

## การเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้ไผ่รวกเพื่อนำไปสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง Strength improvement for Ruak bamboo to build pre-stress reinforced concrete slab

ไตร คระนันท์<sup>1</sup>, สมชาย แยมใส่<sup>2</sup>

Tri Kharanan, Somchai Yamsai

Received: 25 April 2016 ; Accepted: 26 August 2016

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยการเสริมไม้ไผ่รวกที่ร้อนโดยไม้ไผ่ที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นไม้ไผ่รวกผ่านกระบวนการรีดร้อนด้วยลูกกลิ้งจากนั้นจึงนำมาพันเป็นเกลียวและสร้างแรงดึงขึ้นต้นด้วยการบิดและดึงพร้อมเททับด้วยคอนกรีตเพื่อให้ไม้ไผ่รวกเป็นตัวถ่ายแรงอัดให้กับคอนกรีตจากนั้นจึงบ่มคอนกรีตให้ได้มาตรฐานที่ 28 วันขึ้นไปจึงนำไปทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า ไม้ไผ่รวกที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนนำมาบิดเกลียวและนำไปทำแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงขนาด กว้าง 30 cm. ลึก 10 cm. และยาว 150 cm. เมื่อนำมาทดสอบหาแรงกดที่คอนกรีตเริ่มแตกร้าว พบว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดเฉลี่ยร้อยละ 12.38 เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สานเป็นตารางและร้อยละ 18.02 เมื่อเทียบกับคานคอนกรีตเปลารวมทั้งสามารถรับแรงกดที่จุดขาดของไม้ไผ่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8.54

**คำสำคัญ:** ไม้ไผ่ รีดร้อน คอนกรีต แรงกดประลัย คอนกรีตอัดแรง

### Abstract

This research focused on the design and test of concrete slabs. The slabs were constructed using bamboo and then reinforced with the hot roll process. The bamboo used in this research was ruak bamboo hot rolled by rollers and then wrapped into a spiral which created traction with twist and pull during the concrete pouring process. The bamboo was then stressed to concrete and cured for the standard 28 days before it is tested. The results showed that bamboo from the hot roll process, when twisted and poured, made concrete slabs 30cm wide, 10cm deep and 150cm long. The concrete test slabs started to crack at these dimensions. At these dimensions, the slabs load ability increased an average of 12.38% compared with reinforced concrete and 18.03% compared to normal bamboo. The break point of the bamboo was forecast to increase by about 8.54%.

**Keywords:** Bamboo, Hot roll, Ultimate load, Concrete, Pre-stress concrete.

### บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาและเป็นประเทศที่มีอัตราการก่อสร้างที่อยู่อาศัย และถนนหนทางต่อปีค่อนข้างสูง ดังนั้นในแต่ละปีจำเป็นต้องใช้วัสดุในการก่อสร้างจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่การก่อสร้างอาคารบ้านเรือนทั่วไปจะใช้วัสดุหลักอยู่สองส่วนประกอบคือ ส่วนที่เป็นคอนกรีตและ

ส่วนที่เป็นเหล็กโครงสร้างสำหรับวัตถุประสงค์ที่ผลิตขึ้นเป็นส่วนประกอบคอนกรีตนั้น ประเทศไทยสามารถผลิตใช้ได้เองจากแหล่งต่างๆ เช่นแถบจังหวัด สระบุรีและลพบุรี ส่วนเหล็กโครงสร้างนั้นวัสดุเหล็กต้นทาง (Metal billet) จะส่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อนำมาแปรรูปเป็นเหล็กรูปพรรณต่างๆ เช่นเหล็กโครงสร้าง เหล็กข้ออ้อยก่อสร้าง และเหล็กอื่นๆ

<sup>1,2</sup>อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

<sup>1,2</sup> Lecturer, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, T. Srisakabue, A.Ongkarak, Nakon Nayok 26120

\* Corresponding author: Tri Kharanan, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, T. Srisakabue, A.Ongkarak, Nakon Nayok 26120, Thailand E-mail: samruay@g.swu.ac.th, Tel: 062-665-5522

ในสภาวะที่ประเทศไทย มีการบริโภคเหล็กอย่างต่อเนื่องทำให้ต้องนำเข้าเหล็กจากต่างประเทศต่อปีเป็นจำนวนมากมีผลทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศค่อนข้างสูง<sup>10</sup> จากการศึกษาข้อมูลในอดีต ประเทศไทยมีการนำวัสดุท้องถิ่นในธรรมชาติมาใช้ทดแทนเหล็กโครงสร้างที่ใช้ยึดคอนกรีตนั้นคือไม้ไผ่ เช่น ไผ่ตง ไผ่บง ไผ่รวก จำนวนและชนิดของการใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนและความยากง่ายของท้องถิ่นนั้นๆ การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากยังขาดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง<sup>9</sup> และได้ถูกวัสดุสมัยใหม่เข้ามาแทนที่เนื่องด้วยมีความสะดวกและมีมาตรฐานในการผลิตจนลืมนำวัสดุท้องถิ่นที่เป็นภูมิปัญญาของไทยไปจนหลงเหลือ<sup>1</sup>

ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นคุณประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติในประเทศไทย โดยเฉพาะไม้ไผ่ ซึ่งเป็นไม้ที่มีศักยภาพสูงมีความแข็งแรง เมื่อเทียบต่อน้ำหนักแล้วไม้ไผ่สามารถรับแรงได้ค่อนข้างดีและสามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ<sup>15</sup> ในการศึกษาข้อมูลพบว่าไม้ไผ่ในประเทศไทยเทียบสัดส่วนต่อป่าโดยรวมจะมีจำนวนมากที่สุดในภาคกลางที่ร้อยละ 13.5 โดยเฉพาะในเขตภาคกลางตอนบน<sup>1</sup> และจะปลูกตามริมคลองธรรมชาติเพราะไม้ไผ่จะสามารถเจริญเติบโตได้เองโดยไม่ต้องการดูแลมากนัก

ในการวิจัยนี้ต้องการที่จะพัฒนาการก่อสร้างด้วยไม้ไผ่ ให้เข้ากับเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ ให้เป็นที่ยอมรับ โดยระบบการก่อสร้างด้วยวัสดุท้องถิ่นนั้นการจะยกมาตรฐานของวัสดุจะต้องคำนึงถึงหลักการที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้าง เช่น ความยั่งยืน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความทนทานและปลอดภัย ความง่ายในการผลิตเพื่อให้ชุมชนท้องถิ่นสามารถผลิตใช้ได้เอง รวมทั้งสามารถสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นนั้นๆ<sup>7</sup>

## วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Nipon Thiensiriphat, 2527 ศึกษาความแข็งแรงทางกลและทางกายภาพของไม้ไผ่สามชนิดคือ ไผ่รวก ไผ่ตง และไผ่บ้านโดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการที่จะทำให้ไม้ไผ่สามารถรับแรงได้เมื่อนำไปทำการสร้างแผ่นพื้นโดยที่ไผ่รวกมีความต้านแรงดึงมากที่สุดและได้ทำการทดสอบสร้างแผ่นพื้นขึ้นมาโดยการนำไม้ไผ่ไป ควัน ทาฟลีนโค้ท และชุบน้ำพบว่าการทำทับด้วยฟลีนโค้ทสามารถรับแรงเฉือนขนานเส้นได้ดีกว่ารูปแบบอื่น

ฐิติกุล ภาคคีรี, 2540 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตงพบว่าค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการแตกหักเท่ากับ 135 MPa โมดูลัสการยืดหยุ่น 13.115 GPa ค่าเฉลี่ยการต้านแรงดึงเท่ากับ 314 MPa โดยการทดสอบนี้เปรียบเทียบกับ

ไม้ไผ่ตั้งแต่อายุตั้งแต่หนึ่งถึงห้าปีและตลอดความยาวพบว่าไม้ไผ่ที่อายุ สองปีครึ่งขึ้นไปและบริเวณโคนต้นมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน

วิมล สุทธินวน, ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร์ จินดาใส, บัญญัติ เจ็ดจิม, นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกียวของ, 2548 จากการศึกษาวิจัยระดับมหภาคพบว่าความเค้นอันเกิดจากแรงลมในไม้ไผ่ที่มีลักษณะเป็นทอกลวงและมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำไผ่เล็กลงจากโคนลำสู่ปลายลำมีค่าสม่ำเสมอตามความสูงของลำไม้ไผ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกลางลำ นอกจากนี้โครงสร้างระดับมหภาคดังกล่าวมีค่าความแกร่งต่อความเค้นบิดคิดเป็นเนื้อไม้ที่เท่ากัน

ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์, 2545 ได้ทำการหาวิธีการทำให้ไม้ไผ่แห้งและป้องกันมอด แมลงด้วยวิธีการต้มและอัดน้ำยาเข้าไปในไม้ไผ่ เพื่อนำไปสร้างอาคารพบว่าใช้งานได้ดี

ชนิษฐา มาคุ้ม, 2549 ได้ทำการศึกษาเพื่อทำการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวไม้ไผ่กับคอนกรีตโดยใช้วิธีการทาทับไม้ไผ่ด้วยอีพ็อกซี แล็กเกอร์ และสีย้อมไม้ พบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ให้ผลสูงสุดคือ อีพ็อกซี แล็กเกอร์และสีย้อมไม้ตามลำดับ

ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์, 2550 ทำการวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างที่พักอาศัยในเขตพื้นที่หมู่บ้านสาขลา ตำบลนาเกลือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการพบว่าไม้ไผ่มีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้ในเขตพื้นที่เพราะสามารถถ่ายทอดความรู้ได้รวมทั้งผู้อยู่อาศัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้วยตนเอง

รุ่งคุณ ราศีนวน, 2550 ศึกษาความสามารถของไม้ไผ่ในการนำไปทำวัสดุหลังคาและผนังซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้ในเกณฑ์ดี

ไทร กระจะนันท์, 2555 ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของไม้ไผ่รวกที่มีอายุตั้งแต่หนึ่งปีจนถึงอายุห้าปี พบว่าไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่ หนึ่งถึงสองปี มีคุณสมบัติทางกลที่ค่อนข้างแตกต่างกันตั้งแต่โคนลำต้นจนถึงปลายลำต้น และไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่ สองปีกว่าถึงห้าปี พบว่าตั้งแต่บริเวณโคนลำต้นจนถึงระยะประมาณสามส่วนสี่ของลำต้น มีคุณสมบัติทางกลไม่แตกต่างกันและได้ผลสรุปว่า ควรใช้ไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่สองปีขึ้นไปเพื่อควบคุมคุณสมบัติทางกลให้ใกล้เคียงกัน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### การเตรียมวัสดุดิบ

วัสดุดิบที่นำมาทดสอบเป็นไม้ไผ่ที่ตัดในฤดูแล้ง (ตัดในกอเดียวกัน) และมีอายุมากกว่าสองปีขึ้นไปโดยส่วนที่นำมา

ใช้งานเป็นบริเวณโคนลำต้นทั้งหมดเพื่อควบคุมให้ไม้ไฟให้มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน<sup>3,6</sup>

**การออกแบบการทดสอบ**

การออกแบบการทดสอบเป็นการออกแบบเพื่อทดสอบ คุณสมบัติของไม้ไฟรวกและคอนกรีต เพื่อหาขีดความสามารถในการรับแรงเมื่อไม้ไฟ ต้องถูกใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีตแทนเหล็ก โดยการทดสอบนี้ จะเป็นการทดสอบพื้นฐาน และนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไปทำการทดสอบประยุกต์ เพื่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไฟ

**ช่วงที่ 1 การทดสอบพื้นฐาน**

ทดสอบค่าการต้านแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นการทดสอบทำโดยการ นำวัสดุไม้ไฟ ที่ผ่านการบ่มและทำให้แห้งมาทำการตัดออกเป็นปล้องไม่รวมข้อโดยเลือกชิ้นไม้ไฟสามชิ้นต่อการทดสอบหนึ่งค่า (หนึ่งปล้อง) โยรวมทดสอบสามารถรอบจำนวนเก้าชิ้นงานโดยตำแหน่งของปล้องที่ตัดได้มาตั้งแต่โคนถึงสามส่วนสี่ของของลำต้น

**การทดสอบการรับแรงดึงของไม้ไฟ**

การทดสอบแรงดึงจะทำการตัดชิ้นไม้ไฟให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และบริเวณตรงกลางให้มีลักษณะเว้าเข้าไปคล้ายกับกระดูกหมา (Dog Bone)<sup>16</sup> จากนั้นนำไป ทดสอบแรงดึงบนเครื่องทดสอบ UTM Lloyd รุ่น LS100 Plus (ASTM D638)<sup>16</sup>

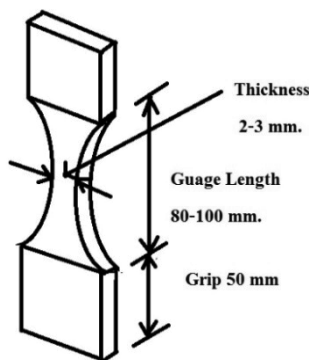


Figure 1 Test specimens

**การทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีต**

การทดสอบหาลำดับการต้านทานของคอนกรีต จะใช้วิธีมาตรฐานการทดสอบของ มอก.<sup>13</sup> กำลังการต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุคอนกรีต และวิธีการทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอนกรีตตลอดจนอายุของคอนกรีต

โดยปกติกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วันหลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ แต่ในบางครั้งอาจใช้ที่ 3 หรือ 7 วันก็ได้<sup>24</sup>

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ( $f'_c$ ) ในที่นี้จะเลือกใช้ปูนประเภทที่หนึ่ง ซึ่งเป็นปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีส่วนผสม ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน และปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 45 ของปูนเพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีกำลังอัดไม้ต่ำกว่า 300kg./cm.<sup>2</sup> และบ่มด้วยน้ำที่ประมาณ 28 วันจึงนำไปทดสอบ

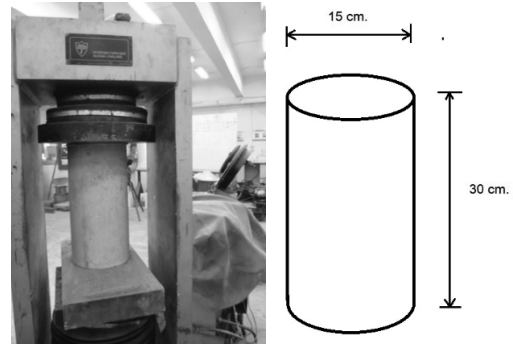


Figure 2 Concrete specimen

**ช่วงที่ 2 การทดสอบประยุกต์**

**การทดสอบการรีดร้อน**

การทดสอบการรีดร้อน ทำการทดสอบโดย เลือกตัดไม้ไฟที่มีความยาว 2m. โดยตัดให้ผิวด้านนอกของไม้ไฟติดมาด้วย จากนั้นนำมาปรับขนาดความกว้าง ไม่เกิน 4mm. หนา 3mm. โดยการเหลาผิวด้านล่างออกเล็กน้อย การทดสอบการรีดนี้จะทำการทดสอบโดยการนำไม้ไฟผ่านเข้าไปในเตาอบความร้อนที่สามารถปรับตั้งความร้อนได้ตั้งแต่ 0-150°C การรีดไม้ไฟจะทำการทดสอบรีดที่อุณหภูมิต่ำจนถึงอุณหภูมิสูง โดยที่ไม่ทำให้ไม้ไฟเกิดการไหม้ และหาค่าความหนาต่ำสุด โดยที่ไม่ไฟไม่แตก

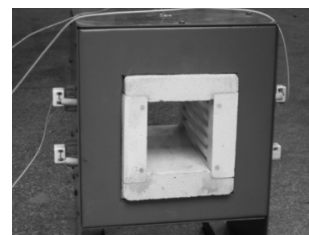


Figure 3 Oven

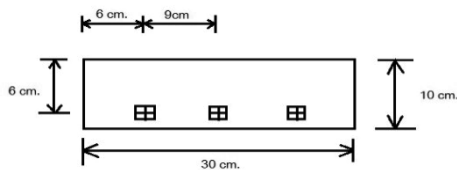


Figure 4 Bamboo rolling machine

**การออกแบบทดสอบแผ่นพื้น**

การออกแบบทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีต ทั้งหมดจะทำการทดสอบสามรอบโดยในแต่ละรอบจะมีแผ่นพื้นคอนกรีตสามแบบคือแผ่นพื้นคอนกรีตเปล่า แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานตารางและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนบิดเกลียว (Pre-stress) แบบละ 3 ชั้น รวมทั้งหมด 27 ชั้น (บ่มไว้ 28 วัน) การทดสอบแผ่นพื้นของคอนกรีต จะทำการทดสอบหาโมเมนต์ประลัย ( $M_u$ ) เพื่อหาค่าความสามารถสูงสุดของแรงที่สามารถรับได้ บททฤษฎีของโมเมนต์ประลัย<sup>8</sup>

เครื่องทดสอบแรงกดในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบแบบกำหนดจุดกดสามจุด<sup>14</sup> ที่กึ่งกลางคานรองรับแบบลูกกลิ้ง



**Figure 5** Cross section of concrete slab reinforced grid and twisted bamboo

**การออกแบบการวางไม้ไผ่เสริม**

การวางไม้ไผ่เสริมจะวางไว้สองชุดชุดแรกเป็นไม้ไผ่เสริมปกติส่วนชุดที่สองเป็นไม้ไผ่เสริมรีดร้อนบิดเกลียว ไม้ไผ่ที่วางมีพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากันที่ 1 cm<sup>2</sup> จำนวนชุดละ 3 เส้นวางที่ตำแหน่งเหมือนกันสำหรับคานคอนกรีตล้วนมีมิติเหมือนกับคานทั้งสองแบบ

**การออกแบบเครื่องสร้างแรงดึงและแบบหล่อ**

การออกแบบเครื่องให้แรงดึงชั้นต้นจะใช้เหล็กรูปพรรณตัว H ที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้โดยด้านที่สร้างแรงดึงจะติดตั้งตัว Turnbuckle และตัววัดแรง (Digital gauges) เพื่อวัดแรงดึงชั้นต้นของไม้ไผ่ตามค่าที่ออกแบบไว้

หลังจากสร้างแรงดึงบนไม้ไผ่ทั้งสามเส้นแล้วจะย้ายชุดปรับแรงดึงและวัดแรง ไปติดตั้งยังชุดถัดไปซึ่งแบบหล่อที่สร้างขึ้นมานั้นสร้างไว้สามชั้นต่อเครื่องหนึ่งชุดเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตให้มีความแข็งแรงใกล้เคียงกันมากที่สุด



**Figure 6** Machine frame

**ผลการทดสอบ**

**ผลการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่**



**Figure 7** Test specimen

**ผลการทดสอบแรงดึง**

จากผลการทดสอบแรงดึงเพื่อทำการหาความเค้นดึงสูงสุดจำนวนเก้าชุด (ใช้ค่าเฉลี่ย) พบว่าค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 2153.65kg./cm.<sup>2</sup> และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ย 321,376.5kg./cm.<sup>2</sup>

ผลการทดสอบหาค่าแรงอัดประลัยในคอนกรีตแท่ง จาก<sup>4</sup> หาโมดูลัสความยืดหยุ่น ( $E_c$ ) จากแรงอัดประลัย ( $f'_c$ )

$$E_c = 15,200\sqrt{f'_c} \tag{1}$$

และโมดูลัสที่จุดแตกหัก (rupture)

$$f'_r = 1.99\sqrt{f'_c} \tag{2}$$

**ผลการทดสอบแรงอัดประลัย<sup>13</sup>**

จากการทดสอบแรงอัดประลัยทั้งสามชั้นทดสอบ ผลการทดสอบที่ออกมา มีค่าสูงสุด 325kg./cm.<sup>2</sup> ต่ำสุดมีค่าเป็น 312kg./cm.<sup>2</sup> มีค่าเฉลี่ยความเค้นอัดประลัย 319kg./cm.<sup>2</sup> และจากค่าความเค้นอัดประลัยที่ได้นี้ นำไปคำนวณเพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต ได้ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย  $2.7 \times 10^5$  kg./cm.<sup>2</sup> และค่า Modulus of rupture เฉลี่ยมีค่าเป็น 35.54kg./cm.<sup>2</sup>

**ผลการทดสอบรับแรงดึงประลัยของไม้ไผ่รีดร้อน บิดเกลียว (Ultimate or Breaking Strength)**



**Figure 8** Sample of tensile strength test of hot rolled bamboo twisted

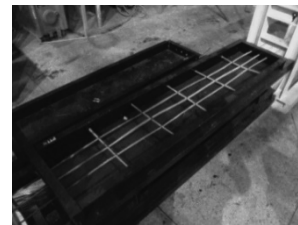
**ผลการทดสอบแรงดึงประลัยของไม้ไผ่รีดร้อน บิดเกลียวและผลการทดสอบการรีดไม้ไผ่**

ผลการทดสอบรีดร้อนไม้ไผ่พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ไม่เกิน 120 °C และกดด้วยความหนาต่ำสุด 3 mm. จากผลการทดสอบไม้ไผ่จำนวน 15 เส้น ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน และนำมามัดรวมให้มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm.<sup>2</sup> และนำไปทำการบิดพร้อมดิ่งเพื่อหาแรงดึงสูงสุดพบว่า ค่าสูงสุดที่ไม้ไผ่รับได้เท่ากับ 2,558 kg. ต่ำสุด 2,357 kg. เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ 2,449 kg.

**ผลการทดสอบโมเมนต์ประลัยของแผ่นพื้น (M<sub>u</sub>)**

การทดสอบคอนกรีตทำสามรอบในแต่ละแบบของคอนกรีต ในชุดแรกเป็นคอนกรีตเปล่านั้นผ่านการบ่มมาเป็นเวลาเกิน 28 วันทดสอบด้วยเครื่อง UTM<sup>14</sup> โดยการปรับตั้งให้แกนไฮดรอลิกส์กดลงมาครั้งละ 0.01 mm. จนกระทั่งคอนกรีตเริ่มมีรอยแตก (Crack) ชุดที่สองเป็นคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่

รอกสานเป็นตาราง กดจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแตก (Crack) ชุดท้ายไม้ไผ่ขาดออกจากกัน (Ultimate or Break) และชุดสุดท้ายเป็นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านการรีดร้อนบิดเกลียว (Pre-stress) ให้แรงดึงเบื้องต้นที่ร้อยละ 85 ของแรงดึงประลัย ตัดออกมาจากฐานสร้างแรงดึงที่เวลา 84 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิห้องด้วยการพันด้วยพลาสติกไม่ให้เกิดคอนกรีตสูญเสียความชื้นเร็วเกินไปที่เวลา 28 วันจึงนำไปทดสอบ



**Figure 9** Finished Reinforcement in Form



**Figure 10** Test specimen pre-test



**Figure 11** Test specimen bending machine

**Table 1** Results of bending test when begin cracked concrete and bamboo begin broken (Ultimate)<sup>8,15</sup>

ลักษณะชิ้นทดสอบ	ชั้นที่	ผลการทดสอบเมื่อคอนกรีตเริ่ม Crack				แรงกดประลัย		Pu/Po	ลักษณะการพัง Failure Mode
		แรงกด		การโก่งที่จุดกึ่งกลาง		Ultimate Load Pu(kg.)			
		ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	ทฤษฎี (mm.)	ผลทดสอบ (mm.)	ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)		
คอนกรีตเปล่านั้น									
รอบที่ 1	1	456	512	0.384	1.6	456	512	0.95	1
	2	456	578	0.384	1.8	456	578	1.08	1
	3	456	540	0.384	1.7	456	540	1.01	1
รอบที่ 2	4	456	548	0.384	1.6	456	548	1.02	1
	5	456	526	0.384	1.6	456	526	0.98	1
	6	456	ไม่สมบูรณ์	0.384	ไม่สมบูรณ์	456	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์

**Table 1** (const.) results of bending test when begin cracked concrete and bamboo begin broken (Ultimate)<sup>8,15</sup>

ลักษณะชั้นทดสอบ	ชั้นที่	ผลการทดสอบเมื่อคอนกรีตเริ่ม Crack				แรงกดประลัย		Pu/Po	ลักษณะการพัง
		แรงกด		การโก่งที่จุดกึ่งกลาง		Ultimate Load Pu(kg)			
		ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	ทฤษฎี (mm.)	ผลทดสอบ (mm.)	ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)		
คอนกรีตเปล้า									
รอบที่ 3	7	456	520	0.384	1.8	456	520	0.97	1
	8	456	ไม่สมบูรณ์	0.384	ไม่สมบูรณ์	456	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	9	456	535	0.384	1.7	456	535	1.00	1
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดา									
รอบที่ 1	1	457.041	549	0.385	2.2	983	1019	1.90	2
	2	457.041	587	0.385	2.4	983	1085	2.02	2
	3	457.041	607	0.385	2.6	983	1108	2.06	2
รอบที่ 2	4	457.041	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	983	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	5	457.041	550	0.385	2.5	983	1078	2.01	2
	6	457.041	579	0.385	2.3	983	1045	1.95	2
รอบที่ 3	7	457.041	584	0.385	2.4	983	1032	1.92	2
	8	457.041	561	0.385	2.5	983	1095	2.04	2
	9	457.041	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	983	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อน									
รอบที่ 1	1	850	610	0.385	1.3	1067	1144	2.13	2
	2	850	695	0.385	1.4	1067	1143	2.13	2
	3	850	654	0.385	1.2	1067	1187	2.21	2
รอบที่ 2	4	850	628	0.385	1.1	1067	1178	2.19	2
	5	850	669	0.385	1.4	1067	1159	2.16	2
	6	850	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	1067	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
รอบที่ 3	7	850	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	1067	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	8	850	659	0.385	1.3	1067	1168	2.18	2
	9	850	670	0.385	1.2	1067	1180	2.20	2

เมื่อ Po คือแรงกดประลัยเฉลี่ยของชั้นทดสอบคอนกรีตเปล้า

การหาขนาดแรงกดของคอนกรีตทั้งสามแบบ<sup>๑</sup>  
คอนกรีตเปล้า

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{WL^2}{8} \tag{3}$$

เมื่อ P = แรงกดที่จุดกึ่งกลาง, L = ระยะห่างของจุดรองรับ (140 ซม.), W = น้ำหนักของคอนกรีตต่อหน่วยความยาว (kg./cm.)

จากทฤษฎีโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$M = f_r b h^2 / 6 \tag{4}$$

เมื่อ fr = Rupture Modules ของคอนกรีต (35.5 kg./cm<sup>2</sup>)

b = ความกว้างของแผ่นพื้น (Slab width = 30cm.)

h = ความหนาของคอนกรีต (Slab thickness = 10 cm.)

คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ตาราง

ใช้วิธี Balance Reinforcement Ratio

$$P_b = \frac{0.85 \times k_1 \times 0.003}{\frac{f'_b}{E_b} + 0.003} \times \frac{f'_c}{f'_b} \tag{5}$$

เมื่อ f'<sub>c</sub> คือแรงกดประลัยในคอนกรีต, f'<sub>b</sub> คือ แรงดึงประลัยในไม้ไผ่, E<sub>b</sub> คือโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ไผ่ k<sub>1</sub> มีค่า = 0.85 เมื่อ f'<sub>c</sub> ≤ 300 kg./cm.<sup>2</sup>, k<sub>1</sub> มีค่า = 0.85 - 0.0008(f'<sub>c</sub> - 300) ≥ 0.65 เมื่อ f'<sub>c</sub> > 300 kg./cm.<sup>2</sup> ได้ค่า k<sub>1</sub> = 0.825 และค่าสูงสุดของโมเมนต์

$$M = A_b f'_b d \left( 1 - \frac{\beta_1 f'_b}{0.85 k_1 f'_c} P \right) \tag{6}$$

เมื่อ  $A_b$  คือพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ไผ่,  $d$  คือความลึกจากผิวบนคอนกรีตถึงไม้ไผ่,  $\beta_1$  คือ  $\frac{k_1}{2}$ ,  $P$  คือ reinforcement ratio

**คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อน<sup>8</sup>**

การออกแบบคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไผ่ออกแบบแรงอัดของคอนกรีตไว้ที่ร้อยละ 50 และหาจำนวนชั่วโมงที่ต้องตัดคอนกรีตออกจากแบบ

$$f'_c(t) = \frac{t}{\alpha + \beta t} f'_c(28) \tag{7}$$

เมื่อ  $f'_c(t)$  คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ  $t$  วัน  $f'_c(28)$  คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน  $\alpha, \beta$  คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์และวิธีการบ่ม

**การหาหน่วยแรงดึงวิบัติ<sup>8</sup>**

$$f'_{pb} = f'_{but} \left\{ 1 - \frac{r_p}{\beta_1} \left[ p \frac{f'_{but}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \tag{8}$$

เมื่อ  $f'_{but}$  คือ หน่วยแรงดึงประลัยในไม้ไผ่รีดร้อน  $kg./cm.^2$

$\omega$  คือ ดัชนีไม้ไผ่เสริมธรรมดารับแรงดึง

$\omega'$  คือ ดัชนีไม้ไผ่เสริมรับแรงอัด

$p$  คือ อัตราส่วนของไม้ไผ่เสริมอัดแรง  $= \frac{A_b}{bd_p}$ ,

$d$  คือ ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของไม้ไผ่เสริมธรรมดารับแรงดึง

$d_p$  คือ ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของไม้ไผ่เสริมอัดแรง

$\beta_1$  คือ ตัวคูณการกระจายของหน่วยอัดแรงในคอนกรีตเทียบเท่าเป็นรูปสี่เหลี่ยม

$r_p$  คือ ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของไม้ไผ่อัดแรงมีค่าดังนี้

0.40 เมื่อ  $0.85 \leq \frac{f_{by}}{f_{but}} \leq 0.90$ , 0.28 เมื่อ

$\frac{f_{by}}{f_{but}} \geq 0.90$  (9)

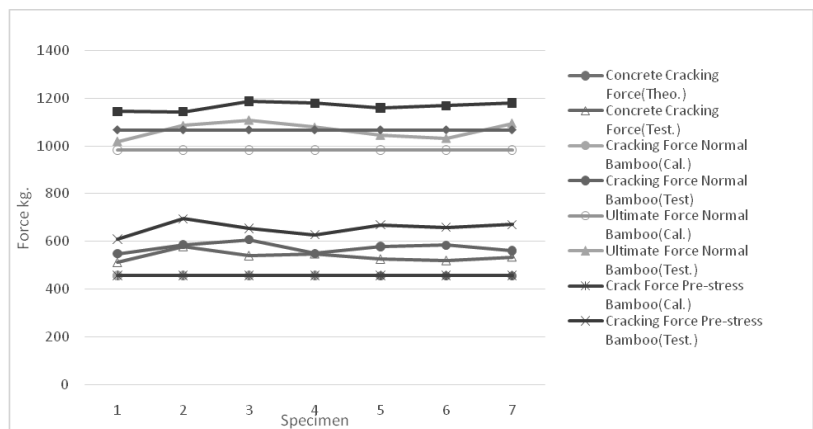


Figure 12 Compression strength Vs. Reinforcement for different compositions of composites

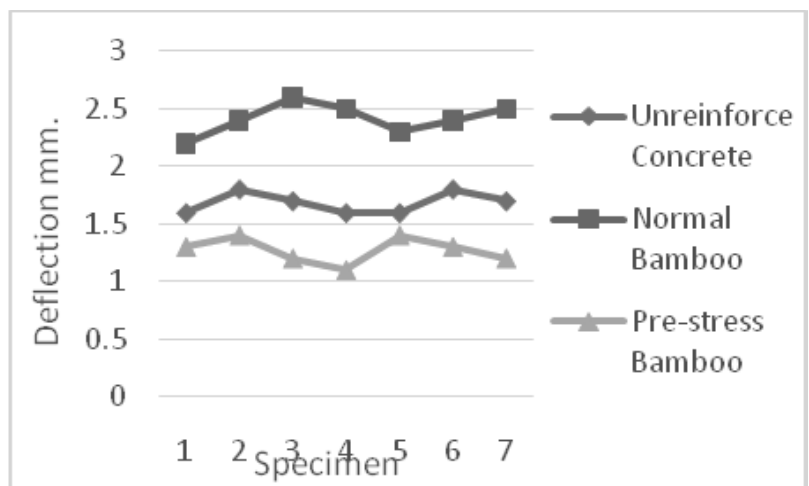


Figure 13 Deflection behavior of beam reinforced with bamboo

## สรุปผล

สรุปผลเปรียบเทียบการโค้งของแผ่นพื้นทั้งสามแบบ ผลการทดสอบพบว่าจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าวคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตาราง มีค่าการโค้งสูงสุด คอนกรีตเปล่านั้นมีค่ารองลงมา และคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียวมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบผลของการโค้งที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกันพบว่าไม้ไผ่สานเป็นตารางจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียว

ผลการทดสอบแรงกดที่จุดกึ่งกลาง ค่าเฉลี่ยของคอนกรีตเปล่านั้นรับแรงกดสูงสุด (Crack) 537kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่เป็นตาราง 574kg. และคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียว 655kg. เปรียบเทียบความแตกต่างพบว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดให้กับคอนกรีต (Crack) ได้มากกว่าคอนกรีตเปล่านั้นร้อยละ 18.02 และเทียบคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตารางธรรมดาสามารถรับได้มากกว่าร้อยละ 12.38

ผลการทดสอบแรงกดประลัยที่จุดสุดท้ายเมื่อไม้ไผ่ขาดออกจากกันพบว่า ค่าเฉลี่ยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตารางสามารถรับแรงกดได้ 1,066kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวรับได้ 1,165kg. ตัวไม้ไผ่รับแรงได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.54

## วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบที่ได้เริ่มตั้งแต่การทดสอบชิ้นงานดิบของไม้ไผ่ นำมาทดสอบบนเครื่องทดสอบแรงดึงให้ผลออกมาเป็นไปตามค่าที่ใกล้เคียงกับเอกสารอ้างอิง<sup>3</sup> เมื่อนำไม้ไผ่ไปทำการรีดร้อนและนำมาบิดเป็นเกลียวพบว่าไม้ไผ่สามารถรับแรงดึงที่จุดแตกหักได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.59 และไม่สามารถเพิ่มได้มากกว่านี้เนื่องด้วยชิ้นงานขาดก่อนประมาณร้อยละ 50-60 ก่อนถึงจุดคำนวณแตกหักเกือบทั้งหมดของไม้ไผ่ที่ขาดจะขาดจากบริเวณข้อซึ่งเป็นบริเวณที่ไม้ไผ่รับแรงดึงได้น้อยสุด ฉะนั้นการที่นำไม้ไผ่รวมไปทำการรีดร้อนจึงส่งผลต่อการต้านแรงดึงของไม้ไผ่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ผลการทดสอบที่น่าสนใจคือจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าวเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตเปล่านั้นกับคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวพบว่าการอัดแรงก่อนด้วยการบิดเกลียวนั้นสามารถทำให้คอนกรีตรับแรงกดได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 18.02 เป็นผลมาจากที่คอนกรีตถูกถ่ายแรงอัดด้วยไม้ไผ่ที่บิดเกลียวทำให้ความสามารถรับแรงดึงคอนกรีตสูงขึ้น แต่สำหรับจุดสุดท้ายที่ไม้ไผ่เริ่มขาดออกจากกัน (Ultimate) เปรียบเทียบระหว่างไม้ไผ่ธรรมดากับไม้ไผ่รีดร้อน พบว่าแตกต่างกันเพียงแค่อ้อยู่ 8.54 ทำให้สามารถสรุปผลชัดเจนขึ้นว่าการนำไม้ไผ่ไปทำการรีดร้อนสามารถเพิ่มการต้านแรงดึง (Ultimate Strength)

ของตัวไม้ไผ่เองได้เพียงเล็กน้อยแต่ที่คอนกรีตรับแรงได้เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการอัดแรงของไม้ไผ่ที่บิดเกลียวช่วยเพิ่มการต้านแรงดึงของคอนกรีต<sup>8</sup>

จากผลการทดสอบอีกประการหนึ่งคือผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดของคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวที่ทดสอบได้เมื่อคอนกรีตเริ่มร้าวสามารถรับแรงได้น้อยกว่าผลการคำนวณอันเนื่องมาจากเมื่อไม้ไผ่โดนน้ำจะเกิดการคลายตัว(Stress release)และจะมีการพองตัวเมื่อไม้ไผ่เริ่มแห้งน้ำจะหายไปจากตัวไม้ไผ่ ทำให้ไม้ไผ่เกิดการหดตัว<sup>2</sup>แรงดึงถดถอยที่ประมาณการไว้จึงมีค่ามากกว่าความเป็นจริงทำให้ไม้ไผ่ไม่สามารถส่งถ่ายแรงอัดไปให้คอนกรีตได้ตามที่ต้องการ

## ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบในครั้งต่อไปหลังจากที่มีการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อแล้วควรมีการอัดแรงซ้ำ เพราะเมื่อไม้ไผ่โดนน้ำจะมีการคลายตัวทำให้แรงดึงที่ไว้ไว้เบื้องต้นมีค่าลดลง จนทำให้ไม้ไผ่ส่งถ่ายแรงอัดไปยังคอนกรีตไม่ได้ตามต้องการ
2. ควรมีการเคลือบไม้ไผ่ด้วยวัสดุต่างๆ เช่น อีพอกซีเวเทอร์โคท<sup>2</sup> เพื่อให้ไม้ไผ่มีคุณภาพผิวที่ดีสามารถยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดีเมื่อเวลาผ่านไปเกิน 84 ชั่วโมง
3. ก่อนกระบวนการบิดเกลียวไม้ไผ่ควรใช้ลวดเหล็กมัดเกลียวไม้ไผ่เป็นช่วงๆ เพื่อป้องกันเส้นไม้ไผ่ย่อยหลุดหรือแยกกลุ่มกันทำให้มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอทำให้ไม้ไผ่ขาดก่อนที่จะถึงแรงดึงออกแบบ
4. การประมาณค่าของแรงดึงถดถอยในไม้ไผ่ บิดเกลียวควรมีการทดสอบก่อน โดยการบิดเกลียวให้ไม้ไผ่มีแรงดึงขั้นต้นที่ต้องการและเทน้ำลงไปเพื่อดูว่าไม้ไผ่บิดเกลียวสูญเสียแรงดึงขั้นต้นมากขนาดไหนเพื่อนำผลที่ได้ไปทำการอัดแรงซ้ำก่อนเททับด้วยคอนกรีต

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบนอย่างยิ่งที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัย รวมทั้งนิสิตช่วยวิจัยทุกคนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. กานต์ คำแก้ว. "ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลื่อนหาย: การออกแบบศาลาประชาคม." วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.



2. ชณิษฐา มาคุ้ม, การศึกษาสมรรถนะในการรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ที่มีการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยว, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2549
3. วิฑิตกุล ภาคคีรี, สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง, วิทยานิพนธ์ วนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2540
4. ณรงค์ กุหลาบ., การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543.
5. ไตร กระจันนท์., การเพิ่มสมรรถนะคอนกรีตอัดแรงเสริมไม้ไผ่ตงและไม้ไผ่รวกด้วยกระบวนการรีดเย็น, รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2555
6. ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์, เทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่, วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545
7. ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์ ,เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา, ดุษฎีนิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2550
8. นเรศ พันธราทร., การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Design of pre-stressed concrete ., กรุงเทพฯ, 2543
9. รุ่งคุณ ราศีนวน, การพัฒนาวัสดุหลังคาและผนังจากไม้ไผ่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550
10. วิวัฒน์ เตมีย์พันธ์ ,”เรือนพักอาศัย: รูปแบบสำคัญของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น”อาษา(มกราคม 2541):หน้า 61-63
11. สุวัฒน์ สุทธิ์นวน, ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร์ จินดาใส, บัญญัติ เฉ็ดฉิม, นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกี่ยวข้อง, โครงสร้างลาดชันระดับมหภาคและระดับจุลภาคของลำไม้ไผ่, p 81-79, J Sci & Tech Walailak 2005
12. อภิวิวัฒน์ ยอดเยี่ยม, นคร วีระโพธิ์ประสิทธิ์, การศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมไม้ไผ่รับแรงดัดในแนวแกน, ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 2550
13. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 409-2525).วิธีการทดสอบความต้านทานของแท่งคอนกรีต.กรุงเทพฯ.กระทรวงอุตสาหกรรม
14. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มทข.(ท) 105.2-2545) มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต
15. Nipon ThienSiripipat, Bamboo-reinforced-concrete spillway slabs, Faculty of engineering Khon Kaen Uni., 1984
16. Standard Test Method for Tensile Properties, (ASTM D638 – 14)