การพัฒนาเทคนิคการติดตั้งแบบหล่อสำหรับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่

Development of Formwork Installation Techniques for Large rectangular Cross-section Reinforced Concrete Columns

ชำนาญ น้อยพิทักษ์[1*], สนธยา ทองอรุณศรี[2], วันดี พูนพจน์มาศ[1]

Chumnahn Noipitak[1*],Sontaya Tongaroonsri[2], Wandee Poonpotmas[1]

[1*]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาทร กรุงเทพฯ

[2]สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก เมือง ตาก

[1*]Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Sathon, Bangkok, Thailand

[2]Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak, Thailand

*Corresponding author. Tel. 0992691442, E-mail address: chumnahn.n@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการติดตั้งแบบหล่อสำหรับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 250 x 750 มิลลิเมตร และศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของแบบหล่อที่พัฒนาขึ้นในโครงการก่อสร้างจริง ให้สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็วและลดปัญหาที่เกิดจากการใช้แบบหล่อเสาทั่วไป จากผลการวิจัยพบว่า แบบหล่อที่พัฒนาขึ้นสามารถลดจำนวนจุดค้ำยัน ลดเวลาในการประกอบเสา และสามารถใช้ทาวเวอร์เครนยกและสวมลงในเหล็กเสริมของเสาได้โดยไม่เกิดการเสียรูป โดยเสาคอนกรีตที่ได้มีผิวเรียบไม่เกิดการโก่งหรือเสียรูปเนื่องจากแบบหล่อ เมื่อนำแบบหล่อเสาที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้นจำนวน 3 อาคาร มูลค่าการก่อสร้าง 408 ล้านบาท มีระยะเวลาการก่อสร้างเพียง 11 เดือน จำนวนเสาที่ต้องก่อสร้างรวมทั้งสิ้น 144 ต้นต่อชั้น พบว่าแบบหล่อที่พัฒนาขึ้นสามารถต้านทานการเสียรูปได้ทั้งขณะยกติดตั้งด้วยทาวเวอร์เครน และการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อ ได้เสาที่มีขนาดตามต้องการ ไม่เกิดการโก่งหรือเสียรูป ช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนของการติดตั้งแบบหล่อได้ถึงร้อยละ 33 และสามารถลดต้นทุนด้านแบบหล่อ จุดค้ำยันและด้านแรงงาน ทำให้ลดระยะเวลาการก่อสร้างและช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แบบหล่อคอนกรีต เหล็กรูปพรรณ เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

Received	11-04-2022
Revised	13-05-2022
Accepted	31-05-2022

Abstract

This research aims to develop formwork installation techniques for 250 x 750 mm rectangular cross-sectional reinforced concrete columns and study the efficacy of developed formworks in a real construction project to be able to construct quickly and reduce problems caused with conventional formwork. The results showed that developed formwork can reduce the number of crutches, and assembly columns of time. The tower crane can be used to lift and wear it into the reinforced steel of the columns without deformation. The resulting concrete columns have been a smooth surface, neither deflected nor deformed from the formwork. When the developed column formwork was used to the construction site of a high reinforced concrete building for 8 floors, 3 buildings with a construction value of 408 million baht, carried out for 11 months of the construction period of time. A total of 144 columns per floor were required. Hence, this research found that the developed formworks were able to withstand deformation both of lifting with tower cranes and pouring concrete into the formwork. Furthermore, this research has achieved the column size as needed, without deflection or deformation. Therefore, it can reduce the construction time of reinforced concrete columns in the formwork installation by 33 percent, which decreases the cost of formwork, crutches and labor in order to reduce construction time and costs effectively.

Keywords: Concrete formwork, Structural steel, Reinforce concrete column

1. บทนำ

งานก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่ต้องให้ความสำคัญทั้งคุณภาพ เวลา และต้นทุนการก่อสร้าง การบริหารคุณภาพด้วยการตรวจและทดสอบในขั้นตอนสุดท้ายอาจทำให้เกิดการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากขึ้น ในปัจจุบันรูปแบบของการควบคุมคุณภาพ (Quality control) ต้องดำเนินการในระหว่างการทำงาน โดยควบคุมคุณภาพทั้งกระบวนการทำงาน และผู้ปฏิบัติงาน การควบคุมคุณภาพสามารถกระทำได้ทั้งในขั้นตอนการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้าง งานควบคุมคุณภาพด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างที่ใช้ก็มีความจำเป็นและสำคัญอย่างมาก เนื่องจากส่งผลต่อระยะเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอย่างมาก งานแบบหล่อ (Formwork) เป็นหนึ่งในหลายงานที่ต้องใช้เทคนิคในการก่อสร้าง อีกทั้งยังมีวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้ อาทิเช่น ไม้ ไม้อัด เหล็ก อะลูมิเนียม ไฟเบอร์กลาส พลาสติก และคอนกรีต [1] แบบหล่อไม้และแบบหล่อเหล็ก เป็นแบบหล่อที่ได้รับความนิยมและมีการใช้ทั่วไปในงานก่อสร้างต่าง ๆ ในปัจจุบัน [2] การหล่อคอนกรีตให้ได้รูปร่างและขนาดที่ต้องการ ต้องมีการออกแบบและสร้างแบบหล่อตามรายการคำนวณ [3] พร้อมทั้งต้องออกแบบจุดยึดแบบหล่อด้วยการค้ำยันให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการติดตั้งและเทคอนกรีตลงแบบหล่อ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงขนาดที่ถูกต้องและลักษณะ

ของผิวคอนกรีตหลังถอดแบบหล่อ [4] ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องมีการกำหนดคุณภาพของงานและความต้องการพื้นฐานสำหรับการเลือกระบบของแบบหล่อให้เหมาะสม ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผนงานก่อสร้าง [5,6] ดังนั้นการเลือกระบบแบบหล่อที่ดีต้องคำนึงถึงความแข็งแรง ความทนทานและทำให้งานก่อสร้างมีความปลอดภัย [7,8] การเลือกแบบหล่อต้องพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปัจจัยด้านราคาซึ่งรวมถึงราคาของวัสดุ ค่าแรงในการประกอบและการรื้อถอนแบบหล่อ ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแบบหล่อ เป็นต้น [9] ค่าใช้จ่ายด้านแบบหล่ออาจเป็นครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายสำหรับงานคอนกรีตหล่อในที่ของทั้งโครงการ [10] สมบัติของแบบหล่อที่ดีต้องใช้วัสดุที่มีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายมีความแข็งแรงอย่างเพียงพอ ไม่เกิดการโก่งหรือแอ่นตัวจนเสียรูป ขณะเทคอนกรีต รอยต่อต้องมีความมั่นคงแข็งแรงสามารถต้านทานแรงกระทำได้โดยไม่เกิดการเสียรูป ในปัจจุบันแบบหล่อสำหรับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่มักนิยมสร้างขึ้นด้วยโครงเหล็กกรุด้วยไม้อัดเป็นผนังแบบหล่อซึ่งมีข้อดีคือมีราคาถูก แต่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้เพียง 3-4 ครั้ง [1] การติดตั้งใช้เวลานานเพราะต้องมีจุดค้ำยันหลายจุด เพื่อให้แบบหล่อไม่เสียรูป และแบบหล่ออีกชนิดที่นิยมใช้จะเป็นแบบหล่อทำมาจากเหล็กทั้งหมด ซึ่งมีความแข็งแรง สามารถใช้ซ้ำได้ตามต้องการ แต่มีราคาแพง ต้องใช้ช่างที่ชำนาญในการประกอบ อีกทั้งต้องมีจุดค้ำยันอย่างน้อย 2 จุดสำหรับเสาหน้าตัดกลม และต้องมีจุดค้ำยันอย่างน้อย 3 จุด หากหน้าตัดเสาเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า การคำนวณออกแบบและสร้างแบบหล่อให้มีความแข็งแรงต้องพิจารณาแรงดันของคอนกรีตที่กระทำต่อแบบหล่ออาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น คอนกรีตที่เหลวมีค่าการยุบตัวสูงแรงดันกระทำต่อแบบหล่อมาก ในทางตรงกันข้ามคอนกรีตที่มีสภาพข้นเหนียวมีค่าการยุบตัวน้อยแรงดันต่อแบบหล่อน้อย การเทคอนกรีตในอัตราที่ช้าทำให้คอนกรีตบางส่วนเริ่มแข็งตัวแรงดันต่อแบบหล่อลดลง คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากขึ้นแรงดันต่อแบบหล่อมากขึ้น แรงดันคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระยะเทคอนกรีต ขนาดหน้าตัดของโครงสร้างใหญ่มีแรงดันต่อแบบหล่อมากกว่าหน้าตัดของโครงสร้างขนาดเล็ก การใช้เครื่องสั่นคอนกรีตจะส่งผลให้เกิดแรงดันต่อแบบหล่อมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณเหล็กเสริมช่วยต้านทานและพยุงเนื้อคอนกรีตทำให้แรงดันต่อแบบหล่อลดลงได้ [11-14] นอกจากนี้การเลือกชนิดของแบบหล่อยังต้องคำนึงถึงความสูงของอาคารที่ก่อสร้างและสภาพอากาศที่แบบหล่อต้องเผชิญในขณะก่อสร้างอาคาร [15]

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบหล่อเสาที่สามารถลดระยะเวลาการก่อสร้างเสาคอนกรีต อีกทั้งมีคุณสมบัติที่สามารถป้องกันปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับการใช้แบบหล่อเสาชนิดโครงเหล็กกรุด้วยไม้อัด หรือปัญหาของแบบหล่อเหล็กที่พบโดยทั่วไป ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป แบบหล่อที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้น จำนวน 3 อาคารมูลค่าการก่อสร้าง 408 ล้านบาท มีระยะเวลาการก่อสร้างที่จำกัดเพียง 11 เดือน ดังนั้นงานก่อสร้างในส่วนของงานโครงสร้างอาคารจึงต้องแล้วเสร็จภายในระยะเวลา 4 เดือนหลังได้ลงนามสัญญาก่อสร้าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแบบหล่อและเทคนิคการติดตั้งให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากแบบหล่อทั่วไป โดยพิจารณาปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัยด้านความแข็งแรงของแบบหล่อทั้งขณะติดตั้งประกอบแบบ เทคอนกรีตและการรื้อถอน รวมถึง

ปัจจัยด้านระยะเวลาในการทำงานทั้งขณะติดตั้งเทคอนกรีตและการรื้อถอน โดยพัฒนาเทคนิคการติดตั้งแบบหล่อเสาให้มีความรวดเร็วมากขึ้น โดยแบบหล่อต้องสามารถต้านทานการเสียรูปในทุกขั้นตอนการติดตั้ง การใช้งาน และการรื้อถอน โดยคำนึงถึงต้นทุนการก่อสร้างที่ประหยัด และเทคนิคการลดขั้นตอนและระยะเวลาการติดตั้ง ต้นทุนค่าวัสดุและอุปกรณ์ ค่าแรงงาน และการบริหารระยะเวลาการก่อสร้างของโครงการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วิธีดำเนินการวิจัย

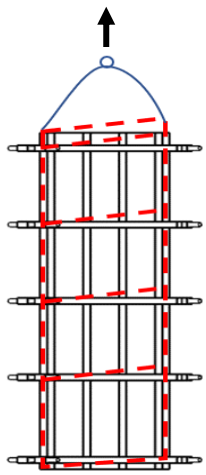
การพัฒนาแบบหล่อเสา

การพัฒนาแบบหล่อเสาในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาปัญหาต่าง ๆ ที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจากโครงการต่าง ๆ แล้วนำมาปรับปรุงและพัฒนาแบบหล่อเสา ที่สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถลดระยะเวลาติดตั้งแบบหล่อเสา โดยทั่วไปแบบหล่อเสาที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโครงเหล็กกรุด้วยไม้อัดเป็นผนังแบบหล่อทำให้มีขีดจำกัด สามารถใช้งานซ้ำได้ประมาณ 3 – 4 ครั้งเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีปัญหาการเสียรูปของแบบหล่อเสาที่เกิดขึ้นจากขบวนการติดตั้งแบบหล่อที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี และปัญหาจากแรงดันของคอนกรีตสดขณะเทลงในแบบหล่อแบ่งได้เป็น 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 6 กรณี ได้แก่

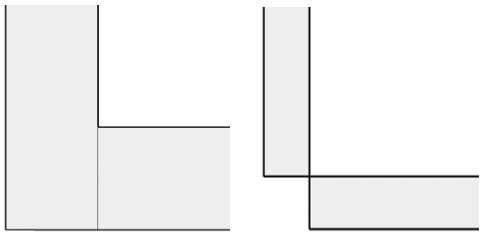
1) การเสียรูปเนื่องจากการยกเคลื่อนย้ายแบบหล่อด้วยทาวเวอร์เครน เนื่องจากแบบหล่อที่มีผนังไม้อัดยึดแน่นกับโครงเหล็กด้วยสกรูขันเกลียว ข้อเสียทำให้ความสามารถต้านทานแรงเฉือนลดลงจากเนื้อไม้อัดเสื่อมสภาพจากการใช้งาน และเกิดการเสียรูปทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปทรง แบบโย้เอียงตามแรงเฉือนในแนวดิ่งจากน้ำหนักตัวแบบเอง ดังภาพที่ 1 ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้แก้ไขโดยเปลี่ยนวัสดุจากไม้อัดเป็นแผ่นเหล็ก ซึ่งความหนาของแผ่นเหล็กสามารถคำนวณได้จากแรงดันต่อความยาวของเส้นรอบวง 1 หน่วยของแผ่นเหล็ก (P) และรัศมีความโค้งของแผ่นแบบหล่อ (r) และความหนาของแผ่นแบบหล่อ (t) คำนวณตามสมการ $\sigma = Pr / t$ [4,11] และผลจากการเปลี่ยนไม้อัดหนา 20 มิลลิเมตร เป็นแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร ยังสามารถเปลี่ยนวิธีการประกอบการเข้ามุมแบบไม้อัดที่มีลักษณะแบบทาบ ดังภาพที่ 2(ก) เป็นการเข้ามุมแบบต่อชนจะทำให้ต้นทุนการสร้างแบบหล่อลดลง เนื่องจากใช้เหล็กรัดรูปสั้นลงทุกทิศทางดังภาพที่ 2(ข) นอกจากนี้ยังเปลี่ยนระบบการประกอบชิ้นส่วนจาก 4 ชิ้นส่วน ดังภาพที่ 3(ก) เป็นแบบ 2 ชิ้นส่วน ที่มีลักษณะเป็นรูปตัวแอล ดังภาพที่ 3(ข)

2) การเสียรูปเนื่องจากการค้ำยันแบบหล่อ การค้ำยันอาจทำให้คานหรือตงเกิดการโก่งงอหรือการแอ่นตัวตามแนวแรงกระทำ และทำให้เกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปทรงแบบโย้เอียงจากแรงดึงหรือหรือแรงผลักขณะบังคับให้แบบหล่ออยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ดังภาพที่ 4 ปัญหาการเสียรูปเนื่องจากการค้ำยันแบบหล่อ เกิดจากสาเหตุจุดยึดประกอบแบบไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนหรือแรงอัดได้ จึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเปลี่ยนระบบการยึดแบบเดิมคือ การนำโครงเหล็กรัดรอบมาวางซ้อนทับแล้วยึดแน่นด้วยสกรูขันเกลียวหรือน็อต ดังภาพที่ 5(ก) หรือการยึดโดยการนำโครงเหล็กรัดรอบชนในระดับเดียวกันแล้วและยึดแน่นแท่งน็อตขนาดยาวหรือชุดอุปกรณ์ฟอร์มไท (Form tie) ดังภาพที่ 5(ข) โดยเปลี่ยนมาเป็นแบบจุดยึดที่ทำมุม 45 องศากับมุมฉากของแบบหล่อด้วยการสร้างปลอก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้สำหรับใส่แท่งเหล็กแจ็คเบสและยูเบส เนื่องจากในการทดสอบในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แจ็คเบสและยูเบส ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานติดตั้งนั่งร้านสำหรับทำแบบหล่อโครงสร้างพื้นอาคาร แทนแท่งเหล็กเกลียวขันแน่นดังภาพที่ 6

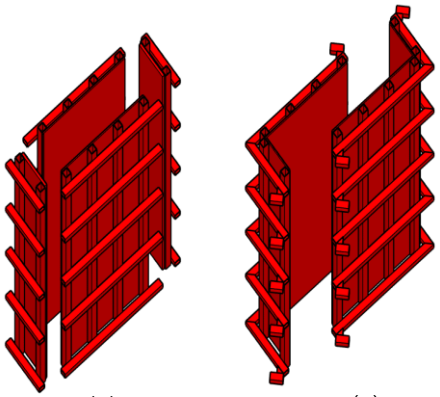


ภาพที่ 1 การเสียรูปของแบบหล่อ เนื่องจากการยกเคลื่อนย้ายแบบหล่อด้วยทาวเวอร์เครน



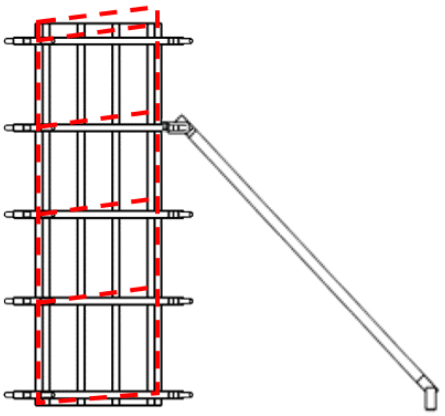
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 วิธีการประกอบมุมแบบของแบบหล่อ

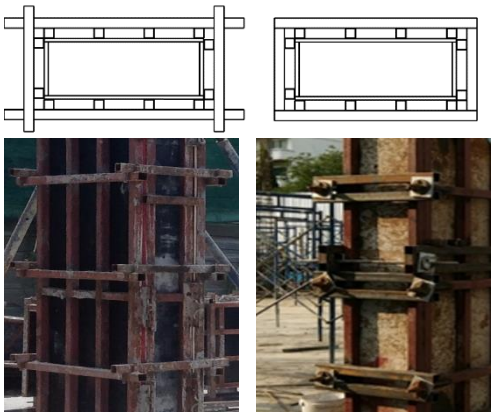


(ก) (ข)

ภาพที่ 3 การประกอบชิ้นส่วนของแบบหล่อ

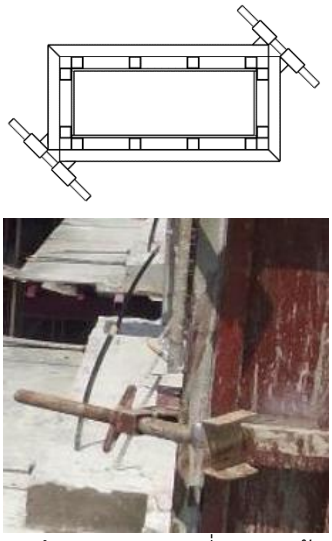


ภาพที่ 4 การเสียรูปเนื่องการดึงหรือดันแบบหล่อด้วยเสาค้ำยัน



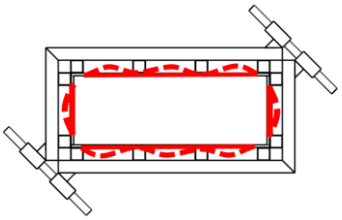
(ก) (ข)

ภาพที่ 5 จุดยึดประกอบแบบที่ไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนหรือแรงอัดได้



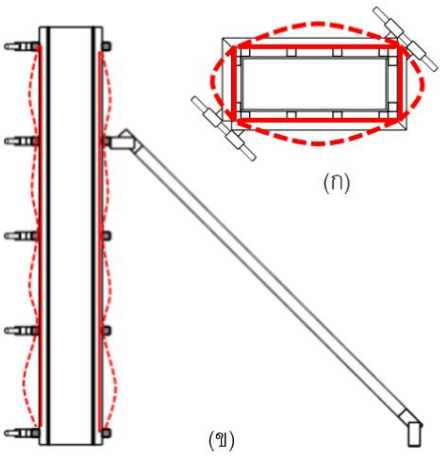
ภาพที่ 6 จุดยึดประกอบแบบที่สามารถต้านทานแรงเฉือนหรือแรงอัดได้

3) การเสียรูปเนื่องจากแรงดันของคอนกรีตสดจะทำให้แบบหล่อเกิดการโก่งงอ ซึ่งเป็นการเสียรูปที่ทำให้เกิดหลุมคลื่นที่ผิวของคอนกรีตหลังคอนกรีตแข็งตัว ส่งผลให้ขนาดเสาไม่เป็นไปตามต้องการดังภาพที่ 7 ซึ่งเป็นการเสียรูปเนื่องจากแผ่นไม้อัดเสื่อมสภาพหรือชำรุดจากการใช้งาน ผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนวัสดุจากแผ่นไม้อัดเป็นแผ่นเหล็ก นอกจากจะป้องกันการเสียรูปจากแรงดันคอนกรีตสดแล้ว ยังสามารถแก้ปัญหาการเสียรูปจากการยกเคลื่อนย้ายแบบหล่อด้วยทาวเวอร์เครนอีกด้วย



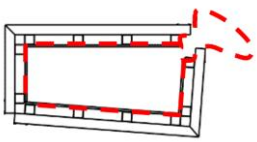
ภาพที่ 7 การเสียรูปเนื่องจากแรงดันของคอนกรีตสด

4) การเสียรูปเนื่องจากแรงดันของแผ่นแบบหล่อจนทำให้เหล็กรัดรอบ ดังภาพที่ 8(ก) และคานหรือตงดังภาพที่ 8(ข) เกิดการโก่งงอหรือการแอ่นตัวตามแนวแรงกระทำ ซึ่งเป็นการเสียรูปที่ทำให้เกิดการบวมกรณีเหล็กรัดรอบ หรือเกิดคลื่นขนาดใหญ่ตามแนวตั้งของเสาที่ผิวคอนกรีต หลังจากคอนกรีตแข็งตัว แต่ปัญหาเหล่านี้มักพบได้น้อย เนื่องจากแนวปฏิบัติทั่วไปหน้างานจะใช้ขนาดเหล็กรัดรอบ และคานหรือตงใหญ่กว่าที่ได้จากรายการคำนวณ



ภาพที่ 8 การเสียรูป (ก)เหล็กรัดรอบ (ข)คานหรือตง

5) การเสียรูปเนื่องจากแรงดันของคอนกรีตสดทำให้แบบหล่อเสาแตกบริเวณจุดยึดประกอบแบบ เนื่องจากความแข็งแรงของจุดยึดประกอบไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นการเสียรูปที่ทำให้ขนาดหน้าตัดเสาเปลี่ยนรูปทรงไม่เป็นไปตามขนาดที่ต้องการหลังคอนกรีตแข็งตัว ดังภาพที่ 9 ซึ่งกรณีที่ต้องสกัดคอนกรีตส่วนเกินออก แรงสั่นสะเทือนอาจส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวบริเวณคอนกรีตที่เชื่อมโยงกัน ส่งผลต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างคอนกรีตเป็นอย่างมาก ปัญหาการเสียรูปเนื่องจากแบบหล่อแตกบริเวณจุดยึดนี้ ผู้วิจัยได้แก้ไขโดยการเปลี่ยนเป็นจุดยึดแบบทำมุม 45 องศา ส่งผลให้แบบหล่อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และยังช่วยแก้ปัญหาการเสียรูปของแบบหล่อจากการยกเคลื่อนย้ายแบบหล่อด้วยทาวเวอร์เครนอีกด้วย



ภาพที่ 9 การเสียรูปเนื่องจากความแข็งแรงของจุดยึดประกอบไม่เพียงพอ

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานแบบหล่อเสา

แบบหล่อเสาที่พัฒนาขึ้นจะนำไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน ในโครงการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้น จำนวน 3 อาคาร จำนวนเสารวมทั้งสิ้น 144 ต้นต่อชั้น แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบหล่อที่สร้างจากเหล็กชั้นคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น มอก. 1228-2549 แบบหล่อที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 250 x 750 x 2800 มิลลิเมตร จำนวน 72 ต้น แบบหล่อประกอบด้วย แผ่นแบบหล่อเป็นแผ่นเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร ตัดขนาดเท่ากับขนาดเสาที่ต้องการ และคานหรือตงป้องกันแผ่นแบบหล่อเสียรูปใช้เหล็กกล่องสี่เหลี่ยมหรือเหล็กแป๊บโปร่ง (Square steel tube) ขนาด 25 x 25 x 3.2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1.93 กิโลกรัมต่อเมตร และเหล็กรัดรอบประกอบเป็นรูปตัวแอล โดยใช้เหล็กกล่องขนาด 50 x 50 x 3.2 มิลลิเมตร น้ำหนัก 4.50 กิโลกรัมต่อเมตร ดังภาพที่ 3(ข) และภาพที่ 10

ภาพที่ 10 แบบหล่อเสาที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพที่ 11 การค้ำยันแบบดันด้วยเสาเหล็กปรับเกลียว และดึงด้วยลวดสลิง

ระบบเสาค้ำยัน ที่ใช้ควบคู่กับแบบหล่อที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบดันด้วยเสาเหล็กปรับเกลียว และดึงด้วยลวดสลิง ดังภาพที่ 11 แต่อย่างไรก็ตามถ้าสามารถใช้เสาค้ำยันแบบที่มีความสามารถทั้งดึงและดันด้วยเสาเหล็กปรับเกลียวเพียงจุดเดียวแทนได้จะทำให้เกิดความสะดวกและติดตั้งได้รวดเร็วมากขึ้น

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการใช้แบบหล่อเสาที่พัฒนาขึ้นในโครงการก่อสร้างจริง พบว่า

1) สามารถลดจำนวนครั้งการยกแบบหล่อจาก 4 ครั้ง (4 ชิ้นส่วน) แสดงดังภาพที่ 3(ก) ให้เหลือเพียง 1 ครั้งด้วยทาวเวอร์เครน เนื่องจากสามารถประกอบแบบหล่อให้เป็นชุดเดียวกันก่อนยกโดยไม่เกิดการเสียรูปได้แสดงดังภาพที่ 1 และผลของการไม่เสียรูปของแบบหล่อจึงสามารถใช้เทคนิคการยกแบบหล่อที่ตำแหน่งแนวแกนสมมาตรให้แบบหล่อตั้งอยู่ในแนวดิ่งขณะยก ช่วยเพิ่มความสามารถการสวมแบบหล่อลงตำแหน่งที่ต้องการได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการประกอบแบบหล่อทีละชิ้นส่วนในตำแหน่งกำหนด

2) การเปลี่ยนแผ่นแบบหล่อจากไม้อัดเป็นแผ่นเหล็กสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรง สามารถป้องกันการบิดตัวหรือการเสียรูปของแบบหล่อ ทั้งในขั้นตอนการติดตั้ง การถอดแบบและการเคลื่อนย้ายแบบหล่อ [5] นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นแบบหล่อที่ทำด้วยไม้อัดสามารถใช้งานซ้ำได้ประมาณ 3 – 4 ครั้งเท่านั้น ต้องทำการเปลี่ยนแผ่นใหม่ ตรงกันข้ามกับแผ่นแบบหล่อที่ทำด้วยเหล็กสามารถใช้งานได้แบบไม่จำกัดจำนวนครั้ง แต่ต้นทุนการผลิตเริ่มต้นแบบหล่อที่ทำด้วยแผ่นเหล็กจะมีราคาแผ่นแพงกว่าประมาณ 2.5 เท่า ในทางกลับกันเมื่อมีการใช้งานซ้ำทุก ๆ 3 - 4 ครั้ง แบบหล่อที่ทำด้วยแผ่นไม้ต้องมีการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนแผ่นใหม่ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตในระยะยาวทำให้แผ่นแบบหล่อที่ทำด้วยเหล็กมีราคาต้นทุนที่ถูกกว่ามาก แสดงการวิเคราะห์ราคาต้นทุนแผ่นแบบหล่อดังตารางที่ 1

3) ชิ้นส่วนรับโมเมนต์ดัด ที่ประกอบไปด้วย คานหรือตง เหล็กรัดรอบ ใช้งานได้โดยไม่เกิดการบวมตัว โก่งงอหรือการแอ่นตัวตามแนวแรงกระทำ สามารถตรวจสอบขนาดของเสาได้หลังจากคอนกรีตแข็งตัวและแกะแบบหล่อแล้วเสร็จ แสดงดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 ผลงานเสาคอนกรีตที่ได้จากใช้แบบหล่อที่พัฒนาแล้ว

4) จุดยึดประกอบแบบหล่อที่เปลี่ยนเป็นแบบจุดยึดที่ทำมุม 45 องศา สามารถป้องกันการแตกของแบบหล่อ เพิ่มความแกร่งสามารถคงรูป ไม่เกิดการโย้ของแบบขณะเคลื่อนย้าย และสามารถขันเกลียวบังคับเพิ่มความสะดวกในการประกอบแบบเปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 5(ข) กับภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าขนาดแกนของเหล็กขันเกลียวใช้ขนาดใหญ่ขึ้นสามารถลดจำนวนจุดขันเกลียวจาก 4 จุดเหลือเพียง 2 จุดต่อเหล็กรัดรอบ 1 จุด ประกอบกับการเปลี่ยนเหล็กรัดรอบเป็นรูปตัวแอลทำให้ลดจำนวนชิ้นของแบบลดลงจาก 4 ชิ้นส่วน เป็นแบบ

2 ชิ้นส่วนแสดงดังภาพที่ 3 นอกจากนี้จุดยึดที่ทำมุม 45 องศายังสามารถลดความยาวของเหล็กขันเกลียวและเพิ่มความสามารถต้านทานแรงบิด แสดงดังภาพที่ 6 จากผลของจำนวนจุดยึดที่ลดลงทำให้ประกอบแบบได้รวดเร็วมากขึ้นและจุดสำคัญคือหลังการพัฒนาแบบหล่อให้คงรูปไม่เกิดการบิดงอทุกกรณีการใช้งาน สามารถลดจุดค้ำยันและจุดยึดด้านล่างแบบลงได้ ทำให้ต้นทุนการก่อสร้างลดลง เปรียบเทียบแบบหล่อที่ยังไม่ได้พัฒนากับแบบหล่อที่พัฒนาแล้ว ดังภาพที่ 13(ก) และภาพที่ 13(ข) ตามลำดับ การวิเคราะห์ต้นทุนจุดค้ำยันแสดงดังตารางที่ 2 เทคนิคการค้ำยันควรค้ำยันที่ตำแหน่งแนวกึ่งกลางของแบบแต่ละด้าน (จะทำให้เกิดแรงบิดกับแบบหล่อเสาเท่ากับศูนย์) ตำแหน่งที่ค้ำประมาณ 3/4 ของความสูงเสา ทำมุม 30 – 45 องศากับแนวดิ่งเสา จะลดต้นทุนทั้งขนาดและความยาวเสาค้ำยันลงได้ เนื่องจากค้ำยันทำมุมน้อยกว่า 30 องศาจะส่งผลให้เสถียรภาพการรับแรงด้านข้างของค้ำยันลดลง หรือมากกว่า 45 องศาจะส่งผลต่อความยาวและการโก่งเดาะของค้ำยันมากขึ้นเนื่องจากกลไกการถ่ายน้ำหนักของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีการออกแบบชิ้นส่วนค้ำยัน [1,3] แต่อย่างไรก็ตามกรณีพบแบบบิดให้ตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วน และขบวนการสร้าง เช่น ขนาดแผ่นไม่เท่ากัน ขนาดแผ่นไม่ได้ฉากประกอบเหล็กรัดรอบรูปตัวแอล ไม่ได้ฉาก หรือขนาดเหล็กรัดรอบรูปตัวแอลไม่เท่ากัน

5) อาคารที่ใช้แบบหล่อที่พัฒนาแล้วสามารถติดตั้งแบบหล่อเสาได้จำนวน 72 ต้นต่อจำนวนแรงงาน 25 คนต่อวัน ส่วนอาคารที่ใช้แบบหล่อแบบเดิมโดยใช้แรงงานชุดเดิมสามารถติดตั้งได้เพียงจำนวน 32 ต้นต่อวันเท่านั้น ในภาพรวมอาคารที่ใช้แบบหล่อที่พัฒนาขึ้น ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างเสาประมาณ 8 วันต่อชั้น ส่วนอาคารที่ใช้แบบหล่อเดิมในการก่อสร้างต้องใช้เวลาประมาณ 12 วันต่อชั้น การวิเคราะห์ราคาต้นทุนระยะเวลาทำงาน แสดงดังตารางที่ 3

(ก) (ข)

ภาพที่ 13 (ก)การติดตั้งแบบหล่อเสาที่พัฒนาแล้ว และ (ข)การติดตั้งแบบหล่อเสาที่ยังไม่ได้พัฒนา

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ราคาต้นทุนแผ่นแบบหล่อจำนวนใช้กับแบบหล่อ 72 ชุด

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท/หน่วย)	ค่าแรง (บาท/หน่วย)	รวมทั้งสิ้น (บาท)	หมายเหตุ
ไม้อัด หนา 20 มม.	113.4	ตร.ม.	320	80	45,360	เปลี่ยน 3 ครั้ง
	97	กก.	25	12	3,596	ส่วนต่างเหล็กรัดรอบ ขนาด50 x 50 x 3.2 มม.
แผ่นเหล็ก หนา 2 มม.	37.8	ตร.ม.	580	200	29,484	กรณีขายเป็นเศษเหล็กหลังจบงานได้ ตร.ม. ละ 170 บาท เป็นเงิน 6,426 บาท

หมายเหตุ: สามารถลดต้นทุนได้ (45,360 + 3,596 – 29,484 + 6,426) = 25,898 บาท

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ราคาต้นทุนจุดค้ำยันใช้กับแบบหล่อ 72 ชุด

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท/ชุด)	ค่าแรง (บาท)	รวมทั้งสิ้น (บาท)	หมายเหตุ
เสาค้ำยันแบบหล่อไม้อัด	216	ชุด	850	0	183,600	
ต้นทุนค่าติดตั้งแบบหล่อ	144	ชุด		315,000*	315,000	ติดตั้ง 8 ชั้น
เสาค้ำยันแบบหล่อเหล็ก	144	ชุด	850	0	122,400	
ต้นทุนค่าติดตั้งแบบหล่อ	144	ชุด		140,000*	140,000	ติดตั้ง 8 ชั้น

หมายเหตุ: สามารถลดต้นทุนได้ (183,600 + 315,000 – 122,400 – 140,000) = 236,200 บาท

*ต้นทุนค่าติดตั้งแบบหล่อ = จำนวนวันที่ใช้ติดตั้ง x จำนวนคนที่ใช้ติดตั้งต่อวัน x ค่าแรงฉลี่ยต่อวันต่อคน x จำนวนชั้นที่ติดตั้ง

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ราคาต้นทุนระยะเวลาทำงานได้เร็วขึ้น 4 วันต่อชั้น รวมระยะเวลาที่ทำงานได้เร็วขึ้น 32 วัน มีจำนวนแรงงานทำงานในโครงการวิจัยนี้เฉพาะส่วนงานของโครงสร้างโดยเฉลี่ย 30 คนต่ออาคารต่อวันรวม 3 อาคารประมาณ 90 คนต่อวัน ค่าแรงเฉลี่ย 350 บาทต่อคนต่อวัน

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)	รวมทั้งสิ้น (บาท)	หมายเหตุ
รายจ่ายประจำ	32	วัน	0	31,500	1,008,000	

หมายเหตุ: สามารถลดต้นทุนได้จากรายจ่ายประจำ = 1,008,000 บาท

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการพัฒนาแบบหล่อเสาและเทคนิคการติดตั้งแบบหล่อเสาหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดใหญ่ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 8 ชั้นจำนวน 3 อาคาร ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า แบบหล่อที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงไม่เกิดการเสียรูปขณะใช้งานทั้งการยกด้วยทาวเวอร์เครนและการเทคอนกรีต สามารถประกอบแบบหล่อแล้วยกสวมลงให้เหล็กเสริมของเสาได้โดยไม่เสียรูป ทำให้ทำงานได้รวดเร็ว สามารถลดจำนวนจุดค้ำยันทั้งด้านสั้นและยาวให้เหลือเพียงด้านละหนึ่งจุด ส่งผลให้การติดตั้งแบบหล่อได้รวดเร็วเพิ่มขึ้นจากจำนวน 32 ต้นต่อวัน เป็น 72 ต้นต่อวันต่อจำนวนแรงงาน 25 คน หรือติดตั้งแบบหล่อเร็วขึ้นกว่าการใช้แบบหล่อเดิม 2.25 เท่า ผิวของคอนกรีตเรียบสม่ำเสมอ เมื่อนำแบบหล่อที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการก่อสร้างจริง ช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในส่วนของการติดตั้งแบบหล่อจาก 12 วันต่อชั้น เหลือเพียง 8 วันต่อชั้น หรือลดระยะเวลาได้ถึงร้อยละ 33 และสามารถลดต้นทุนด้านแบบหล่อ จุดค้ำยันและด้านแรงงานได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย

6. อ้างอิง

[1] เอกสิทธ์ลิ้มสุวรรณ. แบบหล่อคอนกรีต. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาลัย; 2546.

[2] Yip R, Poon CS. Comparison of timber and metal formwork systems. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management. 2008; 161(1):29-36.

[3] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ. กรุงเทพฯ: สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง; 2558

[4] Schipper H. Double-curved precast concrete elements. Research into technical viability of the flexible mould method; 2015

[5] Peurifoy LR, Oberlender DG. Formwork for Concrete Structures 4th edition. The McGraw-Hill Companies; 2011

[6] Ko CH, Kuo JD. Making formwork design lean. Journal of Engineering Project and Production Management. 2019; 9(1):29-47.

[7] Brózda K, Selejdak J. Safety of Formworks in the Engineering and General Construction Sector. System Safety: Human-Technical Facility-Environment. 2019; 1(1): 284-90.

[8] Rajeshkumar V, Anandaraj S, Kavinkumar V, et al. Analysis of factors influencing formwork material selection in construction buildings. Materials Today: Proceedings;2020.

[9] Arumsari P, Xavier C. Cost and time analysis on the selection of formwork installation method. E&ES. 2020; 426(1): 12-42.

[10] Hyun C, Jin C, Shen Z, et al. Automated optimization of formwork design through spatial analysis in building information modeling. Automation in Construction. 2018; 95(1):193-205.

[11] Jean-Claude L. Formwork Pressures by Self-Compacting Concrete. Stellenbosch University. 2018:13-42

[12] Giammatteo MM, Gregori A, Totani G. In - situ measurement of formwork pressures generated by Self-Compacting Concrete. WIT Transactions on Modelling and Simulation. 2007; 46(1):851-860.

[13] Yaser G, Jonny N, Mats E, et al. Lateral Formwork Pressure for Self-Compacting Concrete—A Review of Prediction Models and Monitoring Technologies. MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affil-iation. 2021; 14(1): 1-18.

[14] Robert LP, Garold DO. Pressure of Concrete on Formwork. Formwork for Concrete Structures. 2011:7-148.

[15] Ciribini A, Tramajoni M. High-Rise Towers an Integrated Approach between Climbing Formworks and Stationary Booms 18th. CIB World Building Congress Salford UK;2010