ความท้าทายในการในแบบจำลองสารสนเทศ (BIM) ในงานก่อสร้างอย่างยั่งยืนสำหรับอนาคต
Challenges in using Building Information Modelling Sustainable construction for the future

พสิษฐ์ ศรีวัฒนศักดิ์[1] ภคิน กีพานิช[2] ภัคเดช ชาวนาวิก[3]และ ผศ.ดร. มานพ แก้วโมราเจริญ[4]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทใหม่ๆในวงการก่อสร้างมีหลายอย่างหนึ่งในนั้นคือ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร โดยในต่างประเทศได้ให้ความสำคัญกับ นวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกบัการประหยัดพลังงานและการลดการปล่อยคาร์บอน หนึ่งนั้นก็คือ แนวคิดเรื่องอาคารเขียว โดยคณะผู้จัดทำมีความสนใจที่จะศึกษาในสองเรื่องนี้ จึงได้ทำการศึกษาโดยการนำต้นแบบอาคารที่สร้างโดยใช้วิธีดั้งเดิมมาปรับปรุงในแนวทางของอาคารสีเขียว โดยใช้เกณฑ์ LEED v4.1 BD+C เป็นตัวต้นแบบในการพัฒนางาน พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ตัวอาคารก่อสร้างแบบดั้งเดิมกับการก่อสร้างโดยการวิเคราะห์การใช้ปริมาณงานต่าง ๆ ผ่าน Autodesk Revit และ ทำการถอดปริมาณวัสดุและประมาณราคาก่อสร้าง โดยเกณฑ์ของ LEED ที่ใช้เป็นหลักในการพัฒนามีดังนี้ กระบวนการเชิงบูรณาการ (Integrative Process), สถานที่และการเดินทาง (Location and Transportation), สถานที่ตั้งโครงการเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Site), การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ (Water Efficiency) พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere), วัสดุและทรัพยากร (Material and Resources)คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality), นวัตกรรมที่ใช้ในการออกแบบ (Innovation in Design), การจัดลำดับความสำคัญในภูมิภาคนั้นๆ (Regional Priority) ในการประเมินตาม เกณฑ์ LEED v4.1 BD+C ได้รับคะแนนที่ 61 คะแนน ประเมินในระดับ Gold และจากการทำการประมาณราคา มีค่าใช้จ่ายหลังปรับราคาให้เป็นราคาสุทธิโดยราคารวมทั้งสิ้นอยู่ที่ 6,500,000 บาท

คำสำคัญ : แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, LEED, อาคารเขียว

Abstract

There are many technologies that play new roles in the construction industry, one of them is Building information modelling (BIM). In Europe and USA, importance has been given to Innovations related to saving energy and reducing carbon emissions.That one is green building so we are interested in studying these two subjects. Therefore, a study was conducted by taking prototype buildings built using traditional methods and improving them in the direction of green buildings, using LEED criteria as a prototype for developing the work. Along with analyzing the traditional construction building and construction by analyzing the use of various workloads through Autodesk Revit and extracting the amount of materials and estimating construction costs, the LEED criteria used as the basis for development are as follows: Integrative Process, Location and Transportation, Sustainable Site, Water Efficiency, Energy and Atmosphere, Material and Resources, Indoor Environmental Quality, Innovation in Design, Regional Priority

Keywords: Building information modelling, LEED, Green building

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

BIM (Building Information Modeling) เป็นวิธีการใหม่สำหรับการออกแบบอาคาร การก่อสร้างและการจัดการทรัพยากรตัวอาคาร BIM เป็นตัวแทนกระบวนการก่อสร้างซึ่งถูกใช้เพื่อความสะดวกในการแลกเปลี่ยนทำงานร่วมกันระหว่างข้อมูล ในรูปแบบดิจิตอล *(Cheng, Wang & Gan, 2018)*

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้น ทำให้การคำนวณวัสดุ และราคาของการก่อสร้างแบบสมัยก่อนที่ต้องคำนวณจากแบบก่อสร้างนั้นไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จึงมีการนำเทคโนโลยีการใช้แบบจำลองสารสนเทศ (BIM) มาใช้ในการก่อสร้าง

ด้วยเทคโนโลยี BIM (Building Information Modeling) ระบบจะสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคารได้อย่างแม่นยำ แบบจำลองเหล่านี้รองรับการออกแบบในแต่ละขั้นตอน ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และควบคุมโปรเจคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากระบวนการที่ทำด้วยตนเอง เมื่อเสร็จสมบูรณ์ แบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะ

ประกอบด้วยรูปทรงเรขาคณิตที่แม่นยำและข้อมูลที่จำเป็นในการรองรับกิจกรรมการก่อสร้าง การแปรรูป และการจัดซื้อจัดหาเพื่อให้การก่อสร้างบรรลุผล *(Eastman, Teicholz, Sacks & Liston 2011)*

อาคารเขียว คือแนวทางปฏิบัติ ในการก่อสร้างโครงสร้างและใช้กระบวนการที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพตลอดช่วงชีวิตของอาคาร ตั้งแต่ที่ตั้งของอาคาร ไปจนถึง การออกแบบ การก่อสร้าง การดำเนินงาน การบำรุงรักษา การปรับปรุง และ การรื้อถอนการก่อสร้าง แนวปฏิบัตินี้จะช่วยขยายและเติมเต็มความกังวลเกี่ยวกับการออกแบบอาคารแบบดั้งเดิม ในด้านความประหยัด ประโยชน์การใช้สอย ความทนทาน และ ความสะดวกสบาย อาคารเขียวเรียกอรกอย่างหนึ่งว่า อาคารที่มั่นคงยั่งยืนหรืออาคารที่มีประสิทธิภาพสูง (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016)

ในยุคเริ่มต้นของ BIM มีแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างภาพจำลองสามมิติที่มีข้อมูลประกอบการใช้งานเป็น Data Model หรือ Product Model จนมาถึงการสร้างเครื่องมือมารองรับเพื่อนำไปใช้งานวิเคราะห์แทนที่การสร้างหุ่นจำลองจากของจริงซึ่งเสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลา ตัวอย่างจากการทดสอบการออกแบบเครื่องบินโบอิง หลังจากคอมพิวเตอร์พัฒนาความเร็วมากขึ้นรองรับการประมวลผลให้องค์ประกอบ Model ได้ดีขึ้น นำไปสู่การใช้กับงานอาคาร Data กับ Model ก็ถูกเรียกว่า Building Information Model

เป็นที่ทราบกันดีกว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ขยายตัวเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมก่อสร้างปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาคิดเป็น 39% ของการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมา ซึ่งถือว่าเยอะทีเดียวเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมการบิน และการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม ผู้ที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมก่อสร้างจะ “สร้าง” อย่าง “รักษ์โลก” ได้นั้นต้องอาศัย การทำงานที่ฉลาดขึ้นและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้เราสามารถบรรลุเป้าหมายด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ได้ภายในปี ค.ศ. 2030 ที่ผ่านมา หลายประเทศได้เริ่มใช้นโยบายที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างจริงจัง เช่น ญี่ปุ่น และแคนาดา ที่ได้พัฒนามาตรฐานการก่อสร้างเพื่อให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net-zero carbon standard) นอกจากมาตรฐานการสิ่งก่อสร้างใหม่แล้ว การดูแลรักษาและปรับปรุงสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่แล้วก็สามารถนำแนวคิด Go Green ไปใช้ได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ประยุกต์ใช้ BIM ทำอาคารวิศวกรรมโยธาให้เป็นอาคารเขียว (Green Building)

1.2.2 ถอดปริมาณวัสดุ และประมาณราคาก่อสร้างอาคารวิศวกรรมโยธา

1.3 ขั้นตอนการวิจัย

1.3.1 ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เป็นขั้นตอนที่ศึกษางานวิจัยทั้งภายในประเทศและนอกประเทศที่เกี่ยวของเพื่อนำมาเป็นแหล่งข้อมูลในการสืบค้นในการทำวิจัยนี้ โดยได้รวบรวมจากบทความทางวิชาการ วิทยานิพนธ์ และ มาตรฐานอาคารสีเขียว เช่น LEED, TREE-HOME Version 1.0 มาเป็นเอกสารอ้างอิงในการทำวิจัย โดยเนื้อหาที่ทำการศึกษา คือ

1.3.2 เก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำข้อมูลจริงที่ได้มารวมคิดและพัฒนาโครงงาน โดยในการเก็บข้อมูลจะทำโดย วิธีการสัมภาษณ์ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับตัวอาคาร โดยคำถามที่สัมภาษณ์จะเกี่ยวข้องกับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ BIM (Building Information Modeling) และ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ Green building เช่น ประโยชน์ในการพัฒนาอาคารให้เป็นอาคารเขียว , ความจำเป็นและความสำคัญของการพัฒนาตัวอาคารโดยนำเครื่องมือที่ทันสมัยมาใช้งาน BIM (Building Information Modeling) ร่วมกับการพัฒนาให้สอดคล้องกับ เกณฑ์อาคารสีเขียว

1.3.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการขั้นตอนที่ (1) และ (2) โดยนำมาเปรียบเทียบว่าข้อมูลว่าส่วนไหนที่เหมาะสมจะนำมาอ้างอิงในงานวิจัย จากนั้นนำมาจัดลำดับความสำคัญของเอกสารเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อได้โดยง่ายและเป็นระบบ

1.3.4 จัดทำพัฒนาอาคาร จาก BIM (Building Information Modeling) เดิม ปรับปรุงไป

ในแนวทางของ Green building ทั้งนี้ต้องให้สอดคล้องกับเกณฑ์อาคารสีเขียวให้มากที่สุด และ ปรับปรุงอาคารให้สอดคล้องกับ ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ (1) ถึง (3)

1.3.5 วิเคราะห์ตัวอาคารที่ทำขึ้นตามแนวทาง Green building มาใหม่นำมาเปรียบเทียบกับ ตัวอาคารแบบเดิมว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปแบบใด โดยทำการพิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เช่น ในการปรับปรุงตัวอาคารใหม่ต้องใช้เงินจำนวนมากเพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์อาคารเขียว แต่ในระยะยาวจะช่วยทำให้ลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนและเป็นมิตรต่อระบบนิเวศข้างเขียง โดยทั้งหมดนี้จะสามารถอธิบายได้ผ่าน BIM (Building Information Modeling)

1.3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของการวิจัยอีกครั้ง และ ทำการสัมภาษณ์อีกครั้งเพื่อถามถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวอาคารว่าการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเพื่อพัฒนาให้เป็น อาคารเขียว (Green building) ทั้งนี้ ในขั้นตอนที่ (6) จะเป็นการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับมารวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัยและทำการแก้ไขครั้งสุดท้ายก่อนสรุปการวิจัยในขั้นตอนที่ (7)

1.3.7 สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดความของการวิจัย ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงในอนาคต และ รวบรวมจัดทำงานวิจัย โดยรวบรวมตั้งแต่ การสืบค้นข้อมูล การทำสัมภาษณ์ การพัฒนาตัวอาคารจริงให้เป็นไปตามเกณฑ์ และ ปัญหาที่ได้รับระหว่างการทำวิจัย

2. ผลการดำเนินงานวิจัย

นำเกณฑ์ LEED v4.1 BD+C มาใช้ในการประเมินอาคารต้นแบบ มาประเมินเป็นคะแนนจริง โดย ได้ทำการปรับปรุงตัวอาคารต้นแบบ ใน Autodesk Revit ตามแนวทางอาคาร ในการให้ประเมินการให้คะแนนประเมินเฉพาะหัวข้อที่มีการให้คะแนน โดยมีรายละเอียดการประเมินอาคารและให้คะแนนดังนี้

2.1 หมวด Integrative Process (IP)

เขียนอธิบายการดำเนินโครงการด้วย ประสิทธิภาพการทำงานขั้นสูง มีการวิเคราะห์ก่อนการทำงาน สร้างระบบในการทำงาน เริ่มต้นจากการออกแบบโครงการก่อนและสามารถอธิบายเรื่อง OPR, BOD และ เอกสารการออกแบบ เอกสารการก่อสร้าง

<u>คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน</u>

2.2 หมวด Location and Transportation (LA)

2.2.1 LEED for neighborhood Development Location (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) สถานที่ตั้งมีความเหมาะสมมีทางเข้าออกทางเดียวที่เข้าไปจอดรถด้านหลังตัวอาคารเป็นพื้นที่ สนามบาส

2.2.2 Sensitive Land Protection Credit ในข้อนี้เกี่ยวกับการสร้างโครงการใหม่บนพื้นที่ที่มาการพัฒนาก่อนหน้าหรือพื้นที่ ที่อ่อนไหวที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ลดผลกระทบต่อผู้ใช้งานบริเวณโดยรอบ)

<u>คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน</u>

2.2.3 High Priority Site and Equitable Development

ได้ทำการปรับปรุงตัวอาคารให้เป็นแหล่งการเรียนรู้ที่คนทั่วไปสามารถเข้ามาศึกษาได้ ตัวอาคารแสดงถึงการส่งเสริมความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นต้นแบบอาคารเขียว ติดตั้งโซลาร์เซลล์เพื่อทำให้การใช้พลังงานเกิดจากพลังงานสะอาดไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.2.4 Surrounding Density and Diverse Uses

เน้นไปที่ตัวอาคารที่สามารถเดินทางเข้าถึงได้โดยง่ายส่งสร้างต่อการเดินและไม่จำเป็นต้องใช้รถส่วนตัวเพราะบริเวณโดยรอบมีรถขนส่งที่สามารถเข้าถึงได้ โดยสามารถประเมินได้จาก Walk score 0-24 ได้รับ 1 คะแนน และ 90-100 ได้รับ 5 คะแนนไล่ไปตามลำดับตามตาราง

คะแนนเต็ม 5 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 4 คะแนน

2.2.5 Access to Quality Transit

บริเวณโดยรอบของตัวอาคารมีการเข้าถึงรถบัสไฟฟ้าสาธารณะ บริเวณศาลาพระเกี้ยว จุดเด่นของบริการนี้คือไฟสำหรับบุคคลากรภายในมหาวิทยาลัย และ เนื่องจากมีรถบริการจำนวนมาก ได้ทำการเปลี่ยนเป็นรถไฟฟ้าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคะแนนมากจาก จำนวนรอบที่รถบัสไฟฟ้าสาธารณะที่ให้บริการในแต่ละวัน

คะแนนเต็ม 5 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.2.6 Bicycle Facilities

เพิ่มที่จอดรถจักรยานบริเวณรอบตึก พื้นที่ว่างในบริเวณหลังตึกสามารถนำมาเป็นพื้นที่จอดรถได้ ภายในเกณฑ์ข้อนี้ได้มีการแนะนำว่าจุดหมายปลายทางทั้งหมดต้องอยู่ในระยะ 4.8 กิโลเมตร และถ้าสามารถมีเลนส์สำหรับรถจักรยานก็จะมีความสะวดกและปลอดภัยมากขึ้น

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.2.7 Reduced Parking Footprint

ลดผลกระทบที่เกิดมาจากมีลานจอดรถ ลดผลกระทบข้างเคียงจากมลพิษหรือฝุ่นควันจากรถส่วนตัว แรก ลดพื้นที่จอดรถลง 30% ตามเกณฑ์ พื้นที่ส่วนที่เหลือสามารถนำไปทำอย่างอื่นได้เช่น พื้นที่ปลูกต้นไม้ พื้นที่ใช้งานสำหรับทางเดิน

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.2.8 Electric Vehicles

จัดทำพื้นที่สำหรับไว้จอดรถและชาร์ตแบตรถไฟฟ้า Electrical vehicle supply equipment (EVSE) สำหรับผู้ที่ต้องการใช้งานโดยติดตั้ง 5% ของปริมาณจอดรถทั้งหมด โดยสามารถใช้พื้นที่ที่ลดลง 30% จากเกณฑ์ข้อ 4.1.7 มาใช้งานในส่วนตรงนี้ได้ ปริมาณที่ทำการติดตั้งได้คือ ปริมาณข้างตัวอาคารต้นแบบ

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.3 หมวด Sustainable Sites (SS)

2.3.1 Construction Activity Pollution Prevention (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) การก่อสร้างเพื่อต่อเติมหรือปรับปรุงใหม่มีสิ่งที่ต้องคำนึง 3 ประเด็น 1.การควบคุมการพังทลายของหน้าดิน 2.การตกตะกอนของหินดินในน้ำ ส่งผลเสียระยะยาวให้กับแหล่งน้ำบริเวณไซด์งาน 3. ฝุ่นละอองในอากาศ ในการทำงานต้องดูแลเรื่องฝุ่นที่มาจากไซด์งาน

2.3.2 Site Assessment ทำการประเมินไซด์งานก่อขั้นตอนการออกแบบเพื่อประเมินทางเลือกที่ยั่งยืนและทำการตัดสินใจสำหรับการออกแบบต่อไป โดย ต้องทำการสำรวจใน 7 หัวข้อ

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.3.3 Protect or Restore Habitat

เพื่ออนุรักษ์พื้นที่ธรรมชาติและฟื้นฟูบริเวณที่เสียหายเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพ ในข้อนี้ บริเวณอาคารไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้มากเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดและถูกออกแบบมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยในเกณฑ์อธิบายไว้ว่าให้ทำพื้นที่ก่อสร้างจำนวน 40% จากพื้นที่สีเขียวทั้งหมด

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.3.4 Open Space ทำการสร้างพื้นที่เปิดโล่งเพื่อให้เข้าถึงสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบ ในตัวอาคารบริเวณที่ทำคือ บริเวณตรงกลางของตึกโดยเจาะให้มีแสงผ่านตรงกลางอาคารตั้งแต่ชั้นที่1 ถึง ชั้นหลังคา

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.3.5 Rainwater Management ลดปริมาณน้ำไหลบ่าและปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการจำลองทางอุทกวิทยาและน้ำตามธรรมชาติ ในการวัดปริมาณน้ำฝนสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณเปอร์เซ็นต์ของฝนที่คงอยู่

คะแนนเต็ม 3 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.3.6 Heat Island Reduction ลดผลกระทบจาก สภาพภูมิอากาศที่ร้อน ที่มีต่อที่อยู่อาศัยของมนุษย์ โดยในตัวอาคารจะเป็นอาคารที่มีหลังคาทั้งหมด สามารถเปลี่ยนไปใช้เป็น High-Reflectance Roof โดย การติดตั้งโซลาร์เซลล์ยังเป็นการลดความร้อนบริเวณด้านบนสุดของอาคาร

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.3.7 Light Pollution Reduction เป็นไปตามข้อกำหนดด้านแสง โดยในโครงการนี้จะใช้วิธีการคำนวณ 2 ข้อ คือ วิธีการคำนวณแสง (Up light) และ คำนวณการบุกรุกของแสง (Light Trespass)

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.4 หมวด Water Efficiency (WE)

2.4.1 Outdoor Water Use Reduction (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) จุดประสงค์ในข้อนี้คือการลดการใช้น้ำภายนอก ซึ่งอาคารต้นแบบไม่ต้องใช้น้ำภายนอกในข้อนี้

2.4.2 Indoor Water Use Reduction (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) ลดการใช้งานปริมาณน้ำโดยรวมให้ลดลง 20% เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้งานของน้ำ อุปกรณ์ติดตั้ง ตามแรงดันจ่ายมาตรฐานที่ใช้ในบริเวณอาคารต้นแบบ

2.4.3 Building-Level Water Metering (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) ติดตั้งมาตรวัดน้ำถาวรเพื่อวัดการใช้น้ำสำหรับตัวอาคาร ข้อมูลมิเตอร์รวบรวมสรุปรายจ่ายและรายปี ซึ่งต้องสามารถอ่านค่ามิเตอร์ได้ โดยบันทึกข้อมูลที่ได้เป็นระยะเวลา 5 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่โครงการยอมรับการรับจาก LEED Certification

2.4.4 Outdoor Water Use Reduction จุดประสงค์ในข้อนี้คือการลดการใช้น้ำภายนอก ซึ่งอาคารต้นแบบกำหนดให้ไม่ต้องใช้น้ำภายนอก

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.4.5 Indoor Water Use Reduction ลดการใช้ทำให้ประหยัดการใช้น้ำมากกว่าที่กำหนดไว้ โดยการใช้แหล่งน้ำทางเลือก

คะแนนเต็ม 6 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 5 คะแนน

2.4.6 Optimize Process Water Use ใช้กับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกลพร้อมควบคุมการกัดกร่อนและการเกิดตะกรันในระบบน้ำแบบคอนเดนเซอร์ สำหรับหอทำความเย็นและคอนเดนเซอร์แบบระเหย ดำเนินการวิเคราะห์และวัดแบบ one-time potable water analysis อย่างน้อย 5 ครั้ง

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.4.7 Water Metering ติดตั้งระบบน้ำสำหรับการประหยัดน้ำโดยการติดตามการบริโภคน้ำ และ ต้องทำการติดตั้งมาตรวัดน้ำ

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1คะแนน

2.5 หมวด Energy and Atmosphere (EA)

2.5.1 Fundamental Commissioning and Verification (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) การออกแบบ การก่อสร้าง และ การดำเนินงาน ให้ตรงตามข้อกำหนดนโยบายของตัวอาคารต้นแบบ ข้อกำหนดสำหรับเปลือกภายนอกอาคาร

2.5.2 Minimum Energy Performance (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) ลดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจจากการใช้พลังงานมากเกินไป

2.5.3 Building-Level Energy Metering (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) ติดตั้ง มิเตอร์วัดพลังงานระดับอาคาร หรือ มิเตอร์ย่อยที่สามารถรวบรวมเพื่อให้ข้อมูลระดับอาคารที่แสดงถึงการใช้พลังงานในอาคารทั้งหมด โดยต้องแบ่งข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลความต้องการไฟฟ้าให้กับองค์กรที่เกี่ยวข้องเช่น USGBC เป็นระยะเวลา 5 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่โครงการยอมรับการรับรองจาก LEED และ จะต้องทำการติดตามการใช้พลังงานในทุก ๆ เดือน

2.5.4 Fundamental Refrigerant Management (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) ลดการสูญเสียโอโซนในบรรยากาศชั้นสตาโตสเฟียร์ ห้ามใช้สารทำความเย็นที่มี CFC หรือ สาร HCFC ในระบบทำความร้อน การระบายอากาศ เครื่องปรับอากาศ และ ระบบทำความเย็น HVAC&R

2.5.5 Enhanced Commissioning การออกแบบ การก่อสร้าง และการดำเนินงานขั้นสุดท้ายของโครงการที่ตรงตามข้อกำหนดของเจ้าของโครงการ โดยต้องดำเนินการตามต่อไปนี้

ตรวจสอบผู้รับเหมา

ตรวจสอบการรวมข้อกำหนดคู่มือระบบไว้ในเอกสารการก่อสร้าง

ตรวจสอบการรวมข้อกำหนดการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้งานในเอกสารการก่อสร้าง

ตรวจสอบการอัพเดตและการส่งมอบด้วยตนเอง

ตรวจสอบการส่งมอบและประสิทธิภาพของการฝึกอบรม

ตรวจสอบการทดสอบตามฤดูกาล

ตรวจสอบการดำเนินงานของอาคาร 10 เดือน หลังจากเสร็จสิ้น

พัฒนาแผนการว่าจ้าง

คะแนนเต็ม 6 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 6 คะแนน

2.5.6 Optimize Energy Performance วิเคราะห์การวัดประสิทธิภาพในระหว่างกระบวนการออกแบบและคำนึงถึงผลลัพธ์ในการตัดสินใจออกแบบ โดยจะปฏิบัติตามข้อกำหนด คู่มือการออกแบบพลังงานขั้นสูงของ ASHRAE โดยต้องเป็นไปตามข้อกำหนด AEDG ASHRAE 50% Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings

คะแนนเต็ม 18 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.5.7 Advanced Energy Metering ติดตั้งการวัดพลังงานขั้นสูงเพื่อวัดแหล่งพลังงานทั้งอาคารและการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่คิดเป็น 10% หรือ มากกว่า เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานทั้งปี โดยการวัดพลังงานขั้นสูงต้องติดตั้งมิเตอร์อย่างถาวร บันทึกในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า มิเตอร์ไฟฟ้าต้องบันทึกทั้งปริมาณการใช้งานและความต้องการ มิเตอร์ไฟฟ้าทั้งอาคารควรบันทึกค่าประกอบกำลังตามความเหมาะสม

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.5.8 Grid Harmonization การมีส่วนร่วมในเทคโนโลยีและโปรแกรมตอบสนองต่อความต้องการที่มีระบบการผลิตและการจ่ายพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มความน่าเชื่อถือของโครงข่ายไฟฟ้า และ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.5.9 Renewable Energy ใช้ระบบพลังงานหมุนเวียนในไซต์งานหรือจัดหาพลังงานหมุนเวียนจากแหล่งนอกไซต์งานสำหรับการใช้พลังงานทั้งหมดหรือบางส่วนต่อปี โดย ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตพลังงานสะอาด โดยทำการติดตั้ง 204 แผง ขนาดแผ่นละ 1.16 ม. x 2.066 ม. เพราะฉะนั้นใช้พื้นที่ไปทั้งหมด 488.898 ตร.ม. 1 แผง ผลิตไฟฟ้าได้ 450 watt ใน 1 ปี ผลิตได้ 167.535 kwh/hr (กำหนดให้ peak sun hours 5 ชม. ในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร)

คะแนนเต็ม 5 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 5 คะแนน

2.5.10 Enhanced Refrigerant Management กำจัดการสูญเสียโอโซนและสนับสนุนการปฏิบัติตามพิธีสารมอนทรีออลรวมถึง Kigali Amendment ในขณะเดียวกันก็ลดการมีส่วนร่วมโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยภายในอาคารมีผลกระทบของสารทำความเย็นต้องปฏิบัติตามมาตรฐาน ASHRAE 15-2019

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.6 หมวด Materials and Resources (MR)

2.6.1 Storage and Collection of Recyclables (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) จัดเตรียมให้มีพื้นที่เฉพาะสำหรับขนขยะและผู้ใช้งานเพื่อรวบรวมและจัดเก็บวัสดุรีไซเคิลสำหรับทั้งอาคาร และ วัสดุรีไซเคิลต้องมีกระดาษผสมอยู่ อาจจะเป็น กระดาษลูกฟูก แก้ว พลาสติก และ โลหะ ใช้มาตรการที่เหมาะสมสำหรับการรวมรวม การจัดเก็บ และต้องกำจัด แบตเตอร์รี่ หลอดไฟที่มีสารปรอท และ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ อย่างปลอดภัย

2.6.2 Building Life-Cycle Impact Reduction ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการทำทรัพยากรในอาคารที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่ หรือ สาธิตการลดการใช้วัสดุผ่านการประเมินวงจรชีวิต รักษาโครงสร้างอาคารและส่วนประกอบภายในอาคาร ใช้องค์ประกอบที่ อย่างน้อย 30% ของพื้นที่

พื้นของโครงการที่สร้างเสร็จ โดยในการปรับปรุงอาคารต้นแบบมีการนำวัสดุ กำแพง พื้น หลังคา กลับมาใช้ใหม่ และ ยังทำการลดพื้นที่ตรงกลางอาคารลง คะแนนเต็ม 5 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 5 คะแนน

2.6.3 Environmental Product Declarations ส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์และวัสดุที่มีข้อมูลวงจรชีวิตที่มีอยู่และมีผลกระทบต่อวงจรชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และ สังคม โดยต้องทำตาม Environmental Product Declaration (EPD)

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.6.4 Sourcing of Raw Materials ใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันอย่างน้อย 5 ราย ที่ตรงตามเกณฑ์การจัดหาที่รับผิดชอบเป็นเวลาอย่างน้อย 40% ตามต้นทุนของมูลค่ารวมของสิ่งที่ก่อสรางติดตั้งถาวรในโครงการ คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.6.5 Material Ingredients ใช้ผลิตภัณฑ์และวัสดุที่มีข้อมูลวงจรชีวิตที่มีอยู่และมีผลกระทบต่อวงจรชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และ สังคม เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีการเก็บส่วนผสมทางเคมีที่เป็นที่ยอมรับและคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบเพื่อลดการใช้สารอันตราย ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ติดตั้งถาวรจากผู้ผลิตที่แตกต่างกันอย่างน้อย 3 ราย ซึ่งบันทึกการปรับส่วนผสมวัสดุให้เหมาะสม

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.6.6 Construction and Demolition Waste Management กำหนดกลยุทธ์ในการลดการเกิดของเสียในระหว่างการออกแบบและการก่อสร้างของโครงการ และกำหนดเป้าหมายของเสียสำหรับโครงการโดยระบุวัสดุที่ใช้ทั้งส่วนของโครงสร้างและไม่ใช่โครงสร้าง โดยต้องปฏิบัติตามแผนการจัดการของเสียและเปลี่ยนแปลงอย่างน้อย 50% ของวัสดุก่อสร้างและการรื้อถอนทั้งหมดจากสถานที่ฝังกลบและเตาเผา

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.7 หมวด Indoor Environmental Quality (EQ)

2.7.1 Minimum Indoor Air Quality Performance (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) จัดให้มีเครื่องตรวจสอบอากาศภายนอกสำหรับระบายอากาศที่มีปริมาณอากาศเข้าภายนอกมากกว่า 472 ลิตร/วินาที โดยอุปกรณ์ตรวจสอบต้องวัดการไหลของอากาศภายนอกได้และมีความแม่นยำ +/- 10% สัญญาณเตือนต้องบอกเมื่อกระแสลมมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 15% โดยถ้ามีพื้นที่ระบายอากาศตามธรรมชาติให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดการระบายอากาศ ASHRAE 62.1-2016

2.7.2 Environmental Tobacco Smoke Control (ข้อกำหนดที่ต้องทำ) เนื่องจากเป็นสถานที่ราชการและสถานการศึกษา จึงไม่มีพื้นที่สำหรับสูบบุหรี่ อยู่แล้ว

2.7.3 Enhanced Indoor Air Quality Strategies ทำเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยมีทั้งหมด 6 กลยุทธ์ที่จะนำมาปรับปรุง 1.ระบบทางเข้า ทำทางเข้าให้มีความยาวอย่างน้อย 3 เมตร 2.การป้องกันการปนเปื้อนเข้ามาภายใน ติดตั้งระบบระบายอากาศภายใน ในกรณีที่มีสารเคมีอันตราย 3.การกรองอากาศภายนอก เพิ่มระบบระบายอากาศที่นำอากาศไปนอกพื้นที่ 4.เพิ่มการระบายอากาศ 30% เพิ่มพื้นที่ที่หายใจได้นอกอาคาร 95% โดยต้องให้มีอย่างน้อย 30%สูงกว่าอัตราขั้นต่ำตามที่ได้กำหนดในหัวข้อ EQ Prerequisite Minimum Indoor Air Quality 5.ใช้หน้าต่าง โดยต้องมีหน้าต่างที่ใช้ได้ 75% 6.การระบายอากาศตามธรรมชาติ ตามที่ได้กำหนดในหัวข้อ EQ Prerequisite Minimum Indoor Air Quality ควบคุมและติดตาม แหล่งที่มาสำหรับพื้นที่ที่อาจเกิดการปนเปื้อนในอากาศ

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.7.4 Low-Emitting Materials เพื่อลดความเข้มข้นของสารเคมีปนเปื้อนที่อาจทำลายคุณภาพอากาศ สุขภาพมนุษย์ รวมถึงสิ่งแวดล้อม โดยในเกณฑ์ข้อนี้จะทำการปรับปรุง 2 ผลิตภัณฑ์

คะแนนเต็ม 3 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.7.5 Construction Indoor Air Quality Management Plan จัดทำแผนดำเนินการตามแผนการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับขั้นตอนการก่อสร้าง โดยมีข้อเพิ่มเติมคือ ต้องปกป้องวัสดุดูดซับที่จัดเก็บในไซต์งานจากความเสียหายจากความชื้น และ ในระหว่างการก่อสร้างห้ามสูบบุหรี่ภายในอาคารภายในระยะ 7.5 เมตร

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.7.6 Indoor Air Quality Assessment ทำการทดสอบคุณภาพอากาศ หลังจากการก่อสร้างเสร็จสิ้น

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 2 คะแนน

2.7.7 Thermal Comfort ออกแบบระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และ การปรับอากาศ (HVAC) และ ออกแบบขอบเขตของอาคารเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE 55-2017

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.7.8 Interior Lighting ควบคุมแสงสว่าง ให้แสงสว่างแบบหรี่แสงได้หรือแสงที่มีหลายระดับอย่างน้อย 90% ของพื้นที่

คะแนนเต็ม 2 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.7.9 Daylight ลดการใช้แสงสว่างจากไฟฟ้าและเน้นไปใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ใช้แบบจำลอง ทำ Spatial daylight autonomy (Sda300/50%) และ Annual sunlight exposure (ASE1000,250) ตามกำหนดไว้ใน IES LM-83-12

คะแนนเต็ม 3 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 0 คะแนน

2.7.10 Quality Views ผู้ใช้งานอาคารได้มองเห็นสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ สภาพแวดล้อมบริเวณภายในคณะด้วยรวมก็มีพื้นที่สีเขียวสนามกีฬารวมอยู่

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.7.11 Acoustic Performance จัดให้มีพื้นที่ทำงานและห้องเรียนที่มีการออกแบบให้เสียงมีประสิทธิภาพสูงสุด ตามมาตรฐาน HVAC ต้องได้รับเสียงพื้นหลังที่ 35 dBA หรือน้อยกว่านั้น

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.8 หมวด Innovation (IN)

2.8.1 Innovation ปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและสามารถวัดผลได้ โดยใช้วิธีที่ไม่ได้ระบุไว้ใน LEED เช่น การทำเป็นพื้นที่ Joint Use of Facilities คะแนนเต็ม 5 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.8.2 LEED Accredited Professional ในเกณฑ์ข้อนี้คือต้องมีผู้ร่วมโครงการอยู่ในทีม LEED Accredited Professional (AP) โดยต้องมีความสามารถให้เหมาะกับโครงการนี้

คะแนนเต็ม 1 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 1 คะแนน

2.9 หมวด Regional Priority (RP)

เพื่อเป็นต้นแบบแรงจูงใจในการบรรลุผลต้นแบบอาคารเขียว โดยต้องเกี่ยวข้องกับ พื้นที่เฉพาะทางภูมิศาสตร์ ลำดับความสำคัญของสิ่งแวดล้อม ความเสมอภาคทางสังคม และ สาธารณสุข

คะแนนเต็ม 4 คะแนน คะแนนที่ได้รับ 4 คะแนน

3. สรุปผลการวิจัย

3.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาเรื่อง ความท้าทายในการใช้แบบจำลองสารสนเทศ (BIM) ในงานก่อสร้างอย่างยั่งยืนสำหรับอนาคต ได้นำ แบบจำลองสารสนเทศอาคาร BIM (Building Information Modeling) มาดัดแปลงอาคารต้นแบบ เนื่องด้วย ปัจจุบันการสร้างแบบจำลองอาคาร BIM ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดย BIM ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดทำโครงการและเพิ่มคุณภาพของการจัดทำวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้คือ ประยุกต์ใช้ BIM ทำอาคารวิศวกรรมโยธาให้เป็นอาคารเขียว (Green Building) โดย ในงานวิจัยนี้ได้นำเอา เกณ์ LEED v4.1 BD+C ทั้ง 9 หมวด เพื่อนำไปปรับกับตัวอาคารต้นแบบให้มีเกณ์ที่ถูกต้อง โดยทั้ง 9 หมวด ประกอบไปด้วย 1. Integrative Process 2. Location and Transportation 3. Sustainable Sites 4. Water Efficiency 5. Energy and Atmosphere 6. Materials and Resources 7. Indoor Environmental Quality 8. Innovation 9. Regional Priority หลังจากนั้นจะทำการประเมินคะแนนที่ได้หลังจากปรับปรุงตาม เกณ์ LEED v4.1 BD+C มาประเมินเป็น LEED CERTIFICATION โดยมีลำดับคะแนน คือ Certified: 40 to 49 points, Silver: 50 to 59 points, Gold: 60 to 79 points, Platinum: 80 to 110 ส่วน วัตถุประสงค์ในข้อที่สองคือ ทำการถอดปริมาณวัสดุ และประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารวิศวกรรมโยธา เพื่อทำให้ทราบว่านกรณีที่ต้องการปรับปรุงให้เป็นไปตามแนวคิดอาคารเขียวมีค่าใช้จ่ายโดยประมาณเท่าไร สำหรับการถอดปริมาณวัสดุสามารถถอดปริมาณได้จาก โปรแกรม Autodesk Revit ได้ ในส่วน

หัวข้อ	ชื่อหัวข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้รับ
IP	Integrative Process	1	1
LA	Location and Transportation	16	12
SS	Sustainable Sites	10	4
WE	Water Efficiency	11	8
EA	Energy and Atmosphere	33	12
MR	Materials and Resources	13	10
EQ	Indoor Environmental Quality	16	8
IN	Innovation	6	2
RP	Regional Priority	4	4

ตารางที่ 1 ผลคะแนนที่ได้รับหลังทำการปรับปรุง

ของการประเมินตาม LEED CERTIFICATION อาคารที่ปรับปรุงแล้วได้รับการประเมินในระดับ Gold อยู่ที่ 61 คะแนน และ ในส่วนของการประมาณราคาค่าก่อสร้าง ทำการปรับราคาให้เป็นราคาสุทธิ โดยราคารวมทั้งสิ้นอยู่ที่ 6500000 บาท

3.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในขั้นตอนการออกแบบสามารถทำได้โดยการสร้างตัวอาคารที่ตรงกับความต้องการให้เป็นไป ตามเกณฑ์ LEED v4.1 BD+C เช่น การปรับเปลี่ยนพื้นที่บริเวณตรงกลางอาคารให้มีแสงผ่าน หรือ การใช้วัสดุที่มีเกณฑ์มาจากประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งในการก่อสร้างจริงต้องนำเกณฑ์มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานและกฎหมายในไทยเพื่อให้สอดคล้องและสามรถก่อสร้างได้จริง

2) การประมาณราคาเป็นการประมาณเฉพาะวัสดุที่เพิ่มมาจากตัวอาคารเก่า การประมาณราคาในโครงการวิจัยนี้ไม่ได้ทำการประมาณทุกงานในการก่อสร้าง เช่น งานโครงสร้าง หรือ งาน สถาปัตย์ และ การประมาณราคาเป็นการแสดงให้เห็นในเบื้องต้นว่าในการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารเขียวใช้งบประมาณในการพัฒนาเท่าไร

เอกสารอ้างอิง

[1] Anne de Bortoli. (2023). BIM can help decarbonize the construction sector from BIM can help decarbonize the construction sector: Primary life cycle evidence from pavement management systems - ScienceDirect

[2] Jie Zhang. (2022). BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept from BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept (a comparison) | Request PDF (researchgate.net)

[3] Zhen Liu. (2022). Building information model (BIM) Driving carbon emission reduction research from (PDF) Building Information Modeling (BIM) Driven Carbon Emission Reduction Research: A 14-Year Bibliometric Analysis (researchgate.net)

[4] Chen, W., Chen, K., Cheng, J. C., Wang, Q., & Gan, V. J. (2018). BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders. Automation in Construction, 91, 15-30.

[5] Grit Ngowtanasuwan. (2015). Stategy Of Thai Architectural and Engineering Design Industry to Emerging Innovation: A Case Study of Building Information