

ระบบการแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารบน ฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร* BIM–Base Indoor Environmental Monitoring System

เทิดศักดิ์ เตชะกิจจระ**, ชลัมพล อวณพงษ์*** และกวีไกร ศรีหิรัญ****

Terdsak Tachakitkachorn**, Chalumpon Thawanapong*** and Kaweechai Srihiran

Received : December 23, 2019

Revised : June 09, 2020

Accepted : June 10, 2020

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ยุคดิจิทัลของเทคโนโลยีอาคารทำให้ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาคารถูกจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลอย่างมีระบบภายในแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคาร นอกจากนี้ข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารยังสามารถถูกตรวจจับและเก็บไว้ในรูปแบบดิจิทัลผ่านอุปกรณ์ตรวจจับที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต แต่เนื่องจากแบบจำลองข้อมูลสารสนเทศอาคารเป็นข้อมูลที่มีความซับซ้อน และมีลักษณะที่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผนวกข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ร่วมกับข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและนำมาแสดงผลบนระบบแสดงผลตามเวลาจริง

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลสภาพแวดล้อมลงบนพื้นที่ทดลองจริงขนาด 48 ตารางเมตร และทำการจัดการข้อมูลสารสนเทศอาคารโดยแบ่งประเภทข้อมูลออกเป็น 1) ข้อมูลแบบคงที่ 2) ข้อมูลแบบเคลื่อนไหว จากนั้นทำการผสานข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับเข้ากับข้อมูลสารสนเทศอาคารแบบเคลื่อนไหวเพื่อแสดงผลร่วมกับข้อมูลอาคารแบบคงที่ ผลการศึกษาพบว่าสามารถเชื่อมต่อข้อมูลทั้งสองส่วนได้ผ่านบริการจัดเก็บและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ และแบ่งข้อมูลสารสนเทศอาคารแบบคงที่ออกเป็น 1) ข้อมูลอาคาร ซึ่งจะใช้ในการแสดงผลและคำนวณค่าพารามิเตอร์ 2) ข้อมูลอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบแสดงผลใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ 3) ข้อมูลอุปกรณ์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลซึ่งจะถูกกรองออกไป ในส่วนของข้อมูลสารสนเทศอาคารแบบเคลื่อนไหวจะเป็นโมเดลกล่องลูกบาศก์ที่สามารถเปลี่ยนสีได้ตามรหัสสีที่ถูกส่งมาจากฐานข้อมูลอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น และข้อมูลค่าความเข้มแสง ข้อมูลแต่ละประเภทจะถูกนำมาจำลองค่าพารามิเตอร์ บนระบบพิกัด 3 มิติ เพื่อใช้ในการ

* บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง ระบบบริหารทรัพยากรอาคารอัตโนมัติสำหรับอาคารรูปแบบดิจิทัล ซึ่งได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม

, * หน่วยวิจัยสถาปัตยกรรมเพื่อชุมชนสร้างสรรค์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

**** หน่วยปฏิบัติการวิจัยด้านการวิเคราะห์ ภูมิภาค เมือง และสิ่งแวดล้อมสร้างสรรค์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ 10330 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

,* Architecture for Creative Community Research Unit, Department of Architecture, Faculty of Architecture Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

**** Regional, Urban, and Built Environmental Analytics: RUBEA, Department of Architecture, Faculty of Architecture Chulalongkorn University Bangkok 10330, Thailand

Corresponding author E-mail: terdsak@gmail.com**

บอกตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับและตำแหน่งของกล่องเป้าหมายที่จะทำการแสดงผล โดยทำการคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับและตำแหน่งของกล่องเป้าหมายแต่ละชิ้น เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์แล้วจึงนำมาแปลงผลเป็นรหัสสี โดยชุดข้อมูลที่ส่งไปแสดงผลจะประกอบด้วยรหัสสีของข้อมูลในแต่ละประเภทของกล่องแต่ละใบ โดยมีความถี่ในการส่งชุดข้อมูลทุก 5 วินาที จากการทดสอบพบว่า ข้อจำกัดในการทำงานของระบบคือประสิทธิภาพของเครื่องแม่ข่ายที่ใช้ส่งข้อมูลจากฐานข้อมูลไปยังระบบบริการจัดเก็บและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ เนื่องจากหากประสิทธิภาพของเครื่องแม่ข่ายไม่สอดคล้องกับปริมาณข้อมูลและความถี่ในการส่งข้อมูลจะทำให้ระบบการแสดงผลมีปัญหา

Abstract

The transition to the digital building system technologies has enabled building information to be stored in digital format – the Building Information Modelling (BIM). In addition, the indoor environmental data can be detected and stored in the digital format by means of an IoT sensor. However, owing to the complexity of BIM data and its incompatibility with the ever-changing data from the IoT sensor, this study was thus aimed to integrate BIM with indoor environmental data using the IoT sensor in order to display the real-time outcomes on the Monitoring System.

The indoor environmental data was collected in an experimental and real area of 48 m² by the IoT sensor. The BIM was managed by classifying the data into 1) Static BIM and 2) Dynamic BIM. Next, the two sets of data, indoor environmental data and Dynamic BIM data, were integrated and displayed with Static BIM. The findings show that Static BIM and Dynamic BIM could be integrated by Cloud Technology, which provides storage and management services. The Static BIM could be divided into: 1) Architectural BIM which would be used to display and calculate the parameters, 2) the data related to the display system for calculating the parameters, and 3) the data of unrelated equipment that would be filtered out. The Dynamic BIM is a cube model in which colors could be changed according to the color codes transmitted from the IoT sensor to display the indoor environmental data including: temperatures, humidity, and light intensity. Each data was calculated to find the parameters based on the 3D Coordinate System to indicate the position of the sensor and the target cube. This was achieved by calculating the measured parameters and the distance between the IoT sensor and the position of each target cube. The parameters were then transformed into color codes. Each transmitted dataset contained the color code of each dataset and each cube. The transmission frequency was every 5 seconds. The test demonstrates the system limitation in the efficiency of the server to transmit the data to the cloud service platform that stores and manages the data. This was due to the fact that the server performance was not compatible with the amount of data and data transmission frequency, leading to unstable graphic display.

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร อุปกรณ์ตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบแสดงผลตามเวลาจริง ข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

Keywords: BIM, IoT sensor, Realtime monitoring system, Indoor environmental data

บทนำ

ในปัจจุบันกระแสการแปลงเป็นดิจิทัล (Digital transformation) ได้ส่งผลต่อกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ส่งผลให้การใช้ชีวิตมีลักษณะเปลี่ยนไป โดยทุกๆ การกระทำของมนุษย์สามารถถูกเก็บรวบรวมเป็นข้อมูลเข้าไปยังระบบดิจิทัล ข้อมูลจำนวนมากมหาศาลเหล่านี้จะถูกนำไปวิเคราะห์และทำนายถึงอนาคต หรือปัญหาที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ (Violino, 2019) โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ได้เกิดแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things-IoT) (ซึ่งในบทความนี้จะใช้ทับศัพท์ด้วยคำว่า IoT) ซึ่งเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และอุปกรณ์ในการทำงานประเภทต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและควบคุมด้วยการประมวลผลส่วนกลาง ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ รวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากที่ได้จากอุปกรณ์ เพื่อนำมาวิเคราะห์และพัฒนาระบบต่อไป (Kamila, 2017, pp. 83-85) โดยส่วนประกอบสำคัญของอุปกรณ์ IoT จะประกอบด้วย ตัวรับสัญญาณ (Sensor) ที่จะทำหน้าที่แปลงผลข้อมูลทางกายภาพเข้าสู่ระบบดิจิทัล ไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวรับสัญญาณ ประมวลผล และส่งต่อข้อมูลต่อไปในระบบ อุปกรณ์สื่อสาร (Communication device) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย (Vasseur & Dunkels, 2010, pp. 3-14) ด้วยระบบการทำงานเช่นนี้จึงสามารถเก็บรวบรวมและทำการจัดการข้อมูลจากอุปกรณ์จำนวนมากได้ อีกทั้งยังสามารถสร้างระบบการทำงานระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวโดยไม่ต้องใช้มนุษย์ในการควบคุม (Minerva, Biru, & Rotondi, 2019, pp. 70-75) ด้วยเหตุผลดังกล่าวเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) จึงได้ถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของงานบริหารทรัพยากรอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีขนาดใหญ่ เช่น ระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศ โดยจะช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงาน และเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานอาคาร (Suntiamorntut & Charoenpanyasak, 2014, pp. 12-18) และทำให้ข้อมูลในโลกแห่งความจริงและฐานข้อมูลดิจิทัลถูกเชื่อมเข้าด้วยกัน

ข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling-BIM) (ซึ่งในบทความนี้จะใช้ทับศัพท์ด้วยคำว่า BIM) เป็นข้อมูลอาคารในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลแบบจำลองอาคารสามมิติที่ประกอบด้วยข้อมูลกราฟิก (Graphic information) เช่น ความกว้าง ความยาว ความหนา ฯลฯ และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก (Non-graphic information) เช่น คุณสมบัติของวัสดุ ผู้ผลิต ฯลฯ (Aish, 1986, pp. 55-58) นอกจากนี้ยังมีการแบ่งระดับความละเอียดของข้อมูล (Level of Development-LoD) ที่หลากหลาย ตั้งแต่ LoD100 ที่แสดงข้อมูลภาพรวมของวัตถุ จนถึงระดับ LoD400 ที่แสดงข้อมูลโดยละเอียดของวัตถุ (BIM Forum, 2019) เทคโนโลยี BIM จึงสามารถสนับสนุนงานก่อสร้างอาคารโดยช่วยเป็นตัวกลางในการประสานข้อมูลจากส่วนต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้เทคโนโลยี BIM ยังช่วยยกระดับงานบริหารทรัพยากรอาคารโดยใช้เป็นฐานข้อมูลในการจำลองสภาพอาคาร และการใช้งานอาคารผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงช่วยให้เจ้าของอาคารสามารถวางแผนการจัดการอาคาร และการซ่อมบำรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage, 2558, pp. 5-8) แต่อย่างไรก็ตามการนำ BIM มาใช้ในการบริหารทรัพยากรอาคารยังมีข้อจำกัด เนื่องจาก BIM ที่มีอยู่เป็นข้อมูลแบบคงที่และยากต่อการทำงานร่วมกับระบบประมวลผลอื่นๆ (Wewalaarachchi, 2018) โดยเฉพาะข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงได้มีแนวคิดเกี่ยวกับ BIM แบบเคลื่อนไหว ซึ่งหมายถึงการนำ BIM มาทำงานร่วมกับระบบประมวลผลอื่น ผ่านแพลตฟอร์มเพื่อการสื่อสาร (Dave, Buda, Nurminen, & Främling, 2018, pp. 35-45)

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเรื่องการใช้ BIM มาวิเคราะห์อาคารในด้านต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อมในอาคาร การใช้พลังงานของอาคาร การควบคุมการก่อสร้าง โดยมีตัวอย่างการศึกษานวข้อมูลอุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของอาคารเข้ากับ BIM เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการป้องกันความร้อนของกรอบอาคาร และใช้ในการประเมินภavnาสบายของอาคารที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ โดยใช้การป้อนข้อมูลลงในแบบจำลองทาง

คอมพิวเตอร์ และทำการประมวลผลร่วมกับ BIM เพื่อวิเคราะห์สภาพอาคารหรือจำลองสถานการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นกับอาคาร(Natephra, Motamedi, Yabuki & Fukuda, 2017, pp. 194-208) อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้ BIM ในการช่วยประมวลผลจะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง แต่การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีเงื่อนไขการคำนวณที่ซับซ้อนเช่นนี้ ทำให้ต้องรอเวลาในการประมวลผลข้อมูลในแต่ละครั้ง และไม่สามารถแสดงผลได้ตามเวลาจริง (Real time) ซึ่งข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลดังกล่าว ถือเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการนำ BIM มาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ IoT เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ เป็นเครือข่ายของการรับส่งข้อมูลจำนวนมากตามเวลาจริง จึงต้องการระบบฐานข้อมูลที่สามารถทำงานได้อย่างสอดคล้องกัน โดยถึงแม้ว่า BIM จะมีศักยภาพในการจัดการข้อมูลจำนวนมาก แต่ยังคงขาดการศึกษาและพัฒนาระบบการประมวลผลและจัดการข้อมูลเพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการใช้ BIM ให้สามารถรองรับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจริง และสร้างระบบการแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารจากการผนวก BIM และ IoT เข้าด้วยกัน ประโยชน์ของงานวิจัยจะช่วยเพิ่มศักยภาพของ BIM ในการบริหารทรัพยากรอาคาร โดยจะทำให้ BIM เป็นฐานข้อมูลสำหรับการจัดการข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ถูกใช้ในงานระบบอาคารทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในอาคารตัวอย่าง ซึ่งเป็นอาคาร 5 ชั้น พื้นที่รวม 250 ตารางเมตร และมีการจัดทำ BIM ไว้อย่างครบถ้วน จากนั้นผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ชั้น 5 ของอาคาร ขนาด 48 ตารางเมตร เป็นพื้นที่ทดลองระบบการแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารบนฐานข้อมูล BIM เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการขยายพื้นที่ ระบบการดูแลสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำหรับพื้นที่ทั้งอาคารในอนาคต

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การจัดการข้อมูลภายใน BIM การเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ลงบน BIM และการทำงานของเทคโนโลยี IoT จากนั้นจึงทำการวางแผนการติดตั้งอุปกรณ์ IoT ลงในพื้นที่ทดลองขนาด 48 ตารางเมตร พร้อมกับจัดทำแนวทางการแสดงผลข้อมูลลงบน BIM เพื่อทำการทดสอบการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับมาแสดงผลลงบน BIM (Figure 1) โดยมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้

1. การจัดการข้อมูลสารสนเทศอาคาร

เนื่องจาก BIM ของอาคาร เป็นข้อมูลรายละเอียดอาคารที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ จึงต้องมีการคัดข้อมูลส่วนที่ไม่จำเป็นออกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน (Wewalaarachchi, 2018) และทำการเพิ่ม BIM อุปกรณ์ตรวจจับเข้าไปในฐานข้อมูล เพื่อนำฐานข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ซึ่งเป็นแบบการคำนวณข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ในระบบพิกัด 3 มิติ บนฐานข้อมูล BIM แบบคงที่

2. แนวทางในการแสดงผลข้อมูล

การแสดงผลข้อมูลจะแบ่งประเภทการแสดงผล ตามข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น และข้อมูลความเข้มแสง โดยข้อมูลจากอุปกรณ์จะถูกนำมาคำนวณด้วยแบบจำลองค่าพารามิเตอร์ และแปลงผลข้อมูลให้อยู่ในรูปของรหัสสีตามช่วงของข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ เพื่อนำมาแสดงผลด้วย BIM แบบเคลื่อนไหวในระบบพิกัด 3 มิติ ร่วมกับ BIM แบบคงที่

3. การทำงานของระบบ IoT

อุปกรณ์ระบบตรวจจับ IoT เป็นชุดอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยส่งข้อมูลจาก AM2322 (Aosong, 2018) สำหรับการตรวจจับข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้น และ BH1750FVI (Mouser, (n.d.))

สำหรับการตรวจจับค่าความเข้มแสง และใช้ ESP32 WiFi Module (Espressif, 2019) ในการส่งข้อมูลไปยัง เกตเวย์ของอุปกรณ์ IoT โดยเลือกใช้ LoRaWAN ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Semtech, (n.d.)) ก่อนส่งไปเก็บยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Server) ที่ติดตั้งอยู่ภายในพื้นที่ทดลอง (Figure 2)

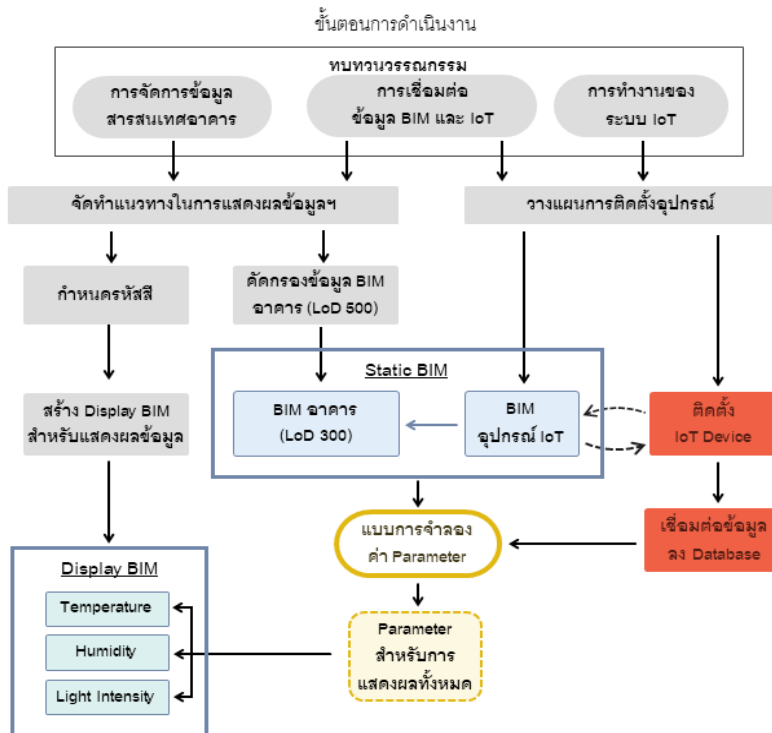


Figure 1 Chart showing the research process

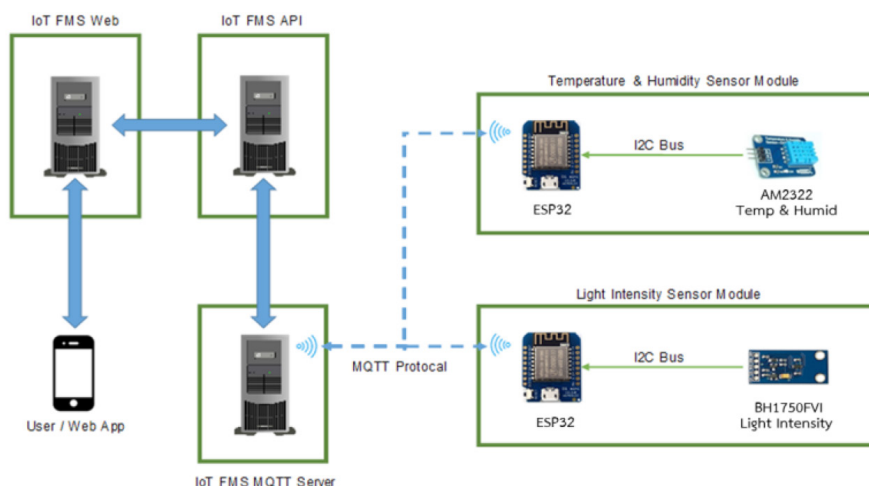


Figure 2 IoT sensor operation chart

4. การวางแผนการติดตั้งอุปกรณ์

ผู้วิจัยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น และข้อมูลความเข้มแสง ลงในพื้นที่จริง ขนาด 48 ตารางเมตร (Figure 3) พร้อมทั้งนำรายละเอียดของอุปกรณ์และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ (Figure 4) เพิ่มลงในฐานข้อมูลสารสนเทศอาคารเพื่อสร้างแบบจำลองค่าพารามิเตอร์ และนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับมาคำนวณ เพื่อทำการแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมของอาคารบน BIM



Figure 3 Light intensity sensor (Left) Experimental area (Middle), and temperature and humidity sensor (Right)

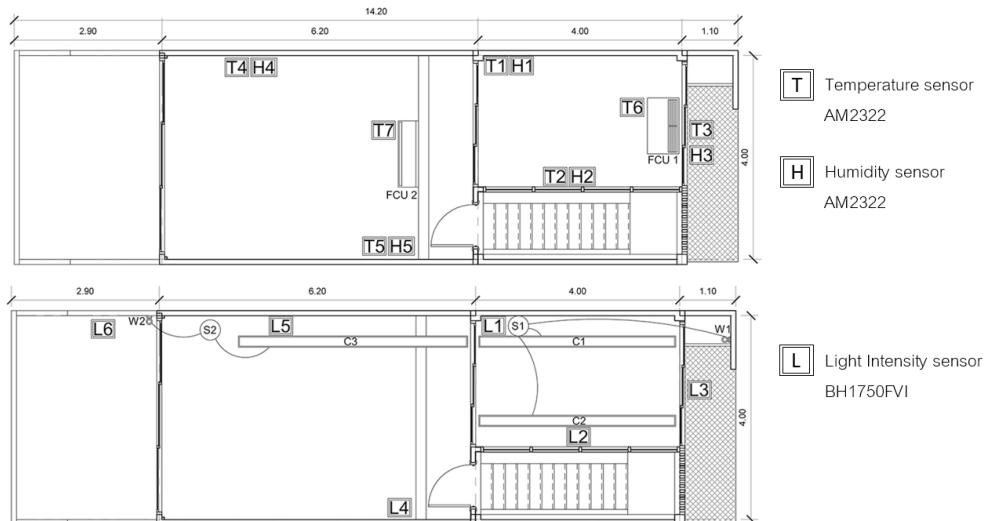


Figure 4 Layouts of temperature, humidity, and light intensity sensors on BIM for building parameter model

5. การเชื่อมต่อข้อมูลจากฐานข้อมูล BIM และ IoT

ในการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT และ BIM สามารถทำได้ผ่านทาง ผ่านเครือข่าย BIM360 ซึ่งเป็นบริการจัดเก็บและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud service) ของบริษัท Autodesk (Autodesk, (nd))

โดยมีรูปแบบเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนวัตถุที่เป็นข้อมูลที่สามารถทำงานได้กับจาวาสคริปต์ (Java Script Object Notation-JSON) โดยผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์(Application Program Interface-API) ที่มีสถาปัตยกรรมแบบ Representational state transfer ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายของข้อมูล IoT และ BIM

ผลการศึกษา

ระบบการแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร มีขั้นตอนในการทำงานโดยการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในอาคารผ่านอุปกรณ์ตรวจจับที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และนำข้อมูลที่ไดจากอุปกรณ์ตรวจจับ มาคำนวณร่วมกับ BIM แบบคงที่ ผ่านแบบการจำลองค่าพารามิเตอร์ และแปลงผลเป็นรหัสสีเพื่อนำไปแสดงผลด้วย BIM แบบเคลื่อนไหว ผ่านบริการจัดเก็บและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ของบริษัท Autodesk (Figure 5) โดยในหน้าการแสดงผลจะประกอบด้วย BIM แบบคงที่ ซึ่งเป็นข้อมูลโมเดลอาคาร 3 มิติ และข้อมูล BIM แบบเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นโมเดล 3 มิติที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ได้รับจากอุปกรณ์ IoT ทั้ง 3 หมวด ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น และข้อมูลค่าความเข้มแสง (Figure 6)

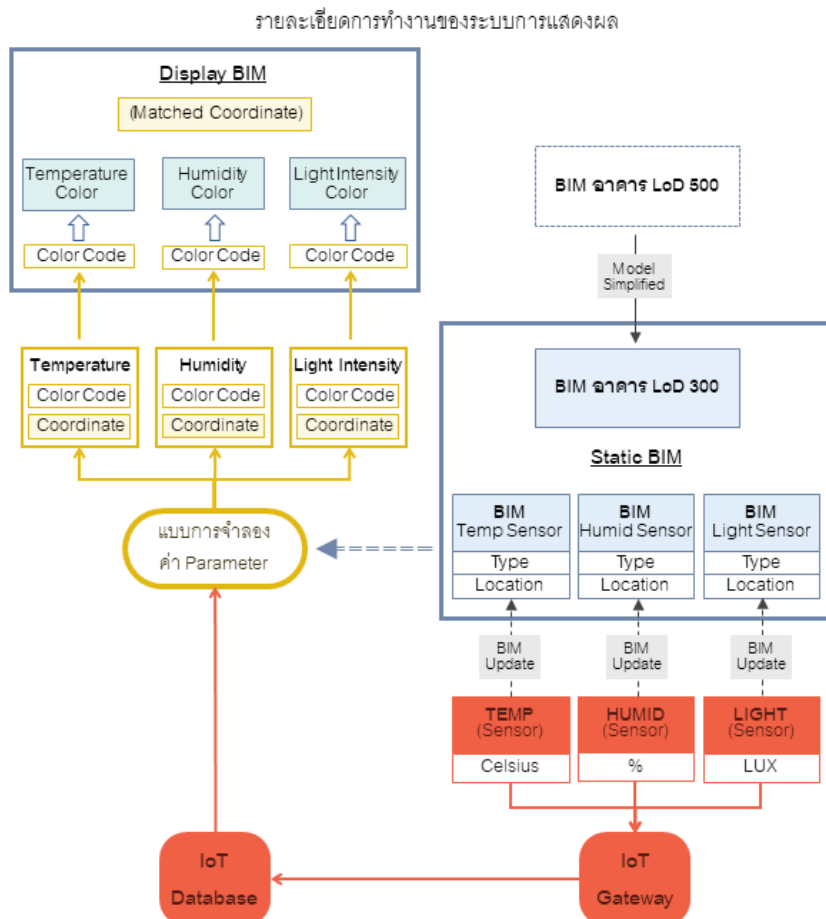


Figure 5 Details of the display system for indoor environment data on BIM

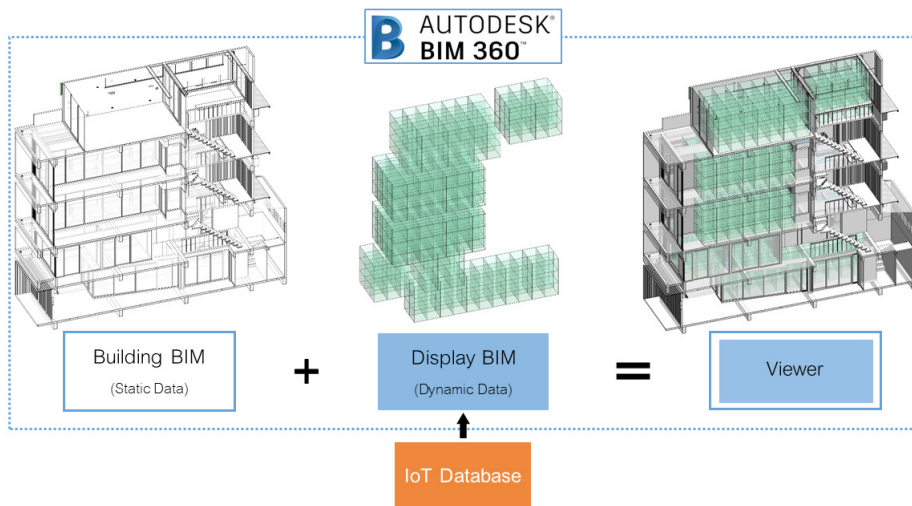


Figure 6 BIM management for displaying indoor environmental data from the IoT sensor

1. ข้อมูล BIM ที่ใช้ในการแสดงผล

1.1 ข้อมูล BIM แบบคงที่

BIM แบบคงที่ มีลักษณะเป็นข้อมูลโมเดลอาคาร 3 มิติ ซึ่งมีระยะความกว้าง ความยาว ความสูงขององค์ประกอบอาคาร และตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบอาคาร ตามความเป็นจริง รวมทั้งบรรจุข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ จึงใช้เป็นข้อมูลฐานสำหรับการจัดการข้อมูลและการแสดงผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูล BIM อาคาร ลดจาก LoD400 เหลือ LoD300 โดยการเก็บเฉพาะองค์ประกอบเสา คาน พื้น ผนัง ประตู-หน้าต่าง และฝ้าเพดาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลฐานในระบบการแสดงผล และใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์

2) ข้อมูล BIM อุปกรณ์งานระบบที่เกี่ยวข้อง ในงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูล BIM เฉพาะอุปกรณ์ที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมที่จะทำการแสดงผล ได้แก่ เครื่องปรับอากาศสำหรับระบบแสดงผลค่าอุณหภูมิ หลอดไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับระบบแสดงผลค่าความเข้มแสง และอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับระบบแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง โดยข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์

3) ข้อมูล BIM อุปกรณ์งานระบบที่ไม่เกี่ยวข้อง เป็นข้อมูล BIM ที่เป็นส่วนประกอบของข้อมูล BIM อาคารที่เสร็จสมบูรณ์ (LoD400) แต่ไม่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จึงต้องทำการคัดกรองข้อมูลส่วนดังกล่าวออก เหลือเฉพาะข้อมูลส่วนที่ต้องการ เพื่อให้ข้อมูลที่นำมาใช้งานมีความกระชับและสะดวกต่อการจัดการ ได้แก่ อุปกรณ์งานระบบประปา อุปกรณ์รักษาความปลอดภัย กล้องวงจรปิด และอุปกรณ์ระบบดับเพลิง

1.2 ข้อมูล BIM แบบเคลื่อนไหว

ข้อมูล BIM แบบเคลื่อนไหว เป็นโมเดลกล่อง 3 มิติ ภายในฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร ซึ่งจะรับค่ารหัสสีจากเครือข่ายของข้อมูล IoT ผ่านบริการจัดเก็บและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ เพื่อมาแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารตามเวลาจริง โดยแบ่งประเภทข้อมูลที่นำมาแสดงผลออกเป็น ข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น และข้อมูลความเข้มแสง

2. การใช้ระบบพิกัด 3 มิติ ในการจัดการข้อมูลและการแสดงผล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ระบบพิกัด 3 มิติ มาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการอ้างอิงตำแหน่งของโมเดลกล่อง 3 มิติแต่ละใบบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองค่าพารามิเตอร์ และใช้ในการกำหนดตำแหน่งของรหัสสีที่ใช้ในการแสดงผล กล่าวคือโมเดลกล่อง 3 มิติที่ใช้ในการแสดงผลแต่ละใบจะมีพิกัดในแกน X, Y และ Z ที่ไม่ซ้ำกัน

3. แบบจำลองค่า Parameter

การนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับมาใช้ในการแสดงผลข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยโมเดลกล่อง 3 มิติจะต้องทำการจำลองค่าพารามิเตอร์ เพื่อนำไปแปลงผลเป็นรหัสสี โดยมีวิธีการคำนวณค่า พารามิเตอร์ กล่องแต่ละใบ จากผลรวมของข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับทุกชิ้นที่มีผลต่อกล่องชิ้นนั้น โดยในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ จากอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละชิ้น จะคิดจากข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์ชิ้นนั้น และระยะทางระหว่างอุปกรณ์ชิ้นดังกล่าว จนถึงกล่องแต่ละใบ ในระบบพิกัด 3 มิติ (Figure 7) ทั้งนี้อุปกรณ์ตรวจจับแต่ละชิ้นจะถูกระบุลักษณะของพื้นที่ทำการตรวจจับลงในระบบพิกัด 3 มิติ ได้แก่ แบบระนาบ แบบเส้น และแบบจุด เพื่อใช้ในการคำนวณด้วยแบบจำลองค่าพารามิเตอร์

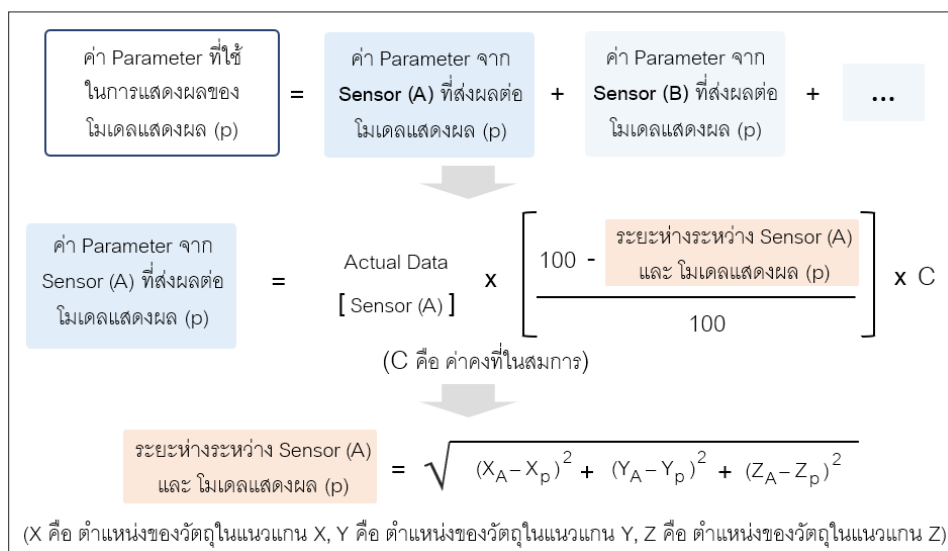


Figure 7 Details of parameter model to calculate data from IoT sensors used in transforming into color codes for displaying data for each cube

4. การส่งข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผล

การสื่อสารระหว่าง เครือข่ายอุปกรณ์ IoT และฐานข้อมูลสารสนเทศอาคารจะมีรูปแบบเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนวัตถุที่เป็นข้อมูลที่สามารถทำงานได้กับจาวาสคริปต์ โดยผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ โดยข้อมูลสภาพแวดล้อมจากอุปกรณ์ตรวจจับ จะถูกนำมาคำนวณและแปลผลเป็นรหัสสีสำหรับกล่องแต่ละใบ ข้อมูลที่ทำการส่งเพื่อนำไปแสดงผลสำหรับกล่องแต่ละใบจึงประกอบด้วย รหัสสีการแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิ ข้อมูลความชื้น ข้อมูลความเข้มแสง และตำแหน่งของกล่องในระบบพิกัด 3 มิติ ในแนวแกน X, Y และ Z (Table 1)

Table 1 Examples of instruction set for displaying data and explaining the variables

Format และ Parameter	คำอธิบาย
<pre>"cube_color": [{"floor": "5", "room": "2", "x": "4", "y": "6", "z": "3", "temperature_color": "#8b0000", "illuminance_color": "#8b0000", "humidity_color": "#8b0000"}]</pre>	"floor": คือ ชั้นของกล่อง, "room": คือ ห้องของกล่อง "x", "y" และ "z" คือ พิกัดของกล่องในห้อง "temperature_color": คือ รหัสสีอุณหภูมิ "illuminance_color": คือ รหัสสีความเข้มแสง "humidity_color": คือ รหัสสีความชื้น

5. การทดสอบระบบแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วยอุปกรณ์ IoT ประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง โดยมีความถี่ในการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที นำไปแสดงผลบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคารตามเวลาจริง เพื่อหาข้อจำกัดต่างๆ ในการทำงานของระบบและปัญหาที่เกิดขึ้น

5.1 ระบบแสดงผลด้านอุณหภูมิ

ทำการทดสอบโดยวัดอุณหภูมิห้องก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ หลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 10 นาที หลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 20 นาที และหลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 30 นาที ตามลำดับ (Figure 8)

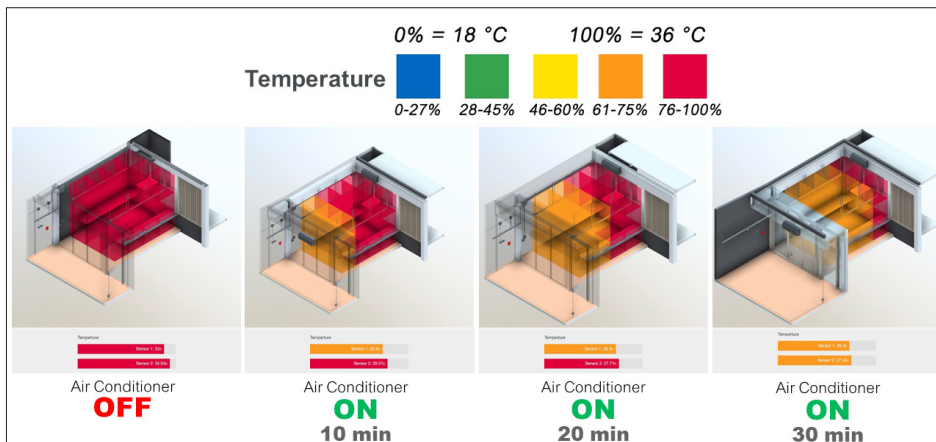


Figure 8 Displays of temperatures from system tests

5.2 ระบบแสดงผลด้านความชื้น

ทำการทดสอบโดยตรวจวัดความชื้นของห้องก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศและเปิดหน้าต่างเอาไว้, ก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศและปิดหน้าต่าง หลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 10 นาที หลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 20 นาที และหลังเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 30 นาทีตามลำดับ (Figure 9)

5.3 ระบบแสดงผลด้านความเข้มแสง

ทำการทดสอบโดยวัดความเข้มแสงภายในห้องในช่วงเวลาต่างๆ ได้แก่เวลา 8.00, 10.00, 14.00, 17.00 และ 20.00 โดยในแต่ละช่วงเวลาได้ตั้งค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างจากสถานะ ปิดไฟ เปิดไฟที่ความสว่าง 50% และ

เปิดไฟที่ความสว่าง 100% ตามลำดับ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพแสงภายนอกอาคาร และแสงจากอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ส่งผลต่อสภาพความเข้มแสงภายในห้องทดลอง (Figure 10)

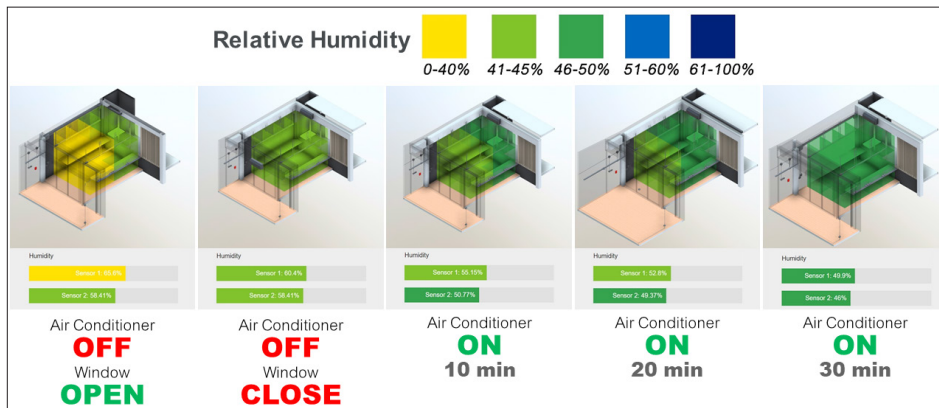


Figure 9 Displays of humidity from system tests

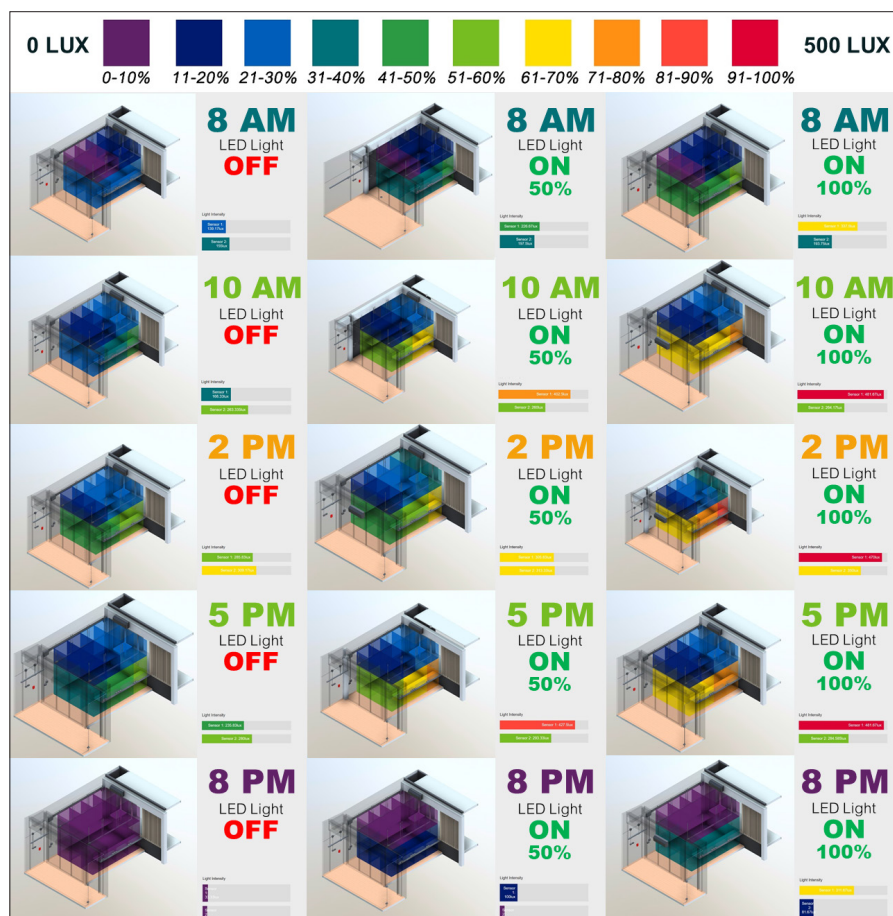


Figure 10 Displays of light intensity from system tests

6. ผลการทดลอง

จากการทดสอบระบบแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร พบว่าระบบสามารถแสดงผลข้อมูล BIM แบบคงที่ ได้อย่างราบรื่น ในส่วนของ BIM แบบเคลื่อนไหว ที่ทำการแสดงผลรหัสสีจากการคำนวณข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ IoT พบว่ากล่องแต่ละใบสามารถแสดงผลข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง ได้สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากการคำนวณ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วสูงสุดที่ระบบจะสามารถทำการแสดงผลได้อย่างราบรื่น พบว่าระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการส่งข้อมูล โดยที่ระบบจะยังสามารถทำการแสดงผลได้อย่างถูกต้องคือ 5 วินาที ซึ่งความล่าช้าดังกล่าวเกิดจากข้อจำกัดของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังระบบบริหารจัดการและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ โดยหากเพิ่มความเร็วของการส่งข้อมูลไปแสดงให้มากกว่านี้ เช่น ทุกๆ 2 วินาที จะทำให้เกิดความผิดพลาดด้านการแสดงผลของกล่องบางใบ ทั้งในหมวดข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มแสง โดยจะแสดงผลด้วยรหัสสีของชุดข้อมูลก่อนหน้าที่ยังค้างอยู่ในระบบ

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบระบบแสดงผลสภาพแวดล้อมภายในอาคารบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคาร ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในอาคารโดยมีความถี่ในการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ IoT ทุก 1 วินาที และแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นรหัสสีที่ใช้ในการแสดงผลสำหรับโมเดลกล่อง 3 มิติ ด้วยแบบจำลองค่าพารามิเตอร์ และนำไปแสดงผลบนฐานข้อมูลสารสนเทศอาคารตามเวลาจริง ผ่านบริหารจัดการและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ เพื่อหาข้อจำกัดต่างๆ ของระบบและปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าระบบสามารถทำการแสดงผลข้อมูล BIM แบบคงที่ ได้อย่างราบรื่น ในส่วนของข้อมูล BIM แบบเคลื่อนไหว จะมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ผ่านระบบฐานข้อมูลเพื่อไปแสดงผลเป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเกิดจากข้อจำกัดของเครื่องแม่ข่ายที่ใช้ส่งข้อมูลจากฐานข้อมูลไปยังระบบบริหารจัดการและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ เพื่อให้ทำการแสดงผลได้อย่างราบรื่น หากเพิ่มความเร็วของการส่งข้อมูลอาจทำให้ระบบการแสดงผลทำงานไม่เสถียร

ข้อเสนอแนะในพัฒนาต่อยอดผลการทดลองเพื่อนำไปสู่ระบบการดูแลสภาพแวดล้อมภายในอาคารสำหรับทั้งอาคาร ผู้วิจัยเห็นว่าตัวแปรสำคัญอยู่ที่การจัดหมวดหมู่ในการแสดงผลข้อมูลสารสนเทศอาคาร เนื่องจากเมื่อทำการขยายพื้นที่การทำงานระบบ จะส่งผลให้มีจำนวนข้อมูลและพื้นที่ที่ต้องทำการแสดงผลเพิ่ม การแสดงผลข้อมูลเป็นจำนวนมากในครั้งเดียวอาจทำให้ระบบการแสดงผลทำงานได้ไม่ราบรื่น และยังสามารถสร้างความสับสนในการใช้งาน จึงต้องทำการจัดการระบบการแสดงผลข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ในการนำ BIM มาใช้ในงานบริหารทรัพยากรอาคาร จาก BIM ที่ทำสรุปหลังจากก่อสร้าง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความละเอียดสูง ทำให้ต้องพบกับความยุ่งยากในการคัดกรองข้อมูลส่วนที่ไม่จำเป็นออก ดังนั้นหากมีการสร้างมาตรฐาน BIM เพื่อใช้ในการบริหารทรัพยากรอาคาร เพื่อให้มีการจัดการข้อมูล BIM ตั้งแต่ตอนที่ส่งมอบอาคาร จะทำให้เกิดการนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการใช้งานอาคารและการบริหารทรัพยากรอาคารได้มากขึ้น

ในด้านการนำระบบไปใช้งานจริงผู้วิจัยมีความเห็นว่า ควรทำการประเมินจำนวนงานที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อเลือกอุปกรณ์การสื่อสาร เครื่องเซิร์ฟเวอร์ และเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT ทั้งหมดที่จะทำการติดตั้ง และการนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการแสดงผล นอกจากนี้ประสิทธิภาพของบริหารจัดการและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความราบรื่นของระบบการทำงาน โดยปัจจุบันมีผู้ให้บริการจัดการและบริหารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีคลาวด์ ด้าน IoT ที่มีประสิทธิภาพ รองรับข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก และมีความปลอดภัยสูง เช่น Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสถาปัตยกรรมเพื่อชุมชนสร้างสรรค์ และหน่วยปฏิบัติการวิจัยด้านการวิเคราะห์ภูมิภาค เมือง และสิ่งแวดล้อมสร้างสรรค์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aish, R. (1986). "Building modelling the key to integrated construction CAD". In D. Arnold (Ed.), *The fifth international symposium on the use of computer for environmental engineering related to building* (pp.55-58). London: CIBSE.
- Aosong.com. (n.d.). *Digital temperature and humidity sensor AM2320 product manual*. [E-book]. Retrieved from <http://s.siteapi.org/b2a66604b1dde25.ru/docs/7084308ca71b75a90f4b1c413bbaee3539f11a5e.pdf>
- Autodesk.com. (n.d.). FORGE Cloud-based developer tools from Autodesk. Retrieved from <https://forge.autodesk.com/>
- BIMForum. (2019). *Level of development (lod) specification part i & commentary for building information models and data*. [E-book]. Retrieved from <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2019/04/LOD-Spec-2019-Part-I-and-Guide-2019-04-29.pdf>
- Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., & Främling, K. (2018). A framework for integrating BIM and IoT through open standards. *Automation in Construction*, 95, 35-45.
- Espressif.com. (2019). ESP32 Series Datasheet. Retrieved from https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Kamila, N.K. (2016). *Handbook of research on wireless sensor network trends, technologies, and applications* (1st ed). Hershey, PA: IGI Global.
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2019). *Towards a definition of the Internet of Things (IoT)*. [E-book]. Retrieved from https://pdfs.semanticscholar.org/e4ce/63ff3e0120f63258e19c48b65feb4b3dd0a6.pdf?_ga=2.92357277.1027029066.1576475161-277306696.1574844195
- Mouser.com. (n.d.). *Ambient light sensor IC series digital 16bit serial output type ambient light sensor IC*. Retrieved from <https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- Natephra, W., Motamedi, A., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2017). Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments. *Building and Environment*. 124, 194-208.
- Semtech.com. (n.d.). *What is LoRa?*. Retrieved from <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>

- Suntiamorntut, W., & Charoenpanyasak, S. (2014). *Introduction to Wireless Sensor Networks*. Songkla: Department of Computer Engineering, COE-WSN, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.
- The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage. (2015). *Thailand BIM Guideline* (1st ed). Bangkok: The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage.
- Vasseur, J. P., & Dunkels, A. (2010). *Interconnecting Smart Objects with IP The Next Internet* (1st ed). Massachusetts: Morgan Kaufmann.
- Violino, B. (2019). *What is big data analytics? Fast answers from diverse data sets*. Retrieved from <https://www.infoworld.com/article/3220044/what-is-big-data-analytics-fast-answers-from-diverse-data-sets.html>
- Wewalaarachchi, B. (2018). Smart Building Operations with BIM. Retrieved from <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Smart-Building-Operations-BIM-2018#presentation>