



## กำลังรับแรงดึงแยกและโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส

# SPLITTING TENSILE STRENGTH AND MODULUS OF RUPTURE OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE

ธนกร ทวีวุฒิ (Thanaporn Thavevouthti)<sup>1</sup>

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย (Griengsak Kaewkulchai)<sup>2</sup>

วิวัฒน์ พัทฒตานนท์ (Wiwat Pautatsananon)<sup>3</sup>

สถาพร โภคา (Sdhabhon Bhokha)<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [ensuwath@ubu.ac.th](mailto:ensuwath@ubu.ac.th)

<sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [griengsak@gmail.com](mailto:griengsak@gmail.com)

<sup>3</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [enwiwapu@ubu.ac.th](mailto:enwiwapu@ubu.ac.th)

<sup>4</sup>รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี [nyakobo@gmail.com](mailto:nyakobo@gmail.com)

**บทคัดย่อ :** คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสขึ้นอยู่กับค่าหน่วยน้ำหนัก อีกนัยหนึ่งคือปริมาณฟองอากาศที่แทรกตัวตามเนื้อคอนกรีต คอนกรีตที่มีส่วนผสมของฟองอากาศมากจะมีความพรุนสูงและน้ำหนักเบา และมักจะเปราะแตกหักง่าย บทความนี้เสนอผลการศึกษากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจากการทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกและการทดสอบโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 800 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ 0.55 และอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 รวม 26 สูตร จำนวน 468 ตัวอย่าง ภายใต้การบ่มแห้งในอากาศ และทดสอบที่อายุ 14, 28 และ 56 วัน ผลปรากฏว่า กำลังรับแรงดึงแยกมีค่าระหว่าง 4 - 24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และโมดูลัสการแตกร้าวมีค่าระหว่าง 2- 24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

**ABSTRACT :** The properties of cellular lightweight concrete are influenced by its unit weight or air voids. A large volume of air-voids entrapped in concrete give high porosity thereby offering lightweight concrete. This may lead to damages such as brittle and crack. This paper presents the tensile strength of cellular lightweight concrete resulted from splitting tensile test and modulus of rupture test of concrete with unit weight ranging from 800 kg/m<sup>3</sup> to 1800 kg/m<sup>3</sup> using sand-cement ratios of 0.45 and 0.55 and water-cement ratios of 0.5:1, 1:1, 2:1 and 3:1. In total of 26 mixes with 468 specimens under the air-dry curing at the 14, 28 and 56 days, the experimental results show that the splitting tensile strength values ranged from 4 to 24 ksc and the modulus of rupture values ranged from 2 to 24 ksc.

**KEYWORDS :** Tensile Strength, Splitting Tensile Strength, Modulus of Rupture, Cellular Lightweight Concrete, Foam Concrete

## 1. รายละเอียดทั่วไป

ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่นิยมใช้ในการทำผนังอาคารและบ้านพักอาศัยเนื่องจากมีน้ำหนักเบา ช่วยลดน้ำหนักสิ่งก่อสร้าง คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete; CLC) หรือ โฟมคอนกรีต (Foamed Concrete) เป็นคอนกรีตที่ผลิตโดยการสร้างโฟมหรือฟองอากาศปริมาณสูงขึ้นมาก่อน อาจผลิตได้โดยการใส่น้ำยาโฟมลงไปในเครื่องผลิตโฟมซึ่งจะได้โฟมเหลว (Pre-formed foam) จากนั้นฉีดโฟมเหลวเข้าไปผสมกับปูนซีเมนต์และทรายในโม้ กระบวนการนี้เป็นการเติมฟองอากาศเข้าสู่เนื้อคอนกรีต เพื่อให้ฟองอากาศเข้าไปแทรกตัวตามเนื้อคอนกรีตแทนการใช้มวลรวมหยาบปกติเมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตที่ได้จะมีรูพรุนมากและน้ำหนักเบา การใช้โฟมเหลว เป็นกระบวนการเติมฟองอากาศให้กับคอนกรีตทำให้ประหยัด และควบคุมกระบวนการเกิดโพรงอากาศภายในคอนกรีตได้ดีที่สุด [1, 2] โฟมเหลวอาจผลิตจาก detergents, resin soap, glue resins, saponin, hydrolysed proteins เป็นต้น [3] ซึ่งสารเหล่านี้ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับซีเมนต์ อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่ได้มักเปราะแตกหักง่ายและมีกำลังรับแรงดึงต่ำ [4] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาทำความเข้าใจพื้นฐานความรู้ ด้านกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า เพื่อที่จะเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบาต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปงานโครงสร้างคอนกรีต จะไม่ได้ออกแบบเพื่อรับแรงดึงโดยตรงและการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงอาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากมีหน่วยแรงอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น แรงเนื่องจากที่จับยึดคอนกรีตในการทดสอบ [5] ดังนั้น กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตนิยมทดสอบความสามารถในรูปแบบของความสามารถในการรับแรงดึงแยก (Split Tensile Strength) และทดสอบคานคอนกรีตภายใต้แรงดัด (Flexural Strength Test)

### 2.1 กำลังรับแรงดึงแยกของคอนกรีต

กำลังดึงแยก คือค่าหน่วยแรงสูงสุดที่กดลงบนคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร โดยวางแกนตามยาวอยู่ในแนวนอน จนทำให้

คอนกรีตปริแตกตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง และ แยกออกจากกันตามระนาบของการแตกร้าว [5, 6] ตามมาตรฐาน ASTM C 496-90 (ภาพที่ 1)

### 2.2 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

วิธีการทดสอบคานคอนกรีตภายใต้แรงดัดให้ค่ากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตในรูปของโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ซึ่งเป็นค่าหน่วยแรงดัดที่สูงสุด ณ จุดแตกร้าว บริเวณท้องคาน [5, 6] ในการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C78 (ภาพที่ 1) จะมีเพียงพื้นที่บริเวณท้องคานเท่านั้นที่รับแรงดัด ดังนั้นค่าโมดูลัสการแตกร้าวจะแตกต่างกันไปตามความลึกของคาน

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มีเนื้อหาครอบคลุมการทดสอบกำลังรับแรงดึงแยก และ กำลังรับแรงดัด หรือ เรียกว่า โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ความหนาแน่นออกแบบ 800-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ 0.55 และ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 รวม 26 สูตร ภายใต้การบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 14, 28 และ 56 วัน โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุดิบที่หาได้ในประเทศ และราคาถูก ข้อกำหนดของตัวแปรที่สำคัญสำหรับงานวิจัย ได้แก่

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
- 2) ทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.5-2.8
- 3) น้ำสะอาด
- 4) น้ำยาผลิตโฟม (จากผู้ผลิต) ที่ได้มาตรฐาน ASTM
- 5) เครื่องผลิตโฟมเหลว
- 6) แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร
- 7) แบบหล่อคอนกรีตรูปคานขนาด 15x15x50 เซนติเมตร
- 8) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกตามมาตรฐาน ASTM 496
- 9) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C78

### 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างมีดังนี้

- 1) เตรียมเครื่องมือสำหรับผสมคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีต บี้มลม และ เครื่องผลิตโฟมเหลว

2) เตรียมผลิตโฟมเหลว โดยผสมน้ำยาสร้างโฟมกับน้ำในอัตราส่วน 1:30 แล้วใส่ลงในถังปรับแรงดันของเครื่องผลิตโฟมเหลว จากนั้น ต่อบีมลมเข้ากับเครื่องผลิตโฟมเหลว ปรับค่าแรงดันของถังให้เหมาะสมที่ประมาณ 0.65 เมกะปาสกาล

3) ผสมทรายและซีเมนต์ลงในโม้ผสมคอนกรีต เปิดเครื่องให้ทรายและซีเมนต์ผสมเข้ากันในเบื่องตันก่อนแล้วจึงใส่น้ำลงไปโม้ผสมคอนกรีต

4) เมื่อน้ำผสมกับทรายและซีเมนต์จนเนื้อเดียวกันแล้วทำการฉีดโฟมเหลวลงไปผสมให้ได้หน่วยน้ำหนักตามต้องการ ในระหว่างนี้เครื่องผสมคอนกรีตยังต้องทำงานตลอดเวลา

5) เมื่อมอร์ต้ากับโฟมเหลวผสมเข้ากันได้ดีแล้ว จึงหยุดเครื่องผสม โดยการผสมในแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลานาน 5 นาที นำคอนกรีตที่ได้ไปเทลงแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต

### 3.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาเซลลูโลส

#### (1) การทดสอบกำลังรับแรงดึงแยก

ทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C496 จำนวน 234 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงสูงสุดที่แท่งตัวอย่างวิบัติ นำไปคำนวณหาค่าความต้านทานแรงดึง

(2) การทดสอบกำลังรับแรงดัด หรือ การทดสอบโมดูลัสการแตกร้าว ทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปคานขนาด 15 x 15 x 50 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C78 จำนวน 234 ก้อน โดยบันทึกค่าแรงสูงสุดที่แท่งตัวอย่างวิบัติ นำไปคำนวณหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว



ภาพที่ 1 การทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกและการทดสอบกำลังรับแรงดัด

### 4. ผลการทดสอบ

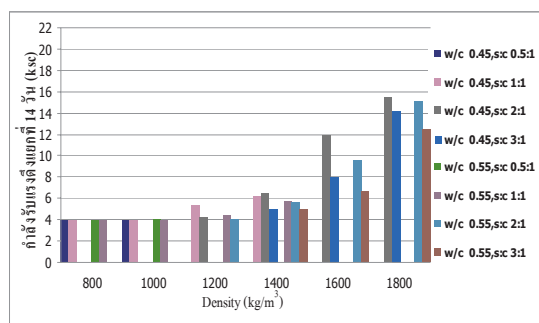
ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกและกำลังรับแรงดัดนำเสนอ โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

- (1) ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของคอนกรีตกับค่าหน่วยน้ำหนัก
- (2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ
- (3) อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์

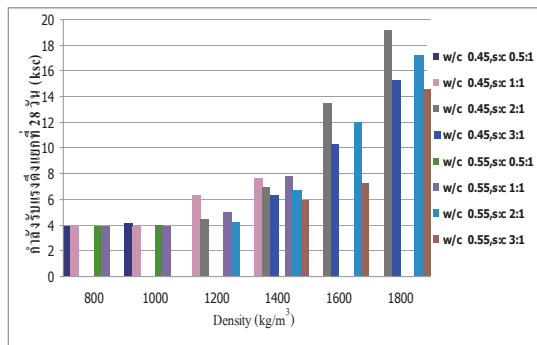
#### 4.1 ผลการทดสอบพิจารณาตามอายุของคอนกรีต

##### (1) กำลังรับแรงดึงแยก

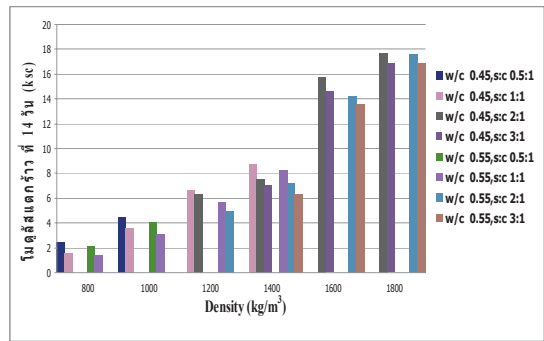
จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ความหนาแน่น 1,800 1,600 1,400 1,200 1,000 และ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถนำมาแสดงในรูปแบบของแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงแยก กับอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ออกแบบได้ตั้งในภาพที่ 2 เป็นของคอนกรีตที่อายุ 14 วัน ภาพที่ 3 และ 4 แสดงที่อายุ 28 และ 56 วัน ตามลำดับพบว่า คอนกรีตหน่วยน้ำหนัก 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 2:1 จะมีกำลังรับแรงดึงแยกสูงสุดที่สูงสุดคือที่ 14, 28 และ 56 วัน มีค่าประมาณ 15.81, 19.16 และ 23.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และ คอนกรีตหน่วยน้ำหนัก 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทุกส่วนผสม จะมีกำลังรับแรงดึงแยกต่ำที่สุดคือประมาณ 3.91-4.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตลอดการทดสอบที่อายุ 14, 28 และ 56 วัน



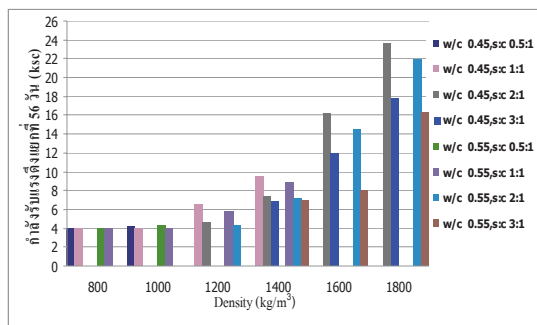
ภาพที่ 2 กำลังรับแรงดึงแยกกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 14 วัน



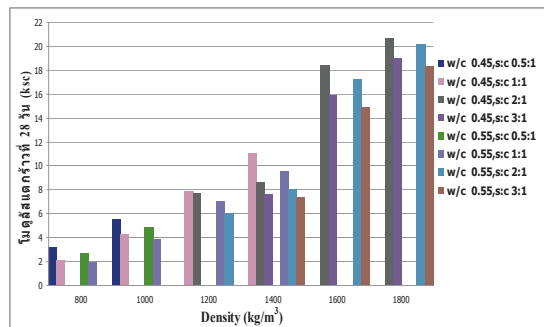
ภาพที่ 3 กำลังรับแรงดึงแยกกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน



ภาพที่ 5 โมดูลัสแตกร้าวกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 14 วัน



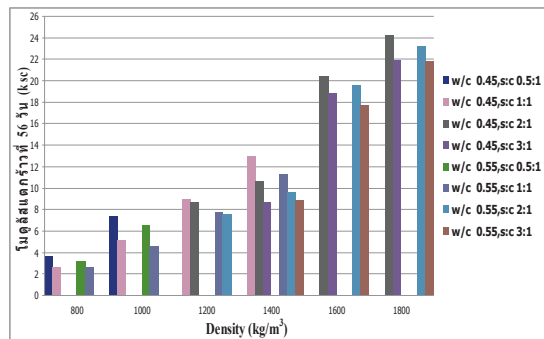
ภาพที่ 4 กำลังรับแรงดึงแยกกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 56 วัน



ภาพที่ 6 โมดูลัสแตกร้าวกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

## (2) โมดูลัสแตกร้าว

การทดสอบกำลังรับแรงค้ำตามอายุการบ่มแห้งในอากาศที่ 14, 28 และ 56 วัน แสดงในภาพที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงในรูปของกราฟระหว่างโมดูลัสแตกร้าวกับหน่วยน้ำหนักคอนกรีตโดยแยกตามหน่วยน้ำหนักที่ออกแบบคือ 1,800 1,600 1,400 1,200 1,000 และ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตแปรผันตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต จากกราฟจะเห็นได้ว่า คอนกรีตหน่วยน้ำหนัก 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 และ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 2:1 ให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงสุดประมาณ 17.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 14 วัน ประมาณ 21.80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน และ ประมาณ 24.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่อายุ 56 วัน ส่วนคอนกรีตหน่วยน้ำหนัก 800 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.55 และ อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 จะมีค่าโมดูลัสแตกร้าวต่ำที่สุดประมาณ 1.80-2.00 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตลอดอายุการทดสอบที่ 14, 28 และ 56 วัน



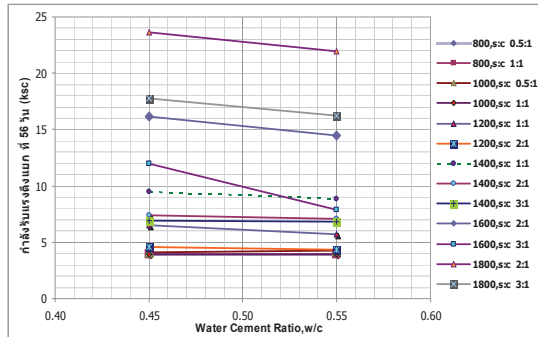
ภาพที่ 7 โมดูลัสแตกร้าวกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ที่อายุ 56 วัน

## 4.2 ผลการทดสอบพิจารณาตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

### (1) กำลังรับแรงดึงแยก

ในการศึกษานี้ได้ออกแบบส่วนผสมโดยใช้ค่าอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 2 ค่า คือ 0.45 และ 0.55 จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์น้อยกว่าคือ ที่ 0.45 จะให้ค่ากำลังรับแรงดึงแยกสูงกว่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1.05-1.10 เท่า ทั้งนี้จะเห็นได้ชัดในคอนกรีตมวลเบาที่หน่วยน้ำหนักออกแบบระหว่าง 1,200-1,800 กิโลกรัม

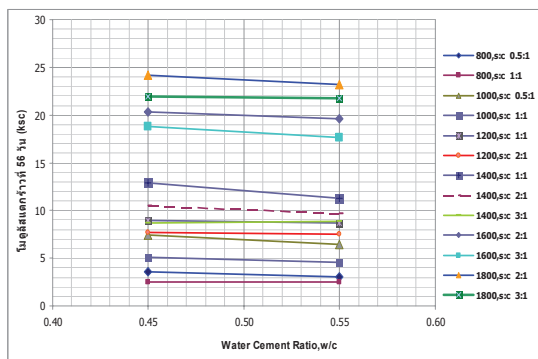
ต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 800 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงแยกไม่ปรากฏแตกต่างกัน ถึงแม้ค่าอัตราส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์จะแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กำลังรับแรงดึงแยกกับอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตที่อายุ 56 วัน

(2) โมดูลัสแตกร้าว

คอนกรีตที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์น้อยกว่าคือที่ 0.45 จะให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่าคอนกรีตที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ ที่ 0.55 เล็กน้อย (ภาพที่ 9) ที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,600 และ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าโมดูลัสแตกร้าวโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก (ประมาณ 1.03-1.06 เท่า) ส่วนคอนกรีตมวลเบาที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 800 1,000 1,200 และ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 จะให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงกว่าคอนกรีตที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ ที่ 0.55 ไม่นัก คือ ประมาณ 1.1-1.17 เท่า

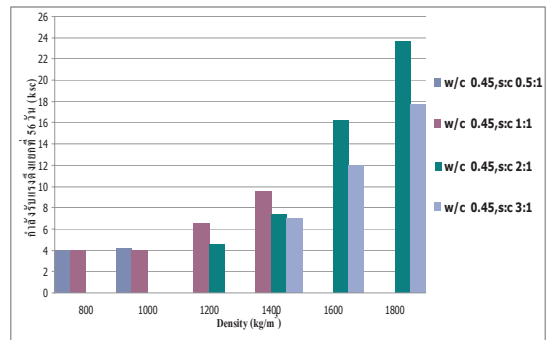


ภาพที่ 9 โมดูลัสแตกร้าวกับอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตที่อายุ 56 วัน

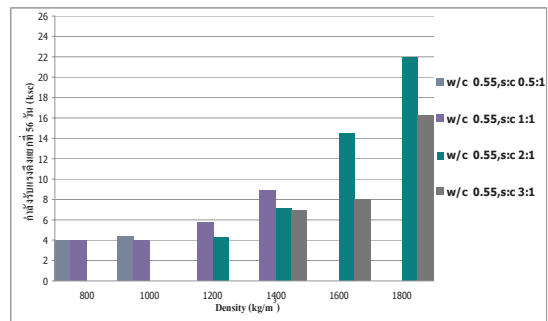
4.3 ผลการทดสอบพิจารณาตามอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์

(1) กำลังรับแรงดึงแยก

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแยกที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ต่างๆ แสดงในภาพที่ 10 เมื่อกำหนดให้ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ ในภาพที่ 11 ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55 พบว่า แนวโน้มของกำลังรับแรงดึงแยกมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ ที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 ให้ค่ากำลังรับแรงดึงแยกใกล้เคียงกับที่อัตราส่วน 1:1 อย่างไรก็ตามผลการทดสอบนี้ขึ้นของหน่วยน้ำหนักออกแบบ 800 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเท่านั้น และ ผลการทดสอบที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,200- 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 ให้ค่ากำลังรับแรงดึงแยกสูงที่สุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าประมาณ 0.7-0.77 เท่า และ น้อยที่สุดคือที่อัตราส่วน 3:1 ค่าอยู่ระหว่าง 0.57-0.73 เท่าของกำลังรับแรงดึงแยกที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1



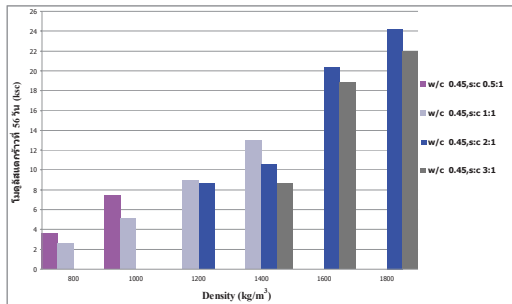
ภาพที่ 10 กำลังรับแรงดึงแยกกับอัตราส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.45



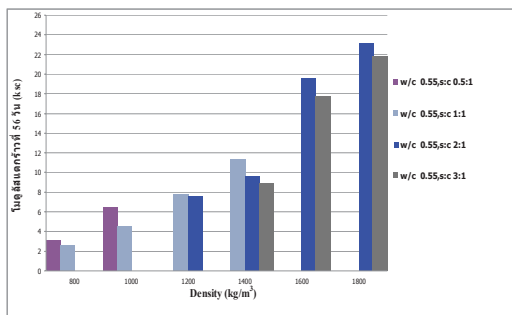
ภาพที่ 11 กำลังรับแรงดึงแยกกับอัตราส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.55

(2) โม่คูลิสแตกร้าว

ผลการทดสอบหาค่าโม่คูลิสแตกร้าวที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ต่างๆ แสดงในภาพที่ 12 (ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.45) และ ภาพที่ 13 (ใช้อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55) แนวโน้มโดยภาพรวมพบว่า คอนกรีตที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ต่ำจะให้ค่าโม่คูลิสแตกร้าวสูง จากผลการทดสอบที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 800 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าโม่คูลิสแตกร้าวที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 มีค่ามากกว่าที่อัตราส่วน 1:1 ประมาณ 1.2 – 1.45 เท่า และจากผลการทดสอบที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,200-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าโม่คูลิสแตกร้าวจากมากไปน้อย พบที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1, 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 2:1 ให้ค่าโม่คูลิสแตกร้าวประมาณ 0.8-0.97 เท่า ของค่าโม่คูลิสแตกร้าวที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 และ ที่อัตราส่วน 3:1 ให้ค่าประมาณ 0.7-0.8 เท่า



ภาพที่ 12 โม่คูลิสแตกร้าวกับอัตราส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์ ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.45



ภาพที่ 13 โม่คูลิสแตกร้าวกับอัตราส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์ ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.55

5. สรุปผลการทดสอบ

กำลังรับแรงดึงแยกและค่าโม่คูลิสแตกร้าวของคอนกรีตมีลักษณะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต และ อัตรา

ส่วนผสมทรายต่อซีเมนต์ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ทดสอบที่ 0.45 และ 0.55 ไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดึงแยกและค่าโม่คูลิสแตกร้าวมากนัก จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปลักษณะแนวโน้มของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสได้ดังนี้

ที่หน่วยน้ำหนักออกแบบ 1,200-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วคอนกรีตอายุ 14 วัน จะมีกำลังรับแรงดึงแยก ประมาณ 0.8–0.9 เท่าของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน และที่อายุ 56 วัน มีค่าประมาณ 1.1-1.2 เท่า ส่วนที่หน่วยน้ำหนัก 800 และ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังรับแรงดึงแยกโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าใกล้เคียงกัน ด้านค่าโม่คูลิสแตกร้าวที่ทุกหน่วยน้ำหนักออกแบบพบว่า แนวโน้มของคอนกรีตอายุ 14 วัน มีค่าประมาณ 0.75-0.88 เท่า ของคอนกรีตอายุ 28 วัน และ ที่อายุ 56 วัน มีค่าประมาณ 1.15-1.27 เท่า

ผลเนื่องจากอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 และ 0.55 ต่อค่ากำลังรับแรงดึงแยกและโม่คูลิสแตกร้าวไม่เด่นชัดมากนัก ค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์ 0.45 อาจให้ค่าสูงกว่าอยู่ระหว่าง 1.0-1.15 เท่า

อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์น้อยให้กำลังรับแรงดึงแยกสูงที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5:1 และ 1:1 ให้กำลังรับแรงดึงแยกใกล้เคียงกันและสูงสุด ที่อัตราส่วน 2:1 และ 3:1 ให้ค่าประมาณ 0.75 และ 0.6 เท่าของกำลังรับแรงดึงแยกที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ 1:1 ตามลำดับ ส่วนค่าโม่คูลิสแตกร้าวเมื่อเปรียบเทียบกับ ที่อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:1 พบว่า ที่อัตราส่วน 0.5:1 อาจให้ค่าสูงกว่า ถึง 1.45 เท่า ที่อัตราส่วน 2:1 และ 3:1 ให้ค่าประมาณ 0.8 และ 0.7 เท่า ตามลำดับ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Valore, R.C. (1954). Cellular concretes-composition and methods of preparation. *J Am Concr Inst* 1954; 25:773-95
- [2] Rudnai, G. (1963). *Light weight concretes*. Budapest: Akademi Kiado.
- [3] Narayanan, N. and Ramamurthy, K. (2000). Structure and properties of aerated concrete: a review, *Cement & Concrete Composites* 22; 321-329
- [4] กฎหมาย ราชบัณฑิตยสถาน และ คณะ, 2546. คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยโม่โครไฟเบอร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 10. จำนวนหน้า 166 หน้า, CPAC.
- [6] วินิต ช่อวิเชียร, 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 9. จำนวนหน้า 232 หน้า.