การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารเชิงพารามิเตอร์เพื่อการถอดปริมาณวัสดุผนังอิฐก่อ

An Application of Building Information Modelling for Brick Walls Quantity Take-off

เมธาสิทธิ์ จันทร์พิทักษ์[1,*] และ ธนิต ธงทอง[2]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: methasith.j@gmail.com

บทคัดย่อ

อิฐก่อเป็นวัสดุที่นิยมในการก่อผนัง ในการถอดปริมาณมักจะใช้การประมาณวัสดุเป็นอัตราส่วนจากพื้นที่ผนัง ซึ่งไม่มีรูปแบบที่มีรายละเอียดข้อมูลชิ้นส่วนที่ละเอียดเพียงพอ ส่งผลให้การถอดปริมาณมีความผิดพลาดเนื่องจากมีลักษณะและจำนวนช่องเปิดแตกต่างกันในแต่ละผนังส่งผลให้การก่อสร้างที่ได้อาจไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น ระยะทาบหรือลักษณะการก่อมีระยะไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เกิดขยะจากการทิ้งชิ้นส่วนอิฐที่เหลือจากการตัดทิ้งที่สามารถนำไปใช้ต่อในส่วนอื่นได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพการก่อสร้างทั้งด้านเวลาและงบประมาณ บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารโดยใช้การออกแบบเชิงพารามิเตอร์ เพื่อถอดปริมาณและสร้างข้อมูลรายละเอียดการก่อชิ้นส่วนอิฐในผนังอิฐก่อ โดยงานวิจัยใช้โปรแกรม Dynamo ผ่านโปรแกรม Autodesk Revit ในการสร้างชุดคำสั่งเพื่อคำนวณตำแหน่ง ความยาว และปริมาณของชิ้นอิฐก่อ ผลการทดสอบระบบพบว่าใช้เวลาในการถอดปริมาณน้อยและสามารถให้แสดงผลในรูปแบบสามมิติได้ ซึ่งช่วยเสริมในการมองเห็นรายละเอียดตำแหน่งและความยาวของอิฐก่อได้ สามารถข้อมูลของอิฐแต่ละชิ้นไปคำนวณสร้างรายการตัดอิฐเพื่อนำไปวางแผนการก่อสร้างต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, การออกแบบเชิงพารามิเตอร์, ผนังอิฐก่อ

Abstract

Brick walls are a common material in construction. When estimating, a ratio of area is a common method employed to estimate the brick quantity from wall areas, which can lead to errors because brick walls in each project have different sizes and numbers of openings. As a result, those pieces may fail to meet the position and distance requirements. It also generates construction waste by discarding the residual cutting components, which can be reused for other parts. This can have an impact on construction quality in terms of time and money. Therefore, the purpose of this article is to provide guidelines for utilizing building information modeling (BIM) with parametric design. The Dynamo is used in conjunction with Autodesk Revit to create a set of computation instructions for wall assembly position, length, and amount. The system's results revealed that it took less time to calculate. And because it may be presented in 3D, it enhances the visibility of the wall assembly's position and length details. The quantity and length of each item can be estimated to provide a brick cutting list for use in further construction planning.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Parametric Design, Brick Wall

1. คำนำ

ในการก่อสร้างงานผนังนั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นมีได้หลายอย่าง เช่น ก่อไม่ได้ดิ่งหรือแนว การเรียงอิฐที่ไม่ได้เรียงกันตามความเหมาะสมเพื่อความแข็งแรง การสูญเสียจากการตัดซึ่งเป็นผลให้เกิดขยะและเพิ่มต้นทุนในการก่อสร้างที่ไม่จำเป็น อีกปัญหาหนึ่งที่พบได้บ่อยคือการแตกร้าวซึ่งมักจะเป็นผลมาจากการที่ผนังมีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องมีการเสริมเสาเอ็นและคานทับหลัง เพื่อช่วยลดระยะของผนัง รวมทั้งเพิ่มการยึดเหนี่ยวของผนังให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งในปัจจุบันในการก่อสร้างมักจะใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modelling หรือ BIM มาประยุกต์ใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง[1] โดยประยุกต์ลงในแบบจำลอง 3 มิติ และประมวลผลเพื่อให้ทราบถึงแบบก่อสร้าง สามารถใช้วางแผนและช่วยเพิ่มความเข้าใจ และทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบงานต่าง ๆ ในการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานเสาเอ็นและคานทับหลัง เป็นโครงสร้างที่ช่วยให้ผนังมีแนวก่อที่ถูกต้องทั้งแนวดิ่งและแนวราบ ช่วยให้ผนังมีความแข็งแรง รับน้ำหนัก และแรงกระทำด้านข้างได้ ซึ่งในรายการประกอบแบบนั้นก่อสร้างและข้อกำหนดการสร้างเสาเอ็นและคานทับหลังจะอยู่ในหมวดงานก่ออิฐและฉาบปูน[2] ซึ่งกำหนดให้ผนังก่อจะต้องมีเสาเอ็นและคานทับหลัง แบ่งซอยตลอดความสูงหรือความกว้างผนังหรือที่มุมผนังก่อ ผนังก่อที่ไม่เชื่อมต่อกับเสาโครงสร้าง ผนังก่อที่ติดตั้งวงกบประตูหรือหน้าต่าง ซึ่งเสาเอ็นและคานทับหลังจะช่วยให้สามารถยึดวงกบให้ติดกับผนังก่อได้อย่างแข็งแรง คานทับหลังทับจะช่วยถ่ายน้ำหนักของผนังและเชื่อมต่อกับวงกบในแนวนอน นอกจากนี้ยังช่วยเสริมความแข็งแรงของผนังก่อให้มีความแข็งแรง เพื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง

หากสามารถวางแผนและมีแบบก่อสร้างที่มีรายละเอียดเพียงพอต่อการก่อสร้างได้อย่างถูกต้อง จะสามารถลดความผิดพลาดได้ รวมทั้งหากสามารถวางระยะเสาเอ็นคานทับหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือตามข้อกำหนด ก็จะสามารถลดทั้งต้นทุนในด้านเวลา และวัสดุได้ เช่น ลดเวลาในการก่อสร้างเนื่องจากการก่อเสาเอ็นคานทับหลังนั้นจะต้องรอให้คอนกรีตแข็งตัวก่อนจึงจะก่อสร้างต่อไปได้

แบบก่อสร้างที่นิยมสร้างขึ้นมาในปัจจุบันนั้น เช่น งานโครงสร้าง งานระบบอาคาร งานสถาปัตยกรรม นั้นมักจะยังไม่มีรายละเอียดแบบก่อสร้าง

เสาเอ็นคานทับหลัง และเป็นหน้าที่ของคนที่อยู่ที่หน้างานในการกำหนดแบบในส่วนนี้ ซึ่งอาจไม่ได้เป็นผู้ออกแบบการก่อสร้างและอาจจะก่อสร้างได้ไม่ตรงตามความต้องการหรือข้อตกลงที่มีไว้กับเจ้าของโครงการ จึงอาจจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในด้านต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านต้นทุนและเวลาได้ผนังร้าวเกิดจากการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งมีการใช้งาน BIM เช่น Autodesk Revit เพื่อสร้างโมเดลขึ้นมาในระบบคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในแบบจำลองในการคำนวณปริมาณงาน รวมถึงสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อให้คำนวณข้อมูลในส่วนที่ต้องการเพิ่มขึ้นได้จากส่วนเสริมของ Revit ที่ชื่อว่า Dynamo ด้วยภาษา Python ได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1) เสนอแนวคิดในการวางตำแหน่งและถอดปริมาณชิ้นส่วนเสาเอ็น-คานทับหลัง และอิฐก่อ ให้ได้ตามข้อกำหนดโดยใช้ข้อมูลจาก BIM และ Dynamo ในการคำนวณ 2) พัฒนาชุดคำสั่งระบบการวางตำแหน่งและถอดปริมาณชิ้นส่วนเสาเอ็น-คานทับหลัง และอิฐก่อ ให้ได้ตามข้อกำหนดโดยใช้ข้อมูล BIM และ Dynamo ในการคำนวณ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะในงานก่อสร้าง

การเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลกนำไปสู่การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม นั่นรวมถึงอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นอย่างมากในกระบวนการดังกล่าว ซึ่งทำให้เกิดของเสียจากการทำงานโดยที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากลักษณะของงานก่อสร้าง รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ การขาดการวางแผนและการควบคุมที่ดี การขนส่งวัสดุ เงื่อนไขในการซื้อบางประการของวัสดุ เป็นต้น จึงนำมาซึ่งของเสียในการก่อสร้าง จากการศึกษา[3] พบว่าขยะจากการก่อสร้างมีปริมาณร้อยละ 10-30 ของพื้นที่ฝังกลบในพื้นที่ต่าง ๆ และจากการศึกษาโครงการก่อสร้างในฮ่องกง[4] พบว่ามีขยะประเภทอิฐก่ออยู่ถึงร้อยละ 13.10 ของวัสดุทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโครงการ

ขยะจากการก่อสร้างมักเป็นวัสดุที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ยาก ซึ่งขยะจากการก่อสร้างสามารถเกิดขึ้นจากทั้งช่วงการออกแบบ และช่วงการก่อสร้าง หากสามารถระบุสาเหตุที่มาของการเกิดขยะได้ก็จะสามารถวางแผนเพื่อป้องกันและลดปริมาณการเกิดขยะให้น้อยลงได้ ซึ่งสามารถจำแนกปัจจัยการเกิดขยะออกได้ทั้งจากการปฏิบัติงาน และลักษณะของวัสดุก่อสร้าง จากศึกษาพบว่าปัจจัยของขยะก่อสร้างตามประเภทของวัสดุมักเกิดจากการสั่งซื้อผิดพลาด การออกแบบที่ไม่ได้คำนึงถึงวัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาด การให้รายละเอียดที่ผิดพลาด ความซับซ้อนของรูปทรง การเปลี่ยนแปลงและแก้ไขแบบก่อสร้าง การเก็บรักษา และทัศนะของคนงานต่อการใช้วัสดุ โดยวัสดุ[5]

2.2 การวางแผนงานก่อสร้างและการสื่อสารในการวางแผนงานก่อสร้าง

ในการบริหารการจัดการการก่อสร้างการประสิทธิภาพของโครงการขึ้นอยู่กับการใช้งานทรัพยากร 4 ประเภท คือ เงินทุน เวลา ประสิทธิภาพและความปลอดภัย ซึ่งส่งผลต่อการทำงานให้เกิดความสำเร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพที่หน้างานคือ เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และข้อมูล[6] ดังนั้นการที่เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และข้อมูลขาดหรือใช้งานอย่างไม่ถูกต้องจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างมาก

การจัดการข้อมูลและแบบก่อสร้างเป็นในปัญหาสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงการสามอันดับแรก [7, 8] โดยสิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาและส่งผลกระทบต่อการก่อสร้างคือการสื่อสาร ไม่ว่าจะเป็นทั้งการสื่อสารภายในหรือภายนอกกลุ่มหน้าที่ที่รับผิดชอบ ปัญหาการสื่อสารในการก่อสร้างที่เกิดขึ้นมีได้หลายรูปแบบ เช่น ระหว่างภายในกลุ่มผู้รับเหมา, ระหว่างกลุ่มเจ้าของโครงการและผู้รับเหมา ขณะอยู่ในช่วงการออกแบบ, ระหว่างและภายในกลุ่มเจ้าของโครงการและผู้รับเหมาด้วยกันเอง หรือแม้กระทั้งระหว่างภายในกลุ่มของเจ้าของโครงการหรือผู้รับเหมารายนั้น ๆ [9]

คุณภาพของการสื่อสารมีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการก่อสร้างเป็นอย่างมาก ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพการสื่อสารทั้งภายในทีมก่อสร้างทีมวางแผนโครงการและระหว่างผู้จัดการโครงการกับผู้รับเหมาสามารถลดความผิดพลาดในโครงการลงได้ส่วนการเปิดกว้างที่มากขึ้นในการสื่อสารในทุกระดับชั้นในโครงการสามารถนำไปสู่นวัตกรรมและวิธีการแก้ปัญหาที่ดีขึ้นรวมทั้งการปรับปรุงพัฒนาการสื่อสารในช่วงแรกของโครงการจะส่งผลในเชิงบวกต่อคุณภาพของโครงการและการปรับปรุงการสื่อสารในช่วงการวางแผนจะนำไปสู่การมีการตัดสินใจที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมีระยะเวลาในการเลือกวิธีแก้ปัญหามากกว่า[10]

2.3 การประมาณราคาก่อสร้าง

คู่มือการประมาณราคาค่าก่อสร้าง[11] ได้ให้ความหมายของการประมาณราคาว่า คำว่า “ประมาณ” เป็นคำที่มีความหมายชัดเจนตัวเองอยู่แล้วคือ ความไม่แน่นอนตายตัว แต่เป็นการคาดคะเนให้ใกล้เคียงหรือเกือบเท่ากับความจริงเท่านั้น ฉะนั้นคำว่าการประมาณราคาก่อสร้าง จึงหมายความว่า การคิดการคำนวณหาปริมาณและราคาวัสดุก่อสร้าง ค่าแรงงาน ค่าโสหุ้ย ค่ากำไร ค่าภาษีตลอดจนค่าใช้จ่ายอื่นๆที่ควรจะเป็นสำหรับงานก่อสร้างในหน่วยนั้นๆ ผู้ประมาณราคาต้องมีความรู้ทางวิชาการ ความรู้ทางด้านการผลิตหรือการก่อสร้างเกี่ยวกับงานที่ทำการประมาณราคา ความรู้ทางด้านวัสดุ และมาตรฐานของวัสดุแต่ละประเภท ความรู้ทางด้านสถิติ ความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักร และแรงงาน กฎระเบียบและธรรมเนียมปฏิบัติที่ใช้ในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง เพื่อให้ได้ราคาใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจริงมากที่สุด สำหรับส่วนประกอบพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในการประมาณราคาก่อสร้างประกอบด้วย 4 ส่วน[12] ดังนี้

1) ข้อมูลที่ใช้ในการประมาณต้นทุนก่อสร้าง เช่น แบบก่อสร้าง ข้อกำหนดการก่อสร้างราคาก่อสร้างเป็นต้น
2) วิธีประมาณต้นทุนก่อสร้าง ควรเลือกวิธีที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของโครงการ
3) ระยะเวลาที่ใช้ในการประมาณต้นทุนก่อสร้าง
4) ประสบการณ์ ความรู้ ความสามารถของผู้ประมาณราคา

โดยการประมาณราคาควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของโครงการแต่ละโครงการในการประมาณต้นทุนก่อสร้างเพื่อให้ได้ราคาที่เหมาะสมและใกล้เคียงความเป็นจริงของงานก่อสร้าง [13]

2.4 การถอดปริมาณงาน

2.4.1 การคำนวณปริมาณงาน (Quantity Take-off)

การคำนวณปริมาณงาน (Quantity Take-off) คือกระบวนการทางเทคนิคที่ต้องใช้ความรู้และทักษะของผู้ประมาณต้นทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณงาน[14] การคำนวณปริมาณงานเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการประมาณต้นทุนก่อสร้างโดยความถูกต้องของการคำนวณปริมาณงานจะขึ้นอยู่กับข้อมูลทางด้านวิศวกรรม และการออกแบบ รวมถึงความสามารถของผู้คำนวณปริมาณงาน กระบวนการคำนวณปริมาณงานอย่างละเอียดเริ่มจากระบุรายการของงาน เช่น งานฐานราก งานคอนกรีต งานผนังบล็อก เป็นต้น จากนั้นจึงทำการวัดค่าขนาดของรายการและคำนวณปริมาณงานของแต่ละรายการออกมาในรูปของหน่วยต่าง ๆ ได้แก่ ความกว้าง-ยาว พื้นที่ ปริมาตร และหน่วยของวัสดุ [15]

อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณงานจากแบบก่อสร้างมีวิธีการวัดและการใช้ค่าเผื่อต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากันทำให้ค่าที่ได้จากการประมาณต้นทุนก่อสร้างมีค่าแตกต่างกัน เพื่อเป็นการลดข้อขัดแย้งในการวัดปริมาณงานจึงมี

การกำหนดมาตรฐานการวัดปริมาณงานเพื่อใช้เป็นแนวทางร่วมกัน สำหรับประเทศไทยมีหลักเกณฑ์แนวทางการวัดปริมาณงานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย[16] โดยหลักเกณฑ์ดังกล่าวเป็นแนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารในส่วนงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม

การคำนวณปริมาณงานก่อสร้างที่ดี ผู้ประมาณราคาก่อสร้างควรมีแบบฟอร์มรายการเพื่อใช้ในการตรวจสอบรายการที่ทำการคำนวณปริมาณแล้ว เพื่อลดความผิดพลาดจากการคำนวณปริมาณงานไม่ครบถ้วน [17] ซึ่งความผิดพลาดที่มักจะเกิดขึ้นจากการคำนวณปริมาณงาน ดังนี้

1) ความผิดพลาดจากการคำนวณปริมาณงาน เช่น การบวก การลบ การคูณปริมาณงาน [18]
2) ความผิดพลาดจาการคัดลอกแบบก่อสร้างหนึ่งไปยังแบบก่อสร้างอีกชุดหนึ่ง [17]
3) มาตราส่วนที่ใช้ในการวัดปริมาณจากแบบไม่ตรงกับมาตราส่วนในแบบก่อสร้าง [18]
4) การขาดความรอบคอบในการคำนวณปริมาณงาน [18]

ดังนั้นการลดข้อผิดพลาดในขั้นตอนประมาณต้นทุนก่อสร้างก่อสร้าง ผู้ประมาณราคาควรมีความรู้และทักษะในด้านต่างๆ เช่น ความเข้าใจในการอ่านแบบ การเลือกใช้ราคาให้เหมาะสมกับวิธีการก่อสร้าง ความเข้าใจในเรื่องของรายละเอียดในการก่อสร้าง และการประมูลงาน เป็นต้น [19] นอกจากนี้ประสบการณ์ในการประมาณต้นทุนก่อสร้างจะทำให้ราคาที่ได้ มีความถูกต้อง มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับสำหรับการนำไปใช้งาน [12] การประมาณต้นทุนก่อสร้างที่ดีควรเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน และช่วงระยะเวลาที่ใช้ เพื่อความถูกต้องในการประมาณต้นทุนก่อสร้าง

2.4.2 แนวทางการประมาณวัสดุจากแบบจำลองสารสนเทศอาคารและแบบดั้งเดิม

แบบจำลองสารสนเทศอาคารสามารถหาปริมาณได้ง่ายขึ้นเมื่อเทียบกับการถอดปริมาณแบบเดิม จึงทำให้สามารถประหยัดต้นทุนและค่าแรงในการประมาณราคาได้ เทียบกับการประมาณราคาในแบบเดิมซึ่งใช้เวลาหนึ่งถึงสองสัปดาห์ในการประมาณราคาด้วยวิธีเดิม แบบจำลองสารสนเทศอาคารยังช่วยให้ผู้ประมาณราคาถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากเห็นภาพและขอบเขตของงานที่ทำ แต่ปริมาณงานที่สามารถถอดได้ก็ยังถูกกำหนดด้วยระดับของความละเอียดและคุณภาพของแบบจำลองอาคารสารสนเทศ เรื่องของเวลาสามารถประหยัดลงได้อย่างชัดเจนแต่ยังมีประเด็นเรื่องการตรวจสอบโมเดลเช่นเดียวกับการเขียนในแบบเดิมซึ่งต้องตรวจสอบรายละเอียดให้ครบถ้วน ปัญหาอีกอย่างของระบบสารสนเทศอาคารคือเป็นเทคโนลียีที่ค่อนข้างใหม่ รวมถึงมีต้นทุนในนำไปใช้งาน จึงยังมีหลายองค์กรที่อาจใช้เวลานานในการนำประยุกต์ไปใช้งานในแต่ละองค์กร [20]

2.5 การนำเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการสื่อสารในโครงการการก่อสร้างในปัจจุบัน

2.5.1 BIM, Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) เป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ.1970 ซึ่งเป็นการเขียนแบบในลักษณะรูปทรง 3 มิติ โดยองค์ประกอบทุกส่วนของอาคารล้วนมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันกับขั้นตอนด้านการวิเคราะห์และการสร้างแบบจำลองอาคาร ในรูปของขบวนการกระจายและเชื่อมโยงข้อมูล เพื่อช่วยในการลดข้อผิดพลาดของการทำแบบก่อสร้าง และเพื่อนำไปใช้ประกอบการบริหารโครงการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงสูง โดยเฉพาะการพัฒนาประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ จึงทำให้ไม่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมก่อสร้าง มีเพียงอุตสาหกรรมการผลิตและอากาศยานทางอวกาศเท่านั้นที่ได้เล็งเห็นถึงประโยชน์จากแนวคิดดังกล่าว [21]

National Institute of Building Sciences [22] ได้ให้คำนิยาม BIM ไว้ว่า BIM คือรูปแบบการแสดงผลในรูปแบบดิจิทัลของสิ่งที่มีลักษณะทางกายภาพและลักษณะการทำงานของสิ่งก่อสร้าง โดย BIM สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ใช้ร่วมกันเพื่อแบ่งปันข้อมูลระหว่างกันได้ และยังสามารถใช้เพื่อเป็นพื้นฐานการตัดสินใจได้ตั้งแต่การเริ่มต้นโครงการ รวมทั้งยังสามารถเก็บข้อมูลในทุกรายละเอียดของโครงการได้ตลอดอายุการใช้งาน หากเจ้าของโครงการต้องการซึ่งแสดงในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ BIM กำลังเป็นที่รู้จักมากขึ้นในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง บริษัทก่อสร้างกำลังลงทุนใน BIM มากขึ้นเพราะว่าทั้งเจ้าของโครงการ ผู้จัดการโครงการ สถาปนิก และวิศวกรต้องการ BIM มากขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้ได้หลากหลายเช่น การประมูลงานและยังใช้ได้ตลอด โครงการก่อสร้าง [23]

ในขั้นตอนการวางแผนการก่อสร้าง การใช้ BIM ในโครงการสามารถนำมาใช้ช่วยในการประเมินสถานการณ์ โดยสามารถใช้เพื่อแสดงข้อมูลได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณเพื่อช่วยในการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดเพื่อลดเวลาและต้นทุนของโครงการ [3] การใช้ BIM ในขั้นตอนการวางแผนยังสามารถทำให้มีการร่วมมือ การควบคุม และการสื่อสารระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงการมีประสิทธิภาพมากขึ้น [24]

แนวคิดในการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อสนับสนุนทางด้านการออกแบบที่เรียนว่า Computer aided Design (CAD) ได้มีการพัฒนาควบคู่ไปกับความพยายามในการนำข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ออกมาใช้ร่วมกับข้อมูลเครื่องจักรกลอาคาร และระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามแนวทางการออกแบบสามมิติดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน ซึ่งคอมพิวเตอร์ยังไม่สามารถพัฒนาได้เทียบเท่าความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนั้นผู้ออกแบบส่วนมากจึงนิยมออกแบบเป็นลักษณะ 2 มิติ แต่ภายในระยะเวลาไม่นานจำนวนผู้ใช้ CAD ในการทำแบบประกอบสัญญา (Contract Drawing) แบบรายละเอียดสำหรับก่อสร้าง (Shop Drawing) และแบบก่อสร้างจริง (As-Built Drawing) มากกว่าเขียนแบบบนกระดาษ [25]

จากบทความของ Autodesk [26] ได้นำเทคโนโลยีของ BIM มาใช้ในการประมาณต้นทุนก่อสร้างระยะเริ่มต้นของกระบวนการออกแบบ ผลการศึกษาพบว่าเทคโนโลยีของBIM สามารถช่วยให้งานเสร็จเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งในส่วนของการก่อสร้าง การควบคุมและการคาดการณ์งานของเจ้าของโครงการ รวมถึงการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในการทำงานและการบริหารจัดการ

2.5.2 แบบจำลองเชิงพาราเมตริก (Parametric Models)

ในช่วงปี ค.ศ. 1980 ระบบการทำงานในรูปแบบ Object-based parametric modeling ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการออกแบบ ซึ่งแนวทางการทำงานใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ของรูปทรงสามมิติในการออกแบบ โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวมีส่วนที่ผู้ออกแบบต้องกำหนดขึ้นเองและส่วนที่เป็นค่าคงที่ ทำให้มีแนวทางออกแบบอยู่ 2 แนวทางได้แก่ การออกแบบโดยกำหนดกลุ่มวัตถุที่มีข้อกำหนดและความสัมพันธ์ตามที่ผู้ออกแบบกำหนดโดยใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับระยะ มุมมอง และข้อกำหนดเกี่ยวกับชิ้นส่วนที่ต่อเนื่องหรือซ้อนทับกัน ชิ้นส่วนที่ขนานกัน และชิ้นส่วนที่มีระยะห่างจากชิ้นส่วนอื่น ในขณะที่แนวทางที่สองเป็นการออกแบบเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์ได้ตามความต้องการ โดยระบบจะมีการตรวจสอบความถูกต้องด้วยหลักการทางการออกแบบและข้อกำหนดที่กำหนดไว้ ซึ่งระบบจะแจ้งเตือนเมื่อข้อมูลไม่ถูกต้องตามหลักการและข้อกำหนด ซึ่งการออกแบบดังกล่าวแตกต่างจากการออกแบบด้วยระบบ 3D CAD เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบ

CAD ต้องทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนเองในทุกมุมมองที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบ Object based parametric modeling ข้อมูลของทุกๆองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องจะสามารถปรับเปลี่ยนได้โดยอัตโนมัติ [21] โดยในช่วงปี ค.ศ. 1987 หลักการทำงานแบบ Object-based product model และ Object based parametric modeling ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกันและเรียกรูปแบบการทำงานแบบใหม่นี้ว่า Building Information Modeling โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างซอฟต์แวร์มีความง่ายขึ้นและสนับสนุนการทำงานร่วมกันในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการขึ้นรูปแบบจำลองโดยสมการเชิงพาราเมตริก (parametric) นั้นคือการใช้ตัวแปรต่างๆเป็นตัวกำหนดรูปทรงของชิ้นงาน โดยค่าของตัวแปรนั้นจะเรียกว่าพารามิเตอร์ (parameters)

3. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

งานวิจัยพัฒนา Dynamo Code ที่สามารถสร้างชิ้นส่วนเสาเอ็น-คานทับหลัง-อิฐ และรายงานปริมาณวัสดุ โดยใช้แบบจำลองข้อมูล 3 มิติ ซึ่งสามารถแสดงสภาพและรายละเอียดของโครงการได้ตามลักษณะรายละเอียดการก่อสร้าง ซึ่งมีรายละเอียดวัสดุตามลักษณะขนาด และข้อกำหนดเพื่อพัฒนาระบบดังกล่าว งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และพัฒนาซอฟท์แวร์สร้างชิ้นส่วนและรายงาน

3.1 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ในการใช้งานร่วมกับ Dynamo

งานวิจัยจำลองแบบก่อสร้างโดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit 2020 ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของชุดคำสั่ง ซึ่งการสร้างแบบจำลองเพื่อนำมาใช้นั้นมีข้อควรระวังในการสร้างแบบจำลองคือ

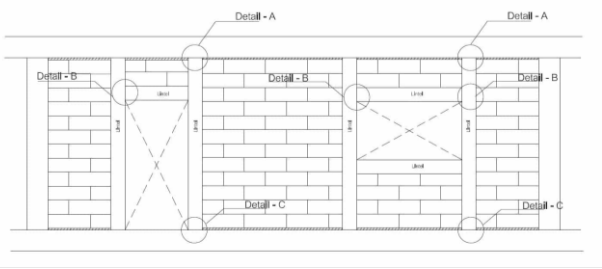
- ผนังทุกชิ้นต้องมีการแบ่งช่วงและระยะความกว้างและความสูงที่ตรงกับลักษณะการสร้างจริง
- ผนังทุกชิ้นต้องไม่ใช้การเชื่อมต่อ (join)
- การใส่ช่องเปิดประตูหรือหน้าต่างต้องวางฝากไว้ที่เนื้อผนังชั้นอิฐก่อ (ในบางกรณีการสร้างโมเดลนิยมสร้างผนังอีกชั้น เพื่อให้ข้อมูลชั้นผิวผนัง เช่นลักษณะการฉาบหรือทาสี)

***3.2** เงื่อนไขการใส่ชิ้นส่วนของโครงการและการก่อสร้าง*

งานวิจัยมีลักษณะงานก่ออิฐมวลเบาขนาด 7.5 ซม. โดยใช้ข้อกำหนดมาตรฐานการก่อจากผู้ผลิตวัสดุเป็นเงื่อนไขเงื่อนไขในการสร้างชิ้นส่วนเสาเอ็น-คานทับหลัง

3.2.1 ผนังอิฐมวลเบา 7.5 ซม.

1) เสาเอ็นขนาบข้างประตูและหน้าต่างทุกชิ้นเริ่มจากพื้นไปจนถึงขอบบนกำแพง
2) คานทับหลังเริ่มจากขอบซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้ายของประตูและหน้าต่างทุกชิ้น ทั้งขอบบนและล่างสำหรับหน้าต่าง และขอบบนสำหรับประตู
3) เสาเอ็นและคานเอ็นมีระยะห่างมากสุดระหว่างแต่ละต้นและขอบแผงไม่เกินตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน



รูปที่ 1 รูปการก่อเสาเอ็นและคานเอ็นสำหรับอิฐมวลเบาหนา 7.5 ซม.[27]

3.2.2 อิฐมวลเบา 7.5 ซม.

1) ชั้นแรก (ชั้นเลขคี่) วางตำแหน่งอิฐเรียงตามความยาวอิฐอ้างอิงจากขอบบนของอิฐ และเริ่มจากขอบแผงไปจนถึงเสาเอ็นหรือขอบแผงอีกด้านหนึ่งโดยอิฐชิ้นสุดท้ายจะถูกตัดระยะตามระยะที่เหลือ
2) ชั้นที่สอง (ชั้นเลขคู่) เงื่อนไขเคล้ายชั้นเลขคี่ แต่มีข้อแตกต่างคือเริ่มด้วยอิฐที่มีความยาว 300 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวอิฐปกติ และอิฐชิ้นสุดท้ายจะถูกตัดระยะตามระยะที่เหลือ
3) ความหนาปูนก่อมีความหนาเป็นแนวตามเส้นรอบรูปอิฐขนาด 2 มิลลิเมตร ตามข้อกำหนด

3.3 การพัฒนาระบบการคำนวณชิ้นส่วนผนังอิฐก่อ

พัฒนาระบบการคำนวณชิ้นส่วนผนังอิฐก่อตามเงื่อนไขและข้อกำหนดที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่ศึกษาไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อใช้ในการสนับสนุนการพัฒนาระบบการบริหารจัดการ

ขั้นตอนการพัฒนาระบบ เริ่มจากระบบที่ทำงานผ่านข้อมูลโมเดล BIM ผู้ใช้งานเลือกแผ่นผนังจากโมเดล จากนั้นชุดคำสั่งของระบบจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่ของแผ่นผนังของโมเดลในการนำมาคำนวณตำแหน่ง ระยะ และจำนวนชิ้นของส่วนประกอบผนัง โดยใช้ข้อมูลในระบบ XYZ-Coordinate โดยข้อมูลของชิ้นส่วนผนังที่ใช้คือ ตำแหน่งจุดเริ่มต้น-จุดสิ้นสุด ความสูง ประเภท และผู้ใช้เลือกกำหนดค่าขนาดหน้าตัดของเสาเอ็น-คานทับหลังและอิฐ เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยจะเริ่มคำนวณจาก การหาความยาวของผนังโดยจุดเริ่มต้นและสิ้นสุด ตำแหน่งของประตูและหน้าต่าง คำนวณหาความยาวช่วงผนังว่าเกินค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ และแบ่งช่วงโดยเสาเอ็น-คานทับหลังเมื่อช่วงผนังยาวกว่าที่กำหนด หลังจากนั้นเก็บค่าตำแหน่งเสาเอ็น-คานทับหลังทั้งตำแหน่งจากการเสริมช่องเปิดประตู-หน้าต่างและการเสริมแบ่งช่วงผนังไว้หลังจากนั้นนำตำแหน่งของตำแหน่งเริ่มต้น-สิ้นสุดผนังมารวมกับตำแหน่งการเสริมเสาเอ็น-คานทับหลังมาเรียงลำดับตามพิกัด XYZ-Coordinate เพื่อให้ได้ช่วงย่อยของผนัง โดยจะนำไปใช้คำนวณตำแหน่งอิฐก่อแต่ละก้อน

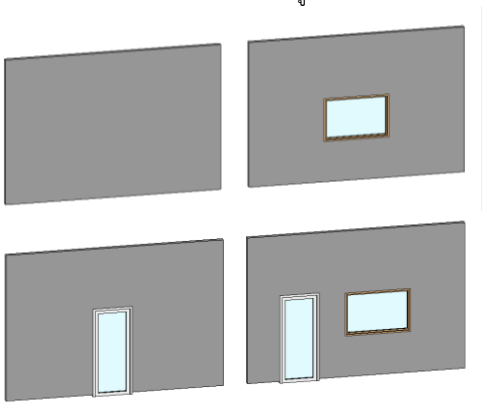
การคำนวณอิฐก่อชั้นเลขคี่เริ่มจากการรับค่าตำแหน่งของช่วงย่อยแต่ละช่วงมา และคำนวณความยาวอิฐรวมถึงความหนาปูนก่อ และเรียงจำนวนอิฐจากตำแหน่งเริ่มต้นไปถึงสิ้นสุดช่วงย่อยผนัง โดยหากอิฐชิ้นสุดท้ายมีระยะเหลือน้อยกว่าความยาวอิฐ ความยาวอิฐชิ้นนั้นจะถูกลดความยาวลงมาให้เหลือเท่าความยาวที่เหลืออยู่ ส่วนชั้นเลขคู่เริ่มคล้ายกันกับชั้นเลขคี่แต่จะต้องเลื่อนตำแหน่งเริ่มการวางอิฐไปตามแนวผนังเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความยาวอิฐ เพื่อให้เกิดการเหลื่อมกันของชั้นอิฐก่อ และวางอิฐสลับชั้นเลขคู่คี่เช่นนี้ไปตามความสูงของผนังจนถึงชั้นอิฐบนสุด

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการคำนวณชิ้นส่วนผนังอิฐก่อ โดยมีการทำงานที่ใช้ระบบ BIM เพื่อใช้ในการคำนวณส่วนประกอบผนังอิฐก่อคือ ตำแหน่ง ความยาว และจำนวนชิ้น ของเสาเอ็น-คานทับหลังและอิฐ โดยมีการแสดงผลแบบสามมิติในรูปแบบ BIM เพื่อช่วยในการวางแผนและการทำความเข้าใจแบบก่อสร้าง

4.1 ข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลที่ใช้คือผนังอิฐมวลเบาหนา 7.5 ซม. ความหนาปูนก่อ 2 มม. ความกว้าง 5 เมตร สูง 3.4 เมตร โดยมีรูปแบบ 4 รูปแบบ คือ 1) ผนังทึบไม่มีช่องเปิด 2) ผนังมีประตู 3) ผนังมีหน้าต่าง และ 4) ผนังที่มีประตูและหน้าต่าง ดังรูปที่ 2 โดยประตูมีความกว้าง 0.90 เมตร และสูง 2.05 เมตร ส่วนหน้าต่างมีความกว้าง 1.50 เมตร และความสูง 1 เมตร

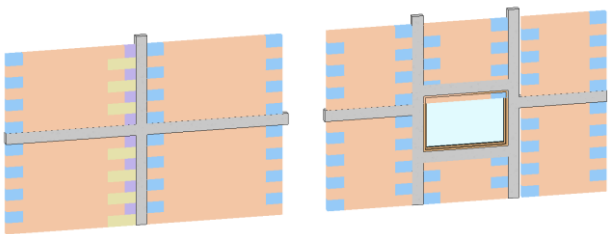


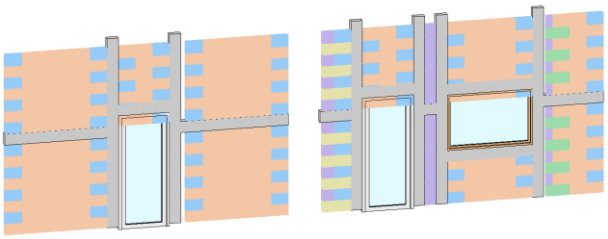
รูปที่ 2 โมเดล BIM ที่ใช้ในการคำนวณ

4.2 ผลการคำนวณด้วยชุดคำสั่ง

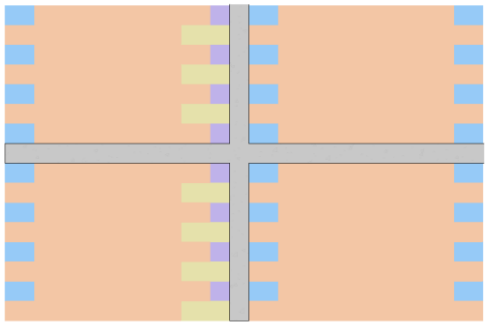
จากข้อมูล BIM ที่ใช้ในการทำงานของชุดคำสั่ง ได้ผลลัพธ์ดังการแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 โดยชุดคำสั่งที่สร้างขึ้นด้วย Dynamo โดยคำนวณชิ้นส่วนประกอบผนังได้โดยใช้เวลาประมาณ 3 นาที

โดยสามารถแสดงผลตำแหน่งเสาเอ็น-คานทับหลัง และอิฐ สามารถใช้คำสั่งการถอดปริมาณใน Revit เพื่อให้ได้รายการปริมาณชิ้นส่วนในแต่ละความยาวได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงขนาดและจำนวนของชิ้นส่วนเสาเอ็น-คานทับหลังและอิฐรวมทั้ง 4 ผนัง โดยมีปริมาณเสาเอ็นความยาว 3400 มม. จำนวน 9 ชิ้น รวมความยาวเสาเอ็นทั้งหมดเป็น 30.6 เมตร คานทับหลังในระยะต่าง ๆ ทั้งหมดรวมกันเป็น 22.2 เมตร และอิฐก่อในความความยาวต่าง ๆ รายชิ้นดังที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถนำจำนวนของชิ้นส่วนในความยาวต่าง ๆ ไปวางแผนเพื่อการจัดการโครงการก่อสร้าง รวมถึงการจัดการวัสดุ และช่วยในการแสดงผลเพื่อความเข้าใจที่ตรงกันในแต่ละฝ่ายในการก่อสร้างได้





รูปที่ 3 ข้อมูลสามมิติที่ได้จากการใช้งานชุดคำสั่ง



รูปที่ 4 แผงผนังที่ได้จากการใช้งานชุดคำสั่ง

ตารางที่ 1 ขนาดและจำนวนของชิ้นส่วนเสาเอ็นคานทับหลังและอิฐรวมทุกผนัง

ขนาดและจำนวนของชิ้นส่วนเสาเอ็นคานทับหลังและอิฐรวมทุกผนัง					
เสาเอ็น		คานทับหลัง		อิฐ	
ระยะ (มม.)	จำนวน	ระยะ (มม.)	จำนวน	ระยะ (มม.)	จำนวน
3400	9	5000	1	600	322
		2100	1	500	16
		1800	1	400	8
		1750	1	300	140
		1550	1	200	32
		1500	4	100	8
		1250	1		
		900	2		
		550	1		
		400	1		
รวม (เมตร)	30.6	รวม (เมตร)	22.2		

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 3 เห็นได้ว่าผนังที่มีประตูและหน้าต่างอยู่ใกล้กัน โดยมีลักษณะเสาเอ็นจากขอบล่างถึงขอบบนแผงผนังตามรูปที่ 1 แต่ในกรณีนี้ที่อยู่ในระยะใกล้กัน ในการก่อสร้างจริงอาจไม่ได้เป็นไปตามลักษณะที่ได้จากการใช้งานชุดคำสั่ง Dynamo ที่เขียนขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งอาจต้องมีการปรับปรุงชุดคำสั่งต่อ ๆ ไปเพื่อให้สามารถครอบคลุมกรณียกเว้นต่าง ๆ ได้มากขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบการคำนวณชิ้นส่วนผนังอิฐก่อ มีส่วนสำคัญในการวางแผนการก่อสร้าง เนื่องจากช่วยในการวางแผนการก่อผนัง ซึ่งมีเสาเอ็น-คานทับหลังและอิฐเป็นส่วนประกอบหลัก โดยนำการ BIM เข้ามาใช้งานจะช่วยในการสร้างภาพให้สามารถมองเห็นได้ และการหาปริมาณวัสดุได้ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพและต้นทุนการก่อสร้าง จากผลของการวิจัยได้พัฒนาระบบการคำนวณชิ้นส่วนประกอบผนังคือ เสาเอ็น-คานทับหลังและอิฐ โดยใช้ BIM เป็นพื้นฐาน โดยใช้โปรแกรม Autodesk Revit และสร้างชุดคำสั่งโดยใช้ Dynamo ในการคำนวณ โดยสามารถคำนวณตำแหน่ง ความยาว และจำนวนของชิ้นส่วนแต่ละประเภทได้โดยใช้เวลาไม่มาก รวมทั้งยังแสดงผลใน

รูปแบบสามมิติเพื่อการทำความเข้าใจได้ โดยผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวางแผนในการก่อสร้างต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Bradley, A., et al., *BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective.* Automation in Construction, 2016. 71: p. 139-152.

[2] สมาคมสถาปนิกสยาม, รายการประกอบแบบมาตรฐาน ฉบับปี *2552*.

[3] Chen, Z., H. Li, and C.T. Wong, *An application of bar-code system for reducing construction wastes.* Automation in Construction, 2002. 11(5): p. 521-533.

[4] Poon, C.S., T. Ann, and L. Ng, *Comparison of low-waste building technologies adopted in public and private housing projects in Hong Kong.* Engineering, Construction and Architectural Management, 2003.

[5] โชคดี ยี่แพร่, ต่อตระกูล ยมนาค และ ทิพวรรณ บุญเพิ่ม, การจัดการขยะจากการก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน. Modern Management Journal, 2011. 9(1): p. 56-68.

[6] Oglesby, C.H., H.W. Parker, and G.A. Howell, *Productivity improvement in construction*. 1989, New York: McGraw-Hill.

[7] Dai, J., P.M. Goodrum, and W.F. Maloney, *Construction craft workers' perceptions of the factors affecting their productivity.* JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 2009.

[8] Dai, J., et al., *Latent structures of the factors affecting construction labor productivity.* JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 2009.

[9] Hoezen, M.E.L., I.M.M.J. Reymen, and G.P.M.R. Dewulf, *The problem of communication in construction.* 2006.

[10] Hoezen, M., I. Reymen, and G. Dewulf. *The problem of communication in construction*. in *CIB W96 Adaptable Conference, University of Twente)*. 2006.

[11] กรมโยธาธิการและผังเมือง, คู่มือการประมาณราคา, in ความหมายของการประมาณราคาค่าก่อสร้าง. 2012.

[12] Stewart, R.D., *Cost estimating*. 1991: John Wiley & Sons.

[13] หวังนิเวศน์กุล, ก. and เ. ปัญญางาม, การจัดการขยะ ที่เกิดจากงานก่อสร้างรถไฟฟ้า (มุมมองของฝ่ายผู้รับจ้าง). RMUTP Research Journal, 2013. 7(1): p. 25-35.

[14] Campbell, W.J., *Estimating: from concept to completion*. 1988: Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

[15] 15. Popescu, C.M., K. Phaobunjong, and N. Ovararin, *Estimating building costs*. 2003: Crc Press.

[16] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร ในส่วนของโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม. 2016.

[17] Wass, A., *Construction Management and Contracting*. 1972: Prentice Hall.

[18] Zayed, T.M. and D.W. Halpin, *Pile construction productivity assessment.* Journal of Construction Engineering and Management, 2005. 131(6): p. 705-714.

[19] Campbell, B. and T.F. Humphrey, *Methods of cost-effectiveness analysis for highway projects*. 1988.

[20] Hsu, G., *uide To Estimating With Building Information Modeling And*

[21] *Traditional Modeling Using Autodesk Quantity Takeoff.*, in *Advancement of Science And Art*. 2012, Albert Nerken School of Engineering.

[22] Olofsson, T., G. Lee, and C. Eastman, *Case studies of BIM in use.* Electronic journal of information technology in construction, 2008. 13: p. 244-245.

[23] Issa, R.R. and P. JD, *EVALUATING THE IMPACT OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) ON CONSTRUCTION.*

[24] Hergunsel, M.F., *Benefits of building information modeling for construction managers and BIM based scheduling.* 2011.

[25] Alizadehsalehi, S., O. Koseoglu, and M. Celikag, *Integration of building information modeling (BIM) and laser scanning in construction industry*, in *AEI 2015*. 2015. p. 163-174.

[26] Autodesk, B., *Building information modelling.* Autodesk Inc. White Paper, San Rafael, CA, 2002.

[27] Forgues, D., et al. *Rethinking the cost estimating process through 5D BIM: A case study*. in *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*. 2012.

[28] Q-CON. คู่มือวิธีการก่ออิฐมวลเบาคิวคอนและคานทับหลัง. [cited 2022.]