

แบบจำลองปริมาณการสั่งซื้อเหล็กเส้นที่ประหยัดสำหรับโครงการก่อสร้าง

ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว¹ ฐิติพร แจ่มจรัส^{2*} ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี³

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี, ประเทศไทย

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : thitiporn.cham@ku.th

รับต้นฉบับ : 1 มีนาคม 2566; รับบทความฉบับแก้ไข : 9 เมษายน 2566; ตอบรับบทความ : 21 เมษายน 2566

เผยแพร่ออนไลน์: 27 ธันวาคม 2566

บทคัดย่อ

การวางแผนสั่งวัสดุก่อสร้างเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงในอุตสาหกรรมก่อสร้างเนื่องจากจะต้องสั่งซื้อวัสดุให้ถูกประเภทในปริมาณและช่วงเวลาที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความสูญเสียและผลกระทบ การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดสำหรับโครงการก่อสร้าง โดยการลดข้อจำกัดของวิธีในปัจจุบันที่คำนวณโดยการสั่งในปริมาณที่เท่ากันทุกครั้ง และมีความถี่ที่เท่ากัน ซึ่งอาจส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายในการกองเก็บเหล็กเส้นที่เหลือจากการสั่งในปริมาณที่เกินกว่าความต้องการในแต่ละวัน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด เพื่อคำนวณระยะเวลาในการสั่งเหล็กเส้นที่สอดคล้องกับแผนกำหนดเวลาของโครงการ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ค่าขนส่ง ค่าขนย้าย ค่าเสียโอกาส ค่าปรับ ค่าใช้จ่ายทางอ้อม และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการว่างงาน และลดความล่าช้าของกิจกรรมก่อสร้าง โดยนำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับระยะเวลาและปริมาณที่จะต้องสั่งวัสดุก่อสร้าง โดยวิธีการดังกล่าวมีข้อดีในการช่วยหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด สามารถหาแนวโน้มคำตอบที่ถูกปรับปรุงขึ้น และช่วยสร้างแผนในการสั่งซื้อเหล็กเส้นได้หลาย ๆ รูปแบบ ซึ่งวิธีการข้างต้นได้นำมาทดลองกับโครงการกรณีศึกษาทั้งกรณีที่ยังไม่ถึงระยะเวลาที่เร็วที่สุด และกรณีที่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ถูกที่สุด พบว่าวิธีการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการยอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน และวิธีการสั่งซื้อแบบมีส่วนลด พบว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายให้น้อยลง

คำสำคัญ : แบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด วิธีการเชิงพันธุกรรม ต้นทุนการจัดซื้อวัสดุก่อสร้าง



Economic Rebar Order Quantity Model for Construction Project

Narongrit Wongwai¹ Thitiporn Chamcharas^{2*} Suphawut Malaikrisanachalee³

¹*Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chon Buri, Thailand*

^{2*,3}*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: thitiporn.cham@ku.th

Received: 1 March 2023; Revised: 9 April 2023; Accepted: 21 April 2023

Published online: 27 December 2023

Abstract

Planning and ordering construction materials is a highly complex problem in the construction industry as it has to order the right type of material in the right quantity and at the right time. Otherwise it will cause losses and consequences. This study is to develop an Economical Order Quantity Model for Construction Projects. By reducing the limitation of the current method to calculate by ordering the same amount every time and have the same frequency this may result in higher expenses, for example the cost of storing the remaining rebar after ordering in excess of daily demand. Therefore, the researcher has studied and developed a Modified Economic Order Quantity Model in order to calculate the timing of ordering rebar in accordance with the project schedule to reduce the ordering cost, holding cost, delivery cost, handling cost, opportunity cost, penalty cost, indirect cost and idling cost and reduce delays in construction activities by using a Genetic Algorithm to help find the best answer for the time and quantity to order construction materials. This method has the advantage of helping to find the closest answer to the best answer can find the trend of improved answers and help create a plan for ordering steel bars in many forms the above methods have been used to experiment with case study projects, both of which consider the fastest time and the case that takes into account the cheapest cost. It was found that the modified economic order quantity model method compared to EOQ with Planned Shortage and EOQ with quantity discounts found that it can help reduce the time and cost to be less.

Keywords: Economic order quantity model (EOQ), Genetic algorithm (GA), The cost of purchasing construction materials

1) บทนำ

การวางแผนสั่งวัสดุก่อสร้างเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงในอุตสาหกรรมก่อสร้างเนื่องจากจะต้องสั่งซื้อวัสดุให้ถูกประเภทในปริมาณและเวลาที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความสูญเสียและผลกระทบ โดยการสั่งซื้อวัสดุในแต่ละครั้งจะต้องตรวจสอบปริมาณจากแบบก่อสร้าง รวมถึงการตรวจสอบรายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องจัดซื้ออย่างละเอียดรอบคอบจากข้อกำหนดงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตามการสั่งซื้อวัสดุบางอย่างอาจมีความจำเป็นต้องเพื่อปริมาณวัสดุที่อาจสูญเสียในกระบวนการทำงานจริง เช่น การสั่งซื้อเหล็กเส้นจะต้องเพื่อปริมาณเศษเหล็กที่สูญเสียจากการตัดเหล็ก เป็นต้น การสั่งซื้อวัสดุในปริมาณที่น้อยเกินไปจะทำให้มีวัสดุไม่เพียงพอต่อการใช้งานทำให้การทำงานล่าช้า และยังส่งผลให้คนงานและเครื่องจักรกลอยู่ในภาวะว่างงาน ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียอื่น ๆ ตามมา การสั่งซื้อวัสดุเร็วเกินไปเป็นการสร้างภาระที่จะต้องจัดหาพื้นที่จัดเก็บวัสดุ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (holding cost) ที่ยังไม่มีมีความจำเป็นต้องใช้งานในเวลานั้น นอกจากนี้วัสดุบางอย่างอาจเกิดความเสียหายถ้าจัดเก็บไม่เหมาะสมหรืออาจหมดอายุใช้งาน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนค่าเสียโอกาส (opportunity cost) เพราะใช้เงินไปกับการซื้อวัสดุที่ยังไม่มีความจำเป็นต้องใช้งาน อย่างไรก็ตามวัสดุบางประเภทที่ราคามีความผันผวนสูงหรือเป็นวัสดุที่หายากและอาจขาดแคลนในอนาคต ผู้จัดการโครงการอาจตัดสินใจจัดซื้อและกักตุนวัสดุก่อสร้างเหล่านั้นล่วงหน้า โดยยอมเสียค่าจัดเก็บ และค่าเสียโอกาสในการลงทุน เพื่อประกันความเสี่ยงและควบคุมต้นทุนของโครงการก่อสร้าง การสั่งซื้อวัสดุช้าเกินไปจะทำให้ไม่มีวัสดุก่อสร้างใช้งาน ทำให้ไม่สามารถทำงานตามแผนงานที่วางไว้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้คนงานและเครื่องจักรกลอยู่ในภาวะว่างงานและส่งผลให้โครงการล่าช้า ดังนั้นผู้จัดการโครงการจะต้องรู้กำหนดเวลาที่จะต้องใช้วัสดุแต่ละประเภทโดยการตรวจสอบจากกำหนดเวลาก่อสร้าง (scheduling) และรู้ระยะเวลาการสั่งซื้อล่วงหน้า (lead time) ของวัสดุแต่ละประเภท เพื่อที่จะสามารถสั่งวัสดุในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง

จากปัญหาข้างต้น โครงการจำเป็นต้องมีรูปแบบการบริหารสินค้าคงคลังที่เป็นระบบ รวมถึงการกำหนดปริมาณ การสั่งซื้อวัสดุที่เหมาะสม เพื่อรักษาปริมาณวัสดุไม่ให้มีน้อยหรือมากเกินไป ความต้องการและลดค่าใช้จ่าย จากการศึกษาที่ผ่านมาได้นำแนวทางการสั่งซื้อสินค้าที่ประหยัดที่สุด (Economic Order

Quantity) มาวางแผนการสั่งวัสดุก่อสร้างเข้าโครงการด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ (optimization) ซึ่งพบว่าสามารถหาคำตอบได้ดีในมุมมองของค่าใช้จ่ายที่ถูกลง แต่วิธีการหาคำตอบค่อนข้างนาน และไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาการก่อสร้าง หรือบางคนใช้วิธีการข้างต้นมาคำนวณหาปริมาณที่สั่งวัสดุในแต่ละครั้งให้สอดคล้องกับแผนงานก่อสร้าง แต่ความถี่ยังเท่ากันอยู่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนารูปแบบวิธีการแก้ไขแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด (modified economic order quantity model) เพื่อลดข้อจำกัดของวิธีการสั่งซื้อสินค้าที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity) แบบดั้งเดิมและข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ยังไม่ได้ศึกษาในประเด็นการเพิ่มความรวดเร็วในการสั่งวัสดุก่อสร้างเข้าโครงการให้เหมาะสมกับงานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม ซึ่งส่งผลให้ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของโครงการ และยังไม่ได้ศึกษาในส่วนของค่าใช้จ่ายในโครงการก่อสร้างจริงทั้งหมด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (ordering cost) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (holding cost) ค่าขนส่ง (delivery cost) ค่าใช้จ่ายทาวเวอร์เครน (handling cost) ค่าเสียโอกาส (opportunity cost) ค่าปรับ (penalty cost) ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (indirect cost) และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการว่างงาน (idling cost)

2) ทบทวนวรรณกรรม

การวางแผนแบบ CPM (Critical Path Method) [1] เป็นเทคนิคที่ใช้ในการบริหารโครงการ โดยการนำกิจกรรมต่าง ๆ มาเขียนเครือข่ายแสดงความสัมพันธ์ และคำนวณหาเวลาเริ่มต้นของกิจกรรม และเวลาสิ้นสุดของแต่ละกิจกรรม เพื่อให้โครงการสำเร็จและใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด เวลาดังกล่าว ประกอบด้วย เวลาที่เริ่มต้นเร็วที่สุด (Early Starting: ES) เวลาที่เสร็จเร็วที่สุด (Early Finishing: EF) เวลาที่เสร็จช้าที่สุด (Late Finishing: LF) เวลาที่เริ่มต้นช้าที่สุด (Late Starting: LS) เวลาพอเพียง (Total Float: TF) เวลาลอยตัว (Free Float: FF) และสายงานวิกฤต

การบริหารสินค้าคงคลัง [2], [3] คือการดูแล วางแผน และจัดการสินค้าคงคลัง วัตถุดิบ และสต็อกสินค้า โดยที่เป้าหมายของการบริหารสินค้าคงคลังคือการดูการไหลเวียนของสินค้าจากกระบวนการผลิตไปกระบวนการจัดเก็บ ต้นทุนของวัสดุคงคลัง (inventory cost) ประกอบด้วย ค่าสั่งซื้อ (ordering costs) ค่าขนส่ง (delivery costs) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (holding cost) ค่าใช้จ่ายเนื่องจากวัสดุขาดแคลน (shortage cost) และค่าเสียโอกาส (opportunity costs)

การสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (Economic Order Quantity: EOQ) [4], [5] เป็นการสั่งซื้อวัสดุที่เหมาะสมคุ้มค่า เพื่อไม่ให้เกิดต้นทุนจากการสต็อกวัสดุในคลังไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ ต้นทุนเสื่อมสภาพ ฯลฯ ช่วยให้รู้ว่าควรสั่งของมาปริมาณมากเท่าไร โดยคำนวณจากความต้องการวัสดุ (demand) ก่อนที่จะนำเข้ามาสต็อกไว้ดังสมการที่ (1) แต่บางทีก็ยอมให้วัสดุขาดแคลนตามแผนงานดังสมการที่ (2) และเมื่อซื้อวัสดุจำนวนมาก ทางฝ่ายจัดซื้อจะต้องขอให้ราคาต่อหน่วยของวัสดุลดลง ยิ่งสั่งซื้อจำนวนมาก ราคาต่อหน่วยยิ่งลดลง มีผลทำให้ต้นทุนการเก็บรักษาเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยดังสมการที่ (3)

$$Q^* = \sqrt{2DC_o/C_h} \quad (1)$$

$$Q^* = \sqrt{2DC_o/C_h} \sqrt{(C_h + C_b)/C_b} \quad (2)$$

$$TC_i = C_o + C_h + DC_i \quad (3)$$

เมื่อ Q^* คือ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดต่อครั้ง (Economic Order Quantity)

C_o คือ ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง

C_h คือ ต้นทุนการเก็บรักษาต่อครั้ง

C_b คือ ต้นทุนการสั่งซื้อที่ค้างส่งต่อครั้ง

D คือ ปริมาณวัสดุที่ต้องการใช้ต่อครั้ง

TC คือ ต้นทุนรวม (total cost)

C_i คือ ต้นทุนส่วนลดตามปริมาณการสั่งซื้อ

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) [6], [7] เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติเลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า ยีนของสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงจะมีโอกาสในการสร้างทายาทจากรุ่นสู่รุ่นมากกว่ายีนของสิ่งมีชีวิตที่ไม่แข็งแรง ประกอบด้วย ประชากร (population) พ่อและแม่พันธุ์ (parent) ทายาท (offspring) การสุ่มเลือก (selection) ผสมข้ามสายพันธุ์ (crossover) ดังตารางที่ 1 กลายพันธุ์ (mutation) ดังตารางที่ 2 ความแข็งแรง (fitness value) และฟังก์ชันความแข็งแรง (fitness function) โดยการสุ่มเลือกจะใช้วิธี Roulette wheel ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$P_i = f_i / \sum_j (f_j) \text{ for } j = 1, \dots, N \quad (4)$$

เมื่อ P_i คือ ประชากร (population)

f_i คือ ความแข็งแรง (fitness value)

N คือ จำนวนของประชากร (number of population)

ตารางที่ 1 : ตัวอย่างการผสมข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

ประชากร (Population)						
Parent 1	1	2	6	5	3	4
Parent 2	1	6	2	4	5	3
ผสมข้ามสายพันธุ์ (Crossover)						
Offspring 1	1	2	6	4	5	3
Offspring 2	1	6	2	5	3	4

ตารางที่ 2 : ตัวอย่างการกลายพันธุ์ (Mutation)

ประชากร (Population)						
Parent 1	1	2	6	5	3	4
กลายพันธุ์ (Mutation)						
Offspring 1	1	2	5	6	3	4

การใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม [8] ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นแนวทางที่น่าพึงพอใจสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพกำหนดการจัดส่งวัสดุและการควบคุมระดับสินค้าคงคลังที่เกี่ยวข้อง และทำให้แผนการจัดส่งวัสดุมีต้นทุนลดลงเมื่อเทียบกับคู่สัญญาจริง นอกจากนี้เวลาในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์สำหรับการพัฒนาแผนเพิ่มประสิทธิภาพนั้นค่อนข้างน้อยซึ่งส่งเสริมการใช้งานจริง

3) วิธีดำเนินการวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดที่ใช้ในการสั่งหลักเส้นเข้าโครงการก่อสร้าง และนำมาพัฒนา Excel Speed Sheet เพื่อทำการคำนวณด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม จากนั้นนำมาทดลองกับโครงการกรณีศึกษา โครงสร้างขนาดเล็ก 2 ชั้น ซึ่งประกอบด้วย 7 กิจกรรม แล้วรวบรวมข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อหาผลสรุปและข้อเสนอแนะ โดยมีกระบวนการจัดทำดังต่อไปนี้

3.1) การพัฒนา Excel Speed Sheet ที่ใช้ในการคำนวณ

เป็นการพัฒนาเพื่อใช้ในการคำนวณปัญหาแบบอัตโนมัติด้วยวิธีการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด และวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยสามารถนำมาใช้กับแผนกำหนดเวลาโครงการก่อสร้างได้ทุกขนาดแล้วแต่จะป้อนข้อมูล งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกจำลองปัญหาแผนกำหนดเวลาโครงการก่อสร้างขนาดเล็ก 2 ชั้น โดยมีระยะเวลาโครงการตามสัญญา 20 วันดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 และกำหนดค่าสั่งซื้อและค่าขนส่งวัสดุดังตารางที่ 5 และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างดังตารางที่ 6

ตารางที่ 3 : ตัวอย่างการพัฒนา Excel speed sheet ที่ใช้ในการคำนวณ

1	2	3	4	5	6	1	7	1
Act.	Dur.(day)	Pred.	Delay Start (day)	ST.(day)	FN.(day)	Total Mat. Req.(ton)	Daily Mat. Req.(ton)	
A	3		2	2	5	81.6	27.2	0
B	4	A	2	7	11	13.5	3.375	0
C	5	A	1	6	11	33.6	6.72	0
D	4	B, C	0	11	15	17	4.25	0
E	3	C	2	13	16	72.9	24.3	0
F	2	D, E	1	17	19	56.7	28.35	0
G	3	E, F	1	20	23	40.5	13.5	0
Daily Demand of Materials 7								0
Cumulative Daily Demand of Materials 8								0
The Amount of Ordering Material 4								83
Cumulative Daily Supply of Materials 9								83
Cumulative Inventory of Materials 10								83
Ordering Cost 11							17,545,000	830,000
Delivery Cost 12							28,424.00	1,369.50
Holding Cost 13							463,164.00	2,490
Handling Cost 14							43,976.36	2,393.31
Opportunity Cost 15							4,041,887.52	
Penalty Cost 16							3,000.00	
Idling Cost 17							4,500.00	
Total Cost 18							22,129,951.88	
Project Duration 19							23.00	

ตารางที่ 4 : ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการสุ่มใน Excel speed sheet

Obj1	Obj2	20	21	22	23
(Dur.)	(Total Cost)	Obj3=	fitness	Proba	Cum.
(day)	(baht)	1+2	value	-bility	Prob.
23	23,752,150	46.75	223.245	0.037	0.037
23	22,391,992	45.39	224.108	0.037	0.074
23	24,678,836	47.68	68.610	0.011	0.086
23	21,018,078	44.02	211.803	0.035	0.121
23	19,693,756	42.69	227.680	0.038	0.159
23	25,596,844	48.60	218.111	0.036	0.195

ตารางที่ 5 : ค่าสั่งซื้อ และค่าขนส่งวัสดุ

ต้นทุนค่าใช้จ่าย	ปริมาณ (ตัน)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ตัน)
7 ค่าสั่งซื้อ (Ordering Cost)	0 - 50	15,000
	50 - 100	10,000
8 ค่าขนส่ง (Delivery Cost)	0 - 30	5.5
	30 - 60	11
	60 - 90	16.50

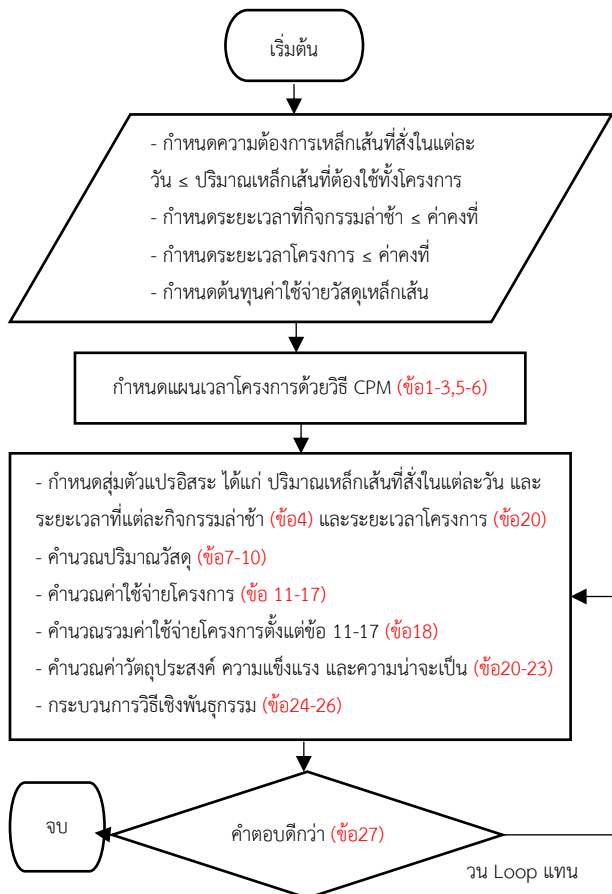
แหล่งที่มา : บัญชีราคาค่าวัสดุและค่าแรงงาน [9] กรมบัญชีกลาง [10]

ตารางที่ 6 : ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้าง

ต้นทุนค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน	หน่วย
9 อัตราดอกเบี้ยรายวัน (daily interest rate)	0.01	%/วัน
10 ค่าปรับงานล่าช้า (late schedule penalty)	1,000	บาท/วัน
11 ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (holding cost rate)	30	บาท/ตัน-วัน
12 ราคาต่อหน่วยทาวเวอร์เครน (tower crane unit price)	4,000	บาท/วัน
13 อัตราการทำงานทาวเวอร์เครน (tower crane productivity)	17.34	ตัน/ชั่วโมง
14 ค่าใช้จ่ายจากการว่างงาน (idling cost)	500	บาท/วัน

แหล่งที่มา : ลัดส่วนต้นทุนงานก่อสร้าง [11] อัตราดอกเบี้ย [12] ค่าเช่าทาวเวอร์เครน [13] ค่าแรงคนงานขั้นต่ำ [14]

โดยมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด

3.1.1) กำหนดข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ความต้องการเหล็กเส้นที่ส่งในแต่ละวัน ≤ ปริมาณเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งโครงการ และระยะเวลาที่กิจกรรมล่าช้า ≤ ค่าคงที่ ดังข้อที่ 4 และระยะเวลาโครงการ ≤ ค่าคงที่ ดังข้อที่ 20 และต้นทุนค่าใช้จ่ายวัสดุเหล็กเส้นดังตารางที่ 5 และ 6

3.1.2) กำหนดแผนเวลาโครงการด้วยวิธี CPM จากข้อมูลตารางที่ 3 กำหนดกิจกรรม และปริมาณเหล็กเส้นของแต่ละกิจกรรมดังข้อที่ 1 กำหนดระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมดังข้อที่ 2 และกำหนดขั้นตอนกิจกรรมก่อนหน้าดังข้อที่ 3 จากนั้นคำนวณระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมด้วยวิธี CPM ดังข้อที่ 5 และ 6

3.1.3) คำนวณปริมาณวัสดุและค่าใช้จ่ายโครงการ จากข้อมูลตารางที่ 3 กำหนดสูตรตัวแปรอิสระโดยใช้วิธี Roulette wheel ดังสมการที่ (4) ได้แก่ ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุเหล็กเส้นที่ส่งในแต่ละวัน ≤ ปริมาณเหล็กเส้นที่ต้องใช้ทั้งโครงการ (315.8 ตัน) และระยะเวลาที่แต่ละกิจกรรมล่าช้า ≤ ค่าคงที่ (5 วัน) ดังข้อที่ 4 และระยะเวลาโครงการกำหนดโดยให้ล่าช้า ≤ ค่าคงที่ (35 วัน)

ดังข้อที่ 20 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณวัสดุและค่าใช้จ่ายโครงการ ดังนี้

- 1) ปริมาณความต้องการวัสดุในแต่ละวัน ดังข้อที่ 7
= ปริมาณวัสดุของกิจกรรม ÷ ระยะเวลาของกิจกรรมนั้น
- 2) ปริมาณความต้องการวัสดุสะสมรายวัน ดังข้อที่ 8
= ความต้องการวัสดุสะสมก่อนหน้า 1 วัน + ความต้องการวัสดุในวันนี้
- 3) ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุสะสมรายวัน ดังข้อที่ 9
= ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุที่สั่งสะสมก่อนหน้า 1 วัน + ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุที่ส่งในวันนี้
- 4) ปริมาณกองเก็บวัสดุสะสม ดังข้อที่ 10
= ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุสะสมรายวัน - ปริมาณความต้องการวัสดุสะสมรายวัน
- 5) ค่าสั่งซื้อ ดังข้อที่ 11
= ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ × ค่าสั่งซื้อ
- 6) ค่าขนส่ง ดังข้อที่ 12
= ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ × ค่าขนส่ง
- 7) ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ดังข้อที่ 13
= ปริมาณกองเก็บวัสดุสะสม × ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา
- 8) ค่าใช้จ่ายทาวเวอร์เครน ดังข้อที่ 14
= (ความต้องการวัสดุของแต่ละกิจกรรมต่อวัน + ปริมาณการสั่งซื้อ) ÷ อัตราการทำงานทาวเวอร์เครน × ราคาต่อหน่วยทาวเวอร์เครน
- 9) ค่าเสียโอกาส ดังข้อที่ 15
= (ค่าสั่งซื้อ + ค่าขนส่ง) × อัตราดอกเบี้ยรายวัน × ระยะเวลาโครงการ
- 10) ค่าปรับงานล่าช้า ดังข้อที่ 16
= (ระยะเวลาโครงการ - ระยะเวลาโครงการตามสัญญา) × ค่าปรับงานล่าช้า
- 11) ค่าใช้จ่ายจากการว่างงาน ดังข้อที่ 17
= ผลรวมของวันล่าช้า × ค่าใช้จ่ายจากการว่างงาน
- 12) รวมค่าใช้จ่ายโครงการ ดังข้อที่ 18
= ผลรวมของค่าใช้จ่ายโครงการ ตั้งแต่ข้อที่ 11 ถึง 17 จากข้อมูลตารางที่ 4 เป็นการคำนวณดังต่อไปนี้
- 13) ค่าวัสดุประสงค์ ดังข้อที่ 20
= (เปอร์เซ็นต์ × (ผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ÷ 1,000,000)) + (เปอร์เซ็นต์ × ระยะเวลาโครงการ)

14) ค่าความแข็งแรงของคำตอบ ดังข้อที่ 21

= $10,000 \div \text{ค่าวัตถุประสงค์}$

15) ค่าความน่าจะเป็นที่จะปรับปรุง ดังข้อที่ 22

= ความแข็งแรงในวันนั้น $\div$ ผลรวมของความแข็งแรง

16) ค่าความน่าจะเป็นสะสม ดังข้อที่ 23

= ค่าความน่าจะเป็นก่อนหน้า 1 วัน + ค่าความน่าจะเป็นในวันนั้น

3.1.4) คำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

1) สุ่มตัวแปรอิสระโดยใช้วิธี Roulette wheel ดังแสดงในสมการที่ (4) ถ้าอยู่ระหว่างความน่าจะเป็นสะสมของค่าไหนก็จะนำมาเป็นพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ ดังข้อที่ 24

2) นำพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ได้จากการสุ่มมาผสมข้ามสายพันธุ์ (Crossover) กันให้เกิดทายาท ดังข้อที่ 25

= (พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ $\times$ (วันล่าช้าหรือปริมาณการสั่งซื้อวัสดุเหล็กเส้น - 2) + 2)

3) สุ่มตำแหน่งที่จะสลับคำตอบของทายาทจนกลายเป็นอีกรุ่น (Mutation) ดังข้อที่ 26

= การสุ่มทายาทจาก Crossover $\times$ (วันล่าช้าหรือปริมาณการสั่งซื้อวัสดุเหล็กเส้น - 1) + 1

4) ถ้าได้คำตอบที่ดีกว่าจะวนกลับไปแทนค่าในข้อที่ 4 แล้วได้คำตอบชุดใหม่ในข้อที่ 5 ถึง 27 แล้ววนคำตอบจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังข้อที่ 27

3.2) กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างขนาดเล็ก 2 ชั้น

จากข้อมูลแบบจำลองปัญหากรณีศึกษาแผนกำหนดเวลาโครงการก่อสร้างขนาดเล็ก 2 ชั้น ผู้วิจัยได้ใช้ VBA (Visual Basic for Application) ในการพัฒนา Excel speed sheet เพื่อทำการเขียนชุดคำสั่งวิธีการเชิงพันธุกรรมดังขั้นตอนที่กล่าวข้างต้นหาคำตอบของแต่ละรุ่น โดยองค์ประกอบของชุดคำสั่งแสดงตัวอย่างการเขียนในรูปที่ 2, 3 และ 4

```
Const ACT = 7
Const DAYS = 35
Const POPULATION = 30
Const ITERATION = 100

Const Murate = 0.1 'mutation rate
Const MPOINT = 2 'number of points for mutation
```

รูปที่ 2 : การกำหนดตัวแปรอิสระ

```
Math.Randomize
For p = 1 To POPULATION
    For a = 1 To ACT
        GEN(p, a) = Math.Rnd * 5 'Delay Start
        Sheets("Generation").Cells(1 + p, a).Value = GEN(p, a)
    Next a
    For d = 1 To DAYS
        GEN2(p, d) = Math.Rnd * 315.8 'Amount of Ordering
        Sheets("Generation").Cells(1 + p, 7 + d).Value = GEN2(p, d)
```

รูปที่ 3 : การกำหนดค่าคงที่วันล่าช้าและความต้องการเหล็กเส้น

```
Public Sub FindObj3(ByVal p As Integer)
    Obj3(p) = Obj(p) + (Obj2(p) / 1000000)
    Sheets("Generation").Cells(1 + p, 43).Value = Obj3(p)
End Sub

Private Sub FitnessValue()
    Dim p As Integer
    For p = 1 To POPULATION
        fVAL(p) = 10000 / Obj3(p)
        Sheets("Generation").Cells(1 + p, 44).Value = fVAL(p)
    Next p
End Sub

Private Sub CalProb()
    Dim p As Integer
    Dim total As Single
    Dim cum As Single
    total = 0

    For p = 1 To POPULATION
        total = total + fVAL(p)
    Next p

    For p = 1 To POPULATION
        Prob(p) = fVAL(p) / total
        cum = cum + Prob(p)
        CumProb(p) = cum
        Sheets("Generation").Cells(1 + p, 45).Value = Prob(p)
        Sheets("Generation").Cells(1 + p, 46).Value = CumProb(p)
```

รูปที่ 4 : การเขียนสมการวัตถุประสงค์ ค่าแข็งแรงและความน่าจะเป็น

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบโดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็นดังนี้

3.2.1) วิเคราะห์และเปรียบเทียบกรณีการสั่งซื้อวัสดุก่อสร้างเข้าโครงการ

1) กรณียอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน กรณีนี้จะให้ความสำคัญกับระยะเวลาโครงการ (Project Duration) 100% โดยเร่งระยะเวลาโครงการไม่ให้ล่าช้า ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ และค่าใช้จ่ายโครงการ

2) กรณีไม่ยอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน กรณีนี้จะให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายโครงการ (Project Cost) 100% โดยให้ความสำคัญกับปริมาณการสั่งซื้อวัสดุกับค่าใช้จ่ายโครงการ ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาโครงการ

3) การหาค่าระยะเวลาโครงการที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Project Duration) และค่าใช้จ่ายโครงการที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Project Cost) โดยใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

แบ่งการให้ความสำคัญระยะเวลาโครงการ และค่าใช้จ่ายโครงการออกเป็น 5 กรณี ได้แก่

- 1) Project Duration 50% + Project Cost 50%
- 2) Project Duration 70% + Project Cost 30%
- 3) Project Duration 30% + Project Cost 70%
- 4) Project Duration 60% + Project Cost 40%
- 5) Project Duration 40% + Project Cost 60%

3.2.2) วิเคราะห์และเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ การหาค่าความเหมาะสมที่สุดจะใช้วิธีการวนหาคำตอบของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ ระยะเวลาโครงการ และค่าใช้จ่ายโครงการ โดยแบ่งรุ่นออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ 10 รุ่น, 30 รุ่น, 70 รุ่น และ 100 รุ่น

3.2.3) วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุด การเปรียบเทียบระหว่างคำตอบที่ได้จากวิธีการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม และสมการการสั่งซื้อที่ประหยัด ดังสมการที่ (1), (2) และ (3)

4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1) วิเคราะห์และเปรียบเทียบกรณีการสั่งซื้อวัสดุก่อสร้างเข้าโครงการ

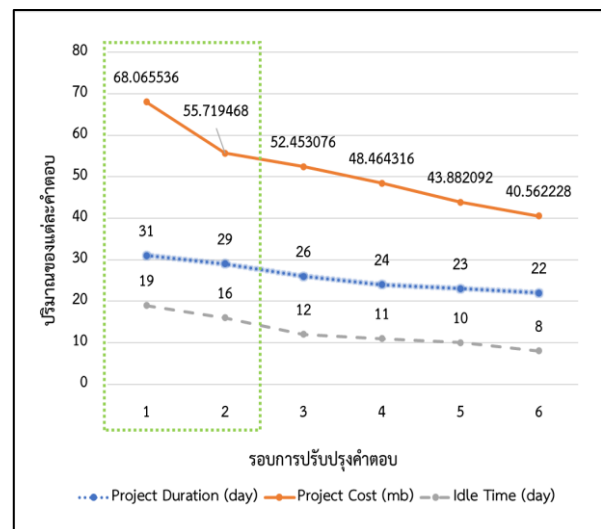
4.1.1) กรณียอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน ผู้วิจัยได้ทำยกตัวอย่างกรณีศึกษาของการปรับปรุงคำตอบรอบที่ 1 และ 2 มาวิเคราะห์ โดยจะให้ความสำคัญกับ Project Duration 100% เพื่อหาระยะเวลา และค่าใช้จ่ายโครงการรวมต่ำที่สุดดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 และรูปที่ 5 สามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7 : เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการปรับปรุงคำตอบรอบที่ 1 และ 2

Inventory Cost	รอบที่ 1	รอบที่ 2	Diff.
Project Duration (day)	31	29	2
Project Cost (baht)	68,065,536	55,719,468	12,346,068
Ordering Costs (baht)	49,865,000	41,600,000	8,265,000
Delivery Cost (baht)	107,618.50	87,367.50	20,251
Holding cost (baht)	2,436,051	1,800,879	635,172

ตารางที่ 7 : เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการปรับปรุงคำตอบรอบที่ 1 และ 2 (ต่อ)

Inventory Cost	รอบที่ 1	รอบที่ 2	Diff.
Handling Cost (baht)	144,858.13	124,886.68	19,971.45
Opportunity Cost (baht)	15,491,512	12,089,337	3,402,175
Penalty Cost (baht)	11,000	9,000	2,000
Idling Cost (baht)	9,500	8,000	1,500



รูปที่ 5 : การเปรียบเทียบระยะเวลาโครงการ ค่าใช้จ่ายโครงการ และระยะเวลาว่างงาน

จากการปรับปรุงคำตอบรอบที่ 1 และ 2 ในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อระยะเวลาโครงการลดลง ระยะเวลาว่างงานและค่าใช้จ่ายโครงการก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละรอบสั่งเข้ามาเป็นทีละจำนวนมาก และไม่ได้อั่งเป็นจำนวนถี่จึงทำให้ได้รับส่วนลดของราคาตามปริมาณการสั่งซื้อดังตารางที่ 8 จึงทำให้ค่าสั่งซื้อ ค่าขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ค่าใช้จ่ายทาวเวอร์เครน ค่าดอกเบี้ยที่กู้ยืม ค่าปรับ ค่าใช้จ่ายทางอ้อมและค่าใช้จ่ายจากการว่างงานก็จะลดลงตามไปด้วยดังตารางที่ 7

ตารางที่ 8 : ปริมาณการสั่งซื้อที่ทำให้ได้รับส่วนลดของราคา 2 วัน

Improve	Pro. Dur. (day)	Pro. Cost (baht)	Ord Cost (baht)	1	2
1	31	68,065,536	49,865,000	178	193
2	29	55,719,468	41,600,000	150	178

4.1.2) กรณีไม่ยอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน ผู้วิจัยได้ทำยกตัวอย่างกรณีศึกษาของการปรับปรุงค่าตอบรอบที่ 2, 3 และ 4 มาวิเคราะห์ โดยจะให้ความสำคัญกับ Project Cost 100% เพื่อหาระยะเวลา และค่าใช้จ่ายโครงการรวมต่ำที่สุดดังแสดงในตารางที่ 9, 10 และ 11 และรูปที่ 6 สามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 9 : เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการปรับปรุงค่าตอบรอบที่ 2 และ 3

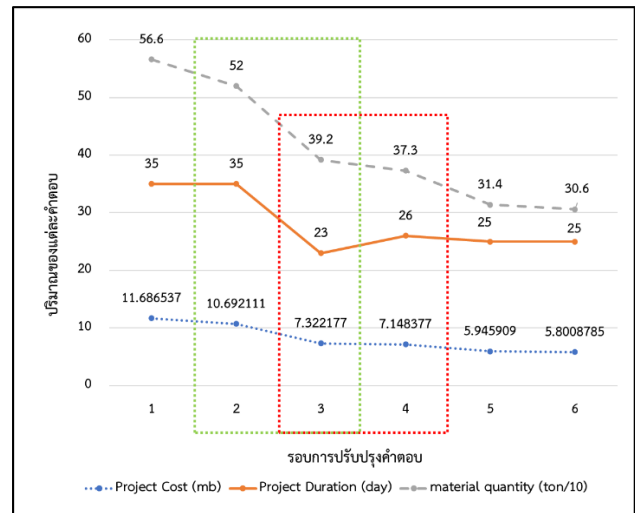
Inventory Cost	รอบที่ 2	รอบที่ 3	Diff.
Project Duration (day)	35	23	12
Project Cost (baht)	10,692,111	7,322,177	3,369,934
Ordering Costs (baht)	7,800,000	5,880,000	1,920,000
Delivery Cost (baht)	2,860	2,156	704
Holding cost (baht)	78,675	40,818	37,857
Handling Cost (baht)	53,075.26	38,307.09	14,768.17
Opportunity Cost (baht)	2,731,001	1,352,895.88	1,378,105.13
Penalty Cost (baht)	15,000	3,000	12,000
Idling Cost (baht)	11,500	5,000	6,500
Material quantity (ton)	520	392	128

ตารางที่ 10 : เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการปรับปรุงค่าตอบรอบที่ 3 และ 4

Inventory Cost	รอบที่ 3	รอบที่ 4	Diff.
Project Duration (day)	23	26	-3
Project Cost (baht)	7,322,177	7,148,377	173,800
Ordering Costs (baht)	5,880,000	5,595,000	285,000
Delivery Cost (baht)	2,156	2,051.50	104.50
Holding cost (baht)	40,818	42,696	-1,878
Handling Cost (baht)	38,307.09	40,896.19	-2,589.10
Opportunity Cost (baht)	1,352,895.88	1,455,233.38	-102,337.50
Penalty Cost (baht)	3,000	6,000	-3,000
Idling Cost (baht)	5,000	6,500	-1,500
Material quantity (ton)	392	373	19

ตารางที่ 11 : ปริมาณการสั่งซื้อที่ไม่ได้รับส่วนลดของราคา 2 วัน

Improve	Pro. Cost (baht)	Pro. Dur. (day)	Ord Cost (baht)	1	2
2	10,692,111	35	7,800,000	20	2
3	7,322,177	23	5,880,000	26	23
4	7,148,377	26	5,595,000	12	19



รูปที่ 6 : การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโครงการ ระยะเวลาคงโครงการ และปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ

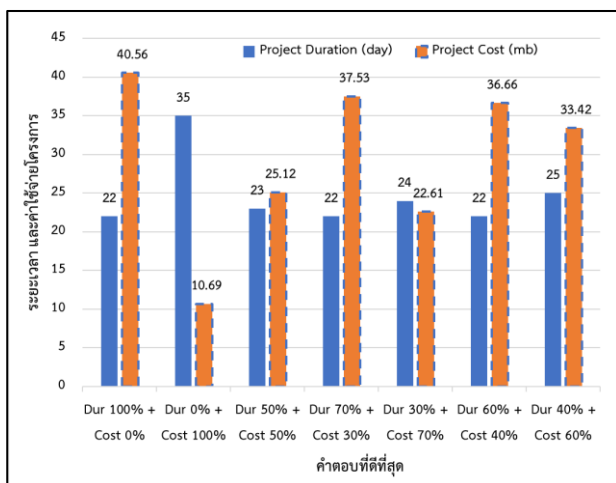
จากการปรับปรุงค่าตอบรอบที่ 2 และ 3 ในรูปที่ 6 พบว่า ค่าใช้จ่ายโครงการลดลง ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุและระยะเวลาโครงการก็จะลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ค่าสั่งซื้อ ค่าขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ค่าใช้จ่ายทาวเวอร์เครนและค่าใช้จ่ายจากการว่างงานจะลดลงตามปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละรอบ โดยสั่งซื้อเข้ามาเป็นทีละจำนวนน้อย และสั่งเป็นจำนวนถี่ จึงทำให้ไม่ได้รับส่วนลดของราคาตามปริมาณการสั่งซื้อดังตารางที่ 11 ส่วนค่าดอกเบี้ยที่กู้ยืม ค่าปรับ และค่าใช้จ่ายทางอ้อมก็จะลดลงตามระยะเวลาโครงการดังตารางที่ 9

จากการปรับปรุงค่าตอบรอบที่ 3 และ 4 ในรูปที่ 6 พบว่า ค่าใช้จ่ายโครงการลดลง ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุก็จะลดลงตามไปด้วย แต่ระยะเวลาโครงการกลับเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีค่าดอกเบี้ยที่กู้ยืม ค่าปรับ ค่าใช้จ่ายทางอ้อมและค่าใช้จ่ายจากการว่างงานเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาโครงการ แต่ค่าสั่งซื้อ ค่าขนส่งและค่าใช้จ่ายทาวเวอร์เครนจะลดลงตามปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละรอบ โดยสั่งซื้อเข้ามาเป็นทีละจำนวนน้อย และสั่งเป็นจำนวนถี่ จึงทำให้ไม่ได้รับส่วนลดของราคาตามปริมาณการสั่งซื้อดังตารางที่ 11 แต่ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษากลับเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการสั่งซื้อวัสดุในปริมาณที่มากกว่าปริมาณเฉลี่ยทั้งโครงการ 315.8 ตัน ดังตารางที่ 10

4.1.3) วิเคราะห์และเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุดของระยะเวลาโครงการและค่าใช้จ่ายโครงการ โดยใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) แบ่งการให้ความสำคัญระยะเวลาโครงการ และค่าใช้จ่ายโครงการออกเป็น 5 กรณี ได้แก่ Project Duration 50% + Project Cost 50%, Project Duration 70% + Project Cost 30%, Project Duration 30% + Project Cost 70%, Project Duration 60% + Project Cost 40% และ Project Duration 40% + Project Cost 60% แล้วนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับกรณียอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน Project Duration 100% และกรณีไม่ยอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน Project Cost 100% ดังตารางที่ 12 และรูปที่ 7

ตารางที่ 12 : การเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุด

กรณีการสั่งซื้อ	Project Duration (day)	Project Cost (baht)
Dur 100% + Cost 0%	22	40,562,228
Dur 0% + Cost 100%	35	10,692,111
Dur 50% + Cost 50%	23	25,118,760
Dur 70% + Cost 30%	22	37,530,592
Dur 30% + Cost 70%	24	22,606,224
Dur 60% + Cost 40%	22	36,664,856
Dur 40% + Cost 60%	25	33,417,384



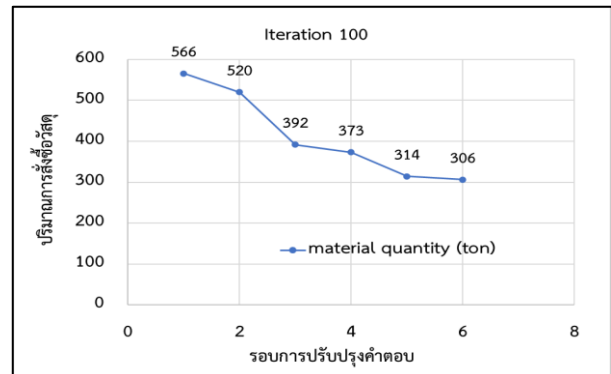
รูปที่ 7 : การเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 7 ระยะเวลาโครงการที่เหมาะสมที่สุดและต้นทุนโครงการที่เหมาะสมที่สุดคือกรณี Project Cost 100% เพราะเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโครงการมีค่าน้อยกว่ากรณีอื่น ๆ แต่

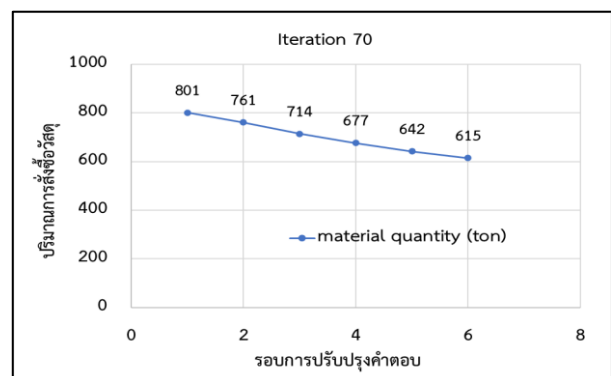
ระยะเวลาโครงการจะมากกว่ากรณีอื่น ๆ แต่ไม่เกินวันล่าช้าที่ยอมรับได้ดังตารางที่ 12

4.2) วิเคราะห์และเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุดของการหาคำตอบ (Iteration)

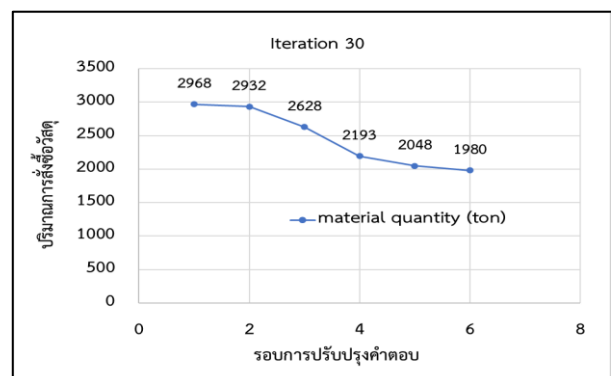
4.2.1) เปรียบเทียบการหาคำตอบของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ ดังรูปที่ 8, 9, 10 และ 11 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



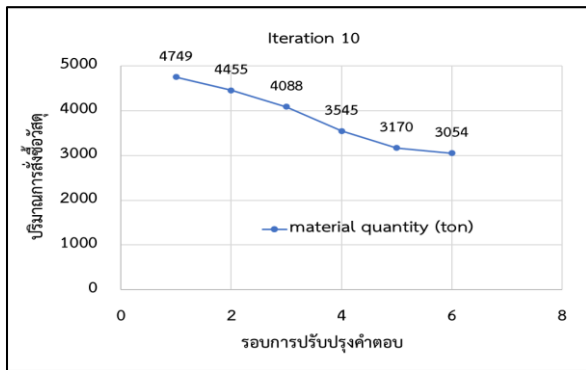
รูปที่ 8 : การหาคำตอบ 100 รุ่นของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ



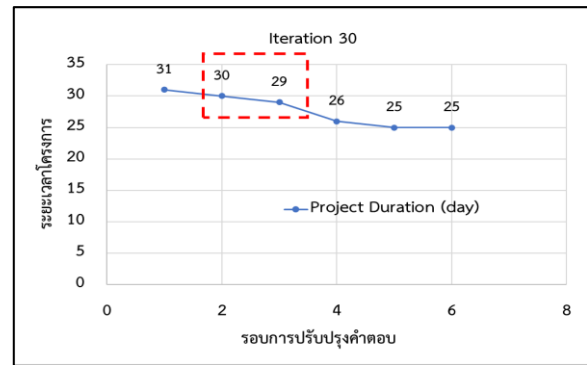
รูปที่ 9 : การหาคำตอบ 70 รุ่นของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ



รูปที่ 10 : การหาคำตอบ 30 รุ่นของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ



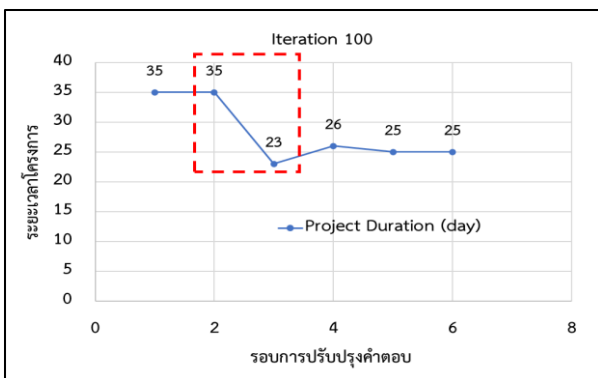
รูปที่ 11 : การวนหาคำตอบ 10 รุ่นของปริมาณการสั่งซื้อวัสดุ



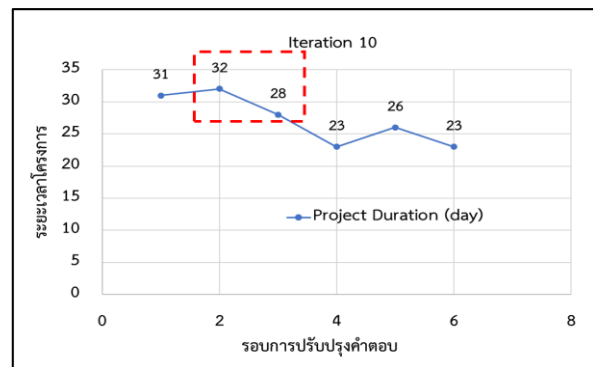
รูปที่ 14 : การวนหาคำตอบ 30 รุ่นของระยะเวลาโครงการ

รูปที่ 8, 9, 10 และ 11 พบว่า คำตอบที่ดีที่สุดคือ 100 รุ่น ยิ่งวนหาคำตอบทั้งหมดของรุ่นมากเท่าไร ยิ่งได้ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุน้อยลงเท่านั้น โดยคาดว่าปริมาณของวัสดุจะลดลงเรื่อย ๆ จนได้ค่าใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

4.2.2) เปรียบเทียบการวนหาคำตอบของระยะเวลาโครงการ ดังรูปที่ 12, 13, 14 และ 15 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



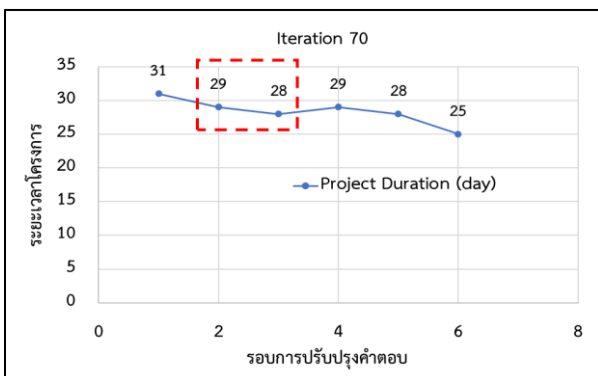
รูปที่ 12 : การวนหาคำตอบ 100 รุ่นของระยะเวลาโครงการ



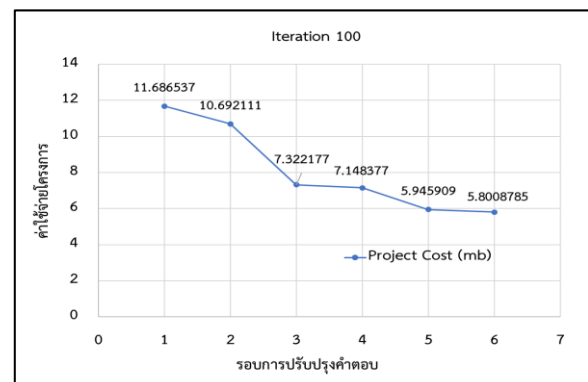
รูปที่ 15 : การวนหาคำตอบ 10 รุ่นของระยะเวลาโครงการ

จากรูปที่ 12, 13, 14 และ 15 พบว่า คำตอบที่ดีที่สุดคือ 100 รุ่น ยิ่งวนหาคำตอบทั้งหมดของรุ่นมากเท่าไร ยิ่งได้ระยะเวลาโครงการน้อยลงเท่านั้น สังเกตได้จากการปรับปรุงคำตอบครั้งที่ 2 และ 3 ของ 100 รุ่น ระยะเวลาที่ได้จะน้อยลงถึง 12 วัน เมื่อเทียบกับ 10, 30 และ 70 รุ่นระยะเวลาที่ได้จะน้อยลงเฉลี่ย 2-5 วันซึ่งจะค่อย ๆ ลดลง

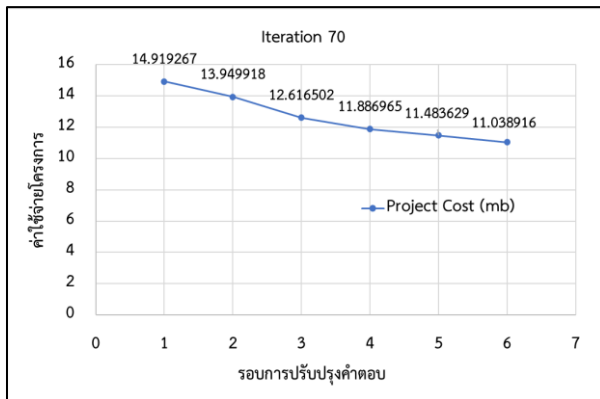
4.2.3) เปรียบเทียบการวนหาคำตอบของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม ดังรูปที่ 16, 17, 18 และ 19 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



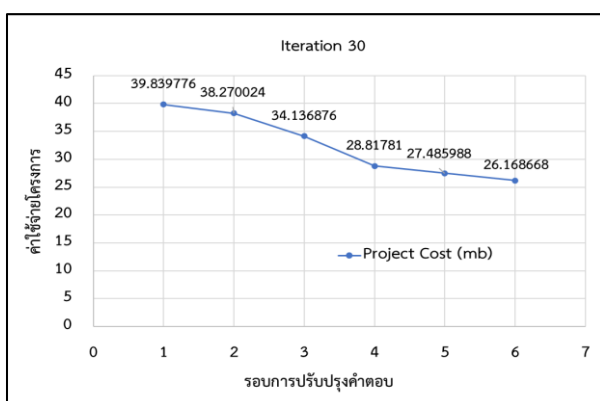
รูปที่ 13 : การวนหาคำตอบ 70 รุ่นของระยะเวลาโครงการ



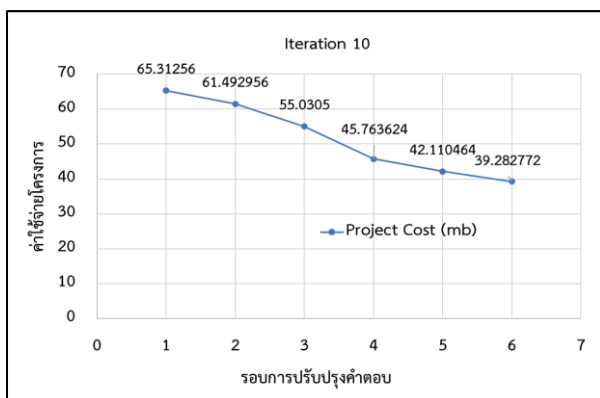
รูปที่ 16 : การวนหาคำตอบ 100 รุ่นของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม



รูปที่ 17 : การวนหาคำตอบ 70 รุ่นของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม



รูปที่ 18 : การวนหาคำตอบ 30 รุ่นของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม



รูปที่ 19 : การวนหาคำตอบ 10 รุ่นของต้นทุนค่าใช้จ่ายรวม

จากรูปที่ 16, 17, 18 และ 19 พบว่า คำตอบที่ดีที่สุดคือ 100 รุ่น ยิ่งวนหาคำตอบทั้งหมดของรุ่นมากเท่าไร ยิ่งได้ค่าใช้จ่ายโครงการน้อยลงเท่านั้น ซึ่งจะลดลงตามปริมาณการสั่งซื้อรูปที่ 8, 9, 10 และ 11

4.3) วิเคราะห์และเปรียบเทียบหาผลลัพธ์คำตอบที่ดีที่สุด

เป็นการเปรียบเทียบปริมาณการสั่งซื้อ คำสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 : การเปรียบเทียบระหว่าง GA และสมการ EOQ

Inventory Cost	GA	EOQ
Material quantity (ton)	306	542.91
Ordering costs (baht)	11,016,000	19,544,607.44
Holding cost (baht)	11,827.50	16,287.17
Total cost (baht)	11,027,827.50	19,560,894.61

จากข้อมูลตารางที่ 13 เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดซึ่งใช้วิธีเชิงพันธุกรรมมาเปรียบเทียบกับสมการในการสั่งซื้อที่ประหยัดกรณียอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน และกรณีการสั่งซื้อแบบมีส่วนลดตั้งสมการที่ (1), (2) และ (3) พบว่า คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก GA ได้คำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่ได้จากสมการ EOQ เนื่องจากการสั่งวัสดุของ GA เป็นการสั่งมาแล้วใช้เลย ซึ่งปริมาณนั้นสั่งตามความต้องการของกิจกรรมนั้น ๆ โดยไม่ได้สต็อกไว้ แต่การสั่งวัสดุของสมการ EOQ เป็นการสั่งปริมาณซ้ำ ๆ ในปริมาณที่เท่า ๆ กันและเก็บสต็อกไว้จึงส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากกว่า

5) สรุปผล

คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรม คือคำตอบที่ได้จากกรณีไม่ยอมให้มีการขาดแคลนวัสดุตามแผนงาน Project Cost 100% ซึ่งเกิดจากการวนหาคำตอบ 100 รุ่น เพราะยิ่งวนหาคำตอบได้มากเท่าไร ก็ยิ่งได้คำตอบที่ดีที่สุดมากเท่านั้น และได้คำตอบที่ดีกว่าสมการปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด เนื่องจากวิธีการพัฒนาแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับงานก่อสร้างทั้งหมด ได้แก่ คำสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ค่าขนส่ง ค่าขนย้าย ค่าเสียโอกาส ค่าปรับ ค่าใช้จ่ายทางอ้อม และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการว่างงาน อีกทั้งยังคำนึงถึงระยะเวลาโครงการและยังคำนึงถึงปริมาณการสั่งซื้อวัสดุในแต่ละครั้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมงานนั้น ๆ โดยปริมาณที่สั่งจะไม่เท่ากันทุกรอบ และเป็นการสั่งมาแล้วใช้เลยโดยไม่ได้สต็อกไว้

6) ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะวัสดุประเภทเชื้อขาดเท่านั้น แต่ไม่ได้มีศึกษาวัสดุที่มีทั้งการเช่า และซื้อขาย เช่น ไม้แบบ ดังนั้นอาจมีผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน แต่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ และยังสามารถนำไปใช้ได้ทั้งในงานโครงการขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ เพื่อเป็นเครื่องมือในการเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานและลดระยะเวลาการก่อสร้าง และยังสามารถวางแผนกำหนดสั่งวัสดุก่อสร้างเป็นจำนวนความถี่ที่เท่าไรก็ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ งานศึกษาครั้งนี้ไม่ได้กำหนดเวลาการสั่งซื้อวัสดุล่วงหน้า ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงในเรื่องของราคาต่อหน่วยที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การผลิตวัสดุอาจไม่ทันตามความต้องการ การขนส่ง และอาจเกิดการว่างงานของคนงาน และการกำหนดการร่นหาค่าตอบ 100 รอบอาจไม่ได้การันตีว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด การเพิ่มการร่นหาค่าตอบจะทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดมากกว่าเดิม

REFERENCES

- [1] T. Chupakdee. "Construction Project Management (CPM)." (in Thai), WORDPRESS.com. <https://cmteerawut.wordpress.com> (accessed Jan. 1, 2023).
- [2] N. Charoenchewakul, S. Kantabutra, and P. Sirisawat, "The comparative study of logistics cost in supply chain of bottled water factory and bottled mineral water factory," (in Thai), *J. Manage. Sci. Chiangrai Rajabhat Univ.*, vol. 10, no. 1, pp. 66–92, 2015.
- [3] C. Pinyopummin, D. Rinchumphu, and K. Arunothayanan, "Inventory management in small construction business," (in Thai), in *Proc. 25th Nat. Conv. Civil Eng.*, Jul. 2020, pp. CEM29-1–CEM29-7. [Online]. Available: <https://conference.thaince.org/index.php/ncce25/article/view/669/148>
- [4] D. R. Anderson, D. J. Sweeney, and T. A. Williams, *An Introduction to Management Science Quantitative Approaches to Decision Making*, 10th ed. Cincinnati, OH, USA: South-Western College Pub., 2003.
- [5] P. V. H. Son, N. H. C. Duy, and P. T. Dat, "Optimization of construction material cost through logistics planning model of dragonfly algorithm — Particle swarm optimization," *KSCE J. Civil Eng.*, vol. 25, pp. 2350–2359, Apr. 2021.
- [6] Newcastle Engineering Design Centre. "Roulette wheel selection." EDC.NCL.ac.uk. <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php> (accessed Mar. 16, 2023).
- [7] H. Said and K. El-Rayes, "Optimizing material procurement and storage on construction sites," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 137, no. 6, pp. 421–431, 2011.
- [8] M. Georgy and S. Y. Basily, "Using genetic algorithms in optimizing construction material delivery schedules," *Constr. Innov.*, vol. 8, no. 1, pp. 23–45, 2008.
- [9] Design and Construction Group, Office of the Basic Education Commission (OBEC). "Price list of construction materials and labor costs 2021." (in Thai), YOTATHAI.com. <https://www.yotathai.com/yotanews/cost-build-64> (accessed Dec. 31, 2022).
- [10] The Comptroller General's Department. "Middle price for construction." (in Thai), CGD.go.th. https://saraban-law.cgd.go.th/easinetimage/inetdoc?id=show_CGD.A.18981_1_BCS_1_1_pdf (accessed Feb. 1, 2023).
- [11] ADMIN BULK. "Construction Cost Proportion." (in Thai), BULK.com. https://www.bulk.com/th/สัดส่วนต้นทุนก่อสร้าง_2018/ (accessed Jan. 1, 2023).
- [12] P. Thanatitri. "Interest Rate 2021." (in Thai), KRUNGSRI.com. <https://www.krungsri.com/Krungsri2020/media/Banking-Rate/rates-loans/th/interest-rates-loans-01042564-th.pdf> (accessed Dec. 31, 2022).
- [13] M. Laotrakul. "Tower Crane Rental." (in Thai), BTSTOWER CRANE.com. <http://www.btstowercrane.com/uncategorized/tower-crane-wolff> (accessed Jan. 31, 2023).
- [14] B. Suttamanatwong. "Minimum Wage rate 2022." (in Thai), MOL.go.th. <https://www.mol.go.th/อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ> (accessed Dec. 31, 2022).