SWU Engineering Journal (2016) 11(2), 114-124
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2559

การหาแรงอัดประสิทธิผลของคานคอนกรีตอัดแรงแบบเสริมไม้ไผ่รวกรีดเย็นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

Evaluation of Effective Compressive-Force in Pre-Stress Concrete Beam Reinforcing Cold-Rolled Ruak Bamboo Cane Heat Treatment Processed

ไตร คะระนันท์* สมชาย แย้มใส
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
*Corresponding author: E-mail: trikharanan@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาออกแบบและทดสอบ คานคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไผ่รวกผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยการต้ม และนำไปทำการรีดด้วยเครื่องรีดลูกกลิ้งให้ไม้ไผ่มีความหนาลดลง แล้วพันเป็นเกลียวและดึงด้วยเครื่องดึงเพื่อสร้างแรงดึงชั้นต้นให้มีค่าประมาณร้อยละ 90 ของแรงดึงที่รับได้ จากนั้นจึงนำคอนกรีตมาเททับและดึงไม้ไผ่ซ้ำอีกครั้งเพื่อให้ไม้ไผ่มีแรงดึงตามที่กำหนด ทำการตัดคอนกรีตออกจากฐานที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง บ่มคอนกรีตไว้ให้ได้มาตรฐานที่ 28 วันแล้วจึงนำไปทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า คานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการต้มที่ตัดออกจากฐานที่ 48 ชั่วโมง มีความสามารถในการรับแรงที่จุดคอนกรีตเริ่มร้าวเฉลี่ยสูงสุดที่ 302 kg/cm^2 รองลงมาคือตัดออกจากฐานที่เวลา 72 และ 24 ชั่ว- โมง โดยมีความต้านแรงกดเฉลี่ย 276 และ 230 kg/cm^2 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบแรงกดประลัยเมื่อไม้ไผ่ขาดออกจากกัน คานคอนกรีตทุกประเภทมีค่าความเค้นประลัยใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ไม้ไผ่ รีดเย็น คอนกรีตอัดแรง คานคอนกรีต

Abstract

This research paper aim to study the design and testing of concrete beams that reinforcing of boiled heat-treated cold-rolled bamboo ruak. This reinforcing material is rolled by rolling machine which make its optimal thickness. The reinforcing material is twisted as the reinforced concrete and pulled by a pulling machine that it would like to create a first tension as 90% approximately. Concrete mixed is already mixed in a concrete mold which having boiled heat-treated cold-rolled bamboo ruak for the reinforcing of concrete beam and then the reinforcing material is latterly taken by a tension loading for the optimal ultimate strength. For good results of testing, the testing concrete is certainly cut from the base as about 24, 48, and 72 hrs, then curing it about 28 days, ASTM standard.

The results shown that, the boiled heat-treated cold-rolled bamboo ruak that 24 hrs cutting from the base which having the ability of fracture point loading at about 302 kg/cm^2 , the 24 and 72 hrs having the average for withstanded compressive strength at about 230 and 276 kg/cm^2, respectively. This results

assume that to comparing which the fracture stress with any reinforcing materials in reinforced concrete design as equally.

Keyword: Bamboo Cold roll Pre-Stress-Concrete Concrete Beam

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้กระจายอำนาจการปกครองสู่ท้องถิ่นในรูปแบบต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือองค์การบริหารส่วนตำบล(อบต.) มีหน้าที่ในการพัฒนาชุมชนให้มีความเป็นอยู่ดีขึ้น พร้อมทั้งก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกอย่างมากมาย เช่น ถนน ไฟฟ้า ประปา ในปีหนึ่งๆ อบต. มีการก่อสร้างถนนในหมู่บ้านมากมาย ซึ่งถนนต่างๆเหล่านี้เป็นถนนคอนกรีตเสริมด้วยเหล็กเส้น มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ประมาณ 8-10 ตัน/ตร.ม. ซึ่งขนาดรับน้ำหนักขนาดนี้ โดยภูมิปัญญาไทยสามารถที่จะใช้วัสดุอื่นมาทดแทนเหล็กเส้นได้นั่นคือไม้ไผ่ ซึ่งจะเป็นชนิดไหนก็ขึ้นกับแหล่งที่ปลูกของชุมชนนั้นๆ

ในสภาวะที่ประเทศไทย มีการบริโภคเหล็กอย่างต่อเนื่องทำให้ต้องนำเข้าเหล็กจากต่างประเทศต่อปีเป็นจำนวนมากมีผลทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศค่อน ข้างสูง [1]

จากการศึกษาข้อมูลในอดีต ประเทศไทยมีการนำวัสดุท้องถิ่นในธรรมชาติมาใช้ร่วมกันกับเหล็กโครงสร้างที่ใช้ยึดซีเมนต์นั่นคือ ไม้ไผ่ เช่น ไผ่ตง ไผ่บง ไผ่รวก จำนวนและชนิดของการใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนและความยากง่ายของท้องถิ่นนั้นๆ การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากยังขาดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [1] และได้ถูกวัสดุสมัยใหม่เข้ามาแทนที่เนื่องด้วยมีความสะดวกและมีมาตร ฐานในการผลิตและใช้งานอย่างแพร่หลาย จนลืมพัฒนาวัสดุท้องถิ่นที่เป็นภูมิปัญญาของไทยไปจนลางเลือน

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นคุณประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติในประเทศไทย โดยเฉพาะไม้ไผ่ ซึ่งเป็นไม้ที่มีศักยภาพสูง มีความแข็งแรง เมื่อเทียบต่อน้ำหนักแล้วไม้ไผ่สามารถรับแรงได้ค่อนข้างดีและสามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ ในการศึกษาข้อมูลพบว่าไม้ไผ่ในประเทศไทยเทียบสัดส่วนต่อป่าโดยรวมจะมีจำนวนมากสุดในภาคกลางที่ร้อยละ 13.5 โดยเฉพาะในเขตภาคกลางตอนบน [2] และจะนิยมปลูกตามริมคลองธรรมชาติเพราะไม้ไผ่จะสามารถเจริญเติบโตได้เองโดยไม่ต้องการดูแลมากนัก

ปัญหาหลักๆที่พบในไม้ไผ่ [3] คือเมื่อไม้ไผ่เจอน้ำหรือชุ่มไปด้วยน้ำแล้วไม้ไผ่จะบวมขึ้นเล็กน้อย และเมื่อน้ำแห้งไปจากคอนกรีตจะเกิดโพรงเล็กน้อยระหว่างไม้ไผ่และคอนกรีตและทำให้ไม้ไผ่รับแรงดึงได้น้อยลง

คุณลักษณะที่ดีของคอนกรีตอัดแรงคือลวดที่ใช้อัดแรงต้องมีค่าแรงดึงประสิทธิผลมากเพียงพอต่อการอัดคอนกรีต ดังนั้นการเทน้ำลงไปให้ไม้ไผ่ชุ่มน้ำจะทำให้ไม้ไผ่คลายตัวลงและจะถูกหาค่าแรงดึงเบื้องต้นก่อนเททับด้วยคอนกรีตจากนั้นจึงดึงซ้ำอีกครั้ง แล้วจึงเทคอนกรีตเพื่อสร้างเป็นคอนกรีตอัดแรงเสริมไม้ไผ่

ในการวิจัยนี้ต้องการที่จะพัฒนาการก่อสร้างด้วยไม้ไผ่ ให้เข้ากับเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ ให้เป็นที่ยอมรับ โดยระบบการก่อสร้างด้วยวัสดุท้องถิ่นนั้นการจะยกระดับมาตรฐานของวัสดุจะต้องคำนึงถึงหลักการที่เหมาะ สมกับเทคโนโลยีการก่อสร้าง เช่น ความยั่งยืน ผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความทนทาน และปลอดภัย รวมทั้งความง่ายในการผลิต เพื่อให้ชุมชนท้องถิ่นสามารถผลิตใช้ ได้เอง [4,5] รวมทั้งสามารถสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นนั้นๆ

2. การทบทวนวรรณกรรม

รุ่งคุณ ราศีนวล , [1] ศึกษาความ สามารถของไม้ไผ่ในการนำไปทำวัสดุหลังคาและผนังซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้ในเกณฑ์ดี

ไตร คะระนันท์, [3] ศึกษาความ สามารถของไม้ไผ่รวกที่ผ่านการรีดร้อน และนำไปทำการบิดเกลียวสร้างเป็นลวดสลิง เพื่อทำเป็นแผ่นพื้นอัดแรง พบว่าแผ่นพื้นที่สร้างขึ้นจากไม้ไผ่อัดแรงสามารถเพิ่ม

ความสามารถในการรับแรงมากกว่าคอนกรีตธรรมดาร้อยละ 18

ทรงเกียรติ เที้ยทิทรัพย์, [4] ได้ทำการหาวิธี การทำให้ไม้ไผ่แห้งและป้องกันมอดแมลงด้วยวิธีการต้มและอัดน้ำยาเข้าไปในไม้ไผ่ เพื่อนำไปสร้างอาคาร

ทรงเกียรติ เที้ยทิทรัพย์, [5] ทำการวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างที่พักอาศัยในเขตพื้นที่ หมู่บ้านสาขลา ตำบลนาเกลือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการพบว่าไม้ไผ่มีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้ในเขตพื้นที่เพราะสามารถถ่ายทอดความรู้ได้รวมทั้งผู้อยู่อาศัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้วยตนเอง

Nipon ThienSiriphat , [6] ศึกษาความแข็งแรงทางกลและทางกายภาพของไม้ไผ่สามชนิดคือ ไผ่รวก ไผ่ตง และไผ่บ้านโดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการที่จะทำให้ไม้ไผ่สามารถรับแรงได้เมื่อนำไปทำการสร้างแผ่นพื้น โดยที่ไผ่รวกมีความต้านแรงดึงมากที่สุด และได้ทำการทดสอบสร้างแผ่นพื้นขึ้นมาโดยการ นำไม้ไผ่ไปฟั่นทาฟลิ้นโคทและชุบน้ำ พบว่าการทาทับด้วยฟลิ้น-โค้ท สามารถรับแรงเฉือนขนานเส้นได้ดีกว่ารูปแบบอื่น

ฐิติกุล ภาคคีรี [7] ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตงพบว่าค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการแตกหักเท่ากับ 135 MPa โมดูลัสการยืดหยุ่น 13.115 GPa ค่าเฉลี่ยการต้านแรงดึงเท่ากับ 314 MPa

วัฒ สุทธิ์นวล, ศิริพงษ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร จินดาไส, บัญญัติ เฉิดฉิ้ม, นิรันดร มาแทน, บุญนำเกี่ยวของ, [8] จากการวิจัยระดับมหภาคพบว่าความเค้นอันเกิดจากแรงลมในไม้ไผ่ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวงและมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำไผ่เล็กลงจากโคนลำสู่ปลายลำมีค่าสม่ำเสมอตามความสูงของลำไม้ไผ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกลางลำ นอกจากนี้โครงสร้างระดับมหภาคดังกล่าวมีค่าความแกร่งต่อความเค้นบิดคิดเป็น 2-6 เท่าของโครง สร้างที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมตันในปริมาณเนื้อไม้ที่เท่ากัน

ขณิษฐา มาคุ้ม, [9] ได้ทำการศึกษาเพื่อทำการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวไม้ไผ่กับคอนกรีตโดยใช้วิธีการทาทับไม้ไผ่ด้วยอีพ็อกซี แลกเกอร์ และสีย้อมไม้ พบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ให้ผลสูงสุดคือ อีพ็อกซี่ แลกเกอร์และสีย้อมไม้ตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

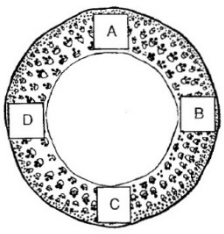
3.1 การออกแบบการทดสอบ

การออกแบบการทดสอบเป็นการออกแบบเพื่อทดสอบคุณสมบัติของไม้ไผ่รวกและคอนกรีตเพื่อหาขีดความสามารถในการรับแรง เมื่อไม้ไผ่ต้องถูกใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีตแทนเหล็ก โดยการทดสอบนี้ จะเป็นการทดสอบพื้นฐาน และนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไปทำการออกแบบการทดสอบประยุกต์เพื่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไผ่

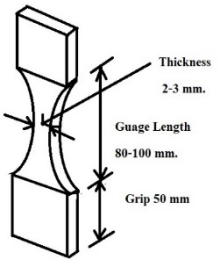
การทดสอบนี้ถูกแบ่งการทดสอบออกเป็นสองช่วง

ช่วงที่ 1 การทดสอบพื้นฐาน [7, 9]

ทดสอบค่าการต้านแรงดึงและค่าความยืดหยุ่น ใช้วิธีการทดสอบโดยการ นำวัสดุไม้ไผ่ มาทำการตัดออกเป็นปล้อง ไม่รวมข้อ โดยเลือกชิ้นไม้ไผ่สามชิ้นต่อการทดสอบหนึ่งค่า(หนึ่งปล้อง) โดยตำแหน่งของปล้องที่ตัดเริ่มจากโคนถึงปลายของลำต้นแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งชิ้นส่วนของหน้าตัดไม้ไผ่

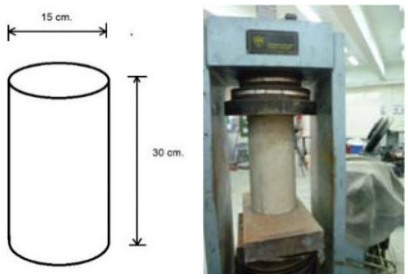


รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นทดสอบไม้ไผ่ทดสอบแรงดึง

การทดสอบการรับแรงดึงของไม้ไผ่ [6]

การทดสอบแรงดึง จะทำการตัดชิ้นไม้ไผ่ให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และตัดบริเวณตรงกลางให้มีลักษณะเว้าเข้าไปคล้ายกับกระดูกหมา(Dog Bone) เพื่อลดความเค้นหนาแน่นที่บริเวณหัวจับด้านบนและด้านล่าง จากนั้นนำไปทดสอบแรงดึงบนเครื่อง UTM Lloyd รุ่น LS 100 Plus(ASTM D638) [16]

การทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีต



รูปที่ 3 แท่งคอนกรีตทดสอบการกด

การทดสอบหากำลังต้านทานของคอนกรีต จะใช้วิธีมาตรฐานการทดสอบของ มอก. 409-2525 [14] ซึ่งต้องใช้จำนวนชิ้นทดสอบอย่างต่ำสามชิ้น กำลังการต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุคอนกรีตและวิธีการทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอน- กรีตตลอดจนอายุของคอนกรีต โดยปกติกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอน- กรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วันหลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ แต่ในบางครั้งอาจใช้ที่ 3 หรือ 7 วันก็ได้ การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต(f'_c) ในที่นี้จะเลือกใช้ปูนประเภทที่หนึ่ง ซึ่งเป็นปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีส่วนผสม ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน และปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 45 ของปูนเพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่า 300 kg/cm^2 และบ่มด้วยน้ำที่ประมาณ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ [14]

การปรับปรุงคุณภาพไม้ไผ่ก่อนการรีดเย็น [5]

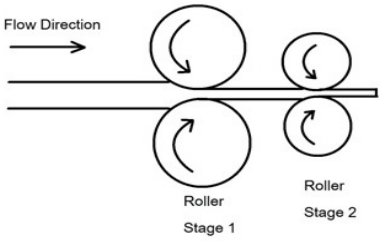
การปรับปรุงไม้ไผ่เพื่อเพิ่มความเหนียว ใช้วิธีการนำท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์หนึ่งนิ้วยาวสองเมตร ใส่น้ำจนเต็มแล้วต้มน้ำให้เดือดและนำไม้ไผ่ใส่ลงไปในท่อตามความยาวต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำไปผึ่งไว้ให้แห้งในร่มเพื่อให้ไม้ไผ่รีดได้ง่ายขึ้นไม่เกิดการแตกระหว่างรีดเย็นดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงการต้มไม้ไผ่และนำไปรีด

ช่วงที่ 2 การทดสอบประยุกต์

การทดสอบการรีดเย็น

การทดสอบการรีดเย็น ทำโดยนำไม้ไผ่ที่ผ่านการต้มและแห้งแล้วมาตัดให้ผิวของไม้ไผ่ติดมาด้วย จากนั้นนำมาปรับขนาดความกว้างไม่เกิน 4 mm. หนา 3 mm. ด้วยการเหลาผิวด้านล่างออกเล็กน้อย แล้วนำไม้ไผ่ผ่านเข้าไปใน ลูก- กลิ้งที่สามารถปรับระยะห่างได้และหาค่าความหนาต่ำสุดโดยที่ไม้ไผ่ไม่แตกดังรูปที่ 5

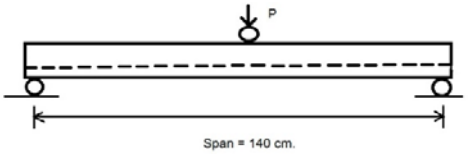


รูปที่ 5 กระบวนการการรีดเย็น

การออกแบบทดสอบแผ่นพื้น [6,13]

การออกแบบทดสอบคานคอนกรีต ทั้งหมดจะทำการทดสอบสามรอบโดยในแต่ละรอบจะมีคานคอนกรีตสามแบบคือคอนกรีตเปล่า คานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรม ดาและคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่บิดเกลียว (Pre-stress) แบบละสามชิ้น เมื่อทำการทดสอบจะเลือกรอบทดสอบที่ชิ้นงานแตกหักสมบูรณ์ที่สุด การทดสอบคานคอนกรีตทำการทดสอบหาโมเมนต์ประลัย

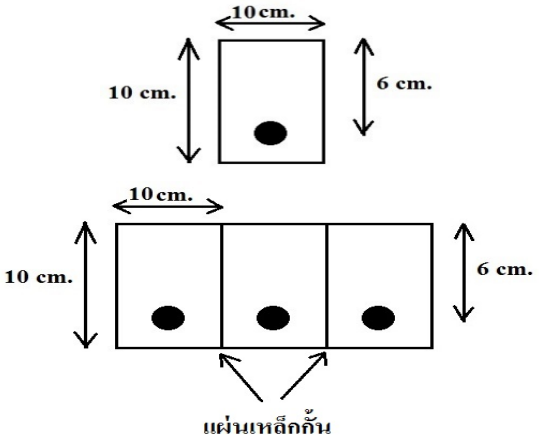
(M_u)จากแรงกดสูงสุดเพื่อหาค่าความสามารถของคานที่สามารถรับได้ บนทฤษฎีโมเมนต์ประลัยเครื่องทดสอบแรงกดในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบแบบกำหนดจุดกดสามจุด(มชท.(ท) 105.2-2545. Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete by three point bending) [15] ที่กึ่งกลางคานรองรับแบบลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวางตำแหน่งจุดกดทดสอบ

การออกแบบการวางไม้ไผ่เสริม [6, 12]

การวางไม้ไผ่เสริมจะมีการวางเป็นสองชุด ชุดแรกจะเป็นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดา ชุดที่สองจะเป็นไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการต้มและรีดเย็น โดยที่ไม้ไผ่ที่เสริมเข้าไปนี้หน้าตัดเฉลี่ยอยู่ที่ 1 cm^2 ต่อเส้น ส่วนอีกชุดเป็นคอตกรีตเปล่า การเทคอนกรีตลงในแบบหล่อจะใช้แบบหล่อที่มีหน้าตัดกว้าง 30 cm. สูง 10 cm. สามารถใส่ไม้ไผ่ลงไปได้สามจุด การแบ่งคอนกรีตจะแบ่งเป็นช่องโดยใช้แผ่นเหล็กบางกั้น ช่องละ 10 cm. ทำให้ในหนึ่งแบบหล่อได้คอนกรีตสามชิ้นดังรูปที่ 7

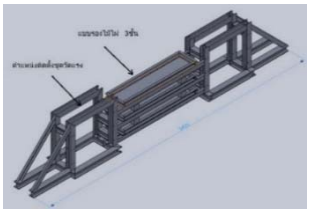


รูปที่ 7 การวางไม้ไผ่เสริม

การออกแบบเครื่องสร้างแรงดึงชั้นต้นและแบบหล่อ

การออกแบบเครื่องให้แรงดึงชั้นต้นใช้เหล็กรูปพรรณตัว H ที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้โดยด้านที่สร้างแรงดึงจะติดตั้งตัว Turnbuckle และตัววัดแรง(Digital gauges) เพื่อวัดแรงดึงชั้นต้นของไม้ไผ่ตามค่าที่ออกแบบไว้

หลังจากสร้างแรงดึงบนไม้ไผ่ทั้งสามเส้นแล้วจะ ย้ายชุดปรับแรงดึงและวัดแรง ไปติดตั้งยังชุดถัดไป ซึ่งแบบหล่อที่สร้างขึ้นมานี้จะสร้างไว้สามชั้นต่อเครื่องหนึ่งชุดเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตให้มีความสามารถใกล้เคียงกันมากที่สุด



รูปที่ 8 แบบเครื่องสร้างแรงดึงและแบบหล่อคอนกรีต

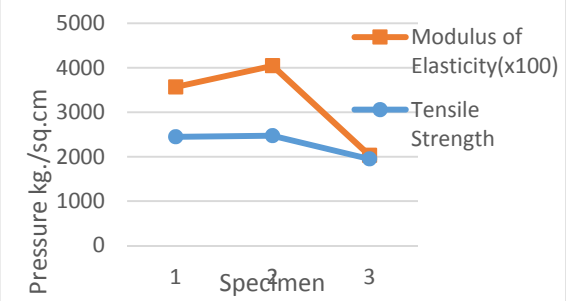
การออกแบบการอัดแรง

การอัดแรงให้คอนกรีตเริ่มจากการบิดเกลียวไม้ไผ่ให้ได้แรงดึงร้อยละ 90 เททับด้วยคอนกรีต จากนั้นทำการดึงซ้ำเพื่อให้ไม้ไผ่ที่คลายตัวเมื่อโดนน้ำกลับมามีแรงดึงชั้นต้นเท่าเดิมตามที่ออกแบบ แล้วตัดออกจากฐานที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมงเพื่อให้ไม้ไผ่ส่งแรงอัดไปที่คอนกรีต

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่

รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่



รูปที่ 10 แผนภาพผลการทดสอบการหาคุณสมบัติทางกลของไม้ไผ่

จากผลการทดสอบแรงดึงเพื่อทำการหาความเค้นดึงสูงสุดจำนวนสามชุดชุดละสามชิ้น(ใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละชุด)

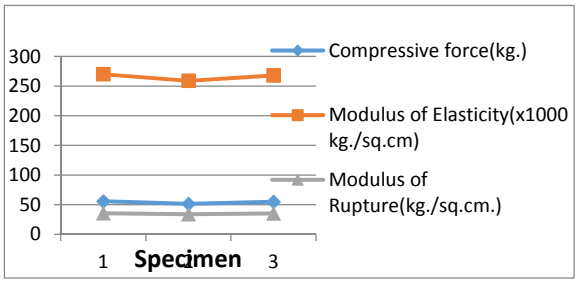
พบว่าในแต่ละชุดชิ้นงานจะมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยไม่เท่ากัน พบว่าค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยทั้งสามชุดอยู่ที่ 2,288 kg/cm^2 และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ย 3.01x10^5 kg/cm^2

4.2 ผลการทดสอบหาค่าแรงอัดประลัยในคอนกรีตแท่ง

จาก [10] หาโมดูลัสความยืดหยุ่น(E_c)จากแรงอัดประลัย(f_c')

$$E_c = 15{,}200\sqrt{f_c'} \quad (1)$$

และโมดูลัสที่จุดแตกหัก(rupture) f'_r



รูปที่ 11 แผนภาพผลการทดสอบแรงอัดประลัยคอนกรีตแท่ง

$$f'_r = 1.99\sqrt{f'_c} \quad (2)$$

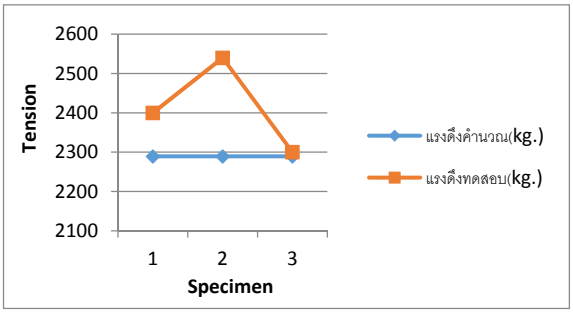
จากการทดสอบแรงอัดประลัยทั้งสามชิ้นทดสอบผลการทดสอบที่ออกมามีค่าสูง สุด 315 kg/cm^2 ต่ำสุดมีค่าเป็น 290 kg/cm^2 โดยเมื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยทั้งสามค่าพบว่ามีค่าความเค้นอัดประลัย 305 kg/cm^2 และจากค่าความเค้นอัดประลัยที่ได้นี้นำไปคำนวณ เพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต ได้ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย 2.65 x 10^5 kg/cm^2 และค่า Modulus of rupture เฉลี่ยมีค่าเป็น 34.7 kg/cm^2

4.3 การทดสอบการรีดเย็นด้วยลูกกลิ้งที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

ผลการรีดไม้ไผ่พบว่าความหนาต่ำสุดที่สามารถรีดได้คือที่ความหนาจาก 3 mm. ลงมาเหลือที่ความหนา 2 mm. มีจำนวนการแตกหักประมาณร้อยละ 5

4.4 ผลการทดสอบแรงดึงประลัยของไม้ไผ่บิดเกลียว

รูปที่ 12 ตัวอย่างการทดสอบแรงดึงประลัยของไม้ไผ่รวกรีดเย็นบิดเกลียว



รูปที่ 13 แผนภาพผลการทดสอบแรงดึงประลัยไม้ไผ่บิดเกลียว

จากผลการทดสอบไม้ไผ่จำนวน สามชุด(ชุดละ15 เส้น) ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนและนำมาทำมัดรวมให้มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 และนำไปทำการบิดพร้อมดึงเพื่อ

หาแรงดึงสูงสุดพบว่า ค่าสูงสุดที่ไม้ไผ่รับได้เฉลี่ยในแต่ละชุดคือ 2,540 kg. ต่ำสุดมีค่าเป็น 2,300 kg. เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็น 2,413 kg.

4.5 ผลการทดสอบโมเมนต์ประลัยของแผ่นพื้น (M_U)

รูปที่ 14 การวางไม้ไผ่เสริมและดึงบิดเกลียว

การทดสอบคอนกรีตทำสามรอบ(เลือกรอบที่ผลการทดสอบสมบูรณ์ที่สุด) รอบละสามชุด ในชุดแรกเป็นคอนกรีตเปล่าที่ผ่านการบ่มมาเป็นเวลาเกิน 28 วันใช้

รูปที่ 15 การเทคอนกรีตลงในแบบโดยการแบ่งช่องสามช่อง

รูปที่ 16 ตัดไม้ไผ่บิดเกลียวออกจากแท่นยึด

รูปที่ 17 การทดสอบคอนกรีตเปล่าขณะที่คอนกรีตเริ่มแตก

รูปที่ 18 ตัวอย่างการทดสอบคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมเมื่อเริ่มร้าวและขาด

รูปที่ 19 ตัวอย่างการทดสอบคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดเย็นบิดเกลียวตัดออกจากฐานยึดที่ 48 ซม

รูปที่ 20 ตัวอย่างการทดสอบคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดเย็นบิดเกลียวตัดออกจากฐานยึดที่ 72 ซม

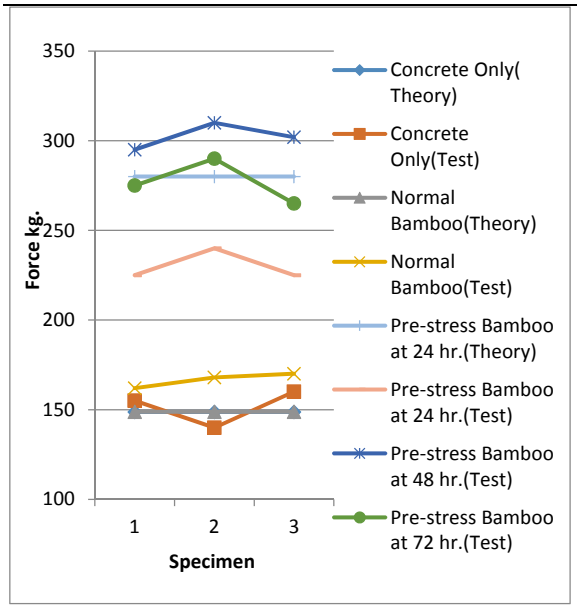
รูปที่ 21 ตัวอย่างชิ้นงานที่แตกหัก

วิธีการทดสอบแบบกดที่จุดกึ่งกลาง(Three point bending)ด้วยชุดกดไฮดรอลิกส์แบบปรับตั้งด้วยมือกดครั้งละ 0.01 mm. ทดสอบจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มมีรอยแตก(Crack) ชุดที่สองเป็นคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่รวกธรรมดา กดจน กระทั่งคอนกรีตเริ่มแตกและสุดท้ายไม้ไผ่ขาดออกจากกัน และชุดสุดท้ายเป็นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านการบิดเกลียว(Pre-stress)

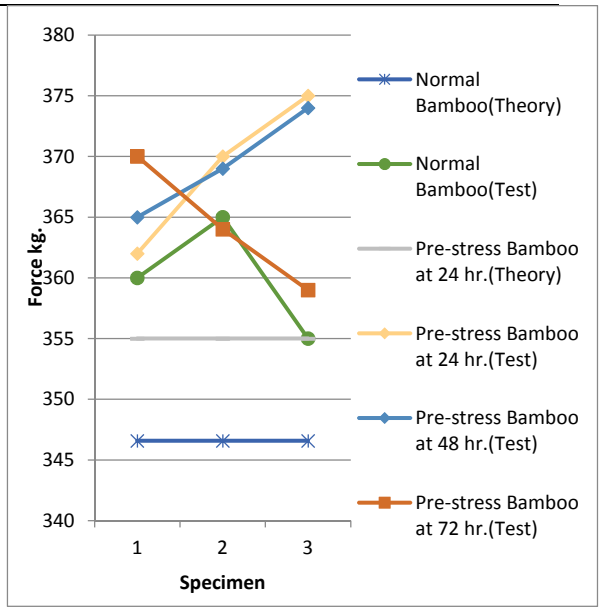
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแรงกดเมื่อคอนกรีตเริ่มแตก (Cracking)และแรงกดที่ไม้ไผ่เริ่มขาด(Ultimate) [6]

ลักษณะชิ้นทดสอบ		ผลการทดสอบเมื่อคอนกรีตเริ่ม Crack				แรงกดประลัย Ultimate Load Pu(kg)		Pu/Po
		แรงกด		การโก่งที่จุดกึ่งกลาง				
		ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	ทฤษฎี (mm.)	ผลทดสอบ (mm.)	ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	
คอนกรีตเปล่า	ชิ้นที่							
	1	148.67	155	0.384	1.6	148.67	155	1.02
	2	148.67	140	0.384	1.8	148.67	140	0.92
	3	148.67	160	0.384	1.7	148.67	160	1.05
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดา								
	1	148.78	162	0.385	2.2	346.58	360	1
	2	148.78	168	0.385	2.4	346.58	365	1.01
	3	148.78	170	0.385	2.6	346.58	355	0.98
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดเย็น(ตัดที่ 24 ชัวโมง)								
	1	280	225	0.385	1.3	355	362	0.98
	2	280	240	0.385	1.4	355	370	1.00
	3	280	225	0.385	1.2	355	375	1.01
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดเย็น(ตัดที่ 48 ชัวโมง)								
	1	280	295	0.385	1.2	355	365	0.98
	2	280	310	0.385	1	355	369	0.99
	3	280	302	0.385	0.9	355	374	1.01
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดเย็น(ตัดที่ 72 ชัวโมง)								
	1	280	275	0.385	1.2	355	370	1.01
	2	280	290	0.385	1.1	355	364	0.99

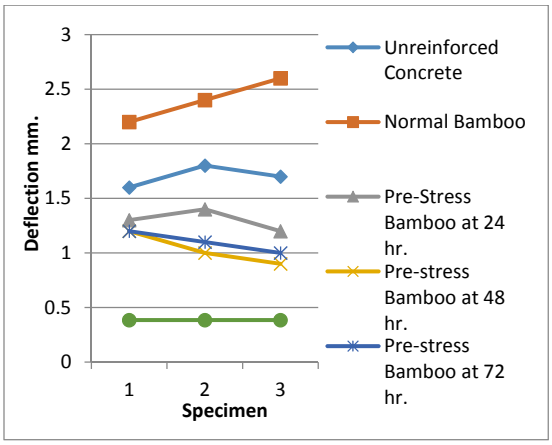
3	280	265	0.385	1	355	359	0.98



รูปที่ 22 แผนภาพผลทดสอบแรงกดที่คอนกรีตเริ่มร้าวในคาน 5 แบบ



รูปที่ 23 แผนภาพผลทดสอบแรงกดที่ไม้ไผ่ขาดในคาน 4 แบบ



รูปที่ 24 แผนภาพผลทดสอบการโก่งของคานทั้ง 5 แบบ

5. สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการทดสอบในจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าว

การโก่งที่จุดกึ่งกลาง จากผลการทดสอบในจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าวพบว่า คอนกรีตที่ไม่มีการเสริมใดๆเลย มีค่าการโก่งทางทฤษฎีอยู่ที่ 0.385 mm. และมีค่าการโก่งเฉลี่ย 1.7 mm. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมมีค่าการโก่งเฉลี่ย 2.4 mm. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน(การต้ม) และตัดออกจากฐานที่ 24 ชั่วโมงมีการโก่งเฉลี่ย 1.3 mm. ตัดที่ 48 ชั่วโมง มีการโก่งเฉลี่ย 1.03 mm. และตัดที่ 72 ชั่วโมงมีการโก่งเฉลี่ย 1.1 mm. เปรียบเทียบผลของการโก่งที่จุดกึ่งกลาง คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดาให้ผลของการโก่งสูงสุด คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนและตัดออกจากฐานที่ 48 ชั่วโมง เกิดการโก่งน้อยที่สุด

แรงกดสูงสุด พบว่าคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมใดๆ รับแรงกดสูงสุดเฉลี่ยได้ 151 kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดารับแรงกดสูงสุดเฉลี่ยได้ 166 kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (การต้ม) ตัดที่ 24 ชั่วโมง รับแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 230 kg. ตัดที่ 48 ชั่วโมง รับแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 320 kg. ตัดที่ 72 ชั่วโมง รับแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 277 kg. เปรียบเทียบผลทดสอบทั้งหมด คอนกรีตเปล่ารับแรงได้น้อยที่สุด ส่วนคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนและตัดออกจากฐานที่ 48 ชั่วโมง รับแรงได้สูงสุด

5.2 สรุปผลการทดสอบในจุดที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกัน

จุดที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกันคือจุดสุดท้ายที่คานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สามารถเสียรูปอย่างสิ้นเชิง (Ultimate Load) พบว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รับแรงได้ที่จุดนี้เฉลี่ย 360 kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ผ่านกระบวนการทางความร้อนตัดที่ 24 ชั่วโมง รับแรงได้ 369 kg. ตัดที่ 48 ชั่วโมง รับแรงได้ 369.33 kg. ตัดที่ 72 ชั่วโมง รับแรงได้ 364 kg. เปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงได้ที่จุดนี้ คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดารับแรงได้น้อยที่สุด ส่วนคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ตัดที่ 48 ชั่วโมง รับแรงได้สูงสุด

6. วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบที่ได้ การโก่งที่จุดกึ่งกลางเมื่อคอนกรีตเริ่มร้าวเปรียบเทียบคานทั้งหมด คานคอนกรีตที่เสริมด้วยไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนและอัดแรง(Pre-stress)มีการโก่งน้อยกว่าคานที่เสริมด้วยไม้ไผ่ธรรม ดาและคานที่ไม่เสริมใดๆ จาก [11] เป็นผลมาจากการที่คอนกรีตถูกอัดแรงเพิ่มทำให้ค่าความแข็งเกร็ง(Stiffness) โดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อโดนแรงกระทำจะทำให้คานเกิดการโก่งน้อย

เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงสูงสุดที่คานคอนกรีตทั้งหมดรับแรงได้พบว่าคานคอนกรีตที่ตัดออกมาจากฐานที่เวลา 48 ชั่วโมง(ความแข็งแรงของคอนกรีตประมาณ 50 kg/cm^2) สามารถรับแรงได้สูงสุดที่จุดที่คอนกรีตเริ่มร้าว(เปรียบเทียบกับคานที่เสริมไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนเหมือนกัน) เป็นผลมาจากการที่ตัวไม้ไผ่เมื่อโดนดึงก่อนไม้ไผ่มีค่าความต้านแรงดึงกลับพอประมาณเมื่อตัดออกจากฐานเพื่อให้ไม้ไผ่ส่งแรงอัดไปยังคอนกรีตในขณะที่คอนกรีตยังแข็งตัวไม่มาก จึงสามารถสร้างแรงอัดในคอนกรีตได้มากที่สุด เปรียบเทียบกับการตัดออกจากฐานที่เวลา 72 ชั่วโมง(ความแข็งแรงคอนกรีตประมาณ 71 kg/cm^2)มีค่าความสามารถในการรับแรงน้อยกว่าเนื่องด้วยเมื่อคอนกรีตเริ่มแข็งแรงมากขึ้นไม้ไผ่สามารถอัดคอนกรีตได้น้อยลง และผลการทดลองที่เห็นเด่นชัดคือที่การตัดออกจากฐานในเวลา 24 ชั่วโมง คอนกรีตแข็งแรงน้อยเกินไป แรงอัดที่ส่งจากไม้ไผ่สู่คอนกรีตจึงให้ประสิทธิผลน้อย

ที่จุดที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกันเปรียบเทียบแรงกดประลัยของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ทั้งสี่แบบพบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมากเนื่องด้วยการนำไม้ไผ่ไปต้มไม่ได้ทำให้ความเค้นที่จุดครากและความเค้นประลัยของไม้ไผ่เพิ่มแต่ทำให้ไม้ไผ่สามารถรีดได้ง่ายขึ้น บิดเกลียวง่ายขึ้นโดยไม่แตก

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การสร้างคานคอนกรีตอัดแรงหรือนำไปประยุกต์ ใช้กับการสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนควรตัดออกจากฐานที่เวลาใน ช่วง 48 – 72 ชั่วโมง ถ้าเกินกว้านี้คอนกรีตมีความแข็งมากเกินไปทำให้ไม้ไผ่ไม่สามารถส่งถ่ายแรงอัดเข้าไปในคอนกรีตได้เพียงพอและไม่ควรตัดออกจากฐานต่ำกว่า 48 ชั่วโมง

7.2 ควรมีการทดสอบลูกปูนที่เวลา 24, 48, 72 ชั่วโมงเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงเทียบกับ คอนกรีตที่อยู่ในแบบหล่อเพื่อให้ระยะเวลาในการตัดออกจากฐานแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย ขอขอบคุณนิสิตช่วยทำวิจัยและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งคุณ ราศีนวล. *การพัฒนาวัสดุหลังคาและผนังจากไม้ไผ่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง*. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, (2550).

[2] กานต์ คำแก้ว. *ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลือนหาย: การออกแบบศาลาประชาคม*. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, (2547).

[3] ไตร คะระนันท์. *การศึกษาเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้ไผ่รวกเพื่อนำไปสร้างแผ่นพื้นคอนกรีต*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, (2553).

[4] ทรงเกียรติ เที้ยทิทรัพย์. *เทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่*. สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2545).

[5] ทรงเกียรติ เที้ยทิทรัพย์. *เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา*. สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2550).

[6] Nipon ThienSiripipat. *Bamboo-Reinfoeced-Concrete Spillway Slabs*. Master of Engineering. Khon Kaen University, (1984).

[7] ฐิติกุล ภาคคีรี. *สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง*. วนศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, (2540).

[8] วัฒสุทธิ์นวล, ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร์ จินดาไส, บัญญัติ เฉิดฉิ้ม, นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกี่ยวข้อง. “โครงสร้างลาดชันระดับมหภาคและระดับจุลภาคของลำไม้ไผ่”. *J Sci & Tech Walailak*. 2005(1) : 81-97, 2005.

[9] ขณิษฐา มาคุ้ม. *การศึกษาสมรรถนะในการรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ที่มีการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยว*. ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2549).

[10] ณรงค์ กุหลาบ. *การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, (2543).

[11] นเรศ พันธราธร. *การออกแบบคอนกรีตอัดแรง*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีปทุม, (2541).

[12] วิวัฒน์ เตมียพันธ์. “เรือนพักอาศัย: รูปแบบสำคัญของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น”. *อาษา*. 2541(1) : 61-63, 2541.

[13] อิทธิวัฒน์ ยอดเยี่ยม และนคร วีระโพธิ์ประสิทธิ์. *การศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมไม้ไผ่รับแรงดัดในแนวแกน*. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา, (2550).

[14] มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.409-2525). *วิธีการทดสอบความต้านทานของแท่งคอนกรีต*. กรุงเทพ : กระทรวงอุตสาหกรรม, (2525).

[15] มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มทช.(ท)105.2-2545). *มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต*. กรุงเทพ : กระทรวงอุตสาหกรรม, (2545).

[16] ASTM D638 – 14(2014). “Standard Test Method for Tensile Properties,” NewYork, United States of America, 2014.