การจัดการวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่สำหรับการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขในระบบที่มีการชำรุดหลายรูปแบบ

Inventory Management for Corrective Maintenance Spare Parts in a System with Different Failure Modes

มนตรี ฉัตรจินดากุล[1] วิสุทธิ์ สุพิทักษ์[2]

Montree Chatjindakul[1] Wisut Supithak[2]

montree.chat@ku.th[1] fengwsst@ku.ac.th[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยทำการกำหนดนโยบายเติมเต็มที่เหมาะสมสำหรับวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ในงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขของระบบเครื่องจักรที่มีการชำรุดหลายรูปแบบ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการเกิดขึ้นของการชำรุดที่แตกต่างกัน โดยการชำรุดต่างรูปแบบมีการใช้วัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ชนิดเดียวกัน นโยบายเติมเต็มที่นำเสนอเป็นการคำนวณปริมาณสั่งซื้อที่เหมาะสมที่แต่ละรอบเวลาของการสั่งซึ่งถูกกำหนดไว้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมของระบบ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนวัสดุ ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนถือครอง ต้นทุนการเสื่อมสภาพ และต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ ตัวแบบการเติมเต็มวัสดุคงคลังที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยถูกพัฒนาขึ้นจากการหาอนุพันธ์ของสมการต้นทุนรวมและประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียวกับแต่ละรอบเวลาการสั่ง ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมถูกกำหนดโดยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของการขาดวัสดุคงคลังที่คำนวณได้ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังที่นำเสนอ ตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล ได้ถูกพัฒนาขึ้น ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุปสงค์ไม่คงที่ ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังซึ่งคำนวณได้จากนโยบายที่นำเสนอในงานวิจัย ให้ค่าต้นทุนรวมการจัดการวัสดุคงคลังที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่ระดับอื่น

คำสำคัญ : วัสดุคงคลัง, นโยบายการเติมเต็ม, อะไหล่, การซ่อมบำรุงเชิงแก้ไข

Abstract

The research is to determine the proper replenishment policy for spare part inventory being used in the corrective maintenances, of different failure modes, occurring in the machine system. Each failure mode has its own failure rate but may require the same type of spare part inventory. The proposed replenishment policy is to determine the proper ordering quantity, at a predetermined time between order, in such a way that the system cost composed of item cost, ordering cost, holding cost, depreciation cost and shortage cost is minimized. The proposed model is developed by taking derivatives of total system cost function and applying the concept of

[1] สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

single order inventory replenishment model to each ordering interval. The proper ordering quantity is selected according to the probability of stockout which yields the lowest total system cost. In order to evaluate the performance of proposed inventory replenishment policy, a Monte Carlo simulation model is developed. The result obtained from the simulation model indicates that, in comparison to other replenishment quantity levels, the replenishment quantity obtained from the proposed replenishment policy yields the lowest total system cost.

Keywords : Inventory, Replenishment policy, Spare parts, Maintenance

1. บทนำ

โดยทั่วไปการบำรุงรักษาเครื่องจักรสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หมายถึง การดูแลรักษาเครื่องจักรตามรอบระยะเวลาหรือการใช้งาน เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของเครื่องจักร และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) หมายถึง การซ่อมแซมเครื่องจักรให้กลับมาทำงานได้ภายหลังจากที่เครื่องจักรเกิดการชำรุด [1] ซึ่งการบำรุงรักษาทั้ง 2 ประเภทมีความต้องการวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ที่แตกต่างกัน โดยความต้องการที่เกิดขึ้นในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันสามารถทราบปริมาณและวางแผนการใช้วัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ตามรอบเวลาที่ถูกวางไว้ล่วงหน้าได้ แต่กลับกันงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมีความต้องการวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ภายหลังจากเครื่องจักรเกิดการชำรุดซึ่งไม่ทราบช่วงเวลาที่แน่นอน จึงไม่สามารถกำหนดปริมาณและวางแผนการใช้วัสดุคงคลังประเภทอะไหล่อย่างแน่นอนได้ การไม่มีวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่เมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุด ส่งผลให้ความสามารถของการตอบสนองความต้องการในการผลิตลดลง เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดหาวัสดุเร่งด่วน และสูญเสียความน่าเชื่อถือ แต่หากมีวัสดุคงคลังมากเกินไปอาจก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บมากขึ้น ทั้งยังเกิดค่าเสียโอกาสจากต้นทุนจมที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งล้วนเป็นประเด็นที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการดำเนินธุรกิจ

ในการศึกษานโยบายการเติมเต็มวัสดุประเภทอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเชิงป้องกันนั้น [2] ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาต้นทุนเพื่อกำหนดรอบเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมร่วมกับการหาปริมาณการสั่งซื้อวัสดุที่ทำให้เกิดต้นทุนโดยรวมต่ำสุด และ [3] ได้ทำการพิจารณาปัญหาดังกล่าวโดยเพิ่มเติมเข้ากับส่วนการวางแผนการผลิต สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ที่มีการเสื่อมสภาพได้นั้น [4] นำเสนอวิธีการลดต้นทุนของระบบการจัดการวัสดุคงคลังด้วยการพิจารณารอบการเปลี่ยนวัสดุทดแทนร่วมกับตัวแบบการตรวจสอบเป็นระยะ (Periodic Review Inventory Policy)

การศึกษานโยบายการเติมเต็มวัสดุประเภทอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไข [5] เสนอวิธีการกำหนดจำนวนวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ซึ่งพิจารณาการชำรุดของชิ้นส่วนประกอบ เพื่อตอบสนองต่ออุปสงค์ของวัสดุในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ โดยพิจารณาค่าความน่าเชื่อถือเป็นหลัก และ [6] ศึกษาถึงระบบการจัดการวัสดุคงคลังภายใต้สถานการณ์ที่มีอุปสงค์ไม่แน่นอน โดยแสดงการเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่าง 3 นโยบายสั่งซื้อ คือ นโยบายการกำหนดจำนวนสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min), นโยบายปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) และนโยบายการสั่งซื้อด้วยผลจากการใช้ไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โซลเวอร์ (Microsoft Excel Solver) ผ่านการจำลองสถานการณ์โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้จากโรงงานผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด (Particle Board) เพื่อหานโยบายที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

งานวิจัยนี้ทำการศึกษานโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขของเครื่องจักร ซึ่งมีรูปแบบการชำรุด (Failure Mode) หลายรูปแบบโดยการชำรุดแต่ละรูปแบบเป็นอิสระต่อกัน และมีค่าเฉลี่ยของอัตราการชำรุดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การชำรุดต่างรูปแบบมีการใช้วัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ชนิดเดียวกัน ตัวแบบที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยเป็นการกำหนดปริมาณเติมเต็มที่เหมาะสมสำหรับแต่ละรอบเวลาการเติมเต็ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนรวมของระบบซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนวัสดุ ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการถือครอง ต้นทุนการเสื่อมสภาพ และต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ

2. คุณลักษณะของปัญหาในงานวิจัย

งานวิจัยทำการพิจารณาระบบการเติมเต็มวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่สำหรับงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ซึ่งระบบมีการชำรุดที่แตกต่างกันหลากหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีการเกิดขึ้นเป็นอิสระต่อกันโดยมีลักษณะการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution) ด้วยค่าเฉลี่ยของอัตราการชำรุดที่แตกต่างกัน ในการซ่อมแซมการชำรุดแต่ละรูปแบบของเครื่องจักรมีการใช้วัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ชนิดเดียวกัน ทั้งนี้ตัวแบบการเติมเต็มวัสดุคงคลังกำหนดให้เป็นนโยบายการเติมตามคาบเวลาที่ถูกกำหนดไว้และไม่พิจารณาเวลารอคอยวัสดุ ที่ปลายคาบเวลาวัสดุคงเหลือสามารถมีมูลค่าเท่าเดิมหรือลดลงจากการเสื่อมสภาพ การขาดแคลนวัสดุในระหว่างคาบเวลาถูกพิจารณาเป็นการสั่งซื้อวัสดุในทันที โดยเกิดเป็นค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อเร่งด่วน (Expediting Cost) ในหน่วยบาทต่อชิ้น คุณลักษณะของปัญหาสามารถแสดงได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะปัญหาในงานวิจัย

กำหนดให้ระบบเครื่องจักรมีรูปแบบการชำรุดที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ การชำรุดเสียหายของเครื่องจักรแต่ละรูปแบบมีการเปลี่ยนวัสดุ A ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกัน อัตราการชำรุดและอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่จากรูปแบบการชำรุดทั้ง 3 รูปแบบ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยมีต้นทุนที่เกี่ยวข้องคือ ต้นทุนวัสดุ 8,000 บาทต่อชิ้น ต้นทุนการสั่งซื้อ

4,000 บาทต่อครั้ง ต้นทุนการถือครอง 166.67 บาทต่อชิ้นต่อเดือน ต้นทุนการเสื่อมสภาพ 800 บาทต่อชิ้นต่อเดือน และต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ 12,000 บาทต่อชิ้น การเติมเต็มวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ดังกล่าวเป็นนโยบายการเติมตามคาบเวลาซึ่งมีการกำหนดระยะเวลาระหว่างการเติมเต็มเป็นรอบหนึ่งเดือน

ตารางที่ 1 อัตราการชำรุดและอุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่จากรูปแบบการชำรุดทั้ง 3 รูปแบบ

รูปแบบการชำรุด	อัตราการชำรุด (ครั้ง/ปี)	อุปสงค์ของวัสดุประเภท A (ชิ้น/ครั้ง)
รูปแบบการชำรุดที่ 1	4	2
รูปแบบการชำรุดที่ 2	5	2
รูปแบบการชำรุดที่ 3	2	1

คำตอบหนึ่งที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาดังกล่าว (ซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) คือการเก็บวัสดุคงคลังที่จำนวนสูงสุด 5 ชิ้นทุกเดือน โดยจำนวนเติมเต็มวัสดุหรือจำนวนวัสดุซื้อเข้าในแต่ละเดือนสามารถคำนวณได้จาก จำนวนวัสดุคงคลังสูงสุด (5 ชิ้น) ลบด้วยจำนวนวัสดุคงคลังคงเหลือของปลายคาบเวลาก่อนหน้า หากในระยะเวลา 12 เดือน มีเหตุการณ์ชำรุดซึ่งส่งผลให้อุปสงค์ของวัสดุ A ในแต่ละเดือนเป็นไปดังตารางที่ 2 จากคำตอบดังกล่าวสามารถจำลองสถานการณ์ระบบการเติมเต็มวัสดุคงคลังในระยะเวลา 12 เดือนตามรูปแบบของปัญหา ได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งเกิดเป็นต้นทุนวัสดุรวม 240,000 บาท ต้นทุนการถือครองรวม 5,833.33 บาท ต้นทุนการเสื่อมสภาพรวม 28,000 บาท ต้นทุนการขาดแคลนรวม 36,000 บาท และต้นทุนวัสดุคงเหลือปลายเดือนที่ 12 คิดเป็นมูลค่า 40,000 บาท ดังนั้นต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลังรวมในระยะเวลา 12 เดือนคิดเป็นมูลค่าทั้งสิ้น 269,833.33 บาท

ตารางที่ 2 อุปสงค์ของวัสดุประเภท A ที่คำนวณได้จากเหตุการณ์ชำรุด

เดือนที่	จำนวนครั้งของการชำรุด			อุปสงค์รวมของวัสดุประเภท A (ชิ้น)
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	
1	0	0	1	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 1) = 1
2	1	1	0	(2 × 1) + (2 × 1) + (1 × 0) = 4
3	1	3	0	(2 × 1) + (2 × 3) + (1 × 0) = 8
4	1	0	0	(2 × 1) + (2 × 0) + (1 × 0) = 2
5	0	0	1	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 1) = 1
6	0	1	0	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 0) = 2
7	0	2	0	(2 × 0) + (2 × 2) + (1 × 0) = 4
8	1	0	0	(2 × 1) + (2 × 0) + (1 × 0) = 2
9	0	0	0	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 0) = 0
10	0	0	0	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 0) = 0
11	1	1	0	(2 × 1) + (2 × 1) + (1 × 0) = 4
12	0	0	0	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 0) = 0

ตารางที่ 3 สถานการณ์จำลองระบบการเติมเต็มวัสดุคงคลังในระยะเวลา 12 เดือนของปัญหาตัวอย่าง

เดือนที่	จำนวนวัสดุคงคลังต้นเดือน (ชิ้น)	จำนวนวัสดุซื้อเข้า (ชิ้น)	อุปสงค์ของวัสดุประเภท A (ชิ้น)	จำนวนวัสดุสั่งซื้อด่วน (ชิ้น)	จำนวนวัสดุคงคลังปลายเดือน (ชิ้น)	ต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง			
						ต้นทุนวัสดุ (บาท)	ต้นทุนการถือครอง (บาท)	ต้นทุนการเสื่อมสภาพ (บาท)	ต้นทุนการขาดแคลน (บาท)
1	5	0	1	0	4	40,000	666.67	3,200	0
2	4	1	4	0	1	8,000	166.67	800	0
3	1	4	8	3	0	32,000	0	0	36,000
4	0	5	2	0	3	40,000	500	2,400	0
5	3	2	1	0	4	16,000	666.67	3,200	0
6	4	1	2	0	3	8,000	500	2,400	0
7	3	2	4	0	1	16,000	166.67	800	0
8	1	4	2	0	3	32,000	500	2,400	0
9	3	2	0	0	5	16,000	833.33	4,000	0
10	5	0	0	0	5	0	833.33	4,000	0
11	5	0	4	0	1	0	166.67	800	0
12	1	4	0	0	5	32,000	833.33	4,000	0
					รวม (บาท)	240,000	5,833.33	28,000	36,000

3. คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

E_i	เหตุการณ์ชำรุดรูปแบบที่ i (i = 1, 2, ..., n)
N_i	จำนวนครั้งของการชำรุดรูปแบบที่ i ในแต่ละคาบเวลา
λ_i	ค่าเฉลี่ยการชำรุดของรูปแบบการชำรุดที่ i
m_i	อุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ต่อครั้งเมื่อเกิดการชำรุดรูปแบบที่ i
x	จำนวนเต็มบวกแทนจำนวนครั้งของการชำรุดในแต่ละคาบเวลา (x = 0, 1, 2, ..., ∞)
$P[N_i]$	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ชำรุดรูปแบบที่ i จำนวน N_i ครั้งในแต่ละคาบเวลา
$E(N_1, N_2, \dots, N_n)$	เหตุการณ์ชำรุดที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลาที่มีรูปแบบการชำรุดจำนวน n รูปแบบ โดยการชำรุดรูปแบบที่ 1, 2, ..., n เกิดขึ้นจำนวน $N_1, N_2, \dots, N_n$ ครั้ง ตามลำดับ เช่น $E(0,1,0)$ หมายถึง เหตุการณ์ที่มีรูปแบบการชำรุดเกิดขึ้นจำนวน 3 รูปแบบ โดยรูปแบบการชำรุดที่ 1, 2 และ 3 เกิดขึ้น 0, 1 และ 0 ครั้ง ในแต่ละคาบเวลาตามลำดับ
$P[E(N_1, N_2, \dots, N_n)]$	ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุด $E(N_1, N_2, \dots, N_n)$ ที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลา
$m[E(N_1, N_2, \dots, N_n)]$	อุปสงค์ของวัสดุจากเหตุการณ์ชำรุด $E(N_1, N_2, \dots, N_n)$ ที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลา
TC	ต้นทุนรวมในแต่ละคาบเวลา (บาท)
C	ต้นทุนวัสดุต่อหน่วย (บาท/ชิ้น)
S	ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง (บาท/ครั้ง)
A	ต้นทุนการขาดวัสดุต่อชิ้น (บาท/ชิ้น)
H	ต้นทุนการถือครองวัสดุต่อชิ้นต่อคาบเวลา (บาท/ชิ้น/คาบเวลา)
K	ต้นทุนการเสื่อมสภาพของวัสดุต่อชิ้นต่อคาบเวลา (บาท/ชิ้น/คาบเวลา)
Q	ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังในแต่ละคาบเวลา (ชิ้น)
D	อุปสงค์ของวัสดุคงคลังต่อคาบเวลา (ชิ้น)

4. การคำนวณความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุดในแต่ละคาบเวลา

กำหนดให้เครื่องจักรมีการชำรุดหลากหลายรูปแบบ (i = 1, 2, ..., n) โดยการชำรุดแต่ละรูปแบบมีการเกิดขึ้นเป็นอิสระต่อกัน ในแต่ละคาบเวลาที่พิจารณาเครื่องจักรสามารถเกิดการชำรุดได้มากกว่า 1 รูปแบบ แต่ละรูปแบบเกิดขึ้นได้มากกว่า 1 ครั้ง ค่าความน่าจะที่จะเกิดเหตุการณ์ชำรุดรูปแบบที่ i ($P[N_i]$) จำนวน x ครั้งในแต่ละคาบเวลา สามารถคำนวณได้โดยฟังก์ชันการแจกแจงแบบปัวส์ซองที่มีค่าเฉลี่ยของการชำรุดเป็น λ_i ตามสมการที่ (1)

$$P[N_i = x] = \frac{e^{-\lambda_i}\lambda_i{}^x}{x!} \quad (1)$$

หากพิจารณาตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหาที่มีอัตราการชำรุดและปริมาณความต้องการวัสดุเป็นไปตามตารางที่ 1 สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณความน่าจะเป็นตามจำนวนครั้งของการชำรุด 0 ถึง 6 ครั้งในหนึ่งเดือนของแต่ละรูปแบบ ด้วยสมการที่ (1) ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความน่าจะเป็นตามจำนวนครั้งของการชำรุด 0 ถึง 6 ครั้งในหนึ่งเดือนของการชำรุดแต่ละรูปแบบ

จำนวนครั้งของการชำรุดที่เกิดขึ้นต่อเดือน (x)	ค่าความน่าจะเป็น		
	รูปแบบการชำรุดที่ 1 ($\lambda_1 = \frac{4}{12}$ ครั้ง/เดือน)	รูปแบบการชำรุดที่ 2 ($\lambda_2 = \frac{5}{12}$ ครั้ง/เดือน)	รูปแบบการชำรุดที่ 3 ($\lambda_3 = \frac{2}{12}$ ครั้ง/เดือน)
0	0.7165	0.6592	0.8465
1	0.2388	0.2747	0.1411
2	0.0398	0.0572	0.0118
3	0.0044	0.0079	0.0007
4	0.0004	0.0008	0.0000
5	0.0000	0.0001	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000

พิจารณาสัญลักษณ์ $E(N_1, N_2, \dots, N_n)$ แทนเหตุการณ์ชำรุดที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลาที่มีรูปแบบการชำรุดจำนวน n รูปแบบ โดยการชำรุดรูปแบบที่ 1, 2, ..., n เกิดขึ้นจำนวน $N_1, N_2, \dots, N_n$ ครั้ง ตามลำดับ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์การชำรุดในแต่ละคาบเวลา ($P[E(N_1, N_2, \dots, N_n)]$) คำนวณได้ด้วยการคูณกันของความน่าจะเป็นของแต่ละการชำรุดที่เกิดขึ้นจากทั้งหมด n รูปแบบ ดังสมการที่ (2)

$$P[E(N_1, N_2, \dots, N_n)] = \prod_{i=1}^{n} P[N_i] \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุดในตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหาที่มีรูปแบบการชำรุดทั้งหมด n = 3 รูปแบบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การคำนวณความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุดที่เป็นไปได้ในหนึ่งคาบเวลา

เหตุการณ์ชำรุด $E(N_1, N_2, N_3)$	ความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ชำรุด $P[E(N_1, N_2, N_3)]$
$E(0,0,0)$	0.7165 × 0.6592 × 0.8465 = 0.3998
$E(0,0,1)$	0.7165 × 0.6592 × 0.1411 = 0.0666
$E(0,0,2)$	0.7165 × 0.6592 × 0.0118 = 0.0056
$E(0,0,3)$	0.7165 × 0.6592 × 0.0007 = 0.0003
$E(0,0,4)$	0.7165 × 0.6592 × 0.0000 = 0.0000
$E(0,0,5)$	0.7165 × 0.6592 × 0.0000 = 0.0000
$E(0,0,6)$	0.7165 × 0.6592 × 0.0000 = 0.0000
$E(0,1,0)$	0.7165 × 0.2747 × 0.8465 = 0.1666
$E(0,1,1)$	0.7165 × 0.2747 × 0.1411 = 0.278
$E(0,1,2)$	0.7165 × 0.2747 × 0.0118 = 0.0023
$E(0,1,3)$	0.7165 × 0.2747 × 0.0007 = 0.0001
$E(0,1,4)$	0.7165 × 0.2747 × 0.0000 = 0.0000
$E(0,1,5)$	0.7165 × 0.2747 × 0.0000 = 0.0000
$E(0,1,6)$	0.7165 × 0.2747 × 0.0000 = 0.0000
⋮	⋮
$E(6,6,6)$	0.0000 × 0.0000 × 0.0000 = 0.0000

5. การคำนวณอุปสงค์และความน่าจะเป็นของอุปสงค์ในแต่ละคาบเวลา

กำหนดให้ m_i คืออุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ต่อครั้งเมื่อเกิดการชำรุดรูปแบบที่ i การคำนวณอุปสงค์ของวัสดุคงคลังจากเหตุการณ์ชำรุด $E(N_1, N_2, \dots, N_n)$ ในแต่ละคาบเวลา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ซึ่งอุปสงค์ที่คำนวณได้ในแต่ละระดับจะมีความน่าจะเป็นเท่ากับความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ชำรุดนั้นๆ เมื่อใช้ข้อมูลจากตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา ผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 6

$$m[E(N_1, N_2, \dots, N_n)] = \sum_{i=1}^{n} m_i N_i \qquad (3)$$

จากข้อมูลการคำนวณในตารางที่ 6 สามารถสรุปเป็นอุปสงค์และความน่าจะเป็นของอุปสงค์แต่ละระดับ ได้ดังตารางที่ 7 ทั้งนี้สังเกตได้ว่าค่าความน่าจะเป็นของอุปสงค์ในตารางที่ 7 เกิดจากผลรวมของค่าความน่าจะเป็นทุกเหตุการณ์ที่มีอุปสงค์ค่าเดียวกันนั้น เช่น อุปสงค์ที่มีค่าเท่ากับ 2 เกิดจากผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุด $E(0,0,2)$, $E(0,1,0)$ และ $E(1,0,0)$ เป็นต้น

ตารางที่ 6 อุปสงค์รวมของวัสดุและความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ชำรุด

เหตุการณ์ชำรุด $E(N_1, N_2, N_3)$	ความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ชำรุด $P[E(N_1, N_2, N_3)]$	อุปสงค์รวมของวัสดุประเภท A (ชิ้น) $m[E(N_1, N_2, N_3)]$
$E(0,0,0)$	0.3998	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 0) = 0
$E(0,0,1)$	0.0666	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 1) = 1
$E(0,0,2)$	0.0056	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 2) = 2
$E(0,0,3)$	0.0003	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 3) = 3
$E(0,0,4)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 4) = 4
$E(0,0,5)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 5) = 5
$E(0,0,6)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 0) + (1 × 6) = 6
$E(0,1,0)$	0.1666	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 0) = 2
$E(0,1,1)$	0.278	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 1) = 3
$E(0,1,2)$	0.0023	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 2) = 4
$E(0,1,3)$	0.0001	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 3) = 5
$E(0,1,4)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 4) = 6
$E(0,1,5)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 5) = 7
$E(0,1,6)$	0.0000	(2 × 0) + (2 × 1) + (1 × 6) = 8
⋮	⋮	⋮
$E(6,6,6)$	0.0000	(2 × 6) + (2 × 6) + (1 × 6) = 30

ตารางที่ 7 อุปสงค์และความน่าจะเป็นของอุปสงค์แต่ละระดับ

อุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภท A (ชิ้น)	ความน่าจะเป็น
0	0.3998
1	0.0666
2	0.3054
3	0.0503
4	0.1166
5	0.0190
6	0.0297
7	0.0048
8	0.0057
9	0.0009
10	0.0009
11	0.0001
12	0.0001
13	0.0000
⋮	⋮
30	0.0000

6. ตัวแบบการคำนวณปริมาณเติมเต็มที่เหมาะสม

จากคุณลักษณะปัญหาที่มีการเติมเต็มวัสดุคงคลังตามรอบเวลาที่กำหนดไว้ สามารถพิจารณาเป็นปัญหาการเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียว (Single Order Quantity) เมื่อกำหนดให้

Q คือ ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังสูงสุดในแต่ละคาบเวลา

D คือ อุปสงค์ของวัสดุคงคลังต่อคาบเวลา

D_{max} คือ อุปสงค์สูงสุดของวัสดุคงคลังต่อคาบเวลา

$\overline{D}$ คือ ค่าเฉลี่ยอุปสงค์ของวัสดุคงคลังต่อคาบเวลา (ชิ้น)

$P(D)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของอุปสงค์วัสดุคงคลังต่อคาบเวลา

จะได้ว่า

$\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D)$ คือ ค่าคาดหวังของจำนวนวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน (ชิ้น)

$\sum_{D=0}^{Q}(Q-D)P(D)$ คือ ค่าคาดหวังของจำนวนวัสดุคงคลังที่เหลือ (ชิ้น)

โดยค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในแต่ละคาบเวลาสามารถพิจารณาได้ดังนี้

ค่าคาดหวังของต้นทุนรวม = ต้นทุนวัสดุซื้อเข้าต้นคาบเวลา + ต้นทุนการสั่งซื้อ + ค่าคาดหวังของต้นทุนการขาดวัสดุ + ค่าคาดหวังของต้นทุนการถือครอง – ค่าคาดหวังของมูลค่าซาก

ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + A\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad +H\sum_{D=0}^{Q}(Q-D)P(D) \\ &\quad -(C-K)\sum_{D=0}^{Q}(Q-D)P(D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + A\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad +(H-C+K)\sum_{D=0}^{Q}(Q-D)P(D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + A\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad -(H-C+K)\sum_{D=0}^{Q}(D-Q)P(D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + A\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad -(H-C+K)\sum_{D=0}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad +(H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + (A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad -(H-C+K)\sum_{D=0}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + (A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad -(H-C+K)\left[\sum_{D=0}^{D_{max}}(D)P(D) - \sum_{D=0}^{D_{max}}(Q)P(D)\right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TC &= CQ + S + (A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D) \\ &\quad -(H-C+K)(\overline{D}-Q) \end{aligned} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถคำนวณค่าที่เหมาะสมที่ส่งผลให้เกิดต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้โดยการหาอนุพันธ์เทียบกับปริมาณเติมเต็มวัสดุ (Q) และกำหนดสมการเท่ากับ 0 ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมส่งผลให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด แสดงดังสมการที่ (5)

$$\frac{dTC}{dQ} = \frac{d\left[CQ+S+(A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D)-(H-C+K)(\overline{D}-Q)\right]}{dQ}$$

$$\frac{dTC}{dQ} = C + \frac{d\left[(A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D)\right]}{dQ} + (H-C+K)$$

$$\frac{dTC}{dQ} = \frac{d\left[(A+H-C+K)\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D-Q)P(D)\right]}{dQ} + (H+K)$$

$$\frac{dTC}{dQ} = (A+H-C+K)\frac{d\left[\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(D)P(D)\right]}{dQ} - (A+H-C+K)\frac{d\left[\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(Q)P(D)\right]}{dQ} + (H+K)$$

$$\frac{dTC}{dQ} = -(A+H-C+K)\frac{d\left[\sum_{D=Q+1}^{D_{max}}(Q)P(D)\right]}{dQ} + (H+K)$$

$$\frac{dTC}{dQ} = (H+K) - (A+H-C+K)P(D>Q) = 0$$

$$P(D>Q) = \frac{H+K}{A+H-C+K} \quad (5)$$

ทั้งนี้ $P(D>Q)$ สามารถพิจารณาได้เป็นค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุที่เหมาะสมซึ่งเป็นระดับที่ทำให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำที่สุด โดยวิธีการคัดเลือกปริมาณเติมเต็มวัสดุสำหรับอุปสงค์ที่มีการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง จะคัดเลือกระดับปริมาณเติมเต็มที่มีค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุที่มีค่าใกล้เคียงที่สุดที่ไม่เกินค่า $P(D>Q)$ ที่คำนวณได้ [7]

จากตัวอย่างแสดงคุณลักษณะปัญหา สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุที่เหมาะสมด้วยสมการที่ (5) ได้ดังนี้

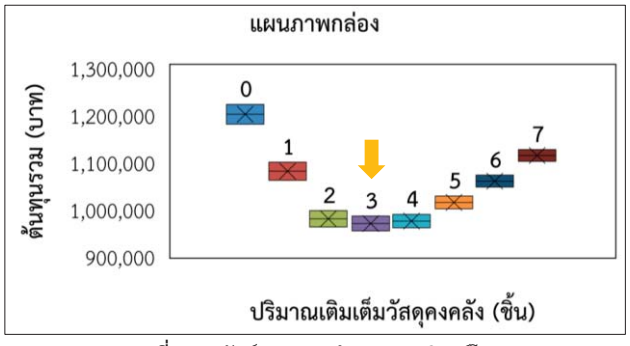
$$P(D>Q) = \frac{166.67+800}{(12{,}000+166.67-8{,}000+800)} = 0.1946$$

ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้ต้นทุนมีค่าต่ำที่สุด และสามารถเลือกปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมในแต่ละคาบเวลาที่ให้ค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุมีค่าใกล้เคียงที่สุดที่ไม่เกิน 0.1946 ได้เป็น 3 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุของอุปสงค์แต่ละระดับ

อุปสงค์ของวัสดุคงคลังประเภท A (ชิ้น) D	ความน่าจะเป็นของอุปสงค์วัสดุ $P(D)$	ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุ $P(D > Q)$
0	0.3998	0.6002
1	0.0666	0.5336
2	0.3054	0.2282
3	0.0503	0.1779 ←
4	0.1166	0.0613
5	0.0190	0.0423
6	0.0297	0.0126
7	0.0048	0.0078
8	0.0057	0.0021
9	0.0009	0.0012
10	0.0009	0.0003
11	0.0001	0.0002
12	0.0001	0.0001
13	0.0000	0.0001

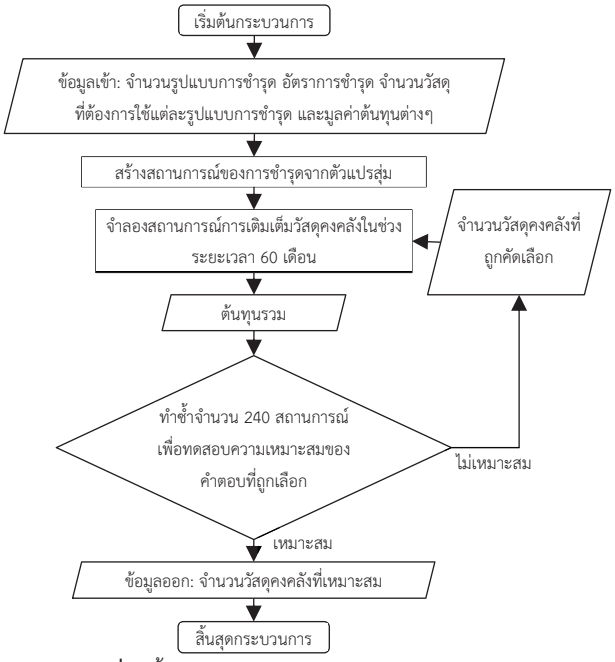
เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ งานวิจัยทำการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) โดยการสร้างเหตุการณ์การชำรุดขึ้นจำนวน 60 คาบเวลา และทำการจำลองสถานการณ์การเติมเต็มวัสดุคงคลัง ด้วยอุปสงค์ค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากเหตุการณ์ชำรุดนั้น จำนวน 240 สถานการณ์ ทั้งนี้ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังถูกเปลี่ยนไปในระดับต่างๆ กัน เพื่อพิสูจน์ว่าต้นทุนรวมที่ปริมาณเติมเต็มระดับใดมีความเหมาะสมที่สุด โดยผลลัพธ์ของแบบจำลองมอนติคาร์โล สำหรับตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา เป็นดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมจะต่ำที่สุดเมื่อเลือกปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังเป็นจำนวน 3 ชิ้น



รูปที่ 1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองมอนติคาร์โล

7. การประเมินประสิทธิภาพของคำตอบ

การประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบจากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยถูกทำโดยแบบจำลองมอนติคาร์โล ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองมอนติคาร์โล

การจำลองสถานการณ์การเติมเต็มวัสดุคงคลังถูกออกแบบให้ทำการสั่งวัสดุเข้าคลังทุกๆ ต้นคาบเวลาให้ครบจำนวนเติมเต็มที่ถูกคัดเลือกจากวิธีการที่นำเสนอในหัวข้อที่ 6 โดยไม่พิจารณาเวลารอคอยวัสดุ จำนวนวัสดุคงคลังเริ่มต้นถูกเก็บไว้ที่ต้นคาบเวลาในจำนวนเติมเต็มที่ถูกคัดเลือก จำนวนวัสดุจะลดลงจากการใช้งานซึ่งเกิดจากกระบวนการสุ่มของแบบจำลอง วัสดุคงเหลือที่ปลายคาบเวลาจะถูกถ่ายโอนไปยังต้นคาบเวลาถัดไปโดยถูกคิดเป็นต้นทุนการถือครองต่อหน่วยและต้นทุนการเสื่อมสภาพต่อหน่วยที่ปลายคาบเวลานั้น ในกรณีที่ความต้องการวัสดุมีมากกว่าจำนวนวัสดุที่ถือครองไว้ในคาบเวลานั้นจะเกิดการสั่งซื้อเร่งด่วนเพื่อจัดหาวัสดุเข้ามาตอบสนองความต้องการนั้นโดยทันทีซึ่งวัสดุจะมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น

การประเมินประสิทธิภาพของคำตอบใช้วิธีการเปรียบเทียบด้วยแผนภาพกล่อง (Box Plot) โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นของการแสดงผลต้นทุนรวมที่ 95% ประสิทธิภาพของคำตอบจะมีความเหมาะสมก็ต่อเมื่อกลุ่มต้นทุนของคำตอบที่ได้นั้นเป็นกลุ่มที่อยู่ต่ำที่สุด

การดำเนินการวิจัยในบทความนี้ มีด้วยกันทั้งหมด 18 กรณี โดยแบ่งออกเป็นการปรับเปลี่ยนระดับของ 3 ปัจจัย ประกอบด้วย

- จำนวนรูปแบบการชำรุด มี 2 ระดับ คือ 3 รูปแบบ และ 4 รูปแบบ
- อัตราการชำรุด มี 3 ระดับซึ่งเกิดจากตัวเลขสุ่มจากการแจกแจงแบบเอกรูปไม่ต่อเนื่อง คือ ระดับต่ำ (U[1, 5]), ระดับกลาง (U[6, 10]) และ ระดับสูง (U[11, 15]) ในหน่วยครั้งต่อปี
- ต้นทุนการขาดวัสดุ มี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ, ระดับกลาง และระดับสูง ที่ 10,000, 12,000 และ 24,000 บาทต่อชิ้น ตามลำดับ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 18 กรณี สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับผลจากการจำลองสถานการณ์ทุกกรณี ทั้งนี้จากผลการทดสอบสามารถพิจารณาได้ว่า

เมื่อต้นทุนการขาดแคลนเพิ่มสูงขึ้น ค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุคงคลังที่เหมาะสมจะน้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังในแต่ละคาบเวลาเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพของตัวแบบจากการทดสอบทั้ง 18 กรณี

กรณีที่	จำนวนรูปแบบการชำรุด	อัตราการชำรุด (ครั้งต่อปี)	ต้นทุนการขาดวัสดุ (บาทต่อชิ้น)	ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุที่เหมาะสม	จำนวนวัสดุที่เหมาะสมที่ถูกคัดเลือกจากวิธีการที่นำเสนอ (ชิ้น)	จำนวนวัสดุที่เหมาะสมจากการประเมินประสิทธิภาพด้วยแบบจำลอง (ชิ้น)
1	3	1 - 5	10,000	0.3258	2	2
2	3	6 - 10	10,000	0.3258	7	7
3	3	11 - 15	10,000	0.3258	10	10
4	4	1 - 5	10,000	0.3258	5	5
5	4	6 - 10	10,000	0.3258	9	9
6	4	11 - 15	10,000	0.3258	17	17
7	3	1 - 5	12,000	0.1946	3	3
8	3	6 - 10	12,000	0.1946	9	9
9	3	11 - 15	12,000	0.1946	12	12
10	4	1 - 5	12,000	0.1946	8	8
11	4	6 - 10	12,000	0.1946	11	11
12	4	11 - 15	12,000	0.1946	20	20
13	3	1 - 5	24,000	0.056	5	5
14	3	6 - 10	24,000	0.056	13	13
15	3	11 - 15	24,000	0.056	17	17
16	4	1 - 5	24,000	0.056	12	12
17	4	6 - 10	24,000	0.056	16	16
18	4	11 - 15	24,000	0.056	27	27

8. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยทำการกำหนดนโยบายเติมเต็มที่เหมาะสมสำหรับวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่ในงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขของระบบเครื่องจักรที่มีการชำรุดหลายรูปแบบ โดยการเกิดขึ้นของการชำรุดเป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงเป็นแบบปัวส์ซองด้วยค่าเฉลี่ยของอัตราการชำรุดที่แตกต่างกัน ในการซ่อมแซมการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรแต่ละรูปแบบมีการเปลี่ยนวัสดุคงคลังซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกัน นโยบายเติมเต็มที่นำเสนอเป็นการคำนวณปริมาณสั่งซื้อที่เหมาะสมที่แต่ละรอบเวลาของการสั่งซึ่งถูกกำหนดไว้เป็นรอบหนึ่งเดือน โดยพัฒนาขึ้นจากการหาอนุพันธ์ของสมการต้นทุนรวมที่มีอุปสงค์ของวัสดุคงคลังเป็นลักษณะการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง และประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเติมเต็มวัสดุคงคลังครั้งเดียวกับแต่ละรอบเวลาการสั่งวัสดุ ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมถูกกำหนดโดยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของการขาดแคลนวัสดุคงคลังที่คำนวณได้ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยต้นทุนรวมดังกล่าวประกอบด้วย ต้นทุนวัสดุ ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนถือครอง ต้นทุนการเสื่อมสภาพ และต้นทุนการขาดแคลนวัสดุ ทั้งนี้นโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังที่นำเสนอถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพผ่านตัวแบบการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล ซึ่งเป็นการจำลองอุปสงค์ในแต่ละคาบเวลาภายใต้ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ชำรุดในแต่ละคาบเวลา ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล แสดงให้เห็นว่าในสถานการณ์ที่อุปสงค์มีค่าแตกต่างกันไป ปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังซึ่งคำนวณได้จากนโยบายที่นำเสนอในงานวิจัยให้ค่าต้นทุนรวมการจัดการวัสดุคงคลังที่ต่ำที่สุดในทุกกรณีจากทั้งหมด 18 กรณี เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลังที่ระดับอื่น

งานวิจัยที่นำเสนอสามารถถูกพัฒนาต่อได้โดยการพิจารณาให้ระยะเวลาการสั่งต่อรอบเป็นตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งจะมีอิทธิพลโดยตรงต่อการกำหนดปริมาณเติมเต็มวัสดุคงคลัง

9. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและแนวคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1 สุพัฒน์ เชียศิริวัฒนา, วัฒนา เชียงกูล, และเกรียงไกร ดำรงรัตน์. สัมฤทธิ์ผลของงานบำรุงรักษา, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2549.

2 B. Kader, D. Sofiene, R. Nidhal, and E. Walid, Jointly Optimal Preventive Maintenance Under Spare Parts Order Strategy, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, 19-21 June, 2013. Saint Petersburg, Russia.

3 B. Kader, D. Sofiene, R. Nidhal, and E. Walid. 2015. “Ecological and Joint Optimization of Preventive Maintenance and Spare Parts Inventories for an Optimal Production Plan”. International Federation of Automatic Control, Vol. 48 (3): 2139-2144.

4 Y. Jiang, M. Chen, and D. Zhou. 2015. “Joint Optimization of Preventive Maintenance and Inventory Policies for Multi-unit Systems Subject to Deteriorating Spare Part Inventory”. Journal of Manufacturing Systems, Vol 35: 191–205.

5 O.B. Tomus, D. Jula, D. Salasan, L.I. Marica, and A.M. Pulbere. 2013. “Assessment on Spare Parts Requirement Based on Reliability’s Characteristics”. Annals of the University of Petrosani, Mechanical Engineering, Vol. 15: 175-184.

6 P. Penpakkol, and T. Intarakumthorncha. 2018. “Inventory Management of Spare Parts under Uncertain Demand: A Case Study of Particle Board Manufacturer”. The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Vol 28 (1): 9-22.

7 R.J. Tersine. Principles of Inventory and Materials Management, 4th ed., PRT Prentice-Hall, Inc., 1994.