

# ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ของทาวเวอร์เครนและกองวัสดุก่อสร้าง

ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว<sup>1</sup> ณุเจต บุตรแสน<sup>2\*</sup> ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, ชลบุรี, ประเทศไทย

<sup>2,3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

\*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : nujet.b@ku.th

รับต้นฉบับ : 2 มกราคม 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 10 กรกฎาคม 2567; ตอบรับบทความ : 15 กรกฎาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 26 ธันวาคม 2567

## บทคัดย่อ

การวางแผนจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้างเป็นปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้าง เนื่องจากจะต้องกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของสิ่งอำนวยความสะดวกชั่วคราวและพื้นที่ในจัดเก็บวัสดุในขอบเขตโครงการและช่วงเวลาที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความสูญเสียและผลกระทบ การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนารูปแบบการจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้างโดยการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของทาวเวอร์เครนและพื้นที่กองวัสดุก่อสร้างที่มีความเป็นไปได้ และมีประสิทธิภาพในรูปแบบการนำเสนอที่เสมือนจริง โดยไม่ได้คำนึงถึงแค่เพียงระยะทางในการขนย้ายวัสดุของกิจกรรมการก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงระยะเวลาให้สอดคล้องกับแผนกำหนดเวลาของโครงการ (scheduling) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเช่าทาวเวอร์เครน ค่าขนส่ง ค่ากองเก็บ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากวัสดุขาดแคลน และค่าเสียโอกาส โดยนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) มาช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับระยะตำแหน่งที่ตั้งตั้งทาวเวอร์เครน และระยะตำแหน่งที่ตั้งตั้งพื้นที่ในจัดเก็บวัสดุ โดยวิธีการดังกล่าวมีข้อดีในการช่วยหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด และสามารถหาแนวโน้มของคำตอบที่ถูกปรับปรุงขึ้น ซึ่งวิธีการข้างต้นได้นำมาทดลองกับโครงการกรณีศึกษา พบว่าวิธีการพัฒนารูปแบบการจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้างโดยการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของทาวเวอร์เครนและพื้นที่กองวัสดุก่อสร้างสามารถช่วยลดระยะทางในการขนย้ายวัสดุ ทำให้ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายลดน้อยลงตามอีกด้วย

**คำสำคัญ :** ความปลอดภัยในการก่อสร้าง การวางตำแหน่งอุปกรณ์ โลจิสติกส์ การออกแบบและการวางแผนผังไซต์

# Building Information Modeling for Construction Site Layout Planning

Narongrit Wongwai<sup>1</sup> Nujet Butsan<sup>2\*</sup> Suphawut Malaikrisanachalee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, Thailand*

<sup>2\*,3</sup>*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand*

\*Corresponding Author. E-mail address: nujet.b@ku.th

Received: 2 January 2024; Revised: 10 July 2024; Accepted: 15 July 2024

Published online: 26 December 2024

## Abstract

The planning of construction site layouts is a critical challenge in construction projects, requiring the allocation of suitable positions for temporary facilities and material storage areas within project boundaries and at appropriate time intervals. Failure to do so can result in significant losses and repercussions. This study aims to develop a construction site layout model by identifying optimal position for tower cranes and construction material storage area that are both feasible and efficient, presented in a format that mirrors reality. The methodology extends beyond merely considering the distance of material movement during construction activities. It aligns time intervals with project scheduling to reduce costs related to crane rental, transportation, storage facilities, material shortages, and opportunity costs. The application of a genetic algorithm is employed to discover the best solutions for positioning tower cranes and storage areas. This approach offers the advantage of approximating the best possible solution and revealing trends in improved solutions. The methodology has been applied to a case study project, illustrating that the development of construction site layouts by identifying optimal positions for tower cranes and construction material storage areas can significantly reduce material movement distances, resulting in reduced time and costs.

**Keywords:** Construction safety, Construction site layout optimal tower cranes position, Logistics, Site design and planning

## 1) บทนำ

การวางแผนจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพของพื้นที่ก่อสร้าง เป็นพื้นฐานสำหรับการดำเนินโครงการที่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากช่วยเพิ่มทั้งผลผลิตและความปลอดภัยในพื้นที่ก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่งานนี้ประกอบด้วยภาระบ่งชี้ความเสถียรของตัวคร่าวที่จำเป็นในการสนับสนุนการก่อสร้างการดำเนินการกำหนดขนาดและรูปร่าง และการวางตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่ว่างภายในขอบเขตของโครงการ ปัญหาการวางแผนจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้าง คือปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงผสมที่ซับซ้อนซึ่งเกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์หลายปัจจัยและปัญหาที่เพิ่มขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมากตามจำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกและข้อจำกัดที่เพิ่มขึ้น จากการทบทวนวรรณกรรมประกอบด้วย บทวิเคราะห์ที่หลากหลายเทคนิคฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหา แต่ในการศึกษาที่ผ่านมาโดยส่วนมากจะตรวจสอบสิ่งอำนวยความสะดวกจำนวนน้อย และมุ่งเน้นไปที่การลดระยะการเดินทางให้น้อยที่สุด โดยไม่สนใจปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน โดยทั่วไปหรือพารามิเตอร์การตัดสินใจอื่น ๆ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือการพัฒนาโซลูชันการจัดวางแปลนพื้นที่ก่อสร้างที่เป็นไปได้ และมีประสิทธิภาพในรูปแบบการนำเสนอที่เหมือนจริง โดยคำนึงถึงระยะทางทั้งหมดที่เดินทางรวมถึงค่าใช้จ่ายและพารามิเตอร์ความปลอดภัย มีการพัฒนารูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ ตั้งเป้าที่จะลดฟังก์ชันต้นทุนทั่วไปให้น้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากต้นทุนการก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่เป็นทางเลือกสถานที่ ค่าขนส่งระหว่างสถานที่ และข้อกังวลด้านความปลอดภัยใด ๆ ในรูปแบบของความใกล้เคียงหรือความห่างไกลที่ต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกเฉพาะไปยังสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ หรือพื้นที่ทำงาน การพัฒนารวมวัตถุประสงค์การค้นหาที่จำเป็นเข้ากับความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) ได้รับการทดสอบในหลายกรณีทดสอบและผลลัพธ์ของการนำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีอยู่จากวรรณกรรม การประเมินผลบ่งชี้ว่ารูปแบบที่นำเสนอให้วิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพและมีเหตุผล เพื่อตอบสนองต่อพารามิเตอร์การตัดสินใจและข้อจำกัดของปัญหา และส่งผลให้ดีขึ้นในการวางแผนจัดแปลนพื้นที่ที่เหมาะสมกว่าวิธีก่อนหน้านี้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนารูปแบบการจัดแปลนพื้นที่ก่อสร้างโดยการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของทาวเวอร์เครนและพื้นที่กอง

วัสดุก่อสร้าง เพื่อหาระยะตำแหน่งที่ติดตั้งทาวเวอร์เครน และระยะตำแหน่งที่ติดตั้งพื้นที่ในการจัดเก็บวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในโครงการ ซึ่งส่งผลให้ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายของโครงการ แต่ยังไม่ได้ศึกษาในส่วนของการใช้จ่ายในโครงการก่อสร้างจริงทั้งหมด ได้แก่ ค่าเช่าทาวเวอร์เครน ค่าขนส่ง ค่ากองเก็บวัสดุ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากวัสดุขาดแคลน และค่าเสียโอกาส

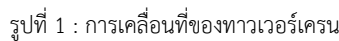
## 2) ทบทวนวรรณกรรม

### 2.1) การวางแผนเค้าโครงทาวเวอร์เครน

งานวิจัยจำนวนมากได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสถานที่ของทาวเวอร์เครนตามเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เน้นเป็นหลักลดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

Zhang *et al.* แนะนำแบบจำลองที่สำคัญ-ทางคณิตศาสตร์ [1] ที่ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มของทาวเวอร์เครนโดยใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล มีงานวิจัยมากมายปรับปรุงแบบนี้ Marzouk and Abubakr [2] ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการสร้างแบบจำลองข้อมูลอาคาร (BIM) สำหรับทาวเวอร์เครนในการวางแผน แบบจำลองที่ใช้ BIM นี้ใช้เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของปั้นจั่นโดยใช้การตรวจสอบการปะทะและพัฒนาแผน 4 มิติ Abdelmegid *et al.* [3], Tam *et al.* [4] และ Alkriz and Mangin [6] ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยลดเวลาและค่าใช้จ่ายโดยรวม Al-Hussein *et al.* [5] พัฒนาระบบบูรณาการสำหรับการจำลองและ 3 มิติ การสร้างภาพการทำงานของทาวเวอร์เครน Huang *et al.* [7] การใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม นั้นมีความยืดหยุ่นกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm), Irizarry and Karan [8] การรวมทั้ง GIS และ BIM เข้าด้วยกันและเปิดใช้งานการแสดงผลภาพโมเดล 3 มิติของทาวเวอร์เครนที่เหมาะสมที่สุดสถานที่ แบ่งประเภทพื้นที่ที่เป็นไปได้สำหรับที่ตั้งทาวเวอร์เครนเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความขัดแย้ง Lien and Cheng [9] ใช้อัลกอริทึมของ Particle Bee เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและลดต้นทุนการดำเนินงาน

$$Tw = \frac{1}{V_w} * Arc \cos \frac{P(Di)^2 - P(Si)^2 - P(Dj)^2}{2 * P(Dj) * P(Si)} \quad (1)$$



$XD_j, YD_j, ZD_j$  = พิกัดของจุดอุปสงค์ ( $m$ )  
 $XSi, YSi, ZSi$  = พิกัดของจุดจ่าย ( $m$ )  
 $XSi', YSi', ZSi'$  = พิกัดของจุดจ่ายที่แปลงแล้ว ( $m$ )  
 $\Delta$  = ความแตกต่างของระดับสิ่งกีดขวางเพิ่มเติม  
 $P(Dij)$  = ระยะทางจากจุดจัดหา ( $i$ ) ไปยังจุดอุปสงค์ ( $j$ )  
 $P(Dj)$  = ระยะทางจากจุดป้อนจนถึงจุดอุปสงค์ ( $j$ ) ( $m$ )  
 $P(Si)$  = ระยะทางจากจุดป้อนจนถึงจุดจ่าย ( $i$ ) ( $m$ )  
 $LB$  = ความยาวของบูม Luffing  
 $Vr$  = ความเร็วในแนวรัศมีของรถเข็น ( $m/min$ )  
 $Vluff$  = ความเร็วการหล่อของ jib ( $m/min$ )  
 $Vw$  = ความเร็วการแกว่งของ jib ( $rad/min$ )  
 $Vv$  = ความเร็วแนวตั้งในการยก ( $m/min$ )  
 $T$  = เวลาเดินทางของเบ็ดทั้งหมดจากจุด  $i$  ไปยังจุด  $j$   
 $Tr$  = เวลาสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวรัศมีของตะขอ ( $min$ )  
 $TLuff$  = เวลาสำหรับการเคลื่อนตัวของตะขอ ( $min$ )  
 $Tw$  = เวลาในการแกว่งตะขอ ( $min$ )  
 $Tv$  = เวลาในการยกตะขอในแนวตั้ง ( $min$ )  
 $Th$  = เวลาในการเคลื่อนที่ของตะขอในแนวนอน ( $min$ )  
 $TL$  = เวลาในการโหลด  
 $Tu$  = เวลาขนถ่าย  
 $\alpha$  = พารามิเตอร์การเคลื่อนไหวพร้อมกันของ jib (ระดับกับ

แต่ละงานวิจัยที่กล่าวถึงมีเพียงการคำนวณจุดติดตั้งของทาวเวอร์ครนที่เหมาะสมเท่านั้น ไม่ได้กล่าวถึงจุดตำแหน่งของกองวัสดุก่อสร้าง และจุดติดตั้งบนอาคารด้วย บทความนี้ได้ทำการวิจัยถึงทั้ง 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งของทาวเวอร์ ตำแหน่งของกองวัสดุ และตำแหน่งจุดติดตั้งของอาคารแต่ละจุดของแต่ละชั้น ทำให้ผลที่ได้มีประสิทธิภาพในรูปแบบการนำเสนอที่เสมือนจริงมากขึ้น

$N$  คือ จำนวนของประชากร (Population)

| ตำแหน่งติดตั้งทาวเวอร์เคอร์เนล (Population) |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Parent 1                                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Parent 2                                    | 1 | 2 | 6 | 5 | 3 | 4 |
| Parent 3                                    | 1 | 6 | 2 | 4 | 5 | 3 |

ตารางที่ 2 : ตัวอย่างการผสมข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

| ตำแหน่งติดตั้งทาวเวอร์เครน (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 3 : ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบที่ 1 (Mutation)

| ตำแหน่งติดตั้งทาวเวอร์เครน (Population) |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Parent 1                                | 1 | 2 | 6 | 5 | 3 | 4 |
| กลายพันธุ์ (Mutation)                   |   |   |   |   |   |   |
| Mutation                                | 1 | 2 | 5 | 6 | 3 | 4 |

ตารางที่ 4 : ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบที่ 2 (Mutation)

| ตำแหน่งติดตั้งทาวเวอร์เครน (Population) |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Parent 1                                | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Offspring 1                             | 1 | 2 | 6 | 4 | 5 | 3 |
| กลายพันธุ์ (Mutation)                   |   |   |   |   |   |   |
| Mutation                                | 1 | 3 | 6 | 4 | 5 | 2 |

### 3.2) การทดสอบกับโจทย์ปัญหาจริง

ตั้งโจทย์ เป็นโครงการก่อสร้าง อาคารห้องชุดพักอาศัย สูง 10 ชั้นเท่ากัน รวม 230 ยูนิต บนที่ดินขนาด 10,000 ตร.ม. มีแบบแปลนภาพรวมของโครงการ และกำหนดกริดพื้นที่โครงการก่อสร้าง ตามแปลนรูปที่ 2

### 3.3) Installation Point

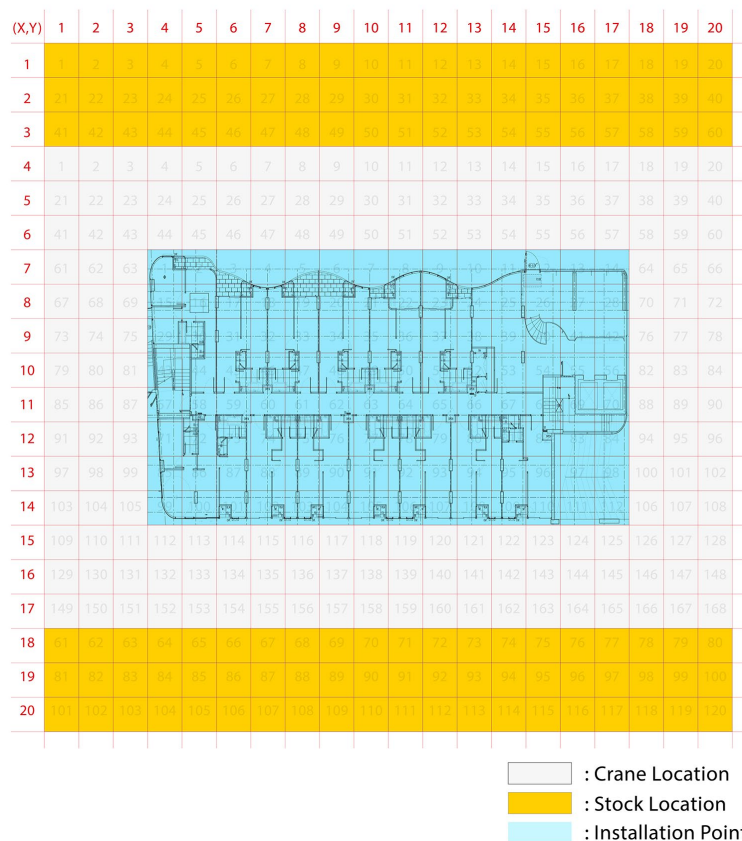
จุดติดตั้งและกำหนดกิจกรรมกำหนด 1,120 กิจกรรม (112 กิจกรรม ต่อ 1 ชั้น) มีทั้งหมด 10 ชั้น

### 3.4) Tower Crane Location

ตำแหน่งที่ตั้งทาวเวอร์เครนและกำหนดกิจกรรมกำหนด 168 กิจกรรม

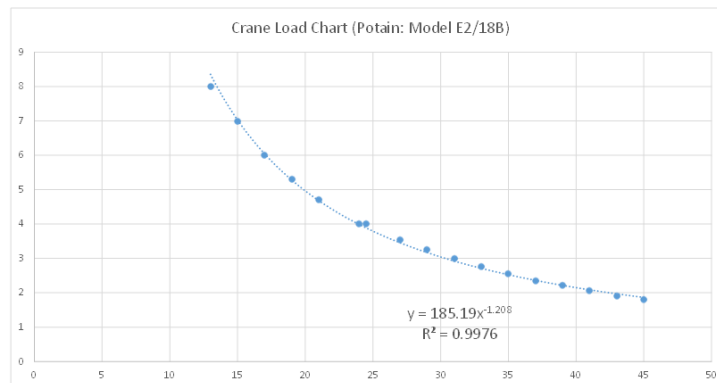
### 3.5) Stock Location

ตำแหน่งที่ตั้งสต็อก กองวัสดุและกำหนดกิจกรรมกำหนด 120 กิจกรรม



รูปที่ 2 : แปลนและกำหนดกริดพื้นที่โครงการก่อสร้าง

| ทาวเวอร์เครน Tower Crane ยี่ห้อ Potain รุ่น E2/18B                 |    |    |    |     |     |    |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |
|--------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|----|------|------|------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|
| ความสูงในฐาน 35 เมตร ความยาวแขน 45 เมตร                            |    |    |    |     |     |    |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |
| น้ำหนักยกสูงสุด 8 ตัน @ 13 เมตร น้ำหนักยกปลายแขน 1.8 ตัน @ 45 เมตร |    |    |    |     |     |    |      |      |      |    |      |      |      |      |      |     |     |
| m                                                                  | 13 | 15 | 17 | 19  | 21  | 24 | 24.5 | 27   | 29   | 31 | 33   | 35   | 37   | 39   | 41   | 43  | 45  |
| t                                                                  | 8  | 7  | 6  | 5.3 | 4.7 | 4  | 4    | 3.55 | 3.25 | 3  | 2.75 | 2.55 | 2.35 | 2.22 | 2.05 | 1.9 | 1.8 |

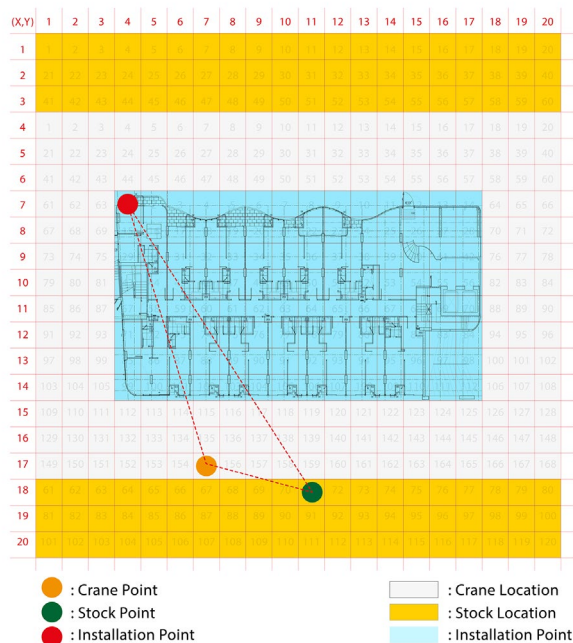


รูปที่ 3 : Crane Load Chart (Potain: Model E2/18B)

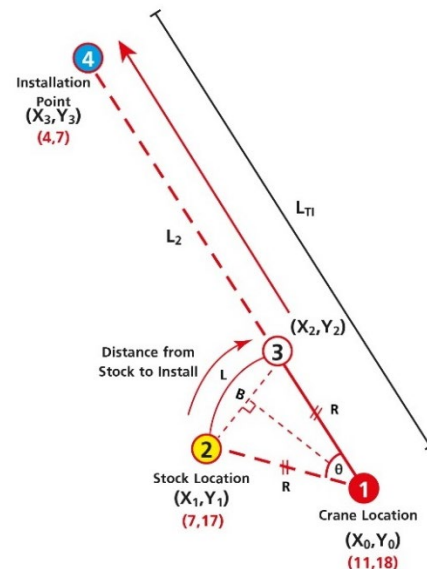
3.6) ตารางน้ำหนักการโหลดของทาวเวอร์เครน (Crane Load Chart (Potain: Model E2/18B))

3.7) คำนวณน้ำหนักโหลดสูงสุดต่อรอบ Max Load per Cycle (T) ในแต่ละรุ่นของทาวเวอร์เครน

คำนวณจาก รูปที่ 3: Crane Load Chart (Potain: Model E2/18B)



รูปที่ 4 : แพลนและกำหนดกริดพื้นที่จุดในการคำนวณ



รูปที่ 5 : รูปแบบและสมการในการคำนวณ

$$R = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (3)$$

$$L_{Ti} = \sqrt{(x_0 - x_3)^2 + (y_3 - y_0)^2} \quad (4)$$

$$L_2 = L_{Ti} - R \quad (5)$$

$$L_{Total} = \frac{2\pi r}{360^\circ} \quad (6)$$

$$B = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (7)$$

$$\theta = 2 \times \sin^{-1} \left( \frac{B/2}{R} \right) \quad (8)$$

$$L_{Total} = L + |L_{Ti} - R| \quad (9)$$

$$L_{Total} = \frac{2\pi r}{360^\circ} \left( 2 \times \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{2R} \right) + \left| \sqrt{(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2} - \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \right| \right) \quad (10)$$

เมื่อ  $X_0, Y_0$  = พิกัดของจุดเครน

$X_1, Y_1$  = พิกัดของจุดกองวัสดุ

$X_2, Y_2$  = พิกัดของแนวรัศมีเหวี่ยงทิศทางไปจุดติดตั้ง

$X_3, Y_3$  = พิกัดของแนวรัศมีเหวี่ยงทิศทางไปจุดติดตั้ง

$R$  = ระยะทางความยาวจากเครนไปยังจุดกองวัสดุ

$L_{\pi}$  = ระยะทางความยาวจากเครนไปยังจุดติดตั้ง

$L_{Total}$  = ระยะทางรวมความยาวจากเครนไปจุดกองวัสดุและไปยังจุดติดตั้ง

### 3.8) ประชากรในรุ่น (Populations for a Generation)

กำหนดจำนวนคำตอบในแต่ละรุ่น 100 คำตอบ ในแต่ละรุ่นจะดึงคำตอบจำนวน 1 คู่ (1 parents) ด้วยวิธี Roulette wheel เพื่อมาปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Crossover และ Mutation

### 3.9) การวนหาคำตอบ (Iterations)

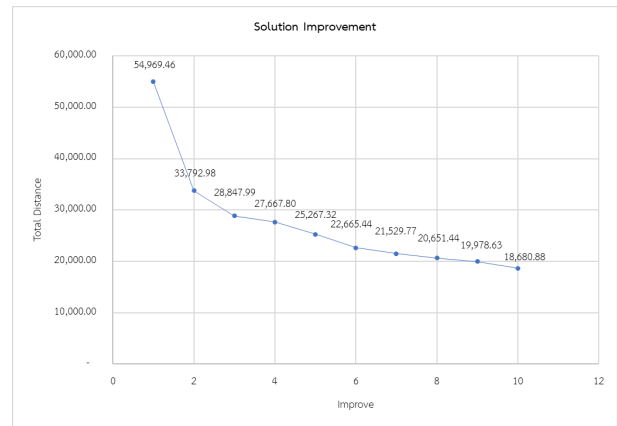
กำหนด 1000 รุ่น

### 3.10) คำนวณระยะทางรวมจากสต็อกถึงการติดตั้ง

### 3.11) วิเคราะห์และเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมที่สุดของระยะทางรวมจากสต็อกถึงการติดตั้ง (Total Distance)

ตารางที่ 5 : ค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration) ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 45 เมตร

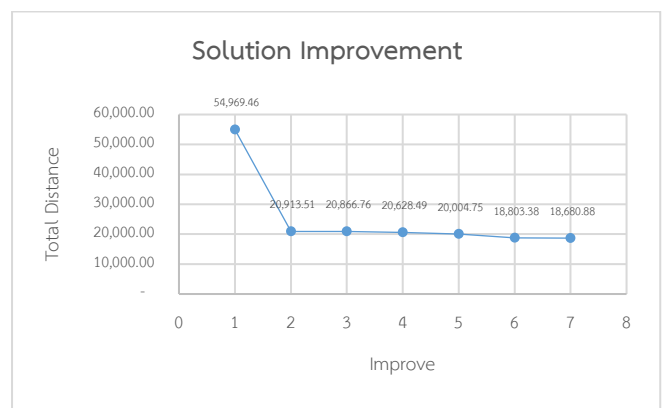
| Improve | Iteration | Solution ID | Total Distance |
|---------|-----------|-------------|----------------|
| 1       | 1         | 1           | 54,969.46      |
| 2       | 1         | 6           | 33,792.98      |
| 3       | 1         | 11          | 28,847.99      |
| 4       | 1         | 62          | 27,667.80      |
| 5       | 2         | 127         | 25,267.32      |
| 6       | 2         | 147         | 22,665.44      |
| 7       | 5         | 422         | 21,529.77      |
| 8       | 8         | 744         | 20,651.44      |
| 9       | 9         | 866         | 19,978.63      |
| 10      | 17        | 1,676       | 18,680.88      |



รูปที่ 6 : กราฟค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration) ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 45 เมตร

ตารางที่ 6 : ค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration) ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 40 เมตร

| Improve | Iteration | Solution ID | Total Distance |
|---------|-----------|-------------|----------------|
| 1       | 1         | 1           | 54,969.46      |
| 2       | 1         | 37          | 20,913.51      |
| 3       | 3         | 300         | 20,866.76      |
| 4       | 4         | 360         | 20,628.49      |
| 5       | 7         | 633         | 20,004.75      |
| 6       | 148       | 14,763      | 18,803.38      |
| 7       | 298       | 29,730      | 18,680.88      |

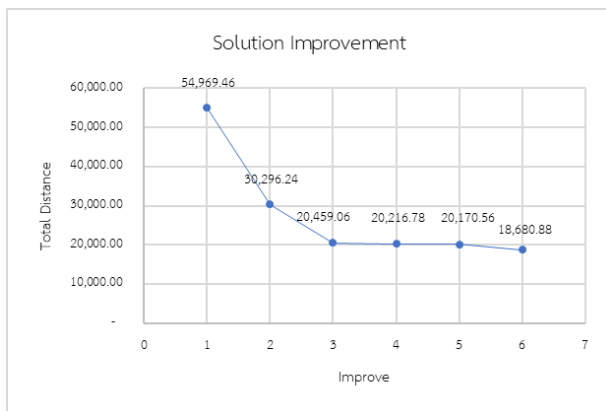


รูปที่ 7 : กราฟค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration) ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 40 เมตร

ตารางที่ 7 : ค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration)

ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 35 เมตร

| improve | Iteration | Solution ID | Total Distance   |
|---------|-----------|-------------|------------------|
| 1       | 1         | 1           | 54,969.46        |
| 2       | 1         | 4           | 30,296.24        |
| 3       | 1         | 24          | 20,459.06        |
| 4       | 2         | 121         | 20,216.78        |
| 5       | 2         | 190         | 20,170.56        |
| 6       | 3         | 242         | <b>18,680.88</b> |



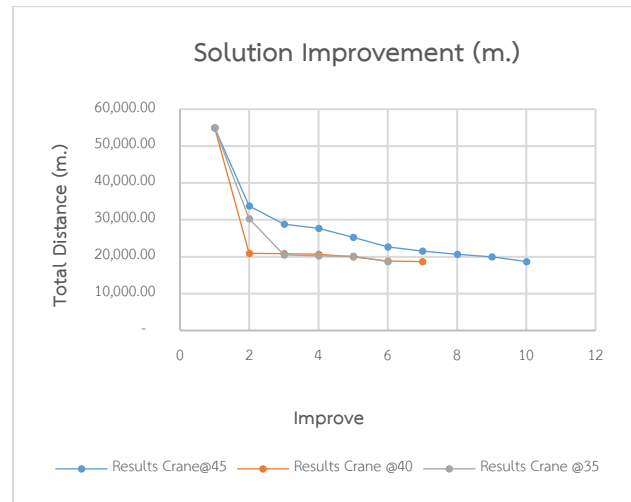
รูปที่ 8 : กราฟค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (iteration)

ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 35 เมตร

ตารางที่ 8 : ค่าความเหมาะสมที่สุดของการหาคำตอบ (results distance)

ของทาวเวอร์เครนแต่ละช่วง

| Results Distance (m.) |                  |                  |                  |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| improve               | Crane @45        | Crane @40        | Crane @35        |
| 1                     | 54,969.46        | 54,969.46        | 54,969.46        |
| 2                     | 33,792.98        | 20,913.51        | 30,296.24        |
| 3                     | 28,847.99        | 20,866.76        | 20,459.06        |
| 4                     | 27,667.80        | 20,628.49        | 20,216.78        |
| 5                     | 25,267.32        | 20,004.75        | 20,170.56        |
| 6                     | 22,665.44        | 18,803.38        | <b>18,680.88</b> |
| 7                     | 21,529.77        | <b>18,680.88</b> | -                |
| 8                     | 20,651.44        | -                | -                |
| 9                     | 19,978.63        | -                | -                |
| 10                    | <b>18,680.88</b> | -                | -                |



รูปที่ 9 : กราฟค่าความเหมาะสมที่สุดของการวนหาคำตอบ (distance)

ของทาวเวอร์เครนความยาวแขน 45/40/35 เมตร

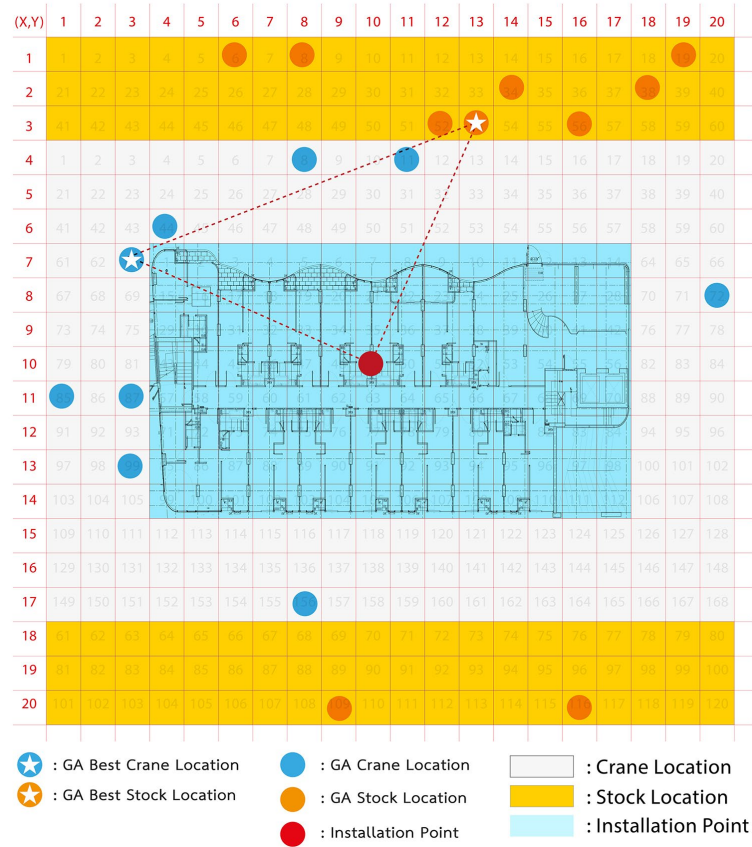
จากตารางที่ 8 และรูปที่ 9 พบว่า คำตอบที่ดีที่สุดคือ 1000 รุ่น ยิ่งวนหาคำตอบทั้งหมดของแต่ละรุ่นมากเท่าไร ก็จะได้ระยะจุดตำแหน่งที่ตั้งทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุ ระยะทางในการขนส่งที่น้อยลงเท่านั้น สังเกตได้จากการปรับปรุงคำตอบครั้งที่ 2 และ 3 ของ 1000 รุ่น ระยะทางที่ได้จะน้อยลงถึงหลักหมื่น เมื่อเทียบกับ 5 และ 10 รุ่น ระยะทางที่ได้จะน้อยลงซึ่งจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถหาตำแหน่งที่น้อยลงกว่านี้ได้

ตารางที่ 9 : เปรียบเทียบระหว่างการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

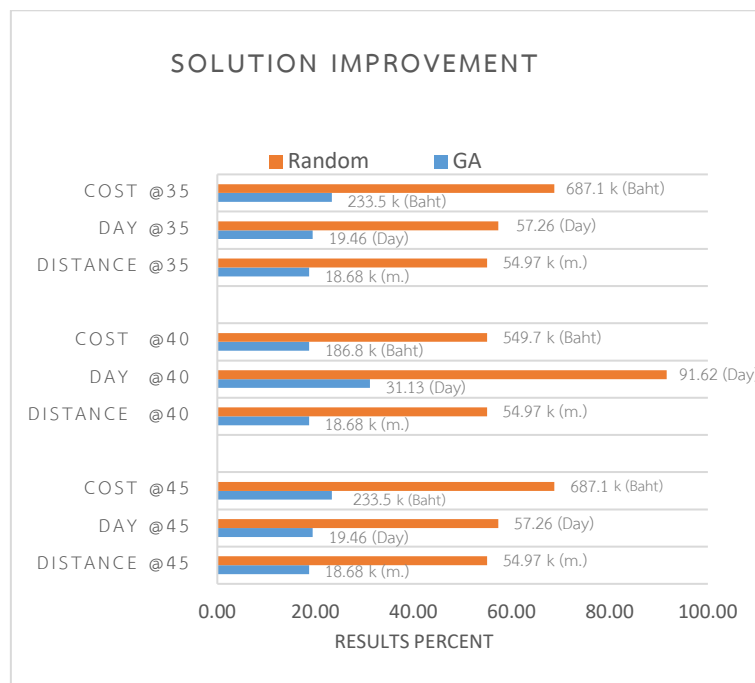
และการสุ่มเลือกตำแหน่ง

|              | GA    | Random | %Improve |
|--------------|-------|--------|----------|
| Distance @45 | 18.68 | 54.97  | 66.02    |
| Day @45      | 19.46 | 57.26  | 66.02    |
| Cost @45     | 23.35 | 68.71  | 66.02    |
| Distance @40 | 18.68 | 54.97  | 66.02    |
| Day @40      | 31.13 | 91.62  | 66.02    |
| Cost @40     | 18.68 | 54.97  | 66.02    |
| Distance @35 | 18.68 | 54.97  | 66.02    |
| Day @35      | 19.46 | 57.26  | 66.02    |
| Cost @35     | 23.35 | 68.71  | 66.02    |

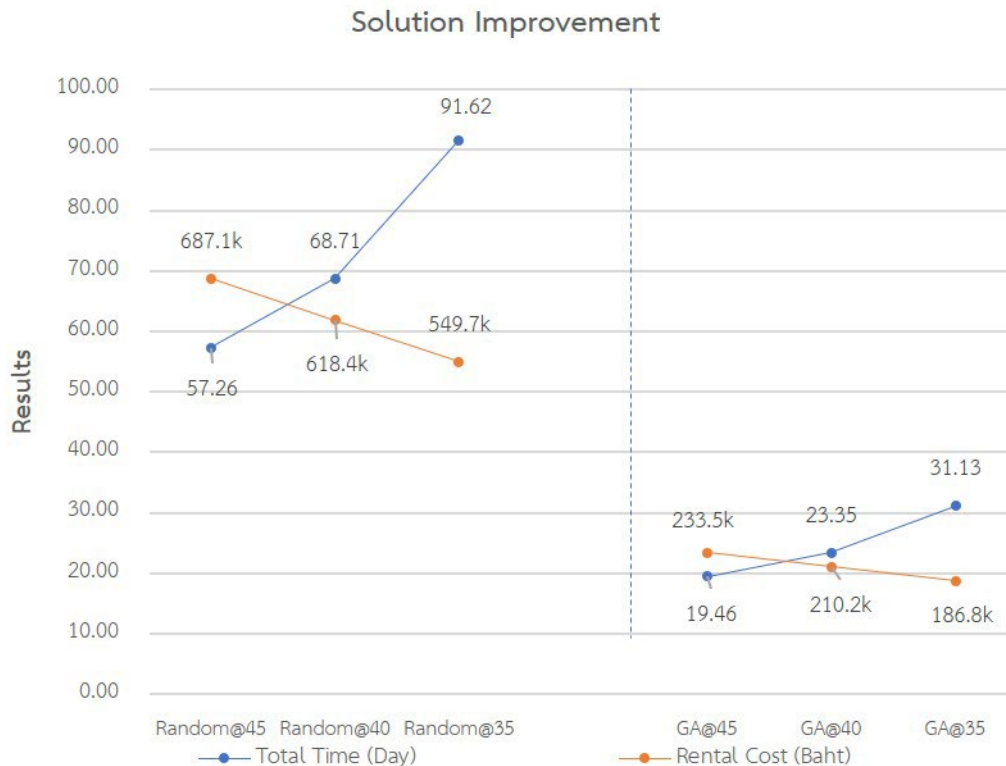




รูปที่ 10 : แผนและกำหนดกริดพื้นที่จุดในการคำนวณค่าความเหมาะสมที่สุดของการหาคำตอบ (results distance)



รูปที่ 11 : กราฟค่าแสดงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการสุ่มเลือก



รูปที่ 12 : กราฟค่าแสดงเปรียบเทียบระหว่างจำนวนวันและค่าใช้จ่าย

#### 4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากข้อมูลรูปที่ 10 เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากแบบจำลองจุดตำแหน่งที่ตั้งทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุ ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยเลือกการปรับปรุงคำตอบครั้งที่ 1-10 มาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากระยะทางรวมจากสต็อกกองวัสดุถึงการติดตั้ง Total Distance from Stock to Installation (m) ของแต่ละกรณีของการใช้ทาวเวอร์เครนความยาวแขน 35, 40 และ 45 เมตร ผลจากการเลือกใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ทำให้เห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์คำตอบดีขึ้นถึง 66.02% จึงสรุปได้ว่าการใช้ทาวเวอร์เครนความยาวแขนยิ่งมากระยะเวลาในการทำงานจะสั้นลง และค่าใช้จ่ายในการเช่าก็จะสูงขึ้น ดังนั้นการเลือกขนาดของทาวเวอร์เครน และจุดตำแหน่งการติดตั้งให้สอดคล้องกับแผนงานของโครงการก็จะส่งผลให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในโครงการ ต้นทุนทางอ้อม (indirect cost) และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการว่างงาน (idling cost) อีกทั้งยังคำนึงถึงระยะเวลาในการก่อสร้างโครงการ (project duration) อีกด้วย

#### 5) ข้อเสนอแนะ

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวิเคราะห์เพียงแค่วิธีแบบจำลองการติดตั้งจุดตำแหน่งที่ตั้งทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุ เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนย้ายในกิจกรรมต่าง ๆ ของการก่อสร้างโครงการ หากกรณีมีตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุ มากกว่า 1 ตำแหน่ง อาจจะทำให้การขนย้ายกองวัสดุไปยังจุดติดตั้งได้ระยะทางที่สั้นและไวยิ่งขึ้น ย่อมส่งผลให้การส่งวัสดุไปยังจุดติดตั้งต่าง ๆ เป็นไปตามแผนงานที่วางไว้ การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พบว่าทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าการคำนวณหาจุดติดตั้ง ที่ตั้งทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุเอง ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ช่วยในการคำนวณที่ซับซ้อนของ maximum load ตามรัศมีของทาวเวอร์เครนแต่ละขนาด ไปยังจุดตำแหน่งของกองวัสดุก่อสร้างและจุดติดตั้งด้วย ซึ่งมีการคำนวณระยะจุดติดตั้งทั้ง 3 แกน X, Y, Z ในแต่ละรอบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและไม่ให้เกิดอุบัติเหตุได้ งานวิจัยนี้จึงสามารถต่อยอดในการสร้างสมการแบบจำลองการส่งวัสดุแต่ละประเภทในกิจกรรมโครงการก่อสร้าง เพื่อคำนึงถึง

ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่โครงการต้องเสียไปจากการวางแผนการก่อสร้างที่ไม่ถูกต้องได้

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้กับโครงการการอื่นได้ โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ และปรับระยะกำหนดกริดพื้นที่ให้สอดคล้องกับระยะของแปลน

#### 6) ข้อจำกัดในการวิจัย

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรการติดตั้งจุดตำแหน่งที่ตั้งทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุเพียงอย่างละ 1 จุด หากกรณีมีทาวเวอร์เครน และตำแหน่งที่ตั้งสต็อกกองวัสดุ มากกว่า 1 ตำแหน่ง จะยังไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมได้

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนตรวจสอบแก้ไขในงานวิจัยฉบับนี้

#### REFERENCES

- [1] H. Zhang and J. Y. Wang, "Particle swarm optimization for construction site unequal-area layout," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 134, no. 9, pp. 739–748, 2008.
- [2] M. Marzouk and A. Abubakr, "Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms," *Autom. Constr.*, vol. 61, pp. 1–15, 2016.
- [3] M. A. Abdelmegid, K. M. Shawki, and H. Abdel-Khalek, "GA optimization model for solving tower crane location problem in construction sites," *Alex. Eng. J.*, vol. 54, no. 3, pp. 519–526, 2015.
- [4] C. M. Tam, T. K. L. Tong, and W. K. W. Chan, "Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 127, no. 4, pp. 315–321, 2001.
- [5] M. Al-Hussein, M. A. Niaz, H. Yu, and H. Kim, "Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites," *Autom. Constr.*, vol. 15, no. 5, pp. 554–562, 2006.
- [6] K. Alkris and J. C. Mangin, "A new model for optimizing the location of cranes and construction facilities using genetic algorithms," in *Proc. 21st Annu. ARCOM Conf.*, London, UK, 2005, pp. 981–991.
- [7] C. Huang, C. K. Wong, and C. M. Tam, "Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming," *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 5, pp. 571–580, 2011.
- [8] J. Irizarry and E. P. Karan, "Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 17, no. 23, pp. 351–366, 2012.
- [9] L.-C. Lien and M.-Y. Cheng, "Particle bee algorithm for tower crane layout with material quantity supply and demand optimization," *Autom. Constr.*, vol. 45, pp. 25–32, 2014.