



การศึกษากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

STUDY OF TENSILE STRENGTH OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

แก้วตา ดียิ่ง (Kaewta Deeying)¹

นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา (Natthawut Thipyotha)²

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย (Griengsak Kaewkulchai)³

ธนกร ทวีวุฒิ (Thanaporn Thaveevouthti)⁴

¹ นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี k.deeying@hotmail.com

² นักศึกษาปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี natthawut.thip@gmail.com

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี griengsak@gmail.com

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ensuwath@ubu.ac.t

บทคัดย่อ : คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศ ซึ่งเกิดจากการเติมโพลีเมอร์ที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตแทนการใช้หินหรือมวลรวมหยาบ โดยคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นหรือปริมาณฟองอากาศที่เติมเข้าไป บทความนี้เสนอผลการทดสอบการหาค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ค่าความหนาแน่นเปียกเท่ากับ 800 – 1,800 กก./ม.³ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40 , 0.45 และ 0.50 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 และ 2:1 ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึงของตัวอย่างที่อายุ 56 วัน ด้วยวิธีทดสอบ 3 วิธี กล่าวคือ การทดสอบแรงดึงโดยตรง การทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีก และการทดสอบโมดูลัสการแตกร้าว ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงระหว่าง 1-21 กก./ซม.² กำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าระหว่าง 3- 19 กก./ซม.² และโมดูลัสการแตกร้าวมีค่าระหว่าง 1- 16 กก./ซม.²

ABSTRACT : Cellular lightweight concrete is produced by uniform distribution of air bubbles made from preformed foam throughout the mass of concrete in substitution of coarse aggregates. The basic properties of cellular lightweight concrete are altering according to the density or existing air content. This paper presents the experimental results on tensile strength of cellular lightweight concrete having wet densities ranging from 800 kg/m³ to 1800 kg/m³ using sand to cement ratios of 0.40, 0.45 and 0.50 and water to cement ratios of 1:1 and 2:1. Three testing methods were employed in determining the tensile strength of 56 day-old specimens, i.e., the direct tensile test, split tensile test and modulus of rupture test. The results show that the tensile strengths of cellular lightweight concrete are in the range of 1 to 21 ksc for the direct tensile test, 3 to 19 ksc for the split tensile test and 1 to 16 ksc for the modulus of rupture test.

KEYWORDS : Tensile Strength, Cellular Lightweight Concrete, Foam Concrete, Aerated Concrete

1. บทนำ

ในการก่อสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับ โครงสร้างขนาดใหญ่ คอนกรีตจะมีน้ำหนักมาก ต้องสิ้นเปลืองวัสดุในการทำเป็นโครงสร้างจำนวนมาก เช่น เสา คาน และฐานราก จึงได้มีการนำคอนกรีตมวลเบามาใช้เพื่อลดขนาดของโครงสร้าง ซึ่งคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (Cellular Lightweight Concrete หรือ CLC) เป็นคอนกรีตมวลเบาชนิดหนึ่ง ผลิตโดยทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยการเติมโฟมเหลว (Pre-formed Foam) ซึ่งเป็นตัวเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยไม่มีส่วนประกอบของมวลรวมหยาบหรือหิน ซึ่งฟองอากาศเหล่านี้จะสลายไปเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตสิ้นสุด เหลือไว้เพียงช่องว่างอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอจำนวนมากภายในเนื้อคอนกรีต ปริมาณโฟมเหลวที่เติมลงไปจะมีผลต่อความหนาแน่น ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสมีค่าตั้งแต่ 300 – 1800 กก./ม.³ ขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งานแต่ละประเภท คุณสมบัติทางด้านกำลัง ได้แก่ คุณสมบัติด้านกำลังแรงอัดและกำลังรับแรงดึงมีความสำคัญต่อการนำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสไปประยุกต์ใช้ โดยกำลังรับแรงดึงมีผลต่อการต้านทานการแตกร้าวในองค์อาคาร เช่น โมเมนต์แตกร้าว (Cracking Moment, M_{cr}) ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะแปรผันโดยตรงกับค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) แก้วดา คิยั้ง และคณะ [3] ได้นำเสนอค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ค่าความหนาแน่นเปียกระหว่าง 800 – 1800 กก./ม.³ ที่อายุ 28 วัน โดยบทความฉบับนี้นำเสนอผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ค่าความหนาแน่นเปียกระหว่าง 800 – 1800 กก./ม.³ ที่อายุ 56 วัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยปกติกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตสามารถระบุได้ 3 ลักษณะ กล่าวคือ กำลังรับแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Strength) กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Split Tensile Strength) และค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture)

2.1 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต

กำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต (f_t) มีค่าประมาณ $0.10f_c$ [1] ซึ่งได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบรีลท์ ภายใต้อัดแรงดึง (รูปภาพที่ 1)

2.2 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต

กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต (f_{ct}) พบว่าเป็นสัดส่วนกับ $\sqrt{f_c}$ สำหรับคอนกรีตธรรมดาที่มีค่าประมาณ $1.59\sqrt{f_c} - 1.86\sqrt{f_c}$ และสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาที่มีค่าประมาณ $1.33\sqrt{f_c} - 1.59\sqrt{f_c}$ [2] ซึ่งได้จากการทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 15×30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C496 ด้วยวิธี Splitting test (รูปภาพที่ 1)

2.3 โมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีต

โมดูลัสการแตกร้าว (f_r) ตามมาตรฐานของ ASTM C78 จะใช้ในการพิจารณากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตภายใต้แรงคด โดยคำนวณได้จากสูตรการคด ปกติจะให้ค่ากำลังรับแรงดึงที่สูงกว่าการทดสอบ Splitting test เนื่องจากหน่วยแรงอัดกระจายตัวไม่เป็นเส้นตรงขณะเกิดการวิบัติ โดยมีค่าเฉลี่ยของโมดูลัสแตกร้าว $1.9\sqrt{f_c}$ โดยมาตรฐานการออกแบบสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกำหนดให้ใช้ $2.0\sqrt{f_c}$ และให้คูณค่า f_r ด้วยตัวคูณลดประมาณ 0.75 สำหรับคอนกรีตมวลเบา [2]

3. วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

3.1 วัสดุ

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- 2) ทรายสะอาด
- 3) น้ำสะอาด
- 4) สารเพิ่มฟองอากาศ (Foaming Agent)

3.2 อุปกรณ์

- 1) โม่ผสมคอนกรีต
- 2) เครื่องผลิตโฟมเหลว (Foam Generator)
- 3) แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
- 4) แบบหล่อคอนกรีตรูปคานขนาด 15×15×50 ซม.
- 5) แบบหล่อบรีลท์
- 6) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง
- 7) ชุดทดสอบโมดูลัสแตกร้าว
- 8) เครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

3.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้

- 1) เตรียมเครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีต ปั่นลมและถังแรงดันผสมน้ำยาเพิ่มฟองโดยผสมสารเพิ่มฟองเหลว กับน้ำในอัตราส่วน 1:30 ใส่ลงในถังของเครื่องผลิตโฟมเหลว ในปริมาณที่ต้องการใช้ในการผสมแต่ละครั้ง และปรับแรงดันของถังให้เหมาะสมที่ 0.65 MPa
- 2) ใส่ทรายและซีเมนต์ลงในโม้ผสมคอนกรีตแล้วเปิดเครื่องผสมให้ทรายและซีเมนต์คลุกเคล้ากัน
- 3) เมื่อทรายและซีเมนต์ คลุกเคล้ากันดีแล้ว ใต้น้ำลงไปโม้ผสมคอนกรีต โดยระหว่างเติมน้ำให้เปิดเครื่องผสมคอนกรีต เพื่อให้ น้ำที่เติมลงไปเข้ากัน ได้ดีกับทรายและซีเมนต์
- 4) เมื่อน้ำผสมกับทรายและซีเมนต์จนเป็นเนื้อเดียวกัน (ซีเมนต์มอร์ต้า) แล้วทำการฉีดโฟมเหลวลงไป โดยระหว่างการฉีดโฟมเหลวต้องเปิดเครื่องผสมคอนกรีต
- 5) เมื่อซีเมนต์มอร์ต้ากับ โฟมเหลวคลุกเคล้าจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงหยุดเครื่องผสม ในการผสมในแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลาเกิน 5 นาที นำคอนกรีตที่ได้ไปเทลงแบบหล่อ

3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ที่ความหนาแน่นเปียก 800 - 1800 กก./ม.³ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.40, 0.45 และ 0.50 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 และ 2:1 รวม 36 สูตร ได้แก่

- 1) การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างรูปรีกต์ ที่อายุ 56 วัน จำนวน 108 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดเมื่อจุดขาดของก้อนตัวอย่างแต่ละก้อน จากนั้นคำนวณหาค่ากำลังดึง
- 2) การทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C496 จำนวน 108 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่แบ่งตัวอย่างวิธีนี้ นำไปคำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึง
- 3) การทดสอบโมดูลัสการแตกร้าวของตัวอย่างรูปคานขนาด 15×15×50 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C78 จำนวน 108 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่แบ่งตัวอย่างวิธีนี้ นำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว
- 4) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ตาม

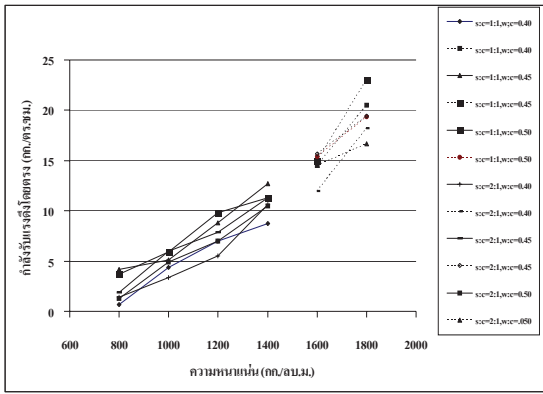
มาตรฐาน ASTM C469 จำนวน 108 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่แบ่งตัวอย่างวิธีนี้ นำไปคำนวณหาค่า กำลังต้านทานแรงอัด



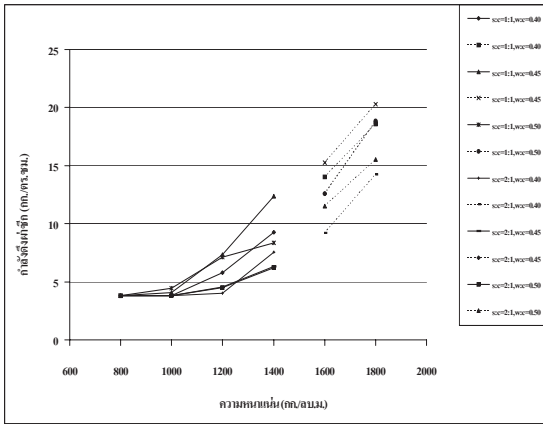
ภาพที่ 1 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดึงผ่าซีก และการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

4. ผลการทดสอบ

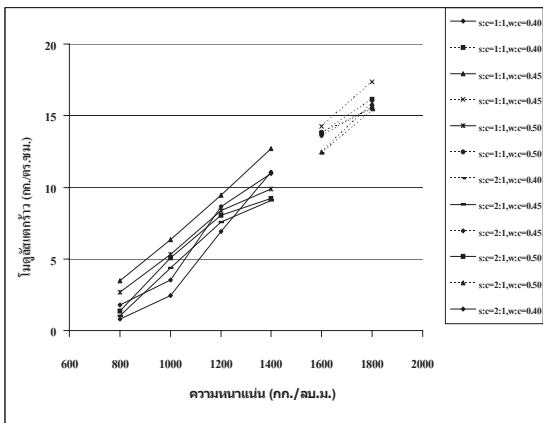
ผลจากการทดสอบสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง ค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีก ค่าโมดูลัสแตกร้าว และค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส 800-1400 กก./ม.³ และ 1600-1800 กก./ม.³ ดังแสดงในภาพที่ 2 3 และ ภาพที่ 4 ตามลำดับ พบว่ากำลังรับแรงดึงแปรผันโดยตรงกับค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงดึงโดยตรง ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ความ หนาแน่น 800-1400 กก./ม.³ มีค่า 1-10 กก./ซม.² ที่ความหนาแน่น 1600-1800 กก./ม.³ มีค่า 14-21 กก./ซม.² กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกที่ความหนาแน่น 800-1400กก./ม.³ มีค่า 3-9 กก./ซม.² ที่ความหนาแน่น 1600-1800 กก./ม.³ มีค่า 11-19 กก./ซม.² โมดูลัสการแตกร้าวมีค่าที่ความหนาแน่น 800-1400กก./ม.³ มีค่า 1-11 กก./ซม.² ที่ความหนาแน่น 1600-1800 กก./ม.³ มีค่า 12-16กก./ซม.²



ภาพที่ 2 กราฟแสดงกำลังรับแรงดึงโดยตรง



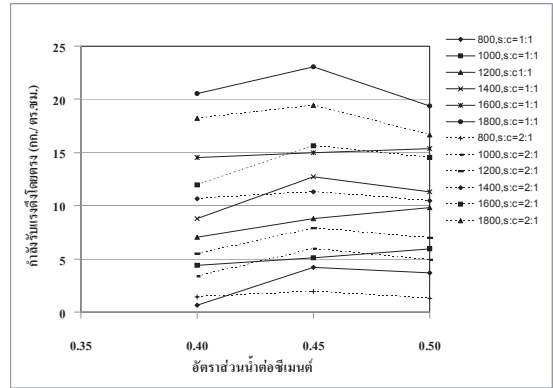
ภาพที่ 3 กราฟแสดงกำลังรับแรงดึงค่าซีก



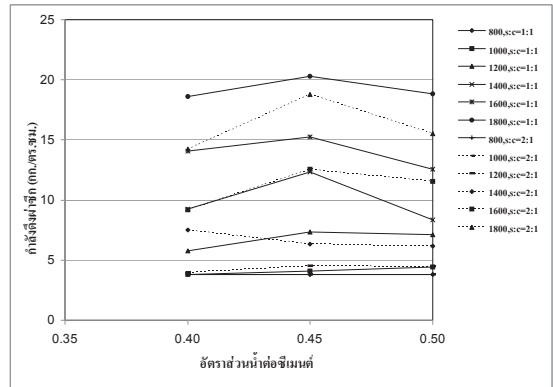
ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าโมดูลัสแตกร้าว

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลต่อค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง ค่ากำลังรับแรงดึงค่าซีกและค่าโมดูลัสแตกร้าวที่

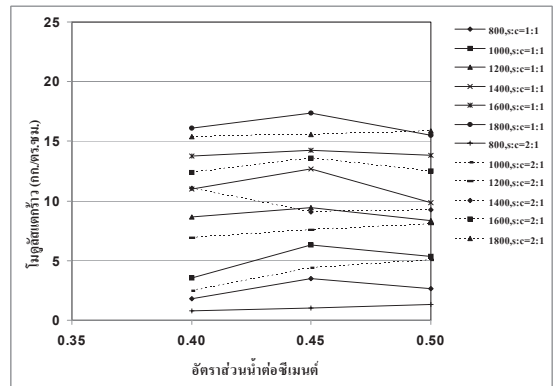
อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 และ 1:2 ดังแสดงในภาพที่ 5 6 และภาพที่ 7 โดยสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงอัด f'_c ของคอนกรีต



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงโดยตรงกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

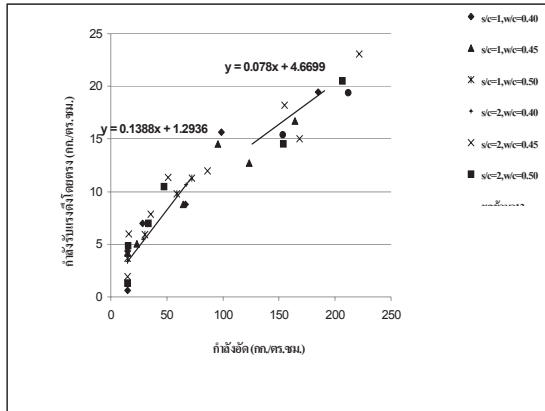


ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงค่าซีกกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

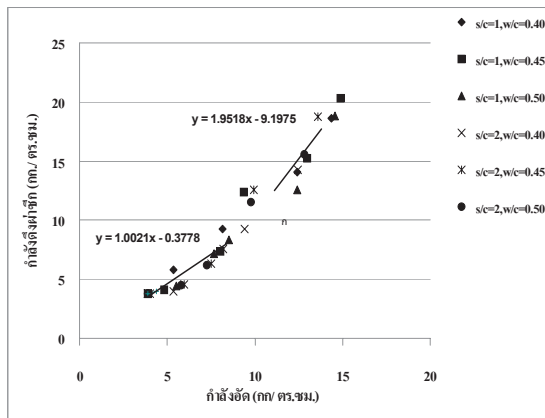


ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแตกร้าวกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

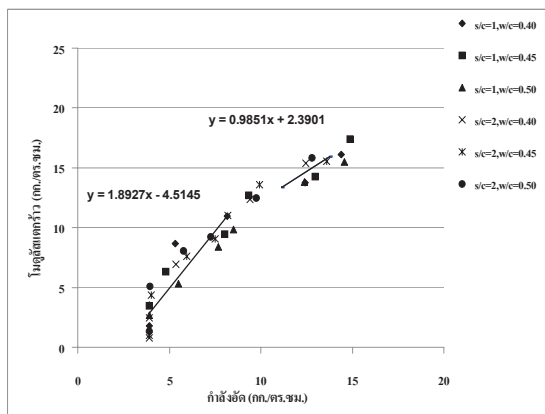
ภาพที่ 8 และ 10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกและค่าโมดูลัสแตกร้าวกับค่ากำลังรับแรงอัดตามลำดับ



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังรับแรงดึงโดยตรง



ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังดึงผ่าซีก



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับโมดูลัสแตกร้า

จากผลการทดสอบดังแสดงในกราฟภาพภาพที่ 8 9 และ 10 พบว่าค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงดึงโดยตรง ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกและค่าโมดูลัสแตกร้าวกสูงตามด้วย โดยกำลังรับแรงดึงโดยตรง มีค่าในช่วงระหว่าง $0.09f'_c - 0.30f'_c$ ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยประมาณ $0.16f'_c$ ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าในช่วง $0.86\sqrt{f'_c} - 1.32\sqrt{f'_c}$ ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยประมาณ $1.02\sqrt{f'_c}$ ค่าโมดูลัสแตกร้าวกมีค่าในช่วงระหว่าง $0.27\sqrt{f'_c} - 1.32\sqrt{f'_c}$ ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยประมาณ $1.07\sqrt{f'_c}$

5.สรุป

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่ากำลังรับแรงดึงกับค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 56 วัน โดยศึกษาค่ากำลังรับแรงดึงจากการทดสอบ 3 ลักษณะได้แก่กำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกและโมดูลัสการแตกร้า

จากผลการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และ โมดูลัสการแตกร้าวกมีค่าสูงตามกำลังอัดที่ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงดึงโดยตรง ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่อายุ 56 วันมีค่าระหว่าง $0.09f'_c - 0.30f'_c$ กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าระหว่าง $0.86\sqrt{f'_c} - 1.32\sqrt{f'_c}$ และ โมดูลัสการแตกร้าวกมีค่าระหว่าง $0.27\sqrt{f'_c} - 1.32\sqrt{f'_c}$ ซึ่งจากการทดสอบที่อายุ 28 วัน [3] กำลังรับแรงดึงโดยตรงมีค่าระหว่าง $0.06f'_c - 0.20f'_c$ กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าระหว่าง $0.72\sqrt{f'_c} - 1.55\sqrt{f'_c}$ และ โมดูลัสการแตกร้าวกมีค่าระหว่าง $0.83\sqrt{f'_c} - 1.55\sqrt{f'_c}$ จะเห็นว่ากำลังรับแรงดึงโดยตรง กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และ โมดูลัสการแตกร้าวกเมื่อพิจารณาเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด มีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งที่อายุ 28 วัน และ 56 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท แอลซีเอ็ม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและน้ำยาโพม สำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบา บริษัทแอ็ดแวนซ์คอนกรีตเทคโนโลยี สำหรับเอกสารและข้อมูลสัดส่วนผสม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีสำหรับการใช้อุปกรณ์และสถานที่

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปริญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล 2549. ปณิชนันต์ ปอชโชชาน และ คอนกรีต. ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] ดร.มงคล จิรวีชรเดช, 2542. การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [3] แก้วตา ดิษฐ์ และ คณะ 2551. กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส; การประชุมคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 4. 20-22 ตุลาคม 2551.