หนังสือนี้เป็นสมบัติของห้องสมุด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย
ผู้ใดพบเห็นกรุณาส่งคืน ขอขอบคุณยิ่ง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตผสมตะปูควงในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

A Study of Strength Properties of Concrete with Screw in Different Conditions

คณะผู้วิจัย
สิทธิชัย ศิริพันธุ์
ดุสิต ชูพันธ์
นัฐวุฒิ สมทรง
ต่อตระกูล ขันแข็ง

049972 Cd 2
ว.
624.1884
ส 722
2548
ส.2

ทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน 2548
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย

คำนำ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ เป็นการศึกษาถึงการนำใยเหล็กจากวัสดุที่หาได้ทั่วไปในท้องตลาด โดยเฉพาะเป็นใยเหล็กที่มีผิวสัมผัสกับเนื้อคอนกรีตได้มาก มาประยุกต์ใช้ในการผสมร่วมกับคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงได้มากขึ้น โดยการวิจัยได้พิจารณาถึงลักษณะการใช้งาน เช่น ในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับสภาพรุนแรง เพื่อให้พิจารณาเลือกใช้ได้โดยมีความทนทาน (Durability) ร่วมด้วย ในรายงานได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ บทที่ 1 บทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงที่มาที่ไปของการวิจัย และภาพรวมของกระบวนการวิจัย บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร บทที่ 3 วิธีการวิจัย บทที่ 4 ผลการวิจัย และ บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ตามลำดับ

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2548

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำตะปูควงมาผสมในคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของกำลังรับแรงคอนกรีตในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน สัดส่วนคอนกรีตใช้ที่ 1:2:4 โดยน้ำหนัก W/C 0.45 และใช้ตะปูควง 230 kg/ m^3 ของคอนกรีต จากการศึกษา พบว่า คอนกรีตผสมตะปูควงจะมีค่าการยุบตัวลดลงประมาณ 2 cm จากคอนกรีตปกติ โดยการยุบตัวที่น้อยลงนี้มีผลน้อยต่อการนำมาใช้งาน ในส่วนของหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตผสมตะปูควง และคอนกรีตปกติ พบว่า มีค่าเท่ากับ 2,518 kg/m^3 และ 2,353 kg/m^3 ตามลำดับ โดยมากกว่าอยู่ร้อยละ 6.55 หรือเพิ่มขึ้นเพียง 33 kg/m^2 (คอนกรีตหนา 20 cm) ในส่วนของกำลังรับแรง พบว่า คอนกรีตผสมตะปูควงมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตปกติ ประมาณร้อยละ 27 การผสมตะปูควงในปริมาณที่มากขึ้น คอนกรีตจะสูญเสียการยุบตัวมากขึ้น สำหรับการใช้คอนกรีตในสภาพสัมผัสดินฟ้าอากาศไม่เกิน 180 วัน ไม่ส่งผลลบกับกำลังของคอนกรีต โดยลักษณะของตะปูควงยังอยู่ในสภาพที่ไม่ถูกกัดกร่อน (เป็นสนิม) สำหรับค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตผสมตะปูควงมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติประมาณร้อยละ 27 เช่นกัน และระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตผสมตะปูควงมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดได้ถึง 18 mm ขณะที่คอนกรีตปกติแอ่นตัวได้สูงสุดที่ 3 mm เท่านั้น พฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีตที่ผสมตะปูควงเมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวจะใช้เวลานานกว่าจะถึงจุดวิบัติ แต่คอนกรีตปกติ เมื่อเกิดรอยร้าวแล้วจะวิบัติอย่างรวดเร็ว พฤติกรรมของคอนกรีตผสมตะปูควงดังกล่าว จะมีประโยชน์มากกับการชะลอการวิบัติแบบทันทีทันใด รวมถึงการยึดรั้งคอนกรีตไว้ด้วยกัน การใช้คอนกรีตผสมตะปูควงจึงสามารถนำมาใช้ได้จริง แต่ในด้านราคาควรต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้ จะไม่สามารถลุล่วงได้ หากไม่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2548 รวมถึงบุคคลจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะคณาจารย์ในคณะวิชาโยธา โดยเฉพาะอาจารย์อาวุโสในคณะวิชาโยธา อ.บรรเจิด กาญจนเจตนี และ อ.ชูเกียรติ ชูสกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาและการสนับสนุนในทุกเรื่อง รวมถึงนักศึกษาในคณะวิชาโยธาทุกคนที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัยอย่างแข็งขัน

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2548

สารบัญ

		หน้า
คำนำ		I
บทคัดย่อ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มา	1
	1.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ	2
	1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
	1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
	1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	ทบทวนเอกสาร	4
	2.1 การใช้เส้นใยเหล็กในงานคอนกรีต	4
	2.2 รูปแบบเส้นใยเหล็ก	4
	2.3 การพัฒนาคอนกรีตให้มีความยืดหยุ่น	5
3	วิธีการวิจัย	6
	3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	6
4	ผลการวิจัย	7
	4.1 กล่าวนำ	7
	4.2 การยุบตัวของคอนกรีต (Slump)	7
	4.3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว	8
	4.4 กำลังรับแรงของคอนกรีต	8
	4.5 การแอ่นตัวและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีต	11
5	สรุปผลการวิจัย	13
เอกสารอ้างอิง		

ภาคผนวก

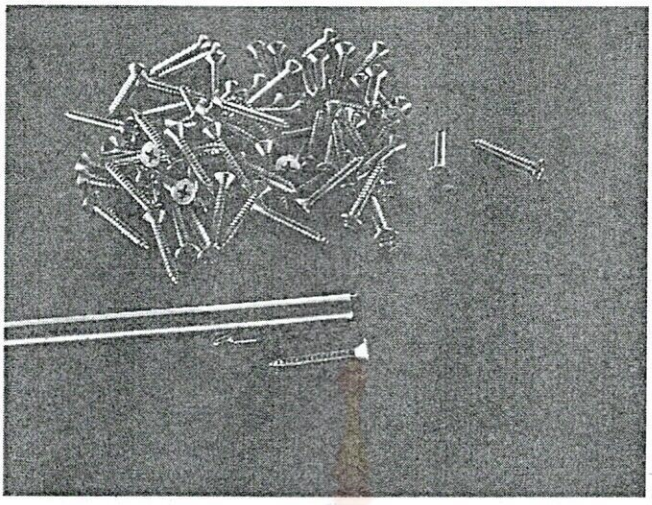
ก ตัวอย่างการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตโดย Microsoft Excel

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบัน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการพัฒนาด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ที่ได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดได้ไม่ต่ำกว่า 1,000 ksc ไปแล้วเมื่อเทียบกับในอดีต แต่ในขณะที่การพัฒนาในด้านกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตยังไม่ได้มีการพัฒนาให้ดีขึ้นมากเท่าที่ควร เมื่อเทียบในสัดส่วนกับกำลังรับแรงอัด อย่างไรก็ตาม ในต่างประเทศได้มีการพัฒนากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตโดยการผสมใยเหล็ก (Steel Fiber Reinforce Concrete: SFRC) และมีการใช้งานแล้ว ในส่วนของประเทศไทย พบว่าได้มีการนำเข้ามาใช้บ้างแล้ว แต่ยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร เนื่องจากมีราคาแพง อีกทั้งยังไม่ได้รับความเชื่อถือในวงการก่อสร้าง โดยเฉพาะงานก่อสร้างขนาดเล็กในท้องถิ่นเท่าใดนัก เนื่องจากองค์ความรู้ด้านนี้ยังมีน้อยและยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ทั้งนี้ ได้มีการศึกษาโดยนำตะปูเข็ม (Pin) ขนาด 2 cm มาผสมกับคอนกรีตแทนเส้นใยเหล็ก ปริมาณ 3 % โดยปริมาตรของคอนกรีต เนื่องจากในการศึกษาพบว่า เป็นปริมาณที่ใยเหล็กจะแทรกตัวได้ดีที่สุด (Illston, 1994) ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงอัด แรงดึงแยก และโมดูลัสการแตกหักดีขึ้น แต่พบว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสคอนกรีตกับตะปูเข็มยังไม่เพียงพอ (สหชัย แก่นอากาศ, 2545) โดยอาจสังเกตได้จากเมื่อตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ ไม่มีตะปูเข็มตัวใดขาดออกจากกันเลย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการใช้ตะปูเข็มได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ หมายถึงกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตถูกนำมาใช้น้อยนั่นเอง

จากผลการศึกษาข้างต้น คณะผู้วิจัย จึงได้มีแนวคิดว่า หากใช้ตะปูควง (ภาพประกอบที่ 1.1) ซึ่งมีความยาวประมาณ 2 cm เช่นกัน โดยผสมในปริมาณที่เท่ากันด้วย เพื่อให้เกิดการกระจายตัวได้ดีดังผลการศึกษาที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว ทั้งนี้ จะมีความต่างกันเรื่องผิวสัมผัสแบบเกลียว ซึ่งจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น น่าจะเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวได้ดีขึ้น โดยการศึกษายังคงศึกษาถึงผลของกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) นอกจากนั้น จะทำการศึกษาเปรียบเทียบในแง่ของความทนทานในการใช้งานตามสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 2 แบบ คือ สภาพสัมผัสดินฟ้าอากาศ และสภาพไม่สัมผัสดินฟ้าอากาศ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมในการใช้งานจริง



ภาพประกอบที่ 1.1 ลักษณะของตะปูควง (Screw)

1.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1.2.1 เพื่อหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมตะปูควง

1.2.2 เพื่อหากำลังรับแรงดึงจากค่าโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตผสมตะปูควง

1.2.3 เพื่อหาความแตกต่างของกำลังคอนกรีตในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง ตลอดการวิจัย

1.3.2 ใช้สัดส่วน ซีเมนต์:ทราย:หิน เท่ากับ 1:2:4 โดยน้ำหนัก

1.3.3 สัดส่วน น้ำ:ซีเมนต์ หรือ W/C Ratio เท่ากับ 0.45

1.3.4 ใช้ตะปูควงขนาด 2 cm ปริมาณ 3 % โดยปริมาตรคอนกรีต หรือ 230 kg/m^3 ของคอนกรีต

1.3.5 ในการวิจัย กำหนดสภาพแวดล้อม 2 แบบ คือ สภาพแวดล้อมปกติ หมายถึง สภาพแวดล้อมที่ไม่สัมผัสกับดินฟ้าอากาศ และสภาพแวดล้อมรุนแรง หมายถึง สภาพแวดล้อมที่ต้องสัมผัสกับดินฟ้าอากาศ

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ผสมคอนกรีตตามสัดส่วน 1:2:4 โดยน้ำหนัก W/C เท่ากับ 0.45 และใช้ตะปูควง 3% โดยปริมาตรของคอนกรีต หรือใช้ 230 kg/m^3 ของคอนกรีต

1.4.3 หาค่าการยุบตัว (Slump) ของคอนกรีตทุกตัวอย่าง

1.4.4 หล่อเข้าแบบมาตรฐานรูปลูกบาศก์ (Cubic) และรูปคาน (Beam) โดยทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตล้วนเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบด้วย

1.4.5 ทุกตัวอย่างบ่มในน้ำ 28 วัน แล้วทำการแยกตัวอย่างคอนกรีต ออกตามสภาพแวดล้อม 2 สภาพที่ต้องสัมผัส คือ 1. สภาพสัมผัสดินฟ้าอากาศ และ 2. สภาพไม่สัมผัสดินฟ้าอากาศ ทั้งนี้ จะทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และประมาณค่าโมดูลัสการดัดงอ ที่อายุ 14, 28, 90 และ 180 วัน ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วนร่วมด้วย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงดึงสูงขึ้น ทำให้ลดปริมาณการเสริมเหล็กเส้นในคอนกรีตได้

1.5.2 คอนกรีตจะมีรอยแตกร้าวขนาดเล็กลดลง (Micro Cracks) ทำให้ยากต่อการเข้าทำลายเหล็กเสริมในเนื้อคอนกรีต โดยสิ่งแปลกปลอมภายนอก

1.5.3 ได้ทางเลือกรูปแบบของการผลิตเส้นใยเหล็กเสริมคอนกรีต

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

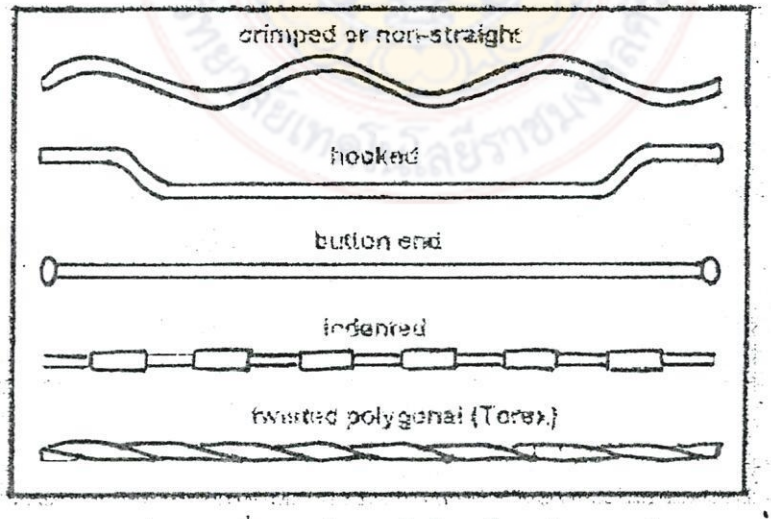
2.1 การใช้เส้นใยเหล็กในงานคอนกรีต

การพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีต ได้มีการพัฒนาไปมาก โดยส่วนหนึ่งของการพัฒนา ได้มีการใช้เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber Reinforced Concrete: SFRC) มาเป็นส่วนผสม โดยใยเหล็กที่นำมาใช้ มีหลายรูปแบบด้วยกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอยร้าวจากการยืดหดตัวแบบพลาสติก (Plastic Shrinkage Cracks) และปรับปรุงรอยร้าวทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว รวมถึงการปรับปรุงคุณสมบัติด้านแรงดึง (Tensile Strength) แรงเฉือน (Shear Strength) ความล้า (Fatigue) การรับแรงกระแทก (Impact Strength) (Zellers, n.d.) ซึ่งได้มีการผลิตเพื่อจำหน่ายจากหลายบริษัท

จากการศึกษาของ Rapoport and et.al (2001) พบว่า เส้นใยเหล็กปริมาณ 1% โดยปริมาตรคอนกรีตสามารถลดการซึมผ่านได้ของน้ำมากกว่าปริมาณ 0.5% และการซึมผ่านได้ของน้ำจากรอยร้าวที่เกิน 100 μm (microns) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และสำหรับรอยร้าวขนาด 100 μm การเสริมใยเหล็กไม่มีผลต่อการซึมผ่านได้ของน้ำ

2.2 รูปแบบเส้นใยเหล็ก

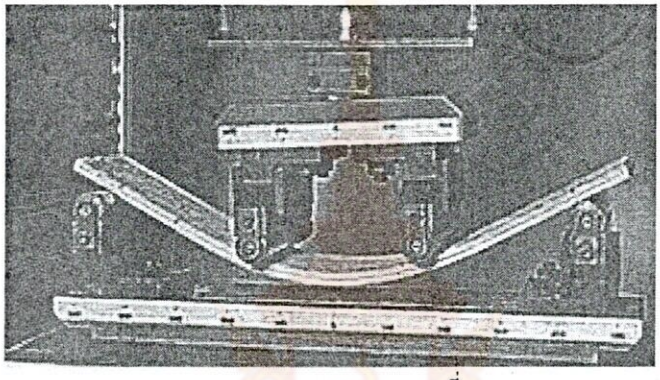
เส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) มีการผลิตออกมาในหลายรูปแบบ เช่น แบบตะขอ (Hooked) แบบเกลียว (Twisted) แบบดัดไปมา (Crimped) แบบหัวหมุด (Button End) และแบบเว้าแหว่ง (Indented) เป็นต้น ดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 รูปแบบเส้นใยเหล็กเสริมคอนกรีต

2.3 การพัฒนาคอนกรีตให้มีความยืดหยุ่น

ในสหรัฐอเมริกา ได้มีการพัฒนาเส้นใยชนิดหนึ่งเพื่อเสริมคอนกรีตที่ผลิตโดยนักวิทยาศาสตร์ของ University of Michigan โดยมีการคาดว่าจะมีการใช้อย่างกว้างขวางในประเทศ สภาพภายนอกโดยทั่วไปเหมือนคอนกรีตธรรมดา แต่มีความต้านทานการเกิดรอย Crack ได้มากกว่าถึง 500 เท่า และมีน้ำหนักเบากว่าถึงร้อยละ 40 โดยเพียงผสมเส้นใยดังกล่าวเล็กน้อยเพียงร้อยละ 2 โดยปริมาตรคอนกรีต นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการยืดหยุ่นสูงสุด ดังภาพประกอบที่ 2.2 ซึ่งการใช้ในระยะยาวจะลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก



ที่มา: http://www.physorg.com/news3985.html

ภาพประกอบที่ 2.2 การยืดหยุ่นที่สูงมากของคอนกรีตที่ผสมเส้นใยที่มีการพัฒนาในอเมริกา

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 ผสมคอนกรีตตามสัดส่วน ซีเมนต์:ทราย:หิน เป็น 1:2:4 โดยน้ำหนัก W/C เท่ากับ 0.45 และใช้ตะปูควง (Screws) 3% โดยปริมาตรของคอนกรีต หรือใช้ 230 kg/m^3 ของคอนกรีต (ตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก)

3.1.3 หาค่าการยุบตัว (Slump) ของคอนกรีตทุกตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C143 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete)

3.1.4 จากนั้น จึงหล่อเข้าแบบมาตรฐานรูปลูกบาศก์ (Cubic) ขนาดมาตรฐาน 15x15x15 cm และรูปคาน (Beam) ขนาดมาตรฐาน 15x15x75 cm อย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตล้วนเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบด้วย

3.1.5 ทุกตัวอย่างบ่มในน้ำ 28 วัน แล้วทำการแยกตัวอย่างคอนกรีต ออกตามสภาพแวดล้อม 2 สภาพที่ต้องสัมผัส คือ 1. สภาพสัมผัสดินฟ้าอากาศ และ 2. สภาพไม่สัมผัสดินฟ้าอากาศ ทั้งนี้ จะทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน BS 1881: Part 4 และกำลังรับแรงดึง โดยวิธี Flexural Strength ตามมาตรฐาน ASTM C78 และประมาณค่าโมดูลัสการดัดงอ (Flexural Modulus of Elasticity) ที่อายุ 14, 28, 90 และ 180 วัน ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตล้วนร่วมด้วย

3.1.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

3.1.7 จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

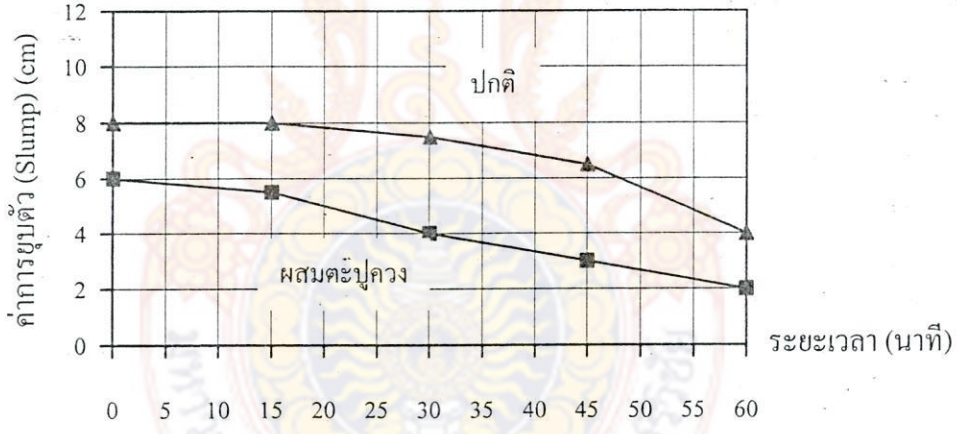
บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 กล่าวนำ

บทนี้ จะกล่าวถึงผลการวิจัย จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตเพื่อหาค่าต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย 1. การยุบตัวของคอนกรีต (Slump) 2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว 3. กำลังรับแรงของคอนกรีต และ 4. การแอ่นตัวและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีต ตามลำดับ

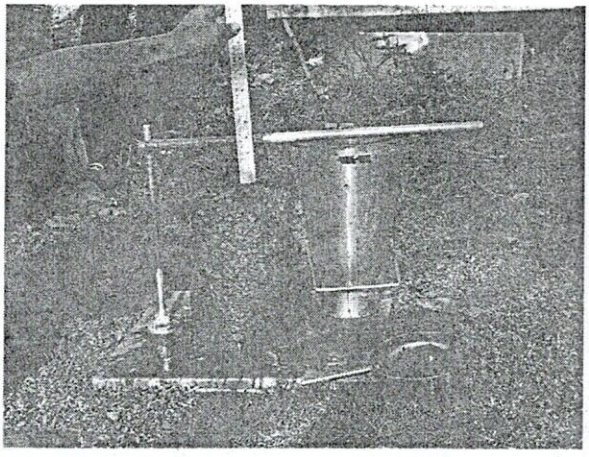
4.2 การยุบตัวของคอนกรีต (Slump)

จากการผสมคอนกรีตตามสัดส่วน 1:2:4 โดยน้ำหนัก ใช้ค่า W/C เท่ากับ 0.45 และผสมตะปูควง 3% โดยปริมาตรคอนกรีต หรือ 230 kg/m^3 ของคอนกรีต ได้ค่าการยุบตัว (Slump) ตามระยะเวลาที่ผ่านไป ดังภาพประกอบที่ 4.1

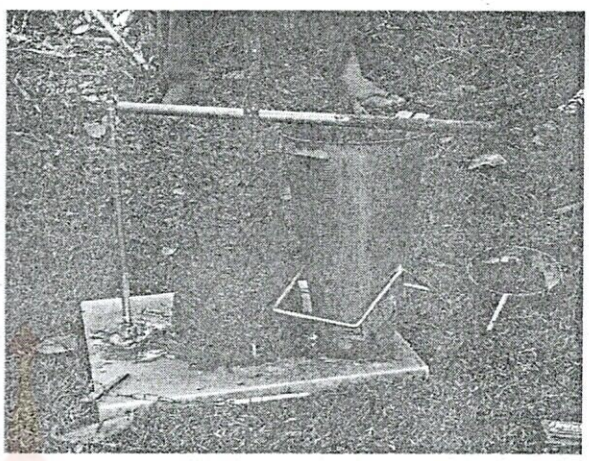


ภาพประกอบที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของการยุบตัวและระยะเวลาที่ผ่านไป

จากภาพประกอบที่ 4.1 จะเห็นว่า คอนกรีตที่ผสมในสัดส่วนเดียวกันจากวัสดุในกองเดียวกัน คอนกรีตที่ผสมตะปูควงเพิ่มเข้าไปนั้น ค่าการยุบตัวจะลดลงเฉลี่ยประมาณ 2 cm เนื่องจากตะปูควงเสมือนเป็นมวลรวมชนิดหนึ่ง การเพิ่มมวลรวมโดยไม่เพิ่มน้ำ จึงทำให้ค่าการยุบตัว (Slump) ลดลงนั่นเอง และเมื่อทำการทดสอบตามระยะเวลาที่ผ่านไป ค่าการยุบตัวก็มีแนวโน้มที่จะลดลง การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Lost) ดังกล่าว เป็นเรื่องปกติสำหรับคอนกรีต ดังนั้น การเพิ่มตะปูควงในส่วนผสมคอนกรีตจึงไม่กระทบกับคุณสมบัติของซีเมนต์เพสท์ (Paste) แต่อย่างใด เพียงแต่ทำให้ค่าการยุบตัวลดลงจากคอนกรีตปกติเท่านั้น(ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงการยุบตัวของคอนกรีตผสมตะปูควงตามช่วงระยะเวลาที่ผ่านไป)



ทันทีหลังผสมเสร็จ



ผ่านไป 60 นาที

ภาพประกอบที่ 4.2 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมตะปูควงตามช่วงระยะเวลาที่ผ่านไป

4.3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

หลังจากได้เทคอนกรีตสดและกระทุ้งเข้าในแบบมาตรฐานแล้ว จากนั้น 24 ชั่วโมง จึงนำคอนกรีตไปบ่มในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด (28 วัน) เมื่อคอนกรีตแข็งตัว จึงนำมาชั่งหาน้ำหนักก่อนทำการกดทดสอบ จากหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยจากตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมตะปูควง รูปคาน 24 ตัวอย่าง และรูปคิวบิก 24 ตัวอย่าง รวม 48 ตัวอย่าง และหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยจากตัวอย่างคอนกรีตปกติในจำนวนที่เท่ากัน พบว่า หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสมตะปูควง เท่ากับ 2,518 kg/m^3 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติที่ไม่ผสมตะปูควง ที่เท่ากับ 2,353 kg/m^3 ซึ่งจะมากกว่าอยู่ร้อยละ 6.55 ซึ่งถือว่าน้อย

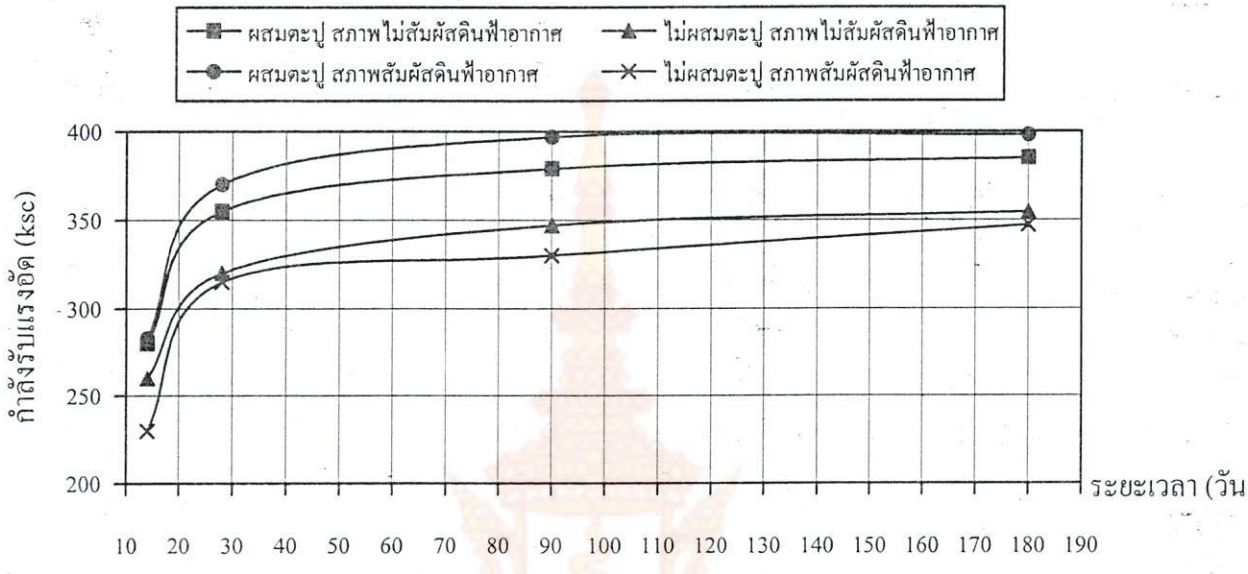
การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักดังกล่าว จะเป็น Load ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักตัวเองของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม หากพิจารณา Load ที่เกิดขึ้นบนพื้นทางต่อตารางเมตร จะพบว่า ถ้าคิดความหนาคอนกรีต 20 cm Load จะเพิ่มขึ้นเป็น 2518 x 0.20 = 503.6 kg/m^2 จากเดิม 2,353 x 0.20 = 470.6 kg/m^2 หรือเพิ่มขึ้นเพียง 33 kg/m^2 เท่านั้น

4.4 กำลังรับแรงของคอนกรีต

หลังจากที่ได้หล่อคอนกรีตตามที่กำหนด จึงได้ทำการกดทดสอบ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบกำลังรับแรงอัด และการทดสอบกำลังรับแรงดึง โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.4.1 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต หลังจากที่ผสมตามสัดส่วนที่กำหนดและบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วันทุกตัวอย่าง แล้วแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สัมผัสและกลุ่มไม่สัมผัสดินฟ้าอากาศ ตามระยะเวลาที่กำหนดอีก 14, 28, 90 และ 180 วัน ตามลำดับ ได้ผลดังภาพประกอบที่ 4.3



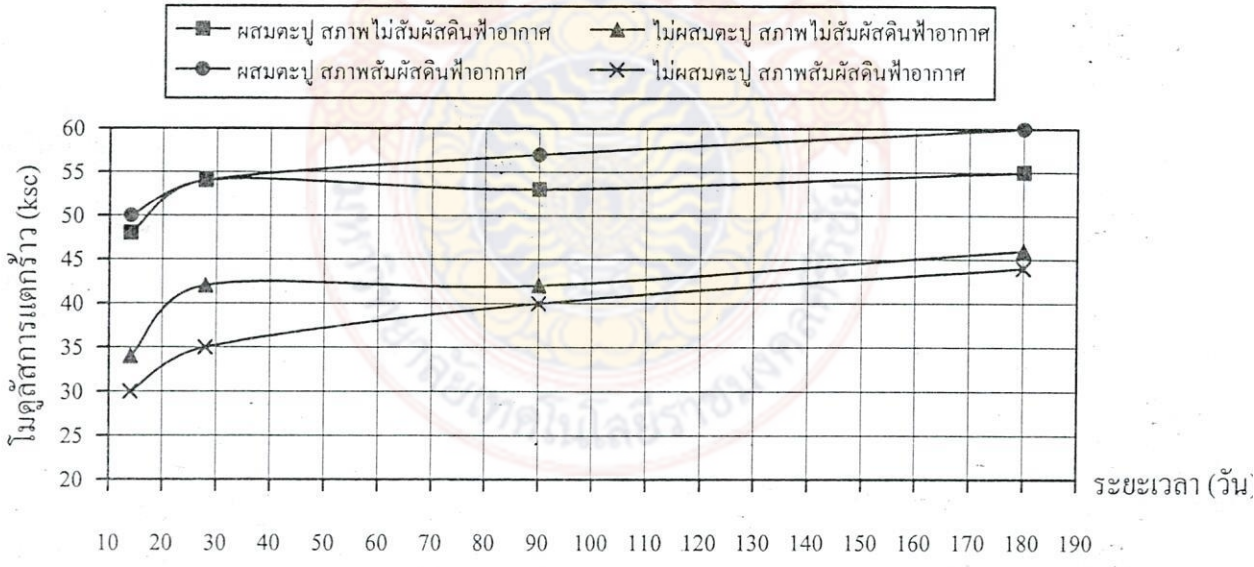
ภาพประกอบที่ 4.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจำแนกตามสภาพแวดล้อมและเวลา

จากภาพประกอบที่ 4.3 จะเห็นว่าคอนกรีตที่ผสมตะปูควงมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตปกติ แสดงให้เห็นว่าการผสมตะปูควงในสัดส่วนนี้นอกจากไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงแล้ว ยังกลับมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นด้วยซ้ำ แม้ว่าค่าการยุบตัวจะลดลงบ้างก็ตาม โดยการเพิ่มขึ้นดังกล่าวอยู่ที่ประมาณร้อยละ 27 แต่การผสมตะปูควงในปริมาณที่มากกว่านี้ อาจมีผลด้านลบได้ และนอกจากนั้นการใช้คอนกรีผสมตะปูควงในสภาพแวดล้อมที่ต้องสัมผัสกับดินฟ้าอากาศไม่เกิน 180 วัน ยังไม่ส่งผลลบกับกำลังของคอนกรีต โดยลักษณะของตะปูควงยังอยู่ในสภาพที่ไม่ถูกกัดกร่อน (เป็นสนิม) เลย ดังภาพประกอบที่ 4.4 ทั้งนี้ การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตนั้น มวลรวมหยาบ (หิน) มีการแตกหักตามแนววิบัติ

ภาพประกอบที่ 4.4 ลักษณะของตะปูควงที่ไม่มีการกัดกร่อนหลังจากสัมผัสดินฟ้าอากาศ 180 วัน

4.4.2 กำลังรับแรงดึง

การทดสอบกำลังรับแรงดึงในที่นี้ ทดสอบด้วยวิธี Flexural Tensile Test แบบ Center Point Loading โดยแรงดึงจะเกิดสูงสุดที่บริเวณท้องคาน ที่เรียกว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) ซึ่งได้ผลดังภาพประกอบที่ 4.5

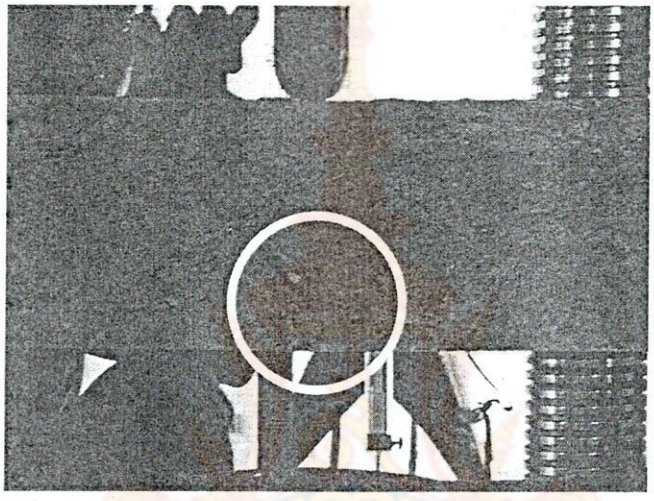


ภาพประกอบที่ 4.5 โมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตจำแนกตามสภาพแวดล้อมและเวลา

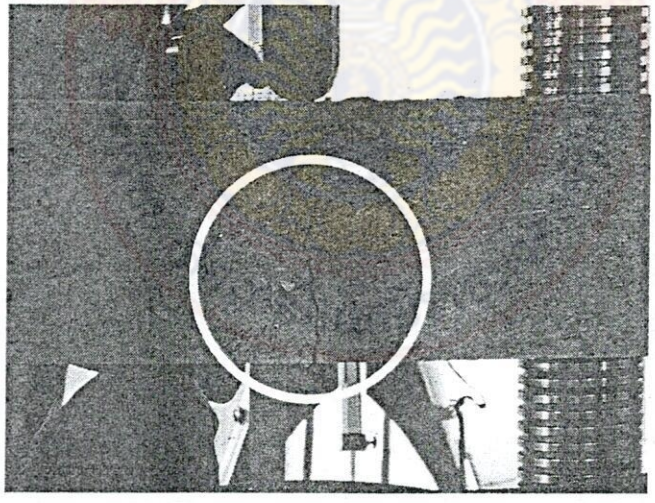
จากภาพประกอบที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตที่ผสมตะปูควงมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติประมาณร้อยละ 27 ซึ่งอยู่ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นจากภาพประกอบที่ 4.3 ในส่วนของผลจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกันนั้นพบว่ามีผลกระทบน้อย

4.5 การแอ่นตัวและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีต

เมื่อพิจารณาถึงระยะการแอ่นตัว พบว่า คอนกรีตผสมตะปูควงมีระยะการแอ่นตัวได้สูงมากกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดได้ถึง 18 mm ขณะที่คอนกรีตปกติแอ่นตัวได้สูงสุดที่ 3 mm เท่านั้น โดยพฤติกรรมการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ คอนกรีตที่ผสมตะปูควง เมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวจะใช้เวลานานมากกว่าจะถึงจุดวิบัติ แต่คอนกรีตปกติ เมื่อเกิดรอยร้าวแล้วจะวิบัติอย่างรวดเร็ว (ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงลำดับขั้นการวิบัติของคอนกรีตผสมตะปูควง)

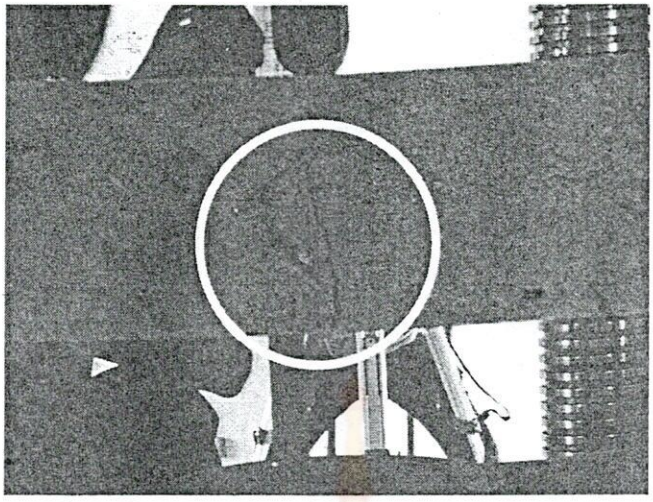


เริ่มเห็นรอยร้าว

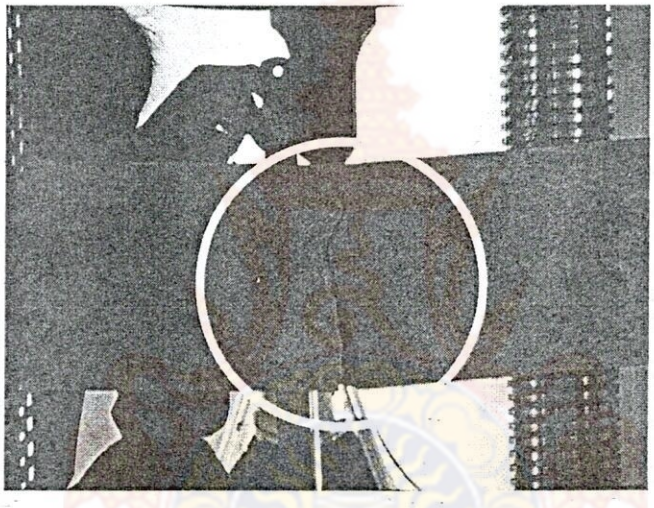


รอยร้าวกว้าง ~ 3 mm

ภาพประกอบที่ 4.6 ลำดับขั้นการวิบัติของคอนกรีตผสมตะปูควง (มีต่อ)



รอยร้าวกว้าง ~ 5 mm



รอยร้าวกว้าง ~ 20 mm

ถึงจุดแตกหัก โดยมีตะปูยึดที่รอยแตก

ภาพประกอบที่ 4.6 ลำดับขั้นการวิบัติของคอนกรีตผสมตะปูควง (ต่อ 1)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 กล่าวนำ

จากผลการศึกษาในบทที่ 4 สามารถสรุปผลได้ในประเด็นต่างๆ คือ 1. การยุบตัวของคอนกรีต (Slump) 2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว 3. กำลังรับแรงของคอนกรีต และ 4. การแอ่นตัวและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีต ตามลำดับ

5.2 การยุบตัวของคอนกรีต (Slump)

การผสมตะปูควงในส่วนผสมคอนกรีต ตะปูควงเป็นเสมือนมวลรวมหยาบชนิดหนึ่งที่ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ที่จะทำให้มีคุณสมบัติคอนกรีตด้อยลงไป อย่างไรก็ตาม ค่าการยุบตัวก็มีค่าลดลงประมาณ 2 cm จากคอนกรีตปกติ แต่การยุบตัวที่น้อยลงนี้มีผลน้อยต่อการนำมาใช้งานสำหรับพื้นระบบวางบนดิน (Ground Slab) หรือผิวทางคอนกรีต เนื่องจากทำให้แน่นตัวได้ไม่ยาก ประเด็นนี้ จึงไม่เป็นปัญหาต่อการใช้งานจริง

624.18
ส 722
2548
ฉ.2

049972

5.3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยจากตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมตะปูควง และคอนกรีตปกติ พบว่า หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสมตะปูควง เท่ากับ 2,518 kg/m^3 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติที่ไม่ผสมตะปูควงที่เท่ากับ 2,353 kg/m^3 จะมากกว่าอยู่ร้อยละ 6.55 ซึ่งถือว่าน้อย กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักดังกล่าวจะเป็น Load ที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักตัวเองของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม หากพิจารณา Load ที่เกิดขึ้นบนพื้นทางต่อตารางเมตร จะพบว่า ถ้าคิดความหนาคอนกรีต 20 cm Load จะเพิ่มขึ้นเป็น 2518 x 0.20 = 503.6 kg/m^2 จากเดิม 2,353 x 0.20 = 470.6 kg/m^2 หรือเพิ่มขึ้นเพียง 33 kg/m^2 เท่านั้น Load ที่เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของตะปูควง จึงไม่มากนัก

5.4 กำลังรับแรงของคอนกรีต

คอนกรีตที่ผสมตะปูควงมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตปกติ แม้ว่าค่าการยุบตัวจะลดลงบ้างก็ตาม โดยการเพิ่มขึ้นดังกล่าวอยู่ที่ประมาณร้อยละ 27 แต่การผสมตะปูควงในปริมาณที่มากกว่านี้ อาจมีผลด้านลบได้ นอกจากนั้น การใช้คอนกรีผสมตะปูควงในสภาพแวดล้อมที่ต้องสัมผัสกับดินฟ้าอากาศไม่เกิน 180 วัน ยังไม่ส่งผลลบกับกำลังของคอนกรีต โดยลักษณะของตะปูควงยังอยู่ในสภาพที่ไม่ถูกกัดกร่อน (เป็นสนิม) เลย

สำหรับกำลังรับแรงดึง ที่พิจารณาจากค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตที่ผสมตะปูควงมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติประมาณร้อยละ 27 เช่นกัน ในส่วนของผลจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกันนั้นพบว่ามีผลกระทบน้อยต่อคุณสมบัติด้านกำลังทั้ง 2 แบบที่กล่าวไปแล้ว

5.5 การแอ่นตัวและพฤติกรรมการวิบัติของคอนกรีต

ระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตผสมตะปูควงมีระยะการแอ่นตัวได้สูงมากกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดได้ถึง 18 mm ขณะที่คอนกรีตปกติแอ่นตัวได้สูงสุดที่ 3 mm เท่านั้น โดยพฤติกรรมการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ คอนกรีตที่ผสมตะปูควงเมื่อเริ่มเกิดรอยร้าวจะใช้เวลานานมากกว่าจะถึงจุดวิบัติ แต่คอนกรีตปกติ เมื่อเกิดรอยร้าวแล้วจะวิบัติอย่างรวดเร็ว พฤติกรรมของคอนกรีตผสมตะปูควงดังกล่าว จะมีประโยชน์มากกับการชะลอการวิบัติแบบทันทีทันใด

เอกสารอ้างอิง

สหชัย แก่นอากาศ, 2545, การศึกษาคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตผสมตะปูเข็ม, บทความวิจัย, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, ขอนแก่น

Illston, J.M., 1994, Construction Materials, Their Nature and Behaviour. Second Edition, E&FN SPON, London, UK.

Bob Zellers, n.d., Steel and Synthetic Fiber Blends. Technology and Engineering. Nycon, Inc. Westerly, USA, www.nycon.com/pdf/sfiberblends.pdf

Julie Rapoport, Corina-Maria Aldea, Surendra P. Shah, Bruce Ankenman, and Alan F. Karr, 2001, Permeability of Cracked Steel Fiber-Reinforced Concrete. Technical Report Number 115. National Institute of Statistical Sciences. Research Triangle Park, www.niss.org/technicalreports/tr115.pdf

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตโดย Microsoft Excel

ตัวอย่างการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตโดย Microsoft Excel

	1 ตัวอย่าง	3 ตัวอย่าง	เผื่อส่วนคลาดเคลื่อน 10%
Cubic	0.003375 ลบ.ม.	0.010125 ลบ.ม.	0.066825 ลบ.ม.
Beam	0.016875 ลบ.ม.	0.050625 ลบ.ม.	
Unit Weight of Concrete		2400 kg/m^3	

รายการคำนวณ

ต้องการคอนกรีต	160.38	kg
ซีเมนต์	22.91143	kg
ทราย	45.82286	kg
หิน	91.64571	kg
W/C	0.45	
น้ำ	10.31014	kg
กำหนดสัดส่วน ตะปูควง	3	% โดยปริมาตรคอนกรีต
ต้องการตะปูควง	0.002005	m^3
น้ำหนักตะปู	15.36975	kg

สรุปส่วนผสม

ซีเมนต์		22.91	kg
ทราย		45.82	kg
หิน		91.65	kg
น้ำ		10.31	kg
ตะปูควง		15.37	kg