วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

สมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง

Mechanical Properties of Concrete Mixed with Reused Ceramic Tiles Reinforced with Steel Fiber from Milling Processed

นันทชัย ชูศิลป์[1*] พรนรายณ์ บุญราศรี[1] ทรงวุฒิ ขวัญยืน[2] ธวัชชัย ไกรรัตน์[2] และ ภูริวัจน์ แซ่เลียว[2]

[1]อาจารย์ [2]นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง โดยออกแบบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ควบคุมค่ายุบตัวให้อยู่ระหว่าง 10 ± 2.5 เซนติเมตร ใช้อัตราการเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทำการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้กระเบื้องเซรามิคไม่เสริมเส้นใยเหล็ก พบว่าเมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 และ 1.00 มีค่ากำลังอัดประลัยสูงกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ 2 และ 7 เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1.50 ทำให้กำลังอัดลดลงร้อยละ 6 สำหรับกำลังดึงพบว่า เมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1.00 ได้ค่ากำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตควบคุมร้อยละ 16 ส่วนอัตราการเสริมเส้นใยร้อยละ 0.50 และ 1.50 มีค่ากำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม สำหรับกำลังดัดพบว่าเมื่อเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 ได้ค่ากำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมเท่ากับร้อยละ 9 17 และ 11 ตามลำดับ นอกจากนี้ การซึมของน้ำผ่านคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการผสมเส้นใยเหล็กด้วย

Abstract

This research, study the mechanical properties of concrete mixed with reused ceramic tiles reinforced with steel fiber from milling processed. The compressive strength of all concretes were designed at 300 ksc at 28 days, and control slump in the range of 10 ± 2.5 cm. The steel fiber from milling processed was reinforced at 0.50, 1.00 and 1.50 by the weight of cement content. The compressive strength, Flexural, and tensile splitting for all concrete samples were tested compare with control concrete which it as concrete mixed with reused ceramic tiles not reinforced with steel fiber. The results shown that, the reinforcing with steel fiber from milling process at 0.5 and 1.0% was affect to the higher compressive strength than control concrete of 2 and 7%, but increasing steel fiber at 1.5% was affect to lower compressive strength than control concrete of 6%. Concrete mixed with steel fiber from milling processed at 1.0% have higher splitting tensile strength than control concrete of 16%, while concrete mixed with steel fiber at 0.5 and 1.5% have splitting tensile strength equal with control concrete. The flexural strength of these concretes have higher more than control concrete about 9, 17 and 11% for reinforcing with steel fiber at 0.50, 1.00 and 1.50, respectively. In addition, the water permeability of concretes were increased when the steel fiber were reinforced increases too.

คำสำคัญ : สมบัติเชิงกล คอนกรีต กระเบื้องเซรามิค เส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง

Keywords : Mechanical Properties, Concrete, Ceramic Tiles, Steel Fiber from Milling Processed

[*]ผู้พิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nuntachai_chusilp@hotmail.com โทร. 08 1979 6859

1. บทนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบันทั่วโลกได้มีการนำคอนกรีตมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นวัสดุหลักด้วยเหตุผลที่ว่าคอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่สามารถก่อสร้างให้มีรูปร่างลักษณะและขนาดได้ตามต้องการ ไม่ถูกจำกัดเหมือนวัสดุอื่น เช่น อิฐ ไม้ หรือ เหล็ก ซึ่งการผลิตคอนกรีตจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบเป็นจำนวนมาก ได้แก่ หินกรวด ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ ดังนั้นการหาแนวทางในการลดใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดการเกิดปัญหาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำเศษวัสดุเช่น เศษอิฐหัก เศษเบื้องเซรามิคที่เหลือจากงานก่อสร้างมาแทนมวลรวมหยาบ [1, 2] อย่างไรก็ตามคอนกรีตก็ยังมีจุดด้อยตรงที่เป็นวัสดุและมีความยืดหยุ่นต่ำ ดังนั้นจึงมีความพยายามปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อเพิ่มความเหนียวหรือความสามารถในการรับแรงดึง การใช้เส้นใยเหล็กผสมคอนกรีตก็เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยเส้นใยที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมีทั้งเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยพลาสติกสังเคราะห์และเส้นใยเหล็ก [3, 4, 5] สำหรับในประเทศไทยการใช้งานยังมีจำนวนค่อนข้างน้อย เนื่องจากการนำเข้าจากต่างประเทศ ราคาเส้นใยมีราคาสูง และขาดความสะดวกในการนำมาใช้งานผสมในคอนกรีต

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเอาเส้นใยเหล็กที่ได้จากกระบวนการกลึงหรือตัด [6] ซึ่งหากทิ้งไปจะทำให้เกิดการสูญเปล่า หรือสิ้นเปลืองทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวต่อไป จึงนำเส้นใยเหล็กเหล่านี้มาใช้เสริมเข้าไปในเนื้อของคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลอาทิ เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด การซึมผ่านของน้ำ และกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ที่อายุตั้งแต่ 3 ถึง 28 วัน โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากเศษเซรามิคที่ไม่เสริมเส้นใยเหล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วนำมาแทนมวลรวมหยาบ โดยเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึงในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตปกติกับคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วทั้งที่เสริมเส้นใยเหล็กและไม่เสริมเส้นใยเหล็ก

3. เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมเส้นใยเหล็กในคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้ว

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2) มวลรวมหยาบจากหิน และจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้ว
3) มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำที่มีความสะอาด ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
4) เส้นใยเหล็กที่เหลือจากการกลึงโลหะ
5) น้ำ ต้องเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน

2.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1) มวลรวมหยาบที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากการนำเอากระเบื้องเซรามิคใช้แล้ว นำมาบดย่อย และผ่านการคัดแยกให้ได้ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว

2) เส้นใยเหล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นำมาจากเศษใยเหล็กการกลึงโลหะจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้ในการศึกษาของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มทร.ศรีวิชัย นำมาคัดแยกให้เป็นเส้นใยเหล็กชนิดเดียวกันมีขนาดความกว้าง และหนา โดยเฉลี่ยประมาณ 2.5 x 0.3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3.0 เซนติเมตร

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุและคอนกรีต

1. ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C 188 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก ความชื้น การดูดซึมน้ำ ของมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C 127 และ ASTM C 128 ตามลำดับ

2. ทดสอบหาคุณสมบัติการรับแรงดึงของเส้นใยเหล็ก ตามมาตรฐาน ASTM E8

3. ทดสอบกำลังอัดประลัย โมดูลัสการยืดหยุ่น ของคอนกรีต กำลังดึง ตามมาตรฐาน ASTM C 39 C 469 และ C 496 ตามลำดับโดยทั้งหมดใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ทำการทดสอบที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน

4. ทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C78 โดยหล่อคอนกรีตรูปทรงปริซึมขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร และยาว 50 เซนติเมตร ทำการทดสอบที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน

5. ทดสอบหาค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตทุกส่วนอัตราส่วนผสม ถอดแบบที่อายุ 1 วันนำมาทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

2.4 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยนำกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วมาแทนมวลรวมหยาบ โดยทำการออกแบบกำลังอัดประลัย ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปรับปริมาณน้ำเพื่อควบคุมค่ายุบตัวอยู่ระหว่าง 10 ± 2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ายุบตัวที่ใช้กับคอนกรีตทั่วไป ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการทำคอนกรีตให้แน่น และใช้ปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กที่ร้อยละ 0 0.50 1.00 และ 1.50 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ รายละเอียดของวัสดุผสมแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่นำกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix	Mix Proportion (kg/m³)					Slump (cm)
	Cement (kg)	Sand (kg)	Ceramic Tiles (kg)	Water (kg)	Fiber (kg)	
R-CL	400	705	750	200	-	9.9
R-FB-0.50	400	705	750	200	2	9.3
R-FB-1.00	400	705	750	200	4	9.0
R-FB-1.50	400	705	750	200	6	8.3

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทดสอบ

ลักษณะทางกายภาพของกระเบื้องเซรามิคซึ่งนำมาจากเศษเหลือทิ้งของโครงการต่างๆแล้วนำมาบดย่อยให้ได้ขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร และขนาดเล็กสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร มีลักษณะตามรูปที่ 1 เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมแหลมคม ลักษณะผิวหยาบ ยกเว้นด้านบนจะมีผิวเรียบ ทำให้ซีเมนต์เพสยึดเกาะกับผิวด้านนี้น้อยลง ผลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิค มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ดังแสดงในตาราง 2 พบว่ากระเบื้องเซรามิคที่ใช้แล้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.87 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 7.88 มวลรวมหยาบจาก มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.88 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.48 มวลรวมละเอียด คือ ทรายแม่น้ำที่นำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 100 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69 และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 2.42 ผลการวิเคราะห์หาขนาดส่วนคละของกระเบื้องเซรามิค มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ได้ค่า F.M. เท่ากับ 2.33 2.78 และ 2.42 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้ว พบว่าค่าที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์กำหนดจึงสามารถนำไปใช้ในส่วนผสมคอนกรีตได้

(ก) กระเบื้องเซรามิคก่อนการย่อย

(ข) กระเบื้องเซรามิคที่บดย่อยแล้ว

รูปที่ 1 กระเบื้องเซรามิคที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ทดสอบ

Properties / Materials	Specific Gravity	Absorption (%)	Fineness Modulus	Abrasion (%)
Ceramic	1.87	7.88	2.33	-
Coarse Aggregate	2.88	0.48	2.78	25.65
Fine Aggregate	2.66	2.15	2.42	-

ตารางที่ 3 ค่าการยุบตัว ความหนาแน่น และ การซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตกลุ่มต่างๆ

Code	w/c Ratio	Slump (cm)	Density (kg/m³)	Permeability of Concrete (m^3/sec)
R-CL	0.42	9.90	2225	4.94E-12
R-FB-0.50	0.42	9.30	2223	8.85E-12
R-FB-1.00	0.42	9.00	2220	1.06E-11
R-FB-1.50	0.42	8.30	2197	1.91E-11

จากตารางที่ 3 พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้กระเบื้องเซรามิคแทนมวลรวมหยาบ R-CL R-FB-0.50 R-FB-1.00 และ R-FB-1.50 มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตปกติ โดยคิดเป็นร้อยละ 7.33 7.41 7.54 และ 8.50 ตามลำดับ เฉลี่ยแล้วประมาณร้อยละ 6.70 ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของกระเบื้องน้อยกว่าหิน

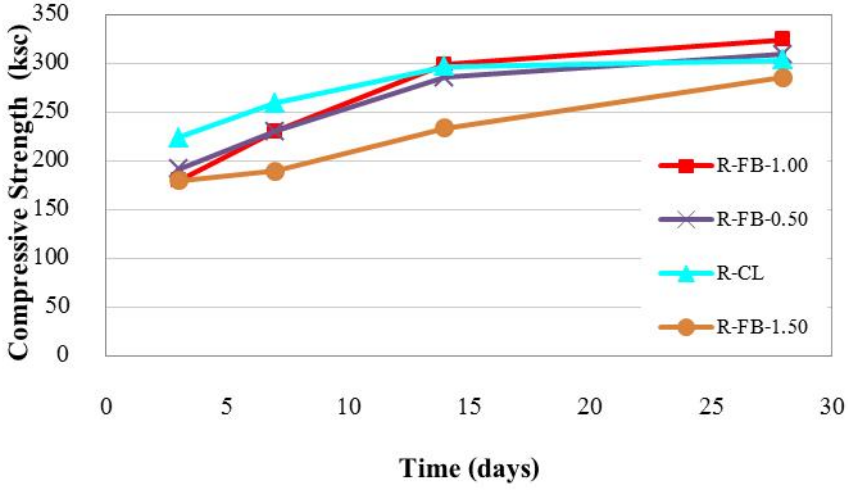
รูปที่ 2 คอนกรีตตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังอัดและกำลังดึง

รูปที่ 3 คอนกรีตตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังดัด

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

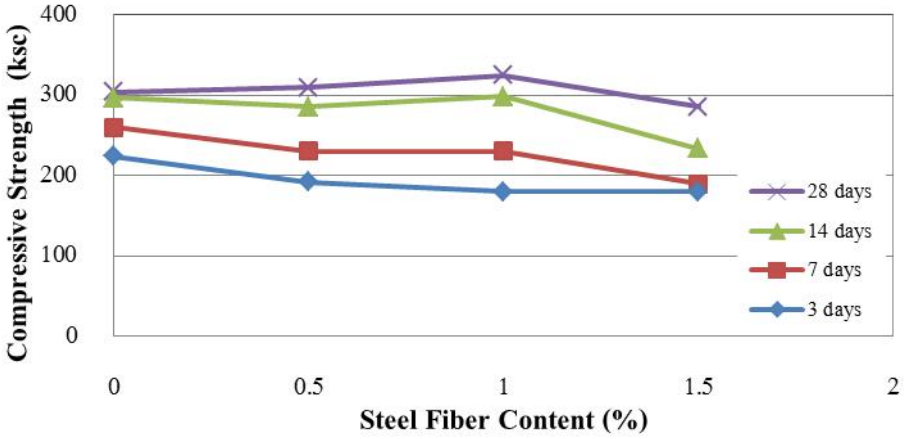
3.2.1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุการบ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าคอนกรีตจากเศษกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แทนมวลรวมหยาบ R-CL R-FB-0.50 R-FB-1.00 และ R-FB-1.50 มีกำลังรับแรงอัดประลัยเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่ผสมของเส้นใยเหล็กที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.50 และ 1.00 เมื่อเทียบกับอายุการบ่มที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตกลุ่ม R-FB-1.00 มีค่ามากสุด โดยมีค่าเท่ากับ 325 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.50 ได้กำลังรับแรงอัดประลัยที่น้อยที่สุด โดยคอนกรีต R-FB-0.50 R-FB-1.00 R-FB-1.50 มีกำลังอัดคิดเป็นร้อยละ 2 7 และ 6 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ R-CL ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของพงศ์ศักดิ์ และคณะ [1] ที่ใช้อิฐหักแทนมวลรวมหยาบซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกับกระเบื้องเซรามิค เมื่อทดสอบกำลังอัดประลัยได้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 206 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเพียงพอที่ใช้ในงานก่อสร้างที่อยู่อาศัยทั่วไป



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตกับอายุการบ่มต่างๆ

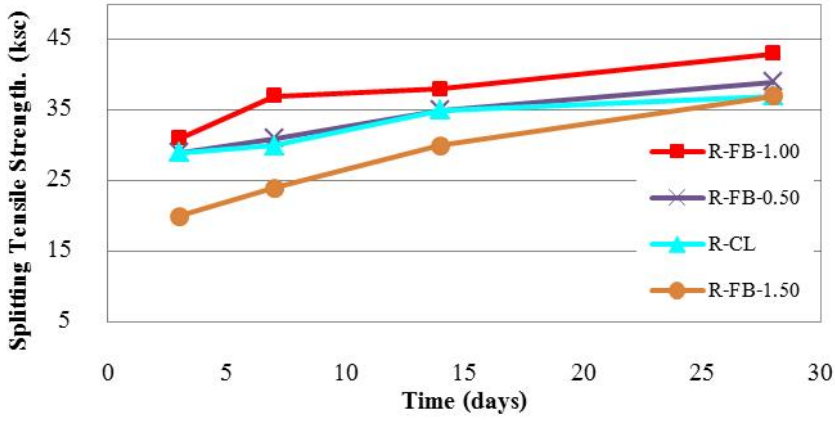
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก ที่อายุการบ่มต่างๆ ดังรูปที่ 5 พบว่าที่อายุการบ่ม 3 วัน คอนกรีตตัวควบคุม (R-CL) มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับ 224 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 มีกำลังลดน้อยลงจากตัวควบคุม (R-CL) เท่ากับร้อยละ 17 45 และ 24 ตามลำดับ และที่อายุการบ่ม 7 วัน คอนกรีตตัวควบคุม (R-CL) มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับ 260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 มีกำลังลดน้อยลงจากตัวควบคุม (R-CL) ในปริมาณที่เท่ากันคือร้อยละ 12 จะเห็นได้ว่าปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กที่ดีที่สุด คือ ร้อยละ 1.00 ของน้ำหนักซีเมนต์ เมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น ในการบ่มที่อายุ 14 วัน ทำให้คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 มีการพัฒนากำลังอัดที่มากขึ้นมีค่าเท่ากับ 299 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าคอนกรีตกลุ่ม R-CL R-FB-0.50 และ R-FB-1.50 คิดเป็นร้อยละ 0.7 4 และ 67 เมื่ออายุการบ่มครบ 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 มีค่ากำลังรับแรงอัดประลัยมากสุดเท่ากับ 325 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตกลุ่ม R-CL R-FB-0.50 และ R-FB-1.50 มีค่ากำลังอัดที่ลดน้อยลงมาคือ 304 310 และ 286 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพจน์ และคณะ [5] แต่เมื่อเพิ่มการเสริมเส้นใยเหล็กไปจนถึงร้อยละ 1.50 ของน้ำหนักซีเมนต์ทำให้กำลังอัดลดลงจากปกติเนื่องคอนกรีตสดที่ได้มีความสามารถเทลงแบบได้ยาก คอนกรีตเกิดรูพรุนมากนั่นเอง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก

3.2.2 ผลการทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต

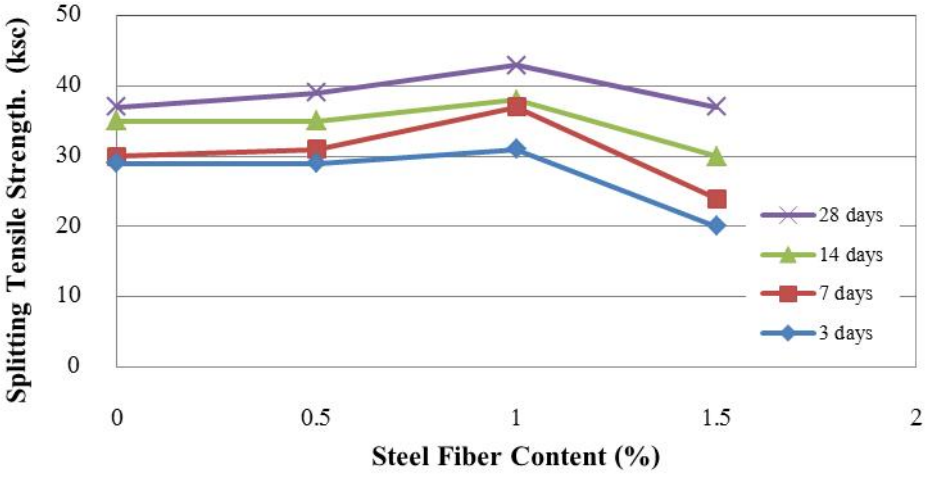
การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต ที่อายุการบ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า คอนกรีตกลุ่มคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แทนมวลรวมหยาบ มีกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มต่างๆ คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กมีกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่ผสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 เมื่อเทียบกับอายุการบ่มที่ 28 วัน กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตกลุ่ม R-FB-1.00 มีค่ามากสุด โดยมีค่าเท่ากับ 43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุมร้อยละ 16



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงของคอนกรีตกับอายุการบ่มต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก ที่อายุการบ่มต่างๆ ดังรูปที่ 7 พบว่าที่อายุการบ่ม 3 วัน คอนกรีตควบคุม (R-CL) มีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเท่ากับคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0.50 เมื่อเพิ่มการผสมเส้นใยเหล็กไปในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 มีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุมร้อยละ 7 และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเหล็กเข้าไปถึงร้อยละ 1.50 มีกำลังลดน้อยลงจากคอนกรีตควบคุม (R-CL) เท่ากับ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 45 ที่อายุการบ่ม 7 14 และ 28 วัน คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 ยังคงมีค่ามากสุด เมื่อคิดที่อายุการบ่มที่ 28 วัน มีกำลังดึงค่าเท่ากับ 43 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพิ่มขึ้น

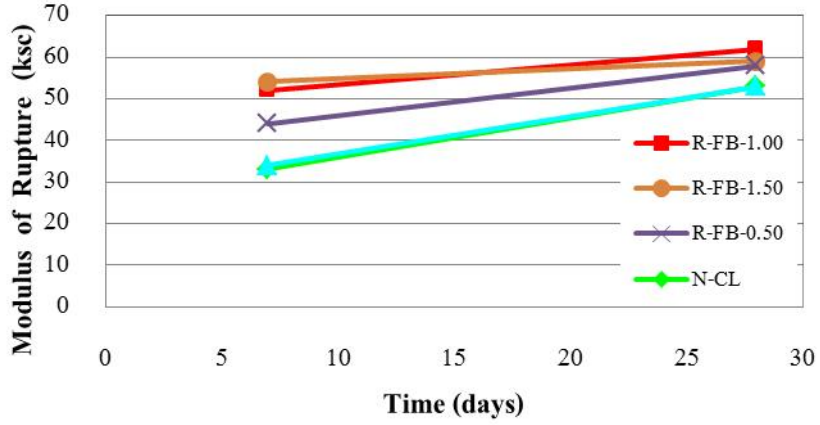
จากตัวควบคุม (R-CL) ร้อยละ 16 สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรเทพ และคณะ [8] ทราบว่าปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กร้อยละ1.00 ให้ค่ากำลังที่สูงสุด



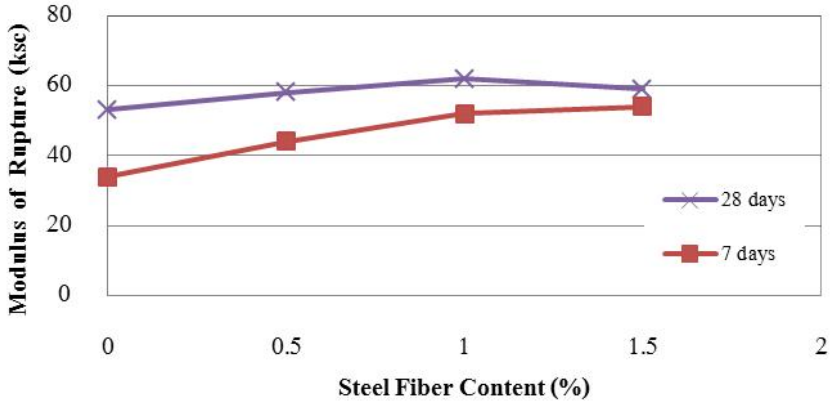
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก

3.2.3 ผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต

การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต ที่อายุการบ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กมีกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่ผสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.50 1.00 และ 1.50 เมื่อเทียบกับอายุการบ่มที่ 28 วัน กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตกลุ่ม R-FB-1.00 มีค่ามากสุด โดยมีค่าเท่ากับ 62 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตตัวควบคุม R-CL ร้อยละ 17 ขณะที่ R-FB-0.50 และ R-FB-1.50 มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 9 และ 11 เท่านั้น ซึ่งเป็นไปในแนวเดียวกับงานวิจัยของชูชัย และคณะ [4] พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นเมื่อใส่เส้นใยเหล็กแบบตะขอ และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ นพดล และคณะ [7] พบว่าการนำเส้นใยเหล็กที่เหลือจากการกลึงผสมในคอนกรีตสามารถช่วยให้คอนกรีตรับกำลังได้ดีขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก ที่อายุการบ่มต่างๆ รูปที่ 9 พบว่า คอนกรีตตัวควบคุม (R-CL) ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 34 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มการเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดเท่ากับ 52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุมร้อยละ 53 คอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1.00 เมื่ออายุ 28 วัน ยังมีค่ากำลังดัดมากสุด โดยมีค่าเท่ากับ 62 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุม (R-CL) ร้อยละ 17 ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ นพดล และคณะ [7] และงานวิจัยของ พรเทพ ซึ่งการเสริมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึงเข้าไปในอัตราส่วนร้อยละ 1.00 ของน้ำหนักซีเมนต์ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กเข้าไปร้อยละ 1.50 มีความสามารถในการรับกำลังที่น้อยลง เนื่องจากคอนกรีตความสามารถเทได้ต่ำ การหล่อตัวอย่างทำได้ยาก จึงทำให้เกิดรูพรุนมากขึ้น



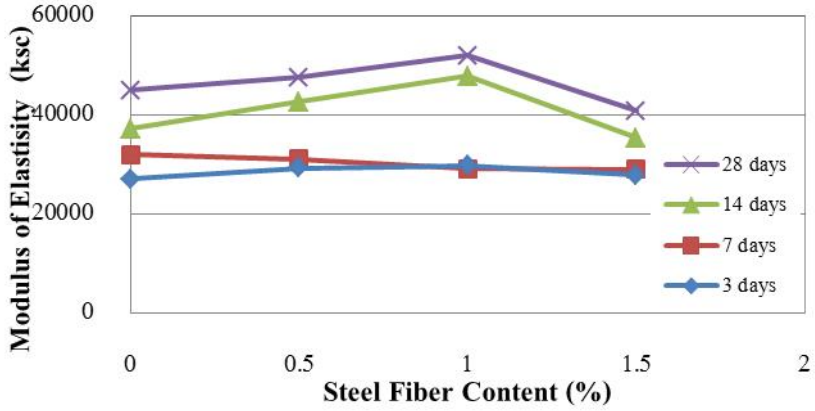
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดของคอนกรีตกับอายุการบ่มต่างๆ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดของคอนกรีตกับสัดส่วนการผสมเส้นใยเหล็ก

3.2.4 ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

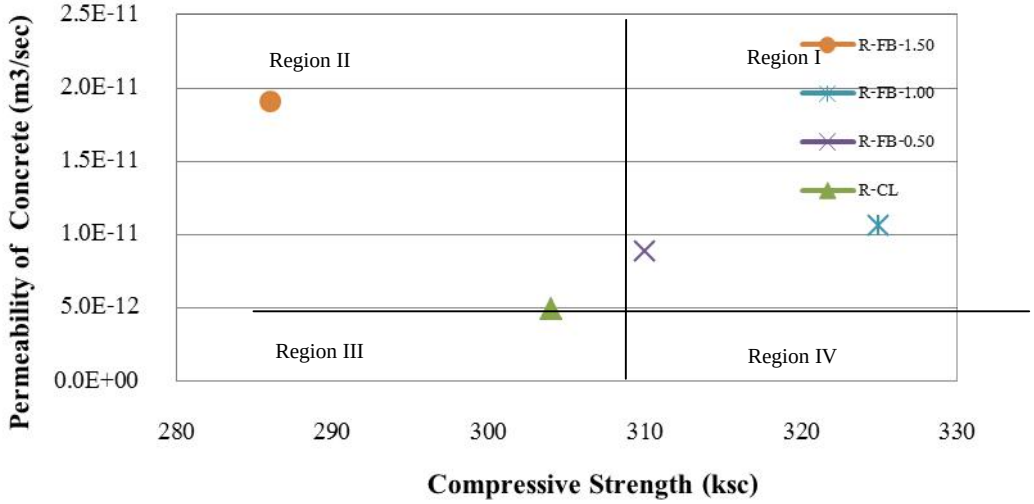
จากรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Elasticity กับ Steel Fiber Content (%) จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อัตราการให้น้ำหนักในการกดก้อนตัวอย่าง ระดับของหน่วยแรง กำลังของคอนกรีต การผสมคอนกรีต สภาพของก้อนตัวอย่าง ค่า โมดูลัสการยืดหยุ่น จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมเส้นใยเหล็กและที่อายุการบ่มที่ 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กที่ร้อยละ 1.00 ของน้ำหนักซีเมนต์มีค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นที่สูงที่สุดโดยแปรผันตามค่ากำลังอัดประลัย และที่ปริมาณการเสริมเส้นใยเหล็กที่ร้อยละ 1.50 ของน้ำหนักซีเมนต์ค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นมีค่าต่ำลง เนื่องด้วยคอนกรีตจากการผสมมีความสามารถในการไหลตัวน้อยทำให้การหล่อตัวอย่างที่ได้ออกมามีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ เกิดรูพรุนในเนื้อคอนกรีต จึงส่งผลต่อค่าโมดูลัสการยืดหยุ่นและค่ากำลังรับแรงอื่นๆให้ลดน้องลงด้วย



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Elasticity กับ Steel Fiber Content (%)

3.2.5 ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตกลุ่มต่างๆ

การทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตกลุ่มต่างๆที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังรูปที่ 11 พบว่าคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แทนมวลรวมหยาบตัวควบคุม (R-CL) มีค่าการซึมผ่านเท่ากับ 4.94E-12 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อผสมเส้นใยเหล็กเข้าไปในอัตราส่วนการผสม 0.50 1.00 และ 1.50 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ค่าการซึมผ่านที่ได้เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุมเป็น 8.85E-12 1.06E-11 และ 1.91E-11 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 79 115 และ 287 ตามลำดับ ปรากฏว่าคอนกรีตจากกระเบื้องเซรามิคที่ใช้แทนมวลรวมหยาบเสริมเส้นใยเหล็กในปริมาณร้อยละ 1.00 และ1.50 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์มีค่าการซึมผ่านที่สูง เนื่องด้วยคอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น จากการเสริมเส้นใยเหล็กเข้าไปทำให้คอนกรีตสดมีสภาพที่ไหลตัวได้ยากในการหล่อตัวอย่างจึงทำให้คอนกกรีตมีช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมากขึ้นนั่นเอง หรืออาจมีปัจจัยอื่นๆที่มีส่วนต่อการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต กล่าวคือ การยึดเกาะของมวลรวมในคอนกรีต ความชื้นเดิมของตัวอย่าง เป็นต้น



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Permeability of Concrete กับ Compressive Strength

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับกำลังรับแรงอัดประลัย

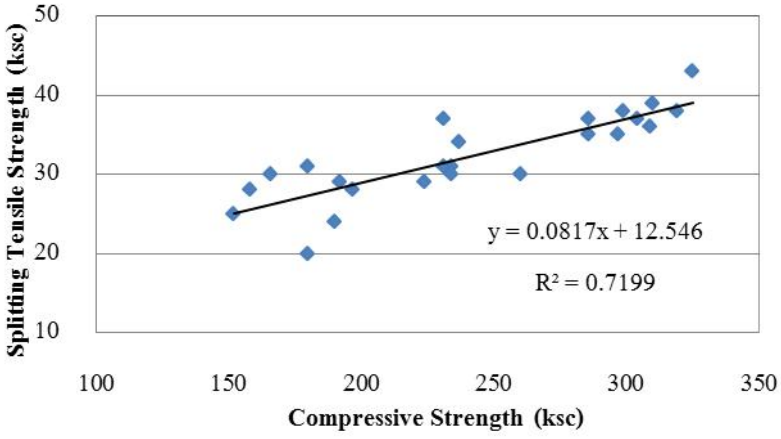
จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Splitting Tensile Strength กับ Compressive Strength ของคอนกรีตในการวิจัยนี้ พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงการพัฒนากำลังดึงแปรผันตามกำลังอัดประลัย โดยสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$y = 0.0817x+12.546 \quad (1)$$

เมื่อ y = กำลังรับแรงแรงดึง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

x = กำลังรับแรงอัดประลัย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Coefficient of Determination)



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Splitting Tensile Strength กับ Compressive Strength

4. สรุป

การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. กำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 0.50 และ 1.00 (R-FB-0.50 และ R-FB-1.00) ที่อายุ 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุม (R-CL) ร้อยละ 2 และ 7 เมื่อผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 1.50 (R-FB-1.50) มีกำลังอัดลดลงจากคอนกรีตควบคุม (R-CL) ร้อยละ 6 เนื่องด้วยคอนกรีตมีความพรุนสูง

2. กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 0.50 และ 1.00 (R-FB-0.50 และ R-FB-1.00) ที่อายุ 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุม (R-CL) ร้อยละ 16 และเมื่อผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 1.50 (R-FB-1.50) มีกำลังดึงผ่าซีกเท่ากับคอนกรีตควบคุม แสดงว่าการผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 1.00 เป็นปริมาณสูงสุดแล้ว หากผสมมากกว่านี้จะให้กำลังที่ลดลง

3. กำลังดัดของคอนกรีตควบคุม (R-CL) ที่อายุการบ่ม 28 วัน เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กในอัตราส่วน 0.50 1.00 และ 1.50 มีค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตควบคุม (RC-L) ร้อยละ 9 17 และ 11 ตามลำดับ

4. การซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตที่ใช้กระเบื้องเซรามิคแทนมวลรวมหยาบเสริมเส้นใยเหล็ก ในอัตราส่วน 0.50 1.00 และ 1.50 มีค่าการซึมผ่านของน้ำที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 79 115 และ 287 ตามลำดับ เทียบกับคอนกรีตคอนกรีตควบคุม

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรสาขาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

พงศ์ศักดิ์ ทองอนันต์ ประสพชัย ขุนชิตร และสุเทพ โหวีตะมะ. 2543. **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตจากอิฐหัก**. ปริญญานิพนธ์ ครุศาสตร์โยธา.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 78 หน้า

สุธน รุ่งเรือง สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์ และรณกร เทพวงษ์. 2551. **กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมคอนกรีตใช้แล้วแทนมวลรวมหยาบ**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 14-16 พฤษภาคม 2551, โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช, พัทยา, จ.ชลบุรี, หน้า MAT-256 - MAT-261.

สหชัย แก่นอากาศ. 2545. **การศึกษาคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตผสมตะปูเข็ม.**การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8, 23-25 ตุลาคม 2545, โรงแรมโซฟิเทลราชาออคิด จ.ขอนแก่น, TEC034-TEC038

ชูชัย สุจิวรกุล และ วทัญญู ชุติคามี. ม.ป.ป. **ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการดัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, 20-22 เมษายน 2549, โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท ป่าตอง จ.ภูเก็ต, MAT-059-MAT-064

สุพจน์ ศรีนิล ปรเมศวร์ และเอก กุลตั้งเจริญ. 2545. **ซีเมนต์เสริมเส้นใยพลาสติกสำหรับวัสดุตกแต่งสำเร็จรูป.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8, 23-25 ตุลาคม 2545, โรงแรมโซฟิเทล ราชาออคิด จ.ขอนแก่น, TEC029-TEC034

ชัยพฤกษ์ อาภาเวท อาคม มณีคันโท และสมพงษ์ พิริยายนต์. 2550. **การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรในการกลึงกับลักษณะเศษที่เกิดขึ้นของเหล็กกล้า**. St.37 Steel. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 5, 10-11 พฤษภาคม 2550: หน้า 129-133

นพดล คงประดิษฐ์ พิเชษฐ ทองช่วย และอดุลย์ เกื้อเส้ง. 2554. **กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่เหลือจากการกลึง.** ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 63 หน้า

พรเทพ ชิตพิทักษ์, วัชระ มากชิต, ศุภชัย ฟุ้งจินดา และ นันทชัย ชูศิลป์, 2554, **กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กที่เหลือทิ้งจากการกลึง**. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7, 19-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมระยองรีสอร์ท, จ.ระยอง, หน้า MAT-107 – MAT-112.