

## แบบจำลองสารสนเทศอาคาร(BIM) กับการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน Building Information Technology with Buildings Design for Energy Save.

โชคชัย ไตรยสุทธิ์<sup>1\*</sup> อธิพัล รัตนมงคลทิพย์<sup>2</sup> และผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.อ.ต.ภัทระ เกติอินทร์<sup>3</sup>  
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ<sup>1\*,2</sup>  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี<sup>3</sup>

Chokchai Traiyasut<sup>1\*</sup> Ittpon Ratanomongkoltip and Ass.Prof.FS3 Phatthara Kird-In  
Faculty of Liberal Art and Science, Sisaket Rajabhat University<sup>1\*,2</sup>  
Faculty of Industrial Technology, Ubonratchatani Rajabhat University<sup>3</sup>  
E-mail : C.traiyasut@sskru.ac.th<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ด้วยคุณสมบัติที่เพิ่มมากขึ้นทำให้นักออกแบบอาคารปัจจุบันให้ความสนใจในเทคโนโลยีใหม่นี้อย่างกว้างขวางทั้งที่ประสบความสำเร็จมากมายนับกับโครงการระดับนานาชาติสามารถตอบสนองนักออกแบบอาคารและเจ้าของโครงการได้เป็นอย่างดี รวมทั้งประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับพลังงานอาคารมากขึ้น ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ร่วมมือกันพัฒนาบุคลากรให้สามารถออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและหน่วยงานภาครัฐเริ่มบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง ดังนั้น ระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคารจึงเป็นระบบหนึ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องกำลังให้ความสนใจและลงทุนนำมาใช้งานอย่างจริงจัง เพื่อตอบสนองต่อโครงการออกแบบให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ :** แบบจำลองสารสนเทศอาคาร พลังงานอาคาร อาคารประหยัดพลังงาน

### Abstract

This article aims to present the building information model for energy saving building design. With added features, today's building designers are well aware of the new technology, and have been successful with many international projects that cater to building designers and project owners alike. Thailand is increasingly focusing on building energy. Both government and private agencies have collaborated to develop human resources to efficiently design buildings and save energy. Government agencies are seriously enforcing laws. Building Information Modeling System is one of the systems that everyone is interested in and invest in Seriously. In response to the design project, it can effectively save energy.

**Keywords :** Building information technology, Building energy, Building energy save

### 1. บทนำ

โครงการก่อสร้างอาคารมีผู้ที่เกี่ยวข้องมากมายในทุกขั้นตอน เริ่มต้นจากการคิดโครงการ การวางรูปแบบโครงการ การหาแหล่งเงินทุน การศึกษาความเป็นไปได้ และการออกแบบโครงการ กระบวนการเหล่านี้จะอยู่ในช่วง

เริ่มต้นโครงการทั้งสิ้น จะเห็นว่าในช่วงเริ่มโครงการนี้ความเสี่ยงของโครงการจะสูงมาก ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของเงินทุน รูปแบบโครงการ หากทำศึกษาแล้วมีความเป็นไปได้น้อยหรือไม่สามารถที่จะดำเนินการได้ เจ้าของโครงการโดยผู้ออกแบบโดยทั่วไปในขั้นตอนนี้จะเป็นสถาปนิก และวิศวกรโครงสร้างเป็นหลัก จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบของโครงการให้มีความเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุด หนึ่งในวิธีการนั้นก็คือการปรับเปลี่ยนแบบรูปและรายการประกอบแบบ วัสดุอุปกรณ์ อุปกรณ์ ให้มีความสอดคล้องและสามารถให้โครงการดำเนินได้ในขั้นต่อไป

การปรับเปลี่ยนแบบรูปและรายการจากอดีตผู้ออกแบบจะออกแบบด้วยระบบสองมิติ (2D-Design) จากคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ในระบบ 2D นี้จะมีรายละเอียดของเส้นต่างๆ ในระนาบของแกน (X,Y) เป็นหลักบ่งบอกถึงขอบเขตและคุณลักษณะของวัตถุที่จะประกอบขึ้นเป็นชิ้นส่วนของอาคาร การปรับเปลี่ยนแบบรูปเป็นไปด้วยความยากลำบาก และใช้เวลามาก มีข้อจำกัด และก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายด้วยข้อจำกัดตั้งแต่เริ่มต้นจากการออกแบบจะอยู่ในรูปของ 2 มิติเป็นหลัก การสื่อสารกันระหว่างผู้ออกแบบและเจ้าของโครงการอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่มากพอสมควรหากทางเจ้าของโครงการไม่มีความชำนาญพอในเรื่องของมิติในการออกแบบ ข้อจำกัดเหล่านี้ได้ถูกกำจัดไปในยุคต่อมาด้วยการออกแบบในระบบสามมิติ (3D-Design) เพื่อให้การสื่อสารทางด้านมิติในการออกแบบมีมากขึ้น ทำให้เห็นรูปร่างรายละเอียดที่เพิ่มมากขึ้นในมิติของแกนที่ 3 ที่เพิ่มเข้ามา (X,Y,Z) ช่วยขจัดปัญหาเรื่องมิติระหว่างผู้ออกแบบอาคารและเจ้าของโครงการได้มากพอสมควร ทำให้การปรับเปลี่ยนแบบรูปของอาคารทำได้ง่ายตั้งแต่ช่วงต้นของการออกแบบ (Pre Design) แบบรูปในระบบสามมิติที่ผู้ออกแบบและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถมองวัตถุรูปทรงอาคารได้ 360° เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างทุกคนในโครงการที่มีประสิทธิภาพมากในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับในทุกโครงการสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปได้สะดวกและรวดเร็ว การแก้ไขปรับเปลี่ยนไม่ซับซ้อนมากนัก ทำให้ลดขั้นตอนการทำงานและข้อขัดแย้งต่างๆ ในโครงการลงได้มากที่สุดเท่าที่เดียว

อย่างไรก็ตามการออกแบบในระบบสามมิติที่เปี่ยมไปด้วยประสิทธิภาพในปัจจุบันที่ยอมรับกันก็ยังไม่เพียงพอในวงการออกแบบอาคารที่เป็นช่วงรอยต่อระหว่างสามมิติ กับการพัฒนาอีกขั้นของการออกแบบ คือการเพิ่มขีดความสามารถด้านความเสมือนจริง (Visualize) ของวัตถุรูปทรงอาคารให้มีรายละเอียดเท่ากับวัตถุและชิ้นส่วนของอาคาร การเคลื่อนที่ มุมมองที่เพิ่มมากขึ้น ในรูปแบบมิติที่มากขึ้น (4D-Design) ทำให้การสื่อสารระหว่างกันภายในโครงการทำได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น กอปรกับเทคโนโลยีในปัจจุบันและอนาคตที่ช่วยส่งเสริมให้การทำงานร่วมกันมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ช่วยลดปัญหาต่างๆ ในการออกแบบอาคารจากอดีตจนกระทั่งปัจจุบันให้น้อยลง เทคโนโลยีที่วันนั้นก็คือการนำระบบแบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling (BIM) มาช่วยในการออกแบบอาคาร และรวมถึงการออกแบบด้านอื่นๆ ในการก่อสร้าง เช่น งานถนน งานเขื่อน งานสะพาน ฯ

สำหรับแนวคิด BIM [1] เริ่มต้นเมื่อประมาณ ค.ศ.1987 Dr. Charles M. Eastman จาก Georgia Institute of Technology ได้นำเสนอเรื่องของ Database Building Design ขึ้น โดยการนำข้อมูลใส่เข้าไปใน Model 3 มิติ เพื่อให้ให้นักออกแบบสามารถเพิ่มเติมสิ่งสำคัญ ข้อมูลบางชนิดที่จำเป็นเพื่อการสื่อสารกัน และในอดีตที่นักออกแบบคุ้นเคยกับการเขียนแบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม 2D CAD รวมไปถึงการสร้าง Model 3 มิติ เพื่อการศึกษาแบบ หรือการนำเสนองาน ด้วยโปรแกรม 3 มิติทั้งหลาย เช่น SketchUp, 3DsMax, Artlantis, Modo เป็นต้น แต่ทั้ง 2 กรณีส่วนใหญ่เป็นการสร้างเรขาคณิตของเส้น หรือระนาบเป็นหลัก ในการออกแบบอาจมีการใส่ข้อมูลประกอบลงไปบนเส้นสายเหล่านั้นบ้างเพื่อเพิ่มรายละเอียดของชิ้นงาน (Attributes) หรือเรียกว่าการทำให้ชิ้นงานออกแบบมีความฉลาดมากขึ้น

ด้วยคุณสมบัติที่เพิ่มมากขึ้นทำให้นักออกแบบอาคารปัจจุบันให้ความสนใจในเทคโนโลยีใหม่นี้อย่างกว้างขวางทั้งที่ประสบความสำเร็จมากมายนับกับโครงการระดับนานาชาติ BIM สามารถตอบสนองนักออกแบบอาคารและเจ้าของโครงการได้เป็นอย่างดี [2] ไม่ว่าจะเป็นการบูรณาการ การทำงานร่วมกันของทุกฝ่ายในโครงการ ต้นทุน เวลา คุณภาพโครงการ การบริหารจัดการ การสื่อสาร การบริหารจัดการความเสี่ยง และการจัดการด้านเอกสารของโครงการ อย่างมีประสิทธิภาพ [3] สำหรับช่วงการก่อสร้างที่มีความซับซ้อนและมีหลากหลายส่วนเข้าร่วมในโครงการก่อสร้างอาคาร สิ่งที่มาตามคือความซับซ้อนและปริมาณที่มากขึ้นของเอกสารโครงการ BIM ก็ยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเอกสาร [4] และหลังจากก่อสร้างโครงการเสร็จ BIM ยังใช้

ประโยชน์ได้ตลอดช่วงอายุของอาคารหลังจากการก่อสร้างอาคารและหลังจากเปิดใช้งานอาคารแล้ว BIM ยังสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการทรัพย์สิน ซ่อมบำรุง หรือแม้แต่การ Renovation หรือ รีโนเวทโครงการเมื่อสิ้นอายุการใช้งานแล้ว

ปัญหาของนักออกแบบอาคารในปัจจุบันนั้นไม่ใช่ปัญหาเรื่องของรูปแบบ รูปทรง ความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร อีกต่อไป ปัญหาใหญ่ในขณะนี้คือเรื่องของพลังงานของอาคาร มีผลกระทบตั้งแต่ช่วงต้นของการออกแบบจนกระทั่งตลอดช่วงอายุการใช้งานอาคาร ในหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทยได้กำหนดเป็นกฎหมายเพื่อบังคับใช้กับการออกแบบและก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ จากความไม่คุ้นเคยและความใหม่ขององค์ความรู้เกี่ยวกับพลังงาน การใช้พลังงาน การวิเคราะห์พลังงานของอาคาร ทำให้นักออกแบบอาคารส่วนมากจะยังไม่ถึงรายละเอียดและข้อกำหนด รวมทั้งมาตรฐานในการออกแบบอาคารให้สามารถประหยัดพลังงานได้ตามที่กำหนด นักออกแบบอาคารมักใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการออกแบบ ผลที่ตามมาคือการแก้ไขแบบรูปและรายการทำให้เสียเวลาในการออกแบบเป็นอย่างมาก ตัวช่วยหนึ่งที่เป็นไปได้และนิยมจากต่างประเทศนำมาใช้คือ BIM เข้ามาร่วมในการออกแบบ ด้วยคุณสมบัติดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อลดข้อผิดพลาดด้านพลังงานของอาคารให้เป็นไปตามที่กฎหมายในแต่ละประเทศได้กำหนดไว้

## 2. พลังงานอาคาร

[5] ก่อนหน้านี้การออกแบบอาคารมักจะกล่าวถึงในเรื่องของผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมเป็นส่วนมาก แต่กลับกัน พลังงานของอาคารกลับมีผลอย่างมากกับการใช้งานอาคาร หลังจากที่ได้ทดลองออกแบบอาคารให้สามารถประหยัดพลังงานโดยการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ตามข้อกำหนดพบว่าการออกแบบด้านการประหยัดพลังงานจะมีต้นทุนอยู่ที่ร้อยละ 2 ของมูลค่าอาคารและหากใช้งานอาคารไปสักระยะจะพบว่า สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานของอาคารได้ถึงร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับมูลค่าการก่อสร้างอาคารเลยทีเดียว จากเหตุผลข้างต้นประกอบกับข้อกำหนดจากกฎหมายในหลายประเทศทำให้นักออกแบบอาคารหันกลับมาใส่ใจในรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคารมากขึ้น [6] ยิ่งในปัจจุบันได้มีการกล่าวถึงเรื่องภาวะโลกร้อนและรวมถึงอัตราค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานที่มีมากขึ้น หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนถูกกำหนดให้การออกแบบอาคารเพื่อใช้งานไม่ว่าจะรูปแบบใดต้องอยู่ภายใต้กฎหมาย มาตรฐาน และข้อกำหนดของท้องถิ่นนั้นๆ โดยไม่มีข้อยกเว้น ยกตัวอย่างกฎหมายในประเทศไทยได้กำหนดขึ้นโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมออกเป็น [7] กฎกระทรวง ว่าด้วยกำหนดประเภท หรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 และ [8] ประกาศกระทรวงพลังงานหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงาน โดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ทำให้นักออกแบบอาคารจะต้องดำเนินการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามกฎหมายข้างต้น [9] ยิ่งโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่ขึ้นชื่อว่าเป็นอาคารที่ใช้พลังงานอย่างมากกว่าอาคารประเภทอื่นๆ โดยปกติจัดเก็บสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีอัตราการใช้พลังงานที่ร้อยละ 40 และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศคิดเป็นร้อยละ 36 ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะโลกร้อน โดยรวมของปริมาณการใช้พลังงานของทั้งโรงงานอุตสาหกรรม หากนักออกแบบอาคารยังละเลยต่อการใช้พลังงานของอาคารในระหว่างการออกแบบ ผลกระทบจะยังคงมีมากขึ้นเรื่อยๆ และเป็นปัญหาในระยะยาวของโลกที่จะต้องตามแก้ไขกันไป

การออกแบบอาคารนักออกแบบอาคารปัจจุบันต้องหันกลับมาให้ความสำคัญกับพลังงานของอาคารในอันดับต้นๆ เนื่องจากพลังงานคือหัวใจหลักในการออกแบบและการใช้งานอาคาร กระบวนการออกแบบในปัจจุบันผู้ออกแบบจะต้องให้ความสำคัญกับอัตราการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งอัตราการใช้พลังงานนี้จะขึ้นกับปัจจัยที่หลากหลายแต่ในสิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องคัดเลือกให้เหมาะสม คือ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร และตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ผู้ออกแบบซึ่งได้แก่ สถาปนิกและวิศวกร รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างอาคารจะต้องทราบถึงข้อมูลและปัจจัยที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอาคารจริง โดยความร่วมมือจากทุกฝ่ายในการช่วยเหลือ

และให้ข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำที่สุด เพื่อให้ได้อาคารที่มีสมรรถนะในการใช้งานด้านพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จากอดีตจนถึงปัจจุบัน แนวทางในการออกแบบอาคารจะไม่ค่อยคำนึงถึงอัตราการใช้พลังงานมากขึ้น ทำให้ละเลยถึงความสำคัญเรื่องของการสูญเสียด้านเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมที่ต้องสิ้นเปลืองไปในระยะยาว อาคารบางอาคารอาจปรับตัวด้วยการปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์ เกี่ยวกับการใช้พลังงาน เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบสุขาภิบาล ระบบปรับอากาศ เพิ่มลดค่าใช้จ่ายในปัจจุบันและอนาคต แม้จะเป็นการลงทุนเพิ่มในปัจจุบัน แต่ก็มีคุ้มค่าในอนาคต ในขณะที่พลังงานนั้นวันจะยิ่งน้อยลงและมีราคาต่อหน่วยสูงขึ้น การพิจารณาสร้างอาคารใหม่ในปัจจุบัน เริ่มตระหนักถึงผลกระทบเรื่องของการใช้พลังงานของอาคารในระยะยาว จึงเริ่มกำหนดให้ผู้ออกแบบอาคาร ออกแบบให้อาคารเป็นอาคารประหยัดพลังงานหรือข้อกำหนดที่กำหนดไว้ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ต่างให้ความสนใจและเริ่มออกแบบตามข้อกำหนดกฎหมายเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในระยะยาว

### 3. เครื่องมือในการวิเคราะห์อัตราพลังงานอาคาร

ในอดีตรูปแบบการพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานในการออกแบบอาคารนี้มีหลากหลายวิธีการ หนึ่งในนั้น คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Networks) วิธีการทางสถิติโดยอาศัยปริมาณเชิงตัวเลขเป็นตัวกำหนดและวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานของอาคารในอนาคต ทุกวิธีจะจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน การเลือกใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองรูปแบบของอัตราการใช้พลังงานของอาคารก็ยังเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากความหลากหลายของปัจจัยด้านพลังงานในการออกแบบอาคารจึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือในการวิเคราะห์และการจำลองที่เรียกว่า การจำลองพลังงานอาคาร (Building energy simulation, BES) ในรูปแบบของซอฟต์แวร์ ซึ่งมีหลากหลาย แต่ได้รับความนิยม ได้แก่ DOE-2, RIUSKA, GBS, eQUEST, Energy Plus และ Designer Builder. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวิวัฒนาการของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นิยมใช้ในการจำลองพลังงานอาคาร เริ่มด้วยโปรแกรม DOE ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี 1976 และถูกพัฒนาต่อในรุ่น DOE-2.2 ในปี 2009 และเป็นที่นิยมแพร่หลายในขณะนี้ โปรแกรม RIUSKA, eQUEST, และ GBS ต่างถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของ DOE-2 โดยที่ RIUSKA พัฒนาขึ้นในปี 1996 โดย Grantlund ในรุ่นถัดมา มีการแสดงกราฟเพื่อความสะดวกในการแปลผลในรูปแบบ DOE-2.1 Engine. และล่าสุดใช้ BPro ซอฟต์แวร์เพื่อลดความซับซ้อนของการออกแบบในส่วนโรงงานอุตสาหกรรมและใช้นามสกุล .ife, GBS เปิดตัวจริงในปี 2004 ซึ่งในปัจจุบันเป็นพันธมิตรของ Autodesk ฟังก์ชันการใช้งาน แพลตฟอร์มและเครื่องมือต่าง ๆ ใช้งานบนพื้นฐานการพัฒนาจากโปรแกรม DOB-2 ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการออกแบบอาคารเขียว (Green building) โดยมีนามสกุลไฟล์ (gbXML). โปรแกรมตัวสุดท้ายคือ eQuest เป็นฟรีโปรแกรม พัฒนาขึ้นโดย Jane J. Hirsch และเมื่อในปี 2005 พัฒนาจากพื้นฐานโปรแกรม DOB-2.2 และรูปสุดท้ายที่ถูกพัฒนาไว้คือ ปี 2010 eQuest เป็นเครื่องมือที่ไม่ซับซ้อนใช้งานง่าย แต่ไม่สามารถใช้ได้กับ IFC และที่สำคัญไม่สามารถนำไฟล์ที่เป็น .DWG และ .gbXML ไฟล์ได้ และเป็นปัญหาสำคัญที่การเขียนแบบในยุคสมัยนั้นนามสกุลไฟล์จะเป็น DWG. ทั้งหมดจึงเป็นข้อจำกัดอย่างมากในการใช้งาน และใช้งานไม่ได้กับ gbXML ไฟล์ที่มีความซับซ้อนได้ EnergyPlus จาก U.S. DOE ประสบผลสำเร็จจากผู้ใช้งานของ DOE-2 จากปี 2001 มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง DOE-2 ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและไม่ซับซ้อน และเพื่อการคำนวณที่เป็นฟังก์ชันจาก Thermo dynamic เพื่อคำนวณการถ่ายเทความร้อน แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีความคล้ายคลึงกันกับ DOB-2 ซึ่งต่าง run บน text-base. ในส่วนของ DesignerBuilder ถูกพัฒนามาจาก EnergyPlus ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น เริ่มใช้งานในปี 2005 และสามารถนำเข้าไฟล์ .gbXML ได้ พัฒนาการของเครื่องมือในการวิเคราะห์อัตราพลังงานสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 (Building energy simulation, BES) Tool

Tool	Since	Develope	Interoperability IFC,DWG,gbXML
DOE	1976	-	✗
DOE-2	2001	DOE	✗
DOE-2.2	2009	DOE-2	✗
RIUSKA	1996	DOE-2	✗
GBS	2004	DOE-2	✗
eQuest	2005	DOE-2.2	✗
EnergyPlus	2001	DOE-2	✗
DesignerBuilder	2005	EnergyPlus	✓

ถึงแม้จะมีการพัฒนาโปรแกรมมากในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอีกมากมายที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่ต้องกลับมาแก้ไขแบบ รูป และรายการ การก่อสร้างที่ผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ค่าพลังงานผิดพลาดแล้ว ยังเป็นเรื่องที่น่าเบื่อสำหรับผู้ออกแบบอาคาร ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มีการคิดหาวิธีการที่ดีที่สุดเพื่อที่จะหาวิธีการวิเคราะห์อัตราพลังงานในการออกแบบอาคารให้มีความเหมาะสมและสามารถทำงานร่วมกันกับไฟล์งานอื่นๆ ได้หลากหลาย และมีปัญหาน้อยที่สุด เพื่อลดข้อผิดพลาดของผู้ออกแบบอาคาร หนึ่งในวิธีการนั้น คือ การประยุกต์ใช้ BIM (Building Information Modeling) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมและมีประสิทธิภาพในปัจจุบัน เพราะความต้องการในการทำงานที่สามารถทำงานร่วมกันได้หลากหลายทาง จึงได้มีการเริ่มต้นด้วยระบบปฏิบัติการที่สามารถใช้งานร่วมกันระหว่าง BIM (Building Information Modeling) กับ BES (Building Energy Simulation) แต่ด้วยข้อจำกัดของ BIM ในเรื่องของพลังงานที่ยังไม่ครอบคลุมในเรื่องของความซับซ้อนของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเป็นโมเดลพลังงานอย่างถูกต้องและสมบูรณ์จึงมักจะมีบ่อยครั้งที่ผู้ออกแบบจะต้องแก้ไขแบบหรือต้องออกแบบใหม่เพื่อให้ได้ความเหมาะสมมากที่สุด

มีข้อมูลบางประเภทที่ยังไม่ครอบคลุมในการเขียนโปรแกรม BIM ให้สมบูรณ์และไม่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเต็มที่ เช่น ประเภทของอาคาร แสงสว่าง (หลอดไฟ) อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึง Load Data และลักษณะการทำงานต่างๆ สิ่งที่เป็นอุปสรรคระหว่างโปรแกรม CAD กับโปรแกรมอื่นๆ คือ การส่งผ่านข้อมูลระหว่างกัน ที่มีความล่าช้า หรืออาจจะส่งไม่ได้เลย และสิ่งสำคัญคือการจำลองข้อมูลพลังงานไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้กับโปรแกรมเวอร์ชันเก่าอย่างใดก็ตาม ก็ยังมีผู้ที่พยายามดำเนินการเพื่อที่จะปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ เหล่านั้น ให้ดีขึ้น เช่น The Lawrence Berkeley Nation Laboratory (LBNL) โดยความร่วมมือกับ Graphisoft พัฒนารูปแบบเครื่องมือการทำงานให้มีความง่ายและสะดวกขึ้นในการจำลองรูปแบบพลังงานอาคาร เช่น ข้อมูลด้านวัสดุ รูปแบบอาคาร เป็นต้น ซึ่งจัดเก็บในรูปแบบไฟล์นามสกุล .ifc ที่พร้อมจะจำลองขึ้นเป็นโมเดลพลังงานของอาคารนั้น ยังไม่มีผู้พัฒนาให้เป็นต้นแบบเพื่อความสะดวกในการใช้งาน [1] ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรมประเภท BIM จากผู้ผลิตค่ายต่างๆ มักจะมีคุณลักษณะกระบวนการทำงานที่เหมือนกัน อาจแตกต่างกันที่ขั้นตอน ชุดคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงาน โปรแกรมที่อยู่ในแนวคิดของ BIM ก็มีอยู่หลายโปรแกรม เช่น Revit ของ Autodesk, ArchiCAD ของ Graphisoft, Vectorworks และ Allplan ของ Nemetschek, Bentley Building Design ของ Bentley เป็นต้น ด้วยความที่โปรแกรมประเภท BIM มีข้อมูลเฉพาะขององค์ประกอบอาคารประกอบลงไปใน model อยู่แล้ว การดึงข้อมูลต่างๆ ออกไป จึงเป็นเรื่องง่ายมากสำหรับโปรแกรมประเภทนี้ ซึ่งทำให้การนำโปรแกรมไปใช้ในการประมาณราคา ตรวจสอบข้อมูลติดตามความก้าวหน้าของงาน ทำได้ง่ายกว่าการใช้ application อื่นๆ ใดก็ตามที่เราต้อง



เข้าใจว่า โปรแกรมประเภทนี้ เตรียมที่เก็บข้อมูลให้เรา แต่ใช้ว่าจะมีข้อมูลครบถ้วนทุกเรื่องแล้ว นั่นหมายความว่า ผู้ใช้จำเป็นต้องป้อนข้อมูลที่จำเป็นทั้งหลายเข้าไปด้วย เราจึงจะได้ข้อมูลพร้อมที่จะไปทำงานในเชิงข้อมูลต่างๆ ต่อไป

หากจะพิจารณาความต้องการของนักออกแบบอาคาร และเวลาในการสร้างโมเดลพลังงานของอาคาร การตัดสินใจในการออกแบบของผู้ออกแบบอาคารจะไม่อยู่บนพื้นฐานจากผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานเลย ในปัจจุบัน การออกแบบอาคารผู้ออกแบบมักคิดว่าการวิเคราะห์ค่าพลังงานเป็นการสิ้นเปลืองเวลา โดยทั่วไปแล้วสถาปนิกจะเป็นผู้ออกแบบ และกำหนดวัสดุประกอบอาคารด้วยตนเอง ซึ่งในหลายๆ คนจะไม่สนใจเรื่องของพลังงานมากนัก อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ค่าพลังงานของอาคารได้รับความสนใจน้อยมากจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการใช้งานอาคารในระยะยาว [10] ซึ่งหากใส่ใจในรายละเอียดในช่วงของการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่ช่วยในการประหยัดพลังงานจะสามารถลดต้นทุนในการใช้งานอาคารได้ถึงร้อยละ 60-70 ของมูลค่าการก่อสร้างอาคาร

#### 4. การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

หลายหน่วยงานในประเทศไทยได้ตระหนักและตื่นตัวในการออกแบบอาคารเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งต่างประเทศได้กำหนดเป็นกฎหมายบังคับใช้ในการออกแบบ ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มหันมาให้ความสำคัญและออกกฎหมายบังคับใช้ให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบอาคาร เช่น สถาปนิก วิศวกร โดยสภาสถาปนิก และสภาวิศวกร ร่วมกับ [13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้ร่วมกับสภาสถาปนิก ลงนามบันทึกความเข้าใจด้วยความร่วมมือ การสนับสนุนการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย เพื่อเป็นการขับเคลื่อนความร่วมมือทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการตรวจรับรองแบบอาคารตามหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถ และความชำนาญในการประกอบวิชาชีพด้านการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งนี้ ภายใต้นบันทึกความเข้าใจ ฯ ดังกล่าว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และสภาสถาปนิกจะร่วมมือกันในการผลักดัน และส่งเสริมให้ผู้ประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม สามารถดำเนินการตรวจรับรองอาคารตามหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งเบื้องต้นตั้งเป้าหมายจะผลิตสถาปนิกในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าวได้ 2,000 คน ภายในเวลา 5 ปี เพื่อผลักดันให้การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสอดคล้องกับกฎหมาย ที่กำหนดให้มีการบังคับใช้ในอาคารตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรในปีแรก และ อาคารขนาด 5,000 ตารางเมตรในปีที่ 2 และอาคารขนาด 2,000 ตารางเมตรในปีที่ 3 ต้องออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานตามที่กำหนดหรือ Energy Building Code. นอกจากนี้ จะมีความร่วมมือระหว่างกัน จัดให้มีการฝึกอบรมและทดสอบ โดยสภาสถาปนิกจะให้การรับรองความรู้ความชำนาญในการประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ให้กับผู้ประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรมควบคุม พร้อมออกใบรับรองให้แก่ผู้รับการอบรมและทดสอบ รวมทั้งการฝึกอบรมการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนความร่วมมือในการพัฒนาองค์ความรู้การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้ทันสมัยยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานของประเทศต่อไป

ปัญหาหลักในปัจจุบันคือการทำงานภายใต้ระบบ BIM นั้นยังใหม่สำหรับประเทศไทยซึ่งแตกต่างจากต่างประเทศมาก ในต่างประเทศ เช่น สิงคโปร์ อังกฤษ การขออนุญาตก่อสร้างและตรวจสอบแบบใช้ระบบ BIM อย่างเต็มรูปแบบ คือการตรวจแบบจะตรวจจากไฟล์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องส่งแบบจำนวนมากๆ อีกต่อไป ความใหม่และความไม่คุ้นเคยจึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ BIM ยังไม่เป็นที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ดังนั้น การให้ความรู้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารจึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องทำ เพื่อให้สามารถก้าวให้ทันกับต่างประเทศ ซึ่งความ

ต้องการในการใช้งาน BIM ในประเทศไทยมีเพิ่มขึ้นเริ่มต้นจากองค์กรใหญ่ๆ ได้พัฒนาบุคลากรเพื่อรองรับการทำงานในระบบ BIM และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการดำเนินการต่างๆ ด้วย

## 5. ความต้องการในการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารกับการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน

[11] เริ่มจากขั้นตอนในการออกแบบอาคาร กระทั่งถึงการก่อสร้าง และการใช้งานอาคารจะเห็นได้ว่า จำเป็นจะต้องใช้ผู้ที่มีทักษะ ความรู้ความสามารถในทุกๆ สาขา เช่น สถาปนิก วิศวกร ผู้รับเหมา ฯ เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในทุกๆ ขั้นตอนของการทำงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากโครงการใดที่นำระบบ BIM เข้าไปร่วมทำงานด้วยแล้ว ปัญหาอุปสรรคที่พบบ่อยมาก ได้แก่

1. ความรู้ในเรื่องของ BIM (BIM Model Skill)
2. ขาดข้อมูลที่ใช้ในการทำงานร่วมกัน (Lack of Data)
3. การทำงานบนฐานข้อมูลเดียวกัน (Single source of Truth)
4. มาตรฐานการทำงาน และข้อมูล (Standardize)
5. ความคุ้นเคยกับระบบเดิม (Comfort Zone)

[1] หากพิจารณาจากข้อมูลข้างต้น โปรแกรม 3 มิติ หลายๆ โปรแกรมสามารถให้ข้อมูลเหล่านี้ได้อยู่แล้ว เช่น โปรแกรม CAD ทั้งหลายโปรแกรม 3 มิติ ยอดนิยมอย่าง SketchUP สามารถให้ข้อมูลเชิงปริมาณ และใส่ข้อมูลรหัสได้ในรูปของ Attributes ได้เช่นกันโดยเฉพาะกับโปรแกรม SketchUP ตั้งแต่รุ่น 2013 ได้มีการบรรจุรหัสข้อมูลฐานของระบบ BIM คือ IFC (Industry Foundation Class) เข้าไปในโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดความเป็น Building Element ได้แน่นอนเนื่องจากโปรแกรมเหล่านี้เป็นโปรแกรมฐาน อาจไม่มีข้อมูล หรือการดำเนินการแบบงานอาคารโดยตรง อาจจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเพิ่มเติม หรือจัดระเบียบการทำงานเอง แต่ก็ยังเป็นแนวทางที่น่าสนใจในกรณีที่เราไม่สามารถรองรับระบบ BIM ในองค์กรของตนเองได้ [12] วัตถุประสงค์ในการใช้งาน BIM ต้องแสดงถึงรายละเอียดความต้องการของการใช้ข้อมูลอาคารในงานด้านต่างๆ อย่างชัดเจนรวมถึงเครื่องมือหรือ Software ที่จะนำมาใช้ในระหว่างการทำงานและเมื่อได้รับการส่งมอบอาคารแล้ว การจัดการหมวดหมู่ของข้อมูลที่เป็นมาตรฐานตามที่ตกลงกันได้ เครื่องมือต่างๆ จะต้องสนับสนุนการทำงานบนข้อมูลอาคาร สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างโมเดลในระบบ BIM ประกอบด้วย

1. กำหนดการใช้ LOD. (Level of Develop) คือระดับของการทำงานในแต่ละขั้นตอน
2. วิธีแสดงผลการใช้งานด้านต่างๆ
3. วิธีแสดงผลของอุปกรณ์อาคาร ระยะ และขอบเขตของการใช้งานเพื่อประกอบการดูแลอาคารและซ่อมแซม

4. วิธีการวิเคราะห์ทางสถาปัตยกรรม วิศวกรรม เช่น โครงสร้าง พื้น ผนัง
5. วิธีการปรับปรุงข้อมูลใน BIM Model และการประสานงานในกรณีที่มีการแก้ไข
6. วิธีที่จะนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารอาคาร Facility Management.

ความต้องการในการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารปัจจุบันอาจยังดูซับซ้อนอยากแก่การทำความเข้าใจสาเหตุของความซับซ้อนนั้นมาจากมีหลายฝ่ายที่จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นของโครงการจนกระทั่งการใช้งานโครงการ ดังนั้น การทำงานจำเป็นต้องมีแผนการปฏิบัติงานที่สามารถสื่อสารให้ทุกฝ่ายทำงานร่วมกัน เพื่อการดำเนินงานซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการทำ Project Coordination. ให้ทุกฝ่ายสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในปัจจุบันและอนาคตจำเป็นจะต้องใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยเฉพาะช่วงเริ่มต้นออกแบบ (Predesign stage) นั้นสำคัญเป็นอย่างมาก หากในช่วงนี้นักออกแบบอาคารสามารถคาดคะเน (Predict) พยากรณ์ (Forecast) ได้อย่างแม่นยำแล้ว ปัญหาการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานก็จะน้อยลง ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน BIM เป็นที่นิยมอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในต่างประเทศและเอเชียใน

ปัจจุบัน สถาปนิก วิศวกร และหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่างตื่นตัวและให้ความสำคัญกับเทคโนโลยี BIM เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน และใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป และเหมาะสมกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่รัฐบาลสนับสนุนให้นาระบบดิจิทัลมาใช้งาน ดังนั้น จึงปฏิเสธไม่ได้ว่า เทคโนโลยี BIM เหมาะกับนักออกแบบอาคารในปัจจุบันอย่างมาก

## 6. สรุป

ด้วยคุณสมบัติของ BIM ที่นักออกแบบอาคารต่างคาดหวังว่าจะอำนวยความสะดวกและจัดปัญหาในการออกแบบ สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น บนพื้นฐานของความถูกต้องตามมาตรฐานต่างๆ ทุกส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ก่อสร้าง และใช้งานอาคารต่างมุ่งสู่ผลประโยชน์ที่จะได้จากการใช้งาน BIM หลายองค์กรและหน่วยงานในประเทศไทยได้เริ่มนำ BIM เข้ามาใช้ในการทำงาน แต่ก็พบกับปัญหาอุปสรรคต่างๆ หน่วยงานต่างๆ เหล่านี้ก็ได้พยายามในการแก้ไขบ้างก็ใช้วิธีใช้ที่ปรึกษาจากต่างประเทศ บ้างก็จัดทีมศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาการทำงาน โดยเฉพาะ แต่สิ่งหนึ่งที่ทุกองค์กรมีจุดประสงค์เดียวกันคือ ความต้องการใช้งานเทคโนโลยี BIM ให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด ตัวอย่างหัวข้อการพัฒนาขององค์กรต่างๆ ที่ได้พัฒนาการทำงาน ได้แก่

1. สร้างมาตรฐาน กระบวนการทำงานที่ช่วยลดข้อผิดพลาดลง และเพิ่มผลผลิต
2. สร้างกติกาและมาตรฐานในการทำงานร่วมกันภายในองค์กร
3. พัฒนาโปรแกรมเดิมให้สอดคล้องกับกระบวนการทำงานหรือนวัตกรรมองค์กร
4. สร้าง และพัฒนาเครื่องมือต่างๆ เพื่อช่วยในการทำงาน

6. ศึกษา ROI (Return of Investment) ว่าการทำงานร่วมกับ BIM คุ้มค่าการลงทุนเมื่อเทียบกับทรัพยากรที่ลงทุนไป

ต่างๆ เหล่านี้คือสิ่งที่ นักพัฒนา BIM ในประเทศจะต้องช่วยกันในการพัฒนาให้ได้คำตอบและประสบผลสำเร็จเพื่อการทำงานที่ดีขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะเรื่องของการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ที่กำหนดเป็นกฎหมายเตรียมที่จะบังคับใช้ ดังนั้น การเตรียมความพร้อมว่าจะจะเป็น เทคโนโลยี บุคลากร กฎหมาย ฯ จะต้องมีความพร้อมและสอดคล้องกันอย่างลงตัว จึงจะสามารถประสบผลสำเร็จ หากการออกแบบอาคารจนกระทั่งถึงบ้านพักอาศัยสามารถออกแบบและก่อสร้างให้ประหยัดพลังงานได้ในการใช้งานจริง จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างยั่งยืน (Sustainable) ในอนาคต

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐิติพัฒน์ ประทานทรัพย์. BIM กับการควบคุมต้นทุน. เอกสารประกอบการสัมมนา งานวิศวกรรมแห่งชาติ 2559, วันที่ 26 พฤศจิกายน 2559.
- [2] David Bryde, Marti Broquetas and Jürgen Marc Volm, The project benefits of Building Information Modelling (BIM). International Journal of Project Management 31 (2013) 971–980.
- [3] James D. Goedert and Pavan Meadati. Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling. Journal of construction engineering and management © ASCE / July 2008 / 509.
- [4] สรัสซัย องค์ประเสริฐ และรพี ปาริฉัตร. BIM กับการปฏิวัติทางวิศวกรรม. ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, สืบค้นเมื่อวันที่ 18 มิถุนายน 2560.



- [5] Salman Azhar. Wade A. Carlton. Darren Olsen and Irshad Ahmad. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. Automation in Construction 20 (2011) 217-224.
- [6] Kevin Tantisevi and Kittisak Sornsuriya. Building information model for evaluating the building energy performance: a case study. Proceeding of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 2010.
- [7] ราชกิจจานุเบกษา. (วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2552). กฎกระทรวง. กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อบุคลากร พ.ศ. 2552. เล่ม 126 ตอนที่ 12 ก : 9-15.
- [8] ราชกิจจานุเบกษา. (วันที่ 28 สิงหาคม 2552). ประกาศกระทรวงพลังงาน. หลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552. เล่ม 126 ตอนพิเศษ 122 ง : 21-39.
- [9] Georgios Gourlis and Iva Kovacic. Building Information Modeling for analysis of energy efficient industrial building – A case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews 68 (2017) 953-963.
- [10] Hyunjoo Kim and Kyle Anderson. Energy Modeling System Using Building Information Modeling Open Standards. Journal of computing in Civil Engineering © ASCE / May/June 2013 / 203.
- [11] Anthony Cormier. Sylvain Robert. Pierrick Roger. Louis Stephan and Etienne Wurtz. Towards a BIM-Base Service Oriented Platform: Application to Building Energy Performance Simulation. Proceeding of Building Simulation 2011.
- [12] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. แนวทางการทำงานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2560.
- [13] เติลินีส์ ออนไลน์. พพ.ร่วมกับสภาสถาปนิก ออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน. <https://www.dailynews.co.th/article/626316>, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2561.