

การประยุกต์ใช้กระบวนการแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับจัดการเมตาดาตา และทรัพยากรกายภาพอาคารเพื่อรองรับฝาแฝดดิจิทัล

Application of Building Information Modeling for Managing Metadata and Facility Management to Support the Digital Twin

พีระพงษ์ แก้วพลสุข^{1,*} และ กำพล ทรัพย์สมบูรณ์²

^{1,2} หน่วยงานวิศวกรรม และการจัดการด้านระบบสาธารณูปโภคเชิงบูรณาการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

² สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศด้านทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

*Corresponding author; E-mail address: Perapongk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการแบบจำลองสารสนเทศอาคารในการบริหารจัดการเมตาดาตาและทรัพยากรกายภาพของอาคาร เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานในหน่วยงานภาครัฐที่มีความซับซ้อนด้านกระบวนการและการจัดเก็บข้อมูล รองรับการทำงานแบบฝาแฝดดิจิทัล โดยประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาที่มหาวิทยาลัยนเรศวร ผลการดำเนินงานปรากฏว่า กระบวนการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลากิจกรรมการทำงาน และจำนวนคน-ชั่วโมงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกระบวนการรวบรวมข้อมูลที่เปลี่ยนเป็นแบบรวมศูนย์ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องสูง ลดความซ้ำซ้อน และเพิ่มความสะดวกในการติดตามตรวจสอบข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ จำนวนคน-ชั่วโมงลดลงร้อยละ 75 สำหรับกิจกรรมการเตรียมการซ่อมบำรุงพื้นที่ และร้อยละ 60 สำหรับการติดตามและจัดการข้อมูลเมตาดาตา ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพจากผู้ใช้งานปรากฏว่า ความถูกต้องของข้อมูลและการลดความซ้ำซ้อนอยู่ในระดับดีมาก ขณะที่การเข้าถึงข้อมูลและการรองรับมุมมองที่หลากหลายอยู่ในระดับดี อย่างไรก็ตาม ผลการดำเนินงานยังมีข้อจำกัดเฉพาะด้าน เช่น แพลตฟอร์ม กลุ่มตัวอย่าง และลักษณะอาคาร ดังนั้น การนำแนวทางนี้ไปใช้ในวงกว้างจำเป็นต้องพิจารณาความพร้อมด้านเทคโนโลยีและศักยภาพของบุคลากรอย่างรอบคอบด้วย ซึ่งอนาคตอาจการบูรณาการร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เซนเซอร์ รวมถึงการพัฒนามาตรฐานเมตาดาตาที่เหมาะสมสำหรับการบริหารจัดการอาคารในภาครัฐ

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, การจัดการทรัพยากรกายภาพ, เมตาดาตา, ฝาแฝดดิจิทัล, ระบบราชการ

Abstract

This study aims to apply Building Information Modeling (BIM) processes for managing metadata and physical facility management to enhance the operational efficiency of public

sector organizations, where workflows and data management are often highly complex. The proposed approach is designed to support the development of Digital Twin systems. A case study conducted at Naresuan University demonstrated that implementing a BIM-based workflow significantly reduced working time, streamlined operational activities, and lowered man-hours. In particular, centralizing data collection improved data accuracy, minimized redundancy, and enhanced the efficiency of data tracking and verification processes. The implementation resulted in a 75% reduction in man-hours for preparatory maintenance activities and a 60% reduction for metadata tracking and management. User evaluations indicated that improvements in data accuracy and redundancy reduction were rated as very good, while data accessibility and support for multiple data views were rated as good. However, the application was subject to specific limitations regarding platform capabilities, the sample group, and building characteristics. Therefore, broader adoption of this approach should carefully consider the technological readiness and competencies of personnel. Future directions include integrating Internet of Things (IoT) and sensor technologies with BIM and developing metadata standards specifically tailored for public sector facility management.

Keywords: BIM, Metadata Management, Facility Management, Digital Twin, Public Sector.

1. คำนำ

ในยุคดิจิทัลปัจจุบัน การบริหารจัดการอาคารหลังการก่อสร้างเผชิญกับความท้าทายหลายประการ โดยเฉพาะในด้านการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อน

และกระจายข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ยากลำบาก ปัญหาในส่วนหนึ่งเกิดจากระบบการตั้งเดิมที่มักพึ่งพาข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบเอกสารและระบบที่แยกส่วนกัน ทำให้การเรียกดูข้อมูลย้อนหลังหรือการตรวจสอบข้อมูลปัจจุบันเป็นไปอย่างล่าช้าและไม่มีประสิทธิภาพ

ข้อมูลสำคัญ เช่น ข้อมูลเมทาเดตาและทรัพยากรกายภาพของอาคาร ไม่ว่าจะเป็นระบบไฟฟ้า ประปา ฟังก์ชัน พื้นที่ใช้สอย ผนัง ฝ้า ประตู หน้าต่าง ตลอดจนถึงครุภัณฑ์ประกอบอาคาร เช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม และไฟฟ้าส่องสว่าง มักไม่ได้รับการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การวางแผนบำรุงรักษาและการตรวจสอบสถานะอาคารทำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ [1, 2] ปัญหาดังกล่าวทำให้การบริหารจัดการอาคารมักเน้นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าหรือดำเนินการที่ต่อเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นเท่านั้น

ปัจจุบันมีคนจำนวนไม่น้อยเริ่มหันมาใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) ทดแทนการทำงานรูปแบบดั้งเดิม แต่เป็นเพียงการทำงานที่เน้นข้อมูลกราฟิกเพียงอย่างเดียว เช่น แบบทางสถาปัตยกรรม การจำลองสภาพแวดล้อมจริง ทำให้การใช้ BIM เป็นไปอย่างไม่มีเต็มรูปแบบ โดยเฉพาะการบริหารจัดการอาคาร ที่ต้องบูรณาการข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจที่แม่นยำและรวดเร็ว [3]

สำหรับการบริหารจัดการอาคารภาครัฐ (ประเทศไทย) ยิ่งที่มีความท้าทายมากขึ้น เนื่องจากต้องดำเนินการภายใต้ระเบียบราชการและข้อกฎหมายที่ซับซ้อน ซึ่งแตกต่างจากอาคารภาคเอกชนที่มักมีความยืดหยุ่นสูงกว่า อีกทั้งการบริหารงบประมาณของหน่วยงานราชการมักต้องสอดคล้องกับรอบปีงบประมาณ ซึ่งมีกรอบเวลาจำกัด ทำให้การวางแผนและการดำเนินงานด้านการบำรุงรักษามักเกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่เร่งรีบ

นอกจากนี้ บุคลากรที่รับผิดชอบงานอาคารในหน่วยงานราชการมักได้รับการงานหลายด้านพร้อมกัน ส่งผลให้การวางแผนและเตรียมกระบวนการซ่อมบำรุงอาคารกลายเป็นงานเร่งด่วนที่อาจขาดความรอบคอบ และมีความเสี่ยงต่อความผิดพลาด ซึ่งอาจนำไปสู่ผลกระทบทางกฎหมายได้ หากมีการดำเนินการที่ผิดพลาดหรือละเลยขั้นตอนตามระเบียบที่กำหนด อีกทั้งยังขาดต้นแบบการพัฒนาที่ชัดเจน ทั้งด้านความรู้เชิงเทคนิค และอุปกรณ์

ด้วยเหตุนี้ การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ BIM เพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนกระบวนการจัดการบำรุงรักษา การบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพ และข้อมูลเมทาเดตาต่าง ๆ ของอาคาร ตามแนวคิดแฝดดิจิทัล (Digital Twin) โดยเน้นการปรับปรุงกระบวนการทำงานด้านการใช้งานและบำรุงรักษาให้สอดคล้องกับแนวคิดแฝดดิจิทัล ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบสถานะของข้อมูลอาคาร ลดขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน และสนับสนุนการบริหารจัดการอาคารในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (ความหมาย หลักการทำงาน และระดับพัฒนา) และเมทาเดตา

มีผู้ให้ความหมาย BIM ไว้มากมาย พอสรุปได้ว่า BIM ย่อจาก Building Information Modeling พื้นฐานเกิดจากคำสองคำ คือคำว่า แบบจำลอง

อาคาร กับคำว่า ข้อมูล ซึ่งนำมารวมกันแล้วหมายถึง กระบวนการแบบจำลองสามมิติที่มีรูปแบบดิจิทัล ตามระดับการพัฒนา (Level of Development - LOD) มีข้อมูลระบุไว้ในแต่ละขั้นส่วนวัตถุ มีระเบียบแบบแผน ตามระดับขั้นข้อมูล (Level of Information - LOI) มุ่งเน้นให้มีความอัจฉริยะสามารถใช้เป็นศูนย์กลาง สำหรับการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ตลอดจนวงจรชีวิตอาคาร โดยครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการเตรียมการ ขั้นตอนการขออนุญาต ออกแบบ วางแผน หาปริมาณงาน ดำเนินการก่อสร้าง จัดการเอกสาร จัดทำฐานข้อมูล จำลองการใช้พลังงาน บริหารจัดการพื้นที่บำรุงรักษา พื้นฟูบูรณะ ถึงการรื้อถอนอาคาร โดยอาศัยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือ [4]

หลักการทำงาน BIM นอกจากอาศัยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือแล้วยังต้องมีแพลตฟอร์มที่เป็นตัวหลักใช้สร้างข้อมูล หรือชิ้นส่วนของแบบจำลองแบบพารามตริก ที่รู้จักกันโดยทั่วไป เช่น Revit®, ArchiCAD®, Bentley® System, Tekla® Structures, Vectorworks® ฯลฯ ซึ่งแต่ละ Platform ก็จะมีหลักการทำงานแตกต่างกันไป

ลักษณะทางเรขาคณิตและข้อมูลที่ติดกับแบบจำลอง ซึ่งหมายถึง เนื้อหา หรือข้อมูล ที่ต้องการระบุในแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ในแต่ละชิ้นส่วนแบบจำลอง ทั้งข้อมูลกราฟิกและไม่กราฟิก มีระดับพัฒนาเป็นตัวแบ่งชั้น แบ่งเป็นห้าระดับ ได้แก่ LOD100, LOD200, LOD300, LOD400, LOD500 (ตามเอกสาร Guide and Instructions to the AIA Digital Practice Documents มีการกล่าวถึง LOD 350 ซึ่งเป็นระดับก่อสร้างเพิ่มขึ้นมาจากมาตรฐานอื่น) [5, 6]

สำหรับความละเอียดของชิ้นข้อมูล สามารถพัฒนาได้ตามต้องการ โดยจำแนกได้เป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ 1) ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ข้อมูลที่สามารถดึงออกมาจากชิ้นส่วนแบบจำลองฯ ได้โดยตรง เช่น พื้นที่ ขนาดและสัดส่วน ปริมาตร จำนวน เป็นต้น และ 2) ข้อมูลเมทาเดตา คือ ข้อมูลเสริมที่บันทึกไปพร้อมกับชิ้นส่วนแบบจำลอง เช่น สถานภาพ ผู้ผลิต รหัสสินค้ามาตรฐาน เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถส่งออกไปใช้เพื่อบริหารจัดการอาคารต่อไป [7, 8]

อย่างไรก็ตาม ในยุคปัจจุบันที่ข้อมูลมีจำนวนมากและหลากหลาย เมทาเดตากลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถ จัดการ วิเคราะห์ และเชื่อมโยงข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] โดยเฉพาะในระบบข้อมูลที่ซับซ้อน เช่น ด้านสารสนเทศอาคาร หรือโครงสร้างพื้นฐานของเมือง

2.2 แนวคิดฝาแฝดดิจิทัล (Digital Twin Concept)

แนวคิดฝาแฝดดิจิทัล เป็นแนวคิดบูรณาการทางไซเบอร์เข้ากับแบบจำลองทางกายภาพ [10-12] เป็นตัวแทนของเป้าหมายสูงสุดที่ไม่อาจจะบรรลุผลได้ (ไม่มีที่สิ้นสุด) [13, 14] เน้นการจัดการและพัฒนาความสามารถในการสื่อสารข้อมูล และความยั่งยืนของระบบอย่างชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพ มีองค์ประกอบ ได้แก่ 1) ส่วนประกอบทางกายภาพ 2) แบบจำลองเสมือนจริง และ 3) ข้อมูลที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน อดีตใช้เทคโนโลยีการบินและอวกาศ [15] ปัจจุบันหลักการได้ใช้ในศาสตร์ต่าง ๆ ล่าสุดถูกนำมาเชื่อมโยงกับแนวคิดเมืองอัจฉริยะ [16] และการบริหารจัดการ

อาคาร โดยบูรณาการร่วมกับแบบจำลองสารสนเทศอาคาร โครงสร้างพื้นฐาน และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.3 กระบวนการจัดการบำรุงรักษา และการบริหารจัดการข้อมูลอาคาร

กระบวนการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาอาคาร โดยเฉพาะในบริบทของอาคารราชการ เช่น อาคารเรียน โรงพยาบาล หรืออาคารสาธารณะอื่น ๆ มักมีลักษณะที่ซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับหลายหน่วยงานที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ผู้ใช้งาน, ผู้จัดการสถานที่, หน่วยงานเจ้าของงาน, ผู้รับเหมา, ฝ่ายบริหารจัดการข้อมูล และผู้จัดการเอกสาร

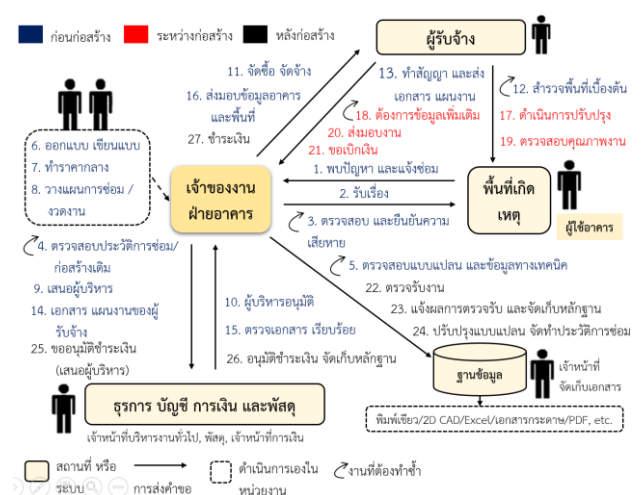
โดยกระบวนการจะเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้งานแจ้งปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ณ พื้นที่หน่วยงาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกรายงานไปยังหน่วยงานเจ้าของงานเพื่อดำเนินการตรวจสอบเบื้องต้น หากได้รับการยืนยันความเสียหาย เจ้าของงานจะดำเนินการจัดทำแผนซ่อมแซม พร้อมจัดทำร่างประมาณการค่าใช้จ่าย โดยอ้างอิงจากราคากลาง หรือสืบข้อมูลจากผู้รับเหมาและร้านค้าที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงส่งเรื่องไปยังผู้รับเหมาเพื่อขอใบเสนอราคาที่ใช้ประกอบการพิจารณา [17]

เมื่อได้รับข้อมูลจากผู้รับเหมา ผู้จัดการสถานที่จะตรวจสอบรายละเอียดก่อนส่งต่อให้หน่วยงานเจ้าของงานพิจารณาอนุมัติ หากได้รับอนุมัติเรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการจัดจ้างผู้รับเหมา โดยอาจใช้วิธีประกวดราคาหรือการจัดจ้างเฉพาะเจาะจง ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดและระเบียบที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงดำเนินการซ่อมแซมพร้อมกับการตรวจสอบสถานะของอาคารทั้งก่อนและหลังดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 1

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการซ่อมแซม ผู้รับเหมาจะจัดส่งรายงานผลการดำเนินงานกลับมายังหน่วยงานเจ้าของงานเพื่อตรวจสอบความเรียบร้อย หากผลการตรวจสอบเป็นไปตามข้อกำหนด เจ้าของงานจะดำเนินการขออนุมัติการชำระเงินผ่านฝ่ายบริหารจัดการข้อมูล (ธุรการ การเงิน และพัสดุ) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมกระบวนการเบิกจ่ายตรวจสอบหลักฐานทางการเงินและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องลงในระบบ

ในขณะเดียวกัน ผู้จัดการเอกสารจะรวบรวม เช่น รายการครุภัณฑ์ แบบแปลนอาคาร หรือประวัติการซ่อมบำรุง จัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลอาคาร (นิยมจัดเก็บทั้งในรูปแบบเอกสาร กระดาษ และรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์) รองรับการใช้งานในอนาคต ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ผู้ที่มีหน้าที่ออกแบบ เขียนแบบ กับผู้ที่มีหน้าที่จัดเป็นข้อมูลที่เป็นทางการ มักจะอยู่ต่างแผนกกัน (มักอยู่ส่วนกลาง) ทำให้ต้องใช้เวลาประสานตามขั้นตอน

อีกทั้ง ข้อมูลเหล่านี้ไม่มีระบบสารสนเทศที่เชื่อมโยงข้อมูลกับตำแหน่งจริงในอาคาร หรือแบบจำลองดิจิทัล ทำให้เกิดความล่าช้าในการเข้าถึงข้อมูล และวิเคราะห์สถานะ ซึ่งบางอย่างอาจต้องประสานข้อมูลกับส่วนกลาง เช่น งานวางแผน การจัดซื้อจัดจ้าง การดูแลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการปรับปรุงอาคารสถานที่ให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์ขององค์กร



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานทั่วไป รูปแบบดั้งเดิม (กรณีศึกษา)

2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร กับการบริหารจัดการข้อมูลอาคาร และทรัพยากรกายภาพอาคาร

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา BIM ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง โดยเฉพาะในมิติของการสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติที่มีความสมจริง ใช้งานง่าย และสามารถใช้ในการจำลองโครงสร้าง การวิเคราะห์พื้นที่ และการนำเสนอแบบแปลน [18, 19] แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการใช้งาน BIM ในทางปฏิบัติยังคงเน้นหนักด้านกราฟิกเป็นหลัก ขณะที่ศักยภาพด้านข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลเมทาดาตา ซึ่งถือเป็นแก่นของการจัดการอาคารในระยะใช้งานจริง กลับยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ [2]

งานของ Liu, et al. (2022) [3] ชี้ให้เห็นว่า การใช้ BIM เพื่อบันทึกข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก เช่น รหัสพัสดุ รายละเอียดผู้ผลิต ประวัติการซ่อมบำรุง และแผนการตรวจสอบอุปกรณ์ สามารถช่วยลดภาระงานของบุคลากรในภาครัฐได้อย่างมาก โดยเฉพาะในบริบทที่ข้อมูลกระจายตัวและต้องประสานงานหลายฝ่าย ขณะที่ Wang, J., et al. (2023) [20] ระบุว่า การเชื่อมโยง BIM เข้ากับระบบ IoT และฐานข้อมูลเมทาดาตา จะช่วยให้สามารถใช้โมเดล BIM เป็นศูนย์กลางข้อมูล สำหรับระบบฝ่าฝืนดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ

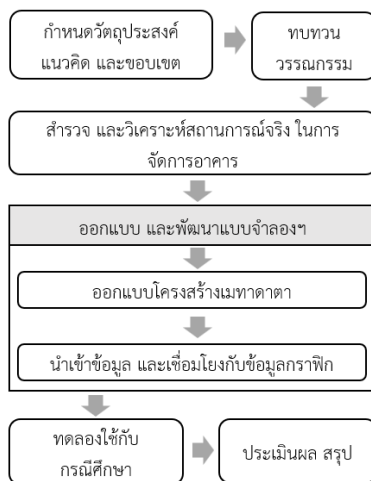
สำหรับประเทศไทย การบริหารจัดการอาคารในหน่วยงานภาครัฐยังคงอิงกับระบบงานแบบดั้งเดิมที่เน้นเอกสาร การดำเนินการที่ซ้ำซ้อน และการพึ่งพากำลังคนเป็นหลัก โดยเฉพาะในกระบวนการจัดเก็บข้อมูล การตรวจสอบอุปกรณ์ และการวางแผนซ่อมบำรุง ซึ่งมักก่อให้เกิดความล่าช้า ความคลาดเคลื่อน และการะงับงานเกินขีดความสามารถของเจ้าหน้าที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด

อย่างไรก็ตาม แม้เทคโนโลยีอย่าง BIM จะมีศักยภาพในการช่วยลดปัญหาเหล่านี้ แต่งานวิจัยจำนวนมากยังชี้ว่า การนำ BIM เข้าสู่ระบบราชการในไทยยังเผชิญข้อจำกัดหลายประการ ทั้งด้านนโยบาย การจัดโครงสร้างข้อมูลที่ไม่เป็นระบบ และความพร้อมของบุคลากรในเชิงเทคนิค และความเข้าใจระบบ [2, 21] ที่สำคัญคือ ยังขาดตัวอย่างระบบต้นแบบที่แสดงให้เห็น

อย่างเป็นรูปธรรมว่า BIM สามารถลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน เช่น การขออนุมัติ การรวบรวมเอกสาร หรือการตรวจสอบสถานะครุภัณฑ์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริงในระดับหน่วยงาน

3. กรอบแนวคิด และระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งประยุกต์ใช้ BIM ในการจัดการเมทาตาตา และทรัพยากรกายภาพ โดยระเบียบวิธีวิจัยดังแสดงในรูปที่ 2 เริ่มจากการสำรวจสถานการณ์การทำงานจริงในงาน Facility Management (FM) จากนั้นออกแบบ และพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ทั้งข้อมูลกราฟิกและไมกราฟิก จากนั้นนำเข้าข้อมูลเมทาตาตาต่าง ๆ พร้อมทั้งเชื่อมโยงกับข้อมูลกราฟิก เพื่อให้เป็นฐานข้อมูลเมทาตาตาอาคาร จากนั้นทดลองประยุกต์ใช้กับการทำงานจริงในกรณีศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแนวทางที่พัฒนาขึ้น ดังนี้



รูปที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย

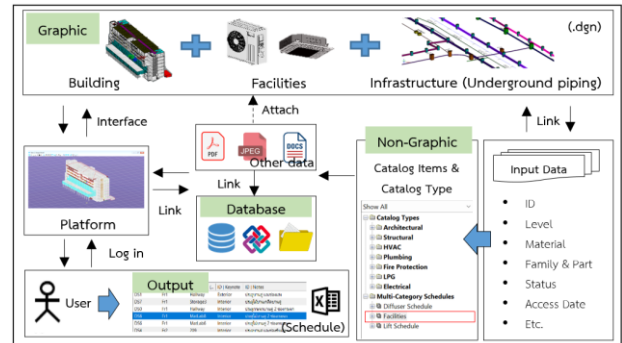
3.1 สำรวจ และวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์การทำงานจริง ในการจัดการอาคาร ของกรณีศึกษา

ศึกษาสถานการณ์การทำงานจริง ที่เกิดขึ้นในระบบการบริหารจัดการอาคาร เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างการบริหาร, บทบาทหน้าที่ของแต่ละฝ่าย, ขั้นตอนและรูปแบบการปฏิบัติงาน และวิเคราะห์ปัญหาความล่าช้าหรือคอขวด (Bottleneck) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ด้วยวิธีสังเกต และสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ปฏิบัติงาน (เฉพาะหน่วยอาคาร) และหัวหน้างาน ได้แก่ กองอาคารและสถานที่ หน่วยอาคาร การเงิน ธุรการ และพัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ (วิศวกร และสถาปนิก) จากกองอาคารและสถานที่ ซึ่งเป็นหน่วยงานกลางของมหาวิทยาลัย

ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลไปพัฒนา BIM ให้ตรงกับความต้องการใช้งานที่มีความเชื่อมโยงกับข้อมูลเมทาตาตาอย่างเป็นระบบ เช่น ความต้องการใช้ (กราฟิกและไมกราฟิก) ข้อมูลที่จำเป็นต้องเชื่อมโยงกัน รวมถึงผลลัพธ์สุดท้ายและการส่งออกไฟล์ เป็นต้น

3.2 ออกแบบ และพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

กระบวนการพัฒนาแบบจำลองสารสนเทศอาคารทำในสองส่วนหลัก ได้แก่ พัฒนาข้อมูลกราฟิกและข้อมูลไมกราฟิก ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยดำเนินการผ่านแพลตฟอร์ม Bentley® Systems ภายใต้ใบอนุญาตของมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ดังนี้

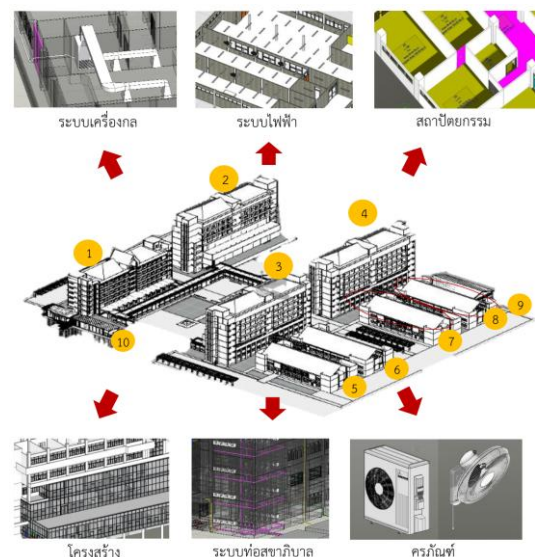


รูปที่ 3 กระบวนการพัฒนา

3.2.1 ข้อมูลกราฟิก

พัฒนาข้อมูลกราฟิกในระดับวัตถุในแต่ละประเภทงาน เช่น งานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรม งานระบบ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยยึดหลัก Work Breakdown Structure (WBS) เช่น เสา คาน พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน เครื่องปรับอากาศ ไฟฟ้าส่องสว่าง ประตู หน้าต่าง ระบบท่อ ฯลฯ โดยอ้างอิงจากแบบแปลนก่อสร้างจริง (.dwg, .dgn, .dxf, PDF, พิมพ์เขียว) ร่วมกับพื้นที่ที่สำรวจ ใช้ระดับพัฒนาที่ 350 ขึ้นไป (ตามความละเอียดของข้อมูลดิบที่สืบค้นได้) โดยวัตถุทั้งหมดเป็นแบบจำลองพารามิเตอร์ที่บรรจุค่าทางเรขาคณิตไว้ภายในวัตถุ

การพัฒนาใช้พิกัดทางภูมิศาสตร์โลก EPSG : 32647 WGS84/UTM Zone 47N ตามพิกัดสิ่งปลูกสร้างจริง เพื่อรองรับการพัฒนาแบบจำลองระบบโครงสร้างพื้นฐานอื่นภายนอกอาคารต่อไป โดยไฟล์งานจะถูกจัดเก็บนามสกุล .dgn ซึ่งเป็นนามสกุลของแพลตฟอร์ม



รูปที่ 4 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

3.2.2 ข้อมูลไม่กราฟิก

พัฒนาข้อมูลไม่กราฟิก ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ ข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลตติยภูมิ ข้อมูลปฐมภูมิ เช่น กำหนด ID เป็นรหัสชิ้นงาน, Family เป็นประเภทงาน, Part เป็นประเภทวัสดุ และ Level เป็นชื่อข้อมูลชิ้นงาน ตำแหน่ง ฯลฯ ตาม Catalog Items และ Catalog Type ที่กำหนด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเชื่อมโยงโดยตรงกับวัตถุสามมิติ หากมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ในแบบจำลอง ข้อมูลเหล่านี้ จะมีการอัปเดตตามโดยอัตโนมัติตามหลักการ BIM ที่เป็นชิ้นส่วนอัจฉริยะแบบพารามตริก สำหรับข้อมูลทุติยภูมิ เช่น รหัสครุภัณฑ์ วันที่ติดตั้ง ประวัติการซ่อมบำรุง และสถานะการใช้งานของอุปกรณ์ ใช้วิธีนำเข้าผ่านตารางแอตทริบิวต์ของวัตถุ ซึ่งจะจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง

ส่วนข้อมูลตติยภูมิ เช่น เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป (.pdf, .docx, .txt, etc.) ภาพถ่าย และอื่น ๆ ใช้วิธีเชื่อมโยงลิงก์กับฐานข้อมูลภายนอก โดยไฟล์ข้อมูลทั้งหมดต้องอยู่ในแฟ้มเดียวกันกับฐานข้อมูลของแบบจำลอง และเมื่อมีการแก้ไขข้อมูลทั้งสองส่วนนี้ (ทุติยภูมิ และตติยภูมิ) สามารถแก้ไขที่ปลายทางได้โดยตรง โดยไม่ต้องแก้ไขข้อมูลกราฟิกแต่อย่างใด ขณะเดียวกันเมื่อมีการแก้ไขข้อมูลกราฟิก ข้อมูลเหล่านี้จะไม่ถูกแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่ทันที แต่จะแสดงเป็นลำดับ (ประวัติ) ชั้นข้อมูลแทน

โดยกระบวนการพัฒนาทั้งหมดมีวัตถุประสงค์เพื่อรวมศูนย์ข้อมูลให้อยู่ในระบบเดียว และเชื่อมโยงข้อมูลในทุกระดับชั้นเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงและจัดการข้อมูลผ่านแพลตฟอร์มหลักเพียงแพลตฟอร์มเดียว โดยยังคงสามารถส่งออกผลลัพธ์ไปยังรูปแบบไฟล์ที่คุ้นเคย เช่น .xlsx ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวเป็นลักษณะออฟไลน์ แต่เมื่อพัฒนาแบบจำลองเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะทำการอัปโหลดข้อมูลทั้งหมดลงระบบคลาวด์ของแพลตฟอร์ม เพื่อให้ใช้งานในระบบออนไลน์ผ่านสมาร์ตโฟนได้

3.3 ทดลองประยุกต์ใช้กรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้ประยุกต์ใช้ BIM จัดการข้อมูลเมทาดาทาที่เกี่ยวข้องกับงานบริหารจัดการอาคาร โดยทดลองใช้ในสองสถานการณ์ ได้แก่

1) เรียกใช้ข้อมูลเพื่อซ่อมบำรุงพื้นที่ที่มีปัญหา ทดลองใช้ BIM เพื่อเรียกดูข้อมูลองค์ประกอบของอาคาร และเมทาดาทา เช่น พื้นที่ใช้สอย จำนวนห้อง ผนัง พื้น ฝ้า ประตู หน้าต่าง ระบบประกอบอาคาร และสถานะการบำรุงรักษา จำนวนสามห้อง พื้นที่ 224 ตารางเมตร เพื่อคำนวณปริมาณงานที่ต้องเพื่อนำไปใช้ประกอบการจัดทำเอกสารสืบราคา เสนอผู้บริหาร จัดหาผู้รับจ้าง และตรวจรับงาน ตามกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างต่อไป



รูปที่ 5 กรณีศึกษาตัวอย่างที่ใช้จำลองสถานการณ์

2) ติดตาม และจัดการสถานะเครื่องปรับอากาศ ทดลองค้นหา ติดตาม และจัดการสถานะเครื่องปรับอากาศ เพื่อเรียกข้อมูลเมทาดาทาที่เกี่ยวข้อง เช่น รหัสครุภัณฑ์ ปีที่ติดตั้ง รุ่นเครื่อง ประวัติการซ่อม และชื่อบริษัทที่รับผิดชอบการดูแล เพื่อนำข้อมูลมาประเมินจัดทำแผนต่อไป จำนวน 484 รายการ จำนวนสิบอาคาร

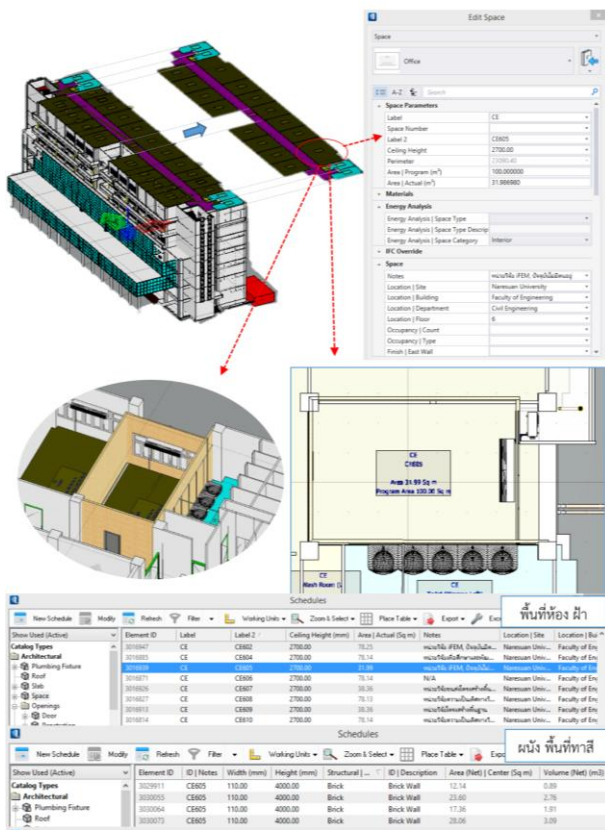
3.4 การประเมินผล

ประเมินผลโดยวิธีสังเกต สอบถาม สัมภาษณ์เชิงลึกก่อนและหลังทดลองใช้ BIM เมื่อเปรียบเทียบกับทำงานรูปแบบดั้งเดิมในอดีตที่ทำอยู่เป็นประจำ ภายใต้ลักษณะงาน และสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยประเมินผล ได้แก่ 1) ด้านปฏิบัติการ (ระยะเวลา, ขั้นตอนการทำงาน, และจำนวนคน - ชั่วโมง) และ 2) ด้านประสิทธิภาพ (กระบวนการ, ความถูกต้อง, การเข้าถึงข้อมูล, ความซ้ำซ้อนของข้อมูล, และความสามารถในการรองรับมุมมองที่หลากหลาย) โดยประเมินจากกลุ่มเป้าหมายที่ทดลองใช้งาน คือ หน่วยงานอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และกองอาคารและสถานที่ ทั้งหมด จำนวนหกคน ประสิทธิภาพทำงาน ณ แผนกปัจจุบันในองค์กร เหลือมากกว่าสิบปี และนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Rating scale ห้าระดับ

4. ผลการวิจัย

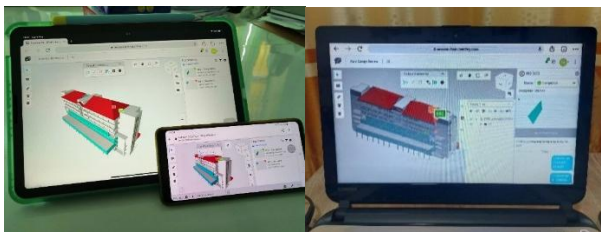
4.1 ผลการทดสอบใช้งาน

จากการทดลองใช้งานจริง แบบจำลองฯสามารถแสดงข้อมูลเมทาดาทา และคำนวณปริมาณงานที่ต้องปรับปรุงได้ เช่น ตำแหน่ง พื้นที่ฝ้าเพดาน พื้นที่ผนัง (ภายนอกและภายใน) พื้นที่กระเบื้อง ประตู หน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยสามารถนำข้อมูลดังกล่าว ไปจัดทำ BOQ และเสนอผู้บริหาร และจัดซื้อ จัดจ้าง ต่อไปได้ตามกระบวนการ



รูปที่ 6 ทดลองใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร ปรับปรุงห้องสำนักงาน

นอกจากนี้ ยังสามารถใช้งานผ่านระบบออนไลน์ผ่านสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตได้ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยสามารถประมวลผลเมทาดาดา สื่อสารโต้ตอบระหว่างสำนักงานกับหน่วยงาน โดยให้ผลลัพธ์ที่ตรงกัน แต่ยังไม่สามารถแก้ไขข้อมูลแบบจำลองได้โดยตรง ยังคงต้องให้ผู้ดูแลแบบจำลองเป็นผู้แก้ไข



รูปที่ 7 การใช้งานออนไลน์ ผ่านสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์พกพา

สำหรับใช้ BIM เพื่อค้นหา ติดตาม ข้อมูลเมทาดาดา (เลขครุภัณฑ์ สถานะของเครื่องปรับอากาศ และประวัติการซ่อมบำรุง) ปรากฏว่าแบบจำลองดังกล่าว มีความสะดวกต่อการค้นหา โดยสามารถระบุพิกัดของอุปกรณ์ได้ทันทีบนแบบจำลองผ่านทางแพลตฟอร์ม ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ เป็นแบบรวมศูนย์และเชื่อมโยงถึงกันหมด เอกสารไม่กระจัดกระจาย และไม่ต้องค้นหาเอกสารแยกต่างหาก โดยข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้วิเคราะห์สภาพการ

ใช้งาน อายุการใช้งาน และความถี่ในการซ่อม เพื่อประกอบการพิจารณาจัดทำแผนจัดซื้อทดแทนตามกระบวนการต่อไปได้

สำหรับการปรับปรุงสถานะของเครื่องเดิมผ่านแอตทริบิวต์ของวัตถุ เช่น เครื่องใดเลิกใช้งาน จะบันทึกว่า “ปลดระวาง” และเพิ่มข้อมูลเครื่องใหม่แทนที่ ซึ่งสามารถทำได้ และสะดวก โดยเฉพาะการติดตามสถานะครุภัณฑ์ และจัดทำแผนล้างเครื่องปรับอากาศ

ID Type	ID Item	ID Name (Alt...)	ID Description	ID Keynote	ID Notes	ID Asset Tag
Fan	Fr1	R-115-B	Ceiling	Interior	พัดลมใบพัดแบบเดิม	7110-048-62
Fan	Fr1	R-115-A	Ceiling	Interior	พัดลมใบพัดแบบเดิม	7110-048-61
Air Conditioner	Fr1	R-113	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศ แบบติด...	4120-001-10
Air Conditioner	Fr1	R-113	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศ แบบติด...	4120-001-10
Air condition...	Fr1	R-106	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง	
Air conditio...	Fr1	L-108	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง	
Air conditio...	Fr1	L-108	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง	
Air Conditi...	Fr1	R-113	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศ แบบติดผนัง	412
Air Conditi...	Fr1	R-113	Wall	Interior	เครื่องปรับอากาศ แบบติดผนัง	412
Fan	Fr1	R-115-B	Ceiling	Interior	พัดลมใบพัดแบบเดิม	711
Fan	Fr1	R-115-A	Ceiling	Interior	พัดลม	Non- Graphic
Fan	Fr1	R-102	Ceiling	Interior	พัดลม	
Fan	Fr1	R-109	Ceiling	Interior	พัดลมใบพัดแบบเดิม	

รูปที่ 8 Metadata Schedule Output

4.2 ผลการประเมินผล

4.2.1 ผลการประเมินด้านปฏิบัติการ

ผลการประเมินเชิงปฏิบัติการ เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้ BIM ด้านระยะเวลา ขั้นตอนหรือกิจกรรมการทำงาน และจำนวนคน – ชั่วโมง ที่ได้จากการสังเกต สอบถาม และสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้อง จำนวนหกคนที่ทดลองใช้ในสองสถานการณ์ ดังนี้

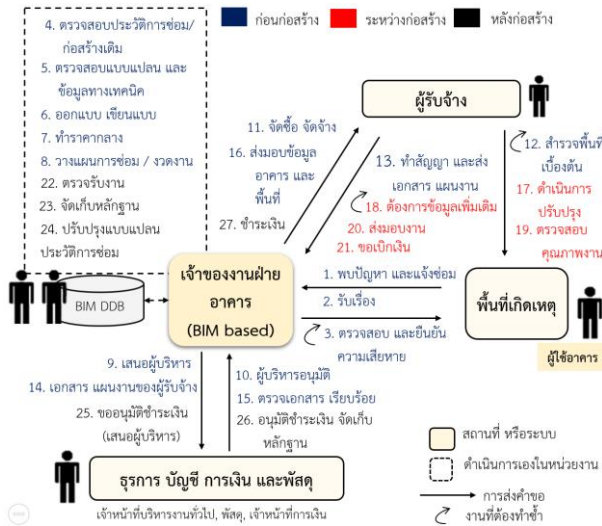
1) สถานการณ์การเรียกใช้ข้อมูลเพื่อซ่อมบำรุงพื้นที่ที่มีปัญหา ปรากฏว่า ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูลลดลงจากเดิมเฉลี่ย 2 วัน เหลือ 1 วัน, ขั้นตอนการทำงาน ได้แก่ ค้นหา ประมวลผล และจัดทำเอกสารยังคงมีขั้นตอนหลักแบบเดิม แต่ลดการประสานงานระหว่างบุคลากรลงได้ 5 กิจกรรม ดังแสดงในรูปที่ 9 (เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานรูปแบบดั้งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1) แต่ยังคงไว้ซึ่งแนวปฏิบัติตามระเบียบราชการ คือ 27 กิจกรรมเท่าเดิม

จำนวนคนที่ใช้ (เฉพาะกิจกรรมค้นหา ประมวลผล และจัดทำเอกสาร ไม่เกี่ยวกับงานธุรการ บัญชี การเงิน และพัสดุ) เดิมใช้ 2 คน ลดลงเหลือ 1 คน คิดเป็นจำนวนคน-ชั่วโมง (ใช้ 8 ชั่วโมงต่อวัน) เดิมใช้ 32 คน-ชั่วโมง ลดลงเหลือ 8 คน-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 75

2) สถานการณ์การติดตามและจัดการสถานะเครื่องปรับอากาศ: การทดลองค้นหาและจัดการข้อมูลเครื่องปรับอากาศในสปีดอาคาร โดยเชื่อมโยง

ข้อมูลรหัสครุภัณฑ์ ปีที่ติดตั้ง รุ่นเครื่อง และประวัติการซ่อม ปรากฏว่า ความรวดเร็วในการจัดการเมทาตาเฉลี่ย 2 นาทีต่อรายการ คิดเป็น 16.13 คน-ชั่วโมง จากเดิมที่ใช้เวลาประมาณ 5 นาทีต่อรายการ หรือ 40.33 คน-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 60 ต่อทั้งโครงการ

อีกทั้ง ยังสามารถการบันทึกข้อมูลใหม่ได้ทันทีจากระบบ BIM โดยไม่ต้องหาข้อมูลในรูปแบบกระดาษ และสามารถแสดงข้อมูลล่าสุดบนสมาร์ตโฟนได้แบบ Real-time



รูปที่ 9 กระบวนการทำงานรูปแบบ BIM

4.2.2 ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพ

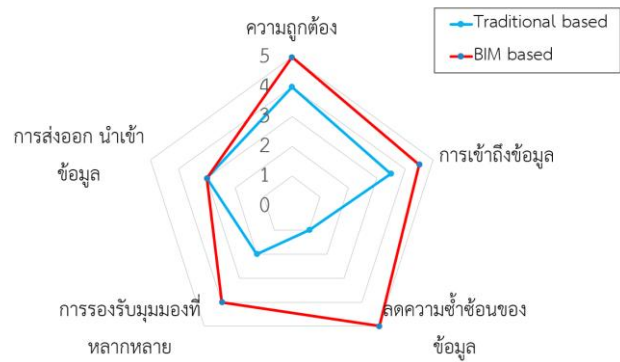
จากการสอบถามและสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มผู้ทดลองใช้งานจำนวนหกคน ซึ่งมีความรู้พื้นฐาน BIM ระดับพอใช้ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 10 ปรากฏว่า ข้อมูลเมทาตาที่ประมวลผลได้ ด้านความถูกต้อง และด้านลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลอยู่ระดับดีมาก, ด้านการรองรับมุมมองที่หลากหลาย และการเข้าถึงข้อมูลอยู่ระดับดี

ทั้งนี้ โดยให้เหตุผลว่า เนื่องจากข้อมูลเป็นแบบรวมศูนย์ (ทั้งกราฟิกและโมเดล) ทำให้มีความถูกต้องสูงและไม่ซ้ำซ้อน การเข้าถึงข้อมูลมีความสะดวก สามารถเข้าถึงข้อมูลชั้นปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และตติยภูมิได้ง่าย ไม่ว่าจะผ่านเข้าผ่านข้อมูลกราฟิกหรือไม่กราฟิกก็ตาม ซึ่งช่วยลดระยะเวลาและปริมาณการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีคามยุ่งยากเล็กน้อย ที่ต้องรอเปิดแพลตฟอร์มทุกครั้งที่ใช้งาน ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพคอมพิวเตอร์ด้วย

สำหรับด้านการส่งออกข้อมูลอยู่ระดับปานกลาง สามารถส่งออกข้อมูลผลลัพธ์ไปยังรูปแบบเอกสารอื่นที่คุ้นเคยได้ง่าย เช่น MS Excel แต่ยังมีคามยุ่งยากเล็กน้อย เนื่องจากยังไม่มีความยืดหยุ่นมากนัก และต้องตั้งค่าเอกสารทุกครั้งก่อนส่งออก ซึ่งในขณะที่การทำงานแบบดั้งเดิมไม่ต้องมีการตั้งค่าใด ๆ

ทั้งนี้สำหรับผลการประเมินด้านประสิทธิภาพของการทำงานรูปแบบดั้งเดิม ด้านความถูกต้องอยู่ระดับดี, ด้านการเข้าถึงข้อมูลอยู่ระดับปานกลาง

ถึงดี, ด้านการส่งออก นำเข้าข้อมูลอยู่ระดับปานกลาง, ด้านการรองรับมุมมองที่หลากหลาย และด้านลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล อยู่ระดับพอใช้ และแย่ ตามลำดับ



รูปที่ 10 ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพการทำงานรูปแบบดั้งเดิมและ BIM

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศอาคารร่วมกับข้อมูลเมทาตา เพื่อพัฒนาระบบการบริหารจัดการและซ่อมบำรุงอาคารในหน่วยงานภาครัฐ โดยเฉพาะในระบบราชการที่มีความซับซ้อนและต้องใช้เอกสารจำนวนมาก

กรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่า การนำ BIM มาใช้ช่วยลดระยะเวลา ลดกิจกรรม ลดคน-ชั่วโมง เพิ่มความถูกต้องของข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกระบวนการรวบรวมข้อมูลที่เป็นแบบรวมศูนย์ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้อง ช่วยลดความซ้ำซ้อน และทำให้การติดตามตรวจสอบข้อมูลมีสะดวกมากขึ้น ทำให้ลดจำนวนคน-ชั่วโมง ลงได้ร้อยละ 75 สำหรับกิจกรรมการเตรียมการซ่อมบำรุงพื้นที่ และร้อยละ 60 สำหรับการติดตามและจัดการข้อมูลเมทาตา อีกทั้งยังรองรับการใช้งานผ่านสมาร์ตโฟน เสริมสร้างความคล่องตัว และวางรากฐานสำคัญต่อการพัฒนาไปสู่ระบบแพลตฟอร์มดิจิทัลในบริบทของภาครัฐราชการไทย

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ดำเนินการในบริบทเฉพาะ ทั้งด้านคอมพิวเตอร์แพลตฟอร์มที่ใช้ กลุ่มตัวอย่าง ประเภทงาน และลักษณะอาคาร จึงควรพิจารณาข้อจำกัดเหล่านี้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะปัจจัยด้านพื้นฐานความรู้ในการใช้งานแพลตฟอร์ม BIM ของผู้ใช้งาน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานอย่างมาก สำหรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ควรบูรณาการระบบ Internet of Things (IoT), Sensor เข้ากับ BIM เพื่อสนับสนุนการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายด้านการซ่อมบำรุง การพัฒนามาตรฐานเมทาตาที่เหมาะสมกับบริบทของภาครัฐไทย และการส่งเสริมพัฒนาศักยภาพบุคลากรเชิงลึกเกี่ยวกับการใช้ BIM ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองอาคารและสถานที่ มหาวิทยาลัยนเรศวร และหน่วยอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอาคารรวมถึงให้ความร่วมมือในการทดลองใช้งานแบบจำลองฯ

ภาคสนาม ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาและผลการวิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ สถานที่และอุปกรณ์การวิจัย ซึ่งมีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนการศึกษาค้นคว้าให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chuck Eastman, R.S., Ghang Lee, Paul Teicholz. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] Volk, R., J. Stengel, and F. Schultmann. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, pp. 109-127.
- [3] Liu, Y., Zhang, H., & Li, X. (2022). BIM and Digital Twin for Smart Building Management: A Comprehensive Review. *Automation in Construction*, 134, pp. 104120.
- [4] Kaewpoonsuk, P. and Subsomboon, K. (2024). Urban Information Modeling for Smart Cities: Advancing Sustainable Infrastructure and Environmental Management in Digital Twin Applications. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences (PJLSS)*, 2024, 22(2), pp. 7245-7263.
- [5] T. A. Sirakova. (2018). *Urban Planning: from GIS and BIM straight to CIM. Practical application in the urban area of Porto*. Master Degree of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto.
- [6] ขวณนท์ โฆษกิจจาเลิศ และ วีรภัทร ไตรทิพเทวินทร์. (ม.ป.ป.). *การศึกษาเปรียบเทียบมาตรฐาน BIM ของต่างประเทศ*. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [7] Anne J. Gilliland, T.G., Mary S. Woodley, and Maureen Whalen. (2008). *Introduction to Metadata*. 2008, Getty Center, Los Angeles.
- [8] Kang, T.-W. and H.-S. Choi. (2015). BIM perspective definition metadata for interworking facility management data. *Advanced Engineering Informatics*, 29(4), pp. 958-970.
- [9] Laney. (2001). *3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety*. Meta Group Research Note, 6.
- [10] Qi, Q. and F. Tao. (2018). Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*, 6, pp. 3585-3593.
- [11] Tomko, M. and S. Winter. (2018). Beyond digital twins – A commentary. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), pp. 395-399.
- [12] Haag, S. and R. Anderl. (2018). Digital twin – Proof of concept. *Manufacturing Letters*, 15, pp. 64-66.
- [13] Howell, S., et al. (2017). Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, pp. 193-214.
- [14] Schluse, M., et al. (2018). Experimentable Digital Twins—Streamlining Simulation-Based Systems Engineering for Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(4), pp. 1722-1731.
- [15] Grieves, M. (2015). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Digital Twin White Paper.
- [16] Shaun Howell and Yacine Rezgui (2018). *Beyond BIM: Knowledge management for a smarter built*. Environment: BRE Electronic Publications, in IHS Markit.
- [17] ระเบียบกระทรวงการคลัง ว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. ๒๕๖๐, เล่ม ๑๓๔ ตอนพิเศษ ๒๑๐ ง ราชกิจจานุเบกษา, ประกาศ ณ วันที่ ๒๓ สิงหาคม ๒๕๖๐.
- [18] Eastman, C.T., P.; Sacks, R. Liston, K. (2011). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors (2nd ed.)*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [19] Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375.
- [20] Wang, J., Zhao, Z., & Xu, Y. (2023). Digital Twin-Driven BIM Platform for Real-Time Building Maintenance and Management. *Journal of Building Engineering*, 69, pp. 106777.
- [21] ISO 19650-1. (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. *International Organization for Standardization (ISO)*.