

การศึกษาสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีต ของอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง A study of reinforced steel quantity to concrete volume ratio in a large building with post-tensioned slab structure

ซูเกียรติ ชูสกุล¹ สุนันท์ มนต์แก้ว^{2*} และ ไพศาล สุขสม³

¹อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

³วิศวกรโยธาชำนาญการ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10300

Chookiat Choosakul¹ Sunun Monkaew^{2*} and Paisarn Suksoom³

¹Lecturer, College of Industrial Technology and Management,

Rajamanagala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80210

²Assistant Professor, Faculty of Engineering,

Rajamanagala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand, 10800

³Civil Engineering, Division of Physical Systems and Environment,

Rajamanagala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand, 10300

*E-mail: sunun.m@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเสนอกรอบแนวความคิดในการหาปริมาณวัสดุในงานก่อสร้าง สำหรับใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบปริมาณวัสดุที่ง่าย สะดวก รวดเร็วและถูกต้อง เลือกศึกษาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีตของอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง จำนวน 5 โครงการ เป็นกรณีศึกษา พบว่า สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตมีค่าระหว่าง 93.42-97.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากนั้นนำค่าความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนที่ได้ไปทดสอบกับอาคารตัวอย่าง จำนวน 1 โครงการ ที่มีรูปแบบคล้ายกัน และตัวแปรในการออกแบบเหมือนกัน นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับการประมาณราคาแบบละเอียด พบว่า ปริมาตรคอนกรีตและปริมาณเหล็กเสริมที่ได้มากกว่าค่าที่ได้จากการประมาณราคาแบบละเอียดร้อยละ 5.86 และ 8.92 ตามลำดับ ค่าที่ได้แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กรอบแนวความคิดนี้สามารถใช้ตรวจสอบปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างได้

คำสำคัญ: สัดส่วน, คอนกรีต, พื้นไร้คาน

Abstract

The purpose of this research study is to propose a conceptual framework for measurement materials in building projects. For use as a guideline for investigating the amount of material that is easy, convenient, fast and accurate. Selectively study the proportional relationship of reinforced steel quantity to concrete volume of large buildings with post-tensioned slab structure. 5 projects as a case study, it was found that the proportion of

reinforced steel to concrete between 93.42-97.89 kg/m³. The value of the relation of the ratio was then tested on buildings of similar design and with the same design criteria. When the obtained value was compared with the detailed cost measurement, it was found that concrete volume and reinforcement quantity were actually more than those obtained from the detailed cost measurement at 5.86 % and 8.92 % respectively. The resulting values differed less than 10 %, which were within the acceptable range. The amount of material needed for construction projects can be estimated using this conceptual framework.

Keywords: Proportional Relation, Concrete, Post - Tensioned Slab

Received: November 22, 2022; **Revised:** March 20, 2023; **Accepted:** April 7, 2023

1. บทนำ

การประมาณราคาค่าก่อสร้างเป็นขั้นตอนสำคัญลำดับแรกที่จะต้องดำเนินการก่อนที่จะดำเนินการก่อสร้าง วัตถุประสงค์ของการประมาณราคามีหลายลักษณะ เช่น การประมาณราคาค่าก่อสร้างเพื่การตั้งงบประมาณโครงการ การประมาณราคาเพื่การกำหนดราคากลาง และการประมาณราคาเพื่อประมาณงานก่อสร้าง เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการประมาณราคาแตกต่างกัน วิธีการในการประมาณราคาค่าก่อสร้างจึงสามารถทำได้หลายวิธี โดยทั่วไปวิธีการประมาณราคาแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การประมาณราคาเบื้องต้น และการประมาณราคาแบบละเอียด วิธีการประมาณราคาเบื้องต้นโดยใช้นิยามราคาต่อหน่วยพื้นที่คูณด้วยจำนวนพื้นที่ของอาคาร ซึ่งเหมาะสำหรับการประมาณราคาค่าก่อสร้างในขั้นตอนการตั้งงบประมาณสำหรับโครงการใหม่ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถประมาณราคาค่าก่อสร้างได้รวดเร็ว แต่มีความคลาดเคลื่อนสูง หากไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องหรือขาดประสบการณ์ก็อาจจะทำให้โครงการก่อสร้างดังกล่าวประสบปัญหาขาดทุนได้ ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ การประมาณราคาแบบละเอียด วิธีนี้ทำได้หลังจากมีแบบก่อสร้าง และรายการข้อกำหนดแล้ว ปกติจะทำโดยผู้รับเหมาก่อสร้างเพื่อใช้ในการเสนอราคาและใช้ในการควบคุมค่าใช้จ่ายในระยะเวลาก่อสร้าง หรืออาจทำโดยฝ่ายเจ้าของงานเพื่อใช้เป็นราคาค่าก่อสร้างหรือใช้ควบคุมการเบิกงวดเงินจากผู้รับเหมา การประมาณราคาแบบละเอียดต้องใช้ผู้ที่เชี่ยวชาญ มีประสบการณ์ในการประมาณราคางานก่อสร้าง และต้องใช้ระยะเวลานานในการหาปริมาณงาน (เทิดธิดา ทิพย์รัตน์ และคณะ 2560), (สันติ ชินานูวัตินวงศ์, 2544), (อภิศักดิ์ ทับทิมทอง และคณะ, 2560), (จิระพันธ์ จันทรวิจิตร และวรรณวิทย์ แด่มทอง, 2560)

ต้นทุนในงานก่อสร้าง ประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง และ ต้นทุนทางอ้อม (Jarkas & Bitar, 2012) (Jarkas, et al., 2012) ต้นทุนค่าวัสดุเป็นต้นทุนทางตรงคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55 – 60 ของต้นทุนค่าก่อสร้างทั้งหมด (Builk, 2022) เหล็กเสริมจัดเป็นวัสดุหลักในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูง ซึ่งปัจจุบันราคาเหล็กเสริมเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับปี 2564 (Thansettakij, 2022) เป็นที่ทราบกันดีว่าขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานและยุ่งยากซับซ้อนมากที่สุดในการประมาณราคางานก่อสร้าง คือ ขั้นตอนการประมาณการปริมาณวัสดุ ความถูกต้องของปริมาณวัสดุก่อสร้างจึงมีความสำคัญในการประมาณราคา การหาปริมาณเหล็กเสริมและคอนกรีตในงานก่อสร้าง เป็นเรื่องยุ่งยากต้องใช้ผู้ที่เชี่ยวชาญ มีประสบการณ์ในการประมาณราคางานก่อสร้าง หากการประมาณราคาไม่ถูกต้อง ย่อมส่งผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้าง ดังนั้นหากมีเกณฑ์หรือเครื่องมือที่ช่วยให้ที่ปรึกษาโครงการก่อสร้างหรือผู้ควบคุมงานโครงการก่อสร้างสามารถตรวจสอบปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างได้ในระดับหนึ่งที่ใช้เวลาในการตรวจสอบไม่มาก ใช้งานได้สะดวก อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถช่วยร่นระยะเวลาในการตรวจสอบได้เร็วขึ้น (Sunun M. & Chookiat C., 2021) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของปริมาณงานเหล็กเสริมต่อปริมาณคอนกรีตในงานโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการตรวจสอบปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบปริมาณวัสดุจากราคากลางงานก่อสร้างกับปริมาณวัสดุที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ หากมีความแตกต่างกันมาก

ควรจะมีการทบทวนความถูกต้องของราคากลางงานก่อสร้างอีกครั้ง เพื่อให้ถูกต้อง ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและใช้งบประมาณให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเลือกอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากอาคารประเภทนี้ยังไม่มีการศึกษาวิจัยไว้

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ขั้นตอนการประมาณราคา เป็นหน้าที่ของผู้รับเหมาที่จะต้องตัดสินใจหลังจากที่ได้รับแบบก่อสร้างจากเจ้าของงานแล้วว่าจะวางแผนดำเนินการประมาณราคาและประมาณราคาอย่างไรจึงจะประมูลงานให้กับผู้รับเหมารายอื่นได้โดยไม่เสี่ยงต่อสภาวะขาดทุน แต่ละคนจะต้องหากลยุทธ์ วิธีที่จะชนะคู่ต่อสู้ให้ได้ และวิธีที่สำคัญที่สุดที่ผู้รับเหมาแต่ละคนไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็คือ วิธีการประมาณราคาที่ถูกต้องเป็นไปอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นเป็นตอน ดังนั้นการประมาณราคาที่ถูกวิธีควร มีขั้นตอนดังนี้ 1) รวบรวมข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งสำรวจสถานที่ก่อสร้างจริง 2) ถอดแบบเพื่อหาปริมาณงานและวัสดุทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในแบบรูป 3) ลงราคาวัสดุและแรงงานที่ใช้ลงแบบฟอร์มการประมาณราคา 4) สรุปราคารวมค่าดำเนินการและกำไร (Handyman, 2549)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนในการหาปริมาณวัสดุในงานก่อสร้าง มีการศึกษาไว้หลากหลาย เช่น

2.2.1 การศึกษาเรื่อง Pre-determination of Housing Cost โดยการรวบรวมข้อมูลอาคารที่ได้ก่อสร้างไปแล้วหาตัวแปรที่มีอิทธิพลของราคาก่อสร้าง นำข้อมูลมาวิเคราะห์การถดถอย พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพล คือ 1) ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใช้งาน 2) พื้นผิวด้านหน้าอาคาร 3) ความหนาพื้น 4) พื้นที่ของผนังเทียบกับพื้นที่ในแนวดิ่งของอาคาร 5) ร้อยละของพื้นที่เทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร 6) จำนวนชั้นที่ใช้งานต่อจำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร 7) จำนวนชั้นทั้งหมดต่อจำนวนชั้นของอาคารแต่ละประเภท และ 8) ความสูงระหว่างชั้น (Regdon, G., 1972)

2.2.2 การศึกษาการประมาณราคาก่อสร้างอาคารโดยใช้อัตราส่วนองค์ประกอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้อัตราส่วนราคาของงานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นฐานในการคำนวณ ข้อมูลหลักที่ใช้ได้แก่ คอนกรีต แบบหล่อ และเหล็กเสริม จะถูกเก็บอยู่ในรูปปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ของอาคาร ข้อมูลถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน ได้แก่ ปริมาณวัสดุต่อหน่วยพื้นที่อาคาร อัตราส่วนต้นทุนงานโครงสร้างและอัตราส่วนต้นทุนงานโครงสร้างต่อต้นทุนงานอาคาร ข้อดีของการประมาณราคาในลักษณะนี้คือ สามารถประมาณราคาก่อสร้างอาคารในปีใดก็ได้เพียงแค่ใช้ราคาของวัสดุหลักของคอนกรีตเสริมเหล็กในปีที่สร้างอาคาร (สันติ ชินานุวัตรวงศ์, 2544)

2.2.3 การศึกษาการประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่แบบรวดเร็วโดยใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างประกอบ โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการประมาณราคาแบบละเอียดตามหลักเกณฑ์การกำหนดราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการกับดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ เพื่อหาค่าפקเตอร์ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นสูตรสำเร็จในการหาราคาต่อตารางเมตร (ประจักษ์ หล้าจางวาง, 2554)

2.2.4 การศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนองค์ประกอบหลักในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัย 2 ชั้น อัตราส่วนองค์ประกอบสำคัญ 5 อัตราส่วน ได้แก่ 1) ปริมาณไม้แบบต่อพื้นที่ใช้สอย 2) ปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาณคอนกรีต 3) ปริมาณไม้แบบต่อปริมาณคอนกรีต 4) ปริมาณเหล็กโครงหลังคาต่อปริมาณไม้แบบ และ 5) ปริมาณเหล็กโครงหลังคาต่อพื้นที่หลังคา ซึ่งจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนดังกล่าว สามารถนำมาเป็นแนวทางเพื่อพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมของบัญชีรายการวัสดุได้ (เชิดชัย กิจกัญญาสน์, 2547)

2.2.5 การศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของพื้นที่ผนังก่ออิฐต่อพื้นที่อาคารของบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก สูง 2 ชั้น จำนวน 59 แบบ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ได้สมการในการหาพื้นที่ผนังก่ออิฐ ($Y = 1.383 (\text{พื้นที่อาคาร}) + 33.077$) นำสมการที่ได้ไปทดสอบกับอาคารตัวอย่าง จำนวน 3 แบบ พบว่า พื้นที่ผนังก่ออิฐ น้อยกว่าการประมาณราคาแบบละเอียด ร้อยละ 0.50-6.78 นอกจากนั้นยังพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ผนังก่ออิฐ คือ พื้นที่อาคาร (Sunun M. & Chookiat C., 2021)

2.2.6 การศึกษาสัดส่วนของปริมาตรคอนกรีตต่อปริมาณเหล็กเสริมในอาคารด้านทานแผ่นดินไหว กรณีศึกษาอาคารเรียน 4 ชั้น แบบ 324 ล./55 ข. ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ระบบโครงสร้างแบบเสา-คาน พื้นสำเร็จรูป และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่บางส่วน พบว่า สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตเท่ากับ 167.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำค่าความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนที่ได้ไปทดสอบกับอาคารเรียนที่มีรูปแบบคล้ายกัน และตัวแปรในการออกแบบเหมือนกัน คือ อาคารเรียนด้านทานแผ่นดินไหว 4 ชั้น แบบ 318 ล./55 ข. พบว่า ปริมาณเหล็กเสริมฐานรากน้อยกว่าค่าที่ได้ร้อยละ 3.61 ปริมาณเหล็กเสริมเสามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยมือร้อยละ 8.95 ปริมาณเหล็กเสริมทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 3.09 ค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (สุนันท์ มนต์แก้ว และชูเกียรติ ชูสกุล, 2566)

2.2.7 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณและต้นทุนของพื้นคอนกรีตอัดแรง (post-tensioned slab) และพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ศึกษาอาคาร 16 ชั้น แห่งหนึ่งในประเทศเมียนมาร์ พบว่า สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตของโครงสร้างระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (post-tensioned slab) เท่ากับ 133.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Nyome Tin, 2019)

2.2.8 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวัสดุต่อหน่วยของอาคารพักอาศัย 5-8 ชั้น และ 3-5 ชั้น เพื่อหาปริมาณวัสดุเป็นร้อยละ เทียบกับปริมาณวัสดุทั้งหมด 3 หมวด คือ 1) คอนกรีต 2) เหล็กเสริม และ 3) ไม้แบบ ในองค์อาคารหลัก 5 หมวด คือ ฐานรากรวม เสาตอม่อ คาน เสา พื้น และงานเบ็ดเตล็ด รวมทั้งหาปริมาณวัสดุต่อหน่วยของพื้นที่อาคาร และต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต ผลการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณคอนกรีต เหล็กเสริม และไม้แบบต่อหน่วยของพื้นที่อาคาร อาคารทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน (โชติไกร และคณะ, 2560)

2.2.9 งานวิจัยเรื่อง The unit price implication of reinforcement usage in beam reinforced concrete construction สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตตามมาตรฐานการออกแบบก่อสร้างอาคารกำหนดให้ปริมาณเหล็กเสริมคาน 200 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร จากการศึกษา อาคารด้านทานแผ่นดินไหวที่ได้รับผลกระทบในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน 2 บริเวณ พบว่า มีปริมาณเหล็กเสริมเฉลี่ย 209.83 และ 215.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร เกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (Mubarak, Tripoli & Nurisra, 2018)

2.2.10 งานวิจัยเรื่อง Cost modeling of RC building designed in different seismic effects พบว่า ปริมาณคอนกรีต และเหล็กเสริมของอาคารด้านทานแผ่นดินไหวเพิ่มขึ้น 0.24-0.27 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร และ 20.42-27.18 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของอาคารและบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว (Smrati & Mohd 2018)

2.2.11 งานวิจัยเรื่อง Cost comparison for non-seismic (EC2) and seismic (EC8) design in different ductility class พบว่า อาคารด้านทานแผ่นดินไหวมีปริมาณเหล็กเสริมคานเพิ่มขึ้นร้อยละ 7-32.40 และปริมาณเหล็กเสริมเสาเพิ่มขึ้นร้อยละ 28- 420.30 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ไม่ได้ออกแบบให้ด้านทานแผ่นดินไหว (Ramli., et al, 2017)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาไว้หลากหลาย แต่ยังขาดการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีตของอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง

3. ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-tensioned slab) ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้กับอาคารต่าง ๆ ตั้งแต่ปี 1951 โดยเริ่มจากประเทศสหรัฐอเมริกา และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายไปยังประเทศต่างๆ ทั้งในยุโรป ออสเตรเลีย และในเอเชีย สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการใช้ระบบพื้น Post-tensioned slab กันอย่างแพร่หลาย และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน (Tumcivil, 2022) ลักษณะของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-tensioned slab) แบ่งได้ 6 ประเภท ดังนี้ 1) Flat Slab เป็นแผ่นพื้นชนิดที่เหมาะสมกับงานโครงสร้างทุกชนิด ที่มีระยะห่างของเสาในแต่ละทิศทางใกล้เคียงกัน นิยมใช้กับ อพาร์ทเมนต์ อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม เหมาะสมที่สุดในช่วงระยะห่างของเสา 5-8 เมตร 2) Drop Panel การใช้งานเหมือนกับ Flat Slab แต่ต้องการระยะห่างของเสามากขึ้นจนถึง 14 เมตร 3) Continuous Band เหมาะสมกับโครงการที่ใช้เป็นที่จอดรถ โรงเรียน

ศูนย์การค้าที่มี Span ยาวมากในด้านหนึ่ง และ Live Load ไม่มากนัก Span ยาวได้ถึง 15 เมตร 4) Beam and Slab Span ได้ถึง 10-20 เมตร เหมาะกับอาคารสำนักงาน อาคารสาธารณะประโยชน์ 5) Ribbed one Way เป็นระบบที่น่าสนใจเมื่อพิจารณาถึงปริมาณคอนกรีตที่ใช้เหมาะกับโครงสร้างที่มีน้ำหนักสูง และ Span ยาวมากเพียงด้านเดียว และ (6) Waffle แพร่หลายมากสำหรับอาคารที่มีน้ำหนักสูง เช่น บริเวณกองเก็บสิ่งของ อาคารโรงงาน อาคารสนามบิน Span 10-20 เมตร (Cpacacademy, 2022)

4. การวัดปริมาณงานก่อสร้าง งานวิจัยในครั้งนี้ใช้แนวทางในการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารตามแนวทางของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท., 2548) แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.1 การวัดปริมาณงานคอนกรีต แบ่งตามลักษณะองค์อาคาร ได้ 6 กรณี คือ 1) คอนกรีตฐานราก 2) คอนกรีตเสา 3) คอนกรีตคาน 4) คอนกรีตพื้น 5) คอนกรีตผนังลิฟต์ และ 6) คอนกรีตบันได ปริมาตรคอนกรีตที่ได้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

4.2 การวัดปริมาณเหล็กเสริม วัดตามแบบก่อสร้างที่ได้แสดงไว้ แบ่งตามลักษณะองค์อาคาร ได้ 6 กรณี คือ 1) เหล็กเสริมฐานราก 2) เหล็กเสริมเสา 3) เหล็กเสริมคาน 4) เหล็กเสริมพื้น 5) เหล็กเสริมผนังลิฟต์ และ 6) เหล็กเสริมบันได ปริมาณเหล็กเสริมที่ได้มีหน่วยเป็นเมตร หลังจากหาปริมาณเหล็กเสริมได้แล้วให้เพื่อระยะงอ ระยะขอ ระยะทาบ ระยะคอก้า การเผื่อเศษเสียหาย เป็นเปอร์เซ็นต์ตามขนาดเหล็ก จากนั้นนำความยาวของเหล็กแต่ละขนาดคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของเหล็กเสริมแต่ละขนาด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หน่วยน้ำหนักของเหล็กเสริมและการเผื่อเหล็กเสริม (วสท., 2548)

ขนาดเหล็กเสริม (มม.)	น้ำหนัก (กก./ม.)	การเผื่อ (%)
6 มม.	0.222	5
9 มม.	0.499	7
12 มม.	0.888	9
15 มม.	1.387	11
16 มม.	1.578	11
19 มม.	2.226	13
20 มม.	2.466	13
25 มม.	3.853	15
28 มม.	4.834	15
32 มม.	6.313	15

หลังจากได้ปริมาตรคอนกรีตและปริมาณเหล็กเสริมของอาคารที่ศึกษา นำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของปริมาณงานต่างๆ ดังนี้ คือ (1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร (2) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร และ (3) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีต

งานวิจัยในครั้งนี้ ไม่รวมปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็ม ปริมาณเหล็กเสริมเสาเข็ม และปริมาณลวดอัดแรงของพื้น post-tensioned slab

4.3 นิยามศัพท์

พื้นที่อาคาร คือ พื้นที่เฉพาะโครงสร้างตัวอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (post-tensioned slab) มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

5. การทดสอบอาคารตัวอย่าง ผู้วิจัยได้ทดลองหาปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยใช้วิธีการประมาณราคาแบบละเอียดของอาคารตัวอย่าง จำนวน 1 อาคาร โดยเลือกอาคารที่มีรูปแบบคล้ายกัน และตัวแปรในการออกแบบเหมือนกัน หาปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมโดยแยกตามประเภทของอาคาร 6 ประเภท คือ ฐานราก เสา คาน พื้น ผนัง ลิฟต์และบันได จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนที่ได้จากการทำนายจากอาคารตัวอย่าง

6. รายละเอียดของโครงการที่ศึกษา โครงการที่ศึกษาทั้ง 5 โครงการ เป็นโครงการก่อสร้างอาคารชุดพักอาศัย สูง 7-9 ชั้น พื้นที่ตั้งแต่ 5,790-7,250 ตารางเมตร ความสูงตั้งแต่ 22.40-31.50 เมตร จำนวนชั้น ตั้งแต่ 7-9 ชั้น ปลุกสร้างที่กรุงเทพมหานคร ฐานรากแบบมีเสาเข็ม โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (post-tensioned slab) ความหนาของพื้น post-tensioned slab อยู่ระหว่าง 25-28 เซนติเมตร และรูปแบบการเสริมเหล็ก ดังรูปที่ 1 ผนังโดยทั่วไปก่ออิฐฉาบปูนเรียบ ออกแบบสำหรับก่อสร้างในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว 3 บริเวณตามกฎกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2550 เรื่อง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ใช้ตัวแปรในการคำนวณออกแบบโครงสร้างเหมือนกัน รายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของโครงการที่ศึกษา

รายละเอียด	โครงการที่				
	1	2	3	4	5
ประเภทอาคาร : อาคารชุดพักอาศัยรวม	✓	✓	✓	✓	✓
พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	6,734	6,100	5,580	7,250	5,790
ความสูง (ม.)	31.50	26.50	28.00	30.50	22.40
จำนวนชั้น (ชั้น)	9	8	8	9	7
สถานที่ก่อสร้าง : กรุงเทพมหานคร	✓	✓	✓	✓	✓
น้ำหนักจรรยาในอาคาร (kg/m ²)	300	300	300	300	300
น้ำหนักผนังก่ออิฐฉาบปูน (kg/m ²)	100	100	100	100	100
กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 320 ksc. (cylinder)	✓	✓	✓	✓	✓
เหล็กกลม ชั้นคุณภาพ SR 24	✓	✓	✓	✓	✓
เหล็กข้ออ้อย ชั้นคุณภาพ SD 40	✓	✓	✓	✓	✓



ภาพที่ 1 รูปแบบการเสริมเหล็กระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง ของโครงการที่ศึกษา

7. ผลการศึกษา

7.1 การหาปริมาตรคอนกรีตและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร ผู้วิจัยได้หาปริมาตรคอนกรีตตามแนวทางในการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ตามหัวข้อที่ 4 โดยแยกปริมาตรคอนกรีตตามประเภทของอาคาร 6 ประเภท คือ ฐานราก เสา คาน พื้น ผนังลิฟต์และบันได พบว่า ปริมาตรคอนกรีตของโครงการที่ 1 เท่ากับ 3,656 ลูกบาศก์เมตร โครงการที่ 2 เท่ากับ 3,477 ลูกบาศก์เมตร โครงการที่ 3 เท่ากับ 3,119 ลูกบาศก์เมตร โครงการที่ 4 เท่ากับ 4,225 ลูกบาศก์เมตร และโครงการที่ 5 เท่ากับ 3,185 ลูกบาศก์เมตร และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร พบว่า สัดส่วนคอนกรีตต่อพื้นที่อาคารของโครงการที่ 1 เท่ากับ 0.54 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร โครงการที่ 2 เท่ากับ 0.57 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร โครงการที่ 3 เท่ากับ 0.56 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร โครงการที่ 4 เท่ากับ 0.58 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร และโครงการที่ 5 เท่ากับ 0.55 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร รายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาตรคอนกรีตและสัดส่วนของปริมาตรคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร

โครงการที่	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ปริมาตรคอนกรีต (ลบ.ม.)	สัดส่วนคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร (ลบ.ม./ตร.ม.)
1	6,734	3,656	0.54
2	6,100	3,477	0.57
3	5,580	3,119	0.56
4	7,250	4,225	0.58
5	5,790	3,185	0.55
เฉลี่ย	6,291	3,532	0.56
SD			0.01

7.2 การหาปริมาณเหล็กเสริมและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร ผู้วิจัยได้หาปริมาณเหล็กเสริมตามแนวทางในการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ตามหัวข้อที่ 4 โดยแยกปริมาณเหล็กเสริมตามประเภทของอาคาร 6 ประเภท คือ ฐานราก เสา คาน พื้น ผนังลิฟต์และบันได พบว่า ปริมาณเหล็กเสริมของโครงการที่ 1 เท่ากับ 357,900 กิโลกรัม โครงการที่ 2 เท่ากับ 334,452 กิโลกรัม โครงการที่ 3 เท่ากับ 293,945 กิโลกรัม โครงการที่ 4 เท่ากับ 405,517 กิโลกรัม และโครงการที่ 5 เท่ากับ 297,540 กิโลกรัม และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร พบว่า สัดส่วนเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคารของโครงการที่ 1 เท่ากับ 53.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โครงการที่ 2 เท่ากับ 54.83 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โครงการที่ 3 เท่ากับ 52.68 กิโลกรัมต่อตารางเมตร โครงการที่ 4 เท่ากับ 55.93 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และโครงการที่ 5 เท่ากับ 51.39 กิโลกรัมต่อตารางเมตร รายละเอียด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณเหล็กเสริมและสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร

โครงการที่	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (กก.)	สัดส่วนเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร (กก./ตร.ม.)
1	6,734	357,900	53.15
2	6,100	334,452	54.83
3	5,580	293,945	52.68

โครงการที่	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (กก.)	สัดส่วนเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร (กก./ตร.ม.)
4	7,250	405,517	55.93
5	5,790	297,540	51.39
เฉลี่ย	6,291	337,871	53.60
SD			1.60

7.3 การวิเคราะห์สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีต นำข้อมูลปริมาตรคอนกรีต จากตารางที่ 3 และข้อมูลปริมาณเหล็กเสริม จากตารางที่ 4 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต พบว่าสัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต ของโครงการที่ 1 เท่ากับ 97.89 โครงการที่ 2 เท่ากับ 96.19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โครงการที่ 3 เท่ากับ 94.24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โครงการที่ 4 เท่ากับ 95.98 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และโครงการที่ 5 เท่ากับ 93.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตมีค่าระหว่าง 93.42-97.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ย 95.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หากเปรียบเทียบกับประเทศเมียนมาร์ ซึ่งค่าสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตเท่ากับ 133.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Nyome Tin, 2019) ค่าที่ได้ น้อยกว่า สาเหตุอาจจะเกิดจากตัวแปรในการออกแบบ และระดับความรุนแรงเนื่องจากแผ่นดินไหวที่แตกต่างกัน รายละเอียด ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต

โครงการที่	ปริมาณเหล็กเสริม (กก.)	ปริมาตรคอนกรีต (ลบ.ม.)	สัดส่วนเหล็กเสริมต่อคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)
1	357,900	3,656	97.89
2	334,452	3,477	96.19
3	293,945	3,119	94.24
4	405,517	4,225	95.98
5	297,540	3,185	93.42
เฉลี่ย	337,871	3,532	95.54
SD			1.57

7.4 การทดสอบอาคารตัวอย่าง นำข้อมูลจากอาคารกรณีศึกษาทั้ง 5 โครงการเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีต โดยผู้วิจัยได้ทดลองวัดปริมาณวัสดุเหล็กเสริมและคอนกรีตแยกตามประเภท องค์อาคาร 6 ประเภท คือ ฐานราก เสา คาน พื้น ผนังลิฟต์และบันได ใช้วิธีการประมาณราคาแบบละเอียด โดยเลือกอาคารที่มีรูปแบบคล้ายกัน และตัวแปรในการออกแบบเหมือนกัน เป็นอาคารชุดพักอาศัย สูง 8 ชั้น พื้นที่ประมาณ 5,365 ตารางเมตร จำนวน 1 โครงการ พบว่า ปริมาตรคอนกรีตเท่ากับ 2,828 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับ 261,926 กิโลกรัม ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาตรคอนกรีตและเหล็กเสริมของอาคารตัวอย่าง

พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	ปริมาตรคอนกรีต (ลบ.ม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (กก.)
5,365	2,828	261,926

นำข้อมูลจากตารางที่ 6 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของคอนกรีตต่อพื้นที่อาคาร วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคาร และวิเคราะห์สัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีต รายละเอียด ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สัดส่วนเหล็กเสริมและคอนกรีตของอาคารตัวอย่าง

พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	สัดส่วนคอนกรีต ต่อพื้นที่อาคาร (กก./ตร.ม.)	สัดส่วนเหล็กเสริม ต่อพื้นที่อาคาร (กก./ตร.ม.)	สัดส่วนเหล็กเสริม ต่อคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)
5,365	0.53	48.82	92.62

จากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าเฉลี่ยสัดส่วนของคอนกรีตต่อพื้นที่อาคารที่ได้จากการศึกษา จากตารางที่ 3 คูณด้วยพื้นที่อาคารของอาคารตัวอย่าง ได้ปริมาตรคอนกรีต เท่ากับ 3,004 ลูกบาศก์เมตร ($5,365 \times 0.56 = 3,004$ ลูกบาศก์เมตร) ค่าที่ได้มากกว่าค่าที่ประมาณราคาแบบละเอียด ร้อยละ 5.86 นำค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อพื้นที่อาคารที่ได้จากการศึกษา จากตารางที่ 4 คูณด้วยพื้นที่อาคารของอาคารตัวอย่าง ได้ปริมาณเหล็กเสริม เท่ากับ 286,920 กิโลกรัม ($5,365 \times 53.60 = 287,564$ กิโลกรัม) ค่าที่ได้มากกว่าค่าที่ประมาณราคาแบบละเอียด ร้อยละ 8.92 ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณเหล็กเสริม

วิธีการประมาณราคา	ปริมาตรคอนกรีต (ลบ.ม.)	ปริมาณเหล็กเสริม (กก.)	สัดส่วนเหล็กเสริม ต่อคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)
ประมาณราคาแบบละเอียด	2,828	261,926	92.62
อาคารตัวอย่าง	3,004	287,564	95.73
ผลต่าง (%)	+ 5.86	+ 8.92	+ 3.25

8. สรุปผล

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเสนอกรอบแนวความคิดในการหาปริมาณวัสดุในงานก่อสร้าง จากการศึกษาความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อปริมาตรคอนกรีตของอาคารขนาดใหญ่ที่ใช้ระบบพื้นอัดแรง (post-tensioned slab) ออกแบบสำหรับก่อสร้างในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว 3 บริเวณตามกฎหมายกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2550 เรื่อง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ลักษณะเป็นอาคารชุดพักอาศัย สูง 7-9 จำนวน 5 โครงการ พื้นที่อาคารระหว่าง 5,580-7,250 ตารางเมตร ปลูกสร้างที่กรุงเทพมหานคร หาปริมาณวัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริม โดยแยกปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมตามประเภทของอาคาร 6 ประเภท

คือ ฐานราก เสา คาน พื้น ผนังลิฟต์และบันได ใช้แนวทางในการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคารตามแนวทางของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พบว่า สัดส่วนของปริมาณเหล็กเสริมต่อคอนกรีตมีค่าระหว่าง 93.42-97.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากค่าความสัมพันธ์ด้านสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำมาทดสอบกับอาคารตัวอย่าง 1 โครงการ ที่มีรูปแบบคล้ายกัน และตัวแปรในการออกแบบเหมือนกัน ลักษณะเป็นอาคารชุดพักอาศัย สูง 8 ชั้น พื้นที่อาคาร 5,365 ตารางเมตร โดยผู้วิจัยได้ประมาณราคาแบบละเอียด หาปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมขององค์อาคารประเภทต่าง ๆ พบว่า ปริมาณคอนกรีตที่ได้จากอาคารตัวอย่างมากกว่าค่าที่ได้จากการประมาณราคาแบบละเอียด ร้อยละ 5.86 ปริมาณเหล็กเสริมมากกว่าค่าที่ได้จากการประมาณราคาแบบละเอียด ร้อยละ 8.92 ค่าที่ได้แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (กรมบัญชีกลาง, 2550) ดังนั้น กรอบแนวความคิดนี้สามารถใช้ตรวจสอบปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างได้ระดับหนึ่ง หากมีข้อมูลของโครงการก่อสร้างเพียงพอจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทำให้การประมาณวัสดุในงานก่อสร้าง สะดวก รวดเร็ว สามารถลดระยะเวลาในการทำงานลงได้

9. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้มีข้อมูลของโครงการก่อสร้างเพียง 5 โครงการ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้จำนวนข้อมูลที่มีมากกว่านี้ จะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การนำค่าสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ ค่าตัวแปรต่าง ๆ จะต้องสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

โครงการก่อสร้างที่ศึกษาในครั้งนี้ออกแบบสำหรับก่อสร้างในบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากแผ่นดินไหว 3 บริเวณตามกฎกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2550 เรื่อง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ซึ่งปัจจุบันได้มีการแก้ไข ปรับปรุง กฎกระทรวง ทำให้ตัวแปรต่าง ๆ แตกต่างกัน อาจส่งผลให้ค่าสัดส่วนเปลี่ยนแปลงไปได้

พื้นที่อาคารที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นพื้นที่เฉพาะโครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงเท่านั้น ไม่ได้รวมพื้นที่ใช้สอยอาคารทั้งหมด ซึ่งอาจจะทำให้ผลที่ได้ในการประมาณราคาลดเคลื่อนได้เมื่อนำพื้นที่ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

11. เอกสารอ้างอิง

กรมบัญชีกลาง. (2550). *หลักเกณฑ์การกำหนดราคากลางงานก่อสร้างของทางราชการ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมบัญชีกลาง.

จิระพันธ์ จันทน์วิจิตร และวรรณวิทย์ ตั้มทอง. (2560). การประมาณราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้นตามระดับราคาขายคอนกรีตมีเนียมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. *ในการประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22*, 18-20 กรกฎาคม 2560.

เชิดชัย กิจกาญจน์. (2547). *การศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนองค์ประกอบหลักในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัย 2 ชั้น สำหรับตรวจสอบการประมาณปริมาณงาน*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โชติไกร ไชยวิจารณ์, พิษณุตม์ จรัสบำรุงโรจน์, อธิธนา วรเจริญสิน และไกรสร วงศ์โสภิต. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณวัสดุต่อหน่วยของอาคารพักอาศัย 5- 8 ชั้น และ 3 - 5 ชั้น. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 7(2), 95-106.

- ประจักษ์ หล้าจางวาง. (2554). การประมาณราคาต่อหน่วยพื้นที่แบบรวดเร็วโดยใช้ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้างประกอบ. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- เทติธิดา ทิพย์รัตน์, ณรงค์ ชัยสงเคราะห์ และนนทวัตร กุลประภา. (2560). การประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยด้วยการ
ประยุกต์ใช้ ANFIS. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, 18-20 กรกฎาคม 2560.
- สันติ ชินานุวัตรวงศ์. (2544). การประมาณราคาค่าก่อสร้างอาคารโดยใช้อัตราส่วนองค์ประกอบ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก.
วิศวกรรมสารเกษตรศาสตร์, 15(44), 52-61.
- สุนันท์ มนต์แก้ว และชูเกียรติ ชูสกุล. (2566). การศึกษาสัดส่วนของปริมาณคอนกรีตต่อปริมาณเหล็กเสริมในอาคารด้านทาน
แผ่นดินไหว กรณีศึกษา: อาคารเรียน 4 ชั้น ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. วารสารวิชาการพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ, 33(1), 92-101.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2548). แนวทางการวัดปริมาณงานก่อสร้างอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- อภิศักดิ์ ทับทิมทอง, การุณ ใจปัญญา และศักดา กตเวทอารักษ์. (2560). การศึกษาราคาต่อหน่วยพื้นที่งานระบบไฟฟ้าและสื่อสาร.
ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, 18-20 กรกฎาคม 2560.
- Handyman. (2549). *Professional Take off & Take Cost ประมาณราคาเก่ง...รายก่อน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:
นวสาส์นการพิมพ์.
- Jarkas, A., & Bitar, G. (2021). Factors Affecting Construction Labor Productivity in Kuwait. *Journal of Construction
Engineering and Management*. 138(7), 811-820
- Jarkas, A., Kadri, C., & Younes, J. (2012). A Survey of Factors Influencing the Productivity of Construction Operatives
in the State of Qatar. *International Journal of Construction Management*. 12, 1-23.
- Mubarak, A., Tripoli, T., & Nurisra, N. (2018). The unit price implication of reinforcement usage in beam reinforced
concrete construction. *Aceh International Journal of Science and Technology*. 5(1), 24-31.
- Nyome, T., (2019). Comparative Study of Quantity and Cost on Post Tensioned Slab and Reinforced Concrete Slab
in Structures. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*. 7(5), 41-46.
- Ramli, M., Adnan, A., Kadir, A., & Alel, M. (2017). Cost comparison for non-seismic (EC2) and seismic (EC8) design
in different ductility class. *Journal of Civil Engineering and Geo- Environmental*, 1(1), 38-42.
- Regdon, G., (1972). Pre-determination of Housing Cost." *Journal of Building International*, 1, 1-15, 1972.
- Smrati, M., & Mohd, K. (2018). Cost modeling of RC building designed in different seismic effects. *International
Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 4532-4537.
- Sunun M., and Chookiat C. (2021). Develop an Estimating Factor to Help Estimating Masonry Wall Area of Two
Stories Houses. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(2), 115-124.

ออนไลน์

- Builk. (2022). *สัดส่วนต้นทุนงานโครงสร้าง*. <https://www.Builk.com/> สัดส่วนต้นทุน-2020/.
- Cpacacademy. (2022). *พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับ*. https://cpacacademy.com/download/cpacacademy_com/b-pt001.pdf.

Tumcivil. (2022). การพิจารณาขั้นต้นในการออกแบบระบบพื้น. https://engfanatic.tumcivil.com/tumcivil_1/media/OldDOC/Post-Tension.pdf .

Thansettakij. (2022). เหล็กพุ่ง 35% กระทั่งราคาก่อสร้างบ้าน ปี 2565. <https://www.thansettakij.com/real-estate/521864>.