



การหาต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคารโดยใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ร่วมกับข้อมูลราคาต่อหน่วย
ผลิตภาพการทำงาน และการจำลองโครงการ

DETERMINING COSTS AND TIME REQUIRED FOR BUILDING CONSTRUCTION BY USING 3D
STRUCTURAL MODELS, UNIT COSTS, PRODUCTIVITY RATES, AND PROJECT SIMULATIONS

บุนนภาพ วิสารทสกุล^{1*} และ จิรวัดน์ ดำรินันต์²

¹นักศึกษาปริญญาโท และ ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

*Corresponding author: bunnapub.visa@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงการวิเคราะห์หาต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคาร และเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาดังกล่าวระหว่างอาคาร
โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคาร โครงสร้างเหล็กรูปพรรณที่มีพื้นที่และการใช้สอยเหมือนกัน วิธีการศึกษาทำโดยการ ใช้
แบบจำลอง โครงสร้าง 3 มิติของอาคารเพื่อหาปริมาณวัสดุที่จะใช้ในการก่อสร้าง ใช้ข้อมูลราคาต่อหน่วยในการหาต้นทุนค่า
วัสดุ ใช้ข้อมูลผลิตภาพการทำงานและอัตราค่าแรงงานต่อหน่วยในการหาต้นทุนค่าแรงงานและหาเวลาในการทำกิจกรรมย่อยต่าง ๆ
จากนั้น ใช้แบบจำลอง โครงการเพื่อหาระยะเวลาก่อสร้างของทั้ง โครงการ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทำโดยการ
เปรียบเทียบกับวิธีสายงานวิกฤต จะเห็นได้ว่าข้อมูลจากแบบจำลอง โครงสร้าง 3 มิติ ราคาต่อหน่วย ผลิตภาพการทำงาน และการ
จำลองสถานการณ์ สามารถใช้ร่วมกันเพื่อประมาณต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคาร ได้ตามวัตถุประสงค์ ระยะเวลาก่อสร้างที่
วิเคราะห์ได้จากการจำลองสถานการณ์ของทั้ง โครงการมีความสอดคล้องกับระยะเวลาที่ได้จากวิธีสายงานวิกฤต นอกจากนี้เมื่อใช้
การจำลองสถานการณ์จะสามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานแบบพิเศษซึ่งช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับสภาพ
การก่อสร้างที่ต้องการได้มากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างในกรณีศึกษาพบว่า โครงสร้างอาคารเหล็ก
รูปพรรณมีต้นทุนในการก่อสร้างสูงกว่าต้นทุนในการก่อสร้าง โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 39 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลา
ก่อสร้างในหน่วยงานน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในกรณีของ โครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 69 เปอร์เซ็นต์
คำสำคัญ: ต้นทุนค่าก่อสร้าง, ระยะเวลาก่อสร้าง, แบบจำลอง, ผลิตภาพการทำงาน, การจำลองสถานการณ์

ABSTRACT

Information from 3D structural models, unit costs of construction material and labors, construction productivity rates and project
simulations were integrated to estimate construction costs and time required for building construction. Construction costs and
time differences between a reinforced concrete and a structural steel buildings were also determined. The two types of structure
were subjected to identical requirements, building area and usage. The 3D structural models were created to determine amounts
of material to be used for entire projects. The unit costs of construction material and the productivity rates were applied to
evaluate material costs and activity durations, respectively. The estimated durations were used in conjunction with unit cost of

Bunnapub Visartsakul^{1*} and Jirawat Damrianant²

¹Graduate student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

²Asst.Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

labors to yield labor costs. Simulation models were developed and simulation runs were performed to determine project durations. The simulation models were validated by comparing the project durations predicted from the simulation runs with those calculated from critical path method (CPM). It was found that the project durations obtained from the two methodologies were consistent. In addition, when using simulations, some special conditions may be added to models, making simulation results more realistic. It can be seen that information from 3D structural models, unit prices, productivity rates, and project simulation were able to be integrated for the determination of construction costs and time as required. The findings also indicated that, for the projects in this study, steel structure construction cost was 39% higher than that of reinforced concrete, while construction duration of the latter was 69% longer.

KEYWORDS: Construction cost, Construction duration, Model, Productivity rate, Simulation.

1. ที่มาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แสดงการวิเคราะห์หาต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้างอาคาร โดยการใช้วิธีการและข้อมูลหลายประเภท ประกอบกันอย่างเป็นขั้นตอน พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคารเหล็ก รูปพรรณที่มีพื้นที่และการใช้สอยเหมือนกัน ที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย การเปรียบเทียบดังกล่าว นอกจากจะเป็นการแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ข้างต้นแล้ว ยังทำให้ทราบถึงความแตกต่างของต้นทุนและระยะเวลาในการก่อสร้าง ระหว่างโครงสร้างทั้ง 2 ประเภท อันจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเลือกประเภทของโครงสร้างรวมถึงการวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมได้ต่อไป วิธีการและข้อมูลที่ใช้ร่วมกันในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติของอาคาร การใช้ข้อมูลราคาต่อหน่วยของค่าวัสดุและค่าแรงรวมทั้งข้อมูลผลผลิตภาพการทำงาน ร่วมกับการใช้แบบจำลองโครงการและการจำลองสถานการณ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว วิธีการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ (Modeling and Simulation) เป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์การก่อสร้างในระดับกระบวนการ (Process) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1] หากแต่ยังไม่ได้นำมาใช้ในการจำลองการก่อสร้างในระดับโครงการร่วมกับการใช้แบบจำลองโครงสร้างในลักษณะดังที่แสดงในงานวิจัยนี้

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

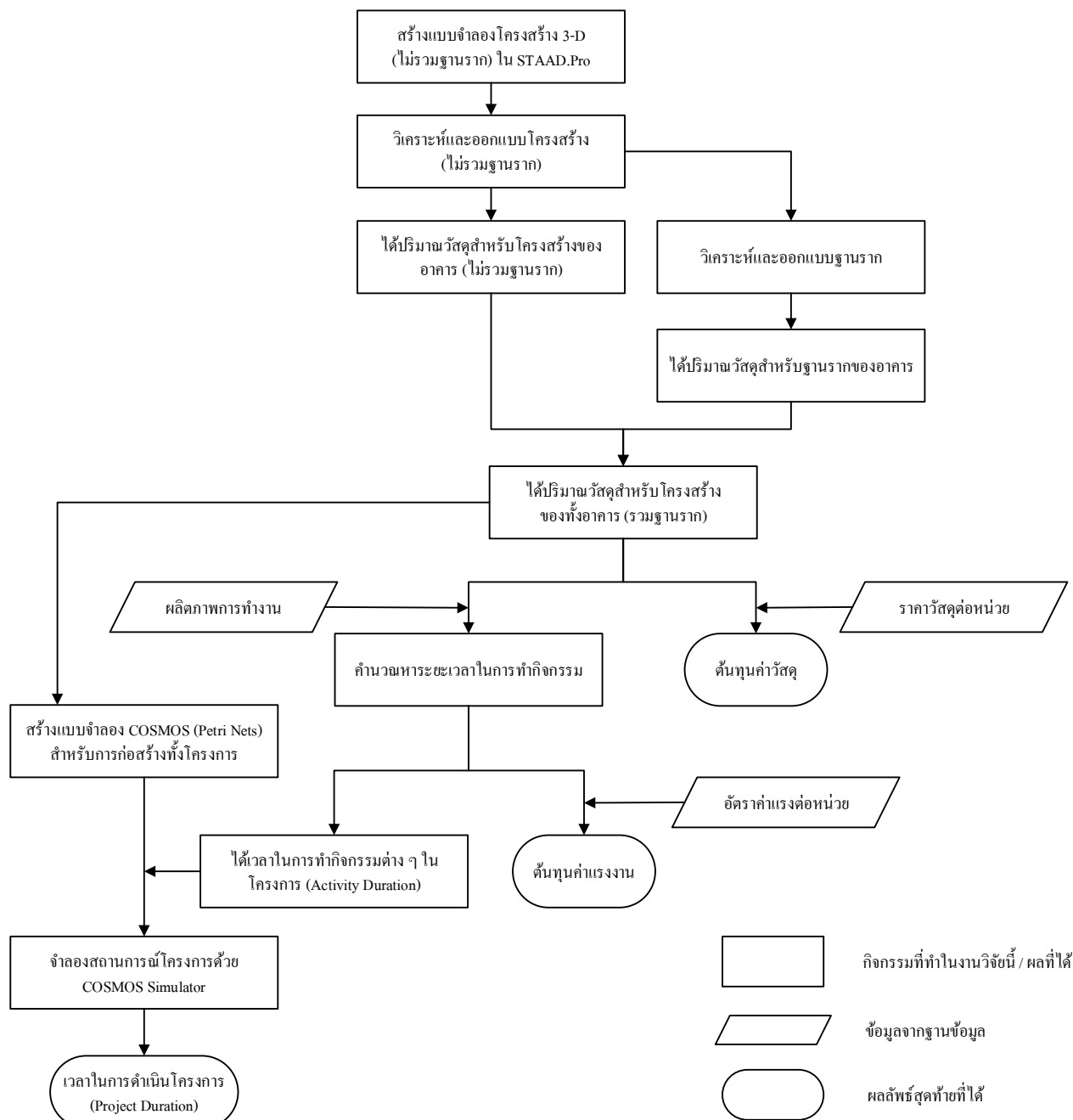
การวิจัยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างอาคารซึ่งเป็นอาคารต้นแบบที่คณะผู้วิจัยกำหนดขึ้น โดยเป็นอาคาร โครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กและอาคาร โครงสร้างเหล็กรูปพรรณอย่างละหนึ่งอาคารที่มีมิติต่าง ๆ และพื้นที่ใช้สอยเหมือนกันทุกประการ จากนั้นหาปริมาณวัสดุก่อสร้างของอาคาร สร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้าง และคำนวณต้นทุนรวมถึงระยะเวลาก่อสร้างของอาคารทั้งสอง รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ได้อธิบายไว้ในหัวข้อย่อยถัดไป

2.1 การออกแบบโครงสร้างอาคาร

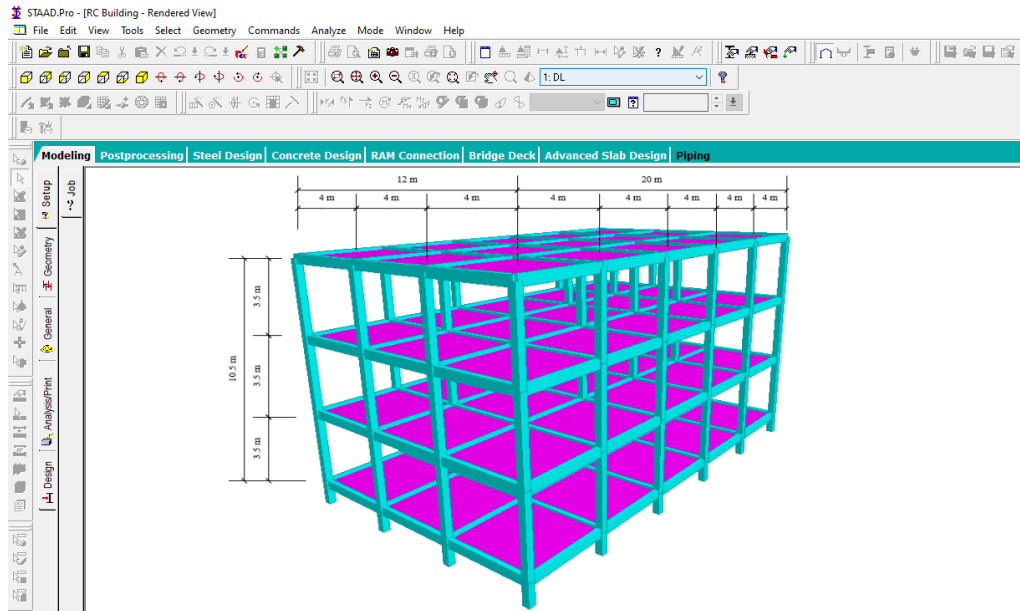
อาคารที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างเป็นดึกแถวสามชั้นจำนวน 5 คูหา แต่และคูหาหน้ากว้าง 4 เมตร ลึก 12 เมตร พื้นที่ใช้สอย 144 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างเสาถึงเสา 4 เมตร ความสูงระหว่างพื้นชั้นล่างถึงพื้นชั้นบน 3.5 เมตร

การออกแบบและคำนวณโครงสร้างทำโดยการสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยโปรแกรม STAAD.Pro [2] และใช้มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) โดยใช้วิธี Strength Design Method (SDM) และวิธี Load Resistance Factor

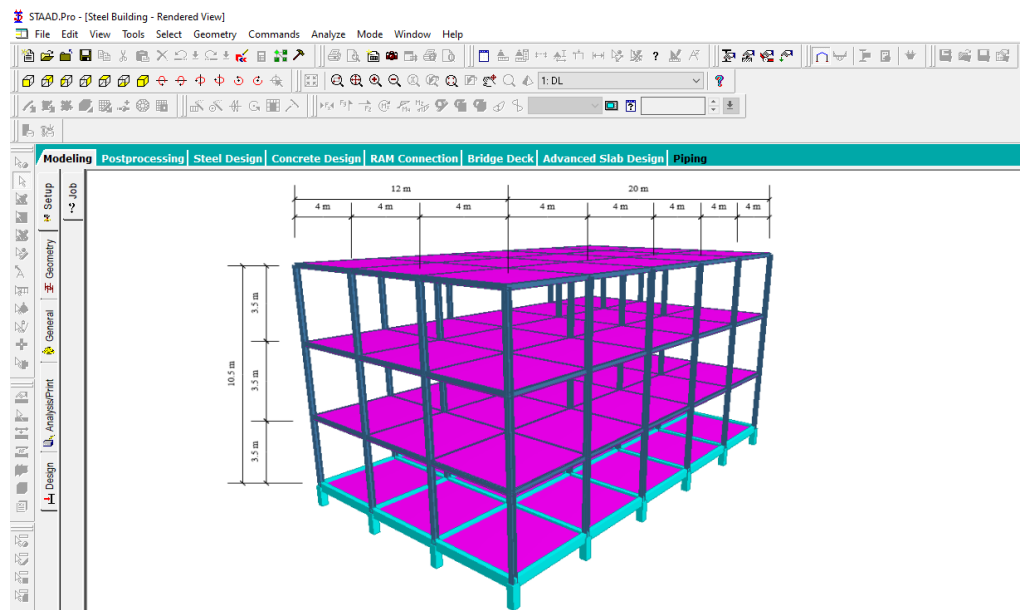
Design (LRFD) สำหรับการออกแบบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและ โครงสร้างเหล็กรูปพรรณตามลำดับ คำนวณแรงลมและแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานกรรมโยธาและผังเมือง (มยผ.) ใช้น้ำหนักบรรทุกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ในส่วนของวัสดุก่อสร้างใช้คอนกรีตและเหล็กเสริมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และใช้เหล็กรูปพรรณตามมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น (JIS) เนื่องจากสามารถเทียบเคียงได้กับมาตรฐานของประเทศไทย และมีฐานข้อมูลรองรับในโปรแกรม STAAD.Pro แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติของอาคารทั้งสองประเภทแสดงอยู่ในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ 2 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติของอาคารเหล็กรูปพรรณ

2.2 การหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง

การหาปริมาณวัสดุก่อสร้างดำเนินการโดยใช้โปรแกรม STAAD.Pro ปริมาณวัสดุที่ได้จากโปรแกรมประกอบไปด้วย คอนกรีต เหล็กเสริม และเหล็กรูปพรรณ ส่วนที่นอกเหนือจากนี้ เช่น งานเสาเข็ม งานขุดและถมดิน และงานแบบหล่อคอนกรีต จำเป็นต้องอาศัยวิธีการถอดปริมาณจากแบบก่อสร้าง โดยถอดแบบตามแนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารในส่วนงานของ โครงสร้างและงานสถาปัตยกรรมของ วสท.[3] ทั้งนี้ ปริมาณวัสดุก่อสร้างเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้าง

ตารางที่ 1 ระยะเวลาก่อสร้างของทุกกิจกรรม สำหรับอาคารทั้งสองประเภท

| รายการ | หน่วย | ปริมาณ | กำลังการผลิต (หน่วย ต่อ วัน) | ระยะเวลาก่อสร้าง (วัน) |
|------------------------|-------|-----------|---------------------------------|---------------------------|
| ฐานราก | | | | |
| ปริมาณ ดิน | ลบ.ม. | 61.44 | 68.38 | 0.90 |
| ปริมาณ เสาค้ำ | ต้น | 24 | 5 | 4.80 |
| ปริมาณ คอนกรีต | ลบ.ม. | 9.60 | 17.50 | 0.55 |
| ปริมาณ เหล็กเสริม | กก. | 975.12 | 1,100.00 | 0.89 |
| ปริมาณ แบบหล่อ | ตร.ม. | 38.40 | 50.00 | 0.77 |
| เสาตอม่อ | | | | |
| ปริมาณ คอนกรีต | ลบ.ม. | 2.16 | 17.50 | 0.12 |
| ปริมาณ เหล็กเสริม | กก. | 343.18 | 1,100.00 | 0.31 |
| ปริมาณ แบบหล่อ | ตร.ม. | 28.80 | 50.00 | 0.58 |
| คานคอดิน | | | | |
| ปริมาณ คอนกรีต | ลบ.ม. | 12.16 | 15.00 | 0.81 |
| ปริมาณ เหล็กเสริม | กก. | 1,129.00 | 1,100.00 | 1.03 |
| ปริมาณ แบบหล่อ | ตร.ม. | 152.00 | 50.00 | 3.04 |
| เหล็กรูปพรรณ | | | | |
| ปริมาณ เสาค้ำรูปพรรณ | กก. | 12,540.00 | 1,034.48 | 12.12 |
| ปริมาณ คานเหล็กรูปพรรณ | กก. | 9,527.00 | 1,034.48 | 9.21 |
| เสา คสล. รวม | | | | |
| ปริมาณ คอนกรีต | ลบ.ม. | 22.68 | 17.50 | 1.30 |
| ปริมาณ เหล็กเสริม | กก. | 3,434.86 | 1,100.00 | 3.12 |
| ปริมาณ แบบหล่อ | ตร.ม. | 302.40 | 50.00 | 6.05 |
| คานคสล. รวม | | | | |
| ปริมาณ คอนกรีต | ลบ.ม. | 36.48 | 15.00 | 2.43 |
| ปริมาณ เหล็กเสริม | กก. | 3,389.00 | 1,100.00 | 3.08 |
| ปริมาณ แบบหล่อ | ตร.ม. | 456.00 | 50.00 | 9.12 |
| พื้น | | | | |
| ปริมาณ แผ่นพื้น | ตร.ม. | 960.00 | 370.00 | 2.59 |

2.3 การคำนวณต้นทุนและระยะเวลาการก่อสร้าง

การคำนวณต้นทุนการก่อสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนค่าวัสดุและต้นทุนค่าแรง ต้นทุนค่าวัสดุหาได้จากปริมาณวัสดุกับราคาต่อหน่วย ในขณะที่ต้นทุนค่าแรงงานคำนวณจากระยะเวลาทำงานของแรงงานหรือเครื่องจักรกับอัตราค่าใช้จ่ายของแรงงานหรือเครื่องจักรแต่ละประเภท โดยใช้ราคาค่าวัสดุจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ และค่าแรงงานจากบัญชีค่าแรงงาน กรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลังประจำปีงบประมาณ 2560

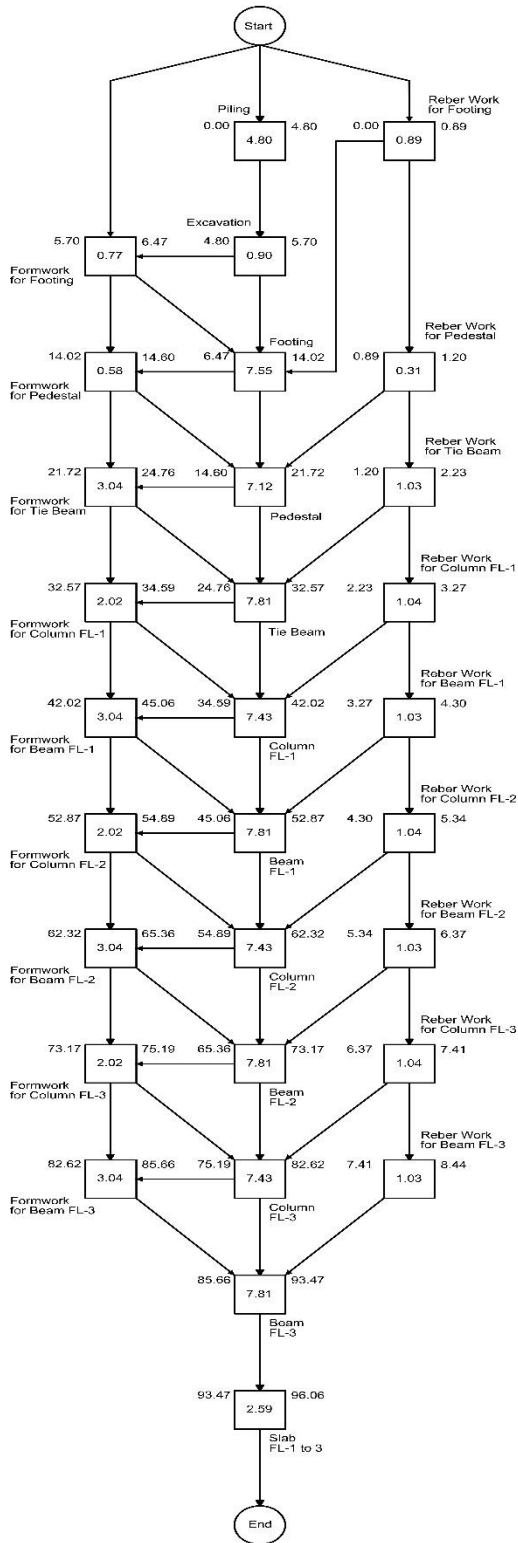
การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้างของทั้งโครงการ (Project Duration) ทำโดยการสร้างแบบจำลองโครงการก่อสร้างและการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม COSMOS Simulator [4] โดยคำนวณหาระยะเวลาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ (Activity Duration) ในโครงการจากข้อมูลผลิตภาพงานก่อสร้างที่ได้มาจากจากสถิติการทำงานของคนงานหรือเครื่องจักร [5] ตามจำนวนแรงงานเครื่องจักร และเงื่อนไขที่กำหนด เวลาในการทำกิจกรรมที่คำนวณได้ดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 1 เวลาที่ได้้นอกจากจะนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์แล้ว ยังนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงก่อสร้างสำหรับทั้งกรณีคนงานและเครื่องจักรดังแสดงในหัวข้อถัดไปด้วย

ตัวอย่างการคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง สำหรับงานตอกเสาเข็มที่ดำเนินการด้วยเครื่องตอกเสาเข็มเคลื่อนที่ จำนวน 1 เครื่อง และคนงาน 5 คน จากสถิติการทำงาน ทีมงานสามารถตอกเสาเข็มได้ 5 ต้นต่อวัน จากปริมาณงานทั้งหมดสามารถคำนวณระยะเวลาการทำงานได้ดังต่อไปนี้

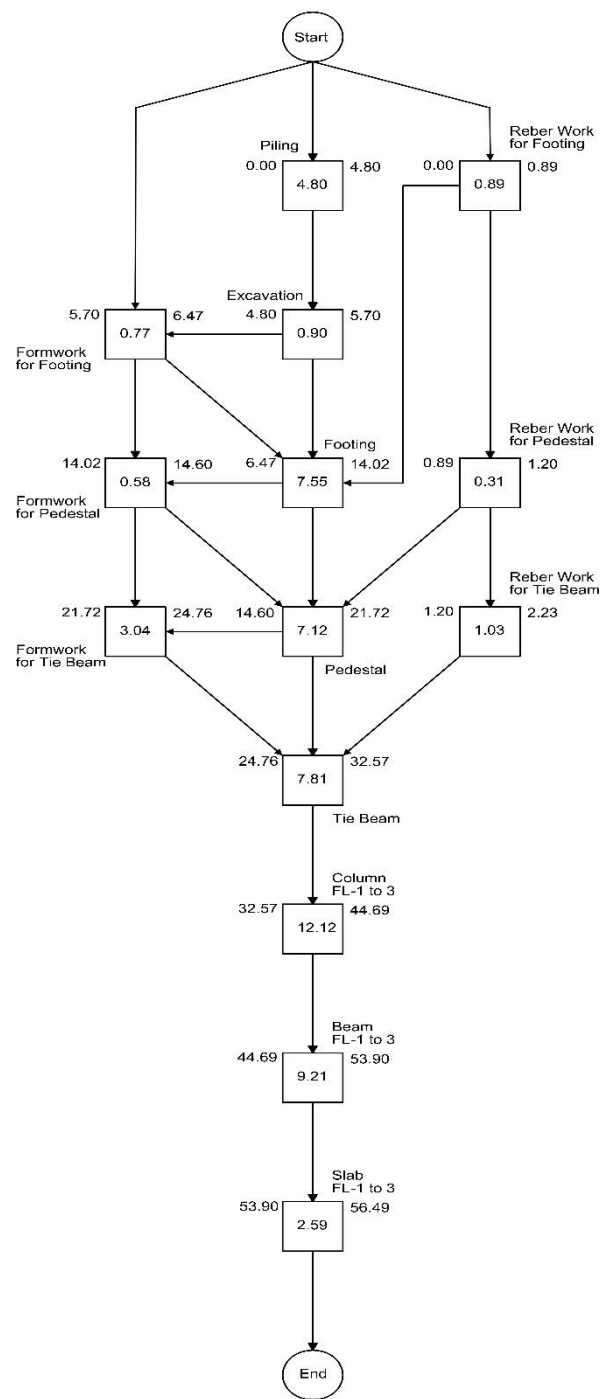
$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาการทำงาน (วัน)} &= \text{ปริมาณงาน (หน่วย)} / \text{กำลังการผลิต (หน่วย ต่อ วัน)} \\ &= 24 \text{ (ต้น)} / 5 \text{ (ต้น ต่อ วัน)} \\ &= 4.8 \text{ วัน หรือ } 38.4 \text{ ชั่วโมง (ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน)} \end{aligned}$$

2.4 การสร้างแบบจำลองโครงการก่อสร้าง

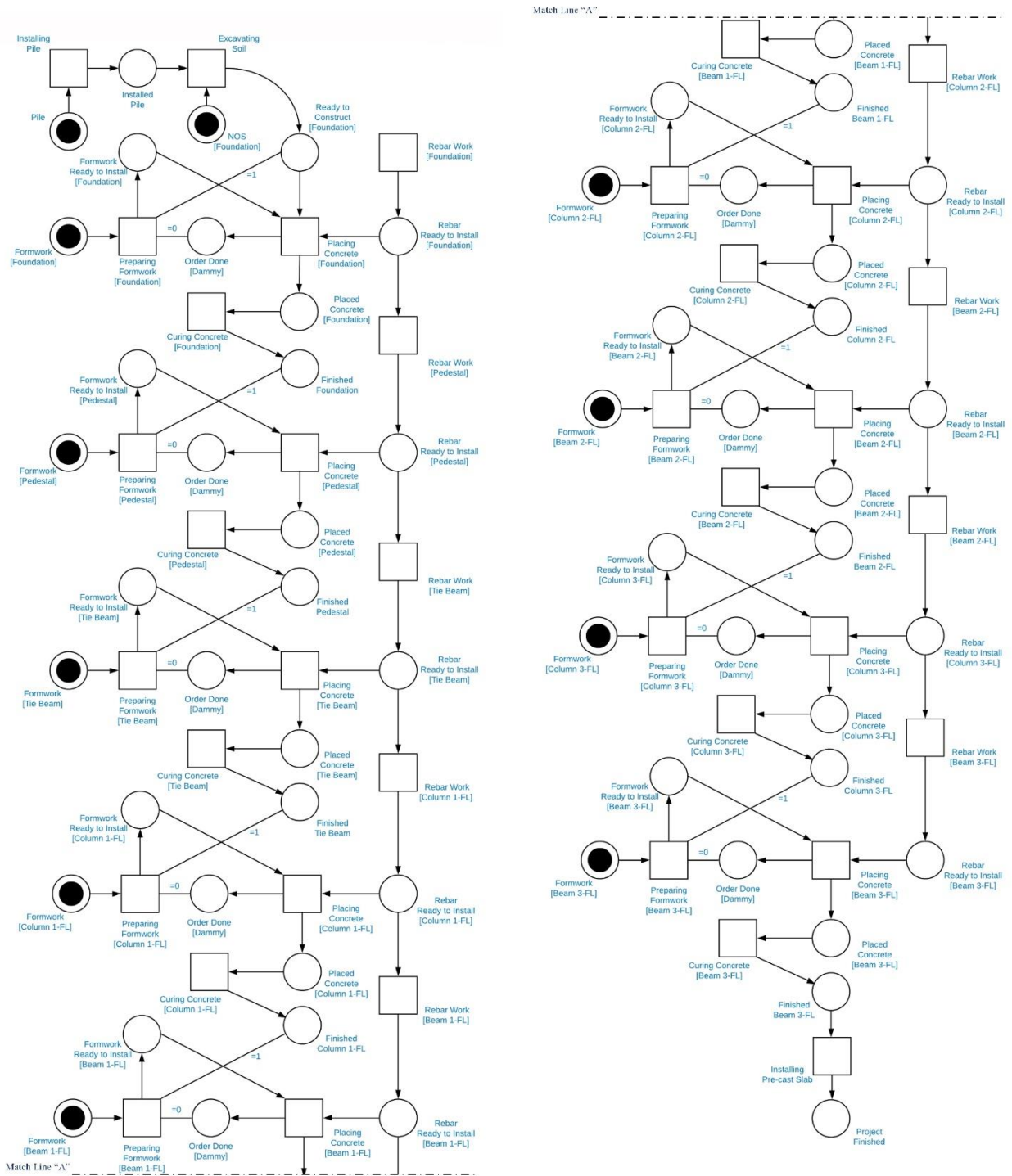
การสร้างแบบจำลองโครงการก่อสร้างทำโดยใช้วิธี Petri Nets [6] โดยใช้โปรแกรม COSMOS Simulator ในการจำลองสถานการณ์ เพื่อหาระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของโครงการ แผนภาพกิจกรรมการก่อสร้างสำหรับงาน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในกรณีตัวอย่างนี้สามารถแสดงด้วยวิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method) ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ ในส่วนของแบบจำลอง Petri Nets (เรียกอีกชื่อว่าแบบจำลอง COSMOS) จะมีขั้นตอนการดำเนินการกิจกรรมแบบเดียวกันกับวิธีสายงานวิกฤต โดยสายงานในแบบจำลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสายงานหลักหรือสายงานวิกฤต และสายงานรอง อันได้แก่กิจกรรมอื่น ๆ ที่อยู่นอกเหนือจากสายงานหลัก ดังเช่นกิจกรรมการเตรียมความพร้อมเหล็กเสริมที่สามารถดำเนินการล่วงหน้ากิจกรรมการก่อสร้างอื่น ๆ ได้ เพื่อให้เหล็กเสริมมีความพร้อมสำหรับการนำไปใช้งานได้ทันทีเมื่อขั้นตอนของกิจกรรมนั้นมาถึง แบบจำลอง COSMOS ของการก่อสร้างของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและเหล็กรูปพรรณแสดงไว้ในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ



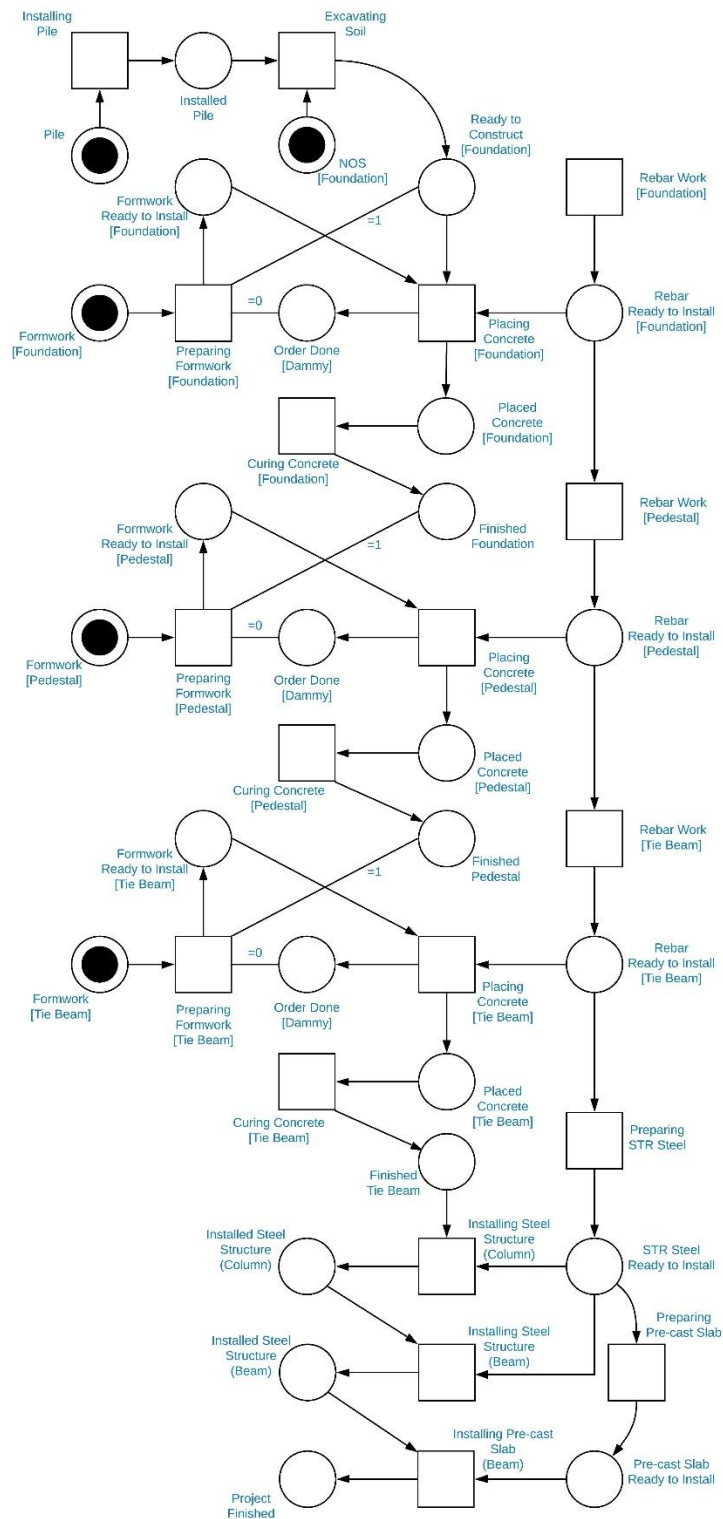
รูปที่ 4 แผนภาพกิจกรรมการก่อสร้างโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีสายงานวิกฤต



รูปที่ 5 แผนภาพกิจกรรมการก่อสร้างโครงสร้างอาคารเหล็กบูรณโดยวิธีสายงานวิกฤต



รูปที่ 6 แบบจำลอง COSMOS โครงการก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 7 แบบจำลอง COSMOS โครงการก่อสร้างอาคาร โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

ตารางที่ 2 ปริมาณวัสดุก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

| รายการ | หน่วย | ปริมาณวัสดุ | |
|-----------------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| | | โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก | โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ |
| งานเสาเข็ม | | | |
| - เสาเข็ม | ต้น | 24 | 24 |
| งานเหล็กเสริม | | | |
| - เหล็กเสริม สำหรับฐานราก | ต้น | 0.98 | 0.98 |
| - เหล็กเสริม สำหรับเสา | ต้น | 3.78 | 0.34 |
| - เหล็กเสริม สำหรับคาน | ต้น | 3.39 | - |
| - เหล็กเสริม สำหรับคานคอดิน | ต้น | 1.13 | 1.13 |
| งานแบบหล่อคอนกรีต | | | |
| - แบบหล่อ สำหรับฐานราก | ตร.ม. | 38.40 | 38.40 |
| - แบบหล่อ สำหรับเสา | ตร.ม. | 331.20 | 28.80 |
| - แบบหล่อ สำหรับคาน | ตร.ม. | 456.00 | - |
| - แบบหล่อ สำหรับคานคอดิน | ตร.ม. | 152.00 | 152.00 |
| งานคอนกรีต | | | |
| - คอนกรีต สำหรับฐานราก | ลบ.ม. | 9.60 | 9.60 |
| - คอนกรีต สำหรับเสา | ลบ.ม. | 24.84 | 2.16 |
| - คอนกรีต สำหรับคาน | ลบ.ม. | 36.48 | - |
| - คอนกรีต สำหรับคานคอดิน | ลบ.ม. | 12.16 | 12.16 |
| พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป | ตร.ม. | 960.00 | 960.00 |
| งานเหล็กรูปพรรณ | | | |
| - เหล็กรูปพรรณ สำหรับเสา | ต้น | - | 12.54 |
| - เหล็กรูปพรรณ สำหรับคาน | ต้น | - | 9.53 |

3. ผลการดำเนินการวิจัย

โครงสร้างอาคารทั้งสองถูกออกแบบให้เป็นโครงข้อแข็ง มีจุดรองรับบริเวณฐานของอาคารเป็นแบบยึดแน่น สามารถต้านทานแรงลมและแรงแผ่นดินไหวได้ตามมาตรฐานการออกแบบอาคาร พื้นเป็นพื้นสำเร็จรูป ฐานรากเป็นฐานรากเดี่ยวโดยใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปสี่เหลี่ยมตัน ชนิดท่อนเดียว ขนาด 0.30 x 0.30 เมตร ความยาว 21.00 เมตร คำนวณโดยการใช้แรงที่จุดรองรับ โดยออกแบบให้ฐานรากต้านทานแรงเฉือนและโมเมนต์คัต และเสาเข็มต้านทานแรงกดและแรงดึงได้ตามมาตรฐานสากล

ปริมาณวัสดุก่อสร้างดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2 ได้มาจากแบบจำลองโครงสร้างอาคาร ปริมาณวัสดุดังกล่าวจะเป็นข้อมูลในการคำนวณต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างต่อไป ทั้งนี้ฐานรากของอาคารทั้งสองประเภทมีปริมาณวัสดุที่ใช้เท่ากันเนื่องจากเป็นฐานรากที่เหมือนกัน โดยใช้เสาเข็มที่มีขนาดและจำนวนเท่ากัน และคอนกรีตรัดหัวเข็ม (Pile Cap) มีขนาดเท่ากัน เหตุที่ใช้ฐานราก

เหมือนกันเพราะการใช้พื้นที่แบบเดียวกันและใช้น้ำหนักบรรทุกจรเท่ากันสำหรับอาคารทั้งสองประเภท ส่วนต่างของน้ำหนักระหว่างอาคารทั้งสองมีเฉพาะส่วนที่เป็นคานและเสาเท่านั้น ทำให้น้ำหนักฐานรากของอาคารทั้งสองไม่แตกต่างกันมากนัก ทำให้ฐานรากที่ใช้มีขนาดเท่ากันดังกล่าว

เพื่อการเปรียบเทียบต้นทุนของโครงสร้างทั้งสอง จึงแบ่งต้นทุนออกเป็นค่าแรงงานก่อสร้าง (รวมค่าเครื่องจักร) และค่าวัสดุก่อสร้าง ซึ่งไม่รวมค่าใช้จ่ายทางอ้อมในการดำเนินงานก่อสร้าง (Indirect Cost) ต้นทุนของโครงสร้างคานคดเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณในส่วน of โครงสร้างหลักเท่านั้น ไม่รวมงานสถาปัตยกรรม งานตกแต่งภายใน งานระบบ ฯลฯ พบว่า โครงสร้างเหล็กรูปพรรณมีต้นทุนในการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างคานคดเสริมเหล็กเท่ากับ 38.6 เปอร์เซ็นต์ สามารถสรุปต้นทุนการก่อสร้างโครงสร้างอาคารทั้งสองประเภทได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างโครงสร้างคานคดเสริมเหล็กและโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

| รายการ | ต้นทุนการก่อสร้าง (บาท) | |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | โครงสร้างคานคดเสริมเหล็ก | โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ |
| ค่าใช้จ่ายตามประเภทงาน | | |
| ค่าใช้จ่ายงานเสาเข็ม | 319,786 | 319,786 |
| ค่าใช้จ่ายงานขุดและถมดิน | 22,431 | 22,431 |
| ค่าใช้จ่ายงานโครงสร้างอาคาร | 1,600,448 | 2,349,720 |
| รวม | 1,942,665 | 2,691,937 |

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายงานเสาเข็ม สามารถแสดงรายการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายงานเสาเข็ม} = \text{ค่าเสาเข็ม} + \text{ค่าติดตั้งเสาเข็ม} + \text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ} \quad (\text{หน่วย : บาท})$$

$$\text{โดย ค่าเสาเข็ม (บาท)} = \text{จำนวนเสาเข็ม (ต้น)} \times \text{ราคาต่อหน่วย (บาท ต่อ ต้น)} = 24 \times 10,200 = 244,800 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าติดตั้งเสาเข็ม (บาท)} &= \text{ระยะเวลาก่อสร้าง (วัน จากตารางที่ 1)} \times \text{ค่าแรงงานและค่าเครื่องจักร (บาท ต่อ วัน)} \\ &= 4.8 \times (1,700 + 12,522) = 68,266 \text{ บาท} \end{aligned}$$

หมายเหตุ: ใช้คนงาน 5 คน คนละ 340 บาท ต่อ วัน รวมเป็น 1,700 บาท ต่อ วัน

และเครื่องตอกเสาเข็ม 1 เครื่อง ค่าใช้จ่ายวันละ 12,522 บาท

$$\text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (บาท)} = \text{ค่าแรงตัดหัวเสาเข็ม (บาท)} = 6,720 \text{ บาท}$$

หมายเหตุ: ค่าแรงตัดหัวเสาเข็มต้นละ 280 บาท ทั้งหมด 24 ต้น รวมเป็น 6,720 บาท

$$\text{ดังนั้น ค่าใช้จ่ายงานเสาเข็ม} = 244,800 + 68,266 + 6,720 = 319,786 \text{ บาท}$$

ผลการหาระยะเวลาก่อสร้างของทั้งโครงการจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม COSMOS Simulator จากแบบจำลอง COSMOS มีความสอดคล้องกับการหาระยะเวลาดังกล่าวด้วยวิธีสายงานวิกฤต โดยระยะเวลาก่อสร้างที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและการจำลองโครงการในระบบของ COSMOS ในงานวิจัยนี้มีความถูกต้อง ทั้งนี้ การใช้แบบจำลอง COSMOS ในการจำลองโครงการสามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานเพิ่มเติมจากวิธีสายงานวิกฤตได้ เช่น ในกรณีนี้ได้

กำหนดเงื่อนไขให้สามารถขุดหลุมฐานรากได้ทันทีหลังการตอกเสาเข็มของฐานรากนั้น ๆ เสร็จ (ไม่ต้องรอให้ตอกเสาเข็มของทุกฐานรากเสร็จแล้วจึงเริ่มขุดดิน) จากการกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวพบว่าระยะเวลาก่อสร้างของโครงการลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุประยะเวลาก่อสร้างงานโครงสร้างทั้งโครงการ

| วิธีการ | ระยะเวลาก่อสร้าง (วัน) | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก | โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ |
| วิธีสายงานวิกฤต (CPM) | 96.1 | 56.5 |
| แบบจำลอง COSMOS (ไม่มีเงื่อนไขพิเศษ) | 96.1 | 56.5 |
| แบบจำลอง COSMOS (มีเงื่อนไขพิเศษ) | 95.2 | 55.6 |

จากตารางที่ 4 ในกรณีที่มีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานให้สามารถขุดดินสำหรับฐานรากได้ทันทีหลังจากตอกเสาเข็มของฐานรากนั้น ๆ แล้วเสร็จ (มีเงื่อนไขพิเศษ) ระยะเวลาก่อสร้างจะลดลงประมาณ 1 วัน แต่กรณีไม่มีเงื่อนไขพิเศษจะสรุปได้ในกรณีศึกษาที่ว่าโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ระยะเวลาก่อสร้างมากกว่าเวลาที่ใช้ในกรณีโครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณเท่ากับ $96.1 - 56.5 = 38.6$ วัน หรือคิดเป็น 69.4 เปอร์เซ็นต์

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างข้างต้นกล่าวได้ว่า ต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กและอาคารโครงสร้างเหล็กมีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผกผันต่อกัน สอดคล้องกับงานวิจัยและโครงการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจริง [7-9]

4. บทสรุป

ข้อมูลจากแบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติ ราคาต่อหน่วย ผลิตภาพงานก่อสร้าง และการจำลองสถานการณ์ สามารถใช้ร่วมกันเพื่อประมาณต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคารได้ตามวัตถุประสงค์ และระยะเวลาก่อสร้างที่วิเคราะห์ได้จากการจำลองสถานการณ์ของทั้งโครงการมีความสอดคล้องกับระยะเวลาที่ได้จากวิธีสายงานวิกฤต นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการใช้การจำลองสถานการณ์ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานแบบพิเศษซึ่งช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับสภาพความจริงของการก่อสร้างมากยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างพบว่าโครงสร้างอาคารเหล็กรูปพรรณมีต้นทุนในการก่อสร้างสูงกว่าต้นทุนดังกล่าวของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ในงานวิจัยอื่นและที่เกิดขึ้นทั่วไปในงานก่อสร้างจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jirawat Damrianant. Construction-process analysis and design concepts. *Thai Journal of Science and Technology*, 2012, 1 (2), pp. 69 – 78.
- [2] Bentley Systems, Inc. *STAAD.Pro technical reference manual*, Exton, Pennsylvania, 2012.
- [3] EIT Standard CE 1011-48: 2016. *Method of measurement of buildings: structural and architectural works*. Bangkok: EIT, 2016.
- [4] Damrianant, J. COSMOS: A discrete- event methodology for construction processes, *International Journal of Internet and Enterprise Management*, 2003, 1 (2), pp. 128 – 152.
- [5] Wisoot Jiradamkerng. *Construction Cost Estimation*, 4th Ed. Pathum Thani: Wankawee, 2015.

- [6] Murata, T. Petri nets: properties, analysis and applications, *Proceedings of the IEEE*, 1989, 77 (4), pp. 541 – 580.
- [7] Mills, A. Analysis of the cost performance of structural building frames in Australia. In: *7th ICEC World Congress & 14th PAQS Congress: Sustainable Cost Management: Borderless Innovation*, Singapore, 23-27 July 2010, pp. 1 – 15.
- [8] SCG. *Material Guild*, 2013. Available from: <https://bit.ly/2Tlfq3y> [Accessed 28 Dec. 2018]
- [9] SYS. *The difference between steel and reinforced concrete buildings*, 2017. Available from: <http://www.hbeamconnect.com:81/th/community/blog/VSch20171103173154060/> [Accessed 28 Dec. 2018]

