

การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม: กรณีศึกษา โครงการบ้านพักอาศัยสำเร็จรูป 2 ชั้น

Application of Building Information Modeling (BIM) for Prefabricated Building Construction Design: A Case Study of a Prefabricated Residential Project

รับบทความ	13/02/2568
แก้ไขบทความ	22/04/2568
ยอมรับบทความ	30/04/2568

ธเนศ ฐานทองแท้* อธิวัฒน์ สิ้นศิริ อภัย ชาภิรมย์
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Tanet Thanthongthae, Theerawat Sinsiri, Aphai Chapirom

School of Systems Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

School of Systems Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

m6600747@g.sut.ac.th, sinsiri@g.sut.ac.th, aphai_ch@g.sut.ac.th

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปขั้นตอนการออกแบบก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิมประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือการจัดทำแบบร่าง การพัฒนาแบบร่าง การออกแบบขั้นสุดท้าย และการจัดทำแบบก่อสร้าง ซึ่งอยู่ในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการออกแบบก่อสร้างอาคารที่มีความซับซ้อนได้ การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอาคารที่มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมหรือมีส่วนประกอบย่อยหลายชิ้นที่เรียกว่า "โมดูล" มาประกอบต่อกันเป็นรูปทรงอาคาร การสร้างโมดูลจะทำที่โรงงาน แล้วจึงนำไปประกอบติดตั้งเป็นอาคารที่สถานที่ก่อสร้าง อาคารที่ประกอบเสร็จแล้วเรียกว่า "การก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม" ปัจจุบันเริ่มมีการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการออกแบบอาคารแล้ว งานวิจัยนี้ต้องการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมของโครงการบ้านพักอาศัยสำเร็จรูป 2 ชั้น จากผลการศึกษาและเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้ วิธีการแบบดั้งเดิมกับวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร พบว่า ในการออกแบบด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารไม่ได้เพิ่มหรือลดขั้นตอนใด ๆ เพียงแต่อำนวยความสะดวกในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของโปรแกรมแต่ละตัว โดยสรุป การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมช่วยอำนวยความสะดวกในขั้นตอนการพัฒนาแบบร่างได้จริง รวมถึงช่วยตรวจสอบและลดความผิดพลาดของแบบก่อสร้างอาคารได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม ส่งผลให้ขั้นตอนการออกแบบขั้นสุดท้ายและขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้างสามารถทำได้รวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้อย่างมาก

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร การออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม อาคารโมดูล

Abstract

Typically, the traditional building construction design process consists of 4 stages: preliminary design, schematic design, final design, and construction document preparation, which are in 2D format. This can lead to errors in the design and construction of complex buildings. For prefabricated building construction, this research focuses on buildings with a rectangular box shape or multiple components called "modules." These modules are assembled to form the building's shape. Module fabrication takes place in a factory, and then they are transported and assembled into a building at the construction site. The completed building is referred to as "prefabricated building construction." Currently, Building Information Modeling (BIM) is being applied in the architectural design process. This research aims to apply BIM for the design and construction of prefabricated buildings for a two-story prefabricated housing project. The study and comparison of the traditional method with the BIM method revealed that BIM does not add or reduce any steps in the process; it merely facilitates each step. The extent of this facilitation depends on the capabilities of each software. In conclusion, the application of BIM for the design and construction of prefabricated buildings effectively facilitates the schematic design stage. It also helps to check and reduce errors in the construction documents more effectively than the traditional method. This results in the final design and construction document preparation stages being completed more quickly and accurately, significantly reducing the overall working time.

Keywords: *Building Information Modeling (BIM), prefabricated building construction design, modular*

บทนำ

การออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมในกระบวนการแบบดั้งเดิมมักมีความซับซ้อนสูง ซึ่งพบเจออุปสรรคจากการทำงานจริงโดยตรงในปัจจุบัน ดังนั้น ความไม่ถูกต้องที่ขัดแย้งกันในรายละเอียดของแบบก่อสร้าง ส่วนมากจะพบปัญหาขณะทำการก่อสร้างเสมอ เนื่องจากขั้นตอนการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิม คือการออกแบบในรูปแบบ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อย่าง AutoCAD LT เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในขณะนั้นยังไม่ได้ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารทำให้การกำหนดรายละเอียดของหมวดงานต่าง ๆ เช่น สถาปัตยกรรม โครงสร้าง ระบบไฟฟ้า งานระบบท่อน้ำ และระบบปรับอากาศ มีข้อขัดแย้งและไม่สอดคล้องกันเสมอ ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดพลาดและขั้นตอนการแก้ไขที่ล่าช้า ต้นทุนสูงขึ้น และคุณภาพและมาตรฐานลดลง จากปัญหาที่กล่าวมานั้น เป็นอุปสรรคและปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานจริงในปัจจุบัน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการมองหาเครื่องมือหรือเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีความสามารถสูง รวมถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูง เข้ามาช่วยในขั้นตอนการทำงานในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อนสูง เพื่อแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดที่มีอยู่และเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือ BIM (Building Information Modeling) คือแนวคิดที่พัฒนาโดย ชาร์ลส์ เอ็ม. อีสต์แมน (Charles M. Eastman) จาก Georgia Institute of Technology, USA ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีรากฐานของการพัฒนางานออกแบบอาคารบนคอมพิวเตอร์ เน้นการสร้างชิ้นงานในรูปแบบสามมิติเป็นหลัก และมีกลไกในการควบคุมขนาดและสัดส่วนต่าง ๆ ของวัตถุด้วยระบบพารามิเตอร์ โดยควบคุมการทำงานผ่านมุมมองทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งทำให้เห็นแบบจำลองอาคาร 3 มิติที่เหมือนอาคารจริง จึงส่งผลให้งานออกแบบอาคารและงานก่อสร้างอาคารสอดคล้องกันและมีข้อผิดพลาดลดลง นอกจากนี้ แบบจำลองยังสามารถประมวลผลข้อมูลด้านต่าง ๆ จากแบบจำลอง 3 มิติได้ เช่น การคำนวณถอดปริมาณวัสดุ เพื่อใช้สำหรับการประมาณราคาก่อสร้างได้ด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อทดลองนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการออกแบบ และจัดทำแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม
2. เพื่อทดลองหาปริมาณวัสดุก่อสร้าง โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
3. เพื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานระหว่างการออกแบบดั้งเดิมที่ไม่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ขอบเขตของงานวิจัย

- ตัวอย่างการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โครงสร้างอาคารเป็นโครงสร้างเหล็กประกอบ โดยตัวอย่างของแบบอาคารของงานวิจัยนี้เป็นการจัดทำขึ้นเอง
- ในบางขั้นตอนจะทำการเปรียบเทียบเฉพาะขั้นตอน การจัดทำแบบร่าง และการพัฒนาแบบร่างเท่านั้น
- โครงการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Autodesk Revit เวอร์ชัน 2024.2

ทบทวนวรรณกรรม

การก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างให้คำนิยามการก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม คือ “การก่อสร้างนอกสถานที่ รวมถึงงานทั้งหมดที่แสดงถึงการก่อสร้างนอกสถานที่ในการประกอบส่วนประกอบที่เสร็จสมบูรณ์” หรือการก่อสร้างแบบแยกส่วนประกอบแล้วนำมาประกอบกันภายหลัง (Karthik et al., 2020)

ข้อจำกัดและปัญหาของการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม

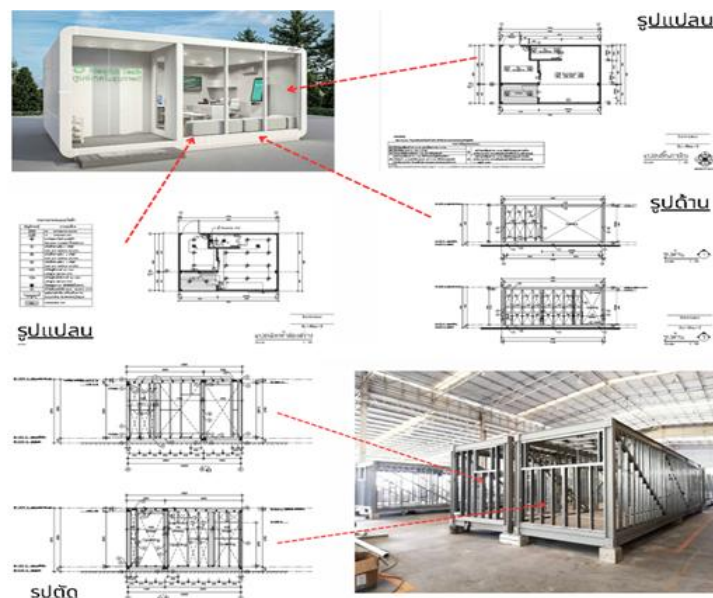
ข้อจำกัดมีดังนี้

- การวางแผนที่ไม่แม่นยำ : ผู้เชี่ยวชาญระบุว่า กระบวนการวางแผนโครงการก่อสร้างแบบแยกส่วนมีความแตกต่างกันประมาณ 37% (Karthik et al., 2020)
- ต้นทุนการจัดตั้งและต้นทุนเนื่องจากความซับซ้อน : แม้ว่าต้นทุนการก่อสร้างจะน้อยกว่าสำหรับการก่อสร้างนอกสถานที่ แต่จะมีต้นทุนการจัดตั้งโรงงานผลิตรวมถึงต้องใช้ซัพพลายเออร์ ผู้รับเหมา นักออกแบบ และวิศวกรที่มีประสบการณ์และความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างสำเร็จรูป รวมถึงผู้เชี่ยวชาญอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก (Karthik et al., 2020)
- การวางแผนที่ไม่ชัดเจนอาจส่งผลให้ต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากความผิดพลาดได้

ปัญหาที่พบในการออกแบบและจัดทำแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม มีดังนี้

- การออกแบบและจัดทำแบบก่อสร้างอาคารแบบดั้งเดิม : ส่วนใหญ่การออกแบบจะเป็นแบบ 2 มิติ ซึ่งมีข้อจำกัดในการระบุรายละเอียดของแบบก่อสร้างที่ซับซ้อน อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการก่อสร้าง เช่น การกำหนดรายละเอียดผิดพลาด หรือความเข้าใจข้อมูลคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะในหมวดงานโครงสร้างและงานระบบที่ต้องการขนาดและตำแหน่งที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง
- การก่อสร้างอาคารที่ไม่ถูกต้องตามแบบ : เนื่องจากการก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมต้องการความแม่นยำสูงในขั้นตอนการประกอบโมดูลอาคาร ซึ่งบางครั้งอาจพบปัญหาการประกอบโมดูลที่ไม่ลงตัว เนื่องจากไม่สามารถคำนึงถึงรายละเอียดทั้งหมดจากการออกแบบในรูปแบบ 2 มิติ ปัญหานี้เป็นอุปสรรคสำคัญที่ท้าทายในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม
- ด้านการขนส่งและเคลื่อนย้าย : การขนส่งและเคลื่อนย้ายโมดูลอาคารขึ้นอยู่กับเส้นทางการขนส่ง ซึ่งในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดทางเส้นทางและขนาดของโมดูลที่ขนส่งได้อย่างเหมาะสม

ประเด็นปัญหาของหัวข้อนี้เป็นตัวอย่างปัญหาที่พบโดยตรงจากการทำงานจริงในปัจจุบันของผู้วิจัย



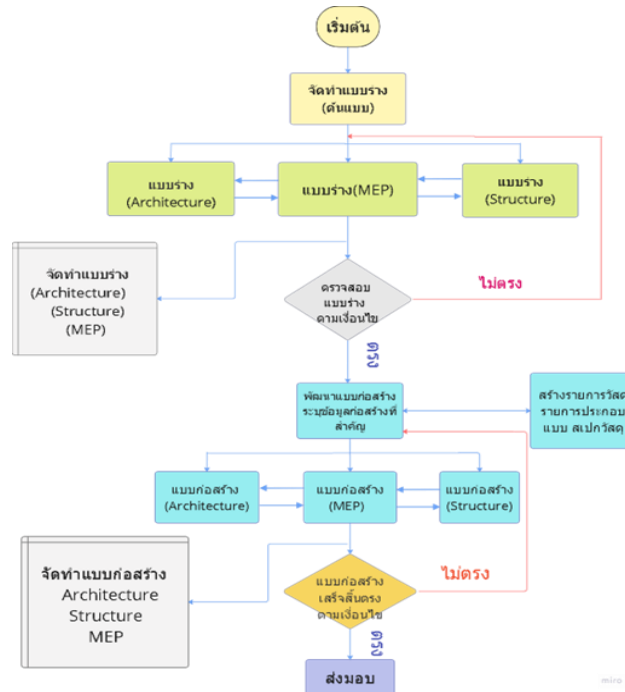
ภาพ 1 แสดงการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิมของการก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมที่ยังไม่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา: ผู้วิจัย

หลักการและกระบวนการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิม

ขั้นตอนการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิมแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

- การจัดทำแบบร่าง : ประกอบด้วยหมวดงานสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และระบบ MEP เป็นต้น
- การพัฒนาแบบร่าง : ประกอบด้วยหมวดงานสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และระบบ MEP เป็นต้น
- การออกแบบขั้นสุดท้าย : ประกอบด้วยหมวดงานสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และระบบ MEP เป็นต้น
- การจัดทำแบบก่อสร้าง : ประกอบด้วยหมวดงานสถาปัตยกรรม โครงสร้าง และระบบ MEP เป็นต้น



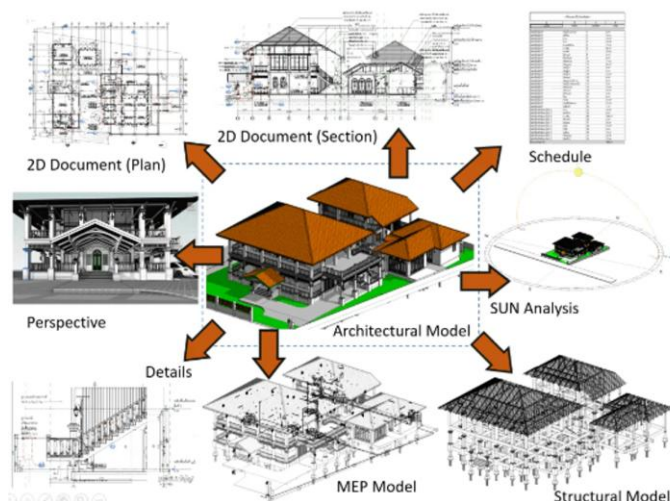
ภาพ 2 แสดงกระบวนการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิม

ที่มา: ผู้วิจัย

หลักการและกระบวนการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

การทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร คือการสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลองนี้ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคาร เช่น เสา คาน พื้น ผนัง หลังคา ประตู หน้าต่าง ซึ่งมีข้อมูลทั้งในรูปแบบ 2 มิติและ 3 มิติ เช่น ขนาด ระยะ สี และวัสดุ รวมทั้งข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก เช่น ข้อมูลผู้ผลิต รุ่น และราคาของวัสดุต่าง ๆ ซึ่งจะเก็บแบบจำลองอาคารพร้อมข้อมูลสารสนเทศทั้งหมดไว้ที่ฐานข้อมูลส่วนกลางของระบบ

แบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถแสดงผลแบบจำลองอาคารในรูปแบบต่าง ๆ ตามการใช้งาน เช่น ในมุมมอง 3 มิติที่สามารถหมุนดูแบบจำลองจากทุกมุมทั้งภายนอกและภายใน และสามารถตัดผ่าแบบจำลองเพื่อดูงานระบบต่าง ๆ ภายในอาคาร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการตรวจสอบความผิดพลาด หรือข้อขัดแย้งในองค์ประกอบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบของตารางรายการข้อมูล เช่น รายการวัสดุ ปริมาณวัสดุ และพื้นที่ใช้สอยจากแบบจำลองได้ (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)



ภาพ 3 แสดงหลักการและกระบวนการทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling) โดย VR Digital Company Limited, (ม.ป.ป.).

(<https://www.vrdigital.co.th/vr/2023/01/01/building-information-modeling-bim/>)

กระบวนการการออกแบบอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

การออกแบบ (Workflow)

สำหรับการทำงาน คณะทำงานสามารถเลือกได้ว่าจะทำงานร่วมกันผ่านแบบจำลองที่เป็นข้อมูลกลางหรือไม่ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขส่วนต่าง ๆ ของข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดจะได้รับการอัปเดตทันที ซึ่งช่วยลดปัญหาหรือป้องกันการเกิดปัญหาการขัดแย้งของข้อมูล (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

การออกแบบและการเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองอาคาร

ประกอบด้วยข้อมูลทั้งในรูปแบบ 3 มิติ, 2 มิติ และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (non-graphic) สำหรับวัตถุต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของอาคาร โดยในแต่ละขั้นตอนของโครงการ ข้อมูลทั้งสองประเภทมีความสำคัญในการทำงานที่แตกต่างกัน (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

- การจัดทำแบบร่าง
- การพัฒนาแบบร่าง
- การออกแบบขั้นสุดท้าย
- การจัดทำแบบก่อสร้าง

การกำหนดช่วงระยะเวลาในการทำงาน

สำหรับโครงการที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ช่วงระยะเวลาในขั้นตอนการจัดทำแบบร่างและแบบก่อสร้างจะให้ทุกฝ่ายร่วมตกลงและแก้ไขข้อขัดแย้งในการออกแบบให้เสร็จ ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้าง แม้ว่าการทำงานในขั้นตอนนี้อาจไม่ช่วยลดระยะเวลาในการทำงานโดยรวม แต่ช่วยอำนวยความสะดวกอย่างมากในขั้นตอนการพัฒนาแบบร่างและการจัดทำแบบก่อสร้าง (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

การจัดเก็บข้อมูล

การจัดเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ โครงสร้างแฟ้มการเก็บข้อมูลและการตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล ซึ่งจะอ้างอิงจากหลักการในเอกสารของ BS 1192: 2007 โดยแบ่งประเภทแฟ้มต่าง ๆ เช่น Work In Progress (WIP), Shared, Published, Archived เป็นต้น

สำหรับ Template มาตรฐาน หัวกระดาษ รายละเอียดแบบ และอื่น ๆ ควรเก็บไว้ที่ Server ส่วนกลางใน Resource Library โดยห้ามเขียนทับ Central Resource Library ควรแยกชื่อโปรแกรมและรุ่นของโปรแกรมนั้นอย่างชัดเจน (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาจากข้อจำกัดของการออกแบบอาคารด้วยวิธีดั้งเดิม โดยศึกษากระบวนการ เครื่องมือ และวิธีการที่เหมาะสมในการใช้เทคโนโลยีนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด กรณีศึกษาเป็นโครงการออกแบบอาคารพักอาศัย 2 ชั้น พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการทำงานแบบดั้งเดิมที่ไม่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยมีกรอบแนวคิดในงานวิจัยดังนี้:-

ขั้นตอนที่ 1 : ศึกษาหลักการ ทฤษฎี กระบวนการ ขั้นตอน และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารไปปฏิบัติ โดยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้:-

- การจัดทำแบบร่าง
- การพัฒนาแบบร่าง
- การออกแบบขั้นสุดท้าย
- การจัดทำแบบก่อสร้าง

ขั้นตอนที่ 2 : กรณีศึกษาโครงการออกแบบอาคารพักอาศัยแบบ 2 ชั้น ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองและการจัดทำแบบก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

- อาคารพักอาศัย 2 ชั้นมีระเบียงคาตฟ้าชั้น 2 ประกอบด้วย 3 โมดูล โดยแต่ละโมดูลมีขนาด 3.00 x 6.00 ม. พื้นที่ใช้สอยต่อโมดูลเท่ากับ 18 ตร.ม. รวมพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร 54 ตร.ม. และพื้นที่คาตฟ้า 18 ตร.ม. รวมพื้นที่ทั้งหมด 72 ตร.ม.
- อาคารก่อสร้างในระบบอุตสาหกรรมของงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างเหล็กประกอบ

ขั้นตอนที่ 3 : การทำรายการถอดปริมาณวัสดุด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

- การถอดปริมาณวัสดุจากแบบจำลองในโครงการวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Autodesk Revit
- การถอดปริมาณวัสดุด้วยวิธีดั้งเดิมใช้วิธีการคำนวณมือ โดยใช้บุคลากรนับจำนวน

ขั้นตอนที่ 4 : เปรียบเทียบข้อแตกต่างของวิธีการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมของวิธีการแบบดั้งเดิมที่ไม่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

- เปรียบเทียบกระบวนการและขั้นตอนของการออกแบบก่อสร้างอาคารที่ใช้วิธีการดั้งเดิมโดยใช้โปรแกรม 2D Drafting คือ AutoCAD เวอร์ชัน LT กับวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
- เปรียบเทียบผลงานการจัดทำแบบก่อสร้างอาคาร
- เปรียบเทียบความแตกต่างของรายการคำนวณถอดปริมาณวัสดุ

ขั้นตอนที่ 5 : วิเคราะห์และสรุปผลโครงการวิจัย

- วิเคราะห์และสรุปผลจากกรณีศึกษาของโครงการวิจัยนี้ ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 รวมถึงสรุปประโยชน์และข้อจำกัด

ผลการศึกษา

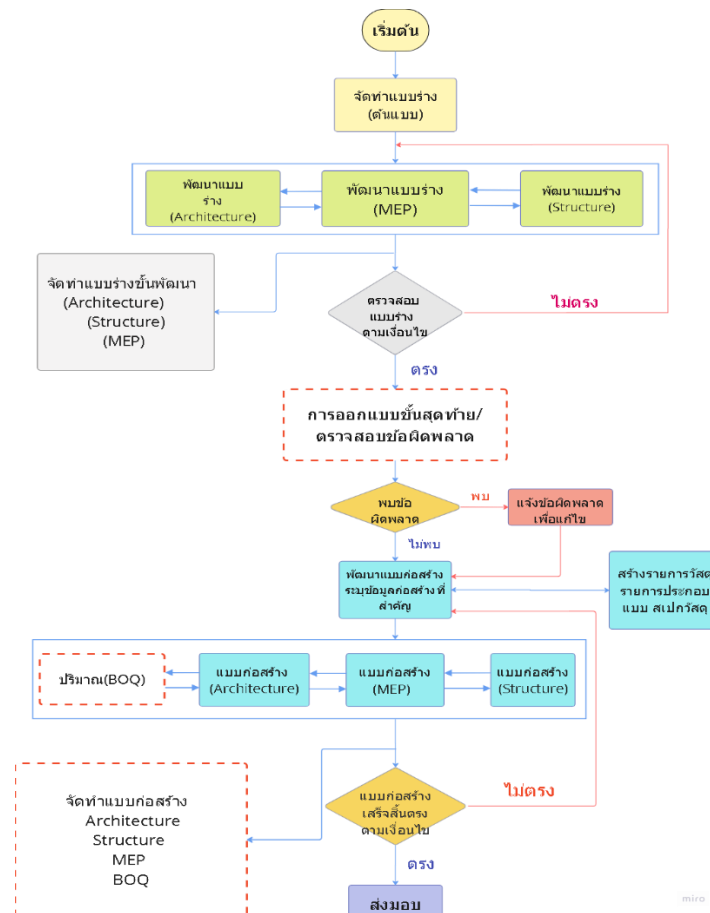
จากผลการศึกษาการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมของอาคารพักอาศัยของโครงการวิจัยนี้ สรุปผลได้ดังนี้:-

กระบวนการออกแบบอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถสรุปเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังนี้:-

- ขั้นตอนที่ 1 : การจัดทำแบบร่างเป็นการออกแบบอาคารเบื้องต้นซึ่งรวมถึงการสร้างและปรับเปลี่ยนรูปแบบต่าง ๆ ของอาคาร
- ขั้นตอนที่ 2 : การพัฒนาแบบร่าง เป็นส่วนสำคัญในการหาข้อผิดพลาดและแก้ไขแบบจำลองให้ถูกต้อง ซึ่งในวิธีการแบบดั้งเดิมจะไม่มีขั้นตอนนี้

- ขั้นตอนที่ 3 : การออกแบบขั้นสุดท้ายเป็นการเตรียมแบบสำหรับขั้นตอนการก่อสร้าง ซึ่งหากขั้นตอน 1 และ 2 ได้ตรวจสอบข้อผิดพลาดแล้ว ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม
- ขั้นตอนที่ 4 : การจัดทำแบบก่อสร้างเป็นการจัดทำแบบก่อสร้างที่เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงรายการปริมาณวัสดุที่ได้มาจากการคำนวณของโปรแกรม Autodesk Revit เวอร์ชัน 2024.2

ขั้นตอนการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ประกอบด้วยหมวดงานสำคัญ ได้แก่ สถาปัตยกรรม โครงสร้าง งานระบบ MEP และรายการคำนวณถอดปริมาณวัสดุ ซึ่งทั้งหมดถูกรวมไว้ในขั้นตอนการออกแบบภายในโปรแกรมเดียวกัน ทำให้การทำงานรวดเร็ว มีความถูกต้อง และสามารถประสานงานระหว่างหมวดงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



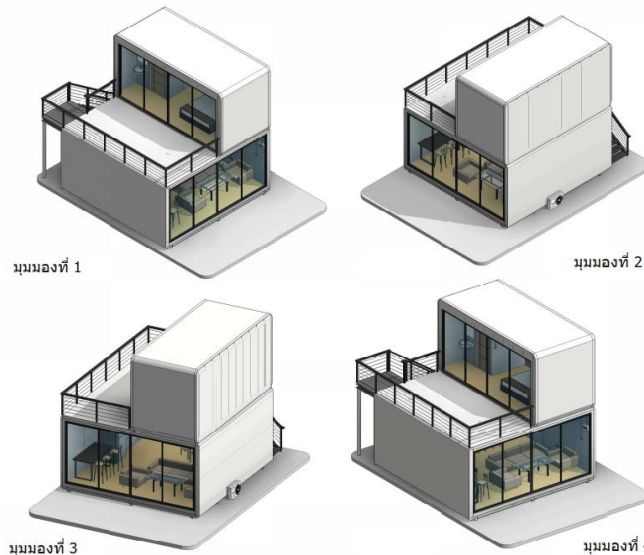
ภาพ 4 แสดงกระบวนการออกแบบอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา: ผู้วิจัย

กรณีศึกษา ในการสร้างแบบจำลองและการจัดทำแบบก่อสร้าง

แบบจำลองที่สร้างโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit

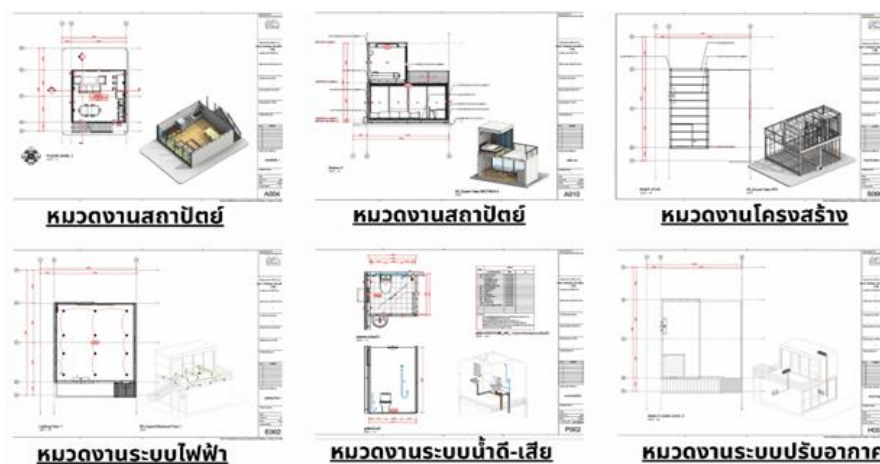
แบบจำลองอาคารในกรณีศึกษาสามารถแสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ ทำให้เห็นภาพเสมือนอาคารจริง รวมถึงระยะ ขนาด และความสูงต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ



ภาพ 5 แสดงแบบจำลอง 3 มิติของอาคารพักอาศัยที่สร้างด้วยโปรแกรม Autodesk Revit
ที่มา: ผู้วิจัย

การจัดทำแบบก่อสร้างโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit

การจัดทำแบบก่อสร้างของนักศึกษาจากข้อมูลของแบบจำลองสามารถนำมาจัดทำแบบก่อสร้างอาคารได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง เนื่องจากการแปลงข้อมูลจากแบบ 3 มิติเป็นแบบ 2 มิติ และการแก้ไขส่วนใดส่วนหนึ่งของแบบจำลองที่เป็นแบบ 3 มิติ จะส่งผลต่อการแก้ไขแบบก่อสร้างที่เป็นแบบ 2 มิติไปด้วย ซึ่งช่วยให้ขั้นตอนการทำงานรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ การเพิ่มการแสดงผลแบบ 3 มิติเข้าไปยังขั้นตอนการทำงาน จะช่วยให้การทำงานในขั้นตอนการก่อสร้างสะดวกขึ้นและลดข้อผิดพลาดได้



ภาพ 6 แสดงการจัดทำแบบก่อสร้างด้วยการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร สร้างด้วยโปรแกรม Autodesk Revit
ที่มา: ผู้วิจัย

กรณีศึกษา การจัดทำรายการถอดปริมาณวัสดุ

เปรียบเทียบและจัดทำรายการถอดปริมาณวัสดุด้วยโปรแกรม Autodesk Revit

จากตาราง 1 แสดงผลการเปรียบเทียบการถอดปริมาณวัสดุระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร พบว่า ผลลัพธ์มีความแตกต่างกันในประเด็นหลัก ได้แก่ ชื่อรายการวัสดุ ปริมาณวัสดุ และหน่วยวัดปริมาณวัสดุ โดยมีรายละเอียดดังนี้:-

ชื่อรายการวัสดุ : การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารจะกำหนดชื่อรายการวัสดุตามชื่อ Family ในโปรแกรม Autodesk Revit ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาษาอังกฤษในขณะที่วิธีดั้งเดิมสามารถกำหนดชื่อรายการวัสดุตามมาตรฐาน หรือข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตามได้

ปริมาณวัสดุ : การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร จะแสดงปริมาณวัสดุเป็นทศนิยมโดยไม่ปิดเศษ เช่น การคำนวณปริมาณฝ้าเพดานหน่วยเป็นตารางเมตร ซึ่งมักมีค่าเป็นทศนิยมและไม่มีการเผื่อปริมาณวัสดุ ในทางตรงกันข้าม วิธีดั้งเดิมสามารถปิดเศษทศนิยมเพื่อให้ตัวเลขลงตัวและเพิ่มปริมาณเผื่อวัสดุได้

หน่วยวัดปริมาณวัสดุ : การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารจะกำหนดหน่วยวัดปริมาณวัสดุโดยโปรแกรม Autodesk Revit ตั้งแต่แรก เช่น การคำนวณรายการวัสดุที่หน่วยเป็นความยาว สามารถเลือกหน่วยเป็นเมตรหรือเซนติเมตรได้ แต่วิธีดั้งเดิมสามารถกำหนดหน่วยวัดปริมาณวัสดุได้ตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติตามได้ เช่น จากตาราง 1 ใช้หน่วยของวัสดุหมวดงานท่อนคือ “ท่อน” เป็นต้น

โดยสรุป ปริมาณวัสดุที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความใกล้เคียงกัน แต่การถอดปริมาณวัสดุด้วยวิธีแบบจำลองสารสนเทศอาคารนั้นสะดวกและรวดเร็วช่วยลดระยะเวลาการทำงานได้มาก อย่างไรก็ตาม การถอดปริมาณวัสดุด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ความถูกต้องของรายการถอดปริมาณวัสดุขึ้นอยู่กับความแม่นยำ ขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างองค์ประกอบของชิ้นส่วนวัสดุต่าง ๆ ของอาคาร รายละเอียด และข้อมูลของชิ้นส่วนของวัสดุนั้นต้องมีความถูกต้องด้วย

ตาราง 1 เปรียบเทียบรายการคำนวณถอดปริมาณวัสดุด้วยวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารกับวิธีดั้งเดิม

รายการปริมาณ BIM			รายการปริมาณดั้งเดิม		
รายละเอียด	หน่วย	ปริมาณ (BIM)	ปริมาณ (BOQ)	หน่วย	รายละเอียด
Doors and Windows			รายการประตู-หน้าต่าง		
W5 Awning Window	Set	1.00	1.00	ชุด	W5 Awning Window 600x600
D1 Sliding Door	Set	2.00	2.00	ชุด	D1 Sliding Door OXXO 5600x2630
D2 Hingh Door	Set	1.00	1.00	ชุด	D2 Hinged Door Open Out 900x2050
Ceilings			รายการฝ้าเพดาน		
C1 Ceiling Gypsum 9 mm.	Sqm.	49.43	18.00	แผ่น	C1 ฝ้าอิปซัมบอร์ดฉาบเรียบทาสี หนา 9 มม.
C2 Ceiling Gypsum 9 mm. Moisture proof	Sqm.	3.35	1.50	แผ่น	C2 ฝ้าอิปซัมบอร์ดฉาบเรียบทาสี หนา 9 มม. กันชื้น
Wall			รายการผนัง		
W1 Wall Gypsum 12 mm.	Sqm.	81.40	29.00	แผ่น	W1 อิปซัมบอร์ดฉาบเรียบทาสี หนา 12 มม.
W2 Wall Ceramic tile 300x300	Sqm.	13.80	14.00	กล่อง	W2 กระเบื้องเซรามิค 12"x12"
Pipe and			รายการระบบท่อน้ำ		
S: Pipe PVC Class 8.5 mm. size100mm.	m.	3.54	1.00	ท่อน	ท่อ PVC 8.5 ชั้น ขนาด 4 นิ้ว
S: Pipe PVC Class 8.5 mm. size 50mm.	m.	6.17	2.00	ท่อน	ท่อ PVC 8.5 ชั้น ขนาด 2 นิ้ว
W: Pipe PVC Class13.5 mm. size 18mm	m.	16.43	5.00	ท่อน	ท่อ PVC 13.5 ชั้น ขนาด 1/2 นิ้ว
Conduit Fittings			รายการระบบไฟฟ้า		
PVC Conduit lighting size 20 mm.	m.	3.54	1.00	ท่อน	ท่อร้อยสายไฟ PVC ขาว 20mm ขาว
PVC Conduit Power size 25 mm.	m.	6.17	2.00	ท่อน	ท่อร้อยสายไฟ PVC ขาว 25mm ขาว

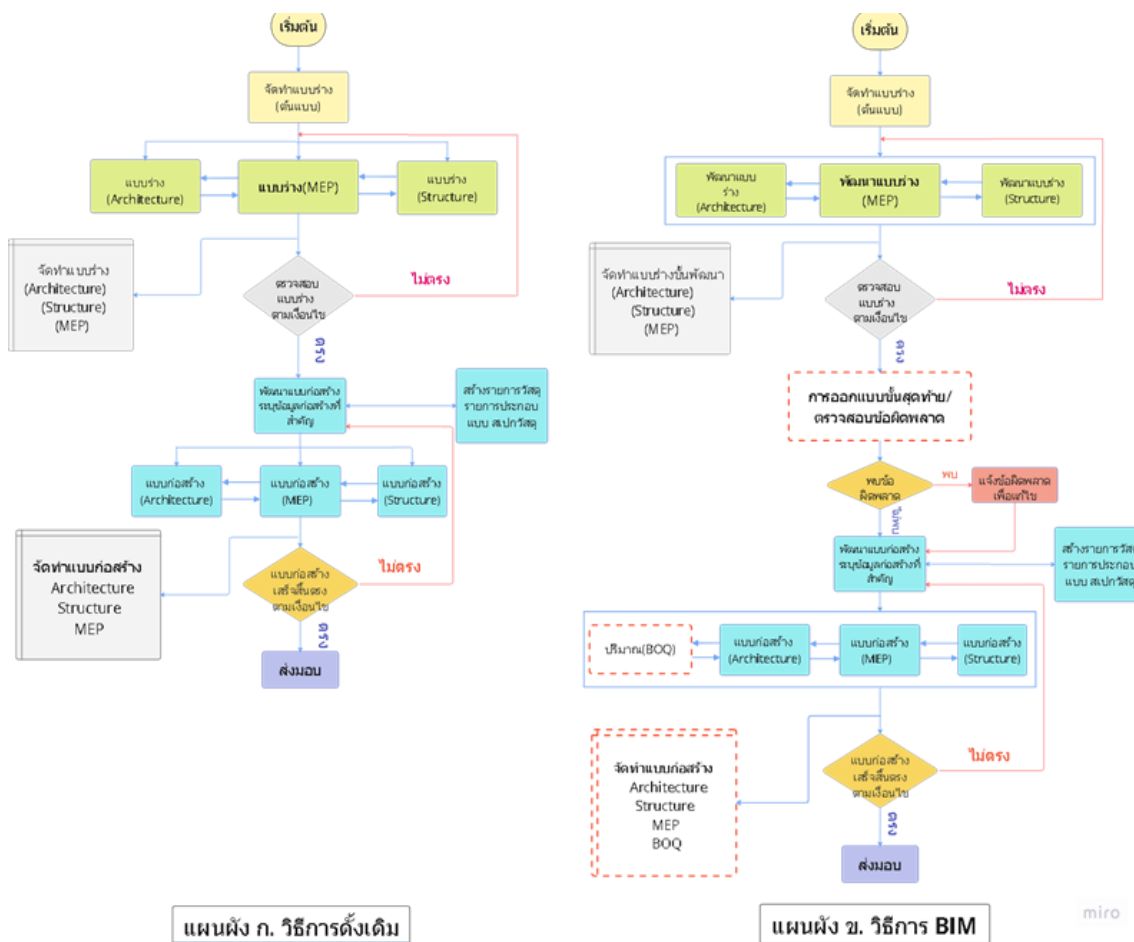
ที่มา: ผู้วิจัย

การเปรียบเทียบข้อแตกต่างของวิธีการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมแบบดั้งเดิมกับวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

เปรียบเทียบขั้นตอนการออกแบบอาคาร

ผลการศึกษาจากกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่า ขั้นตอนการออกแบบอาคารด้วยวิธีดั้งเดิมมี 4 ขั้นตอนหลัก คือ การจัดทำแบบร่าง การพัฒนาแบบร่าง การออกแบบขั้นสุดท้าย และการจัดทำแบบก่อสร้าง ซึ่งเหมือนกับขั้นตอนของการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร จึงสรุปได้ว่า การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาช่วยในการออกแบบไม่ได้เพิ่มหรือลดขั้นตอนใด ๆ เพียงแต่อำนวยความสะดวกในแต่ละขั้นตอน เพียงแต่มากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับ Feature ของโปรแกรมแต่ละตัว

ดังนั้นการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม สรุปได้ว่า การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสารสนเทศอาคารมีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกในขั้นตอนการพัฒนาแบบร่างอย่างชัดเจน โดยเป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบข้อผิดพลาดและแก้ไขแบบจำลองให้ถูกต้อง ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป คือขั้นตอนการออกแบบขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นการเตรียมแบบสำหรับการก่อสร้าง หากมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนนี้และขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้างจะใช้เวลาน้อยลงมาก ดังนั้นขั้นตอนการพัฒนาแบบร่างจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ถือเป็นหัวใจของการทำงาน เนื่องจากความถูกต้องสมบูรณ์ในขั้นตอนนี้จะส่งผลให้ผลลัพธ์โดยรวมมีความถูกต้องด้วย

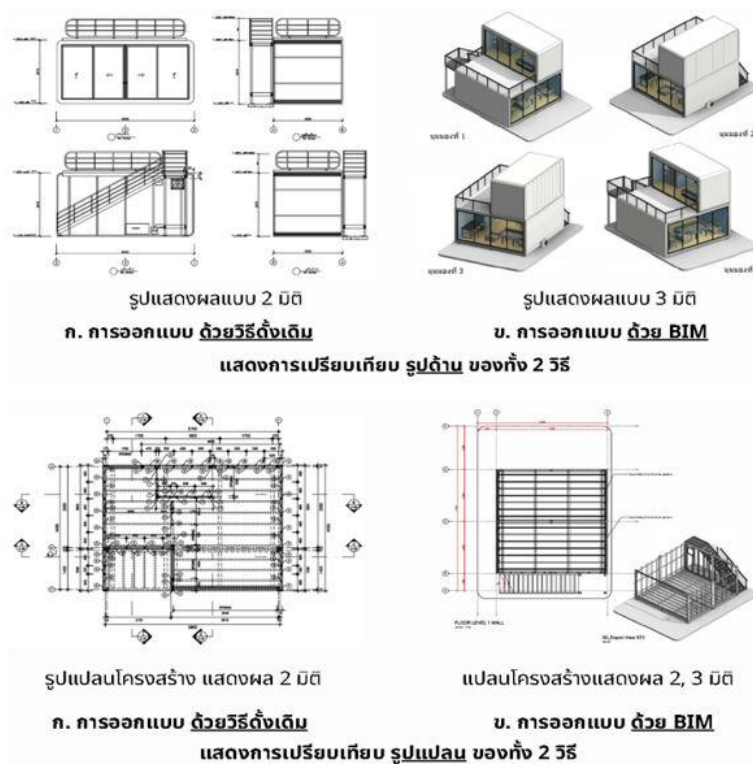


ภาพ 7 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิมกับกระบวนการออกแบบอาคารที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

ที่มา: ผู้วิจัย

เปรียบเทียบขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้างอาคาร

ในการจัดทำแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นมี 4 ขั้นตอน คือ การจัดทำแบบร่าง การพัฒนาแบบร่าง การออกแบบขั้นสุดท้าย และการจัดทำแบบก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรม AutoCAD LT เป็นหลัก จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ พบว่า การจัดทำแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรม โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารด้วยโปรแกรม Autodesk Revit เป็นหลัก สามารถจัดทำแบบก่อสร้างทั้งในรูปแบบ 3 มิติและ 2 มิติได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเมื่อแก้ไขแบบจำลอง 3 มิติ ส่วนที่เกี่ยวข้องในแบบ 2 มิติจะถูกแก้ไขโดยอัตโนมัติทำให้ขั้นตอนการทำงานสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การแสดงผลแบบ 3 มิติในแบบก่อสร้างยังช่วยให้เข้าใจในรายละเอียดของอาคารง่ายขึ้น ส่งผลให้การทำงานในขั้นตอนการก่อสร้างสะดวกและลดข้อผิดพลาดได้ ดังแสดงในภาพ 8 ซึ่งเปรียบเทียบการจัดทำแบบก่อสร้างด้วยวิธีดั้งเดิม และด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สรุปได้ว่า การจัดทำแบบก่อสร้างอาคารด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากกว่า อย่างไรก็ตาม ความสมบูรณ์และถูกต้องของแบบก่อสร้างขึ้นอยู่กับความละเอียดและแม่นยำในการจัดทำแบบร่างและการสร้างแบบจำลองอาคารด้วยจากการศึกษาตัวอย่างในงานวิจัยนี้ พบว่า การจัดทำแบบก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารใช้เวลาประมาณ 7-10 วัน ในขณะที่วิธีดั้งเดิมใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน ทั้งนี้ ระยะเวลาในการทำงานอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ อีกด้วย ซึ่งการเปรียบเทียบปัจจัยเหล่านั้นไม่ได้อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้



ภาพ 8 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีดั้งเดิมกับการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารของรูปด้านและรูปแปลน

ที่มา: ผู้วิจัย

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า ขั้นตอนการออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดทำแบบร่าง การพัฒนาแบบร่าง การออกแบบขั้นสุดท้าย และการจัดทำแบบก่อสร้างในการจัดทำแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถจัดทำแบบก่อสร้างทั้งในรูปแบบ 3 มิติและ 2 มิติได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเมื่อแก้ไขแบบจำลอง 3 มิติ ส่วนที่เกี่ยวข้องในแบบ 2 มิติจะถูกแก้ไขโดยอัตโนมัติทำให้ขั้นตอนการทำงานสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การแสดงผลแบบ 3 มิติในแบบก่อสร้างยังช่วยให้เข้าใจรายละเอียดของอาคารได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้การทำงานในขั้นตอนการก่อสร้างสะดวกและลดข้อผิดพลาดได้

สำหรับผลการเปรียบเทียบการคำนวณถอดปริมาณวัสดุด้วยวิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร พบว่า ผลลัพธ์มีความแตกต่างกันในประเด็นหลัก ได้แก่ ชื่อรายการวัสดุ ปริมาณวัสดุ และหน่วยวัดปริมาณวัสดุ โดยมีรายละเอียดดังนี้ หนึ่ง ชื่อรายการวัสดุจะกำหนดชื่อรายการวัสดุตามชื่อ Family ในโปรแกรม Autodesk Revit ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาษาอังกฤษ สอง ปริมาณวัสดุ วิธีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารจะแสดงปริมาณวัสดุเป็นทศนิยมโดยไม่ปิดเศษ สาม หน่วยวัดปริมาณวัสดุจะกำหนดโดยโปรแกรม Autodesk Revit ตั้งแต่แรก เช่น เมตร เซนติเมตร หรือตารางเมตร เป็นต้น ทั้งนี้ เมื่อทำการถอดปริมาณวัสดุจากโปรแกรมแล้ว จำเป็นต้องนำข้อมูลไปจัดทำตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติเพิ่มเติม

โดยสรุป การใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารช่วยอำนวยความสะดวกในขั้นตอนการพัฒนาแบบร่างอย่างมากทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว ถูกต้อง ลดความผิดพลาดได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม ทั้งนี้ ความถูกต้องของผลงานขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยสรุปได้ว่า การออกแบบก่อสร้างอาคารในระบบอุตสาหกรรมด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารนั้นมีประโยชน์มาก ช่วยแก้ไขข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีดั้งเดิมช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้ ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้อยู่ที่การใช้โปรแกรม Autodesk Revit เวอร์ชัน 2024.2 เป็นหลัก เพียงโปรแกรมเดียว

บรรณานุกรม

- ชวนนท์ โฆษกจิจาเลิศ และวีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์. (2558). *การเปรียบเทียบมาตรฐาน BIM ของต่างประเทศ*. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์..
- นนทวัตร กมลวัชรชัย. (2559). *รูปแบบการนำ BIM ไปปฏิบัติในองค์กรด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chula DigiVerse. <https://digiverse.chula.ac.th/Info/item/dc:41927>
- ภากร ภัทรพรพิสิฐ. (2557). *เครื่องมือประเมินการใช้งานแบบจำลองข้อมูลอาคาร (BIM) สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TU Digital Collections. https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:141380
- รัศรินทร์ โคตรปาลี. (2559). *แนวทางพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารก่อสร้างจริง* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chula DigiVerse. <https://digiverse.chula.ac.th/Info/item/dc:41930>
- VR Digital Company Limited. (ม.ป.ป.). *แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling)*. <https://www.vrdigital.co.th/vr/2023/01/01/building-information-modeling-bim/>
- สมจินตนา แชนงแก้ว, นที สุริยานนท์, วราวิทย์ เอกอินทมาศ, และพงษ์อำมาตย์ แชนงแก้ว (2567). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร 5 มิติ เพื่อปรับปรุงการถอดปริมาณงาน : กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารเรียนรู้อัจฉริยะและปฏิบัติการ 4 ชั้น. *สารศาสตร์*, (1), 103–113.
- สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2558). *คู่มือปฏิบัติวิชาชีพ แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับประเทศไทย (Thailand BIM Guideline) ฉบับปี พ.ศ. 2558*. สมาคม.
- สราวุธ ลีลเดชกุล. (2556). *กรอบสำหรับการพัฒนาการนำ BIM ไปปฏิบัติเชิงกลยุทธ์และการประเมินผลความสำเร็จขององค์การสำหรับเจ้าของโครงการก่อสร้าง* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- Chen, L., Yuan, R., Ji, X., Lu, X., Xiao, J., Tao, J., Kang, X., Li, X., He, Z., Quan, S., & Jiang, L. (2021, April). Modular composite building in urgent emergency engineering projects: A case study of accelerated design and construction of Wuhan Thunder God Mountain/Leishenshan hospital to COVID-19 pandemic. *Automation in Construction*, (124), 103555.
- Karthik, S., Kermanshachi, S., Behzad, R. (2020). *Modular construction vs. traditional construction; Advantages and limitations: A comparative study*. Proceedings of the Creative Construction e- Conference 2020. DOI:10.3311/cc2020-012
- Lu, N., & Korman, T. (2010, May). *Implementation of Building Information Modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges*. Conference: Construction Research Congress 2010. DOI:10.1061/41109(373)114
- The National Building Information Modeling Standard [NBIMS]. (2015). *National BIM Standard - United States® Version 3*. The Institute.