วยเวลา)

C_c = ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษาทั้งหมด (หน่วยเงิน/หน่วย/หน่วยเวลา)

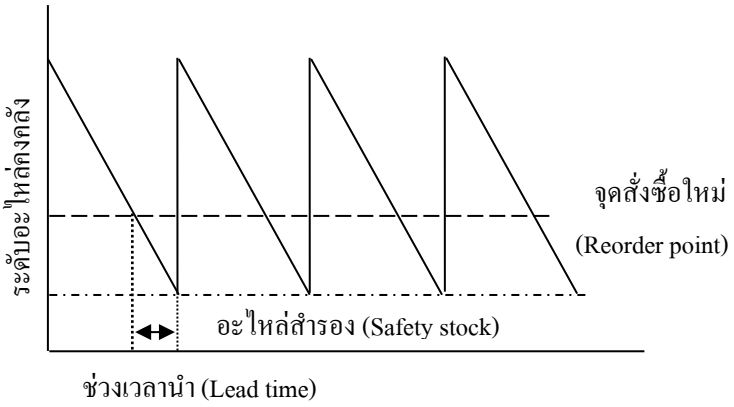
C_o = ค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อทั้งหมด (หน่วยเงิน/ครั้ง)

การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด จะใช้ปริมาณความต้องการเป็นตัวกำหนดค่า ให้เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละช่วงที่ไม่เกิน EOQ ตัวแบบสินค้าประเภทนี้เหมาะสมกับรูปแบบความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างต่ำ มีความสม่ำเสมอ (ธีทัต สุดพิทักษ์, 2559) แม้ว่าการจัดการสินค้าคงคลังโดยทั่วไป จะกระทำในลักษณะการนิยามความต้องการเป็นแบบคงที่ ส่วนในทางปฏิบัตินั้นความไม่แน่นอนของความต้องการเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้สามารถบริหารจัดการของคงคลังได้อย่างเหมาะสมและใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง ความผันแปรของความต้องการเป็นสาเหตุที่ควรพิจารณาการจัดหาสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการให้มากกว่าความต้องการโดยเฉลี่ย ซึ่งเรียกว่า สินค้าเผื่อสำรอง (Safety stock) เพื่อรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2559) EOQ เป็นเพียงหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความสนใจสำหรับการควบคุมสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง หรือปริมาณการสั่งคงที่ (Continuous or Fixed order quantity system) นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่น ๆ ที่เป็นระบบควบคุมแบบช่วงเวลาหรือระยะเวลาการสั่งคงที่ (Periodic or Fixed time period system) เช่น การสั่งแบบช่วง (Periodic order quantity หรือ POQ) การสั่งตามความสมดุลของค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Part per period balancing หรือ PPB) เทคนิค Silver meal (SM) เป็นต้น (บรรหาญ ลิลา, 2553)

2.1.2 จุดสั่งซื้อ (Reorder Point)

บรรหาญ ลิลา (2553) สรุปว่า จุดสั่งซื้อ คือ ระดับของในคลังสินค้าที่บ่งบอกว่าควรสั่งของเข้ามาเพิ่มในคลังสินค้า ซึ่งขึ้นอยู่กับนโยบายที่ใช้ควบคุมว่าเป็นรูปแบบต่อเนื่องหรือแบบช่วงเวลา ในทางปฏิบัตินั้นเมื่อทราบค่าปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดแล้วจะสามารถคำนวณจุดสั่งซื้อได้ ซึ่งแสดงได้ทั้งในรูปแบบการสั่งระดับของคงคลังเท่าใด (Reorder level) คือ การกำหนดระดับอะไหล่ซ่อมบำรุงที่ต้องออกใบสั่งซื้อ การกำหนดระดับการสั่งซื้อใหม่เกี่ยวข้องกับ 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการใช้ (Usage rate) หมายถึง อัตราการใช้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งมักกำหนดช่วงเวลาตามระยะเวลารอคอยในการสั่งซื้อสินค้า และช่วงเวลานำ (Lead time) หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่ออกใบสั่งซื้อสินค้าจนกระทั่งได้รับสินค้าเข้ามาพร้อมต่อการใช้งาน สามารถกำหนดหน่วย

เวลาเป็นวัน สัปดาห์ หรือเดือน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการสั่งซื้อ โดยระยะเวลานำสามารถประเมินค่าเป็น 0 ได้ หากการสั่งซื้อที่เกิดขึ้นจะได้รับสินค้าทันที (อมรศิริ ดิสสร, 2556) นอกจาก 2 ตัวแปรแล้ว อาจพิจารณาร่วมกับอะไหล่สำรองเผื่อ (Safety stock) เพื่อคำนึงความเป็นไปได้ของช่วงเวลานำกับอัตราการใช้ (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557) การหาจุดสั่งซื้อภายใต้สมมติฐานนี้แสดงดังภาพที่ 2-6 คำนวณได้ดังสมการที่ 2-9



ภาพที่ 2-6 การกำหนดจุดสั่งซื้อและระดับอะไหล่สำรอง

$$\text{จุดสั่งซื้อ (ROP)} = (D \times LT) + SS \qquad (2\text{-}9)$$

โดย

D = ปริมาณความต้องการหรืออัตราการใช้เฉลี่ย (หน่วย/ หน่วยเวลา)

LT = ช่วงเวลานำเฉลี่ย (หน่วย/ หน่วยเวลา)

SS = สินค้าเผื่อสำรอง หรือสต็อกเพื่อความปลอดภัย

ในทางปฏิบัติ ความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่มีความแปรปรวน ดังนั้นการกำหนดระดับอะไหล่ต่ำสุดในทางทฤษฎี ที่ใช้เพียงจุดสั่งซื้อที่มาจากผลคูณของอัตราการใช้และช่วงเวลานำอาจไม่สามารถการันตีได้ว่าจะเพียงพอต่อการใช้งานได้หรือไม่ จึงจะต้องมีการกำหนดระดับอะไหล่สำรอง หรือเรียกว่า Safety stock

2.1.3 อะไหล่สำรอง (Safety stock)

อะไหล่สำรองเป็นปริมาณของคงคลังที่จัดให้มีเผื่อไว้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินและมีสำรองอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถมีสินค้าคงคลังสำหรับการดำเนินการต่อไปได้อย่างราบรื่น ซึ่งการคำนวณการเก็บอะไหล่คงคลังเพื่อไม่ให้สินค้าขาดมือ ความสำคัญของสินค้าสำรองเผื่อ คือ

สามารถช่วยแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของอุปสงค์ หรือความต้องการ ที่มีความต้องใช้ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสามารถวัดได้เป็นอัตราความต้องการเฉลี่ย (Average demand rate) และด้านอุปทาน คือ ความแปรปรวนของระยะเวลาการส่งมอบ ทำให้สามารถเกิดเหตุการณ์ที่อะไหล่คงคลังจะหมดก่อนที่อะไหล่สั่งซื้อมาใหม่จะมาถึงเนื่องจากความไม่แน่นอนดังกล่าว ดังนั้นการกำหนดสินค้าสำรองเผื่อจึงต้องมีการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ (พงษ์ทัย กงยนต์, 2557) ในทางปฏิบัตินั้นมักกำหนดระดับบริการ (Service level) เพื่อเป็นการกำหนดว่าระดับการขาดสต็อกจะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เช่น ฝ่ายบริหารมีการกำหนดว่ายินยอมให้ขาดสต็อกได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ นั่นหมายถึงความต้องการให้มีระดับบริการที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (เอกชัย ใจแจ่ม, 2556) การคำนวนอะไหล่สำรองสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2-10

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{LT} \qquad (2\text{-}10)$$

โดย

LT = ช่วงเวลานำ (หน่วยเวลา)

Z = ค่า z ในตารางการแจกแจงแบบปกติ ที่สอดคล้องกับระดับการให้บริการที่กำหนดไว้ตามประเภทของอะไหล่

σ_d = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการอะไหล่เพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงในช่วงเวลานำ

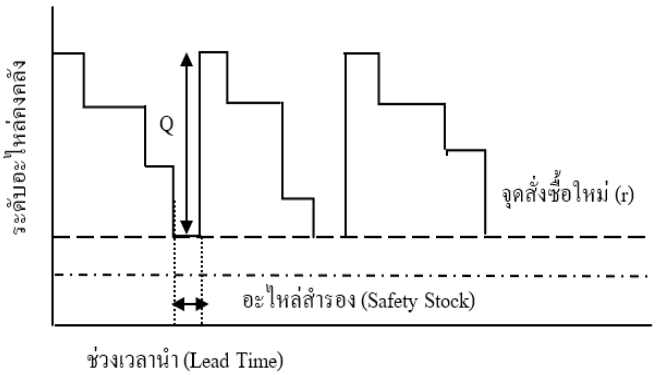
2.2 การวิเคราะห์นโยบายชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์เป็นค่าไม่แน่นอน (Stochastic parameters)

บรรหาญ ลิลา (2553)ในสภาวะการณ์จริงนั้นการวิเคราะห์นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ภายใต้ การรู้ปริมาณความต้องการและมีค่าคงที่ ช่วงเวลานำมีค่าคงที่ มีความเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความไม่แน่นอนต่าง ๆ ภายในระบบ ซึ่งต้องระวังในการนำไปประยุกต์ใช้มากที่สุดเมื่อกำหนดพารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ และรูปแบบความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่นั้นส่วนมากมักมีปริมาณความต้องการต่ำ รูปแบบเป็นช่วง (Regoa & Mesquita 2011; Willemain, Smart & Schwarz, 2004; Hua & Zhang, 2006) ดังนั้นการวิเคราะห์จะต้องอาศัยหลักการแจกแจงพฤติกรรมความต้องการหรือช่วงเวลานำตามหลักการทางสถิติ (บรรหาญ ลิลา, 2553) นโยบายการควบคุมเชิงสโตคาสติก ดำเนินการภายใต้ความต้องการที่ไม่คงที่ (Variable demand) ช่วงเวลานำไม่คงที่ (Variable lead time) หรือรูปแบบที่ทั้งความต้องการและช่วงเวลานำไม่คงที่ วัชรินทร์ แสงมา และพิษณุ ทองขาว (2555) เมื่อรูปแบบความต้องการมีค่าไม่นอน คือ เป็นตัวแปรสุ่ม จะส่งผลให้ค่าจุดสั่งซื้อ

มีค่าไม่แน่นอนตามไปด้วย จะต้องมีการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อทุกครั้งเมื่อถึงกำหนดการ มีผู้วิจัยเสนอนโยบายการสั่งซื้อในกรณีที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ อยู่ภายใต้สมมติฐานความไม่แน่นอน เช่น วัชรินทร์ แสงมา และพิษณุ ทองขาว (2555) เสนอนโยบาย Q, r ส่วน Bedworth and Bailey (1987) นโยบาย T, s, S นอกจากนี้ ปวีณา ภูเขม่า (2557) เสนอการควบคุมแบบปริมาณสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min) ที่มีลักษณะรองรับต่อความรูปแบบความต้องการที่มีปริมาณต่ำ เหมาะกับรายการวัสดุหมุนช้า ซึ่งตรงกับรูปแบบของความต้องการใช้งานอะไหล่เครื่องจักรในงานบำรุงรักษา แต่ละนโยบายที่มีการนำเสนอใช้กับชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรมีรายละเอียดเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

2.2.1 ปริมาณการสั่งซื้อ (Lot Size หรือ Quantity)

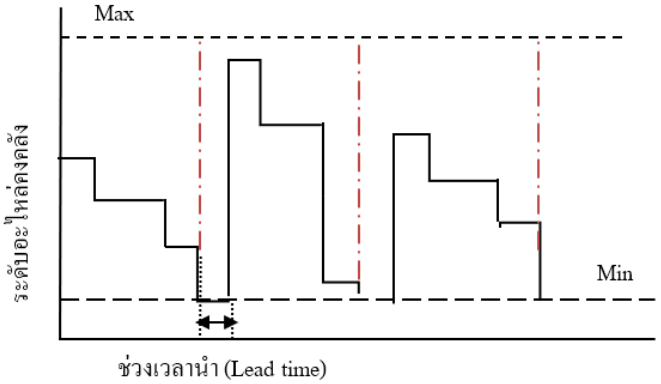
วัชรินทร์ แสงมา และพิษณุ ทองขาว (2555) เสนอนโยบาย Q, r เป็นการตรวจสอบว่าเมื่อใดก็ตามที่สินค้าลดลงมาอยู่ในระดับ r จะต้องดำเนินการสั่งซื้อที่ Q หน่วยทันที ดังภาพที่ 2-7 เมื่อระดับความต้องการสินค้าอยู่ในรูปแบบที่ไม่แน่นอน หรือเป็นตัวแปรสุ่ม การประเมินจุดสั่งซื้อ r ทำได้โดยการวิเคราะห์เชิงสโตคาสติก (Stochastic) การคำนวณค่า Q ใช้การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด EOQ ดังสมการที่ 2-8 และการคำนวณจุดสั่งซื้อ (Reorder point หรือ ROP) จะกล่าวในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 2-7 นโยบายการควบคุมอะไหล่คงคลังแบบ (Q, r) เชิงสโตคาสติก

นโยบายระดับคงคลังสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min) นโยบายนี้ดำเนินการภายใต้จุดควบคุม 2 จุด การสั่งซื้อจะเกิดขึ้นเมื่ออะไหล่คงคลังลดลงมาอยู่ในระดับ Min และปริมาณการสั่งซื้อจะทำการสั่งอะไหล่เข้ามาจนถึงระดับ Max ดังภาพที่ 2-8 หรือเรียกระบบนี้ว่า s, S ซึ่ง s แสดงจุดสั่งซื้อ และ S แสดงระดับการสั่งซื้อหรือปริมาณการสั่งซื้อ (สุพรรณ์ ทองเพชร, 2554) การคำนวณหาค่า Max-Min สามารถกำหนดได้จากผู้ชำนาญการ ซึ่งได้จากการคาดการณ์ หรือวิเคราะห์

ทางสถิติ ซึ่งอาจเกิดค่าความผิดพลาดได้สูง โดยวิธีการนี้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการทุกรูปแบบได้ และมีความซับซ้อนยุ่งยากเมื่อนำไปใช้กับวัสดุที่มีความต้องการสูง เป็นวัสดุหมุนเร็ว ใช้เวลาในการจัดหานาน แต่ใช้ได้ผลกับวัสดุที่หมุนช้า มีจำนวนสินค้าสำรองน้อย ความต้องการต่ำ หรือไม่สามารถจับสถิติการใช้ได้ (ปวีณา ภูเขม่า, 2557)



ภาพที่ 2-8 นโยบายการควบคุมอะไหล่คงคลังแบบ Max-Min

นโยบาย (T, s, S) Bedworth and Bailey (1987) ดำเนินการตรวจอะไหล่คงคลังเป็นรอบเวลาที่ T แต่จะทำการสั่งซื้อก็ต่อเมื่อมีอะไหล่คงคลังเหลืออยู่น้อยกว่าหรือเท่ากับ s และสั่งซื้อมาเติมให้คงคลังมีปริมาณเท่ากับ S การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อแทนด้วย S ดังนี้

การคำนวณระยะเวลาการตรวจนับชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง (T) คือ เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดจะมีการตรวจนับชิ้นส่วนอะไหล่และพิจารณาการสั่งซื้อ สำหรับการคำนวณค่า T แสดงดังสมการที่ 2-11

$$T = \frac{EOQ}{D_{max}} \qquad (2\text{-}11)$$

โดย

D_{max} = ค่าปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่

เมื่อทำการคำนวณค่า T แล้ว วิเคราะห์จุดสั่งซื้อใหม่ โดยนโยบายนี้แทนค่าจุดสั่งซื้อใหม่ด้วย s เมื่อปริมาณความต้องการมีค่าไม่แน่นอน ไม่คงที่ การคำนวณจุดสั่งซื้อจะคำนวณได้ตามลักษณะพฤติกรรมความต้องการดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป สำหรับการคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อ แทนด้วยสัญลักษณ์ S สามารถคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด EOQ กับสินค้าเผื่อสำรอง (SS) (Bedworth & Bailey, 1987) ดังสมการที่ 2-12

$$S = SS + EOQ \quad (2\text{-}12)$$

2.2.2 การคำนวณจุดสั่งซื้อเมื่อความต้องการมีพฤติกรรมแจกแจงรูปแบบต่าง ๆ

การพิจารณาจุดสั่งซื้อเมื่อความต้องการมีค่าไม่คงที่ โดยลักษณะของความต้องการที่มีรูปแบบไม่คงที่ ไม่แน่นอน จะต้องทราบการแจกแจงที่เป็นไปตามฟังก์ชันของความต้องการที่กำหนด เช่น การแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบปัวส์ซอง หรือเอ็กโปแนนเชียล จะมีผลเกี่ยวข้องกับการคำนวณจุดสั่งซื้อ (Reorder point) และระดับอะไหล่ผื่อสำรอง (Safety stock) โดยต้องกำหนดว่า ความต้องการนั้นมีรูปแบบการแจกแจงแบบใด สำหรับความต้องการที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานำ การคำนวณทำได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ และจะต้องกำหนดระดับบริการให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของฝ่ายบริหาร (เอกชัย ใจแจ่ม, 2556) การคำนวณจุดสั่งซื้อเมื่อความต้องการมีการแจกแจงรูปแบบต่าง ๆ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้ (วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, 2554)

ขั้นตอนแรก จะต้องกำหนดระดับบริการ (Service level) เพื่อการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่อะไหล่เผื่อสำรองจะขาดมือที่ระดับบริการที่กำหนด เช่น ที่ระดับบริการ 95 เปอร์เซ็นต์ หมายถึง โอกาสที่จะขาดมือยอมให้เกิดขึ้นได้ 5 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่สอง กำหนดจุดสั่งซื้อที่ค่าความน่าจะเป็นที่กำหนดในขั้นตอนแรก ซึ่งแบ่งตามลักษณะการแจกแจงของความต้องการระหว่างช่วงเวลานำ

ขั้นตอนที่สาม กำหนดปริมาณอะไหล่เผื่อสำรอง โดยกำหนดให้เป็นผลต่างระหว่างจุดสั่งซื้อและค่าเฉลี่ยของความต้องการระหว่างช่วงเวลานำ

ทั้งสามขั้นตอนนี้ดำเนินการภายใต้ความต้องการที่มีลักษณะการแจงแจกในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ (วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, 2554)

กำหนดให้ $\overline{D}_{LT}$ เป็นความต้องการเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลานำ

σ^2_{LT} เป็นค่าความแปรปรวนระหว่างช่วงเวลานำ

พฤติกรรมความต้องการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) กำหนดให้ความต้องการระหว่างช่วงเวลานำมีการแจกแจงในรูปแบบโค้งปกติ การคำนวณจุดสั่งซื้อและอะไหล่เผื่อสำรองสามารถคำนวณได้ด้วยสมการปกติทั่วไปดังสมการที่ 2-9 และ 2-10 ตามลำดับ

หน่วยของความต้องการส่วนใหญ่มักมีค่าเป็นจำนวนเต็ม เช่น ชิ้น ซึ่งเป็นลักษณะของการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง จึงมีความขัดแย้งกันสำหรับการแจกแจงแบบปกติที่มีลักษณะเป็นแบบต่อเนื่องดังนั้น การคำนวณค่าอาจทำให้เกิดความผิดพลาดสูงขึ้นเมื่อความต้องการมีจำนวนน้อย ทำให้เมื่อปริมาณความต้องการมีจำนวนน้อยรูปแบบการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่องจึงมี

ความเหมาะสมมากกว่า (วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, 2554) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงพฤติกรรมความต้องการที่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และแบบลอคนอร์มอล (Lognormal distribution) เสนอการคำนวณไว้อย่างเหมาะสม ดังนี้

วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ (2554) พฤติกรรมความต้องการแจกแจงแบบบปัวส์ซอง (Poisson distribution) เสนอให้ตัวแปรสุ่ม X แทนค่าความต้องการระหว่างช่วงเวลานำใด ๆ โดยพื้นฐานฟังก์ชันความน่าจะเป็นของปัวส์ซอง

$$f(x)=\frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!} \tag{2-13}$$

สมการทั่วไปของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปัวซองในสมการที่ 2-13 เมื่อกำหนดให้ $\overline{D}_{LT}$ เป็นความต้องการอะไหล่เฉลี่ยระหว่างช่วงเวลานำ จะทำให้ความน่าจะเป็นของการเกิด x ใด ๆ และกำหนดให้แทนเป็นค่า ROP ดังนั้นการคำนวณความน่าจะเป็นของการเกิดสินค้าขาดมือแทนด้วย $P(S)$ คำนวณจาก

$$P(S)=1-\sum_{i-0}^{ROP}\frac{e^{-\overline{D_{LT}}}\overline{D_{LT}^{X_i}}}{X!_i} \tag{2-14}$$

การเปลี่ยนจุดสั่งซื้อในสมการ 2-14 ส่งผลต่อความน่าจะเป็นของการเกิดสินค้าขาดมือ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้สินค้าขาดมือที่ยอมรับได้ จะทำการปรับจุดสั่งซื้อจนกระทั่งความน่าจะเป็นที่จะเกิดอะไหล่ขาดมือที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่อะไหล่จะขาดมือของระบบที่กำหนดไว้ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่อะไหล่จะเพียงพอ แทนด้วย $P(SL)$ คำนวณได้จากสมการ 2-15

$$P(SL)=\sum_{i-0}^{ROP}\frac{e^{-\overline{D_{LT}}}\overline{D_{LT}^{X_i}}}{X!_i} \tag{2-15}$$

การแจกแจงแบบลอคนอร์มอล (Lognormal distribution) การคำนวณหาจุดสั่งซื้อและอะไหล่สำรอง ที่ระดับบริการที่กำหนด การคำนวณตามฟังก์ชันการแจกแจงแบบลอคนอร์มอลดังสมการที่ 2-16 (Kelton, Sadowski & Swets, 2010)

$$f(x)=\frac{1}{\sigma x\sqrt{2\pi}}e^{-(\ln(x)-\mu)^2/(2\sigma^2)} \tag{2-16}$$

การคำนวณดำเนินการตามขั้นตอนในรูปแบบเดียวกับการแจกแจงแบบปัวส์ซอง เพื่อหาจุดสั่งซื้อและสินค้าเผื่อสำรองตามระดับบริการที่กำหนด โดยการปรับค่าจุดสั่งซื้อ เช่นเดียวกับการคำนวณเมื่อความต้องการอะไหล่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

2.2.3 การคำนวณสินค้าเผื่อสำรอง (Safety stock) เมื่อพฤติกรรมความต้องไม่ได้แจกแจงแบบปกติ

วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, (2554) เสนอว่าเมื่อได้จุดสั่งซื้อแล้วการคำนวณสินค้าเผื่อสำรองจะสามารถคำนวณได้จาก สมการ 2-17 ซึ่งค่า ROP จะได้จากการปรับค่าในการหาจุดสั่งซื้อตามรูปแบบพฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการ

$$SS = ROP - \overline{D}_{LT} \qquad (2\text{-}17)$$

การสร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดการอะไหล่คงคลัง

แบบจำลองคอมพิวเตอร์มีผู้ให้ความหมายไว้มากมาย

Kelton, Sadowski, and Swets (2010) กล่าวถึง การจำลอง (Simulation) ว่าเป็นวิธีการใช้การเลียนแบบพฤติกรรมของระบบจริงซึ่งส่วนใหญ่ดำเนินการบนซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ที่มีความเหมาะสม

Best, Dixon, Kelton, Lindsell, and Ward (2014) ระบุว่าการ จำลองเป็นวิธีการที่ใช้ศึกษาระบบหรือกระบวนการที่ออกแบบจากการจำลองระบบจริง (Real system) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจำลองงานจากระบบจริงเพื่อเข้าถึงปัญหาที่สลับซับซ้อนของงาน

บรรหาญ ลิลา (2553) กล่าวว่า แบบจำลอง เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้รับความนิยมในการวิเคราะห์ปัญหาที่ผลลัพธ์มีความไม่แน่นอน (Stochastic problems) ซึ่งอาจไม่สามารถตัดสินใจแก้ปัญหาได้แต่สามารถคาดหมายผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาในแต่ละวิธีโดยไม่ต้องลงมือทำจริง ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบจริง ภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน ช่วยในการแสดงผลและประเมินผลการปฏิบัติงานได้โดยไม่รบกวนระบบจริง

จากความหมายของแบบจำลองที่มีนักวิจัยหลายท่านกล่าวไว้คล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปความหมายของแบบจำลอง ว่าเป็นเทคนิคในการช่วยประเมินผลลัพธ์บนซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาหลากหลายรูปแบบภายใต้ความไม่แน่นอน เพื่อเข้าถึงปัญหาที่สนใจศึกษาโดยไม่รบกวนระบบจริง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) เป็นเครื่องมือหนึ่งในการใช้แก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ที่นำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามา

ช่วยในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยการการประยุกต์ใช้งานโปรแกรมต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ และสร้างแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานในระบบจริง การจำลองสถานการณ์ เป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถจัดการกับรูปแบบที่ซับซ้อนของระบบงานได้ และเป็นเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่น โดยไม่ต้องลงทุนสูงเมื่อเทียบกับความคุ้มค่าต่อประสิทธิภาพที่ได้รับ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนจะต้องใช้ทักษะ ความรู้ ในการสร้างตัวแบบมีความถูกต้องและใช้งานจริงในกระบวนการตัดสินใจโดยจะต้องตระหนักถึงปัญหาจริงในการดำเนินการทดลอง วางแผน และให้ความสนใจอย่างใกล้ชิด เพื่อไม่ให้การจำลองสถานการณ์เกิดข้อผิดพลาด เมื่อมีการวางแผนอย่างรอบคอบจะสามารถสร้างมูลค่าให้ผู้ผลิตโดยไม่เสียเวลาและไม่ต้องใช้การลงทุนที่เกินควร จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า จุดเด่นของแบบจำลองคอมพิวเตอร์ คือ สามารถนำไปใช้งานกับระบบที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถหาความสัมพันธ์จากการเขียนสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ หรือนำไปแก้ไขโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ โดยสามารถทำการจำลองกับระบบที่ไม่สามารถทดลองบนสถานการณ์จริงได้ แต่ก็ยังมีข้อด้อยในบางประการ เนื่องจากการสร้างตัวแบบจำลอง ผู้สร้างตัวแบบจะเป็นผู้สร้างทางเลือกให้กับระบบ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง อาจไม่ใช่ผลลัพธ์ที่บ่งบอกทางเลือกที่ดีที่สุด ผลที่ได้จากการจำลองมักจะเป็นค่าประมาณ ซึ่งควรมีการใช้เครื่องมืออื่น ๆ ในการวิเคราะห์ร่วมด้วยเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น (Kelton, Sadowski & Swets 2010)

ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation)

การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลจัดเป็นเทคนิคที่ใช้แทนวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างตัวแปรสุ่ม เมื่อความไม่แน่นอนของปัญหา เพื่อทดลอง (Trial) จากการเลือกสุ่ม x ตามการแจกแจงความน่าจะเป็น P(x) โดยอาศัยหลักการตัวเลขสุ่ม (บรรหาญ ลิลา, 2553) เป็นวิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative technique) ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับงานที่มีพฤติกรรมลักษณะที่แน่นอน เรียกว่า วีธีการทางจำนวนนับ (Numerical method) แก้ไขปัญหาโดยใช้ตัวเลขสุ่ม ที่วิธีการทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ (Analytical analysis) ใช้ไม่ได้ (ขวัญชัย หักทะเล, 2557)

ขั้นตอนในการสร้างการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

การกำหนดปัญหาเป็นขั้นตอนแรกในการศึกษาระบบที่สนใจจะทำการทดลอง และจะต้องสามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบใดที่มีความไม่แน่นอน จากนั้นทำการหาความแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution) ขององค์ประกอบนั้น และกำหนดค่าตัวเลขสุ่ม (Random number) ที่จะนำมาใช้กับตัวแปรสุ่มให้มีความสอดคล้องกับความน่าจะเป็น ดำเนินการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ สามารถควบคุมปัจจัย

แวดล้อมที่แทรกซ้อนได้ ทำให้สามารถทำการทดลองซ้ำในสภาวะแวดล้อมเดิมได้หลายครั้ง ซึ่งในการทดลองจริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมไปตามเวลา (จตุพล เลื่องลือศักดิ์, 2557)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่อุปทานและงานบำรุงรักษา

กิตติศักดิ์ จิตต์เกื้อ และจิรวัฒน์ สุวรรณพฤกษ์ (2552) อุปสงค์และอุปทานในงานซ่อมบำรุงเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานภายใต้การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งส่วนที่เกี่ยวข้อง คือ อุปทาน โดยพบว่าการจัดการโซ่อุปทานในงานบำรุงรักษาและซ่อมจะเกี่ยวข้องกับแผนงานบำรุงรักษา ประกอบด้วยงานบำรุงรักษาตามแผนและงานบำรุงรักษานอกแผน รวมถึงการจัดการอะไหล่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Spare part optimization) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยการจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอ ลดรอบเวลาการทำงาน ลดต้นทุนกระบวนการอย่างเป็นระบบโดยเกิดจากการร่วมมือกันของทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน

กิตติศักดิ์ จิตต์เกื้อ และจิรวัฒน์ สุวรรณพฤกษ์ (2552) การบำรุงรักษาเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดอายุการใช้งานของระบบ เครื่องจักร โดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การซ่อมบำรุงมีจุดมุ่งหมาย คือ ประสิทธิผลขององค์กร ทั้งงานบำรุงรักษาแบบตามแผน (Planned maintenance) ที่มีการคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าตามแผนแม่บทของการบริหารงานบำรุงรักษา และงานบำรุงรักษานอกแผน (Unplanned maintenance) ที่ไม่อาจคาดการณ์หรือวางแผนล่วงหน้าได้ ดังนั้นการบำรุงรักษาแบบทวีผลทุกคนมีส่วนร่วม (Total productive maintenance) จึงมุ่งเน้นให้พนักงานในสายการผลิตมีส่วนร่วมในการดูแลทรัพยากรของระบบ เพื่อลดต้นทุนในการดำเนินการให้ต่ำที่สุด

นุชจิรา วรรณสิทธิ์, ภูมิศิริ วสุนทราพันธ์ และปณิธาน พีรพัฒนา (ม.ป.ป.) ลดความสูญเปล่าในงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน สายการผลิตหัวอ่าน-เขียน ของเครื่องเคลือบคาร์บอน เนื่องจากเครื่องจักรนี้ใช้เวลาในการซ่อมบำรุงนานที่สุดและเป็นเครื่องจักรที่มีความสำคัญสูง จึงมีเป้าหมายในการลดระยะเวลาการซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยใช้ทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรแบบรวดเร็ว โดยพิจารณากิจกรรมและเวลาในการปฏิบัติงาน ซึ่งหลังการแก้ไขสามารถลดเวลาการซ่อมบำรุงได้ 31.25 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 1.04 เปอร์เซ็นต์ ผลตอบแทนเพิ่มขึ้น 492,201 ดอลลาร์สหรัฐต่อไตรมาส

กลางเดือน โพชนา และ ประกฤษณ์ จองปัญญาเลิศ (2558) สร้างแผนบำรุงรักษาเพื่อลดปัญหาการหยุดชะงักของเครื่องจักรในโรงงานผลิตน้ำแข็งหลอด โดยเครื่องจักรที่เกิดการขัดข้อง

บ่อยที่สุด คือ เครื่องคอมเพรสเซอร์เกิดปัญหา มอเตอร์ไหม้ ซีลคอเพลารั่ว และแหวนลูกสูบหัก และเครื่องฟรีสเซอร์ เกิดปัญหามอเตอร์ปั๊มน้ำไหม้ วิเคราะห์ปัญหาด้วย Why Why analysis ดำเนินงานปรับปรุงโดยการใช้เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงคุณภาพ QC story หลังจากดำเนินการแก้ไขระยะเวลา 3 เดือนสามารถลดการหยุดการทำงานของเครื่องจักรได้ 45 เปอร์เซ็นต์ และจัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือการบำรุงรักษาด้วยตนเองและการบำรุงรักษาตามแผน เมื่อจัดทำแผนแล้วส่งผลให้อัตราการหยุดของเครื่องจักรโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำลง 9 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามมีการเสนอแนะไว้ว่า การบริหารจัดการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องควรมีการควบคุมการดำเนินงานตามแผนอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการบริหารอะไหล่คงคลังของเครื่องจักรให้เพียงพออยู่เสมอ เพื่อทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

เกษม รุ่งเรือง (2552) จัดทำแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรในอุตสาหกรรมผลิตรีเลย์ โดยพิจารณาปัญหาการหยุดเครื่องจักรทั้งหมด 6 เครื่องที่มีปัญหาสูงที่สุดในกระบวนการผลิต เนื่องจากการขาดแผนการซ่อมบำรุง เดิมโรงงานจะดำเนินการซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรเกิดความขัดข้องหน้างานเท่านั้น ทำให้เสียเวลาในการซ่อมบำรุงยาวนาน ดังนั้นจึงเสนอระบบซ่อมบำรุงเชิงป้องกันโดยมีเป้าหมายลดเวลาในการหยุดทำงานของเครื่องจักรอันเนื่องมาจากความขัดข้อง (Breakdown) ด้วยการจัดทำแผนทำความสะอาด ตรวจสอบสภาพเครื่องจักร เติมสารหล่อลื่นเครื่องจักร จัดทำแผนการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ เป็นต้น ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร คือ Availability rate (A) หลังจากการนำระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ทำให้เครื่องจักรทั้ง 6 เครื่อง มีความพร้อมใช้งานเพิ่มขึ้นทั้งหมดโดยเฉลี่ย 19 เปอร์เซ็นต์ โดย MTBF เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยมากกว่า 2 เท่าของระบบเดิม และค่า MTTR ลดลง 74 เปอร์เซ็นต์

พรทิพย์ อินสองใจ และบดินทร์ รุมารถ (2557) ศึกษาเครื่องจักรในระบบลำเลียงเถ้าถ่านหินและยิปซัม ปัญหาที่พบ เช่น เกิดการชำรุดเสียหายของสายพานอย่างไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ถึงแม้จะมีแผนซ่อมบำรุงทุก ๆ เดือน เป็นต้น ดำเนินการแบ่งประเภทของเครื่องจักร วิเคราะห์ความสูญเสียด้วยเทคนิค Six Big Losses เพื่อจัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันและหาประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีเป้าหมายในการลดความสูญเสียด้านเวลาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรเกิดความขัดข้อง (Breakdown) ผลการดำเนินงานพบว่าเครื่องจักรประเภท A มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรโดยรวม เท่ากับ 14.9942 จึงดำเนินงานจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยจัดทำเป็นคู่มือเพื่อเป็นแผนเช็คความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ

จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าเป้าหมายของการบำรุงรักษาเครื่องจักรส่วนใหญ่ผู้วิจัย เช่น นุชจิรา วรรณสิทธิ์, ภูมิศิริ วสุนทราพันธ์ และปณิธาน พีรพัฒนา (ม.ป.ป.); กลางเดือน โพชนา และ

ประกฤษณ์ จองปัญญาเลิศ (2558) เป็นต้น ให้ความสนใจกับการลดอัตราการหยุดทำงานของเครื่องจักร อันเนื่องมาจากการขาดการวางแผนการบำรุงรักษาที่ดี อีกทั้งการเสียเวลาในการซ่อมบำรุงใช้เวลานาน เนื่องจากขาดการควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร เสียเวลารอคอยในการซ่อม ส่งผลให้กระบวนการผลิตไม่สามารถดำเนินการไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดัชนีที่ใช้วัดผลในการปรับปรุงระบบบำรุงรักษาส่วนใหญ่เป็นเวลาการทำงานของเครื่องจักร และเวลาการหยุดทำงานของเครื่องจักร ซึ่งหมายถึงอัตราความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร (A) ที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพในการผลิตได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนอะไหล่ส่วนมากมีเป้าหมายในการลดเวลาในการซ่อมบำรุงโดยการบริหารชิ้นส่วนอะไหล่ให้เพียงพอต่อความต้องการเมื่อเครื่องจักรเกิดความขัดข้อง เช่นเดียวกับเป้าหมายของงานบำรุงรักษา ดังเช่น ทัชพิชา พรมวงศ์, ปุณณมี สัจจกมล และพิสิฐ เอื้อธารพิสิฐ (2555) ใช้วิธีการ ABC ในการแบ่งประเภทอะไหล่ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเวลา ปริมาณ และความถี่ในการซ่อมบำรุง และนำอะไหล่กลุ่ม A ที่มีอยู่ 87 เปอร์เซ็นต์ และมีมูลค่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมด รวมถึงใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนนานที่สุด 93 เปอร์เซ็นต์ มาวิเคราะห์เพื่อสร้างตารางการใช้อะไหล่ ให้เหมาะสม เป้าหมายเพื่อลดเวลาการเปลี่ยนอะไหล่ซ่อมบำรุง เมื่อทำการแยกประเภทของอะไหล่แล้วทำให้สามารถวางแผนการใช้อะไหล่ต่อปีได้ หลังจากทำการปรับปรุงตารางการซ่อมบำรุงแล้ว สามารถลดการสั่งอะไหล่ที่ไม่จำเป็นได้ 2 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น 7.84 เปอร์เซ็นต์ ลดเวลาการซ่อมบำรุงได้ 7 เปอร์เซ็นต์

Lonardo, Anghinolfi, Paolucci, and Tonelli (2008) เสนอการกำหนดระดับอะไหล่คงคลัง มีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ (Storage cost) ที่มีข้อจำกัดเรื่องระดับบริการ โดยสมมติให้ความต้องการมีการแจกแจงแบบปกติ นำเสนอวิธีการวิเคราะห์โดยการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear programming) เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation) ผลที่ได้พบว่าสามารถลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้ต่ำที่สุด 15 เปอร์เซ็นต์

Jin and Liao (2009) ทำการควบคุมอะไหล่คงคลัง มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความพร้อมใช้งานโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลัง ระบบการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง Q, r ในการควบคุมอะไหล่คงคลังของงานบำรุงรักษา เพื่อรับมือกับปัญหาความต้องการที่เป็นแบบสุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ภายใต้ข้อจำกัดของระดับบริการ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนรวมของอะไหล่คงคลัง สำหรับอะไหล่ที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ และจะต้องมีการเปลี่ยนชิ้นใหม่ โดยความต้องการในการ

ซ่อมบำรุงเป็นแบบป๊วส์ซอง และเวลาที่ขัดข้องมีการแจกแจงแบบเอ็กโปแนนเชียล ใช้เทคนิค Q, r ในการดำเนินการวิเคราะห์ปรับพารามิเตอร์ตามความเหมาะสมโดยใช้หลายเทคนิคประยุกต์

Wongmongkolrit and Rassameethes (2011) ศึกษาระบบสายพานลำเลียงกระเป๋าของสนามบินสุวรรณภูมิ ประเมินความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่จากอัตราความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่จะเป็นรายการเคลื่อนไหวช้า หรือเรียกว่า Discrete demand ซึ่งหมายถึงเป็นความต้องการที่ไม่ต่อเนื่อง หรือเป็นชิ้นส่วนที่ไม่ค่อยได้ใช้งาน ซึ่งรูปแบบของความต้องการแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องไม่ได้มีการนิยามไว้แน่ชัด แต่มีหนังสือ บทความหรือ กรณีศึกษาที่นิยามความหมายของ Discrete demand ไว้หลายรูปแบบ เช่น เป็นชิ้นส่วนที่มีความต้องการใช้งานน้อยกว่าหนึ่งหน่วยภายใน 1 ปี ชิ้นส่วนที่มีเวลาเฉลี่ยระหว่างความต้องการมากกว่า 10 เท่าของช่วงเวลานำเฉลี่ย และกำหนดค่าใช้จ่ายสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังรวม (Total cost) มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering cost) รวมกับค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Holding cost) แบบสินค้าคงคลัง EOQ เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการควบคุมสินค้าคงคลังและนโยบายควบคุมอะไหล่ อย่างไรก็ตามแบบจำลอง EOQ จะคิดโดยทั่วไปบนพื้นฐานของความต้องการอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับความต้องการแบบไม่ต่อเนื่องโมเดล EOQ อาจไม่เหมาะสม

ภาณุพงศ์ สุทธิหาระ และวรวุฒิ หวังวัชรกุล (ม.ป.ป.) ศึกษาปัจจัยที่ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมของระบบสินค้าคงคลัง ด้วยการสร้างแบบจำลองระบบสินค้าคงคลัง โดยใช้โปรแกรม ARENA ประเมินคำนวณปริมาณการสั่งซื้อ และระดับจุดสั่งซื้อที่ดีที่สุด ภายใต้ความไม่แน่นอนของตัวแปร เช่น ความต้องการต่อหน่วยเวลา ระยะเวลานำ เวลาในการขนส่ง เป็นต้น จากนโยบายควบคุม (Q, r) ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม MATLAB และทำการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) ของต้นทุนรวมด้วยพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน 7 รูปแบบ ทำการรันโปรแกรม 7,300 วัน 100 รอบ คำนวณหา Q และ r และได้ผลลัพธ์เป็นสมการความสัมพันธ์แบบรวมที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุด

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าอะไหล่คงคลัง มีเป้าหมายในการดำเนินการเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบริการจัดการคลังสินค้า และจัดการให้มีอะไหล่คงคลังเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน ลดปัญหาการสูญเสียเวลาในการผลิตอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ภายใต้ความไม่แน่นอน จึงต้องมีพิจารณาภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ เช่น พฤติกรรมความต้องการมีการแจกแจงแบบปกติ หรือเป็นแบบป๊วส์ซอง เวลาที่ขัดข้องมีพฤติกรรมเป็นแบบเอ็กโปรแนนเชียล เป็นต้น (ทัชพิชา พรมวงศ์, ปุณณมี สัจจกมล และพิสิฐ เอื้อธารพิสิฐ, 2555; Jin & Liao, 2009;

Lonardo, Anghinolfi, Paolucci & Tonelli, 2008; Wongmongkolrit & Rassameethes, 2011) สาเหตุดังกล่าวทำให้การประเมินความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ทำได้ยาก การกำหนดนโยบายที่เหมาะสมในการใช้ควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง จึงต้องมีการพิจารณาความเป็นไปได้หลายปัจจัยเพื่อให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องเหมาะสม ที่จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด หรือระดับบริการสูงที่สุด โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ เช่น การจำลองสถานการณ์ เป็นต้น เพื่อประเมินความสัมพันธ์ที่มีส่วนทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำสุดด้วยนโยบายที่กำหนด

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการประเมินนโยบายการจัดการอะไหล่คงคลังของเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่าการดำเนินงานภายใต้ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อน จึงจะต้องมีการจัดการให้เหมาะสมทั้งในด้านของการเลือกนโยบายการควบคุมการประเมินเพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อ การจัดเก็บ ให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดต้นทุนในการดำเนินการต่ำที่สุด ซึ่งภายใต้ผลลัพธ์เหล่านี้จะต้องอยู่บนพื้นฐานของระบบบริการที่สามารถยอมรับ และใช้เครื่องมือช่วยในการประเมินผลลัพธ์ของปัญหา ได้แก่ การจำลองสถานการณ์โดยใช้ โปรแกรม Microsolf excel ตามความเหมาะสมของปัญหา เพื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามนโยบายที่กำหนด ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยจะนำเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยเสนอแนวทางการศึกษาเพื่อประเมินนโยบายการจัดการพัสดุคงคลังที่เป็นชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร (Spare parts) สำหรับงานซ่อมบำรุง จำนวน 3 นโยบาย ได้แก่ นโยบาย Q, r นโยบาย Max-Min และนโยบาย T, s, S พร้อมทั้งเสนอตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP) การประเมินผลลัพธ์ของทั้ง 3 นโยบายจะใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) แบบมอนติคาร์โล ส่วนตัวแบบ MILP จะประเมินผลลัพธ์โดยใช้ OpenSolver ผลลัพธ์พิจารณาจากค่าใช้จ่ายรวม หรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) โดยเสนอตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

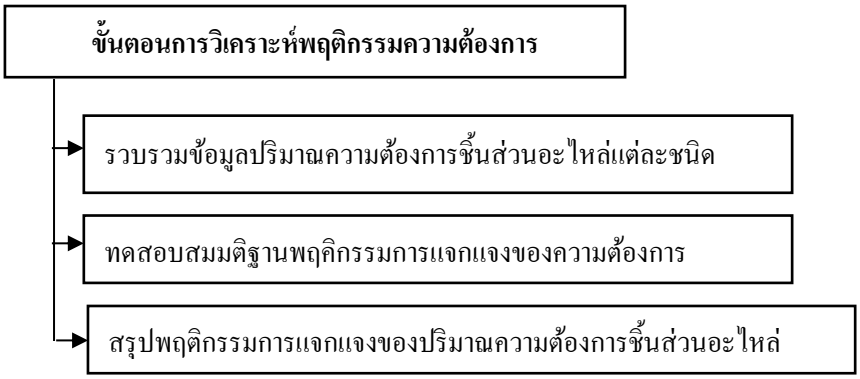
โครงสร้างปัญหางานวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare parts) สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร ภายใต้เงื่อนไขที่ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในช่วงเวลาเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและไม่แน่นอน ซึ่งพบว่าปริมาณการใช้ชิ้นส่วนอะไหล่จะมีความผันแปรเนื่องจาก งานซ่อมบำรุงนอกแผน หรือการเกิดเหตุขัดข้องฉุกเฉิน เครื่องจักรชำรุดเสียหาย ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้ชิ้นส่วนอะไหล่ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้เกิดอะไหล่ขาดมือ และทำให้ใช้เวลาการซ่อมบำรุงนานขึ้นจนอาจกระทบต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นโครงสร้างปัญหางานวิจัยจึงพิจารณาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร ที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิต สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการแจกแจงความต้องการได้ ความต้องการเป็นอิสระต่อกัน ช่วงเวลานำสามารถควบคุมได้ ด้วยนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ที่นำเสนอ โดยมีเป้าหมายให้เกิดค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ต่ำสุด และมีระดับบริการ (Service level) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ

จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่า การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรจะศึกษาบนสมมติฐานที่พฤติกรรมความต้องการเป็นแบบต่อเนื่อง (Chang, Chou & Huang, 2005) และแจกแจงแบบปกติ โดยที่ไม่มีหลักฐานยืนยันได้อย่างชัดเจนว่าความต้องการมีพฤติกรรมเช่นนั้นจริง (นำโชค ย้อยดี และกาญจ์นภา อมรัชกุล, 2559; Chang, Chou & Huang, 2005) งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละประเภทด้วยโปรแกรม

Input analyzer และทดสอบสมมติฐานของปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละประเภท โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

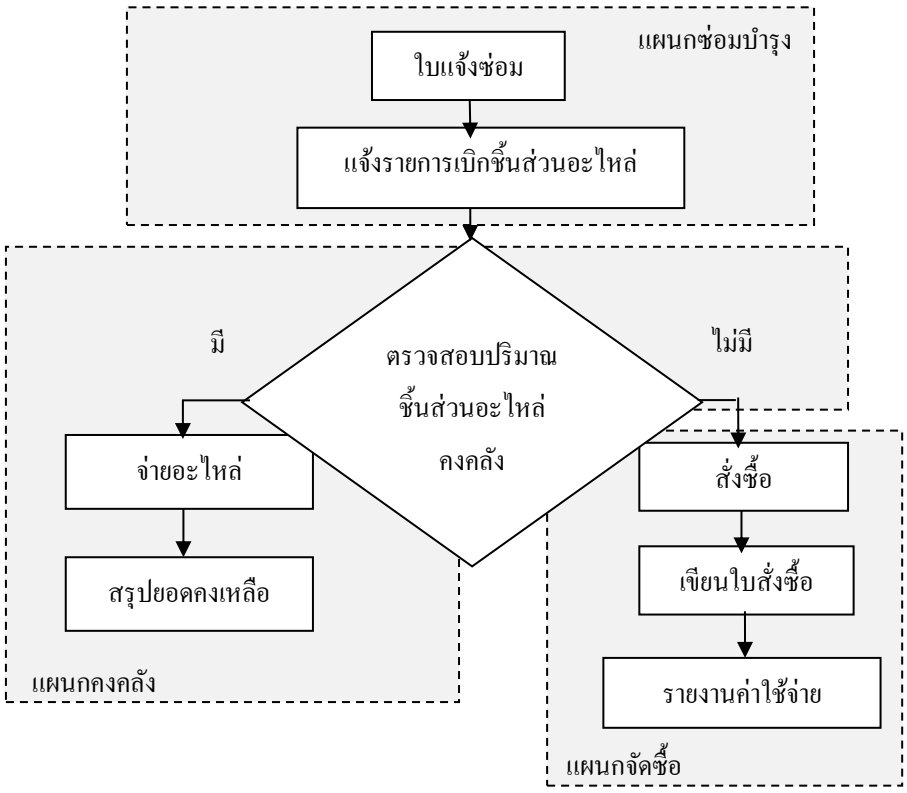


ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ

รวบรวมข้อมูลปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด

กันยา ฉัตรศักดาเดช (ม.ป.ป.); สุพรรณ์ ทองเพชร (2554) ระบุว่า กระบวนการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่โดยทั่วไปมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่ ได้แก่ แผนกซ่อมบำรุง แผนกคลังสินค้า และแผนกจัดซื้อ การเบิกอะไหล่จะมีใบแจ้งซ่อมที่ได้รับการอนุมัติจากหัวหน้าแผนก จากนั้นทำการยื่นใบเบิกอะไหล่แจ้งรายการชิ้นส่วนอะไหล่ให้กับแผนกคลังสินค้าเพื่อตรวจสอบปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่ว่ามีพร้อมใช้งานหรือไม่ หากมีพร้อมใช้งานก็สามารถทำการจ่ายอะไหล่ได้ทันที แต่ในกรณีที่ไม่มีอะไหล่คงคลังสำรอง เจ้าหน้าที่คงคลังจะส่งรายการอนุมัติให้กับแผนกจัดซื้อดำเนินการจัดซื้อ โดยผ่านการอนุมัติจากหัวหน้าแผนกเช่นเดียวกับการจ่ายอะไหล่ ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนภาพดังภาพที่ 3-2

งานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรที่สนใจจากงานวิจัยของธีทัต สุดพิทักษ์ (2559) ซึ่งเป็นข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นผู้ผลิตเม็ดพลาสติก ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง รายการชิ้นส่วนอะไหล่ที่เลือกมาศึกษาเป็นชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Cutter) ที่จัดเก็บไว้ใช้สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยมีข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2555-2558)



ภาพที่ 3-2 แผนผังการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่

ทดสอบสมมติฐานพฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการ

การทดสอบสมมติฐานจะกำหนดสมมติฐานหลัก H_0 และสมมติฐานรอง H_1 ดังนี้

H_0 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_i มีการแจกแจงแบบ $f(d_i)$

H_1 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_i ไม่ได้มีการแจกแจงแบบ $f(d_i)$

โดย

d_i = ปริมาณความต้องการเฉลี่ยของ Spare parts ชนิด i

$f(d_i)$ = ฟังก์ชันการแจกแจงที่สงสัยของความต้องการ Spare parts ชนิด i

การวิเคราะห์เชิงสถิติจะยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) เมื่อ ค่า P-Value มีค่ามากกว่า α โดย α แทนระดับนัยสำคัญของการทดสอบ และปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หรือยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ก็ต่อเมื่อ ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า α

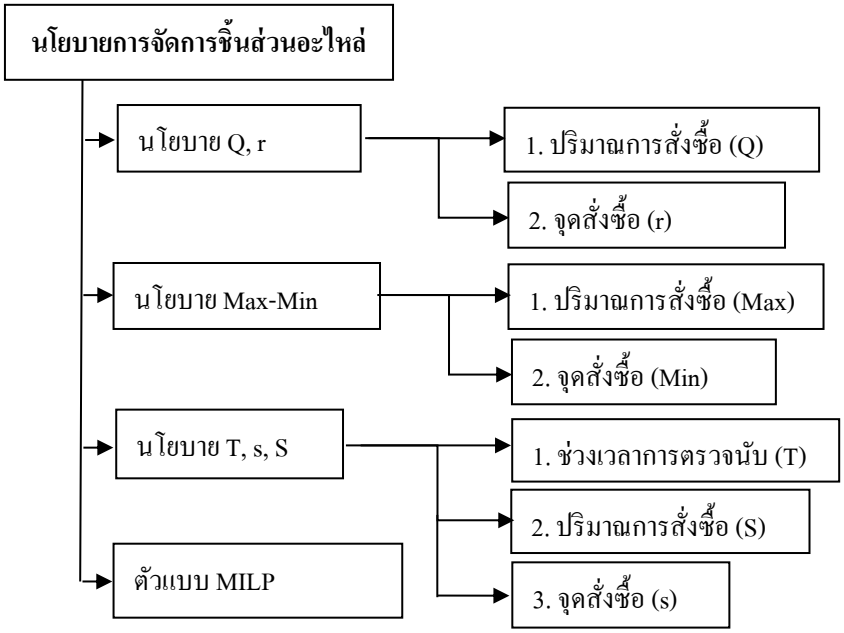
สรุปพฤติกรรมการแจกแจงของปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่

การวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่จะวิเคราะห์ด้วย Input analyzer จากโปรแกรม ARENA นำมาสรุปผล เลือกพฤติกรรมการแจกแจงที่เหมาะสมกับปริมาณ

ความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด พฤติกรรมการแจกแจงที่บ่งชี้ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ในการสร้างความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดในการสร้างแบบจำลองต่อไป

นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการประเมินการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 2 รูปแบบ คือ กรณีที่ไม่ทราบความต้องการล่วงหน้า ผู้วิจัยเสนอนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ 3 นโยบาย ได้แก่ นโยบาย Q, r นโยบาย สูงสุด ต่ำสุด (Max-Min) และนโยบาย T, s, S โดยนโยบาย Max-Min และ T, s, S น่าจะมีความเหมาะสมกับลักษณะพฤติกรรมของความต้องการแบบไม่ต่อเนื่อง และความต้องการต่ำ (ยุทธพงษ์ อมรเลิศวิทย์, 2553; Bedworth & Bailey, 1987) ส่วนนโยบาย Q, r จะประยุกต์โดยวิเคราะห์ระดับการสั่งซื้อเพิ่ม หรือจุดสั่งซื้อ r ที่มีการคำนวณชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (Safety Stock) จากพฤติกรรมการแจกแจงที่แท้จริง แทนการใช้การแจกแจงแบบปกติ กรณีที่ทราบความต้องการล่วงหน้า โดยการพยากรณ์ (ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าความต้องการที่สร้างจากกระบวนการมอนติคาร์โล) ผู้วิจัยเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นตัวแบบเชิงเส้นตัวแปรผสม (Mixed integer linear programing: MILP) เพื่อประเมิน Lot Size การสั่งในแต่ละช่วงเวลาย่อย ให้สอดคล้องกับความต้องการตลอดช่วงระยะเวลาที่วางแผน โดยมีแนวทางการประเมินขนาด Lot size แบบพลวัต (Dynamic lot size) สรุปดังแผนภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 แผนผังนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่

นโยบาย Q, r

1. ปริมาณการสั่งซื้อ (Q)

นโยบาย Q, r เป็นนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่แบบต่อเนื่อง สำหรับงานวิจัยนี้การวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อแทนด้วย Q ซึ่งใช้การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ; Q_o) สำหรับความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อการซ่อมบำรุงที่มีพฤติกรรมการแจกแจงเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและไม่คงที่ เมื่อมีข้อมูลเพียงพอและเชื่อถือได้ สมการที่ใช้แสดงดังนี้ (บรรหาญ ลิลา, 2553; ศิริกานดา คำภูษา, 2559; Whisner, Tan & Leong, 2012)

$$Q_{oi} = \sqrt{\frac{2D_i C_{Oi}}{C_{Ci}}} \tag{3-1}$$

โดย

Q_{oi} = ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดต่อครั้ง (EOQ) ของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย)

D_i = ปริมาณความต้องการต่อปีของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย หน่วยเวลา)

C_{Oi} = ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)

C_{Ci} = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/ หน่วยเวลา)

2. จุดสั่งซื้อ (r)

สำหรับนโยบาย Q, r การวิเคราะห์จุดสั่งซื้อ (Reorder point, r หรือ ROP) ด้วย r เมื่อปริมาณความต้องการมีการแจกแจงแบบปกติ จุดสั่งซื้อสามารถคำนวณได้ดังนี้ (บรรหาญ ลิลา, 2553; ศิริกานดา คำภูษา, 2559; Whisner, Tan & Leong, 2012)

$$r = ROP_i = (d_i \times \overline{LT_i}) + SS_i \tag{3-2}$$

โดย

ROP_i = จุดสั่งซื้อของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย)

d_i = ปริมาณความต้องการเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย/ หน่วยเวลา)

$\overline{LT_i}$ = ช่วงเวลานำฉลี่ยของชิ้นส่วนที่ i (หน่วยเวลา)

SS_i = ปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรองของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย)

ความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ไม่ได้มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบปกติ เช่น มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson) และลอคนอร์มอล (Lognormal) มีวิธีการประเมิน ดังต่อไปนี้

กรณีแจกแจงแบบปัวส์ซองตามฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Kelton, Sadowski & Swets, 2010)

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!} \tag{3-3}$$

เมื่อกำหนดให้ d เป็นความต้องการใด ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลานำ และแทน λ ด้วยค่าเฉลี่ยความต้องการระหว่างช่วงเวลานำ (d_{LT}) ดังนั้นความน่าจะมีค่าเท่ากับ

$$f(d) = \frac{e^{-d_{LT}}d_{LT}^{\ d}}{d!} \tag{3-4}$$

โดย

e = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.71828

d_{LT} = ปริมาณความต้องการเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลานำ (หน่วย/ หน่วยเวลา)

จะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดความต้องการ d ใด ๆ ได้ดังสมการที่ 3-5

$$F(d) = \sum_{d=1}^{n} \frac{e^{-d_{LT}}d_{LT}^{\ d}}{d!} \tag{3-5}$$

เมื่อกำหนดจุดสั่งซื้อ (ROP) ความน่าจะเป็นของการเกิดชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือแทนด้วย P(S) คำนวณได้จาก 1 – ความน่าจะเป็นสะสมที่มีความต้องการตั้งแต่ 0 ถึง d ใด ๆ ดังสมการที่ 3-6

$$P(S) = 1 - \sum_{d=1}^{ROP} \frac{e^{-d_{LT}}d_{LT}^{\ d}}{d!} \tag{3-6}$$

จากสมการที่ 3-6 พบว่า การปรับค่าจุดสั่งซื้อส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ (2554) เสนอการคำนวณจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) โดยการปรับค่าจนกระทั่งค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสินค้าขาดมือเท่ากับระดับความน่าจะเป็นของสินค้าขาดมือที่ระบบยอมรับได้ หรือค่าความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอเท่ากับระดับบริการที่กำหนดแทนด้วย P(SL) ดังสมการที่ 3-7

$$P(SL) = P[d_i \le ROP] = \sum_{d=1}^{ROP} \frac{e^{-d_{LT}}d_{LT}^{\ d_i}}{d_i!} \tag{3-7}$$

สำหรับความต้องการที่มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบ Lognormal การคำนวณจุดสั่งซื้อ (ROP) ที่เกี่ยวข้องกับระดับบริการ กำหนดจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ Lognormal ดังสมการที่ 3-8 (Kelton, Sadowski & Swets, 2010)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma x\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x)-\mu)^2/(2\sigma^2)} \quad (3\text{-}8)$$

กำหนดให้ d เป็นความต้องการใด ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างช่วงเวลานำ และแทน μ ด้วยค่าเฉลี่ยความต้องการระหว่างช่วงเวลานำ (d_{LT}) ดังนั้นความน่าจะเป็นมีค่าเท่ากับสมการที่ 3-9

$$f(d) = \frac{1}{\sigma d\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(d)-d_{LT})^2/(2\sigma^2)} \quad (3\text{-}9)$$

จากสมการความน่าจะเป็นเมื่อความต้องการมีการแจกแจงแบบ Lognormal จะสามารถคำนวณฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดความต้องการ d ใด ๆ เมื่อพื้นที่ใต้โค้ง $f(d)$ ทั้งหมด คือ ความน่าจะเป็นของทุกค่า d ที่มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ 0 ถึง d ใด ๆ แสดงดังสมการที่ 3-10

$$F(d) = \int_0^d f(d)dx = \Phi[Z] \quad (3\text{-}10)$$

เมื่อ d มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบ Lognormal ดังนั้น ln(d) จึงมีการแจกแจงแบบ Normal จึงสามารถประยุกต์กับตัวแปรแจกแจงแบบปกมาตรฐาน (z) ได้ดังสมการที่ 3-11

$$z = \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma} \quad (3\text{-}11)$$

พื้นที่ใต้กราฟของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานมีค่าเท่ากับ $\Phi[z] = P[Z \le z]$ ตั้งแต่ $-\infty$ ถึง z ดังนั้นฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดความต้องการ d ใด ๆ จะประเมินได้จากสมการที่ 3-12

$$F(d) = P\left[Z \le \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma}\right] \quad (3\text{-}12)$$

ความน่าจะเป็นของการเกิดชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือ แทนด้วย P(S) เมื่อกำหนดจุดสั่งซื้อ ROP ให้มีค่าเท่ากับ ln(d) ใด ๆ จะคำนวณดังสมการที่ 3-13

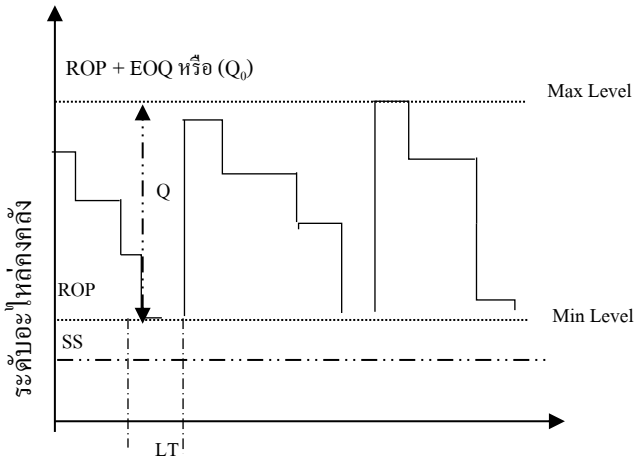
$$P(S) = 1 - P\left[Z \le \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma} \right] \tag{3-13}$$

การปรับค่าจุดสั่งซื้อ (ROP) หรือ ln(d) ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือ ดังนั้นในการคำนวณจุดสั่งซื้อใหม่จะทำการปรับค่า ln(d) จนกระทั่งค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสินค้าขาดมือเท่ากับระดับบริการที่กำหนด หรือค่าความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอ แทนด้วย P(SL) เท่ากับระดับบริการที่กำหนด แสดงดังสมการที่ 3-14

$$P(SL) = P\left[Z \le \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma} \right] \tag{3-14}$$

นโยบาย Max-Min

การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามแบบนโยบาย Max Min กำหนดปริมาณการสั่งซื้อแต่ละครั้งเพื่อให้มีระดับอะไหล่คงคลังเท่ากับ Max และจะทำการสั่งต่อเมื่อชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังมีเท่ากับหรือน้อยกว่าระดับ Min ดังนั้นจึงต้องกำหนดระดับ Max และระดับ Min เพื่อให้มีแนวทางการควบคุมดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 การคำนวณในระบบ Max Min ทั่วไป

นำโชค ย้อยดี และกาญจ์นภา อมรัชกุล (2559) กำหนดระดับ Max เท่ากับผลรวมของ ROP กับ EOQ และระดับ Min เท่ากับ ROP (สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้ EOQ = Q_0) อย่างไรก็ตาม ยังมีความเป็นไปได้ที่จะกำหนดระดับของค่า Max และ ค่า Min แตกต่างออกไปโดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ความต้องการไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ความต้องการต่อหน่วยเวลาค่อนข้างต่ำและเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตได้ว่าหากกำหนดระดับ Max = SS + Q_0 แทนอาจส่งผลให้ต้นทุนการจัดเก็บโดยเฉลี่ยต่ำลงได้ ดังภาพที่ 3-4 เมื่อ SS แทน Safety stock ของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่ที่พิจารณา

เพื่อกำหนดระดับ Max_i และ Min_i ของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านต้นรวมจากการกำหนดค่า Max_i และ Min_i จำนวน 4 แนวทาง ดังตารางที่ 3-1 และทำการทดสอบกับข้อมูลความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ของกรณีศึกษาที่กำหนดขึ้นจำนวน 15 ชนิด มีความต้องการต่อหน่วยเวลาแจกแจงแบบ Poisson จำนวน 10 ชนิด และ แจกแจงแบบ Lognormal จำนวน 5 ชนิด SS_i ประเมินได้จากสมการที่ 3-32 ROP_i ได้จากการปรับค่าในสมการที่ 3-7 เมื่อความต้องการแจกแจงแบบ Poisson และสมการที่ 3-14 เมื่อความต้องการแจกแจงแบบ Lognormal เพื่อกำหนด ROP_i ที่ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพออยู่ในระดับบริการที่ยอมรับได้ และ Q_{0i} ประเมินจากสมการที่ 3-1 ส่วน d_i ของแต่ละรายการคำนวณจากค่าเฉลี่ยของความต้องการต่อหน่วยเวลาที่ Generate ตามหลักการของ Monte carlo จำนวน 100 ค่า จากนั้นสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Microsoft excel ภายใต้พฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการ สำหรับช่วงเวลาที่วางแผนรอบ 12 หน่วยเวลา (งานวิจัยนี้ใช้หน่วยเวลาเป็นเดือน) ประเมินผลจากค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ต่ำสุดและระดับบริการที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายรวมประเมินจากผลรวมของต้นทุนการเก็บรักษา ต้นทุนการสั่งซื้อ และต้นทุนชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือ ส่วนระดับการบริการของแต่ละชนิด (SL) คำนวณจากสมการที่ 3-15 และระดับบริการเฉลี่ยคำนวณจากสมการที่ 3-16

$$SL_i = \frac{\sum d_{s,it}}{\sum d_{it}} \tag{3-15}$$

$$\overline{SL} = \frac{\sum SL_i}{k} \tag{3-16}$$

โดย

$d_{s,it}$ = ความต้องการทั้งหมดที่ตอบสนองได้ในช่วงเวลา t ของอะไหล่ที่ i

d_{it} = ความต้องการที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t ของอะไหล่ที่ i

i = อะไหล่รายการที่ i=1, 2, 3, …, k

t = ช่วงเวลาที่ 1, 2, 3, …, T สำหรับอะไหล่รายการที่ i

ตารางที่ 3-1 แนวทางการกำหนดรูปแบบ Max และ Min 4 กรณี

กรณี	การคำนวณค่า $\mathbf{Max_i}$	การคำนวณค่า $\mathbf{Min_i}$
1	$SS_i + Q_{0i}$	d_i
2	$SS_i + Q_{0i}$	ROP_i
3	$ROP_i + Q_{0i}$	d_i
4	$ROP_i + Q_{0i}$	ROP_i

สร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์แล้วทำการรันในขั้นต้นเป็นจำนวน 20 รอบ (n = 20) พิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) คำนวณรอบการรันที่เหมาะสมจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยกำหนดให้มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยได้จากสมการที่ 3-17

$$n \cong n_o \frac{h_0^2}{h^2} \tag{3-17}$$

โดย

n = จำนวนรอบการรันที่เหมาะสม (รอบ)

n_0= จำนวนรอบการรันเริ่มต้น (รอบ)

h= ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (หน่วย)

h_0= ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการประมวลผลครั้งแรก (หน่วย)

การรันแบบจำลองเพื่อประมวลผลเริ่มต้นจำนวน 20 รอบ และคำนวณค่าดังสมการ 3-17 แสดงผลดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ดัชนี Total cost จากการรันแบบจำลองจากค่า Max และ Min จำนวน 20 รอบ

กรณี (Case)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S_0)	t $\alpha = 0.05$	ความผิดพลาด (Error)	Half width (h_0)	Half width (h)	รอบการรันที่เหมาะสม (n)
1	361,221	20,783	2.09	0.025	4,770	9,031	6
2	385,126	12,785	2.09	0.025	2,935	9,628	2
3	371,618	15,043	2.09	0.025	3,453	9,290	3
4	395,541	12,000	2.09	0.025	2,755	9,889	2

จากตารางที่ 3-2 พบว่าจำนวนรอบการรัน (n) เพื่อให้มีค่าผิดพลาด 2.5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ดังกรณีที่ 1 ต้องการ n = 6 รอบ ดังนั้นการรันจำนวน 20 รอบจึงเพียงพอสำหรับทุกกรณีทดสอบ (ทุกกรณีมี h_0 น้อยกว่าค่าเป้าหมาย h) อย่างไรก็ตามเพื่อให้มั่นใจในผลลัพธ์มากยิ่งขึ้น จึงกำหนดรอบการทดสอบอีกครั้ง n = 100 รอบได้ผลลัพธ์ดังดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ดัชนี Total cost จากการรันแบบจำลองจากค่า Max และ Min 100 รอบ

กรณี (Case)	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใหม่ (S)	t $\alpha = 0.05$	Half width (h_0)	Half width (h)
1	361,341	16,914	1.98	1,702	9,031
2	388,705	14,254	1.98	1,435	9,628
3	373,678	15,795	1.98	1,589	9,290
4	398,822	14,283	1.98	1,437	9,889

ผลการทดสอบค่า Max_i-Min_i ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด คือ กรณีที่ 1 เท่ากับ 361,341 บาท และค่าความผิดพลาด h_0 จากการรัน n = 100 มีค่าน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (h) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอให้กำหนดค่า Max_i-Min_i ตามความสัมพันธ์ของกรณีที่ 1 ดังแสดงในสมการที่ 3-18 และ สมการที่ 3-19 ตามลำดับ

1. ปริมาณการสั่งซื้อ (Max)

นโยบาย Max-Min กำหนดให้ปริมาณอะไหล่คงคลังมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ Max_i ดังสมการที่ 18

$$Max_i = SS_i + Q_{0i} \quad (3\text{-}18)$$

ค่า Q_{oi} สามารถหาได้จากสมการที่ 3-1 และค่า SS_i สามารถหาได้จากสมการที่ 3-31 ในกรณีความต้องการมีการแจกแจงแบบปกติ และหาได้จากสมการ 3-32 ในกรณีที่ความต้องการมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง และลอคนอร์มอล

2. จุดสั่งซื้อ (Min)

นโยบาย Max-Min กำหนดการสั่งซื้อเมื่อมีอะไหล่คงคลังลดลงเหลือเท่ากับค่า Min สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดตามผลการทดสอบค่า Max-Min ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด พบว่าค่า Min_i ที่เหมาะสมของ Spare Parts ชนิดที่ i คือ ค่า d_i ดังสมการที่ 3-19

$$Min_i = d_i \quad (3\text{-}19)$$

นโยบาย T, s, S

นโยบาย T, s, S เป็นนโยบายที่กำหนดให้มีการตรวจนับอะไหล่คงคลังตามรอบเวลา T แต่จะทำการสั่งซื้อก็ต่อเมื่อมีอะไหล่คงคลังเหลืออยู่น้อยกว่าหรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ s และสั่งซื้อมาเติมให้อะไหล่คงคลังมีปริมาณเท่ากับ S

1. ระยะเวลาการตรวจนับชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง (T)

ระยะเวลาการตรวจนับชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่ i (T_i) ของนโยบาย T, s, S กำหนดจากสมการ 3-20 โดย T_i เป็นเวลาที่จะมีการตรวจนับอะไหล่คงคลังทุกๆช่วงเวลา T_i

$$T_i = \frac{Q_{oi}}{D_{max,i}} \quad (3\text{-}20)$$

โดย

$D_{max,i}$ คือ ค่าปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่ เมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมการกระจายตัวโดยผ่านการตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ด้วยการสร้าง Box Plot

2. ปริมาณการสั่งซื้อ (S)

การวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อเมื่อถึงเวลาการตรวจนับที่ T_i สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดแทนด้วย S_i คำนวณได้จากสมการที่ 3-21 (Bedworth & Bailey,1987)

$$S_i = SS_i + Q_{0i} \quad (3\text{-}21)$$

3. จุดสั่งซื้อ (s)

นโยบายนี้กำหนดจุดสั่งซื้อของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด (s_i) แทนระดับอะไหล่คงคลังต่ำสุดที่ต้องกำหนดไว้เพื่อรองรับความต้องการใช้งานในระหว่างช่วงเวลานำ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (SS_i) ในสมการที่ 3-2 และถ้ากำหนดให้ d_{LTi} แทนความต้องการเฉลี่ยในช่วงเวลานำ หรือ $d_{LTi} = d_i \times LT_i$ จากสมการที่ 3-2 จะได้ระดับ s_i ดังสมการที่ 3-22

$$s_i = ROP_i - d_{LTi} \quad (3\text{-}22)$$

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP) สร้างขึ้นเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมในการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามแนวทางของนโยบายการตรวจติดตามปริมาณอะไหล่คงคลังแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous review) แบบ Q, r เมื่อความต้องการไม่คงที่ เนื่องจากการตัดสินใจจะทำสำหรับแต่ละช่วงเวลา (ภายในช่วงเวลาไม่มีการตัดสินใจ) ในกรณีที่ทราบค่าความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ในแต่ละช่วงเวลา t และไม่คงที่ แต่สามารถประเมินความต้องการได้ การสร้างตัวแบบจะทำบนสมมติฐานที่ทราบปริมาณความต้องการ โดยที่ความต้องการมีลักษณะแบบไม่ต่อเนื่อง และมีปริมาณต่ำ ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดเป็นอิสระต่อกันในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งดำเนินการด้วยการสุ่มตัวเลขตามลักษณะการแจกแจงของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดจากกระบวนการมอนติคาร์โล ตัวแปรในการตัดสินใจตามแนวทางของตัวแบบ Q, r คือ ปริมาณการสั่งอะไหล่ในแต่ละช่วงเวลา (Q_i) และจุดสั่งซื้ออะไหล่เพิ่มที่ควรกำหนดในแต่ละช่วงเวลา (R_i) และระดับอะไหล่สำรอง (Safety stock หรือ SS) เพื่อให้ต้นทุนการจัดการรวมต่ำที่สุดและมีระดับบริการโดยรวม (Service level) ตลอดช่วงการวางแผนมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ในการพัฒนาตัวแบบกำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

ดัชนี (Indexes)

i = ชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare parts) ที่ i โดยที่ i = 1, 2, 3, …, k

t = ช่วงระยะเวลา (Period) ที่ t โดยที่ t = 1, 2, 3, …,T

พารามิเตอร์ (Parameters)

$I_{avg,it}$ = จำนวน Spare parts ชนิด i ที่มีใน Period t โดยเฉลี่ย (หน่วย)

$I_{int,it}$ = จำนวน Spare parts ชนิด i ที่มีในต้น Period t (หน่วย)

$I_{end,it}$ = จำนวน Spare parts ชนิด i ที่มีในปลาย Period t (หน่วย)

C_{ci} = ต้นทุนการเก็บรักษา Spare parts สำรอง ชนิด i (บาท/หน่วย/หน่วยเวลา)

C_{oi} = ต้นทุนการสั่งซื้อ Spare parts ชนิด i (บาท/หน่วย/หน่วยเวลา)

C_{si} = ต้นทุนการขาด Spare parts ชนิดที่ i (บาท/หน่วย)

LT_i = ช่วงเวลานำการสั่งของ Spare parts ชนิด i (หน่วยเวลา)

d_{it} = ความต้องการของ Spare parts ชนิด i ใน Period t (หน่วย)

$d_{s,it}$ = ความต้องการ Spare parts ชนิด i ที่ตอบสนองได้ใน Period t (หน่วย)

M = จำนวนเต็มบวกที่มีค่ามาก เช่น 1,000 เป็นต้น

SS_i = จำนวน Spare parts เผื่อสำรองสำหรับชนิด i (หน่วย)

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision variables)

$$Z_{it} = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อทำการสั่ง Spare parts ชนิด i ใน Period t} \\ 0 \text{ เมื่อไม่มีการสั่ง Spare parts ชนิด i ใน Period t} \end{cases}$$

Q_{it} = จำนวน Spare parts ชนิด i ที่สั่งซื้อใน Period t (หน่วย)

R_{it} = จุดสั่งซื้อเพิ่มของ Spare parts ชนิด i ในช่วงเวลา t (หน่วย)

B_{it} = จำนวน Spare parts ชนิด i ที่ขาดในช่วงเวลาที่ t (หน่วย)

การสร้างตัวแบบสามารถสร้างตัวแบบได้ดังนี้

ต้นทุนรวม (Total cost; TC): ต้นทุนรวมประกอบด้วย ต้นทุนการจัดให้มีอะไหล่ (Spare parts) สำรองและต้นทุนที่เกิดจากการขาดชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเมื่อเครื่องจักรเกิดการ Break down ในแต่ละช่วงเวลา โดยต้นทุนการจัดให้มีชิ้นส่วนอะไหล่สำรองประกอบด้วยต้นทุนการจัดเก็บและต้นทุนการสั่ง ดังสมการที่ 3-23

$$TC = \sum_{i=1}^{k} \sum_{t=1}^{T} [C_{ci}.I_{avg,it} + C_{oi}.Z_{it} + C_{si}.B_{it}] \qquad (3\text{-}23)$$

$C_{ci}.I_{avg,it}$ แทนต้นทุนการเก็บรักษา Spare parts ในแต่ละช่วงเวลา t โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์ของราคาอะไหล่ต่อเดือน $C_{oi}.Z_{it}$ แทนต้นทุนการสั่งซื้อ ถ้ามีการสั่งในช่วงเวลาที่ t ใด ๆ และ $C_{si}.B_{it}$ แทนต้นทุนการขาด Spare parts ในแต่ละช่วงเวลา t เมื่อกำหนดค่าใช้จ่ายของการขาดมีค่าคงที่เท่ากับ C_s

เงื่อนไข (Constraints): ต้นทุนรวม (TC) จะประเมินภายใต้เงื่อนไขของจำนวน Spare parts เฉลี่ยต่อช่วงเวลา (สมการที่ 3-24) การส่งต่อของ Spare parts คงคลังระหว่างช่วงเวลา t

(สมการที่ 3-25) การไหลที่สมดุล (Balance) ของ Spare parts เข้าและออกในแต่ละช่วงเวลา (สมการที่ 3-26) การสั่งและการกำหนดปริมาณ Spare parts สำรอง (สมการที่ 3-27, 3-28) และระดับบริการรวม (สมการที่ 3-29)

จำนวน Spare Parts เฉลี่ย ($I_{avg,it}$) ในแต่ละช่วงเวลา t ประเมินจากค่าเฉลี่ยของจำนวน Spare part ที่มี ณ ต้น และ ปลายช่วงเวลา t ดังสมการที่ 3-24

$$I_{avg,it} = \frac{I_{int,it} + I_{end,it}}{2} \tag{3-24}$$

จำนวน Spare parts คงเหลือเมื่อสิ้นช่วงเวลา t จะเป็นจำนวน Spare parts ที่พร้อมใช้งาน ณ ช่วงต้นเวลาที่ t+1 ตามความสัมพันธ์ดังสมการ 3-25

$$I_{int,it} - I_{end,it-1} = 0 \tag{3-25}$$

การไหลเข้าต้องเท่ากับการไหลออกของจำนวน Spare parts ในแต่ละช่วงเวลา t ประกอบด้วยจำนวน Spare parts ที่มี ($I_{int,it}$) ปริมาณที่มีการสั่งล่วงหน้าตามช่วงเวลานำและจะได้รับ (Q_{it-LT}) จำนวน Spare parts คงเหลือ ($I_{end,it}$) จำนวน Spare parts ขาด (B_{it}) ซึ่งต้องสมดุลกับ ความต้องการ (d_{it}) ในแต่ละช่วงเวลา แสดงความสัมพันธ์ดังสมการ 3-26

$$I_{int,it} + Q_{it-LT} - I_{end,it} + B_{it} = d_{it} \tag{3-26}$$

ในแต่ละช่วงเวลา จำนวน Spare parts ที่คงเหลือ ($I_{end,it}$) รวมกับจำนวนที่สั่งเพิ่ม (Q_{it}) จะต้องมากกว่า หรือ เท่ากับจุดสั่งซื้อ Spare parts เพิ่ม (R_{it}) ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-27 ซึ่งเป็นการบังคับให้มีการสั่งซื้อ และเมื่อมีการสั่งซื้อ Spare parts สมการที่ 3-28 จะบังคับให้ตัวแปร Z_{it} ซึ่งเป็นตัวแปรแบบ {0,1} มีค่าเท่ากับ 1 หรือเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการสั่ง นอกจากนี้ยังต้องกำหนดปริมาณ Spare parts สำรอง (SS_i) ตามนโยบาย และกำหนดให้จุดสั่งซื้อในแต่ละช่วงเวลาต้องไม่ต่ำกว่าระดับ SS_i นี้ ดังสมการที่ 3-29

$$I_{end,it} + Q_{it} \geq R_{it} \tag{3-27}$$

$$Q_{it} \leq M.Z_{it} \tag{3-28}$$

$$R_{it} \geq SS_i \qquad (3\text{-}29)$$

จากสมการที่ 3-23 ถึง สมการที่ 3-29 สามารถสรุปตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP)ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min. } TC = \sum_{i=1}^{k} \sum_{t=1}^{T} [C_{ci}.I_{avg,it} + C_{oi}.Z_{it} + C_{si}.B_{it}]$$

สมการเงื่อนไข

$$I_{avg,it} = \frac{I_{int,it} + I_{end,it}}{2}$$

$$I_{int,it} - I_{end,it-1} = 0$$

$$I_{int,it} + Q_{it-LT} - I_{end,it} + B_{it} = d_{it}$$

$$I_{end,it} + Q_{it} \geq R_{it}$$

$$Q_{it} \leq M.Z_{it}$$

$$R_{it} \geq SS_i$$

โดย

$$Q_{it}\ ,\ R_{it}\ ,I_{int,it}\ ,\ I_{end,it}\ ,\ B_{it}\ \geq 0$$

$$Z_{it} = \{0,1\}$$

ปริมาณการสั่ง (Q_{it}) จุดสั่งซื้อ (R_{it}) จะส่งผลต่อความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการในแต่ละช่วงเวลาหรือระดับการให้บริการ ซึ่งคำนวณได้จากสัดส่วนของความต้องการที่ตอบสนองได้ต่อความต้องการทั้งหมด และจะประเมินเมื่อเสร็จสิ้นช่วงเวลาของการวางแผน เช่น 12 เดือน เป็นต้น กำหนดความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3-30

$$SL_i \cdot \sum_{t=1}^{T} d_{it} - \sum_{t=1}^{T} d_{s,it} = 0 \qquad (3\text{-}30)$$

สำหรับการประเมินผลด้วยตัวแบบ MILP กรณีที่พิจารณาจำนวน Spare parts เพียงชนิดเดียว การสร้างตัวแบบจะใช้เพียง Index t แต่หากพิจารณาจำนวน Spare parts มากกว่า 1 ชนิด ภายใต้กรอบระยะเวลาการวางแผนมากกว่า 1 ช่วงเวลา การสร้างตัวแบบจะใช้ Index ทั้ง i และ t โดยการประเมินตัวแบบนี้จะประเมินชิ้นส่วนอะไหล่ (Spare parts) ทีละชนิดอย่างเป็นอิสระต่อกัน

การกำหนดปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (Safety stock)

การคำนวณสินค้าเผื่อของทุกนโยบาย เมื่อปริมาณความต้องการมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถหาได้จาก

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{LT} \tag{3-31}$$

โดย

LT = ช่วงเวลานำ (หน่วยเวลา)

Z = ค่า z ในตารางการแจกแจงแบบปกติ ที่สอดคล้องกับระดับการให้บริการที่กำหนดไว้ตามประเภทของอะไหล่

σ_d = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการอะไหล่เพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงในช่วงเวลานำ

สำหรับการคำนวณสินค้าสำรองเผื่อที่ความต้องการไม่ได้มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบปกติ การคำนวณปริมาณสินค้าสำรองเผื่อจะดำเนินการตามลักษณะการแจกแจงพฤติกรรมความต้องการต่อช่วงเวลานำโดยค่า ROP_i ประเมินจากความน่าจะเป็นที่ Spare parts เพียงพอ ภายใต้ระดับบริการที่กำหนด ดังสมการที่ 3-7 เมื่อความต้องการแจกแจงแบบ Poisson และดังสมการที่ 3-14 เมื่อความต้องการแจกแจงแบบ Lognormal จึงกำหนดสินค้าเผื่อสำรองได้ดังสมการ 3-32

$$SS = ROP_i - d_{LT} \tag{3-32}$$

วิธีการประเมินคำตอบ

นโยบายการจัดการ Spare parts ที่นำเสนอ 3 นโยบาย จะประเมินคำตอบที่เหมาะสมด้วย Microsoft excel spreadsheet โดยค่าความต้องการประเมินจากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี ด้วยการสุ่มแบบมอนติคาร์โล และตัวแบบ MILP จะประเมินคำตอบที่เหมาะสมโดยการใช้ Excel OpenSolver (Mason, 2012) เนื่องจากสร้างขึ้นภายใต้สมมติฐานที่ทราบความต้องการจึงเป็นโปรแกรมเชิงเส้น ค่าความต้องการประเมินจากการสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โลเช่นเดียวกับทั้ง 3 นโยบายที่เสนอ ดำเนินการกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้งหมด 15 ชนิด ประเมินดัชนีค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) อย่างเหมาะสม วิธีการประเมินคำตอบมีสมมติฐานและการประเมินคำตอบสรุปดัง ตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 วิธีการประเมินคำตอบของปัญหาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง

สมมติฐาน	แบบจำลอง	การประเมินคำตอบ
กรณีไม่ทราบความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ แต่พยากรณ์ด้วยการสุ่มแบบมอนติคาร์โล	Q, r Max-Min และ T, s, S	วิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วย Monte carlo simulation
กรณีทราบความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ล่วงหน้า โดยการพยากรณ์จากการสุ่มแบบมอนติคาร์โล	MILP Model	วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) ด้วย Excel OpenSolver

สำหรับบทนี้เสนอแนวทางการวิเคราะห์นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังทั้งหมด 3 นโยบาย และตัวแบบ MILP กับชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด และวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินคำตอบที่เหมาะสมกับพฤติกรรมชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายรวมและระดับบริการ ผลการวิเคราะห์แสดงในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย

บทนี้ผู้วิจัยเสนอผลการดำเนินงานของการประยุกต์ใช้นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังกรณีไม่ทราบความต้องการ 3 นโยบาย ได้แก่ นโยบาย Q, r นโยบาย Max-Min นโยบาย T, s, S และเสนอตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP) เพื่อประเมิน Lot size การสั่งกรณีที่ทราบความต้องการ กรณีไม่ทราบความต้องการจะประเมินคำตอบด้วยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากงานวิจัยของ ธีทัต สุดพิทักษ์ (2559) โดยเลือกใช้ข้อมูลของชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักรที่มีปริมาณความต้องการรวม 4 ปี (พ.ศ. 2555-2558) สูงสุด 15 ชนิด รายละเอียดของการได้มาซึ่งผลลัพธ์จะแสดงตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการ

รวบรวมข้อมูลปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด

ชิ้นส่วนอะไหล่ทั้งหมด 15 ชนิดได้จากงานวิจัย ธีทัต สุดพิทักษ์ (2559) ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลการเบิกจ่ายชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องตัด (Cutter) จากคอมพิวเตอร์ในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เมื่อตรวจสอบข้อมูลแล้วผู้วิจัยจึงเลือกชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับเครื่องจักรที่สำคัญ โดยเครื่องจักรที่มีความสำคัญหรือมีผลต่อกระบวนการผลิต คือ มีความต้องการใช้งานชิ้นส่วนอะไหล่ในการซ่อมบำรุงมากที่สุดในรอบการเก็บข้อมูล 4 ปี ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลเดิมของกรณีศึกษาที่มีการตรวจสอบอย่างถูกต้องแล้วมาเพื่อใช้ทดสอบกับแนวทางการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ที่ผู้วิจัยเสนอ ข้อมูลกรณีศึกษาสรุปได้ดังตารางที่ 4-1

ตาราง 4-1 ปริมาณความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่จำนวน 15 ชนิดสำหรับกรณีศึกษา

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ความต้องการรวม 4 ปี (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อปี (ชิ้น)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อเดือน (บาท / ชิ้น)
1	195	4.06	48.75	2,735	917
2	188	3.92	47	2,735	917
3	145	3.02	36.25	2,735	145
4	116	2.42	29	2,735	4

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ความต้องการรวม 4 ปี (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อปี (ชิ้น)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อเดือน (บาท / ชิ้น)
5	105	2.19	26.25	2,735	65
6	70	1.46	17.5	2,735	25
7	63	1.31	15.75	2,735	58
8	60	1.25	15	2,735	31
9	59	1.23	14.75	2,735	24
10	53	1.10	13.25	2,735	23
11	195	4.06	48.75	2,735	917
12	188	3.92	47.00	2,735	917
13	70	1.46	17.50	2,735	25
14	63	1.31	15.75	2,735	58
15	70	1.46	17.5	2,735	14

ทดสอบสมมติฐานพฤติกรรมการแจกแจงความต้องการ

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบสมมติฐานพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด จากกรณีศึกษาโดยวิเคราะห์จากการรวบรวมข้อมูลความต้องการใช้งานในรอบ 4 ปี หรือ 48 เดือน นำข้อมูลปริมาณความต้องการดำเนินการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Input analyzer จาก ARENA เพื่อประเมินรูปแบบของพฤติกรรมที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ $\alpha = 0.05$ โดยกำหนดสมมติฐานหลัก H_0 และสมมติฐานรอง H_1 ดังนี้

H_0 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_i มีการแจกแจงแบบ $f(d_i)$

H_1 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_i ไม่ได้มีการแจกแจงแบบ $f(d_i)$

โดย

d_i = ปริมาณความต้องการของ spare part ชนิด i

$f(d_i)$ = ฟังก์ชันการแจกแจงที่สงสัยของความต้องการ spare part ชนิด i

เบื้องต้นสมมติให้ $f(d_i)$ มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อดำเนินการทดสอบสมมติฐานของชิ้นส่วนอะไหล่ทั้งหมด 15 ชนิด สามารถสรุปได้ว่า ชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด ไม่ได้มีพฤติกรรมการแจกแจงแบบปกติ ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จึงประเมินตัวแบบการแจกแจงเบื้องต้นของความต้องการของอะไหล่แต่ละชนิด โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Square of

error; SE) และนำตัวแบบการแจกแจงที่มีค่า SE ต่ำมาวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสมมติฐานแบบ Chi-Square Test เช่น ชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่ 1 (ดังภาพที่ 4-1) วิเคราะห์ค่า SE พบว่า ตัวแบบที่เป็นไปได้ลำดับที่ 1 ถึง 5 คือ Erlang, Weibull, Poisson, Gamma และ Beta ตามลำดับ แต่เนื่องจากสังเกตได้ชัดเจนว่าความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่นี้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง จึงเลือกทดสอบ Chi-Square กับการแจกแจงแบบ Poisson ตามสมมติฐานดังนี้

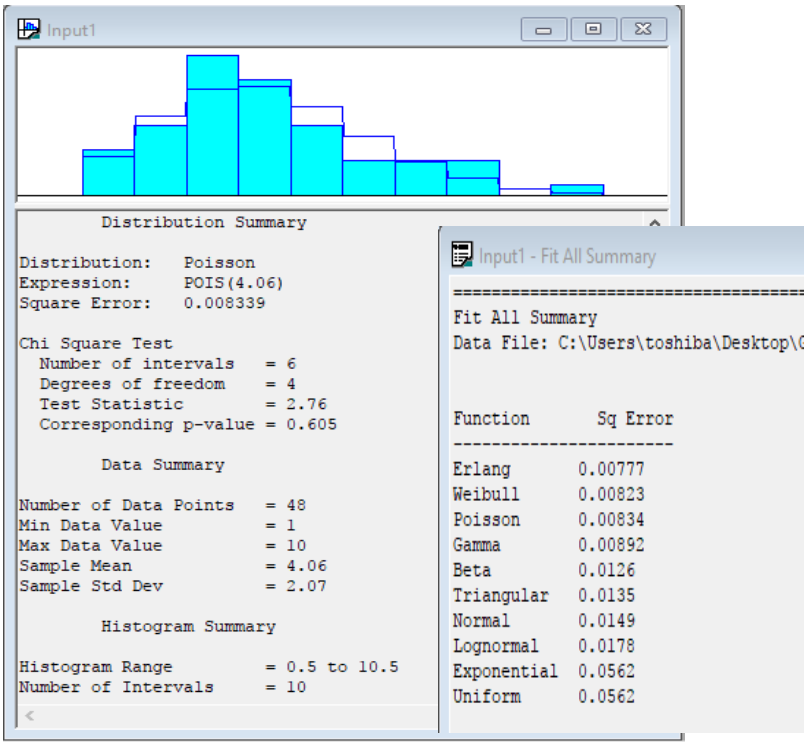
H_0 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_1 มีการแจกแจงแบบ Poisson

H_1 = ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ d_1 ไม่ได้มีการแจกแจงแบบ Poisson

โดย

d_1 = ปริมาณความต้องการของ spare part ชนิด 1

จากผลการวิเคราะห์ด้วย Input analyzer ของ ARENA พบว่า ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธว่าความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่ 1 (d_1) แจกแจงแบบ Poisson มีค่าเฉลี่ย 4.06 ชิ้นต่อเดือน ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

การวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดอื่น ดำเนินการเช่นเดียวกันกับตัวอย่างนี้ ผลลัพธ์สรุปดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 พฤติกรรมการแจกแจงความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	Distribution	Expression	P-Value
1	Poisson	POIS(4.06)	0.605
2	Poisson	POIS(3.92)	> 0.75
3	Poisson	POIS(3.02)	0.262
4	Poisson	POIS(2.42)	0.195
5	Poisson	POIS(2.19)	0.594
6	Poisson	POIS(1.46)	0.652
7	Poisson	POIS(1.31)	0.67
8	Poisson	POIS(1.25)	0.495
9	Poisson	POIS(1.23)	0.647
10	Poisson	POIS(1.1)	0.424
11	Lognormal	0.5 + LOGN(3.74, 3.01)	0.249
12	Lognormal	0.5 + LOGN(3.65, 3.34)	0.134
13	Lognormal	-0.5 + LOGN(2.03, 1.73)	0.095
14	Lognormal	-0.5 + LOGN(1.86, 1.55)	0.217
15	Lognormal	-0.5 + LOGN(2, 1.49)	0.051

สร้างข้อมูลค่าสุ่มความต้องการใหม่ตามพฤติกรรมการแจกแจงความต้องการ

พฤติกรรมการแจกแจงความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด จะถูกนำไปใช้ในการสร้าง (Generate) ความต้องการรายเดือน ตามหลักการของกระบวนการมอนติคาร์โล เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่อไป

การประเมินนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่

นโยบาย Q, r

1. การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยนโยบาย Q, r จากกรณีศึกษา

การประเมินตัวแบบ Q, r จากกรณีศึกษา (ธีทัต สุดพิทักษ์, 2559) จะใช้ค่าการคำนวณ Q ด้วยการคำนวณการสั่งซื้อที่ประหยัด และการคำนวณจุดสั่งซื้อเดิม โดยไม่ได้คำนึงถึงพฤติกรรมการแจกแจงความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ งานวิจัยนี้จะใช้ค่าการคำนวณเดิมของกรณีศึกษาที่มีการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว สรุปได้ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด จากกรณีศึกษาเดิมตามนโยบาย Q, r

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อปี (ชิ้น)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/ เดือน)	เวลานำเฉลี่ย (เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)	ปริมาณการสั่งที่ประหยัด (ชิ้น/ ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)
1	4.06	48.75	2,735	917	0.299	4.22	5	5
2	3.92	47.00	2,735	917	0.297	3.91	5	5
3	3.02	36.25	2,735	145	0.498	4.72	11	6
4	2.42	29.00	2,735	4	0.099	1.51	56	2
5	2.19	26.25	2,735	65	0.348	2.76	14	4
6	1.46	17.50	2,735	25	0.261	1.73	18	2
7	1.31	15.75	2,735	58	0.414	2.01	11	3
8	1.25	15.00	2,735	31	0.287	1.53	15	2
9	1.23	14.75	2,735	24	0.466	1.97	17	3
10	1.10	13.25	2,735	23	0.272	1.39	16	2
11	4.06	48.75	2,735	917	0.299	4.22	5	5
12	3.92	47.00	2,735	917	0.297	3.91	5	5
13	1.46	17.50	2,735	25	0.261	1.73	18	2
14	1.31	15.75	2,735	58	0.414	2.01	11	3
15	1.46	17.5	2,735	14	0.30	1.83	24	2

2. การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยนโยบาย Q, r ตามพฤติกรรมความต้องการ

นโยบาย Q, r วิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อ Q_o ด้วยการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ; Q_o) ดังสมการ 3-1 และคำนวณค่าจุดสั่งซื้อ (ROP; r) ตามพฤติกรรมการแจกแจงของปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ ดังสมการ 3-7 และ 3-14 กับปริมาณความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิดที่ผ่านการวิเคราะห์พฤติกรรมความต้องการแล้ว โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและเก็บรักษาเท่ากับที่ใช้งานวิจัยของ ธีทัต สุดพิทักษ์ (2559) คือ ค่าใช้จ่ายในการสั่ง (C_{Oi}) เท่ากับ 2,735 บาท/ ครั้ง และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาต่อเดือน (C_{Ci}) มีค่าเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์ ของราคาชิ้นส่วนอะไหล่ แสดงตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด Q_o จากสมการที่ 3-1 โดยใช้ข้อมูลของชิ้นส่วนอะไหล่ชิ้นที่ 1

จากสมการที่ 3-1 $$Q_{oi} = \sqrt{\frac{2D_i C_{Oi}}{C_{Ci}}}$$

$$Q_{o1} = \sqrt{\frac{2 \times 48.72 \times 2{,}735}{1{,}108}}$$

$$= 4.92 \text{ ชิ้น/ ครั้ง}$$

$$= 5 \text{ ชิ้น/ ครั้ง}$$

โดย

Q_{oi} = ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดต่อครั้ง (EOQ) ของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย)

D_i = ปริมาณความต้องการต่อปีของชิ้นส่วนที่ i (หน่วย/หน่วยเวลา)

C_{Oi} = ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ครั้ง)

C_{Ci} = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/หน่วยเวลา)

ตัวอย่างการคำนวณจุดสั่งซื้อ r ตามพฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ชิ้นที่ 1 มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

การคำนวณความน่าจะเป็นเมื่อเกิดความต้องการ d ใด ๆ สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างเมื่อความต้องการมีค่าเท่ากับ 1 ชิ้น

จากสมการที่ 3-4 $$f(d) = \frac{e^{-d_{LT}} d_{LT}^{\ d}}{d!}$$

$$f(1) = \frac{2.71828^{-1.21} 1.21^{1}}{1!}$$

$$f(1) = 0.361$$

โดย

e = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 2.71828

d_{LT} = ปริมาณความต้องการเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลานำ

= 4.06 x 0.299 = 1.21 หน่วย/เดือน

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ความต้องการเท่ากับ 1 ชิ้น มีค่าเท่ากับ 0.361 สำหรับการคำนวณความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอ เป็นดังนี้

จากสมการที่ 3-7 $$P(SL) = P[d_i \le ROP] = \sum_{d=1}^{ROP} \frac{e^{-d_{LT}} d_{LT}^{\ d_i}}{d_i!}$$

$$P(SL) = P[d_1 \le ROP] = \sum_{d=1}^{ROP} \frac{e^{-1.21} 1.21^{d_1}}{d_1!}$$

เมื่อกำหนดให้ปริมาณความต้องการ d_i เป็นความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลานำ และกำหนดให้ความน่าจะเป็นของชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.05 ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่อะไหล่จะเพียงพอ คือ 1- 0.05 = 0.95 ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่ความต้องการนั้น ๆ จะมีค่าไม่เกินจุดสั่งซื้อเท่ากับ 0.95 การคำนวณจุดสั่งซื้อจะทำการปรับค่าจุดสั่งซื้อ หรือค่า d_i ไป จนได้ความน่าจะเป็นสะสมมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 แสดงการคำนวณดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การคำนวณจุดสั่งซื้อเมื่อความต้องการแจกแจงแบบปัวส์ซองชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

ความต้องการเป็นจำนวนชิ้น (d_i)	**ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความต้องการ d ใด ๆ (คำนวนจากสมการที่ 3-4)**	**ความน่าจะเป็นสะสม (คำนวณจากสมการที่ 3-7)**
0	0.298	0.298
1	0.361	0.659
2	0.218	0.877
3	**0.088**	**0.965**
4	0.027	0.992
5	0.006	0.998

เมื่อดำเนินการปรับค่าจุดสั่งซื้อพบว่าที่ความต้องการ d_i มีค่าเท่ากับ 3 ทำให้ค่าความน่าจะเป็นสะสมที่ชิ้นส่วนอะไหล่เพียงพอ หรือ P(SL) มีค่าเกิน 0.95 ดังนั้นจุดสั่งซื้อจึงมีค่าเท่ากับ 3 ชิ้น แสดงว่าเมื่อชิ้นส่วนอะไหล่ในคลังลดลงจนเหลือ 3 ชิ้นจะต้องทำการสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่เข้ามาเพิ่มจำนวน Q_{01} เท่ากับ 5 ชิ้น

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด Q_o โดยใช้ข้อมูลของชิ้นส่วนอะไหล่ชิ้นที่ 11 เมื่อความต้องการมีพฤติกรรมการแจกแจงแบบลอคนอร์มอล

จากสมการที่ 3-1

$$Q_{o11} = \sqrt{\frac{2D_i C_{Oi}}{C_{Ci}}}$$

$$Q_{o11} = \sqrt{\frac{2 \times 47.64 \times 2{,}735}{1{,}108}}$$

$$= 4.87 \text{ ชิ้น/ ครั้ง}$$

$$= 5 \text{ ชิ้น/ ครั้ง}$$

ตัวอย่างการคำนวณจุดสั่งซื้อ r ตามพฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ชิ้นที่ 11 มีการแจกแจงแบบลอคนอร์มอล

เมื่อ d ใด ๆ เป็นความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลานำซึ่งมีพฤติกรรมความต้องการเป็นแบบ Lognormal ทำให้ $\ln(d)$ ใด ๆ มีพฤติกรรมแบบ Normal ทำให้พื้นที่ใต้กราฟของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานมีค่าเท่ากับสมการที่ 3-11

จากสมการที่ 3-11 $$z = \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma}$$

กำหนดให้ ROP มีค่าเท่ากับ $\ln(d)$ เป็นค่าจุดสั่งซื้อใด ๆ เมื่อกำหนดให้ความน่าจะเป็นสะสมที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอมีค่าไม่น้อยกว่า 0.95 จะสามารถคำนวณจุดสั่งซื้อโดย

$$\ln(d) = z\sigma + d_{LT}$$
$$\ln(d) = 1.65(2.791) + 1.187$$
$$\ln(d) = 5.79$$
$$\ln(d) = 6 \text{ ชิ้น}$$

การตรวจสอบค่าความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอ หรือ P(SL) ที่กำหนดจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.95 เมื่อแทนค่าในสมการ 3-14 คำนวณความน่าจะเป็นที่อะไหล่จะเพียงพอดังนี้

จากสมการที่ 3-14 $$P(SL) = P\left[Z \le \frac{\ln(d) - d_{LT}}{\sigma} \right]$$
$$P(SL) = P\left[Z \le \frac{\ln(5.79) - 1.187}{2.791} \right]$$
$$P(SL) = 0.95$$

ดังนั้นจุดสั่งซื้อของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 11 ที่มีพฤติกรรมแบบลอคนอร์มอลเท่ากับ 6 ชิ้น แสดงว่าเมื่อชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังลดลงเหลือเท่ากับ 6 ชิ้น จะทำการสั่งซื้อในปริมาณ Q_{o11} เท่ากับ 5 ชิ้น/ ครั้ง

การคำนวณปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรองเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปัวส์ซองและลอคนอร์มอลของชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คำนวณจากสมการที่ 3-32 ซึ่งค่า ROP ได้จากการ

ประเมินจุดสั่งซื้อที่ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนอะไหล่จะเพียงพอ P(SL) ภายใต้ระดับบริการ 0.95 แสดงตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรองของชิ้นส่วนที่ 11 ที่มีพฤติกรรมความต้องการแบบลอคนอร์มอล

จากสมการที่ 3-32 $SS_{11} = ROP_i - d_{LT}$

$SS_{11} = 6 – 1.187$

$SS_{11} = 6 – 1.187$

$SS_{11} = 4.813$ หรือเท่ากับ 5 ชิ้น

ดังนั้นปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่สำรองของชิ้นส่วนที่ 11 มีค่าเท่ากับ 5 ชิ้น สำหรับการคำนวณชิ้นส่วนอะไหล่สำรองของทุกนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ ที่ไม่ได้มีพฤติกรรมความต้องการแจกแจงแบบปกติจะใช้การคำนวณในรูปแบบเดียวกันจากสมการที่ 3-32 ของชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด

การคำนวณปริมาณการสั่ง จุดสั่งซื้อและชิ้นส่วนอะไหล่สำรองสำหรับนโยบาย Q, r เมื่อคำนวณตามดังสมการข้างต้นแล้วทั้ง 15 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย Q, r

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อปี (ชิ้น)	ความต้องการในช่วงเวลานำ (ชิ้น/เดือน)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/ เดือน)	เวลานำเฉลี่ย (เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)	ปริมาณการสั่งที่ประหยัด (ชิ้น/ ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)
1	4.06	48.72	1.214	2,735	917	0.299	2	5	3
2	3.920	47.04	1.165	2,735	917	0.297	2	5	3
3	3.02	36.24	1.505	2,735	145	0.498	3	11	4
4	2.42	29.04	0.239	2,735	4	0.099	1	56	1
5	2.19	26.28	0.762	2,735	65	0.348	2	14	2
6	1.46	17.52	0.381	2,735	25	0.261	1	18	1
7	1.31	15.72	0.542	2,735	58	0.414	2	11	2
8	1.25	15.00	0.359	2,735	31	0.287	1	15	1
9	1.23	14.76	0.573	2,735	24	0.466	2	17	2

ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ความต้องการเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ความต้องการเฉลี่ยต่อปี (ชิ้น)	ความต้องการในช่วงเวลานำ (ชิ้น/เดือน)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/เดือน)	เวลานำเฉลี่ย (เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง(ชิ้น)	ปริมาณการสั่งที่ประหยัด (ชิ้น/ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)
10	1.10	13.20	0.299	2,735	23	0.272	1	16	1
11	3.97	47.64	1.187	2,735	917	0.299	5	5	6
12	3.620	43.44	1.076	2,735	917	0.297	5	5	6
13	1.45	17.40	0.379	2,735	25	0.261	3	18	3
14	1.38	16.56	0.571	2,735	58	0.414	3	11	3
15	1.61	19.32	0.482	2,735	14	0.30	4	25	4

นโยบาย Max-Min

1. การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยนโยบาย Max-Min ตามพฤติกรรมความต้องการ

ผู้วิจัยเสนอนโนบายการคำนวณค่า Max และ Min ในบทที่ 3 ทั้งหมด 4 กรณี โดยใช้ดัชนีชี้วัด คือ ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 สามารถสรุปแนวทางที่ผู้วิจัยเสนอ คือ ค่า Max_i จะคำนวณจากสมการที่ 3-18 และค่า Min_i คำนวณจากสมการ 3-19 ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมมีค่าต่ำที่สุด

ตัวอย่างการคำนวณค่า Max_i ตามพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 จากข้อมูลตารางที่ 4-5 แสดงการคำนวณ ดังนี้

จากสมการที่ 3-18 $Max_i = SS_i + Q_{0i}$

$Max_1 = 2 + 5$

$Max_1 = 7$ ชิ้น

ตัวอย่างการคำนวณค่า Min_i ตามพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 จากข้อมูลตารางที่ 4-5 แสดงการคำนวณ ดังนี้

จากสมการที่ 3-19 $Min_i = d_i$

$Min_1 = 4.06 = 4$ ชิ้น

การคำนวณค่า Max และ Min ดำเนินการกับทุกชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด ตามสมการที่ 3-18 และสมการที่ 3-19 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย Max-Min

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ปริมาณการสั่งที่ประหยัด (ชิ้น/ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)	Max (ชิ้น)	Min (ชิ้น)
1	5	3	2	7	4
2	5	3	2	7	4
3	11	4	3	14	3
4	56	1	1	57	2
5	14	2	2	16	2
6	18	1	1	19	1
7	11	2	2	13	1
8	15	1	1	16	1
9	17	2	2	19	1
10	16	1	1	17	1
11	5	6	5	10	4
12	5	6	5	10	4
13	18	3	3	21	1
14	11	3	3	14	1
15	25	4	4	29	2

นโยบาย T, s, S

1. การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยนโยบาย T, s, S ตามพฤติกรรมความต้องการ

นโยบายนี้จะดำเนินการตรวจสอบอะไหล่คงคลังตามรอบเวลา T คำนวณจากสมการที่ 3-20 และทำการสั่งซื้อเมื่อมีอะไหล่คงคลังน้อยกว่าหรือเท่ากับ s คำนวณจากสมการที่ 3-22 และสั่งซื้อมาเพิ่มในปริมาณที่ S ดังสมการที่ 3-21

จากข้อมูลตารางที่ 4-5 จะได้ค่า Q_{oi} เท่ากับ 5 ชิ้น ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม คือ ค่า $D_{max,i}$ คือ ค่าปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด สำหรับงานวิจัยนี้ดำเนินการพิจารณาโดยสร้าง Box plot เพื่อพิจารณาข้อมูลค่าสุ่มที่ได้จากการ Generate เมื่อพิจารณาแล้วสามารถสรุปค่า $D_{max,i}$ ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์ค่า $D_{max,i}$ ของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	Q1	Median	Q3	IQR	1.5 IQR	LSL	USL	$D_{max,i}$
1	3	4	5	2	3	0	8	8
2	3	4	5	2	3	0	8	8
3	2	3	4	2	3	-1	7	6
4	1	2	3	2	3	-2	6	6
5	1	2	3	2	3	-2	6	6
6	0	1	2	2	3	-3	5	4
7	0	1	2	2	3	-3	5	4
8	0	1	2	2	3	-3	5	5
9	0	1	2	2	3	-3	5	5
10	0	1	2	2	3	-3	5	4
11	2	3	5	3	4.5	-2.5	9.5	10
12	2	3	5	3	4.5	-2.5	9.5	9
13	0.75	1	2	1.25	1.875	-1.125	3.875	4
14	0	1	2	2	3	-3	5	5
15	0	1	2	2	3	-3	5	5

การวิเคราะห์ด้วย Box Plot พบว่าค่าความต้องการที่มากที่สุดที่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้จะมีค่าไม่เกิน USL เมื่อได้ค่า $D_{max,i}$ จากตารางที่ 4-7 สามารถคำนวณค่า T ของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 ได้ดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณค่า T ตามพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 ดังนี้

จากสมการที่ 3-20 $$T_i = \frac{Q_{oi}}{D_{max,i}}$$

$$T_1 = \frac{Q_{o1}}{D_{Max,1}}$$

$$T_1 = \frac{5}{8}$$

$$T_1 = \frac{5}{8} = 0.625 \text{ เดือน}$$

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยจำลองสถานการณ์จะพิจารณาเป็นหน่วย เดือน ดังนั้นจะทำการปัดค่า T_1 เท่ากับ 1 เดือน

ตัวอย่างการคำนวณค่า s เพื่อใช้ในการพิจารณาการสั่งซื้อเมื่อถึงระดับ s ตัวอย่างการคำนวณของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 คำนวณดังนี้

จากสมการที่ 3-22 $s_i = ROP_i - d_{LTi}$

$s_1 = 3 - 1.214$

$s_1 = 1.786 = 2 =$ ชิ้น

ตัวอย่างการคำนวณค่า S เพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อ เมื่อมีการตรวจสอบที่เวลา T และพบว่าระดับคงคลังมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ s ของชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 พิจารณาค่าในตารางที่ 4-5 คำนวณได้ดังนี้

จากสมการ 3-21 $S_i = SS_i + Q_{0i}$

$S_1 = 2 + 5$

$S_1 = 7$

ดังนั้นชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1 จะตรวจสอบอะไหล่คงคลังเมื่อ T = 1 เดือน และพิจารณาการสั่งซื้อเมื่ออะไหล่คงคลังมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ s = 2 ชิ้น จึงจะดำเนินการสั่งซื้อในปริมาณ S = 7 ชิ้น/ ครั้ง การคำนวณด้วยนโยบาย T, s, S กับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด สรุปดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการภายใต้นโยบาย T, s, S

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ปริมาณการสั่งซื้อประหยัด (ชิ้น/ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)	ความต้องการที่มากที่สุด (D_{max}) (ชิ้น)	ความต้องการในช่วงเวลานำ (ชิ้น/ เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)	T (เดือน)	S (ชิ้น)	S (ชิ้น)
1	5	3	8	1.214	2	1	2	7
2	5	3	8	1.165	2	1	2	7

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	ปริมาณการสั่งซื้อประหยัด (ชิ้น/ครั้ง)	จุดสั่งซื้อ (ชิ้น)	ความต้องการที่มากที่สุด (D_{max}) (ชิ้น)	ความต้องการในช่วงเวลานำ(ชิ้น/เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)	T (เดือน)	S (ชิ้น)	S (ชิ้น)
3	11	4	6	1.505	3	2	2	14
4	56	1	6	0.239	1	9	1	57
5	14	2	6	0.762	2	2	1	16
6	18	1	4	0.381	1	5	1	19
7	11	2	4	0.542	2	3	1	13
8	15	1	5	0.359	1	3	1	16
9	17	2	5	0.573	2	3	1	19
10	16	1	4	0.299	1	4	1	17
11	5	6	10	1.187	5	1	5	10
12	5	6	9	1.076	5	1	5	10
13	18	3	4	0.379	3	5	3	21
14	11	3	5	0.571	3	2	2	14
15	25	4	5	0.482	4	5	4	29

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยตัวแบบ MILP ตามพฤติกรรมความต้องการจากสมการที่ 3-23 ถึง 3-29 สามารถสร้างตัวแบบ MILP ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min. TC} = \sum_{i=1}^{k} \sum_{t=1}^{T} [C_{ci}.I_{avg,it} + C_{oi}.Z_{it} + C_{si}.B_{it}]$$

สมการเงื่อนไข

$$I_{avg,it} = \frac{I_{int,it} + I_{end,it}}{2}$$

$$I_{int,it} - I_{end,it-1} = 0$$

$$I_{int,it} + Q_{it-LT} - I_{end,it} + B_{it} = d_{it}$$

$$I_{end,it} + Q_{it} \geq R_{it}$$

$$Q_{it} \leq M.Z_{it}$$

$$R_{it} \geq SS_i$$

โดย

$$Q_{it}, R_{it}, I_{int,it}, I_{end,it}, B_{it} \geq 0$$

$$Z_{it} = \{0,1\}$$

การสร้างแบบจำลอง MILP เงื่อนไขเป็นไปตามที่ได้อธิบายในบทที่ 3 โดยจะดำเนินการกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลอง MILP แสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 การคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ตามพฤติกรรมความต้องการเพื่อสร้างแบบจำลอง MILP

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	อะไหล่คงคลังเริ่มต้น (ชิ้น)	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท/ ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/ เดือน)	ค่าใช้จ่ายเมื่อมีอะไหล่ขาดมือ (บาท/ ชิ้น)	ช่วงเวลานำเฉลี่ย (เดือน)	ชิ้นส่วนอะไหล่สำรอง (ชิ้น)
1	3	2,735	917	3,000	0.299	2
2	3	2,735	917	3,000	0.297	2
3	4	2,735	145	3,000	0.498	3
4	1	2,735	4	3,000	0.099	1
5	2	2,735	65	3,000	0.348	2
6	1	2,735	25	3,000	0.261	1
7	2	2,735	58	3,000	0.414	2
8	1	2,735	31	3,000	0.287	1
9	2	2,735	24	3,000	0.466	2
10	1	2,735	23	3,000	0.272	1
11	6	2,735	917	3,000	0.299	5
12	6	2,735	917	3,000	0.297	5
13	3	2,735	25	3,000	0.261	3
14	3	2,735	58	3,000	0.414	3
15	4	2,735	14	3,000	0.30	4

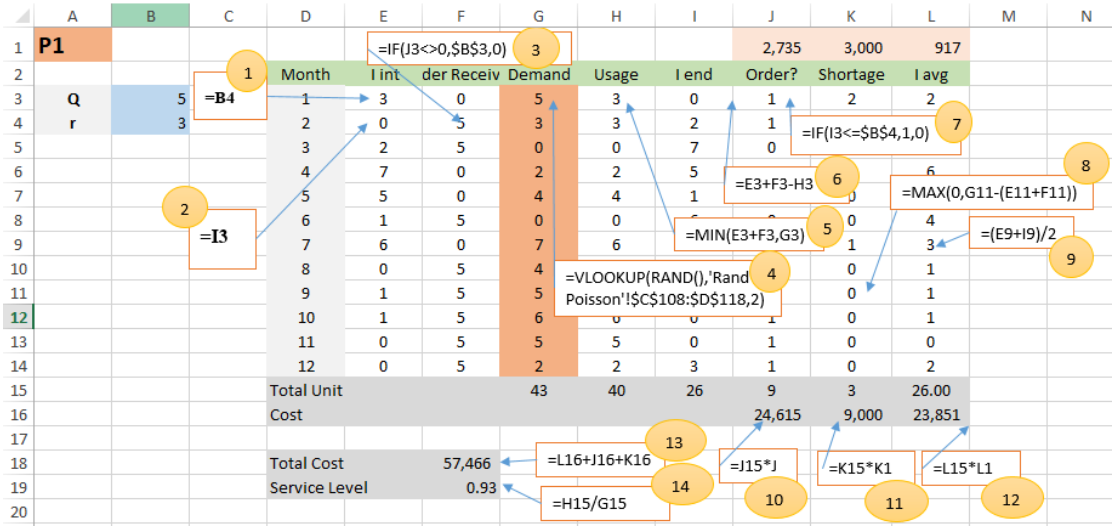
การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินผลลัพธ์

การสร้างแบบจำลองจะดำเนินการด้วย Excel spreadsheet โดยกำหนดให้ตัวแบบแต่ละตัวแบบประเมินกับชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดแยกกันทั้ง 15 ชนิด ในรอบเวลาการพิจารณา 12 เดือน

สำหรับตัวแบบที่ประเมินในกรณีไม่ทราบความต้องการ จะประเมินผลลัพธ์กับตัวแบบ Q, r TT ตัวแบบ Max-Min และตัวแบบ T, s, S สำหรับตัวแบบที่ประเมินในกรณีทราบความต้องการ จะประเมินผลลัพธ์ด้วย OpenSolver 2.8.6 กับตัวแบบ MILP

สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ Q, r

การประเมินการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ ด้วยนโยบาย Q, r ประเมินด้วยตัวแบบที่สร้างขึ้นจาก Excel spreadsheet สำหรับตัวแบบ Q, r นี้จะใช้เป็นแบบจำลองเพื่อทดสอบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่จากการคำนวณค่า Q และ r ของกรณีศึกษาเดิม และจากการคำนวณค่า Q และ r จากข้อมูลค่าสุ่มใหม่ตามพฤติกรรมของความต้องการที่กำหนด โดยค่าความต้องการจากพฤติกรรมการแจกแจงในแต่ละ Period จะเป็นค่าสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โล (Monte carlo process) ประเมินดัชนีชี้วัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วย Excel spreadsheet แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ตัวอย่างแบบจำลอง Q, r สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

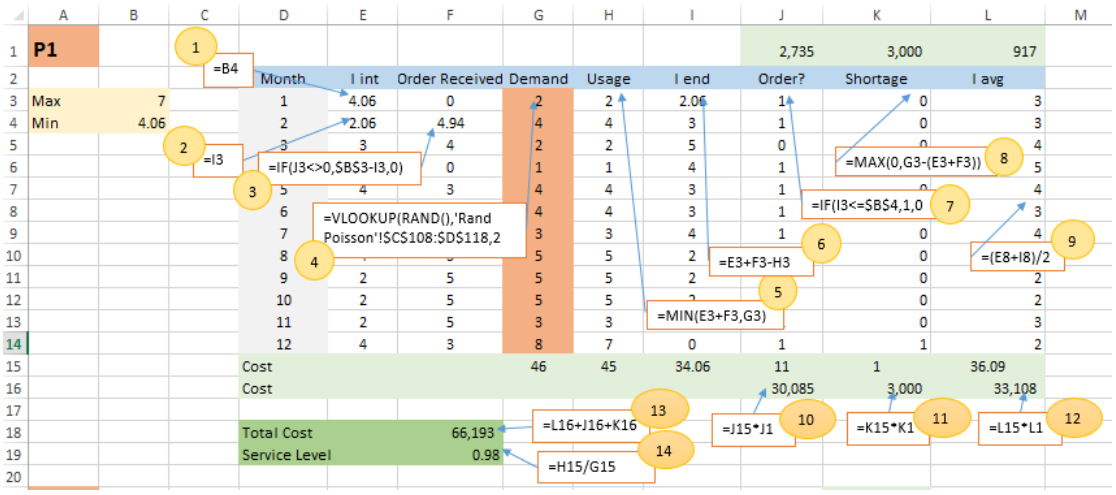
แบบจำลอง Q, r พิจารณาระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน โดยจุดที่ 1 คือ ชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังเริ่มต้น สำหรับ Period ที่ 1 จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ r ส่วนในจุดที่ 2 ชิ้นส่วนอะไหล่เริ่มต้นตั้งแต่ Period ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ปลาย Period ก่อนหน้า จุดที่ 3 แสดงการสั่งซื้อสินค้าที่มีการรับเข้าหากมีการสั่งซื้อใน Period ก่อนหน้า จุดที่ 4 เป็นค่าความต้องการในแต่ละ Period ที่เป็นค่าสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โล ตามพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด จุดที่ 5 แสดงจำนวนที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ในแต่ละ

Period จุดที่ 6 คือ อะไหล่คงคลังที่ปลาย Period จุดที่ 7 ประเมินคำสั่งการสั่งชิ้นส่วนอะไหล่ โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือมีการสั่งซื้อ เมื่อชิ้นส่วนอะไหล่ที่ปลาย Period มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า r และจะสั่งซื้อมาในปริมาณเท่ากับ Q จุดที่ 8 ประเมินจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ที่ขาดมือ เมื่อพิจารณาจากชิ้นส่วนอะไหล่ที่มีในต้น Period และปริมาณอะไหล่ที่สั่งเข้ามา เทียบกับปริมาณความต้องการใน Period นั้น จุดที่ 9 ประเมินชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังสำรองโดยประเมินจากค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนอะไหล่ที่มี ณ ต้น และปลาย Period จุดที่ 10 ประเมินค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ จุดที่ 11 ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดอะไหล่ขาดมือ จุดที่ 12 ประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา จุดที่ 13 ประเมินค่าใช้จ่ายรวม ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายเมื่อะไหล่ขาดมือ และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (จุดที่ 10-12) จุดที่ 14 ประเมินระดับบริการ ซึ่งได้จากสัดส่วนของปริมาณความต้องการกับปริมาณที่ตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ตามรอบระยะเวลาการพิจารณา

สำหรับการรันแบบจำลอง Q, r จะดำเนินการรูปแบบเดียวกันกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด โดยทำการเปลี่ยนค่า Q และ r ตามที่คำนวณได้ตามพฤติกรรมความต้องการของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่

สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ Max-Min

การประเมินการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ ด้วยนโยบาย Max-Min ประเมินด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจาก Excel spreadsheet ดังภาพที่ 4-3 และสร้างความต้องการจากพฤติกรรมการแจกแจงที่เหมาะสมด้วยกระบวนการมอนติคาร์โล (Monte carlo process) ทั้ง 15 ชนิด โดยประเมินดัชนีชี้วัด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level)

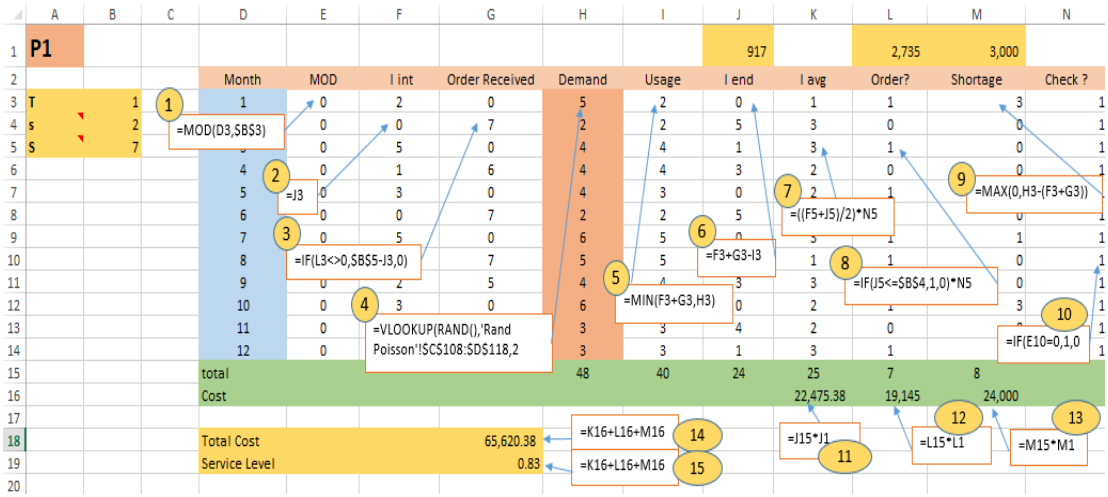


ภาพที่ 4-3 ตัวอย่างแบบจำลอง Max-Min สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

แบบจำลอง Max-Min พิจารณาระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน เงื่อนไขการสร้างแบบจำลองจะดำเนินการเช่นเดียวกันกับแบบจำลอง Q, r ทุกจุด ยกเว้นจุดที่ 3 ซึ่งเป็นการประเมินปริมาณการสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่เข้ามาเพิ่ม สำหรับแบบจำลองนี้จะพิจารณาปริมาณการสั่งโดยเมื่อมีการสั่งซื้อ (จุดที่ 7 มีค่าเท่ากับ 1) จุดที่ 3 จะนำค่า Max หักลบกับปริมาณอะไหล่คงคลังที่ปลาย Period ก่อนหน้าเพื่อสั่งชิ้นส่วนอะไหล่มาเติมเต็มให้เท่ากับค่า Max ที่กำหนด ดำเนินการรูปแบบเดียวกันกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด โดยทำการเปลี่ยนค่า Max และ Min ตามที่คำนวณได้ตามพฤติกรรมความต้องการของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่

สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ T, s, S

การประเมินการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ ด้วยนโยบาย T, s, S ประเมินด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นจาก Excel Spreadsheet เช่นเดียวกับนโยบาย Q, r และ Max-Min โดยประเมินดัชนีชี้วัดได้แก่ ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) ตัวอย่างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างแบบจำลอง T, s, S สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

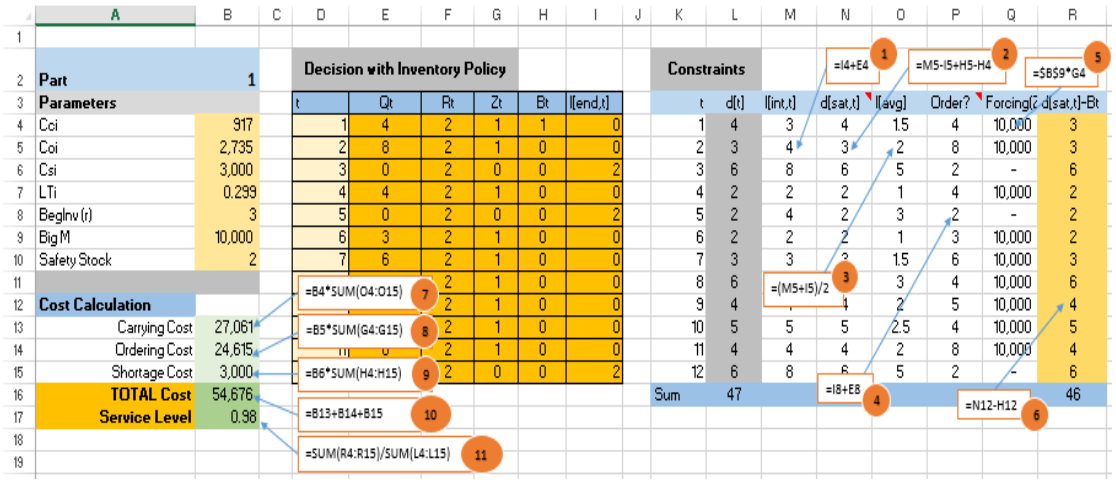
แบบจำลอง T, s, S พิจารณาระยะเวลา 12 เดือน ซึ่งจะมีเงื่อนไขแตกต่างกับนโยบาย Q, r และ Max-Min โดยจะไม่มีการตรวจสอบอะไหล่คงคลังตลอดทุกช่วงเวลา แต่จะตรวจสอบเมื่อถึงช่วงเวลาที่ T เท่านั้น โดยจุดที่ 1 สร้างขึ้นเพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาอะไหล่คงคลังเมื่อถึงเวลาที่ T โดยใช้ฟังก์ชัน MOD โดยใช้ Period กับค่า T ผลลัพธ์ที่ได้จะระบุได้ว่า เมื่อไม่มีค่าเศษเหลือ หรือ เท่ากับ 0 Period นั้นจะต้องมีการรตรวจสอบอะไหล่คงคลัง ส่วนในจุดที่ 2, 3, 4, 5, 6

และ 9 เงื่อนไขดำเนินการเช่นเดียวกับตัวแบบ Max-Min จุดที่ 7 แสดงการประเมินอะไหล่คงคลังเฉลี่ยแต่จะประเมินเมื่อถึงรอบการตรวจสอบอะไหล่คงคลังเท่านั้น จุดที่ 8 กำหนดการสั่งซื้อ ซึ่งจะมีการสั่งก็ต่อเมื่อระดับอะไหล่คงคลังลดลงเหลือน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า s เมื่ออยู่ในช่วงเวลาที่ T จุดที่ 10 ยืนยันการตรวจสอบว่าในช่วงเวลา Period ใดจึงจะมีการตรวจสอบอะไหล่คงคลัง สำหรับจุดที่ 11 ประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา จุดที่ 12 ประเมินค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ จุดที่ 13 ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดอะไหล่ขาดมือ จุดที่ 14 ประเมินค่าใช้จ่ายรวม และจุดที่ 15 ประเมินระดับบริการซึ่งได้จากสัดส่วนของปริมาณความต้องการกับปริมาณที่ตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ตามรอบระยะเวลาการพิจารณา

การรันแบบจำลองจะดำเนินการรูปแบบเดียวกันกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด โดยทำการเปลี่ยนค่า T, s และ S ที่ได้จากการคำนวณตามพฤติกรรมความต้องการของอะไหล่แต่ละชนิด

การประเมินผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP

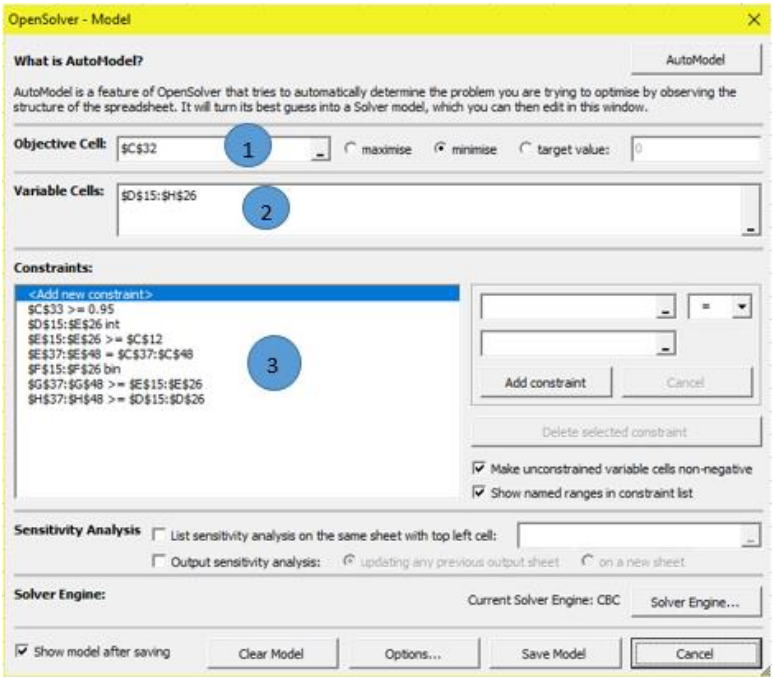
การดำเนินการวิเคราะห์ตัวแบบจะวิเคราะห์ด้วย OpenSolver โดยการระบุค่าความต้องการด้วยกระบวนการสุ่มแบบมอนติคาร์โล ตัวอย่างแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ตัวอย่างแบบจำลอง MILP สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

การสร้างแบบจำลอง MILP พิจารณาระยะเวลา 12 เดือน จากภาพที่ 4-5 จะใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมถึงค่าความต้องการในแต่ละ Period โดยความต้องการได้จากการสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โลเช่นเดียวกันกับทั้ง 3 ตัวแบบที่กล่าวมาแล้ว และกำหนดให้เป็นความต้องการของแต่ละเดือนโดยไม่มีความผันแปรอีก สำหรับจุดที่ 1 ชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังเริ่มต้นสำหรับ Period ที่ 1 จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ r ที่คำนวณตามพฤติกรรมการแจกแจง ส่วนใน Period

ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ปลาย Period ก่อนหน้ารวมกับปริมาณการสั่งใน Period ก่อนหน้า จุดที่ 2 แสดงปริมาณชิ้นส่วนอะไหล่ที่จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ ซึ่งเป็นเงื่อนไขการสมดุลการไหลเข้ากับไหลออก จุดที่ 3 การประเมินอะไหล่คงคลังที่คิดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างต้นและปลาย Period จุดที่ 4 แสดงจำนวนอะไหล่คงเหลือที่รวมกับจำนวนที่สั่งเพิ่มจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับจุดสั่งซื้อจะทำให้เป็นการบังคับให้มีการสั่งเพิ่ม ในจุดที่ 5 เมื่อมีการสั่งซื้อจะเป็นการบังคับให้ตัวแปร Z_{it} ซึ่งเป็นตัวแปรแบบ มีค่าเท่ากับ 1 หรือเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการสั่ง จุดที่ 6 เป็นการประเมินการตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่จริงได้ใน Period นั้น ๆ จุดที่ 7 ประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา จุดที่ 8 ประเมินค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ จุดที่ 9 ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดอะไหล่ขาดมือ จุดที่ 10 ประเมินค่าใช้จ่ายรวม ซึ่งประกอบด้วยจุดที่ 7-9 จุดที่ 11 ประเมินระดับบริการ ซึ่งได้จากสัดส่วนของปริมาณความต้องการกับปริมาณที่ตอบสนองความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ตามรอบระยะเวลาการพิจารณา



ภาพที่ 4-6 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขบน OpenSolver สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ที่ 1

การกำหนดเงื่อนไขตัวแปรตัดสินใจใน OpenSolver จากภาพที่ 4-6 มีสมการเป้าหมาย คือ Minimize Total Cost ดังจุดที่ 1 และตัวแปรตัดสินใจ คือ Q_{it} , R_{it} , $I_{end,it}$, B_{it} , Z_{it} ดังจุดที่ 2 โดยกำหนดเงื่อนไข ดังจุดที่ 3 คือ ระดับบริการจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.95 ค่า Q_{it} และ R_{it} จะต้องเป็นจำนวนเต็ม จุดสั่งซื้อ R_{it} ในแต่ละช่วงเวลาต้องไม่ต่ำกว่าระดับ SS_i ปริมาณที่ตอบสนองได้

จะต้องเท่ากับปริมาณความต้องการที่กำหนด ค่า Z_{it} จะต้องเป็นตัวแปรแบบ Binary จำนวนอะไหล่คงเหลือที่รวมกับจำนวนที่สั่งเพิ่มจะต้องมากกว่า หรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ R_{it} และเงื่อนไขสุดท้ายเป็นการกำหนดเงื่อนไขของการสั่งซื้อ การบังคับให้ค่า Z_{it} มีการทำงาน สำหรับ Engine ที่ใช้ใน OpenSolver คือ CBC การรันแบบจำลองจะทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ และค่าปริมาณความต้องการและดำเนินการในรูปแบบเดียวกันกับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด

การประเมินค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละตัวแบบจะเป็นค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่อปีจากจำนวนรอบการรันทั้งหมด (1 รอบการรันเท่ากับ 12 เดือน หรือ 1 ปี) ในขณะที่ระดับบริการจะประเมินจากสมการที่ 3-15 เมื่อสิ้นสุดการรันแต่ละรอบ และนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยเช่นกัน

ผลการรันเบื้องต้น

การวิเคราะห์ผลการรันแบบจำลองทั้งหมด แบ่งเป็น 5 กรณี โดยกำหนดให้ผลลัพธ์จากแบบจำลอง Q, r ของกรณีศึกษาเดิม เรียกว่า ตัวแบบ “Q, r TT” ผลลัพธ์จากแบบจำลอง Q, r ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นใหม่ เรียกว่า ตัวแบบ “Q, r KB” ผลลัพธ์จากแบบจำลอง Max-Min เรียกว่า ตัวแบบ “Max-Min KB” ผลลัพธ์จากแบบจำลอง T, s, S เรียกว่า ตัวแบบ “T, s, S KB” และผลลัพธ์จากแบบจำลอง MILP เรียกว่า ตัวแบบ “MILP KB”

เมื่อสร้างแบบจำลองตามเงื่อนไขของนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงที่เสนอแล้ว ผู้วิจัยทำการรันแบบจำลองเบื้องต้น จำนวน 10 รอบ ที่ใช้ค่าความต้องการจากกระบวนการสุ่มแบบมอนติคาร์โล ทดสอบกับทุก ๆ ตัวแบบที่ผู้วิจัยเสนอ ค่าใช้จ่ายรวม และระดับบริการ ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4-10 และตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-10 ผลการรันแบบจำลองเบื้องต้น 10 รอบของค่าใช้จ่ายรวม (Total cost)

Run	Total Cost (บาท)				
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ
	Q, r TT	Q, r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB
1	412,604	379,823	405,024	465,308	313,072
2	417,988	388,104	352,801	496,255	335,879
3	384,694	363,935	398,966	512,988	325,891
4	414,542	413,599	360,846	442,715	332,863
5	397,430	395,266	366,305	494,885	333,159
6	397,337	384,903	382,874	478,414	303,161

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

Run	Total cost (บาท)				
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ
	Q, r TT	Q, r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB
7	388,018	399,654	365,352	467,283	335,424
8	370,887	401,601	360,466	485,629	333,065
9	374,530	389,913	367,956	498,256	319,151
10	383,413	391,704	346,164	477,125	315,183
ค่าเฉลี่ย (บาท)	394,144	390,850	370,675	481,886	324,685
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)	16,713	13,419	19,163	20,226	11,402

ตารางที่ 4-11 ผลการรันแบบจำลองเบื้องต้น 10 รอบของระดับบริการ (Service level)

Run	Service level (ร้อยละ)				
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ
	Q, r TT	Q, r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB
1	0.98	0.99	0.98	0.80	0.99
2	0.99	0.96	0.97	0.84	0.98
3	0.99	0.97	0.96	0.85	0.98
4	0.99	0.96	0.96	0.78	0.99
5	0.99	0.98	0.97	0.76	0.99
6	1.00	0.98	0.99	0.80	0.99
7	0.98	0.96	0.97	0.81	0.99
8	0.99	0.98	0.96	0.79	0.99
9	0.97	0.97	0.97	0.82	0.98
10	0.97	0.97	0.96	0.80	0.98
ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	0.99	0.97	0.97	0.80	0.99
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละ)	0.008	0.009	0.010	0.027	0.006

การคำนวณรอบการรันที่เหมาะสม

หลังจากดำเนินการวิเคราะห์ผลลัพธ์เบื้องต้นแล้ว จะทำการตรวจสอบว่ารอบการรันจำนวน 10 รอบมีความเพียงพอหรือไม่ โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาด มีได้ไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ คำนวณด้วย Excel spreadsheet โดยกำหนดให้ดัชนีชี้วัดเป็นค่าใช้จ่ายรวม การประเมินรอบการรันที่เหมาะสมคำนวณจากสมการที่ 3-17 แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 การคำนวณหารอบการรันที่เหมาะสม

ตัวแบบ	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)	t (0.05, 9)	ค่าความผิดพลาด (h_0) (บาท)	ค่าความผิดพลาด 2.5 %	ค่าความผิดพลาดเป้าหมาย (h) (บาท)	รอบการรันที่เหมาะสม (รอบ)
Q, r TT	394,144	16,713	2.26	5,573	0.025	9,854	3
Q, r KB	390,850	13,419	2.26	4,475	0.025	9,771	2
Max-Min KB	370,675	19,163	2.26	6,390	0.025	9,267	5
T, s, S KB	481,886	20,226	2.26	6,744	0.025	12,047	3
MILP KB	324,685	11,402	2.26	3,803	0.025	8,117	2

จำนวนรอบการรัน (n) เพื่อให้มีค่าผิดพลาด 2.5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ตารางที่ 4-12 พบว่ารอบการรันที่มากสุดคือ n = 5 รอบ ดังนั้นการรันจำนวน 10 รอบจึงเพียงพอสำหรับทุกกรณีทดสอบ (ทุกกรณีมี h_0 น้อยกว่าค่าเป้าหมาย h) อย่างไรก็ตามเพื่อให้มั่นใจผู้วิจัยจึงกำหนดรอบการทดสอบเพิ่มอีก 10 รอบ เป็น n = 20 รอบได้ผลลัพธ์ดังดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ผลการรันตัวแบบที่ 20 รอบการรัน

ตัวแบบ	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)	t (0.05, 19)	ค่าความผิดพลาด (h_0) (บาท)	ค่าความผิดพลาดเป้าหมาย (h) (บาท)
Q, r TT	390,758	15,126	2.09	3,472	9,854
Q, r KB	388,433	14,097	2.09	3,236	9,771

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

ตัวแบบ	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท)	t (0.05, 19)	ค่าความผิดพลาด (h_0) (บาท)	ค่าความผิดพลาดเป้าหมาย (h) (บาท)
Max-Min KB	361,247	17,643	2.09	4,050	9,267
T, s, S KB	479,745	20,211	2.09	4,639	12,047
MILP KB	317,809	19,679	2.09	4,517	8,117

ผลการรันจำนวน 20 รอบ พบว่า ค่าความผิดพลาด h_0 ของทุกตัวแบบ มีค่าน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (h) แสดงว่าการรันตัวแบบจำนวน 20 ตัวแบบเพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์

ผลลัพธ์จากตัวแบบนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่

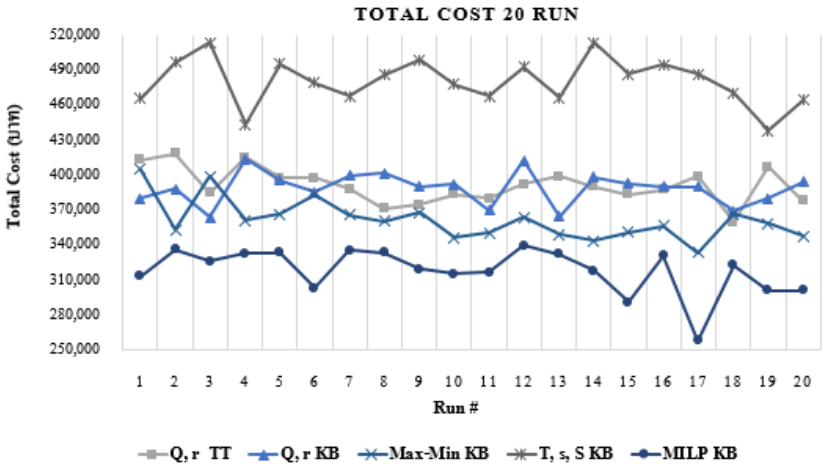
นโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ เมื่อทำการรันจำนวน 20 รอบ วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) เพื่อระบุแนวทางการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด และมีระดับบริการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมแสดงดังตารางที่ 4-14 และภาพที่ 4-7 สำหรับระดับบริการแสดงดังตารางที่ 4-15 และภาพที่ 4-8

ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมของนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ จากการรัน 20 รอบ

Run	Total cost 20 run					ตัวแบบที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ	
	Q, r TT	Q, r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB	
1	412,604	379,823	405,024	465,308	313,072	MILP KB
2	417,988	388,104	352,801	496,255	335,879	MILP KB
3	384,694	363,935	398,966	512,988	325,891	MILP KB
4	414,542	413,599	360,846	442,715	332,863	MILP KB
5	397,430	395,266	366,305	494,885	333,159	MILP KB
6	397,337	384,903	382,874	478,414	303,161	MILP KB

ตารางที่ 4-14 (ต่อ)

Run	Total cost 20 run					ตัวแบบที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ	
	Q, r TT	Q, r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB	
7	388,018	399,654	365,352	467,283	335,424	MILP KB
8	370,887	401,601	360,466	485,629	333,065	MILP KB
9	374,530	389,913	367,956	498,256	319,151	MILP KB
10	383,413	391,704	346,164	477,125	315,183	MILP KB
11	379,730	369,548	349,976	467,153	316,256	MILP KB
12	392,141	412,286	363,467	492,077	339,284	MILP KB
13	398,576	364,611	348,731	465,834	332,135	MILP KB
14	389,979	397,972	343,542	513,238	317,656	MILP KB
15	383,411	392,783	350,792	486,010	290,943	MILP KB
16	387,391	390,175	356,464	493,895	330,490	MILP KB
17	398,806	389,854	333,635	486,232	258,032	MILP KB
18	359,479	368,751	366,116	469,965	322,598	MILP KB
19	406,615	380,100	357,979	437,459	300,801	MILP KB
20	377,600	394,079	347,483	464,183	301,128	MILP KB
ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย	390,758	388,433	361,247	479,745	317,809	MILP KB



ภาพที่ 4-7 กราฟค่าใช้จ่ายรวมจากการรัน 20 รอบ

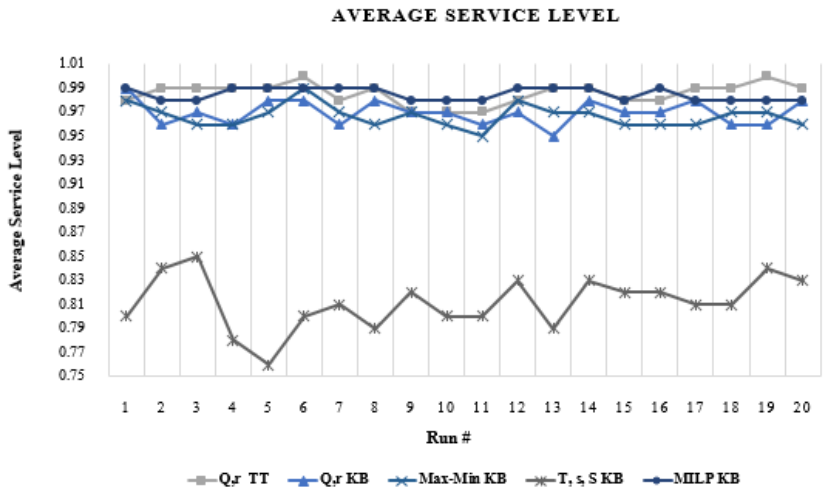
ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยดังตารางที่ 4-14 จากการรันตัวแบบทั้งหมด 20 รอบ เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดที่ดำเนินการภายใต้ตัวแบบที่ผู้วิจัยเสนอในภาพรวมพบว่า กรณีทราบความต้องการ การจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงด้วย ตัวแบบ MILP KB กับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 317,809 บาท สำหรับรอบการพิจารณา 12 เดือน และในกรณีไม่ทราบความต้องการ ตัวแบบ Max-Min KB มีค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 361,247 บาท เมื่อนำมาสร้างกราฟดังภาพที่ 4-7 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ในกรณีทราบความต้องการ ตัวแบบ MILP KB ให้ผลด้านค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดของทุก ๆ รอบการรัน และในกรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ ตัวแบบที่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ ตัวแบบ Max-Min KB โดยระดับบริการจากการรันตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ระดับบริการของนโยบายการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ จากการรัน 20 รอบ

Run	Average service level 20 run					ตัวแบบที่ทำให้ระดับบริการสูงสุด
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ	
	Q,r TT	Q,r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB	
1	0.98	0.99	0.98	0.80	0.99	Q, r KB และ MILP KB
2	0.99	0.96	0.97	0.84	0.98	Q, r KB
3	0.99	0.97	0.96	0.85	0.98	Q, r KB
4	0.99	0.96	0.96	0.78	0.99	Q, r KB และ MILP KB
5	0.99	0.98	0.97	0.76	0.99	Q, r KB และ MILP KB
6	1.00	0.98	0.99	0.80	0.99	Q, r KB
7	0.98	0.96	0.97	0.81	0.99	MILP KB
8	0.99	0.98	0.96	0.79	0.99	Q, r KB และ MILP KB
9	0.97	0.97	0.97	0.82	0.98	MILP KB
10	0.97	0.97	0.96	0.80	0.98	MILP KB
11	0.97	0.96	0.95	0.80	0.98	MILP KB
12	0.98	0.97	0.98	0.83	0.99	MILP KB
13	0.99	0.95	0.97	0.79	0.99	Q, r KB และ MILP KB
14	0.99	0.98	0.97	0.83	0.99	Q, r KB และ MILP KB
15	0.98	0.97	0.96	0.82	0.98	Q, r KB และ MILP KB
16	0.98	0.97	0.96	0.82	0.99	MILP KB

ตารางที่ 4-15 (ต่อ)

Run	Average service level 20 run					ตัวแบบที่ทำให้ระดับบริการสูงสุด
	กรณีไม่ทราบความต้องการ				กรณีทราบความต้องการ	
	Q,r TT	Q,r KB	Max-Min KB	T, s, S KB	MILP KB	
17	0.99	0.98	0.96	0.81	0.98	Q, r KB
18	0.99	0.96	0.97	0.81	0.98	Q, r KB
19	1.00	0.96	0.97	0.84	0.98	Q, r KB
20	0.99	0.98	0.96	0.83	0.98	Q, r KB
ค่าเฉลี่ยของระดับบริการเฉลี่ย	0.99	0.97	0.97	0.81	0.99	Q, r KB และ MILP KB



ภาพที่ 4-8 กราฟระดับบริการเฉลี่ยจากการรัน 20 รอบ

การวิเคราะห์ระดับบริการด้วยการจัดชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังตามตัวแบบต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4-15 พบว่า ตัวแบบที่มีระดับบริการสูงสุด คือ ตัวแบบ Q, r TT และ MILP KB มีค่าเท่ากับ 0.99 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟดังภาพที่ 4-7 พบว่าแต่ละตัวแบบมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีรูปแบบข้อมูลค่อนข้างสม่ำเสมอ ยกเว้นตัวแบบ T, s, S KB ที่มีระดับบริการต่ำ อาจมีสาเหตุจากการวิเคราะห์ระบบซึ่งเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง โดยจะทำการตรวจสอบระดับอะไหล่คงคลังตามรอบเวลา ทำให้โอกาสที่จะเกิดอะไหล่ขาดมือสูงกว่าระบบที่มีการพิจารณาอะไหล่คงคลังแบบต่อเนื่อง

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

การศึกษาการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง เพื่อการควบคุมการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงของเครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการผลิต พบว่าความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ 10 ชนิด แจกแจงแบบปัวส์ซอง และ 5 ชนิด แจกแจงแบบลอคนอร์มอล มีผลการวิจัยดังนำเสนอในหัวข้อต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ประเมินผลลัพธ์จากสมมติฐาน 2 กรณี ได้แก่

1. กรณีไม่ทราบค่าความต้องการ จะเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวม และระดับบริการจากการจำลองสถานการณ์ระหว่างตัวแบบ Q, r TT ตัวแบบ Q, r KB ตัวแบบ Max-Min KB และตัวแบบ T, s, S KB

2. กรณีทราบความต้องการ ซึ่งกำหนดจากการสร้าง (Generate) ด้วยวิธีของกระบวนการมอนติคาร์โล จะประเมินปริมาณการสั่ง (Lot size) ในแต่ละเดือนด้วยตัวแบบ MILP KB จากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ ของกรณีที่ 1 สำหรับผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-1 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยของตัวแบบการจัดการ\ชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง

กรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) เฉลี่ย**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ Max-Min KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ T, s, S KB**
Q, r TT	390,758				
Q, r KB	388,433	2,325 (-0.60%)			
Max-Min KB	361,247	29,511 (-7.55%)	27,186 (-6.99%)		

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

กรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ (ต่อ)					
ตัวแบบที่เสนอ	**ค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) เฉลี่ย**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ Max-Min KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ T, s, S KB**
T, s, S KB	479,745	88,987 (+18.55%)	91,312 (+19.03%)	118,498 (+24.70%)	
กรณีทราบความต้องการ เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) เฉลี่ย**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ Max-Min KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ T, s, S KB**
MILP KB	317,809	72,950 (-18.67%)	70,624 (-18.18%)	43,438 (-12.02%)	161,937 (-33.75%)

ผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมสำหรับตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร สำหรับกรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ พบว่าตัวแบบที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด คือ ตัวแบบ Max-Min มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 361,247 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับตัวแบบ Q, r TT มีผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 29,511 บาทต่อปี ลดลงร้อยละ 7.55 และผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 27,186 บาทต่อปี ลดลงร้อยละ 6.99 เมื่อเทียบกับ ตัวแบบ Q, r KB และผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 118,498 บาทต่อปี ลดลงร้อยละ 24.70 เมื่อเทียบกับ ตัวแบบ T, s, S KB

สำหรับกรณีทราบความต้องการ การใช้ตัวแบบ MILP KB ทำให้มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 317,809 บาทต่อปี ซึ่งเป็นตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ให้ผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด (เมื่อสามารถประมาณความต้องการได้ หรือทราบค่าความต้องการที่แน่นอน) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบอื่นกรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ ประเมินบนตัวแบบ Q, r TT ตัวแบบ Q, r KB ตัวแบบ Max-Min KB และตัวแบบ T, s, S KB มีผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 72,950 บาท 70,624 บาท 43,438 บาท และ 161,937 บาท ตามลำดับ ลดลงร้อยละ 18.67 ร้อยละ 18.18 ร้อยละ 12.02 และร้อยละ 33.75 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบ MILP KB เป็นตัวแบบที่มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวแบบที่ผู้วิจัยเสนอ โดยมีเงื่อนไขจะต้องทราบค่าความต้องการหรือประมาณค่าได้

การวิเคราะห์ผลต่างของระดับบริการโดยรวมของชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด โดยแต่ละชนิดเป็นอิสระต่อกัน การวิเคราะห์จึงใช้ค่าเฉลี่ยในการพิจารณา สรุปดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของระดับบริการของตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง

กรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ระดับบริการ (Service Level)**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ Max-Min KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ T, s, S KB**
Q, r TT	0.99				
Q, r KB	0.97	0.02 (-1.81%)			
Max-Min KB	0.97	0.02 (-1.98%)	0 (0%)		
T, s, S KB	0.81	0.18 (-17.74%)	0.16 (-16.23%)	0.16 (-16.08%)	
กรณีทราบความต้องการ เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ระดับบริการ (Service Level)**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT**	**ผลต่างกับตัวแบบ Q, r KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ Max-Min KB**	**ผลต่างกับตัวแบบ T, s, S KB**
MILP KB	0.99	0 (0%)	0.02 (+1.63%)	0.02 (+1.81%)	0.17 (+17.59%)

ระดับบริการเฉลี่ยสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ทั้ง 15 ชนิด สำหรับกรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ พบว่าตัวแบบที่ทำให้มีระดับบริการสูงที่สุด คือ ตัวแบบ Q, r TT มีค่าเท่ากับ 0.99 โดยเป้าหมายของการศึกษาในงานวิจัยนี้ กำหนดค่าระดับบริการที่สามารถยอมรับให้มีค่าไม่น้อยกว่า 0.95 เมื่อพิจารณาผลต่างแล้วพบว่าระดับบริการมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นตัวแบบ T, s, S KB ยังคงมีระดับบริการต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อาจเกิดจากการกำหนดระยะเวลาการตรวจนับ (T) ที่ส่งผลต่อช่วงระยะเวลาในการสั่งซื้อ หรือการกำหนดค่าจุดสั่งซื้อ (s) ที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการขาดชิ้นส่วนอะไหล่ในการจัดการได้มากกว่าตัวแบบอื่น ๆ ส่งผลให้ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้งานได้จึงมีระดับบริการต่ำ

สำหรับกรณีทราบความต้องการ ใช้ตัวแบบ MILP KB พบว่าระดับบริการมีค่าเท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่น้อยกว่า 0.95 และเมื่อพิจารณาผลต่างกับตัวแบบ Q, r TT ตัวแบบ Q, r KB และตัวแบบ Max-Min KB แล้วพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลลัพธ์สามารถสรุปได้ดังนี้

กรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ: ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ของ ตัวแบบ Q, r TT ตัวแบบ Q, r KB ตัวแบบ Max-Min KB และตัวแบบ T, s, S KB

1. ตัวแบบ Max-Min KB ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อกำหนดค่า Max ด้วยผลรวมของอะไหล่เผื่อสำรอง (SS_i) กับปริมาณการสั่งที่ประหยัด (EOQ หรือ Q_{oi}) และกำหนดค่า Min ให้เท่ากับปริมาณความต้องการเฉลี่ย (d_i) ของชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิด

2. ตัวแบบ Q, r KB ที่มีการพิจารณารูปแบบการแจกแจงของพฤติกรรมความต้องการ โดยกำหนดให้มีพฤติกรรมแบบปัวส์ซอง 10 ชนิด และลอคนอร์มอล 5 ชนิด ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำกว่าตัวแบบQ, r TT เพียงเล็กน้อย หรือกล่าวว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

3. ตัวแบบ T, s, S KB ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายรวมสูงสุด และระดับบริการต่ำที่สุด ผู้วิจัยคาดว่าผลที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมสูงเกิดจาก ค่าใช้จ่ายเมื่อชิ้นส่วนอะไหล่ขาดมือ (Shortage cost) และการเกิดอะไหล่ขาดมือแสดงให้เห็นว่า การกำหนดระยะเวลาการตรวจนับ (T) อะไหล่คงคลังอาจไม่สอดคล้องกับความต้องการใช้งานที่เกิดขึ้น หรือการกำหนดจุดสั่งซื้อ (s) ยังไม่เหมาะสมจึงทำให้เกิดอะไหล่ขาดมือสูง จึงอาจต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ T และ s ในรูปแบบอื่นให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

กรณีทราบความต้องการ: ผลลัพธ์จากตัวแบบ MILP KB

ตัวแบบ MILP KB ให้ผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด และมีระดับบริการสูงกว่า 0.95 เนื่องจากการประเมินปริมาณการสั่งจะปรับให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน โดยหลีกเลี่ยงทางเลือกที่จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้นได้เสมอ

อภิปรายผลการดำเนินงาน

ผลการศึกษาวิจัยนี้เสนอการกำหนดตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ด้วยการจำลองสถานการณ์ เพื่อศึกษาการบูรณาการ การศึกษาพฤติกรรมของความต้องการใช้งานชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง ก่อนที่จะกำหนดนโยบายการควบคุม และเสนอนโยบายการควบคุมเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงต่ำที่สุด ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่า การศึกษาพฤติกรรมของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยทั่วไปจะมีลักษณะความต้องการที่ไม่ต่อเนื่อง สำหรับงานวิจัยนี้ชิ้นส่วนอะไหล่แต่ละชนิดยังคงมีความต้องการในปริมาณต่ำ ลักษณะความต้องการเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง บางช่วงเวลาความต้องการมีค่าเป็น 0 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ Wongmongkolrit and Rassameethes (2011) ได้กล่าวถึงลักษณะของความต้องการชิ้นสวนอะไหล่ คือ ในช่วงเวลาอาจไม่มีความต้องการใช้งาน หรือมีจำนวนหน่วยที่ต้องการใช้งานค่อนข้างต่ำ หรือเรียกว่า Discrete demand ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

พฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงนั้นมีความต้องการแบบไม่ต่อเนื่อง และไม่เหมาะสมกับการพิจารณาภายในสมมติฐานที่ความต้องการมีรูปแบบคงที่ และต่อเนื่อง ตามสมมติฐานของตัวแบบ EOQ

งานวิจัยนี้เสนอตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร ตามรูปแบบการกำหนดนโยบายที่มีความนิยมใช้ในการควบคุมอะไหล่คงคลัง ได้แก่ ตัวแบบ EOQ กรณีความต้องการมีรูปแบบไม่ต่อเนื่อง ไม่แน่นอนนั้นพบว่า การใช้นโยบายการควบคุมแบบ Q, r ยังไม่ใช่นโยบายการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด เมื่อปริมาณความต้องการเป็นแบบไม่คงที่ และไม่ต่อเนื่อง โดยแสดงให้เห็นจากค่าใช้จ่ายรวมในงานวิจัยนี้ เมื่อมีการพิจารณาจุดสั่งซื้อภายใต้ความต้องการภายใต้ความไม่แน่นอน (ตัวแบบ Q, r KB) เปรียบเทียบกับการพิจารณาความต้องการที่มีการแจกแจงแบบปกติของกรณีศึกษาเดิม (ตัวแบบ Q, r TT) พิจารณาผลของค่าใช้จ่ายรวมที่มีค่าแตกต่างกันเพียง ร้อยละ 0.60 เท่านั้น โดยที่การกำหนดด้วยนโยบาย Max-Min ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าร้อยละ 7.55 ซึ่งสามารถไขข้อสงสัยของ Wongmongkolrit and Rassameethes (2011) ที่ระบุไว้ว่าการนำ EOQ ไปใช้กับความต้องการแบบไม่ต่อเนื่องอาจไม่ใช่นโยบายที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่เสนอไว้ในงานวิจัย Lonardo, Anghinolfi, Paolucci and Tonelli (2008) ดำเนินการด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับเงื่อนไข จากการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล ส่งผลให้งานวิจัยได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย โดยการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ประเมินด้วย OpenSolver ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายรวมลดลงถึงร้อยละ 18.67 ในขณะที่ระดับบริการมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับงานวิจัยกรณีศึกษาที่ใช้ประเมินการจำลองสถานการณ์ด้วย Excel spreadsheet และไม่พิจารณาพฤติกรรมความต้องการ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถประเมินคำตอบที่ดีที่สุดและอาจนำไปประยุกต์ใช้กับการกำหนดตัวแบบอื่น ๆ ในการประเมินการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังด้วยการกำหนดเงื่อนไขตามเป้าหมายในการประเมินผลลัพธ์ อย่างไรก็ตามการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP ประยุกต์ใช้ยังคงมีข้อจำกัดในด้านการกำหนดปริมาณความต้องการที่แน่นอนในช่วงเวลา

ข้อเสนอแนะการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาตัวแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุง ที่ไม่ได้ดำเนินการภายใต้การตั้งสมมติฐานว่าพฤติกรรมของความต้องการมีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ สอดคล้องกับพฤติกรรมความต้องการของชิ้นส่วนอะไหล่ในความเป็นจริง ที่มักมีรูปแบบเป็นช่วง สามารถดำเนินการวิเคราะห์จุดสั่งซื้อตามรูปแบบการคำนวณที่เสนอไว้ในการวิจัยนี้ เพื่อ

พิจารณาจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของความต้องการ สำหรับการศึกษางานวิจัยต่อไปผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรให้ความสำคัญกับการศึกษารูปแบบการแจกแจงของพฤติกรรมของความต้องการ เพื่อสามารถระบุแนวทางการควบคุมการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ได้อย่างเหมาะสม และความแม่นยำในการประเมินมากยิ่งขึ้น

2. การประเมินรูปแบบการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร ผู้วิจัยควรวิเคราะข้อมูลความต้องการว่าสามารถประเมินได้หรือไม่ หากไม่สามารถประเมินความต้องการได้ ผู้วิจัยเสนอให้ใช้ตัวแบบ Max-Min KB ในการประเมินผลลัพธ์ เนื่องจากตัวแบบสามารถประเมินผลลัพธ์ภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการได้

3. หากทราบความต้องการ ระบุเป็นค่าแน่นอนในช่วงเวลาหนึ่งได้ ผู้วิจัยเสนอให้ใช้ตัวแบบ MILP KB ในการพิจารณาปริมาณการปริมาณการสั่ง และจุดสั่งซื้อ ในแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถให้ผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวแบบที่เสนอในงานวิจัยนี้ และยังมีระดับบริการอยู่ในระดับสูง

4. สำหรับตัวแบบ T, s, S ที่ผู้วิจัยเสนอไว้ในงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมและระดับบริการ ยังมีผลที่ไม่น่าพึงพอใจ การศึกษาวิจัยในครั้งหน้าควรมีการดำเนินการวิเคราะห์การประเมิน ระยะเวลาการตรวจนับ (T) และจุดสั่งซื้อ (s) ใหม่เพื่อไม่ให้เกิดอะไหล่ขาดมือในระหว่างการพิจารณา ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดอะไหล่ขาดมือ (Shortage cost) ทำให้ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ต่ำลง และมีระดับบริการสูงขึ้นจากกการตอบสนองความต้องการใช้งานของชิ้นส่วนอะไหล่

5. การศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยนี้ ยังพบว่าการค่าใช้จ่ายที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวม คือ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ และค่าใช้จ่ายเมื่อมีอะไหล่ขาดมือ ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดนโยบายการควบคุมที่เหมาะสม ดังนั้นควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับนโยบายการควบคุมชิ้นส่วนอะไหล่ เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจมากกว่า 1 ตัวแบบ หรือแยกวิเคราะห์ผลลัพธ์ของดัชนีค่าใช้จ่ายรวม คือ ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และค่าใช้จ่ายเมื่อมีของขาดมือแต่ละตัว เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการบริหารจัดการอะไหล่คงคลังตามที่นโยบายของสถานประกอบการยอมรับได้

บรรณานุกรม

กาญจนา จิตรจุน. (2550). *การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษาบนพื้นฐานของความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กลางเดือน โพชนา และประกฤษณ์ จองปัญญาเลิศ. (2558). การลดอัตราการหยุดเครื่องจักรในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด กรณีศึกษา โรงงานน้ำแข็งหลอดคลองแงะ. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลันราชภัฏอุบลราชธานี, 5*(2), 101-116.

กิตติศักดิ์ จิตต์เกื้อ และจิรวัฒน์ สุวรรณพฤกษ์. (2552). การทบทวนวรรณกรรม อุปสงค์และอุปทานในงานบำรุงรักษาและซ่อม. *การประชุมสัมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9*, 99-105.

เกษม รุ่งเรือง. (2552). *การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรในอุตสาหกรรมรีเลย์.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

โกศล ดีศีลธรรม. (ม.ป.ป.). *ความน่าเชื่อถือสายการผลิตด้วยวิถีบำรุงรักษาแบบลีน(ตอนที่ 1).* เข้าถึงได้จาก http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=1033&section=4&issues=77

กันยา ฉัตรศักดาเดช. (ม.ป.ป.). *ระบบการควบคุมสินค้าคงคลังของบริษัท ส.ศิริแสง จำกัด.* เข้าถึงได้จากhttps://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1061/RMUTP;jsessionid=1578D5F4B8ABC7BB0C7BAFC6AD630439?sequence=1

ขวัญชัย หักทะเล. (2557). *การจัดการพัสดุคงคลังอะไหล่เพื่อตอบสนองความต้องการของงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกันและเชิงเร่งด่วน.* งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

คะเนย์ วรรณโท. (2553). *การบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรม* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

จตุพล เลื่องลือศักดิ์. (2557). *การหาปริมาณลวดเชื่อมคงคลังที่เหมาะสมสำหรับความต้องการที่ไม่แน่นอน.*สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

จีรีรัตน์ อ้วนเสมอ และโอพาร กิตติธีรพรชัย. (2557). การจัดการพัสดุคงคลังเคมีในอุตสาหกรรมการผลิตผ้าใบไทร์คอร์ดด้วยวิธีการกำหนดการสั่งซื้อ. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 24*(2), 308-317.

จิรายุทธ คิ้วเที่ยง. (2551). *การบริหารสินค้าคงคลังประเภทอะไหล่ซ่อมบำรุง กรณีศึกษา บริษัทผลิตเครื่องดื่มประเภทขวดแก้ว SG จำกัด.* งานนิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาหอการค้าไทย.

แจ่มจิต ศรีวงษ์. (2558). *การจัดซื้อจัดหาวัสดุด้วยการจัดแบ่งกลุ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนกรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตแก้ว จำกัด.* งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชัยยันต์ ชิโนกุล. (2551). *การจัดการโซ่อุปทานและลอจิสติกส์* (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ชุติระ ระบอบ. (2553). *การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: โครงการสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

ทัชพิชา พรมวงศ์, ปุณณมี สัจจกมล และพิสิฐ เอื้อธารพิสิฐ (2555). การศึกษาปัญหาและแก้ปัญหาระบบสินค้าคงคลังของการซ่อมบำรุงโดยใช้เทคนิค ABC และการจัดตารางการซ่อมบำรุงเครื่องจักร (static schedule). *วารสารประชุมวิชาการข่ายงานิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ.2555,* 160-167.

ธีทัต สุดพิทักษ์. (2559). *การปรับปรุงนโยบายคงคลังอะไหล่สำหรับกระบวนการผลิตโพลีคาร์บอเนต.* งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ธีรพงษ์ พรมประเสริฐ. (2555). *การสร้างประสิทธิภาพและการบริหารระบบสินค้าคงคลังทั่วไป บริษัทน้ำตาล กรณีศึกษา บริษัท AAA.* งานนิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

ธีรศักดิ์ พรหมแสน. (2556). *การบำรุงรักษาตามสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องดื่ม.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นิตยา เซ่งถาวร. (2549). *การจัดการพัสดุคงคลังอะไหล่ให้ทันกับความต้องการของผู้ใช้งาน.* งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นุชจิรา วรรณสิทธิ์, ภูมิศิริ วสุนทราพันธ์ และปณิธาน พีรพัฒนา. (ม.ป.ป.). *การปรับปรุงกระบวนการเพื่อการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันของเครื่องจักร FCA*. เข้าถึงได้จาก https://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egie/images/IE-NetworkArchives/2011/PDF/3.WPE/WPE09.pdf

นำโชค ย้อยดี และกาญจ์นภา อมรัชกุล. (2559). กรณีศึกษานโยบายสินค้าคงคลังสำรองอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลหนักที่มีช่วงเวลานำไม่แน่นอน ของบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายหนึ่ง. *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2559*, 41-45.

บรรหาญ ลิลา. (2553). *การวางแผนและควบคุมการผลิต* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: ท้อป.

บรรหาญ ลิลา, พงษ์ทัย กงยนต์ และอดิศักดิ์ นาวเหนียว. (2559). การออกแบบระบบควบคุมพัสดุคงคลังแบบช่วงเวลาคงที่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องรีดพลาสติก. *การประชุมวิชาการด้านการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 7 (CIOD 2016)*, 490-498.

ประจวบ นำนาผล. (2555). *การปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร OEE บรรจุแป้ง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ปวีณา ภูเขม่า. (2557). *การลดต้นทุนสินค้าคงคลัง (สายพาน) อุตสาหกรรมไม้อัก กรณีศึกษา บริษัท แอดวานซ์ไฟเบอร์ จำกัด. สาร*นิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

พงษ์ทัย กงยนต์. (2557). *การออกแบบระบบการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับเครื่องรีดพลาสติก*. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

พรทิพย์ อินสองใจ และบดินทร์ รุมารถ. (2557). การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน กรณีศึกษาเครื่องจักรในระบบลำเลียงเถ้าถ่านหินและยิปซัม โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2559). *การจัดการวัสดุคงคลังในโซ่อุทาน* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิมสิริ เซ่งจัน. (2557). *ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ทฤษฎีสินค้าคงลัง กรณีศึกษา ร้านค้าสหกรณ์ชุมชนบ้านหนองค้า ตำบลโนนท่อนอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น*. เข้าถึงได้จาก http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/project%20stat/p57/p5714.pdf

ไพฑูรย์ กำลังดี. (ม.ป.ป.). *โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน*. เข้าถึงได้จาก http://www.bbc.ac.th/eBook_files/%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%88%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf

ภาคินัย มนปราณีต. (2557). *การออกแบบประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรที่สำคัญในกระบวนการผลิตอาหารทะเลแปรรูปที่บรรจุในภาชนะปิดสนิทระบบการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับเครื่องรีด*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาการจัดการเทคนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภาณุพงศ์ สุทธิหาระ และวรวุฒิ หวังวัชรกุล (ม.ป.ป.). *การศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายรวมของระบบสินค้าคงคลัง*. เข้าถึงได้จาก http://www.research.eng.ku.ac.th/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=222:study-to-determine-the-factors-that-affect-the-total-cost-of-inventory&id=8:2554ie&Itemid=55&start=40

ยุทธพงษ์ อมรเลิศวิทย์. (2553). *การจัดการอะไหล่อย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา งานบริหารเครื่องปรับอากาศของบริษัทแห่งหนึ่งในเขตจังหวัดชลบุรี*. เข้าถึงได้จาก http://www.ex-mba.buu.ac.th/Research/Bangsaen/Ex-24-Bs/51710489/02_abs.pdf

วัชรินทร์ แสงมา และพิษณุ ทองขาว. (2555). *การวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ตัวแบบสินค้าคงคลังเชิงสโตคาสติก กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าของไทย*. เข้าถึงได้จากhttps://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1213/ENG_55_04.pdf?sequence=1

วินัย เวชวิทยาขลัง. (2550). *การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงปฏิบัติ* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: เอ็มเอ็นดี.

วิสุทธิ์ สุพิทักษ์. (2554). การคำนวณปริมาณสินค้าเผื่อพัฒนาระบบซ่อมบำรุงของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ EAU HERITAGE, 5*(1), 24-30.

ศิริกานดา คำภูษา. (2559). *กลยุทธ์การวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง กรณีศึกษา บริษัทผลิตรถจักรยานยนต์*. งานนิพนธ์วิทยาศาสตรศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุจิตรา อดุลย์เกษม, อภิรัตน์ สุวรรณเพ็ชร, นิชาภัทร ผ่องใส และอรวรรณ เชาวลิต. (2558). ต้นแบบระบบการควบคุมและจัดการเครื่องจักรและอะไหล่เครื่องจักร กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำตาล. *วารสารสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยศิลปากร, 2*(2), 89-101.

สุพรรณ์ ทองเพชร. (2554). *ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดการอะไหล่คงคลัง กรณีศึกษาโรงงานผลิตขนมเบเกอรี่*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะสถิติประยุกต์, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

สุวิทย์ ภูลี และปารเมศ ชุติมา. (2555). การปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต. *วารสารวิจัยพลังงาน, 9*(2551/ 1), 30-46.

หัสนัย สำเร็จ, ศักดิ์ชาย รักการ, ปพน สีหอมชัย และอนัญญา จินดาวัฒนะ. (2557). การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารการจัดการคลังอะไหล่ กรณีศึกษา ธุรกิจงานซ่อมเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ. วิศวกรรมสาร*เกษมบัณฑิต, 4*(1), 28-40.

อาคม ชินวงศ์. (2550). *แบบจำลองสินค้าคงคลังที่มีความต้องการแน่นอนและผันแปรตามเวลา กรณีศึกษา โรงงานผลิตแหนบรถยนต์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้านครเหนือ.

อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล. (2555). *งานบำรุงรักษาเครื่องจักร*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล และณัฐพงศ์ ฉิ่นไพศาล. (2559). *งานซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อมรศิริ ดิสสร. (2556). *การบริหารสินค้าคงคลัง*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

อัษฎาวุฒิ ทาปลัด. (2556). *การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าประเภทอะไหล่เครื่องจักร กรณีศึกษา บริษัท แอลจี อีเลคทรอนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด*. งานนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาการจัดการขนส่งและโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เอกชัย ใจแจ่ม. (2556). *การวิเคราะห์ปริมาณและเวลาการสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนของชิ้นส่วนอะไหล่คงคลัง กรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิท ฮาร์เนส จำกัด (มหาชน).* งานนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาการจัดการขนส่งและโลจิสติกส์, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เอกชัย พิจารณ์ และนารินทร์ เกิดแก้ว. (2554). *กรณีศึกษาระบบสนับสนุนการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักร บริษทอินเตอร์ไฮด์ จำกัด (มหาชน).* สารนิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต, ภาควิชาบริหารธุรกิจ (คอมพิวเตอร์ธุรกิจ), คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.

Ballou, R. H. (1992). *Business Logistics Management*. USA: Prentice-Hall.

Bedworth, D. D., & Bailey, J. E. (1987). *Integrated Production Control System: Management, analysis, design*. New York: Wiley.

Best, A. M., Dixon, C. A., Kelton W. D., Lindsell, C. J., & Ward, M. J. (2014). Using Discrete Event Computer Simulation to Improve Patient Flow in a Ghanaian Acute Care Hospital. *Am J Emerg Med, 32*(8), 917-922.

Chang, P., Chou, Y., & Huang, M. (2005). A (r, r, Q) inventory model for spare parts involving equipment criticality. *International journal of production economics, 97*, 66-74.

Hua, Z., & Zhang, B. (2006). A hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand of spare parts. *Applied Mathematics and Computation, 181*(2), 1035-1048.

Jin, T., & Liao, H. (2009). Spare parts inventory control considering stochastic growth of an installed base. *Computer & Industrial Engineering, 56*, 452-460.

Kelton, W.D., Sadowski, R. P. & Swets, B. N. (2010). *Simulation with Arena (5th ed.)*. Singapore: McGraw-Hill.

Liao, H., Wang, P., & Jin, T. (2012). Spare parts management considering new sales. In *Reliability and Maintainability Symposium 2008* (pp. 502-507). Las vegas: n.p.

Lonardo, P., Anghinolfi, D., Paolucci, M. & Tonelli, F. (2008). A Stochastic linear programming approach for service parts optimization. *CIRP Annals-Manufacturing Technology, 57*, 441-444.

Mason, A. J. (2012). OpenSolver-An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Progammes in Excel. In *Operations Research Proceedings 2011*. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64

Rego, J. R., & Mesquita, M. A. (2011). Spare parts inventory control: a literature review. *Produção, 21*(4), 656-666.

Willemain, T. R., Smart C. N., & Schwarz H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting, 20*(3), 375-387.

Wongmongkolrit, S., & Rassameethes, B. (2011). The Modification of EOQ Model under the Spare Parts Discrete Demand: A Case Study of Slow Moving Items. In *Proceeding of The World Congress on Engineering and Computer Science 2011*. San Francisco: n.p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การประเมินค่า Max และ Min ที่เหมาะสมต่อการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่
ซ่อมบำรุงเครื่องจักร ด้วยนโยบาย Max-Min

Max และ Min ที่เหมาะสมต่อการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร ด้วยนโยบาย Max-Min

แนวทางการนำเสนอ รูปแบบการคำนวณ Max-Mix ที่เสนอในบทที่ 3 ดังตารางที่ 3-1 ทั้ง 4 กรณี ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบค่า Max และ Min ที่เหมาะสมด้วยการจำลองสถานการณ์จาก Excel spreadsheet พิจารณาค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ที่ต่ำที่สุด และระดับบริการอยู่เกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า 0.95 การรันแบบจำลองจะดำเนินการทดสอบเบื้องต้นจำนวน 20 รอบเพื่อประเมินรอบการรันที่เหมาะสม การกำหนดค่า Max-Min ทั้ง 4 กรณี สรุปดังตารางภาคผนวก ก-1

ตารางภาคผนวก ก-1 กำหนดค่า Max และ Min เพื่อทดสอบการประเมินนโยบาย Max-Min ที่เหมาะสม

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4	
	Max	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**	**Max**	**Min**
1	7	4.06	7	3	8	4.06	8	3
2	7	3.92	7	3	8	3.92	8	3
3	14	3.02	14	4	15	3.02	15	4
4	57	2.42	57	1	57	2.42	57	1
5	16	2.19	16	2	16	2.19	16	2
6	19	1.46	19	1	19	1.46	19	1
7	13	1.31	13	2	13	1.31	13	2
8	16	1.25	16	1	16	1.25	16	1
9	19	1.23	19	2	19	1.23	19	2
10	17	1.1	17	1	17	1.1	17	1
11	10	3.97	10	6	11	3.97	11	6
12	10	3.62	10	6	11	3.62	11	6
13	21	1.45	21	3	21	1.45	21	3
14	14	1.38	14	3	14	1.38	14	3
15	29	1.61	29	4	29	1.61	29	4

การทดสอบทั้ง 4 กรณีกำหนดค่า Max และ Min ดังตารางภาคผนวก ก-1 สำหรับข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองอื่น ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ กำหนดเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 2,735 บาทต่อครั้ง เมื่อดำเนินการรันแบบจำลอง ผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) จากการรันจำนวน 20 รอบ สรุปดังตารางภาคผนวก ก-2 และผลลัพธ์ของระดับบริการ สรุปดังตารางภาคผนวก ก-3

ตารางภาคผนวก ก-2 ดัชนีค่าใช้จ่ายรวมของกรณีทดสอบทั้ง 4 กรณี จากการรัน 20 รอบ

รอบการรัน	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
1	401,324	400,105	399,609	399,456
2	346,522	368,523	371,528	378,787
3	353,108	379,016	362,947	393,854
4	336,387	384,873	357,968	393,796
5	358,718	384,893	375,852	377,671
6	350,151	390,814	386,989	397,449
7	353,711	373,513	345,712	374,671
8	359,571	364,774	354,775	401,953
9	322,125	370,578	366,863	388,901
10	345,497	387,628	354,465	406,930
11	362,566	383,530	348,244	379,326
12	347,793	393,751	379,514	403,937
13	401,938	408,303	392,793	405,728
14	342,258	380,893	376,225	396,427
15	365,484	364,012	366,279	387,663
16	380,677	389,713	387,646	419,812
17	363,652	391,790	365,789	394,528
18	364,729	384,143	379,679	410,363
19	378,019	392,751	371,550	392,207
20	390,192	408,925	387,933	407,356
ค่าเฉลี่ย	361,221	385,126	371,618	395,541
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	20,783	12,785	15,043	12,000

ผลการรันเบื้องต้นดังตารางภาคผนวก ก-2 พบว่าการกำหนดค่า Max และ Min ดังกรณีที่ 1 ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมมีค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามยังไม่อาจยืนยันได้ว่ารอบการรัน 20 ครั้งจะเพียงพอต่อการสรุปว่ากรณีที่ 1 ส่งผลให้ค่าจ่ายรวมต่ำที่สุด

ตารางภาคผนวก ก-3 ดัชนีระดับบริการเฉลี่ย ของกรณีทดสอบทั้ง 4 กรณี จากการรัน 20 รอบ

รอบการรัน	ร้อยละของระดับบริการเฉลี่ย			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
1	0.96	0.97	0.96	0.97
2	0.95	0.97	0.97	0.98
3	0.92	0.94	0.94	0.94
4	0.96	0.97	0.96	0.97
5	0.98	0.98	0.97	0.98
6	0.98	0.98	0.99	0.98
7	0.97	0.97	0.98	0.98
8	0.97	0.97	0.98	0.98
9	0.96	0.97	0.96	0.97
10	0.95	0.98	0.96	0.98
11	0.97	0.96	0.97	0.97
12	0.98	0.98	0.96	0.96
13	0.96	0.97	0.96	0.97
14	0.95	0.96	0.95	0.96
15	0.96	0.97	0.96	0.96
16	0.96	0.98	0.96	0.97
17	0.99	0.98	0.98	0.98
18	0.98	0.99	0.98	0.99
19	0.96	0.98	0.96	0.98
20	0.98	0.97	0.97	0.97
ค่าเฉลี่ย	0.96	0.97	0.97	0.97
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.014	0.010	0.012	0.010

สำหรับระดับบริการ แสดงดังตารางภาคผนวก ก-3 พบว่าระดับบริการเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำมาก ดังนั้นการประเมินจำนวนรอบการรันที่เหมาะสมจึงพิจารณาเฉพาะดัชนีค่าใช้จ่ายรวมเท่านั้น โดยกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 2.5 ของค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายรวม คำนวนรอบการรันที่เหมาะสมจากสมการที่ 3-17 และผลลัพธ์การคำนวณรอบการรันที่เหมาะสมเป็นดังตารางที่ 3-2 พบว่ารอบการรันที่เหมาะสมที่มากที่สุด คือ 6 รอบ จากการทดสอบโดยใช้รอบการรันจำนวน 20 รอบ เพียงพอสำหรับทุกกรณี แต่เพื่อยืนยันผลการทดสอบผู้วิจัยจึงดำเนินการทดสอบซ้ำจำนวน 100 รอบ ผลลัพธ์ที่ได้สรุปดังตารางผนวก ก-4

ตารางภาคผนวก ก-4 ดัชนีค่าใช้จ่ายรวมของกรณีทดสอบทั้ง 4 กรณี จากการรัน 100 รอบ

รอบการรัน	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
1	401,324	400,105	399,609	399,456
2	343,251	375,863	354,863	390,846
3	379,897	393,318	368,322	399,400
4	355,502	383,377	365,069	386,666
5	375,561	375,691	366,134	395,488
6	363,631	402,563	368,787	405,290
7	375,809	401,383	367,146	397,293
8	340,958	380,779	363,946	407,108
9	366,261	389,132	381,631	405,716
10	392,212	394,231	390,822	413,501
11	345,397	379,294	373,819	391,266
12	356,896	393,093	389,101	406,543
13	365,737	390,332	364,983	396,519
14	381,236	414,205	363,060	405,111
15	394,936	414,062	416,164	402,338
16	366,639	381,988	381,888	408,051
17	353,596	397,539	382,250	408,526
18	350,778	378,308	364,490	388,753
19	387,713	402,226	384,799	432,510
20	346,196	383,045	355,515	397,111
21	364,682	373,040	392,506	398,738
22	357,256	374,847	401,857	390,274
23	382,364	392,438	380,835	388,985
24	357,852	394,728	360,118	397,343
25	348,766	382,164	382,751	398,136
26	353,734	382,408	362,011	395,886
27	361,159	397,818	346,872	404,083
28	350,825	382,013	373,163	386,759
29	349,293	388,188	358,450	388,878
30	358,015	406,025	382,881	409,313
31	377,024	361,876	358,797	377,639
32	336,027	397,998	371,926	397,185
33	363,583	367,431	359,247	388,605

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

รอบการรัน	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
34	369,957	399,722	387,112	409,324
35	368,310	383,020	368,430	380,824
36	363,549	394,639	381,369	410,435
37	360,955	390,396	376,721	397,724
38	342,350	380,311	359,714	384,993
39	373,693	408,891	375,509	413,672
40	347,637	360,283	340,207	371,451
41	382,348	382,538	359,007	391,205
42	365,737	400,897	368,351	396,641
43	357,879	387,505	374,629	399,307
44	348,876	374,910	376,306	408,881
45	351,203	406,117	380,741	421,861
46	394,530	430,426	427,569	438,899
47	344,374	359,089	345,768	367,854
48	337,841	379,734	351,308	392,999
49	363,655	410,168	375,898	405,445
50	348,012	372,707	352,163	402,862
51	345,701	409,803	380,023	429,449
52	372,500	390,366	395,264	402,862
53	394,446	406,151	400,113	408,431
54	345,928	387,887	371,399	394,703
55	364,648	398,710	397,289	424,300
56	368,152	396,454	383,147	424,648
57	350,414	365,241	367,655	372,777
58	344,491	370,073	356,542	394,865
59	352,020	374,357	375,914	385,368
60	377,210	408,166	394,344	411,422
61	359,868	388,833	368,552	397,289

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

รอบการรัน	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
62	344,408	374,840	344,808	378,074
63	372,988	385,895	374,031	399,914
64	372,906	401,787	365,223	407,693
65	354,980	394,224	367,649	380,315
66	342,629	374,592	356,174	371,527
67	386,894	373,966	387,863	393,431
68	355,830	397,561	379,497	406,544
69	353,784	385,064	370,157	398,759
70	353,358	379,241	375,326	392,936
71	385,662	401,405	377,192	402,513
72	342,931	381,172	354,188	368,879
73	345,121	382,701	375,424	418,035
74	350,711	382,892	354,257	400,787
75	352,912	395,758	374,906	413,286
76	364,924	407,349	390,192	414,335
77	384,152	417,398	388,667	413,379
78	373,166	384,845	372,949	391,180
79	369,375	397,225	395,220	413,322
80	381,274	375,107	366,428	379,576
81	351,215	391,872	361,458	380,109
82	348,027	365,182	373,141	391,921
83	366,918	390,180	386,399	402,956
84	361,161	391,691	367,443	386,780
85	345,218	370,766	365,455	394,130
86	394,251	406,850	392,841	410,604
87	363,932	378,237	385,531	394,487
88	357,087	391,971	390,839	412,752
89	371,294	392,673	373,730	396,169
90	357,025	376,592	385,912	386,672

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

รอบการรัน	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	กรณีที่ 1	**กรณีที่ 2**	**กรณีที่ 3**	**กรณีที่ 4**
91	350,915	391,310	359,402	397,184
92	324,194	366,467	357,918	381,260
93	345,831	379,019	365,779	402,797
94	352,366	389,270	364,901	391,068
95	367,277	404,563	392,574	409,961
96	345,126	393,899	346,989	391,077
97	337,393	387,543	356,212	397,931
98	342,145	376,255	380,413	374,617
99	422,435	421,604	405,083	441,378
100	341,917	362,684	360,744	394,057
ค่าเฉลี่ย	361,341	388,705	373,678	398,822
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	16,914	14,254	15,795	14,283

เมื่อทำการรัน 100 รอบ ตรวจสอบค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ด้วยการคำนวณในบทที่ 3 สามารถสรุปได้ว่า กรณีการทดสอบที่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ กรณีที่ 1 งานวิจัยนี้จึงดำเนินการประเมินนโยบาย Max-Min ด้วยการคำนวณตามกรณี 1 Max_i เท่ากับ $SS + Q_0$ และ Min_i เท่ากับ d_i

ภาคผนวก ข

การสร้างข้อมูลค่าสุ่มจากฟังก์ชันการแจกแจงของความต้องการชิ้นส่วน
อะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร 15 ชนิด

การสร้างข้อมูลค่าสุ่มจากฟังก์ชันการแจกแจงของความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร 15 ชนิด

การสร้างข้อมูลค่าสุ่มพิจารณาจากพฤติกรรมการแจกแจงของข้อมูลกรณีศึกษาเป็นความต้องการรายเดือนทั้งหมด 48 เดือน จากการเก็บข้อมูลของกรณีศึกษา (ธีทัต สุดพิทักษ์, 2559) แสดงดังตารางภาคผนวก ข-1

ตารางภาคผนวก ข-1 ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรจำนวน 48 เดือนจากข้อมูลจริงของชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด

เดือนที่	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
1	1	1	1	3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
2	3	3	2	2	0	0	0	1	0	0	3	3	0	0	0
3	5	5	4	0	1	0	1	1	0	0	5	5	0	1	3
4	5	5	1	3	2	2	1	0	2	2	5	5	2	1	1
5	1	1	1	2	5	2	2	1	4	1	1	1	2	2	2
6	1	1	1	2	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	5
7	6	6	4	3	4	3	4	2	2	3	6	6	3	4	2
8	3	3	3	2	4	2	3	1	2	2	3	3	2	3	2
9	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
10	8	8	3	5	3	5	3	3	4	2	8	8	5	3	2
11	3	3	2	4	0	1	0	0	0	0	3	3	1	0	0
12	3	3	3	2	2	1	1	1	2	2	3	3	1	1	2
13	5	5	4	4	2	1	2	2	0	0	5	5	1	2	2
14	4	4	3	4	2	4	2	2	4	3	4	4	4	2	0
15	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	5
16	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	3	3	0	0	3
17	7	7	4	2	6	3	2	3	2	3	7	7	3	2	0
18	2	2	3	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	3	2
19	4	4	1	1	3	0	3	1	1	1	4	4	0	3	1
20	2	2	1	1	2	1	1	0	1	1	2	2	1	1	1
21	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	2	2	1	0	1
22	4	4	4	0	3	0	2	2	0	0	4	4	0	2	0
23	3	2	2	4	4	3	4	4	2	5	3	2	3	4	2

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

เดือนที่	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
24	6	6	4	3	1	2	1	2	1	1	6	6	2	1	1
25	3	3	1	1	3	1	1	0	1	0	3	3	1	1	3
26	2	1	2	1	1	1	1	1	0	1	2	1	1	1	2
27	4	4	4	0	1	0	0	0	0	0	4	4	0	0	2
28	5	5	3	4	3	2	1	1	2	0	5	5	2	1	1
29	2	2	2	3	3	3	2	1	3	2	2	2	3	2	1
30	3	1	2	2	3	3	2	2	1	2	3	1	3	2	1
31	8	6	7	1	1	1	1	1	1	1	8	6	1	1	0
32	1	1	1	3	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	2
33	7	7	5	6	3	3	2	3	3	2	7	7	3	2	5
34	3	3	3	1	4	2	3	4	1	1	3	3	2	3	1
35	8	8	7	4	5	2	4	4	3	3	8	8	2	4	1
36	4	4	2	2	2	3	1	1	2	1	4	4	3	1	0
37	4	4	3	3	3	2	2	3	0	0	4	4	2	2	2
38	3	3	4	1	1	0	0	0	1	1	3	3	0	0	1
39	7	7	5	4	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	1
40	3	3	3	4	2	1	1	2	2	2	3	3	1	1	1
41	4	4	5	2	2	4	1	1	1	1	4	4	4	1	1
42	5	5	4	4	3	1	0	1	0	0	5	5	1	0	1
43	4	4	3	2	4	2	0	1	2	1	4	4	2	0	0
44	6	5	4	0	3	0	1	0	0	0	6	5	0	1	2
45	3	3	3	4	3	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1
46	4	4	3	3	2	1	0	1	1	1	4	4	1	0	1
47	5	5	4	5	2	1	1	1	3	3	5	5	1	1	1
48	10	10	6	2	2	1	1	1	1	0	10	10	1	1	1

ข้อมูลความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่จริงจากกรณีศึกษา มีทั้งหมด 48 เดือน หรือ 4 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2555-2558 การดำเนินการสร้างข้อมูลค่าสุ่ม 100 ค่า เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการแจกแจงจริงของความต้องการกรณีศึกษาสร้างข้อมูลด้วยโปรแกรม Input analyzer ดังตัวอย่างที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปข้อมูลความต้องการตามพฤติกรรมใหม่ ที่ใช้ในการคำนวณสำหรับงานวิจัยนี้ได้ดังตารางภาคผนวก ข-2

ตารางภาคผนวก ข-2 ความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่สร้างขึ้นจำนวน 100 ค่า ของชิ้นส่วนอะไหล่ 15 ชนิด

ลำดับ	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
1	2	7	0	4	3	3	0	1	0	0	3	9	2	0	5
2	3	2	6	0	1	1	0	0	2	2	2	3	1	1	2
3	2	4	5	5	3	3	0	1	0	0	4	3	1	0	3
4	3	4	4	1	1	0	1	2	0	2	4	3	1	2	0
5	5	2	4	0	1	0	1	0	3	2	5	4	1	1	2
6	0	3	0	3	2	2	0	2	4	2	2	20	4	1	5
7	1	7	4	2	0	4	1	0	0	0	2	6	1	1	2
8	1	6	3	5	1	1	2	0	0	0	6	2	1	0	1
9	3	3	1	2	4	1	1	0	3	0	7	1	3	1	2
10	1	1	3	0	0	1	2	0	0	0	3	2	2	0	2
11	3	5	3	3	3	2	2	1	1	1	4	4	2	0	4
12	3	7	4	3	2	0	1	2	2	3	1	8	1	0	3
13	6	1	1	1	4	2	0	2	3	0	3	2	3	4	0
14	5	3	1	4	2	2	1	1	0	2	4	2	1	1	1
15	4	3	1	0	2	1	1	2	4	0	4	1	1	0	4
16	9	4	4	1	3	0	0	3	2	0	5	6	1	0	2
17	5	3	2	1	2	3	2	1	1	1	11	3	2	0	3
18	4	3	4	4	3	1	0	1	0	2	2	3	2	1	1
19	4	3	4	5	1	1	3	2	6	3	1	3	1	3	0
20	5	4	2	2	0	1	1	2	2	2	11	5	5	3	0
21	3	5	0	1	2	1	3	4	0	2	3	1	2	2	1
22	3	3	4	4	3	1	1	2	1	0	3	3	0	2	2
23	4	4	2	5	5	1	2	1	1	1	3	3	2	0	4
24	3	2	6	2	1	4	0	1	1	1	2	6	2	0	1
25	3	7	3	2	2	4	2	2	1	1	3	1	2	0	2
26	0	4	2	3	4	1	2	1	1	0	3	2	0	0	0
27	2	9	4	2	1	0	4	2	0	2	2	5	1	1	1
28	6	2	5	1	5	2	0	0	4	0	10	1	0	1	1
29	5	4	3	2	2	3	2	1	1	2	3	8	0	0	2
30	1	4	1	1	1	1	0	0	1	1	3	2	0	1	1
31	3	2	1	1	1	3	0	2	1	0	5	3	0	1	0

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
32	4	3	2	4	3	1	1	0	0	1	1	4	3	1	3
33	1	6	3	2	1	0	0	1	1	2	5	9	1	0	0
34	3	8	3	2	1	0	3	1	1	0	3	1	1	1	1
35	2	0	3	5	1	0	2	0	3	1	6	6	1	4	2
36	4	4	2	1	1	0	2	3	1	3	7	2	2	3	0
37	4	6	4	4	3	2	0	3	1	2	3	3	0	1	3
38	7	3	1	2	3	2	1	0	1	3	3	7	1	1	1
39	4	3	5	3	2	1	2	0	2	1	4	1	0	5	1
40	5	6	2	2	3	0	0	1	3	3	2	3	0	0	0
41	6	3	2	4	3	2	1	0	1	1	2	6	0	2	0
42	2	5	0	0	3	3	2	3	1	1	3	3	7	3	1
43	4	8	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	1	0	2
44	6	8	4	3	0	2	4	2	2	1	2	2	0	0	4
45	2	3	3	2	4	3	1	2	1	2	6	2	1	1	4
46	6	5	3	0	1	1	2	1	1	1	4	3	2	1	1
47	4	3	6	1	3	1	1	1	2	0	2	1	5	2	2
48	5	8	4	2	6	0	0	1	1	0	10	1	0	2	0
49	0	3	3	6	1	1	2	3	2	0	2	5	1	0	0
50	4	5	3	3	2	0	0	0	1	1	2	2	1	3	2
51	2	3	4	1	5	1	2	2	1	0	4	2	1	1	4
52	2	4	4	2	5	2	2	5	1	0	2	4	4	2	1
53	4	4	4	1	0	1	1	2	0	0	9	2	1	1	1
54	7	3	3	6	1	0	2	2	3	4	4	2	0	2	0
55	2	2	1	3	1	4	3	2	1	2	6	2	3	0	2
56	9	5	2	3	1	2	1	0	0	1	2	4	1	2	2
57	6	5	3	0	2	2	1	3	1	2	5	3	2	0	1
58	5	1	4	2	5	1	1	1	0	0	5	1	2	3	0
59	3	9	1	3	2	3	0	0	2	1	5	5	1	3	2
60	8	6	4	1	1	2	0	0	1	3	3	5	2	4	0
61	4	4	0	2	1	1	1	0	3	2	2	2	1	0	3
62	6	3	2	4	3	1	3	0	2	2	6	3	1	2	1
63	7	3	1	3	5	2	1	1	0	1	6	5	1	2	2
64	7	3	5	1	1	0	1	0	0	2	1	3	2	1	3
65	5	7	4	6	0	3	1	0	2	0	2	6	0	1	0

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
66	4	4	4	0	1	0	0	3	1	1	6	4	0	1	8
67	4	4	3	0	0	0	2	3	1	1	1	3	0	4	1
68	3	10	3	1	3	1	1	1	0	0	3	5	1	1	1
69	8	3	1	1	4	4	1	1	3	1	2	4	5	1	5
70	4	5	3	3	2	1	2	1	1	0	7	5	0	0	1
71	4	2	1	4	2	0	1	1	0	0	12	2	1	0	0
72	2	4	2	3	3	2	1	1	2	0	2	3	0	0	0
73	6	4	3	2	2	0	0	3	0	2	3	1	0	3	0
74	6	5	5	5	2	2	1	0	2	0	18	1	3	4	1
75	4	4	4	1	5	3	3	0	0	0	4	3	1	0	2
76	14	2	4	2	1	2	0	1	1	1	2	3	1	1	1
77	6	3	2	1	2	1	3	0	1	2	2	2	1	3	5
78	3	3	2	4	2	6	2	2	0	2	5	6	1	1	1
79	5	5	3	2	1	1	1	0	2	1	2	7	0	6	1
80	4	5	2	0	4	2	1	2	1	1	10	2	0	2	0
81	2	4	1	2	3	1	1	3	3	1	2	5	4	0	0
82	9	3	3	5	2	0	1	2	0	2	2	2	1	0	2
83	5	1	2	2	3	0	0	1	0	1	6	1	1	1	0
84	4	3	1	2	1	0	1	2	1	0	5	5	2	1	1
85	0	3	3	0	0	0	0	3	2	2	1	12	7	0	4
86	2	4	4	1	4	1	3	0	5	0	5	5	0	4	3
87	7	4	4	2	2	2	1	1	0	2	3	8	1	0	0
88	2	6	5	1	4	0	0	0	0	1	4	2	0	2	1
89	4	3	6	3	0	0	0	1	2	2	3	2	1	1	7
90	3	7	4	0	1	1	1	2	3	1	1	3	1	1	1
91	6	2	5	1	1	0	1	0	1	0	4	2	1	1	1
92	5	2	2	0	3	0	2	0	0	2	3	2	3	2	2

ตารางภาคผนวก ข-2 (ต่อ)

ลำดับ	ปริมาณความต้องการต่อเดือนของชิ้นส่วนอะไหล่ชนิดที่														
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
93	4	6	3	0	0	2	1	2	1	1	3	4	4	3	3
94	0	3	6	2	2	0	1	0	1	0	1	1	1	3	0
95	3	7	5	5	1	0	2	1	1	1	8	1	3	2	2
96	3	2	6	1	1	2	0	2	1	1	2	3	4	2	0
97	5	4	3	3	1	2	1	2	0	1	2	7	0	3	0
98	7	3	4	2	3	4	0	1	3	2	3	4	0	1	0
99	3	4	2	2	2	1	0	1	0	1	2	2	2	0	0
100	3	3	2	4	2	1	1	0	1	2	3	3	1	3	1

ค่าที่ได้จากการสร้างข้อมูลขึ้นใหม่ (Generate) เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปี แสดงในบทที่ 4

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการที่มากที่สุด (D_{max})
ของข้อมูลค่าสุ่มความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการที่มากที่สุด (D_{max}) ของข้อมูลค่าสุ่มความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่

การวิเคราะห์ปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของแต่ละชิ้นส่วนอะไหล่ จะวิเคราะห์ด้วยการสร้าง Box plot กับข้อมูลความต้องการจากการสร้างค่าสุ่ม Generate จากตารางภาคผนวก ข-2 โดยกำหนดเกณฑ์ ดังนี้

Q1 กำหนดให้เป็น Percentile ที่ 25 คือ จำนวนที่เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงกันตามลำดับจากน้อยไปหามาก เช่น 100 ข้อมูล Q1 จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในลำดับที่ 25

Q2 กำหนดให้เป็น Percentile ที่ 50 คือ จำนวนที่เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงกันตามลำดับจากน้อยไปหามาก เช่น 100 ข้อมูล Q2 จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในลำดับที่ 50 หรือเรียกว่า Median

Q3 กำหนดให้เป็น Percentile ที่ 75 คือ จำนวนที่เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงกันตามลำดับจากน้อยไปหามาก เช่น 100 ข้อมูล Q3 จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในลำดับที่ 75

การคำนวณจะดำเนินการภายใต้โปรแกรม Microsoft excel มีขั้นตอนดังนี้

1. จัดเรียงข้อมูลตามลำดับจากน้อยไปหามาก
2. คำนวณ Q1 ด้วยสูตร Percentile กำหนด Array ที่ข้อมูล 100 ค่าของอะไหล่แต่ละชนิด และกำหนด k เท่ากับ 0.25
2. คำนวณ Q2 หรือ Median ด้วยสูตร Percentile กำหนด Array ที่ข้อมูล 100 ค่าของอะไหล่แต่ละชนิด และกำหนด k เท่ากับ 0.50
3. คำนวณ Q3 ด้วยสูตร Percentile กำหนด Array ที่ข้อมูล 100 ค่าของอะไหล่แต่ละชนิด และกำหนด k เท่ากับ 0.75
4. คำนวณค่าพิสัยควอไทล์ (Interquartile range, IQR) ด้วยสูตร Q3-Q1
5. กำหนดให้ fences เท่ากับ 1.5 IQR
6. คำนวณระดับสูงสุด (USL) ต่ำสุด (LSL) ที่ยอมรับได้

ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4-8 ในบทที่ 4 ซึ่งค่าที่ได้จาก USL จากการสุ่มค่าจะถูกกำหนดเป็นค่า D_{max} ที่ใช้ในการคำนวณการจัดการชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังตามนโยบาย T, s, S