

SAC-01-053

ปัจจัยที่มีผลต่อการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในประเทศไทย

Factors Affecting Building Information Modeling (BIM) Adoption in Building Design and Construction Projects in Thailand

ทรงธรรม สุวรรณศิริกุล¹ ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ² และ รศ.ดร.ธรรมศักดิ์ รุจิระยรรยง

Songtham Suwansirikul^{1*}, Asst.Prof. Dr.Ankana Punlor² and Assoc.Prof.Thammasak Rujiranyong³

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต¹ และ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิต^{2,3}

Master's Student Department of Civil Engineering Rangsit University¹

Faculty Member, Department of Civil Engineering Rangsit University^{2,3}

e-mail: s_songtham@yahoo.com¹, ankana.p@rsu.ac.th², thammasak@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสถานการณ์และระดับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในประเทศไทย (2) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) และ (3) เสนอแนวทางในการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) จำนวน 12 คน ประกอบด้วยเจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร 3 คน ผู้ออกแบบ 4 คน และผู้รับเหมาก่อสร้าง 5 คน คัดเลือกด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview) และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เชิงประเด็น (Thematic Analysis)

ผลการวิจัยพบว่า การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ยังคงกระจุกตัวอยู่ในช่วงการออกแบบและการก่อสร้าง ขณะที่การประยุกต์ใช้ในระยะการบริหารและบำรุงรักษาอาคารยังมีข้อจำกัด ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ประกอบด้วย ปัจจัยด้านเทคโนโลยี ด้านองค์กร และด้านสภาพแวดล้อม โดยปัจจัยด้านองค์กรและด้านสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจนำ BIM มาใช้มากกว่าปัจจัยด้านเทคโนโลยี นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสะท้อนว่า การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยมีลักษณะการขับเคลื่อนจากระดับโครงการ (Project-driven Adoption) กล่าวคือ ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการและการจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) เป็นปัจจัยผลักดันที่มีอิทธิพลมากกว่าการมีมาตรฐาน BIM ระดับประเทศซึ่งยังไม่มีผลบังคับใช้ อีกทั้งความคุ้มค่าของการลงทุนด้าน BIM จะเกิดขึ้นอย่างเต็มประสิทธิภาพเมื่อมีการใช้ข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดวงจรชีวิตของอาคาร ผลการวิจัยสะท้อนลักษณะเฉพาะของบริบทประเทศไทย และสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาแนวทางการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ให้สอดคล้องกับบริบทของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) BIM Execution Plan (BEP) กรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) การนำ BIM มาใช้ อุตสาหกรรมก่อสร้าง

Abstract

This qualitative study aimed to (1) investigate the current status and level of Building Information Modeling (BIM) implementation in building design and construction projects in Thailand, (2) examine the factors influencing BIM adoption based on the Technology–Organization–Environment (TOE) framework, and (3) propose approaches to promote BIM implementation in the Thai construction industry. Data were collected from 12 key informants, comprising three project owners/ building owners, four designers, and five contractors, selected through purposive sampling. Semi-structured interviews were employed for data collection, and the data were analyzed using thematic analysis.

The findings indicate that BIM implementation in Thailand has steadily increased but remains concentrated in the design and construction phases, while its application in building operation and maintenance is still limited. The factors influencing BIM adoption encompass technological, organizational, and environmental dimensions, with organizational and environmental factors exerting greater influence than technological factors. The findings further reveal that BIM implementation in Thailand is primarily characterized by project-driven adoption, where project owners' requirements and the development of a BIM Execution Plan (BEP) play a more significant role in promoting BIM implementation than national BIM standards, which are not yet mandatory. In addition, the value of BIM investment is maximized when BIM information is continuously utilized throughout the building life cycle. These findings reflect the distinctive characteristics of the Thai construction industry and may serve as a basis for developing strategies and policies to promote BIM implementation that are appropriate to the Thai context.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), BIM Execution Plan (BEP), Technology–Organization–Environment (TOE) Framework, BIM Adoption, Construction Industry

บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นกลไกสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ อย่างไรก็ตาม โครงการก่อสร้างในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น ทั้งด้านการออกแบบ การประสานงานระหว่างสาขาวิชาชีพ การบริหารต้นทุน การควบคุมระยะเวลา และการจัดการข้อมูลระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายฝ่าย การดำเนินงานที่ยังอาศัยแบบก่อสร้างสองมิติและการแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบเอกสารเป็นหลัก อาจก่อให้เกิดปัญหาความไม่สอดคล้องของข้อมูล การสื่อสารที่คลาดเคลื่อน การแก้ไขแบบระหว่างการก่อสร้าง และต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ

แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) เป็นแนวทางการบริหารจัดการข้อมูลโครงการก่อสร้างโดยใช้แบบจำลองดิจิทัลเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมโยงข้อมูลด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม โครงสร้าง ระบบประกอบอาคาร ระยะเวลาก่อสร้าง ต้นทุน และข้อมูลสำหรับการบริหารอาคาร การนำ BIM มาใช้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประสานงาน ลดข้อผิดพลาดของแบบ สนับสนุนการตรวจสอบความขัดแย้งของแบบ และช่วยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้อย่างเป็นระบบ (Eastman et al., 2011; Sacks et al., 2018) นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า BIM สามารถสร้างประโยชน์ต่อการบริหารโครงการ ทั้งในด้านคุณภาพ ต้นทุน ระยะเวลา และการลดความเสี่ยงของโครงการก่อสร้าง (Azhar, 2011; Bryde et al., 2013)

แม้ว่า BIM จะได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในระดับสากล แต่การนำไปใช้ในแต่ละประเทศมีลักษณะแตกต่างกันตามบริบทด้านนโยบาย ความพร้อมของอุตสาหกรรม และบทบาทของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง หลายประเทศมีการผลักดัน BIM ผ่านนโยบายภาครัฐ มาตรฐานระดับชาติ หรือข้อกำหนดในโครงการภาครัฐ ขณะที่ในประเทศกำลังพัฒนา การนำ BIM มาใช้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านองค์ความรู้ ความพร้อมของบุคลากร การลงทุน และแรงผลักดันจากเจ้าของโครงการเป็นสำคัญ (Ahuja et al., 2018; Olawumi & Chan, 2019) แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) ซึ่งอธิบายว่าการยอมรับเทคโนโลยีในระดับองค์กรได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านเทคโนโลยี ด้านองค์กร และด้านสภาพแวดล้อม (Baker, 2012; Tornatzky et al., 1990)

สำหรับประเทศไทย แม้ว่าจะมีแนวทางและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ BIM จากหน่วยงานและองค์กรวิชาชีพ เช่น แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับประเทศไทย และมาตรฐานการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารตามแนวทางสภาวิชาชีพ แต่แนวทางดังกล่าวยังไม่มีลักษณะเป็นข้อบังคับในระดับประเทศ (สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2563) ส่งผลให้การนำ BIM มาใช้ในทางปฏิบัติยังมีความแตกต่างกันในแต่ละองค์กรและแต่ละโครงการ งานวิจัยในประเทศไทยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า BIM ถูกนำมาใช้มากในระยะก่อนก่อสร้าง งานออกแบบ การประสานงานแบบ และการถอดปริมาณงาน แต่การใช้ข้อมูล BIM ในระยะบริหารและบำรุงรักษาอาคารยังมีอยู่อย่างจำกัด (Panuwatwanich & Peansupap, 2013; Sierra & Rodboonpha, 2023; ชีระพงษ์ อินทรพาณิชย์, 2566)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในหลายบริบท แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการศึกษาเฉพาะกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องบางกลุ่ม หรือมุ่งศึกษาการใช้ BIM ในบางช่วงของวงจรชีวิตโครงการ ขณะที่การศึกษาที่บูรณาการมุมมองของเจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้าง ภายใต้กรอบแนวคิด TOE Framework ในบริบทของประเทศไทยยังมีอยู่จำกัด นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นต้องอธิบายให้ชัดเจนว่ากลไกการขับเคลื่อน BIM ในประเทศไทยแตกต่างจากต่างประเทศ

อย่างไร โดยเฉพาะประเด็นบทบาทของข้อกำหนดเจ้าของโครงการและ BIM Execution Plan (BEP) ซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อการนำ BIM มาใช้มากกว่ามาตรฐานระดับประเทศที่ยังไม่มีผลบังคับใช้

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสถานการณ์และระดับการนำ BIM มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในประเทศไทย วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ตามกรอบแนวคิด TOE Framework และเสนอแนวทางในการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย โดยให้ความสำคัญกับการสังเคราะห์มุมมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลักทั้งสามกลุ่ม ได้แก่ เจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้าง เพื่ออธิบายลักษณะการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทย รวมถึงบทบาทของ Owner Requirements และ BIM Execution Plan (BEP) ในฐานะกลไกสำคัญของการขับเคลื่อน BIM ในระดับโครงการ

วัตถุประสงค์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาสถานการณ์และระดับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในประเทศไทย
2. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework)
3. เพื่อเสนอแนวทางในการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยให้สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยใช้กรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) เป็นกรอบในการวิเคราะห์ปัจจัยและกลไกที่มีผลต่อการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารของประเทศไทย

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) ได้รับการคัดเลือกด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ที่มีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับการนำ BIM มาใช้ในโครงการก่อสร้างอาคาร และมีบทบาทในการกำหนดนโยบาย การออกแบบ หรือการบริหารงานก่อสร้าง ประกอบด้วย 3 กลุ่ม ได้แก่ เจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้าง รวมจำนวนทั้งสิ้น 12 คน ดังแสดงในตารางที่ 1

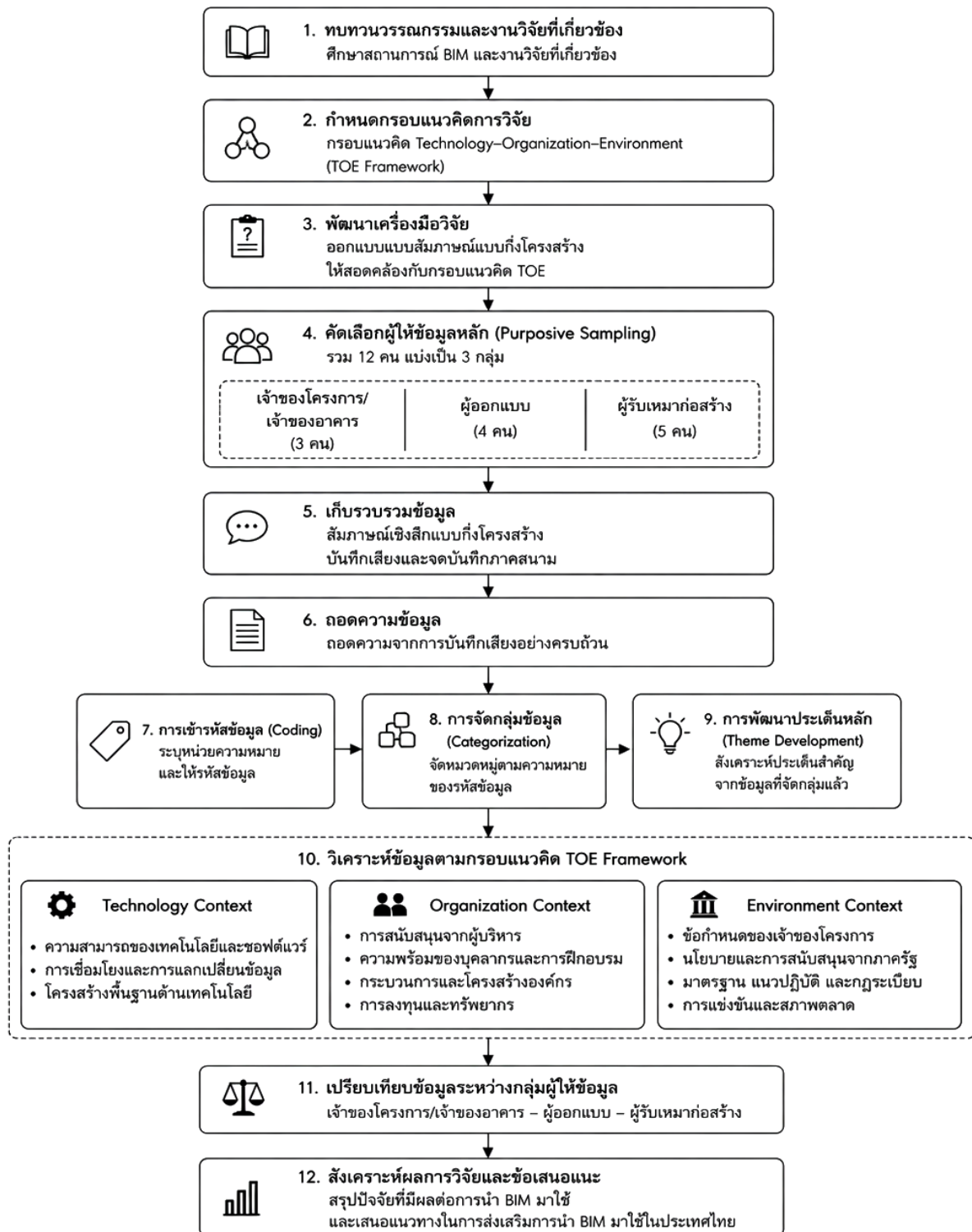
ตารางที่ 1

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการวิจัย

กลุ่มผู้ให้ข้อมูล	จำนวน (คน)
เจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร	3
ผู้ออกแบบ	4
ผู้รับเหมาก่อสร้าง	5
รวม	12

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview) ซึ่งพัฒนาจากการทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิด TOE Framework โดยครอบคลุมประเด็นคำถามด้านเทคโนโลยี ด้านองค์กร และด้านสภาพแวดล้อม การสัมภาษณ์ดำเนินการเป็นรายบุคคล พร้อมบันทึกเสียงและถอดความข้อมูลอย่างครบถ้วนก่อนนำไปวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงประเด็น (Thematic Analysis) โดยเริ่มจากการถอดความข้อมูล การอ่านและทำความเข้าใจข้อมูล การเข้ารหัสข้อมูล (Coding) การจัดกลุ่มข้อมูล (Categorization) และการสังเคราะห์ประเด็นสำคัญ (Theme Development) จากนั้นจึงวิเคราะห์และจัดหมวดหมู่ผลการวิจัยตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) พร้อมเปรียบเทียบมุมมองของผู้ให้ข้อมูลทั้งสามกลุ่ม เพื่อสังเคราะห์ปัจจัย กลไกการขับเคลื่อน และแนวทางการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ในบริบทของประเทศไทย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัย

สถานการณ์และระดับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในประเทศไทย

ผลการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลสำคัญทั้ง 12 คน ซึ่งประกอบด้วยเจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้าง แสดงให้เห็นว่า การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในโครงการขนาดใหญ่ โครงการที่มีความซับซ้อน และโครงการที่เจ้าของโครงการกำหนดให้ใช้ BIM เป็นข้อกำหนดในการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม ระดับการนำ BIM มาใช้ยังมีความแตกต่างกันตามลักษณะขององค์กร ประเภทของโครงการ และความพร้อมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

ผลการวิจัยพบว่า BIM ถูกนำมาใช้มากที่สุดในระยะการออกแบบ โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองสามมิติ การประสานงานระหว่างสาขาวิชาชีพ และการตรวจสอบความขัดแย้งของแบบ (Clash Detection) ขณะที่ในระยะการก่อสร้าง BIM ถูกนำมาใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนงาน การถอดปริมาณวัสดุ การควบคุมต้นทุน และการติดตามความก้าวหน้าของโครงการ ส่วนการนำ BIM ไปใช้ในการบริหารและบำรุงรักษาอาคารยังมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากหลายโครงการยังไม่มีกระบวนการส่งมอบข้อมูล BIM เพื่อใช้ในการบริหารสินทรัพย์ และการบำรุงรักษาอาคารอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 2

ระดับการนำ BIM มาใช้ในแต่ละช่วงของวงจรชีวิตโครงการ

ช่วงโครงการ	ระดับการนำ BIM มาใช้	การประยุกต์ใช้งานหลัก
การวางแผนและเริ่มต้นโครงการ	ปานกลาง	ศึกษาความเป็นไปได้ กำหนดแนวทางและความต้องการของโครงการ
การออกแบบ	สูง	สร้างแบบจำลองสามมิติ ประสานงานระหว่างงานระบบต่างๆ และตรวจสอบความขัดแย้งของแบบ
การก่อสร้าง	สูง	ตรวจสอบความขัดแย้งของแบบ จัดทำแบบเพื่อการก่อสร้าง ถอดปริมาณวัสดุ
การบริหารและบำรุงรักษาอาคาร	ต่ำ	จัดเก็บข้อมูลอาคาร ใช้เป็นข้อมูลประกอบการบำรุงรักษาอาคาร

เมื่อพิจารณาภาพรวมของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย พบว่าการนำ BIM มาใช้ยังคงมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในระยะการออกแบบและการก่อสร้างเป็นหลัก ขณะที่การใช้ข้อมูล BIM เพื่อสนับสนุนการบริหารอาคารตลอดวงจรชีวิตยังไม่แพร่หลาย แม้ว่าผู้ให้ข้อมูลทุกกลุ่มจะเห็นพ้องกันว่า การใช้ข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่การออกแบบจนถึงการบริหารอาคารจะช่วยเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุนด้าน BIM ได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสะท้อนว่า การตัดสินใจนำ BIM มาใช้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความพร้อมด้านเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ได้รับอิทธิพลจากข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ ความพร้อมขององค์กร และความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตลอดกระบวนการดำเนินโครงการ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิเคราะห์ปัจจัยตามกรอบแนวคิด TOE Framework ในหัวข้อถัดไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูลทั้งสามกลุ่มสามารถสังเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) ได้ 3 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านเทคโนโลยี ปัจจัยด้านองค์กร และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ตามกรอบแนวคิด TOE Framework

องค์ประกอบ	ประเด็นสำคัญที่มีผล
Technology Context	ความสามารถของซอฟต์แวร์ BIM การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโปรแกรม (Interoperability) ความถูกต้องของข้อมูล และโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยี
Organization Context	การสนับสนุนจากผู้บริหาร ความพร้อมของบุคลากร การฝึกอบรม การลงทุนด้านซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ กระบวนการทำงาน และการบริหารการเปลี่ยนแปลงภายในองค์กร
Environment Context	ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ การจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) นโยบายภาครัฐ มาตรฐาน BIM ความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และการแข่งขันในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตามกรอบแนวคิด TOE Framework พบว่า แม้ปัจจัยทั้งด้านเทคโนโลยี องค์กร และสภาพแวดล้อมจะมีบทบาทต่อการนำ BIM มาใช้ แต่ระดับอิทธิพลของแต่ละปัจจัยแตกต่างกันอย่างชัดเจนในบริบทของประเทศไทย

ผลการวิจัยสะท้อนว่า ความพร้อมขององค์กร เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำ BIM มาใช้มากกว่าความสามารถของซอฟต์แวร์ โดยองค์กรที่ผู้บริหารให้การสนับสนุน มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจน ลงทุนด้านซอฟต์แวร์ ฮาร์ดแวร์ และการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรอย่างต่อเนื่อง สามารถประยุกต์ใช้ BIM ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะใช้ซอฟต์แวร์ที่แตกต่างกัน ในทางตรงกันข้าม องค์กรที่ขาดการสนับสนุนเชิงนโยบายและการบริหารจัดการ แม้จะมีซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพ ก็ยังไม่สามารถนำ BIM มาใช้ได้อย่างเต็มศักยภาพ

ในด้านสภาพแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่า ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ (Owner Requirements) มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจนำ BIM มาใช้มากกว่าการมีมาตรฐาน BIM ของหน่วยงานภาครัฐ เนื่องจากมาตรฐาน BIM ในประเทศไทยยังอยู่ในลักษณะแนวปฏิบัติ และยังไม่เป็นผลบังคับใช้ ขณะที่ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการเป็นเงื่อนไขที่ผู้เข้าร่วมโครงการทุกฝ่ายต้องปฏิบัติตาม ส่งผลให้เกิดการนำ BIM ไปประยุกต์ใช้จริงในทุกขั้นตอนที่กำหนดไว้ของโครงการ

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังพบว่า BIM Execution Plan (BEP) เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยแปลงข้อกำหนดของเจ้าของโครงการไปสู่การปฏิบัติ โดยทำหน้าที่กำหนดขอบเขตการใช้งาน BIM บทบาทและความรับผิดชอบของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง มาตรฐานข้อมูล วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูล และกระบวนการทำงานร่วมกัน ส่งผลให้การดำเนินงานมีทิศทางเดียวกันและลดปัญหาที่เกิดจากความไม่สอดคล้องของข้อมูลระหว่างหน่วยงาน

เมื่อพิจารณาการประยุกต์ใช้ BIM ในแต่ละช่วงของวงจรชีวิตโครงการ พบว่าการทำงานในประเทศไทยยังคงมุ่งเน้นอยู่ในขั้นตอนการออกแบบและการก่อสร้าง เป็นหลัก โดยใช้ BIM เพื่อการสร้างแบบจำลอง การประสานงานแบบ การตรวจสอบความขัดแย้งของแบบ การถอดปริมาณวัสดุ และการบริหารงานก่อสร้าง ขณะที่การนำข้อมูล BIM ไปใช้ในการบริหารและบำรุงรักษาอาคารหลังการก่อสร้างยังมีอยู่อย่างจำกัด แม้ว่าผู้ให้ข้อมูลทุกกลุ่มจะเห็นพ้องกันว่าข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างประโยชน์ต่อการบริหารสินทรัพย์ การซ่อมบำรุง และการปรับปรุงอาคารในระยะยาวได้

ผลการวิจัยยังสะท้อนว่า ความคุ้มค่าของการลงทุนด้าน BIM จะเกิดขึ้นอย่างเต็มประสิทธิภาพเมื่อข้อมูลที่สร้างขึ้นในระหว่างการออกแบบและการก่อสร้างได้รับการนำไปใช้ต่อเนื่องตลอดวงจรชีวิตของอาคาร เนื่องจากช่วยลดการจัดทำข้อมูลซ้ำ เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารทรัพย์สิน และสนับสนุนการตัดสินใจของเจ้าของอาคารตลอดอายุการใช้งานของโครงการ

ข้อค้นพบที่สะท้อนบริบทการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทย

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า แม้ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยสามารถอธิบายได้ด้วยกรอบแนวคิด TOE Framework เช่นเดียวกับงานวิจัยในต่างประเทศ แต่ลักษณะของการขับเคลื่อนการใช้ BIM มีความแตกต่างจากประเทศที่มีการผลักดัน BIM ผ่านนโยบายหรือข้อบังคับระดับชาติ

ประการแรก การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยยังคงขับเคลื่อนโดย ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ (Owner Requirements) มากกว่ามาตรฐาน BIM ระดับประเทศ เนื่องจากมาตรฐานที่มีอยู่ยังไม่เป็นผลบังคับใช้ ส่งผลให้การตัดสินใจใช้ BIM ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละโครงการเป็นสำคัญ

ประการที่สอง **BIM Execution Plan (BEP)** ทำหน้าที่เป็นกลไกสำคัญในการถ่ายทอดข้อกำหนดของเจ้าของโครงการไปสู่การปฏิบัติ โดยกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการใช้ BIM มาตรฐานข้อมูล และแนวทางการทำงานร่วมกันของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

ประการที่สาม ความพร้อมขององค์กรมีอิทธิพลต่อความสำเร็จของการนำ BIM มาใช้มากกว่าความสามารถของซอฟต์แวร์ เนื่องจากองค์กรที่มีการสนับสนุนจากผู้บริหาร มีการลงทุนด้านบุคลากร และมีการปรับกระบวนการทำงาน สามารถประยุกต์ใช้ BIM ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าองค์กรที่ให้ความสำคัญกับการลงทุนด้านเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว

ประการสุดท้าย ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ความคุ้มค่าของการลงทุนด้าน BIM จะเกิดขึ้นอย่างเต็มประสิทธิภาพเมื่อข้อมูลที่สร้างขึ้นในระหว่างการออกแบบและการก่อสร้างได้รับการนำไปใช้ต่อเนื่องในการบริหารและบำรุงรักษาอาคารตลอดวงจรชีวิตของโครงการ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์และระดับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในกระบวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารในประเทศไทย วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ตามกรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) และเสนอแนวทางในการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย โดยใช้การวิจัยเชิงคุณภาพผ่านการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างจากผู้ให้ข้อมูลหลัก 12 คน ซึ่งประกอบด้วยเจ้าของโครงการหรือเจ้าของอาคาร ผู้ออกแบบ และผู้รับเหมาก่อสร้าง

ผลการวิจัยพบว่า การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในโครงการขนาดใหญ่และโครงการที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ยังคงกระจุกตัวอยู่ในช่วงการออกแบบและการก่อสร้าง ขณะที่การนำ BIM ไปใช้ในระยะการบริหารและบำรุงรักษาอาคารยังมีข้อจำกัด ส่งผลให้ข้อมูลที่สร้างขึ้นในระยะเริ่มต้นของโครงการยังไม่ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพตลอดวงจรชีวิตของอาคาร

เมื่อวิเคราะห์ตามกรอบแนวคิด TOE Framework พบว่า ปัจจัยทั้งด้านเทคโนโลยี ด้านองค์กร และด้านสภาพแวดล้อม ล้วนมีอิทธิพลต่อการนำ BIM มาใช้ แต่มีระดับความสำคัญแตกต่างกัน โดยปัจจัยด้านองค์กรและด้านสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจนำ BIM มาใช้มากกว่าปัจจัยด้านเทคโนโลยี ความพร้อมขององค์กร ทั้งในด้านนโยบาย การสนับสนุนจากผู้บริหาร การลงทุน และการพัฒนาศักยภาพของบุคลากร เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การนำ BIM มาใช้ประสบความสำเร็จ ขณะที่ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ มีบทบาทสำคัญในการผลักดันให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องนำ BIM ไปใช้จริงในโครงการ

ผลการวิจัยยังสะท้อนให้เห็นว่า ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ (Owner Requirements) มีอิทธิพลต่อการนำ BIM มาใช้มากกว่าการมีมาตรฐาน BIM ของหน่วยงานภาครัฐ เนื่องจากมาตรฐานที่มีอยู่ยังไม่มีผลบังคับใช้ ขณะที่ข้อกำหนดของโครงการเป็นเงื่อนไขที่ทุกฝ่ายต้องปฏิบัติตาม นอกจากนี้ BIM Execution Plan (BEP) เป็นเครื่องมือสำคัญในการถ่ายทอดข้อกำหนดดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติ โดยช่วยกำหนดขอบเขตการใช้งาน BIM มาตรฐานข้อมูล บทบาทของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และกระบวนการทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ

อีกประเด็นสำคัญที่ค้นพบ คือ ความคุ้มค่าของการลงทุนด้าน BIM ไม่ได้เกิดจากการใช้ซอฟต์แวร์เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการนำข้อมูลที่สร้างขึ้นในระยะการออกแบบและการก่อสร้างไปใช้ต่อเนื่องในการบริหารและบำรุงรักษาอาคารตลอดวงจรชีวิตของโครงการ ดังนั้น การส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยควรมุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการใช้ข้อมูลตลอดวงจรชีวิตอาคาร ควบคู่กับการยกระดับความพร้อมขององค์กร การกำหนดข้อกำหนดของโครงการที่ชัดเจน และการผลักดันการจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) ให้เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารโครงการก่อสร้างอย่างเป็นระบบ

ผลการวิจัยยังสะท้อนให้เห็นว่า บริบทของประเทศไทยมีลักษณะแตกต่างจากหลายประเทศที่มีการบังคับใช้ BIM ในระดับนโยบาย โดยการนำ BIM มาใช้ยังขับเคลื่อนจากข้อกำหนดของเจ้าของโครงการเป็นสำคัญ ขณะที่การจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) ทำหน้าที่เป็นกลไกเชื่อมโยงข้อกำหนดดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติ ส่งผลให้ความพร้อมขององค์กรมีความสำคัญต่อความสำเร็จของการใช้ BIM มากกว่าความสามารถของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้ยืนยันว่า กรอบแนวคิด Technology–Organization–Environment (TOE Framework) สามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศ พบว่ากลไกการขับเคลื่อนการใช้ BIM ในประเทศไทยมีลักษณะเฉพาะหลายประการ ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างของบริบทด้านนโยบาย โครงสร้างอุตสาหกรรม และบทบาทของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง

ตารางที่ 4

การสังเคราะห์ข้อค้นพบของงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลการศึกษาของต่างประเทศ

ประเด็น	ผลการศึกษาของต่างประเทศ	ผลการวิจัยในบริบทของประเทศไทย
กลไกหลักในการผลักดัน BIM	นโยบายภาครัฐและข้อบังคับ	ข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ (Owner Requirements) เป็นแรงผลักดันหลักในการนำ BIM มาใช้
บทบาทของมาตรฐาน BIM	มาตรฐาน BIM ระดับประเทศถูกใช้เป็นกรอบการดำเนินงานของโครงการ	มาตรฐาน BIM มีบทบาทเป็นแนวปฏิบัติ แต่ยังไม่เป็นผลบังคับใช้ จึงมีอิทธิพลน้อยกว่าข้อกำหนดของโครงการ
กลไกการบริหารโครงการ	มุ่งเน้นการปฏิบัติตามมาตรฐานและข้อกำหนดระดับประเทศ	BIM Execution Plan (BEP) เป็นเครื่องมือสำคัญในการถ่ายทอดข้อกำหนดของเจ้าของโครงการไปสู่การปฏิบัติ
ปัจจัยสำคัญต่อการนำ BIM มาใช้	ความพร้อมของเทคโนโลยีและนโยบายภาครัฐได้รับความสำคัญอย่างมาก	ความพร้อมขององค์กรและการสนับสนุนจากผู้บริหารมีอิทธิพลมากกว่าความสามารถของซอฟต์แวร์
ขอบเขตการใช้ BIM	ครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้าง จนถึงการบริหารอาคาร (Lifecycle BIM)	การใช้ BIM ยังมุ่งเน้นในระยการออกแบบและการก่อสร้าง ขณะที่การใช้ในระยะบริหารอาคารยังมีข้อจำกัด

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า แม้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้สามารถอธิบายได้ด้วยกรอบแนวคิด TOE Framework เช่นเดียวกับงานวิจัยในต่างประเทศ แต่ระดับอิทธิพลของแต่ละปัจจัยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะบทบาทของเจ้าของโครงการ ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าเป็นผู้มีอิทธิพลสูงสุดต่อการตัดสินใจนำ BIM มาใช้ เนื่องจากเป็นผู้กำหนดข้อกำหนดของโครงการ และเป็นผู้ตัดสินใจด้านการลงทุน ข้อค้นพบดังกล่าวแตกต่างจากหลายประเทศที่ภาครัฐเป็นผู้กำหนดนโยบายหรือข้อบังคับให้ใช้ BIM ในโครงการก่อสร้างภาครัฐ

ผลการวิจัยยังสะท้อนให้เห็นว่า BIM Execution Plan (BEP) มีบทบาทเป็นกลไกสำคัญในการเชื่อมโยงข้อกำหนดของเจ้าของโครงการกับการดำเนินงานของผู้ออกแบบ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกฝ่าย โดย BEP ทำหน้าที่กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการใช้งาน มาตรฐานข้อมูล วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูล และบทบาทความรับผิดชอบของแต่ละฝ่าย ส่งผลให้การประยุกต์ใช้ BIM เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบและสามารถลดปัญหาความไม่สอดคล้องของข้อมูลตลอดโครงการ

อีกประเด็นที่สำคัญ คือ ผลการวิจัยพบว่า ความพร้อมขององค์กรมีอิทธิพลต่อการนำ BIM มาใช้มากกว่าความสามารถของซอฟต์แวร์ เนื่องจากซอฟต์แวร์ BIM ในปัจจุบันมีศักยภาพเพียงพอต่อการดำเนินงาน แต่ความสำเร็จของการใช้ BIM ขึ้นอยู่กับการสนับสนุนจากผู้บริหาร การลงทุนด้านบุคลากร การฝึกอบรม และการปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานภายในองค์กรมากกว่า ข้อค้นพบดังกล่าวช่วยอธิบายว่าปัญหาหลักของการใช้ BIM ในประเทศไทยไม่ได้เกิดจากข้อจำกัดของเทคโนโลยี หากแต่เกิดจากความพร้อมในการบริหารจัดการองค์กร

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสะท้อนว่า การประยุกต์ใช้ BIM ในประเทศไทยยังคงมุ่งเน้นในช่วงการออกแบบและการก่อสร้าง ขณะที่การใช้ BIM ในการบริหารและบำรุงรักษาอาคารยังมีอยู่อย่างจำกัด แตกต่างจากหลายประเทศที่มีการใช้ข้อมูล BIM เพื่อสนับสนุนการบริหารทรัพย์สินและการบริหารอาคารอย่างแพร่หลาย ผลการวิจัยจึงชี้ให้เห็นว่า การยกระดับการใช้ BIM ในประเทศไทยควรมุ่งสู่การใช้ข้อมูลตลอดวงจรชีวิตของอาคารมากกว่าการใช้ BIM เพื่อการออกแบบและการก่อสร้างเพียงอย่างเดียว

โดยสรุป ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า กลไกการขับเคลื่อนการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยมีลักษณะแตกต่างจากประเทศที่มีการผลักดัน BIM ผ่านนโยบายหรือข้อบังคับระดับชาติ โดยการนำ BIM มาใช้ในประเทศไทยยังขับเคลื่อนจากข้อกำหนดของเจ้าของโครงการและการจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) เป็นสำคัญ ขณะเดียวกัน ความพร้อมขององค์กรและการใช้ข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดวงจรชีวิตของอาคารเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จและความคุ้มค่าของการนำ BIM มาใช้ ทั้งนี้ ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดแนวทางและมาตรการส่งเสริมการนำ BIM มาใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัย พบว่าการส่งเสริมการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) มาใช้ในประเทศไทยควรมุ่งเน้นการยกระดับความพร้อมขององค์กรควบคู่กับการกำหนดกลไกที่สนับสนุนการดำเนินงานในระดับโครงการ โดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. **หน่วยงานภาครัฐ** ควรพัฒนาแนวทางและมาตรฐาน BIM ให้มีความชัดเจนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง รวมทั้งส่งเสริมการใช้ BIM ในโครงการภาครัฐผ่านข้อกำหนดของโครงการและแนวปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนการใช้ BIM ในระดับประเทศอย่างเป็นรูปธรรม

2. **เจ้าของโครงการ** ควรกำหนดข้อกำหนดการใช้ BIM (Owner Requirements) ให้ชัดเจนตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของโครงการ และกำหนดให้มีการจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) เพื่อใช้เป็นกรอบในการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการใช้งาน มาตรฐานข้อมูล บทบาทของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลตลอดโครงการ

3. **องค์กรผู้ออกแบบและผู้รับเหมาก่อสร้าง** ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาศักยภาพของบุคลากร การปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการทำงานร่วมกัน เนื่องจากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าความพร้อมขององค์กรมีผลต่อความสำเร็จของการนำ BIM มาใช้มากกว่าความสามารถของซอฟต์แวร์เพียงอย่างเดียว

4. **การนำ BIM มาใช้ในประเทศไทย** ควรขยายขอบเขตจากการประยุกต์ใช้ในระยะการออกแบบและการก่อสร้าง ไปสู่การบริหารและบำรุงรักษาอาคาร โดยส่งเสริมการส่งมอบข้อมูล BIM ที่ครบถ้วนและเป็นมาตรฐาน เพื่อให้เจ้าของอาคารสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการบริหารสินทรัพย์และการบำรุงรักษาตลอดวงจรชีวิตของอาคาร ซึ่งจะช่วยเพิ่มความคุ้มค่าของการลงทุนด้าน BIM ในระยะยาว

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในโครงการก่อสร้างประเภทอื่น เช่น โครงการโครงสร้างพื้นฐาน โรงงานอุตสาหกรรม หรือโครงการสาธารณูปโภค เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการนำ BIM มาใช้ในแต่ละประเภทโครงการ

2. ควรศึกษาความคุ้มค่าของการนำ BIM มาใช้ในมิติทางเศรษฐศาสตร์หรือการเงิน โดยวิเคราะห์ต้นทุน ผลตอบแทน และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ BIM ตลอดวงจรชีวิตของอาคาร เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจลงทุนของเจ้าของโครงการและองค์กรภาคเอกชน

3. ควรศึกษาประสิทธิภาพของการจัดทำ BIM Execution Plan (BEP) ในโครงการที่มีลักษณะแตกต่างกัน เพื่อกำหนดแนวทางหรือองค์ประกอบของ BEP ที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และสามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวปฏิบัติร่วมกันของอุตสาหกรรมก่อสร้าง

4. ควรศึกษาการบูรณาการ BIM ร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลอื่น เช่น Digital Twin, Common Data Environment (CDE), Internet of Things (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารข้อมูลและการบริหารอาคารตลอดวงจรชีวิตของโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- ธีระพงษ์ อินทรพาณิชย์. (2566). *การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2563). *มาตรฐานการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) สำหรับประเทศไทย*. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2558). *แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับประเทศไทย*. สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Ahuja, R., Jain, M., Sawhney, A., & Arif, M. (2018). Adoption of BIM by architectural, engineering, and construction organizations in India: Technology–organization–environment perspective. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1–2), 145–161.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252.
- Baker, J. (2012). The technology–organization–environment framework. In Y. K. Dwivedi, M. R. Wade, & S. L. Schneberger (Eds.), *Information systems theory: explaining and predicting our digital society* (Vol. 1, pp. 231–245). Springer.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980.
- Eastman, C., Teicholz, 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.

- Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2019). Development of BIM adoption assessment criteria for the construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(7), 1173–1197.
- Panuwatwanich, K., & Peansupap, V. (2013). Factors affecting the current diffusion of BIM: A qualitative study of online professional network. *Australasian Universities Building Education Association Conference Proceedings*.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Sierra, L. A., & Rodboonpha, S. (2023). Building Information Modeling adoption in developing countries: Evidence from the Thai construction industry. *Journal of Construction in Developing Countries*.
- Tornatzky, L. G., Fleischer, M., & Chakrabarti, A. K. (1990). *The processes of technological innovation*. Lexington Books.