

นโยบายการสั่งผลิตสินค้าหลายชนิดอย่างประหยัด กรณีพิจารณาค่าใช้จ่ายในการควบคุมสินค้าคงคลัง ประเภทวัตถุดิบและชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์

MULTIPLE ITEMS ECONOMIC PRODUCTION QUANTITY WITH RAW MATERIALS AND COMPONENTS
INVENTORY MANAGEMENT CONSIDERATION

ศศิประภา ลิ้มปการณ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail : chonla_bok@hotmail.com

วิสุทธิ สุพิทักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดสำหรับระบบการผลิตที่มีสินค้าหลายประเภท (Multiple items economic production quantities: Multi-EPQ) มีจุดประสงค์หลักในการหาปริมาณสั่งผลิตที่เหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละรอบการผลิตสำหรับระบบที่อุปสงค์ของสินค้าแต่ละชนิดเป็นแบบต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวไม่ได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่มีความสัมพันธ์กับการจัดการสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบและชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปที่เหมาะสมในแต่ละรอบการผลิต เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ สั่งผลิต และถือครองสินค้าคงคลังทั้งประเภทวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป ในการแก้ปัญหาทางวิจัย ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบได้ถูกพัฒนาและหาอนุพันธ์เพื่อคำนวณจำนวนรอบการผลิตต่อปีที่ดีที่สุด จากผลงานวิจัยพบว่าเมื่อมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายสินค้าคงคลังทุกประเภทในระบบ รูปแบบการแก้ปัญหาที่นำเสนอให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบต่ำกว่าตัวแบบนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดดั้งเดิม

คำหลัก : การจัดการสินค้าคงคลัง ปริมาณการสั่งผลิตแบบประหยัด การควบคุมสินค้าคงคลังชิ้นส่วน การวางแผนความต้องการวัสดุผลิตภัณฑ์หลายชนิด

ABSTRACT

Although the Multiple Items Economic Production Quantities model (Multi-EPQ) is extensively used in the determination of optimal production lot size of each item in the continuous demand system, this technique does not consider those costs associated with the inventory management of raw materials and components consumed in the production. The purpose of this research is to determine the optimal production lot size of each product in

order to minimize the total cost of system including ordering costs, set up costs, and holding costs of raw materials and finished products. For solving the problem, the mathematical model of system total cost was developed and derived in order to determine the optimal number of production cycle per year which can lead to the determination of optimal production lot size of each product. From the study results, considering the objective of minimizing the system total cost, the proposed model yields better solution than the traditional Multi-EPQ model.

KEYWORDS : Inventory Management, Economic Production Quantity, Component Planning, Materials Requirement Planning, Multiple Products

1. บทนำ

นโยบายในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังกรณีอุปสงค์เป็นแบบต่อเนื่องแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ นโยบายการสั่งซื้อแบบประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) ซึ่งเป็นนโยบายที่ถูกใช้ในกรณีที่มีอัตราการเติมเต็มไม่จำกัดหรือเป็นการสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิต และนโยบายการผลิตแบบประหยัด (Economic Production Quantity: EPQ) ซึ่งเป็นนโยบายที่มีอัตราการเติมเต็มสินค้าจำกัดและเป็นค่าคงที่ หรือเป็นนโยบายที่สินค้าถูกเติมเต็มจากการผลิตของหน่วยผลิตสินค้า

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีการผลิตสินค้าสำเร็จรูปหลายชนิด และมีอุปสงค์เป็นแบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปการผลิตจะถูกแบ่งเป็นรอบ ทั้งนี้ในแต่ละรอบประกอบด้วยการผลิตสินค้าทุกชนิดในปริมาณหนึ่ง ซึ่งเทคนิคการสั่งผลิตแบบประหยัดได้ถูกพัฒนาปรับเปลี่ยนเป็นนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดสำหรับสินค้าหลายประเภท (Multiple Items Economic Production Quantities: Multi-EPQ) เพื่อกำหนดปริมาณสั่งผลิตที่เหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละรอบการผลิต โดยหลักการของนโยบาย ดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องจักรกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังประเภทอื่นๆ เช่น วัตถุดิบหรือชิ้นส่วนผลิตต่างๆ ซึ่งเป็นสินค้าคงคลังที่มีความสำคัญในระบบการผลิต

ปัญหาการสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปชนิดเดียวที่มีสินค้าค้างส่งเต็มจำนวน (Full Backordering) ได้ถูกศึกษาโดย (1) ซึ่งนำเสนอการแก้ปัญหาโดยวิธีทางพีชคณิต (Algebraic

Approach) ปัญหาลักษณะคล้ายคลึงกันแต่มีสินค้าค้างส่งบางจำนวน (Partial Backordering) โดยค่าสัดส่วนสินค้าค้างส่งจากปริมาณสินค้าขาดมือทั้งหมดคงที่ได้ถูกศึกษาโดย (2) และ (3) สำหรับปัญหาที่มีสัดส่วนของสินค้าค้างส่งไม่คงที่ได้ถูกศึกษาโดย (4) ซึ่งได้นำเสนอการแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาอนุพันธ์โดย (5) ใช้ทฤษฎีอสมการค่าเฉลี่ยเลขคณิต-ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Arithmetic-Geometric Mean Inequality) ในการแก้ปัญหา ดังกล่าว (6) ได้ศึกษาการวางแผนการผลิตสินค้าสำเร็จรูปชนิดเดียวที่มีสัดส่วนสินค้าค้างส่งคงที่ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากปริมาณสะสมของชิ้นส่วนประกอบในระบบก่อนที่จะถูกเปลี่ยนเป็นสินค้าสำเร็จรูป ปัญหาการสั่งซื้อ/สั่งผลิตแบบประหยัดกรณีสินค้าบางจำนวนเกิดเป็นของเสีย โดยมีค่าสัดส่วนของเสียคงที่ได้ถูกศึกษาโดย (7) และ (8) ทั้งนี้ (9) ได้นำเสนอการใช้วิธีทางพีชคณิตในการแก้ปัญหาคล้ายคลึงกัน แต่มีสินค้าค้างส่งเต็มจำนวน และมีการเกิดของเสียด้วยอัตราไม่คงที่ ซึ่งของเสียทั้งหมดถูกนำมาทำใหม่ทันทีหลังการผลิตสินค้ารอบที่เสร็จสิ้นลง และในการทำซ้ำจะมีของเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้เกิดขึ้นด้วยอัตราไม่คงที่ ปัญหาการสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปหลายชนิดบนเครื่องจักรเดียวกันที่ยอมให้มีสินค้าค้างส่งบางจำนวน โดยมีอัตราของเสียเกิดขึ้นด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นในรูปแบบการแจกแจงต่างๆ และมีข้อจำกัดในด้านระดับการให้บริการได้ถูกศึกษาโดย (10) ซึ่ง (11) ได้เพิ่มรายละเอียดของปัญหาให้ของเสียทั้งหมดถูกนำมาทำใหม่ โดยมีของเสียที่ไม่สามารถแก้ไขได้เกิดขึ้นด้วยอัตราไม่คงที่ในรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็น (12) ได้นำเสนอวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) สำหรับ

แก้ปัญหา การสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปหลายชนิด โดยมีลักษณะการเพิ่มเติมของสินค้าแต่ละชนิดเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการผลิตสินค้าสำเร็จรูป ที่เหมาะสมในแต่ละรอบการผลิตเมื่อทราบลำดับการผลิต สำหรับระบบที่มีความต้องการสินค้าแต่ละชนิดเป็นแบบต่อเนื่อง เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ผลิต และถือครองสินค้าคงคลังทั้งประเภทสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบ กรณีโครงสร้างผลิตภัณฑ์มี 2 ระดับ โดยในแต่ละรอบของการผลิตทำการสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดเพียงครั้งเดียว ในช่วงเวลาที่เริ่มเกิดอุปสงค์ของวัตถุดิบนั้น

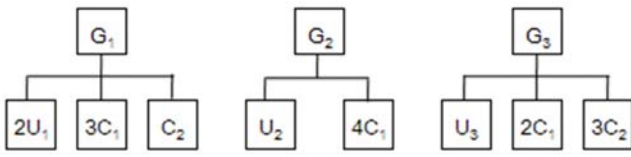
2. คำอธิบายสัญลักษณ์

D_{G_i}	ความต้องการสินค้าสำเร็จรูป G_i (หน่วย/ปี) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
π_{G_i}	กำลังการผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i (หน่วย/ปี) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
C_{G_i}	ราคาสินค้าสำเร็จรูป G_i (บาท/หน่วย) (รวมราคาวัตถุดิบ U_j และ C_k ทั้งหมดที่ใช้ผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 หน่วย) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
F	สัดส่วนค่าถือครองสินค้า (Holding Cost Fraction)
H_{G_i}	ค่าถือครองสินค้าสำเร็จรูป G_i (บาท/หน่วย/ปี) เมื่อ $H_{G_i} = C_{G_i}F$ และ $i = 1, 2, \dots, n$
S_{G_i}	ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิตสินค้า G_i (บาท/ครั้ง) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
C_{U_j}	ราคาวัตถุดิบ U_j (บาท/หน่วย) เมื่อ $j = 1, 2, \dots, o$
H_{U_j}	ค่าถือครองวัตถุดิบ U_j (บาท/หน่วย/ปี) เมื่อ $H_{U_j} = C_{U_j}F$ และ $j = 1, 2, \dots, o$
S_{U_j}	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ U_j (บาท/ครั้ง) เมื่อ $j = 1, 2, \dots, o$
X_{G_i, U_j}	จำนวนชิ้นของวัตถุดิบ U_j ที่ใช้ผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i จำนวน 1 หน่วย เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, o$

C_{C_k}	ราคาวัตถุดิบร่วม C_k (บาท/หน่วย) เมื่อ $k = 1, 2, \dots, p$
H_{C_k}	ค่าถือครองวัตถุดิบร่วม C_k (บาท/หน่วย/ปี) เมื่อ $H_{C_k} = C_{C_k}F$ และ $k = 1, 2, \dots, p$
S_{C_k}	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบร่วม C_k (บาท/ครั้ง) เมื่อ $k = 1, 2, \dots, p$
X_{G_i, C_k}	จำนวนชิ้นของวัตถุดิบร่วม C_k ที่ใช้ผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i จำนวน 1 หน่วย เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $k = 1, 2, \dots, p$
Q_{G_i}	ปริมาณการผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i (หน่วย) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
m	จำนวนรอบการผลิตต่อปี (ครั้ง/ปี)
T	รอบเวลาในการสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูป (ปี)
t_{G_i}	เวลาที่ใช้ผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i ในแต่ละรอบการผลิต (ปี) เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$
$I_{\max G_i}$	ปริมาณสูงสุดของสินค้าสำเร็จรูป G_i (หน่วย) ในระบบสินค้าคงคลัง ($i = 1, 2, \dots, n$)
I_{U_j}	ปริมาณวัตถุดิบ U_j (หน่วย) ในระบบสินค้าคงคลัง โดยมี \bar{I}_{U_j} เป็นปริมาณคงคลังเฉลี่ย ($j = 1, 2, \dots, o$)
I_{C_k}	ปริมาณวัตถุดิบร่วม C_k (หน่วย) ในระบบสินค้าคงคลัง โดยมี \bar{I}_{C_k} เป็นปริมาณคงคลังเฉลี่ย ($k = 1, 2, \dots, p$)
TC()	ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบ (บาท/ปี)
(z)	สัญลักษณ์แสดงลำดับการผลิตโดยเรียงตัวเลขตั้งแต่ 1, 2, ..., n สำหรับกำกับไว้บนตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่มีลำดับการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้องกับเท่านั้น

3. ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหา

กำหนดให้ระบบมีการผลิตสินค้า 3 ประเภท G_1, G_2, G_3 โดยใช้วัตถุดิบร่วมกัน 2 ชนิด C_1, C_2 และใช้วัตถุดิบไม่ร่วมกัน 3 ชนิด U_1, U_2, U_3 โดยมีสัญลักษณ์แสดงโครงสร้างผลิตภัณฑ์เป็น $G_1 = 2U_1 + 3C_1 + C_2, G_2 = 2U_2 + 4C_1$ และ $G_3 = U_3 + 2C_1 + 3C_2$ ดังแสดงในรูปที่ 1



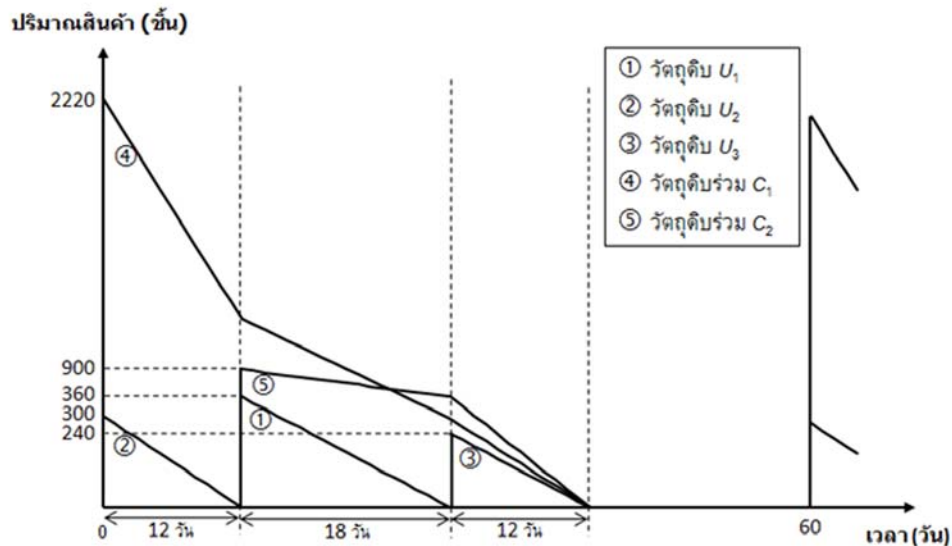
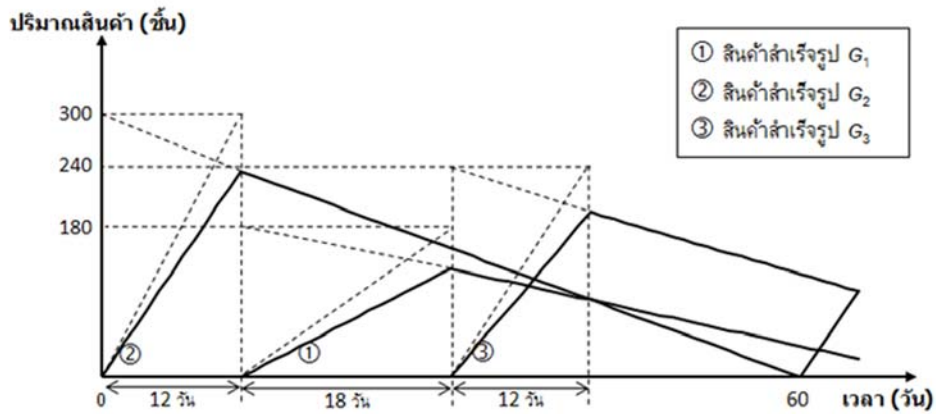
รูปที่ 1 โครงสร้างสินค้าสำเร็จรูป G_1 , G_2 และ G_3

ค่าพารามิเตอร์ของสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบแสดงในตารางที่ 1

กำหนดให้คำตอบที่สนใจคือ ทำการผลิต 6 รอบ/ปี (คำตอบดังกล่าวอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด) ลำดับการผลิตในแต่ละรอบเป็นแบบ ($G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow G_3$) และให้วันทำงานมี 360 วัน/ปี ระดับสินค้าคงคลังของวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปแสดงได้ดังรูป 2 ปริมาณการสั่งซื้อ/สั่งผลิตในแต่ละรอบ และค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบต่อปีแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการควบคุมสินค้าคงคลัง ($F = 0.3$)

		D	π	C	S	H
$G_i =$	1	1080	3600	165	2550	49.50
	2	1800	9000	192	3100	57.60
	3	1440	7200	177	2870	53.10
$U_j =$	1	-	-	11	80	3.30
	2	-	-	30	120	9.00
	3	-	-	22	95	6.60
$C_k =$	1	-	-	38	130	11.40
	2	-	-	25	105	7.50



รูปที่ 2 ระดับสินค้าคงคลังของวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปจากคำตอบในโจทย์ตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ปริมาณการสั่งซื้อ/ส่งผลิตในแต่ละรอบ และค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบต่อปี

	Q	คำสั่งซื้อ/ส่งผลิต	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
G1	180	(2550)(6)= 15300	(49.50)(10.5)(6) = 3118.50
G2	300	(3100)(6)= 18600	(57.60)(20)(6) = 6912.00
G3	240	(2870)(6)= 17220	(53.10)(16)(6) = 5097.60
U1	360	(80)(6) = 480	(3.30)(9)(6) = 178.20
U2	300	(120)(6) = 720	(9.00)(5)(6) = 270.00
U3	240	(95)(6) = 570	(6.60)(4)(6) = 158.40
C1	2220	(130)(6) = 780	(11.4)(99.5)(6) = 6805.80
C2	900	(105)(6) = 630	(7.50)(52.5)(6) = 2362.50
รวม		54,300 บาท/ปี	24,903 บาท/ปี
		79,203 บาท/ปี	

4. การวิเคราะห์และสร้างตัวแบบในการแก้ปัญหา กรณีระบบการผลิตมีสินค้าประเภทเดียว

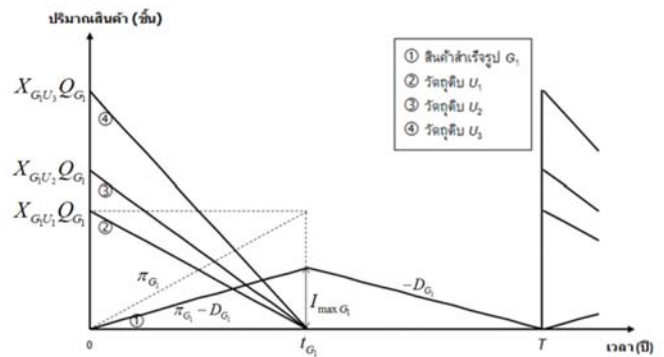
การวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นกรณีที่ระบบมีการผลิตสินค้าประเภทเดียว โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถมีจำนวนชนิดของวัตถุดิบได้หลายประเภท ซึ่งมีจุดประสงค์หลักคือ การหาปริมาณสั่งซื้อผลิตสินค้าสำเร็จรูปและปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละประเภทที่เหมาะสมในแต่ละรอบ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากการสั่งซื้อวัตถุดิบ การส่งผลิตสินค้าสำเร็จรูป และการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้ง 2 ประเภทมีค่าต่ำสุด ตัวอย่างของระบบที่มีการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 ชนิด (G_1) ซึ่งใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด (U_1, U_2, U_3) โดยสามารถเขียนโครงสร้างผลิตภัณฑ์ได้เป็น $G_1 = X_{G_1U_1}U_1 + X_{G_1U_2}U_2 + X_{G_1U_3}U_3$ แสดงได้ดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการผลิตและจัดเก็บสินค้าคงคลังประเภทผลิตภัณฑ์สามารถแสดงได้ดังสมการ (1)

$$TC_{G_1} = \frac{S_{G_1}D_{G_1}}{Q_{G_1}} + \frac{H_{G_1}I_{\max G_1}}{2}$$

$$= \frac{S_{G_1}D_{G_1}}{Q_{G_1}} + \frac{H_{G_1}Q_{G_1}}{2} \left(1 - \frac{D_{G_1}}{\pi_{G_1}}\right) \quad (1)$$

ค่าใช้จ่ายในการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและถือครอง โดยจำนวนครั้งในการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อปีเท่ากับ D_{G_1}/Q_{G_1} และเนื่องจากมี



รูปที่ 3 ระดับสินค้าคงคลังของวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป
กรณีระบบการผลิตมีสินค้าประเภทเดียว

ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว จึงไม่มีวัตถุดิบใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบ U_j แต่ละชนิดจึงเท่ากับ $X_{G_1U_j}Q_{G_1}$ หน่วย ซึ่งในแต่ละรอบวัตถุดิบแต่ละชนิดจะถูกใช้หมดภายในเวลา $t_{G_1} = Q_{G_1} / \pi_{G_1}$ ปี ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละรอบ ดังนั้นปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยของวัตถุดิบ U_j เท่ากับพื้นที่รูปสามเหลี่ยมที่มีความสูง $X_{G_1U_j}Q_{G_1}$ และความยาวฐาน Q_{G_1} / π_{G_1} ทหารด้วยระยะเวลาต่อรอบ $T = Q_{G_1} / D_{G_1}$ ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมในการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบทุกชนิดเขียนได้ดังสมการ (2)

$$TC_{RM} = \sum_{j=1}^o \left(\frac{S_{U_j} D_{G_1}}{Q_{G_1}} + \frac{H_{U_j} X_{G_1 U_j} D_{G_1} Q_{G_1}}{2\pi_{G_1}} \right)$$

$$= \frac{D_{G_1}}{Q_{G_1}} \sum_{j=1}^o S_{U_j} + \frac{D_{G_1} Q_{G_1}}{2\pi_{G_1}} \sum_{j=1}^o H_{U_j} X_{G_1 U_j} \quad (2)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระบบเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ สิ่งผลิตและถือครองสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบ ซึ่งได้จากผลรวมของสมการ (1) และ (2) ดังแสดงในสมการ

$$TC(Q_{G_1}) = \frac{S_{G_1} D_{G_1}}{Q_{G_1}} + \frac{H_{G_1} Q_{G_1}}{2} \left(1 - \frac{D_{G_1}}{\pi_{G_1}} \right) + \frac{D_{G_1}}{Q_{G_1}} \sum_{j=1}^o S_{U_j} + \frac{D_{G_1} Q_{G_1}}{2\pi_{G_1}} \sum_{j=1}^o H_{U_j} X_{G_1 U_j} \quad (3)$$

นำสมการ (3) มาหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 เทียบกับตัวแปร Q_{G_1} และให้สมการมีค่าเท่ากับ 0 แสดงในสมการ (4) เพื่อหาปริมาณการผลิตที่ดีที่สุด ($Q^*_{G_1}$) ดังสมการ (5)

$$TC(Q_{G_1}) = \frac{H_{G_1}}{2} + \left(1 - \frac{D_{G_1}}{\pi_{G_1}} \right) - \frac{S_{G_1} D_{G_1}}{Q_{G_1}^2} + \frac{D_{G_1}}{2\pi_{G_1}} \sum_{j=1}^o H_{U_j} X_{G_1 U_j} - \frac{D_{G_1}}{Q_{G_1}^2} \sum_{j=1}^o S_{U_j} = 0 \quad (4)$$

$$Q^*_{G_1} = \sqrt{\frac{2\pi_{G_1} D_{G_1} \left(S_{G_1} + \sum_{j=1}^o S_{U_j} \right)}{H_{G_1} (\pi_{G_1} + D_{G_1}) + D_{G_1} \sum_{j=1}^o H_{U_j} X_{G_1 U_j}} \quad (5)$$

จำนวนรอบการผลิตต่อปีคำนวณจากสมการ (6)

$$m^* = \frac{D_{G_1}}{Q^*_{G_1}} \quad (6)$$

สมการที่ (7) แสดงการหาอนุพันธ์ลำดับที่สองของสมการ (3) ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นบวกเสมอ

$$TC''(Q_{G_1}) = \frac{S_{G_1} D_{G_1}}{Q_{G_1}^3} + \frac{D_{G_1}}{Q_{G_1}^3} \sum_{j=1}^o S_{U_j} > 0 \quad (7)$$

ดังนั้น $Q^*_{G_1}$ ที่ได้จากสมการ (5) จึงเป็นคำตอบที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายรวมสามารถคำนวณได้จากสมการ (8)

$$TC(Q^*_{G_1}) = \frac{Q^*_{G_1}}{\pi_{G_1}} \left(H_{G_1} (\pi_{G_1} - D_{G_1}) + D_{G_1} \sum_{j=1}^o H_{U_j} X_{G_1 U_j} \right) \quad (8)$$

5. การวิเคราะห์และสร้างตัวแบบในการแก้ปัญหากรณีระบบการผลิตมีสินค้าหลายประเภท

การวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นกรณีที่ระบบมีการผลิตสินค้าหลายชนิด โดยวัตถุดิบในระบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วัตถุดิบที่มีการใช้งานร่วมกันในสินค้าต่างชนิด (Common Raw Materials) และวัตถุดิบที่ไม่มีการใช้งานร่วมกันในสินค้าต่างชนิด (Uncommon Raw Materials) ตัวอย่างของระบบที่มีการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 3 ชนิด (G_1, G_2, G_3) ซึ่งใช้วัตถุดิบร่วมกัน 2 ชนิด (C_1, C_2) และวัตถุดิบไม่ร่วมกัน 3 ชนิด (U_1, U_2, U_3) โดยมีโครงสร้างผลิตภัณฑ์เป็น

$$G_1 = X_{G_1 U_1} U_1 + X_{G_1 C_1} C_1 + X_{G_1 C_2} C_2,$$

$$G_2 = X_{G_2 U_2} U_2 + X_{G_2 C_1} C_1 \text{ และ}$$

$$G_3 = X_{G_3 U_3} U_3 + X_{G_3 C_1} C_1 + X_{G_3 C_2} C_2 \text{ แสดงได้ดังรูปที่ 4}$$

จากรูปที่ 4 (ก) การคำนวณปริมาณสิ่งผลิตและปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุดของสินค้าสำเร็จรูป G_i สามารถแสดงได้ดังสมการ (9), (10) และ (11)

$$Q_{G_i} = \pi_{G_i} t_{G_i} = \frac{D_{G_i}}{m} \quad (9)$$

$$t_{G_i} = \frac{D_{G_i}}{m\pi_{G_i}} \quad (10)$$

$$I_{\max G_i} = (\pi_{G_i} - D_{G_i}) t_{G_i}$$

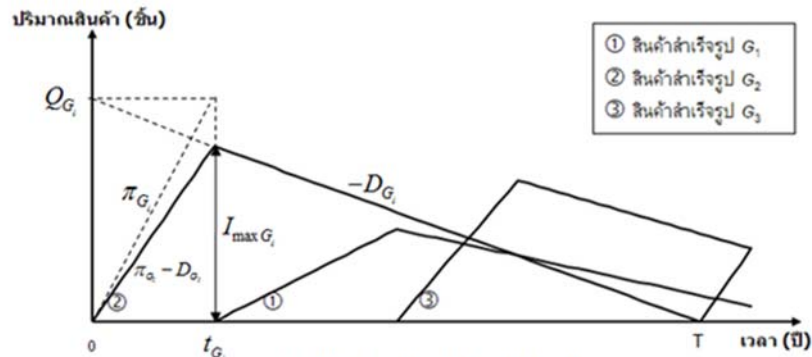
$$= \frac{(\pi_{G_i} - D_{G_i}) D_{G_i}}{m\pi_{G_i}} \quad (11)$$

ค่าใช้จ่ายในการผลิตและจัดเก็บสินค้าคงคลังประเภทผลิตภัณฑ์สามารถแสดงได้ดังสมการ (12)

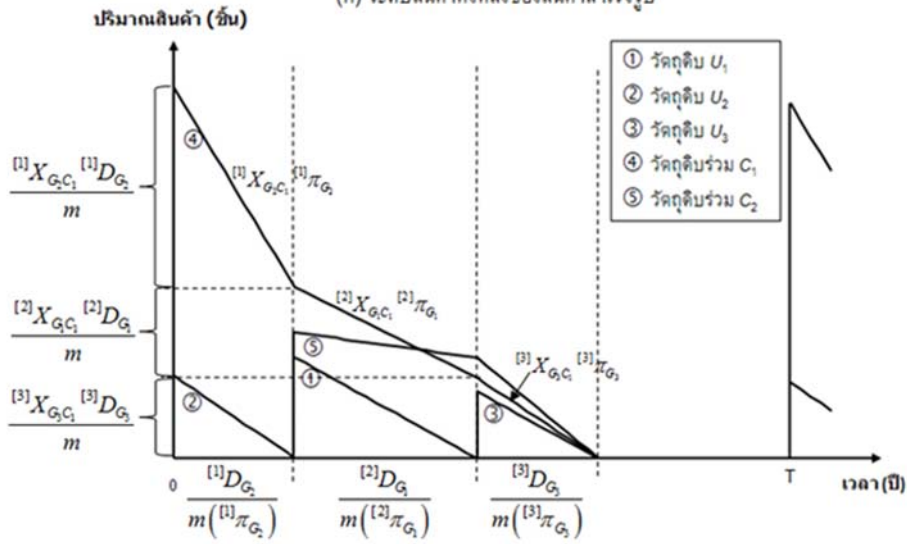
$$TC_{G_i} = m \sum_{i=1}^n S_{G_i} + \sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} I_{\max G_i}}{2}$$

$$= m \sum_{i=1}^n S_{G_i} + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} D_{G_i} (\pi_{G_i} - D_{G_i})}{\pi_{G_i}} \quad (12)$$

ค่าใช้จ่ายในการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและถือครอง โดยวัตถุดิบทุกชนิดถูกสั่งซื้อเป็นจำนวน m ครั้ง/ปี จากรูปที่ 4 (ข) ปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยของวัตถุดิบที่ไม่มีการใช้งานร่วมกัน (U_j) เท่ากับพื้นที่รูปสามเหลี่ยมที่มีความสูง $X_{G_1 U_j} D_{G_1}$ และความยาว



(ก) ระดับสินค้าคงคลังของสินค้าสำเร็จรูป



(ข) ระดับสินค้าคงคลังของวัตถุดิบ

รูปที่ 4 ระดับสินค้าคงคลังของสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบ

ฐาน $D_{G_i}/m\pi_{G_i}$ ทหารด้วยระยะเวลาต่อรอบ $T = 1/m$ ดังนั้นค่าถือครองวัตถุดิบ U_j แสดงดังสมการ (13)

$$\sum_{j=1}^o H_{U_j} \bar{I}_{U_j} = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^o \frac{H_{U_j} X_{G_i U_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} \quad (13)$$

จากรูปที่ 4 (ข) วัตถุดิบที่มีการใช้งานร่วมกันแต่ละชนิด (C_k) ถูกสั่งซื้อในแต่ละรอบด้วยปริมาณเท่ากับสมการ (14)

$$\sum_{i=1}^n X_{G_i C_k} Q_{G_i} = \sum_{i=1}^n \frac{X_{G_i C_k} D_{G_i}}{m} \quad (14)$$

ปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของวัตถุดิบร่วมแต่ละชนิด (C_k) มีค่าเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยระยะเวลาต่อรอบ $T = 1/m$ ดังนั้นค่าถือครองวัตถุดิบร่วมแต่ละชนิด สามารถคำนวณได้ดังสมการ (15)

$$H_c \bar{I}_c = \frac{H_c}{T} \left[\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left(\frac{{}^{(1)}X_{G_i C_k} {}^{(1)}D_{G_i}}{m} \right) \left(\frac{{}^{(1)}D_{G_i}}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} \right) \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{{}^{(2)}X_{G_i C_k} {}^{(2)}D_{G_i}}{m} \right) \left(\frac{2({}^{(1)}D_{G_i})}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(2)}D_{G_i}}{m({}^{(2)}\pi_{G_i})} \right) \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{{}^{(3)}X_{G_i C_k} {}^{(3)}D_{G_i}}{m} \right) \left(\frac{2({}^{(1)}D_{G_i})}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{2({}^{(2)}D_{G_i})}{m({}^{(2)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(3)}D_{G_i}}{m({}^{(3)}\pi_{G_i})} \right) \\ & \vdots \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{{}^{(n)}X_{G_i C_k} {}^{(n)}D_{G_i}}{m} \right) \left(\frac{2({}^{(1)}D_{G_i})}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{2({}^{(2)}D_{G_i})}{m({}^{(2)}\pi_{G_i})} + \dots + \frac{2({}^{(n-1)}D_{G_i})}{m({}^{(n-1)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(n)}D_{G_i}}{m({}^{(n)}\pi_{G_i})} \right) \\ & \left[\frac{{}^{(1)}X_{G_i C_k} ({}^{(1)}D_{G_i})^2}{2({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(2)}X_{G_i C_k} ({}^{(2)}D_{G_i})^2}{2({}^{(2)}\pi_{G_i})} + \dots + \frac{{}^{(n)}X_{G_i C_k} ({}^{(n)}D_{G_i})^2}{2({}^{(n)}\pi_{G_i})} \right] \\ & + \left\{ \frac{{}^{(2)}X_{G_i C_k} {}^{(1)}D_{G_i}}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} \right\} \\ & + \left\{ \frac{{}^{(3)}X_{G_i C_k} {}^{(1)}D_{G_i}}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(3)}X_{G_i C_k} {}^{(2)}D_{G_i}}{m({}^{(2)}\pi_{G_i})} \right\} \\ & \vdots \\ & \left\{ \frac{{}^{(n)}X_{G_i C_k} {}^{(1)}D_{G_i}}{m({}^{(1)}\pi_{G_i})} + \frac{{}^{(n)}X_{G_i C_k} {}^{(2)}D_{G_i}}{m({}^{(2)}\pi_{G_i})} \right\} \\ & + \dots + \frac{{}^{(n)}X_{G_i C_k} {}^{(n)}D_{G_i}}{m({}^{(n)}\pi_{G_i})} \end{aligned} \right] \quad (15)$$

ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการถือครองวัตถุดิบร่วมทุกชนิด แสดงดังสมการ (16)

$$\sum_{k=1}^p H_{C_k} \bar{I}_{C_k} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p H_{C_k} \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{[i]X_{G_k} ([i]D_{G_i})^2}{[i]\pi_{G_i}} \right) + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} \right) \right\} + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} \right) \right\} + \dots + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \dots + \frac{[i-1]D_{G_i}}{[i-1]\pi_{G_i}} \right) \right\} \right] \quad (16)$$

กำหนดให้

$$\phi_{C_k} = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{[i]X_{G_k} ([i]D_{G_i})^2}{[i]\pi_{G_i}} \right) + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} \right) \right\} + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} \right) \right\} + \dots + \left\{ [i]X_{G_k} [i]D_{G_i} \left(\frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \frac{[i]D_{G_i}}{[i]\pi_{G_i}} + \dots + \frac{[i-1]D_{G_i}}{[i-1]\pi_{G_i}} \right) \right\} \right] \quad (17)$$

ดังนั้น
$$\sum_{k=1}^p H_{C_k} \bar{I}_{C_k} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k} \quad (18)$$

จากสมการที่ (17) ค่า ϕ_{C_k} เป็นค่าใช้จ่ายในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการถือครองวัตถุดิบร่วมสำหรับลำดับการผลิตสินค้าสำเร็จรูปใดๆ โดยในการคำนวณค่า ϕ_{C_k} ให้ถือว่าสินค้าคงคลังสำเร็จรูปที่มีการใช้วัตถุดิบร่วมนั้นถูกผลิตเป็นลำดับแรก เช่น ในโจทย์ ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหาซึ่งมีลำดับการผลิตเป็น $(G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow G_3)$ หากต้องการคิดค่า ϕ_{C_k} ของวัตถุดิบร่วม C_2 ซึ่งมีการใช้งานในสินค้าสำเร็จรูป G_1 และ G_3 จะพบว่าค่า ϕ_{C_k} ของวัตถุดิบร่วม C_2 ในลำดับ $(G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow G_3)$ มีค่าเท่ากับค่า ϕ_{C_k} ของวัตถุดิบร่วม C_2 ในลำดับ $(G_1 \rightarrow G_3 \rightarrow G_2)$ ดังนั้นในการคำนวณค่า ϕ_{C_k} ของวัตถุดิบร่วม C_2 ในลำดับการผลิต $(G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow G_3)$ โดยใช้สมการที่ (17) ให้ถือเสมือนว่าลำดับการผลิตเป็น $(G_1 \rightarrow G_3 \rightarrow G_2)$

ค่าใช้จ่ายในการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบทั้งหมดเกิดจากผลรวมของค่าใช้จ่ายรายปีในการสั่งซื้อและการถือครองวัตถุดิบแสดงดังสมการ (19)

$$TC_{RM(U_j+C_k)} = m \left(\sum_{j=1}^n S_{G_j} + \sum_{k=1}^p S_{C_k} \right) + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{U_j} X_{G_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k} \quad (19)$$

ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบ คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิตและถือครองสินค้าสำเร็จรูป และค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและถือครองวัตถุดิบทุกประเภท ซึ่งได้จากผลรวมของสมการ (12) และ (19) ดังแสดงในสมการ (20)

$$TC(m) = m \left(\sum_{i=1}^n S_{G_i} + \sum_{j=1}^n S_{U_j} + \sum_{k=1}^p S_{C_k} \right) + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} D_{G_i} (\pi_{G_i} - D_{G_i})}{\pi_{G_i}} + \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{U_j} X_{G_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k} \quad (20)$$

จำนวนรอบการผลิตต่อปีที่ดีที่สุด (m^*) สามารถคำนวณได้จากการหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการที่ (20) เทียบกับตัวแปร m กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 ดังแสดงในสมการที่ (21) และ (22)

$$TC'(m) = \sum_{i=1}^n S_{G_i} + \sum_{j=1}^n S_{U_j} + \sum_{k=1}^p S_{C_k} - \frac{1}{2m^2} \left(\sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} D_{G_i} (\pi_{G_i} - D_{G_i})}{\pi_{G_i}} \right) - \frac{1}{2m^2} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{U_j} X_{G_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} \right) - \frac{1}{m^2} \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k} = 0 \quad (21)$$

$$m^* = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} D_{G_i} (\pi_{G_i} - D_{G_i})}{\pi_{G_i}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{U_j} X_{G_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} + 2 \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k}}{2 \left(\sum_{i=1}^n S_{G_i} + \sum_{j=1}^n S_{U_j} + \sum_{k=1}^p S_{C_k} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

ปริมาณการผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_i แต่ละชนิดคำนวณได้จากสมการ (23)

$$Q_{G_i}^* = \frac{D_{G_i}}{m^*} \quad (23)$$

สมการที่ (24) แสดงการหาอนุพันธ์ลำดับที่สองของสมการ (20) ซึ่งพบว่ามีค่าเป็นบวกเสมอ

$$TC''(m) = \frac{1}{m^3} \left(\sum_{i=1}^n \frac{H_{G_i} D_{G_i} (\pi_{G_i} - D_{G_i})}{\pi_{G_i}} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{H_{U_j} X_{G_j} D_{G_i}^2}{\pi_{G_i}} + 2 \sum_{k=1}^p H_{C_k} \phi_{C_k} \right) > 0 \quad (24)$$

ดังนั้น m^* ที่ได้จากสมการ (22) จึงเป็นค่าตอบที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด โดยค่าใช้จ่ายรวมสามารถคำนวณได้จากสมการ (25)

$$TC(m^*) = 2m^* \left(\sum_{i=1}^n S_{G_i} + \sum_{j=1}^n S_{U_j} + \sum_{k=1}^p S_{C_k} \right) \quad (25)$$

5. ตัวอย่างการคำนวณเชิงตัวเลข

จากโจทย์ตัวอย่างแสดงคุณลักษณะของปัญหาซึ่งมีลำดับการผลิตของสินค้าสำเร็จรูปเป็น $(G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow G_3)$ สามารถแสดงการคำนวณจำนวนรอบการผลิตต่อปีที่เหมาะสมได้ดังนี้

$$\phi_{G_2} = \frac{1}{2} \left(\frac{(4)(1800)^2}{9000} + \frac{(3)(1080)^2}{3600} + \frac{(2)(1440)^2}{7200} \right) + \left\{ (3)(1080) \left(\frac{1800}{9000} \right) \right\} + \left\{ (2)(1440) \left(\frac{1800}{9000} + \frac{1080}{3600} \right) \right\}$$

= 3582

$$\phi_{G_3} = \frac{1}{2} \left(\frac{(1)(1080)^2}{3600} + \frac{(3)(1440)^2}{7200} + \frac{(0)(1800)^2}{9000} \right) + \left\{ (3)(1440) \left(\frac{1080}{3600} \right) \right\} + \left\{ (0)(1800) \left(\frac{1080}{3600} + \frac{1440}{7200} \right) \right\}$$

= 1890

$$m^* = \left[\frac{\left[\frac{(49.50)(1080)(3600-1080)}{3600} + \frac{(57.60)(1800)(9000-1800)}{9000} + \frac{(53.10)(1440)(7200-1440)}{7200} \right] + \left[\frac{(3.30)(2)(1080)^2}{3600} + \frac{(9.00)(1)(1800)^2}{9000} + \frac{(6.60)(1)(1440)^2}{7200} \right] + 2[(11.40)(3582) + (7.50)(1890)]}{2(2550+3100+2870+80+120+95+130+105)} \right]^{1/2}$$

= 4.06

จากการคำนวณพบว่าจำนวนรอบการผลิตต่อปีที่เหมาะสม เท่ากับ 4.06 รอบ ทั้งนี้ปริมาณสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปและปริมาณสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูปและปริมาณสั่งซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดในแต่ละรอบการผลิต (หน่วย)

	G_1	G_2	G_3	U_1	U_2	U_3	C_1	C_2
Q	266	443	354	532	443	354	3,278	1,328

ค่าใช้จ่ายรวมของระบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (25) เท่ากับ 73,545.44 บาท/ปี

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดดั้งเดิมสำหรับสินค้าหลายประเภท ซึ่งคำนวณจำนวนรอบการผลิตต่อปี (m_{EPQ}) โดยไม่มีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบพบว่า

$$m_{EPQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i D_i (\pi_i - D_i)}{2 \sum_{i=1}^n S_i}} = 3.26 \text{ รอบ/ปี}$$

ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ เท่ากับ 75,316.85 บาท/ปี โดยสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูป G_1 , G_2 และ G_3 เท่ากับ 331, 551 และ 441 หน่วย ตามลำดับ

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมของระบบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ มีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จากนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดดั้งเดิมคิดเป็น 1,771.41 บาท/ปี

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบในการหาปริมาณการผลิตสินค้าสำเร็จรูปและปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบ เมื่อกำหนดลำดับการผลิต สำหรับระบบการผลิตสินค้าสำเร็จรูปหลายประเภทที่มีค่าอุปสงค์เป็นแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้จำนวนรอบการผลิตที่เหมาะสมต่อปีสามารถคำนวณได้จากการหาอนุพันธ์ของค่าใช้จ่ายรวมซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้งประเภทสินค้าคงคลังสำเร็จรูป รวมถึงวัตถุดิบชนิดต่างๆ โดยตัวแบบดังกล่าวมีความแตกต่างจากตัวแบบของนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดดั้งเดิมซึ่งไม่มีการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อและจัดเก็บสินค้าคงคลังประเภทวัตถุดิบ การคำนวณเชิงตัวเลขพบว่า เมื่อกำหนดให้ลำดับการผลิตสินค้าสำเร็จรูปมีรูปแบบเหมือนกัน ตัวแบบที่นำเสนอให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จากนโยบายการสั่งผลิตแบบประหยัดดั้งเดิม 1,771.41 บาท/ปี อย่างไรก็ตามงานวิจัยซึ่งสามารถถูกพิจารณาเป็นลำดับต่อไปคือ การหาลำดับการผลิตควบคู่ไปกับการหาปริมาณการสั่งผลิตที่เหมาะสม เพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการวางแผนงานในบทความฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- Cardenas-Barron, L.E. 2001. "The economic production quantity (EPQ) with shortage derived algebraically." *Int. J. Production Economics*, 70: 289-292.
- Chiu, S.W. 2008. "Production lot size problem with failure in repair and backlogging derived without derivatives." *European Journal of Operational Research*, 188: 610-615.
- Drake, M.J., Pentico, D.W. and Toews, C. 2011. "Using the EPQ for coordinated planning of a product with partial backordering and its components." *Mathematical and Computer Modelling*, 53: 359-375.
- Hou, K.L. 2007. "An EPQ model with setup cost and process quality as functions of capital expenditure." *Applied Mathematical Modelling*, 31: 10-17.
- Hsieh, T.P. and Dye, C.Y. 2012. "A note on "The EPQ with partial backordering and phase-dependent backordering rate". *Omega*, 40: 131-133.
- Pasandideh, S.H.R. and Niaki, S.T.A. 2008. "A genetic algorithm approach to optimize a multi-products EPQ model with discrete delivery orders and constrained space." *Applied Mathematics and Computation*, 195: 506-514.

- Pentico, D.W., Drake, M.J. and Toews, C. 2009. "The deterministic EPQ with partial backordering: A new approach." *Omega*, 37: 624-636.
- _____. 2011. "The EPQ with partial backordering and phase-dependent backordering rate." *Omega*, 39: 574-577.
- Salameh, M.K. and Jaber, M.Y. 2000. "Economic production quantity model for items with imperfect quality." *Int. J. Production Economics*, 64: 59-64.
- Taleizadeh, A.A., Niaki, S.T.A. and Najafi, A.A. 2010. "Multiproduct single-machine production system with stochastic scrapped production rate, partial backordering and service level constraint." *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 233: 1834-1849.
- Taleizadeh, A.A., Wee, H.M. and Sadjadi, S.J. 2010. "Multi-product production quantity model with repair failure and partial backordering." *Computers & Industrial Engineering*, 59: 45-54.
- Zhang, R.Q. 2009. "A note on the deterministic EPQ with partial backordering." *Omega*, 37: 1036-1038.



>> ศติประภา ลิ้มปการณ

สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ จากมหาวิทยาลัยมหิดล ปี พ.ศ. 2549 ประสบการณ์ทำงาน ปี พ.ศ. 2549 เริ่มทำงานในตำแหน่ง QMR Specialist ประจำบริษัท ไฮยาเลนซ์ไทยแลนด์ จำกัด

ปัจจุบันศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน