

IMPROVING THE PROCESS OF INSTALLING AIR CONDITIONING SYSTEMS IN OFFICE BUILDINGS

Pattarapol LIKITTASCHOOWONG^{1*} and Arthit SODE-YOME¹

¹ Faculty of Engineering, Siam University, Thailand; High.a.c.engineering@gmail.com (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 6 October 2025

Revised: 20 October 2025

Published: 3 November 2025

ABSTRACT

The study focused on improving the installation process of the air conditioning system in a two-story office building with a total floor area of approximately 1,650 square meters, which involved installing 32 VRV air conditioning units. The original scheduled duration was 68 days. Analysis of operational data identified three major causes of installation errors: 1) incomplete and unclear Shop Drawings, 2) procurement and storage of equipment not aligning with the job site or master schedule, and 3) installation not adhering to the specified schedule or design. Corrective actions implemented included: 1) training drafting staff and requiring the supervising engineer to cross-check the AC system drawings with the structural and architectural layouts before approval (reducing time by 4 days), 2) creating a procurement plan aligned with the master schedule, organizing equipment storage with clear separation, labeling, and CCTV installation (reducing time by 5 days), 3) daily pre-work briefings for technicians to clarify work order and methods, 4) increasing the installation team from 4 technicians and 4 assistants to 6 technicians and 6 assistants, and 5) streamlining the fine-tuning and performance inspection steps (reducing time by 6 days). As a result of these process improvements, the project's operational duration was successfully reduced by 15 days, representing a 22.06 percent reduction from the original 68-day schedule, and also led to a corresponding 22.06 percent reduction in total operating costs.

Keywords: Process Improvement, Air Conditioning Systems, Office Buildings

CITATION INFORMATION: Likittaschoowong, P., & Sode-Yome, A. (2025). Improving the Process of Installing Air Conditioning Systems in Office Buildings. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(11), 10

การปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน

ภัทรพล ลิขิตทศขวงส์^{1*} และ อาทิตย์ โสตรโยม¹

1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม; High.a.c.engineering@gmail.com (ผู้ประพันธ์บทความ)

บทคัดย่อ

การศึกษาการปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน โดยอาคารกรณีศึกษาเป็นรูปแบบอาคาร 2 ชั้น มีเนื้อที่ใช้สอยรวมทั้งหมดประมาณ 1,650 ตารางเมตร ติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ VRV จำนวนทั้งสิ้น 32 เครื่อง กำหนดการระยะเวลาจำนวน 68 วัน โดยเก็บข้อมูลระหว่างปฏิบัติงานเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหา พบว่าปัญหากระบวนการติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน เกิดจาก 3 สาเหตุใหญ่ ได้แก่ 1) แบบ Shop Drawing ไม่ครบถ้วน ไม่ชัดเจน 2) การจัดซื้ออุปกรณ์และการจัดเก็บอุปกรณ์ไม่ตรงตามหน้างาน/แผนงานหลัก และ 3) การติดตั้งงานระบบปรับอากาศไม่เป็นไปตามวันและเวลาที่กำหนด/ไม่ตรงตามแบบ จึงได้ดำเนินการเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไข ดังนี้ 1) อบรมพนักงานเขียนแบบ และให้วิศวกรควบคุมงานตรวจสอบเทียบแบบงานระบบปรับอากาศกับแบบ Shop Drawing ของโครงสร้างและสถาปัตย์ ก่อนส่งอนุมัติเพื่อให้แบบครบถ้วน (ลดลง 4 วัน) 2) จัดทำแผนจัดซื้อให้สอดคล้องตามแผนงานหลัก จัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นสัดส่วน แยกประเภท, ทำชั้นวาง, ติดป้ายชื่อ, จัดเรียงให้หยิบใช้งานง่าย ติดตั้งกล่องวงจรปิด (ลดลง 5 วัน) 3) จัดอบรมผู้ปฏิบัติงานก่อนเข้างานทุกวัน เพื่อแจ้งลำดับงานและวิธีการที่ชัดเจน 4) เพิ่มจำนวนทีมช่างปฏิบัติงาน จากเดิม ช่าง 4 คน ลูกมือ 4 คน เพิ่มเป็น ช่าง 6 คน ลูกมือ 6 คน และ 5) ลดขั้นตอนปรับแต่งและตรวจสอบสมรรถนะ (Fine Tuning) (ลดลง 6 วัน) จากการดำเนินงานปรับปรุงกระบวนการตามหัวข้อปัญหาต่างๆ เรียบร้อยแล้ว พบว่า ระยะเวลาปฏิบัติงานโครงการลดลง 15 วัน คิดเป็นร้อยละ 22.06 จากกำหนดการโดยรวมทั้งหมด 68 วัน รวมถึงส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานได้ คิดเป็นร้อยละ 22.06 ของค่าปฏิบัติงานทั้งหมด

คำสำคัญ: การปรับปรุงกระบวนการ, ระบบปรับอากาศ, อาคารสำนักงาน

ข้อมูลการอ้างอิง: ภัทรพล ลิขิตทศขวงส์ และ อาทิตย์ โสตรโยม. (2568). การปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(11), 10

บทนำ

งานรับเหมาติดตั้งระบบปรับอากาศ (Heating, Ventilation, and Air Conditioning: HVAC) สำหรับอาคารสำนักงานในปัจจุบัน ได้พัฒนาจากการเป็นเพียงการติดตั้งอุปกรณ์ให้กลายเป็น งานวิศวกรรมการจัดการโครงการ (Engineering Project Management) ที่ซับซ้อนและเน้นประสิทธิภาพสูง ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา งบประมาณ และมาตรฐานพลังงานที่เข้มงวด แนวโน้มหลักในปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่การลดความล่าช้าของโครงการ การควบคุมต้นทุน และการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับกระบวนการทำงาน ความท้าทายในงานรับเหมา HVAC มักเกี่ยวข้องกับประเด็นหลักที่นำไปสู่ความล่าช้าของโครงการและต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ความไม่สมบูรณ์ของแบบแปลนและข้อมูล (Design Deficiency): ปัญหาที่เกิดจากแบบ Shop Drawing ที่ไม่ชัดเจน, ข้อมูลไม่ครบถ้วน, หรือการขาดการประสานงานระหว่างแบบสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และงานระบบ (Clash Detection) ถือเป็นสาเหตุสำคัญของงานซ้ำ (Rework) และความล่าช้าในการอนุมัติ ความล่าช้าเหล่านี้ทำให้ระยะเวลาของโครงการยาวนานขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นและเกิดความขัดแย้งระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Devandran et al., 2025) ซึ่งจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการจัดทำ Shop Drawing Management ที่มีมาตรฐานและมีกระบวนการตรวจสอบเทียบเคียงแบบอย่างเข้มงวด การบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) ความผันผวนของตลาดและการจัดซื้อจัดจ้างวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่สอดคล้องกับแผนงานหลัก (Master Schedule) นำไปสู่ปัญหาการรอคอย (Waste of Waiting) และการจัดการคลังสินค้าที่ไม่เป็นระเบียบ งานรับเหมาในปัจจุบันจึงต้องประยุกต์ใช้หลักการ Lean Construction เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการจัดการวัสดุและอุปกรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ การควบคุมคุณภาพการติดตั้งให้เป็นไปตามมาตรฐานวิศวกรรม (ASHRAE Standard) โดยเฉพาะขั้นตอนสำคัญ เช่น การเชื่อมต่อท่อทองแดงภายใต้การล้างด้วยไนโตรเจนเพื่อลดความชื้น หรือการเดินสายท่อความเย็นที่ผิดพลาด นำไปสู่ปัญหาด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบในระยะยาว การเพิ่มการควบคุมคุณภาพและอบรมช่างปฏิบัติงานก่อนเริ่มงานจึงเป็นมาตรการสำคัญในการลดข้อบกพร่อง

จากบริบทและปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความมุ่งหมายในการศึกษาปัญหาและสาเหตุของข้อผิดพลาดในงานติดตั้งระบบปรับอากาศ รวมถึงเสนอแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการติดตั้งให้สอดคล้องกับหลักวิศวกรรมและมาตรฐานวิชาชีพ เพื่อยกระดับคุณภาพงาน ลดระยะเวลา และลดต้นทุนในกระบวนการติดตั้งงานระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงาน

การทบทวนวรรณกรรม

แนวคิดเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System) เป็นระบบทางวิศวกรรมที่สำคัญซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการควบคุมสภาวะอากาศภายในพื้นที่ใช้งาน โดยการรักษาและปรับปรุงตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ (Temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity), ความสะอาด (Cleanliness) และการไหลเวียนของอากาศ (Air Circulation) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดเพื่อสุขภาวะที่ดีและความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน รวมถึงการรักษาเสถียรภาพของอุปกรณ์และกระบวนการผลิต (Sangchai Group, 2563) องค์ประกอบหลักของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration Cycle) ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบปรับอากาศทั่วไป ประกอบด้วยสี่ส่วนหลัก ได้แก่ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นสถานะไอ, คอนเดนเซอร์ หรือ ชุดควบแน่น (Condensing Unit: CDU) ซึ่งระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นให้ควบแน่นเป็นของเหลว, อุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Device) ซึ่งลดความดันของสารทำความเย็น และ อีวาโปเรเตอร์ หรือ ชุดส่งลมเย็น (Evaporator หรือ Fan Coil Unit: FCU) ซึ่งดูดซับความร้อนจากอากาศในพื้นที่ปรับอากาศทำให้สารทำความเย็นระเหยเป็นไอ (Sangchai Group, 2563; ยุทธนา ศรีผา และคณะ, 2555) การเชื่อมต่อและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์เหล่านี้ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริม เช่น ท่อทองแดงสำหรับส่งสารทำความเย็น, ฉนวนหุ้มเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องการ, และระบบระบายน้ำทิ้งที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำ (Condensate Drain System)

ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จำเป็นต้องดำเนินการตามหลักปฏิบัติทางวิศวกรรมที่ถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2566) เพื่อให้ระบบสามารถส่งมอบสมรรถนะสูงสุดและมีประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) ตามที่ออกแบบไว้ การบริหารจัดการโครงการติดตั้งระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยต้องมีการวางแผนงานอย่างเป็นระบบ รวมถึงการจัดทำตารางเวลา (Schedule) ที่ชัดเจน, การประเมินและจัดสรรทรัพยากร (Resources) เช่น วัสดุ แรงงาน และงบประมาณ, ตลอดจนการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ที่อาจเกิดขึ้น เพื่อควบคุมและป้องกันความล่าช้าของโครงการ (Delay) หรือความซ้ำซ้อนของการทำงาน (Rework) (RVS INTERGROUP, ม.ป.ป.) ความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสำหรับสภาพแวดล้อมที่ควบคุมด้วยระบบปรับอากาศได้นำไปสู่การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และเกิดความต้องการบุคลากรที่มีความสามารถในหลากหลายมิติ ได้แก่ ด้านปฏิบัติการ (Operation), เทคนิค (Technical), และการขาย (Sales) ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการฝึกอบรมเฉพาะทางเพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ และสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครื่องปรับอากาศสมัยใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (ศิลา พัคฆ์มีธรรม, 2564)

แนวคิดวงจรการควบคุมคุณภาพ (PDCA Cycle)

แนวคิดวงจรการควบคุมคุณภาพ (PDCA Cycle) หรือ วงจรเดมมิง (Deming Cycle) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาและทำให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement: CI) สามารถนำไปใช้ได้หลากหลายสาขาอาชีพ ทั้งในองค์กรธุรกิจ การบริหารจัดการ และแม้กระทั่งการดำเนินชีวิตประจำวัน

- การวางแผน (Plan) คือ การวางแผนการดำเนินงาน เพื่อให้เกิด การทำงานที่ได้ผลงาน การปรับปรุงเปลี่ยนแปลง การพัฒนาสิ่งใหม่ การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน
- ปฏิบัติตามแผน (Do) คือ การดำเนินการเพื่อให้ได้ตามแผนที่มีการกำหนดไว้ อาจมีการกำหนดโครงสร้างคณะทำงานรองรับการดำเนินการเช่น คณะกรรมการ ฯลฯ
- ตรวจสอบการปฏิบัติตามแผน (Check) คือ ขั้นตอนที่เริ่มเมื่อมีการดำเนินโครงการ ควรจะต้องทำการประเมินผลการดำเนินงานว่าเป็นไปตามแผนงานที่กำหนดไว้หรือไม่
- ปรับปรุงแก้ไขพัฒนาต่อเนื่อง (Act) คือ การนำผลประเมินที่ได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อพัฒนาแผน ในการปรับปรุงต่อไป ในส่วนนี้ควรจะเสนอแนะปัญหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา หรือการพัฒนาระบบที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นไปอีกไม่มีที่สิ้นสุด

มาตรฐานการออกแบบและติดตั้ง ASHRAE

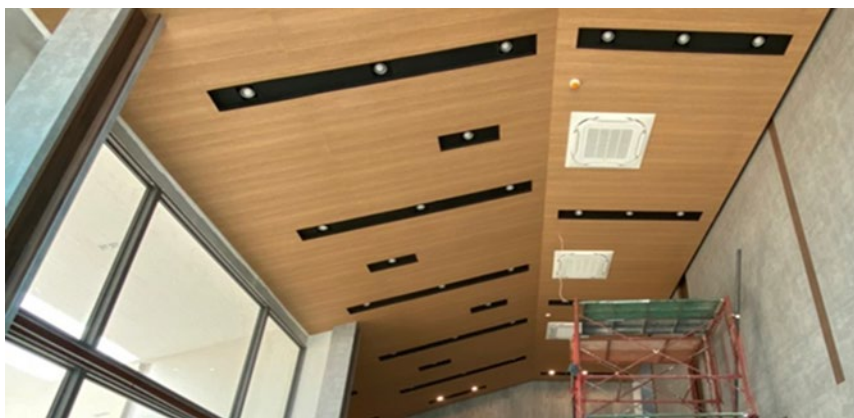
มาตรฐานของ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) เป็นชุดแนวทางปฏิบัติและมาตรฐานทางเทคนิคที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลสำหรับการออกแบบ การติดตั้ง และการปฏิบัติงานของระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ (HVAC) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอาคารสำนักงาน มาตรฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการติดตั้ง คือ ASHRAE Standard 62.1 ที่เน้นเรื่อง คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality-IAQ) โดยกำหนดอัตราการนำเข้าอากาศบริสุทธิ์ (Ventilation) ขั้นต่ำที่จำเป็นต่อผู้ใช้งานเพื่อลดปริมาณสารปนเปื้อน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และมลพิษอื่นๆ นอกจากนี้ ASHRAE Standard 55 ยังเป็นหลักเกณฑ์สำคัญที่กำหนด สภาวะความสบายเชิงความร้อน (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบายที่สุดผ่านการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม มาตรฐานเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นกรอบการทำงานเชิงวิศวกรรมที่ช่วยให้ผู้รับเหมาและผู้ออกแบบมั่นใจว่าระบบ HVAC ที่ติดตั้งจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน และมอบสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดีต่อสุขภาพและเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอาคารสำนักงานสมัยใหม่

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน โดยใช้อาคารสำนักงานแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา เป็นรูปแบบอาคาร 2 ชั้น มีเนื้อที่ใช้สอยรวมทั้งหมดประมาณ 1,650 ตารางเมตร แบ่งพื้นที่ในแต่ละชั้น ได้ดังนี้ ชั้นที่ 1 มีพื้นที่ 1,000 ตารางเมตร ชั้นที่ 2 มีพื้นที่ 650 ตารางเมตร ดังภาพที่ 1



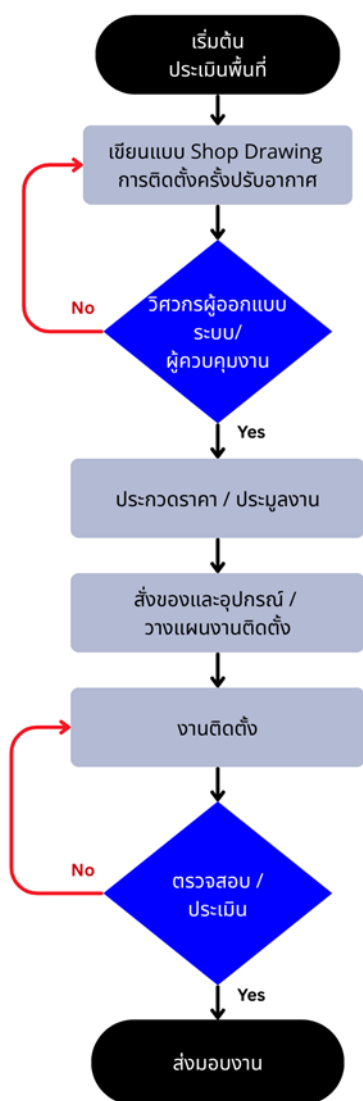
ภาพที่ 1 อาคารสำนักงาน บริษัท วินโดว์ เอเชีย จำกัด (มหาชน)



ภาพที่ 2 การติดตั้งชุดคอยล์ร้อนอาคารสำนักงาน บริษัท วินโดว์ เอเชีย จำกัด (มหาชน)

ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบพื้นที่เพื่อวางแผนการติดตั้งงานระบบปรับอากาศของอาคาร อาคารกรณีศึกษานี้จะมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ จำนวนทั้งสิ้น 32 เครื่อง เป็นระบบปรับอากาศแบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) แบ่งออกเป็น ชั้นที่ 1 จำนวน 18 เครื่อง ชั้นที่ 2 จำนวน 14 เครื่อง ทีมช่างที่ใช้ในการทำงานมีจำนวนทั้งหมด 12 คน

แบ่งออกเป็นช่างที่มีบัตรช่างสาขาช่างไฟฟ้าภายในอาคาร (คร.12¹) จำนวน 4 คน ลูกมือปฏิบัติงานทั่วไป จำนวน 4 คน และมีวิศวกรควบคุมงาน จำนวน 1 คน วางแผนการปฏิบัติงานโครงการติดตั้งงานระบบปรับอากาศของอาคารรวมทั้งสิ้น 68 วัน เก็บข้อมูลระหว่างปฏิบัติงานเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์กระบวนการทำงาน วงจรการควบคุมคุณภาพ (PDCA Cycle) หรือ วงจรเดมมิง (Deming Cycle) เพื่อแก้ไขปัญหาและทำให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตรวจสอบผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาการปฏิบัติงานและงบประมาณ แล้วนำข้อมูลที่ได้ตรวจสอบนั้นเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติงาน และรูปแบบ Flow Chart การปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน



ภาพที่ 3 Flow Chart ขั้นตอนการดำเนินงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน

ผลการวิจัย

จากการประเมินอาคารสำนักงานกรณีศึกษาที่รูปแบบอาคาร 2 ชั้น มีเนื้อที่ใช้สอยรวมทั้งหมดประมาณ 1,650 ตารางเมตร แบ่งพื้นที่ในแต่ละชั้น ได้ดังนี้ ชั้นที่ 1 มีพื้นที่ 1,000 ตารางเมตร ชั้นที่ 2 มีพื้นที่ 650 ตารางเมตร ผู้วิจัยได้ดำเนินการ

¹ บัตรช่าง (คร.12) คือ บัตรประจำตัวผู้ได้รับหนังสือรับรองความรู้ความสามารถ ที่ออกให้โดย กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน แก่ผู้ปฏิบัติงานในสาขาอาชีพที่อาจเป็นอันตรายต่อสาธารณะ

ตามขั้นตอนงานติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำนักงาน พบปัญหาและข้อผิดพลาดในกระบวนการติดตั้งงานระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาและคุณภาพงาน และนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหางานติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำนักงาน

ลำดับ	ปัญหาที่พบ (ก่อนการปรับปรุง)	แนวทางแก้ไข (หลังการปรับปรุง)
1	แบบ Shop Drawing ไม่ครบถ้วน ไม่ชัดเจน อ่านแบบยากเพราะใช้สีจาง, ระบุรายละเอียดไม่ครบ (หมายเลขเครื่อง, ขนาด BTU, ขนาดท่อน้ำยา, ขนาดสายไฟ, ตำแหน่งติดตั้ง) และไม่มี การตรวจสอบร่วมกับแบบงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ก่อนส่งอนุมัติ	อบรมพนักงานเขียนแบบ และให้วิศวกรควบคุมงาน ตรวจสอบเทียบแบบงานระบบปรับอากาศกับแบบ Shop Drawing ของโครงสร้างและสถาปัตย์ ก่อนส่งอนุมัติ เพื่อให้แบบครบถ้วน (ลดลง 4 วัน)
2	การจัดซื้ออุปกรณ์และการจัดเก็บอุปกรณ์ไม่ตรงตามหน้างาน/แผนงานหลัก ไม่มีการเรียงลำดับการใช้งานก่อน-หลัง, จัดเตรียม อุปกรณ์ไม่ครบ, ถอดปริมาณวัสดุผิดพลาด, และ การสื่อสารในองค์กรไม่ชัดเจน	จัดทำ แผนจัดซื้อให้สอดคล้องตามแผนงานหลัก ของโครงการ จัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นสัดส่วน แยกประเภท, ทำชั้นวาง, ติดป้ายชื่อ, จัดเรียงให้หยิบใช้งานง่าย ติดตั้งกล่องวงจรปิด ปิดกั้นพื้นที่เก็บอุปกรณ์ และล็อคประตูทุกครั้ง (ลดลง 10 วัน)
3	การติดตั้งงานระบบปรับอากาศไม่เป็นไปตามวันและเวลาที่กำหนดไม่ตรงตามแบบ เช่น ระยะเวลาท่อ/ตำแหน่งติดตั้งไม่ตรงตามแบบ ไม่เชื่อมต่อทองแดงผ่านไนโตรเจนเพื่อลดเขม่า, ไม่หุ้มฉนวน, ท่อระบายน้ำทิ้งไม่ได้ระดับ, เติมน้ำยาผิดปริมาณ	1) จัดอบรมผู้ปฏิบัติงานก่อนเข้างานทุกวัน เพื่อแจ้งลำดับงานและวิธีการที่ชัดเจน วิศวกรควบคุมงานเตรียมแบบพร้อมอธิบาย วิศวกรควบคุมงานตรวจสอบความถูกต้องของการติดตั้งในแต่ละวัน (ระยะ, ชนิดท่อ, การเชื่อมต่อหน้ายาโดยใช้ไนโตรเจน, เทสแรงดันไนโตรเจนเพื่อทดสอบรอยเชื่อม เพื่อตรวจสอบมาตรฐานการติดตั้ง (ASHRAE Standard 62.1) และติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงาน 2) เพิ่มจำนวนทีมช่างปฏิบัติงาน จากเดิม ช่าง 4 คน ลูกมือ 4 คน เพิ่มเป็น ช่าง 6 คน ลูกมือ 6 คน 3) ลดขั้นตอนปรับแต่งและตรวจสอบสมรรถนะ (Fine Tuning) (ลดลง 8 วัน)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบขั้นตอนงานติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำนักงานก่อน-หลังปรับปรุงกระบวนการ

ลำดับ	ขั้นตอน	คำอธิบาย	จำนวนวันโดยประมาณ	
			ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	สำรวจหน้างาน (Site Survey)	ทีมช่างและลูกมือเข้าตรวจสอบพื้นที่ 1,650 ตร.ม. วัดขนาดห้อง ระบุจุดติดตั้ง Indoor/Outdoor Unit และตำแหน่งเดินท่อและสายไฟ	2 วัน	2 วัน
2	ออกแบบและเขียนแบบระบบ VRV	วางแผนการติดตั้ง VRV, เลือกตำแหน่ง ODU/IDU, เดินท่อทองแดง, ท่อน้ำทิ้ง และระบบไฟฟ้า พร้อมจัดทำแบบ Shop Drawing	7 วัน	3 วัน (-4 วัน)
3	จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	สั่งซื้อเครื่องปรับอากาศ VRV จำนวน 32 เครื่อง, ท่อทองแดง, ฉนวน, สายไฟ, ท่อน้ำทิ้ง และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ	15 วัน	10 วัน (-5 วัน)
4	เตรียมพื้นที่และโครงสร้างรองรับ	ติดตั้งฐานรองรับ Outdoor Unit, แขนง/ยึดโครงหลักสำหรับ Indoor Unit และตรวจสอบโครงสร้างอาคาร	5 วัน	5 วัน
5	ติดตั้ง Outdoor Unit (ODU)	ยกและติดตั้งคอนเดนเซอร์ภายนอกอาคารหรือพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ พร้อมจัดระยะสำหรับระบายความร้อน	2 วัน	2 วัน
6	ติดตั้ง Indoor Unit (IDU)	แขวนและติดตั้งแฟนคอยล์ 32 เครื่อง โดยทีมช่างและลูกมือช่วยกันเพื่อความปลอดภัยและลดเวลา	5 วัน	5 วัน
7	เดินท่อทองแดงและท่อน้ำยา (Refrigerant Piping)	เชื่อมต่อ ODU-IDU เดินท่อหลัก (Header/Branch Selector) ระบบ VRV พร้อมตรวจสอบแนวทางการเดินท่อ	7 วัน	5 วัน (-2 วัน)
8	ติดตั้งท่อน้ำทิ้ง (Drain Pipe)	เดินท่อน้ำทิ้งจาก IDU ทั้ง 32 เครื่องต่อเข้าท่อหลัก ตรวจสอบความลาดเอียงและป้องกันการรั่วซึม	4 วัน	4 วัน
9	ติดตั้งระบบไฟฟ้าและควบคุม	เดินสายไฟฟ้า Power & Control ต่อเข้ากับ ODU, IDU และ Controller, ตรวจสอบสายดินและความปลอดภัย	9 วัน	9 วัน
10	หุ้มฉนวนท่อและเก็บงาน	หุ้มฉนวนท่อทองแดงและท่อน้ำทิ้ง ป้องกันการควบแน่น เก็บสายไฟและงานตกแต่งให้เรียบร้อย	4 วัน	4 วัน
11	ทดสอบระบบ (Testing & Commissioning)	ทำ Vacuum ระบบ, เติมน้ำยาแอร์, ตรวจสอบรั่วและแรงดัน, ทดสอบการทำงานของแต่ละยูนิต	3 วัน	3 วัน
12	ปรับแต่งและตรวจสอบสมรรถนะ (Fine Tuning)	ปรับสมดุลการไหลของลม ตรวจสอบอุณหภูมิแต่ละห้อง , ทดสอบการควบคุมแบบ Remote และระบบอัตโนมัติ	4 วัน	0 วัน (-4 วัน)
13	ส่งมอบงานและอบรมผู้ใช้งาน	ส่งมอบระบบแก่เจ้าของงาน, อบรมการใช้งานและบำรุงรักษาเบื้องต้น, ลงนามรับส่งงาน	1 วัน	1 วัน
ระยะเวลาโครงการรวม			68 วัน	53 วัน

หลังจากแก้ไขปัญหและปรับปรุงกระบวนการตามหัวข้อปัญหาต่างๆ เรียบร้อยแล้ว พบว่า ระยะเวลาปฏิบัติงานโครงการลดลง 15 วัน คิดเป็นร้อยละ 22.06 จากกำหนดการโดยรวมทั้งหมด 68 วัน รวมถึงส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานได้ คิดเป็นร้อยละ 22.06 ของค่าปฏิบัติงานทั้งหมด ลดความเสี่ยงและต้นทุนทางการเงิน (Risk and Cost Reduction) ความล่าช้าในการส่งมอบงานมักนำมาซึ่งบทลงโทษตามสัญญา (Contractual Penalties) และลดต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Costs) ที่ไม่จำเป็น เช่น ค่าใช้จ่ายในการควบคุมงาน ค่าแรงงานรายวัน หรือค่าเช่าอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเป็นผลดีต่อเจ้าของกิจการจากการติดตั้งระบบปรับอากาศเสร็จเร็วกว่ากำหนด ลดความเสี่ยงในการถูกปรับและประหยัดต้นทุน การทำงานที่ล่าช้าจะทำให้บริษัทผู้รับเหมาอาจต้องโดนปรับเงินตามมูลค่าของโครงการ เช่น หากในกรณีของโครงการนี้ มูลค่างานระบบปรับอากาศคือ 3,700,000 บาท และมีค่าปรับ 1% ต่อวัน คิดเป็น 37,000 บาทต่อวัน หากส่งมอบงานไม่ทัน การติดตั้งเสร็จเร็วขึ้น เช่น เร็วขึ้น 15 วัน (จาก 68 วัน เหลือ 53 วัน) ทำให้บริษัทไม่ต้องแบกรับภาระค่าปรับสูง การปิดโครงการเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญสำหรับโครงการก่อสร้างใดๆ คุณภาพของข้อมูลการปิดโครงการ ความตรงต่อเวลาของการก่อสร้าง และการตอบสนองต่อความคาดหวังของเจ้าของโครงการ สามารถส่งผลต่อความสัมพันธ์โดยรวมระหว่างลูกค้าและผู้รับเหมา ความล่าช้าในกระบวนการปิดโครงการอาจส่งผลกระทบต่อผลกำไรของโครงการและความล่าช้าในการเคลื่อนย้ายทรัพยากรไปยังงานถัดไป (Magxaka et al., 2023)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน พบว่า ปัญหากระบวนการติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน เกิดจาก 3 สาเหตุใหญ่ ได้แก่ 1) แบบ Shop Drawing ไม่ครบถ้วน ไม่ชัดเจน 2) การจัดซื้ออุปกรณ์และการจัดเก็บอุปกรณ์ไม่ตรงตามหน้างาน/แผนงานหลัก และ 3) การติดตั้งงานระบบปรับอากาศไม่เป็นไปตามวันและเวลาที่กำหนด/ไม่ตรงตามแบบ จึงได้ดำเนินการเสนอแนวทางปรับปรุงแก้ไข ดังนี้ 1) อบรมพนักงานเขียนแบบ และให้วิศวกรควบคุมงานตรวจสอบเทียบแบบงานระบบปรับอากาศกับแบบ Shop Drawing ของโครงสร้างและสถาปัตย์ ก่อนส่งอนุมัติเพื่อให้แบบครบถ้วน (ลดลง 4 วัน) 2) จัดทำแผนจัดซื้อให้สอดคล้องตามแผนงานหลัก จัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นสัดส่วน แยกประเภท, ทำชั้นวาง, ติดป้ายชื่อ, จัดเรียงให้หยิบใช้งานง่าย ติดตั้งกล่องวงจรปิด (ลดลง 5 วัน) 3) จัดอบรมผู้ปฏิบัติงานก่อนเข้างานทุกวัน เพื่อแจ้งลำดับงานและวิธีการที่ชัดเจน 4) เพิ่มจำนวนทีมช่างปฏิบัติงาน จากเดิม ช่าง 4 คน ลูกมือ 4 คน เพิ่มเป็น ช่าง 6 คน ลูกมือ 6 คน และ 5) ลดขั้นตอนปรับแต่งและตรวจสอบสมรรถนะ (Fine Tuning) (ลดลง 6 วัน) จากการดำเนินงานปรับปรุงกระบวนการตามหัวข้อปัญหาต่างๆ เรียบร้อยแล้ว พบว่า ระยะเวลาปฏิบัติงานโครงการลดลง 15 วัน คิดเป็นร้อยละ 22.06 จากกำหนดการโดยรวมทั้งหมด 68 วัน รวมถึงส่งผลให้สามารถลดลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานได้ คิดเป็นร้อยละ 22.06 ของค่าปฏิบัติงานทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อพิสูจน์ที่ชัดเจนว่าการลงทุนในการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement) โดยเฉพาะการจัดการข้อมูล (Drawing Management) และห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) มีส่วนสำคัญในการควบคุมและลดต้นทุนโครงการก่อสร้างได้จริงตามหลักวิศวกรรมคุณค่า ทำนองเดียวกับงานวิจัยของ พัชรिता เสนียังค์ และคณะ (2568) ที่ได้การศึกษาแนวทางการลดต้นทุนค่าก่อสร้างโครงการจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวโดยวิศวกรรมคุณค่า ที่พบว่าการนำวิศวกรรมคุณค่ามาใช้ควบคุมต้นทุนในด้านต่างๆ ดังนี้ 1) ด้านต้นทุนวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ การคัดเลือกวัสดุที่มีคุณภาพตามมาตรฐานและมีต้นทุนลดลง การบริหารงานจัดซื้อ การใช้วัสดุทดแทน และการลดการสูญเสียเศษวัสดุ 2) ด้านต้นทุนแรงงาน ได้แก่ การสร้างวัฒนธรรมการทำงานเป็นทีม การวางแผนคัดเลือกแรงงาน และกำหนดจำนวนแรงงานให้พอดีกับปริมาณงาน และการนำเทคโนโลยีการก่อสร้างและเทคนิคการบริหารงานสมัยใหม่มาใช้ 3) ด้านต้นทุนดำเนินการ ได้แก่ การลดระยะเวลาก่อสร้าง และการลดต้นทุนด้านคุณภาพโดยการปรับปรุงกระบวนการสั่งซื้อวัสดุ การควบคุมโดยวิศวกรสำนักงานสนาม การปรับเปลี่ยนรายละเอียดของงาน การปรับปรุงกระบวนการสรรหาบุคลากร การทำงานแบบเป็นทีม การร่วมกันวางแผนงานก่อสร้าง การสร้างทักษะของแรงงาน และการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยยัง

พบว่า วิศวกรรมคุณค่ายังสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพหรือประสิทธิภาพการดำเนินงาน และลดเวลาในกระบวนการก่อสร้างได้อีกด้วย ปัญหาด้านห่วงโซ่อุปทานและการจัดการวัสดุ: ความผิดพลาดในการ "จัดซื้ออุปกรณ์และการจัดเก็บอุปกรณ์ไม่ตรงตามหน้างาน/แผนงานหลัก" สะท้อนถึงการจัดการโลจิสติกส์และคลังวัสดุที่ไม่ดีพอ ซึ่งขัดต่อหลักการ Lean Construction (การก่อสร้างแบบลีน) จึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงานตามหลักการ Lean Construction การดำเนินการแก้ไขโดยการ "จัดทำแผนจัดซื้อให้สอดคล้องตามแผนงานหลัก จัดเก็บอุปกรณ์ให้เป็นสัดส่วน และติดตั้งกล่องวงจรปิด" เป็นการลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย การเคลื่อนย้าย และการสูญหายของวัสดุ (Waste of Waiting and Inventory) ซึ่งประสบความสำเร็จในการ ลดระยะเวลาลงได้ 5 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ นัฐกาน นัยนานนท์ (2024) ที่ศึกษาแนวคิดการลดต้นทุน เพิ่มกำไรให้ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ด้วยการบริหารจัดการแบบลีนคอนสตรัคชัน โดยวิเคราะห์จากการนำแนวคิดลีนคอนสตรัคชันมาใช้เป็นกรอบในการวิเคราะห์ ได้แก่ 1) การมุ่งเน้นลูกค้า (Customer focus) 2) ห่วงโซ่อุปทาน (Supply) 3) การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Continuous improvement) 4) การกำจัดของเสียหรือความสูญเปล่า (Waste elimination) 5) การมีส่วนร่วมของผู้คน (People involvement) 6) การวางแผนและการจัดลำดับงาน (Planning and Scheduling) 7) คุณภาพ (Quality) 8) การกำหนดมาตรฐาน (Standardization) และ 9) ความโปร่งใส (Transparency) ซึ่งด้วยลักษณะขั้นตอนการทำงานที่มีความท้าทายเฉพาะตัวของธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ที่สามารถก่อให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานได้ง่ายมากนั้น ลีนคอนสตรัคชันจะช่วยลดต้นทุนโดยการมุ่งเน้นการจัดการทรัพยากรหลักในงานก่อสร้าง 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุ (Material) เวลา (Time) และแรงงาน (Labor) ดังนั้น การนำหลักการบริหารจัดการแบบลีนคอนสตรัคชันมาประยุกต์ใช้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อองค์กร สามารถช่วยลดต้นทุน เพิ่มกำไร และเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันให้แก่ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างได้ ทั้งนี้หาก

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการงานติดตั้งระบบปรับอากาศอาคารสำนักงาน ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- 1) การจัดทำคู่มือปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard Operating Procedure: SOP) ด้านการจัดการแบบ: บริษัทควรจัดทำคู่มือ SOP สำหรับขั้นตอนการจัดทำและตรวจสอบแบบ Shop Drawing โดยกำหนดให้มี Checklist ในการเทียบเคียงแบบงานระบบปรับอากาศกับแบบงานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม (Clash Detection) ก่อนส่งอนุมัติทุกครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลครบถ้วน และสามารถลดความผิดพลาดที่หน้างาน
- 2) การประยุกต์ใช้หลักการ Lean Construction ในการจัดการวัสดุ: ควรพัฒนาระบบการจัดเก็บวัสดุและอุปกรณ์ให้เป็นระบบ 5ส (สะสาง สะดวก สะอาด สุขลักษณะ สร้างนิสัย) อย่างจริงจัง และผสมผสานรวมการทำ Plan-Do-Check-Act (PDCA) ในการจัดทำแผนจัดซื้อให้สอดคล้องกับแผนงานหลัก เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอยและปัญหาคลังสินค้า
- 3) การเพิ่มสมรรถนะบุคลากรอย่างต่อเนื่อง: ควรมีการจัด Job Briefing (การแจ้งงาน) และการอบรมเฉพาะทาง (เช่น เทคนิคการเชื่อมต่อทองแดงด้วยไนโตรเจน) อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ทีมช่างมีทักษะและมาตรฐานการทำงานที่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการลงทุนด้านคุณภาพที่จะช่วยลดความจำเป็นในการแก้ไขงาน (Rework)

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) การวิจัยเชิงเปรียบเทียบในโครงการที่หลากหลาย: ควรทำการวิจัยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการใช้แนวทางปรับปรุงเดียวกันนี้ใน โครงการที่มีขนาดและประเภทของระบบปรับอากาศที่แตกต่างกัน (เช่น ระบบ Chiller หรือ Split Type) เพื่อประเมินความสามารถในการปรับใช้ (Applicability) และความคุ้มค่าของแนวทางแก้ไขในบริบทที่แตกต่างกัน
- 2) การประเมินผลกระทบด้านคุณภาพและพลังงานในระยะยาว: การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่ช่วงการก่อสร้าง ควรมีการศึกษาต่อยอดโดยการ ติดตามประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ (Performance Monitoring) ในช่วง 1-3 ปีแรกหลังการติดตั้ง เพื่อประเมินว่าการลดขั้นตอน Fine Tuning และการเร่งรัดงานมีผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพ

การใช้พลังงาน (Energy Efficiency) และ อัตราการแจ้งซ่อม (Defect Rate) ในระยะยาวหรือไม่ ซึ่งจะเชื่อมโยงกับงานวิจัยด้านการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

3) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุน (Cost-Benefit Analysis) ในการเพิ่มแรงงาน: ควรมีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะเกิดขึ้นเกี่ยวกับการเพิ่มจำนวนทีมช่าง โดยเปรียบเทียบต้นทุนแรงงานที่เพิ่มขึ้นกับมูลค่าของค่าปรับที่ลดลงและมูลค่าที่ได้รับจากโครงการ (Earned Value) เพื่อระบุ Optimum Resource Level (ระดับทรัพยากรที่เหมาะสมที่สุด) ที่ให้ผลตอบแทนสูงสุดต่อบริษัทผู้รับเหมา

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารอาคารในกรณีศึกษา บริษัท วินโดว์ เอเชีย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่างๆ ขอบคุณ คณาจารย์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2566). รายการประกอบแบบ ระบบปรับอากาศและระบายอากาศโครงการจ้างออกแบบอาคารสำนักงานใหญ่ กนอ. (แห่งใหม่). สืบค้นจาก <https://share.google/SM5qWas9PNBjGK8ZV>.
- นัฐกาน นัยนานนท์. (2024). แนวคิดการลดต้นทุน เพิ่มกำไรให้ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ด้วยการบริหารจัดการแบบลีนคอนสตรัคชั่น. นวัตกรรมสหวิทยาการ, 2(1), 8-19.
- พัชรिता เสนียวงศ์, กองกฤษ โตชัยวัฒน์ และ ทัดตพันธ์ วรมงคลพฤกษ์. (2568). การศึกษาแนวทางการลดต้นทุนค่าก่อสร้างโครงการจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวโดยวิศวกรรมคุณค่า. สืบค้นจาก <https://conference.thaince.org/index.php/ncce30/article/view/3344/1543>.
- ยุทธนา ศรีนา, นาดยา เจริญสุข และ เมธาวุฒิ โชติสวัสดิ์. (2555). การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดแผ่นเพลทแบบเชื่อมติดระบายความร้อนด้วยน้ำ. สืบค้นจาก <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2555/25552391441210.pdf>.
- ศิลา พยัคฆ์มีธรรม. (2564). การติดตั้งและการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์. รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. สืบค้นจาก <https://e-research.siam.edu/wp-content/uploads/2021/12/engineering-electrical-engineering-2020-coop-Installation-and-selection-of-inverter-air-conditioners.pdf>.
- Anonymous. (2560). มาตรฐานงานระบบวิศวกรรม HVAC ของ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). สืบค้นจาก <https://gandthailo.blogspot.com/2013/12/hvac-ashrae-american-society-of-heating.html>.
- RVS INTERGROUP. (ม.ป.ป.). ออกแบบระบบปรับอากาศ พร้อมรับเหมาติดตั้ง. สืบค้นจาก <https://rvsintergroup.com/ออกแบบระบบปรับอากาศ/>.
- Sangchai Group. (2563). ส่วนประกอบแอร์ และอุปกรณ์สำคัญในระบบทำความเย็น มีอะไรบ้าง?. สืบค้นจาก <https://www.sangchaigroup.com/refrigeration-cycle-work/>.
- ASHRAE. (2019). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for acceptable indoor air quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

- Devandran, A., Davis, F. J., & Sammanasu Joseph, M. (2025). Perception of contractors and sub-contractors towards the factors causing delays in heating, ventilation and air conditioning (HVAC) construction projects. *Vilakshan-XIMB Journal of Management*, 22(1), 62-78.
- Humphrey, A. (2005). *SWOT Analysis for Management Consulting*. SRI International White Paper.
- Magxaka, M., Gajjar, D., & Lucas, J. (2023), Project close-out process for HVAC mechanical contractors: current practices. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(1), 05022016,
- Németh, B. (2024). Air Velocity Measurements in the Offices of the Faculty of Engineering. *Műszaki Tudományos Közlemények*. 21, 73-79.
- Shingo, S., & Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2025 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).