

การบริหารต้นทุนและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน  
ของกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง  
กรณีศึกษาเปรียบเทียบวิธีการผลิตบนพื้นดินและวิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง  
Cost Management and Cost Efficiency Analysis of Steel Roof Sheet  
Production and Installation Processes in Construction Sites:  
A Comparative Case Study of On-Ground and On-Platform Production  
Methods

อภิวัฒน์ เปานิล<sup>1</sup>, ดร.บุญรักษ์ แวนบอเซอร์<sup>2</sup>

นักศึกษาระดับปริญญาโท การบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย<sup>1</sup>

อาจารย์ที่ปรึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย<sup>2</sup>

Corresponding author's e-mail: Apiwat.pao@rmutto.ac.th

#### บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง “การบริหารต้นทุนและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง” มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างต้นทุน ต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ ผลิตภาพ (Productivity) และดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (Cost Efficiency Index: CEI) ระหว่างวิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (On-Platform) และวิธีการผลิตบนพื้นดิน (On-Ground) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์โครงการ โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบกรณีศึกษา อ้างอิงข้อมูลจากโครงการก่อสร้างจริง และประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์พาเรโต (Pareto Analysis) การประเมิน CEI และการวิเคราะห์ผลิตภาพ ภายใต้การควบคุมตัวแปรด้านลักษณะโครงสร้างและเงื่อนไขงาน

ผลการวิจัยพบว่า โครงสร้างต้นทุนของทั้งสองวิธีมีลักษณะเป็นงานที่มีความเข้มข้นด้านวัสดุ โดยค่าวัสดุคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 77-79 ของต้นทุนรวม และเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของต้นทุนรวมมากที่สุด ในด้านต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ วิธี On-Ground มีต้นทุนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (750.74 บาท/ตร.ม.) เมื่อเทียบกับวิธี On-Platform (1,051.45 บาท/ตร.ม.) หรือแตกต่างประมาณร้อยละ 40.06 ด้านประสิทธิภาพการดำเนินงาน พบว่าวิธี On-Ground มีผลิตภาพสูงกว่า (187.62 ตร.ม./วัน) เทียบกับ 167.45 ตร.ม./วัน) และมีค่า CEI สูงกว่า สะท้อนถึงความสามารถในการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามากกว่า โดยความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากปัจจัยด้านความสูงของโครงสร้าง ข้อจำกัดพื้นที่ ความซับซ้อนในการขนย้ายวัสดุ และความต่อเนื่องของกระบวนการทำงาน

โดยสรุป วิธี On-Ground มีความได้เปรียบเชิงระบบทั้งด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม วิธี On-Platform ยังเหมาะสมในกรณีที่มีข้อกำหนดเฉพาะทางวิศวกรรม ดังนั้น การเลือกวิธีการก่อสร้างควรพิจารณาแบบบูรณาการทั้งด้านต้นทุน เวลา คุณภาพ และข้อจำกัดของโครงการ ทั้งนี้ ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นกรอบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารโครงการและวิศวกรก่อสร้างต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ:** การบริหารต้นทุน, ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน, ดัชนีประสิทธิภาพต้นทุน (CEI), ผลิตภาพ, การผลิตแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง, วิธีการผลิตบนพื้นดิน, วิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง, การวิเคราะห์พาเรโต, โครงสร้างต้นทุน, การตัดสินใจเชิงวิศวกรรม

## Abstract

This research, titled “Cost Management and Cost Efficiency Analysis of Steel Roof Panel Fabrication and Installation Processes in Construction Sites,” aims to compare cost structures, unit costs, productivity, and the Cost Efficiency Index (CEI) between the On-Platform and On-Ground construction methods. The study is intended to support decision-making from both engineering and project economic perspectives. A case study approach was employed using empirical data from an actual construction project. Analytical tools applied include Pareto Analysis, CEI evaluation, and Productivity Analysis, with key variables such as structural characteristics and site conditions controlled to enhance the validity of the results.

The findings indicate that both methods exhibit material-intensive cost structures, with material costs accounting for approximately 77–79% of total costs and serving as the primary factor contributing to cost differences. In terms of unit cost, the On-Ground method demonstrates significantly lower costs (750.74 THB/m<sup>2</sup>) compared to the On-Platform method (1,051.45 THB/m<sup>2</sup>), representing a difference of approximately 40.06%.

Regarding operational efficiency, the On-Ground method shows higher productivity (187.62 m<sup>2</sup>/day compared to 167.45 m<sup>2</sup>/day) and a higher CEI value, reflecting more efficient resource utilization. These differences are attributed to factors such as structural height, site constraints, material handling complexity, and workflow continuity.

In conclusion, the On-Ground method provides a system efficiency advantage in terms of cost and performance. However, the On-Platform method remains suitable in cases requiring specific engineering conditions, such as the use of long-span roof panels to minimize joints and improve long-term quality. Therefore, the selection of an appropriate construction method should be based on an integrated consideration of cost, time, quality, and engineering

constraints. The results of this study can serve as a decision-support framework for project managers and construction engineers, as well as a foundation for further development in cost engineering and construction management.

**Keywords:** Cost Management, Cost Efficiency, Cost Efficiency Index (CEI), Productivity, Steel Roof Panel Production in Construction Sites, On-Ground Method, On-Platform Method, Pareto Analysis, Cost Structure, Engineering Decision-Making

## บทนำ

โครงสร้างหลังคาเป็นองค์ประกอบสำคัญของอาคารที่มีสัดส่วนต้นทุนสูง และส่งผลโดยตรงต่อรอบงบประมาณรวมของโครงการ โดยเฉพาะอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม คลังสินค้า และศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งมีลักษณะช่วงพาดยาวและพื้นที่ครอบคลุมขนาดใหญ่ ส่งผลให้ระบบหลังคาที่มีความซับซ้อนทั้งด้านวัสดุ แรงงาน เครื่องจักร และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ในมิติของการบริหารต้นทุน ระบบหลังคาจึงถือเป็นชุดกิจกรรมที่ต้องมีการวางแผนและควบคุมอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การจัดการ การเลือกวิธีการผลิต การวางแผนทรัพยากร ไปจนถึงการควบคุมต้นทุนระหว่างดำเนินงาน ทั้งนี้ วิธีการดำเนินงานที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อ ต้นทุนต่อหน่วย ผลิตภาพ และความเสี่ยงด้านงบประมาณอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อโครงการมีข้อจำกัดด้านการขนส่ง ความยาวแผ่นหลังคา หรือพื้นที่ก่อสร้าง ผู้บริหารโครงการจำเป็นต้องเลือกระหว่างวิธีการผลิตและติดตั้งที่แตกต่างกัน ซึ่งมีโครงสร้างต้นทุนและการใช้ทรัพยากรไม่เหมือนกัน การตัดสินใจดังกล่าวจึงควรอาศัยการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมและประสิทธิภาพเชิงต้นทุนอย่างเป็นระบบ

อุตสาหกรรมก่อสร้างในปัจจุบันมีแนวโน้มพัฒนาไปสู่โครงการที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะอาคารที่มีช่วงพาดยาว ซึ่งนิยมใช้แผ่นหลังคาเหล็กเนื่องจากน้ำหนักเบา ติดตั้งรวดเร็ว และลดรอยต่อได้อย่างไรก็ตาม ในกรณีแผ่นหลังคาความยาวพิเศษ การผลิตในโรงงานอาจมีข้อจำกัดด้านการขนส่ง จึงเกิดแนวทางการผลิตในพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้เครื่องจักรเฉพาะทางและโครงสร้างชั่วคราว เช่น แท่นผลิตหรือระบบนั่งร้าน ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนเพิ่มเติมและส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวม

โดยทั่วไป วิธีการผลิตและติดตั้งสามารถแบ่งเป็น 2 แนวทางหลัก ได้แก่ การผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง และการผลิตบนพื้นดิน ซึ่งมีความแตกต่างด้านต้นทุน ผลิตภาพ และความเสี่ยง อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจในทางปฏิบัติมักอาศัยประสบการณ์มากกว่าการวิเคราะห์เชิงวิชาการ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนและประสิทธิภาพ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงระบบในงานก่อสร้างต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและสัดส่วนของโครงสร้างต้นทุน ในกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง
2. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวม และต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่หลังคา ระหว่างวิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้างและวิธีการผลิตบนพื้นดิน
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงต้นทุน ของแต่ละวิธีการดำเนินงาน และเสนอแนวทางการบริหารต้นทุนสำหรับโครงการลักษณะเดียวกัน

### สมมติฐานการวิจัย (Research Hypotheses)

การวิจัยนี้กำหนดสมมติฐานเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการผลิตและผลลัพธ์ด้านต้นทุน โดยกำหนดว่า H1: วิธี On-Platform และ On-Ground มีต้นทุนรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H2: วิธี On-Ground มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าวิธี On-Platform

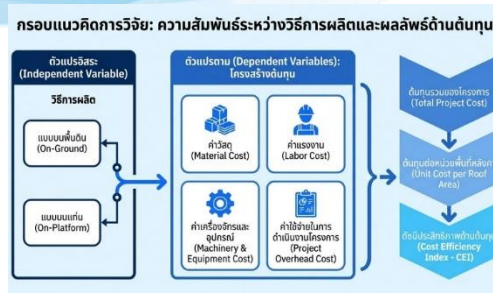
H3: วิธี On-Ground มีค่าดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (CEI) สูงกว่าวิธี On-Platform

### ขอบเขตการศึกษา

1. **ด้านเนื้อหา** การศึกษานี้มุ่งวิเคราะห์การบริหารต้นทุนและประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง โดยเปรียบเทียบ 2 วิธี ได้แก่ การผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (แผ่นยาว ~80 เมตร) และการผลิตบนพื้นดิน (แผ่นยาว ~50 เมตร) โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนทางตรง
2. **ด้านพื้นที่ศึกษา** ดำเนินการในโครงการก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรมหรืออาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบหลังคาเหล็กช่วงพาดยาว และมีการผลิตแผ่นหลังคาในพื้นที่ก่อสร้าง
3. **ด้านระยะเวลา** ครอบคลุมช่วงการดำเนินงานตั้งแต่การติดตั้งเครื่องจักร การผลิตแผ่นหลังคาจนถึงการติดตั้งแล้วเสร็จ
4. **ด้านตัวแปรที่ศึกษา** ตัวแปรหลัก ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าเครื่องจักร ต้นทุนโครงสร้างชั่วคราว ต้นทุนรวม ต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ และประสิทธิภาพเชิงต้นทุน เพื่อใช้เปรียบเทียบความคุ้มค่าของแต่ละวิธีการดำเนินงาน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับโครงสร้างต้นทุนของการผลิตแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง
2. สนับสนุนการตัดสินใจเชิงบริหารในการเลือกวิธีดำเนินงานที่เหมาะสมโดยอาศัยข้อมูลเชิงปริมาณ
3. สามารถนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้ในการควบคุมต้นทุนและบริหารความเสี่ยงด้านงบประมาณในโครงการก่อสร้างในอนาคต



**รูปที่ 1** กรอบแนวคิดการวิจัยของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของกระบวนการผลิตแผ่นหลังคาเหล็ก  
กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ได้แก่ วิธีการผลิตแผ่นหลังคาเหล็ก  
ในพื้นที่ก่อสร้าง (On-Ground และ On-Platform) กับตัวแปรตามด้านโครงสร้างต้นทุน ได้แก่ ค่าวัสดุ  
ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายโครงการ ซึ่งส่งผลต่อผลลัพธ์ด้านต้นทุนของโครงการ  
ได้แก่ ต้นทุนรวม ต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ และดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (CEI)

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณในรูปแบบกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบ  
ต้นทุนของกระบวนการผลิตแผ่นหลังคาเหล็กในพื้นที่ก่อสร้าง โดยใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนระหว่าง  
2 วิธี ได้แก่ วิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (On-Platform) และวิธีการผลิตบนพื้นดิน (On-Ground)

กลุ่มตัวอย่างเป็นโครงการก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรม 1 โครงการ ซึ่งประกอบด้วยอาคาร 2 หลัง  
ภายใต้บริบทเดียวกัน โดยอาคารหนึ่งใช้วิธี On-Platform และอีกอาคารใช้วิธี On-Ground การเลือกตัวอย่าง  
ใช้วิธีแบบเจาะจง โดยพิจารณาจากความครบถ้วนของข้อมูลต้นทุนและความสามารถในการจำแนก  
หมวดต้นทุนได้อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ข้อมูลมุ่งเน้นต้นทุนทางตรง ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ รวมถึง  
ต้นทุนโครงสร้างชั่วคราว โดยคำนวณต้นทุนรวม ต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ และประสิทธิภาพเชิงต้นทุน เพื่อใช้  
เปรียบเทียบความคุ้มค่าของทั้งสองวิธีการดำเนินงาน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Research Instruments)

การวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารโครงการและข้อมูลต้นทุนจริง โดยมุ่งเน้น  
ข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ เครื่องมือหลักประกอบด้วย (1) แบบฟอร์มรวบรวมข้อมูล  
ต้นทุน ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อจัดหมวดหมู่ต้นทุน ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ และต้นทุน  
โครงสร้างชั่วคราว (2) บัญชีแสดงปริมาณงานและราคา (BOQ) ใช้เป็นข้อมูลต้นทุนตามแผน (3) รายงาน  
ต้นทุนโครงการ ซึ่งสะท้อนต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง (Actual Cost) และ (4) เอกสารสัญญาและเอกสารเบิกจ่าย  
สำหรับตรวจสอบเงื่อนไขราคาและขอบเขตงาน

นอกจากนี้ ยังใช้ข้อมูลปริมาณงานจริงจากแบบก่อสร้างตามสภาพจริง (As-built Drawing)  
เพื่อคำนวณต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วยวิธีการตรวจสอบแบบ

สามเส้า (Data Triangulation) โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากหลายแหล่ง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง

### การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารบริหารโครงการและเอกสารต้นทุนของกรณีศึกษา ซึ่งสะท้อนข้อมูลการดำเนินงานจริงในโครงการก่อสร้าง โดยครอบคลุมกิจกรรมหลัก ได้แก่ การติดตั้งเครื่องรีดแผ่นหลังคา การติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว กระบวนการผลิต และการติดตั้งแผ่นหลังคา ข้อมูลที่รวบรวมถูกจัดหมวดหมู่ตามองค์ประกอบต้นทุน ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ และต้นทุนโครงสร้างชั่วคราว จากนั้นจึงตรวจสอบความครบถ้วนและความสอดคล้องของข้อมูล ก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลมีความถูกต้องและสะท้อนสภาพการดำเนินงานจริงของโครงการ

### วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

การวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ร่วมกับสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุน (Comparative Cost Analysis) เพื่อประเมินความแตกต่างระหว่างวิธีการก่อสร้างแบบ On-Platform และ On-Ground โดยกรอบการวิเคราะห์ครอบคลุมโครงสร้างต้นทุน ต้นทุนต่อหน่วย ประสิทธิภาพเชิงต้นทุน ผลผลิตภาพ และปัจจัยต้นทุนวิกฤต

#### 1) การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุน (Cost Structure Analysis)

ต้นทุนรวมของโครงการคำนวณจาก องค์ประกอบต้นทุนหลัก ดังสมการ

$$\bullet \quad TC = MC + LC + EC + SC$$

โดยที่  $TC$  คือ ต้นทุนรวม,  $MC$  ค่าวัสดุ,  $LC$  ค่าแรงงาน,  $EC$  ค่าเครื่องจักร และ  $SC$  ต้นทุนสนับสนุน

สัดส่วนต้นทุนของแต่ละหมวดคำนวณได้จาก

$$\bullet \quad \%C_i = \frac{C_i}{TC} \times 100$$

#### 2) การวิเคราะห์ส่วนต่างต้นทุน (Cost Difference Analysis)

ความแตกต่างของต้นทุนรวมระหว่างสองวิธีคำนวณ ดังสมการ

$$\bullet \quad \Delta TC = TC_{OP} - TC_{OG}$$

โดยที่  $TC_{OP}$  และ  $TC_{OG}$  คือ ต้นทุนรวมของวิธี On-Platform และ On-Ground ตามลำดับ

#### 3) การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย (Unit Cost Analysis)

ต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่คำนวณได้ ดังสมการ

- $UC = \frac{TC}{A}$

โดยที่  $UC$  คือ ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.) และ  $A$  คือ พื้นที่ติดตั้ง

#### 4) การประเมินประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (Cost Efficiency Evaluation)

ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนประเมินด้วยดัชนี CEI ดังสมการ

- $CEI = \frac{A}{TC}$

ค่า CEI ที่สูงกว่าสะท้อนถึงความสามารถในการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามากกว่า

#### 5) การวิเคราะห์ผลผลิตภาพ (Productivity Analysis)

ผลผลิตภาพของการดำเนินงานคำนวณได้จาก

- $Productivity = \frac{A}{T}$

โดยที่  $T$  คือ ระยะเวลาดำเนินงาน (วัน)

#### 6) การวิเคราะห์พาเรโต (Pareto Analysis)

ใช้เพื่อระบุปัจจัยต้นทุนที่มีอิทธิพลสูง โดยจัดเรียงต้นทุนจากมากไปน้อย และคำนวณร้อยละสะสม ดังสมการ

- $Cum_i = \sum_{i=1}^k \% C_i$

โดยปัจจัยที่มีร้อยละสะสมประมาณ 80% ถือเป็นปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อโครงสร้างต้นทุน

กรอบการวิเคราะห์ดังกล่าวช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนและผลผลิตภาพของแต่ละวิธีได้อย่างเป็นระบบ และสนับสนุนการตัดสินใจเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์โครงการ

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า โครงสร้างต้นทุนของกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กทั้งสองวิธีมีลักษณะเป็นงานที่มีความเข้มข้นด้านวัสดุ (Material-Intensive) โดยค่าวัสดุมีสัดส่วนสูงสุดประมาณร้อยละ 77-79 ของต้นทุนรวม และเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความแตกต่างของต้นทุนโดยรวม เมื่อพิจารณาต้นทุนต่อหน่วยพื้นที่ พบว่าวิธีการผลิตบนพื้นดิน (On-Ground) มีต้นทุนต่ำกว่าวิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (On-Platform) อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ย 750.74 บาท/ตร.ม. เทียบกับ 1,051.45 บาท/ตร.ม. หรือแตกต่างประมาณร้อยละ 40.06 ในด้านประสิทธิภาพการดำเนินงาน วิธี On-Ground มีผลผลิตภาพและค่าดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (CEI) สูงกว่า สะท้อนถึงความสามารถในการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับวิธี On-Platform

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนด้วยหลักการพาเรโต (Pareto Analysis) พบว่าหมวดค่าวัสดุมีสัดส่วนการมีส่วนร่วมต่อความแตกต่างของต้นทุนรวมสูงถึงร้อยละ 83.66 ซึ่งเกินเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างชัดเจน จึงจัดเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนหลัก (Critical Cost Driver) ขณะที่หมวดค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร และต้นทุนสนับสนุน มีสัดส่วนรวมกันเพียงประมาณร้อยละ 16 และจัดเป็นปัจจัยรอง (Secondary Drivers) สะท้อนให้เห็นว่าการบริหารต้นทุนวัสดุมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงต้นทุนมากที่สุด อย่างไรก็ตาม วิธี On-Platform ยังคงมีความเหมาะสมในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านวิศวกรรม เช่น การใช้แผ่นหลังคาความยาวพิเศษเพื่อลดรอยต่อและเพิ่มคุณภาพงาน

โดยสรุป วิธี On-Ground มีความได้เปรียบเชิงระบบทั้งด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ ขณะที่การเลือกวิธีการก่อสร้างควรพิจารณาแบบบูรณาการทั้งด้านต้นทุน ผลผลิตภาพ คุณภาพ และข้อจำกัดของโครงการ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสูงสุดในการบริหารงานก่อสร้าง สรุปใน ตารางที่ 1 สรุปผลการวิจัยที่สำคัญ และการวิเคราะห์ตัวขับเคลื่อนต้นทุน และ รูปที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนด้วยหลักการพาเรโต และการเปรียบเทียบสมรรถนะการดำเนินงานระหว่างวิธีการติดตั้งแบบ On-Platform และ On-Ground

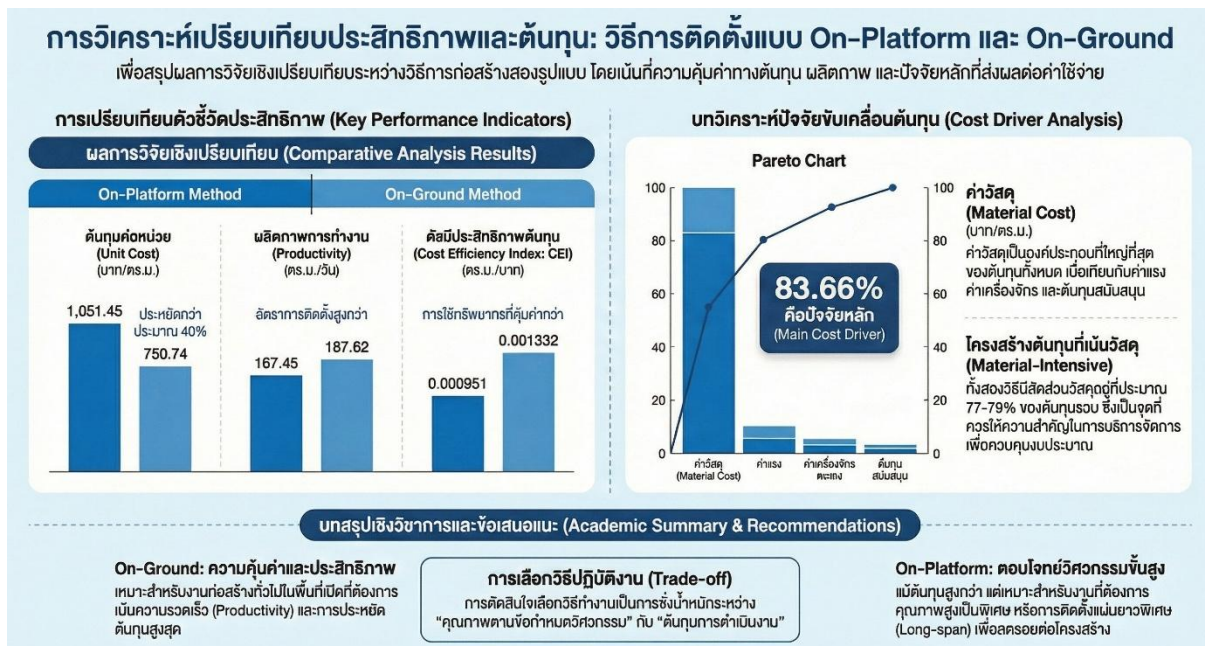
ตารางที่ 1 สรุปผลการวิจัยที่สำคัญและการวิเคราะห์ตัวขับเคลื่อนต้นทุน

ประเด็นเปรียบเทียบ	On-Platform Method	On-Ground Method	วิเคราะห์เชิงวิชาการ
โครงสร้างต้นทุน	Material-Intensive (วัสดุ ~77-79%)	Material-Intensive (วัสดุ ~77-79%)	ค่าวัสดุเป็น Cost Driver หลัก ตามหลัก Pareto
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ตร.ม.)	1,051.45	750.74	On-Ground ต่ำกว่าประมาณ 40.06%
ผลผลิตภาพ (ตร.ม./วัน)	167.45	187.62	On-Ground มีประสิทธิภาพ เชิงเวลาสูงกว่า
ค่า CEI (ตร.ม./บาท)	0.000951	0.001332	On-Ground ใช้ทรัพยากรคุ้มค่ากว่า
Pareto Contribution	วัสดุ = 83.66%	วัสดุ = 83.66%	เป็น Critical Cost Driver
ปัจจัยต้นทุนรอง	แรงงาน + เครื่องจักร + สนับสนุน ≈ 16%	แรงงาน + เครื่องจักร + สนับสนุน ≈ 16%	เป็น Secondary Drivers
ความเหมาะสมเชิง วิศวกรรม	เหมาะกับแผ่นยาวพิเศษ	เหมาะกับงานทั่วไป	Trade-off ระหว่างคุณภาพและต้นทุน
ข้อสรุปเชิงระบบ	ต้นทุนสูงกว่า แต่ตอบโจทย์เฉพาะทาง	ต้นทุนต่ำกว่า และมีประสิทธิภาพสูงกว่า	On-Ground ได้เปรียบเชิงระบบ
ความซับซ้อน การดำเนินงาน	สูง (ทำงานที่ระดับโครงสร้าง)	ต่ำกว่า (ทำงานระดับพื้นดิน)	ส่งผลต่อ Labor & Equipment Efficiency
ความเสี่ยงด้านต้นทุน	สูงกว่า	ต่ำกว่า	เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายพื้นที่ และการควบคุมงาน

ตารางนี้แสดงผลการเปรียบเทียบเชิงโครงสร้างต้นทุนและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตแผ่นหลังคาเหล็กระหว่างวิธี On-Platform และ On-Ground โดยพบว่าทั้งสองวิธีมีลักษณะเป็นงานที่มีความเข้มข้นด้านวัสดุ (Material-Intensive) และค่าวัสดุเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนหลักตามหลักพาเรโต

โดยมีสัดส่วนการมีส่วนร่วมสูงถึงร้อยละ 83.66 ของความแตกต่างต้นทุนรวม ในด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ วิธี On-Ground มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่า มีผลิตภาพสูงกว่า และมีค่าดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (CEI) สูงกว่า สะท้อนถึงความสามารถในการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามากกว่า ขณะที่วิธี On-Platform มีความซับซ้อนในการดำเนินงานและความเสี่ยงด้านต้นทุนสูงกว่า เนื่องจากข้อจำกัดของการทำงานในระดับโครงสร้าง และการใช้เครื่องจักรเฉพาะทาง

อย่างไรก็ตาม วิธี On-Platform มีความเหมาะสมในเชิงวิศวกรรมสำหรับงานที่ต้องใช้แผ่นหลังคา ความยาวพิเศษ ซึ่งช่วยลดรอยต่อและเพิ่มคุณภาพงานในระยะยาว ดังนั้น การเลือกวิธีการดำเนินงาน ควรพิจารณาในลักษณะ Trade-off ระหว่างต้นทุน ประสิทธิภาพ และข้อกำหนดทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสูงสุดในบริบทของโครงการก่อสร้าง



รูปที่ 2 การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนด้วยหลักการพาเรโตและการเปรียบเทียบสมรรถนะการดำเนินงานระหว่างวิธีการติดตั้งแบบ On-Platform และ On-Ground

จากรูปที่ 2 ภาพประกอบแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุน (Cost Driver) และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดำเนินงาน การวิเคราะห์ต้นทุนหลัก จากแผนภูมิพาเรโต พบว่าคำวัสดุเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนหลัก โดยมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 83.66 ของต้นทุนทั้งหมด มีสมรรถนะเชิงเศรษฐศาสตร์ วิธีการติดตั้งแบบ On-Ground มีความคุ้มค่าสูงกว่า โดยมีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าวิธี On-Platform ประมาณร้อยละ 40.06 (750.74 เทียบกับ 1,051.45 บาท/ตร.ม.) และมีค่าดัชนีประสิทธิภาพต้นทุน (CEI) ที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติงาน วิธี On-Ground มีผลิตภาพ (Productivity) สูงกว่าที่ 187.62 ตร.ม./วัน เนื่องด้วยความสะดวกในการดำเนินงานที่ต่ำกว่าการทำงานบนระดับโครงสร้าง ทั้งนี้ข้อพิจารณาเชิงวิศวกรรม แม้วิธี On-Ground จะเด่นด้านความคุ้มค่า แต่วิธี On-Platform มีความ

เหมาะสมทางวิศวกรรมมากกว่าสำหรับงานคุณภาพสูงหรือแผ่นวัสดุที่มีความยาวพิเศษ (Long-span) เพื่อลดจำนวนรอยต่อในงานก่อสร้าง ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการเลือกวิธีการติดตั้งที่สอดคล้องกับงบประมาณและข้อกำหนดทางเทคนิคของโครงการ

### อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า โครงสร้างต้นทุนของกระบวนการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็ก มีลักษณะเป็นงานที่มีความเข้มข้นด้านวัสดุ (*Material-Intensive*) อย่างชัดเจน โดยค่าวัสดุเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดระดับต้นทุนรวมและความแตกต่างระหว่างวิธีการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับหลักการพาเรโต (*Pareto Principle*) ที่ระบุว่าปัจจัยส่วนน้อยสามารถส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ส่วนใหญ่ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าวัสดุมีส่วนการมีส่วนร่วมต่อความแตกต่างของต้นทุนสูงถึงร้อยละ 83.66 จึงสามารถจัดเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนหลัก (*Critical Cost Driver*) ขณะที่หมวดค่าแรงงาน ค่าเครื่องจักร และต้นทุนสนับสนุนมีอิทธิพลในระดับรองเมื่อพิจารณาในมิติของต้นทุนต่อหน่วยและประสิทธิภาพ พบว่าวิธีการผลิตบนพื้นดิน (*On-Ground*) มีความได้เปรียบอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำกว่า ผลผลิตที่สูงกว่า และค่าดัชนีประสิทธิภาพเชิงต้นทุน (*CEI*) ที่ดีกว่า สะท้อนถึงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรที่เหนือกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความต่อเนื่องของกระบวนการทำงาน การเข้าถึงพื้นที่ที่สะดวก และข้อจำกัดด้านเทคนิคที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการดำเนินงานในระดับโครงสร้าง

อย่างไรก็ตาม วิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (*On-Platform*) แม้จะมีต้นทุนสูงกว่า แต่มีข้อได้เปรียบในเชิงวิศวกรรม โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องใช้แผ่นหลังคาความยาวพิเศษเพื่อลดรอยต่อและเพิ่มคุณภาพของงาน ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะของการตัดสินใจเชิงวิศวกรรมที่ต้องพิจารณาแบบ *Trade-off* ระหว่างต้นทุนและคุณภาพ ดังนั้น ผลการวิจัยจึงชี้ให้เห็นว่า การเลือกวิธีการก่อสร้างไม่ควรพิจารณาเพียงต้นทุนเพียงมิติเดียว แต่ควรคำนึงถึงข้อจำกัดด้านเทคนิค สภาพหน้างาน และเป้าหมายของโครงการร่วมด้วย

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้สรุปได้ว่า วิธีการผลิตบนพื้นดิน (*On-Ground Method*) มีความได้เปรียบเชิงระบบทั้งในด้านต้นทุนต่อหน่วย ผลผลิต และประสิทธิภาพเชิงต้นทุน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตบนแท่นระดับโครงสร้าง (*On-Platform Method*) ขณะที่โครงสร้างต้นทุนของทั้งสองวิธีมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีค่าวัสดุเป็นองค์ประกอบหลักของต้นทุนรวม ผลการวิเคราะห์พาเรโตยืนยันว่าค่าวัสดุเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนที่สำคัญที่สุด ดังนั้น การบริหารและควบคุมต้นทุนวัสดุจึงเป็นกลยุทธ์หลักในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของโครงการก่อสร้าง

อย่างไรก็ตาม วิธี *On-Platform* ยังคงมีความเหมาะสมในบริบทที่มีข้อกำหนดทางวิศวกรรมเฉพาะ เช่น การใช้แผ่นหลังคาความยาวพิเศษ ดังนั้น การตัดสินใจเลือกวิธีการดำเนินงานควรพิจารณาในเชิงบูรณาการ ทั้งด้านต้นทุน ผลผลิต คุณภาพ และข้อจำกัดของโครงการ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการบริหารงานก่อสร้าง

ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นกรอบแนวทางในการสนับสนุนการตัดสินใจ (*Decision Support*) สำหรับผู้บริหารโครงการและวิศวกรก่อสร้าง รวมถึงเป็นพื้นฐานในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมต้นทุนในอนาคต

### ข้อเสนอแนะ (*Recommendations*)

1) ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ (*Practical Implications*) ผู้บริหารโครงการควรให้ความสำคัญกับการบริหารต้นทุนค่าวัสดุเป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นปัจจัยขับเคลื่อนต้นทุนหลักตามผลการวิเคราะห์พาเรโต โดยควรดำเนินการวางแผนจัดซื้อ (*Procurement Planning*) การควบคุมการสูญเสียวัสดุ (*Material Waste Control*) และการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับข้อกำหนดทางวิศวกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงต้นทุนของโครงการ ในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดด้านเทคนิคหรือข้อกำหนดเฉพาะ แนะนำให้เลือกใช้วิธีการผลิตบนพื้นดิน (*On-Ground Method*) เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่า อย่างไรก็ตาม สำหรับโครงการที่ต้องใช้แผ่นหลังคาความยาวพิเศษหรือมีข้อจำกัดด้านคุณภาพงาน ควรพิจารณาใช้วิธี *On-Platform* โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าเชิงระบบ

2) ข้อเสนอแนะเชิงการบริหารโครงการ (*Managerial Implications*) ควรนำเครื่องมือวิเคราะห์เชิงปริมาณ เช่น *Cost Efficiency Index (CEI)* และ *Pareto Analysis* มาใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ (*Decision Support Tools*) ในการเลือกวิธีการก่อสร้าง เพื่อเพิ่มความแม่นยำและลดการพึ่งพาประสบการณ์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ควรมีการวางแผนการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการจัดสรรเครื่องจักรและแรงงานให้สอดคล้องกับลักษณะของวิธีการดำเนินงาน เพื่อเพิ่มผลิตภาพและลดต้นทุนแฝงที่อาจเกิดขึ้น

3) ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต (*Future Research*) การศึกษานี้มุ่งเน้นเฉพาะต้นทุนทางตรง ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตไปสู่การวิเคราะห์ต้นทุนทางอ้อม (*Indirect Cost*) และผลกระทบต่อด้านระยะเวลา (*Time Performance*) รวมถึงความเสี่ยงของโครงการ (*Project Risk*) เพื่อให้ได้มุมมองที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ควรมีการศึกษกรณีตัวอย่างในหลายโครงการ (*Multiple Case Studies*) หรือใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติขั้นสูง เพื่อเพิ่มความสามารถในการอ้างอิงผลการวิจัย (*Generalization*) และพัฒนาเป็นแบบจำลองเชิงพยากรณ์สำหรับการบริหารต้นทุนในงานก่อสร้างต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เขตพื้นที่ อุเทนถวาย ที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานและผู้เกี่ยวข้องในโครงการก่อสร้างที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนและกระบวนการดำเนินงาน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยในครั้งนี้

นี้ สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารต้นทุนและการตัดสินใจ  
เลือกวิธีการผลิตและติดตั้งแผ่นหลังคาเหล็กในโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน รวมทั้งเป็นแนวทาง  
สำหรับการศึกษาวิจัยในประเด็นที่เกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

อภิวัฒน์ เปานิล

พ.ศ. 2569

### เอกสารอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2564). *แนวทางการบริหารต้นทุนงานก่อสร้างโดยใช้เทคโนโลยี BIM และระบบ  
ควบคุมต้นทุนดิจิทัล*. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการและผังเมือง.

กรมอุตสาหกรรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2535). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กแผ่น  
เคลือบโลหะผสมอลูมิเนียม-สังกะสี สำหรับงานทั่วไป* (มอก. 1128-2535). กรุงเทพมหานคร:  
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

दनัย วันทนากร. (2566). *เอกสารการบรรยาย การบริหารโครงการก่อสร้าง*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
ตะวันออก เขตพื้นที่อุเทนถวาย.

ธนากร ศิริวัฒนา. (2566). *การบริหารต้นทุนงานติดตั้งและการผลิตวัสดุก่อสร้างในพื้นที่หน้างาน*. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นฤมล ขาวดี. (2565). *รูปแบบการพัฒนาสมรรถนะของวิศวกรต้นทุนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง*. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ผู้ผลิต COLORBOND. (ม.ป.ป.). *เอกสารข้อมูลผลิตภัณฑ์เหล็กเคลือบสี COLORBOND*. กรุงเทพมหานคร:  
บลูสโคป สตีล (ประเทศไทย).

ภัทรพร พรเทพเกษมสันต์. (2565). *การศึกษาประสิทธิผลการทำงานของกิจกรรมติดตั้งโครงหลังคาเหล็ก*.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมชาย วัฒนกิจ. (2564). *ระบบโครงสร้างเหล็กและงานหลังคาช่วงพาดยาวในอาคารอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ:  
สำนักพิมพ์วิศวกรรม.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *แนวทางการติดตั้งและความปลอดภัย  
งานโครงสร้างชั่วคราวในงานก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2565). *มาตรฐานการติดตั้งนั่งร้านและอุปกรณ์รองรับในงาน  
ก่อสร้าง*. กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

สุภาวดี รัตนมาศ. (2553). *การศึกษาระบบการติดตั้งแผ่นหลังคาโลหะในอาคารอุตสาหกรรม*. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อาทิตย์ ชูเกียรติ. (2564). *การบริหารทรัพยากรและต้นทุนในงานก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรมขนาดใหญ่*.  
กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- Amera, M. (2019). *Conceptual framework for the construction of off-site roof stacking* (Master's thesis). Faculty of Applied Sciences, University of Liège, Belgium.
- AS 2728. (n.d.). *Prepainted and organic film/metal laminate products—Performance requirements for exterior exposure*. Australian Standard.
- BlueScope Steel. (2023). *COLORBOND® and ZINCALUME® Steel Product Data and Performance Guide*. Sydney: BlueScope Steel Limited.
- Chan, D. W. M., & Park, M. (2021). *Project cost control and performance management in construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(4), 04021025.
- Horngren, C. T., Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2018). *Cost Accounting: A Managerial Emphasis (16th ed.)*. Pearson.
- Jarkas, A. M., & Bitar, C. G. (2022). *Determinants of construction labor productivity: An empirical study*. *Construction Management and Economics*, 40(5), 385–399.
- Mohamed Amara. (2019). *Conceptual framework for the construction of off-site roof stacking*. Master's Thesis, University of Liège, Belgium.
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (7th ed.)*. Pennsylvania: PMI.
- Reuben A. Okereke. (2022). *The Role of Construction Cost Management Approaches on the Strategic Performance of Construction Organizations*. Master's Thesis, Federal University of Technology Owerri, Nigeria.
- Stasiak-Betlejewska, R. (2015). *Analysis of construction costs and their importance to the economy*. Master's Thesis, Czestochowa University of Technology, Poland.
- Steel Building Institute. (2022). *Guidelines for Long-Span Metal Roof Construction*. Steel Building Research Series.
- Wang, Y., Li, X., & Zhang, T. (2021). *Optimization of scaffolding and platform installation for on-site steel roof production*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(9), 04021123.
- Wong, P. S. P., & Thomas, S. R. (2021). *Construction site management and cost optimization in on-site production*. *International Journal of Project Management*, 39(2), 102–118.