

การออกแบบโครงสร้างเชิงเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างกรณีศึกษาอาคาร 2 ชั้น

Comparative Structural Design using a Structural Analysis Software: A case study of 2-stories building

พิพัฒน์ จันทรงสิวรกุล^{1,*} และ รัฐวุฒิ ฐันทนคุณ²

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการก่อสร้าง ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: Rathavoot.r@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างเชิงเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างกรณีศึกษาอาคาร 2 ชั้น โดยเปลี่ยนวัสดุโครงสร้างอาคารดังต่อไปนี้ แบบที่ 1 โครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ พื้นคอนกรีตหล่อในที่ ผนังอิฐมวลเบา แบบที่ 2 โครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ พื้นคอนกรีตท้อเรียบ ผนังอิฐมวลเบา และแบบที่ 3 โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ พื้นคอนกรีตท้อเรียบ ผนังอิฐมวลเบา จากการศึกษาประเมินแต่ละกรณีในแง่ค่าใช้จ่าย เวลาก่อสร้างและการใช้งานจริง กรณี 1 สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะโครงสร้างหน้างานได้ แต่ต้องใช้จ่ายเงินและเวลาก่อสร้างมากขึ้น กรณี 2 เป็นรูปแบบที่มีความพอดีระหว่างระยะเวลาก่อสร้างและงบประมาณมากที่สุด เหมาะสำหรับโครงการที่มีงบประมาณและกำหนดเวลาในแผนจำกัด กรณี 3 เหมาะสำหรับอาคารที่ต้องการความแข็งแรงสูงและสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างหน้างานได้ โดยมีเวลาก่อสร้างที่เร็วที่สุดและต้นทุนสูงที่สุดแต่จำเป็นต้องมีทักษะพิเศษของคณาจารย์และเครื่องมือที่เหมาะสมในการก่อสร้าง จากผลการศึกษารูปแบบที่ 1 ความแข็งแรงโครงสร้างจากมากไปน้อย ได้แก่ แบบที่ 3 2 และ 1 ต้นทุนในการก่อสร้างจากสูงไปต่ำ ได้แก่ แบบที่ 3 1 และ 2

คำสำคัญ: การออกแบบโครงสร้างเชิงเปรียบเทียบ, อาคาร 2 ชั้น, โครงสร้างคอนกรีต, โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

Abstract

This study compares three structural design options for a two-story building using a structural analysis software. The options are a concrete structure with concrete slab and brick walls (Case 1), a concrete structure with flat slab and lightweight brick walls (Case 2), and a steel structure with flat slab and lightweight brick walls (Case 3). The study evaluates each case in terms of cost, construction time, and intended use. Case 1 can adapt the shape of the structure on site, but at a higher cost and with a longer construction time. Case 2 offers a good balance between cost and time, making it ideal for

projects with limited budgets and tight schedules. Case 3 is suitable for high-performance and versatile buildings, with the fastest construction time and the lowest cost, but requires specialized skills and equipment. The results can conclude that the strength of the structures is from most to least: Case 3, Case 2, and Case 1; and the cost of construction from high to low: Case 3, Case 1, and Case 2.

Keywords: Comparative Structural Design, 2-stories building, concrete structure, steel structure

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยเมื่อก้าวถึงการออกแบบเป็นสิ่งแรกที่ต้องเริ่มทำเพื่อให้เกิดโครงการ โดยการออกแบบจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลโครงการเพื่อให้ทราบถึงความต้องการเจ้าของโครงการและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อนำมาออกแบบ โดยการออกแบบแบ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบ (Conceptual Design) การออกแบบเบื้องต้น (Preliminary design) และการออกแบบอย่างรายละเอียด (Detailed design)

โดยขั้นตอนในการออกแบบเบื้องต้นและออกแบบอย่างละเอียด เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงชนิดของโครงสร้างอาคารต้องใช้เวลาค่อนข้างสูงในการจัดทำ มีผลทำให้งานก่อสร้างล่าช้ากว่ากำหนดได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ ผู้วิจัยจึงออกแบบอาคารโดยใช้โปรแกรม Etabs เพื่อลดเวลาในการปรับเปลี่ยนแบบก่อสร้างอาคารได้ในระยะเวลาอันสั้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าหรือปัญหาที่เกิดขึ้นบริเวณงานก่อสร้าง พร้อมทั้งประเมินต้นทุนการก่อสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อเป็นทางเลือกให้กับเจ้าของอาคารโดยยึดหลักการนำวัสดุทดแทนที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียง หรือเทียบเท่ากับวัสดุเดิมมาใช้แทน (value engineering) โดยการศึกษาโปรแกรมการออกแบบ Etabs สามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นกับอาคาร น้ำหนักของตัวอาคาร การเคลื่อนไหวของอาคารเมื่อต้องรับแรง ช่วยวิเคราะห์ชิ้นส่วนอาคารหรือโครงสร้างอาคารสามารถเกิดขึ้นจริงได้หรือไม่ และถูกต้องตามหลักมาตรฐานที่ต้องการ

หรือไม่ เนื่องด้วยโปรแกรม Etabs สามารถออกแบบอาคารโดยกำหนดวัสดุที่ใช้ก่อสร้างได้ เช่น คอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผนังอิฐมวลเบา ฯ อีกทั้งยังกำหนดขนาดของวัสดุตำแหน่งที่ต้องการจัดวาง ลักษณะ รูปแบบ และยังสามารถออกแบบอาคารได้อย่างไม่จำกัดความกว้าง ความยาว หรือความสูงของอาคาร โดยในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1) ออกแบบและวิเคราะห์อาคาร 2 ชั้น พร้อมทั้งเปลี่ยนแปลงชนิดของวัสดุโครงสร้างเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของเจ้าของโครงการ หรือปัญหาบริเวณงานก่อสร้างที่มีโอกาสเกิดขึ้น 2) เปรียบเทียบต้นทุนในการก่อสร้างอาคาร 2 ชั้น ตามวัสดุของโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงไป 3) เพื่อศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมการออกแบบ Etabs

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเลือกใช้วัสดุนำมาก่อสร้างอาคาร

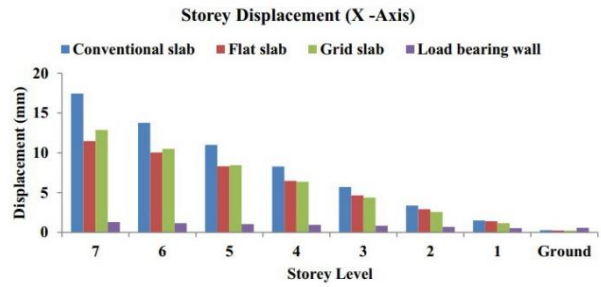
2.1.1 พื้นหล่อในที่ และพื้นคอนกรีตท้องเรียบ

พื้นคอนกรีตท้องเรียบ (flat slab) มีน้ำหนักน้อยกว่า ก่อสร้างได้ไวกว่าพื้นหล่อในที่ (conventional slab) อีกทั้งยังแข็งแรงมากกว่า มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่า ปลอดภัยในการก่อสร้างมากกว่า และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Zones, 2015)

พื้นคอนกรีตท้องเรียบเป็นพื้นที่รับแรงจากน้ำหนักอาคารได้โดยไม่ต้องมีคานมารองรับ โดยสามารถรับแรงได้โดยตรงผ่านน้ำหนักของผนังและเสา โดยการไม่มีคานก่อให้เกิดผิวที่เรียบไร้รอยต่อหรือสิ่งกีดขวางของเพดาน ทำให้มีลักษณะทางด้านสถาปัตยกรรมที่ดี ที่สำคัญมีจุดอ่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีไฟไหม้น้อยกว่าการก่อสร้างโดยใช้พื้นที่ที่ต้องมีคานมารองรับน้ำหนัก

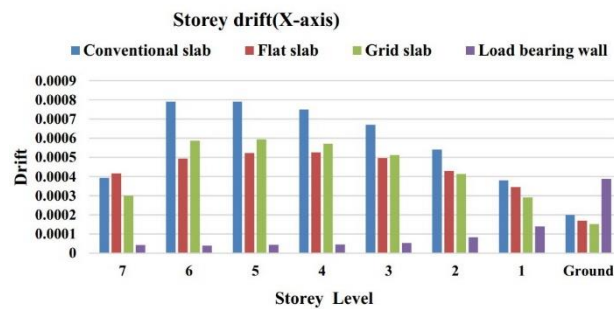
โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงเฉือน (Shear Force) จะเกิดขึ้นสูงที่ตำแหน่งใกล้เสา ถ้าเป็นพื้นหล่อในที่คานที่มารองรับน้ำหนักจากพื้นในตำแหน่งใกล้เสาจะต้องมีเหล็กปลอกจำนวนมากเพื่อรองรับแรงที่เกิดขึ้น แต่ในกรณีของพื้นคอนกรีตท้องเรียบเพื่อรองรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นที่บริเวณใกล้เสาจึงเพิ่มความหนาบริเวณใกล้เสาเรียกว่า “แป้นหัวเสา (Drop Panel)” (Anjaneyulu & Prakash, 2016)

การออกแบบอาคารให้สามารถรับแรงแผ่นดินไหวและแรงลมได้นั้นเป็นสิ่งสำคัญ ยิ่งแรงกระทำด้านข้างมากขึ้นการเคลื่อนตัวทางข้างของอาคารก็จะมากขึ้นตาม อีกทั้งการเคลื่อนตัวทางข้างยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านความสูงของอาคาร และความเพียว (slenderness) ของอาคาร อาคารยิ่งสูงยิ่งเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนตัวด้านข้างของอาคาร จึงได้ทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวทางข้างของอาคารที่โครงสร้างเหมือนกันแต่ต่างกันที่ชนิดพื้นที่นำมาก่อสร้างแบ่งออกเป็น พื้นคอนกรีตท้องเรียบ พื้นคอนกรีตท้องเรียบพร้อมทำแป้นหัวเสา และพื้นหล่อในที่



Storey displacement v/s storey height for 1.2(DL + LL + EQX) in X-direction.

รูปที่ 1 การเคลื่อนตัวอาคารแต่ละชั้นในกรณีแรง 1.2(DL+LL+EQX)



Storey displacement v/s storey height for 1.2(DL + LL + WNX) in X-direction.

รูปที่ 2 การเคลื่อนตัวอาคารแต่ละชั้นในกรณีแรง 1.2(DL+LL+EQX)

(Lokesh Nishanth et al., 2020)

2.1.2 ผนังก่ออิฐ และผนังอิฐมวลเบา

คุณสมบัติของอิฐมวลเบา อิฐมวลเบา ที่ใช้ระบบการผลิตแบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) เป็นระบบ การผลิตโดยใช้การอบไอน้ำภายใต้แรงดัน เป็นเทคโนโลยีการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่เน้นคุณสมบัติพิเศษคือ มีน้ำหนักเบา ขนาดก่อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100 % ที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (สุภาพร ศรีสมบูรณ์, 2548) ส่วนประกอบของคอนกรีตมวลเบาชนิดที่ใช้ระบบการผลิตแบบ AAC นี้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปูนขาว เถ้าแกลบหรือทราย โดยส่วนมากใช้วัสดุที่มีปริมาณซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูง และผงอะลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นสารก่อให้เกิดการขยายตัว อัตราการใช้ประมาณ 5-8% โดยปริมาตร (วรพจน์ แสงราม และสันติภาพ เข้มแก้ว, 2552) ได้ให้รายละเอียดของอิฐดังกล่าวโดยมีลักษณะเด่นและข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐมวลเบา มีขนาดความหนา 10 ซม. ความกว้าง 20 ซม. และ ความยาว 60 ซม. เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กก. ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้นโดยเว้นช่องว่าง ตรงกลางจะหนัก 180 กก.

การกันเสียงของอิฐมวลเบา จะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญประมาณ 20% แต่เมื่อเทียบกับการก่ออิฐมอญ 2 ชั้น ช่องว่างตรงกลางของอิฐมอญจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันเสียงได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่า

การกันความร้อนของอิฐมวลเบา โดยทั่วไปจะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญ ประมาณ 8-11 เท่า แต่การก่อกองผนังภายนอกอิฐจะต้องมีความหนา 10 ซม. และผนังภายในหนา 7 ซม.ขึ้นไปจึงจะสามารถกันความร้อนได้ดี

อิฐมวลเบา มีน้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญประมาณ 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีตประมาณ 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างอาคาร และเสาเข็มลงได้

การใช้งานของอิฐมวลเบาใช้ได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากการผลิตอิฐมวลเบาที่เป็นมาตรฐานทำให้ขนาดของสินค้าที่ออกมาเท่ากันทุกก้อน ต่างกับอิฐมอญที่มีขนาดความไม่เป็นมาตรฐานทำให้การก่อสร้างโดยใช้อิฐมวลเบาใช้เวลาในการก่อ และทำให้เกิดการสูญเสียน้อยกว่าโดยเฉลี่ยแล้วภายใน 1 วัน การก่อกองอิฐมวลเบาโดยช่างฝีมือทั่วไปจะได้พื้นที่ 25 ตร.ม. หากใช้อิฐมอญจะก่อได้เพียง 12 ตร.ม. นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดวัสดุอื่นๆ เช่น ปูนฉาบเนื่องจากสามารถก่อฉาบได้บางกว่า ช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้ การใช้งานง่ายต่อการการตัด แต่ง เลื่อย ใส เจาะ ผึงท่อระบบ และหาซื้อได้ทั่วไป (สุภาพร ศรีสมบุญ ,2548)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติของวัสดุก่อผนัง 2 ชนิด

รายการ	อิฐมอญ	อิฐมวลเบา
โครงสร้างบล็อก	ตัน	กลวง
ก่อกองเป็นรับแรง	ไม่ได้	ได้
จำนวนก้อนที่ใช้ต่อ ตร.ม.	120-135 ก้อน	8.33 ก้อน
น้ำหนักเฉลี่ยเฉพาะวัสดุ	130 กก./ตร.ม.	50 กก./ตร.ม.
ค่าการรับแรงอัด	20-30 กก./ตร.ม.	35-50 กก./ตร.ม.
อัตราการทนไฟ (หนา 10 ซม.)	2 ซม.	2-4 ซม.
การดูดซึมน้ำ	สูง	ปานกลาง
การสูญเสีย/แตกร้าว	15-20%	5%
ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	80	285

2.1.3 โครงสร้างอาคารคอนกรีตและโครงสร้างอาคารเหล็กน้ำหนักเบา

เหล็กน้ำหนักเบาที่มีจุดคราก (yield strength) 320 MPA โดยเหล็กรีดเย็นมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับคอนกรีต เช่น น้ำหนักเบากว่า มีความแข็งแรงสูงกว่า รับน้ำหนักได้ดีกว่า ก่อสร้าง ติดตั้ง และรื้อถอนอาคารได้ไวกว่า เป็นต้น (Yu, W. ,1999)

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) ของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีน้ำหนักถึง 1450 ตัน ในขณะที่โครงสร้างอาคารขนาดเดียวกันมีน้ำหนักบรรทุกคงที่เพียง 718 ตัน การที่น้ำหนักอาคารลดลงจากการเปลี่ยนวัสดุโครงสร้างก่อให้เกิดประโยชน์ คือ ได้รับผลกระทบจากแรงแผ่นดินไหวลดลง และโครงสร้างฐานรากรับน้ำหนักจากโครงสร้างอาคารน้อยลงทำให้การก่อสร้างฐานรากมีราคาถูกลงได้

เหล็กทั้งหมดผลิต ตัด หรือตัดหึ่งจากสายการผลิตที่โรงงานซึ่งควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ทำให้เหล็กควบคุมคุณภาพได้ดีกว่าคอนกรีต (Çelik & Kamali, 2018)

โครงสร้างเหล็กใช้ทรัพยากรน้อยกว่าโครงสร้างคอนกรีตร้อยละ 75.1 อีกทั้งโครงสร้างเหล็กไม่แห้งและหดตัวตามกาลเวลา การก่อสร้างด้วยเหล็กเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและซ่อมแซมน้อยกว่าการก่อสร้างด้วยคอนกรีต ที่สำคัญเมื่อต้องการรื้อถอนอาคารหรือถึงกำหนดอายุการใช้งาน โครงสร้างอาคารเหล็กสามารถแยกส่วนนำไปใช้อีกครั้งได้ในการก่อสร้างอื่น หรือนำกลับไปแปรสภาพนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมดโดยได้ค่าซากกลับมาเป็นรายได้อีกด้วย ต่างกับโครงสร้างคอนกรีตที่เมื่อถึงกำหนดอายุการใช้งานต้องเสียเงินในการรื้อถอน และเคลื่อนย้ายออกจากไซต์งาน และยากต่อการนำกลับไปแปรสภาพนำกลับมาใช้ใหม่ (An introduction to residential steel framing. ,1994)

โครงสร้างคอนกรีตใช้เวลาในการก่อสร้างยาวนานกว่าโครงสร้างเหล็กถึง 3 เท่า อีกทั้งการใช้โครงสร้างเหล็กสามารถประหยัดค่าก่อสร้างโดยรวมมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตร้อยละ 2 ถึง 3 (Sirikci, I. ,2006)

ความยั่งยืนของโครงสร้างเหล็กรีดเย็นสามารถรีไซเคิลได้โดยคุณภาพไม่ด้อยลง ต่างกับโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องทุบทำลายและยังนำกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้ร้อยละ 100 (Çelik, T. ,2010)

2.2 การเลือกใช้โปรแกรม ETABS

เงื่อนไขและวัสดุที่มีแตกต่างกันในแต่ละประเทศทำให้วิธีการในการออกแบบพื้นคอนกรีตต้องเรียบแตกต่างกันไป โดยอ้างอิงมาตรฐานตามแต่ละประเทศ การหาโปรแกรมที่สามารถสร้างอาคารออกมาในรูปแบบสามมิติ ทดสอบความมั่นคงของอาคารโดยแรงกระทำภายนอกซึ่งปรับเปลี่ยนได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว ฯ และตรวจสอบความเป็นไปได้ของขนาดชิ้นส่วนอาคารพร้อมแจ้งเตือนเมื่อการออกแบบนั้นไม่เป็นไปตามมาตรฐาน จากที่กล่าวมาข้างต้นโปรแกรม ETABS สามารถตอบโจทย์ได้ในทุกด้าน (Anjaneyulu & Prakash, 2016)

การวิเคราะห์และออกแบบอาคารหลายชั้นโดยการใช้โปรแกรม ETABS ภายใต้อผลแรงด้านข้างลมและแผ่นดินไหวสามารถทำได้ อีกทั้งโปรแกรมสามารถพิจารณาโอกาสการเกิดไฟลุกลาม ซึ่งตัวโปรแกรมเหมาะสม และงานต่อการใช้งานเป็นอย่างยิ่งสำหรับอาคารสูง ช่วยในการลดระยะเวลาออกแบบอย่างมาก

2.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาและต้นทุนในการก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกับโครงสร้างเหล็กกรุพรรณ

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 96.1 วัน โครงสร้างเหล็กกรุพรรณใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 56.5 วัน โดยจำนวนวันดังกล่าวอ้างอิงมาจากการก่อสร้างอาคาร 3 ชั้น และ ชั้นดาดฟ้า โดยคำนวณระยะเวลาในการก่อสร้างด้วยวิธีสายงานวิกฤต (CPM)

จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้เวลาในการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างเหล็กกรุพรรณ เท่ากับ 38.6 วัน คิดเป็นร้อยละ 40.17 วัน

อาคารตึกแถวสามชั้นในส่วนของต้นทุนอาคารที่สร้างด้วยโครงสร้างเหล็กกรุพรรณมีต้นทุนสูงกว่าโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กร้อยละ 39 (บุญณภพ วิสารทสกุลและ จิรวัดน์ คำรึห์อนันต์, 2019)

2.4 การเปรียบเทียบระยะเวลาและต้นทุนการก่อสร้างอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กกับโครงสร้างสำเร็จรูป

ระยะเวลาในการก่อสร้างอาคารพาณิชย์ขนาดเล็กขนาด 300 ตารางเมตร โดยเทียบการก่อสร้างด้วยคอนกรีตหล่อในที่กับคอนกรีตสำเร็จรูปได้จำนวนวันในการก่อสร้าง 106 และ 73 วัน ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้เวลาในการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ 33 วัน คิดเป็นร้อยละ 31.13 (ถวัลย์ศิริ ตรีรานูรัตน์ และ ธนันท์ ชูอุปการ, 2555)

ในโครงการหมู่บ้านอยู่สบายแบบ Latania ในส่วนหนึ่งของโครงการการก่อสร้างแบบดั้งเดิมสร้างกำไร 17,874,969 บาท และแบบหล่อประกอบกำไร 48,897,885 บาท (วรพจน์ แสงราม และสันติภาพ เข้มแก้ว, 2552)

3. กระบวนการศึกษา

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงของประเทศไทยซึ่งมีสิ่งปลูกสร้างเพื่ออยู่อาศัยเป็นจำนวนมากโดยมีบ้านเป็นหนึ่งในนั้น บ้านที่ไม่มีความแข็งแรงอาจนำมาซึ่งปัญหาทางด้านเศรษฐกิจและชีวิตคนได้ถ้าเกิดการพังทลายลงมา โดยสิ่งที่จะป้องกันไม่ให้เกิดได้นั้น คือ การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงสร้างให้ครบถ้วน ได้แก่ แรงแผ่นดินไหว และแรงลม ดังนั้นงานศึกษานี้จะเน้นการวิเคราะห์แบบบ้านสองชั้น โดยนำปัจจัยแรงแผ่นดินไหว แรงลมตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มาร่วมพิจารณา และเปลี่ยนวัสดุโครงสร้างอาคารเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในไซต์งาน พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวัสดุ โดยมีขั้นตอนในการวิจัยโดยละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ในโปรแกรม ETABS และตรวจสอบความสามารถในการรับแรง เช่น แรงจากตัวอาคาร แรงลมแรงแผ่นดินไหว เป็นต้น โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง และกฎหมายควบคุมอาคาร

3.2 เปลี่ยนแปลงวัสดุอาคารโดยยึดตามแบบอ้างอิงตามข้อ

โดยการเปลี่ยนแปลงวัสดุจะต้องผ่านมาตรฐานดังข้อ และการเปลี่ยนแปลงจะออกแบบให้ประหยัดต้นทุนที่สุด

3.2.1 โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นหล่อในที่ และผนังก่ออิฐ โดยโครงสร้างเสาและคานของอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคารเป็นคอนกรีตที่ก่อสร้างในไซต์งาน และผนังใช้อิฐมวลเบา

3.2.2 โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้อเรียบ และผนังอิฐมวลเบา โดยโครงสร้างเสาและคานของอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคารเป็นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ก่อสร้างสำเร็จจากโรงงาน และผนังใช้อิฐมวลเบาในการก่อสร้าง

3.2.3 โครงสร้างเป็นเหล็ก พื้นคอนกรีตท้อเรียบ และผนังอิฐมวลเบา โดยโครงสร้างเสา(I-beam)และคาน(H-beam)ของอาคารเป็นเหล็ก รูปพรรณ พื้นอาคารเป็นคอนกรีตสำเร็จรูปที่ก่อสร้างสำเร็จจากโรงงาน และผนังใช้อิฐมวลเบาในการก่อสร้าง

3.3 นำปริมาณวัสดุที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 รูปแบบ นำไปคำนวณราคาเพื่อออกแบบโครงสร้างเชิงเปรียบเทียบเพื่อความคุ้มค่า

4. ผลการดำเนินงานวิจัยและการอภิปราย

4.1 ข้อมูลเพื่อการออกแบบ

กำลังคอนกรีตเท่ากับ 280 ksc ,กำลังเหล็กเสริมคอนกรีตเท่ากับ 4,000 ksc และกำลังเหล็กรูปพรรณเท่ากับ 2,400 ksc

น้ำหนักอิฐมวลเบาก่อครั้งแผ่นหนัก 80 กก./ตร.ม. ,น้ำหนักอิฐมวลเบาก่อเต็มแผ่นหนัก 160 กก./ตร.ม. หน่วยน้ำหนักคอนกรีตและเหล็กรูปพรรณใช้ค่าตามที่โปรแกรมกำหนด และไม่ใช้แบบเป็นโครงสร้างใน Mode l รวมหน่วยน้ำหนักไปกับวัสดุผนังหลังคากระเบื้องคอนกรีต เท่ากับ 40 กก./ตร.ม.

แรงลมออกแบบตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ. 1311-50) ,แรงแผ่นดินไหวออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1302) , มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI 318 14 และมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ AISC ASD 89 และลักษณะเป็นอาคาร 2 ชั้น ขนาด 7ม. x 10.1ม.สูง 7.66 เมตร

4.2 Load Combinations ที่นำมาพิจารณาก่อสร้างอาคารโดยโปรแกรม Etabs

พิจารณา Load case 12 กรณี ได้แก่

1)1.4D + 1.7L	2)0.9D + W
3)0.75 x (1.4D + 1.7L + 1.7W)	4)0.75 x (1.4D + 1.7L)+ E
5)0.9 x (D + L) + E	6)D + L
7)D + 0.75L + 0.75W	8)D + 0.75L + 0.75 x (0.7E)
9)D + W	10)D + 0.7E
11)0.6D + W	12)0.6D + 0.7E

โดยตัวแปร D L W และ E มีความหมายดังต่อไปนี้

D คือ Dead Load น้ำหนักบรรทุกคงที่ประกอบด้วยน้ำหนักโครงสร้างอาคาร (Self Weight) และน้ำหนักของวัสดุทางสถาปัตยกรรม (Super Dead)

L คือ Live Load น้ำหนักที่เกิดขึ้น หรือ มีอยู่ในอาคารแบบไม่ตลอด

W คือ Wind Load คือ น้ำหนักที่เกิดขึ้นกับอาคารจากผลของแรงลม

E คือ Seismic Load คือ น้ำหนักที่เกิดขึ้นกับอาคารจากผลของแรงแผ่นดินไหว

4.3 โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นหล่อในที่ และผนังก่ออิฐ

ผลการวิเคราะห์คานที่มีการโก่งตัวสูงสุดจากด้านล่างเป็นผลการวิเคราะห์ของคานตำแหน่งระหว่าง gridline C-D และ gridline 4-5 ซึ่งเป็นชั้นส่วนที่มีการโก่งตัวมากที่สุดของอาคารเป็นระยะ 0.001222 เมตร



รูปที่ 3 คานโค้งตัวสูงสุดของโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นหล่อในที่ และผนังก่ออิฐ

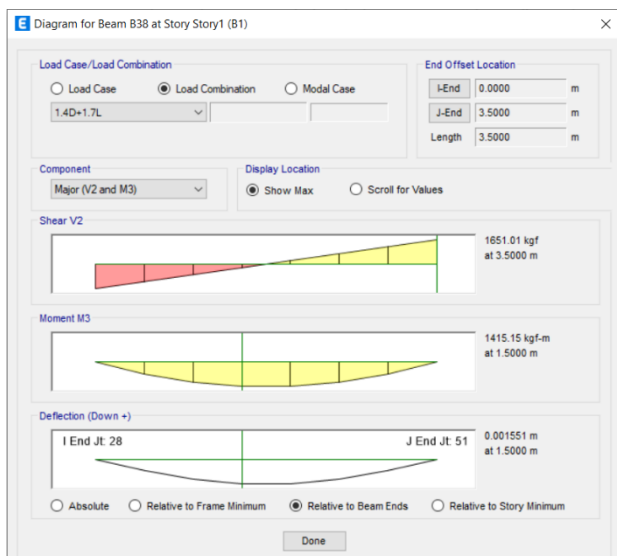
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของอาคารจากรูปด้านล่างจะได้ผลลัพธ์การเคลื่อนตัวของอาคารโดยอ้างอิงจากเคลื่อนตัวตามแนวแกน x และแนวแกน y ของปลายเสาชั้น 2 ของเสาทั้งสี่มุมของอาคาร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน x ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า 0.000465 0.000851 0.000488 และ 0.000873 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน x สูงสุด คือ 0.000873 เมตร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน y ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า 0.000312 0.000336 -0.000009 และ 0.000014 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน y สูงสุด คือ 0.000336 เมตร

4.4 โครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ และผนังอิฐมวลเบา

ผลการวิเคราะห์คานที่มีการโค้งตัวสูงสุดจากด้านล่างเป็นผลการวิเคราะห์ของคานตำแหน่งระหว่าง gridline A-B และ gridline 4-5 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีการโค้งตัวมากที่สุดของอาคารเป็นระยะ 0.001551 เมตร



รูปที่ 4 คานโค้งตัวสูงสุดของโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ และผนังอิฐมวลเบา

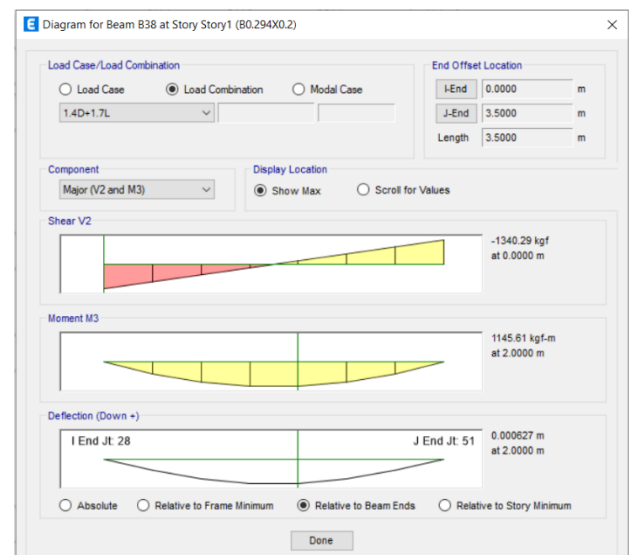
ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของอาคารจากรูปด้านล่างจะได้ผลลัพธ์การเคลื่อนตัวของอาคารโดยอ้างอิงจากเคลื่อนตัวตามแนวแกน x และแนวแกน y ของปลายเสาชั้น 2 ของเสาทั้งสี่มุมของอาคาร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน x ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า 0.000412 0.000755 0.000430 และ 0.000774 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน x สูงสุด คือ 0.000774 เมตร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน y ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า 0.000393 0.000410 0.000125 และ 0.000141 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน y สูงสุด คือ 0.000410 เมตร

4.5 โครงสร้างเป็นเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ และผนังอิฐมวลเบา

ผลการวิเคราะห์คานที่มีการโค้งตัวสูงสุดจากด้านล่างเป็นผลการวิเคราะห์ของคานตำแหน่งระหว่าง gridline A-B และ gridline 4-5 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีการโค้งตัวมากที่สุดของอาคารเป็นระยะ 0.000627 เมตร



รูปที่ 5 คานโค้งตัวสูงสุดของโครงสร้างเป็นเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ และผนังอิฐมวลเบา

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของอาคารจากรูปด้านล่างจะได้ผลลัพธ์การเคลื่อนตัวของอาคารโดยอ้างอิงจากเคลื่อนตัวตามแนวแกน x และแนวแกน y ของปลายเสาชั้น 2 ของเสาทั้งสี่มุมของอาคาร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน x ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า -0.000288 -0.000017 -0.000272 และ -0.000001 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน x สูงสุด คือ 0.000319 เมตร

ระยะตามเคลื่อนตัวของเสาตามแนวแกน y ใน gridline A2 A5 D2 D5 มีค่า 0.000087 0.000101 -0.000124 และ -0.000110 ดังนั้นระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแกน y สูงสุด คือ 0.000126 เมตร

4.6 การโค้งตัวของคานสูงสุดในคอนกรีตและเหล็ก

การคำนวณการโค้งตัวสูงสุดของคานใช้วิธีการคำนวณตามมาตรฐาน ACI318-08 โดยนำคานจากรูปภาพที่ 3 4 และ 5 มาคำนวณโดยสูตรในการคำนวณเป็นดังต่อไปนี้

$$\text{Maximum Permissible Deflection} = L/240 \quad (1)$$

L หมายถึง ความยาวคานที่มากที่สุด

โดยความยาวคานที่นำมาคำนวณใช้ระยะ 3.5 เมตร เมื่อคำนวณตามสมการที่ (1) จะได้ระยะโก่งตัวสูงสุด คือ 0.0145 เมตร จากรูปที่ 3 4 และ 5 มีระยะโก่งตัว 0.002877 0.002155 และ 0.001674 เมตร ตามลำดับการออกแบบคานจึงเป็นไปตามมาตรฐาน

จากผลระยะเคลื่อนตัวของอาคารในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Lokesh Nishanth et al. (2020) ระยะการเคลื่อนตัวของอาคารเมื่อเทียบกันระหว่างอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่ กับพื้นคอนกรีตท้องเรียบ จะปรากฏว่าอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่จะเคลื่อนตัวมากกว่าพื้นคอนกรีตท้องเรียบทั้งอาคาร 1 ชั้น จนถึงอาคาร 7 ชั้น โดยเมื่อพิจารณาผลการเคลื่อนตัวของอาคารสูง 2 ชั้น จะปรากฏว่าระยะการเคลื่อนตัวของอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่สูงกว่าพื้นคอนกรีตท้องเรียบร้อยละ 15.96 (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวในการออกแบบ) และ ร้อยละ 26.08 (พิจารณาแรงลมในการออกแบบ) เมื่อเทียบกับผลงานวิจัยนี้ ระยะการเคลื่อนตัวของอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่สูงกว่าพื้นคอนกรีตท้องเรียบร้อยละ 6.80 (พิจารณาแรงแผ่นดินไหวและแรงลมในการออกแบบ)

ดังนั้นผลการวิจัยในด้านผลการเคลื่อนตัวของอาคารสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Lokesh Nishanth et al. (2020) โดยความแตกต่างของระยะการเคลื่อนตัวของอาคารที่ใช้พื้นคอนกรีตหล่อในที่เทียบกับพื้นคอนกรีตท้องเรียบมีค่าไม่เท่ากัน เป็นผลมาจากภูมิประเทศที่ตั้งอาคารแตกต่างกันส่งผลให้มาตรฐานในการออกแบบแรงลม และแรงแผ่นดินไหวแตกต่างกัน

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลการวิเคราะห์แบบอาคารสองชั้นด้วยโปรแกรม ETABS โดยกำหนดให้อาคารตั้งอยู่ใน กรุงเทพฯ สามารถสรุปออกมาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการเคลื่อนตัวของอาคาร

การเคลื่อนตัวของอาคารมีโครงสร้าง 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 โครงสร้างหลักคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นหล่อในที่ พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา ประเภทที่ 2 โครงสร้างหลักคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา ประเภทที่ 3 โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา มีระยะเคลื่อนตัวสัมบูรณ์ 0.000935 0.000876 และ 0.000343 เมตร และระยะการโก่งตัวของคาน 0.001222 0.001551 และ 0.000627 ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ Lokesh Nishanth (2020) ทำการวิจัยการเคลื่อนตัวของอาคารพื้นคอนกรีตเทียบกับอาคารพื้นคอนกรีตท้องเรียบได้ผลว่าการเคลื่อนตัวของอาคารพื้นคอนกรีตหล่อในที่มากกว่าอาคารพื้นคอนกรีตท้องเรียบร้อยละ 28.57 ผลการเคลื่อนตัวของอาคารในงานวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้น

5.2 สรุปผลราคาและระยะเวลาในการก่อสร้าง

มีโครงสร้าง 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 โครงสร้างหลักคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นหล่อในที่ พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา ประเภทที่ 2 โครงสร้างหลักคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา ประเภทที่ 3 โครงสร้างเหล็กรูปพรรณ พื้นคอนกรีตท้องเรียบ ผังอิฐมวลเบา โดยคำนวณราคาได้ 1833.062 1473.254 และ 2997.611 บาทต่อตารางเมตร

นอกจากนี้ระยะเวลาในการก่อสร้าง โครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้เวลาในการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป เท่ากับ 33 วัน คิดเป็นร้อยละ 31.13 และโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้เวลาในการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ เท่ากับ 38.6 วัน คิดเป็นร้อยละ 40.17 วัน ดังนั้นระยะเวลาการก่อสร้างเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ โครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ โครงสร้างคอนกรีตสำเร็จรูป และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

จากงานวิจัยของ Sirikci และบุญณภพ กล่าวว่าโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้ต้นทุนการก่อสร้างมากกว่าโครงสร้างเหล็กรูปพรรณร้อยละ 39 และโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ใช้ต้นทุนการก่อสร้างมากกว่าคอนกรีตสำเร็จรูป โดยโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่สร้างกำไร 17,874,969 บาท และแบบคอนกรีตสำเร็จรูปสร้างกำไร 48,897,885 บาท ซึ่งผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้น

ผลการศึกษาสามารถนำไปปรับใช้กับการออกแบบอาคารสองชั้นที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครได้โดยอ้างอิงจากระยะโก่งตัวของขนาดเสา ความยาวเสา ขนาดคาน และความยาวคานจากแบบโครงสร้างที่นำมาออกแบบ ถ้าบุคคลหรือองค์กรใดต้องการสร้างอาคารความสูงใกล้เคียงกันอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันสามารถนำขนาดหน้าตัดเสาและคานไปใช้ได้ อีกทั้งถ้าโครงการลักษณะเดียวกันต้องการปรับเปลี่ยนวัสดุในการก่อสร้างสามารถนำผลการวิเคราะห์ด้านงบประมาณและเวลาใช้ร่วมพิจารณาในการตัดสินใจเลือกวัสดุได้

6. กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.รัฐวุฒิ รุ่งแทนคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำและขอคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด และทุนการวิจัยบางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพจน์ แสงราม และสันติภาพ เข้มแก้ว. (2552). "คอนกรีตมวลเบา". วารสารบริหารแดง. 1 (1) มกราคม 2552 (อัดสำเนา).

- [2] สุภาพร ศรีสมบุญ. (2548).อิฐมวลเบา : “นวัตกรรมใหม่ของวงการวัสดุก่อสร้าง”. สารวิจัยธุรกิจ. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2552 จาก http://www.scb.co.th/LIB/th/article/ktb/date/k_9-20
- [3] Anjaneyulu, B., & Prakash, J. (2016). Analysis And Design Of Flat Slab By Using Etabs Software. International Journal of Science Engineering and Advance Technology, USEAT, 4 (2).
www.ijseat.com
- [4] Çelik, T., & Kamali, S. (2018). Multidimensional comparison of lightweight steel and reinforced concrete structures: A case study. In Tehnicki Vjesnik (Vol. 25, Issue 4, pp. 1234–1242). Strojariski Facultet. <https://doi.org/10.17559/TV-20160901185826>
- [5] Lokesh Nishanth, C. H., Sai Swaroop, Y., Jagarapu, D. C. K., & Jogi, P. K. (2020). Analysis and design of commercial building with different slab arrangements using ETABS. Materials Today: Proceedings, 33, 700–704. <https://doi.org/10.1016 /j.matpr.2020.05.823>
- [6] Zones, E. (2015). IRJET-Comparative Study of Flat Slab and Conventional Slab Structure Using ETABS for Different Comparative Study of Flat Slab and Conventional Slab Structure Using ETABS for Different Earthquake Zones of India. www.irjet.net
- [7] บุญณภพ วิสารทสกุล และจิรวัดน์ ดำริห์อนันต์. การหาต้นทุนและระยะเวลาก่อสร้างอาคารโดยใช้แบบจำลองโครงสร้าง 3 มิติร่วมกับข้อมูลราคาต่อหน่วยผลผลิตภาพการทำงาน และการจำลองโครงการ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. ฉบับที่ 4 (2563) . 63-75.
- [8] ลักณ์สิริ ตีร์รานูรัตน์ และธนันท์ ชูบุอุปการ. “การเปรียบเทียบต้นทุนรวมและระยะเวลาในกระบวนการก่อสร้างแบบหล่อในที่และแบบขึ้นส่วนสำเร็จรูปในอาคารพาณิชย์ขนาดเล็ก.” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. ตุลาคม 2555 : 2254-2259
- [9] CSSBI. An introduction to residential steel framing. 1994 . [http://www.cssbi.ca/Eng/_pdf/CSSBI-54-94 .pdf](http://www.cssbi.ca/Eng/_pdf/CSSBI-54-94.pdf) (Accessed 28.07.2010)
- [10] Siricki, I. (2006) . Çelik bir Sistemin Elastik ve Plastik Analiz Sonuçlarının Betonarme Sistemle Maliyet Karşılaştırılması. Dissertation (in Turkish), Kahramanmaraş Sutcu Imam University.
- [11] Çelik, T. (2010) . Gap analysis for the potential use of steel construction in Cyprus. Dissertation, Loughborough University.