การศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคอมโพสิตสำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อากาศยาน

วรปรัชญ์ พูนสวัสดิ์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ วรปรัชญ์ พูนสวัสดิ์ ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. คมกฤษ วงศ์ทิมน้อย)

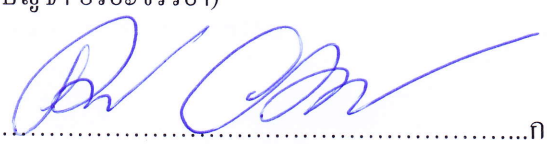
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

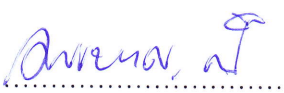
.....ประธาน

(ดร. บัญชา อริยะจรรยา)



.....กรรมการ

(ดร. คมกฤษ วงศ์ทิมน้อย)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 8 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา และ ดร. คมกฤษ วงศ์ทิมน้อย อาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่ได้สละเวลาและกรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการค้นคว้าวิจัย และแนวทางแก้ไขปัญหาทำให้งานนิพนธ์นี้ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อพกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานนิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ตั้งแต่เริ่มต้นจนงานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรับรู้ถึงความปรารถนาดีและรู้สึกซาบซึ้งใจอย่างที่สุด รวมถึงคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณบริษัท ไทรอัมพ์ เอวิเอชั่น เซอร์วิสเซส เอเชีย จำกัด และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ได้ให้ความร่วมมือในการให้ ข้อมูลเพื่อการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นแรงบันดาลใจที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ รวมไปถึงเพื่อน ๆ ทุกคนที่มีส่วนในแรงผลักดัน ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดเกิดขึ้นในงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับ

วรปรัชญ์ พูนสวัสดิ์

59910254: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การจัดการวัสดุคงคลัง/ วัสดุคอมโพสิต/ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์/
กระบวนการมอนติคาร์โล/ การซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อากาศยาน
วรปรัชญ์ พูนสวัสดิ์: การศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคอมโพสิตสำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อากาศยาน (A STUDY OF MANAGEMENT POLICIES FOR A COMPOSITE MATERIAL USING IN THE MAINTENANCE OPERATIONS OF THE AVIATION ENGINE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: คมกฤษ วงศ์ทิมน้อย, Ph.D., บรรหาญ ลิลา, Ph.D. 94 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการวัสดุคงคลังประเภทวัสดุคอมโพสิต สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อากาศยาน ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งปัจจุบันเลือกใช้นโยบายการควบคุมแบบต่ำสุด (s)–สูงสุด (S) ที่กำหนดขึ้นจากข้อมูลความต้องการใช้วัสดุที่เกิดขึ้นในอดีต โดยไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้มีต้นทุนรวมในการจัดการวัสดุคงคลังสูง งานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบการจัดการวัสดุคอมโพสิตนี้ ด้วยตัวแบบ s, Q ตัวแบบ s, S และตัวแบบ T, s, S ภายใต้เงื่อนไขที่ความต้องการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง ไม่คงที่ และไม่ทราบค่า ประเมินผลลัพธ์โดยใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล โดยอ้างอิงผลลัพธ์กับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตัวแปรผสม เลือกตัวแบบที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังรวมที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบ s, S ให้ผลลัพธ์ที่ต้นทุนการจัดการรวมเฉลี่ยลดลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับนโยบายเดิมของบริษัท จำนวน 56,619 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 43 ต่อปี และมีระดับบริการในระดับที่ยอมรับได้ จึงนำเสนอเพื่อประยุกต์ในการจัดการจริงต่อไป

59910254: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.ENG. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: INVENTORY MANAGEMENT/ COMPOSITE MATERIAL/ MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMING / MONTE CARLO PROCESS/ MAINTENANCE OPERATIONS OF THE AVIATION ENGINE

WORAPRACH POONSAWAT: A STUDY OF MANAGEMENT POLICIES FOR A COMPOSITE MATERIAL USING IN THE MAINTENANCE OPERATIONS OF THE AVIATION ENGINE. ADVISORY COMMITTEE: KOMKRISD WONGTIMNOI, Ph.D., BANHAN LILA, Ph.D. 94 P. 2017.

This research concerns a case study of inventory management for a composite material used in the maintenance operations of aviation engine. The min (s)–max (S) quantities obtained from historical demand data were used as the inventory control policy without considering of the other associated management costs. As a result, the total cost of inventory management was quite high. This research, thus, investigated the effectiveness of inventory management between the (s, S), (s, Q) and (T, s, S) control models. The total inventory management cost and the service level of such models were compared under the circumstances of discrete distributed, nonstationary and unknown demands using the Monte Carlo simulation.

The results indicated that the (s, S) model provided the lowest total cost that was determined to be 56,619 baht per year, or 43% lower than the total cost of the current control policy, with acceptable service level. Therefore, the (s, S) inventory control policy is recommended for further implementation.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 3

แนวทางในการดำเนินงานวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ทฤษฎีและแนวคิดการบริหารวัสดุคงคลัง 6

ต้นทุนวัสดุคงคลัง 8

อุปสงค์หรือความต้องการของวัสดุคงคลัง 11

ระดับการบริการลูกค้า 11

ระบบการควบคุมและตรวจนับวัสดุคงคลัง 12

นโยบายวัสดุคงคลัง 12

ปริมาณการสั่งซื้อแบบประหยัด 16

ปริมาณวัสดุคงคลังสำรอง 21

ระบบสำรองระดับวัสดุคงคลังสูงสุด-ต่ำสุด 22

จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point) 23

ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล 26

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ 28

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	36
	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	36
	ศึกษาวิธีการและเก็บรวบรวมข้อมูล	38
	วิเคราะห์ข้อมูลและบ่งชี้ปัญหา	39
	ศึกษาและนำเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต	40
	เปรียบเทียบนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต	46
	เลือกนโยบายและเสนอแนวทางการประยุกต์กับบริษัทกรณีศึกษา	47
4	ผลการวิจัย	48
	การทดสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมข้อมูลความต้องการ	48
	ผลการประเมินต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง	52
	ผลวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ	57
	การประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง	58
	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินผลลัพธ์	61
	ผลทดสอบการรันเบื้องต้น	67
	ผลลัพธ์จากการประเมินจากนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง	69
5	สรุปและอภิปรายผล	72
	สรุปผลการดำเนินงาน	72
	ข้อเสนอแนะการวิจัย	75
บรรณานุกรม		77
ภาคผนวก		81
	ภาคผนวก ก	82
	ภาคผนวก ข	88
ประวัติย่อของผู้วิจัย		94

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 การแจกแจงความถี่ของข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง 51

4-2 ระยะเวลาที่ต้องใช้ต่อคำสั่งซื้อ 1 ครั้ง (คำสั่งซื้อต่างประเทศ) 53

4-3 ค่าใช้จ่ายโดยรวมด้านจัดซื้อ ปี 2560 53

4-4 ข้อมูลการนำเข้าของวัสดุคงคลัง 54

4-5 ต้นทุนการเก็บรักษา 55

4-6 ต้นทุนการจัดวัสดุคงคลัง 57

4-7 สรุปต้นทุนรวมวัสดุคงคลังตามนโยบายการจัดการของบริษัทกรณีศึกษา 57

4-8 ค่าพารามิเตอร์แต่ละนโยบาย 67

4-9 ผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม และระดับการให้บริการ จากการรันแบบจำลองเบื้องต้น 20 ชุด 68

4-10 สรุปผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม และระดับการให้บริการ จากการรันแบบจำลองทั้งหมด 500 ชุดข้อมูล และ 100 ชุดข้อมูล 70

5-1 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยและระดับบริการเฉลี่ยของตัวแบบการจัดการวัสดุคงคลัง 73

5-2 เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์ 74

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ลักษณะวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก และชุด Thrust Reversers	2
1-2	แผนการดำเนินงานวิจัย	4
2-1	นโยบายพื้นฐานการจัดการวัสดุคงคลัง	13
2-2	การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (s,Q)	14
2-3	การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (s,S)	14
2-4	การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (T,S)	15
2-5	การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (T,s,S)	15
2-6	ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวม ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการจัดเก็บคงคลัง และปริมาณการสั่งซื้อ	16
2-7	ที่มาของสูตร ROP	23
2-8	ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	29
3-1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	37
3-2	แผนผังการเบิกจ่ายวัสดุ	38
3-3	ตัวอย่างฐานข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา	39
4-1	ปริมาณความต้องการใช้งานในอดีตของวัสดุพรีเพล็กทั้งหมด 157 สัปดาห์	49
4-2	ผลทดสอบสมมติฐานพฤติกรรมการแจกแจงแบบ BETA	50
4-3	แผนผังการวิเคราะห์ปัญหาประสิทธิภาพของการจัดการวัสดุพรีเพล็ก	58
4-4	ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง	62
4-5	ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์ MILP	64
4-6	ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขบน OpenSolver	66
4-7	กราฟข้อมูลค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยจากการรัน 500 รอบ	71
4-8	กราฟข้อมูลระดับบริการเฉลี่ยจากการรัน 500 รอบ	71

บทที่ 1
บทนำ

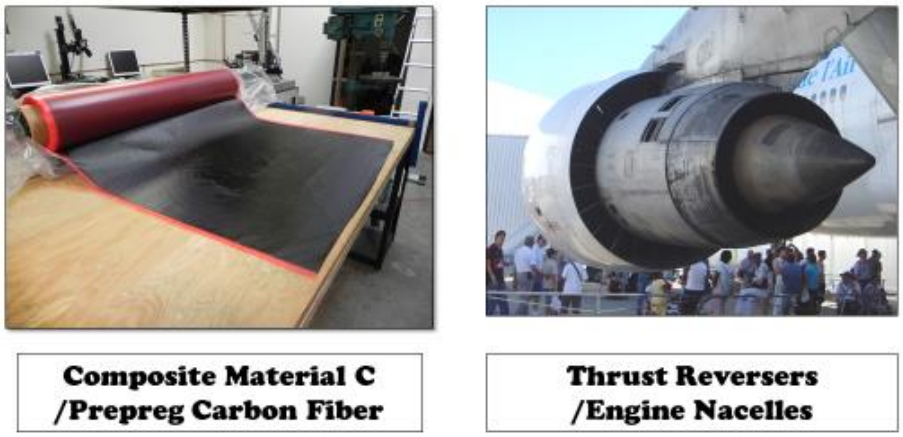
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัทอุตสาหกรรมซ่อมบำรุงอากาศยานแห่งหนึ่งในประเทศไทย ยังคงประสบปัญหาในเรื่องของการบริหารจัดการระบบวัสดุคงคลัง (Inventory) และการวางแผนการจัดซื้อสินค้าที่มีประสิทธิภาพ นับเป็นปัญหาสำคัญที่พบได้ในองค์กรต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นองค์กรทางธุรกิจอุตสาหกรรม การเกษตร ฯลฯ ที่ผู้ผลิตส่วนใหญ่ให้ความสำคัญและคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เนื่องจากมักเกิดความไม่แน่นอนของตัวแปรต่าง ๆ มักเกิดขึ้นเสมอ อาทิเช่น ความไม่แน่นอนของเครื่องจักร แรงงาน แหล่งวัตถุดิบ รวมถึงความไม่แน่นอนของความต้องการของลูกค้า เพื่อต้องการตอบสนองต่อลูกค้าได้ในเวลาที่จำกัด หากการสั่งซื้อวัตถุดิบไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าทำให้เกิดความเสียหายต่อภาพลักษณ์ขององค์กร จึงทำให้เกิดการจัดเก็บวัสดุคงคลังสำรองขึ้น เนื่องจากบริษัทเป็นประเภทอุตสาหกรรมซ่อมบำรุงจึงไม่สามารถคาดเดาประเภทงานที่ถูกส่งมาซ่อมบำรุงซึ่งวัตถุดิบที่จะถูกนำมาใช้ในงานซ่อมมีลักษณะแบบไม่แน่นอน (Variable demand) เพราะวัตถุดิบอาจไม่ได้ถูกนำมาใช้งาน แต่จำเป็นต้องมีสำรองไว้เพื่อรองรับชิ้นงานที่เข้ามา ทั้งนี้การจัดเก็บวัสดุคงคลังสำรองที่มากจนเกินไป ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและเสี่ยงต่อวัสดุหมดอายุ งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก โดยปกติแล้ววัสดุพรีเพล็ก มักถูกนำไปใช้ซ่อมบำรุงกับชิ้นงานที่เกิดความเสียหายจากความร้อนของชุดเครื่องยนต์ Thrust reversers ซึ่งมีหน้าที่ช่วยในการชะลอความเร็วของเครื่องบินขณะลงจอด โดยแสดงลักษณะดังภาพที่ 1-1

อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ต้องรวบรวมข้อมูลความต้องการใช้งานในอดีต (Historical demand) และศึกษาเพื่อบ่งชี้พฤติกรรมการแจกแจงต่อหน่วยเวลาของความต้องการ สุจินดา เจียระวรพจน์ (2552) ได้กล่าวว่าการนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์ มาใช้เป็นเครื่องมือในการเลียนแบบระบบการทำงานจริงของบริษัท ประเมินผลและเปรียบเทียบนโยบาย เพื่อหานโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสม จะช่วยลดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่าย โดยไม่รบกวนระบบการทำงานจริง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับวัสดุพรีเพล็ก สำหรับใช้ในงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ทางอากาศยาน จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S) นโยบาย s,Q (ไกรวิทย์ สินธุคำมูล, 2560) นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T,s,S (Ghorbel, 2014) พร้อมทั้งเสนอตัวแบบจำลอง

Mixed integer linear programing (MILP) (Phabu, 2012) ในการประเมินผลลัพธ์ของทั้ง 4 นโยบาย จะใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) แบบมอนติคาร์โล และ Opensolver 2.9.0 ผ่านโปรแกรม Microsoft excel โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายรวม หรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดการและการควบคุมวัสดุคงคลัง ให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งานซ่อมบำรุงอากาศยาน ตลอดจนบริษัทสามารถนำตัวแบบวัสดุคงคลังดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในอนาคตต่อไป



ภาพที่ 1-1 ลักษณะวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก และชุด Thrust reversers

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับวัสดุคอมโพสิต สำหรับใช้ในงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ทางอากาศยาน
2. เพื่อนำเสนอแนวทางการสั่งซื้อวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก ให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้งาน

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ไม่ได้นำประเด็นความเสี่ยง หรือผลกระทบอื่น ที่นอกเหนือจากรูปแบบและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในการจัดการความสัมพันธ์กับผู้จำหน่าย มาพิจารณาถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจัดซื้อ

2. งานวิจัยนี้เพียงศึกษานโยบายวัสดุคงคลังและนำเสนอแนวทางเพียงเท่านั้น ไม่รวมถึงการประยุกต์ใช้จริงกับบริษัทกรณีศึกษา

3. ศึกษาปริมาณวัสดุคงคลังของวัตถุดิบซ่อมบำรุงทางอากาศยานเฉพาะวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก เท่านั้น โดยใช้ข้อมูลระหว่าง มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำเสนอแผนการจัดการหรือแผนการสั่งซื้อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

2. ทราบถึงแนวทางหรือนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก ของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อให้วัตถุดิบพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า และช่วยลดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

3. สามารถสร้างตัวแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขในการสั่งซื้อวัตถุดิบชนิด วัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก แต่ละเงื่อนไข เป็นเครื่องมือพิจารณาประกอบการตัดสินใจสั่งซื้อวัตถุดิบได้อย่างมีหลักเกณฑ์และเหตุผล

4. งานวิจัยนี้จะช่วยส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือด้านการวิจัยและพัฒนาระหว่างสำนักพัฒนาอุทยานรังสรรค์นวัตกรรมอวกาศกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อีกทั้งช่วยนำร่องในการเชื่อมโยงและสร้างเครือข่ายระหว่างผู้ประกอบการ โดยองค์ความรู้ที่เกิดจากความร่วมมือนี้ จะช่วยนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการบินและอวกาศให้แก่ประเทศไทยในอนาคต

แนวทางในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความต้องการใช้งานในอดีต ตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559 มาทำการคัดเลือกปัจจัยที่เหมาะสมและสร้างตัวแบบนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมและนำไปสู่การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ลดลง ซึ่งมีแนวทางดังต่อไปนี้

1. ศึกษาวิธีการและเก็บรวบรวมข้อมูล
2. การวิเคราะห์ข้อมูลและบ่งชี้ปัญหา
3. ศึกษาและนำเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต
4. เปรียบเทียบนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต
5. เลือกนโยบายและเสนอแนวทางการประยุกต์กับบริษัทกรณีศึกษา
6. สรุปผลดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

แผนกิจกรรมการดำเนินงานกับระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	กิจกรรม	ระยะเวลา	ระยะเวลา (เดือน)								
			พ.ศ. 2560						พ.ศ. 2561		
			ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษางานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และรวบรวมข้อมูลความต้องการใช้ในอดีต	2 เดือน									
2	การวิเคราะห์ข้อมูลและบ่งชี้ปัญหา	2 สัปดาห์									
3	ศึกษาและนำเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต ฯ	2 เดือน									
4	การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ	2 เดือน									
5	เปรียบเทียบนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต	2 เดือน									
6	เลือกนโยบายและเสนอแนวทางการประยุกต์กับบริษัทกรณีศึกษา	2 เดือน									
7	สรุปผลดำเนินงานและจัดทำรูปเล่มงานนิพนธ์	2 เดือน									

ภาพที่ 1-2 แผนการดำเนินงานวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. วัสดุคงคลัง (Inventory) มักถูกเรียก สินค้าคงคลัง หรือของคงคลัง ซึ่งหมายถึง ปริมาณสินค้าหรือบริหารที่ธุรกิจมีสำรองไว้เพื่อการใช้งาน การผลิต และการจัดจำหน่ายในอนาคต เช่น อุปกรณ์สำนักงาน ชิ้นส่วนอะไหล่ วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น (ก่อเกียรติ วิริยะกิจพัฒนา และมาลัย ม่วงเทศ, 2551)

2. ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) หมายถึง วิธีการที่เป็นตัวกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าในแต่ละครั้งและจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและต้นทุนการเก็บรักษาที่ต่ำที่สุด

3. สินค้าขาดแคลน (Stock out) หมายถึง สินค้าขาดมือหรือสภาพที่เกิดขึ้น เมื่อไม่สามารถจัดหาวัสดุหรือสินค้าที่จำเป็นต่อการใช้งานได้ในเวลานั้น

4. วัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก หมายถึง Prepreg carbon fiber คือ วัสดุทางวิศวกรรมที่ได้รับความสนใจจากหลายอุตสาหกรรมตั้งแต่สิ่งของที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง อย่างการผลิตอาวุธ และการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์อากาศยาน เพราะวัสดุชนิดนี้มีสมบัติโดดเด่นมาก คือ วัสดุมีน้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงสูงมาก และยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีต่าง ๆ และงานวิจัยนี้เรียกแทนว่า วัสดุพรีเพล็ก

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานนิพนธ์นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการวัสดุคงคลังของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่ 1) ทฤษฎีและแนวคิดการบริหารวัสดุคงคลัง (Inventory management) 2) ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation) 3) การวิเคราะห์เชิงประมาณ (Quantitative analysis) 4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอภิปรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

ทฤษฎีและแนวคิดการบริหารวัสดุคงคลัง

วาสนา เจริญศรี (2558) กล่าวเกี่ยวกับวัสดุคงคลัง (Inventory) หรือสินค้าคงคลังว่าเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจ ทั้งธุรกิจขนาดเล็กและธุรกิจขนาดใหญ่เพราะจัดเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนรายการหนึ่ง ซึ่งธุรกิจพึงมีไว้เพื่อให้การผลิตหรือการขายสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น อย่างไรก็ตามการมีวัสดุคงคลังที่มากเกินไปบ่อยครั้งมักเป็นปัญหาทั้งในเรื่องต้นทุนการเก็บรักษาที่สูง สินค้าเสื่อมสภาพ หมดอายุ ล้าสมัย ถูกขโมย หรือ สูญหาย และเกิดต้นทุนจมทำให้สูญเสียโอกาสในการทำเงินจากประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าหากธุรกิจมีวัสดุคงคลังน้อยเกินไป ก็อาจประสบปัญหาสินค้าขาดแคลนไม่เพียงพอ (Stock out) สูญเสียโอกาสในการขายสินค้าให้แก่ลูกค้าเป็นการเปิดช่องให้แก่คู่แข่งขัน และอาจต้องสูญเสียลูกค้าในที่สุด

ทั้งนี้หากวัสดุคงคลังที่ขาดแคลนนั้นเป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อการดำเนินงานของธุรกิจทั้งในการผลิตและการขายอาจต้องหยุดชะงักลง ซึ่งจะส่งผลต่อภาพลักษณ์ของธุรกิจในอนาคตได้ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้ประกอบการในการจัดการวัสดุคงคลังให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป เพราะการลงทุนในวัสดุคงคลังต้องใช้เงินจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อสภาพคล่องของธุรกิจในบริษัท

ความหมายของวัสดุคงคลังและการบริการวัสดุคงคลัง

วัสดุคงคลัง (Inventory) หมายถึง วัตถุดิบหรือสินค้าต่าง ๆ ที่เก็บไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการดำเนินงาน อาจเป็นการดำเนินงานผลิต การดำเนินการขาย การดำเนินงานซ่อม หรือดำเนินงานอื่น ๆ สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (Jay Heizer & Barry Render, 2011)

1. วัตถุดิบ (Raw-materials) คือ สิ่งของหรือชิ้นส่วนที่ซื้อมาเพื่อใช้ในการผลิตถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการผลิตที่ต้องมีการวางแผนสำรองไว้อย่างเพียงพอ และสอดคล้อง

กับตารางเวลาการผลิต เพื่อรอการแปลงสภาพเป็น สินค้าสำเร็จรูป การตัดสินใจเกี่ยวกับวัสดุคงคลังหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตทั่วไปมักจะนิยมจัดซื้อครั้งละเป็นจำนวนมาก ๆ ทั้งนี้เพราะราคาขายต่อหน่วย จะลดลงตามปริมาณการสั่งซื้อที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งในอัตราที่ต่ำกว่าการสั่งซื้อครั้งละจำนวนน้อย หรือในอีกกรณีหนึ่งที่ต้องมีการวัสดุคงคลังไว้สูงกว่าปกติ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากสภาวะของความไม่แน่นอน เช่น ความต้องการซื้อสินค้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลกระทบต่อวัสดุคงคลังหรือระยะเวลาในการจัดส่งหลังการสั่งซื้อวัตถุดิบ

2. งานระหว่างกระบวนการผลิต (Work-in-process) เป็นชิ้นงานที่อยู่ในขั้นตอนการผลิตหรือรอคอยที่จะผลิตในขั้นตอนต่อไปโดยที่ยังผ่านกระบวนการผลิตไม่ครบทุกขั้นตอน

3. วัสดุซ่อมบำรุง (Maintenance) คือ ชิ้นส่วนหรืออะไหล่เครื่องจักรที่สำรองไว้เผื่อเปลี่ยน เมื่อชิ้นส่วนเดิมเสียหายหรือหมดอายุการใช้งาน

4. สินค้าสำเร็จรูป (Finished goods) คือ ปัจจัยการผลิตที่ผ่านทุกกระบวนการผลิตครบถ้วน พร้อมที่จะนำไปขายให้ลูกค้าได้

ประโยชน์ของวัสดุคงคลัง

1. การตอบสนองความต้องการของลูกค้า ที่ประมาณการไว้ในแต่ละช่วงเวลาทั้งในฤดูกาล และนอกฤดูกาล โดยธุรกิจต้องเก็บวัสดุคงคลังไว้ในคลังสินค้า

2. การรักษาการผลิตให้มีอัตราคงที่สม่ำเสมอ เพื่อรักษาระดับการว่าจ้างแรงงาน การเดินเครื่องจักร ฯลฯ ให้สม่ำเสมอได้โดยจะเก็บสินค้าที่จำหน่ายไม่หมดในช่วงที่จำหน่ายได้ไม่ดีไว้จำหน่ายตอนช่วงเวลาที่ลูกค้า หรือผู้บริโภคมีความต้องการ ซึ่งในช่วงเวลานั้นอาจจะผลิตไม่ทันการจำหน่าย

3. ทำให้ธุรกิจได้ส่วนลดปริมาณ (Quantity discount) จากการจัดซื้อสินค้าจำนวนมากต่อครั้ง เพื่อเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงราคา และผลกระทบจากเงินเฟ้อเมื่อสินค้าในท้องตลาดมีราคาเพิ่มสูงขึ้น

4. ป้องกันสินค้าขาดมือ ด้วยสินค้าเผื่อขาดมือ เมื่อเวลารอคอยล่าช้า หรือบังเอิญได้คำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหัน

5. ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการต่อเนื่องอย่างราบรื่น ไม่มีการหยุดชะงักอันเนื่องจากของขาดมือ จนทำให้เกิดความเสียหายแก่กระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้คนงานว่างงาน เครื่องจักรถูกปิด หรือผลิตไม่ทันคำสั่งซื้อของลูกค้า

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ (2552) กล่าวว่าการบริหารวัสดุคงคลัง หมายถึง การเก็บทรัพยากรไว้ใช้ในปัจจุบันหรือในอนาคต เพื่อให้การดำเนินการของกิจการเป็นไปอย่างราบรื่น

ผ่านการวางแผนโดยกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับการจัดการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับรายการสินค้าในคลัง ตั้งแต่รวบรวม จดบันทึกสินค้าเข้า-ออก การควบคุมให้มีสินค้าคงเหลือในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้สินค้าที่มีอยู่พอดีกับความต้องการของผู้บริโภค โดยการบริหารวัสดุคงคลังมีวัตถุประสงค์หลักที่ควรคำนึง 2 ประการคือ สามารถมีวัสดุคงคลังบริการลูกค้าในปริมาณที่เพียงพอและทันต่อความต้องการของลูกค้า เพื่อพยายามรักษาระดับการให้บริการที่ดีที่สุด และพยายามลดระดับการลงทุนในวัสดุคงคลังให้ต่ำที่สุด ถ้ากล่าวในทางปฏิบัติหมายถึง 1) จะสั่งซื้อครั้งละเท่าใด 2) จะสั่งซื้อเมื่อใด

ต้นทุนวัสดุคงคลัง (Inventory cost)

Jay Heizer & Barry Render (2011); เอกชัย ใจแจ่ม (2556) กล่าวถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดการวัสดุคงคลังโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ต้นทุนการสั่งซื้อ (Ordering cost) ต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ (Set up costs) ต้นทุนการเก็บรักษา (Holding cost) และต้นทุนที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า หรือต้นทุนที่เกิดจากการขาดแคลนสินค้า (Shortage cost) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ต้นทุนการสั่งซื้อ (Ordering costs)

ต้นทุนที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบ ชิ้นส่วนประกอบ หรือสินค้าสำเร็จรูปต่าง ๆ ต้นทุนประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดซื้อ และคำนวณออกมาในรูปของจำนวนเงินการสั่งซื้อต่อครั้ง (บาท/ จำนวนครั้งในการสั่งซื้อ) และต้นทุนนี้จะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ไม่ว่าจะมีการสั่งซื้อเป็นปริมาณเท่าใด ซึ่งจะแปรผันตามจำนวนครั้งของการสั่งซื้อ แต่ไม่แปรผันตามปริมาณวัสดุคงคลัง เพราะสั่งซื้อของมากเท่าใดก็ตามในแต่ละครั้ง ต้นทุนการสั่งซื้อก็ยังคงที่ อาทิเช่น ค่าจ้างพนักงานจัดซื้อ ค่าโทรศัพท์ ค่าขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการตรวจรับสินค้าและเอกสาร ค่าธรรมเนียม ค่าใช้จ่ายการติดต่อสั่งซื้อ เป็นต้น อย่างไรก็ตามต้นทุนการสั่งซื้อจะเริ่มต้นจากการนำคำขอไปยังฝ่ายจัดซื้อ ต่อจากนั้นก็เป็นการรับการจัดเรียงวัตถุดิบไปเก็บในคลังจนกระทั่งสิ้นสุดเมื่อชำระเงินให้กับผู้จำหน่าย (Vendor) รายละเอียดของงานอาจจะประกอบไปด้วยการจัดเตรียมและออกคำสั่งซื้อ การเก็บบันทึกหลักฐาน การขนส่งสินค้า การตรวจรับสินค้า การตรวจเอกสาร การชำระหนี้ ตามลำดับ จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าต้นทุนการสั่งซื้อประกอบไปด้วย

1.1 เงินเดือน ต้นทุนเกี่ยวข้องกับฝ่ายจัดซื้อ อาทิเช่น เงินเดือนผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ ผู้จัดซื้อ ผู้ติดตามงาน เสมียน รวมถึงพนักงานธุรการ

1.2 การสื่อสาร ที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อ อาทิเช่น ค่าโทรศัพท์ ค่าโทรสาร ค่าอินเตอร์เน็ต ค่าดวงตราไปรษณีย์ และค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันถึกเกี่ยวกับสินค้าที่สั่ง เป็นต้น

1.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำใบสั่งซื้อ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการวิเคราะห์ตรวจสอบบริษัทผู้จำหน่ายแต่ละราย วัสดุสิ้นเปลือง ค่าใช้จ่ายในการตรวจรับ

1.4 ต้นทุนคงที่ เช่น ค่าเสื่อมราคาอาคาร เครื่องจักร คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

1.5 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมประกอบการจัดซื้อ การรับสินค้า การตรวจรับสินค้า และการดำเนินการจ่ายเงิน

2. ต้นทุนการเก็บรักษา (Holding cost หรือ Carrying cost)

ต้นทุนของธุรกิจที่เกิดจากการถือครองวัสดุคงคลังและการเก็บรักษาให้วัสดุคงคลังนั้นอยู่ในรูปที่ใช้งานได้ ซึ่งจะแปรผันตามปริมาณวัสดุคงคลังที่ถือครองไว้และระยะเวลาที่เก็บวัสดุคงคลังนั้นไว้ ต้นทุนการเก็บรักษา ได้แก่ ค่าเช่าคลังสินค้า ต้นทุนเงินทุนที่จมอยู่กับวัสดุคงคลัง คือ ค่าดอกเบี้ยที่ต้องจ่าย ถ้าเงินทุนนั้นมาจากการกู้ยืมหรือค่าเสียโอกาส ถ้าเงินทุนนั้นเป็นส่วนของเจ้าของค่าคลังสินค้า อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวก ค่าไฟฟ้าในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเฉพาะ ค่าใช้จ่ายของสินค้าที่ชำรุดเสียหายหรือหมดอายุ เสื่อมสภาพจากการเก็บไว้นานเกินไป ค่าภาษี และการประกันภัย ค่าจ้างยาม และเงินเดือนพนักงานประจำคลังสินค้า โดยแนวคิดการจัดการวัสดุคงคลัง พยายามทำให้ระดับวัสดุคงคลังต่ำ เนื่องจากทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากวัสดุคงคลัง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ต้นทุนสินค้าล้าสมัย (Cost of obsolescence) หมายความว่า เมื่อสินค้าไม่มีประโยชน์อะไรต่อกิจการอีกต่อไปแล้ว แม้จะจะอยู่ในสภาพใช้งานได้ก็ตาม ค่าใช้จ่ายแบบนี้เกิดขึ้นมากในกรณี สินค้าแฟชั่นและสินค้าเทคโนโลยีสูง ๆ

2.2 ค่าใช้จ่ายเมื่อของเกิดเน่าเสีย สินค้าที่เก็บไว้เป็นวัสดุคงคลังอาจเน่าเสียหรือเสื่อมสภาพ อาทิเช่น สินค้าประเภทอาหารสดที่เน่าเสียง่าย หรือสินค้าที่เกิดการเปียกชื้น

2.3 ต้นทุนค่าประกันภัย (Cost of insurance) หมายถึง ค่าเบี้ยประกันที่บริษัทจะต้องจ่ายให้กับบริษัทประกันเพื่อคุ้มครองสินค้าที่เก็บรักษาไว้

2.4 ต้นทุนการเก็บรักษา (Storage cost) อาทิเช่น ค่าเช่า ค่าสถานที่ ค่าไฟ ค่าน้ำ ค่าจ้างพนักงานควบคุมดูแล ค่าตรวจนับ ค่าจัดทำข้อมูล ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าไม่มีวัสดุคงคลัง

2.5 ดอกเบี้ยและค่าเสียโอกาส การลงทุนในวัสดุคงคลังทำให้เงินทุนจมอยู่ในสินค้าที่ซื้อเข้ามา ไม่สามารถนำไปลงทุนที่อื่นได้อีก ซึ่งเงินทุนดังกล่าวอาจเป็นเงินยืมที่จะต้องจ่ายดอกเบี้ยให้แก่ธนาคาร ค่าใช้จ่ายเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็นค่าเสียโอกาสหรือดอกเบี้ยจะต้องนำไปคำนวณเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการเก็บรักษาอย่างแน่นอน

2.6 สินค้าสูญหายหรือถูกขโมย ซึ่งมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประเภทกิจการ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคลังสินค้าอาจจะอยู่ในระดับคงที่ในระยะหนึ่ง เมื่อคลังสินค้าเต็มบริษัทต้องสร้างเพิ่มหรือเช่าเพิ่มด้วย

ค่าใช้จ่ายดังกล่าวที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้เป็นค่าใช้จ่ายที่ยากในการหาตัวเลขที่แม่นยำ เนื่องจากไม่มีหลักฐานเป็นตัวเลขที่แน่นอนตายตัว ส่วนใหญ่จะใช้ตัวเลขที่เป็นค่าโดยประมาณ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจจะระบุไว้ในรายปีและแสดงเป็นเปอร์เซ็นสินค้า

3. ต้นทุนการขาดแคลนสินค้า (Shortage costs หรือ Stock out cost)

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการมีวัสดุคงคลังไม่เพียงพอต่อการผลิตหรือการขาย ทำให้ลูกค้ายกเลิกคำสั่งซื้อ ขาดรายได้ที่ควรได้ กิจการเสียชื่อเสียง กระบวนการผลิตหยุดชะงักเกิดการว่างงานของเครื่องจักรและคนงาน ฯลฯ ค่าใช้จ่ายนี้จะแปรผกผันกับปริมาณวัสดุคงคลังที่ถือไว้ นั่นคือถ้าถือสินค้าไว้มากจะไม่เกิดการขาดแคลน แต่ถ้าถือวัสดุคงคลังไว้น้อยก็อาจเกิดโอกาสที่จะเกิดการขาดแคลนได้มากกว่า และมีค่าใช้จ่ายเนื่องจากสินค้าขาดแคลนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการขาดแคลนรวมทั้งระยะเวลาที่เกิดการขาดแคลนขึ้นด้วย ค่าใช้จ่ายเนื่องจากสินค้าขาดแคลนได้แก่ คำสั่งซื้อของล็อตพิเศษเพื่อนำมาใช้แบบฉุกเฉิน ค่าเสียโอกาสทางการขาย ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการส่งสินค้าให้ลูกค้าล่าช้าหรือค่าปรับและอื่น ๆ

4. ต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ (Setup costs)

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการที่เครื่องจักรจะต้องเปลี่ยนการทำงานหนึ่ง ไปทำงานอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งจะเกิดการว่างงานชั่วคราว วัสดุคงคลังจะถูกทิ้งให้รอกระบวนการผลิตที่จะติดตั้งใหม่ โดยต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักรใหม่นี้จะมีลักษณะคล้ายกับต้นทุนการสั่งซื้อที่ต้องจ่ายไปเมื่อมีการสั่งให้มีการผลิตใหม่ เป็นต้นทุนคงที่ต่อครั้ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของล็อตการผลิต ถ้าผลิตเป็นล็อตใหญ่มีการติดตั้งเครื่องใหม่นาน ๆ ครั้ง หากมีการติดตั้งเครื่องใหม่บ่อยครั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องใหม่ก็จะสูง แต่วัสดุคงคลังจะมีระดับต่ำลง และส่งมอบงานให้แก่ลูกค้าได้เร็วขึ้น

ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับวัสดุคงคลังต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้น สามารถอธิบายได้ว่า ต้นทุนการเก็บรักษาจะสูงขึ้นหากมีระดับวัสดุคงคลังที่สูง ในทำนองเดียวกันจะต่ำลงหากมีระดับวัสดุคงคลังที่ต่ำลง แต่ในลักษณะตรงกันข้ามสำหรับต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการขาดแคลนสินค้า และต้นทุนในการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ ค่าใช้จ่ายสูงขึ้นถ้ามีระดับวัสดุคงคลังที่ต่ำ และค่าใช้จ่ายต่ำลงหากมีระดับวัสดุคงคลังที่สูง ดังนั้นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับวัสดุคงคลังจะมีค่าที่ต่ำสุด ณ ระดับที่ค่าใช้จ่ายทุกตัวรวมกันแล้วต่ำสุด ฉะนั้นในการตัดสินใจถึงปริมาณของการสั่งซื้อแต่ละครั้ง ต้องคำนึงถึงต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด

อุปสงค์หรือความต้องการของวัสดุคงคลัง (Demand of inventory)

บรรหาญ ลิลา (2553) กล่าวว่า จุดเริ่มต้นของการจัดการวัสดุคงคลังยังคงเป็นปัจจัยเดียวกับการจัดการด้านอื่น ๆ คือ ความต้องการของลูกค้า เพราะการจัดเก็บรักษาสินค้าสำรองก็เพื่อต้องการทำให้มั่นใจได้ว่าความต้องการของลูกค้าจะได้รับการตอบสนองในเวลาที่เหมาะสม โดยความต้องการของวัสดุคงคลัง มี 2 ลักษณะ คือ

1. ความต้องการไม่อิสระ (Independent demand) หมายถึง อุปสงค์หรือความต้องการที่ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้องการของรายการสินค้าอื่น ๆ ในองค์กร เช่น ความต้องการของสินค้าสำเร็จรูปที่มีความต้องการมาจากความต้องการของลูกค้า ความต้องการของชิ้นส่วนในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่เกิดการชำรุด

2. ความต้องการอิสระ (Dependent demand) หมายถึง อุปสงค์หรือความต้องการที่มีความสัมพันธ์กับรายการสินค้าอื่น ๆ หรือมีความต้องการมาจากโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ตามลำดับ เช่น ความต้องการชิ้นส่วนในการประกอบตามใบแสดงรายการพัสดุ (Bill of material: BOM) ความต้องการสารเคมีที่ต้องผลิตได้ในหนึ่งเดือน

ระดับการบริการลูกค้า (Service level)

ระดับการบริการลูกค้า (Service level) หมายถึง ความน่าจะเป็นของระดับการให้บริการวัสดุคงคลังกับลูกค้าเป็นวิธีการวัดปริมาณวัสดุคงคลังปลอดภัยไม่เกิดการขาดสต๊อก เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดคุณภาพบริการ การกำหนดระดับการบริการนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายป้องกันสินค้าขาดแคลนหรือต้นทุนการจัดเก็บสินค้าในแต่ละบริษัท ดังนั้นร้อยละจำนวนสินค้าที่ขาดแคลนจะเท่ากับ 100–ระดับการบริการลูกค้า สำหรับจำนวนของวัสดุคงคลังที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัย ได้แก่ 1) อัตราความต้องการโดยเฉลี่ย 2) ช่วงเวลานำโดยเฉลี่ย 3) ความแปรปรวนของความต้องการและช่วงเวลานำ 4) ระดับบริการที่ต้องการ

เมื่อพิจารณาปัจจัยความแปรปรวนของความต้องการและช่วงเวลานำ เราสามารถแยกเป็นกรณีที่เป็น ไปได้ 3 กรณี คือ 1) กรณีช่วงเวลานำคงที่ ความต้องการมีความแปรปรวน 2) กรณีความต้องการคงที่ ช่วงเวลานำมีความแปรปรวน 3) กรณีทั้งความต้องการและช่วงเวลานำมีความแปรปรวน ในที่นี้จะระบุรายละเอียดเฉพาะกรณีที่ช่วงเวลานำคงที่ อัตราการใช้สินค้ามีความแปรปรวน

ตัวอย่างเช่น การกำหนดระดับการให้บริการไว้ที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่า บริษัทสามารถตอบสนองความต้องการได้ร้อยละ 95 และมีเพียงร้อยละ 5 ที่บริษัทไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ถือเป็นการบ่งบอกประสิทธิภาพการให้บริการ รวมไปถึงรองรับ

ความเสี่ยงในการผลิตและบริการ

ระบบการควบคุมและตรวจนับวัสดุคงคลัง

ระบบวัสดุคงคลังแบบต่อเนื่อง (Continuous inventory system)

ระบบวัสดุคงคลังที่มีบันทึกบัญชีทุกครั้งที่มีการรับและจ่ายสินค้า บัญชีวัสดุคงคลังจะแสดงยอดคงเหลือที่แท้จริงทุกครั้งที่เกิดรายการรับและจ่ายสินค้า ซึ่งเหมาะสำหรับสินค้ารายการที่มีความสำคัญต่อการผลิตที่ไม่สามารถปล่อยให้มีการขาดมือได้ ดังนั้นการนำระบบสารสนเทศต่างๆเข้ามาช่วยในการปฏิบัติงาน เช่น การใช้รหัสแท่งหรือบาร์โค๊ต จะช่วยให้การปฏิบัติมีความถูกต้อง และรวดเร็วยิ่งขึ้น

ข้อดีของระบบวัสดุคงเหลือแบบต่อเนื่อง

มีสินค้าขาดมือน้อย โดยจะเผื่อสินค้าไว้เฉพาะช่วงเวลารอคอยเท่านั้น เนื่องจากสามารถสั่งเพิ่มได้บ่อยครั้ง ในขณะที่การตรวจนับสินค้าเมื่อสิ้นงวดต้องมีสินค้าเผื่อไว้ ทั้งช่วงเวลารอคอยและเวลาระหว่างการสั่งซื้อเนื่องจากจะไม่สามารถสั่งซื้อได้ถ้ายังไม่ถึงช่วงเวลาที่กำหนดไว้

ระบบวัสดุคงคลังเมื่อสิ้นงวด (Periodic inventory system)

ระบบวัสดุคงคลังที่มีการบันทึกบัญชีการรับและจ่ายวัสดุเป็นช่วงเวลา เช่น ทำการตรวจนับและบันทึกบัญชีทุก 20 วัน หรือทุกสิ้นเดือน เป็นต้น ระบบนี้จะเหมาะกับสินค้าที่มีการสั่งซื้อและเบิกใช้เป็นช่วงเวลาที่

ข้อดีของระบบวัสดุคงเหลือเมื่อสิ้นงวด

1. ใช้เวลาในการสั่งซื้อน้อยกว่าและเสียค่าใช้จ่ายในการควบคุมต่ำกว่าระบบต่อเนื่อง
2. ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บข้อมูลวัสดุคงคลังน้อยกว่าระบบต่อเนื่อง

ระบบการจำแนกวัสดุคงคลังเป็นแบบหมวดเอบีซี (ABC)

ระบบนี้เป็นวิธีการจำแนกสินค้าโดยแบ่งประเภทของสินค้าตามปริมาณ และมูลค่าของสินค้า เพื่อลดภาระในการดูแล เวลาในการตรวจนับ และควบคุมสินค้าที่มี อยู่จำนวนมาก

นโยบายวัสดุคงคลัง (Inventory policies)

นโยบายวัสดุคงคลัง หมายถึง การกำหนดว่าจะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าเมื่อใด และจะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าปริมาณเท่าใด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมของวัสดุคงคลังทั้งหมดเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด ดังนั้นควรเลือกใช้นโยบายที่ให้ผลสอดคล้องกับพฤติกรรมการสั่งซื้อมากที่สุด ทินวัฒน์ ขาวเหลือง (2554) ได้เขียนกำหนดสัญลักษณ์ดังนี้ โดยแทนด้วย (*, **)

โดยที่

* แทน จะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าเมื่อใด (When) ใช้ตัวแปร

** แทน จะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตเท่าใด (How many) ใช้ตัวแปร

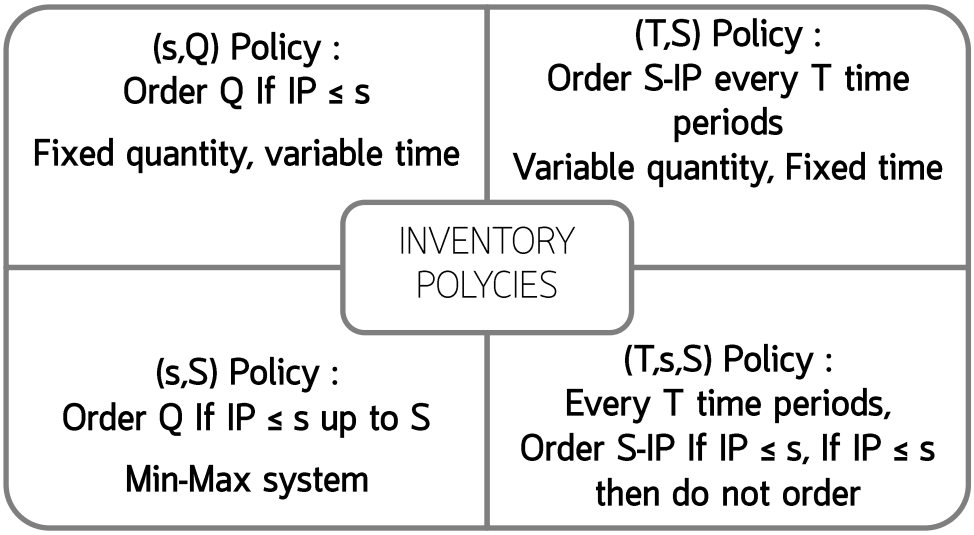
T แทน ช่วงเวลาระหว่างการสั่งซื้อ โดยทุกครั้งเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดจะต้องสั่ง

s แทน ระดับวัสดุคงคลังที่จะต้องสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้า

S แทน ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด หรือ ระดับวัสดุคงคลังที่กำหนดไว้

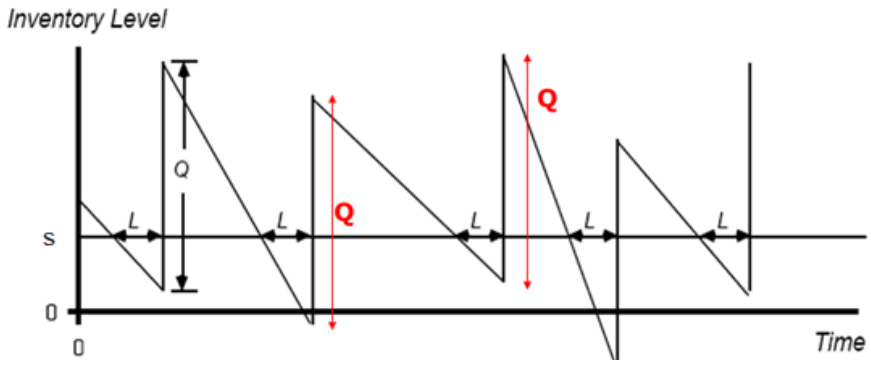
Q แทน จำนวนสินค้าที่จะต้องสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้า

(David & Whybark, 1980) ได้จำแนกนโยบายพื้นฐานไว้หลัก ๆ 4 ประเภท แสดงดังภาพที่ 2-1



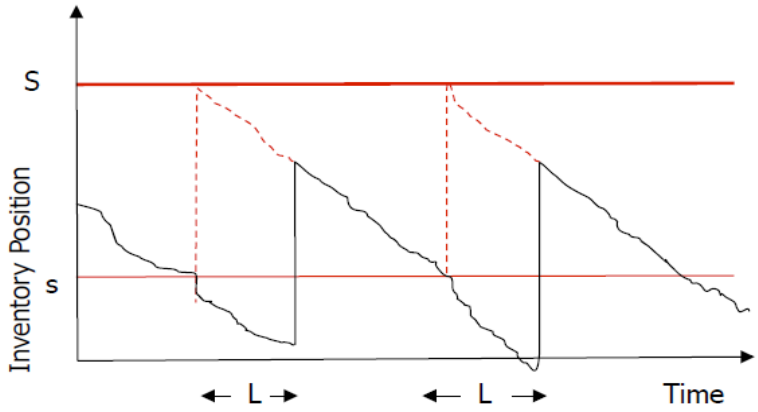
ภาพที่ 2-1 นโยบายพื้นฐานการจัดการวัสดุคงคลัง

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,Q) คือ การตรวจสอบปริมาณวัสดุคงคลัง ที่มีอย่างต่อเนื่อง และสั่งซื้อสินค้าเมื่อระดับวัสดุคงคลังมีค่าเท่ากับจุดสั่งซื้อ (s) โดยมีปริมาณการสั่งซื้อคงที่ หรือ Fixed Order Quantity (Q) วิธีนี้จะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อเท่ากันทุกครั้ง แต่รอบการสั่งซื้อมีค่าไม่คงที่ แสดงดังภาพที่ 2-2 (Huang, Liao & J. Robb, 2016)



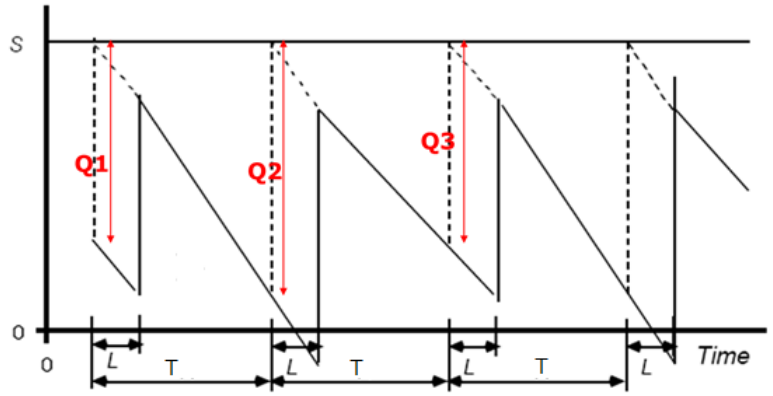
ภาพที่ 2-2 การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (s,Q)

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,S) หมายถึง จะมีการจัดหาสินค้าเมื่อระดับวัสดุคงคลังลดลงมาถึง s หน่วยหรือต่ำกว่า โดยกำหนดปริมาณการสั่งซื้อ (Q) ขึ้นอยู่กับระดับวัสดุคงคลังที่กำหนดคือ $S = s + Q$ เป็นระบบที่บอกถึงจุดสูงสุด-ต่ำสุดของวัสดุคงคลัง ดังภาพที่ 2-3



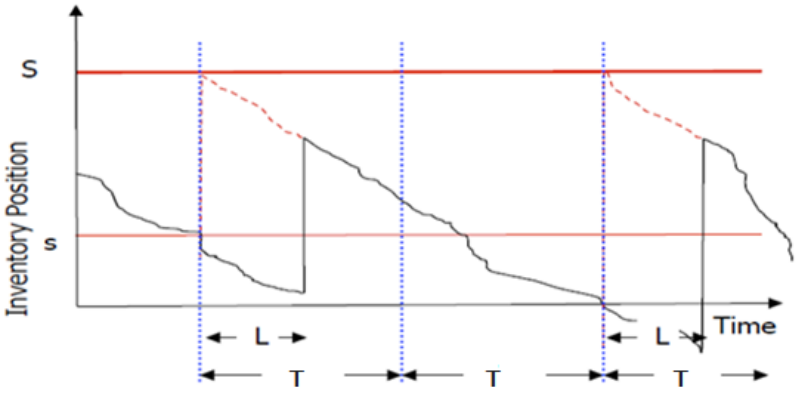
ภาพที่ 2-3 การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (s,S)

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,S) คือ การตรวจสอบวัสดุคงคลังแบบเป็นระยะมีช่วงระยะเวลาแน่นอน (Fixed time period) สินค้าจะถูกสั่งซื้อทุกครั้งเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (T) โดยสั่งซื้อให้มีระดับวัสดุคงคลังเท่ากับระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (S) ที่บริษัทกำหนด ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน แต่รอบการสั่งซื้อสินค้ามีค่าคงที่ (ไกรวิทย์ สินธุคำมูล, 2560) ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายวัสดุคงคลัง (T,S)

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,s,S) คือ การตรวจสอบวัสดุคงคลังแบบผสมระหว่างนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,S) และ (s,S) โดยนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบนี้จะเป็นการตรวจสอบวัสดุคงคลังแบบเป็นระยะ มีช่วงระยะเวลาแน่นอน เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (T) จะทำการตรวจสอบระดับวัสดุคงคลัง ถ้าระดับคงคลังมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่าจุดสั่งซื้อ (s) จะทำการสั่งซื้อให้มีระดับวัสดุคงคลังเท่ากับระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (S) ที่บริษัทกำหนด แต่ถ้าระดับคงคลังมีค่าสูงกว่าจุดสั่งซื้อ (s) จะยังไม่ทำการสั่งซื้อ และรอจนถึงการตรวจสอบวัสดุคงคลังครั้งถัดไป (Ghorbel, 2014)



ภาพที่ 2-5 การเคลื่อนไหวของระดับวัสดุคงคลัง ภายใต้นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,s,S)

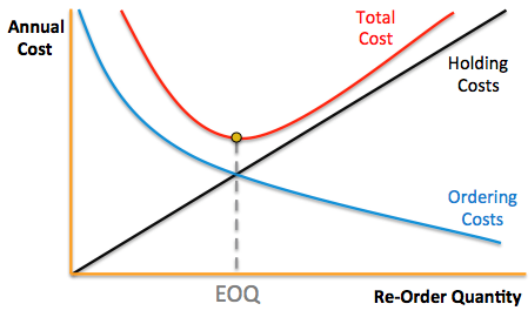
นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T, S) เป็นนโยบายที่บริหารงานง่าย เนื่องจากทั้งเวลาและจำนวนสินค้าที่จะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอน ทำให้สามารถวางแผนการดำเนินงานและงบประมาณได้อย่างชัดเจน

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s, Q) และ (s, S), (T,s,S) เป็นนโยบายที่บริหารงานยากขึ้น เพราะต้องทำการตรวจนับวัสดุคงคลังตลอดเวลา หากวัสดุคงคลังลดลงมาถึงระดับ s หน่วยจะต้องสั่งซื้อสินค้าทันที ดังนั้นการเลือกใช้นโยบายวัสดุคงคลังจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบงานนั้น ๆ ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

ปริมาณการสั่งซื้อแบบประหยัด (Economic order quantity)

ณัฐวุฒิ แจ่มจำรัส (2559) ได้กล่าวนำคำอธิบายของ (เอกชัย ใจแจ่ม, 2556) ว่าปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic order quantity; EOQ) คือ ปริมาณการสั่งซื้อ ที่ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างต้นทุนการสั่งซื้อ และต้นทุนการจัดเก็บคงคลัง ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้ ต้นทุนรวมต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามปริมาณการสั่งซื้อที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ต้นทุนการเก็บรักษาเปลี่ยนไป ดังนั้นวิธีการที่จะคำนวณให้ได้ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดจึงต้องพิจารณาจากต้นทุนการเก็บรักษา (Holding cost or carrying cost) และ ต้นทุนการสั่งซื้อ (Ordering cost)

กรณีที่สั่งซื้อครั้งละน้อย ๆ ต้นทุนการสั่งซื้อจะมาก เพราะต้องสั่งซื้อหลายครั้ง แต่ถ้าสั่งซื้อครั้งละมาก ๆ จะต้องมีสินค้าเก็บไว้ในโกดังหรือคลังสินค้าจำนวนมาก ต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย ในการเก็บรักษาก็จะมาก ดังนั้นหากนำมาวาดเป็นกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการสั่งซื้อ กับต้นทุนการเก็บรักษาจะได้ความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนรวม ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการจัดเก็บคงคลัง และปริมาณการสั่งซื้อ

โดยมีสมมติฐานที่กำหนดเป็นขอบเขตไว้ว่า

1. ทราบปริมาณความต้องการต่อปีและมีอัตราที่คงที่
2. สินค้าที่สั่งได้รับเต็มจำนวนในแต่ละครั้ง หรือได้รับสินค้าที่สั่งซื้อพร้อมกันทั้งหมด
3. ระยะเวลาการรอคอยไม่เปลี่ยนแปลง
4. ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าและต้นทุนการสั่งซื้อคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาที่กำหนด
5. ราคาสินค้าที่สั่งซื้อคงที่ ไม่มีส่วนลดในการซื้อ
6. ไม่มีสภาวะของขาดมือเลย

การหาขนาดการสั่งซื้อประหยัด (EOQ) และต้นทุนรวม (TC) สามารถหาได้จาก

$$EOQ = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_c}} \tag{2-1}$$

$$TC_{min} = \left[\frac{C_oD}{Q}\right] + \left[\frac{QC_c}{2}\right] + PD \tag{2-2}$$

กรณีไม่มีสภาวะของขาดมือ

$$TC_{min} = \left[\frac{C_oD}{Q}\right] + \left[\frac{QC_c}{2}\right] \tag{2-3}$$

โดยที่

EOQ หรือ (Q*) คือ ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (หน่วย)

D คือ อุปสงค์หรือความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วย)

C_o คือ ต้นทุนการสั่งซื้อ หรือต้นทุนการติดตั้งเครื่องจักรใหม่ต่อครั้ง (บาท)

C_c คือ ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)

Q คือ ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (หน่วย)

TC คือ ต้นทุนวัสดุคงคลังโดยรวม (บาท)

P คือ มูลค่าสินค้า

ต้นทุนการสั่งซื้อต่อปี (Total ordering cost/year)

$$\text{ต้นทุนการสั่งซื้อต่อปี} = \frac{\text{ปริมาณความต้องการต่อปี}}{\text{จำนวนหน่วยที่สั่งซื้อต่อครั้ง}} \times \text{ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง}$$

$$= \left[\frac{D}{Q}\right] C_o \qquad (2\text{-}4)$$

ต้นทุนการเก็บรักษาต่อปี (Total holding cost/year)

$$\text{ต้นทุนการเก็บรักษาต่อปี} = \frac{\text{จำนวนหน่วยที่สั่งซื้อต่อครั้ง}}{2} \times \text{ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วย}$$

$$= \left[\frac{Q}{2}\right] C_c \qquad (2\text{-}5)$$

จำนวนครั้งของการสั่งซื้อต่อปี/จำนวนรอบการสั่งซื้อ (N)

$$\text{จำนวนครั้งของการสั่งซื้อต่อปี} = \frac{\text{ปริมาณความต้องการต่อปี}}{\text{ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม}}$$

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{D}}{Q^*} \qquad (2\text{-}6)$$

ระยะเวลาการสั่งซื้อต่อครั้ง/รอบการสั่งซื้อ (T)

$$\text{ระยะเวลาการสั่งซื้อต่อครั้ง} = \frac{\text{จำนวนวันทำงานต่อปี}}{\text{จำนวนครั้งของการสั่งซื้อต่อปี}}$$

$$\mathrm{T} = \frac{Q^*}{D} \qquad (2\text{-}7)$$

ถ้าต้องการต้นทุนรวมที่ต่ำสุด จำนวนสั่งซื้อต่อปี หรือช่วงเวลาการสั่งซื้อที่จะสามารถประหยัดได้มากที่สุด ให้แทน Q ด้วย EOQ หรือ Q* ที่คำนวณได้

1. กรณีมีสินค้าขาดมือบ้าง

เนื่องจากการที่ของขาดมือก่อให้เกิดความประหยัดบางประการ อันจะทำให้ต้นทุนการสั่งซื้อหรือต้นทุนการติดตั้งเครื่องใหม่ลดต่ำลง เพราะผลิตหรือสั่งซื้อของล็อตใหญ่ขึ้น สินค้านั้นมีต้นทุนการเก็บรักษาสูงมากจึงไม่มีการเก็บของไว้เลย เช่น ในร้านตัวแทนจำหน่ายรถยนต์มักจะเกิดสภาวการณ์นี้ เพราะรถยนต์แต่ละคันมีราคาแพง จึงมีการจอดแสดงอยู่เพียงคันละรุ่น เมื่อลูกค้าตกลงใจเลือกซื้อรถแบบที่ต้องการแล้ว ก็จะเลือกสีรถจากตัวอย่างสีในใบรายการ ตัวแทนจำหน่ายจะรับคำสั่งซื้อนี้ไปสั่งรถจากบริษัทผลิตและติดตั้งอุปกรณ์แต่งรถตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะใช้เวลารอคอยสักระยะหนึ่ง โดยที่ต้องระวังมิให้นานเกินไป ข้อสมมติฐานมีดังต่อไปนี้

1. เมื่อของล็อตใหม่ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ Q มาถึง จะต้องรีบส่งตามจำนวนที่ขาดมือ (S) ที่ค้างไว้ก่อนทันที ส่วนของที่เหลือซึ่งเท่ากับ (Q-S) จะเก็บเข้าคลังสินค้า
2. ระดับวัสดุคงคลังต่ำสุดเท่ากับ –S ระดับวัสดุคงคลังสูงสุดเท่ากับQ-S
3. ระยะเวลาของวัสดุคงคลัง (T)

ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด ระดับสินค้าขาดมือที่ประหยัด และต้นทุนรวมจะหาได้จาก

$$Q^* = \sqrt{\frac{2C_0 D}{C_c}} \sqrt{\frac{C_c + C_s}{C_s}} \tag{2-8}$$

$$S^* = Q^* \left[\frac{C_c}{C_s + C_c} \right] \tag{2-9}$$

$$TC = \frac{DC_o}{Q^*} + \frac{(Q^* - S^*)C_c}{2Q^*} + \frac{S^{*2}C_s}{2Q^*} \tag{2-10}$$

โดยที่

Q* คือ ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด

S* คือ ระดับสินค้าขาดมือที่ประหยัด

Cs คือ ต้นทุนสินค้าขาดมือต่อหน่วยต่อปี

Cc คือ ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)

2. กรณีสินค้าทยอยเข้าคลัง (Economic production quantity: EPQ)

วัสดุคงคลังไม่ได้ถูกส่งมาพร้อมกันในคราวเดียวแต่ทยอยส่งมาและในขณะนั้นมีการใช้สินค้าไปด้วย โดยที่อัตราการรับ (p) ต้องมากกว่าอัตราการใช้ (d) ทั้งสองอัตรามีค่าเฉลี่ยคงที่และไม่มีของขาดมือ วัสดุคงคลังจะสะสมส่วนที่เหลือจากการใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดสูงสุด

การหาขนาดสั่งซื้อที่ประหยัดและต้นทุนรวมทำได้จาก

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2C_0 D}{C_c\left(1-d/p\right)}} \tag{2-11}$$

$$\mathrm{TC} = \frac{DC_o}{Q} + \frac{C_c Q}{2}\left(1-\frac{d}{p}\right)C \tag{2-12}$$

โดยที่

p คือ อัตราการรับสินค้า

d คือ อัตราการใช้สินค้า

3. กรณีส่วนลดปริมาณ (Quantity discount)

เมื่อซื้อของจำนวนมากฝ่ายจัดซื้อมักจะต่อรองให้ราคาสินค้าต่อหน่วยลดลงซึ่งมีสมมติฐานว่า ยิ่งจำนวนที่ซื้อมากเท่าไร ราคาต่อหน่วยของสินค้ายิ่งลดลงเท่านั้น นอกจากนั้นปริมาณสั่งซื้อที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ต้นทุนการเก็บรักษาเปลี่ยน ดังนั้น วิธีการที่จะคำนวณให้ได้ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดจึงต้องพิจารณาต้นทุนของสินค้าที่ราคาต่างกันด้วย ขั้นตอนของการคิดมีดังต่อไปนี้

3.1 คำนวณหาขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดแล้วหาต้นทุนวัสดุคงคลังรวมที่ EOQ

$$\mathrm{TC} = \left[\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{Q}}\right]\mathrm{C_o} + \left[\frac{\mathrm{Q}}{2}\right]\mathrm{C}_{c_i} + DP_i \tag{2-13}$$

เมื่อ

P คือ ราคาของสินค้าแต่ละระดับปริมาณการซื้อ

Cc คือ ต้นทุนการเก็บรักษาแต่ละระดับปริมาณการซื้อ

ถ้าขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่คำนวณได้อยู่ในช่วงปริมาณที่สั่งซื้อได้ในระดับราคาต่ำสุด ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่คำนวณได้คือ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด

3.2 ถ้าขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่คำนวณได้ ไม่อยู่ในช่วงปริมาณที่สามารถสั่งซื้อได้ในระดับราคาต่ำสุด ให้คำนวณต้นทุนรวมของการเก็บวัสดุคงคลังที่ปริมาณการสั่งซื้อต่ำสุดของระดับราคาสินค้าที่ต่ำกว่าระดับราคาของขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่คำนวณได้แล้วเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมที่ขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัด เพื่อหาต้นทุนต่ำสุดแล้วกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด

ปริมาณวัสดุคงคลังสำรอง (Safety stock: SS)

ปริมาณวัสดุคงคลังสำรองหรือบางครั้งมักถูกเรียกว่า ระดับประกันความปลอดภัย เป็นการสต็อคสำรองไว้ เมื่อมีการใช้สินค้าและปริมาณลดลงจนถึงจุดสั่งซื้อ (Reorder point) หรืออุปสงค์สูงกว่าระดับวัสดุคงคลังสำรองที่เก็บไว้ จุดสั่งซื้อจะใช้เตือนสำหรับการสั่งซื้อรอบถัดไป ทั้งนี้จำเป็นต้องกำหนดปริมาณระดับวัสดุคงคลังสำรองเพื่อป้องกันการขาดแคลน โดยปกติยิ่งมีวัสดุคงคลังสำรองเผื่อไว้มากเท่าไร ยิ่งทำให้ความเสี่ยงในการที่สินค้าจะหมดจากคลังน้อยลง ในทางกลับกันมักทำให้ต้นทุนวัสดุคงคลังสำรองก็จะยิ่งสูงขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามวิธีการกำหนดปริมาณระดับวัสดุคงคลังสำรองควรมีเผื่อไว้ในระดับที่เหมาะสมที่สุดคือกรณีที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณวัสดุคงคลังสำรองดังนี้

1. กรณีปริมาณการสั่งซื้อคงที่ แต่ช่วงเวลาการสั่งสินค้าเปลี่ยนแปลงมีลักษณะการจัดการวัสดุคงคลังแบบต่อเนื่อง (Continuous system) ได้แก่ นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,Q) และ (s,S) สามารถคำนวณหาปริมาณวัสดุคงคลังสำรองได้ดังสมการที่ (2-14) (David & Whybark, 1980)

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{L} \qquad (2\text{-}14)$$

โดยที่

SS คือ Safety stock

Z คือ จำนวนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จากความต้องการสินค้า ณ ระดับระดับการให้บริการต่าง ๆ

L คือ ช่วงเวลาการสั่งสินค้า หรือ ช่วงเวลานำ (Lead time)

σ_d คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการสินค้า

2. ลักษณะการจัดการวัสดุคงคลังแบบตามรอบเวลา (Periodic review system) ได้แก่ นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,S) และ (T,s,S) ดังสมการที่ (2-15)

$$SS = Zd\,\sigma_L \tag{2-15}$$

โดยที่

σ_L คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการในช่วงเวลานำ

d คือ ค่าเฉลี่ยความต้องการต่อช่วงเวลา

กรณีกำหนดรอบเวลาการสั่งซื้อคงที่ (Fixed time period) จะได้ว่า σ_{T+L} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการในช่วงเวลานำและรอบการสั่งซื้อ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-16) ดังนี้

$$\sigma_{T+L} = \sigma\sqrt{T+L}$$

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{T+L} \tag{2-16}$$

โดยที่ T คือ รอบการสั่งซื้อ (เป็นสัดส่วนเวลาต่อปี)

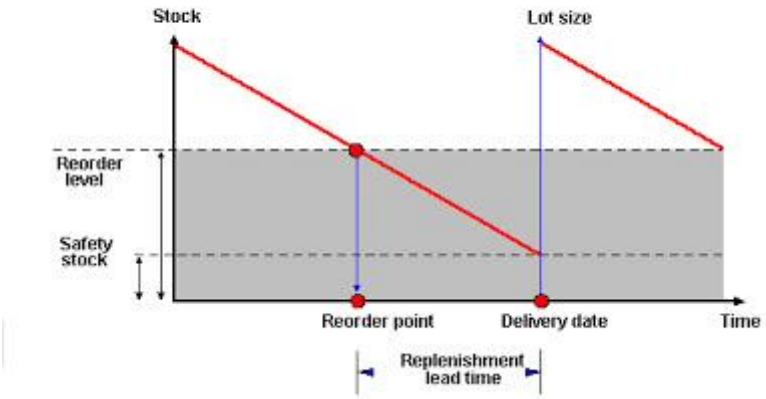
อย่างไรก็ตาม Safety stock จะมีค่าต่างกันไปตามระดับของการให้บริการ (Service level) ซึ่งระดับของการให้บริการก็ขึ้นอยู่กับนโยบายขององค์กร กล่าวคือ หากมีนโยบายให้ระดับการบริการสูงมาก Safety factor ก็จะสูงตามไปด้วย

ระบบสำรองระดับวัสดุคงคลังสูงสุด-ต่ำสุด

นิตยา เซ่งถาวร (2549) การกำหนดระดับสำรองคลังสูงสุด-ต่ำสุด หรือเรียกว่า Max-Min เป็นการกำหนดจากข้อปฏิบัติพื้นฐานด้านวิศวกรรม หรือจากผู้ชำนาญการ ซึ่งได้มาจากกาคาดคะเน หรือจากการจับค่าทางสถิติ อาจมีความผิดพลาดได้สูง นอกจากนี้วิธีการดังกล่าว ไม่สามารถตอบสนองความต้องการทุกรูปแบบได้ โดยเฉพาะสินค้าที่มีความต้องการจำนวนมาก มีมูลค่าสูง และมีการหมุนเวียนบ่อย ๆ แต่มีระยะเวลาในการจัดหานานจำเป็นนต้องมีจำนวนคลังสำรองรองรับความเสี่ยงทั้งหลายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างจัดซื้อจัดหา

จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point)

สุชาติ ศุภมงคล (2547) กล่าวว่า จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point) คือ จำนวนคงเหลือต่ำลงจนถึงจุดหนึ่งที่ต้องสั่งซื้อใหม่ซึ่งต้องใช้วิธีการคำนวณ เมื่อมีการใช้วัตถุดิบไปจนถึงจุด ROP จำเป็นต้องสั่งซื้อวัตถุดิบเข้ามาสำรองในคลังเพิ่ม ซึ่งจะต้องคำนึงถึงระยะเวลา ในการสั่งซื้อ (Lead time) และถ้าเกิดเหตุจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบหมดไปก่อนที่จะได้รับวัตถุดิบใหม่เข้ามา หรือกรณีที่ได้รับวัตถุดิบช้ากว่าปกติ ก็จะทำให้เกิดวัตถุดิบขาดมือ (Shortage) ซึ่งจะมีผลเสียหายตามมา จึงจำเป็นต้องมีสต๊อกเพื่อความปลอดภัย (Safety stock) เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณหาจุดสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสมแสดงที่มาของสูตรดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ที่มาของสูตร ROP (Mahmood Said Al Amri, 2015)

จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point; ROP) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$ROP = \left(d \ x \ L\right) + SS \qquad (2\text{-}17)$$

โดยที่

d คือ ความต้องการใช้วัสดุต่อปี/จำนวนวัน ทำงานต่อปี

L คือ ช่วงเวลาการสั่งสินค้า หรือ ช่วงเวลานำ

SS คือ วัสดุคงคลังสำรอง (Safety stock)

ณัฐวุฒิ แจ่มจำรัส (2559) กล่าวว่า ในการจัดซื้อวัสดุคงคลัง เวลาก็เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งตัวหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าระบบการควบคุมวัสดุคงคลังของกิจการเป็นแบบต่อเนื่อง จะสามารถกำหนดที่จะสั่งซื้อใหม่ได้เมื่อพบว่าวัสดุคงคลังลดเหลือระดับหนึ่งก็จะสั่งซื้อของมาใหม่ในปริมาณคงที่เท่ากับปริมาณการสั่งซื้อที่กำหนดไว้ ซึ่งเรียกว่า Fixed order quantity system จุดสั่งซื้อใหม่นั้นมีความสัมพันธ์แปรตามตัวแปร 2 ตัว คือ 1) อัตราความต้องการใช้วัสดุคงคลัง 2) ช่วงเวลาการสั่งสินค้า (Lead time) ภายใต้สภาวการณ์ 4 แบบ ได้แก่

1. จุดสั่งซื้อใหม่ในอัตราความต้องการวัสดุคงคลังคงที่และช่วงเวลาคงที่

กรณีสภาวะที่ไม่เสี่ยงที่จะเกิดสินค้าขาดมือ และทุกอย่างแน่นอนดังสมการ 2-18

$$ROP = d \times L \tag{2-18}$$

2. จุดสั่งซื้อใหม่ในอัตราความต้องการวัสดุคงคลังที่แปรผันและช่วงเวลาคงที่

เป็นสภาวะที่อาจเกิดของขาดมือได้เพราะว่าอัตราการใช้หรือความต้องการวัสดุคงคลังไม่สม่ำเสมอ จึงต้องมีการเก็บวัสดุคงคลังเผื่อขาดมือ (Cycle-service level) ซึ่งจะเป็นโอกาสที่ไม่มีของขาดมือ

$$ROP = \left(\bar{d} \times L\right) + Z\sqrt{L}\,\sigma_d \tag{2-19}$$

โดยที่

$\bar{d}$ คือ อัตราความต้องการสินค้าโดยเฉลี่ย

L คือ ช่วงเวลาการสั่งสินค้า หรือ ช่วงเวลานำ

Z คือ ค่าระดับความเชื่อมั่นว่าจะมีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการ

σ_d คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความต้องการสินค้า

3. จุดสั่งซื้อในอัตราความต้องการวัสดุคงคลังคงที่และช่วงเวลาแปรผัน

เป็นสภาวะที่ช่วงเวลาการสั่งสินค้ามีลักษณะการกระจายของข้อมูลแบบปกติ

$$ROP = \left(d \times \bar{L}\right) + Zd\,\sigma_L \tag{2-20}$$

โดยที่

d คือ อัตราความต้องการวัสดุคงคลังซึ่งคงที่

$\overline{L}$ คือ ช่วงเวลาการสั่งสินค้าเฉลี่ย หรือ ช่วงเวลานำ

σ_L คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการในช่วงเวลานำ

4. จุดสั่งซื้อใหม่ในอัตราความต้องการสินค้าแปรผันและช่วงเวลาแปรผัน

กรณีอัตราความต้องการสินค้าและช่วงเวลาการสั่งสินค้ามีลักษณะการกระจายของข้อมูลแบบปกติทั้งสองตัวแปร

$$ROP = (\bar{d} \times \bar{L}) + Z\sqrt{L\sigma_d^{\,2} + \bar{d}^{\,2}\sigma_L^{\,2}} \qquad (2\text{-}21)$$

โดยที่

d คือ อัตราความต้องการวัสดุคงคลังคงที่

$\overline{L}$ คือ ช่วงเวลาการสั่งสินค้าเฉลี่ย หรือ ช่วงเวลานำ

ส่วนการพิจารณาจุดสั่งซื้อใหม่ในกรณีที่การจัดการวัสดุคงคลัง เป็นแบบสิ้นงวดเวลาที่กำหนดไว้ (Fixed Time Period System) จะแตกต่างกับการจัดการวัสดุคงคลังแบบต่อเนื่องตรงที่ปริมาณการสั่งซื้อแต่ละครั้งจะไม่คงที่ และขึ้นอยู่กับว่าสินค้าพร่องลงไปเท่าใดก็ซื้อเติมให้เต็มระดับเดิม

ปริมาณการสั่งซื้อ = ช่วงของการป้องกันสินค้าขาดมือ (Protection Interval)+วัสดุคงคลังเผื่อขาดมือ–วัสดุคงคลังที่เหลือในมือ ณ จุดสั่งซื้อใหม่

$$Q = \bar{d}\left(t_b + L\right) + Z\sigma_d\sqrt{t_b + L - I} \qquad (2\text{-}22)$$

โดยที่

t_b คือ ช่วงเวลาที่ห่างกันในการสั่งซื้อแต่ละครั้ง

I คือ วัสดุคงคลังในสต๊อค (รวมทั้งของที่กำลังสั่งซื้อด้วย)

$Z\sigma_d\sqrt{t_b + L}$ คือ สต๊อคเพื่อความปลอดภัย

ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation)

จีรวัฒน์ นภาสุขวีระมงคล (2558) กล่าวว่า การจำลองสถานการณ์ คือ การสร้างสถานการณ์สมมติ โดยอาศัยข้อเท็จจริงเสมือนสถานการณ์ เพื่อทดลองตัดสินใจแก้ปัญหาและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาซึ่งมีมานานแล้ว แบบจำลองสถานการณ์วิธีมอนติคาร์โล จัดเป็นแบบจำลองสถานการณ์ความน่าจะเป็นโดยมีการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง (สรุเดช มีสีดา, 2554) พยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative technique) แบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานซึ่งองค์ประกอบของระบบงานมีพฤติกรรมในลักษณะไม่แน่นอน หรือเรียกได้ว่าเป็นวิธีการทางจำนวนนับ (Numerical method) ที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ตัวเลขสุ่มเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา ซึ่งใช้ในกรณีโจทย์ปัญหานั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนเกินกว่าที่จะใช้วิธีทางคณิตศาสตร์การวิเคราะห์ (Analytical analysis) ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องอาศัยกรรมวิธีความสามารถทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาเป็นกรณีไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่ลักษณะของการปฏิสัมพันธ์ของวัตถุหลายชิ้น ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์วิธีมอนติคาร์โล มีดังนี้

1. กำหนดปัญหาหรือระบบในสิ่งที่สนใจจะทำการจำลอง
2. ระบุองค์ประกอบของความไม่แน่นอนในปัญหานั้น
3. สร้างตารางแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่ต้องการสำหรับใช้ในการจำลอง (พิจารณาจากข้อมูลที่ไปสำรวจหรือสังเกตมา)

4.. หาการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability distribution) ขององค์ประกอบที่มีความไม่แน่นอน

5. กำหนดค่าตัวเลขสุ่ม (Random number) ที่ต้องใช้กับตัวแปรสุ่มให้สอดคล้องกับความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม

6. สร้างตัวแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ให้เข้ากับปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทำการทดสอบตัวแบบดังกล่าวว่าได้ผลตามเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่

7. เมื่อผลการทดสอบเป็นไปตามเป้าหมายแล้วจะกำหนดจำนวนครั้งในการจำลอง

8. ทำการจำลองเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ต้องการ

คุณลักษณะสำคัญของแบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองสถานการณ์มีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากแบบจำลองชนิดอื่น ดังนี้

1. มีการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการนำค่าการทำนายไปใช้ประโยชน์

2. มีเหตุผลเป็นการตรวจสอบว่าผลที่ได้ต้องอยู่ในขอบเขตของผลลัพธ์ที่คาดคะเนไว้ และแบบจำลองนั้นทำงานอย่างถูกต้องโดยสามารถนำผลลัพธ์นั้นมาวิเคราะห์ได้

3. ลดความเบี่ยงเบน โดยใช้ค่าสุ่มเดียวกันเพื่อลดความแปรผันและเพิ่มความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบที่ต่างกันได้

4. มีลักษณะเป็นการเลียนแบบสถานการณ์จริงมากกว่าเป็นการนำเสนอสถานการณ์จริง

5. มีลักษณะเป็นการบรรยายหรือการคาดการณ์จริงที่จะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ กัน

6. เป็นแบบจำลองที่ใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง

ประโยชน์ของแบบจำลองสถานการณ์

การที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีการใช้แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อเลียนแบบสถานการณ์ปัญหานั้น สามารถรวบรวมประโยชน์ของแบบจำลองสถานการณ์ได้ ดังนี้

1. ใช้เพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคตอย่างตรงไปตรงมา

2. จัดเป็นการอธิบายให้เห็นเป็นรูปธรรมมากกว่าการใช้เป็นเครื่องมือธรรมดา

3. แบบจำลองจะถูกสร้างขึ้นเฉพาะเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง คือ ส่วนประกอบ

4. สามารถจัดการกับปัญหาได้มากมายหลากหลายชนิด เช่น การจัดการกับคลังสินค้าและการจัดการทรัพยากรบุคคล สามารถทำหน้าที่ในเชิงปริมาณบริหารระดับสูงได้ เช่น การวางแผนการในระยะยาว เป็นต้น

5. สามารถทำการทดลองป้อนตัวแปรที่แตกต่างกันไปตามแต่ละเหตุการณ์ในแบบจำลอง เพื่อดูผลลัพธ์ที่เป็นทางเลือก จากนั้นจึงเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดเพียงทางเดียว

6. นำมาใช้ในการรวบรวมปัญหาของเหตุการณ์จริงที่มีความซับซ้อน กล่าวคือ หากเป็นปัญหาที่ง่ายก็ไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองชนิดนี้

จุดเด่นของการใช้เทคนิควิธีมอนติคาร์โล

เนื่องจากเทคนิควิธีมอนติคาร์โล จะใช้ตัวเลขสุ่มเป็นพื้นฐานในการสร้างตัวแปรของปัญหาโดยอาศัยทฤษฎี สูตร หรือกฎเกณฑ์ที่มีอยู่ และมีการทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อน จึงนับว่ามีประโยชน์ที่สำคัญ ดังนี้

1. เทคนิควิธีมอนติคาร์โล สามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนและสามารถสังเกตได้อย่างสมบูรณ์ (Completely controlled and completely observed) นอกจากนี้ ยังสามารถทำการทดลองซ้ำภายใต้สภาพแวดล้อมเดิมหลายครั้งได้ ซึ่งในการทดลองจริงนั้นทำไม่ได้ เพราะไม่สามารถรักษาสภาพแวดล้อมให้เหมือนเดิมทุกอย่างได้เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2. ในการใช้เทคนิควิธีมอนติคาร์โล ถ้ามีทฤษฎี สูตร หรือกฎเกณฑ์ที่ถูกต้อง รองรับในการสร้างตัวแปรของปัญหาในการทดลองแล้ว จะทำให้ผลที่ได้ถูกต้องแม่นยำกว่าเมื่อใช้ทดลองในสถานการณ์จริง ทั้งนี้เพราะสามารถลดตัวแปรแทรกซ้อนในเชิงจิตวิทยาได้

3. ลดการสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการทดลองในสถานการณ์จริง

ข้อจำกัดของแบบจำลองสถานการณ์

แม้ว่าแบบจำลองสถานการณ์จะสามารถจำลองและหาแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงได้ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดบางประการ ดังนี้

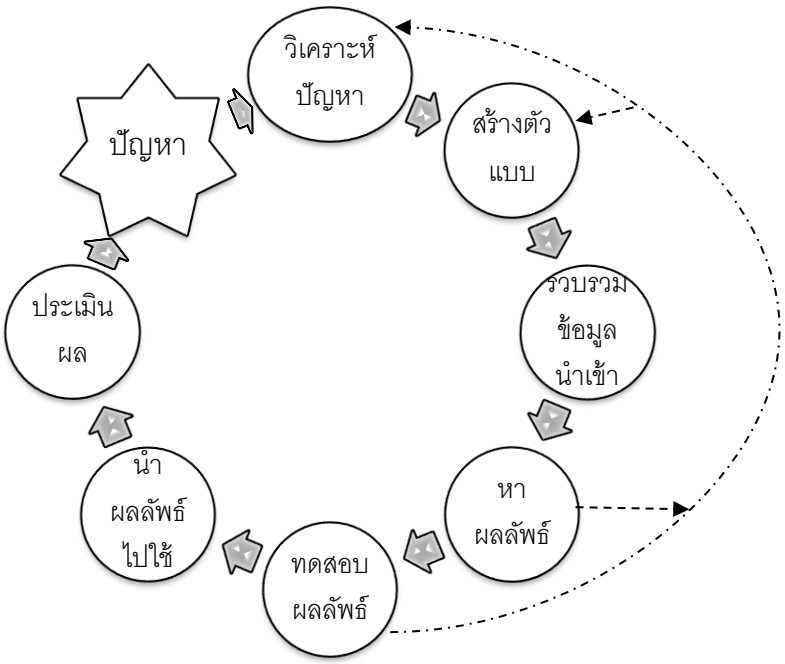
1. ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นหนทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

2. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ มักจะต้องใช้เวลาในการสร้างมาก

3. แนวทางแก้ปัญหา และผลลัพธ์ที่ได้ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหาอื่น ๆ ได้ เนื่องจากจะรวบรวมเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเท่านั้น

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

สุทธิมา ชำนาญเวช (2552) ได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) นับได้ว่าเป็นเครื่องมือการวิจัยดำเนินการที่ช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจวางแผน ควบคุมและแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีหลักเกณฑ์ สร้างความมั่นใจในการตัดสินใจ และเพิ่มโอกาสความสำเร็จในการแก้ปัญหาให้สูงขึ้น โดยภาพที่ 2-8 แสดงให้เห็นขั้นตอนของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ



ภาพที่ 2-8 ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ขั้นตอนการวิเคราะห์เชิงปริมาณมีดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหา คือ การหาสาเหตุเพื่อระบุว่าปัญหาคืออะไรกำหนดรอบและขอบเขตของปัญหาตลอดจนเงื่อนไขความจำกัดต่าง ๆ ให้ชัดเจนเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ตรงประเด็น

1.2 การสร้างตัวแบบ

ตัวแบบหรือโมเดล (Model) คือ สิ่งที่นำมาใช้เพื่อแสดงลักษณะของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เราสามารถแบ่งโมเดลออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1 แบ่งประเภทตัวแบบตามลักษณะของข้อมูลนำเข้า จะแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1.2.1.1 ตัวแบบที่ใช้ข้อมูลนำเข้าที่มีลักษณะคงที่ (Deterministic model) เช่น ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming model) ตัวแบบการขนส่ง (Transporation model) ตัวแบบปริมาณสั่งประหยัดสุด (EOQ model) เป็นต้น

1.2.1.2 ตัวแบบที่ใช้ข้อมูลนำเข้าที่มีลักษณะไม่คงที่ (Probabilistic model) เช่น ตัวแบบการตัดสินใจ (Decision model) ตัวแบบข่ายงานเพิร์ต (PERT network model) เป็นต้น

1.2.2 แบ่งประเภทตามตัวแบบตามลักษณะผลลัพธ์ จะแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1.2.2.1 ตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์เหมาะสมที่สุด (Optimization model) คือ ตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยให้กำไรรวมสูงสุด ต้นทุนต่ำสุด หรือค่าใช้จ่ายต่ำสุด เช่น ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ตัวแบบการขนส่ง และตัวแบบปริมาณสั่งประหยัดสุด เป็นต้น

1.2.2.2 ตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่เป็นการคาดการณ์ (Prediction model) เช่น ตัวแบบการถดถอย (Regression model) ตัวแบบอนุกรมเวลา (Time series model) ตัวแบบการจำลองสถานการณ์ (Simulation model) เป็นต้น

1.2.3 แบ่งประเภทตัวแบบตามลักษณะการเขียนโมเดลจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1.2.3.1 ตัวแบบเชิงคุณภาพ (Qualitative model) ใช้ตัวอักษรประกอบกับแผนภาพต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นตัวแบบทางการจัดการ เช่น ตัวแบบไดมอนด์ (Diamond model) ตัวแบบเซเว่นเอส (Seven s model) เป็นต้น

1.2.3.2 ตัวแบบเชิงปริมาณ (Quantitative model) เป็นตัวแบบที่ใช้ตัวเลขและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เช่น ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ตัวแบบแถวคอย (Waiting line model) เป็นต้น

1.2.4 แบ่งประเภทตัวแบบตามลักษณะตัวแบบ จะแบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.2.4.1 ตัวแบบรูปจำลอง (Physical model) เน้นทางด้านกายภาพของสิ่งที่ต้องการแสดงโดยลดขนาดลงตามอัตราส่วนที่กำหนด

1.2.4.2 ตัวแบบรูปภาพ (Schemetic model) เป็นการใช้ภาพและกราฟแบบต่าง ๆ ได้แก่ กราฟแท่ง กราฟวงกลม กราฟเส้นแทนข้อมูลที่ต้องการแสดง

1.2.4.3 ตัวแบบคณิตศาสตร์ (Mathematic model) มีลักษณะทำนองเดียวกับตัวแบบเชิงปริมาณ คือ ใช้ตัวเลข ตัวแปร และสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เช่น ตัวแบบตัวกำหนดการเชิงเส้น ตัวแบบแถวคอย เป็นต้น

1.3 การรวบรวมข้อมูลนำเข้า

การรวบรวมข้อมูลนำเข้าต้องคำนึงถึงข้อมูลที่เพียงพอ ถูกต้อง เชื่อถือได้และทันเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงความน่าเชื่อถือของตัวแบบ การคำนวณหาผลลัพธ์ ตลอดจนการนำผลลัพธ์ของตัวแบบไปใช้ให้เกิดประโยชน์

1.4 การคำนวณหาผลลัพธ์

การคำนวณหาผลลัพธ์ คือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของตัวแบบ ซึ่งในบางตัวแบบอาจจะมีขั้นตอนการคำนวณซ้ำหลาย ๆ รอบกว่าจะได้ผลลัพธ์ รวมทั้งมีความซับซ้อนในขั้นตอนการคำนวณ

1.5 การทดสอบผลลัพธ์

เป็นการทดสอบผลลัพธ์ของตัวแบบ ความเป็นไปได้ ความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ รวมทั้งทดสอบข้อมูลที่ใช้ในตัวแบบด้วย

1.6 การประเมินผล

เราต้องทำความเข้าใจกับผลลัพธ์ที่ได้เพื่อเตรียมการในการที่จะนำผลลัพธ์ไปใช้ รวมทั้งทำการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitive analysis) โดยทดลองการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์เพื่อให้เข้าใจถึงความไวของผลลัพธ์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ

1.7 การนำผลลัพธ์ไปใช้แก้ปัญหา

การนำผลลัพธ์ไปใช้ในการปฏิบัติและควบคุมดูแลให้เป็นไปตามแนวทางที่เหมาะสมตลอดจนปรับเปลี่ยนแก้ไขถ้ามีความจำเป็น

2. การจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical simulation)

การจำลองเชิงคณิตศาสตร์ คือ การสมมติให้เกิดขึ้นหรือสมมติลักษณะของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ต่าง ๆ เช่น การโปรแกรมเชิงเส้นตรง ปัญหาขนส่งวัสดุคงคลัง ฯลฯ เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหาในโลกของความจริงเอามาหาความสัมพันธ์ เขียนเป็นสมการสร้างเป็นสูตรขึ้นมาเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม
พัชฎาภรณ์ แสงทามาตย์ (2556) ซึ่งการจำลองสามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาได้ 2 แบบ คือ

2.1 ปัญหาทางทฤษฎี (Theoretical problems) เช่น ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี ได้แก่ การประมาณค่าในทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

2.2 ปัญหาในการปฏิบัติงานโดยเฉพาะเหตุการณ์ในชีวิตจริง เช่น การจำลองปัญหาโรงงานอุตสาหกรรม การออกแบบระบบการจัดจำหน่าย การออกแบบแถวคอย เป็นต้น

3. ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบในการใช้เทคนิคการจำลอง

เทคนิคการจำลองเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันแพร่หลายเช่นเดียวกับเทคนิคทางคณิตศาสตร์ทั่ว ๆ ไป และมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบให้พิจารณาได้ ดังนี้

3.1 ข้อได้เปรียบ

3.1.1 ช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเกินกว่าที่จะใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว สะดวกโดยเฉพาะกรณีที่มีความน่าเชื่อจะเป็นมาเกี่ยวข้องด้วย

3.1.2 สามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ผ่านไปซึ่งเป็นระบบไหลเวียน (Dynamic) ได้

3.1.3 เป็นเทคนิคที่อาจจะเป็นวิธีการเดียวที่มีอยู่ที่สามารถสังเกตสิ่งแวดล้อมจริงออกมาได้ เช่น ในการทดลองปัญหา การทดสอบอายุการใช้งานหลอดไฟ เป็นต้น

3.2 ข้อเสียเปรียบ

3.2.1 ในบางครั้งการจำลองอาจมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะในการเก็บข้อมูล การสร้างตัวแบบ และการเขียนโปรแกรม (ในกรณีใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการหาผลลัพธ์)

3.2.2 การจำลองไม่สามารถใช้ได้กับทุกเหตุการณ์ขึ้นอยู่กับสภาพปัญหา

3.2.3 การจำลองไม่ได้ให้หลักการประกันว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่จะเป็นการให้ทางเลือกแก่ผู้ทำการจำลองนำไปใช้ในการตัดสินใจ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดีขึ้น โดยที่การบริหารวัสดุคงคลังที่มีประสิทธิภาพ

หลังจากที่เราทราบข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการจัดการวัสดุคงคลังนั้น มีสิ่งสำคัญ 2 ประการที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ ควรสั่งซื้อเมื่อไหร่ และจำนวนเท่าใด โดยเทคนิคเบื้องต้นที่นำมาใช้ได้ คือ การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อประหยัด EOQ (Economic order quantity) ที่เป็นปริมาณการสั่งซื้อที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยต้นทุนรวมในที่นี้ประกอบด้วย ต้นทุนการสั่งสินค้า และเก็บรักษาสินค้า รวมทั้งการคำนวณหาจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point) โดยระบบการสั่งซื้อประหยัด แต่ในทางปฏิบัตินั้น ความต้องการ หรืออุปสงค์สินค้ามักไม่แน่นอนและมีเวลาคอย (Lead time) เกิดขึ้น ทำให้ต้องมีการคำนวณจุดสั่งซื้อใหม่ โดยการคำนวณหาระดับวัสดุคงคลังขั้นต่ำ (Safety stock) ทั้งนี้สามารถจำแนกระบบนโยบายวัสดุคงคลังได้หลายรูปแบบ ดังงานวิจัยของ

สุจินดา เจียระวรพจน์ (2552) ทำการศึกษาการจัดการวัสดุคงคลังและการขนส่งสินค้าของบริษัทจำหน่ายส่งและปลีกผลิตภัณฑ์สมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการลดต้นทุนการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา โดยทำการแบ่งกลุ่มสินค้าตามหลัก ABC Classification และสร้างแบบจำลองสถานการณ์เลียนแบบระบบการจัดการวัสดุคงคลังของบริษัท เพื่อหาปริมาณการ สั่งซื้อรอบการสั่งซื้อสินค้า จุดสั่งซื้อ และระดับวัสดุคงคลังสูงสุด ที่เหมาะสมกับระดับการ ให้บริการ

ลูกค้า โดยใช้โปรแกรม ARENA ซึ่งกำหนดไว้ 5 ช่วง ได้แก่ 0.870-0.900, 0.900-0.925, 0.925-0.950, 0.9500.975 และ 0.975-0.999 ตามนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง 4 แบบ คือ (s,Q), (s,S), (R,S) และ (R,s,S) พบว่าเมื่อระดับการให้บริการอยู่ ในช่วง 0.975-0.999 และต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังรวมของผลิตภัณฑ์ทุกชนิด เมื่อใช้นโยบาย แบบ (s,S) และ (s,Q) จะมีค่าต่ำกว่าหรืออย่างน้อยเท่ากับต้นทุน

วัลลภ ภูผา (2557) ได้ศึกษาเพื่อหานโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมของโรงงานผลิตอาหารแปรรูปประเภทไส้กรอก โดยเลือกใช้นโยบายที่มีจำนวนรอบของการสั่งซื้อคงที่ ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อหานโยบายในการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อที่เหมาะสม พบว่า นโยบายคำสั่งซื้อแบบใหม่ทำให้เกิดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังต่ำสุดเป็นจำนวนเงิน 20,010,855 บาท ภายใต้ข้อมูลต้นทุนรวมที่มีการกระจายตัวแบบปกติ และจำนวนรอบในการทดลองที่เหมาะสม ผลจากการจำลองสถานการณ์ในรอบวันผลิตที่ 90 วัน สามารถลดต้นทุนรวมในการจัดการสินค้าคงคลังที่เกิดขึ้นจากนโยบายคำสั่งซื้อเดิมได้ 12,448,765 บาท หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 38.35

Ferguson, Vaidy, and Souza, (2007) ได้ศึกษาความแปรปรวนของ EOQ model ที่ต้นทุนการเก็บรักษาแบบสะสม ซึ่งลักษณะของปัญหาเป็นแบบเดียวกับที่เคยศึกษา คือต้องการหาค่าปริมาณการซื้อที่เหมาะสมที่สุดของสินค้าที่เน่าเสียง่าย เช่น นม หรือผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งสินค้าที่ไม่บ่อยนัก หรือการจัดโปรโมชั่นลดราคาสินค้าสำหรับสินค้าที่ใกล้หมดอายุ โดยวิธีการหาเส้นโค้งของต้นทุนการเก็บรักษาใช้แบบ Regression analysis ซึ่งวิเคราะห์จากต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าที่เพิ่มขึ้น สามารถจำแนกได้ 2 นโยบาย คือ นโยบายการลดราคา และนโยบายอายุผลิตภัณฑ์ ซึ่งคำนวณทางตัวเลขใน EOQ model พบว่า สามารถปรับปรุงได้ดีขึ้นกว่าเดิมถึง 40% สำหรับสินค้าที่มีอัตราความต้องการต่อวันสูง ต้นทุนการเก็บรักษาต่ำ และหมดอายุเร็ว แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาของการส่งมอบ ต้นทุนการสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายการเก็บรักษา

Liu, and Ridgway, (1995) เสนอนโยบายการตรวจสอบวัสดุคงคลังของบริษัท PRESTO tools Ltd, sheffield พบว่า นโยบายการตรวจสอบวัสดุคงคลัง (s,S) Policy เป็นนโยบายที่เหมาะสมต่อบริษัท เนื่องจากการตรวจสอบคงคลังแบบต่อเนื่องแบบ (s,S) จะทำการสั่งซื้อเมื่อระดับวัสดุคงคลังลดลงถึงจุดสั่งซื้อ (s) ทำให้สามารถตอบสนองต่อระดับการบริการลูกค้าที่บริษัทตั้งไว้ และมีปริมาณวัสดุคงคลังที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้หาปริมาณการสั่งซื้อแบบล็อต (Lot sizing) โดยหาจุดสมดุลระหว่างต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าในคลังและต้นทุนการติดตั้งเครื่องจักรใหม่เป็นจุดที่ต้นทุนรวมต่ำสุด นอกจากนี้การหาจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมสามารถหาได้จากผลรวมระหว่างระดับวัสดุคงคลังสำรอง และความต้องการในช่วงเวลานำ ทำให้บริษัทสามารถจัดการคงคลัง

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีปริมาณวัสดุคงคลังที่เหมาะสมและเพียงพอ และมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

ทินวัฒน์ ขาวเหลือง (2554) ได้วิเคราะห์แนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการจัดการวัสดุคงคลังของกรณีศึกษาร้านตำหรับไทย โดยเลือกใช้นโยบายวัสดุคงคลัง (T, Q) (T, S) (s, Q) และ (s, S) หลังจากทำการคำนวณการสั่งซื้อที่เหมาะสมแบบใหม่เมื่อรวมกับ Shortage cost แล้ว ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นน้อยกว่าต้นทุนรวมของวิธีการสั่งแบบเดิมที่ยังไม่รวม Shortage cost ทำให้สรุปได้ว่า วิธีคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมแบบใหม่ สามารถช่วยลดต้นทุนได้เท่ากับ 29,485.30 บาท หรือประมาณ 3.54% ต่อปี

ขวัญตา ดำประไพ (2557) ได้ศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดซื้ออะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรกรณีศึกษาของโรงงานผลิตเหล็กเส้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สร้างรูปแบบการจัดซื้อจัดหาอะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ใช้เป็นส่วนสนับสนุนในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมที่เหมาะสมในอนาคต โดยใช้เทคนิคการประเมินปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) การกำหนดค่าวัสดุคงคลังสูงสุด (Max) และการกำหนดค่าวัสดุคงคลังต่ำสุด (Min) และการหาค่าจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการใช้วิธีการกำหนดค่าวัสดุคงคลังสูงสุด (Max) และการกำหนดค่าวัสดุคงคลังต่ำสุด (Min) จะให้ต้นทุนที่ประหยัดกว่า EOQ โดยคิดเป็น 60% หรือประมาณ 123,480 บาทต่อปี

Phabu, (2012). สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของโปรแกรมเชิงเส้นและคำนวณได้ด้วยการใช้โปรแกรม Excel-solver ด้วยวิธีแบบพลวัต กับกรณีศึกษาข้าวเปลือกของโรงสี เช่นเดียวกับ (กิรณา มหิพันธ์, 2559) เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด เป้าหมายหลัก คือ การลดต้นทุนของการจัดการวัสดุคงคลังให้ต่ำที่สุด ในขณะที่ยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทั้งส่วนปริมาณและช่วงเวลาที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา

สรุปจากงานวิจัยดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในกรณีมีสินค้าสต๊อกเกินความจำเป็น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้โดยมีวิธีการแก้ไขปัญหาวัสดุคงคลังที่แตกต่างกันออกไป เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการทำงาน ทินวัฒน์ ขาวเหลือง (2554); สุจินดา เจียระวรพจน์ (2552) ได้อธิบายเกี่ยวกับนโยบายในการจัดการวัสดุคงคลังวิธีต่าง ๆ เช่น โดยเลือกใช้นโยบายวัสดุคงคลัง (T, Q) (T, S) (s, Q) (s, S) และ (T, s, S) สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในส่วนของนโยบายวัสดุคงคลัง (s, Q) และ (T, s, S) วัลลภ ภูผา (2557) ต้องการแก้ปัญหาวัสดุคงคลัง จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte carlo simulation method) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณในการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อวัตถุดิบในการผลิตไส้กรอกที่เหมาะสม สอดคล้องกับงานวิจัยนี้เนื่องจากประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล เช่นเดียวกับ

Phabu, (2012); กิรณา มหิพันธ์ (2560) สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้โปรแกรม Opensolver ผ่าน Microsoft excel โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของการจัดการวัสดุคงคลังให้ต่ำที่สุด ในขณะที่ยังสามารถสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยเสนอแนวทางการศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับวัสดุพรีเพล็กสำหรับใช้ในงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ทางอากาศยาน จำนวน 4 นโยบาย ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S) นโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T,s,S พร้อมทั้งเสนอตัวแบบจำลอง Mixed integer linear programing (MILP) ในการประเมินผลลัพธ์ของทั้ง 4 นโยบายจะใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation) แบบมอนติคาร์โล และ Opensolver ผ่านโปรแกรม Microsoft excel โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายรวม หรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือประเมินปริมาณการสั่งซื้อและระดับวัสดุคงคลังสำรองสำหรับรองรับความต้องการที่ไม่แน่นอน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การจัดการวัสดุคงคลังที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเสนอขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาวิธีการและเก็บรวบรวมข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลและบ่งชี้ปัญหา

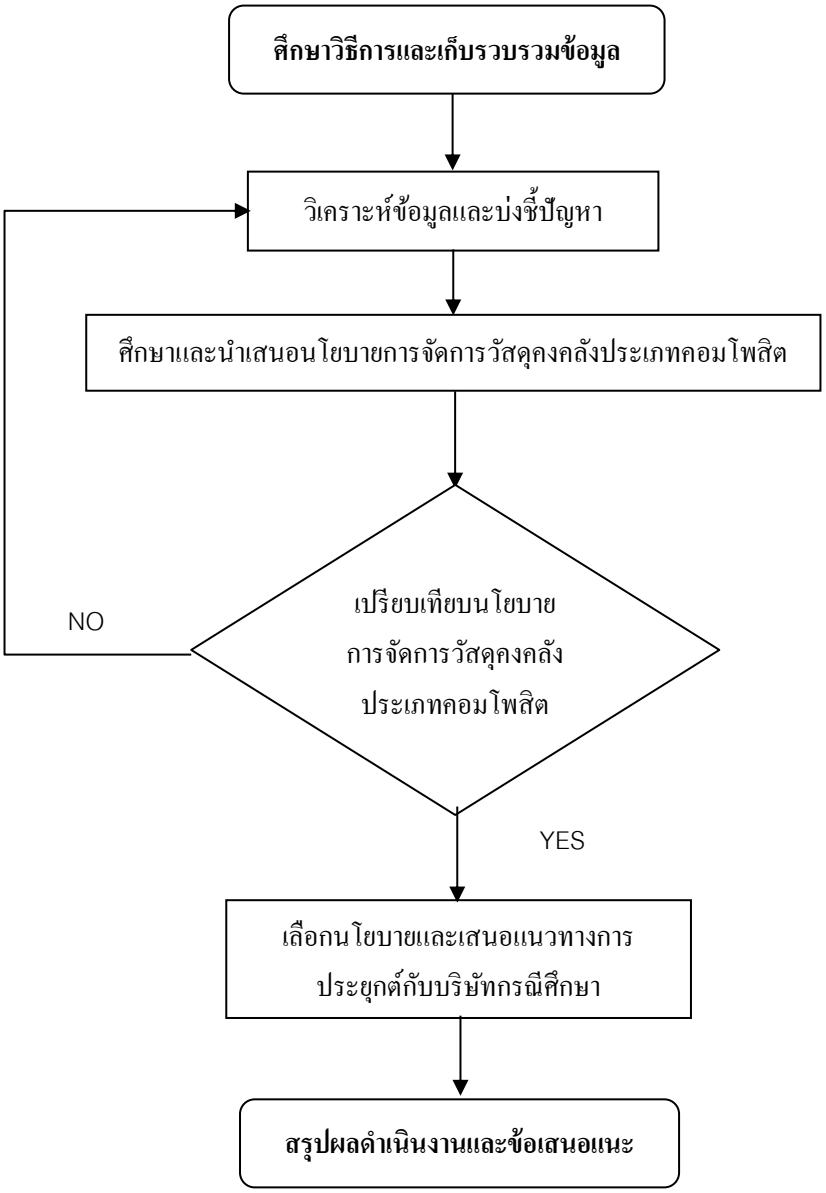
ศึกษาและนำเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต

เปรียบเทียบนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต

เลือกนโยบายและเสนอแนวทางการประยุกต์กับบริษัทกรณีศึกษา

สรุปผลดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

โดยสามารถแสดงแผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 3-1



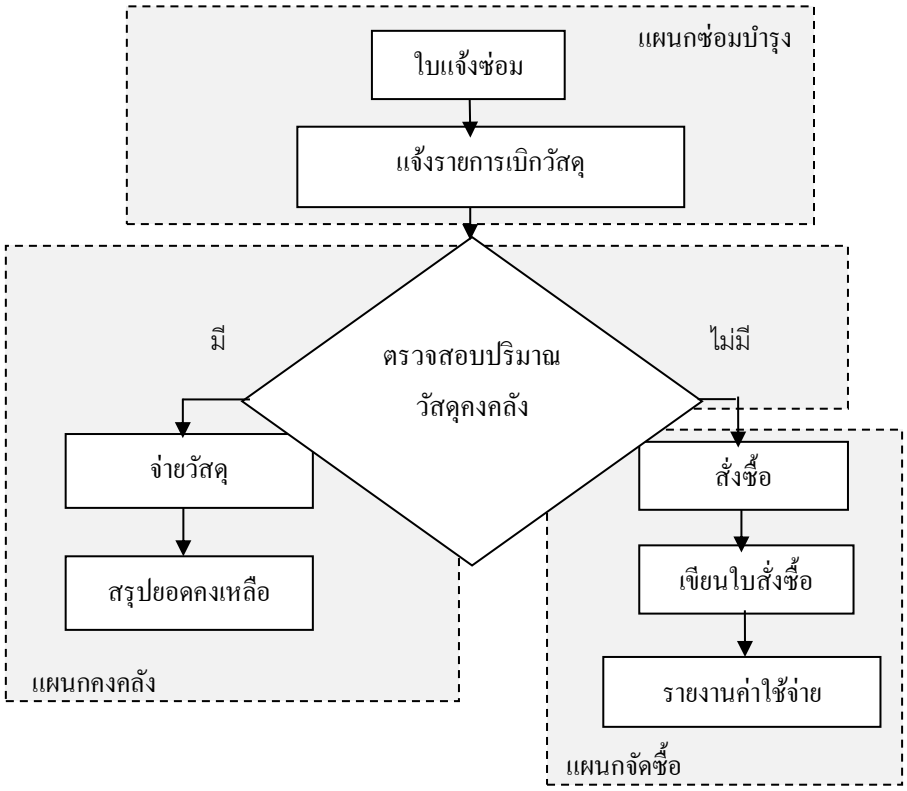
ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากภาพที่ 3-1 สามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

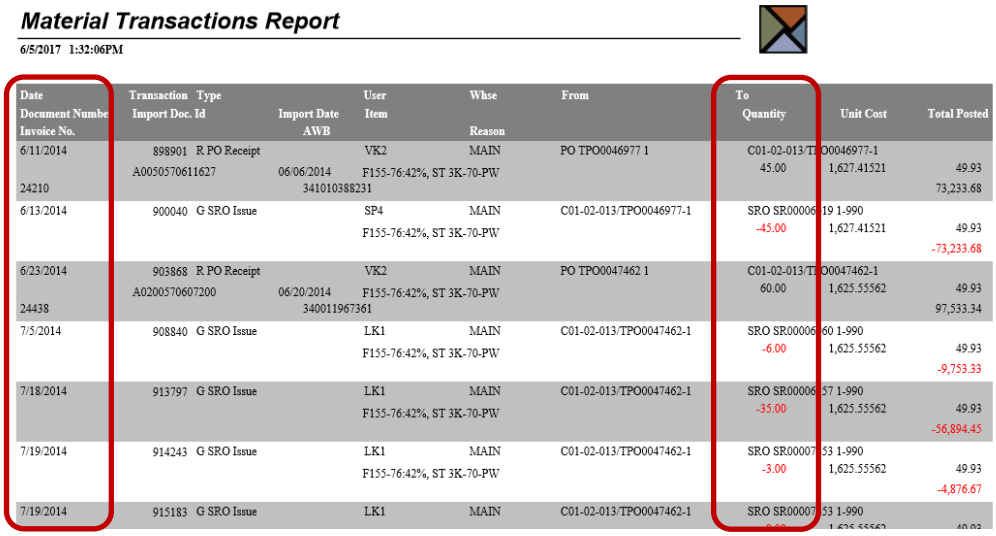
ศึกษาวิธีการและเก็บรวบรวมข้อมูล

สุพรรณ์ ทองเพชร (2554); กิรณา มหิพันธ์ (2560) กล่าวว่า กระบวนการเบิกจ่ายวัสดุโดยทั่วไปมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเบิกจ่าย 3 กลุ่ม ได้แก่ แผนกซ่อมบำรุง แผนกคลังสินค้า และแผนกจัดซื้อ การเบิกวัสดุจะมีใบแจ้งซ่อมที่ได้รับการอนุมัติจากหัวหน้าแผนก จากนั้นทำการยื่นใบเบิกวัสดุแจ้งรายการวัสดุให้กับแผนกคลังสินค้า เพื่อตรวจสอบปริมาณวัสดุว่ามีพร้อมใช้งานหรือไม่ หากมีพร้อมใช้งานก็สามารถทำการจ่ายวัสดุได้ทันที แต่ในกรณีที่ไม่มีวัสดุคงคลังสำรอง เจ้าหน้าที่คงคลังจะส่งรายการอนุมัติให้กับแผนกจัดซื้อดำเนินการจัดซื้อ โดยผ่านการอนุมัติจากหัวหน้าแผนกเช่นเดียวกับการจ่ายวัสดุ โดยระยะเวลาและขั้นตอนซึ่งจะแสดงในขั้นตอนผลวิเคราะห์ต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังต่อไป ซึ่งสามารถสรุปดังภาพที่ 3-2

อย่างไรก็ตามข้อมูลเบิกจ่ายดังกล่าวได้ถูกบันทึกในฐานข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา รวมถึงข้อมูลการสั่งซื้อวัสดุในอดีต ตัวอย่างข้อมูลเบิกจ่ายที่บันทึกในฐานข้อมูลมีตัวอย่างดังภาพที่ 3-3 ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยสังเกตจากช่อง Date คือช่องวันที่มีการรับเข้า-จ่ายออกของวัตถุดิบ แสดงจำนวนดังช่อง Quantity



ภาพที่ 3-2 แผนผังการเบิกจ่ายวัสดุ (กิรณา มหิพันธ์, 2559)



Material Transactions Report

6/5/2017 1:32:06PM

Date / Document Numbe / Invoice No.	Transaction Type / Import Doc. Id	Import Date / AWB	User / Item	Whse / Reason	From	To / Quantity	Unit Cost	Total Posted
6/11/2014	898901 R PO Receipt		VK2	MAIN	PO TPO0046977 1	C01-02-013/TPO0046977-1		
	A0050570611627	06/06/2014	F155-76:42%, ST 3K-70-PW			45.00	1,627.41521	49.93
24210		341010388231						73,233.68
6/13/2014	900040 G SRO Issue		SP4	MAIN	C01-02-013/TPO0046977-1	SRO SR00006 19 1-990		
			F155-76:42%, ST 3K-70-PW			-45.00	1,627.41521	49.93
								-73,233.68
6/23/2014	903868 R PO Receipt		VK2	MAIN	PO TPO0047462 1	C01-02-013/TPO0047462-1		
	A0200570607200	06/20/2014	F155-76:42%, ST 3K-70-PW			60.00	1,625.55562	49.93
24438		340011967361						97,533.34
7/5/2014	908840 G SRO Issue		LK1	MAIN	C01-02-013/TPO0047462-1	SRO SR00006 60 1-990		
			F155-76:42%, ST 3K-70-PW			-6.00	1,625.55562	49.93
								-9,753.33
7/18/2014	913797 G SRO Issue		LK1	MAIN	C01-02-013/TPO0047462-1	SRO SR00006 57 1-990		
			F155-76:42%, ST 3K-70-PW			-35.00	1,625.55562	49.93
								-56,894.45
7/19/2014	914243 G SRO Issue		LK1	MAIN	C01-02-013/TPO0047462-1	SRO SR00007 53 1-990		
			F155-76:42%, ST 3K-70-PW			-3.00	1,625.55562	49.93
								-4,876.67
7/19/2014	915183 G SRO Issue		LK1	MAIN	C01-02-013/TPO0047462-1	SRO SR00007 53 1-990		

ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างฐานข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นโดยการสังเกตการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กในปัจจุบันของทางบริษัทกรณีศึกษา พบว่าใช้นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,S) หรือระบบ (Max - Min) เมื่อสินค้าลดลงถึง 30 หน่วย หรือต่ำกว่าทางบริษัทจะทำการสั่งซื้อมาเติมให้เต็มจำนวน คือ 90 หน่วย และพบว่าระยะเวลาการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กมีช่วงเวลานำ (L) โดยเฉลี่ย 7 วัน

วิเคราะห์ข้อมูลและบ่งชี้ปัญหา

จากข้อมูลปริมาณความต้องการใช้งานในอดีต (Historical demand) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

วิเคราะห์พฤติกรรมการแจกแจงของข้อมูลความต้องการ

การวิเคราะห์ข้อมูลว่ามีรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของข้อมูลด้วย Input analyzer จากโปรแกรม ARENA ในการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัว ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่จะสังเกตได้ (P-value) มีค่ามากกว่า 0.05 คือ การยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่จะสังเกตได้ (P-value) น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธ H_0 หรือรูปแบบการกระจายตัว (Distribution) ที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบที่ต้องการทดสอบ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ

วิเคราะห์ต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง

การประเมินต้นทุนวัสดุคงคลัง (Inventory cost) ที่คำนึงถึงต้นทุนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย ต้นทุนการสั่งซื้อ (Ordering costs) ต้นทุนการเก็บรักษา (Carrying costs) ต้นทุนขาดแคลน (Shortage costs) จากกรณีศึกษาผู้วิจัยได้รับข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และประเมินนำมาจากผู้มีอำนาจรับผิดชอบของบริษัทสามารถประเมินต้นทุนรวมของวัสดุพรีเพล็กซึ่งอธิบายโดยละเอียดในขั้นตอนผลวิเคราะห์ต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังต่อไป

การบ่งชี้ปัญหา

จากการวิเคราะห์ต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง ผู้วิจัยได้ประเมินต้นทุนรวมวัสดุคงคลังของวัสดุพรีเพล็ก (แบบเดิม) ตามนโยบายการจัดการของบริษัทกรณีศึกษา โดยการสร้างตารางในโปรแกรม Microsoft excel ซึ่งใช้ช่วงข้อมูลตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยคาดว่าจะบ่งชี้ปัญหาได้จากค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ที่สูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และระดับการบริการที่ต่ำ (Low-service level) รวมถึงเกิดปัญหาสินค้าขาดมือ โดยผู้วิจัยทำการวิเคราะห์สาเหตุที่อาจเป็นไปได้ในลักษณะแผนผังแสดงสมมติฐานของความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะถูกแสดงในขั้นตอนผลการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ

ศึกษาและนำเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณการเบิกใช้และปริมาณการสั่งซื้อของวัสดุพรีเพล็กย้อนหลัง 3 ปี มาใช้คำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยใช้ทฤษฎี EOQ analysis เพื่อพิจารณาหาต้นทุนรวมของวัสดุคงคลังที่ต่ำสุด และเพิ่มประสิทธิภาพในการสั่งซื้อสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษา จากสมการที่ 3-4

$$EOQ = \sqrt{\frac{2C_o D}{C_c}} \tag{3-4}$$

โดยที่

EOQ หรือ (Q*) คือ ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (หน่วย)

D คือ อุปสงค์หรือปริมาณความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วย)

Co คือ ต้นทุนการสั่งซื้อ/ครั้ง (บาท)

Cc คือ ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)

Q คือ ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (หน่วย)

ปริมาณวัสดุคงคลังเหลือเมื่อทำการตรวจระดับคลังสินค้าที่เป็นจุดที่ต้องสั่งซื้อเพิ่ม คือ จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder point: *ROP*) ซึ่งเป็นจุดที่มีปริมาณสินค้าในคลังสินค้าเพียงพอต่อความต้องการใช้ในเวลาที่รอสินค้าที่สั่งซื้อหรือ ช่วงเวลานำ (L) แต่เนื่องจากความต้องการไม่คงที่ (Variable demand) เมื่อช่วงเวลานำคงที่ ในกรณีของระยะการควบคุมแบบต่อเนื่อง ระดับวัสดุคงคลังจะมีการติดตามอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ 3-5

$$ROP = \overline{D}L + SS$$

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{L}$$

$$ROP = \overline{D}L + Z\sigma_d\sqrt{L} \qquad (3\text{-}5)$$

โดยที่

ROP คือ จุดสั่งซื้อใหม่

L คือ ช่วงเวลานำในการสั่งซื้อ (หน่วยเวลา)

σ_d คือ ค่าเบี่ยงเบนของความต้องการ

$\overline{D}$ คือ ความต้องการเฉลี่ย

Z คือ จำนวนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากความต้องการสินค้า ณ ระดับระดับการให้บริการต่าง ๆ

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,Q)

เป็นการตรวจสอบปริมาณวัสดุคงคลังอย่างต่อเนื่อง โดยจะทำการสั่งซื้อวัสดุมาใหม่ เมื่อระดับประมาณวัสดุคงคลังต่ำกว่าหรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ (s) ในปริมาณคงที่ (Q) เท่าปริมาณการสั่งซื้อที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-4 และคำนวณหาจุดสั่งซื้อ (กรณีที่ ความต้องการสินค้ามีค่าแปรผัน แต่เวลานำมีค่าคงที่) ได้ดังสมการที่ 3-5 โดยที่จุดที่ต้องสั่งซื้อเพิ่มหรือระดับปริมาณวัสดุคงคลังต่ำสุด คือ จุดสั่งซื้อใหม่ ดังสมการที่ 3-6

$$s = ROP = \overline{D}L + Z\sigma_d\sqrt{L} \qquad (3\text{-}6)$$

เมื่อ

s คือ ระดับปริมาณวัสดุคงคลังต่ำสุด

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,S)

นโยบายจุดสั่งซื้อและระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (s,S) ซึ่งนโยบายนี้มีจุดควบคุม 2 จุด คือ จุดสั่งซื้อ (s) และ ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (S) การสั่งซื้อเกิดขึ้นต่อเมื่อวัสดุคงคลังมีเท่ากับหรือน้อยกว่าระดับจุดสั่งซื้อ (s) จะทำการสั่งซื้อวัสดุเข้ามาเพิ่มจนถึงระดับควบคุม (S) หรือมักถูกเรียกว่าระบบจุดสูงสุด–จุดต่ำสุด (Max-Min) (ปริญญา จันทรวินิจ, 2559; สุพรรณ์ ทองเพชร, 2554) โดย s, S คำนวณได้ดังสมการ 3-6 และ 3-7

$$S = \mathrm{s} + Q \tag{3-7}$$

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,s,S)

เป็นการตรวจสอบปริมาณวัสดุคงคลังและการสั่งซื้อวัสดุแบบเป็นระยะ (Periodic review) โดยจะทำการสั่งซื้อวัสดุก็ต่อเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด (T) ไว้ ดังนั้นหากระดับปริมาณสินค้าในคลังต่ำกว่าหรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ (s) บริษัทจะทำการสั่งซื้อจนกระทั่งเต็มหรือให้อยู่ในปริมาณที่ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (S) แต่ถ้าระดับปริมาณสินค้าในคลังสูงกว่าจุดสั่งซื้อ (s) บริษัทจะไม่ทำการสั่งซื้อวัสดุ อีกทั้งรอพิจารณาสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาการตรวจสอบวัสดุคงคลังรอบถัดไป และกำหนดให้ d_{L+T} แทนความต้องการเฉลี่ยในช่วงเวลานำ หรือ $d_{L+T} = \bar{d}\ x\ (L+T)$ ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้จุดสั่งซื้อ (s) ระยะเวลาตรวจนับ (T) และระดับปริมาณวัสดุคงคลังสูงสุด (S) คำนวณได้ดังสมการที่ 3-8 และ 3-9 ตามลำดับ (Vollmann, Berry, & Whybark, 1997; Ghorbel, 2014; สุจินดา เจียระวรพจน์, 2552)

$$S = \bar{d}_{L+T} + Z\sigma_d\sqrt{L+T} \tag{3-8}$$

นโยบายนี้กำหนดจุดสั่งซื้อ (s) แทนระดับวัสดุคงคลังต่ำสุดที่ต้องกำหนดไว้เพื่อรองรับความต้องการใช้งานในระหว่างช่วงเวลานำ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-6 และระยะเวลาการตรวจนับวัสดุพรีเพล็ก (T) ของนโยบาย T, s, S กำหนดจากสมการ 3-9 โดย T เป็นเวลาที่จะมีการตรวจนับวัสดุคงคลังทุก ๆ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้ (กิรณา มหิพันธ์, 2559)

$$T = \frac{Q^*}{D_{\max,i}} \quad (3\text{-}9)$$

โดยที่

S คือ ระดับปริมาณวัสดุคงคลังสูงสุด

T คือ ช่วงเวลาระหว่างรอบการสั่งซื้อหรือ ระยะเวลาตรวจนับ

SS คือ สต๊อกเพื่อความปลอดภัย

EOQ หรือ (Q*) คือ ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (หน่วย)

$D_{\max,i}$ คือ ค่าปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของแต่ละวัสดุ

ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

กิรณา มหิพันธ์ (2559) กล่าวว่า ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP) สร้างขึ้นเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมในการจัดการวัสดุตามแนวทางของนโยบายการตรวจติดตามปริมาณวัสดุคงคลังแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous review) แบบ s,Q ลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะอยู่ภายใต้สมมติฐานและร่วมกับข้อกำหนดต่าง ๆ ของแบบจำลอง คือ ปริมาณความต้องการวัสดุทราบค่าแน่นอน (Deterministic demand) ในแต่ละช่วงเวลา t ในแต่ละช่วงเวลาปริมาณความต้องการไม่เท่ากัน (Dynamic) โดยที่ความต้องการมีลักษณะแบบไม่ต่อเนื่อง และมีปริมาณต่ำ ซึ่งดำเนินการด้วยการสุ่มตัวเลขตามลักษณะการแจกแจงของความต้องการวัสดุจากกระบวนการมอนติคาร์โล ตัวแปรในการตัดสินใจตามแนวทางของตัวแบบ s,Q คือ ปริมาณการสั่งวัสดุในแต่ละช่วงเวลา (Q_t) และจุดสั่งซื้อวัสดุเพิ่มที่ควรกำหนดในแต่ละช่วงเวลา (R_t) และระดับอะไหล่สำรอง (Safety stock หรือ SS) ในการพัฒนาตัวแบบกำหนดสัญลักษณ์ดังนี้

ดัชนี (Indexes)

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

พารามิเตอร์ (Parameters)

$I_{avg,t}$ = จำนวนวัสดุที่มีใน Period t โดยเฉลี่ย (หน่วย)

$I_{int,t}$ = จำนวนวัสดุที่มีในต้น Period t (หน่วย)

$I_{end,t}$ = จำนวนวัสดุที่มีในปลาย Period t (หน่วย)

C_c = ต้นทุนการเก็บรักษาวัสดุ (บาท/หน่วย/หน่วยเวลา)

C_o = ต้นทุนการสั่งซื้อวัสดุ (บาท/หน่วย/หน่วยเวลา)

C_s = ต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ (บาท/หน่วย)

L_t = ช่วงเวลานำการสั่งของวัสดุ (หน่วยเวลา)

d_t = ความต้องการของวัสดุ ใน Period t (หน่วย)

$d_{s,t}$ = ความต้องการวัสดุ ที่ตอบสนองได้ใน Period t (หน่วย)

M = จำนวนเต็มบวกที่มีค่ามาก เช่น 1,000 เป็นต้น

SS = จำนวนวัสดุเผื่อสำรอง (หน่วย)

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision variables)

$$Z_t = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อทำการสั่งซื้อวัสดุใน Period t} \\ 0 \text{ เมื่อไม่มีการสั่งซื้อวัสดุใน Period t} \end{cases}$$

$$Y_t = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อเกิดการขาดแคลนวัสดุ} \\ 0 \text{ เมื่อไม่เกิดการขาดแคลนวัสดุ} \end{cases}$$

Q_t = จำนวนวัสดุที่สั่งซื้อใน Period t (หน่วย)

R_t = จุดสั่งซื้อเพิ่มของวัสดุในช่วงเวลา t (หน่วย)

B_t = จำนวนวัสดุที่ขาดในช่วงเวลาที่ t (หน่วย)

การสร้างตัวแบบมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการจัดการรวมต่ำที่สุดและมีระดับให้บริการโดยรวม (Service level) ตลอดช่วงการวางแผนมีค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ประเมินผลด้วยตัวแบบ MILP กรณีที่พิจารณาจำนวนวัสดุเพียงชนิดเดียว คือ วัสดุพรีเพล็ก ซึ่งการสร้างตัวแบบจะใช้เพียง Index t แต่หากพิจารณาจำนวนวัสดุ มากกว่า 1 ชนิด ภายใต้กรอบระยะเวลาการวางแผนมากกว่า 1 ช่วงเวลา การสร้างตัวแบบจะใช้ Index ทั้ง i และ t สามารถแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้ (Wachum, & Amaruchkul, 2016)

$$TC_{min} = \sum_{t=1}^{T} \left[C_c \cdot I_{avg,t} + C_o \cdot Z_t + C_s \cdot Y_t \right] \quad (3\text{-}9)$$

สมการเป้าหมาย (Objective function): จากสมการที่ 3-9 ต้นทุนรวม (Total cost; TC) ประกอบด้วย $C_c \cdot I_{avg,t}$ แทนต้นทุนการเก็บรักษาวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา t โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 13.43% ของราคาวัสดุต่อสัปดาห์ $C_o \cdot Z_t$ แทนต้นทุนการสั่งซื้อวัสดุ ถ้ามีการสั่งในช่วงเวลาที่ t ใด ๆ และ $C_s \cdot B_t$ แทนต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา t เมื่อกำหนดค่าใช้จ่ายของการขาดมีค่าคงที่เท่ากับ C_s

เงื่อนไข (Constraints): ต้นทุนรวม (TC) จะประเมินภายใต้เงื่อนไขของจำนวนวัสดุเฉลี่ยต่อช่วงเวลา (สมการที่ 3-10) การส่งต่อของวัสดุคงคลังระหว่างช่วงเวลา t (สมการที่ 3-11)

การไหลที่สมดุล (Balance) ของวัสดุเข้าและออกในแต่ละช่วงเวลา (สมการที่ 3-12) การสั่งและการกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังสำรอง (สมการที่ 3-13, 3-14) และ (สมการที่ 3-15)

เงื่อนไขที่ 1 เป็นจำนวนวัสดุเฉลี่ย ($I_{avg,t}$) ในแต่ละช่วงเวลา t ประเมินจากค่าเฉลี่ยของจำนวนวัสดุที่มี ณ ต้น และ ปลายช่วงเวลา t ดังสมการที่ 3-10

$$I_{avg,t} = \frac{I_{int,t} + I_{end,t}}{2} \tag{3-10}$$

เงื่อนไขที่ 2 เป็นจำนวนวัสดุคงเหลือเมื่อสิ้นช่วงเวลา t จะเป็นจำนวนวัสดุที่พร้อมใช้งาน ณ ช่วงต้นเวลาที่ t+1 ตามความสัมพันธ์ดังสมการ 3-11

$$I_{int,t} = I_{end,t} + Q_{t-L} \tag{3-11}$$

เงื่อนไขที่ 3 เป็นการไหลเข้าต้องเท่ากับการไหลออกของจำนวนวัสดุในแต่ละช่วงเวลา t ประกอบด้วยจำนวนวัสดุที่มี ($I_{int,t}$) ปริมาณที่มีการสั่งล่วงหน้าตามช่วงเวลานำและจะได้รับ (Q_{t-L}) จำนวนวัสดุคงเหลือ ($I_{end,t}$) จำนวนวัสดุขาด (B_{t-1}) ซึ่งต้องสมดุลกับ ความต้องการ (d_t) ในแต่ละช่วงเวลา แสดงความสัมพันธ์ดังสมการ 3-12

$$I_{int,t} + Q_{t-L} - I_{end,t} + B_{t-1} = d_t \tag{3-12}$$

ในแต่ละช่วงเวลา จำนวนวัสดุที่คงเหลือ ($I_{end,t}$) รวมกับจำนวนที่สั่งเพิ่ม (Q_t) จะต้องมากกว่า หรือ เท่ากับจุดสั่งซื้อวัสดุ (R_t) ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-13 หากน้อยกว่า R_t จะบังคับให้มีการสั่งซื้อ และเมื่อมีการสั่งซื้อวัสดุ แสดงดังสมการที่ 3-14 โดยจะบังคับให้ตัวแปร Z_t ซึ่งเป็นตัวแปรแบบ {0,1} มีค่าเท่ากับ 1 หรือเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการสั่งซื้อ และเมื่อมีเกิดการขาดแคลนวัสดุ แสดงดังสมการที่ 3-15 โดยจะบังคับให้ตัวแปร Y_t ซึ่งเป็นตัวแปรแบบ {0,1} มีค่าเท่ากับ 1 หรือเท่ากับ 0 เมื่อไม่เกิดการขาดแคลนวัสดุ นอกจากนี้ยังต้องกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังสำรอง (SS) ตามนโยบาย และกำหนดให้จุดสั่งซื้อในแต่ละช่วงเวลาต้องไม่ต่ำกว่าระดับ SS นี้ ดังสมการที่ 3-16

$$I_{int,t} + Q_t \geq R_t \tag{3-13}$$

$$Q_t \leq M \cdot Z_t \quad (3\text{-}14)$$

$$B_t - MY_t \leq 0 \quad (3\text{-}15)$$

$$R_t \geq ss \quad (3\text{-}16)$$

ปริมาณการสั่ง (Q_t) จุดสั่งซื้อ (R_t) จะส่งผลต่อความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการในแต่ละช่วงเวลา t หรือระดับการให้บริการ (SL) โดยสามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของความต้องการที่ตอบสนองได้ ($d_{s,t}$) ต่อความต้องการทั้งหมด (d_t) ซึ่งจะประเมินเมื่อเสร็จสิ้นตามช่วงเวลาที่งานวิจัยนี้วางแผนงาน 52 สัปดาห์ แสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3-17

$$SL \cdot \sum_{t=1}^{T} d_t - \sum_{t=1}^{T} d_{s,t} = 0 \quad (3\text{-}17)$$

เปรียบเทียบนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังประเภทคอมโพสิต

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 4 นโยบายที่กล่าวข้างต้น กรณีไม่ทราบความต้องการวัสดุพรีเพล็ก ผู้วิจัยเสนอใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ด้วยทฤษฎี Monte carlo simulation จำลองสถานการณ์ความต้องการใช้วัสดุพรีเพล็กของระบบที่ค่าของตัวแปรเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นต่าง ๆ กัน โดยใช้เลขสุ่มเป็นเครื่องมือผ่านโปรแกรม Microsoft excel พยากรณ์ล่วงหน้า 52 สัปดาห์ หรือ 1 ปี พร้อมทดสอบรอบการจำลองสถานการณ์ โดยทำซ้ำเพื่อการยอมรับ N หรือยอมรับข้อมูลดังกล่าว

ส่วนตัวแบบจำลอง MILP จะวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) ด้วยการใช้ Opensolver 2.9.0 ผ่านโปรแกรม Microsoft excel โดยสร้างขึ้นภายใต้สมมติฐานที่ทราบความต้องการจึงเป็นโปรแกรมเชิงเส้น และค่าความต้องการประเมินจากการสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โลเช่นเดียวกับทั้ง 4 นโยบายที่ผู้วิจัยเสนอ โดยประเมินจากดัชนีค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) อย่างเหมาะสม ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในบทที่ 4 ต่อไป

เลือกนโยบายและเสนอแนวทางการประยุกต์กับบริษัทกรณีศึกษา

จากการประเมินผลลัพธ์ของนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่นำเสนอ 4 นโยบาย ผู้วิจัยเลือกนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่มีต้นทุนต่ำสุด และมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) อีกทั้งมองถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและการนำไปประยุกต์ใช้กับบริษัทกรณีศึกษา พร้อมสรุปผลการดำเนินการ

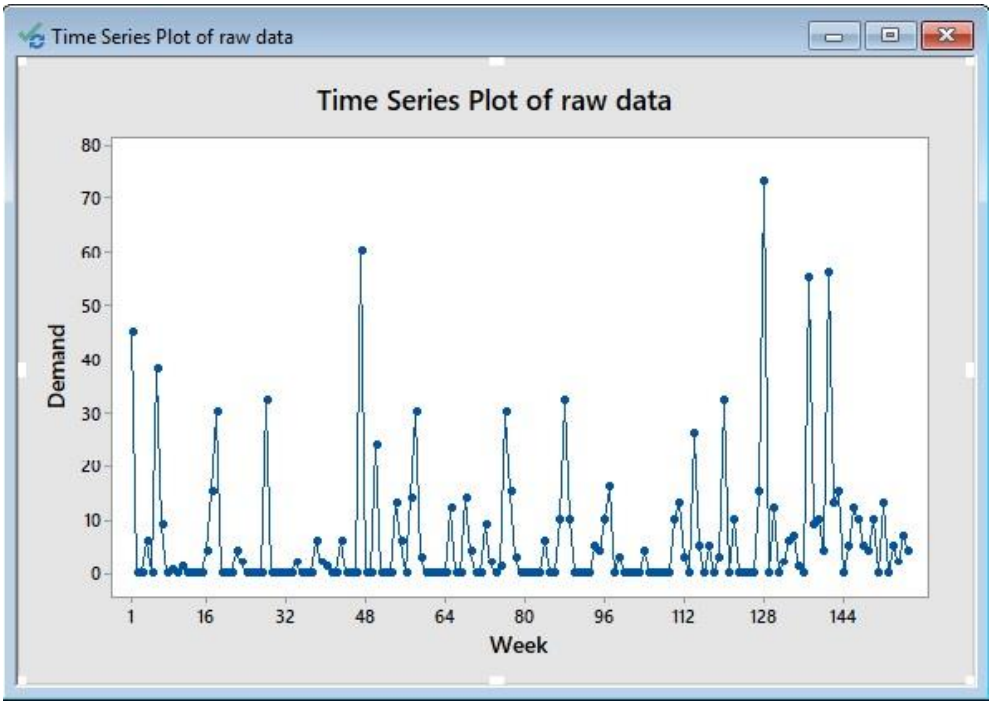
บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเสนอแนวทางการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กในบทที่ 4 กล่าวถึงผลวิเคราะห์จากการดำเนินการศึกษานโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง 2 กรณี คือ กรณีไม่ทราบความต้องการ ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S) นโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T,s,S และ กรณีที่ทราบความต้องการได้ประยุกต์ตัวแบบพลวัต (Dynamic lot sizing) คือ ตัวแบบจำลอง Mixed integer linear programing (MILP) เพื่อประเมิน Lot size การสั่งซื้อที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) พร้อมเปรียบเทียบกับผลลัพธ์แต่ละนโยบาย โดยเลือกใช้ข้อมูลตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ทั้งนี้รายละเอียดของผลลัพธ์จะแสดงตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมข้อมูลความต้องการ

เก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการ

ผู้วิจัยได้ขอข้อมูลที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์และประเมินจากผู้มีอำนาจรับผิดชอบของบริษัทกรณีศึกษาโดยตรง เช่น ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการสั่งซื้อ และค่าใช้จ่ายการจัดเก็บรักษา รวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณความต้องการใช้งานในอดีต (Historical demand) ของวัสดุพรีเพล็กย้อนหลัง 3 ปี (มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559) รวมทั้งสิ้น 157 สัปดาห์ จากโปรแกรม Syteline ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการจัดเรียงข้อมูลใหม่เป็นตารางสรุปความต้องการใช้งานของวัสดุ ดังภาคผนวก ก ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ปริมาณความต้องการใช้งานในอดีตของวัสดุพรีเพล็กทั้งหมด 157 สัปดาห์

วิเคราะห์พฤติกรรมการแจกแจงของข้อมูลความต้องการ

ผู้วิจัยนี้ได้นำข้อมูลปริมาณความต้องการใช้งานในอดีตของวัสดุพรีเพล็กย้อนหลัง 3 ปี แบบรายสัปดาห์ ดังภาพที่ 4-1 ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Input analyzer จากโปรแกรม ARENA เพื่อประเมินรูปแบบของพฤติกรรมที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ $\alpha = 0.05$ ซึ่งจากผลวิเคราะห์แสดงพฤติกรรมการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลปริมาณความต้องการทุกรูปแบบการแจกแจง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Squared error) ที่น้อยที่สุดของข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบ BETA ดังภาพที่ 4-2

จากผลวิเคราะห์การแจกแจงแบบ BETA เมื่อนำข้อมูลไปทดสอบสมมติฐานการกระจายตัว โดยมีสมมติฐานดังนี้

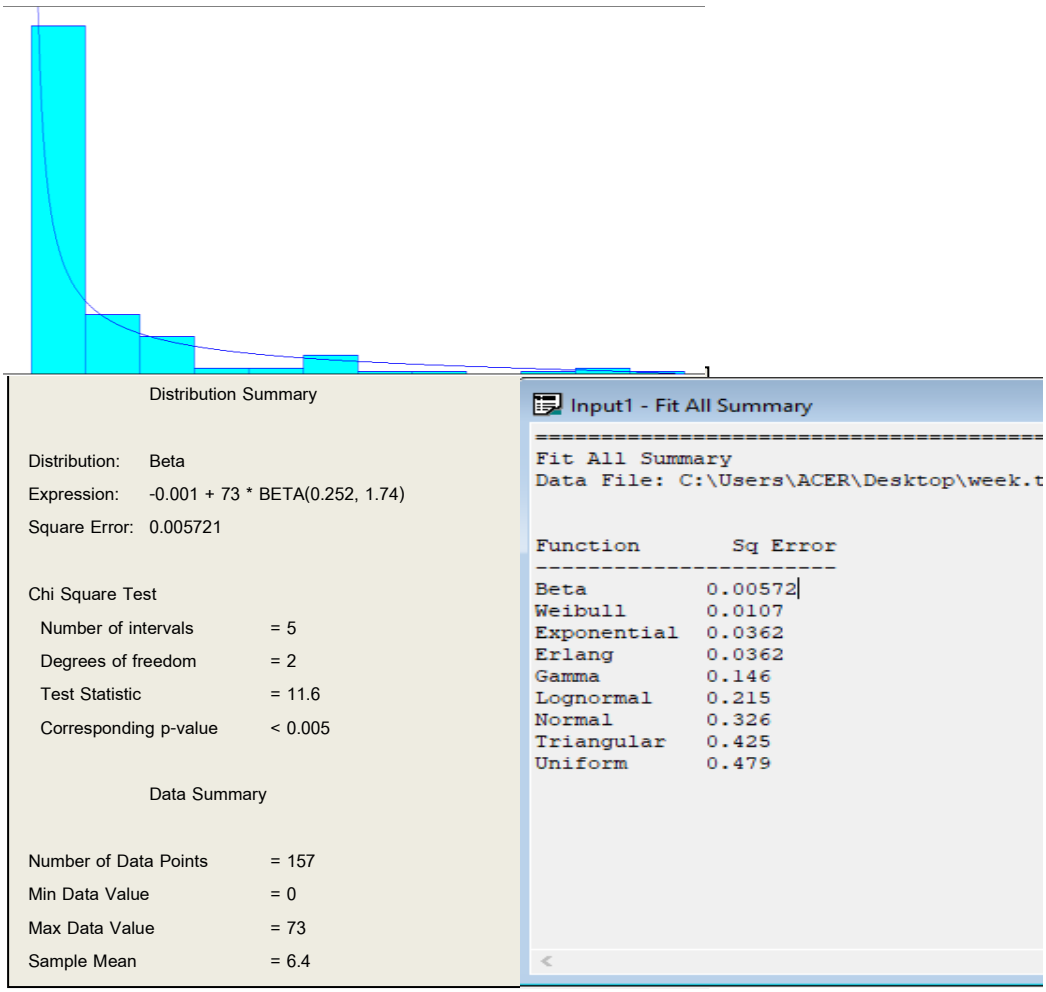
H_0 : ข้อมูล X(i) แจกแจงแบบ BETA

H_1 : ข้อมูล X(i) ไม่แจกแจงแบบ BETA

โดยที่

X(i) คือ ข้อมูลความต้องการใช้งานในอดีตแบบรายสัปดาห์

P-value คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะสังเกตได้



ภาพที่ 4-2 ผลทดสอบสมมติฐานพฤติกรรมการแจกแจงแบบ BETA

ผลทดสอบสมมติฐานโดยวิธีการทดสอบแบบ Chi square test แสดงค่า P-value 0.005 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า จากผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวไม่เป็นแบบ BETA แสดงดังภาพที่ 4-2 สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลไม่มีพฤติกรรมการแจกแจงเป็นแบบใดแบบหนึ่งเลย สังเกตได้ชัดเจนว่าความต้องการของวัสดุพรีเพล็กเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเชิงประจักษ์ (Empirical distribution) หรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete probability distribution) แทนลักษณะข้อมูลที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability distribution) โดยใช้การแจกแจงความถี่ของข้อมูลดังภาพที่ 4-2

สร้างตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรสุ่ม

ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล เพื่อประเมินปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมนั้น จะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขของตัวเลขสุ่มจากข้อมูลความต้องการในอดีต ซึ่งงานงานวิจัยนี้ สร้างตัวเลขสุ่มเพื่อใช้แทนเหตุการณ์ความต้องการใช้วัสดุ ที่เกิดขึ้นจากความถี่ (Frequency) ของความต้องการในปริมาณต่าง ๆ นำมาเรียงขนาดจากมากไปน้อย โดยพิจารณาตามจำนวนครั้งที่เกิดขึ้น ที่จำนวนเท่าไร แล้วประเมินความน่าจะเป็นของข้อมูลความต้องการในปริมาณต่าง ๆ (Probability distribution, *f(Xi)*) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น และหาสัดส่วนสะสมของความน่าจะเป็น (Cumulative distribution functions, F(Xi)) พร้อมกำหนดช่วงของตัวเลขสุ่ม เพื่อใช้จำลองสถานการณ์ความต้องการของวัสดุพรีเพล็กดังภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 การแจกแจงความถี่ของข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete distribution)

ความต้องการ (Xi)	จำนวนครั้ง	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
0	80	0.51	0.51	$R \leq 0.51$
0.5	1	0.01	0.52	$0.51 \leq R \leq 0.52$
1	4	0.03	0.54	$0.52 \leq R \leq 0.54$
2	6	0.04	0.58	$0.54 \leq R \leq 0.58$
3	5	0.03	0.61	$0.58 \leq R \leq 0.61$
4	8	0.05	0.66	$0.61 \leq R \leq 0.66$
5	6	0.04	0.70	$0.66 \leq R \leq 0.70$
6	6	0.04	0.74	$0.70 \leq R \leq 0.74$
7	2	0.01	0.75	$0.74 \leq R \leq 0.75$
9	3	0.02	0.77	$0.75 \leq R \leq 0.77$
10	8	0.05	0.82	$0.77 \leq R \leq 0.82$
12	3	0.02	0.84	$0.82 \leq R \leq 0.84$
13	4	0.03	0.87	$0.84 \leq R \leq 0.87$
14	2	0.01	0.88	$0.87 \leq R \leq 0.88$
15	4	0.03	0.90	$0.88 \leq R \leq 0.90$
16	1	0.01	0.91	$0.90 \leq R \leq 0.91$
24	1	0.01	0.92	$0.91 \leq R \leq 0.92$

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

ความต้องการ (Xi)	จำนวนครั้ง	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
26	1	0.01	0.92	$0.92 \leq R \leq 0.92$
30	3	0.02	0.94	$0.92 \leq R \leq 0.94$
32	3	0.02	0.96	$0.94 \leq R \leq 0.96$
38	1	0.01	0.97	$0.97 \leq R \leq 0.97$
45	1	0.01	0.97	$0.97 \leq R \leq 0.97$
55	1	0.01	0.98	$0.97 \leq R \leq 0.98$
56	1	0.01	0.99	$0.98 \leq R \leq 0.99$
60	1	0.01	0.99	$0.98 \leq R \leq 0.99$
73	1	0.01	1.00	$0.99 \leq R$
รวม	157			

จากข้อมูลความต้องการในอดีต (Xi) ผู้วิจัยวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์โดยการสร้างตัวเลขสุ่มจากโปรแกรม Microsoft excel ด้วยคำสั่ง = Rand () เพื่อทำการสร้างความต้องการใหม่ (Demand Generation) แบบรายสัปดาห์ ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากเงื่อนไขตัวเลขสุ่มด้วยชุดคำสั่ง VLOOKUP (lookup_value,table_array,col_index_num,range_lookup) ตามหลักการของกระบวนการมอนติคาร์โล สุ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูล (n) ใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่อไป

ผลการประเมินต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง

ต้นทุนการจัดการของวัสดุพรีเพล็กที่กล่าวข้างต้น สามารถอธิบายอย่างละเอียดดังต่อไปนี้ ต้นทุนการสั่งซื้อ (Ordering cost) สำหรับต้นทุนการสั่งซื้อนั้นจะนับรวมตั้งแต่ผู้ใช้งานมีความต้องการใช้สินค้า หลังจากที่ทางแผนกจัดซื้อทำการออกใบสั่งซื้อของสินค้าดังกล่าว เริ่มดำเนินการเตรียมเอกสารเพื่อ โอนจ่ายชำระเงินต่างประเทศ และจ่ายชำระค่าบริการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าภาษีนำเข้า ค่าขนส่งภายในประเทศ จนกระทั่งสินค้าที่สั่งซื้อถึงโรงงานถือเป็นอันเสร็จสิ้น (กรณีสินค้าต่างประเทศ) อย่างไรก็ตามกรณีการจัดส่งวัสดุพรีเพล็กจำเป็นต้องควบคุมให้อยู่ในอุณหภูมิต่ำจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในส่วนดังกล่าว

ตารางที่ 4-2 ระยะเวลาที่ต้องใช้ต่อคำสั่งซื้อ 1 ครั้ง (คำสั่งซื้อต่างประเทศ)

กิจกรรม	กิจกรรม เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง/ครั้ง)
ขอใบเสนอราคา	4
เจรจาต่อรองและเปรียบเทียบราคา	4
ขออนุมัติสั่งซื้อ	1
ออกใบสั่งซื้อและติดตามสินค้า	6
ตรวจสอบเอกสารนำเข้า	4
ขออนุมัติสั่งจ่าย	1
รวมระยะเวลา	20

การดำเนินการสั่งซื้อสินค้าจากต่างประเทศของบริษัทกรณีศึกษา โดยเริ่มต้นจากการรับคำขอซื้อ (Recognition of need) จากแผนกต่าง ๆ จากนั้นจะทำการติดต่อการซื้อขายหรือหาแหล่งสินค้าหรืองานบริการ เพื่อขอใบเสนอราคา เมื่อได้รับใบเสนอราคาทางฝ่ายจัดซื้อจะดำเนินการเตรียมเอกสาร และยื่นขออนุมัติการสั่งซื้อกับทางบริษัท หากเรื่องจัดซื้อถูกอนุมัติฝ่ายจัดซื้อต้องติดตาม และเร่งรัดการสั่งซื้อ (Follow-up and/or expediting of the order) รับสินค้าตรวจสอบสินค้าและงานบริการ (Receipt and inspection of goods) ตรวจสอบรายการใบส่งสินค้าและดำเนินการชำระเงิน (Invoice clearing and payment) จนกระทั่งเก็บบันทึกข้อมูลจัดซื้อและรักษาความสัมพันธ์ผู้ส่งมอบ ตามลำดับ โดยระยะเวลาแต่ละขั้นตอนที่กล่าวดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-3 ค่าใช้จ่ายโดยรวมด้านจัดซื้อ ปี 2560

กิจกรรม	จำนวนเงิน (USD)/ปี
เงินเดือนพนักงานรวมฝ่ายจัดซื้อ (Y_1)	$221,720
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Y2)	$67.45 /ครั้ง
- ค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร (X_1) เท่ากับ $9,045 ต่อปี	
- ค่าใช้จ่ายทางการโอนเงินชำระหนี้ (X_2) เท่ากับ $4,214.78 ต่อปี	
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (X_3) เท่ากับ $20,467.34 ต่อปี	
ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Y_3)	$240/ครั้ง

<u>หมายเหตุ</u>: ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ประกอบด้วยค่าขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการตรวจรับของและเอกสาร ค่าธรรมเนียมการนำของออกจากศุลกากร และสำหรับกรณีขนส่งวัสดุพรีเพล็กทุก ๆ ครั้ง มีค่าใช้จ่ายเก็บรักษาขณะขนส่ง ที่ประกอบด้วย ค่าน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) และค่าเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Temperature recorder) เป็นต้น

ข้อมูลการนำเข้าวัสดุทั้งหมดที่ดำเนินการต่อปี มีรายละเอียดดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการนำเข้าของวัสดุคงคลัง

รายการ	จำนวน
ปริมาณการนำเข้าสินค้าทั้งหมดเฉลี่ยต่อปี/	580 ประเภท
จำนวนในการสั่งซื้อเฉพาะสินค้านำเข้าเฉลี่ยต่อปี**/	2,900 ครั้ง
จำนวนในการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี	6 ครั้ง
จำนวนวันทำงานต่อ	30 วัน

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายจัดซื้อในตารางที่ 4-2 ถึง ตารางที่ 4-4 สามารถแสดงการประเมินค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อ (Ordering cost) ที่ประกอบด้วย เงินพนักงานรวมฝ่ายจัดซื้อ (Y_1), ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Y_2), ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Y_3) โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อต่อครั้ง ดังนี้

ค่าแรง = ($221,720 / (12 x 30 วัน x 8 ชั่วโมง x 18 คน) = 4.28 USD/ชั่วโมง จากตารางที่ 4-2 กรณีเป็นคำขอซื้อต่างประเทศใช้ระยะเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง/ครั้ง

จะได้ Y_1 = ($4.28/ชั่วโมง) x (20 ชั่วโมง/ครั้ง) = 85.6 USD/ครั้ง ≈ 2,837.64 บาท/ครั้ง

จากตารางที่ 4-4 จะได้สัดส่วนจำนวนครั้งที่สั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี = จำนวนรอบการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี/ จำนวนรอบการสั่งเฉพาะสินค้านำเข้าเฉลี่ยต่อปี

สัดส่วนจำนวนครั้งที่สั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี = $\frac{6}{2,900} = 0.002 \approx 0.2\%$

จากข้อมูลในตารางที่ 4-3 จะได้

$Y_2 = (X_1 + X_3 + X_2)$ x สัดส่วนจำนวนครั้งที่สั่งซื้อวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี

= ($33,727.12/ปี) x (0.002 ปี/ครั้ง) = 67.45 USD/ครั้ง ≈ 2,236.11 บาท/ครั้ง

ดังนั้นจะได้

Ordering cost = $Y_1 + Y_2 + Y_3$

= 85.6 + 67.45 + 240 = 393.05 USD/ครั้ง ≈ 13,000 บาท/ครั้ง

หมายเหตุ: ดอลลาร์สหรัฐ หรือ US Dollar (ตัวย่อว่า USD และสัญลักษณ์ $) เท่ากับ 33.15 บาท ณ วันนี้ที่ 21 ตุลาคม 2560.

**จำนวนการสั่งเฉพาะสินค้านำเข้าเฉลี่ยต่อปี ผู้วิจัยทำการประเมินจากการสั่งซื้อของวัสดุพรีเพล็กเฉลี่ยต่อปี ซึ่งในทางปฏิบัติบริษัทกรณีศึกษาจะทำการสั่งสินค้านำเข้าพร้อมกัน หลาย ๆ ตัว เพื่อต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย

ต้นทุนการเก็บรักษา (Carrying cost) เป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับฝ่ายพัสดุของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้นำค่าใช้จ่ายดังกล่าวเทียบกับมูลค่าของวัสดุคงคลังปี 2560 เพื่อให้ทราบสัดส่วนของค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับประเมินต้นทุนการเก็บรักษา โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนการเก็บรักษา (บาท/หน่วย/ปี)

ค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (USD)/ปี	คิดเป็นร้อยละของมูลค่าคงคลัง
เงินเดือนรวมพนักงานฝ่ายพัสดุ	$70,682.23	3.92%
ค่าขนเคลื่อนย้ายสินค้าภายในโรงงาน	$18,943.89	1.05%
ค่าเบี้ยประกันภัยคลังสินค้า	$9,834.09	0.54%
ค่าใช้จ่าย	**จำนวนเงิน (USD)/ปี**	**คิดเป็นร้อยละของมูลค่าคงคลัง**
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	$8,253.00	0.46%
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้		4.58%
อัตราการเกิดของเสีย (Scrap rate)	$51,873.25	2.88%
มูลค่าคงคลัง ปี60	$1,801,872	100.00%
รวมคิดค่าใช้จ่าย (%)	13.43% (ต่อราคาสินค้า)	

สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการเก็บรักษา (บาท/หน่วย/ปี) ได้ดังนี้

$$H = iC$$

$$H = 0.1343 \text{x} C = 0.1343 \text{x} 1,225.75$$

$$H = C_c = 168.65 \text{ บาท/หน่วย/ปี}$$

หรือ $$H = C_c = \frac{168.65}{52} = 3.24 \text{ บาท/หน่วย/สัปดาห์}$$

ต้นทุนการขาดแคลน (Storage cost) เป็นต้นทุนที่เกิดจากการมีสินค้าหรือวัตถุดิบไม่เพียงพอสำหรับความต้องการใช้งาน ทำให้กิจกรรมหรือการปฏิบัติการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต้องหยุดไป ได้แก่ ค่าเสียโอกาสที่เกิดจากไม่มีวัตถุดิบเพียงพอต่อการซ่อมเครื่องยนต์ของเครื่องบินในบริษัทกรณีศึกษา ทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ลูกค้าจะทำการซื้อขายหรือส่งซ่อมกับรายอื่น ๆ แทน ทั้งนี้การประเมินค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนที่เกิดจากการขาดแคลนวัสดุคงคลังนั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากโรงงานมีการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องและต่อเนื่องกันหลายหน่วยงาน ดังนั้นต้นทุนขาดแคลนจึงไม่มีการกำหนดเป็นค่าใช้จ่าย ดังนั้นในกรณีศึกษานี้ได้ประเมินค่าใช้จ่ายในส่วนนี้โดยการประเมินจากผู้มีอำนาจรับผิดชอบของบริษัท ที่ซึ่งประเมินเพียงในงานซ่อมบำรุงชุด Thrust reversers เพราะเป็นส่วนที่ใช้วัสดุพรีเพล็กในการซ่อมบำรุง ทั้งนี้ราคาการซ่อมบำรุงชุด Thrust reversers จะอยู่ที่ประมาณ 30,000 USD $\approx$ 1,000,000 บาท กรณีหากเกิดเหตุการขาดแคลนวัสดุ ผู้มีอำนาจรับผิดชอบของบริษัทกรณีศึกษาประเมินไว้ที่ 0.5% ของราคาซ่อมบำรุง Thrust reversers ทั้งชุด เท่ากับ 50,000 บาท

จากหัวข้อการประเมินต้นทุนการจัดการของวัสดุพรีเพล็กที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ต้นทุนการจัดวัสดุคงคลัง

ต้นทุนการจัดการ	บาท
Carrying Cost (per unit per week)	3.24
Ordering Cost (per order)	13,000
Shortage Cost (per times)	50,000.00
Price (per unit)	1255.75

ผลวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ

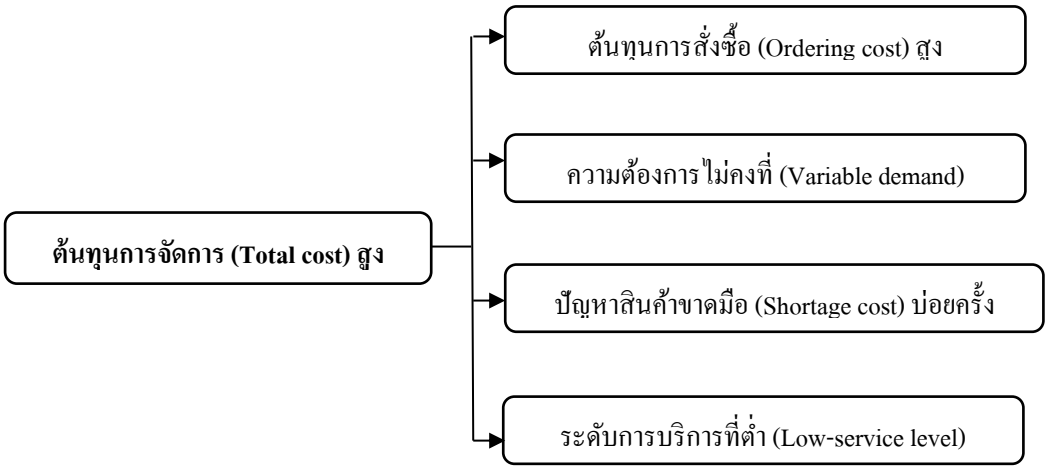
จากการประเมินต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังดังตารางที่ 4-6 ผู้วิจัยนำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินต้นทุนรวมวัสดุคงคลังตามนโยบายการจัดการของบริษัท โดยใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้งานในอดีตของวัสดุพรีเพล็กย้อนหลัง 3 ปี (มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559) รวมทั้งสิ้น 157 สัปดาห์ ด้วยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) บนโปรแกรม Microsoft excel ดังภาคผนวก ก ผลการประเมินพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (Total cost) มีค่าเท่ากับ 387,289.44 บาทต่อ 3ปี เฉลี่ยปีละ 129,096.48 บาท และ Service level 93% และเกิดค่าใช้จ่ายสินค้าขาดมือถึง 4 ครั้ง เป็นจำนวนเงินประมาณ 200,000 บาท แสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 สรุปต้นทุนรวมวัสดุคงคลังตามนโยบายการจัดการของบริษัทกรณีศึกษา

Material	Min	Max	Demand/year	Cost (บาท/ปี)	Shortage (ครั้ง)
วัสดุพรีเพล็ก	30	90	341	129,096.48	4

จากตารางที่ 4-7 พบปัญหาที่เป็นไปได้ตามการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยสามารถระบุปัญหาที่พบ คือ ต้นทุนการจัดการ (Total cost) สูง เกิดจากปัญหาต่าง ๆ เช่น ต้นทุนการสั่งซื้อสูง เกิดปัญหาสินค้าขาดมือ (Shortage cost) บ่อยครั้ง เนื่องจากความต้องการไม่คงที่ (Variable demand) ซึ่งส่วนใหญ่ช่วงเวลาความต้องการมีค่าเป็น 0 หมายถึงในช่วงเวลาอาจไม่มีความต้องการใช้งาน นโยบายปัจจุบันมีระดับวัสดุคงคลังสำรอง (Safety stock) ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร และระดับ

การบริการที่ต่ำ (Low-service level) ที่ซึ่งส่งผลทางอ้อมต่อบริษัท ในเรื่องของความน่าเชื่อถือและอาจจะทำให้เสียลูกค้าได้ รายละเอียดดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 แผนผังการวิเคราะห์ปัญหาประสิทธิภาพของการจัดการวัสดุพรีเพล็ก

การประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง

จากปริมาณความต้องการของตัวอย่างข้อมูลเดิม ดังภาคผนวก ก พบว่า ค่าความต้องการเฉลี่ย ($\bar{D}$) เท่ากับ 6.4 หน่วยต่อสัปดาห์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 12.28 หน่วยต่อสัปดาห์ สามารถนำมาคำนวณหาการสั่งซื้อที่ประหยัด และการคำนวณจุดสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยไม่ได้คำนึงถึงพฤติกรรมการแจกแจงความต้องการของวัสดุพรีเพล็กดังนี้

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,Q)

นโยบายนี้วิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อ Q ด้วยการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ; Q) จากสมการที่ 3-4 และคำนวณค่าจุดสั่งซื้อ (ROP; s) สมการที่ 3-5 โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (C_o) เท่ากับ 13,000 บาท/ ครั้ง และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (C_c) เท่ากับ 3.24 บาท/หน่วย/สัปดาห์ ดังตารางที่ 4-6

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด EOQ จากสมการที่ 3-4 โดยใช้ข้อมูลความต้องการของวัสดุพรีเพล็ก แสดงการคำนวณ ดังนี้

$$Q=EOQ = \sqrt{\frac{2C_oD}{C_c}}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times 13000 \times 6.4}{3.24}}$$

$$= 226.62 \approx 227 \text{ ฟุต/ครั้ง}$$

โดยที่

EOQ หรือ (Q*) คือ ขนาดการสั่งซื้อต่อครั้งที่ประหยัด (หน่วย)

D คือ อุปสงค์หรือความต้องการสินค้าต่อปี (หน่วย)

Co คือ ต้นทุนการสั่งซื้อ/ครั้ง (บาท)

Cc คือ ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)

Q คือ ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (หน่วย)

และประเมินจุดสั่งซื้อกรณีที่ความต้องการไม่คงที่ (Variable demand) โดยสมการทางทฤษฎีต่าง ๆ ข้างต้นจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ภายใต้ข้อสมมติฐาน คือ ความต้องการสินค้าในระหว่างรอบการเติมเต็มสินค้าหรือเวลานำ (ซึ่งสมมติให้มี ค่า LT คงที่เท่ากับ 1 สัปดาห์) แสดงตัวอย่างการคำนวณดังนี้

จากสมการที่ 3-5; $ROP = \bar{D} \cdot LT + Z\sigma_d\sqrt{L}$

$$ROP = (6.4) \times (1) + 1.65(12.28)\sqrt{1}$$

$$ROP = s \approx 26 \text{ ฟุต}$$

โดยที่

ROP คือ จุดสั่งซื้อใหม่

L คือ ช่วงเวลานำในการสั่งซื้อ (หน่วยเวลา)

σ_d คือ ค่าเบี่ยงเบนของความต้องการ

$\bar{D}$ คือ ความต้องการเฉลี่ย

Z คือ จำนวนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า Z เท่ากับ 1.65.

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,S)

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่มีการตรวจสอบคงคลังแบบต่อเนื่อง โดย กำหนดให้มีการสั่งซื้อสินค้ามาเติมเต็มในคลังสินค้าให้มีจำนวนเท่ากับระดับวัสดุคงคลังสูงสุด S หน่วย

เมื่อระดับวัสดุคงคลังลดลงต่ำกว่าจุดสั่งซื้อ s หน่วย จากข้อมูลความต้องการของวัสดุพรีเพล็ก สามารถประเมินระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (s) ได้ดังสมการที่ 3-4 3-6 เช่นเดียวกับนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,Q) จากผลประเมินข้างต้นพบว่าระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (s) มีค่าเท่ากับ 26 ฟุต และปริมาณการสั่งซื้อ (Q) มีค่าเท่ากับ 227 ฟุต สามารถประเมินระดับสินค้าคงคลังสูงสุด (S) ได้ดังสมการ 3-7

จากสมการที่ 3-7 $S = s + Q$

$$S = 26 + 227 = 253 \text{ ฟุต}$$

นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (T,s,S)

นโยบายนี้จะดำเนินการตรวจสอบวัสดุคงคลังตามรอบเวลา T คำนวณจากสมการที่ 3-9 และทำการสั่งซื้อเมื่อมีวัสดุคงคลังน้อยกว่าหรือเท่ากับ s คำนวณจากสมการที่ 3-5 และสั่งซื้อมาเพิ่มในปริมาณที่ S ดังสมการที่ 3-8 โดยใช้ข้อมูลความต้องการของวัสดุพรีเพล็ก

จากข้อมูลความต้องการของวัสดุพรีเพล็กสามารถคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อ (Q) และ จุดสั่งซื้อหรือระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (s) ได้จากสมการที่ 3-4, 3-6 ซึ่งผลประเมินข้างต้นพบว่าปริมาณการสั่งซื้อ (Q) มีค่าเท่ากับ 227 ฟุต และ ระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (s) มีค่าเท่ากับ 26 ฟุต อย่างไรก็ตามสมการที่ 3-9 มีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม คือ ค่า $D_{max,i}$ เป็นค่าปริมาณความต้องการที่มากที่สุดของข้อมูลความต้องการของวัสดุพรีเพล็ก โดยจากผลวิเคราะห์พบว่าค่า D_{max} เท่ากับ 73 ฟุต และ แสดงตัวอย่างการคำนวณตามนโยบาย T, s, S ดังนี้

จากสมการที่ 3-8; $$T = \frac{Q^*}{D_{max}}$$

$$T = \frac{227}{73} \approx 3 \text{ สัปดาห์}$$

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยจำลองสถานการณ์จะพิจารณาเป็นหน่วย สัปดาห์ หมายความว่าจะดำเนินการตรวจสอบวัสดุคงคลังตามรอบเวลา เท่ากับ 3 สัปดาห์ แสดงตัวอย่างการประเมินระดับสินค้าคงคลังสูงสุด (S) ได้ดังสมการ 3-8 ดังนี้

จากสมการที่ 3-8; $S = \bar{d}_{LT+T} + Z\sigma_d\sqrt{L+T}$

$$S = 6.4\,x\,(1+3)+1.65\,x\,12.28\sqrt{1+3}$$

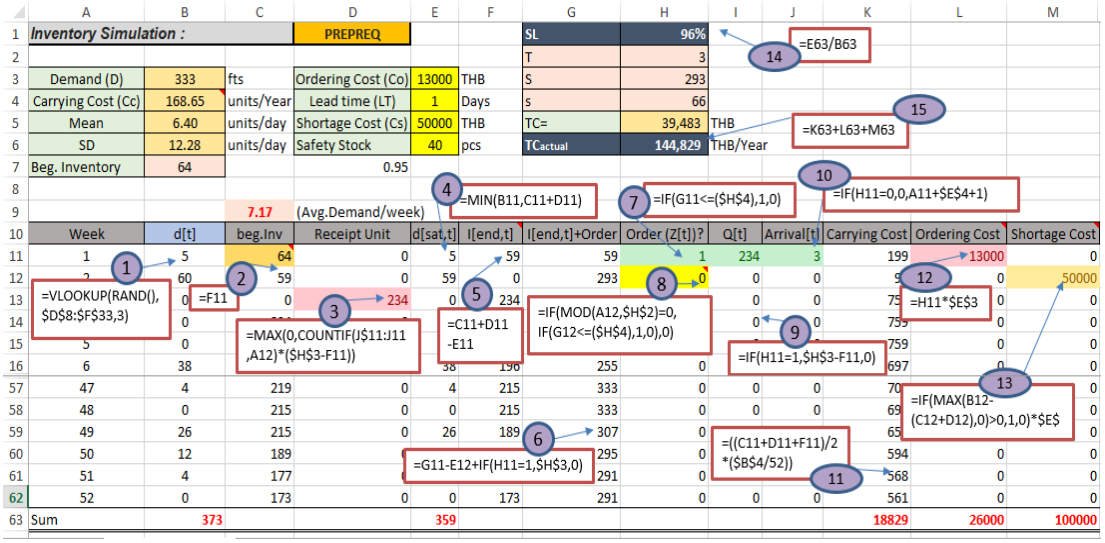
$$S \approx 66 \text{ ฟุต}$$

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินผลลัพธ์

จากข้อมูลการประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง และข้อมูลการประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง ที่กล่าวข้างต้น สามารถนำมาสร้างแบบจำลองสถานการณ์การจัดการวัสดุคงคลังด้วย Microsoft excel เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte carlo process) ของวัสดุพรีเพล็กในรอบเวลาการพิจารณา 52 สัปดาห์ หรือ 1 ปี สำหรับกรณีไม่ทราบความต้องการ โดยจะประเมินผลลัพธ์กับนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ s,Q s,S และ T, s, S สำหรับตัวแบบจำลอง MILP กรณีทราบความต้องการ จะประเมินผลลัพธ์ด้วย Opensolver ซึ่งประเมินจากค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ด้วย Microsoft excel

สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง

นโยบายทั้ง 4 นโยบายประเมินด้วยตัวแบบที่สร้างขึ้นจาก Microsoft excel โดยทั้ง 4 นโยบาย ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S) นโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T,s,S จะใช้เป็นแบบจำลองเพื่อทดสอบการจัดการจัดวัสดุคงคลังจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประเมินหา จุดสั่งซื้อหรือระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (s) ระดับสินค้าคงคลังสูงสุด (S) ปริมาณการสั่งซื้อ (Q) และตามรอบเวลาตรวจสอบวัสดุคงคลัง (T) โดยค่าความต้องการจากพฤติกรรมการแจกแจงในแต่ละ Period จะเป็นค่าสุ่มด้วยกระบวนการมอนติคาร์โล (Monte carlo process) ซึ่งประเมินจากค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนรวม (Total cost) และระดับบริการ (Service level) ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง

จากภาพที่ 4-4 เป็นการสร้างตารางเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์ โดยรายละเอียดและความสัมพันธ์ของตารางแต่ละช่องสามารถอธิบายได้ดังนี้

Week หมายถึง ลำดับของ Period ที่มีการเบิกใช้วัสดุในรอบการจำลองสถานการณ์ 52 สัปดาห์ โดยกำหนดให้คงคลังเริ่มต้นมีค่าเท่ากับจุดสั่งซื้อของแต่ละนโยบาย หรือ มีค่าเท่ากับ s หน่วย

หมายเลขที่ 1 Demand: d[t] หมายถึง ตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้นแทนปริมาณความต้องการที่เกิดขึ้นในแต่ละ Period ด้วยกระบวนการมอนติคาร์โลโดยใช้คำสั่ง Rand()

หมายเลขที่ 2 Beginning inventory: beg.Inv หมายถึง ปริมาณของวัสดุคงคลังต้นงวดของแต่ละ Period จากวัสดุคงคลังปลายงวดที่เหลือของ Period ก่อนหน้า

หมายเลขที่ 3 Receipt unit หมายถึง แสดงการสั่งซื้อสินค้าที่มีการรับเข้าหากมีการสั่งซื้อใน Period ก่อนหน้า แต่สำหรับนโยบาย (s,S) และ (T,s,S) จะพิจารณาปริมาณการสั่งโดยนำค่า Max (S) หักลบกับปริมาณวัสดุคงคลังที่ปลาย Period ก่อนหน้า เพื่อสั่งซื้อวัสดุมาเติมเต็มให้เท่ากับค่า Max ที่กำหนด แสดงสมการดังหมายเลขที่ 9 Q[t]

หมายเลขที่ 4 Demand satisfied: d[sat,t] หมายถึง ปริมาณที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่มีเพียงพอใน Period นั้น ๆ

หมายเลขที่ 5 End inventory: I[end,t] หมายถึง ปริมาณวัสดุคงคลังที่เหลือจากการเบิกจ่ายออกไปในแต่ละ Period โดยมาจากวัสดุคงคลังต้นงวด+ปริมาณรับเข้า–ปริมาณที่เบิกออก หรือมักเรียกว่า วัสดุคงคลังที่ปลายงวด

หมายเลขที่ 6 End inventory+Order: I[end,t]+Order หมายถึง ปริมาณวัสดุคงคลังที่ปลายงวดรวมด้วยปริมาณที่กำลังสั่งซื้อเข้ามาเพิ่ม โดย Period แรกในสมมติฐานเท่ากับ End inventory

หมายเลขที่ 7 Order: Z[t] หมายถึง การกำหนดเงื่อนไขจากปริมาณวัสดุคงคลังที่เหลือหากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับจุดสั่งซื้อที่กำหนด (s) ก็จะทำการสั่งซื้อทันที โดยจะแสดงผลด้วยหมายเลข “1” เพื่อเป็นการยืนยันการสั่งซื้อ แต่ถ้าปริมาณวัตถุดิบเหลือมากกว่าปริมาณจุดสั่งซื้อ จะแสดงผลด้วยหมายเลข “0” ซึ่งหมายถึง ไม่มีการสั่งซื้อใน Period นั้น แต่กำหนดการสั่งซื้อสำหรับนโยบาย (T,s,S) ซึ่งจะมีการสั่งซื้อตามช่วงเวลา (T) ที่กำหนด เมื่อปริมาณวัสดุคงคลังลดลงเหลือน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า s โดยเพิ่มฟังก์ชันกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาวัสดุคงคลัง (MOD) เมื่อถึงเวลาที่ T โดยได้ระบุว่าถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า Period นั้นจะต้องมีการรตรวจสอบวัสดุคงคลัง แสดงสมการดังหมายเลขที่ 8

หมายเลขที่ 10 Arrival[t] หมายถึง ช่วงสัปดาห์ที่สินค้าจะเข้ามาจัดเก็บในคลัง นับจาก Period ที่มีการสั่งซื้อ

หมายเลขที่ 11 Carrying cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

หมายเลขที่ 12 Ordering cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ

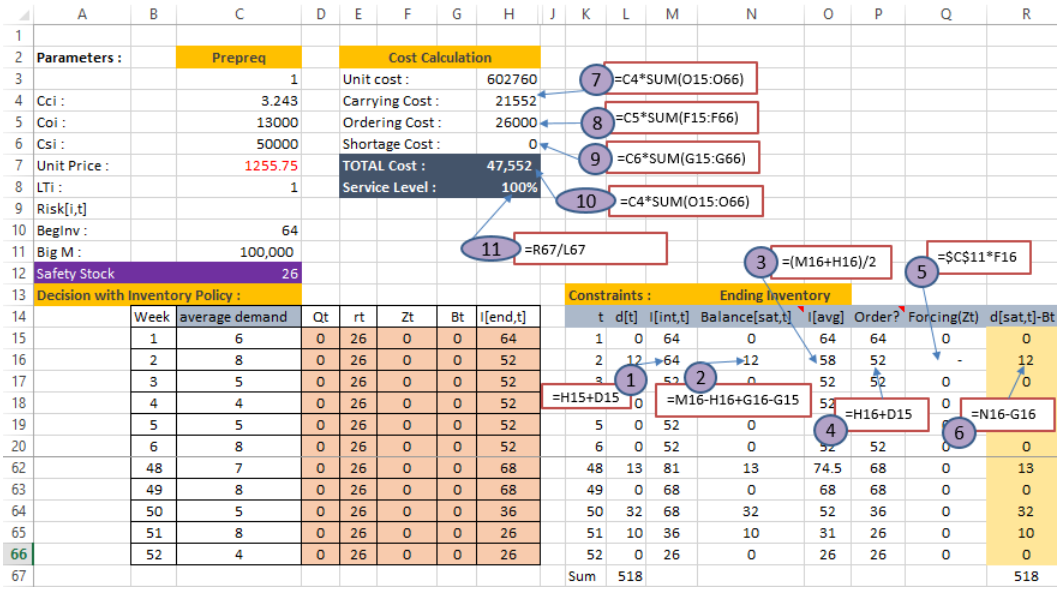
หมายเลขที่ 13 Shortage cost หมายถึง ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อวัสดุขาดมือ โดยจะแสดงผลด้วยจำนวนเงินที่ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดปัญหาวัสดุขาดมือ และ “0” คือ ไม่เกิดปัญหาวัสดุขาดมือ

หมายเลขที่ 14 Total cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายรวม

หมายเลขที่ 15 Service level หมายถึง ระดับการให้บริการ เมื่อใช้ปริมาณสั่งซื้อ และจุดสั่งซื้อตามที่กำหนด เป็นผลมาจากผลรวมของ Demand satisfied หารด้วย ผลรวมของ Demand ที่ทำการซุ่มมา แล้วคูณด้วย 100 เพื่อให้ออกมาอยู่ในรูปของร้อยละ

การประเมินผลลัพธ์ของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MILP

การวิเคราะห์ตัวแบบจำลอง MILP กรณีทราบความต้องการ จะวิเคราะห์ด้วย Opensolver 2.9.0 โดยการระบุค่าปริมาณความต้องการด้วยกระบวนการสุ่มแบบมอนติคาร์โล ตามพฤติกรรมการแจกแจงแบบ Discrete distribution เช่นเดียวกันกับทั้ง 4 นโยบายที่กล่าวข้างต้น และกำหนดให้เป็นความต้องการของแต่ละสัปดาห์ไม่มีความผันแปร แสดงในช่อง d[t] ดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ตัวอย่างแบบจำลองสถานการณ์ MILP

จากภาพที่ 4-5 เป็นการสร้างตารางเพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์ พิจารณาระยะเวลา 52 สัปดาห์ โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมถึงค่าปริมาณความต้องการในแต่ละ Period รายละเอียดและความสัมพันธ์ของตารางแต่ละช่องสามารถอธิบายได้ดังนี้

หมายเลขที่ 1 I[int,t] หมายถึง ปริมาณของวัสดุคงคลังต้นงวดของแต่ละ Period จากวัสดุคงคลังปลายงวดที่เหลือของ Period ก่อนหน้า

หมายเลขที่ 2 Balance[sat,t] หมายถึง ปริมาณวัสดุคงคลังที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่มีเพียงพอ ซึ่งเป็นเงื่อนไขการสมดุลการไหลเข้ากับไหลออก ใน Period นั้น ๆ

หมายเลขที่ 3 I[avg] หมายถึง การประเมินวัสดุคงคลังเฉลี่ยระหว่างต้นและปลาย

หมายเลขที่ 4 Order หมายถึง แสดงเงื่อนไขจำนวนวัสดุคงคลังที่เหลือรวมกับปริมาณที่สั่งซื้อเพิ่มจะต้องมากกว่า หรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ (R_t) หากน้อยกว่าจะบังคับให้มีการสั่งซื้อเพิ่ม

หมายเลขที่ 5 Forcing(Zt) หมายถึง เมื่อมีการสั่งซื้อจะเป็นการบังคับให้ตัวแปร Z_t แสดงผลด้วยหมายเลข “1” หรือแสดงผลด้วยหมายเลข “0” ซึ่งหมายถึงไม่มีการสั่งซื้อ

หมายเลขที่ 6 d[sat,t]-Bt หมายถึง การประเมินการตอบสนองความต้องการวัสดุจริงได้ใน Period นั้น ๆ

หมายเลขที่ 7 Carrying cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

หมายเลขที่ 8 Ordering cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ

หมายเลขที่ 9 Shortage costหมายถึง ประเมินค่าใช้จ่ายเมื่อวัสดุขาดมือ

หมายเลขที่ 10 Total cost หมายถึง การประเมินค่าใช้จ่ายรวม

หมายเลขที่ 11 Service level หมาย ระดับการให้บริการ เมื่อใช้ปริมาณสั่งซื้อ และจุดสั่งซื้อตามที่กำหนด เป็นผลแสดงสัดส่วนของปริมาณความต้องการกับปริมาณที่ตอบสนองความต้องการวัสดุตามรอบระยะเวลาการพิจารณา

การสร้างแบบจำลอง MILP เงื่อนไขเป็นไปตามที่อธิบายในบทที่ 3 จากสมการที่ 3-9 ถึงสมการที่ 3-15 สามารถสรุปตัวแบบ Mixed integer linear programing (MILP) ได้ดังนี้

Objective function :

$$TC_{min} = \sum_{t=1}^{T} \left[C_c \cdot I_{avg,t} + C_o \cdot Z_t + C_s \cdot Y_t \right]$$

Constraints :

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

$$I_{int,t} = I_{end,t-1} + Q_{t-L}$$

$$I_{int,t} + Q_{t-L} - I_{end,t} + B_{t-1} = d_t$$

$$I_{int,t} + Q_t \geq R_t$$

$$Q_t \leq M \cdot Z_t$$

$$B_t - MY_t \leq 0$$

$$R_t \geq ss$$

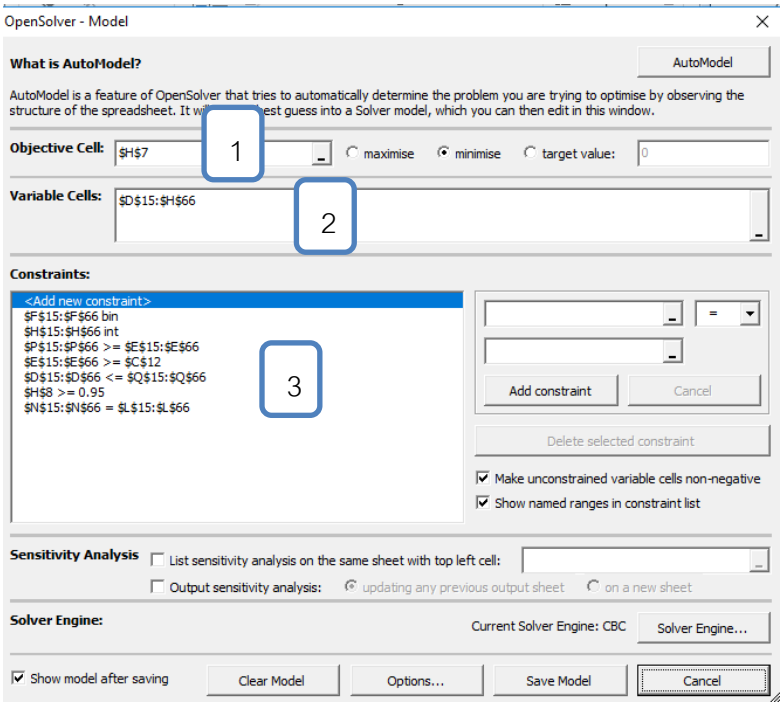
โดย

$$Q_t, I_{int,t}, I_{end,t}, B_t, R_t \geq 0$$

$$Z_t = \{0,1\}$$

$$Y_t = \{0,1\}$$

จากการกำหนดเงื่อนไขในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ข้างต้น สามารถนำใช้ประเมินผลลัพธ์ของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MILP ด้วยเครื่องมือ Opensolver ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขบน Opensolver

จากภาพที่ 4-6 หมายเลขที่ 1 หมายถึง กำหนดให้สมการเป้าหมายเป็น Minimize total cost หมายเลขที่ 2 หมายถึง ตัวแปรตัดสินใจ คือ Q_t , Z_t , $I_{end,t}$, B_t , R_t และหมายเลขที่ 3 หมายถึง การกำหนดเงื่อนไข คือ ระดับให้บริการจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.95 (หรือ 95%) ค่า Q_t และ R_t จะต้องเป็นจำนวนเต็ม จุดสั่งซื้อ R_t ในแต่ละช่วงเวลาต้องไม่ต่ำกว่าระดับ SS ปริมาณการที่ตอบสนองได้ทันเวลาจะต้องเท่ากับปริมาณความต้องการที่กำหนด ค่า Z_t จะต้องเป็นตัวแปรแบบ Binary จำนวนวัสดุคงเหลือที่รวมกับจำนวนที่สั่งเพิ่มจะต้องมากกว่า หรือเท่ากับจุดสั่งซื้อ R_t และกำหนดเงื่อนไขของการสั่งซื้อ โดยการบังคับให้ค่า Z_t มีการทำงาน สำหรับการรันแบบจำลองจะทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ และค่าปริมาณความต้องการ ซึ่งการประเมินค่าใช้จ่ายรวมจะเป็นค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่อปีจากจำนวนรอบการรันทั้งหมด ในขณะที่ระดับให้บริการจะประเมินจากสมการที่ 3-16 เมื่อสิ้นสุดการรันแต่ละรอบ จะนำผลแสดงสัดส่วนของปริมาณความต้องการกับปริมาณที่ตอบสนองความต้องการวัสดุ

ผลทดสอบการรันเบื้องต้น

การวิเคราะห์ผลทดสอบการรันแบบจำลองสถานการณ์ทั้งหมด แบ่งเป็น 4 กรณี จากนโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษาแทนด้วยแบบจำลอง (s,S) หรือ Max-Min และนโยบายที่ผู้วิจัยนำเสนอใหม่ คือ แบบจำลอง (s,s) (s,Q) และ (T,s,S) โดยค่าพารามิเตอร์ s, S และ T ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อการประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4-8 ค่าพารามิเตอร์แต่ละนโยบาย

Material	Policy								
	Current policy(s,S)		s,S		s,Q		T,s,S		
Composite:	s	S	s	S	s	Q	T	s	S
Prepreg	30	90	26	253	26	227	3	27	66

เมื่อสร้างแบบจำลองตามเงื่อนไขของนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เสนอข้างต้น ผู้วิจัยทำการทดสอบการรันแบบจำลองเบื้องต้น โดยใช้หลักการของกระบวนการมอนติคาร์โลสุ่มจำนวนตัวอย่างค่าความต้องการ 52 สัปดาห์ จำนวน 20 ชุดข้อมูล ทดสอบกับทุก ๆ ตัวแบบที่ผู้วิจัยเสนอ แสดงผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม และระดับการให้บริการ ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับการให้บริการ จากการรันแบบจำลองเบื้องต้น 20 ชุด

ตัวเลขสุ่มชุดที่	Current policy (s,S)		s,S		s,Q		T,s,S		MILP model	
	TC	%SL	TC	%SL	TC	%SL	TC	%SL	TC	%SL
1	162,957	98%	100,010	100%	50,320	100%	199,489	90%	38,263	100%
2	176,457	100%	100,996	96%	149,107	90%	271,602	85%	46,170	100%
3	211,842	85%	30,342	100%	101,487	95%	285,273	83%	26,518	100%
4	98,718	100%	53,898	100%	94,133	95%	234,959	83%	28,783	100%
5	152,964	97%	40,826	99%	95,974	100%	122,544	87%	50,160	100%
6	161,156	100%	48,095	90%	5,276	100%	208,723	92%	34,680	100%
7	188,185	100%	101,171	100%	36,927	100%	296,978	92%	40,350	100%
8	124,994	99%	102,969	100%	108,528	96%	334,747	88%	37,237	100%
9	75,057	99%	41,078	96%	100,115	97%	321,712	97%	34,470	100%
10	161,838	100%	37,699	100%	93,639	98%	384,334	82%	40,615	100%
11	262,461	81%	48,158	96%	38,339	91%	422,147	92%	45,327	100%
12	124,731	100%	203,477	100%	93,120	100%	72,819	67%	42,992	100%
13	350,644	83%	50,122	98%	46,287	100%	261,297	85%	47,556	100%
14	49,017	88%	51,979	100%	44,321	89%	186,008	71%	47,552	100%
15	175,382	96%	142,672	100%	34,188	100%	148,005	86%	36,496	100%
16	151,417	100%	137,729	100%	38,647	88%	297,427	74%	41,792	100%
17	76,369	100%	34,144	100%	93,267	100%	335,395	86%	36,251	100%
18	125,125	100%	100,988	90%	100,119	100%	198,764	78%	41,939	100%
19	188,066	86%	158,992	99%	33,339	100%	221,832	91%	45,735	100%
20	49,834	100%	97,202	100%	138,367	100%	646,587	71%	40,246	100%
ค่าเฉลี่ย	153,361	96%	84,127	98%	79,275	97%	272,532	84%	40,157	100%
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	69,635	7%	47,306	3%	34,890	4%	120,573	8%	6,067	0%

การคำนวณรอบการรันที่เหมาะสม

หลังจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์เบื้องต้น จะทำการตรวจสอบว่ารอบการรันจำนวน 20 ชุดข้อมูล มีความเพียงพอหรือไม่ โดยกำหนดให้ดัชนีชี้วัดเป็นค่าใช้จ่ายรวม ทดสอบหารอบการรันที่เหมาะสมด้วยการคำนวณจากสมการที่ 4-1 ยกตัวอย่างการคำนวณจำนวนรอบที่เหมาะสมจากผลรวมค่าใช้จ่ายของนโยบาย s,S (แบบใหม่) จากข้อมูลที่รัน 20 รอบ ในการสั่งซื้อรายการวัสดุพรีเพล็ก (Penpakkol & Intarakumthornchai, 2018)

$$N = \left(\frac{z \times s}{d} \right)^2 \tag{4-1}$$

$$N = \frac{1.65^{\,2} \times 47,306.48^2}{\left(0.05 \times 84,127.28\right)^2} \approx 363 \text{ รอบ}$$

โดยที่

ROP คือ จุดสั่งซื้อใหม่

Z คือ ความเชื่อมั่น 95% ค่า Z เท่ากับ 1.65

S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

D คือ 0.05 × ค่าเฉลี่ยต้นทุนรวม

จากผลการคำนวณประเมินรอบการรันที่เหมาะสมเบื้องต้นพบว่า จำนวนรอบหรือจำนวนชุดข้อมูลที่กำหนดไว้ 20 ชุด ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ผู้วิจัยจึงกำหนดจำนวนรอบการรัน (N) เพิ่มขึ้นจากเดิม 20 รอบ เป็น 500 รอบการทดสอบ สำหรับนโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S) นโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T,s,S แต่กรณีที่ทราบความต้องการ ตัวแบบจำลอง MILP ประเมินผลลัพธ์รอบการรันที่เหมาะสม มีค่ารอบการรัน (N) เท่ากับ 26 รอบ ผู้วิจัยจึงกำหนดจำนวนรอบการรัน (N) เพิ่มขึ้นจากเดิม 26 รอบ เป็น 100 รอบ เพื่อให้เพียงพอต่อการยอมรับ

ผลลัพธ์จากการประเมินนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง

จากผลการประเมินด้วยการรันแบบจำลองทั้งหมด 500 ชุดข้อมูล แสดงค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย (Total cost) และระดับบริการเฉลี่ย (Service level) เพื่อระบุเป็นแนวทางการจัดการวัสดุคงคลังให้มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด และระดับบริการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งหมด 4 นโยบาย ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัทกรณีศึกษา (s,S), นโยบาย s,Q, นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย

T,s,S รวมถึงตัวแบบจำลอง MILP จากการรันแบบจำลองทั้งหมด 100 ชุดข้อมูล สามารถสรุปผลการประเมินได้ดังตารางที่ 4-10 อย่างไรก็ตามผู้วิจัยทำการตรวจสอบว่ารอบการรันว่าเพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์หรือไม่ ยกตัวอย่างการคำนวณจำนวนรอบที่เหมาะสมจากผลรวมค่าใช้จ่ายของนโยบาย (s,Q) จากข้อมูลที่รัน 500 รอบ ในการสั่งซื้อรายการวัสดุพรีเพล็กดังนี้

จากสมการที่ 4-1;

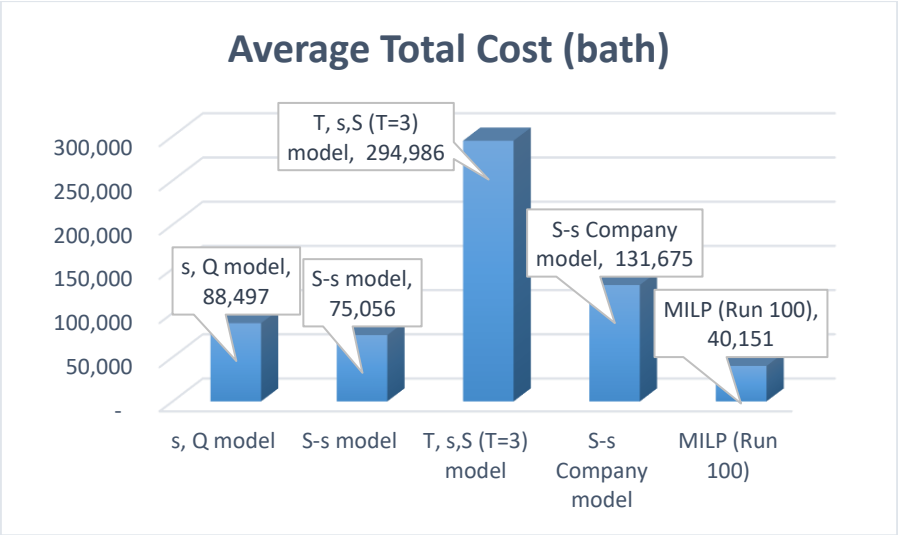
$$N = \left(\frac{z \, x \, s}{d} \right)^2$$

$$N = \frac{1.65^{\,2} \, x \, 48,753^2}{\left(0.05 \, x \, 88,497\right)^2} \approx 328 \text{ รอบ}$$

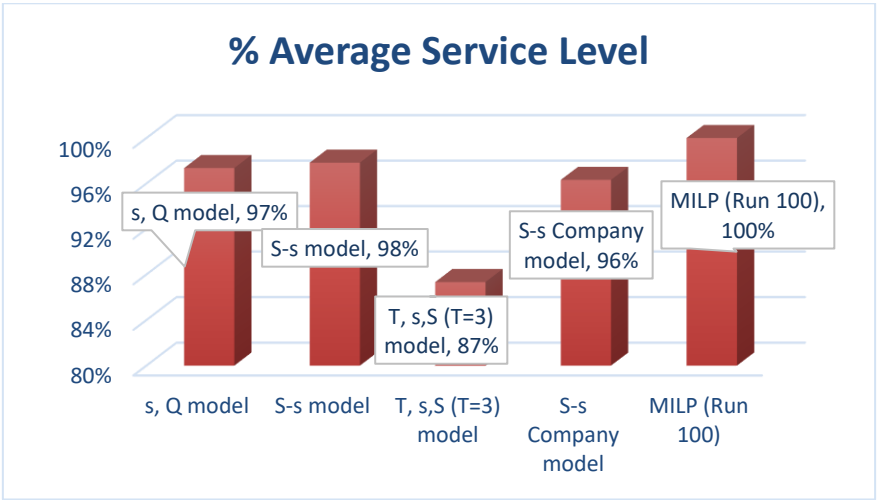
ตารางที่ 4-10 สรุปผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) และระดับการให้บริการ จากการรันแบบจำลองทั้งหมด 500 ชุดข้อมูล และ 100 ชุดข้อมูล

	Material	**Composite material: Prepreg**		
		Average Total Cost (บาท)	**% Average Service Level**	**N (รอบ)**
Control Policy	Company model	131,675.14	96%	271
	s,S	75,056	98%	363
	s,Q	88,497.15	97%	328
	T,s,S	294,986.37	87%	171
	MILP	40,151.00	100%	31
	Best Solution	**MILP**	**MILP**	

จำนวนรอบการรัน (N) เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ทั้ง 4 นโยบายจากตารางที่ 4-10 พบว่ารอบการรันที่มากสุด คือ N = 363 รอบ ดังนั้นการรันจำนวน 500 รอบจึงเพียงพอสำหรับทุกกรณีทดสอบ



ภาพที่ 4-7 กราฟข้อมูลค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยจากการรัน 500 รอบ



ภาพที่ 4-8 กราฟข้อมูลระดับบริการเฉลี่ยจากการรัน 500 รอบ

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยและระดับการให้บริการเฉลี่ย ดังตารางที่ 4-10 จากการรันตัวแบบจำลอง 500 รอบ และตัวแบบจำลอง MILP จากการรันแบบจำลองทั้งหมด 100 รอบ เมื่อนำมาสร้างกราฟดังภาพที่ 4-7 และ 4-8 จะเห็นได้ชัดว่าในกรณีที่ทราบความต้องการตัวแบบ MILP ให้ผลลัพธ์ หรือค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดในรอบการรันทั้งหมด และมีระดับการให้บริการที่สูงสุดจึงถือเป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามตัวแบบ MILP ยังคงมีข้อจำกัดในด้านการกำหนดปริมาณความต้องการที่แน่นอนในช่วงเวลา หรือ ทราบความต้องการล่วงหน้า

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับวัสดุคอมโพสิตประเภทพรีเพล็ก สำหรับใช้ในงานซ่อมบำรุงเครื่องยนต์ทางอากาศยาน เพื่อช่วยวางแผนการสั่งซื้อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด และมีระดับการให้บริการที่เหมาะสม จากผลการศึกษาการจัดการวัสดุคงคลังในบริษัทกรณีศึกษา มีปริมาณการใช้วัสดุสนับสนุนการซ่อมบำรุงที่ไม่แน่นอน จากข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559 โดยวิธีการสั่งซื้อวัสดุคงคลังนั้นจะอาศัยนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังแบบ (s,S) หรือระบบ (Max-Min) เมื่อสินค้าลดลงถึง 30 หน่วย หรือต่ำกว่าทางบริษัทจะทำการสั่งซื้อมาเติมให้เต็มจำนวนคือ 90 หน่วย ทั้งนี้เนื่องจากเกิดปัญหาต้นทุนการสั่งซื้อที่สูง อีกทั้งยังมีความต้องการไม่คงที่ จึงทำให้มีโอกาสเกิดการผิดพลาดในการสั่งซื้อได้สูง ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนวัสดุคงคลังบ่อยครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแผนการจัดการหรือแผนการสั่งซื้อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ด้วยการใช้แบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล (Monte carlo simulation method) มาประเมินผลลัพธ์จากนโยบายการจัดการวัสดุคงคลังกรณีไม่ทราบความต้องการ 4 นโยบาย ได้แก่ นโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบเดิม) นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T, s, S รวมถึงประเมินผลลัพธ์โดยการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ประเมินด้วย Opensolver ซึ่งมีผลการวิจัยดังนำเสนอในหัวข้อต่อไป

สรุปผลการดำเนินงาน

จากบทที่ 4 ในหัวข้อผลการทดลองจากนโยบายการจัดการวัสดุคงคลัง กรณีไม่ทราบค่าความต้องการ ผู้วิจัยนำผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ที่ได้มาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวม และระดับการให้บริการ ระหว่างนโยบาย s,Q นโยบาย s,S (แบบเดิม) นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย T, s, S แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ผลต่างและร้อยละของความแตกต่างของค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยและระดับบริการเฉลี่ยของตัวแบบการจัดการวัสดุคงคลัง

ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย	ผลต่างกับนโยบายเดิมบริษัท	ระดับการให้บริการ	ผลต่างกับนโยบายเดิมบริษัท
131,675	-	96%	-
75,056	-56,619.00 -43%	98%	2%
88,497	-43,178.00 -33%	97%	1%
294,986	163,311.00 124%	87%	-9%

ผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยสำหรับนโยบายการจัดการวัสดุพรีเพล็ก กรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ พบว่านโยบายที่ทำให้ต้นทุนรวมลดลงจากเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับนโยบายเดิมของบริษัท (s,S) นโยบาย s,S (แบบใหม่) และนโยบาย s,Q มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 75,056 และ 88,497 บาทต่อปี ตามลำดับ จากตารางที่ 5-1 พบว่านโยบายที่ทำให้ต้นทุนต่ำสุดคือ นโยบาย s,S (แบบใหม่) มีผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมลดลง 56,619.00 บาทต่อปี คิดเป็น 43% ต่อปี และระดับการให้บริการเพิ่มขึ้นจากเดิม 2% หมายความว่านโยบายนี้สามารถทำให้บริษัทมีการตอบสนองความต้องการ จากลูกค้าได้ทันเวลามากขึ้น อาจส่งผลทางอ้อมต่อบริษัท ในเรื่องของความน่าเชื่อถือที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกันนโยบาย T, s, S ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมสูงขึ้นและมีระดับบริการต่ำที่สุดจากนโยบายทั้งหมดที่ผู้วิจัยเสนอ จากตารางที่ 4-10 หากนำตัวแบบจำลอง MILP ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์ ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์

เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ค่าใช้จ่ายรวม (Total Cost) เฉลี่ย**	**ผลต่างกับนโยบายเดิมบริษัท (s,S)**	**ผลต่างกับนโยบาย s,S (New)**	**ผลต่างกับนโยบาย s,Q**	**ผลต่างกับนโยบาย T, s, S**
MILP	40,151	-91,524	-34,905	-48,346	-254,835
Model		-70%	-47%	-55%	-86%
เปรียบเทียบผลลัพธ์จาก MILP และการจำลองสถานการณ์					
ตัวแบบที่เสนอ	**ระดับบริการ (Service Level)**	**ผลต่างกับนโยบายเดิมบริษัท (s,S)**	**ผลต่างกับนโยบาย s,S (New)**	**ผลต่างกับนโยบาย s,Q**	**ผลต่างกับนโยบาย T, s, S**
MILP	100%	-0.04	-0.02	-0.03	-0.13
Model		-4%	-2%	-3%	-15%

สำหรับกรณีทราบความต้องการ การใช้ตัวแบบ MILP ทำให้มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 40,151 บาทต่อปี ซึ่งเป็นตัวแบบการจัดการวัสดุพรีเพล็กที่ให้ผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด (เมื่อสามารถประมาณความต้องการได้ หรือทราบค่าความต้องการที่แน่นอน) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบอื่นกรณีที่ไม่ทราบค่าความต้องการ ได้แก่ นโยบายเดิมของบริษัท (s,S) นโยบาย s,S (แบบใหม่) นโยบาย s,Q และนโยบาย T, s, S มีผลต่างของค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 91,524 บาท 34,905 บาท 48,346 บาท และ 254,835 บาท ตามลำดับ ลดลง ร้อยละ 70 ร้อยละ 47 ร้อยละ 55 และ ร้อยละ 86 ตามลำดับ สามารถบ่งบอกได้ว่า ตัวแบบ MILP เป็นตัวแบบที่มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดและมีระดับการให้บริการที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกตัวแบบที่ผู้วิจัยเสนอ โดยมีเงื่อนไขจะต้องทราบค่าความต้องการหรือประมาณค่าได้

จากประเมินผลลัพธ์ที่กล่าวข้างต้น เพื่อเสนอนโยบายที่เหมาะสมที่สุดแก่บริษัทกรณีศึกษา ด้วยการใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) แบบมอนติคาร์โล และ Opensolver ผ่านโปรแกรม Microsoft excel โดยปัญหาที่พบคือ ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) สูง เนื่องจากมีลักษณะพฤติกรรมความต้องการที่ไม่ต่อเนื่อง มีความต้องการในปริมาณต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่ช่วงเวลาความต้องการมีค่าเป็น 0 หมายถึงในช่วงเวลานั้น ๆ อาจไม่มีความต้องการใช้งาน จึงไม่เหมาะสมกับการพิจารณาภายใต้สมมติฐานที่มีการสั่งซื้อสินค้าตามช่วงเวลากำหนด เช่น นโยบาย T, s, S

เนื่องจากลักษณะพฤติกรรมค่อนข้างคาดเดาความต้องการในอนาคตได้ยาก อีกทั้งมีการสั่งซื้อตามรอบที่กำหนด อาจจะทำให้การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ไม่ทันเวลา มักทำให้เกิด Shortage cost ที่บ่อยครั้งกว่านโยบายอื่น ๆ

ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า สำหรับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่เสนอไว้ในงานวิจัยของ กิรณา มหิพันธ์ (2559) โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับเงื่อนไข จากการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล ส่งผลให้งานวิจัยได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายรวมลดลงถึงร้อยละ 70 ในขณะที่ระดับบริการมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับนโยบายเดิมของบริษัท ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถประเมินคำตอบที่ดีที่สุดและอาจนำไปประยุกต์ใช้กับการกำหนดตัวแบบอื่น ๆ ในการประเมินการจัดการวัสดุคงคลังด้วยการกำหนดเงื่อนไขตามเป้าหมายในการประเมินผลลัพธ์ อย่างไรก็ตามการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP ประยุกต์ใช้ยังคงมีข้อจำกัดในด้านการกำหนดปริมาณความต้องการที่แน่นอนในช่วงเวลา หรือ ทราบความต้องการล่วงหน้า หากมองถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและการนำไปประยุกต์ใช้กับบริษัทกรณีศึกษา จากผลการวิจัยจะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของทุก ๆ นโยบายที่เสนอกับนโยบายเดิมของบริษัท นโยบายการจัดการแบบ s,S (แบบใหม่) ถือเป็นทางเลือกที่ดีแก่บริษัทอีกทางเลือกหนึ่ง เนื่องจาก มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Best solution) ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ MILP ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมลดลงค่อนข้างมาก และระดับการให้บริการอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ซึ่งสามารถไขข้อสงสัยของ ขวัญตา ดำประไพ (2557) ที่ระบุไว้ว่า การใช้วิธีการกำหนดค่าวัสดุคงคลังสูงสุด (Max) และการกำหนดค่าวัสดุคงคลังต่ำสุด (Min) จะให้ต้นทุนที่ประหยัดกว่า EOQ

ข้อเสนอแนะการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษานโยบายการจัดการวัสดุพรีเพล็ก ที่ดำเนินการภายใต้สมมติฐานพฤติกรรมของความต้องการมีรูปแบบการแจกแจงแบบไม่ปกติ สอดคล้องกับความเป็นจริง ที่มักมีรูปแบบเป็นช่วง สำหรับการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ปรับปรุงพัฒนาในหน่วยงานอื่น ๆ ในอนาคต ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการสั่งซื้อวัสดุพรีเพล็ก ดังนั้นหากวิธีการนี้ยังสามารถนำไปใช้ประยุกต์ทดลองใช้กับวิธีการสั่งซื้อสินค้าชนิดอื่น ๆ ได้ เพื่อให้องค์กรได้รับผลประโยชน์สูงสุด

2. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคมอนติคาร์โล เพื่อหานโยบายการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมนั้น เป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลทางสถิติและความน่าจะเป็นเข้ามาช่วย

ในการคำนวณ เพียงวิธีเดียวเท่านั้น ซึ่งวิธีการอาจจะไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด (Optimal solution) แต่สามารถใช้เป็นอีกหนึ่งแนวทางหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งหน้าควรมีการดำเนินการวิเคราะห์ในวิธีอื่น ๆ เพื่อเพิ่มแนวทางการเปรียบเทียบผลลัพธ์ อาทิเช่น ประยุกต์ใช้โปรแกรม Arena เป็นต้น

3. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ นโยบาย T, s, S ที่ผู้วิจัยเสนอไว้ ผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมและระดับบริการ ยังเป็นผลลัพธ์ที่ไม่น่าพึงพอใจ ในการศึกษาวิจัยครั้งหน้าควรมีการดำเนินการวิเคราะห์ การประเมินระยะเวลาการตรวจนับ (T) และจุดสั่งซื้อ (s) ใหม่ เพื่อไม่ให้เกิดวัสดุขาดมือ (Shortage cost) ลดลง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) ต่ำลง และมีระดับบริการสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา

4. ในกาษาวิจัยครั้งนี้ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (MILP) ไม่ได้คำถึงการหมดอายุของวัสดุพรีเพล็ก ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปควรให้ความสำคัญกับอายุของวัสดุ เนื่องจากอายุของวัสดุดังกล่าวมีอายุเพียง 180 วัน ซึ่งอาจทำให้การสั่งซื้อมีลักษณะเปลี่ยนแปลงจากเดิม

5. จากข้อเสนอแนะในข้อที่ 4 จากที่ศึกษาในเบื้องต้นพบว่า หากมีการนำไปประยุกต์ใช้จริงที่บริษัทกรณีศึกษาควรมีการสั่งซื้อในลักษณะจำนวนเต็มสิบ และเพิ่มเงื่อนไขให้มีการสั่งซื้ออย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง เนื่องจากมีอายุการใช้งาน 180 วัน

บรรณานุกรม

กิรณา มหิพันธ์. (2559). การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร. *The 2017 Technology Innovation Management and Engineering Science international conference (TIMES-iCON2017),* 251-257

ไกรวิทย์ สินธุคำมูล. (2560). การวิเคราะห์นโยบายการควบคุมวัตถุดิบคงคลัง กรณีศึกษา บริษัท เอบีซี. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 4,* 531-537

ก่อเกียรติ วิริยะกิจพัฒนา และมาลัย ม่วงเทศ. (2551). *การจัดซื้อเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: วังอักษร.

ขวัญตา ดำประไพ. (2557). *การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดซื้ออะไหล่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

จีรวัฒน์ นภาสุขวีระมงคล. (2558). *การบริหารวัสดุคงคลัง ประเภทวัสดุสนับสนุนการผลิตโดยใช้การจำลองสถาณการณ์ กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปกระจก.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการงานวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ณัฐวุฒิ แจ่มจำรัส. (2559). *การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลังประเภทสินค้า PDI กรณีศึกษา บริษัท เอ็น ดับบลิว ซี จำกัด.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ทินวัฒน์ ขาวเหลือง. (2554). *การวิเคราะห์แนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา ร้านตำหรับไทย.* การศึกษาอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

นฤทัศน์ โตธนะคุณ สิทธิพร พิมพ์สกุล, และเชาวลิต หามนตรี. (2555). *การปรับปรุงการสั่งซื้อและการจัดเก็บวัสดุการแพทย์ กรณีศึกษาคลังพัสดุของโรงพยาบาล.* วิศวสารลาดกระบัง, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

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

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: ท้อป

ปริญญา จันทรวินิจ. (2559). การปรับปรุงระบบการคงคลังอะไหล่สำหรับเครื่องจักรการผลิต. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 24*(1), 59-66

พัชฎาภรณ์ แสงทามาตย์. (2556). *เอกสารประกอบการสอนรายวิชา การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)*. คณะวิทยาการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

พีระพล เก้าเอี้ยน. (2549). *การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบโดยการใช้ตัวแบบทาคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาการจัดซื้อวัตถุดบจากต่างประเทศในอุตสาหกรรมกระดาษ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วัลลภ ภูผา. (2557). การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม กรณีศึกษา การจัดซื้อวัตถุดิบในโรงงานผลิตอาหารแปรรูป. *วารสารทางวิชาการของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 88*(27), 41-55.

วาสนา เจริญศรี. (2558). *การปรับปรุงการวางแผนการสั่งซื้อในปริมาณที่เหมาะสมและการจัดการวัตถุดิบคงคลัง ในโซ่อุปทาน กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

สรุเดช มีสีดา. (2554). การบริหารวสัดคุ งคลงัประเภทอะไหล่ซ่อมบา รงุ กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุจินดา เจียระวรพจน์. (2552). *การหานโยบายการจัดการสินค้าคงคลังและปริมาณการขนส่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับบริษัทผู้แทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์สมุนไพรกรณีศึกษา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุชาติ ศุภมงคล. (2547). *การจัดการขนส่ง* (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พลับลิชชิ่ง.

สุชาติ ศุภมงคล. (2547). *การจัดการอะไหล่ให้เพิ่มผลผลิต* (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุทธิมา ชำนาญเวช. (2555). *การวิเคราะห์เชิงปริมาณ*. (พิมพ์ครั้งที่6). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.

สุทธิมา ชำนาญเวช. (2552). *การวิจัยดำเนินงาน*. (พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.

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

อันธิฌา แสงสุริยันต์. (2551). *การวิเคราะห์เพื่อกำหนดนโยบายการบริการหัสดุคงคลัง กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์.* งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

เอกชัย ใจแจ่ม. (2556). *การวิเคราะห์ปริมาณและเวลาการสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนของชิ้นส่วนอะไหล่คงคลังกรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิท ฮาร์เนส จ ากัด (มหาชน).* งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์. คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

David & Whybark. (1980). Retrieved from http://mdcegypt.com/Pages/Purchasing/Material %20Management/Inventory %20Control2.asp

Ferguson, M., J, Vaidy., & C.Souza, G. (2007). An application of the EOQ model with nonlinear holding cost to inventory management of perishables. *European journal of operation research, 180(1),* 485-490.

Ghorbel, N. (2014). Replenishment policies in static and dynamic spare parts inventory control: A survey. *International journal of engineering development and research, 2*(4), 3636-3655.

Huang, S. (2011). Inventory management in A (Q; R) Inventory model with two demand classes and flexible delivery, International Journal of Innovative Computing. *Information and Control, 7*(3), 1243-1254.

Huang, S., Liao, B., & J. Robb, D. (2016). Inventory management in a (q; r) inventory model with two demand classes and flexible delivery, International Journal of Innovative Computing. *Information and control, 7*(3), 1243-1254.

Jay Heizer & Barry Render (2011). Operations Management. *10th Edition,* 501.

J.Hopp, W. (1996). Easily Implementable Inventory Control Policies. *Journal of operations research. 45*(2), 327-340.

Liu, Q., & Ridgway, K. (1995) A computer-aided inventory management system – part 1: forecasting. *Integrated manufacturing systems, 6*(1), 12-21.

Liu, Q. (2013). Spreadsheet Inventory Simulation and Optimization Models and Their Application in a National Pharmacy Chain. *Transactions on education 14th,14*(1), 13–25.

Mahmood Said Al Amri. (2015). Warehouse. *Daleel Petroleum LLC*. Retrieved from https://www.slideshare.net/MahmoodSaidAlAmri/warehouse-55498237.

Penpakkol, P., & Intarakumthornchai, T. (2018). Inventory Management of Spare Parts under Uncertain demand: A Case Study of Particle Board Manufacturer. *The journal of KMUTNB, 28*(1), 9-22.

Phabu, K. (2012). Dynamic Lot Sizing Model: A Case Study of Inventory for Paddy in Rice Mill. *IENETWORK 2012 Industrial Challenges in the ASEAN Economic Community,* 1899-1904. Retrieved from http://ienetwork2012.spu.ac.th/.

Vollmann, T., Berry, W., & Whybark, C. (1997). *Manufacturing Planning and Control Systems.* Irwin/McGraw-Hill: New York.

Wachum, N., & Amaruchkul K. (2016). A Dynamic Lot Sizing Model with Stochastic Lead Time: A Case Study of Coal in the Cement Industry. *Thai journal of operations research, 4*(2) 32-41.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบของความต้องใช้งานในอดีตของวัสดุคอมโพสิตประเภท C ย้อนหลัง 3 ปี
(มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559) รวมทั้งสิ้น 157 สัปดาห์

ตารางภาคผนวก ก ความต้องใช้งานในอดีต 157 สัปดาห์ (มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2559)

Week	Beginning Inventory	Receipts	Demand	Demand Satisfied	Final Inventory
1	45	0	45	45	0
2	0	0	0	0	0
3	0	75	0	0	75
4	75	0	6	6	69
5	69	0	0	0	69
6	69	0	38	38	31
7	31	0	9	9	22
8	22	0	0	0	22
9	22	53	0.5	0.5	74.5
10	74.5	0	0	0	74.5
11	74.5	0	1	1	73.5
12	73.5	0	0	0	73.5
13	73.5	0	0	0	73.5
14	73.5	0	0	0	73.5
15	73.5	0	0	0	73.5
16	73.5	0	4	4	69.5
17	69.5	0	15	15	54.5
18	54.5	0	30	30	24.5
19	24.5	0	0	0	24.5
20	24.5	50.5	0	0	75
21	75	0	0	0	75
22	75	0	4	4	71
23	71	0	2	2	69
24	69	0	0	0	69
25	69	0	0	0	69
26	69	0	0	0	69
27	69	0	0	0	69
28	69	0	32	32	37
29	37	0	0	0	37
30	37	0	0	0	37
31	37	0	0	0	37
32	37	0	0	0	37
33	37	0	0	0	37
34	37	0	2	2	35

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ)

Week	Beginning Inventory	Receipts	Demand	Demand Satisfied	Final Inventory
35	35	0	0	0	35
36	35	0	0	0	35
37	35	0	0	0	35
38	35	0	6	6	29
39	29	0	2	2	27
40	27	0	1	1	26
41	26	0	0	0	26
42	26	0	0	0	26
43	26	0	6	6	20
44	20	0	0	0	20
45	20	55	0	0	75
46	75	0	0	0	75
47	75	0	60	60	15
48	15	0	0	0	15
49	15	60	0	0	75
50	75	0	24	24	51
51	51	0	0	0	51
52	51	0	0	0	51
53	51	0	0	0	51
54	51	0	13	13	38
55	38	0	6	6	32
56	32	0	0	0	32
57	32	0	14	14	18
58	18	0	30	18	0
59	0	75	3	3	72
60	72	0	0	0	72
61	72	0	0	0	72
62	72	0	0	0	72
63	72	0	0	0	72
64	72	0	0	0	72
65	72	0	12	12	60
66	60	0	0	0	60
67	60	0	0	0	60
68	60	0	14	14	46
69	46	0	4	4	42

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ)

Week	Beginning Inventory	Receipts	Demand	Demand Satisfied	Final Inventory
70	42	0	0	0	42
71	42	0	0	0	42
72	42	0	9	9	33
73	33	0	2	2	31
74	31	0	0	0	31
75	31	0	1	1	30
76	30	0	30	30	0
77	0	0	15	0	0
78	0	75	3	3	72
79	72	0	0	0	72
80	72	0	0	0	72
81	72	0	0	0	72
82	72	0	0	0	72
83	72	0	0	0	72
84	72	0	6	6	66
85	66	0	0	0	66
86	66	0	0	0	66
87	66	0	10	10	56
88	56	0	32	32	24
89	24	0	10	10	14
90	14	61	0	0	75
91	75	0	0	0	75
92	75	0	0	0	75
93	75	0	0	0	75
94	75	0	5	5	70
95	70	0	4	4	66
96	66	0	10	10	56
97	56	0	16	16	40
98	40	0	0	0	40
99	40	0	3	3	37
100	37	0	0	0	37
101	37	0	0	0	37
102	37	0	0	0	37
103	37	0	0	0	37
104	37	0	4	4	33

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ)

Week	Beginning Inventory	Receipts	Demand	Demand Satisfied	Final Inventory
105	33	0	0	0	33
106	33	0	0	0	33
107	33	0	0	0	33
108	33	0	0	0	33
109	33	0	0	0	33
110	33	0	10	10	23
111	23	0	13	13	10
112	10	65	3	3	72
113	72	0	0	0	72
114	72	0	26	26	46
115	46	0	5	5	41
116	41	0	0	0	41
117	41	0	5	5	36
118	36	0	0	0	36
119	36	0	3	3	33
120	33	0	32	32	1
121	1	0	0	0	1
122	1	74	10	10	65
123	65	0	0	0	65
124	65	0	0	0	65
125	65	0	0	0	65
126	65	0	0	0	65
127	65	0	15	15	50
128	50	0	73	50	0
129	0	0	0	0	0
130	0	75	12	12	63
131	63	0	0	0	63
132	63	0	2	2	61
133	61	0	6	6	55
134	55	0	7	7	48
135	48	0	1	1	47
136	47	0	0	0	47
137	47	0	55	47	0
138	0	0	9	0	0
139	0	75	10	10	65

ตารางภาคผนวก ก (ต่อ)

Week	Beginning Inventory	Receipts	Demand	Demand Satisfied	Final Inventory
140	65	0	4	4	61
141	61	0	56	56	5
142	5	0	13	5	0
143	0	75	15	15	60
144	60	0	0	0	60
145	60	0	5	5	55
146	55	0	12	12	43
147	43	0	10	10	33
148	33	0	5	5	28
149	28	0	4	4	24
150	24	0	10	10	14
151	14	61	0	0	75
152	75	0	13	13	62
153	62	0	0	0	62
154	62	0	5	5	57
155	57	0	2	2	55
156	55	0	7	7	48
157	48	0	4	4	44
Sum			1005.5	930.5	7268.5

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมและระดับการให้บริการจากการรันแบบจำลองทั้งหมด
500 ชุดข้อมูล และ 100 ชุดข้อมูล ทั้ง 4 นโยบาย และ ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

ตารางภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมและระดับการให้บริการจากการรันแบบจำลอง ทั้งหมด 500 ชุดข้อมูล และ 100 ชุดข้อมูล

Run 500 times																				Run 100 times		
s_Q model				s_S model				T_s_S model				Company model				MILP Model			
Average=	88,497	Table	97%	Average=	75,056	Table	98%	Average=	294,986	Table	87%	Average=	131,675	Table	96%	Average=	40,151	100%	
79,029	TC	88%	SL	203,654	TC	92.3%	SL	72,336	TC	100.0%	SL	162,580	TC	95.8%	SL	Run	TC	SL	
1	130,548	1	100%	1	54,442	1	100%	1	222,434	1	95%	1	111,838		93%	1	38,263	100%	
2	141,001	2	100%	2	53,971	2	97%	2	437,396	2	85%	2	50,660		100%	2	46,170	100%	
3	50,710	3	97%	3	52,664	3	95%	3	209,539	3	87%	3	151,520		91%	3	26,518	100%	
4	41,905	4	87%	4	137,144	4	100%	4	321,345	4	79%	4	162,842		100%	4	28,783	100%	
5	54,304	5	87%	5	49,929	5	100%	5	311,224	5	82%	5	115,193		100%	5	50,160	100%	
6	150,757	6	100%	6	97,409	6	100%	6	136,142	6	72%	6	100,945		93%	6	34,680	100%	
7	132,629	7	90%	7	83,908	7	100%	7	225,953	7	87%	7	74,935		99%	7	40,350	100%	
8	82,544	8	100%	8	57,590	8	100%	8	497,363	8	87%	8	162,542		94%	8	37,237	100%	
9	44,770	9	100%	9	52,339	9	100%	9	309,153	9	97%	9	75,673		91%	9	34,470	100%	
10	45,657	10	100%	10	160,603	10	100%	10	311,365	10	74%	10	75,662		100%	10	40,615	100%	
11	50,254	11	99%	11	35,502	11	100%	11	235,461	11	92%	11	201,769		92%	11	45,327	100%	
12	47,766	12	100%	12	146,244	12	100%	12	109,261	12	99%	12	76,295		89%	12	42,992	100%	
13	147,946	13	100%	13	43,210	13	100%	13	384,769	13	97%	13	51,368		90%	13	47,556	100%	
14	147,939	14	100%	14	49,437	14	96%	14	161,129	14	82%	14	148,028		100%	14	47,552	100%	
15	147,993	15	100%	15	148,335	15	100%	15	257,812	15	74%	15	178,604		100%	15	36,496	100%	
16	42,322	16	95%	16	100,560	16	97%	16	172,563	16	93%	16	74,813		100%	16	41,792	100%	
17	32,193	17	100%	17	46,823	17	94%	17	222,274	17	88%	17	337,221		100%	17	36,251	100%	
18	50,530	18	87%	18	46,185	18	100%	18	335,347	18	85%	18	98,681		100%	18	41,939	100%	
19	34,711	19	100%	19	51,203	19	100%	19	408,405	19	100%	19	62,991		100%	19	45,735	100%	
20	47,994	20	90%	20	38,152	20	97%	20	248,254	20	72%	20	125,293		100%	20	40,246	100%	
21	112,306	21	79%	21	32,700	21	97%	21	409,121	21	88%	21	113,726		100%	21	41,289	100%	
22	94,857	22	100%	22	51,062	22	100%	22	171,368	22	89%	22	148,500		97%	22	52,000	100%	
23	31,984	23	97%	23	96,087	23	97%	23	234,405	23	87%	23	249,748		100%	23	47,688	100%	
24	95,132	24	100%	24	47,980	24	91%	24	209,224	24	62%	24	63,090		100%	24	31,308	100%	
25	99,510	25	100%	25	33,546	25	100%	25	374,028	25	92%	25	48,217		100%	25	51,733	100%	
26	36,887	26	99%	26	85,619	26	100%	26	284,733	26	100%	26	89,376		99%	26	50,630	100%	
27	146,604	27	99%	27	38,860	27	97%	27	335,283	27	100%	27	224,903		74%	27	36,764	100%	
28	95,808	28	100%	28	49,928	28	100%	28	301,030	28	89%	28	112,281		100%	28	37,188	100%	
29	34,870	29	100%	29	46,017	29	92%	29	187,651	29	99%	29	63,544		95%	29	26,424	100%	
30	50,449	30	100%	30	39,632	30	98%	30	171,777	30	84%	30	124,911		100%	30	28,125	100%	
31	33,674	31	100%	31	148,335	31	91%	31	284,143	31	99%	31	48,910		97%	31	36,849	100%	
32	98,006	32	100%	32	53,289	32	97%	32	334,880	32	84%	32	48,311		100%	32	38,696	100%	
33	97,363	33	100%	33	61,366	33	100%	33	434,415	33	76%	33	261,667		98%	33	35,160	100%	
34	84,695	34	100%	34	37,923	34	100%	34	385,276	34	93%	34	148,318		100%	34	45,207	100%	
35	197,055	35	100%	35	51,575	35	100%	35	410,578	35	81%	35	175,567		100%	35	39,499	100%	
36	151,285	36	97%	36	55,486	36	93%	36	321,196	36	97%	36	161,010		94%	36	47,521	100%	
37	246,726	37	100%	37	51,447	37	100%	37	135,687	37	77%	37	137,722		94%	37	49,202	100%	
38	43,420	38	100%	38	103,023	38	100%	38	347,250	38	97%	38	111,811		100%	38	39,160	100%	
39	145,100	39	99%	39	98,466	39	98%	39	284,958	39	93%	39	241,540		100%	39	39,735	100%	
40	34,096	40	100%	40	135,562	40	99%	40	272,158	40	96%	40	125,043		100%	40	42,302	100%	
41	44,608	41	99%	41	92,596	41	100%	41	284,785	41	87%	41	161,997		96%	41	39,840	100%	
42	196,634	42	93%	42	38,615	42	100%	42	484,649	42	90%	42	136,367		87%	42	40,416	100%	
43	200,123	43	99%	43	102,650	43	100%	43	385,341	43	79%	43	212,860		99%	43	45,682	100%	
44	97,436	44	100%	44	100,428	44	100%	44	697,362	44	84%	44	188,160		100%	44	36,136	100%	
45	48,983	45	100%	45	50,406	45	95%	45	198,451	45	85%	45	74,629		100%	45	29,330	100%	
46	99,021	46	100%	46	102,742	46	99%	46	98,263	46	73%	46	62,823		87%	46	39,433	100%	
47	48,707	47	100%	47	94,545	47	100%	47	222,775	47	73%	47	166,449		87%	47	36,995	100%	
48	30,168	48	100%	48	133,349	48	100%	48	335,479	48	81%	48	162,215		95%	48	24,356	100%	
49	93,157	49	100%	49	133,754	49	91%	49	172,466	49	87%	49	124,306		86%	49	38,733	100%	
50	39,009	50	100%	50	54,906	50	85%	50	222,033	50	92%	50	287,652		88%	50	41,111	100%	
51	52,639	51	99%	51	82,769	51	100%	51	247,487	51	85%	51	113,322		100%	51	35,539	100%	
52	103,321	52	100%	52	46,484	52	100%	52	660,083	52	88%	52	125,444		100%	52	40,296	100%	
53	38,700	53	93%	53	98,135	53	96%	53	248,837	53	87%	53	161,705		80%	53	38,424	100%	
54	145,889	54	94%	54	53,863	54	99%	54	234,866	54	91%	54	202,767		90%	54	38,474	100%	
55	48,198	55	99%	55	46,536	55	93%	55	472,560	55	100%	55	150,270		99%	55	41,725	100%	
56	52,674	56	98%	56	135,914	56	100%	56	234,821	56	97%	56	74,740		100%	56	53,968	100%	
57	96,613	57	99%	57	105,993	57	100%	57	360,657	57	73%	57	125,659		100%	57	43,332	100%	
58	45,824	58	100%	58	45,312	58	100%	58	335,030	58	94%	58	88,234		100%	58	40,812	100%	
59	44,998	59	100%	59	146,556	59	100%	59	172,252	59	89%	59	111,788		100%	59	40,291	100%	
60	153,921	60	95%	60	50,675	60	89%	60	335,570	60	81%	60	113,437		99%	60	37,356	100%	
61	247,432	61	100%	61	48,636	61	100%	61	248,524	61	87%	61	125,874		100%	61	40,291	100%	
62	46,217	62	96%	62	47,912	62	90%	62	508,852	62	87%	62	48,788		100%	62	36,990	100%	
63	95,815	63	99%	63	92,283	63	100%	63	322,106	63	88%	63	76,703		97%	63	56,519	100%	
64	36,763	64	96%	64	45,052	64	100%	64	322,226	64	84%	64	99,631		100%	64	36,552	100%	
65	83,432	65	93%	65	34,008	65	100%	65	397,401	65	95%	65	110,867		99%	65	40,989	100%	
66	241,605	66	100%	66	97,483	66	96%	66	433,651	66	87%	66	49,717		100%	66	35,411	100%	
67	32,974	67	100%	67	48,572	67	90%	67	109,281	67	99%	67	125,485		93%	67	36,496	100%	
68	136,817	68	100%	68	49,264	68	89%	68	223,641	68	90%	68	274,863		100%	68	37,258	100%	
69	41,897	69	100%	69	40,830	69	100%	69	386,759	69	99%	69	98,792		100%	69	41,269	100%	
70	49,266	70	88%	70	98,387	70	100%	70	384,902	70	92%	70	75,086		100%	70	32,429	100%	
71	52,426	71	91%	71	40,239	71	100%	71	609,080	71	95%	71	61,972		85%	71	41,280	100%	
72	201,193	72	100%	72	39,258	72	100%	72	320,844	72	100%	72	374,527		90%	72	41,091	100%	
73	99,679	73	96%	73	152,326	73	97%	73	174,635	73	100%	73	125,498		90%	73	40,143	100%	
74	46,832	74	100%	74	55,965	74	100%	74	221,689	74	96%	74	198,414		100%	74	57,491	100%	
75	52,394	75	100%	75	48,442	75	100%	75	59,268	75	93%	75	76,496		98%	75	29,878	100%	
76	150,252	76	100%	76	102,994	76	91%	76	496,418	76	83%	76	75,956		82%	76	40,240	100%	
77	51,015	77	98%	77	43,850	77	94%	77	421,927	77	100%	77	161,944		100%	77	49,891	100%	
78	101,633	78	93%	78	33,643	78	97%	78	208,949	78	75%	78	126,676		97%	78	56,502	100%	
79	65,823	79	100%	79	40,088	79	100%	79	473,092	79	87%	79	164,541		100%	79	50,317	100%	
80	52,105	80	100%	80	51,711	80	98%	80	384,684	80	69%	80	138,558		100%	80	33,170	100%	
81	84,406	81	98%	81	48,005	81	89%	81	122,675	81	92%	81	61,981		91%	81	47,552	100%	
82	94,762	82	96%	82	148,484	82	100%	82	416,363	82	90%	82	76,253		96%	82	43,125	100%	
83	142,661	83	100%	83	101,521	83	96%	83	172,461	83	70%	83	112,158		100%	83	36,953	100%	
84	46,340	84	94%	84	47,788	84	100%	84	159,354	84	88%	84	49,014		100%	84	43,217	100%	
85	47,984	85	99%	85	49,992	85	100%	85	384,968	85	96%	85	48,276		95%	85	44,382	100%	
86	52,323	86	87%	86	45,764	86	99%	86	397,654	86	85%	86	62,417		99%	86	44,783	100%	
87	32,844	87	100%	87	98,716	87	100%	87	172,090	87	91%	87	110,814		97%	87	30,606	100%	
88	163,831	88	99%	88	98,088	88	96%	88	108,777	88	88%	88	165,714		97%	88	27,606	100%	
89	49,797	89	88%	89	36,793	89	100%	89	384,704	89	83%	89	189,465		97%	89	40,375	100%	
90	39,062	90	92%	90	150,942	90	100%	90	324,942	90	73%	90	63,043		89%	90	28,887	100%	
91	82,769	91	94%	91	196,836	91	100%	91	448,067	91	79%	91	312,142		91%	91	34,190	100%	
92	146,110	92	100%	92	103,338	92	100%	92	159,294	92	77%	92	62,327		97%	92	36,181	100%	
93	50,132	93	94%	93	63,902	93	95%	93	271,694	93	94%	93	115,015		94%	93	39,413	100%	
94	45,987	94	89%	94	102,859	94	100%	94	72,177	94	92%	94	163,090		99%	94	47,552	100%	
95	151,190	95	100%	95	99,271	95	100%	95	158,999	95	96%	95	139,026		99%	95	41,504	100%	
96	85,256	96	100%	96	47,280	96	100%	96	297,571	96	81%	96	161,765		100%	96	31,472	100%	
97	88,820	97	99%	97	35,874	97	96%	97	109,828	97	92%	97	115,385		100%	97	35,531	100%	
98	150,830	98	100%	98	144,183	98	97%	98	259,010	98	80%	98	176,334		100%	98	38,975	100%	
99	25,642	99	93%	99	101,846	99	100%	99	375,199	99	78%	99	238,498		93%	99	44,630	100%	
100	148,474	100	97%	100	33,364	100	99%	100	184,765	100	74%	100	174,516		96%	100	42,139	100%	

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

Run 500 times																					Run 100 times		
s_Q model				s_S model				T_s_S model				Company model				MILP Model							
Table	88,497	Table	97%	Table	75,056	Table	98%	Table	294,986	Table	87%	Table	131,675	Table	96%	Average=	40,151	100%					
79,029	TC	88%	SL	203,654	TC	92.3%	SL	72,336	TC	100.0%	SL	162,580	TC	95.8%	SL	Run	TC	SL					
101	78,719	101	99%	101	32,291	101	100%	101	521,602	101	0.823	101	189,194		89%								
102	45,953	102	100%	102	97,992	102	99%	102	277,660	102	0.564	102	192,229		100%								
103	44,341	103	100%	103	35,060	103	100%	103	472,062	103	1	103	62,177		99%								
104	45,738	104	95%	104	34,305	104	100%	104	146,134	104	0.889	104	226,942		97%								
105	95,703	105	100%	105	99,553	105	100%	105	272,644	105	0.95	105	148,750		100%								
106	49,058	106	99%	106	36,021	106	97%	106	547,692	106	0.797	106	75,831		99%								
107	50,086	107	97%	107	130,849	107	89%	107	300,648	107	0.678	107	152,454		97%								
108	111,218	108	91%	108	48,638	108	100%	108	198,455	108	0.969	108	62,677		91%								
109	31,071	109	100%	109	49,718	109	91%	109	335,610	109	0.913	109	89,394		80%								
110	94,177	110	95%	110	86,022	110	100%	110	172,924	110	0.8	110	99,323		100%								
111	147,913	111	100%	111	36,270	111	99%	111	384,607	111	0.902	111	99,048		100%								
112	198,694	112	100%	112	101,820	112	100%	112	484,449	112	0.916	112	75,385		96%								
113	47,728	113	94%	113	47,354	113	92%	113	171,774	113	0.753	113	138,756		97%								
114	48,580	114	100%	114	255,412	114	100%	114	338,279	114	0.712	114	49,383		100%								
115	100,691	115	100%	115	50,923	115	92%	115	373,614	115	1	115	211,300		97%								
116	33,474	116	91%	116	147,271	116	100%	116	324,254	116	0.849	116	98,958		86%								
117	141,999	117	100%	117	32,753	117	100%	117	222,862	117	0.773	117	62,141		100%								
118	49,166	118	100%	118	35,765	118	100%	118	135,691	118	0.987	118	62,748		97%								
119	43,632	119	100%	119	52,702	119	88%	119	271,904	119	0.92	119	63,660		98%								
120	51,384	120	99%	120	98,799	120	100%	120	334,534	120	0.802	120	191,728		100%								
121	30,917	121	92%	121	147,774	121	100%	121	33,562	121	0.87	121	162,229		100%								
122	43,595	122	100%	122	48,079	122	98%	122	110,144	122	0.996	122	165,110		98%								
123	34,264	123	94%	123	49,108	123	100%	123	235,151	123	0.844	123	288,515		94%								
124	108,922	124	100%	124	86,577	124	100%	124	499,861	124	0.803	124	125,197		100%								
125	44,273	125	100%	125	98,742	125	97%	125	334,866	125	0.918	125	112,568		100%								
126	46,526	126	92%	126	94,162	126	100%	126	361,417	126	0.902	126	126,009		100%								
127	46,375	127	100%	127	50,830	127	100%	127	484,527	127	0.679	127	75,054		97%								
128	95,032	128	99%	128	151,067	128	100%	128	285,466	128	0.854	128	76,055		88%								
129	93,596	129	100%	129	49,129	129	100%	129	248,074	129	0.809	129	48,897		100%								
130	62,131	130	100%	130	46,530	130	87%	130	570,948	130	0.802	130	35,627		93%								
131	94,260	131	90%	131	85,975	131	100%	131	285,016	131	0.872	131	177,794		95%								
132	98,028	132	100%	132	46,882	132	97%	132	384,628	132	0.763	132	199,275		99%								
133	42,437	133	91%	133	100,122	133	100%	133	222,263	133	0.814	133	189,160		95%								
134	52,197	134	98%	134	104,689	134	98%	134	250,108	134	0.915	134	137,127		100%								
135	98,497	135	82%	135	36,873	135	98%	135	248,280	135	0.903	135	61,481		96%								
136	37,159	136	80%	136	95,773	136	100%	136	317,102	136	0.898	136	212,303		91%								
137	162,896	137	100%	137	37,166	137	100%	137	472,069	137	0.736	137	138,385		100%								
138	46,999	138	100%	138	83,966	138	97%	138	370,901	138	0.847	138	137,691		100%								
139	30,708	139	93%	139	95,964	139	100%	139	276,724	139	0.806	139	61,067		100%								
140	99,439	140	91%	140	50,657	140	84%	140	248,999	140	1	140	212,411		100%								
141	53,183	141	100%	141	101,521	141	86%	141	258,894	141	0.925	141	125,790		100%								
142	46,613	142	100%	142	211,873	142	96%	142	136,086	142	0.716	142	48,211		98%								
143	147,787	143	94%	143	83,678	143	86%	143	458,971	143	0.916	143	152,926		92%								
144	92,596	144	100%	144	99,174	144	100%	144	97,285	144	0.852	144	99,108		96%								
145	46,592	145	100%	145	95,786	145	88%	145	434,132	145	0.825	145	148,726		100%								
146	134,680	146	88%	146	97,477	146	100%	146	248,313	146	0.773	146	218,535		98%								
147	147,347	147	100%	147	44,995	147	100%	147	384,882	147	0.739	147	47,825		96%								
148	30,604	148	100%	148	28,042	148	98%	148	361,485	148	0.937	148	151,168		100%								
149	45,315	149	100%	149	47,819	149	100%	149	509,187	149	0.956	149	136,995		100%								
150	50,693	150	90%	150	47,518	150	100%	150	284,547	150	0.812	150	125,714		100%								
151	147,560	151	98%	151	47,350	151	92%	151	161,029	151	0.791	151	249,469		99%								
152	50,104	152	100%	152	147,196	152	97%	152	159,972	152	0.924	152	301,577		100%								
153	31,285	153	100%	153	53,307	153	89%	153	198,683	153	0.818	153	161,926		94%								
154	51,795	154	100%	154	46,066	154	87%	154	262,045	154	0.975	154	36,067		97%								
155	46,705	155	97%	155	99,636	155	96%	155	221,804	155	0.899	155	161,324		100%								
156	45,768	156	100%	156	44,537	156	100%	156	334,670	156	0.765	156	89,517		96%								
157	48,246	157	99%	157	150,505	157	98%	157	109,095	157	0.775	157	147,700		91%								
158	95,786	158	94%	158	102,253	158	89%	158	222,090	158	0.919	158	124,748		92%								
159	51,470	159	100%	159	44,631	159	96%	159	185,388	159	0.784	159	88,409		100%								
160	50,589	160	99%	160	50,556	160	100%	160	421,969	160	0.989	160	137,988		85%								
161	32,517	161	95%	161	87,177	161	96%	161	272,521	161	0.847	161	264,515		91%								
162	82,876	162	100%	162	43,626	162	100%	162	227,580	162	0.667	162	89,217		100%								
163	137,766	163	100%	163	101,401	163	100%	163	249,445	163	0.894	163	225,630		100%								
164	93,681	164	95%	164	96,893	164	100%	164	275,758	164	0.872	164	238,395		100%								
165	145,992	165	100%	165	38,925	165	99%	165	261,714	165	0.82	165	213,171		91%								
166	96,740	166	96%	166	99,337	166	100%	166	146,712	166	0.794	166	75,638		100%								
167	98,996	167	100%	167	152,281	167	100%	167	73,066	167	0.906	167	111,670		91%								
168	98,573	168	100%	168	148,595	168	100%	168	348,495	168	0.864	168	62,674		100%								
169	35,222	169	100%	169	32,722	169	100%	169	72,891	169	1	169	149,117		100%								
170	50,049	170	94%	170	37,916	170	99%	170	297,933	170	0.88	170	161,157		93%								
171	193,376	171	89%	171	47,020	171	100%	171	284,663	171	0.995	171	62,849		97%								
172	200,428	172	100%	172	94,120	172	97%	172	221,610	172	0.776	172	311,170		100%								
173	49,131	173	97%	173	34,396	173	100%	173	197,971	173	0.819	173	149,119		100%								
174	54,155	174	95%	174	82,053	174	100%	174	497,675	174	0.864	174	76,624		100%								
175	55,490	175	100%	175	96,993	175	97%	175	361,391	175	0.826	175	125,022		100%								
176	145,104	176	100%	176	83,228	176	100%	176	272,214	176	0.845	176	151,135		100%								
177	98,438	177	93%	177	32,970	177	100%	177	321,326	177	0.972	177	112,487		100%								
178	36,028	178	100%	178	147,470	178	92%	178	347,814	178	0.852	178	75,086		91%								
179	97,912	179	100%	179	53,093	179	93%	179	311,210	179	0.82	179	76,673		97%								
180	197,210	180	98%	180	51,186	180	100%	180	360,668	180	0.941	180	75,520		100%								
181	49,593	181	92%	181	200,490	181	92%	181	222,323	181	0.764	181	274,933		84%								
182	95,658	182	92%	182	102,019	182	100%	182	498,292	182	0.73	182	49,253		100%								
183	101,426	183	100%	183	35,979	183	94%	183	385,378	183	0.997	183	251,811		87%								
184	47,457	184	100%	184	40,109	184	99%	184	259,172	184	0.947	184	237,154		98%								
185	97,950	185	89%	185	49,663	185	96%	185	109,485	185	0.96	185	48,904		99%								
186	47,665	186	100%	186	38,083	186	100%	186	571,112	186	0.871	186	61,747		96%								
187	96,386	187	76%	187	47,963	187	100%	187	234,913	187	0.883	187	62,740		97%								
188	48,926	188	100%	188	47,631	188	100%	188	121,922	188	0.804	188	61,769		100%								
189	96,917	189	98%	189	34,514	189	100%	189	148,316	189	0.734	189	174,280		100%								
190	33,549	190	78%	190	52,365	190	100%	190	222,617	190	0.854	190	48,767		98%								
191	53,380	191	100%	191	99,490	191	100%	191	347,005	191	0.857	191	302,630		100%								
192	37,307	192	89%	192	38,943	192	100%	192	284,352	192	0.904	192	61,222		100%								
193	95,134	193	100%	193	50,187	193	96%	193	372,007	193	0.763	193	62,008		85%								
194	48,442	194	100%	194	101,200	194	98%	194	448,588	194	0.887	194	99,223		84%								
195	90,896	195	100%	195	35,323	195	100%	195	283,918	195	0.834	195	61,551		90%								
196	48,890	196	100%	196	45,539	196	100%	196	122,494	196	0.865	196	88,346		99%								
197	145,092	197	100%	197	96,577	197	100%	197	422,202	197	0.863	197	306,794		89%								
198	50,826	198	98%	198	53,446	198	98%	198	584,988	198	0.879	198	162,636		99%								
199	49,274	199	100%	199	96,861	199	100%	199	271,597	199	0.901	199	48,770		100%								
200	102,079	200	100%	200	152,013	200	93%	200	264,653	200	0.798	200	151,610		86%								

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

Run 500 times																					Run 100 times		
s_Q model				s_S model				T_s_S model				Company model				MILP Model							
Table	88,497	Table	97%	Table	75,056	Table	98%	Table	294,986	Table	87%	Table	131,675	Table	96%	Average=	40,151	100%					
79,029	TC	88%	SL	203,654	TC	92.3%	SL	72,336	TC	100.0%	SL	162,580	TC	95.8%	SL	Run	TC	SL					
201	31,258	201	100%	201	36,449	201	100%	201	221,647	201	0.837	201	262,072		100%								
202	47,140	202	100%	202	148,150	202	100%	202	347,444	202	0.918	202	162,360		94%								
203	100,193	203	100%	203	50,312	203	99%	203	184,871	203	0.822	203	161,940		100%								
204	47,185	204	100%	204	153,578	204	100%	204	286,001	204	0.87	204	139,486		97%								
205	48,542	205	100%	205	42,533	205	99%	205	248,395	205	0.913	205	138,228		98%								
206	48,826	206	100%	206	84,538	206	100%	206	122,521	206	1	206	74,042		100%								
207	51,788	207	97%	207	33,846	207	100%	207	383,802	207	0.938	207	47,775		99%								
208	98,021	208	100%	208	54,105	208	100%	208	259,401	208	0.804	208	212,755		91%								
209	98,364	209	100%	209	46,146	209	100%	209	321,645	209	0.87	209	175,872		75%								
210	33,191	210	100%	210	34,870	210	100%	210	135,957	210	0.775	210	214,820		86%								
211	48,424	211	99%	211	35,245	211	94%	211	212,163	211	0.841	211	191,746		97%								
212	33,103	212	80%	212	53,477	212	100%	212	408,983	212	0.864	212	112,078		100%								
213	50,748	213	95%	213	48,748	213	94%	213	171,894	213	0.957	213	212,305		95%								
214	47,672	214	100%	214	100,068	214	90%	214	135,101	214	0.88	214	204,807		93%								
215	96,204	215	88%	215	99,971	215	100%	215	109,635	215	0.948	215	150,628		72%								
216	44,216	216	98%	216	86,087	216	100%	216	225,463	216	0.815	216	112,557		100%								
217	157,350	217	100%	217	48,458	217	87%	217	372,607	217	0.935	217	89,348		100%								
218	95,573	218	94%	218	101,462	218	85%	218	148,221	218	1	218	85,590		100%								
219	54,645	219	100%	219	146,407	219	96%	219	109,402	219	0.831	219	288,862		87%								
220	210,415	220	97%	220	50,249	220	100%	220	285,124	220	0.839	220	61,519		100%								
221	98,661	221	85%	221	146,343	221	86%	221	272,529	221	0.826	221	162,158		87%								
222	94,748	222	100%	222	145,610	222	99%	222	171,915	222	0.963	222	111,781		100%								
223	48,640	223	100%	223	100,154	223	100%	223	85,886	223	0.889	223	111,227		100%								
224	96,061	224	100%	224	33,652	224	89%	224	285,479	224	0.951	224	152,766		96%								
225	35,651	225	92%	225	198,014	225	100%	225	385,132	225	0.976	225	111,567		100%								
226	97,219	226	98%	226	50,743	226	95%	226	186,000	226	0.769	226	176,256		100%								
227	50,451	227	100%	227	152,605	227	100%	227	272,267	227	0.948	227	113,818		96%								
228	197,120	228	100%	228	41,602	228	92%	228	185,920	228	0.902	228	62,631		100%								
229	46,166	229	88%	229	47,650	229	100%	229	421,855	229	0.896	229	152,398		97%								
230	197,264	230	95%	230	33,342	230	100%	230	547,468	230	0.939	230	176,484		100%								
231	44,594	231	87%	231	151,932	231	98%	231	372,680	231	0.875	231	312,827		95%								
232	36,123	232	100%	232	98,530	232	100%	232	172,502	232	0.834	232	175,438		74%								
233	99,603	233	88%	233	209,037	233	90%	233	335,430	233	0.629	233	162,445		96%								
234	98,158	234	93%	234	47,777	234	90%	234	123,218	234	0.968	234	161,511		91%								
235	82,179	235	100%	235	45,508	235	100%	235	398,014	235	0.836	235	124,354		100%								
236	44,744	236	100%	236	101,791	236	100%	236	135,772	236	0.776	236	139,043		68%								
237	106,916	237	100%	237	103,059	237	93%	237	158,821	237	0.777	237	62,245		100%								
238	52,909	238	92%	238	48,278	238	99%	238	371,856	238	0.841	238	48,515		96%								
239	50,283	239	90%	239	153,112	239	86%	239	321,974	239	0.965	239	125,938		100%								
240	50,351	240	97%	240	39,023	240	100%	240	185,168	240	0.864	240	126,017		94%								
241	40,313	241	100%	241	50,025	241	100%	241	435,022	241	0.854	241	48,007		99%								
242	33,913	242	97%	242	47,684	242	100%	242	221,775	242	0.819	242	49,991		98%								
243	34,865	243	90%	243	51,443	243	87%	243	199,084	243	0.974	243	62,495		88%								
244	151,080	244	100%	244	48,628	244	100%	244	259,031	244	0.949	244	117,038		99%								
245	47,892	245	89%	245	34,135	245	100%	245	274,572	245	0.815	245	162,328		96%								
246	147,368	246	100%	246	251,418	246	100%	246	423,454	246	1	246	187,373		100%								
247	48,972	247	100%	247	64,225	247	100%	247	187,899	247	0.97	247	337,307		96%								
248	146,924	248	87%	248	96,760	248	100%	248	159,516	248	0.886	248	48,962		100%								
249	34,882	249	98%	249	34,267	249	97%	249	121,621	249	0.677	249	35,933		100%								
250	45,773	250	79%	250	49,019	250	100%	250	110,032	250	0.67	250	62,101		97%								
251	36,635	251	100%	251	48,541	251	100%	251	471,326	251	0.839	251	61,642		100%								
252	52,590	252	100%	252	37,998	252	98%	252	71,863	252	0.936	252	75,378		100%								
253	99,730	253	92%	253	38,537	253	95%	253	471,731	253	1	253	60,561		97%								
254	147,579	254	91%	254	86,099	254	100%	254	185,127	254	0.985	254	149,297		95%								
255	51,294	255	97%	255	103,801	255	96%	255	212,726	255	0.947	255	112,006		100%								
256	46,712	256	94%	256	99,767	256	100%	256	397,970	256	0.802	256	75,562		97%								
257	48,745	257	100%	257	148,254	257	81%	257	286,194	257	0.956	257	88,051		100%								
258	93,149	258	100%	258	50,149	258	100%	258	176,470	258	0.803	258	226,348		95%								
259	48,823	259	100%	259	100,590	259	100%	259	347,718	259	0.994	259	125,025		100%								
260	145,066	260	85%	260	105,175	260	100%	260	234,288	260	0.937	260	49,220		89%								
261	51,640	261	88%	261	150,256	261	97%	261	321,452	261	0.94	261	100,027		96%								
262	94,660	262	100%	262	51,027	262	100%	262	398,024	262	0.753	262	138,085		100%								
263	47,604	263	93%	263	46,532	263	100%	263	335,109	263	0.968	263	49,160		91%								
264	43,702	264	97%	264	98,620	264	100%	264	271,462	264	0.862	264	141,361		96%								
265	48,006	265	100%	265	45,215	265	100%	265	372,302	265	0.769	265	303,623		100%								
266	101,711	266	100%	266	86,071	266	100%	266	185,719	266	0.791	266	61,800		91%								
267	51,445	267	95%	267	45,486	267	100%	267	249,823	267	0.984	267	75,457		85%								
268	45,664	268	92%	268	39,425	268	100%	268	186,624	268	0.767	268	89,047		92%								
269	131,665	269	76%	269	49,593	269	97%	269	335,725	269	0.751	269	238,124		93%								
270	50,632	270	99%	270	47,454	270	99%	270	474,112	270	0.972	270	62,751		100%								
271	38,031	271	100%	271	42,693	271	98%	271	421,584	271	0.827	271	62,696		100%								
272	49,872	272	98%	272	42,230	272	98%	272	235,249	272	0.982	272	35,738		98%								
273	44,770	273	100%	273	100,457	273	93%	273	287,923	273	0.934	273	126,313		100%								
274	34,073	274	100%	274	102,348	274	100%	274	396,802	274	0.968	274	61,200		96%								
275	47,077	275	99%	275	37,380	275	98%	275	221,605	275	0.864	275	62,293		99%								
276	28,974	276	100%	276	100,305	276	100%	276	185,580	276	0.896	276	35,769		93%								
277	135,252	277	100%	277	31,997	277	100%	277	234,042	277	0.841	277	124,325		89%								
278	96,204	278	100%	278	94,474	278	100%	278	185,077	278	0.848	278	187,444		95%								
279	51,306	279	98%	279	95,693	279	100%	279	484,610	279	0.897	279	76,366		87%								
280	146,903	280	100%	280	37,655	280	93%	280	384,864	280	0.828	280	62,912		100%								
281	91,286	281	100%	281	33,879	281	100%	281	208,811	281	0.978	281	127,635		100%								
282	128,003	282	98%	282	248,213	282	100%	282	509,754	282	0.78	282	226,222		94%								
283	153,203	283	92%	283	95,489	283	100%	283	261,712	283	0.997	283	111,873		100%								
284	37,157	284	92%	284	52,185	284	100%	284	72,344	284	0.804	284	110,734		100%								
285	31,520	285	100%	285	34,765	285	89%	285	321,524	285	0.96	285	174,746		83%								
286	49,214	286	98%	286	96,124	286	100%	286	221,800	286	0.905	286	89,642		92%								
287	34,316	287	100%	287	40,276	287	100%	287	235,361	287	0.869	287	61,885		93%								
288	52,979	288	100%	288	49,595	288	100%	288	290,785	288	0.819	288	61,745		100%								
289	83,154	289	96%	289	97,484	289	99%	289	109,267	289	0.848	289	100,304		99%								
290	36,368	290	100%	290	52,175	290	97%	290	123,260	290	0.877	290	112,953		92%								
291	52,997	291	100%	291	86,935	291	100%	291	234,921	291	0.969	291	311,855		91%								
292	99,762	292	100%	292	35,808	292	99%	292	350,276	292	0.841	292	75,325		100%								
293	48,046	293	100%	293	152,752	293	100%	293	435,344	293	0.959	293	61,423		100%								
294	54,236	294	97%	294	200,899	294	100%	294	222,551	294	0.959	294	89,547		100%								
295	38,735	295	98%	295	136,794	295	100%	295	284,566	295	0.842	295	49,438		100%								
296	136,296	296	100%	296	48,010	296	100%	296	184,696	296	0.839	296	150,756		100%								
297	48,901	297	97%	297	100,750	297	100%	297	348,108	297	0.901	297	62,084		100%								
298	49,407	298	100%	298	198,250	298	100%	298	285,541	298	0.908	298	274,344		95%								
299	138,848	299	100%	299	82,698	299	100%	299	135,391	299	0.672	299	76,582		100%								
300	31,443	300	92%	300	45,412	300	100%	300	198,265	300	0.914	300	48,256		100%								

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

Run 500 times																				Run 100 times		
s_Q model				s_S model				T_s_S model				Company model				MILP Model						
Table	88,497	Table	97%	Table	75,056	Table	98%	Table	294,986	Table	87%	Table	131,675	Table	96%	Average=	40,151	100%				
79,029	TC	88%	SL	203,654	TC	92.3%	SL	72,336	TC	100.0%	SL	162,580	TC	95.8%	SL	Run	TC	SL				
301	129,593	301	95%	301	100,906	301	100%	301	397,590	301	0.767	301	62,348		93%							
302	98,327	302	100%	302	36,666	302	91%	302	358,705	302	0.958	302	112,729		99%							
303	125,997	303	99%	303	104,210	303	100%	303	334,646	303	1	303	76,175		98%							
304	97,327	304	89%	304	100,033	304	100%	304	259,788	304	0.876	304	179,261		94%							
305	36,982	305	89%	305	52,108	305	100%	305	337,952	305	0.962	305	138,306		100%							
306	36,833	306	100%	306	79,906	306	100%	306	497,276	306	0.819	306	76,025		100%							
307	48,409	307	100%	307	134,457	307	100%	307	347,830	307	0.813	307	125,586		78%							
308	149,309	308	100%	308	85,481	308	100%	308	334,856	308	0.867	308	49,284		100%							
309	150,706	309	91%	309	148,910	309	94%	309	135,870	309	0.905	309	149,589		100%							
310	148,581	310	99%	310	152,692	310	100%	310	158,822	310	0.866	310	225,108		100%							
311	92,298	311	100%	311	42,558	311	100%	311	185,353	311	0.785	311	175,653		92%							
312	31,406	312	100%	312	52,618	312	100%	312	372,406	312	0.715	312	113,713		96%							
313	96,648	313	95%	313	46,598	313	96%	313	59,336	313	0.764	313	88,644		100%							
314	148,714	314	100%	314	36,206	314	100%	314	298,098	314	0.834	314	287,435		100%							
315	47,213	315	84%	315	134,672	315	100%	315	372,250	315	0.858	315	126,141		91%							
316	36,139	316	94%	316	39,257	316	89%	316	172,800	316	0.836	316	224,785		92%							
317	45,164	317	100%	317	100,265	317	100%	317	398,762	317	0.759	317	112,291		100%							
318	97,141	318	100%	318	49,233	318	100%	318	421,731	318	0.906	318	312,570		97%							
319	48,102	319	93%	319	48,591	319	86%	319	236,853	319	0.784	319	99,283		98%							
320	48,241	320	100%	320	150,143	320	96%	320	297,796	320	0.792	320	99,125		97%							
321	36,558	321	100%	321	37,046	321	95%	321	159,160	321	0.732	321	62,224		85%							
322	49,449	322	100%	322	46,622	322	100%	322	259,753	322	0.805	322	112,852		88%							
323	134,903	323	99%	323	51,271	323	98%	323	198,015	323	0.894	323	75,815		100%							
324	100,013	324	96%	324	44,955	324	100%	324	261,729	324	0.845	324	125,562		89%							
325	49,749	325	92%	325	49,528	325	95%	325	447,803	325	0.93	325	211,962		94%							
326	145,683	326	100%	326	49,699	326	99%	326	447,804	326	0.907	326	89,274		100%							
327	51,883	327	100%	327	33,715	327	100%	327	335,177	327	0.957	327	113,020		95%							
328	130,253	328	100%	328	35,354	328	97%	328	297,072	328	0.767	328	75,654		96%							
329	90,921	329	100%	329	52,736	329	100%	329	222,691	329	0.823	329	124,536		95%							
330	46,708	330	100%	330	50,023	330	100%	330	185,562	330	0.901	330	239,494		100%							
331	93,720	331	100%	331	96,382	331	100%	331	135,302	331	0.894	331	241,316		100%							
332	37,404	332	100%	332	50,992	332	100%	332	209,445	332	0.902	332	187,207		100%							
333	152,435	333	90%	333	88,036	333	100%	333	511,121	333	1	333	98,316		98%							
334	150,839	334	100%	334	43,483	334	100%	334	287,682	334	0.978	334	149,671		96%							
335	53,018	335	66%	335	147,443	335	92%	335	198,074	335	0.93	335	198,791		100%							
336	97,504	336	95%	336	46,802	336	100%	336	373,523	336	0.902	336	62,873		100%							
337	44,238	337	98%	337	47,615	337	100%	337	413,818	337	0.884	337	74,558		94%							
338	136,647	338	100%	338	48,413	338	96%	338	247,971	338	0.915	338	139,670		100%							
339	44,513	339	95%	339	149,230	339	100%	339	448,137	339	0.951	339	75,863		91%							
340	48,455	340	100%	340	40,563	340	99%	340	258,694	340	0.902	340	111,982		92%							
341	36,510	341	100%	341	149,483	341	100%	341	271,574	341	0.916	341	225,848		100%							
342	49,374	342	96%	342	35,858	342	100%	342	221,832	342	0.929	342	152,394		98%							
343	98,782	343	100%	343	101,614	343	100%	343	547,269	343	0.987	343	63,788		100%							
344	145,597	344	100%	344	34,989	344	99%	344	396,611	344	0.982	344	166,279		100%							
345	149,637	345	98%	345	47,705	345	100%	345	358,253	345	0.902	345	160,614		100%							
346	98,688	346	100%	346	79,739	346	100%	346	186,255	346	0.943	346	88,824		100%							
347	95,036	347	89%	347	51,225	347	100%	347	285,458	347	0.936	347	175,605		98%							
348	201,130	348	97%	348	49,228	348	98%	348	284,755	348	0.937	348	49,057		98%							
349	47,942	349	95%	349	101,119	349	100%	349	323,538	349	0.966	349	48,240		96%							
350	160,237	350	100%	350	97,301	350	86%	350	172,507	350	0.756	350	138,891		100%							
351	198,262	351	100%	351	153,475	351	100%	351	175,567	351	0.754	351	174,393		100%							
352	145,199	352	91%	352	50,303	352	95%	352	272,895	352	0.784	352	112,053		94%							
353	38,555	353	99%	353	103,224	353	100%	353	334,780	353	0.917	353	162,265		91%							
354	28,586	354	99%	354	135,035	354	100%	354	160,022	354	0.814	354	275,111		86%							
355	44,324	355	100%	355	49,288	355	97%	355	321,941	355	0.931	355	142,100		100%							
356	127,274	356	100%	356	100,500	356	97%	356	250,344	356	0.715	356	115,007		100%							
357	99,689	357	100%	357	97,281	357	100%	357	272,601	357	0.938	357	163,031		100%							
358	96,071	358	100%	358	146,324	358	100%	358	160,180	358	0.935	358	111,449		100%							
359	50,297	359	100%	359	65,214	359	100%	359	635,085	359	0.976	359	100,340		100%							
360	40,143	360	100%	360	37,445	360	100%	360	222,746	360	0.92	360	149,765		100%							
361	156,887	361	95%	361	48,909	361	99%	361	350,970	361	0.844	361	188,357		95%							
362	192,321	362	97%	362	36,682	362	98%	362	385,164	362	0.983	362	149,760		100%							
363	97,735	363	91%	363	36,737	363	100%	363	209,153	363	0.871	363	262,129		87%							
364	46,316	364	100%	364	204,477	364	95%	364	172,627	364	0.802	364	112,434		83%							
365	50,810	365	100%	365	151,040	365	93%	365	273,783	365	0.979	365	160,902		85%							
366	44,660	366	100%	366	102,585	366	87%	366	60,595	366	0.876	366	162,391		89%							
367	96,277	367	99%	367	101,065	367	98%	367	335,754	367	0.756	367	98,402		90%							
368	146,828	368	100%	368	39,749	368	95%	368	110,143	368	0.964	368	151,703		95%							
369	44,830	369	100%	369	95,634	369	100%	369	320,942	369	0.715	369	263,344		100%							
370	145,040	370	100%	370	151,083	370	100%	370	209,841	370	0.748	370	74,649		100%							
371	143,836	371	97%	371	103,913	371	97%	371	301,461	371	0.729	371	62,850		100%							
372	61,161	372	93%	372	49,465	372	100%	372	434,688	372	0.704	372	89,496		98%							
373	31,749	373	100%	373	153,671	373	100%	373	421,204	373	0.968	373	227,987		100%							
374	150,222	374	93%	374	40,113	374	100%	374	271,822	374	0.835	374	76,100		98%							
375	46,919	375	100%	375	43,668	375	96%	375	210,997	375	0.994	375	76,148		97%							
376	38,990	376	100%	376	44,858	376	100%	376	222,432	376	0.851	376	50,450		94%							
377	46,648	377	100%	377	43,780	377	89%	377	159,302	377	0.876	377	112,009		89%							
378	88,173	378	100%	378	51,250	378	89%	378	414,268	378	0.793	378	62,097		100%							
379	145,082	379	92%	379	91,924	379	100%	379	313,643	379	0.828	379	212,245		99%							
380	35,854	380	97%	380	150,686	380	95%	380	274,957	380	0.978	380	186,171		99%							
381	95,696	381	100%	381	91,474	381	85%	381	284,380	381	0.809	381	151,657		95%							
382	44,475	382	100%	382	151,150	382	76%	382	235,544	382	1	382	49,142		100%							
383	49,324	383	88%	383	46,881	383	100%	383	185,513	383	0.964	383	111,182		100%							
384	34,636	384	100%	384	50,181	384	100%	384	313,427	384	0.924	384	164,288		96%							
385	149,068	385	100%	385	64,765	385	100%	385	285,205	385	0.992	385	125,617		90%							
386	48,716	386	100%	386	42,953	386	100%	386	228,608	386	0.643	386	74,993		85%							
387	60,436	387	100%	387	100,639	387	99%	387	271,523	387	0.739	387	110,728		88%							
388	34,417	388	99%	388	34,958	388	89%	388	311,088	388	1	388	160,523		86%							
389	146,141	389	87%	389	36,913	389	94%	389	235,185	389	0.876	389	188,245		100%							
390	37,910	390	94%	390	100,492	390	100%	390	210,189	390	0.958	390	162,203		100%							
391	134,754	391	96%	391	43,542	391	100%	391	172,580	391	0.687	391	35,983		80%							
392	100,289	392	91%	392	41,857	392	100%	392	173,029	392	0.827	392	62,090		100%							
393	135,327	393	98%	393	47,167	393	92%	393	534,080	393	0.935	393	126,074		94%							
394	209,394	394	100%	394	99,472	394	89%	394	398,398	394	0.741	394	125,438		100%							
395	51,988	395	95%	395	34,420	395	100%	395	184,947	395	0.806	395	224,707		100%							
396	29,669	396	94%	396	97,343	396	92%	396	397,433	396	0.857	396	174,840		96%							
397	84,725	397	100%	397	137,036	397	100%	397	397,444	397	0.861	397	61,428		100%							
398	143,619	398	100%	398	49,873	398	100%	398	253,793	398	0.805	398	160,914		97%							
399	97,326	399	100%	399	33,518	399	100%	399	285,396	399	0.915	399	61,815		97%							
400	96,728	400	99%	400	48,680	400	100%	400	158,837	400	0.941	400	77,130		100%							

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

Run 500 times																					Run 100 times		
s_Q model					s_S model				T_s_S model				Company model				MILP Model						
Table	88,497	Table	97%		Table	75,056	Table	98%	Table	294,986	Table	87%	Table	131,675	Table	96%		Average=	40,151	100%			
79,029	TC	88%	SL		203,654	TC	92.3%	SL	72,336	TC	100.0%	SL	162,580	TC	95.8%	SL		Run	TC	SL			
401	51,218	401	100%		401	34,834	401	100%	401	234,879	401	0.963	401	99,289		100%							
402	28,065	402	100%		402	143,838	402	100%	402	175,357	402	0.777	402	225,354		100%							
403	98,364	403	100%		403	46,053	403	94%	403	285,349	403	0.794	403	75,535		95%							
404	198,687	404	100%		404	151,816	404	89%	404	236,069	404	0.975	404	153,074		96%							
405	50,182	405	88%		405	32,344	405	98%	405	272,061	405	0.833	405	60,331		96%							
406	97,394	406	94%		406	105,736	406	76%	406	472,888	406	0.938	406	88,237		98%							
407	38,003	407	95%		407	40,481	407	100%	407	272,542	407	0.863	407	224,937		100%							
408	243,424	408	100%		408	88,143	408	100%	408	422,292	408	0.952	408	211,160		89%							
409	34,799	409	100%		409	86,806	409	100%	409	159,823	409	1	409	148,202		96%							
410	35,413	410	91%		410	144,994	410	100%	410	222,956	410	0.925	410	128,314		100%							
411	45,687	411	93%		411	48,980	411	100%	411	123,191	411	1	411	88,631		88%							
412	96,854	412	100%		412	52,376	412	100%	412	286,680	412	0.962	412	164,564		94%							
413	55,340	413	100%		413	101,176	413	98%	413	435,753	413	0.803	413	61,191		95%							
414	46,348	414	94%		414	150,432	414	100%	414	198,693	414	0.783	414	162,265		94%							
415	361,212	415	100%		415	48,096	415	82%	415	335,484	415	0.847	415	192,226		100%							
416	146,214	416	94%		416	64,649	416	96%	416	136,183	416	0.89	416	48,636		88%							
417	47,066	417	100%		417	46,803	417	93%	417	347,271	417	0.918	417	75,016		100%							
418	102,024	418	100%		418	45,139	418	100%	418	85,470	418	0.758	418	102,380		100%							
419	97,832	419	92%		419	31,217	419	100%	419	308,948	419	0.899	419	125,451		87%							
420	53,031	420	100%		420	32,280	420	100%	420	121,856	420	0.895	420	99,124		100%							
421	209,416	421	96%		421	102,619	421	100%	421	610,399	421	0.699	421	125,291		94%							
422	140,872	422	92%		422	94,683	422	94%	422	184,641	422	0.984	422	75,528		93%							
423	32,067	423	100%		423	100,303	423	93%	423	334,718	423	0.71	423	63,232		92%							
424	95,615	424	100%		424	32,485	424	100%	424	235,042	424	0.841	424	162,302		95%							
425	47,490	425	100%		425	44,980	425	100%	425	198,111	425	0.804	425	88,330		94%							
426	151,208	426	100%		426	94,034	426	98%	426	195,835	426	0.826	426	162,305		81%							
427	95,421	427	93%		427	55,660	427	99%	427	159,952	427	0.905	427	138,841		100%							
428	93,105	428	100%		428	101,672	428	100%	428	271,869	428	1	428	112,504		100%							
429	96,240	429	90%		429	138,892	429	100%	429	360,285	429	0.943	429	73,540		100%							
430	50,435	430	100%		430	49,819	430	100%	430	285,578	430	0.866	430	89,001		85%							
431	84,827	431	99%		431	47,321	431	100%	431	199,635	431	0.919	431	127,323		97%							
432	96,058	432	100%		432	44,680	432	100%	432	359,817	432	0.79	432	114,333		90%							
433	35,942	433	98%		433	81,412	433	91%	433	496,692	433	0.971	433	138,006		87%							
434	50,326	434	96%		434	98,291	434	95%	434	248,555	434	0.803	434	114,224		100%							
435	49,186	435	100%		435	52,608	435	91%	435	358,808	435	0.964	435	116,146		90%							
436	44,886	436	100%		436	45,260	436	98%	436	239,777	436	0.922	436	226,030		100%							
437	53,567	437	97%		437	44,593	437	95%	437	84,808	437	0.864	437	124,749		99%							
438	29,661	438	92%		438	98,510	438	95%	438	148,341	438	0.738	438	189,994		100%							
439	52,499	439	100%		439	87,407	439	99%	439	470,968	439	0.921	439	175,317		100%							
440	96,146	440	100%		440	49,997	440	99%	440	271,683	440	0.76	440	63,547		100%							
441	109,118	441	91%		441	47,278	441	100%	441	235,366	441	0.973	441	212,314		99%							
442	47,595	442	85%		442	100,243	442	100%	442	301,309	442	0.812	442	75,526		90%							
443	33,076	443	100%		443	45,443	443	94%	443	260,368	443	0.784	443	62,791		99%							
444	139,582	444	100%		444	39,865	444	93%	444	260,092	444	0.759	444	136,916		100%							
445	36,977	445	100%		445	82,456	445	100%	445	172,477	445	0.983	445	212,125		100%							
446	98,857	446	95%		446	37,216	446	100%	446	264,624	446	0.867	446	124,079		90%							
447	49,389	447	100%		447	214,030	447	100%	447	109,823	447	0.928	447	151,408		100%							
448	93,227	448	99%		448	48,572	448	100%	448	284,866	448	0.791	448	63,494		99%							
449	44,720	449	91%		449	152,220	449	100%	449	261,523	449	0.889	449	174,591		100%							
450	50,657	450	91%		450	195,572	450	100%	450	309,143	450	0.933	450	165,338		100%							
451	95,002	451	100%		451	36,901	451	100%	451	285,724	451	0.856	451	175,612		100%							
452	100,636	452	98%		452	50,293	452	100%	452	371,963	452	0.877	452	211,632		100%							
453	45,153	453	100%		453	49,848	453	100%	453	109,781	453	1	453	75,344		100%							
454	48,717	454	97%		454	98,157	454	100%	454	423,879	454	0.974	454	110,814		93%							
455	97,047	455	99%		455	151,589	455	100%	455	322,293	455	0.858	455	112,473		100%							
456	99,888	456	100%		456	53,222	456	100%	456	185,275	456	0.857	456	216,140		100%							
457	99,402	457	97%		457	32,675	457	87%	457	185,103	457	0.784	457	250,996		100%							
458	36,163	458	89%		458	143,816	458	96%	458	248,567	458	0.921	458	274,370		99%							
459	41,389	459	100%		459	93,726	459	93%	459	271,784	459	0.756	459	238,174		83%							
460	96,308	460	100%		460	45,567	460	100%	460	548,207	460	0.771	460	35,166		89%							
461	157,574	461	100%		461	52,832	461	100%	461	260,989	461	0.904	461	153,467		99%							
462	47,089	462	97%		462	102,120	462	100%	462	347,733	462	0.866	462	62,356		91%							
463	44,274	463	100%		463	101,008	463	100%	463	348,265	463	0.802	463	63,564		100%							
464	95,458	464	93%		464	52,858	464	100%	464	274,452	464	0.903	464	114,883		100%							
465	46,366	465	100%		465	149,557	465	100%	465	284,136	465	0.83	465	223,619		84%							
466	150,343	466	100%		466	49,703	466	100%	466	384,769	466	0.847	466	75,735		100%							
467	82,741	467	92%		467	39,087	467	100%	467	259,548	467	0.991	467	236,643		87%							
468	95,117	468	100%		468	32,135	468	100%	468	385,119	468	0.745	468	161,571		100%							
469	83,799	469	98%		469	86,121	469	97%	469	398,370	469	0.822	469	244,573		100%							
470	89,019	470	94%		470	49,152	470	100%	470	122,074	470	0.812	470	113,076		100%							
471	149,306	471	91%		471	52,194	471	100%	471	297,707	471	0.863	471	75,602		92%							
472	84,965	472	98%		472	34,399	472	98%	472	96,678	472	1	472	204,707		94%							
473	143,316	473	100%		473	83,977	473	100%	473	371,647	473	0.933	473	224,585		95%							
474	48,794	474	100%		474	48,500	474	100%	474	224,716	474	0.795	474	76,314		96%							
475	46,313	475	100%		475	104,944	475	100%	475	384,732	475	0.944	475	73,758		96%							
476	100,380	476	100%		476	96,793	476	89%	476	321,816	476	0.901	476	61,808		94%							
477	50,299	477	100%		477	36,102	477	97%	477	274,886	477	0.803	477	189,186		91%							
478	148,941	478	100%		478	154,576	478	87%	478	334,754	478	0.895	478	48,746		98%							
479	142,794	479	94%		479	33,656	479	100%	479	198,323	479	0.983	479	199,583		97%							
480	30,097	480	94%		480	47,661	480	100%	480	145,007	480	0.842	480	111,477		93%							
481	49,630	481	100%		481	97,878	481	100%	481	259,416	481	0.843	481	74,838		99%							
482	86,186	482	100%		482	36,597	482	100%	482	560,699	482	0.905	482	102,533		100%							
483	30,110	483	91%		483	105,605	483	100%	483	322,131	483	0.809	483	175,541		88%							
484	34,440	484	96%		484	149,870	484	100%	484	384,624	484	0.816	484	174,699		82%							
485	42,105	485	100%		485	153,406	485	100%	485	261,610	485	0.938	485	48,576		86%							
486	95,704	486	100%		486	104,072	486	100%	486	335,020	486	0.765	486	174,945		100%							
487	93,556	487	100%		487	45,756	487	96%	487	59,241	487	0.769	487	48,991		100%							
488	52,427	488	92%		488	87,477	488	85%	488	109,074	488	1	488	227,708		90%							
489	146,142	489	100%		489	102,298	489	84%	489	334,950	489	0.796	489	75,747		100%							
490	37,450	490	99%		490	97,276	490	100%	490	221,613	490	0.966	490	125,515		100%							
491	145,761	491	100%		491	99,660	491	100%	491	235,477	491	0.872	491	99,315		100%							
492	157,738	492	100%		492	96,389	492	100%	492	59,343	492	0.968	492	49,656		90%							
493	50,717	493	100%		493	150,067	493	100%	493	659,627	493	0.784	493	61,696		93%							
494	35,636	494	88%		494	51,195	494	85%	494	371,422	494	0.919	494	76,126		95%							
495	29,751	495	100%		495	39,921	495	100%	495	298,207	495	0.946	495	165,071		98%							
496	39,741	496	92%		496	148,322	496	90%	496	277,385	496	0.764	496	124,389		97%							
497	49,223	497	100%		497	96,439	497	98%	497	135,752	497	0.96	497	103,511		97%							
498	44,879	498	100%		498	137,568	498	100%	498	385,112	498	0.746	498	151,774		92%							
499	96,967	499	97%		499	85,069	499	94%	499	410,996	499	0.953	499	48,574		99%							
500	148,259	500	100%		500	54,687	500	98%	500	434,556	500	0.995	500	112,834		90%							