

พฤติกรรมการรับกำลังของชิ้นส่วนคานหน้าตัดประกอบรูปตัวที STRENGTH BEHAVIORS OF T-SHAPED COMPOSITE BEAM SECTIONS

นันทชัย ชูศิลป์¹ พงศ์ศักดิ์ สุขมณี² และ ทาวร เกื้อสกุล³

^{1,2,3}อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อ่าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000,

¹nuntachai.c@rmutsv.ac.th, ²pongsak.s@rmutsv.ac.th and ³tavorn.k@rmutsv.ac.th

Nuntachai Chusilp¹, Pongsak Sookmanee² and Tavorn Kuasakul³

^{1,2,3}Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Srivijaya,

1 Ratchadamnoennok Rd., Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand,

¹nuntachai.c@rmutsv.ac.th, ²pongsak.s@rmutsv.ac.th and ³tavorn.k@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังของชิ้นส่วนประกอบสำเร็จรูปคาน-พื้นด้วยวัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็ก และพัฒนาชิ้นส่วนให้เหมาะสมกับการก่อสร้างยี่งขึ้น โดยตัวอย่างเป็นคานรูปตัวทีประกอบจากไม้ยางนาและคอนกรีตเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 คานตัวทีคอนกรีตเสริมเหล็ก (TB-RC) รูปแบบที่ 2 คานตัวทีวัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อตอกตะปู (TB-C-N) รูปแบบที่ 3 คานตัวทีวัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อเชาะร่องตอกตะปู (TB-C-GN) และรูปแบบที่ 4 คานตัวทีวัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อเชาะร่องตอกวงแหวน (TB-C-GR) การทดสอบกระทำภายในห้องปฏิบัติการโดยทดสอบการดัดของคานรูปตัวทีด้วยการทดสอบแบบ 4 จุด เปรียบเทียบผลกับคานตัวทีคอนกรีตเสริมเหล็ก ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพกำลังต้านทานโมเมนต์เทียบกับ TB-RC ที่ระยะการแอนตัวที่ $L/240$ (10 มิลลิเมตร) เท่ากับร้อยละ 6.20, 31.79 และ 42.47 และที่ระยะการแอนตัวที่ $L/120$ (20 มิลลิเมตร) เท่ากับร้อยละ 28.87, 51.76 และ 86.76 สำหรับคาน TB-C-N TB-C-GN และ TB-C-GR ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง TB-C-GN และ TB-C-GR และสูงกว่า TB-C-N หลายเท่า และยังพบว่าค่าความเครียดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าตัดคานตลอดทั้งความลึกยังคงเป็นเส้นตรงทั้งก่อนและหลังการรับแรง

คำสำคัญ: ชิ้นส่วนประกอบ, คาน-พื้น, ไม้ยางนา, คอนกรีตเสริมเหล็ก, กำลังต้านทานโมเมนต์

ABSTRACT

The objective of this research was to examine the strength characteristics of prefabricated beam-floor components constructed using composite materials that combine wood and reinforced concrete. Furthermore, the aim was to enhance these components to make them more suitable for construction purposes. There are four styles of T-beam composite materials combining wood and reinforced concrete: Style 1 is the reinforced concrete T-beam(TB-RC), Style 2 is the T-beam composite material (TB-C-N) with wood and reinforced concrete connected using nail, Style 3 is the T-beam composite material (TB-C-GN) with wood and reinforced concrete connected using nail grooving, and Style 4 is the T-beam composite material (TB-C-GR) with wood and reinforced concrete connected at the ring grooving joint. The laboratory conducted a test on T-beams to assess their bending behavior using 4-point test. The objective was to compare the results with reinforced concrete T-beams (TB-RC). The findings indicated that the moment-resistance efficiency, when compared to TB-RC, was 6.20, 31.79, and 42.47 at the L/240 bending distance (10 mm), and 28.87, 51.76, and 86.76 at the L/120 bending distance (20 mm) for TB-C-N beams, TB-C-GN, and TB-C-GR, respectively. The moment-resistance efficiencies were roughly similar between TB-C-GN and TB-C-GR but significantly higher than TB-C-N. Additionally, it was observed that the strain values across the entire depth of the beam cross-section remained linear both before and after loading at various locations.

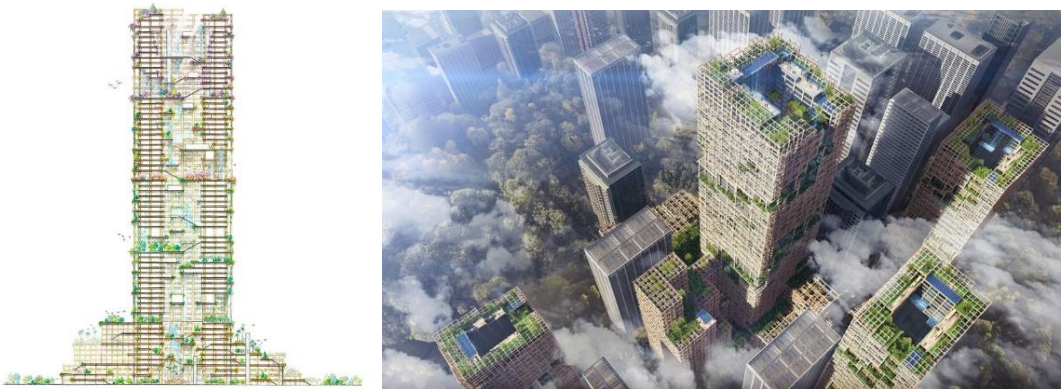
KEYWORDS: component parts, beams – floors, rubber wood, reinforced concrete and moment resistance

1. บทนำ

จากรายงานของศูนย์วิจัยกรุงศรี [1] ระบุว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างในช่วงปี พ.ศ. 2552-2562 มีมูลค่าการลงทุนก่อสร้างโดยรวมมีสัดส่วนเฉลี่ย 8.1% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างในประเทศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะผู้ว่าจ้าง ได้แก่ งานภาครัฐและเอกชน โดยมีร้อยละของสัดส่วนของมูลค่าการลงทุนอยู่ที่ 56:44 ในปี พ.ศ. 2562 หรือคิดเป็นมูลค่าเงิน 700,900 ล้านบาท : 550,700 ล้านบาท ซึ่งพบว่ามีมูลค่าค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีการใช้บุคลากรที่อยู่ในระบบจำนวนมากในการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานของประเทศที่แสดงถึงคุณภาพชีวิตของประชาชนในประเทศ และยังแสดงออกถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี

การก่อสร้างของประเทศนั้นด้วย เช่น อาคารสูง ตึกระฟ้า ศูนย์ประชุม ศูนย์กีฬา ศูนย์แสดงสินค้า อาคารสมัยใหม่ เป็นต้น

จากแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนหรือ Sustainable Development Goal, SDG ทำให้หลายประเทศมุ่งความสนใจในการพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างอย่างยั่งยืนและต่อเนื่องมากขึ้น ดังเช่นในประเทศญี่ปุ่น บริษัท Sumitomo ได้เสนอนวัตกรรมการก่อสร้างอาคารสูง 350 เมตร [2] โดยใช้โครงสร้างไม้ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งคาดว่าจะสร้างเสร็จในปี ค.ศ. 2041 สำหรับประเทศแถบยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย ก็ปรากฏว่ามีแนวความคิดในการนำไม้ประกอบมาใช้กับอุตสาหกรรมก่อสร้างมากขึ้น เทคโนโลยีวัสดุที่นำมาพัฒนานี้เรียกว่า Timber-Concrete Composite, TCC ดังรูปที่ 2 ซึ่งการใช้ไม้ประกอบกับอาคารส่งผลให้อาคารมีความอบอุ่น ผิวนุ่มนวล ให้ความรู้สึกใกล้ชิดกับธรรมชาติ กระบวนการผลิตมีความสะอาด ให้เสียงรบกวนน้อย เมื่อเทียบกับการก่อสร้างแบบดั้งเดิม เนื่องจากใช้ระบบการผลิตแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนำมาประกอบที่หน้างานก่อสร้างจึงใช้แรงงานคนน้อยกว่าสามารถก่อสร้างได้ในเวลารวดเร็ว ปัจจุบันการก่อสร้างในรูปแบบนี้กำลังอยู่ในขั้นการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง โดยมีงานวิจัยที่นำเสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ เช่น การนำ TCC มาประยุกต์ในงานคาน พื้น และสะพาน ในช่วงปี ค.ศ. 2008 - 2019 [3-7] และได้มีการกำหนดมาตรฐานออกแบบการใช้ TCC สำหรับกลุ่มประเทศยุโรปในปี ค.ศ. 2018 [8] เป็นต้น ทีมนักวิจัยจึงเห็นว่าจะพัฒนาเทคโนโลยีนี้เพื่อมาตอบโจทย์ในมิติต่าง ๆ ให้กับแวดวงอุตสาหกรรมก่อสร้างได้



รูปที่ 1 แผนภาพอาคารสูงระฟ้าทำด้วยไม้ประกอบของบริษัท Sumitomo [2]



รูปที่ 2 ชั้นส่วนสำเร็จรูปประกอบอาคารที่ทำด้วยไม้ประกอบ [3]

เพื่อให้การพัฒนาวัสดุในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างเท่าเทียมกับต่างประเทศซึ่งต้องปรับตัวให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นต้องเร่งการพัฒนาในส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น โดยใช้ทักษะความรู้ ความสามารถ และวัสดุที่มีในประเทศเพื่อสร้างเป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เป็นของประเทศเองโดยไม่ต้องซื้อลิขสิทธิ์หรือเทคโนโลยีจากต่างประเทศที่นับวันจะมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการสูญเสียทรัพยากรของประเทศไปโดยเปล่าประโยชน์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาชิ้นส่วนประกอบสำเร็จรูปคาน-พื้นด้วยวัสดุผสมร่วมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กผ่านการศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังของชิ้นส่วนคานหน้าตัดตัวที่ซึ่งประกอบจากคานไม้และพื้นคอนกรีต โดยใช้ความสามารถของวัสดุที่มีในท้องถิ่นมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ไม้แปรรูปในท้องถิ่น คอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุเหลือทิ้ง เป็นการพัฒนาวัสดุสำหรับงานก่อสร้างอาคารสมัยใหม่ เพื่อสร้างสรรค์วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

2. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และน้ำโดยอาจจะมีการเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่า การไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่า คอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากที่ผสมและยังแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัวโดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ คุณสมบัติหลักของคอนกรีต คือ การรับแรงอัดสูงในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณ 10% ของแรงอัด)

คอนกรีตในการศึกษามีกำลังรับแรงอัดประลัยอยู่ในช่วง 80-150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1201-50 ถึง มยผ.1212-50 [9] มาตรฐานการทดสอบวัสดุในงานคอนกรีตและศึกษาหาประสิทธิภาพของคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1501-51 ถึง 1502-51 [10]

2.2 ไม้

ไม้เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยโครงสร้างเนื้อไม้มีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีรูปร่างเป็นหลอดรูกลวง จำนวนมากเรียงชิดติดกันทางแนวยาว เนื้อไม้ประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 60% ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของผนังเส้นไม้ ลิกนิน (Lignin) ประมาณ 28% ทำหน้าที่เป็นตัวประสานเส้นไม้ให้เข้าด้วยกัน นอกเหนือจากนั้นเป็นส่วนประกอบของสารอื่น ๆ กำลังต้านกลสมบัติของไม้ขึ้นอยู่กับขนาดของสัดส่วนทางความหนาของผนังเส้นไม้มากกว่าสัดส่วนทางความยาวของเส้นไม้

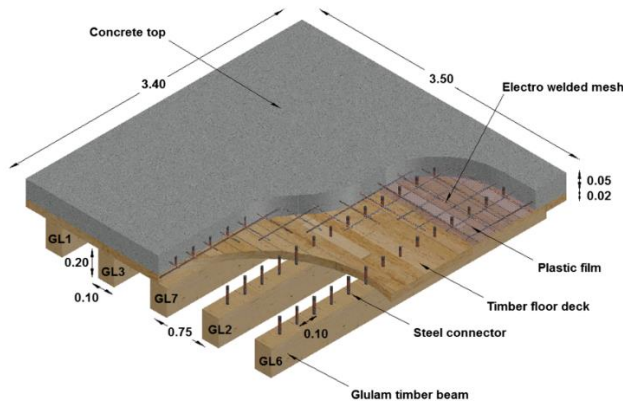
ไม้แปรรูปในการประกอบคาน คือไม้ยางนา โดยจะทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของไม้ตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1221-51 ถึง 1227-51 [11] และมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) [12] สำหรับการแบ่งประเภทของไม้ ซึ่งแบ่งชนิดไม้ไว้ 5 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งประเภทของไม้ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) [12]

ประเภทของไม้	หน่วยแรงดัดหรือแรงดึง ขนานเส้น (N/mm ²)	โมดูลัส ความ ยืดหยุ่น (N/mm ²)	หน่วยแรงอัด		หน่วยแรง เฉือนขนาน เส้น (N/mm ²)
			ขนานเส้น (N/mm ²)	ตั้งฉากเส้น (N/mm ²)	
ไม้เนื้ออ่อนมาก	6	7,890	4.5	1.2	0.6
ไม้เนื้ออ่อน	8	9,410	6.0	1.6	0.8
ไม้เนื้อปานกลาง	10	11,230	7.5	2.2	1.0
ไม้เนื้อแข็ง	12	13,630	9.0	3.0	1.2
ไม้เนื้อแข็งมาก	15	18,900	11.0	4.0	1.5

2.3 คาน-พื้น วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีต

ระบบคานไม้-พื้นคอนกรีต หรือ Timber Concrete Composite Floor (TCC) เป็นระบบโครงสร้างพื้นชนิดหนึ่งซึ่งเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นเนื่องจากการนำความสามารถของวัสดุสองชนิดมาใช้งานร่วมกัน โดยคอนกรีตใช้รับกำลังอัดส่วนไม้ประกอบใช้รับกำลังดึง โดยระบบพื้นชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบผลิตที่หน้างานก่อสร้างหรือผลิตสำเร็จมาจากโรงงานแล้วขนย้ายมาติดตั้งที่หน้างานก่อสร้างก็ได้ ลักษณะของระบบพื้นชนิดนี้แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แนวคิดการออกแบบโครงสร้างประกอบคานไม้-พื้นคอนกรีต (Timber Concrete Composite Floor; TCC) [13]

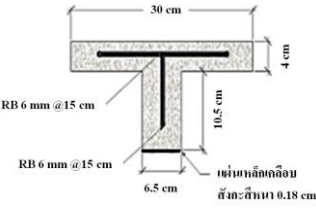
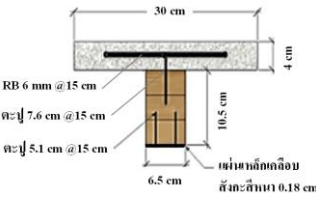
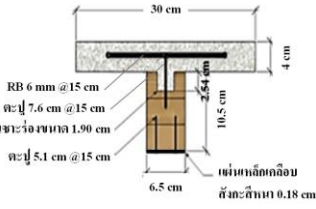
โดยระบบคานไม้-พื้นคอนกรีต ชนิดนี้ส่วนบนที่เป็นคอนกรีตจะสามารถเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ใช้งานรวมถึงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตได้ด้วยซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้งานที่เหมาะสมได้ ส่วนล่างซึ่งเป็นไม้ สามารถใช้เป็นคานไม้ตันหรือคานไม้ประกอบอัดทากก็ได้ หรือปรับไปใช้ตงไม้รูปตัวไอ (I-Joint) หรือเป็นคานรูปตัวทีแบบเดี่ยว ๆ หรือการใช้เป็นระบบคานคู่

3. ตัวอย่างในการวิจัย

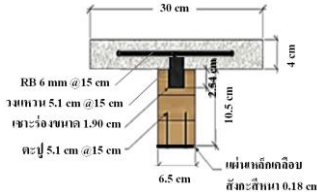
คานทดสอบมีขนาดความยาว 2.40 เมตร ความลึก 0.15 เมตร ความกว้างปีก 0.30 เมตร ส่วนล่างของคานประกอบจากชั้นไม้ขนาดกว้าง 0.075 เมตร หนา 0.033 เมตร นำมาวางเรียงซ้อนกัน 3 ชั้นเพื่อให้ได้ความหนา 0.10 เมตร การยัดระหว่างไม้ชั้นไม้จะใช้กาวผงพอร์มาดีไฮเป็นวัสดุยึดประสาน ด้านล่างของชั้นไม้แผ่นล่างจะเสริมด้วยแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา 1.80 มิลลิเมตร เพื่อใช้เพื่อกำลังรับแรงดึง ส่วนผิวด้านบนจะเป็นพื้นคอนกรีตกว้าง 0.30 เมตร หนา 0.05 เมตร

โดยระหว่างชั้นรอยต่อของไม้และคอนกรีตพื้นจะเสริมด้วยอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจำนวน 3 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

รูปหน้าตัดของตัวอย่าง	รายละเอียด	สัญลักษณ์
 <p>RB 6 mm @15 cm RB 6 mm @15 cm 30 cm 4 cm 10.5 cm 6.5 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.18 ซม.</p>	<p>คานคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดรูปตัวที ตลอดทั้งความยาวคาน เสริมด้วยเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เชื่อมยึดแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีกับผิวคอนกรีตด้วยกาว (คานตัวที่คอนกรีตเสริมเหล็ก)</p>	<p>TB-RC</p>
 <p>RB 6 mm @15 cm ตะปู 7.6 ซม @15 ซม ตะปู 5.1 ซม @15 ซม 30 cm 4 cm 10.5 cm 6.5 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.18 ซม.</p>	<p>คานหน้าตัดตัวที ส่วนปีกเป็นคอนกรีต ส่วนเอวเป็นไม้ 3 ท่อนประกบกัน ระหว่างปีกกับเอวยึดด้วยตะปูขนาด 3 นิ้ว ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ยึดแผ่นเหล็กสังกะสีกับท้องคานไม้ด้วยตะปูขนาด 2 นิ้ว ตอกห่างจากขอบคานระยะ 1.5 เซนติเมตร (คานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อตอกตะปู)</p>	<p>TB-C-N</p>
 <p>RB 6 mm @15 cm ตะปู 7.6 ซม @15 ซม เจาะร่องขนาด 1.90 ซม ตะปู 5.1 ซม @15 ซม 30 cm 4 cm 10.5 cm 6.5 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.18 ซม.</p>	<p>คานหน้าตัดตัวที ส่วนปีกเป็นคอนกรีต ส่วนเอวเป็นไม้ 3 ท่อนประกบกัน ท่อนบนเจาะร่องลึก 1.9 x 2.54 เซนติเมตร ระหว่างปีกกับเอวยึดด้วยตะปูขนาด 3 นิ้ว ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ยึดแผ่นเหล็กสังกะสีกับท้องคานไม้ด้วยตะปูขนาด 2 นิ้ว ตอกห่างจากขอบคานระยะ 1.5 เซนติเมตร (คานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อเจาะร่องตอกตะปู)</p>	<p>TB-C-GN</p>

ตารางที่ 2 รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

รูปหน้าตัดของตัวอย่าง	รายละเอียด	สัญลักษณ์
 <p>RB 6 mm @ 15 cm วมทวย 5.1 cm @ 15 cm หนาอง วมทวย 1.90 cm ตะปู 5.1 cm @ 15 cm หนาเหล็กเคลือบ สังกะสีหนา 0.18 cm</p>	<p>คานหน้าตัดตัวที่ ส่วนปีกเป็นคอนกรีต ส่วนเอวเป็นไม้ 3 ท่อนประกบกัน ท่อนบนเซาะร่องลึก 1.9 x 2.54 เซนติเมตร ระหว่างปีกกับเอวยึดด้วยวงแหวนขนาด 2 นิ้ว ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ยึดแผ่นเหล็กสังกะสีกับท้องคานไม้ด้วยตะปูขนาด 2 นิ้ว ตอกห่างจากขอบคานระยะ 1.5 เซนติเมตร (คานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจูดต่อเซาะร่องตอกวงแหวน)</p>	TB-C-GR

4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทดสอบกระทำภายในห้องปฏิบัติการทดสอบโครงสร้าง สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ของการทดสอบและการดำเนินการอยู่ 3 ขั้นตอนด้วยกัน ดังนี้

4.1 การทดสอบวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

การทดสอบวัสดุที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ไม้แปรรูป คอนกรีต เหล็กเสริม และอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว เพื่อต้องการทราบถึงสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของวัสดุก่อนการประกอบเป็นคานที่ใช้ในการศึกษา โดยเบื้องต้นได้ทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงของเหล็กเคลือบสังกะสี ดังรูปที่ 4 และดำเนินการหาประสิทธิภาพของไม้ขนาดตามมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ.1221-51 ถึง 1227-51 [11] โดยการทดสอบประกอบด้วย การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ การหาค่าปริมาตรความชื้น การทดสอบแรงอัดในแนวตั้งฉากเสี้ยน แรงอัดในแนวขนานเสี้ยน การทดสอบแรงดัด และการทดสอบแรงเฉือนในแนวขนานเสี้ยน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงของเหล็กเคลือบสังกะสี



รูปที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของไม้ยางนาในห้องปฏิบัติการ

ในรูปที่ 5 การทดสอบ (1) แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (2) แรงอัดขนานเสี้ยน (3) การหาค่าความถ่วงจำเพาะและความชื้น (4) แรงเฉือนขนานเสี้ยน และ (5) การทดสอบแรงดัด

4.2 การหล่อชิ้นส่วน และประกอบคานสำเร็จรูปหน้าตัดตัวที่

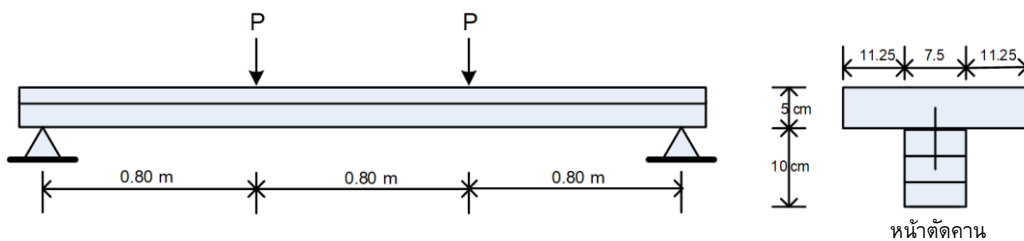
ภายหลังทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ดังรูปที่ 4 และ 5 จะดำเนินการหล่อชิ้นส่วนคาน-พื้นสำเร็จรูปหน้าตัดรูปตัวที ขนาดของหน้าตัดคาน-พื้นสำเร็จรูปหน้าตัดตัวที ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยมีการเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตขนาด $0.15 \times 0.15 \times 0.15$ เซนติเมตร เพื่อทดสอบกำลังอัด ซึ่งคอนกรีตที่ใช้หล่อคานมีกำลังเฉลี่ย 75.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเป็นการเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมากนักเพื่อให้กำลังรับแรงทั้งในส่วนปีกซึ่งเป็นคอนกรีตและส่วนเอวซึ่งเป็นไม้ประกอบมีพฤติกรรมในการยึดหดตัวตลอดหน้าตัดที่สอดคล้องกัน การเตรียมผลิตชิ้นงานสำหรับทดสอบโดยการเทคอนกรีตในส่วนปีกของคานและการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต แสดงในรูปที่ 6



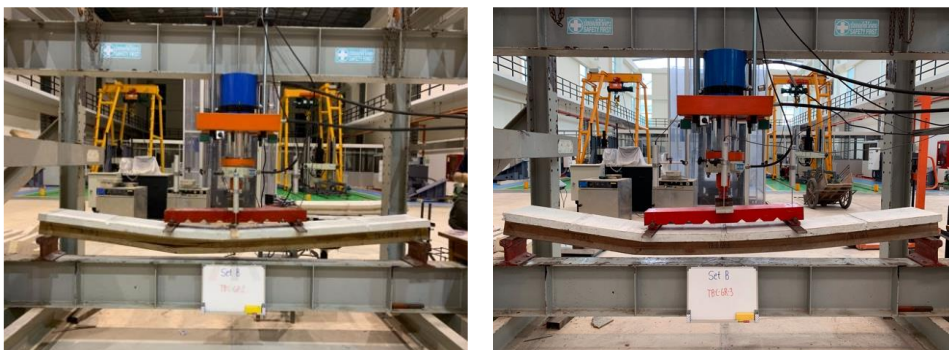
รูปที่ 6 ชั้นส่วนคาน-พื้นสำเร็จรูปสำหรับการทดสอบ

4.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคาน

การทดสอบทำภายในห้องปฏิบัติการ ด้วยเครื่องมือทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานตัวอย่างด้วยการจัดวางการรับแรงกระทำแบบคานที่มีที่รองรับอย่างง่าย (Simply Supported Beam) และทำการทดสอบแบบ 4 จุด (Four Point Bending Test) ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ตัวอย่างคานที่ถูกทดสอบจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดค่าการโก่งตัว (LVDT) และการยืดหดตัว (Strain Gauges) และคานจะถูกทำการทดสอบด้วยการเพิ่มแรงกระทำขึ้น จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติ และนำผลที่บันทึกพร้อมทั้งพฤติกรรมการรับแรงกระทำของคานตัวอย่างไปวิเคราะห์ผลต่อไป โดยรูปที่ 8 แสดงการทดสอบคานในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 7 การทดสอบแบบ 4 จุด (Four Point Bending Test)

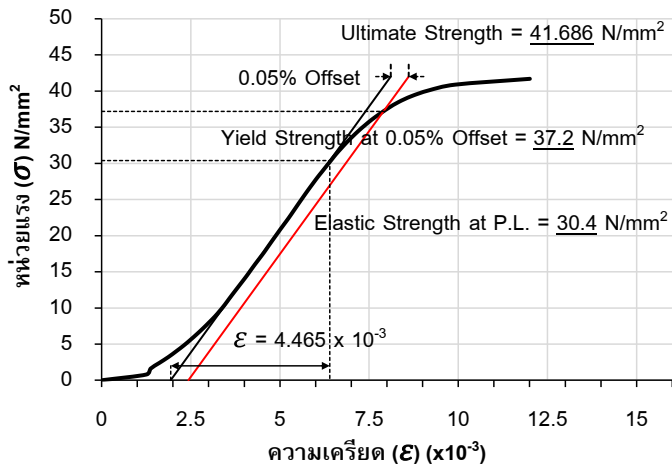


รูปที่ 8 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานในห้องปฏิบัติการ

5. ผลการดำเนินการ และอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางนา

ก่อนที่จะประกอบเป็นคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยคุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบจะเป็นแหล่งข้อมูลในการวิเคราะห์ ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของไม้ยางนาได้แสดงตัวอย่างบางส่วนของความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 9 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 3



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของไม้ยางนา

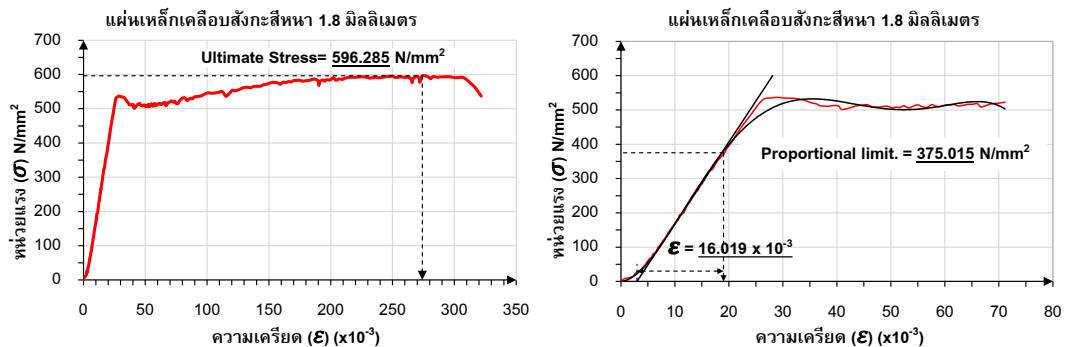
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของไม้ยางนาเทียบกับมาตรฐาน วสท. 1002-16

Description	Testing	EIT Standard [12]
Natural Specific Gravity	0.66	0.70
Unit of Weigh (kg/m ³)	664	690
Flexural or Tension Stress Perpendicular to Grain(N/mm ²)	49.7	61.2
Modulus of Elasticity (N/mm ²)	10,967	8,993
Compression Stress Parallel to Grain (N/mm ²)	28.4	31.2
Compression Stress Perpendicular to Grain (N/mm ²)	6.0	6.5
Shear Parallel to Grain (N/mm ²)	9.5	16.1

ในตารางที่ 3 เป็นผลการทดสอบคุณสมบัติไม้ยางนาตามมาตรฐานโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) และมีการเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของไม้ยางนาตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) พบว่า ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก หน่วยแรงอัดขนานเสี้ยน และตั้งฉากเสี้ยนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่มีค่าของหน่วยแรงตัดหรือหน่วยแรงดึงขนานเสี้ยน และหน่วยแรงเฉือนขนานเสี้ยน ที่มีค่าต่ำกว่าไม้ยางอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้ยางนาในมาตรฐาน วสท. ถูกจัดประเภทของไม้ตามมาตรฐาน วสท. ดังตารางที่ 1 ว่าเป็นไม้กลุ่มไม้เนื้ออ่อนมาก โดยคุณสมบัติของไม้ยางนาสามารถนำไปวิเคราะห์กับการทดสอบคานประกอบต่อไป

5.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี

จากการทดสอบกลสมบัติของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา 1.80 มิลลิเมตร นำผลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียด และวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ได้แก่ Proportional Limit, Tensile Strength และ Modulus of Elasticity ดังตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 10 และผลการทดสอบในตารางที่ 4



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา

No.	Description	Specimen	Specimen	Specimen	Average
		NO.1	NO.2	NO.3	
1	Proportional Limit (N/mm ²)	333.12	323.39	375.01	343.84
2	Tensile Strength (N/mm ²)	547.49	532.52	596.28	549.77
3	Modulus of Elasticity (N/mm ²)	20,850.03	21,044.77	23,410.64	21,768.48

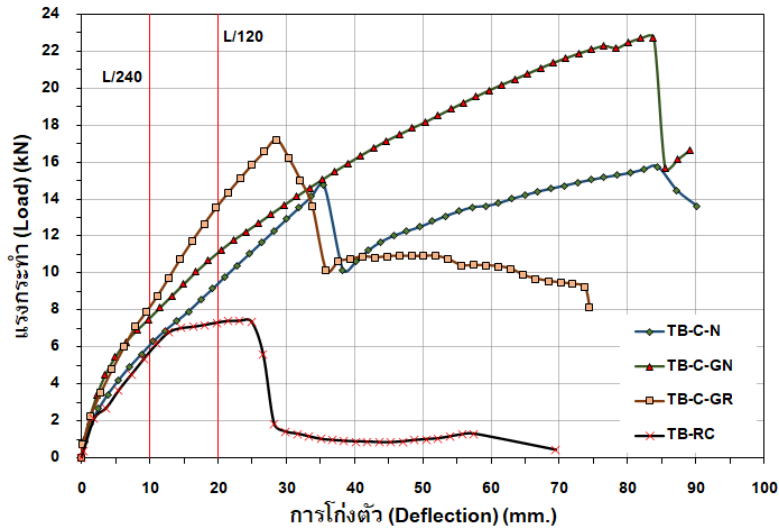
จากรูปที่ 10 แสดงพฤติกรรมความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงกับความเครียดตั้งแต่ช่วงโมดูลัสยืดหยุ่นจนถึงจุดครากและเกิดการวิบัติซึ่งความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันนี้สามารถวิเคราะห์ประเมินความแข็งแรงของชิ้นส่วนวัสดุที่มีการเสริมกำลังด้วยเหล็กเคลือบสังกะสีดังกล่าวนี้ในแต่ละช่วงได้ และผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดึงของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21,768.48 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จะสอดคล้องกับการนำไปใช้วิเคราะห์ เนื่องจากการเสริมกำลังของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีในชิ้นส่วนคาน พฤติกรรมจะเกิดแรงดึงกับแผ่นเหล็ก ทำให้ความถูกต้องในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับ การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีดังกล่าวนี้ร่วมด้วย

5.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคานหน้าตัดรูปตัวที

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกอนคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้หล่อคานขนาด 2.40 เมตร พบว่าคอนกรีตที่ใช้หล่อคานมีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 75.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยการเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดที่ไม่สูงมากนักเพื่อให้กำลังรับแรงทั้งในส่วนปีกซึ่งเป็นคอนกรีตและส่วนเอวซึ่งเป็นไม้ประกอบมีพฤติกรรมในการยึดหดตัวตลอดหน้าตัดที่สอดคล้องกัน โดยผลการทดสอบคานประกอบแสดงตามลำดับ ดังนี้

5.3.1 แรงกระทำและการโก่งตัว

ผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 8 สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 11 คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำ (Load) และระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน (Midspan Deflection) ของคาน ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคานเท่ากับ $L/240$ และ $L/120$ (พิจารณาจากค่าการโก่งตัวสูงสุดที่ยอมให้ตรงกึ่งกลางความยาวคาน สำหรับคานอย่างง่ายต้องไม่เกิน $L/360$ ในสัดส่วน 1.5 และ 3.0 เท่า) ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด หากพิจารณาเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักคานของแต่ละรูปแบบ จะพบว่าคานรูปแบบ TB-C-GR จะสามารถรับกำลังต้านทานโมเมนต์ได้มากกว่าหากเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ ขณะที่คาน TB-C-GN เมื่อพิจารณาตลอดการทดสอบพบว่าสามารถรับแรงกระทำได้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งวิบัติสูงกว่าคานรูปแบบอื่น ๆ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการโก่งตัว

5.3.2 กำลังต้านทานแรงดัด และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคาน

ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคาน โดยใช้คานทดสอบ ซึ่งมีความยาว 2.40 เมตร แสดงในตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักคานในช่วงการโก่งตัวกึ่งกลางคานที่ $L/240$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และในช่วงการโก่งตัวที่ $L/120$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ของกลุ่มคานหน้าตัดตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กที่แปรเปลี่ยนอุปกรณ์แรงเฉือน พบว่า คานรูปแบบ TB-C-N รับกำลังโมเมนต์ที่ $L/240$ ได้ 2,438.8 นิวตัน-เมตร และที่ $L/120$ ได้ 3,772.8 นิวตัน-เมตร และคานรูปแบบ TB-C-GN รับกำลังโมเมนต์ที่ $L/240$ ได้ 3,026.4 นิวตัน-เมตร และที่ $L/120$ ได้ 4,442.8 นิวตัน-เมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง $L/240$ ร้อยละ 24.09 และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง $L/120$ ร้อยละ 17.76 เมื่อเทียบกับคานรูปแบบ TB-C-N ส่วนคานรูปแบบ TB-C-GR รับกำลังโมเมนต์ที่ $L/240$ ได้ 3,271.6 นิวตัน-เมตร และที่ $L/120$ ได้ 5,467.6 นิวตัน-เมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง $L/240$ ร้อยละ 34.15 และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง $L/120$ ร้อยละ 44.92 เมื่อเทียบกับคานรูปแบบ TB-C-N และคานรูปแบบ TB-C-GR ยังมีค่าเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง $L/240$ ร้อยละ 8.1 ที่ตำแหน่ง $L/120$ ร้อยละ 44.92 เมื่อเทียบกับคานรูปแบบ TB-C-GN เมื่อพิจารณาน้ำหนักคาน พบว่าคานหน้าตัดประกอบระบบคานไม้-พื้นคอนกรีต (Timber Concrete Composite) หรือ TCC ทั้ง 3 รูปแบบ จะมีน้ำหนักประมาณอยู่ที่ 80 กิโลกรัม ขณะที่คานควบคุม (TB-RC) จะมีน้ำหนักเท่ากับ 105 กิโลกรัม ซึ่งแสดงว่าคานประกอบ TCC จะมีน้ำหนักน้อยกว่าคานควบคุมคิดเป็นร้อยละ 24

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด และโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคาน

Specimen	Deflection at L/240 (10 mm)		Deflection at L/120 (20 mm)		At Maximum Load		Weight of Beam (kg)
	Load	Moment	Load	Moment	Load	Deflection	
	(kN)	(N-m)	(kN)	(N-m)	(kN)	(mm.)	
TB-C-N	6.097	2,438.8	9.432	3,772.8	15.757	79.053	78.790
TB-C-GN	7.566	3,026.4	11.107	4,442.8	22.724	79.951	79.040
TB-C-GR	8.179	3,271.6	13.669	5,467.6	17.202	27.776	80.720
TB-RC	5.741	2,296.4	7.319	2,927.6	7.413	21.584	105.511

สำหรับการเปรียบเทียบกำลังรับโมเมนต์ในช่วงการโก่งตัวกึ่งกลางคานที่ L/240 และ L/120 ของคานตัวที่วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กและคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้คานตัวที่วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก (TB-RC) เป็นคานอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า คานรูปแบบ TB-RC รับกำลังโมเมนต์ที่ L/240 ได้ 2,296.4 นิวตัน-เมตร และที่ L/120 ได้ 2,927.6 นิวตัน-เมตร ซึ่งคานรูปแบบ TB-C-N มีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/240 ร้อยละ 6.20 และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/120 ร้อยละ 28.87, คานรูปแบบ TB-C-GN มีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/240 ร้อยละ 31.79 และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/120 ร้อยละ 51.76, คานรูปแบบ TB-C-GR มีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/240 ร้อยละ 42.47 และมีค่าเพิ่มขึ้นที่ L/120 ร้อยละ 86.76 เมื่อเทียบกับคานอ้างอิง TB-RC

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพกำลังต้านทานโมเมนต์ เมื่อเทียบกับคาน TB-RC

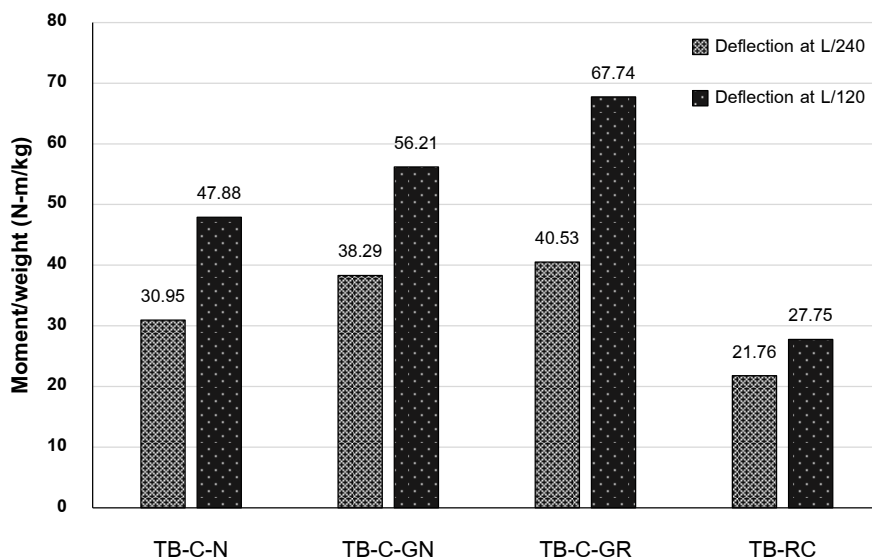
Specimen	Moment Capacity Compared with TB-RC (%)		
	Deflection at L/240 (10 mm)	Deflection at L/120 (20 mm)	At Maximum Deflection
	TB-C-N	6.20	28.87
TB-C-GN	31.79	51.76	206.54
TB-C-GR	42.47	86.76	132.05

การทดสอบจะดำเนินไปจนถึงจุดวิบัติพร้อมกับค่าการโก่งตัวที่แปรเปลี่ยนไป ซึ่งจะได้ค่ากำลังรับโมเมนต์สูงสุดของคานตัวที่วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กและคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้คานตัวที่วัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นคานอ้างอิง พบว่า คานรูปแบบ

TB-RC รับกำลังโมเมนต์สูงสุด ได้ 2,965.2 นิวตัน-เมตร ซึ่งคานรูปแบบ TB-C-N มีค่ากำลังโมเมนต์สูงสุดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 112.56 คานรูปแบบ TB-C-GN มีค่ากำลังโมเมนต์สูงสุดเพิ่มขึ้นร้อยละ 206.54 คานรูปแบบ TB-C-GR มีค่ากำลังโมเมนต์สูงสุดเพิ่มขึ้น ร้อยละ 132.05 เมื่อเทียบกับคานอ้างอิง TB-RC

5.3.3 ค่าประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคาน TCC ต่าง ๆ

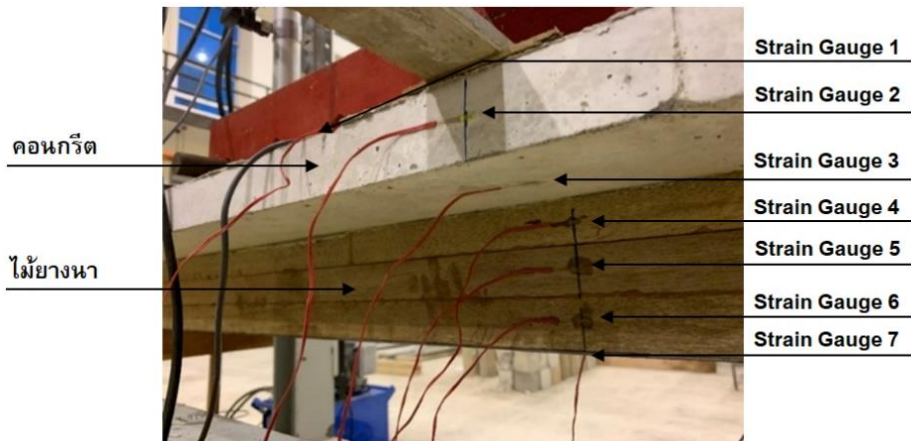
ค่าประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคานที่ระยะการแอนตัวกึ่งกลางคาน ซึ่งพิจารณาที่ระยะการแอนตัว L/240 และ L/120 จะสังเกตได้ว่าคานรูปแบบ TB-C-GR มีประสิทธิภาพกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักมากที่สุด รองลงมาคือ TB-C-GN TB-C-N และ TB-RC ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ระยะการแอนตัว L/240 จะพบว่า TB-C-GN และ TB-C-GR จะมีค่าประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคานที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 12 ซึ่งหากพิจารณาในการนำมาใช้งานคาน TB-C-GN จะใช้เทคนิคในการทำงานที่มีความยุ่งยากน้อยกว่าคาน TB-C-GR แต่เมื่อต้องพิจารณาในช่วงการแอนตัวที่สูงขึ้น (L/120) คาน TB-C-GR จะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าคาน TB-C-GN เนื่องจากมีอุปกรณ์สำหรับรับแรงเฉือนโดยเฉพาะ แต่ต้องแลกมาด้วยการทำงานที่มีความยุ่งยากมากขึ้น



รูปที่ 12 ค่าประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคาน TCC ต่าง ๆ ที่ระยะการแอนตัว L/240 และ L/120

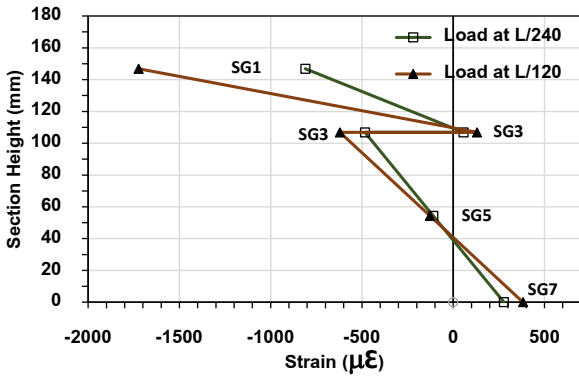
5.3.4 พฤติกรรมการวิบัติของคาน

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและสังเกตพฤติกรรมเชิงลึกของความเครียดที่เกิดขึ้น ณ บริเวณต่าง ๆ ของคาน TCC ว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีทางกลศาสตร์ที่ใช้งานในช่วงอิลาสติกมากน้อยเพียงใด โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) ไว้กับตัวคานบริเวณกลางคาน ตำแหน่งที่ติด (Strain Gauge) กับคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด 7 ตำแหน่ง คือ ที่ระยะนับจากท้องคาน 0 มิลลิเมตร 19.3 มิลลิเมตร 54.3 มิลลิเมตร 89.3 มิลลิเมตร 106.8 มิลลิเมตร 126.8 มิลลิเมตร และ 146.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 13 (โดยที่ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 7 จะแสดงค่าเป็นสองตำแหน่งเนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้ง Strain Gauge ระหว่างการทดสอบและการอ่านค่ามีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย)



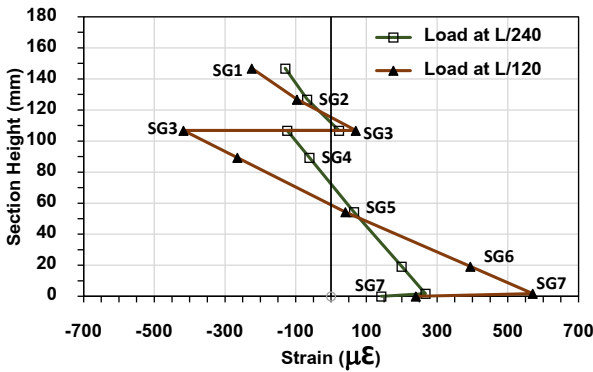
รูปที่ 13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain gauge) บนคานทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานส่วนบนจะเป็นการรับแรงอัดและส่วนล่างจะเป็นการรับแรงดึง การทดสอบคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กที่แปรเปลี่ยนอุปกรณ์รับแรงเฉือน จากผลทดสอบพบว่าคานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อแบบเซาะร่องตอกวงแหวนมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดได้สูง เพราะว่า วงแหวนมีพื้นที่รับแรงมากกว่าจุดต่อรูปแบบตอกตะปูและรูปแบบเซาะร่องตอกตะปู ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของไม้อย่างนาและคอนกรีตร่วมกับตอกตะปู เซาะร่องตอกตะปู และเซาะร่องตอกวงแหวน บางครั้งการสังเกตด้วยตาเปล่าอาจจะไม่เห็นชัดเท่ากับการวัดละเอียดด้วย Strain Gauges โดยผลการอ่านค่าจาก Strain Gauges แสดงในรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 17



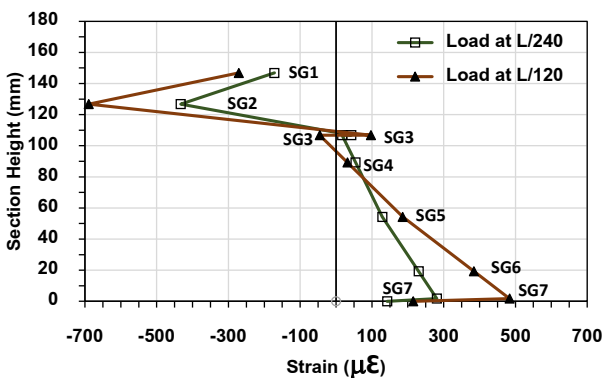
TB-RC

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นหน้าตัดและความเครียดการวิบัติของ TB-RC



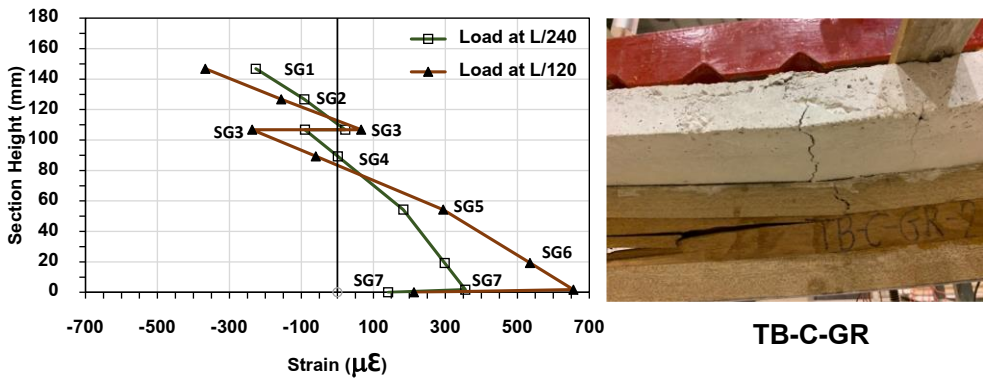
TB-C-N

รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นหน้าตัดและความเครียดการวิบัติของ TB-C-N



TB-C-GN

รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นหน้าตัดและความเครียดการวิบัติของ TB-C-GN



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นหน้าตัดและความเครียดการบิดของ TB-C-GR

จากรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 17 พบว่าการเคลื่อนตำแหน่งของจุดต่าง ๆ บนคาน TCC มีความสอดคล้องกับทฤษฎีทางกลศาสตร์ที่ให้ความสัมพันธ์ของความเครียดของหน้าตัดตลอดความลึก เป็นลักษณะของเส้นตรงทั้งในส่วนของพื้นคอนกรีตและในส่วนของคานไม้ประกอบ และที่บริเวณของรอยต่อระหว่างไม้และคอนกรีตพบว่าในหลายตัวอย่างมีการเคลื่อนตัวที่แยกห่างออกจากกันระหว่างบริเวณที่เป็นไม้และคอนกรีต (จะพบในตัวอย่างที่มีการเซาะร่องเนื้อไม้สำหรับการยึดต่อ) ลักษณะของรอยแตกกว้างจะอยู่ในแนวที่ต่างกัน กล่าวคือการแตกกว้างจากด้านบนส่วนของคอนกรีต จะมีแนวที่ไม่ตรงกับแนวที่เกิดขึ้นกับส่วนที่เป็นไม้ อาจเนื่องมาจากการประสานระหว่างวัสดุทั้งสองประเภทยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการบิดและแตกกว้างในแนวเดียวกัน แต่มีบางตัวอย่างที่ภายหลังจากการบิดแล้ว บริเวณรอยต่อระหว่างคอนกรีตและไม้นั้นยังมีลักษณะของผิวรอยต่อที่แนบสนิทอยู่ ดังเช่นในรูปที่ 15 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีอุปกรณ์ตะปูเป็นตัวยึดเหนี่ยว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความเครียด (Strain) กับความลึกของคานตัวอย่างพบว่ายังคงมีความชันอยู่ในแนวเดียวกัน สำหรับการบิดของคาน TB-RC เป็นแบบ Flexural Failure ดังแสดงในรูป 14 โดยช่วงเริ่มต้นระหว่างการเพิ่มแรงกระทำ คอนกรีตที่ผิวล่างบริเวณกึ่งกลางคานจะเกิดรอยร้าวในแนวดิ่ง (Flexural Crack) จากนั้นรอยร้าวดังกล่าวจะค่อย ๆ เพิ่มจำนวนและขยายตัวสูงขึ้นตามขนาดของแรงกระทำ ขณะที่ระยะแอนตัวของคานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งคานเกิดการบิด และการบิดของคาน TB-C-N (คานตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กจุดต่อตอกตะปูเป็นตัวรับแรงเฉือน), คาน TB-C-CN (มีการเซาะร่องเนื้อไม้และอุปกรณ์ตะปูเป็นตัวยึดเหนี่ยว) และคาน TB-C-GN (ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวที่ดีกว่าตะปู แต่ด้อยกว่าการใช้ตะปูพร้อมกับการเซาะร่องเล็กน้อย) ในรูปที่ 15, 16 และ 17 ตามลำดับพบว่า จะมีการบิดส่วนของวัสดุไม้เป็นรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Simple Tension) อย่างชัดเจน ส่วนปีกวัสดุคอนกรีตที่ผิวล่างจะเกิดรอยร้าวในแนวดิ่งเนื่องจากการดัด (Flexural Crack)

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาพฤติกรรมการรับกำลังของชิ้นส่วนประกอบสำเร็จรูปคาน-พื้นด้วยวัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถสรุปได้ดังนี้

1) คานหน้าตัดตัวที่วัสดุผสมระหว่างไม้และคอนกรีตเสริมเหล็กมีน้ำหนักที่น้อยกว่าคานหน้าตัดรูปตัวทีที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีขนาดหน้าตัดเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 24

2) ประสิทธิภาพกำลังต้านทานโมเมนต์ เมื่อเทียบกับคาน TB-RC พบว่าที่ระยะการแอ่นตัวที่ L/240 (10 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.20 31.79 และ 42.47 และที่ระยะการแอ่นตัวที่ L/120 (20 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 28.87 51.76 และ 86.76 สำหรับคาน TB-C-N TB-C-GN และ TB-C-GR ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์ยึดแบบเซาะร่องตอกตะปูและการเซาะร่องตอกวงแหวนให้ผลที่ใกล้เคียงกันและทั้งสองแบบให้ค่าที่มากกว่าการใช้ตะปูเพียงอย่างเดียวหลายเท่าตัว แต่เมื่อพิจารณาถึงเทคนิคในการทำงาน การใช้แบบเซาะร่องตอกตะปูจะมีความยุ่งยากในการติดตั้งน้อยกว่าแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพที่ลดน้อยกว่าแบบเซาะร่องตอกวงแหวนเล็กน้อย จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานมากกว่า

3) ประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคานที่ระยะการแอ่นตัวกึ่งกลางคาน ซึ่งพิจารณาที่ระยะการแอ่นตัว L/240 (10 มิลลิเมตร) และ L/120 (20 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 30.95 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 47.88 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม สำหรับคาน TB-C-N มีค่าเท่ากับ 38.29 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 56.21 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม สำหรับคาน TB-C-GN มีค่าเท่ากับ 40.53 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 67.47 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม สำหรับคาน TB-C-GR และมีค่าเท่ากับ 21.76 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 27.75 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม สำหรับคาน TB-RC ตามลำดับ

4) ประสิทธิภาพของกำลังต้านทานโมเมนต์ต่อน้ำหนักคาน เมื่อเทียบกับคาน TB-RC (พิจารณาจากรูปที่ 12) พบว่าที่ระยะการแอ่นตัวที่ L/240 (10 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 42.22 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม 75.97 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 86.26 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และที่ระยะการแอ่นตัวที่ L/120 (20 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับ 72.54 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม 102.56 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม และ 144.11 นิวตัน-เมตรต่อกิโลกรัม สำหรับคาน TB-C-N TB-C-GN และ TB-C-GR ตามลำดับ

5) การใช้อุปกรณ์วัดค่าความเครียดของบริเวณจุดต่าง ๆ ตลอดหน้าตัด ให้ผลสอดคล้องกับทฤษฎีทางกลศาสตร์ที่ให้ความสัมพันธ์ของความเครียดตลอดความลึกของหน้าตัดยังคงเป็นเส้นตรงทั้งก่อนและหลังการรับแรงทั้งในส่วนของพื้นคอนกรีตและในส่วนของคานไม้ประกอบ นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่าการเคลื่อนตัวของรอยต่อระหว่างไม้และคอนกรีตที่ใช้อุปกรณ์การยึดที่แตกต่างกัน ซึ่งบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์การยึดแต่ละชนิดได้เป็นอย่างดี เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้ต่อไป

References

- [1] Krungsri Research. Industry Outlook 2021-2023: Construction Contractor [Internet]. 2021 Feb 08 [cited 2021 Dec 16]. Available from: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/construction-construction-materials/construction-contractors/io/io-construction-contractor-21> (In Thai)
- [2] Ravenscroft T. World's tallest timber tower proposed for Tokyo. Dezeen [Internet]. 2018 Feb 19 [cited 2021 Dec 18]. Available from: <https://www.dezeen.com/2018/02/19/sumitomo-forestry-w350-worlds-tallest-wooden-skyscraper-conceptual-architecture-tokyo-japan/>
- [3] Yeoh DEC, Fragiacomio M, Buchanan A, Crews K, Haskell J, Deam B. Development of semi-prefabricated timber-concrete composite floors in Australasia. 10 th World Conference on Timber Engineering; 2008 June 2-5; Miyazaki, Japan.
- [4] Tannert T, Ebadi MM, Gerber A. Serviceability performance of timber concrete composite floors. Proceedings of the 2019 Modular and Offsite Construction (MOC) Summit; 2019 May 21-24; Alberta, Canada. Alberta, Canada: University of Alberta Library; 2019. p. 206-12.
- [5] Manojlovic D, Kocetov T. Parametric study of design parameters in timber concrete composite beams. Macedonian Association of Structural Engineers (MASE) 2019:911-20.
- [6] Lyu Z, Chuquitaype CM, Ruiz Teran AM. Design of timber concrete composite (TCC) bridges with under deck stay cables. Engineering Structures 2019; 189:589-604.
- [7] Yuan Sh, He GJ, Yi J. Analysis of mechanical properties and a design method of reinforced timber concrete composite beams. Mechanics of Composite Materials 2019; 55(5):687-98.
- [8] COST Action FP1402 / WG. Design of timber-concrete composite structures. European Cooperation in Science and Technology (COST). 2018.
- [9] Department of Public Works and Town & Country Planning. Material testing standard in concrete. DPT 1201-50 – DPT 1212-50. Ministry of Interior. Thailand; 2007. (In Thai)
- [10] Department of Public Works and Town & Country Planning. Standard for inspection of reinforced concrete structures by nondestructive testing methods. DPT 1501-51 – DPT 1507-51. Ministry of Interior. Thailand; 2008. (In Thai)
- [11] Department of Public Works and Town & Country Planning. Wood testing standard. DPT 1221-51 – DPT 1227-51. Ministry of Interior. Thailand; 2008. (In Thai)

- [12] The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage (EIT). Specification on Standard of Material for Timber Building. EIT 1002-16. Thailand; 1973. (In Thai)
- [13] Santos P, Martins C, Skinner J, Harris R, Dias A, Godinho L. Model frequencies of a reinforced timber concrete composite floor: testing and model. Journal of Structural Engineering 2015;141(11):04015029. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001275.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ดร.นันทชัย ชูศิลป์ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยทางด้านวัสดุพอลิโพรพิลีน ซีเมนต์ และคอนกรีต โครงสร้างวัสดุผสม อีเมล nuntachai.c@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 0-7431-7162



พงศ์ศักดิ์ สุขมณี อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา และอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยทางการทดสอบและวัสดุวิศวกรรม อีเมล pongsak.s@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 0-7431-7162



ถาวร เกื้อสกุล อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยทางการทดสอบและวัสดุวิศวกรรม การนำกากของเสียมาใช้ในการด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค การปรับปรุงเสถียรภาพของลาดชัน อีเมล tavorn.k@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 0-7431-7162

Article History:

Received: January 26, 2023

Revised: July 4, 2023

Accepted: July 7, 2023