การพัฒนาแฝดดิจิทัลในระดับอาคารจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับการบริหารทรัพยากรกายภาพ
Developing a Dynamic Digital Twin at a Building Level from Building Information Modeling for Physical Resource Management

ทิพยภาวรรณ ตันอ้วน[1,*] ภาสกร แช่มประเสริฐ[2] พรพจน์ นุเสน[3] เกรียงไกร อรุโณทยานันท์[4] และ มานพ แก้วโมราเจริญ[5]
[1,4,5] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่*
[2] *ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่*
[3] *สาขาวิชาโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่*
**Corresponding author; E-mail address: thiphayaphawan_t@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

แฝดดิจิทัล หรือ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร เป็นคำที่ใช้บ่อยในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปัจจุบัน มีเป้าหมายเพื่อให้เกิดการบูรณาการในโลกแห่งความเป็นจริงด้วยแพลตฟอร์มเสมือนจริง การจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก การตรวจสอบสภาพแวดล้อม โดยได้มีการพัฒนาระบบแฝดดิจิทัลแบบไดนามิกในระดับอาคารที่มีการประมวลผลบนคลาวด์ การส่งผ่านข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลแบบเรียลไทม์ ดังนั้น เพื่อพัฒนาแฝดดิจิทัลในระดับอาคารจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพนั้น เริ่มต้นจากการสนทนากลุ่มกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อทราบถึงความต้องการในการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร จากนั้นพัฒนาแฟลตฟอร์มแฝดดิจิทัลจากแบบจำลองสารสนเทศ ศึกษามาตรฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) คัดเลือกมาตรฐานสำหรับใช้งานกับอาคาร และพัฒนากรอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศ กับข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารและแฝดดิจิทัล พร้อมวิเคราะห์ผลและสรุปผล ผลลัพธ์สำหรับงานวิจัยนี้คือ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองสารสนเทศที่นำมาประยุกต์ใช้ในแฟลตฟอร์มแฝดดิจิทัล กับข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร การวิเคราะห์ความสะดวกสบายของผู้ใช้งานอาคารและให้คะแนนจากการรับรองจากมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งาน ในพื้นที่กรณีศึกษาที่แตกต่างกัน การเก็บรวบรวมสภาพแวดล้อมจากเซ็นเซอร์ จะสามารถยกระดับความสะดวกสบายให้กับอาคารพื้นศึกษาและปรับปรุงอาคารให้ได้ตามมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร

คำสำคัญ: แฝดดิจิทัล, แบบจำลองสารสนเทศ, มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร

Abstract

Digital Twin or Building Information Modeling is a term often used in the construction industry. The goal is to achieve real-world integration with a virtual platform, facility management, and environmental monitoring. To achieve these, the research has developed a dynamic Digital Twin at the building level with cloud computing, and the transmission of data through a wireless network as well as real-time analysis of the results. Therefore, in order to develop the Digital Twin at the building level from the Building Information Modeling for the management of physical resources, the first step was to conduct a group discussion with stakeholders on the need for building resource management, and then develop a Digital Twin platform from the information model, study the standards for improving the health and well-being of building occupants (WELL Building Standard), select the standards to use with buildings, and develop a framework for applying Building Information Modeling with data on standards for improving the well-being of building occupants and Digital Twins, and analyze the results and draw conclusions. The results of this research demonstrate the potential of Building Information Modeling applied in Digital Twin platforms with the data on standards for improving the well-being of building occupants, an analysis of building occupants' comfort, the scores of which are based on the accreditation of standards for improving occupants' well-being in different case study areas. Collecting information on the environment from sensors will enhance the usability and accessibility of the studied building and improve buildings to meet the standards of the building occupants' well-being.

Keywords: Digital Twin, Building Information Modeling, WELL Building Standard

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีใหม่ได้มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว วิธีการก่อสร้างโดยใช้กระดาษแบบดั้งเดิมถือเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งของความล่าช้าของโครงการ ต้นทุนที่เกินกำหนด และปัญหาอื่นๆ ของโครงการก่อสร้าง [1] ปัจจุบันเครื่องมือและกระบวนการสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling : BIM) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการนำข้อมูลอาคาร มาทำการวิเคราะห์และจำลองให้สามารถเห็นภาพและดำเนินการได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้มีการผสมผสานของการทำงานผ่านการประมวลผลแบบระบบคลาวด์ (Cloud Computing) และการใช้งานอินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (internet of things : IoT) ที่นำเซนเซอร์หลากหลายมาร่วมใช้งานในหลายๆด้าน เพื่อให้สามารถประสานข้อมูลได้

อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถช่วยทำงานในระบบเรียลไทม์ได้ [2] แบบจำลองสารสนเทศอาคารในฐานะตัวแทนดิจิทัลของสินทรัพย์อาคารหรือโครงสร้างพื้นฐาน สามารถขยายเพื่อสร้างพื้นฐานสำหรับฐานข้อมูลของสินทรัพย์ทั้งหมด และอำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในลักษณะที่เป็นหนึ่งเดียวและเป็นดิจิทัล [3]

ไทม์ไลน์ของโครงการก่อสร้างมักเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่างๆ ทั้งในด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม การก่อสร้าง กิจกรรมการดำเนินงาน และการบำรุงรักษา ดังนั้น วงจรชีวิตที่สมบูรณ์สามารถแบ่งออกเป็นหลายระยะ ระยะที่1คือขั้นตอนการออกแบบ ระยะที่2คือการก่อสร้าง ระยะที่3คือการดำเนินงาน และระยะที่4คือการบำรุงรักษา [4] เพื่อให้มีความถูกต้องครบถ้วน และสมบูรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดและขอบเขตของงานก่อสร้างนั้นๆ และช่วยลดความขัดแย้งและข้อความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในงานก่อสร้าง [5] เราจึงไม่สามารถแยกการบริหารงานและการบำรุงรักษาจากข้อมูลของงานด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรม และการก่อสร้าง

อาคารเรียนจึงเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ โดยแนวคิดแฝดดิจิทัล (Digital Twin) ได้ถูกกล่าวถึงในรูปแบบการบริหารจัดการอาคาร ครุภัณฑ์ เครื่องมือ ในรูปแบบที่สะท้อนวัตถุจริงและวัตถุเสมือนจริงในรูปแบบดิจิทัล เพื่อให้มีการบริหารจัดการอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพให้มีประสิทธิภาพทั้งการประหยัดพลังงาน การยกระดับอาคารให้มีมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร ผู้ทำการศึกษาจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในช่องว่างนี้ในการนำแฝดดิจิทัลมาช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แฝดดิจิทัล (Digital Twin)

แฝดดิจิทัล ได้รับการส่งเสริมอย่างกว้างขวางเป็นรูปแบบดิจิทัล ซึ่งเป็นตัวแทนของสินทรัพย์แบบไดนามิกและเลียนแบบพฤติกรรมในโลกแห่งความเป็นจริง [3] แนวคิดของแฝดดิจิทัล ถูกนำมาใช้ในบางอุตสาหกรรมที่สามารถใช้แบบจำลองดิจิทัลที่แม่นยำของอุปกรณ์สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ แฝดดิจิทัลเกิดจากการรวมเครือข่ายเซ็นเซอร์เข้ากับระบบดิจิทัลของเครื่องจักรและระบบการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิต ดังนั้นการศึกษาได้นำเสนอคำจำกัดความที่ขยายเพิ่มเติม: "แฝดดิจิทัลจะช่วยอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบ ทำความเข้าใจ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยงานทางกายภาพทั้งหมด ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีชีวิต โดยทำให้การส่งข้อมูลระหว่างทางกายภาพเป็นไปอย่างราบรื่น และโลกเสมือนจริง" เป็นการรวบรวมสิ่งประดิษฐ์ดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทางวิศวกรรมและการดำเนินงาน นอกเหนือจากคำอธิบายพฤติกรรมโดยใช้แบบจำลองต่างๆ แฝดดิจิทัลใช้แบบจำลองการจำลองเฉพาะเหล่านี้โดยพิจารณาจากความสามารถในการแก้ปัญหาและการหาวิธีแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องสำหรับระบบในชีวิตจริง [6]

นอกจากนี้ จากการศึกษาที่นำเสนอในประโยชน์ที่สำคัญบางประการของการสร้างแฝดดิจิทัลของอาคารมีดังนี้ 1) การรวบรวม การสร้าง และการแสดงภาพสภาพแวดล้อมของอาคาร 2) การวิเคราะห์ความผิดปกติของข้อมูล และ 3) เพิ่มประสิทธิภาพการบริการอาคาร [6] แฝดดิจิทัลมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดการประสานกันของโลกแห่งความเป็นจริงด้วยแพลตฟอร์มเสมือนจริงสำหรับการจัดการและควบคุมกระบวนการก่อสร้างที่ราบรื่น การจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก การตรวจสอบสภาพแวดล้อมและกระบวนการวงจรชีวิตอื่นๆ ในสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้น [7]

แฝดดิจิทัลได้มีการนิยามประเภทไว้ 5 ลักษณะตามคุณลักษณะความละเอียด และความซับซ้อนของการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วย Descriptive Twin, Informative Twin, Predictive Twin, Comprehensive Twin และ Autonomous Twin

ตารางที่ 1 ประเภทและระดับขั้นของแฝดดิจิทัล

ระดับขั้น	ชื่อเรียกแฝดดิจิทัล	คุณลักษณะ
1	Descriptive Twin	แฝดดิจิทัลในขั้นเชิงอธิบาย มีการแสดงรายละเอียดข้อมูลของสิ่งก่อสร้างเชิงกายภาพครบถ้วน พร้อมรายละเอียดข้อมูลส่วนประกอบ
2	Informative Twin	แฝดดิจิทัลเชิงสารสนเทศ มีการเชื่อมโยงข้อมูลของเซนเซอร์ต่างๆ ทำให้แฝดดิจิทัลมีข้อมูลพื้นฐานพร้อมข้อมูลปัจจุบัน สามารถนำไปวิเคราะห์การทำงานได้
3	Predictive Twin	แฝดดิจิทัลเชิงพยากรณ์ มีการนำข้อมูลหลากหลายส่วนมาวิเคราะห์ในเชิงสถิติ ปัญญาประดิษฐ์ และการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการสิ่งก่อสร้างนั้นได้ อาทิ การซ่อมบำรุง หรือการป้องกันฉุกเฉิน
4	Comprehensive Twin	แฝดดิจิทัลเชิงครอบคลุม มีการจำลองเหตุการณ์โดยนำข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลในอดีต และการวิเคราะห์พยากรณ์ในอนาคต มาสร้างสถานการณ์จำลองแบบต่างๆ ได้ อาทิ การจำลองการเกิดเหตุแผ่นดินไหวในพื้นที่
5	Autonomous Twin	แฝดดิจิทัลอัตโนมัติ เป็นแนวคิดในอนาคตที่แฝดดิจิทัลสามารถดำเนินการเองได้โดยอัตโนมัติ โดยไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมของมนุษย์มาเกี่ยวข้อง

แฝดดิจิทัลมักจะถูกนำเสนอในรูปแบบเสมือนจริงในแบบจำลอง 3 มิติ ทั้งในลักษณะการแสดงผลในหน้าจอคอมพิวเตอร์ การแสดงผลในรูปแบบโฮโลแกรม หรือแม้แต่ในรูปแบบความจริงเสริม (Augmented Reality) ตัวอย่างการใช้งาน อาทิ เช่น การบริหารจัดการอาคารสนามบิน [8] หรือการบริหารจัดการเมืองในระดับของชุมชน [9] เป็นต้น ในงานโครงสร้างพื้นฐานได้มีการประยุกต์ใช้แฝดดิจิทัลของงานโครงสร้างสะพาน เพื่อตรวจสอบความแข็งแกร่ง และรอยร้าวที่ผิวคอนกรีตและผิวจราจร โดยมีการเปลี่ยนค่าตามสภาพของรอยแตกจริงของงานสะพาน และมาปรับปรุงในสิ่งที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างดิจิทัล [10]

2.2 แบบจำลองสารสนเทศสำหรับอาคาร

ในการพัฒนาแฝดดิจิทัลจากงานอาคาร นิยมใช้การประยุกต์แบบจำลองสารสนเทศ (Building Information Modeling) ของอาคารมาใช้งาน โดยนำแบบจำลองสารสนเทศที่ระดับความละเอียด ตามที่ได้ใช้ในงานในช่วงระหว่างงานออกแบบและก่อสร้าง และมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อใช้ในการบริหารจัดการอาคาร โดยในการออกแบบก่อสร้างความละเอียดที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 300-400 ในขณะที่ความละเอียดในการบริหารจัดการอาคารอยู่ที่ 500 โดยอิงตามมาตรฐาน ISO 19650

การพัฒนาแฝดดิจิทัลของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ [3] [11] ได้มีการพัฒนาระบบแฝดดิจิทัลแบบไดนามิกบนระบบทางด้านสถาปัตยกรรมซึ่งไดนามิกนั้นประกอบไปด้วย 5 เลเยอร์ ได้แก่ เลเยอร์การรับข้อมูล เลเยอร์การส่งข้อมูล เลเยอร์การสร้างโมเดลดิจิทัลและเสริมของข้อมูล เลเยอร์การรวมข้อมูล/โมเดล และเลเยอร์ของการนำไปใช้งาน จากนั้นได้ทำการนำเซ็นเซอร์แต่ละชนิดไปติดตั้งกับห้องต่างๆ เช่น ห้องเรียน ห้องสัมมนา ห้องประชุม เป็นต้นพื้นที่เป้าหมายซึ่งเป็นอาคาร Institute for Manufacturing (IfM) ของมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (WSN) ที่เปิดใช้งาน IoT สำหรับการเก็บข้อมูลและการรวมเข้ากับแพลตฟอร์มการประมวลผลบนคลาวด์ซึ่งจะตรวจสอบและ

วิเคราะห์ผลในแบบเรียลไทม์ ยกตัวอย่างเช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในห้องประชุมก็จะอัพเดตข้อมูลทุกๆนาที เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน25องศาเซลเซียส ปุ่มก็จะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีแดง เป็นต้น ฟังก์ชันการตรวจสอบอุณหภูมิได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ทำงานในสภาพแวดล้อมที่สะดวกสบายซึ่งจะได้รับการตรวจสอบและวิเคราะห์ในแบบเรียลไทม์เพื่อจัดการความสะดวกสบายได้ซึ่งจะประกอบด้วยแผดดิจิทัลในระดับเมือง ระดับอาคาร และระดับระบบ

การพัฒนาแผดดิจิทัลของอาคารโรงพยาบาลในประเทศจีน [4] ได้มีการพัฒนานวัตกรรมทางเทคนิคหลักที่ใช้คือ “วิธีการรวมวงจรชีวิตแบบต่อเนื่อง” คือการผสานรวมเนื้อหาที่ตรงไปตรงมาตลอดวงจรชีวิตทั้งหมดของการก่อสร้าง ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนก่อสร้างและขั้นตอนการบำรุงรักษา ซึ่งขั้นตอนแรกคือสร้างแบบโรงพยาบาลด้วยแบบร่างจาก AutoCAD จากนั้นก็นำข้อมูลทั้งหมดของอาคารรวมถึงข้อมูลของเซ็นเซอร์ไปสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และรวมผสานโมเดลและข้อมูลเข้าด้วยกัน กลไกการวิเคราะห์จะถูกเพิ่มหลังจากที่ข้อมูลได้ส่งมาที่ระบบไดนามิกของแบบจำลองสารสนเทศ เมื่อกระบวนการถูกตรวจสอบแล้วจะมีการส่งข้อมูลกลับไปตรวจสอบในสถานที่จริงโดยยึดตามการทำแบบจำลองสารสนเทศที่ถูกต้อง เซ็นเซอร์ที่ติดในโรงพยาบาลประกอบด้วยการตรวจสอบพลังงาน ระบบก๊าซ รวมถึงระบบลิฟต์ มีทั้งการจัดการพื้นที่การจัดการพลังงานที่ใช้ในห้องต่างๆ การจัดการสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งระบบการจ่ายอากาศ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ หากตรวจสอบว่าค่าเกินเกณฑ์ สัญญาณเตือนก็จะแจ้งเป็นสีต่างๆ ผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ซ่อมก็จะได้รับมอบหมายงานบนสมาร์ตโฟนในเวลาเดียวกัน รวมถึงระบบการซ่อมแซมและบำรุงรักษา ระบบรักษาความปลอดภัยที่เชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มการตรวจสอบวิดีโอของโรงพยาบาลแบบเรียลไทม์ การตรวจสอบพื้นที่สำคัญซึ่งสามารถติดตามได้อย่างราบรื่น ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงพยาบาลก็จะมีการตรวจจับการใช้ไฟฟ้าผิดปกติ ระบบแผดดิจิทัลก็จะได้ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องและระบุมาตรวัดที่ผิดปกติใดๆ ที่เกินหรือต่ำกว่าเกณฑ์ 20% จากพฤติกรรมปกติที่สอดคล้องกัน มีการแสดงวงจรที่ผิดปกติบนหน้าจอขนาดใหญ่ และงานตรวจสอบได้รับแจ้งผ่านแอพมือถือ การจดจำรูปแบบการซ่อมแซมบ่อยครั้ง รวมถึงการตรวจสอบการบำรุงรักษาคุณภาพต่ำ โดยใช้วิธีทดสอบ Student’s t-test ของวิธีทดสอบสมมติฐาน หากค่าเฉลี่ยของลำดับจำนวนการซ่อมแซมหลังการบำรุงรักษามากกว่าค่าก่อนการบำรุงรักษาและมีนัยสำคัญทางสถิติถือว่าคุณภาพต่ำ เป็นต้น

การพัฒนาแผดดิจิทัลของสถานีรถไฟ [1] ได้มีการพัฒนาโครงการสร้างสถานีรถไฟด้วยแบบจำลองสารสนเทศที่สามารถให้แพลตฟอร์มที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแสดงภาพเวิร์กโฟลว์ในระบบควบคุม รวมถึงตารางเวลา การประมาณราคา การปล่อยคาร์บอนและการจำลองการปรับปรุงใหม่ ซึ่งได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติด้วย Revit แบบจำลอง 3 มิติจะเชื่อมโยงกับข้อมูลอาคาร 5D แบบจำลองสารสนเทศสามารถแสดงเป็นการรวมกันของสามส่วนองค์ประกอบที่จำเป็น: ข้อมูลโครงการ 3 มิติ (สามมิติ) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลา (มิติที่สี่) และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน (มิติที่ห้า) รวมถึงการควบคุมและจัดการกระบวนการก่อสร้าง ความสำคัญของการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคาร มาใช้ในการจัดการการก่อสร้างสามารถสะท้อนให้เห็นได้เป็นอย่างดี ใบสั่งซื้อมักจะเสร็จสมบูรณ์โดยผู้รับเหมาซึ่งให้ข้อมูลการก่อสร้างแล้วโอนระหว่างที่ปรึกษาด้านวิศวกรรม ผู้รับเหมา และพนักงาน กระบวนการออกแบบที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศต่างจากกระดาษแบบดั้งเดิมที่นำเสนอหรือวิธีการสร้างแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองได้ทันท่วงทีและเปลี่ยนแปลงได้ ข้อมูลกระบวนการที่แม่นยำสามารถรวบรวมและส่งไปยังที่เก็บข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคารแต่ละแห่ง ทำให้การทำงานร่วมกันและการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้เข้าร่วมการก่อสร้างง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังช่วยให้วิเคราะห์การใช้ทรัพยากรได้อย่างแม่นยำและทันเวลาสมการ

2.3 มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard)

มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารเป็นระบบที่อิงตามประสิทธิภาพสำหรับการวัด รับรอง และติดตามคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และความเป็นอยู่ที่ดี ผู้จัดการสถานที่สามารถใช้ข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศและข้อมูลสภาพของสภาพแวดล้อมในอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อประเมินระดับความสะดวกสบายของมนุษย์ในอาคารเฉพาะ

ซึ่งแนวคิดและคุณสมบัติรวมถึงเงื่อนไขต่างๆ ทั้งหมด 10 แนวคิด จะประกอบไปด้วย

- *อากาศ* ประกอบด้วย คุณภาพอากาศ, สิ่งแวดล้อมปลอดบุหรี่, การออกแบบการระบายอากาศ, การจัดการมลพิษในการก่อสร้าง
- *น้ำ* ประกอบด้วย ตัวชี้วัดคุณภาพน้ำ, คุณภาพน้ำดื่ม, การจัดการน้ำขั้นพื้นฐาน
- *โภชนาการ* ประกอบด้วย ผักและผลไม้, การจัดการทางโภชนาการ
- *แสงสว่าง* ประกอบด้วย การเปิดรับแสง, การออกแบบแสง
- *การเคลื่อนไหว* ประกอบด้วย อาคารและชุมชนที่ใช้งานอยู่, การออกแบบเวิร์กสเตชันตามหลักสรีรศาสตร์
- *ความสบายในการระบายความร้อน* ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการระบายความร้อน
- *เสียง* ประกอบด้วย การทำแผนที่เสียงเพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนทางเสียง
- *วัสดุ* ประกอบด้วย ข้อจำกัดของวัสดุ, การจัดการวัสดุอันตรายจากภายใน,การจัดการสารโครเมเตดคอปเปอร์อาร์เซเนต (CCA)
- *จิตใจ* ประกอบด้วย ส่งเสริมสุขภาพจิต, ธรรมชาติและสถานที่
- *ชุมชน* ประกอบด้วย การส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี, การออกแบบเชิงบูรณาการ, การเตรียมความพร้อมในกรณีฉุกเฉิน, แบบสำรวจผู้ครอบครอง

จากการศึกษามาตฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารซึ่งมีแนวคิดและคุณสมบัติรวมถึงเงื่อนไขต่างๆ ทั้งหมด 10 แนวคิดและได้คัดเลือกถึงความเป็นไปได้ในการนำมาบริหารจัดการทรัพยากรอาคารอยู่ 4 แนวคิด คือ

1) อากาศ (AIR)

- เกณฑ์สำหรับฝุ่นละออง

Pm 2.5 น้อยกว่า 15 $\mu g/m^3$

Pm 10 น้อยกว่า 50 $\mu g/m^3$

เป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้สำหรับโครงการที่มีระดับ Pm 2.5 เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 35 ไมโครกรัม/เมตร^3 หรือสูงกว่า

a. Pm 2.5 เท่ากับ 30% ของระดับกลางแจ้งเฉลี่ย 24 หรือ 48 ชั่วโมงในวันที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพ

b. Pm 10 เท่ากับ 30% ของระดับกลางแจ้งเฉลี่ย 24 หรือ 48 ชั่วโมงในวันที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพ

- การปรับปรุงคุณภาพอากาศ

ตามข้อตกลงดังนี้ Pm 2.5 < 10 ไมโครกรัม/ลบ.ม

Pm 10 < 20 ไมโครกรัม/ลบ. ม

2) ความสบายในการระบายความร้อน (Thermal Comfort)

2.1 ประสิทธิภาพการระบายความร้อน ให้สภาพแวดล้อมทางความร้อนที่ยอมรับได้

ทางเลือกที่1 ประสิทธิภาพการตรวจสอบสภาพแวดล้อม เป็นไปตามข้อกำหนดตามความเหมาะสมของพื้นที่ที่มีการใช้เครื่องจักรเป็นประจำ จะรักษาสภาพความสบายทางความร้อนของ PMV+/- 0.5 ไว้อย่างน้อย 90%

ตารางที่ 2 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ

	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกอาคาร, $t_{pma(out)}$	อุณหภูมิการทำงานในร่ม	หมายเหตุ
ขั้นต่ำ	50°F	$t_{pma(out)}$x 0.31+47.9°F	ไม่มี
ขีดสุด	92°F	$t_{pma(out)}$x 0.31+60.5°F	อาจใช้ความเร็วลมสูงที่สุดขึ้นควบคุมโดยผู้ครอบครองเพื่อเพิ่มค่าสูงสุดตาม ASHRAE 55

ทางเลือกที่2 ข้อมูลความร้อนระยะยาว ตรงตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

a. โครงการตรงตามคุณลักษณะ T06 Thermal Monitoring

b. ข้อมูลเซ็นเซอร์แสดงให้เห็นพารามิเตอร์ตรงตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. หนึ่งใน PMV ของช่วงอุณหภูมิอาจใช้อุณหภูมิเปราะแห้ง แทนอุณหภูมิในการทำงานและต้องวัดอุณหภูมิภายนอกด้วย
2. อุณหภูมิเปราะแห้งอยู่ระหว่าง 70-77 °F สำหรับชั่วโมงที่ใช้งาน ความเร็วลมที่ออกแบบไว้ไม่เกิน 40 fmp ที่ 5.6 ฟุต เหนือพื้น

ทางเลือกที่3 แบบสำรวจความสบายทางความร้อน ตรงตามข้อกำหนดโปรเจกต์มีคะแนนอย่างน้อย2จุดในฟิลเจอร์ T02: Verified Comfort

2.2 การควบคุมความชื้น สำหรับพื้นที่ทั้งหมด ให้เลือกระหว่างต่อไปนี้

ตัวเลือกที่1 การควบคุมความชื้นเชิงกลเป็นไปตามข้อกำหนดในพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำยกเว้นบริเวณที่มีความชื้นสูงและระบบกลไกต้องมีความสามารถในการรักษาความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 30-60 % ตลอดเวลา

ตัวเลือกที่2 การสร้างแบบจำลองความชื้น เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำทั้งหมด ยกเว้นพื้นที่ที่มีความชื้นสูงระดับความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่อยู่ระหว่าง 30-60% เป็นเวลาอย่างน้อย 98% ของชั่วโมงทำงานทั้งหมดของปี

ตัวเลือกที่3 ข้อมูลความชื้นในระยะยาว ตรงตามข้อกำหนดของโครงการตรงตามคุณลักษณะ T06: การตรวจสอบความสบายในการระบายความร้อนและความชื้นในพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำ ยกเว้นบริเวณที่มีความชื้นสูงอยู่ระหว่าง 30-60%

3) เสียง (Sound)

จำกัดระดับเสียงพื้นหลังระดับเสียงรบกวนเบื้องหลังจะวัดในช่วงเวลา 5 นาที และระดับความดังของเสียงโดยเฉลี่ยจะไม่เกินเกณฑ์ต่อไปนี้ ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3 ระดับเสียงที่ใช้ในพื้นที่ต่างๆ

ชั้น	ระดับความดันเสียง (SPL)		หมวด4	หมวด3	หมวด2	หมวด1
1	SPL เฉลี่ย (เล็ก)	dBA	55	50	45	40
		dBC	75	70	65	60
	แม็กซ์ SPL (LMax)	dBA	65	60	55	50
		dBC	85	80	75	70
2	SPL เฉลี่ย (เล็ก)	dBA	50	45	40	35
		dBC	70	65	60	55
	แม็กซ์ SPL (Lmax)	dBA	60	55	50	45
		dBC	80	75	70	65

หมวด1 พื้นที่สำหรับการประชุมการเรียนรู้ หรือการพูด

หมวด2 พื้นที่ปิดสำหรับสมาธิ

หมวด3 พื้นที่เปิดสำหรับสมาธิ พื้นที่ที่มีระบบ PA เป็นประจำ และพื้นที่สำหรับรับประทานอาหาร

หมวด4 พื้นที่ที่มีเครื่องจักรและเครื่องใช้โดยผู้ใช้บริการ

4) แสง (Light)

4.1 การออกแบบแสงภาพ ให้การมองเห็นที่ชัดเจน เลือกระหว่างต่อไปนี้

ตัวเลือกที่1 การออกแบบแสงภาพ พื้นที่ในร่มและกลางแจ้งทั้งหมด รวมถึงเกณฑ์ความส่องสว่างต้องคำนึงถึงงานและกลุ่มอายุของผู้อยู่อาศัยให้เป็นไปตามเกณฑ์ความสว่างที่ระบุในแนวทางอ้างอิงแสงข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. IES Lighting Handbook ฉบับที่10
2. EN 12464-1&2: 2011 หรือ EN 12464: 2022
3. ISO 8995-1:2022€ (CIE S 008/E:2001)
4. GB50034-2013
5. รหัส CIBSE SLL สำหรับการให้แสงสว่าง

ตัวเลือกที่2 ระดับแสงที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หากมากกว่า 50% ของผู้อยู่อาศัยมีอายุต่ำกว่า 65 ปีพื้นที่โครงการอย่างน้อย 90%

ต้องประกอบด้วยประเภทพื้นที่ต่อไปนี้และตรงตามเกณฑ์ความสว่างที่เกี่ยวข้อง

1. สำนักงาน ห้องประชุม และห้องเรียน: ขั้นต่ำ30 fc ที่ระดับพื้น
2. Lobby Atrium และ Transition (รวมถึงทางเดินและทางเดินกลางแจ้ง): ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น
3. พื้นที่จัดเก็บ: ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น
4. ห้องอาหาร เลานจ์ และห้องน้ำ: ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น

4.2 การออกแบบระบบไฟแบบ Circadian การจัดแสงสำหรับผู้คน สำหรับเวิร์กสเตชันที่ใช้ในเวลากลางวัน แสงไฟจะใช้เพื่อให้ได้เกณฑ์ระดับแสงทำได้อย่างนี้ 4 ชั่วโมง (อย่างช้าที่สุดตั้งแต่เที่ยงวัน) ที่ความสูง 18 เหนือระนาบงานสำหรับเวิร์กสเตชันทั้งหมดในพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำ

และระดับแสงจะทำได้บนระแนบแนวตั้งที่ระดับสายตาเพื่อจำลองแสงที่เข้าสู่ดวงตาของผู้อยู่อาศัย

ตารางที่ 4 การออกแบบไฟและการจัดแสง

ชั้น	เกณฑ์		เกณฑ์สำหรับโครงการที่มีการปรับเวลาตามฤดูกาล
1	อย่างน้อย 150 EML [136M-EDI(D65)]	หรือ	โครงการบรรลุอย่างน้อย 120 EML[109 M-EDI(D65)] และ L05 ส่วนที่1 หรือ L06 ตอนที่1
2	อย่างน้อย 275 EML [12 0 Lux M-EDI(D65)]		โครงการบรรลุอย่างน้อย 180 EML[163 M-EDI(D65)] และ L05 ส่วนที่1 หรือ L06 ตอนที่1

วิธีการตามแบบจำลองสารสนเทศ สำหรับการนำมาตรฐาน WELL Building Standard ไปใช้ในการวิเคราะห์และการให้คะแนนด้านสุขภาพและความสะดวกสบายของมนุษย์ [12] ได้มีการศึกษานี้สำรวจและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้แบบจำลองสารสนเทศใน WELL Building Standard เพื่อการวิเคราะห์และให้คะแนนความสบายของมนุษย์ โดยใช้แบบจำลองสารสนเทศเป็นศูนย์กลางข้อมูลของการจำลองการนำเสนอดิจิทัล 3 มิติสำหรับการจัดการอาคาร และข้อมูลนี้จำเป็นสำหรับการปรับปรุงสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อใช้ประโยชน์จากแบบจำลองสารสนเทศสำหรับการวิเคราะห์และการให้คะแนนของ WELL Building Standard วิธีการที่นำเสนอมีขั้นตอนดังนี้ : (1) ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน WELL Building Standard และแบบจำลองสารสนเทศที่ได้รับการพัฒนา โดยอิงตามพารามิเตอร์ที่ระบุที่สอดคล้องกันจากแบบจำลองสารสนเทศและพารามิเตอร์ที่สร้างขึ้นใหม่สำหรับการวิเคราะห์การจัดอันดับ (2) เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสภาพ ของสภาพแวดล้อมในอาคารและประเมินระดับความสะดวกสบายของมนุษย์ในอาคาร (3) ซอฟต์แวร์วิศวกรรมใช้เพื่อจำลองเขตความสะดวกสบายของมนุษย์และค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองสารสนเทศ และ (4) ค่าการตรวจสอบเซ็นเซอร์จะถูกเปรียบเทียบและรวมเข้ากันผลการจำลองจากซอฟต์แวร์วิศวกรรมไปยังการวิเคราะห์คะแนนความสะดวกสบายของมนุษย์ตาม WELL Building Standard เมื่อทำการวิเคราะห์และนำเสนอทั้ง 4 ขั้นตอนได้ถูกประเมินโดยใช้กรณีศึกษาที่มี 3 สถานการณ์ในสภาวะการระบายอากาศที่แตกต่างกัน วิธีที่แบบจำลองสารสนเทศเสนอโดยอิงตามมาตรฐาน WELL Building Standard ช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียรวมทั้งวิศวกร ผู้จัดการสิ่งอำนวยความสะดวก และผู้ครอบครอง สามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจผลกระทบของการออกแบบอาคารและการดำเนินงานสิ่งอำนวยความสะดวกต่อสุขภาพและความสะดวกสบายของมนุษย์ได้ดียิ่งขึ้น วิธีการที่นำเสนอนี้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงสุขภาพและความสะดวกสบายของมนุษย์ในร่ม และช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับผู้พักอาศัย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

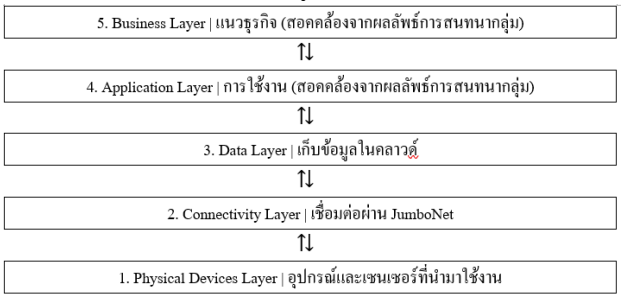
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยใช้ข้อมูลอาคารที่เป็นมหาวิทยาลัย และเพื่อให้งานวิจัยนี้บรรลุสำเร็จเป้าหมายตามวัตถุประสงค์การศึกษา สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็น 5 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2

3.1 การจัดทำสนทนากลุ่ม

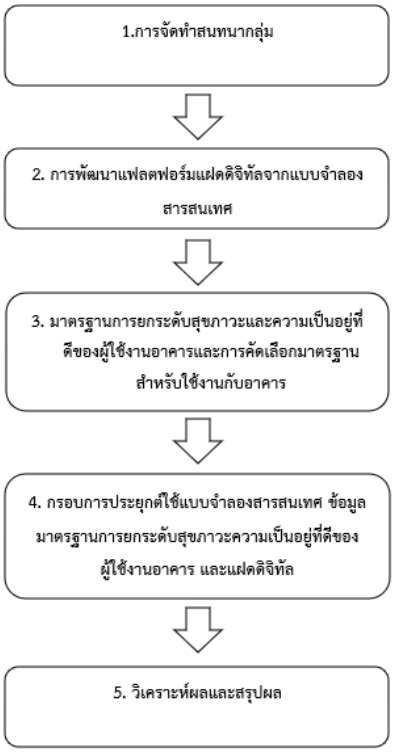
ทำการสนทนากลุ่มกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอาคารต้นแบบ เพื่อทราบถึงความต้องการในการบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร ประเด็นในการสนทนากลุ่มจะมุ่งเน้นไปในเชิงความต้องการในการบริหารจัดการทรัพยากรอาคารที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับแฝดดิจิทัล มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารเข้ามาเป็นมาตรฐานการจัดการทรัพยากรอาคาร

3.2 การพัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัลจากแบบจำลองสารสนเทศ

พัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัล และนำข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร และข้อมูลจากเซนเซอร์ IoT เข้ามาผสมผสาน โดยแนวทางในการพัฒนาแสดงในกรอบงานดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบงานการพัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัล



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3 มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) และการคัดเลือกมาตรฐานสำหรับใช้งานกับอาคาร

ศึกษามาตฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร และคัดเลือกมาตฐานที่เหมาะสมกับการใช้งานกับอาคารในพื้นที่กรณีศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.4 กรอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศ ข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) และแฝดดิจิทัล

แฟลตฟอร์มดิจิทัลที่ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศมาเปรียบเทียบค่าคะแนนมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้อาคาร (WELL Building Standard) และในขณะเดียวกันก็พิจารณา

ลดทอนแบบจำลองที่ไม่มีความจำเป็นออกไปเพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลต่อไป

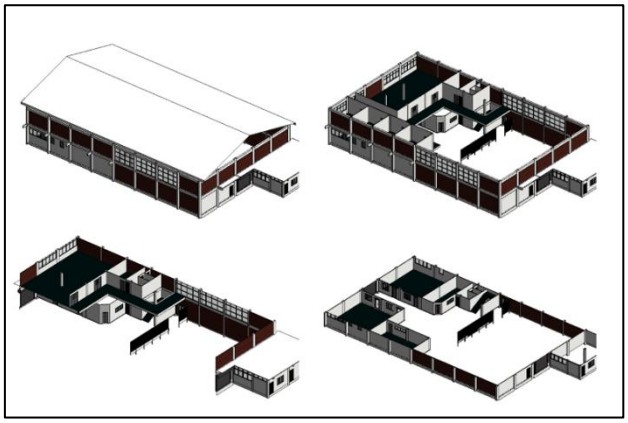
3.5 วิเคราะห์ผลและสรุปผล

ทำการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลที่ได้จากการสนทนากลุ่มกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอาคารกรณีศึกษา รวมถึงการคัดเลือกมาตฐานการยกระดับสุขภาวและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร และการพัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัลกับข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้อาคาร

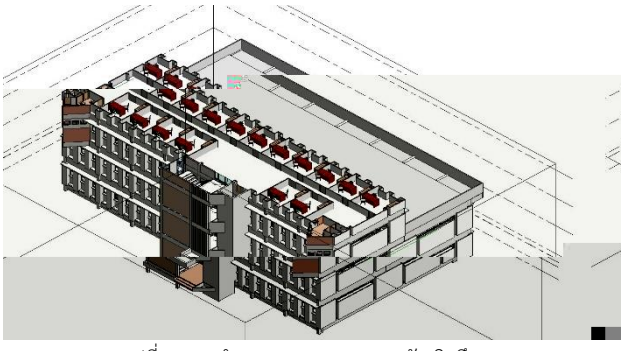
4. ผลการวิจัย

4.1 การจัดทำสนทนากลุ่ม

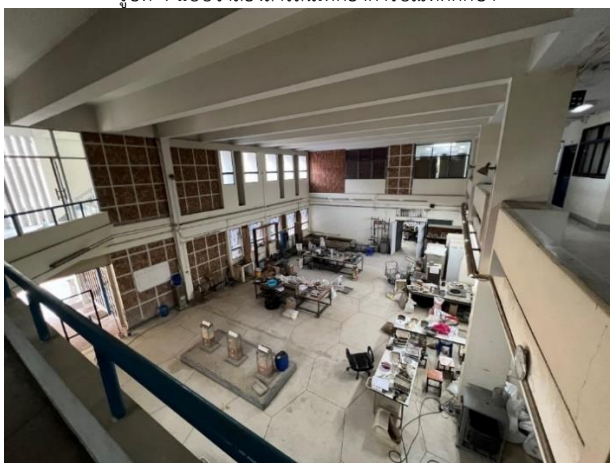
การจัดทำสนทนากลุ่มกับผู้ที่เกี่ยวข้องกับอาคารกรณีศึกษาประกอบไปด้วย หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา ผู้ช่วยหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และวิศวกรประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา จำนวน 4 คน สามารถสรุปผลการสนทนาได้ดังนี้ มุ่งเน้นความต้องการในการบริหารจัดการทรัพยากรอาคารที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับแฝดดิจิทัล และมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะและความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารเข้ามาเป็นมาตรฐานการจัดการทรัพยากรอาคาร ซึ่งกำหนดพื้นที่กรณีศึกษาคือ ห้องเรียนอาคารบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมโยธา, สำนักงานภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ห้องปฏิบัติการตึกบัณฑิตศึกษา, ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโครงสร้าง และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมแหล่งน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3, 4 และ5 ส่วนข้อมูลที่ต้องการศึกษาครั้งนี้คือ ความชื้น, แสง, เสียง และฝุ่น ที่จะต้องวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการออกแบบอาคาร การดำเนินการจัดการความสะดวกสบาย การจัดการทรัพยากรอาคารได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต ซึ่งวิธีการนำเสนอในหลายๆรูปแบบของเซนเซอร์จะช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจและสามารถสร้างกรอบการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งถือว่าช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในการทำงานและเป็นมิตรกับผู้เรียนและผู้ใช้งานอาคารมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 แบบจำลองสารสนเทศห้องปฏิบัติการโครงสร้างวิศวกรรมโยธา



รูปที่ 4 แบบจำลองสารสนเทศอาคารบัณฑิตศึกษา



รูปที่ 5 พื้นที่จริงห้องปฏิบัติการตึกบัณฑิตศึกษา

4.2 การพัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัลจากแบบจำลองสารสนเทศ

ตามลำดับกรอบงานการพัฒนาแพลตฟอร์มแฝดดิจิทัลจากแบบจำลองสารสนเทศและข้อมูลเซนเซอร์ IoT เข้ามาบูรณาการนั้น ได้ผลการพัฒนาดังนี้

1. Physical Devices Layer อุปกรณ์และเซนเซอร์ที่นำมาใช้งาน

ชั้นของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ ประกอบอยู่ 4 แบบ คือ ฝุ่น, แสง, เสียง และอุณหภูมิ บรรจุอยู่ในกล่องสีขาว โดยจะติดตั้งในพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับปลั๊กไฟ เพราะกล่องเซ็นเซอร์ต้องเสียบชาร์ตไฟตลอดเวลา



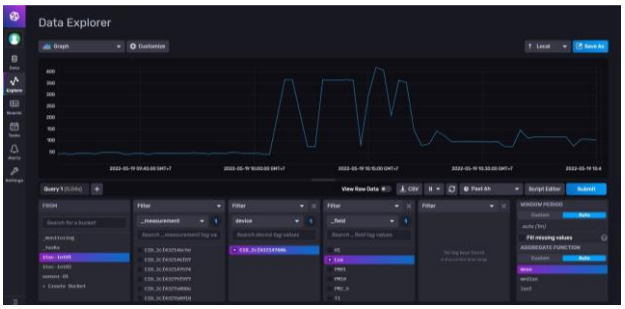
รูปที่ 6 เซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

2. Connectivity Layer เชื่อมต่อผ่าน JumboNet

ชั้นของการส่งผ่านข้อมูลจะส่งผ่านระบบเครือข่ายไร้สายที่ชื่อว่า JumboNet เป็นเครือข่ายไร้สายที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและครอบคลุมทั่วทั้งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3. Data Leyer เก็บข้อมูลในคลาวด์

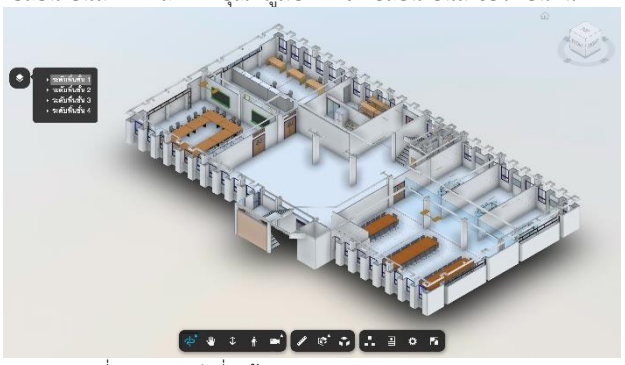
ชั้นของการเก็บข้อมูลในระบบคลาวด์ โดยใช้ระบบ influxDB เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่เป็นโซลูชั่นระบบคลาวด์ ซึ่งเป็นพื้นที่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก และวิเคราะห์ผลได้แบบเรียลไทม์



รูปที่ 7 ข้อมูลการแสดงผลจากเซนเซอร์

4. Application Layer การใช้งาน

การแสดงผลแบบเรียลไทม์ของเซ็นเซอร์จะแสดงผลบน Autodesk Forge ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออุณภูมิสูงเกินค่ามาตฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) พื้นที่จะเปลี่ยนเป็นสีแดง และหากอุณหภูมิปกติก็จะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เป็นต้น



รูปที่ 8 แผ่ดดิจิทัลที่นำข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศมาแสดงผล

4.3 มาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) และคัดเลือกมาตรฐานสำหรับใช้งานกับอาคาร

ในการสำรวจคุณลักษณะทั้งหมดของ WELL Building Standard ทั้ง 10 แนวคิดนั้น ในการศึกษาครั้งนี้เราได้ทำการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมกับใช้งานในพื้นที่กรณีศึกษา นั่นคือ อากาศ, ความสบายในการระบายความร้อน, เสียง, และแสง เพราะเนื่องด้วยอาคารที่ใช้ในการศึกษาเป็นอาคารที่เกี่ยวกับการเรียนการสอน ห้องปฏิบัติการ และสำนักงาน ที่มีการใช้งานตลอดเวลา จึงเหมาะกับคุณลักษณะที่ได้คัดเลือกมาดังกล่าว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) อากาศ (AIR)

- เกณฑ์สำหรับฝุ่นละออง

Pm 2.5 น้อยกว่า 15 $\mu g/m^3$

Pm 10 น้อยกว่า 50 $\mu g/m^3$

เป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้สำหรับโครงการที่มีระดับ Pm 2.5 เฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 35 ไมโครกรัม/เมตร^3 หรือสูงกว่า

a. Pm 2.5 เท่ากับ 30% ของระดับกลางแจ้งเฉลี่ย 24 หรือ 48 ชั่วโมงในวันที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพ

b. Pm 10 เท่ากับ 30% ของระดับกลางแจ้งเฉลี่ย 24 หรือ 48 ชั่วโมงในวันที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพ

- การปรับปรุงคุณภาพอากาศ

ตามข้อตกลงดังนี้ Pm 2.5 < 10 ไมโครกรัม/ลบ.ม

Pm 10 < 20 ไมโครกรัม/ลบ. ม

2) ความสบายในการระบายความร้อน (Thermal Comfort)

2.1 ประสิทธิภาพการระบายความร้อน ให้สภาพแวดล้อมทางความร้อนที่ยอมรับได้

ทางเลือกที่1 ประสิทธิภาพการตรวจสอบสภาพแวดล้อม เป็นไปตามข้อกำหนดตามความเหมาะสมของพื้นที่ ที่มีการใช้เครื่องจักรเป็นประจำจะรักษาสภาพความสบายทางความร้อนของ PMV+/- 0.5 ไว้อย่างน้อย 90%

ตารางที่ 5 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ

	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกอาคาร, $t_{pma(out)}$	อุณหภูมิการทำงานในร่ม	หมายเหตุ
ขั้นต่ำ	50°F	$t_{pma(out)}$x 0.31+47.9°F	ไม่มี
ขีดสุด	92°F	$t_{pma(out)}$x 0.31+60.5°F	อาจใช้ความเร็วลมสูงที่สุดขึ้นควบคุมโดยผู้ครอบครองเพื่อเพิ่มค่าสูงสุดตาม ASHRAE 55

ทางเลือกที่2 ข้อมูลความร้อนระยะยาว ตรงตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

a. โครงการตรงตามคุณลักษณะ T06 Thermal Monitoring

b.ข้อมูลเซ็นเซอร์แสดงให้เห็นพารามิเตอร์ตรงตามข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. หนึ่งใน PMV ของช่วงอุณหภูมิอาจใช้อุณหภูมิเปราะแห้ง แทนอุณหภูมิในการทำงานและต้องวัดอุณหภูมิภายนอกด้วย หรือ

2. อุณหภูมิเปราะแห้งอยู่ระหว่าง 70-77 °F สำหรับชั่วโมงที่ใช้งาน ความเร็วลมที่ออกแบบไว้ไม่เกิน 40 fmp ที่ 5.6 ฟุต เหนือพื้น

ทางเลือกที่3 แบบสำรวจความสบายทางความร้อน ตรงตามข้อกำหนดโปรเจกต์มีคะแนนอย่างน้อย2จุดในฟิลเจอร์ T02: Verified Comfort

2.2 การควบคุมความชื้น สำหรับพื้นที่ทั้งหมด ให้เลือกระหว่างต่อไปนี้

ตัวเลือกที่1 การควบคุมความชื้นเชิงกลเป็นไปตามข้อกำหนดในพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำยกเว้นบริเวณที่มีความชื้นสูงและระบบกลไกต้องมีความสามารถในการรักษาความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 30-60 % ตลอดเวลา

ตัวเลือกที่2 การสร้างแบบจำลองความชื้น เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำทั้งหมด ยกเว้นพื้นที่ที่มีความชื้นสูงระดับความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่อยู่ระหว่าง 30-60% เป็นเวลาอย่างน้อย 98% ของชั่วโมงทำงานทั้งหมดของปี

ตัวเลือกที่3 ข้อมูลความชื้นในระยะยาว ตรงตามข้อกำหนดของโครงการตรงตามคุณลักษณะ T06: การตรวจสอบความสบายในการระบาย

ความร้อนและความชื้นในพื้นที่ที่มีการใช้งานเป็นประจำ ยกเว้นบริเวณที่มีความชื้นสูงอยู่ระหว่าง 30-60%

3) เสียง (Sound)

จำกัดระดับเสียงพื้นหลังระดับเสียงรบกวนเบื้องหลังจะวัดในช่วงเวลา 5 นาที และระดับความดังของเสียงโดยเฉลี่ยจะไม่เกินเกณฑ์ต่อไปนี้ ตามความเหมาะสม

ตารางที่ 6 ระดับเสียงที่ใช้ในพื้นที่ต่างๆ

ชั้น	ระดับความดันเสียง (SPL)		หมวด4	หมวด3	หมวด2	หมวด1
1	SPL เฉลี่ย (เล็ก)	dBA	55	50	45	40
		dBC	75	70	65	60
	แม็กซ์ SPL (LMax)	dBA	65	60	55	50
		dBC	85	80	75	70
2	SPL เฉลี่ย (เล็ก)	dBA	50	45	40	35
		dBC	70	65	60	55
	แม็กซ์ SPL (Lmax)	dBA	60	55	50	45
		dBC	80	75	70	65

หมวด1 พื้นที่สำหรับการประชุมการเรียนรู้ หรือการพูด

หมวด2 พื้นที่ปิดสำหรับสมาธิ

หมวด3 พื้นที่เปิดสำหรับสมาธิ พื้นที่ที่มีระบบ PA เป็นประจำ และพื้นที่สำหรับรับประทานอาหาร

หมวด4 พื้นที่ที่มีเครื่องจักรและเครื่องใช้โดยผู้ใช้บริการ

4) แสง (Light)

4.1 การออกแบบแสงภาพ ให้การมองเห็นที่ชัดเจน เลือกระหว่างต่อไปนี้

ตัวเลือกที่1 การออกแบบแสงภาพ พื้นที่ในร่มและกลางแจ้งทั้งหมด รวมถึงเกณฑ์ความส่องสว่างต้องคำนึงถึงงานและกลุ่มอายุของผู้อยู่อาศัยให้เป็นไปตามเกณฑ์ความสว่างที่ระบุในแนวทางอ้างอิงแสงข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1. IES Lighting Handbook ฉบับที่10
2. EN 12464-1&2: 2011 หรือ EN 12464: 2022
3. ISO 8995-1:2022(E) (CIE S 008/E:2001)
4. GB50034-2013
5.รหัส CIBSE SLL สำหรับการให้แสงสว่าง

ตัวเลือกที่2 ระดับแสงที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หากมากกว่า 50% ของผู้อยู่อาศัยมีอายุต่ำกว่า 65 ปีพื้นที่โครงการอย่างน้อย 90% ต้องประกอบด้วยประเภทพื้นที่ต่อไปนี้และตรงตามเกณฑ์ความสว่างที่เกี่ยวข้อง

1. สำนักงาน ห้องประชุม และห้องเรียน: ขั้นต่ำ30 fc ที่ระดับพื้น

2. Lobby Atrium และ Transition (รวมถึงทางเดินและทางเดินกลางแจ้ง): ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น

3. พื้นที่จัดเก็บ: ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น

4. ห้องอาหาร เลานจ์ และห้องน้ำ: ขั้นต่ำ 10 fc ที่ระดับพื้น

4.2 การออกแบบระบบไฟแบบ Circadian การจัดแสงสำหรับผู้คน สำหรับเวิร์กสเตชันที่ใช้ในเวลากลางวัน แสงไฟจะใช้เพื่อให้ได้เกณฑ์ระดับแสงทำได้อย่างนี้ 4 ชั่วโมง (อย่างช้าที่สุดตั้งแต่เที่ยงวัน) ที่ความสูง 18 เหนือระนาบงานสำหรับเวิร์กสเตชันทั้งหมดในพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำ และระดับแสงจะทำได้บนระแนบแนวตั้งที่ระดับสายตาเพื่อจำลองแสงที่เข้าสู่ดวงตาของผู้อยู่อาศัย

ตารางที่ 7 การออกแบบไฟและการจัดแสง

ชั้น	เกณฑ์		เกณฑ์สำหรับโครงการที่มีการปรับเวลาตามฤดูกาล
1	อย่างน้อย 150 EML [136M-EDI(D65)]	หรือ	โครงการบรรลุอย่างน้อย 120 EML[109 M-EDI(D65)] และ L05 ส่วนที่1 หรือ L06 ตอนที่1
2	อย่างน้อย 275 EML [120 Lux M-EDI(D65)]		โครงการบรรลุอย่างน้อย 180 EML[163 M-EDI(D65)] และ L05 ส่วนที่1 หรือ L06 ตอนที่1

4.4 กรอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศ ข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) และแฝดดิจิทัล

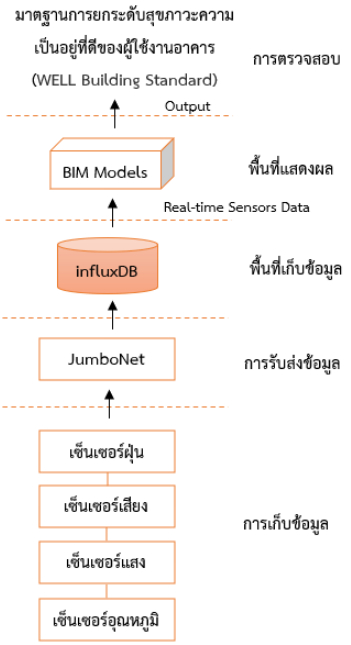
ขั้นตอนในการรับข้อมูลเซนเซอร์จากสภาพแวดล้อมเป็นข้อกำหนดพื้นฐานที่กำหนดไว้ให้ติดตั้งในพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่น, แสง, เสียง และอุณหภูมิ

เมื่อมีการได้มาของข้อมูลและการรับของข้อมูล ต้องมีการส่งต่อข้อมูลนั้น โดยส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN) ที่เปิดใช้งาน IoT ระบบเครือข่ายไร้สายที่ใช้คือ JumboNet เป็นระบบเครือข่ายไร้สายที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและครอบคลุมทั้งมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากเซ็นเซอร์เรียกว่า influxDB เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลที่เป็นโซลูชั่นระบบคลาวด์ออกแบบมาให้จัดการกับการอ่านหรือการเขียนข้อมูลที่หนักหน่วง สามารถจัดเก็บข้อมูลได้จำนวนมากเพราะมีความเร็วกว่าฐานข้อมูลทั่วไป รวมถึงการประมวลผลแบบเรียลไทม์

พื้นที่ในการแสดงผลในการนำแบบจำลองสารสนเทศมาประยุกต์ใช้โดยแสดงผลผ่านซอฟแวร์ Autodesk Forge ซึ่งเป็นตัวแสดงผลของเซ็นเซอร์แบบเรียลไทม์ ฟังก์ชั่นการตรวจสอบฝุ่น อุณหภูมิ แสง และเสียงที่จะแสดงออกเป็นสีต่างๆตามค่าของเซ็นเซอร์ที่ตรวจจับได้

การวิเคราะห์ค่าที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้กับมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร (WELL Building Standard) เป็นการตรวจสอบความสะดวกสบายขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้คะแนนความสะดวกสบายของมนุษย์ที่เป็นผู้ใช้งานอาคารรวมถึงการนำมาบริหารจัดการทรัพยากรอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ระดับการส่งข้อมูลของเซนเซอร์ไปยังแฝดดิจิทัล

5. บทสรุป

การศึกษาการพัฒนาแฝดดิจิทัลในระดับอาคารจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับการบริหารทรัพยากรกายภาพได้นำเสนอกรอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศ ข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร และแฝดดิจิทัล

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลองสารสนเทศ เมื่อนำมาปรับปรุงความละเอียดต่างๆของโมเดลให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในแฝดดิจิทัล รวมถึงการบูรณาการนำมาวิเคราะห์และให้คะแนนความสะดวกสบายกับมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร ในพื้นที่การศึกษาที่แตกต่างกัน ทั้งห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ และห้องสำนักงาน ซึ่งเมื่อได้พัฒนากรอบการประยุกต์แบบจำลองสารสนเทศกับข้อมูลมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคาร และแฝดดิจิทัล สามารถนำไปใช้งานจริงเพื่อวิเคราะห์และทดสอบผลซึ่งเป็นการให้คะแนนที่สามารถนำไปปรับปรุงอาคารเพื่อรับรองของมาตรฐานการยกระดับสุขภาวะความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ใช้งานอาคารได้ นอกจากนี้เป้าหมายงานวิจัยในอนาคตคือ การนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาแสดงผลและใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรกายภาพของอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสร้างสภาวะแวดล้อมที่เป็นมิตรกับผู้ใช้งาน ช่วยให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย รวมทั้งวิศวกร ผู้จัดการสิ่งอำนวยความสะดวก และผู้ ครอบครอง สามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจผลกระทบของการออกแบบอาคารและการดำเนินงานสิ่งอำนวยความสะดวกต่อสุขภาพและความสะดวกสบายของมนุษย์ได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการให้ทุนวิจัยการพัฒนาแฝดดิจิทัลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kaewunruen, S., and Xu, N., (2018). Digital Twin for Sustainability Evaluation of Railway Station Buildings. *Frontiers in Built Environment*, 4, 77.

[2] Shahinmoghadam, M., Natephra, W., and Motamedi, A. (2021). BIM-and IoT-based virtual reality tool for real-time thermal comfort assessment in building enclosures. *Building and Environment*, *199*, 107905.

[3] Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Ranasinghe, G. D., and Heaton, J. (2019). Developing a dynamic digital twin at a building level: Using Cambridge campus as case study. *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) Driving Data-Informed Decision-Making*, 67–75.

[4] Peng, Y., Zhang, M., Yu, F., Xu, J., and Gao, S. (2020). Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration. *Advances in Civil Engineering*, *2020*.

[5] Phakdee, B., Banjongkliang, E., Nusen, P., and Kaewmoracharoen, M. (2020). Analysis of Building Information Modeling Inspection Guidelines for University Building Construction. *The 25th National Convention on Civil Engineering, Chonburi, Thailand*.

[6] Khajavi, S. H., Motlagh, N. H., Jaribion, A., Werner, L. C., and Holmström, J. (2019). Digital twin: vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. *IEEE Access*, *7*, 147406–147419.

[7] Deng, M., Menassa, C. C., and Kamat, V. R. (2021). From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, *26*(5), 58–83.

[8] O'Sullivan, K. (2019). *Digital twins, the airport operations control interface of the future*. https://www.sita.aero/resources/blog/digital-twins-the-airport-operations-control-interface-of-the-future.

[9] Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., and Yamu, C. (2020). Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, *12*(6), 2307.

[10] Dang, N., and Shim, C. (2020). Bridge assessment for PSC Girder Bridge using Digital Twins Model. *Lecture Notes in Civil Engineering*, *54*, 1241–1246.

[11] Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Ranasinghe, G. D., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., and Schooling, J. (2020). Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus. *Journal of Management in Engineering*, *36*(3), 05020004.

[12] Chen, W., Gan, J., Chen, K., and Cheng, C. P. (2018). A BIM-based approach for implementing WELL standard on human health and comfort analysis. *Proceedings of the 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE),* Tampere, Finland, 5 - 7 July 2018.