Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology

Volume 18, Issue 1, January - June 2026, Pages 1 – 14 ISSN 2985-2641 (Online)



Research Article

# การวิเคราะห์สมรรถนะการติดตั้งและอุปสรรคในการก่อสร้างอาคารระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ด้วยวิธี AHP และการประเมินผลิตภาพเชิงสถิติ

# Analysis of Installation Performance and Obstacles in Fully Precast Concrete Construction Using AHP and Statistical Productivity Evaluation

***ณรงค์พล เสนาะดนตรี*[1]*, *ดนัย วันทนากร*[1], *ทศพร ประเสริฐศรี*[1], *วศพร เตชะพีรพานิช*[2]

***Narongpol Sanoadontree*[1]*, *Danai Wantanakor*[1], *Tosporn Prasertsri*[1], *Wasaporn Techapeeraparnich*[2]

[1]*คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*

[1]*Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok.*

[2]*ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล*

[2]*Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University.*

**Corresponding author, e-mail: parnphet@hotmail.co.th*

***Received:*** *9 December 2025;* ***Revised:*** *16 June 2026;* ***Accepted:*** *17 June 2026*

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลิตภาพการติดตั้ง ระบุอุปสรรคสำคัญ และเชื่อมโยงผลการวิเคราะห์กับแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 8 ชั้น ด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ โดยใช้ข้อมูลเวลาปฏิบัติงานจริงจากโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย 58 โครงการ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ครอบคลุมชิ้นส่วนโครงสร้างรวม 193,000 ชิ้น และใช้ข้อมูลเวลาติดตั้งที่ผ่านการคัดกรองเพื่อการวิเคราะห์ผลิตภาพจำนวน 135,965 รายการ ร่วมกับข้อมูลความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ 50 คน ประกอบด้วยทีมผู้บริหารโครงการ 23 คน และทีมปฏิบัติการภาคสนาม 27 คน วิธีวิจัย ประกอบด้วย การวิเคราะห์ผลิตภาพจากเวลาวงรอบการติดตั้ง การตรวจสอบความสอดคล้องของอันดับปัจจัยด้วยสถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน และการจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ผลิตภาพเฉลี่ยของการติดตั้งเท่ากับ 3.25 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือ 18.5 นาทีต่อชิ้น โดยชิ้นส่วนที่ใช้รอยต่อแบบ Splice Sleeve มีผลิตภาพสูงกว่ากลุ่มที่ใช้รอยต่อแบบท่อลูกฟูกอย่างชัดเจน ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนแสดงความสอดคล้องของมุมมองระหว่างทีมบริหารและทีมภาคสนามในระดับสูงต่อปัจจัยด้านเวลา คุณภาพ และความพร้อมของหน้างาน ขณะที่ผล AHP พบว่าอุปสรรคด้านการเคลื่อนย้ายและการจัดการพื้นที่/การขนส่งและยกติดตั้งมีค่าน้ำหนักสูงสุด (0.25858) รองลงมาคือ ด้านการวางแผนและประสานงาน

(0.25498) ผลดังกล่าวชี้ว่าคอขวดสำคัญของระบบเกิดจากความพร้อมก่อนติดตั้ง การจัดคิวเครน ความแม่นยำของตำแหน่งเหล็กเดือย และขั้นตอนตรวจสอบคุณภาพ งานวิจัยจึงเสนอแนวทางปรับปรุงด้วยการใช้แบบจำลอง 4D BIM ชุดจัดแนวเหล็กเดือย และรายการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐาน PCI/ACI เพื่อลดความแปรปรวนของเวลาและเพิ่มเสถียรภาพของผลิตภาพในบริบทโครงการก่อสร้างเมือง

*คำสำคัญ:* ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์; ผลิตภาพการติดตั้ง; วิธีการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น; รอยต่อ Splice Sleeve; สถิติสหสัมพันธ์สเปียร์แมน

## Abstract

This study analyzes installation productivity, identifies key obstacles, and links analytical findings with productivity improvement guidelines for fully precast concrete construction in mid-rise residential buildings (≤ 8 stories) in Bangkok and its vicinity. Quantitative data were obtained from 58 completed condominium projects comprising 193,000 precast structural elements, while 135,965 screened installation records were used for productivity and cycle-time analysis. Expert judgments were collected from 50 construction professionals, including 23 project management personnel and 27 site operation engineers. The research integrates cycle-time productivity evaluation, Spearman's rank correlation, and the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results show an average installation productivity of 3.25 pieces per hour (18.5 minutes per piece). Elements using splice sleeve joints achieved higher productivity than those using corrugated duct joints. Spearman's correlation indicates a high level of agreement between management and field teams regarding time, quality, and site-readiness factors. The AHP results show that transportation, lifting, and site-space management had the highest relative weight (0.25858), followed by planning and coordination (0.25498). These findings indicate that the main bottlenecks are related to pre-installation readiness, crane sequencing, dowel-bar alignment accuracy, and final quality inspection. Accordingly, the study proposes 4D BIM simulation, dowel-bar alignment jigs, and PCI/ACI-based inspection checklists as systematic measures to reduce time variability and improve installation productivity in constrained urban construction environments.

*Keywords:* fully precast concrete system; installation productivity; analytic hierarchy process (AHP); splice sleeve joint; spearman rank correlation

## บทนำ

ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ (Fully Precast Concrete System: FPCS) ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในการก่อสร้างอาคารพักอาศัยระดับกลางถึงสูง โดยเฉพาะอาคารสูงไม่เกิน 8 ชั้นในเขตเมือง เนื่องจากช่วยลดเวลาการก่อสร้าง ลดกำลังคน ลดงานเทในที่ และเพิ่มคุณภาพงานผลิตจากโรงงานตามมาตรฐาน PCI/ACI (Precast/Prestressed Concrete Institute [PCI], 1999 [1]; American Concrete Institute [ACI], 2019 [2]) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่าผลิตภาพการติดตั้งยังมีความแปรปรวนสูงจากหลายปัจจัย เช่น ความพร้อมของพื้นที่รับน้ำหนัก ความคลาดเคลื่อน

ของตำแหน่งเหล็กเดือย (dowel bar misalignment) ความจำกัดของพื้นที่หน้างาน และประสิทธิภาพของการยกด้วยเครน ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาด้าน offsite construction และ installation variability หลายฉบับ (Gibb & Pendlebury, 2006 [3]; Najafi, A., and Kong, R. T. L. (2015) [4]; Tam et al., 2007 [5])

งานศึกษาที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่าความต่อเนื่องของขั้นตอนการทำงาน (workflow continuity) และระบบการจัดการทรัพยากรเป็นตัวกำหนดหลักของผลิตภาพในงานก่อสร้าง (Drewin, 1982 [6]; Olomolaiye et al., 1998 [7]) ขณะเดียวกัน ระบบบรอยต่อ (connection type) เช่น Splice Sleeve และ Corrugated Duct เป็นปัจจัยเชิงเทคนิคที่ส่งผลต่อเวลาติดตั้งจริงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี production system ที่อธิบายว่าเวลาและความแปรปรวนของกระบวนการเป็นตัวกำหนดผลิตภาพโดยตรง (Jang et al., 2024 [8]; Koskela, 2000) [9]) ช่องว่างของงานวิจัยอยู่ที่การเชื่อมโยงข้อมูลเวลาติดตั้งจริงเข้ากับมุมมองเชิงการจัดการอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในพื้นที่ก่อสร้างหนาแน่นที่มีความไม่ต่อเนื่องของลำดับงานและข้อจำกัดด้านพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์ผลิตภาพเชิงสถิติ สถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน และ AHP ในบทบาทที่แตกต่างกันแต่เชื่อมโยงกันกล่าวคือการวิเคราะห์ผลิตภาพใช้ตอบว่าขั้นตอนและระบบรอยต่อใดทำให้เกิดความล่าช้าสถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของมุมมองระหว่างฝ่ายบริหารและฝ่ายปฏิบัติการส่วน AHP ใช้จัดลำดับอุปสรรคเชิงระบบจากความเห็นผู้เชี่ยวชาญผลลัพธ์ทั้งสามส่วนถูกนำมาบูรณาการเพื่อระบุคอขวดและกำหนดแนวทางปรับปรุงที่อ้างอิงจากข้อมูลหน้างานจริง (Saaty, 1980 [10]; Halpin, 2011 [11]; Lawson et al., 2014 [12])

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ผลิตภาพและเวลาวงรอบการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป โดยจำแนกตามประเภทชิ้นส่วน ระบบบรอยต่อ และขั้นตอนการติดตั้งจากข้อมูลภาคสนามของโครงการ Fully Precast จำนวน 58 โครงการ
2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความสอดคล้องของมุมมองระหว่างทีมบริหารโครงการและทีมปฏิบัติการภาคสนามต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภาพการติดตั้ง โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนจากข้อมูลเชิงลำดับของผู้เชี่ยวชาญ
3. เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคในการติดตั้งด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และเชื่อมโยงผลลัพธ์กับข้อมูลเวลาติดตั้งจริงเพื่อระบุคอขวดของกระบวนการ
4. เพื่อเสนอแนวทางเชิงวิศวกรรมและการจัดการสำหรับลดความแปรปรวนของเวลาและเพิ่มผลิตภาพโดยอ้างอิงผลการวิเคราะห์ผลิตภาพ สถิติสหสัมพันธ์ และ AHP ร่วมกัน ไม่ใช่การสรุปจากเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งเพียงลำพัง

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงผสมผสานโดยจัดลำดับการวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. การวิเคราะห์ผลิตภาพจากข้อมูลเวลาติดตั้งจริง
2. การตรวจสอบความสอดคล้องของมุมมองผู้บริหารและภาคสนามด้วยสถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน
3. การจัดลำดับอุปสรรคด้วย AHP
4. การสังเคราะห์แนวทางปรับปรุงจากผลการวิเคราะห์ทั้งสามส่วน

กรอบระเบียบวิธีวิจัย คือ ข้อมูลภาคสนาม 58 โครงการ/193,000 ชิ้นส่วน ⟶ คัดกรองข้อมูลเวลาติดตั้ง 135,965 รายการ ⟶ วิเคราะห์ Cycle Time และผลิตภาพรายขั้นตอน ⟶ วิเคราะห์ความสอดคล้องของมุมมองด้วย Spearman

⟶ จัดลำดับอุปสรรคด้วย AHP ⟶ เชื่อมโยงผลิตภาพกับกลุ่มอุปสรรค ⟶ สังเคราะห์แนวทางปรับปรุง เช่น 4D BIM, dowel-bar jig และ PCI/ACI checklist ข้อมูลเชิงปริมาณรวบรวมจากโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัยระบบ Fully Precast จำนวน 58 โครงการ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ครอบคลุมชิ้นส่วนโครงสร้างรวม 193,000 ชิ้น ได้แก่ เสา ผนังรับแรงและผนังไม่รับแรงซึ่งใช้รอยต่อแบบ Splice Sleeve และ Corrugated Duct อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์เวลาวงรอบและผลิตภาพมีจำนวน 135,965 รายการ หลังจากคัดกรองเฉพาะรายการที่มีข้อมูลเวลาครบถ้วนและสามารถจำแนกตามประเภทชิ้นส่วนระบบรอยต่อและขั้นตอนการติดตั้งได้ชัดเจน ดังนั้น 193,000 ชิ้น หมายถึง จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมดในฐานข้อมูลโครงการ ส่วน 135,965 รายการ หมายถึง จำนวนรายการติดตั้งที่ใช้คำนวณผลิตภาพและเปรียบเทียบกับเวลามาตรฐานในการวิจัยนี้

เวลาการติดตั้งแต่ละชิ้น $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ถูกนำไปคำนวณค่าเฉลี่ย ดังนี้

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^{n=1} \frac{s_i}{n} \quad (1)$$

เวลาวงรอบการติดตั้ง (cycle time) หมายถึง เวลาปฏิบัติงานตั้งแต่การยกชิ้นส่วนเข้าสู่ตำแหน่ง การตรวจสอบเหล็กเดือย การปรับระดับฐานรอง การวางชิ้นส่วน การติดตั้งค้ำยัน การปรับแนวและเก็บรายละเอียด การอัดเกราท์และการตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายโดยไม่รวมเวลารอจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การรอส่งวัสดุจากโรงงาน การรอเครื่องจักรนอกแผนหรือการหยุดงานจากสภาพอากาศเพื่อให้ค่าผลิตภาพสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการติดตั้งโดยตรง

การคำนวณผลิตภาพใช้ค่าเวลาวงรอบเฉลี่ยต่อชิ้น (t) ซึ่งคำนวณจากเวลารวมของรายการติดตั้งที่ตรวจสอบแล้วหารด้วยจำนวนชิ้นงานที่ติดตั้งจริง โดยกำหนดให้ *T* คือ เวลารวมของการติดตั้ง หน่วยเป็นนาที และ N คือ จำนวนชิ้นงานที่ติดตั้งจริง หากข้อมูลดิบมีหน่วยเป็นวินาที ต้องแปลง *T* เป็นนาทีก่อนนำเข้าสมการ

$$Ppcs/hr = 60 / t \quad (2)$$

โดย Ppcs/hr คือ ผลิตภาพการติดตั้ง หน่วยเป็นชิ้นต่อชั่วโมง และ t คือเวลาเฉลี่ยต่อชิ้น หน่วยเป็นนาทีต่อชิ้น ค่าเฉลี่ยของเวลาเฉลี่ยต่อชิ้นคำนวณจากเวลารวมและจำนวนชิ้นงาน ดังนี้

$$t = T / N \quad (3)$$

โดย Ppcs/hr คือ ผลิตภาพการติดตั้ง หน่วยเป็นชิ้นต่อชั่วโมง และ t คือเวลาเฉลี่ยต่อชิ้น หน่วยเป็นนาทีต่อชิ้น การแก้ไขนี้ทำให้สูตรสอดคล้องกับหน่วยของข้อมูลและไม่คูณ 60 ซ้ำในสมการเวลาเฉลี่ย

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนใช้ตรวจสอบความสอดคล้องของอันดับความสำคัญของปัจจัยด้านการจัดการระหว่างกลุ่มผู้บริหารโครงการและกลุ่มวิศวกรภาคสนามไม่ได้ใช้เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลโดยตรงระหว่างตัวแปรทั้งหมดตัวแปรที่ใช้จัดอันดับครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ เวลา ต้นทุน คุณภาพ และสิ่งแวดล้อม/ความปลอดภัย โดยใช้คะแนนเชิงลำดับจากแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (4)$$

ข้อมูลเชิงคุณภาพได้จากการทบทวนวรรณกรรม 28 เรื่อง และการรวบรวมความเห็นผู้เชี่ยวชาญ 50 คน เพื่อนำมาสังเคราะห์ปัจจัยอุปสรรคในการติดตั้ง โดยแบ่งปัจจัยออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ การวางแผนและประสานงาน การขนส่งและยกติดตั้ง/การจัดการพื้นที่ แรงงานและเครื่องมือ วัสดุและคุณภาพชิ้นส่วน และการติดตั้งและการเชื่อมต่อ ทั้งนี้ ปัจจัยเสี่ยงเชิงโครงสร้างหมายถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดชิ้นส่วน ระบบรอยต่อ ตำแหน่งเหล็กเดือย และความแม่นยำทางกายภาพของงานติดตั้ง ส่วนปัจจัยเสี่ยงเชิงการจัดการหมายถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การประสานงาน การจัดคิวเครน การเตรียมพื้นที่ และการควบคุมคุณภาพหน้างาน

**ข้อมูลเชิงคุณภาพ**

ข้อมูลเชิงคุณภาพเก็บรวบรวมจากการทบทวนวรรณกรรม จำนวน 28 เรื่อง (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – 2566) เพื่อสังเคราะห์เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการบริหารจัดการการติดตั้งชิ้นส่วนฯ จากนั้นนำข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นไปใช้ในการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างรวม 50 คน ประกอบด้วยทีมผู้บริหารโครงการและวิศวกรระดับสูง 23 คน และทีมปฏิบัติการภาคสนาม 27 คน โดยใช้การเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญคือ มีประสบการณ์อย่างต่ำ 10 ปี ในการทำหรืองานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานด้านชิ้นส่วนฯ การจัดเก็บข้อมูลในส่วนนี้เพื่อซึ่งใช้เป็นฐานของแบบสอบถาม AHP การจัดอันดับความสำคัญของอุปสรรคในการติดตั้งชิ้นส่วนฯ ด้วยวิธี AHP การวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ใช้เพื่อประเมินและจัดลำดับความสำคัญของตัวแปร

นอกจากนี้ยังอาศัยการเปรียบเทียบแบบจับคู่ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัย วิธีนี้ช่วยให้สามารถระบุปัจจัยที่เป็นอุปสรรคสูงสุดต่อกระบวนการติดตั้งได้อย่างเป็นระบบและมีเหตุผลรองรับ จากคะแนนการประเมินอุปสรรคการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตฯ โดยการเปรียบเทียบรายคู่ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย แล้วนำค่าเฉลี่ยมาใส่ลงในตารางเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ แต่ละปัจจัยตามหลักการของ (Saaty, 1980) [10] โดยที่ $a_{ij}$ = ค่าความสำคัญของปัจจัย $i$ เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัย $j$ และ $1/a_{ij}$ = ค่าในตำแหน่งตรงข้าม แสดงถึงความสำคัญในทางกลับกัน

**ตารางที่ 1** เมตริกซ์แสดงค่าเฉลี่ยของของปัจจัยที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจับทีละคู่

| ปัจจัยอุปสรรค | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 1 | $a_{12}$ | $a_{13}$ | $a_{14}$ | $a_{15}$ |
| $A_2$ | $1/a_{21}$ | 1 | $a_{23}$ | $a_{24}$ | $a_{25}$ |
| $A_3$ | $1/a_{31}$ | $1/a_{32}$ | 1 | $a_{34}$ | $a_{35}$ |
| $A_4$ | $1/a_{41}$ | $1/a_{42}$ | $1/a_{43}$ | 1 | $a_{45}$ |
| $A_5$ | $1/a_{51}$ | $1/a_{52}$ | $1/a_{53}$ | $1/a_{54}$ | 1 |
| **ผลรวมคอลัมน์** | $\sum a_{i1}$ | $\sum a_{i2}$ | $\sum a_{i3}$ | $\sum a_{i4}$ | $\sum a_{i5}$ |

การใช้สถิติสหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนมีความเหมาะสมเนื่องจากข้อมูลจากแบบสอบถามเป็นข้อมูลเชิงลำดับ และต้องการตรวจสอบความสอดคล้องของอันดับระหว่างผู้เชี่ยวชาญสองกลุ่ม มากกว่าการประมาณค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของข้อมูลต่อเนื่อง

ส่วนวิธี AHP เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับอุปสรรคที่มีหลายมิติและต้องอาศัยดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เนื่องจากสามารถเปรียบเทียบความสำคัญแบบรายคู่และตรวจสอบความสอดคล้องของการให้คะแนนผ่านค่า CR ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดเกณฑ์ยอมรับที่ CR < 0.10

**ตารางที่ 2** เมตริกซ์แสดงค่าเฉลี่ยของของปัจจัยที่ทำการปรับค่าให้อยู่ในสเกลเดียวกัน

| ปัจจัยอุปสรรค | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | ค่าเฉลี่ยผลรวมแถว |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | á$_{11}$ | á$_{12}$ | á$_{13}$ | á$_{14}$ | á$_{15}$ | $\sum$ á$_{1j}$/5 |
| $A_2$ | á$_{21}$ | á$_{22}$ | á$_{23}$ | á$_{24}$ | á$_{25}$ | $\sum$ á$_{2j}$/5 |
| $A_3$ | á$_{31}$ | á$_{32}$ | á$_{33}$ | á$_{34}$ | á$_{35}$ | $\sum$ á$_{3j}$/5 |
| $A_4$ | á$_{41}$ | á$_{42}$ | á$_{43}$ | á$_{44}$ | á$_{45}$ | $\sum$ á$_{4j}$/5 |
| $A_5$ | á$_{51}$ | á$_{52}$ | á$_{53}$ | á$_{54}$ | á$_{55}$ | $\sum$ á$_{5j}$/5 |
| **ผลรวมคอลัมน์** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

เพื่อความมั่นใจว่าการให้คะแนนของกลุ่มตัวอย่างมีความสอดคล้องกันและเชื่อถือได้ เราสามารถตรวจสอบความสอดคล้องของการเปรียบเทียบ (Consistency Check) โดยการคำนวณหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกัน (Consistency ratio, CR = CI/RI) เมื่อ CI คือ ดัชนีความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Index) และ RI คือ ดัชนีความสอดคล้องกันจากการสุ่มตัวอย่าง (Random Consistency Index) โดยค่า CR ยิ่งมากแสดงว่าการเปรียบเทียบแบบรายคู่มีความสอดคล้องกันน้อย ค่า CR ที่คำนวณได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันในทางทฤษฎีตามขนาดของเมตริกซ์ที่กำหนดโดย Saaty (1980) [10] ในการวิจัยนี้เมตริกซ์ขนาดมากกว่า 4 x 4 อัตราส่วนความสอดคล้องกันทางทฤษฎีจึง = 0.10 ดังนั้นถ้าหากค่า CR ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.10 ต้องกลับไปทบทวนการให้คะแนนเปรียบเทียบรายคู่ใหม่ สำหรับผู้ที่สนใจในรายละเอียดการตรวจสอบความสอดคล้องของการเปรียบเทียบ สามารถศึกษาได้จากตำราเรื่องการตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์โดยเรียงตามกรอบวิธีวิจัย ได้แก่ 1) ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของมุมมองผู้เชี่ยวชาญด้วย Spearman 2) ผลการจัดลำดับอุปสรรคด้วย AHP และ 3) ผลการวิเคราะห์เวลาวงรอบและผลิตภาพจากข้อมูลภาคสนาม เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างมุมมองเชิงการจัดการกับข้อมูลเวลาติดตั้งจริง

ส่วนวิธีวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ถูกเลือกใช้เพราะสามารถแยกโครงสร้างปัจจัยอุปสรรคให้เป็นลำดับชั้นอย่างเป็นระบบ และสามารถตรวจสอบความสอดคล้องของการให้คะแนนได้ผ่านค่าดัชนี CR ที่ต้องไม่เกิน 0.10 ตามหลักเกณฑ์ของ Saaty (1980) [10] วิธีนี้จึงเหมาะสมกับบริบทการติดตั้งชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีปัจจัยเชิงเทคนิคและเชิงการจัดการหลายตัวแปรทำงานร่วมกัน

## ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามจากกระบวนการติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ โดยมุ่งประเมินทั้งด้านประสิทธิภาพการจัดการ อุปสรรคที่เกิดขึ้นจริงในขั้นตอนติดตั้ง และความแตกต่างระหว่างเวลามาตรฐานกับเวลาปฏิบัติงานจริง ซึ่งสะท้อนความเป็นจริงของสภาพหน้างานในโครงการอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 8 ชั้น

การวิเคราะห์ผลสรุปออกเป็น 3 ส่วนสำคัญ ดังนี้

**1. การประเมินระดับความสอดคล้องของมุมมองระหว่างทีมบริหารโครงการและทีมปฏิบัติการภาคสนามด้วย Spearman's Rank Correlation** ส่วนนี้มุ่งตรวจสอบว่า "ผู้บริหาร" และ "ทีมภาคสนาม" มีมุมมองสอดคล้องกันเพียงใดต่อปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการติดตั้ง โดยใช้ Spearman's ค่า $\rho$ เปรียบเทียบอันดับความสำคัญใน 4 ด้าน ได้แก่ เวลา ต้นทุน คุณภาพ และความปลอดภัย-สิ่งแวดล้อม ตามตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3 แสดงว่าทั้งสองกลุ่มมีระดับความสอดคล้องของอันดับความสำคัญในภาพรวมค่อนข้างสูง ($\rho \approx 0.72$, $p < 0.05$) โดยเฉพาะด้านเวลาและคุณภาพ ประเด็นด้านต้นทุนมีระดับความสอดคล้องปานกลาง เนื่องจากผู้บริหารมองในมิติงบประมาณรวม ขณะที่ภาคสนามมองผ่านเวลารออุปกรณ์ ความพร้อมของพื้นที่ และการแก้ไขงานหน้างาน ดังนั้น ข้อสรุปเรื่องต้นทุนในงานวิจัยนี้จึงตีความจากความแตกต่างของอันดับในตารางที่ 3 ไม่ใช่จากความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลโดยตรง

**ตารางที่ 3** แสดงค่า Spearman Rank Correlation ระหว่างทีมบริหารโครงการและทีมปฏิบัติการภาคสนาม

| Domain | Management Rank | Field Rank | P-value | $\rho$ | Agreement Level |
|---|---|---|---|---|---|
| Time | 1 | 1 | 0.02 | 0.88 | High consistency |
| Cost | 3 | 2 | 0.08 | 0.67 | Moderate |
| Quality | 2 | 3 | 0.04 | 0.71 | Good agreement |
| Environment & Safety | 4 | 4 | 0.081 | 0.74 | High consistency |
| **Overall Average** | **2.5** | **2.5** | **<0.05** | **0.72** | **Strong alignment (p < 0.05)** |

หมายเหตุ: ระดับความสอดคล้องของการจัดอันดับระหว่างกลุ่มผู้บริหารและกลุ่มภาคสนามพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อันดับแบบสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation coefficient: $\rho$) โดยกำหนดเกณฑ์การแปลผลดังนี้ $\rho \geq 0.80$ หมายถึง ความสอดคล้องระดับสูงมาก, $0.60 \leq \rho < 0.80$ หมายถึง ความสอดคล้องระดับสูง, $0.40 \leq \rho < 0.60$ หมายถึง ความสอดคล้องระดับปานกลาง และ $\rho < 0.40$ หมายถึง ความสอดคล้องระดับต่ำ ทั้งนี้ ค่า p-value < 0.05 ใช้พิจารณานัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์

ผลการวิเคราะห์สะท้อนว่า ทั้งสองกลุ่มมีระดับความสอดคล้องในการจัดอันดับปัจจัยโดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อันดับแบบสเปียร์แมนเฉลี่ย $\rho \approx 0.72$ ซึ่งอยู่ในช่วง $0.60 \leq \rho < 0.80$ ตามเกณฑ์การแปลผลระดับความสอดคล้อง และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงถึงความสอดคล้องในการรับรู้ "ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป" แม้จะมีความคิดเห็นต่างกันบางประเด็น เช่น ปัจจัยด้านต้นทุน ซึ่งผู้บริหารมองเชื่อมโยงกับงบประมาณ ขณะที่ภาคสนามมองในเชิงเวลารออุปกรณ์และความพร้อมของหน้างาน ข้อมูลส่วนนี้ช่วยยืนยันว่า ทั้งฝ่ายบริหารและภาคสนามมีความเข้าใจร่วมกันต่อข้อจำกัดและปัจจัยสำคัญของกระบวนการติดตั้ง

**2. การจัดลำดับความสำคัญของอุปสรรคด้วยวิธี AHP** การประเมินอุปสรรคในการติดตั้งระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ใช้วิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) โดยอาศัยความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ 50 คน ประกอบด้วยผู้บริหารโครงการและวิศวกรภาคสนาม ผลการคำนวณจากเมทริกซ์เปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison Matrix) ที่ผ่านการตรวจสอบค่าความสอดคล้อง (CR < 0.10) พบว่า น้ำหนักความสำคัญของอุปสรรคทั้ง 5 กลุ่มเป็นดังนี้

**ตารางที่ 4** เมทริกซ์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเปรียบเทียบรายคู่ ระหว่างอุปสรรคทั้ง 5 ด้าน

| อุปสรรค | การเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ | การวางแผน และประสานงาน | การจัดการแรงงาน | เครื่องจักร และอุปกรณ์ติดตั้ง | การติดตั้ง และเชื่อมต่อชิ้นส่วน |
|---|---|---|---|---|---|
| การเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ | 1 | 1.25700 | 1.42800 | 1.37167 | 1.43467 |
| การวางแผน และประสานงาน | 0.79554 | 1 | 1.96967 | 1.66733 | 1.98867 |
| การจัดการแรงงาน | 0.70028 | 0.50770 | 1 | 1.26833 | 1.37833 |
| เครื่องจักร และอุปกรณ์ติดตั้ง | 0.72904 | 0.59976 | 0.78844 | 1 | 1.53000 |
| การติดตั้ง และเชื่อมต่อชิ้นส่วน | 0.69703 | 0.50285 | 0.72551 | 0.65359 | 1 |
| ผลรวมคอลัมน์ | 3.92189 | 3.86731 | 5.91162 | 5.96092 | 7.33167 |

ผลค่าน้ำหนักจาก AHP แสดงให้เห็นว่าอุปสรรคด้านการเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่/การขนส่งและยกติดตั้งมีค่าน้ำหนักสูงสุด (0.25858) รองลงมาคือ ด้านการวางแผนและประสานงาน (0.25498) ส่วนอุปสรรคด้านแรงงาน เครื่องมือวัสดุ และการติดตั้ง–เชื่อมต่อมีค่าน้ำหนักลดหลั่นกันตามลำดับ ผลนี้สะท้อนว่าคอขวดของระบบ Fully Precast ในบริบทโครงการที่ศึกษาไม่ได้เกิดจากขั้นตอนติดตั้งเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากความพร้อมก่อนติดตั้ง การจัดพื้นที่ การจัดลำดับเครน และการประสานข้อมูลหน้างาน ซึ่งส่งผลต่อความล่าช้าใน ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 6 และขั้นตอนที่ 8

จากการประเมินการเปรียบเทียบรายคู่ในแต่ละปัจจัย ได้ทำการปรับค่าผลลัพธ์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้วยกระบวนการ Normalize Matrix เพื่อสะท้อนค่าน้ำหนักเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละองค์ประกอบให้มีความสมดุลและสามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงถึงความสอดคล้องของความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในระดับสูง โดยเฉพาะด้านการเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ซึ่งมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูล จึงได้คำนวณค่า $\lambda$max (ค่าเฉลี่ยของลักษณะเฉพาะสูงสุด) CI (ดัชนีความสอดคล้อง) และ CR (อัตราความสอดคล้อง) ตามหลักเกณฑ์ของวิธี AHP เพื่อประเมินระดับความสอดคล้องของการให้คะแนน ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่า CR มีค่าน้อยกว่า 0.10 แสดงว่าข้อมูลมีความสอดคล้องเพียงพอและเชื่อถือได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

เพื่อให้เห็นภาพรวมของค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้นำเสนอในรูปแบบกราฟแท่งแนวนอนดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งช่วยให้เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบได้อย่างชัดเจน โดยแสดงให้เห็นว่าด้านการวางแผนและประสานงาน นั้นคือ “เวลา” มีค่าน้ำหนักสูงสุด รองลงมาคือด้านการเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ ขณะที่ด้านการติดตั้งและเชื่อมต่อชิ้นส่วนมีค่าน้ำหนักต่ำที่สุด สะท้อนถึงมุมมองของผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความสำคัญ

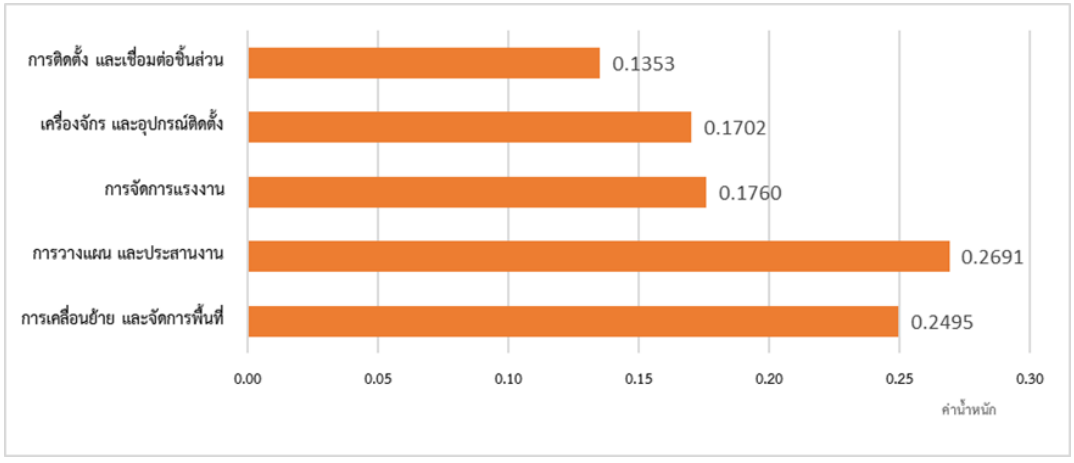
กับกระบวนการบริหารและควบคุมงานมากกว่าขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนฯ จึงต้องควบคุมเวลาด้านผลิตภาพการการติดตั้งเป็นหลักในการวิจัยข้อมูลการทำงาน ตามภาพภาพที่ 1

**ตารางที่ 5** ค่าเมทริกซ์ของการเปรียบเทียบรายคู่ที่ปรับให้อยู่ในเกณฑ์เดียวกัน (Normalize)

| อุปสรรค | การเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ | การวางแผน และประสานงาน | การจัดการแรงงาน | เครื่องจักร และอุปกรณ์ติดตั้ง | การติดตั้ง และเชื่อมต่อชิ้นส่วน | ค่าเฉลี่ยผลรวมในแนวนอน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| การเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่ | 0.25498 | 0.32503 | 0.24156 | 0.23011 | 0.19568 | **0.2495** |
| การวางแผน และประสานงาน | 0.20285 | 0.25858 | 0.33319 | 0.27971 | 0.27124 | **0.2691** |
| การจัดการแรงงาน | 0.17856 | 0.13128 | 0.16916 | 0.21277 | 0.18800 | **0.1760** |
| เครื่องจักร และอุปกรณ์ติดตั้ง | 0.18589 | 0.15508 | 0.13337 | 0.16776 | 0.20868 | **0.1702** |
| การติดตั้ง และเชื่อมต่อชิ้นส่วน | 0.17773 | 0.13003 | 0.12273 | 0.10965 | 0.13639 | **0.1353** |
| ผลรวมคอลัมน์ | **1.0000** | **1.0000** | **1.0000** | **1.0000** | **1.0000** | **1.0000** |
| $\lambda$ = 5.06243 | CI = 0.01561 | ที่ n = 5, ได้ RI = 1.12 | อัตราส่วนความสอดคล้องกัน (Consistency Ratio, CR) = | | | 0.0139 < 0.10 |

การวิเคราะห์เวลาในขั้นตอนการติดตั้งและผลิตภาพของชิ้นส่วนการวิเคราะห์นี้ใช้ข้อมูลเวลาติดตั้งที่ผ่านการคัดกรองจำนวน 135,965 รายการ จากฐานข้อมูลโครงการ 58 โครงการ และชิ้นส่วนรวม 193,000 รายการ โดย 135,965 รายการโดยเป็นรายการที่มีข้อมูลครบถ้วนเพียงพอสำหรับการคำนวณเวลาวงรอบผลิตภาพ และอัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลาการทำงานมาตรฐาน

ตารางที่ 6 แสดงเวลาเฉลี่ยจริง ค่าผลิตภาพ และอัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานในแต่ละขั้นตอน ผลจากตารางดังกล่าวถูกใช้เชื่อมโยงกับ AHP โดยพิจารณาว่ากลุ่มอุปสรรคที่มีน้ำหนักสูง เช่น การขนส่งและยกติดตั้ง การจัดการพื้นที่ และการวางแผนประสานงาน สอดคล้องกับขั้นตอนที่เกิดความล่าช้าจริงหรือไม่ โดยเฉพาะขั้นตอนที่ 1 การยกชิ้นส่วน ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบเหล็กเดือย ขั้นตอนที่ 6 การปรับแนว และขั้นตอนที่ 8 การตรวจสอบคุณภาพ




**ภาพที่ 1** ค่าน้ำหนักสัมพัทธ์ของอุปสรรคแต่ละด้าน

**ตารางที่ 6** วงรอบเวลาการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดยแยกตามรายกิจกรรม

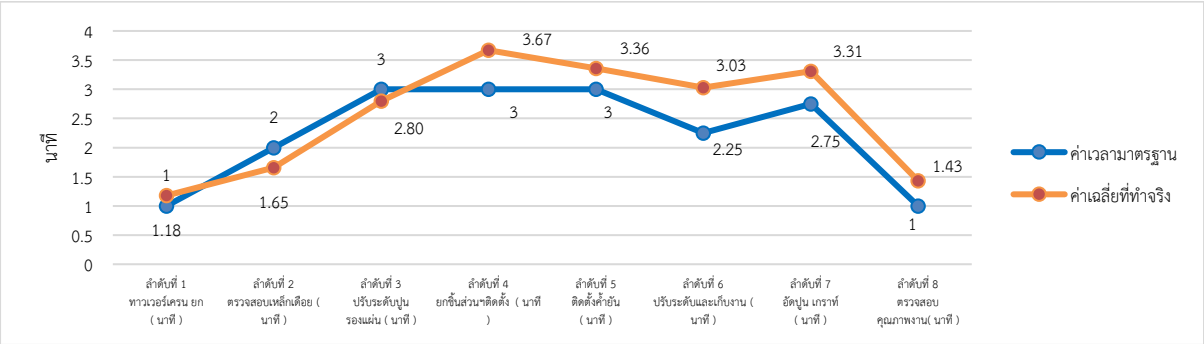
| รายการ | เวลาการทำงาน ( นาที / ชิ้น ) | ลำดับที่ 1 ทาวเครน ยก ( นาที ) | ลำดับที่ 2 ตรวจสอบเหล็กเดือย ( นาที ) | ลำดับที่ 3 ปรับระดับปูนรองแผ่น ( นาที ) | ลำดับที่ 4 ยกชิ้นส่วนติดตั้ง ( นาที ) | ลำดับที่ 5 ติดตั้งค้ำยัน ( นาที ) | ลำดับที่ 6 ปรับระดับและเก็บงาน ( นาที ) | ลำดับที่ 7 อัดปูน เกราท์ ( นาที ) | ลำดับที่ 8 ตรวจสอบคุณภาพ ( นาที ) | ผลรวมหนึ่งวงรอบเวลาทำงาน ( นาที ) | ผลต่างของระยะเวลา ( นาที ) | ประสิทธิภาพการติดตั้ง (ชิ้น/ชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เสา | ค่าเวลามาตรฐาน | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2.25 | 2.75 | 1 | 18.00 | | |
| เชื่อมต่อด้วยท่อ | ค่าเฉลี่ยที่ทำจริง | 1.18 | 1.65 | 2.80 | 3.67 | 3.36 | 3.03 | 3.31 | 1.43 | 20.43 | 2.43 | 2.94 |
| กระบอกเหล็ก (1,025 | ผลต่าง (%) | 17.76 | -17.27 | -6.63 | 22.31 | 12.03 | 34.63 | 20.23 | 43.41 | | 13.52% | 88.09% |
| ชิ้น) | สัดส่วนการใช้เวลา (%) | 5.76 | 8.10 | 13.71 | 17.96 | 16.45 | 14.83 | 16.18 | 7.02 | 100% | | |
| ผนังไม่รับน้ำหนัก | ค่าเวลามาตรฐาน | 1 | 1 | 1.75 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 14.75 | | |
| เชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก | ค่าเฉลี่ยที่ทำจริง | 1.09 | 1.38 | 2.33 | 3.49 | 3.24 | 2.12 | 2.28 | 1.23 | 17.16 | 2.41 | 3.50 |
| (97,250 ชิ้น) | ผลต่าง (%) | 9.01 | 38.05 | 33.15 | 16.36 | 7.90 | 6.19 | 13.98 | 22.95 | | 16.35% | 85.95% |
| | สัดส่วนการใช้เวลา (%) | 6.35 | 8.04 | 13.58 | 20.34 | 18.86 | 12.38 | 13.28 | 7.16 | 100% | | |
| ผนังรับน้ำหนัก | ค่ามาตรฐาน | 1 | 1 | 2.5 | 3 | 3 | 2 | 2.75 | 1 | 16.25 | | |
| เชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก | ค่าเฉลี่ยที่ทำจริง | 4.41 | 2.48 | 2.63 | 5.39 | 3.05 | 2.90 | 2.26 | 1.93 | 25.06 | 8.81 | 2.39 |
| (14,707 ชิ้น) | ผลต่าง (%) | 341.45 | 148.02 | 5.11 | 79.71 | 1.68 | 44.91 | -17.71 | 93.49 | | 54.22% | 64.84% |
| | สัดส่วนการใช้เวลา (%) | 17.62 | 9.90 | 10.49 | 21.51 | 12.17 | 11.57 | 9.03 | 7.72 | 100% | | |
| | ค่าเวลามาตรฐาน | 1 | 1 | 2.5 | 3 | 3 | 2 | 2.75 | 1 | 16.25 | | |
| ผนังรับน้ำหนัก | ค่าเฉลี่ยที่ทำจริง | 1.226 | 1.190 | 2.505 | 2.782 | 2.572 | 1.774 | 2.018 | 1.091 | 15.16 | -1.09 | 3.96 |
| เชื่อมต่อด้วยท่อ | ผลต่าง (%) | 22.60 | 19.00 | 0.20 | -7.27 | -14.27 | -11.30 | -26.62 | 9.10 | | -6.72% | 107.20% |
| กระบอกเหล็ก (22,893 | สัดส่วนการใช้เวลา (%) | 8.09 | 7.85 | 16.53 | 18.35 | 16.97 | 11.70 | 13.31 | 7.20 | 100% | | |

**3. การวิเคราะห์เวลาในขั้นตอนการติดตั้งและผลผลิตภาพของชิ้นส่วน** ผลการเปรียบเทียบเวลามาตรฐานกับเวลาที่ปฏิบัติจริงใน 8 ขั้นตอน การติดตั้ง (Step 1–8) ของชิ้นส่วนทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ เสา ผนังรับแรงแบบ Splice Sleeve ผนังรับแรงแบบ Corrugated Duct และผนังไม่รับแรง ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุขั้นตอนคอขวด (bottleneck) และประเมินผลกระทบต่อผลิตภาพจริง ข้อมูลของอาคารชุดพักอาศัย 8 ชั้น จำนวน 58 อาคาร รวม 135,965 รายการ (ข้อมูลของงานเสา ผนังรับน้ำหนัก และผนังไม่รับน้ำหนัก)

ข้อค้นพบจากตารางเวลาและผลิตภาพชี้ว่ากลุ่มผนังรับน้ำหนักที่ใช้รอยต่อแบบท่อลูกฟูกมีความล่าช้าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐาน ขณะที่ผนังรับน้ำหนักที่ใช้รอยต่อแบบ Splice Sleeve มีผลิตภาพสูงกว่าและมีความแปรปรวนของเวลาต่ำกว่า ดังนั้น ผลลัพธ์ส่วนนี้จึงใช้สนับสนุนข้อสรุปว่าอุปสรรคด้านการจัดตำแหน่ง การยกติดตั้ง และการตรวจสอบคุณภาพเป็นคอขวดที่เชื่อมโยงกับผลิตภาพโดยตรงกับเวลาและแผนการทำงาน คือ ข้อค้นพบสำคัญจากตารางเวลาและผลิตภาพ สำหรับการติดตั้งผนังรับน้ำหนักซึ่งเชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก (Corrugated pipe) ในขณะที่การติดตั้งผนังรับน้ำหนักที่เชื่อมต่อด้วยท่อกระบอกเหล็ก (Splice sleeve) กลับพบว่ามีผลิตภาพเฉลี่ยที่สูงกว่าค่ามาตรฐานประมาณ 7.20% ดังนั้นเพื่อระบุสาเหตุของความล่าช้าที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ หัวข้อนี้จึงเป็นการวิเคราะห์เชิงลึกด้วยวิธีวงรอบเวลา (Cycle Time Analysis) เพื่อค้นหาว่ากิจกรรมใดเป็นสาเหตุของความล่าช้าในการติดตั้งชิ้นส่วนแต่ละประเภท และนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการติดตั้งให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมพบประเด็นสำคัญดังนี้

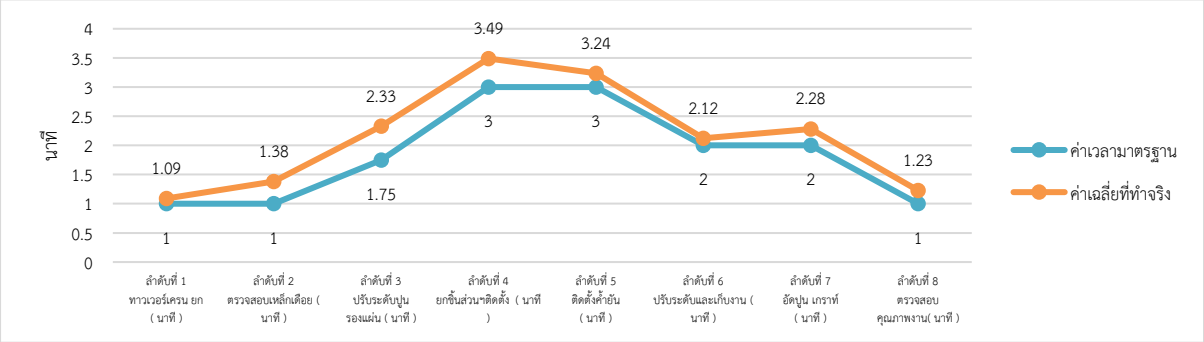
ก) กิจกรรมที่ใช้เวลาในการดำเนินงานมากกว่าค่าเวลามาตรฐาน คือ ขั้นตอนที่ 1 “การใช้เครนยกชิ้นส่วนไปยังตำแหน่งติดตั้ง” ซึ่งมีเวลาล่าช้าอยู่ระหว่าง 17.76 – 22.60% ยกเว้นผนังรับน้ำหนักที่ใช้การเชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูกที่มีเวลาล่าช้ารุนแรงมากถึง 341.45%

ข) เสาซึ่งใช้วิธีการเชื่อมต่อด้วยท่อกระบอกเหล็ก กิจกรรมล่าช้าที่เด่นชัด ได้แก่ ขั้นตอนที่ 4 “วางแผ่นชิ้นส่วนฯ ลงบนตำแหน่งติดตั้ง” ขั้นตอนที่ 6 “การปรับแนวต่าง ๆ ตามแบบ และเก็บรายละเอียดชิ้นส่วน” และขั้นตอนที่ 7 “ยึดชิ้นส่วนให้แน่นหนาโดยอัดมอร์ตาร์หรือวัสดุเชื่อมต่อ (Grout) ลงในช่องว่างระหว่างชิ้นส่วน” และขั้นตอนที่ 8 (ตรวจสอบคุณภาพ) โดยมีความล่าช้ามากกว่า 20% ขึ้นไป อ้างอิงตามภาพที่ 2 และตารางที่ 6



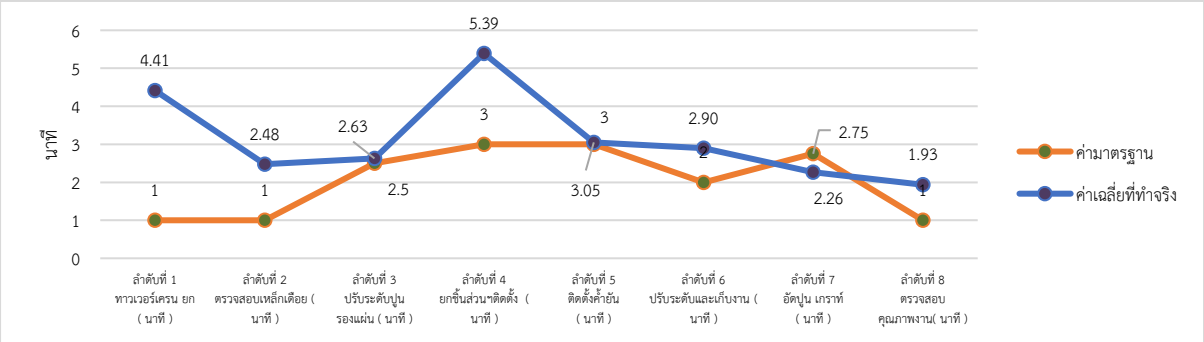

**ภาพที่ 2** การเปรียบเทียบการติดตั้ง เสา เชื่อมต่อด้วยกระบอกเหล็ก (1,025 ชิ้น)

ค) ในกรณีของผนังไม่รับน้ำหนักกิจกรรมซึ่งล่าช้าเกินกว่า 20.00% ได้แก่ ขั้นตอนที่ 2 “ตรวจสอบเหล็กเดือย (Dowel bar)” ขั้นตอนที่ 3 “เทปูนทรายปรับระดับฐานรองรับชิ้นส่วนฯ” และขั้นตอนที่ 8 “การตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้ายหลังติดตั้งก่อนการส่งมอบ” อ้างอิงตามภาพที่ 3 และตารางที่ 6



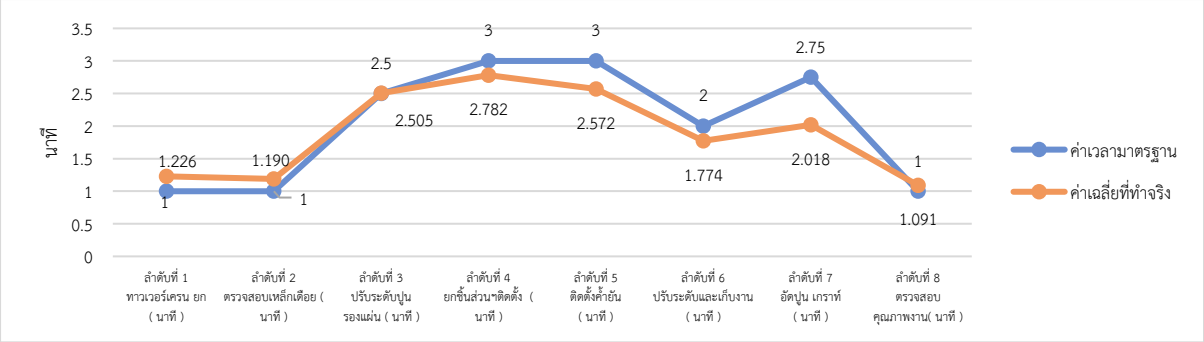

**ภาพที่ 3** ผนังไม่รับน้ำหนัก เชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก (97,250 ชิ้น)

ง) สำหรับผนังรับน้ำหนักที่ใช้การเชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก นอกจากมีการเสียเวลาที่ค่อนข้างมากในกิจกรรมที่ 1 แล้ว ยังพบว่ามีความล่าช้าในทุกขั้นตอนของการติดตั้ง ความล่าช้าที่เด่นชัด คือ ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนที่ 6 และขั้นตอนที่ 8 ซึ่งล่าช้าตั้งแต่ 45% ไปจนถึง 148.02% ยกเว้นขั้นตอนที่ 7 “การยึดชิ้นส่วนให้แน่นหนาโดยอัดมอร์ตาร์หรือวัสดุเชื่อมต่อ (Grout) ลงในท่อ” ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าค่ามาตรฐานถึง 17.71% อ้างอิงตามภาพที่ 4 และตารางที่ 6




**ภาพที่ 4** การเปรียบเทียบการติดตั้ง ผนังรับน้ำหนัก เชื่อมต่อด้วยท่อลูกฟูก (14,707 ชิ้น)

เมื่อพิจารณากิจกรรมที่ล่าช้าเกินกว่า 20% พบว่าขั้นตอนที่ควรปรับปรุงเร่งด่วน คือ ขั้นตอนที่ 1 การยกชิ้นส่วนเข้าสู่ตำแหน่ง และขั้นตอนที่ 8 การตรวจสอบคุณภาพ ส่วนขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบเหล็กเดือย และขั้นตอนที่ 6 การปรับแนวเป็นขั้นตอนสนับสนุนที่ส่งผลต่อความล่าช้าซ้ำของระบบ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าน้ำหนัก AHP ที่ให้ความสำคัญกับการขนส่งและยกติดตั้ง การจัดพื้นที่ และการวางแผนประสานงานเป็นลำดับต้น




**ภาพที่ 5** การเปรียบเทียบการติดตั้ง ผนังรับน้ำหนัก เชื่อมต่อด้วยท่อกระบอกเหล็ก (22,893 ชิ้น)

## สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิจัยสะท้อนว่าผลิตภาพการติดตั้งระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปแบบสมบูรณ์ในโครงการอาคารสูงไม่เกิน 8 ชั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการยกเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความพร้อมก่อนติดตั้ง ความแม่นยำของตำแหน่งเหล็กเดือย การจัดพื้นที่หน้างาน การจัดคิวเครน และระบบควบคุมคุณภาพที่เชื่อมโยงกันเป็นลำดับงาน

ผลจาก Spearman ในตารางที่ 2 แสดงว่าผู้บริหารและภาคสนามมีมุมมองสอดคล้องกันในระดับสูงต่อปัจจัยด้านเวลา คุณภาพและความพร้อมของหน้างานจึงสนับสนุนว่าปัญหาที่พบไม่ใช่เพียง perception ของกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง แต่เป็นข้อจำกัดเชิงระบบของกระบวนการติดตั้งจริง

ผล AHP ที่มีค่า CR=0.0139 แสดงความน่าเชื่อถือของการเปรียบเทียบรายคู่โดยกลุ่มอุปสรรคที่มีค่าน้ำหนักสูงสุด คือ การเคลื่อนย้ายและจัดการพื้นที่/การขนส่งและยกติดตั้ง (0.25858) และการวางแผนและประสานงาน (0.25498) เมื่อนำไปเชื่อมโยงกับตารางเวลาวงรอบ พบว่าความล่าช้าสำคัญเกิดในขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนที่ 6 และขั้นตอนที่ 8 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมก่อนติดตั้งและการควบคุมกระบวนการหน้างาน

ข้อมูล 135,965 รายการ ที่ใช้วิเคราะห์จากฐานข้อมูล 58 โครงการ แสดงให้เห็นว่าผลิตภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 3.25 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือ 18.5 นาทีต่อชิ้น โดยกลุ่มที่ใช้ Splice Sleeve มีผลิตภาพสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ Corrugated Duct เนื่องจากสามารถควบคุมแนวรอยต่อและลดการปรับแก้หน้างานได้ดีกว่า

การเสนอใช้ 4D BIM, dowel-bar jig และ PCI/ACI checklist เป็นข้อเสนอเชิงระบบที่สังเคราะห์จากผล Spearman, AHP และเวลาวงรอบ ไม่ใช่การสรุปจากเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งเพียงลำพัง การลดเวลาติดตั้ง 10-12 นาทีต่อชิ้นตีความจากส่วนต่างของเวลาวงรอบระหว่างกลุ่มที่มีความล่าช้าสูงกับกลุ่มที่มีระบบรอยต่อและการควบคุมแนวที่ดีกว่า ส่วนการลดเวลารวมโครงการ 250-300 ชั่วโมงต่ออาคาร เป็นค่าประมาณจากส่วนต่างของเวลาเฉลี่ยต่อชิ้นคูณกับจำนวนชิ้นส่วนหลักที่ติดตั้งในอาคารตัวอย่าง จึงควรตีความเป็นศักยภาพของแนวทางปรับปรุงภายใต้เงื่อนไขโครงการที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง

กล่าวโดยสรุป งานวิจัยนี้ยืนยันว่าการเพิ่มผลิตภาพของระบบ Fully Precast ควรมุ่งลดความแปรปรวนของเวลาและแก้คอขวดเชิงระบบมากกว่าการเพิ่มจำนวนแรงงานหรือเครื่องจักรเพียงอย่างเดียว แนวทางปฏิบัติที่สำคัญคือการจำลองลำดับงานล่วงหน้าด้วย 4D BIM การควบคุมตำแหน่งเหล็กเดือยด้วย jig และการใช้รายการตรวจสอบคุณภาพตาม PCI/ACI ก่อนและหลังยกติดตั้ง

**ข้อจำกัดของการวิจัย**

งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ได้แก่ ข้อมูลมาจากอาคารพักอาศัยสูงไม่เกิน 8 ชั้น ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งมีเงื่อนไขด้านพื้นที่หน้างานเมืองและระบบการจัดการเฉพาะบริบทผลลัพธ์จึงอาจไม่สามารถอธิบายอาคารสูงขนาดใหญ่ โครงการต่างจังหวัด หรือโครงการที่ใช้ระบบรอยต่ออื่นได้ทั้งหมด นอกจากนี้ การประเมินแนวทางปรับปรุง เช่น 4D BIM, dowel-bar jig และ PCI/ACI checklist เป็นการสังเคราะห์จากผลวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบและข้อเสนอผู้เชี่ยวชาญ จึงควรมีการทดสอบภาคสนามเพิ่มเติมในงานวิจัยต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

[1] Precast/Prestressed Concrete Institute. (1999). *MNL-127: Erector's manual, standards and guidelines for the erection of precast concrete products*. PCI.

[2] American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary.* ACI Committee 318.

[3] Gibb, A. G. F., and Pendlebury, M. (2006). *Glossary of terms for offsite and modern methods of construction*. Build offsite/BRE.

[4] Najafi, A., and Kong, R. T. L. (2015). *Productivity modeling of precast concrete installation using multiple regression analysis. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 10*(6), 2496-2503.

[5] Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X., and Ng, W. C. Y. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and Environment, 42*(10), 3642-3654. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.003

[6] Drewin, F. J. (1982). *Construction productivity: Measurement and improvement through work study*. Elsevier.

[7] Olomolaiye, P. O., Jayawardane, A. K. W., and Harris, F. C. (1998). *Construction productivity management.* McGraw-Hill.

[8] Jang, J., Jeong, E., Cho, J., and Kim, T. W. (2024). *Exploring simultaneous effects of delay factors in precast concrete installation. Buildings, 14*(12), Article 3894. https://doi.org/10.3390/buildings14123894

[9] Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Publications.

[10] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.

[11] Halpin, D. W. (2011). *Planning and analysis of construction operations*. Wiley.

[12] Lawson, M., Ogden, R., and Goodier, C. (2014). *Design in modular construction*. CRC Press.