



การจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

กรณีศึกษาอาคารโครงสร้างสำเร็จรูป

Construction Scheduling Using Building Information Modeling:

A Case Study of Pre-Engineered Building

เอก จิตชัยเจริญ¹, รัฐวุฒิ ฐันทนคุณ² และ สันติ เจริญพรพัฒนา³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม จ.กรุงเทพมหานคร

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: aek.jitc@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดทำกำหนดการก่อสร้างและทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร รวมถึงประเมินข้อดี ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารกับอาคารกรณีศึกษา ซึ่งจากการศึกษาการใช้กำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารพบว่าเหมาะสมที่จะถูกใช้ในการนำเสนอกับเจ้าของงานและวางแผนก่อนเริ่มงาน เพราะทำให้เห็นขั้นตอนการทำงานจนกระทั่งจบโครงการอย่างชัดเจน ขั้นตอนการทำงานถูกนำเสนอในบทความนี้

คำสำคัญ: แบบจำลองสารสนเทศอาคาร, กำหนดการก่อสร้าง, โครงสร้างสำเร็จรูป

Abstract

This research aims to study guideline on a preparation of construction scheduling and trial preparation construction scheduling by building information modeling as well as to evaluate advantages, disadvantages, problems and obstacles. This research uses an experimental approach to preparing construction scheduling by building information modeling with the case study. The study found that the construction scheduling using building information modeling is suitable used to present to clients and to plan before starting work because of the process until the end of a project clearly. The approach is presented in this paper.

Keywords: building information modeling, construction, scheduling, pre-engineered building

1. บทนำ

งานก่อสร้างเป็นงานโครงการที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นจำนวนมากและมีระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดชัดเจน ดังนั้นช่วงวางแผนงานจึงมีความสำคัญกับการก่อสร้าง โดยหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญก็คือการจัดทำกำหนดการก่อสร้าง ซึ่งกำหนดการก่อสร้างที่ดีจะระบุกิจกรรมที่ต้องทำระยะเวลาในการดำเนินการ ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม รวมถึงทรัพยากรที่ใช้ด้วย ในโครงการขนาดใหญ่ที่มีกิจกรรมจำนวนมาก จะนำเครื่องมือด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดทำกำหนดการก่อสร้างเช่น Primavera P6 (Oracle® Corp., USA) หรือ Microsoft® Project (Microsoft® Corp., USA) [1]

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่เรียกว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือ Building Information Modeling (BIM) โดยมีแนวคิดมาจาก Charles M. "Chuck" Eastman ที่ได้เสนอแนวคิดไว้ว่า "องค์ประกอบต่างๆในงานก่อสร้างที่มาจากแบบแปลน รูปตัด รูปด้าน รวมไปถึงภาพไอโซเมตริกจะต้องมีความเชื่อมโยงกัน กล่าวคือถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น สามารถทำเพียงครั้งเดียวและจะแสดงออกไปยังแบบทุกชนิด นอกจากนั้นยังสามารถช่วยในการประมาณราคาและถอดปริมาณวัสดุอีกด้วย" [2] ซึ่งแนวคิดนี้นำมาสู่การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการทำแบบจำลองอาคารและสามารถเพิ่มข้อมูลหรือสารสนเทศเข้าไปในองค์ประกอบต่างๆของแบบจำลองด้วย ซึ่งซอฟต์แวร์ BIM ในปัจจุบันนี้มีหลากหลายผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเช่น Autodesk® Revit (Autodesk®, Inc., USA) หรือ ArchiCAD (Graphisoft® SE, Hungary) [3] โดยปัจจัยที่ทำให้ห้องกรต่าง ๆ เปลี่ยนจากการใช้แบบสองมิติมาเป็นแบบจำลองสารสนเทศอาคารคือช่วยในการตรวจสอบข้อขัดแย้งของแบบก่อสร้างและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบ ตัวอย่างเช่นการประมาณราคา [4] ซึ่งในงานวิจัยของ สุปฤทธิ์ ตั้งพฤทธิกุล และ ณัฐวุฒิ สวัสดิ์สุข [5] พบว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคารยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยและสาเหตุที่ทำให้ผู้ใช้งานเลือกใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารคือ

ช่วยลดข้อผิดพลาด ข้อขัดแย้งต่างๆ รวมถึงช่วยลดระยะเวลาและงบประมาณ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Azhar [6]

ในการก่อสร้างโครงการ The Mansion on Peachtree (Atlanta, Georgia) ได้มีการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการวางแผนและจัดทำเอกสารก่อสร้างต่างๆ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ที่ช่วยในการลำดับขั้นตอนการก่อสร้างและการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ ซึ่งส่งผลให้การก่อสร้างโครงการนี้แล้วเสร็จภายในเวลาและงบประมาณที่กำหนด [6] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Zhang, et al. [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานร่วมกับการสร้างระบบความปลอดภัยในการก่อสร้าง โดยได้จัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติพร้อมกับการแสดงผลของระบบความปลอดภัยที่จะต้องจัดเตรียมในแต่ละช่วง ซึ่งพบว่าการใช้งานรูปแบบดังกล่าวนี้ส่งผลดีต่อเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรหรือแม้กระทั่งผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วงในการทำงานร่วมกัน ตลอดจนสามารถวางแผนล่วงหน้าสำหรับการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ เนื่องจากสามารถมองเห็นแบบจำลองซึ่งเสมือนจริงก่อนการทำงานได้

ในประเทศไทยการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารยังไม่แพร่หลาย ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ โดยผู้วิจัยจะใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารอย่างเต็มรูปแบบเพื่อจัดทำกำหนดการก่อสร้าง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบริหารงานก่อสร้าง

งานก่อสร้างเป็นงานโครงการที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นจำนวนมาก และมีระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดชัดเจน ซึ่งงานโครงการคืองานที่ผู้รับผิดชอบพยายามที่จะผลิตสินค้าหรือบริการที่มีความพิเศษขึ้นภายในระยะเวลาที่กำหนด [8] ประกอบด้วยคุณสมบัติดังนี้คือ มีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน มีกำหนดระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุด และจะต้องมีเป้าหมายชัดเจนในด้านงบประมาณและคุณภาพที่ต้องการ [1]

2.1.1 ความหมายและลักษณะ

ความหมายของการบริหารงานก่อสร้างนั้น มีผู้วิจัยได้ให้ความหมายไว้แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การบริหารงานก่อสร้างคือการบริหารโครงการอย่างมืออาชีพเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์คือได้คุณภาพสูงที่ต้นทุนต่ำที่สุด [9] หรือการบริหารงานก่อสร้างคือการกระทำเพื่อให้มั่นใจว่าการก่อสร้างนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล [10] โดย Kerzner [11] กล่าวว่าการบริหารโครงการที่ประสบความสำเร็จ สามารถที่จะระบุได้ถ้าเป็นไปดังนี้คือ

- ทำงานภายในระยะเวลาที่กำหนด
- ทำงานภายในต้นทุนที่กำหนด
- ทำงานได้คุณภาพตามที่กำหนด

2.1.2 การวางแผนและกำหนดการก่อสร้าง

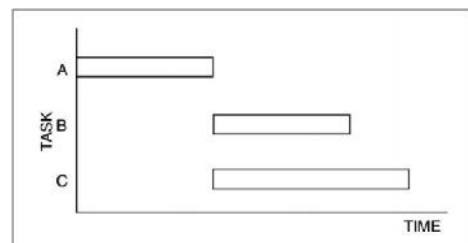
การวางแผนนั้นอาจให้คำนิยามได้ว่าเป็นการลำดับความสำคัญของกระบวนการทำงานเพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้รวมถึงการตรวจสอบว่าทุกอย่างไว้เพื่อทำให้วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้สำเร็จ ซึ่งในบริบทของงานก่อสร้าง วัตถุประสงค์อาจหมายถึงการออกแบบและการ

ก่อสร้างอาคารหรือโครงสร้างพื้นฐานที่สมบูรณ์ ซึ่งการวางแผนสำหรับงานโครงการ ไม่เพียงแต่ให้ความสำคัญกับเวลาในการก่อสร้างเท่านั้น แต่รวมถึงค่าใช้จ่าย คุณภาพ และความปลอดภัย [12]

โดยทั่วไปในการวางแผนนั้นจะต้องกำหนดว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างที่ต้องทำให้สำเร็จ โดยใครเป็นผู้รับผิดชอบและแล้วเสร็จเมื่อไร ซึ่งประโยชน์ของการวางแผนสามารถสรุปได้ดังนี้ สามารถคาดการณ์ความต้องการใช้ทรัพยากรและค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมถึงสามารถทำนายระยะเวลาของแต่ละกิจกรรม ระบุลำดับขั้นตอนการทำงาน รวมถึงเวลาในการก่อสร้างทั้งโครงการได้ [11] ซึ่งมีขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือการจัดทำกำหนดการก่อสร้าง โดยการจัดทำกำหนดการก่อสร้างจะเริ่มทำโดยทีมบริหารโครงการ เพื่อให้รับรู้ว่ามีกิจกรรมอะไรบ้างที่ต้องทำ ใครคือผู้รับผิดชอบและดำเนินการโดยใคร เมื่อไร อย่างไร ซึ่งกำหนดการก่อสร้างที่ดีจะต้องบอกทั้งกิจกรรมที่ต้องทำ ระยะเวลาที่ใช้ ขั้นตอนหรือความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเหล่านั้น รวมถึงทรัพยากรด้วย [1] การจัดทำกำหนดการก่อสร้างมีวิธีที่นิยมใช้ดังนี้

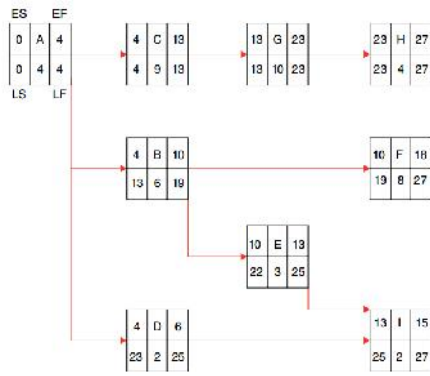
1. แกนซ์ชาร์ต (Gantt Chart)
2. สายงานวิกฤต (Critical path method)

ก่อนปีคริสต์ศักราช 1960 Henry Gantt ได้จัดทำระบบสัญลักษณ์เพื่อสร้างตารางและใช้มันรายงานความก้าวหน้า ซึ่งในขณะนั้นถูกเรียกว่าแกนซ์ชาร์ต [8] ตามรูปที่ 1

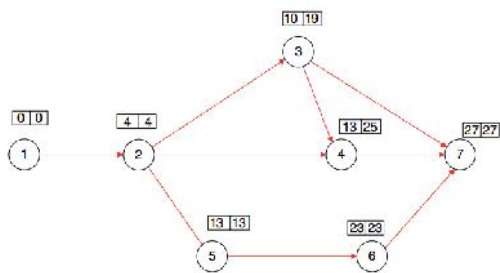


รูปที่ 1 แกนซ์ชาร์ตอย่างง่าย [8]

การจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยวิธีแกนซ์ชาร์ตนั้นไม่สามารถระบุได้ว่าก่อนเริ่มกิจกรรม B และ C จะต้องดำเนินการ A เสร็จสิ้นก่อนหรือไม่ หรือว่ากิจกรรม B และ C แต่บังเอิญเริ่มหลังจากกิจกรรม A เสร็จสิ้น นั้นหมายความว่าถ้าหากเลื่อนกิจกรรม A ออกไป จะไม่สามารถบอกได้ว่ามันจะกระทบต่อกิจกรรมที่เหลือหรือไม่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้มีการพัฒนาเกิดขึ้น โดยใช้ลูกศรมาแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของวิธีสายงานวิกฤตที่สามารถคำนวณว่าสายงานหรือสายกิจกรรมไหน ที่ใช้เวลาในการดำเนินการในโครงการนานที่สุด [8] การวางแผนโดยใช้วิธีสายงานวิกฤตมีการใช้งานอยู่ 2 รูปแบบหลักได้แก่ แบบกิจกรรมบนปม (Activity on node, AON) และแบบกิจกรรมบนลูกศร (Activity on arrow, AOA) เป็นไปตามรูปที่ 2 และ 3 ซึ่งปัจจุบันวิธีกิจกรรมบนลูกศรไม่นิยมใช้กันแล้ว โดยนิยมใช้วิธีกิจกรรมบนปมมากกว่า [1]



รูปที่ 2 การวางแผนโดยวิธีสายงานวิกฤติแบบกิจกรรมบนปม [12]



รูปที่ 3 การวางแผนโดยวิธีสายงานวิกฤติแบบกิจกรรมบนลูกศร [12]

2.2 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling)

2.2.1 หลักการและกระบวนการของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

การทำงานของแบบจำลองสารสนเทศอาคารเป็นการสร้างแบบจำลองอาคารขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลองอาคารนี้ประกอบขึ้นจากองค์ประกอบต่างๆ ของอาคาร ซึ่งองค์ประกอบของอาคารจะประกอบด้วยข้อมูลกราฟิก ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ เช่น ขนาด ระยะ สี วัสดุ เป็นต้น และข้อมูลที่ไม่ใช่กราฟิก เช่น ข้อมูลผู้ผลิต รุ่น ราคา ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทำการเก็บแบบจำลองอาคารและข้อมูลสารสนเทศทั้งหมด รวมไปถึงฐานข้อมูลกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4 [3] ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทำการบริหารจัดการ เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงข้อมูลเหล่านี้ได้ตลอด โดยข้อมูลเมื่อถูกเปลี่ยนแปลงจะแสดงผลไปยังทุกมุมมองที่เกี่ยวข้อง [4] นอกจากนี้แบบจำลองสารสนเทศอาคารยังรองรับการแบ่งปันข้อมูลและการทำงานร่วมกันของหลายผู้ใช้งานอีกด้วย



รูปที่ 4 แนวคิดของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร [3]

2.2.2 มาตรฐานรายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองอาคาร

มาตรฐานนี้เรียกโดยย่อว่า แอลโอดี (LOD) หรือ Level of Development หมายถึงการกำหนดระดับรายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองอาคาร [3] หรือความต้องการน้อยที่สุดของแบบจำลองซึ่งแสดงข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้งาน [13] โดยมาตรฐานนี้อาจจะกำหนดค่าเป็นตัวเลข เช่น LOD 100, LOD 200 เป็นต้น

ปัจจุบันทางประเทศไทยได้มีมาตรฐานระดับขั้นในการพัฒนาซึ่งกำหนดจากขั้นตอนการทำงาน จัดทำโดยสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ มีระดับขั้นในการพัฒนาดังนี้

1. ขั้นตอนแนวคิดในการออกแบบและการทำแบบร่าง
2. ขั้นตอนการพัฒนาแบบ
3. ขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้าง
4. ขั้นตอนการจัดทำแบบเพื่อทำงานจริงสถานที่ก่อสร้าง
5. ขั้นตอนการจัดทำแบบก่อสร้างจริง ตามที่ได้ก่อสร้างไปแล้ว

สำหรับในประเทศไทย ระดับขั้นในการพัฒนาที่กำหนดเป็นขั้นตอนในการทำงาน ไม่ควรนำไปเปรียบเทียบกับระดับขั้นในการพัฒนาที่กำหนดเป็นค่าตัวเลข เนื่องจากแต่ละประเทศมีการกำหนดค่าตัวเลขที่แตกต่างกันไปและมีรายละเอียดของข้อมูลที่แตกต่างกันแม้จะมีค่าตัวเลขเดียวกัน [3]

2.2.3 ประโยชน์ของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

แบบจำลองสารสนเทศอาคารทำให้ผู้คนทั่วไปได้มองเห็นอาคารเสมือนจริงก่อนการก่อสร้าง ซึ่งส่งเสริมให้คนในองค์กรได้ร่วมมือกันทำงาน จึงสามารถลดต้นเหตุของปัญหาที่กระทบต่อผลประโยชน์ขององค์กรได้ ตัวอย่างเช่น การขัดแย้งในการทำงาน ความเสี่ยงต่างๆ และการสูญเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ [14] นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการทำงานและลดค่าใช้จ่ายในทุกขั้นตอนในการก่อสร้าง [15] รวมถึงประมาณราคาได้แม่นยำกว่าการประมาณราคาทั่วไปอีกด้วย [6]

ประโยชน์จากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สามารถแบ่งออกตามกลุ่มของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการก่อสร้างได้ดังนี้ [12,15]

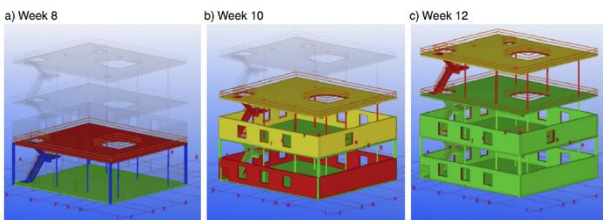
- เจ้าของงาน ได้ประโยชน์ในขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการและขั้นตอนการออกแบบ จากการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะและคุณภาพของอาคารและมีส่วนช่วยในการลดค่าใช้จ่ายอีกด้วย นอกจากนี้การบริหารที่อยู่อาศัยก็สะดวกกว่าระบบเดิม

- ผู้ออกแบบ สามารถมองเห็นแบบเสมือนจริงตามที่ได้ออกแบบไว้ ช่วยให้ง่ายต่อการทำงานร่วมกับบุคคลในองค์กร นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความถูกต้องของแบบก่อสร้างได้รวดเร็วขึ้นและประมาณราคาพร้อมกับการออกแบบได้ทันที

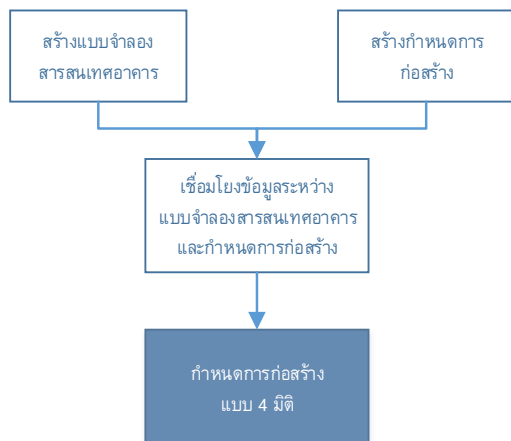
- ผู้รับเหมา สามารถนำข้อมูลจากผู้ออกแบบมาตรวจสอบและหาแนวทางแก้ไขข้อผิดพลาดได้ก่อนที่จะเริ่มงาน ทำให้ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในงานแก้ไข นอกจากนี้ยังช่วยยกระดับความปลอดภัยในการทำงานอีกด้วย

2.2.4 กำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

กำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ คือการเพิ่มมิติของเวลาหรือกำหนดการเข้ากับแบบจำลองอาคาร 3 มิติ เพื่อแสดงพฤติกรรมของชิ้นส่วนโครงสร้างในแต่ละช่วงเวลา [16-17] ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างเข้าใจและเห็นภาพของขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆ และยังสามารรถใส่สภาพหน้างานจริงก่อนทำการก่อสร้างได้ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนและบริหารพื้นที่ภายในโครงการก่อสร้าง เพื่อลดความเสี่ยงที่จะทำให้โครงการก่อสร้างหยุดชะงัก โดยสามารถดูตัวอย่างจากรูปที่ 5 ที่จำลองความก้าวหน้าของงานก่อสร้างในแต่ละช่วงเวลา โดยเครื่องมือที่ใช้ในการจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิตินั้น มีด้วยกันหลากหลายซอฟต์แวร์ ยกตัวอย่างเช่น Autodesk® Navisworks, Tekla Structure และ Bentley® Navigator เป็นต้น [16] และมีกระบวนการสร้างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 การจำลองความก้าวหน้าของงานก่อสร้างในแต่ละช่วงเวลา [7]



รูปที่ 6 กระบวนการในการสร้างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยของ Velasco [16] ได้ศึกษาการประเมินการใช้งานกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ตัวอย่างโครงการอาคารสูง 4 ชั้น ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ 3 รูปแบบคือซอฟต์แวร์จำลองอาคาร ซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการและซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ประเมินความสามารถและขีดจำกัดของการใช้กำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ โดยพบว่าการใช้งานกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ยังไม่สามารถทำงานได้ครบทุกฟังก์ชันเมื่อเทียบกับซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการ

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยของ Zhang, et al. [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำแบบจำลองสารสนเทศมาใช้งานร่วมกับระบบความปลอดภัยในการก่อสร้าง โดยได้จัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติพร้อมกับการแสดงผลของระบบความปลอดภัยที่จะต้องจัดเตรียมในแต่ละช่วง ซึ่งพบว่าการใช้งานรูปแบบดังกล่าวนั้นส่งผลดีต่อเจ้าของโครงการ สถาปนิก วิศวกรหรือแม้กระทั่งผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วงในการทำงานร่วมกัน ตลอดจนสามารถวางแผนล่วงหน้าสำหรับการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ เนื่องจากสามารถมองเห็นแบบจำลองซึ่งเสมือนจริงก่อนการทำงานได้

ซึ่งในงานวิจัย Gledson และ Greenwood [17] ได้ทำการสำรวจขอบเขตและการใช้งานกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติในประเทศอังกฤษ พบว่ามีการใช้กำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติในขั้นตอนการวางแผนช่วยให้งานสำเร็จและช่วยในการวางแผนขั้นตอนการก่อสร้างซึ่งบริษัทก่อสร้างส่วนใหญ่ในประเทศอังกฤษได้มีการพัฒนาความรู้ด้านแบบจำลองสารสนเทศอาคารให้แก่บุคคลในองค์กรแล้ว แต่การใช้งานยังอยู่ที่ระดับปานกลาง การวางแผนแบบ 4 มิติในงานก่อสร้างนั้นจะสำเร็จได้ถ้าผู้วางแผนเข้าใจเทคโนโลยีของแบบจำลองสารสนเทศอาคารและมีความรู้ในงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของพีรพัฒน์ วิณิชลักษณ์ [15] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสถานะและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในองค์กรก่อสร้างในประเทศไทย พบว่าสถานะการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในปัจจุบันยังอยู่ในระดับขั้นต้น (Minimum) และขั้นรับรอง (Certified) และจะนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการก่อสร้าง และขั้นตอนการประมาณราคาเป็นหลัก ซึ่งประโยชน์ที่เด่นชัดจากการนำแบบจำลองสารสนเทศมาใช้คือ การลดปัญหาขัดแย้งต่างๆ การคำนวณปริมาณงานที่ละเอียดและถูกต้อง และการนำแบบจำลองสารสนเทศไปใช้ในขั้นตอนอื่นได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยเรื่องการจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร กรณีศึกษาอาคารโครงสร้างสำเร็จรูปเป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์และงานวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งมีรายละเอียดและระเบียบวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาแนวความคิดและการทำงานของซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคาร รวมไปถึงข้อมูลการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารในปัจจุบันและตัวอย่างการจัดทำกำหนดการก่อสร้างจากแบบจำลองสารสนเทศอาคาร อีกทั้งศึกษาลักษณะของโครงการกรณีศึกษา โดยโครงการที่เป็นกรณีศึกษาคือโครงการก่อสร้างโกดังมูลค่า 30 ล้านบาท มีระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดโครงการตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2559 – ตุลาคม 2559

3.2 สัมภาษณ์ความคิดเห็นเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยจะใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 3 ท่าน โดยจะต้องมีประสบการณ์ในการทำงานด้านกาหนดการก่อสร้างโครงสร้างเหล็กสำเร็จรูปซึ่งสอดคล้องกับกรณีศึกษา จากนั้นผู้วิจัยจะสัมภาษณ์

ตามคำถามที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยคำถามจะเกี่ยวข้องกับแบบจำลองสารสนเทศอาคารและการจัดทำกำหนดการก่อสร้างซึ่งมีทั้งหมด 5 ข้อ ดังนี้

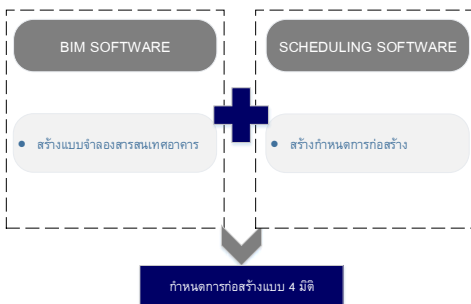
1. การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือ BIM มาใช้กับกำหนดการก่อสร้าง ท่านคิดว่าเป็นไปได้หรือไม่ อย่างไรและควรใช้ระดับขั้นในการพัฒนา (Level of Development: LOD) เท่าไร
2. ท่านคิดว่ามีประโยชน์อย่างไร ในการนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการจัดทำกำหนดการก่อสร้าง
3. ท่านคิดว่ามีข้อแตกต่างอะไรบ้างระหว่างกำหนดการก่อสร้างแบบแกนต์ชาร์ตกับกำหนดการก่อสร้างโดยใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร
4. มีปัญหาหรืออุปสรรคอะไรบ้าง ในการเปลี่ยนจากการใช้งานระบบ CAD มาใช้ระบบ BIM
5. นอกเหนือจากการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อการจัดทำกำหนดการก่อสร้าง อยากให้มีการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในขั้นตอนใดบ้าง

3.3 ทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างโครงการกรณีศึกษา

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นเบื้องต้นมาทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร ซึ่งในงานวิจัยนี้มีกรณีศึกษาคือโกดังโครงสร้างเหล็กสำเร็จรูป พื้นที่ใช้สอยประมาณ 4000 ตารางเมตร มูลค่าของโครงการ 30 ล้านบาท โดยใช้ซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคารและซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการก่อสร้าง ซึ่งการทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารครั้งนี้มีรูปแบบการทำงาน 2 รูปแบบดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 การทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารรูปแบบที่ 1



รูปที่ 8 การทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารรูปแบบที่ 2

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้รับข้อมูลจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างและทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะดำเนินการตรวจสอบและประเมินข้อดี ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคของตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารกรณีศึกษาดังกล่าว

3.5 สรุปผล

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาหาข้อสรุปเกี่ยวกับงานวิจัยเรื่องการจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร กรณีศึกษาอาคารโครงสร้างสำเร็จรูป รวมถึงจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็น

ผลจากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 3 ท่าน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ถามคำถามจำนวน 5 ข้อนั้น มีผลการสัมภาษณ์ดังนี้

1. การนำแบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้งานร่วมกับกำหนดการก่อสร้างคิดว่าเป็นได้ เพราะปัจจุบันมีเจ้าของโครงการบางกลุ่มต้องการใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานก่อสร้าง ซึ่งการกำหนดระดับขั้นในการพัฒนานั้นควรทำให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ที่จะนำไปใช้งาน ยกตัวอย่างเช่นถ้าหากใช้เพื่อการนำเสนอแก่เจ้าของโครงการอาจจะไม่ต้องลงรายละเอียดมาก แต่ถ้าหากใช้เพื่อการก่อสร้างเช่นจุดต่อระหว่างเหล็กกับคอนกรีต ก็ควรจะใส่รายละเอียดให้มองเห็นวัสดุต่างๆที่ใช้ในงาน

2. ประโยชน์ของการใช้กำหนดการก่อสร้างที่สร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารคือสามารถใช้ในการใช้วางแผนและการจัดการพื้นที่ก่อนเริ่มงานก่อสร้าง เนื่องจากสามารถเห็นการจำลองของโครงการในปัจจุบันและอนาคตได้ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อโครงการที่มีความซับซ้อนเพราะสามารถใช้อธิบายขั้นตอนการทำงานที่สลับซับซ้อนได้ นอกจากนี้ยังช่วยในการนำเสนอแก่เจ้าของโครงการอีกด้วย

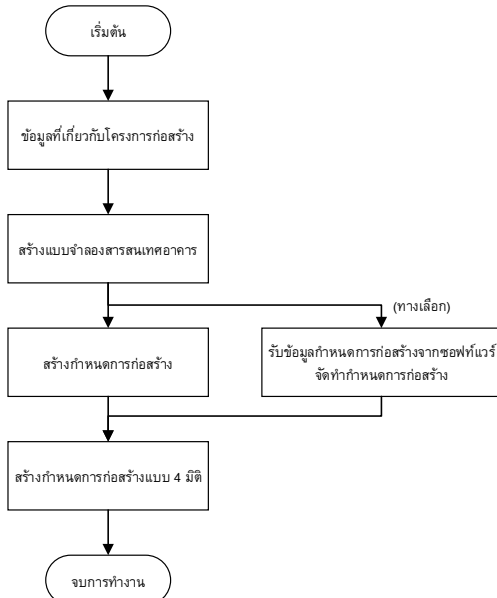
3. ข้อแตกต่างที่สำคัญก็คือกำหนดการก่อสร้างที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสร้างขึ้นมาสามารถแสดงเป็นรูปภาพ 3 มิติได้และมีประโยชน์ที่ที่สามารถใช้ดูได้ทั้งกำหนดการก่อสร้างและรูปภาพ 3 มิติ ณ เวลานั้นๆ แต่ยังคงมองว่าการทำงานกำหนดการก่อสร้างแบบแกนต์ชาร์ตยังใช้งานได้ง่ายกว่า

4. ปัญหาในตอนนี้คือระบบ CAD นั้นยังคงต้องใช้อยู่เพราะว่าใช้เพื่อทำแบบก่อสร้างและถ้ายังต้องนำ CAD มาทำแบบ 3 มิติอีก ถ้าหากมีการแก้ไขแบบก็จะต้องแก้ทั้ง CAD และแบบ 3 มิติ ซึ่งมองว่าขั้นตอนมีความซ้ำซ้อน ถ้าสามารถทำทุกอย่างได้ภายในครั้งเดียวจะดีกว่า

5. อยากให้นำมาใช้ในการจัดการพื้นที่ก่อสร้างคือสามารถใส่เครื่องจักร กองวัสดุ ถนน ไว้ในแบบจำลองได้ นอกจากนี้ยังอยากให้นำมาใช้ในขั้นตอนการขายโครงการ คือนำมาให้ลูกค้าเห็นรายละเอียดต่างๆภายในโครงการ สามารถเห็นรายละเอียดของอาคารนั้นได้

4.2 ตัวอย่างการจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

การจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ โดยใช้ซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคารในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถเขียนเป็นแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 9

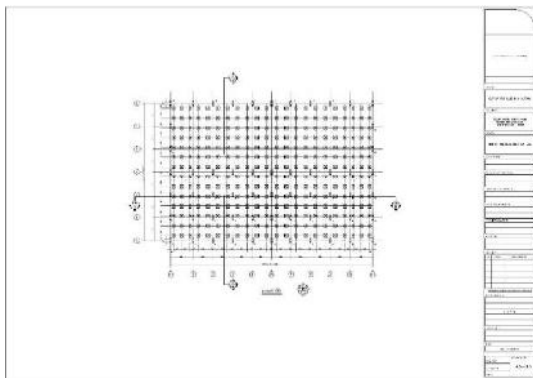


รูปที่ 9 แผนภาพลำดับขั้นตอนการจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์เพื่อทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างในกรณีศึกษา ซึ่งลำดับขั้นตอนการจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1) การได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง

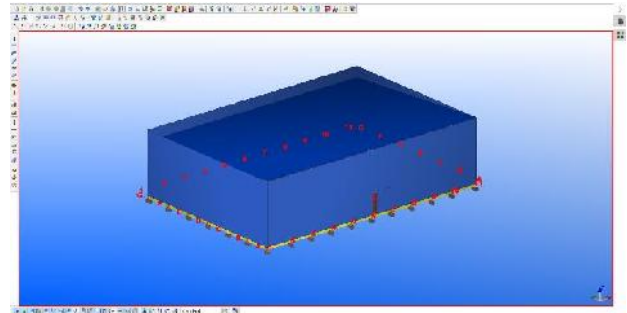
ข้อมูลในที่นี้หมายถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างดังกล่าว ยกตัวอย่างเช่น แบบ 2 มิติของงานก่อสร้าง เอกสารสัญญา แผนงานหลักและข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลนี้จะนำไปใช้เพื่อขั้นตอนต่อไป โดยตัวอย่างแบบ 2 มิติแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างแบบ 2 มิติ

2) การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

หลังจากที่มีข้อมูลในงานก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว จะนำมาสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารผ่านซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคารซึ่งตัวอย่างกรณีศึกษาที่ผู้จัดทำสร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ตัวอย่างกรณีศึกษาที่สร้างจากซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคาร

แบบจำลองสารสนเทศอาคารของตัวอย่างกรณีศึกษาที่ทางผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นจะประกอบด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น เสา คาน พื้น โดยชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นจะมีรายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองอาคารดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทางผู้วิจัยได้กำหนดและใช้งานตามตารางดังกล่าว ทั้งนี้รายละเอียดขององค์ประกอบอาคารและแบบจำลองอาคารสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมของโครงการหรือความต้องการของผู้ใช้งาน

ตารางที่ 1 สรุปตัวอย่างองค์ประกอบของโครงสร้างที่ใช้งานวิจัย

องค์ประกอบของโครงสร้าง	รูปตัวอย่างในงานวิจัย	คำอธิบาย
ฐานราก		ระบุชนิด ความกว้าง ความยาว ความหนาและตำแหน่ง
เสา		ระบุชนิด ความกว้าง ความยาว ความหนาและตำแหน่ง
คาน		ระบุชนิด ความกว้าง ความยาว ความหนาและตำแหน่ง
พื้น		ระบุชนิด ความกว้าง ความยาว ความหนาและตำแหน่ง
ประตูและช่องเปิดต่างๆ		ระบุตำแหน่ง ความกว้างและความสูง
กำแพงและฝ้าเพดาน		ระบุตำแหน่ง ความกว้างและความสูง
โครงหลังคา		ระบุชนิด ความกว้าง ความสูง ตำแหน่ง

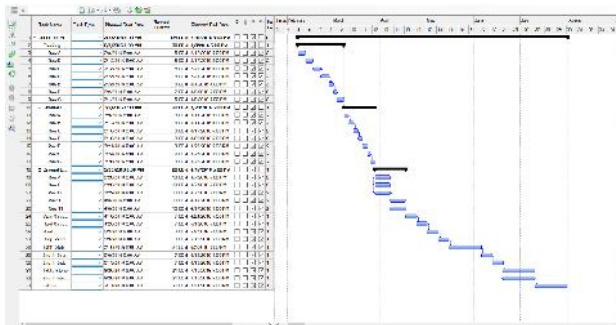
ตารางที่ 1 สรุปตัวอย่างองค์ประกอบของโครงสร้างที่ใช้งานวิจัย (ต่อ)

องค์ประกอบของโครงสร้าง	รูปตัวอย่างในงานวิจัย	คำอธิบาย
จุดต่อและโครงสร้างอื่นๆ		ระบุตำแหน่ง

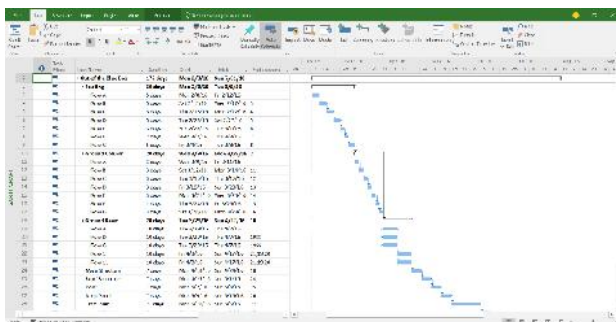
ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบและแบบจำลองอาคารตามที่ได้นำเสนอ เนื่องจากงานวิจัยที่ได้ทำนั้นอยู่ในขั้นตอนการวางแผนโครงการ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใส่รายละเอียดมาก ถ้าหากผู้วิจัยใช้แสดงการติดตั้งจุดต่อระหว่างคานและเสาสำหรับแรงงานก่อสร้าง ผู้วิจัยจะแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบให้มากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการไปใช้งานนั้นๆ

3) การเตรียมกำหนดการก่อสร้าง

ในการเตรียมกำหนดการก่อสร้างนั้นสามารถเลือกได้ 2 รูปแบบคือ สร้างกำหนดการก่อสร้างจากซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคาร หรือนำเข้าข้อมูลจากซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการก่อสร้างซึ่งตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างทั้ง 2 รูปแบบแสดงในรูปที่ 12 และ 13



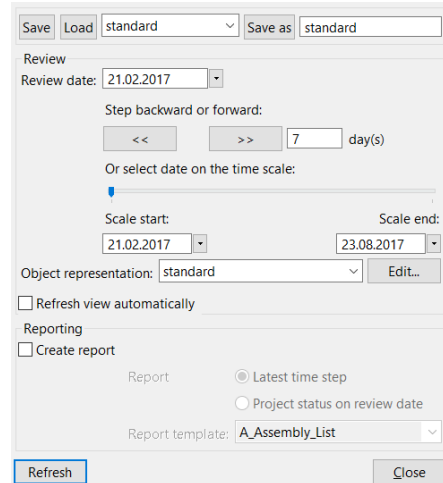
รูปที่ 12 ตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างที่สร้างโดยซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคาร



รูปที่ 13 ตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างที่สร้างโดยซอฟต์แวร์จัดทำกำหนดการก่อสร้าง

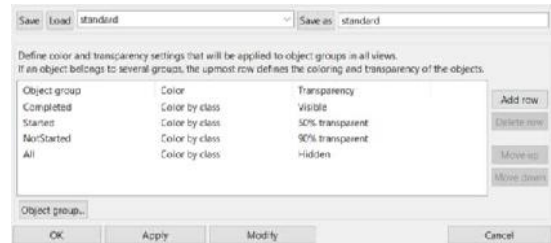
4) การสร้างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

หลังจากที่มีข้อมูลทั้งแบบจำลองสารสนเทศอาคารและกำหนดการก่อสร้างแล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลทั้งสองมาสร้างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ซึ่งในซอฟต์แวร์แบบจำลองสารสนเทศอาคารนั้นมีเครื่องมือที่เรียกว่า Project Status Visualization เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแสดงผลกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ ซึ่งหน้าตาของเครื่องมือนี้แสดงในรูปที่ 14

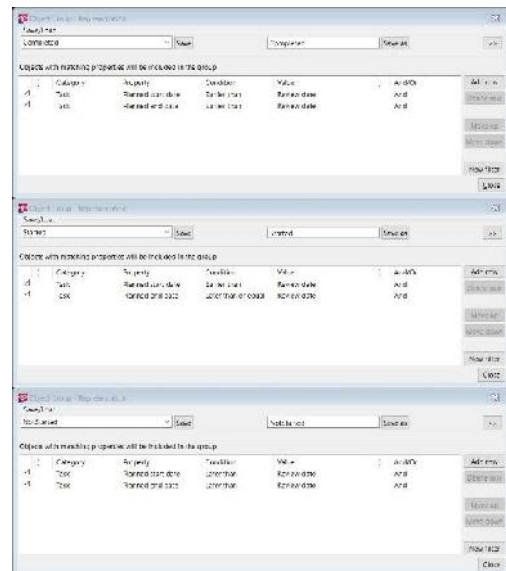


รูปที่ 14 หน้าต่างเครื่องมือ Project Status Visualization

ผู้ใช้งานจำเป็นที่จะต้องตั้งค่าในส่วนของ Object Representation และ Object Group-Representation ก่อนการใช้งาน โดยทางผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างการตั้งค่าในส่วนนี้ซึ่งแสดงในรูปที่ 15 และ 16



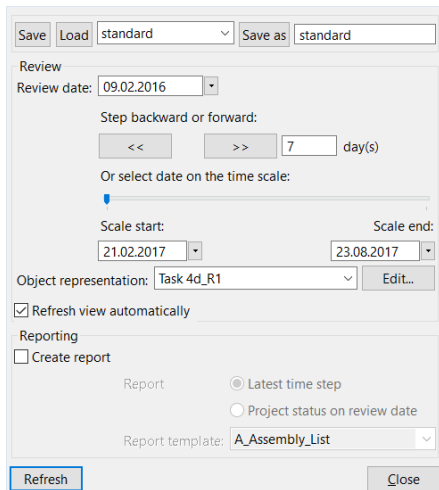
รูปที่ 15 ตัวอย่างการตั้งค่าใน Object Representation



รูปที่ 16 ตัวอย่างการตั้งค่าใน Object Group-Representation

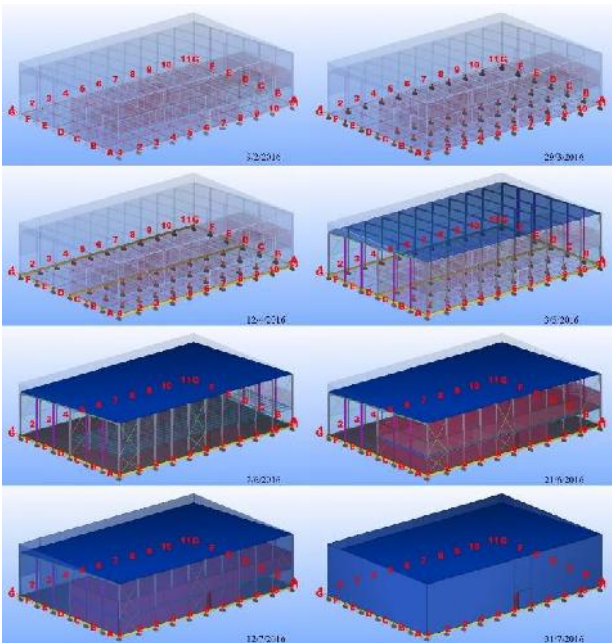
ในส่วนของการกำหนดค่า Color หรือ Transparency ในส่วนของ Object Representation ดังรูปที่ 15 สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานและเมื่อตั้งค่าทั้งหมดเรียบร้อยแล้วจะสามารถสร้างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติได้ โดยการเลือกวันที่ต้องการในช่อง Review Date และเลือก Object Representation ที่กำหนดไว้

นอกจากนั้นถ้าต้องการให้รูปที่แสดงเปลี่ยนไปตามวันที่เลือกอย่างอัตโนมัติให้เลือกถูกให้ช่อง Refresh View Automatically ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ตัวอย่างการตั้งค่าใน Project Status Visualization

โดยหลังจากที่ได้ตั้งค่าทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว สามารถดำเนินการให้เครื่องมือ Project Status Visualization แสดงผลได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างจากการทดลองจัดทำกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 ตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างแบบ 4 มิติ

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่เรียกว่าแบบจำลองสารสนเทศอาคารถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนกระทั่งจบโครงการ ตลอดจนนำไปใช้บริหารจัดการอาคารสถานที่ ในบทความนี้ได้นำเสนอกระบวนการจัดทำกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศ

อาคารในตัวอย่างกรณีศึกษา ซึ่งตัวอย่างกำหนดการก่อสร้างด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคารเป็นอีกหนึ่งฟังก์ชันที่สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างจริงได้และมีประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการเช่นเจ้าของโครงการ ผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาย่อย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่ให้แนวทางและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย รวมไปถึงผู้ที่ให้การสัมภาษณ์ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิสูตร จิระดำเกิง (2554). *การบริหารงานก่อสร้าง*. วรณภวี, หน้า 9-15,188-190,271.
- [2] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2008). *BIM Handbook*. John Wiley & Sons, Inc., pp.xi-xii.
- [3] สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2558). *แนวทางการใช้งานแบบจำลองสารสนเทศอาคาร สำหรับประเทศไทย*. บริษัท พลัสเพรส จำกัด, หน้า 1-6,10-31.
- [4] ธนัชชา สุขขี (2554). *การศึกษาการเลือกใช้ แบบจำลองข้อมูลอาคาร สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย*. มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 12-14.
- [5] สุพฤทธิ์ ตั้งพฤทธิกุล และ ณัฐวุฒิ สวัสดิ์สุข (2558). *การใช้งานและแนวทางการผลักดัน Building Information Modeling (BIM) ในประเทศไทย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20*, ชลบุรี, 8-10 กรกฎาคม 2558, หน้า 1-6.
- [6] Azhar, S. (2011). Building information modelling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), pp. 241-252.
- [7] Zhang, S., Teizer, J., Lee, J., Eastman, C.M. and Venugopal, M. (2013). Building information modelling (BIM) and safety: automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*, 29, pp. 183-195.
- [8] Lewis, J.P. (2011). *Project Planning, Scheduling & Control*. The McGraw-Hill Companies, Inc., pp.3-13,270-272.
- [9] Sears, S. K., Sears, G. A. and Clough, R. H. (2008). *Construction Project Management*. John Wiley & Sons, Inc., pp.5-6.
- [10] Windapo, A. (2013). *Fundamentals of Construction Management*. Dr. Abimbola Windapo & bookboon.com, pp.16-17.
- [11] Kerzner, H. (2003). *Project Management: A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons, Inc., pp.1-6,377-382.
- [12] Baldwin, A. and Bordoli, D. (2014). *A Handbook for Construction Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons, Ltd, pp.7-8,53-60.

- [13] เสกสรรค์ เกื้อทองดี (2557). การพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้อมูลอาคารในการประมาณต้นทุนอาคาร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 25-26.
- [14] Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. The McGraw-Hill Companies, Inc., pp.25-52.
- [15] พีรพัฒน์ วณิชลักษณ์ (2553). สถานะและการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้อมูลอาคารในองค์การก่อสร้าง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 36-39,198-199.
- [16] Velasco, A.U. (2013). *Assessment of 4D BIM Applications for Project Management Functions*. Master Thesis, Polytechnic University of Valencia, Spain.
- [17] Gledson, B.J. and Greenwood, D.J. (2016). Surveying the extent and use of 4d bim in the UK. *ITcon*, 21, pp. 57-71.