

นโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียวสำหรับระบบที่มีหลายวัสดุคงคลังทดแทนกัน

ปัญญาธ ป.ปาน¹ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์^{2*}

^{1, 2*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : fengwsst@ku.ac.th

รับต้นฉบับ : 26 ตุลาคม 2566; รับบทความฉบับแก้ไข : 1 กุมภาพันธ์ 2567; ตอบรับบทความ : 18 กุมภาพันธ์ 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 28 มิถุนายน 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยศึกษาการกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียวสำหรับระบบที่มีวัสดุคงคลังสามประเภทสามารถใช้งานทดแทนกันได้ วัสดุคงคลังคงเหลือที่มีต้นทุนต่ำกว่าสามารถนำมาใช้ตอบสนองอุปสงค์ที่ขาดแคลนของวัสดุคงคลังที่มีต้นทุนสูงกว่าด้วยอัตราส่วนทดแทนที่กำหนด หรือขายในราคารวมค่าซาก งานวิจัยได้นำเสนอวิธีการค้นหาคำตอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล ซึ่งถูกสร้างขึ้นบนแพลตฟอร์มของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล และฟังก์ชันโซลเวอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดปริมาณการเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่เหมาะสม โดยมีสมการวัตถุประสงค์คือการเพิ่มค่าคาดหวังผลกำไรรวมของระบบ เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ปัญหาทดสอบจำนวน 120 ปัญหา ถูกสุ่มขึ้นจากการพิจารณาปัจจัยมูลค่าซากสองระดับ และปัจจัยอัตราส่วนทดแทนสองระดับ โดยมีจำนวนการทำซ้ำ 30 ปัญหา ที่แต่ละระดับของปัจจัย คำตอบที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอถูกนำไปเปรียบเทียบกับ คำตอบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ซึ่งพิจารณาปริมาณสิ่งเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน จากผลการทดสอบพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้คำตอบที่มีค่าคาดหวังผลกำไรรวมของระบบสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ทั้ง 120 ปัญหาทดสอบ ทั้งนี้อิทธิพลหลักของปัจจัยมูลค่าซากและปัจจัยอัตราส่วนทดแทน มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลกำไรระหว่างวิธีการที่นำเสนอและวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลกำไรมีค่าสูงขึ้นที่ระดับต่ำของปัจจัยทั้งสอง

คำสำคัญ : ปัญหาเด็กส่งหนังสือพิมพ์ นโยบายเติมเต็ม การสั่งซื้อครั้งเดียว วัสดุคงคลังทดแทน



Single Order Inventory Replenishment Policy for the System Having Multiple Substitutable Inventory Items

Punyathat Porpan¹ Wisut Supithak^{2*}

^{1,2*}*Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: fengwsst@ku.ac.th

Received: 26 October 2023; Revised: 1 February 2024; Accepted: 18 February 2024

Published online: 28 June 2024

Abstract

The research discusses the single order inventory replenishment policy for a system consisting of three inventory items with substitutability. The leftovers of lower-cost inventory items can be either used to satisfy those demands occurred from the shortage of higher-cost inventory items with a specified ratio or sold at their salvage value. In order to determine the proper order quantity for each inventory item, the method based on the concept of mathematical solving on a Monte Carlo simulation model is proposed. This can be done by modeling the system on the Microsoft Excel platform and, with the objective function of maximizing the expected system profit, applying the solver function to determine a good solution. For the performance evaluation, 120 experimental problems are randomly generated considering two main factors, salvage value (2 levels) and substitution ratio (2 levels), with 30 replications for each treatment combination. The solution obtained from the proposed method is compared with the solution yielded from the traditional benefit analysis method, which is to independently determine the single order quantity of each inventory item without the consideration of substitution opportunity. According to the study result, in comparison to the benefit analysis method, the proposed method provides a larger expected profit for all 120 experimental problems. Moreover, the main influences of salvage value and substitution affect the percentage difference in profit between the proposed method and the benefit analysis approach. Here, the percentage difference in profit increases at the lower levels of both factors.

Keywords: Newsboy problem, Replenishment policy, Single order, Substitutable inventory

1) บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันซึ่งมีการแข่งขันทางธุรกิจสูง ราคาสินค้าถูกกำหนดด้วยผู้บริโภคและคู่แข่ง องค์กรจำเป็นต้องลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน ทั้งนี้ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการผลิตสินค้าที่สำคัญประการหนึ่งคือต้นทุนการบริหารจัดการวัสดุคงคลังในระบบ การมีวัสดุคงคลังในระบบมากเกินไปสามารถก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการถือครองที่สูง เกิดต้นทุนจมในระบบจำนวนมาก ในทางกลับกัน การมีปริมาณวัสดุคงคลังในระบบน้อยเกินไปอาจก่อให้เกิดการขาดแคลนวัสดุคงคลัง ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมการผลิตหยุดชะงัก หรือเกิดการสูญเสียการขายจากการที่ระบบไม่สามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้า การบริหารวัสดุคงคลังที่ดีจะทำให้ระบบมีปริมาณวัสดุคงคลังที่เหมาะสม กิจกรรมต่าง ๆ สามารถถูกดำเนินการได้อย่างราบรื่น โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำ

โดยทั่วไปตัวแบบเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมกับระบบ มีรูปแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปสงค์ในระบบนั้น [1] โดยการจำแนกลักษณะของอุปสงค์สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การจำแนกอุปสงค์ตามความเป็นอิสระต่อกัน เป็นอุปสงค์ที่มีความเป็นอิสระต่อกัน (independent demand) และอุปสงค์ที่ไม่มีความเป็นอิสระต่อกัน (dependent demand) การจำแนกอุปสงค์ตามความต่อเนื่องของการเกิดมีขึ้น เป็นอุปสงค์ที่มีความต่อเนื่อง (continuous demand) และอุปสงค์ที่ไม่มีความต่อเนื่อง (discrete demand) การจำแนกอุปสงค์ตามการเกิดซ้ำของคำสั่งซื้อ เป็นอุปสงค์ที่ระบบมีการสั่งซื้อซ้ำ (repeat order) และอุปสงค์ที่ระบบไม่มีการสั่งซื้อซ้ำ (single order) เป็นต้น

ตัวแบบพื้นฐานจัดการวัสดุคงคลังกรณีระบบมีการสั่งซื้อซ้ำและอุปสงค์ต่อเนื่อง ถูกศึกษาโดย Harris [2] ซึ่งได้นำเสนอตัวแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) โดยเป็นการคำนวณปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมจากการถ่วงน้ำหนักระหว่างค่าใช้จ่ายในการเติมเต็มและค่าใช้จ่ายในการถือครองวัสดุคงคลัง การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบการสั่งซื้อแบบประหยัด สามารถพิจารณาได้จาก [3] และ [4] การประยุกต์ใช้ตัวแบบการสั่งซื้อแบบประหยัดสำหรับระบบวัสดุแตกต่าง เช่น ระบบที่มีส่วนลดราคาตามปริมาณสั่งซื้อ [5]–[7] ระบบที่วัสดุคงคลังมีการเสื่อมสภาพได้ [8]–[10] เป็นต้น สำหรับกรณีที่ระบบมีอุปสงค์ไม่ต่อเนื่อง [11] ได้นำเสนอตัวแบบโปรแกรมพลวัต (dynamic programming)

ซึ่งสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับระบบที่มีต้นทุนวัสดุคงคลังต่อหน่วย ต้นทุนการสั่งซื้อ และต้นทุนการจัดเก็บ แตกต่างกันในแต่ละคาบเวลา กระบวนการฮิวริสติกสำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีของปัญหาดังกล่าวภายในระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถศึกษาได้จาก [12] การกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังสำหรับระบบที่อุปสงค์ที่ไม่มีการสั่งซื้อซ้ำ เป็นรูปแบบที่ระบบมีอุปสงค์เกิดขึ้นเพียงคาบเวลาเดียว หากปริมาณการสั่งซื้อเติมเต็มวัสดุคงคลังมีค่าน้อยกว่าอุปสงค์ จะทำให้ระบบสูญเสียโอกาสในการขาย ในทางกลับกันหากปริมาณวัสดุคงคลังที่สั่งเติมเต็มมีค่ามากกว่าอุปสงค์ จะส่งผลให้เกิดวัสดุคงคลังคงเหลือในระบบ ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้ง หรือการขายวัสดุคงคลังที่เหลือในราคาที่ลดลง รูปแบบของระบบดังกล่าวสามารถถูกพิจารณาได้ว่าเป็นปัญหาเด็กส่งหนังสือพิมพ์ (newsboy problem) หรือปัญหาการขายต้นคริสต์มาส (christmas tree problem) ตัวแบบการคำนวณปริมาณวัสดุคงคลังในระบบดังกล่าวศึกษาได้จาก [13] และ [14] การทบทวนวรรณกรรมสำหรับการเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียวพิจารณาได้จาก [15] และ [16] ในระบบการเติมเต็มครั้งเดียวที่มีวัสดุคงคลังหลายประเภททดแทนกันได้สามารถจำแนกได้เป็นสองรูปแบบคือ การทดแทนทางเดียว (one-way substitution) และการทดแทนสองทาง (two-way substitution) [17], [18] ได้ทำการศึกษาระบบที่มีการสั่งเติมเต็มครั้งเดียวสำหรับวัสดุคงคลังสองประเภท โดยการขาดแคลนวัสดุคงคลังประเภทหนึ่ง สามารถถูกทดแทนได้ด้วยวัสดุคงคลังอีกประเภทหนึ่งในรูปแบบการทดแทนสองทาง โดยได้นำเสนอการพิจารณาขอบเขตบนและขอบเขตล่างของปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทและใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลพิจารณาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากรณีที่มีการสั่งเติมเต็มครั้งเดียวโดยมีวัสดุคงคลังหรือชิ้นส่วนสามประเภทที่ใช้แทนทดแทนกันได้ในอัตราส่วนที่กำหนด ตัวอย่างรูปแบบงานวิจัยสามารถพิจารณาได้จากผู้ผลิต และจำหน่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรุ่นของคอมพิวเตอร์ที่มีความจุของหน่วยความจำสำรองแตกต่างกันสามรุ่นเป็น 4 GB 8 GB และ 16 GB ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำสำรองขนาด 4 GB สามารถใช้การ์ดหน่วยความจำสำรองขนาด 4 GB จำนวน 1 ชิ้น คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำสำรองขนาด 8 GB สามารถใช้การ์ดหน่วยความจำสำรองขนาด 8 GB จำนวน 1 ชิ้น หรือการ์ดหน่วยความจำสำรองขนาด 4 GB จำนวน 2 ชิ้น สำหรับ

คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำสำรองขนาด 16 GB สามารถใช้การทดหน่วยความจำสำรองขนาด 16 GB จำนวน 1 ชิ้น หรือใช้การทดหน่วยความจำสำรองขนาด 8 GB จำนวน 2 ชิ้น หรือใช้การทดหน่วยความจำสำรองขนาด 4 GB จำนวน 4 ชิ้น ซึ่งรูปแบบดังกล่าวเป็นลักษณะการใช้งานทดแทนกันของวัสดุคงคลังต่างประเภท โดยมีต้นทุนที่แตกต่างกัน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการหาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลกำไรรวมของระบบที่มีการเติมเต็มครั้งเดียว

2) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1) คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

μ_i	ค่าเฉลี่ยอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
μ'_k	ค่าเฉลี่ยอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภท k รวมกับค่าเฉลี่ยอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทราคาสูงกว่า k (ชิ้น) โดยที่ $k = 2, 3$
σ_i	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภท i โดยที่ $i = 1, 2, 3$
σ'_k	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภท k รวมกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานวัสดุคงคลังประเภทราคาสูงกว่า k โดยที่ $k = 2, 3$
Q_i	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
C_i	ต้นทุนวัสดุคงคลังประเภท i ต่อชิ้น (บาท/ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
P_i	ราคาขายวัสดุคงคลังประเภท i ต่อชิ้น (บาท/ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
D_i	ปริมาณอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
$r_{i,j}$	จำนวนวัสดุคงคลังประเภทที่ i (ชิ้น) ซึ่งถูกใช้ตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ j จำนวน 1 ชิ้น โดย $i \geq j$
$X_{i,j}$	จำนวนวัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) ซึ่งถูกใช้เพื่อตอบสนองอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทที่ j (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$ โดย $i \geq j$ ทั้งนี้กรณีที่ $i = j$ ค่าของ $X_{i,j}$ แสดงจำนวนชิ้นของวัสดุคงคลังประเภทที่ i (หรือ j) ที่ถูกใช้เพื่อตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ i (หรือ j) สำหรับกรณีที่ $i > j$ ค่าของ $X_{i,j}$ แสดงจำนวนชิ้นของวัสดุคงคลังประเภทที่ i ที่ถูกใช้เพื่อตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ j
V_i	มูลค่าซากวัสดุคงคลังประเภท i (บาท/ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$

S_i^{before}	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ i ขาดแคลนก่อนการทดแทน โดยที่ $i = 1, 2, 3$
S_i^{after}	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ i ขาดแคลนหลังการทดแทน โดยที่ $i = 1, 2, 3$
L_i^{before}	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ i เหลือก่อนการทดแทน โดยที่ $i = 1, 2, 3$
L_i^{after}	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ i เหลือหลังการทดแทน โดยที่ $i = 1, 2, 3$
E_l	รูปแบบของเหตุการณ์ที่ l
PF	ผลกำไรรวมของระบบ (บาท)
RE	รายรับรวมของระบบ (บาท)
CO	รายจ่ายรวมของระบบ (บาท)
Q_i^L	ขอบเขตล่างปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
Q_i^U	ขอบเขตบนปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภท i (ชิ้น) โดยที่ $i = 1, 2, 3$
$E(x_i)$	ค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม
$V(x_i)$	ความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม
PF_m	ผลกำไรรวมของชุดข้อมูลที่ข้อมูล m โดยที่ $m = 1, 2, 3, \dots, n$
n	จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้การสุ่ม
α_i	ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุคงคลังแต่ละประเภท i ที่เหมาะสม โดยที่ $i = 1, 2, 3$
Z_{α_i}	ค่ามาตรฐานที่ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุคงคลังแต่ละประเภท i ที่เหมาะสม โดยที่ $i = 1, 2, 3$
Q_i^{BA}	ปริมาณสั่งซื้อที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ผลประโยชน์
PF_{SS}	ค่าคาดหวังของผลกำไรจากวิธีค้นหาคำตอบแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์
PF_{BA}	ค่าคาดหวังของผลกำไรจากวิธีการวิเคราะห์ผลประโยชน์

2.2) คุณลักษณะของปัญหา

งานวิจัยพิจารณาการสั่งเติมเต็มเพียงครั้งเดียวสำหรับระบบที่มีวัสดุคงคลังสามประเภท โดยอุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภท (D_i) เป็นตัวแปรสุ่มที่ทราบค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจง การขาดแคลนวัสดุคงคลังประเภทหนึ่งสามารถใช้วัสดุคงคลังประเภทอื่นมาทดแทนได้ในอัตราส่วนที่กำหนด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการพิจารณากำหนดปริมาณสั่งซื้อเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มผลกำไรของระบบ (profit maximization) โดยมีสมมติฐานของงานวิจัย ดังนี้

- ต้นทุนต่อชิ้นของวัสดุคงคลัง (C_i) ราคาขายต่อชิ้น (P_i) และมูลค่าซากต่อชิ้น (V_i) เป็นค่าที่ทราบล่วงหน้า
- ต้นทุนของวัสดุคงคลังถูกกำหนดตามต้นทุน (C_i) และราคาขาย (P_i) โดยวัสดุคงคลังประเภทที่ $i = 1, 2$ และ 3 มีค่าต้นทุนและราคาขาย ดังนี้

$$C_3 < C_2 < C_1 \quad (1)$$

$$P_3 < P_2 < P_1 \quad (2)$$

- ในกรณีที่มีการขาดแคลนวัสดุคงคลัง ระบบสามารถใช้วัสดุคงคลังที่มีราคาต่ำกว่าทดแทนอุปสงค์ที่ขาดแคลนของวัสดุคงคลังที่มีราคาสูงกว่าในอัตราส่วนที่กำหนด ทั้งนี้ระบบไม่สามารถใช้วัสดุคงคลังที่มีราคาสูงกว่าทดแทนอุปสงค์วัสดุคงคลังที่มีราคาต่ำกว่า เนื่องจากไม่สามารถแบ่งย่อยวัสดุคงคลังที่มีราคาสูงกว่าได้
- ไม่พิจารณาค่าใช้จ่ายถือครองวัสดุคงคลัง เนื่องจากงานวิจัยพิจารณาอุปสงค์วัสดุคงคลังเพียงคาบเวลาเดียว โดยวัสดุคงคลังคงเหลือสามารถถูกนำไปใช้ทดแทนวัสดุคงคลังประเภทอื่นหรือถูกจำหน่ายด้วยราคามูลค่าซาก
- ต้นทุนของวัสดุคงคลังที่นำมาทดแทนมีค่าสูงกว่าต้นทุนวัสดุคงคลังที่ถูกทดแทน แสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$r_{i,j}C_i > C_j \quad (3)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อเพื่อเพิ่มผลกำไรรวมของระบบ ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 1

$$\text{Maximize } PF = RE - CO \quad (4)$$

รายรับรวมและรายจ่ายรวมของระบบสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 และสมการที่ 6 ตามลำดับ

$$RE = P_1X_{1,1} + P_2X_{2,2} + P_3X_{3,3} + P_1(X_{3,1} + X_{2,1}) + P_2X_{3,2} + V_1(Q_1 - X_{1,1}) + V_2(Q_2 - X_{2,2} - r_{2,1}X_{2,1}) + V_3(Q_3 - X_{3,3} - r_{3,2}X_{3,2} - r_{3,1}X_{3,1}) \quad (5)$$

พิจารณาสมการที่ 5 ค่าของ $P_1X_{1,1}$, $P_2X_{2,2}$ และ $P_3X_{3,3}$ เป็นรายรับจากการขายวัสดุคงคลังโดยตรง จากวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม ตามลำดับ ค่าของ $P_1(X_{3,1} + X_{2,1})$ เป็นรายรับจากการขายวัสดุคงคลังจากการทดแทนวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งด้วยวัสดุคงคลังประเภทที่สอง และสาม ค่าของ $P_2X_{3,2}$ เป็นรายรับจากการขายวัสดุคงคลังจากการทดแทนวัสดุคงคลังประเภทที่สองด้วยวัสดุคงคลังประเภทที่สาม ค่าของ $V_1(Q_1 - X_{1,1})$, $V_2(Q_2 - X_{2,2} - r_{2,1}X_{2,1})$ และ $V_3(Q_3 -$

$X_{3,3} - r_{3,2}X_{3,2} - r_{3,1}X_{3,1})$ เป็นรายรับจากการขายมูลค่าซากของวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม ตามลำดับ

$$CO = C_1Q_1 + C_2Q_2 + C_3Q_3 \quad (6)$$

พิจารณาสมการที่ 6 ค่าของ C_1Q_1 , C_2Q_2 และ C_3Q_3 เป็นต้นทุนวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม ตามลำดับ

จากสมการที่ 4 และ 6 สามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ดังสมการที่ 7

$$\text{Maximize } PF = [P_1X_{1,1} + P_2X_{2,2} + P_3X_{3,3} + P_1(X_{3,1} + X_{2,1}) + P_2X_{3,2} + V_1(Q_1 - X_{1,1}) + V_2(Q_2 - X_{2,2} - r_{2,1}X_{2,1}) + V_3(Q_3 - X_{3,3} - r_{3,2}X_{3,2} - r_{3,1}X_{3,1})] - [C_1Q_1 + C_2Q_2 + C_3Q_3] \quad (7)$$

2.3) ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา

กำหนดให้ระบบประกอบด้วยวัสดุคงคลังสามประเภทที่สามารถทดแทนกันได้ โดยมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลังแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลังในระบบ

ตัวแปร	ประเภทของวัสดุคงคลัง		
	1	2	3
ค่าเฉลี่ยของอุปสงค์ (ชิ้น)	70	80	120
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10	18	25
ราคา (บาท/ชิ้น)	50	40	20
ต้นทุน (บาท/ชิ้น)	18	15	10
มูลค่าซาก (บาท/ชิ้น)	10.5	9	6
อัตราส่วนทดแทน	$r_{2,1}$	$r_{3,1}$	$r_{3,2}$
	2	4	2

กำหนดให้คำตอบที่สนใจ (ซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) มีค่าปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม มีค่าเป็น $Q_1 = 68$ ชิ้น $Q_2 = 75$ ชิ้น และ $Q_3 = 150$ ชิ้น ตามลำดับ หากค่าอุปสงค์ที่แท้จริงของวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม มีค่าเป็น $D_1 = 66$ ชิ้น $D_2 = 78$ ชิ้น และ $D_3 = 132$ ชิ้น ตามลำดับ จะได้ว่าอุปสงค์วัสดุคงคลังที่ระบบสามารถตอบสนองได้โดยไม่มีการทดแทนมีค่าเป็น $X_{1,1} = 66$ ชิ้น $X_{2,2} = 75$ ชิ้น และ $X_{3,3} = 132$ ชิ้น ตามลำดับ และพิจารณาได้ว่า ก่อนการทดแทนมีอุปสงค์วัสดุคงคลังที่ขาดแคลนคือ วัสดุคงคลังประเภทที่สองจำนวน $S_2^{before} = 3$ ชิ้น และมีวัสดุคงคลังเหลือก่อนทดแทนคือ วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งจำนวน $L_1^{before} = 2$ ชิ้น และวัสดุคงคลังประเภทที่สามจำนวน

$L_3^{before} = 18$ ชิ้น จากเหตุการณ์ดังกล่าว สามารถใช้วัสดุคงคลังประเภทที่สามทดแทนวัสดุคงคลังประเภทที่สองในอัตราส่วน $r_{3,2} = 2$ ดังนั้นอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทที่สองซึ่งสามารถตอบสนองได้จากการทดแทนมีค่าเท่ากับ $X_{3,2} = 3$ ชิ้น หลังการทดแทนระบบมีวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งเหลือจำนวน $L_1^{after} = 2$ ชิ้น และมีวัสดุคงคลังประเภทที่สามเหลือจำนวน $L_3^{after} = 12$ ชิ้น จากรูปแบบดังกล่าวสามารถคำนวณผลกำไรของคำตอบได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : การคำนวณรายรับ รายจ่าย และผลกำไรของคำตอบที่สนใจ

รายการ	มูลค่า (บาท)
รายรับ	
1. การขายวัสดุคงคลังโดยตรง	$(66 \times 50) + (75 \times 40) + (132 \times 20)$ 8940 บาท
2. การขายวัสดุคงคลังทดแทนในราคาวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง	0 บาท
3. การขายวัสดุคงคลังทดแทนในราคาวัสดุคงคลังประเภทที่สอง	(3×40) 120 บาท
4. การขายวัสดุคงคลังในราคามูลค่าซาก	$(2 \times 10.5) + (12 \times 6)$ 93 บาท
รวม	9153 บาท
รายจ่าย	
1. ต้นทุนวัสดุคงคลัง	$(68 \times 18) + (75 \times 15) + (150 \times 10)$ 3849 บาท
รวม	3849 บาท
ผลกำไร	5304 บาท

3) วิธีดำเนินการวิจัย

จากคุณลักษณะของปัญหาในงานวิจัย การเกิดขึ้นของเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดแทนวัสดุคงคลังสามารถจำแนกได้เป็น 8 กรณีดังนี้

เหตุการณ์ที่ 1 วัสดุคงคลังทั้งสามประเภทเกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_1 = \{0, 0, 0\}$ ในกรณีนี้จะไม่มีการเกิดทดแทนวัสดุคงคลัง

เหตุการณ์ที่ 2 วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสองเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่สามไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_2 =$

$\{0, 0, 1\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่สามเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวอาจมีการนำใช้ทดแทนวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน (ประเภทที่หนึ่งและ/หรือประเภทที่สอง) หรือขายเป็นมูลค่าซาก ตามการวิเคราะห์ผลประโยชน์รายรับที่เกิดขึ้น

เหตุการณ์ที่ 3 วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสามเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่สองไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_3 = \{0, 1, 0\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่สองเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวอาจมีการนำใช้ทดแทนวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน (ประเภทที่หนึ่ง) หรือขายเป็นมูลค่าซาก ตามการวิเคราะห์ผลประโยชน์รายรับที่เกิดขึ้น

เหตุการณ์ที่ 4 วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่สอง และสามไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_4 = \{0, 1, 1\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่สอง และสามเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวอาจมีการนำใช้ทดแทนวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน (ประเภทที่หนึ่ง) หรือขายเป็นมูลค่าซาก ตามการวิเคราะห์ผลประโยชน์รายรับที่เกิดขึ้น

เหตุการณ์ที่ 5 วัสดุคงคลังประเภทที่สอง และสามเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_5 = \{1, 0, 0\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวจะขายเป็นมูลค่าซาก

เหตุการณ์ที่ 6 วัสดุคงคลังประเภทที่สองเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสามไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_6 = \{1, 0, 1\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่สามเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวอาจมีการนำใช้ทดแทนวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน (ประเภทที่สอง) หรือขายเป็นมูลค่าซากพร้อมวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง ตามการวิเคราะห์ผลประโยชน์รายรับที่เกิดขึ้น

เหตุการณ์ที่ 7 วัสดุคงคลังประเภทที่สามเกิดการขาดแคลน โดยวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสองไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_7 = \{1, 1, 0\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสองเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าวจะขายเป็นมูลค่าซาก

เหตุการณ์ที่ 8 วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสามคงเหลือไม่เกิดการขาดแคลน ซึ่งในงานวิจัยแทนเหตุการณ์ดังกล่าวด้วยสัญลักษณ์ $E_8 = \{1, 1, 1\}$ ในกรณีนี้ หากวัสดุคง

คลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสามเหลือ ปริมาณคงเหลือดังกล่าว
จะขายเป็นมูลค่าซาก

เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม ในงานวิจัยใช้วิธีการค้นหาคำตอบ
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล
โดยมีตัวแปรตัดสินใจคือปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภท
ที่ส่งผลให้การบริหารวัสดุคงคลังมีผลกำไรเพิ่มขึ้น การหาคำตอบ
จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล
บนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) และส่วน
การหาคำตอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนแพลตฟอร์มการจำลอง
สถานการณ์ด้วยฟังก์ชันโซลเวอร์

3.1) การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล

ตัวแบบจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาด้วยโปรแกรม
ไมโครซอฟท์เอ็กเซล มีตัวแปรตัดสินใจคือปริมาณสั่งซื้อวัสดุคง
คลังแต่ละประเภท (Q_i) มีข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย

ค่าพารามิเตอร์อุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภท ต้นทุนต่อชิ้น (C_i) ราคาต่อชิ้น (P_i) มูลค่าซากต่อชิ้น (V_i) และอัตราส่วนทดแทน ($r_{i,j}$) โดยมีตัวแปรตอบสนองคือค่าคาดหวังของผลกำไร ซึ่งในงานวิจัยจะทำการสุ่มค่าอุปสงค์ของวัสดุคงคลังแต่ละประเภทจำนวน 1000 ชุดข้อมูล ($n = 1000$)

รูปที่ 1 เป็นรูปตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล ซึ่ง
จำแนกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลนำเข้า ส่วนที่ 2
ตัวแปรตัดสินใจและตัวแปรตอบสนอง และส่วนที่ 3 ผลลัพธ์ที่
เกิดขึ้นจากการจำลองสถานการณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยอุปสงค์วัสดุคงคลัง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอุปสงค์วัสดุคงคลัง ต้นทุนต่อชิ้นของวัสดุคงคลัง ราคาต่อชิ้น มูลค่าซากต่อชิ้น และอัตราส่วนทดแทน โดยมีรายละเอียดและคำอธิบายแสดงดังตารางที่ 3

ข้อมูลนำเข้า

	วัสดุคงคลังชนิดที่1	วัสดุคงคลังชนิดที่2	วัสดุคงคลังชนิดที่3
ค่าเฉลี่ยอุปสงค์	12	60	190
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	3	10	10
ราคาขาย	150	110	70
ต้นทุน	75	60	40
มูลค่าซาก	50	36	20
$r_{2,1}$		2	
$r_{3,1}$		4	
$r_{3,2}$		2	

ตัวแปรตัดสินใจ

ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่1	13
ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่2	62
ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่3	196

ตัวแปรตอบสนอง

ค่าคาดหวังผลกำไร	9049.4
------------------	--------

ชนิดวัสดุคงคลัง

ชนิดวัสดุคงคลัง	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน
1	0	21
2	0	107
3	0	338

ส่วนที่ 1

ส่วนที่ 2

ส่วนที่ 3

รูปที่ 1 : ตัวแบบจำลองสถานการณ์มอดิตคาร์โรลบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

ตารางที่ 3 : รายละเอียดและคำอธิบายส่วนที่ 1 ข้อมลนำเข้า

เซลล์	ค่าแสดง	ฟังก์ชัน	คำอธิบาย
D5:F5	ค่าเฉลี่ยอุปสงค์	N/A	ค่าเฉลี่ยทางสถิติอุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภท
D6:F6	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	N/A	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภท
D7:F7	ราคาขาย	N/A	ราคาขายต่อชิ้นของวัสดุคงคลังแต่ละประเภท
D8:F8	ต้นทุน	N/A	ต้นทุนต่อชิ้นของวัสดุคงคลังแต่ละประเภท
D9:F9	มูลค่าซาก	N/A	มูลค่าซากต่อชิ้นของวัสดุคงคลังแต่ละประเภท
D10	$r_{2,1}$	N/A	จำนวนวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ซึ่งถูกใช้ตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 จำนวน 1 ชิ้น
D11	$r_{3,1}$	N/A	จำนวนวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ซึ่งถูกใช้ตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 จำนวน 1 ชิ้น
D12	$r_{3,2}$	N/A	จำนวนวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ซึ่งถูกใช้ตอบสนองวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 จำนวน 1 ชิ้น

ส่วนที่ 2 ตัวแปรตัดสินใจและตัวแปรตอบสนองประกอบด้วย ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภท ตัวแปรตอบสนองคือค่า คาดหวังผลกำไรที่ได้จากการบริหารวัสดุคงคลัง ซึ่งได้จากรายรับ รวม (ผลรวมระหว่างรายรับจากการขายวัสดุคงคลัง และรายรับ จากการขายวัสดุคงคลังที่เหลือในราคามูลค่าซาก) ลบรายจ่าย ค่าขอบเขตล่าง (Q_i^L) และค่าขอบเขตบน (Q_i^U) ของวัสดุคงคลัง แต่ละประเภท รายละเอียดและค่าฟังก์ชันการคำนวณของแต่ละ เซลล์แสดงดังตารางที่ 4

ส่วนที่ 3 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการจำลองสถานการณ์ โดย สดมภ์ B แสดงชุดข้อมูล สดมภ์ C สดมภ์ D และสดมภ์ E แสดง ค่าอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสาม ตามลำดับ ซึ่ง ถูกสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติที่ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานของอุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่กำหนดไว้ ปริมาณวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่ขายราคาปกติ (สดมภ์ F ถึง สดมภ์ H) จะมีค่าเท่ากับอุปสงค์และไม่เกินปริมาณสั่งซื้อ หาก อุปสงค์มีค่าเกินปริมาณสั่งซื้อปริมาณวัสดุคงคลังที่ขายราคาปกติ จะเท่ากับปริมาณสั่งซื้อและเกิดการขาดแคลนวัสดุคงคลัง เมื่อ วัสดุคงคลังแต่ละประเภทตอบสนองอุปสงค์เสร็จแล้ว ในกรณีนี้

วัสดุคงคลังประเภทราคาสูงขาดแคลนจะใช้วัสดุคงคลังประเภท ราคาต่ำกว่าทดแทนได้ในอัตราส่วนที่กำหนด ซึ่งจะทดแทนเมื่อ เป็นไปตามเงื่อนไขการวิเคราะห์ผลประโยชน์ ในกรณีที่วัสดุคง คลังประเภทราคาต่ำกว่ามากกว่าหนึ่งประเภทที่สามารถทดแทน วัสดุคงคลังประเภทราคาสูงที่ขาดแคลนหรือวัสดุคงคลังประเภท ราคาต่ำกว่าสามารถทดแทนวัสดุคงคลังประเภทราคาสูงได้ มากกว่าหนึ่งประเภท ระบบจะใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ให้ผล กำไรสูงสุดเป็นลำดับแรก แสดงดังสดมภ์ M ถึง สดมภ์ O ตาม ด้วยประเภทที่ให้ผลกำไรรองลงมา แสดงดังสดมภ์ P ถึง สดมภ์ R ตามลำดับ ปริมาณวัสดุคงคลังแต่ละประเภทที่เหลือจากการ ตอบสนองอุปสงค์ และ(ถ้ามี)การทดแทนแสดงดังสดมภ์ S สดมภ์ T และสดมภ์ U โดยปริมาณคงเหลือดังกล่าวจะถูกจำหน่ายใน ราคามูลค่าซาก ผลกำไร (สดมภ์ Y) คำนวณจากผลต่างระหว่าง รายรับรวม และต้นทุนวัสดุคงคลัง (สดมภ์ X) ซึ่งรายรับรวม ประกอบด้วย รายรับขายวัสดุคงคลัง และรายรับขายซาก รายละเอียดและค่าฟังก์ชันการคำนวณค่าของแต่ละเซลล์แสดง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 : รายละเอียดและคำอธิบายส่วนที่ 2 ตัวแปรตัดสินใจและตัวแปรตอบสนอง

เซลล์	ค่าแสดง	ฟังก์ชัน	รายละเอียด
K5	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่ 1	N/A	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 ที่ให้ค่าคาดหวังของผลกำไรสูงสุด
K6	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่ 2	N/A	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ที่ให้ค่าคาดหวังของผลกำไรสูงสุด
K7	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังชนิดที่ 3	N/A	ปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ที่ให้ค่าคาดหวังของผลกำไรสูงสุด
Q5	ค่าคาดหวังของผลกำไร	N/A	ค่าคาดหวังผลกำไรที่ได้จากการตอบสนองชุดอุปสงค์จำนวน 1000 ชุด
R5	ขอบเขตล่างวัสดุคงคลังชนิดที่ 1	N/A	ค่าขอบเขตล่างปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 1
R6	ขอบเขตล่างวัสดุคงคลังชนิดที่ 2	N/A	ค่าขอบเขตล่างปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 2
R7	ขอบเขตล่างวัสดุคงคลังชนิดที่ 3	N/A	ค่าขอบเขตล่างปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 3
S5	ขอบเขตบนวัสดุคงคลังชนิดที่ 1	=D5+3*D6	ค่าขอบเขตบนปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 1
S6	ขอบเขตบนวัสดุคงคลังชนิดที่ 2	=ROUND((E5+D5)+3*(SQRT (E6*E6+D10*D10*D6*D6)), 0)	ค่าขอบเขตบนปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 2
S7	ขอบเขตบนวัสดุคงคลังชนิดที่ 3	=ROUND((F5+E5+D5)+3*(SQRT(F6*F6+D12*D12*E6*E6+D11*D11*D6*D6)),0)	ค่าขอบเขตบนปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่ 3

ตารางที่ 5 : ค่าของเซลล์ในส่วนการบริหารปริมาณวัสดุคงคลัง และการคำนวณผลกำไรของระบบ

เซลล์	ค่าแสดง	ฟังก์ชัน	คำอธิบาย
B18	ชุดข้อมูล	N/A	ชุดข้อมูลอุปสงค์วัสดุคงคลังแต่ละประเภท
C18	D_1	=ROUND(NORMINV(RAND(),\$D\$5,\$D\$6),0)	ความต้องการวัสดุคงคลังประเภทที่ 1
D18	D_2	=ROUND(NORMINV(RAND(),\$E\$5,\$E\$6),0)	ความต้องการวัสดุคงคลังประเภทที่ 2
E18	D_3	=ROUND(NORMINV(RAND(),\$F\$5,\$F\$6),0)	ความต้องการวัสดุคงคลังประเภทที่ 3
F18	$X_{1,1}$	=MIN(C18,\$K\$4)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 ที่ตอบสนองอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่ 1
G18	$X_{2,2}$	=MIN(D18,\$K\$5)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ที่ตอบสนองอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่ 2
H18	$X_{3,3}$	=MIN(E18,\$K\$6)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ที่ตอบสนองอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่ 3
I18	$S_1^{before} / L_1^{before}$	=\$K\$4-C18	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 ที่ขาดหรือเหลือก่อนทดแทน
J18	$S_2^{before} / L_2^{before}$	=\$K\$5-D18	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ที่ขาดหรือเหลือก่อนทดแทน
K18	$S_3^{before} / L_3^{before}$	=\$K\$6-E18	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ที่ขาดหรือเหลือก่อนทดแทน
L18	เหตุการณ์	=IF(AND(\$K\$6<\$E18,\$K\$5<\$D18,\$K\$4<\$C18),1,IF(AND(\$K\$5<\$D18,\$K\$4<\$C18),2,IF(AND(\$K\$6<\$E18,\$K\$4<\$C18),3,IF(\$K\$4<\$C18,4,IF(AND(\$K\$6<\$E18,\$K\$5<\$D18),5,IF(\$K\$5<\$D18,6,IF(\$K\$6<\$E18,7,8))))))	รูปแบบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนมีการทดแทน (จาก 8 เหตุการณ์ที่ถูกกล่าวไว้ในตอนต้นของส่วนนี้)
M18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่หนึ่งของ $X_{2,1}$	=IF(AND(L18=3,\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4,ROUNDDOWN((\$K\$5-D18)/\$D\$10,0)),0),IF(AND(L18=4,\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9>\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9,\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4,ROUNDDOWN((\$K\$5-D18)/\$D\$10,0)),0),0))	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่หนึ่ง
N18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่หนึ่งของ $X_{3,1}$	=IF(AND(L18=2,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$11,0)),0),IF(AND(L18=4,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$11,0)),0),0))	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่หนึ่ง
O18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่หนึ่งของ $X_{3,2}$	=IF(AND(L18=6,\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9>0),MAX(MIN(D18-\$K\$5,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$12,0)),0),IF(AND(L18=2,\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9>\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9,\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9>0),MAX(MIN(D18-\$K\$5,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$12,0)),0),0))	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 2 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่หนึ่ง

ตารางที่ 5 : ค่าของเซลล์ในส่วนการบริหารปริมาณวัสดุคงคลัง และการคำนวณผลกำไรของระบบ (ต่อ)

เซลล์	ค่าแสดง	ฟังก์ชัน	คำอธิบาย
P18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่สองของ $X_{2,1}$	=IF(AND(L18=4,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9,\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4-N18,ROUNDDOWN((\$K\$5-D18)/\$D\$10,0)),0),0)	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่สอง
Q18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่สองของ $X_{3,1}$	=IF(AND(L18=2,\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9>\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4-O18,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$11,0)),0),IF(AND(L18=4,\$D\$7-\$D\$10*\$E\$9>\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>0),MAX(MIN(C18-\$K\$4-M18,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$11,0)),0),0))	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 1 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่สอง
R18	ปริมาณทดแทนในลำดับที่สองของ $X_{3,2}$	=IF(AND(L18=2,\$D\$7-\$D\$11*\$F\$9>\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9,\$E\$7-\$D\$12*\$F\$9>0),MAX(MIN(D18-\$K\$5-N18,ROUNDDOWN((\$K\$6-E18)/\$D\$12,0)),0),0)	ปริมาณวัสดุคงคลังทดแทนประเภทที่ 2 ที่ได้จากการใช้วัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ทดแทน ซึ่งถูกใช้ทดแทนเป็นลำดับที่สอง
S18	S_1^{after}/L_1^{after}	=MAX(\$K\$4-C18,0)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 1 ที่ขาดหรือเหลือหลังทดแทน
T18	S_2^{after}/L_2^{after}	=MAX(\$K\$5-G18-(M18*\$D\$10)-(P18*\$D\$10),0)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 2 ที่ขาดหรือเหลือหลังทดแทน
U18	S_3^{after}/L_3^{after}	=MAX(\$K\$6-H18-(N18*\$D\$11)-(O18*\$D\$12)-(Q18*\$D\$11)-(R18*\$D\$12),0)	ปริมาณวัสดุคงคลังประเภทที่ 3 ที่ขาดหรือเหลือหลังทดแทน
V18	รายรับ	=\$D\$7*(F18+M18+N18+P18+Q18)+\$E\$7*(G18+O18+R18)+\$F\$7*(H18)	รายรับรวมจากการขายวัสดุคงคลัง
W18	มูลค่าซาก	=\$D\$9*S18+\$E\$9*T18+\$F\$9*U18	รายรับรวมจากการขายวัสดุคงคลังที่เหลือในราคามูลค่าซาก
X18	ต้นทุน	=\$D\$8*\$K\$4+\$K\$5*\$E\$8+\$K\$6*\$F\$8	ต้นทุนรวมวัสดุคงคลัง
Y18	ผลกำไร	=V18+W18-X18	ผลต่างระหว่างรายได้รวมกับต้นทุนรวม

3.2) การค้นหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

พิจารณา n เป็นจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้การสุ่ม ค่าผลกำไรของชุดข้อมูล m แทนด้วย PF_m สมการแสดงค่าคาดหวังผลกำไรของข้อมูล n ข้อมูลแสดงได้ดังสมการที่ 8

$$E(PF) = \frac{\sum_{m=1}^n PF_m}{n} \quad (8)$$

งานวิจัยศึกษาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเพื่อเพิ่มค่าคาดหวังของผลกำไรมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แสดงดังสมการที่ 9

$$\text{Maximize } E(PF) = \frac{\sum_{m=1}^n PF_m}{n} \quad (9)$$

เพื่อให้การหาคำตอบที่ดีของตัวแบบคณิตศาสตร์ถูกทำได้ในเวลาที่เหมาะสม งานวิจัยได้กำหนดขอบเขตล่าง (lower bound) และขอบเขตบน (upper bound) ของตัวแปรตัดสินใจปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภท โดยค่าขอบเขตล่างของวัสดุคงคลังทั้งสามประเภทถูกกำหนดเป็นศูนย์ ($Q_1^L = Q_2^L = Q_3^L = 0$)

ทั้งนี้งานวิจัยได้กำหนดค่าขอบเขตบนของปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง (ซึ่งไม่ได้ถูกนำไปทดแทนวัสดุคงคลังประเภทอื่น) ดังสมการที่ 10

$$Q_1^U = \mu_1 + 3\sigma_1 \quad (10)$$

สำหรับวัสดุคงคลังประเภทที่สอง (ซึ่งสามารถนำไปทดแทนวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง) เมื่อกำหนดให้ μ'_2 และ σ'_2 เป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่สองกับอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งเมื่อเปลี่ยนค่าเป็นอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่สอง จากหลักการที่ถูกแสดงโดย [18] ค่าของ μ'_2 และ σ'_2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 11 และ 12 ทั้งนี้การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่บนสมมติฐานการเกิดอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่งและสอง เป็นอิสระต่อกัน

$$\mu'_2 = \mu_2 + r_{2,1}\mu_1 \quad (11)$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{V(D_2) + r_{2,1}^2 V(D_1)} \quad (12)$$

จากสมการที่ 11 และ 12 งานวิจัยกำหนดค่าขอบเขตบนของปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่สอง ดังสมการที่ 13

$$Q_2^U = \mu_2 + r_{2,1}\mu_1 + 3\sqrt{V(D_2) + r_{2,1}^2 V(D_1)} \quad (13)$$

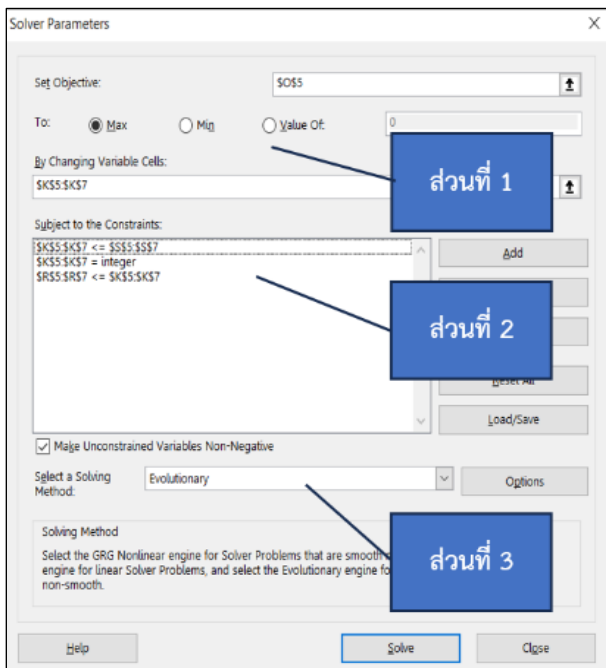
สำหรับวัสดุคงคลังประเภทที่สาม (ซึ่งสามารถนำไปทดแทนวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสอง) เมื่อกำหนดให้ μ'_3 และ σ'_3 เป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่สามกับอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง และสองเมื่อเปลี่ยนค่าเป็นอุปสงค์วัสดุคงคลังประเภทที่สาม ค่าของ μ'_3 และ σ'_3 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 14 และ 15 ทั้งนี้การคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่บนสมมติฐานการเกิดอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทที่หนึ่ง สอง และสามเป็นอิสระต่อกัน

$$\mu'_3 = \mu_3 + r_{3,2}\mu_2 + r_{3,1}\mu_1 \quad (14)$$

$$\sigma'_3 = \sqrt{V(D_3) + r_{3,2}^2 V(D_2) + r_{3,1}^2 V(D_1)} \quad (15)$$

จากสมการที่ 14 และ 15 งานวิจัยกำหนดค่าขอบเขตบนของปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังประเภทที่สาม ดังสมการที่ 16

$$Q_3^U = \mu_3 + r_{3,2}\mu_2 + r_{3,1}\mu_1 + 3\sqrt{V(D_3) + r_{3,2}^2 V(D_2) + r_{3,1}^2 V(D_1)} \quad (16)$$



รูปที่ 2 : หน้าต่างฟังก์ชันโซลเวอร์ จากโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

รูปที่ 2 เป็นหน้าต่างฟังก์ชันโซลเวอร์ ซึ่งจำแนกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ประกอบด้วย ตำแหน่งเซลล์เป้าหมาย (set objective) คือเซลล์ O5 ซึ่งเป็นค่าของค่าเฉลี่ยผลกำไร การกำหนดวัตถุประสงค์ให้เป็นการเพิ่มค่า (maximization) ของเซลล์เป้าหมาย และตำแหน่งตัวแปรตัดสินใจได้แก่เซลล์ K5 ถึง K7 ส่วนที่ 2 แสดงเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจ โดยจะพิจารณาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเป็นจำนวนเต็ม และเป็นค่าที่อยู่ในช่วงขอบเขตล่างและขอบเขตบนของวัสดุคงคลังประเภทนั้น ส่วนที่ 3 แสดงการเลือกวิธีการค้นหาคำตอบเป็น Evolutionary

4) ผลการศึกษา

เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาคำตอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอ ค่าคาดหวังของผลกำไรที่ได้จากวิธีดังกล่าวถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าคาดหวังของผลกำไรจากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ [1] โดยพิจารณาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งไม่คำนึงถึงการทดแทน (อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหางานวิจัย หากการเกิดขึ้นของเหตุการณ์สามารถมีการทดแทนกันได้ ระบบจะมีการทดแทน) ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์คำนวณความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุคงคลังแต่ละชนิดที่เหมาะสม (α_i) และปริมาณสั่งเพิ่มเติมวัสดุคงคลังแต่ละชนิด (Q_i^{BA}) ได้ดังสมการที่ 17 และ 18

$$\alpha_i = \frac{C_i - V_i}{P_i - V_i} \quad (17)$$

$$Q_i^{BA} = \mu_i + \sigma_i Z_{\alpha_i} \quad (18)$$

การกำหนดปัญหาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพพิจารณาอิทธิพลของสองปัจจัยหลักคือ ปัจจัยมูลค่าซากสองระดับ (ระดับต่ำ: มูลค่าซากมีค่าเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลัง และระดับสูง: มูลค่าซากมีค่าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลัง) และปัจจัยอัตราส่วนการทดแทนสองระดับ (ระดับต่ำ: $r_{2,1} = 2$ $r_{3,2} = 2$ $r_{3,1} = 4$ และระดับสูง: $r_{2,1} = 2$ $r_{3,2} = 3$ $r_{3,1} = 6$) จากการสร้างปัญหาทดสอบอย่างสุ่มโดยทำซ้ำ 30 ปัญหา ทำให้เกิดปัญหาทดสอบจำนวน $2 \times 2 \times 30 = 120$ ปัญหา ค่าพารามิเตอร์ของปัญหาทดสอบแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 : ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

พารามิเตอร์	ประเภทของวัสดุคงคลัง		
	1	2	3
ค่าเฉลี่ย	$\mu_1 \sim U[30,50]$	$\mu_2 \sim U[70,130]$	$\mu_3 \sim U[200,300]$
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	$\sigma_i \sim U[\frac{\mu_i}{4}, \frac{\mu_i}{3.5}]$	$\sigma_i \sim U[\frac{\mu_i}{4}, \frac{\mu_i}{3.5}]$	$\sigma_i \sim U[\frac{\mu_i}{4}, \frac{\mu_i}{3.5}]$
ราคาขาย	$P_1 \sim U[1.6,1.8]C_1$	$P_2 \sim U[1.4,1.6]C_2$	$P_3 \sim U[1.2,1.4]C_3$
ต้นทุน	$C_1 \sim U[1.2,1.5]C_2$	$C_2 \sim U[1.2,1.5]C_3$	$C_3 \sim U[100,200]$
มูลค่าซาก	$40\% \times C_1$	$40\% \times C_2$	$40\% \times C_3$
	$80\% \times C_1$	$80\% \times C_2$	$80\% \times C_3$
อัตราส่วน	$r_{2,1} = 2, r_{3,2} = 2, r_{3,1} = 4$		
ทดแทน	$r_{2,1} = 2, r_{3,2} = 3, r_{3,1} = 6$		

ผลการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของผลกำไรที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอกับวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ จากการทดสอบแบบจับคู่ (Paired T-Test) แสดงดังรูปที่ 3

Estimation for Paired Difference				
Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu_{\text{difference}}$	
98.52	102.97	9.40	(79.91, 117.14)	
$\mu_{\text{difference}}$: mean of (solver&simulation - Benefit Analysis)				
Test				
Null hypothesis		$H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$		
Alternative hypothesis		$H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$		
T-Value	P-Value			
10.48	0.000			

รูปที่ 3 : ผลการทดสอบ Paired T-Test ของ PF_{BA} และ PF_{SS} จากโปรแกรม Minitab18

พิจารณาจากรูปที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ค่าคาดหวังผลกำไรจากวิธีการค้นหาคำตอบแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอมีความแตกต่างจากค่าคาดหวังผลกำไรที่ได้รับจากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาช่วงความเชื่อของค่าคาดหวังผลกำไรจากวิธีทั้งสอง ซึ่งมีค่าเป็นบวกตลอดช่วง สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ วิธีการที่นำเสนอให้ค่าคาดหวังผลกำไรสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์

เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลักระดับราคามูลค่าซากและอัตราส่วนการทดแทน เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percent

Deviation: % dev) ของค่าคาดหวังผลกำไรที่ได้จากวิธีทั้งสองถูกนำมาพิจารณาเป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวคำนวณได้ดังสมการที่ 17

$$\% dev = \frac{(PF_{SS} - PF_{BA}) \times 100}{PF_{BA}} \quad (17)$$

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลักของปัจจัยราคามูลค่าซาก และปัจจัยอัตราส่วนทดแทนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ตามลำดับ

μ_1 : mean of Solvage Value = $40\% \times C$			
μ_2 : mean of Solvage Value = $80\% \times C$			
Difference: $\mu_1 - \mu_2$			
Test		Estimation for Difference	
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	95% CI for	
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	Difference	Difference
T-Value	DF	P-Value	0.6142 (0.5229, 0.7055)
13.44	62	0.000	

รูปที่ 4 : ผลการทดสอบ Two-Sample T-Test ของปัจจัยราคามูลค่าซากจากโปรแกรม Minitab18

μ_1 : mean of $r_{2,1} = 2, r_{3,1} = 4, r_{3,2} = 2$			
μ_2 : mean of $r_{2,1} = 2, r_{3,1} = 6, r_{3,2} = 3$			
Difference: $\mu_1 - \mu_2$			
Test		Estimation for Difference	
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	95% CI for	
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	Difference	Difference
T-Value	DF	P-Value	0.1885 (0.0482, 0.3289)
2.67	85	0.009	

รูปที่ 5 : ผลการทดสอบ Two-Sample T-Test ของปัจจัยอัตราส่วนการทดแทน จากโปรแกรม Minitab18

พิจารณาอิทธิพลหลัก (main effect) ของปัจจัยราคามูลค่าซากจากรูปที่ 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรทั้งสองระดับของปัจจัยราคามูลค่าซากมีความแตกต่างกัน ($p\text{-value} = 0.000$) ทั้งนี้ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรปัจจัยราคามูลค่าซากสองระดับมีค่าเท่ากับ (0.5229, 0.7055) ซึ่งมีค่าเป็นบวกตลอดช่วงสามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยราคามูลค่าซากที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลังมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรสูงกว่าปัจจัยราคามูลค่าซากที่ 80 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลัง หรือกล่าวได้ว่า ระบบที่วัสดุคงคลังคงเหลือมีราคามูลค่าซากต่ำซึ่งการทดแทนมีแนวโน้มให้ผลกำไรสูงกว่าการขายวัสดุคงคลังคงเหลือในราคามูลค่าซากวิธีการที่นำเสนอซึ่งมีการพิจารณาการทดแทนในการหาปริมาณเพิ่มเติมที่เหมาะสม จะให้ค่าคาดหวังผลกำไรสูงกว่าวิธีการวิเคราะห์

ผลได้ประโยชน์ซึ่งพิจารณาการคำนวณปริมาณการเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน

พิจารณาอิทธิพลหลัก (main effect) ของปัจจัยอัตราส่วนทดแทน จากรูปที่ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรที่สองระดับปัจจัยอัตราส่วนทดแทนมีค่าแตกต่างกัน ($p\text{-value} = 0.009$) ทั้งนี้ช่วงความเชื่อมั่นผลต่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรปัจจัยอัตราส่วนทดแทนสองระดับมีค่าเท่ากับ (0.0482, 0.3289) ซึ่งมีค่าเป็นบวกตลอดช่วง สามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ระบบวัสดุคงคลังที่มีอัตราส่วนทดแทนระดับต่ำมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคาดหวังผลกำไรสูงกว่าระบบวัสดุคงคลังที่มีอัตราส่วนทดแทนระดับสูง

ผลการทดสอบวิธีการที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 : ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ

การทดสอบ	รูปแบบ	ค่า $p\text{-value}$	95 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่น
ความแตกต่างของผลกำไรระหว่างวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์	Paired T- Test	0.000	ความแตกต่างผลกำไร (79.91, 117.14)
อิทธิพลปัจจัยหลักมูลค่าซาก	Two-Sample T-Test	0.000	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างผลกำไร (0.5229, 0.7050)
อิทธิพลปัจจัยหลักอัตราส่วนทดแทน	Two-Sample T-Test	0.009	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างผลกำไร (0.0482, 0.3289)

5) สรุปผล

งานวิจัยทำการศึกษาระบบที่มีการสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียว โดยมีวัสดุคงคลังสามประเภทที่ใช้งานทดแทนกันได้ในอัตราส่วนที่กำหนด ทั้งนี้วัสดุคงคลังที่เหลืออยู่ในระบบสามารถถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุคงคลังที่มีราคาสูงกว่า (หากเกิดการขาดแคลน) หรือขายในราคามูลค่าซาก วิธีการค้นหาคำตอบแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบจำลองสถานการณ์ถูกนำเสนอในงานวิจัย เพื่อค้นหาปริมาณสั่งซื้อวัสดุคงคลังแต่ละประเภทโดยมี

เป้าหมายคือการเพิ่มผลกำไรรวมของระบบ คำตอบจากวิธีการที่นำเสนอถูกนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ซึ่งพิจารณาปริมาณสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน ปัญหาจำนวน 120 ปัญหาถูกสุ่มขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดเพื่อพิจารณาอิทธิพลปัจจัยหลักสองปัจจัยคือ ราคามูลค่าซากสองระดับ (ระดับต่ำ: มูลค่าซากเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลัง และระดับสูง: มูลค่าซากเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนวัสดุคงคลัง) และอัตราส่วนทดแทนสองระดับ (ระดับต่ำ: $r_{2,1} = 2$ $r_{3,2} = 2$ $r_{3,1} = 4$ และระดับสูง: $r_{2,1} = 2$ $r_{3,2} = 3$ $r_{3,1} = 6$) จากผลการทดสอบพบว่าค่าคาดหวังผลกำไรจากคำตอบของวิธีการที่นำเสนอมีค่ามากกว่าค่าคาดหวังผลกำไรจากคำตอบวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ทั้ง 120 ปัญหาทดสอบ จากการวิเคราะห์อิทธิพลหลักปัจจัยราคามูลค่าซากพบว่า ในระบบที่วัสดุคงคลังมีมูลค่าซากต่ำ ความแตกต่างระหว่างคำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์บนตัวแบบการจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอกับคำตอบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์มีค่าสูงขึ้น

จากลักษณะปัญหางานวิจัยซึ่งการใช้ประโยชน์ของวัสดุคงคลังคงเหลือสามารถพิจารณาได้สองกรณี คือ การขายเป็นมูลค่าซาก และการขายเป็นวัสดุคงคลังทดแทน หากรายรับที่ได้จากการขายวัสดุคงคลังคงเหลือเป็นมูลค่าซาก มีค่าต่ำกว่ารายรับที่ได้จากการขายวัสดุคงคลังคงเหลือเป็นวัสดุคงคลังทดแทน วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยจะให้คำตอบที่มีค่าคาดหวังของผลกำไรสูงกว่าคำตอบจากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ ในทำนองกลับกัน หากรายรับที่ได้จากการขายวัสดุคงคลังคงเหลือเป็นวัสดุคงคลังทดแทนมีค่าต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับรายรับที่ได้จากการขายวัสดุคงคลังคงเหลือเป็นมูลค่าซาก คำตอบที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอจะมีค่าผลกำไร(และปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังแต่ละประเภท) ใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ผลได้ประโยชน์ เนื่องจากระบบมีแนวโน้มไม่มีการทดแทนวัสดุคงคลัง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

REFERENCES

- [1] W. Supithak, *Inventory Planning (Theory and Simulation)*. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press (in Thai), 2022.
- [2] F. W. Harris, "How many parts to make at once," *Oper. Res.*, vol. 38, no. 6, pp. 947–950, 1990.
- [3] A. Andriolo, D. Battini, R. W. Grubbström, A. Persona, and F. Sgarbossa, "A century of evolution from Harris's basic lot size model: Survey and research agenda," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 155, pp. 16–38, Sep. 2014.
- [4] S. Agarwal, "Economic order quantity model : A review," *VSRD Int. J. Mech., Civil, Automobile Prod. Eng.*, vol. 4, no. 12, pp. 233–236, Dec. 2014.
- [5] S. M. Lam and D. S. Wong, "A fuzzy mathematical model for the joint economic lot size problem with multiple price breaks," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 95, no. 3, pp. 611–622, 1996.
- [6] A. K. Maiti, A. K. Bhunia, and M. Maiti, "An application of real-coded genetic algorithm (RCGA) for mixed integer non-linear programming in two-storage multi-item inventory model with discount policy," *Appl. Math. Comput.*, vol. 183, no. 2, pp. 903–915, 2006.
- [7] S. Panda, S. Saha, and M. Basu, "An EOQ model for perishable products with discounted selling price and stock dependent demand," *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, vol. 17, pp. 31–53, 2008.
- [8] P. K. Tripathy, M. Pattnaik, and P. Tripathy, "Optimal promotion and replenishment policies for profit maximization model under lost units," *American J. Oper. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 260–265, 2012.
- [9] M. K. Salameh, M. Y. Jaber, and N. Noueihed, "Effect of deteriorating items on the instantaneous replenishment model," *Prod. Planning Control*, vol. 10, no. 2, pp. 175–180, 1999.
- [10] M. Pattnaik, "Deteriorated Economic Order Quantity (EOQ) model with variable ordering cost," (in Thai), *Thai. Stat.*, vol. 12, no. 1, pp. 83–95, Jan. 2014.
- [11] H. M. Wagner and T. W. Whitin, "Dynamic version of the economic lot size model," *Manage. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 89–96, 1958.
- [12] E. A. Silver and H. C. Meal, "A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment," *Prod. Inventory Manage.*, vol. 14, no. 2, pp. 64–74, 1973.
- [13] R. J. Tersine, "Single order quantity," in *Principles of Inventory and Materials Management*, 4th ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1994, ch 7, pp. 312–335.
- [14] D. Waters, "Models for Uncertain Demand," in *Inventory Control and Management*, 2nd ed. England, U.K.: John Wiley & Sons, 2003, ch 5, pp. 147–192.
- [15] Y. Qin, R. Wang, A. J. Vakharia, Y. Chen, and M. M.H. Seref, "The newsvendor problem: Review and directions for future research," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 213, no. 2 pp. 361–374, 2011.
- [16] N. C. Petruzzi and M. Dada, "Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions," *Oper. Res.*, vol. 47, no. 2, pp. 183–194, 1999.
- [17] N. Turken, Y. Tan, A. J. Vakharia, L. Wang, R. Wang, and A. Yenipazarli, "The multi-product newsvendor problem: Review, extensions, and directions for future research," in *Handbook of Newsvendor Problems*, T.-M. Choi, Ed., New York, NY, USA: Springer, 2012, ch. 1, pp. 3–39.
- [18] M. Khouja, A. Mehrez, and G. Rabinowitz, "A two-item newsboy problem with substitutability," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 44, no. 3, pp. 267–275, 1996.