การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต

The Used Plastic Foam to be Utilized for Making Light Weight Coarse Aggregate in Concrete Work

สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาขยะโฟมที่ไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ โดยนำโฟมที่เหลือใช้มาย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโฟมซีเมนต์ ทั้งนี้จะคำนึงถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตด้านเชิงกล แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ การหาความเหมาะสมในการนำโฟมมาเป็นมวลรวมทดแทนหิน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ 0.4, 0.5, 0.6 สัดส่วนผสมซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3, 1:0.5:4, 1:0.5:5 โดยปริมาตร ทำการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ เลือกสัดส่วนผสมเพื่อทำคอนกรีต ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คือ 0.7 อัตราส่วนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:2.8:6.3, 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ต้า คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3 โดยปริมาตรอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 4.52 เมกกะปาสคาล และเมื่อนำโฟมซีเมนต์มาผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสม 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์สามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ 6.41 เมกกะปาสคาล โมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาล

คำสำคัญ : โฟมซีเมนต์, คอนกรีต, มอร์ต้า

Abstract

The purpose of this study was to diminish foam problem that was unable to be dissevered naturally be itselt by bringing foam remained from using of be dissolved for forging as a rough combined material foam-cement. In this regard, engineering property of concrete in mechanical area would be considered. Testing was divided into two parts. Namely, finding out appropriateness in bringing foam to act as a rough combined mass for substituting rocks. Rare of water per cement was 0.4, 0.5, 0.6 Mixing of cement : sand : foam was 1:0.5:3, 1:0.5:4, 1:0.5:5 by capacity. Testing of morting pressing power was conducted at the age of 3, 7, 14 and 28 days respectively. Mixing proportion for concrete making was sleeted using ratio of water per cement, namely, 0.7. Ratio of cement : sand : foam was 1:2.8:6.3, 1:2.2:5.3 by weight and twisting to find or pressing force resestant power of cylindrical concrete with 15 cm, in diameter and 30 cm, in height at the age of 28 days was conducted.

Testing result of appropriate mixing ratio of mortar was ratio of cement : sand : foam, that was 1:0.5:3 by capacity. Ratio of water per cement was 0.5. Capacity of pressing power that was given at 28 days was 4.52 Megapascal and when cement foam had been brought to mix with concrete using mixing proportion 1:2.2:5.3 by weight and ratio of water per cement 0.7 to test pressing force resistant power at the age of 28 days of cement foam mixing concrete, it was able to receive maximum pressing force of 6.41 Megapascal, Modulus of breaking was 1.42 Megapascal.

Keywords : foam-cement, concrete, mortar

---

[1] ผู้ช่วยศาตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่นำมาวิจัย

ขยะโฟมเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม หากไม่นำกลับมาใช้ใหม่ จะเป็นปัญหาด้านมลภาวะเป็นอย่างมาก ในประเทศไทยมีแนวโน้มขยะโฟมเพิ่มขึ้นทุกปี คุณสมบัติที่เบาทำให้ขยะโฟมเหล่านี้ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บจำนวนมาก มักจะกระจายอยู่ทั่วไป ประกอบกับการทิ้งขยะไม่เป็นที่เป็นทาง ทำให้ขยะโฟมเกลื่อนกลาดอยู่ตามถนน สวนสาธารณะ และ แม่น้ำลำคลอง กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

แนวทางในการแก้ปัญหาหรือลดปัญหาขยะโฟม คือ นำกลับมาใช้ใหม่ หรือการนำมาทำเป็นวัตถุดิบที่ใช้แทนวัตถุดิบดั้งเดิม เช่น ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตเบา โดยทำการบดโฟมให้ละเอียดและนำมาผสมเป็นโฟมซีเมนต์มวลรวมแทนหิน เพื่อให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาถึง อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำโฟมซีเมนต์มาแทนที่หิน และหาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวม เน้นทางด้านเชิงกล คือ การรับกำลังอัดของคอนกรีต

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ในการผลิตโฟมซีเมนต์
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวม

3. ขอบเขตของการทำวิจัย

1. ศึกษาถึงการนำโฟมที่ใช้แล้วมาผสมทำโฟมซีเมนต์มวลรวมโดยหาความเหมาะสมในการผสมมอร์ต้า ตาม ASTM C 109 [1] ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย : โฟม เท่ากับ 1:0.5:3, 1:0.5:4, 1:0.5:5 โดยปริมาตร และในการทำคอนกรีตใช้ปฏิภาคส่วนผสม ตามมาตรฐาน ACI คือ 1:2.8:6.3, 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร
2. ศึกษาคุณสมบัติด้านเชิงกลของมอร์ต้าขนาด 5x5x5 ซม. และใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวมเพื่อผสมคอนกรีต ใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
3. ทดสอบคุณสมบัติด้านเชิงกลของคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์มวลรวม ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน
4. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
5. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 สำหรับหล่อมอร์ต้า
6. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.7 สำหรับหล่อคอนกรีต

4. วิธีการทดสอบ

4.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย

ก. ปูนซีเมนต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

ข. โฟมปั่นละเอียดโดยนำมาร่อนผ่านตระแกรงมาตรฐานผ่านเบอร์ 8

ค. น้ำประปา

ง. สารเคมีผสมเพิ่มประเภทสารเร่งการก่อตัว

จ. ทรายแม่น้ำ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 (1.15 mm) จนถึงค้าง ตะแกรงเบอร์ 200 (3.075 mm) ใช้สำหรับมอร์ต้า
- ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) ใช้สำหรับผสมคอนกรีต

4.2 การทดสอบมอร์ต้าโฟมซีเมนต์

การทดสอบมอร์ต้าระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย โฟม และน้ำ จะทดสอบตาม ASTM C 109 [1] และหาค่าการดูดซึมน้ำตาม ASTM C 642-97 [2] ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

4.3 การทดสอบคอนกรีต

โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ

ก. ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวมหยาบ ตาม ASTM C 39-96 [3]

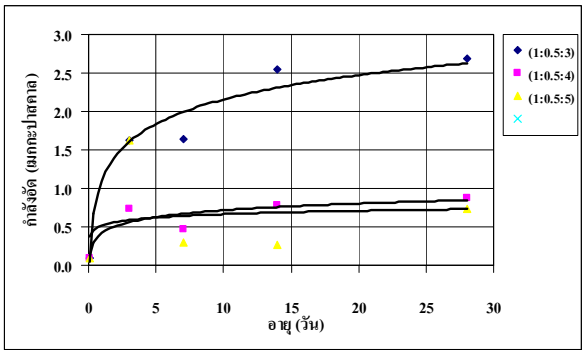
ข. ความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวมหยาบ ตาม ASTM C 293-94 [4]

5. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้แยกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบมอร์ต้า และผลการทดสอบคอนกรีต

5.1 ผลการทดสอบมอร์ต้า

ก. ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าโดยเฉลี่ย ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 โดยปริมาตร ดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4

จากรูปที่ 1 พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อโฟม 1:0.5:3 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2.68 เมกกะปาสคาล รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 0.87 เมกกะปาสคาล และอัตราส่วน 1:0.5:5 ให้กำลังอัดต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.73 เมกกะปาสคาล เหตุที่ค่าสัดส่วนโฟมมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการแทนที่โฟมในปริมาณสูงทำให้ความหนาแน่นของมอร์ต้าลดลงกำลังอัดจึงลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลทดสอบมอร์ต้าร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 โดยปริมาตร ที่อายุ 28 วัน

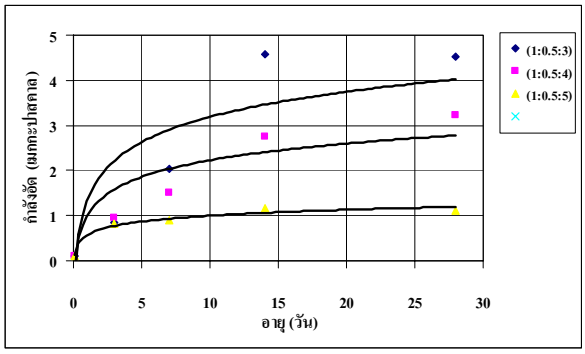
อัตราส่วน ปูน:ทราย:โฟม	ความหนาแน่น (กก/ม^3)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	กำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)
1:0.5:3	1075.56	11.94	2.68
1:0.5:4	863.50	19.46	0.87
1:0.5:5	765.77	25.21	0.73

ตารางที่ 2 ผลทดสอบมอร์ต้าร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 โดยปริมาตร ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วน ปูน:ทราย:โฟม	ความหนาแน่น (กก/ม^3)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	กำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)
1:0.5:3	1232.36	9.71	4.52
1:0.5:4	1090.96	11.97	3.24
1:0.5:5	931.43	14.39	1.10

จากตารางที่ 1 การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน อัตราส่วน 1:0.5:5 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 25.21 มีความหนาแน่นเท่ากับ 765.77 กก/ม^3 รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 คิดเป็นร้อยละ 19.46 มีความหนาแน่นเท่ากับ 863.50 กก/ม^3 และน้อยที่สุดคืออัตราส่วน 1:0.5:3 คิดเป็นร้อยละ 11.94 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1075.56 กก/ม^3 เหตุที่สัดส่วนโฟมน้อยลงทำให้การดูดซึมน้ำน้อยลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีโฟมแทนที่ต่ำทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำจึงมีความหนาแน่นสูง

ข. ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า โดยเฉลี่ยที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 โดยปริมาตร ดังแสดงตามรูปที่ 2

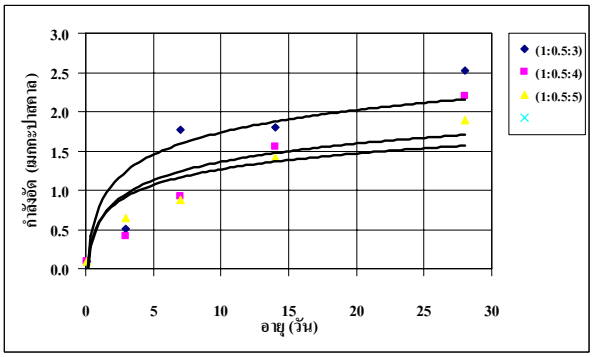


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5

จากรูปที่ 2 พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อโฟม 1:0.5:3 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 4.52 เมกกะปาสคาล รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 3.24 เมกกะปาสคาล และอัตราส่วน 1:0.5:5 ให้กำลังอัดต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.10 เมกกะปาสคาล เหตุที่ค่าสัดส่วนโฟมมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการแทนที่โฟมในปริมาณสูงทำให้ความหนาแน่นของมอร์ต้าลดลงกำลังอัดจึงลดลงตามลำดับ

จากตารางที่ 2 การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน อัตราส่วน 1:0.5:5 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 14.39 มีความหนาแน่นเท่ากับ 931.43 กก/ม^3 รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 คิดเป็นร้อยละ 11.97 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1090.96 กก/ม^3 และน้อยที่สุดคืออัตราส่วน 1:0.5:3 คิดเป็นร้อยละ 9.71มีความหนาแน่นเท่ากับ 1232.36 กก/ม^3 เหตุที่สัดส่วนโฟมน้อยลงทำให้การดูดซึมน้ำน้อยลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีโฟมแทนที่ต่ำ ทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำจึงมีความหนาแน่นสูง

ค. ผลทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า โดยเฉลี่ยที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 โดยปริมาตร ดังแสดงตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุการบ่มของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6

จากรูปที่ 3 พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อโฟม 1:0.5:3 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 2.53 เมกกะปาสคาล รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 2.20 เมกกะปาสคาล และอัตราส่วน 1:0.5:5 ให้กำลังอัดต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.90 เมกกะปาสคาล เหตุที่ค่าสัดส่วนโฟมมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการแทนที่โฟมในปริมาณสูงทำให้ความหนาแน่นของมอร์ต้าลดลงกำลังอัดจึงลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลทดสอบมอร์ต้าร์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 โดยปริมาตร ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วน ปูน:ทราย:โฟม	ความหนาแน่น (กก/ม^3)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	กำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)
1:0.5:3	1205.17	14.46	2.53
1:0.5:4	1052.93	15.94	2.20
1:0.5:5	798.47	19.78	1.90

จากตารางที่ 3 การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน อัตราส่วน 1:0.5:5 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคิดเป็น ร้อยละ 19.78 มีความหนาแน่นเท่ากับ 798.47 กก/ม^{3}รองลงมาคืออัตราส่วน 1:0.5:4 คิดเป็นร้อยละ 15.94 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1052.93 กก/ม^3 และน้อยที่สุดคืออัตราส่วน 1:0.5:3 คิดเป็นร้อยละ 14.46 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1205.17 กก/ม^3 เหตุที่สัดส่วนโฟม น้อยลงทำให้การดูดซึมน้ำน้อยลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีโฟมแทนที่ต่ำทำให้การซึมผ่านของน้ำต่ำจึงมีความหนาแน่นสูง

เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมทั้ง 3 สัดส่วน สัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด คืออัตราส่วน ปูนซีเมนต์:ทราย:โฟม เท่ากับ 1:0.5:3 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.50 ดังนั้น ในการนำมาใช้กับคอนกรีตจึงต้องเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.7 เพื่อเพิ่มความสามารถทำงานได้ให้คอนกรีต

5.2 ผลการทดสอบของคอนกรีต

ก. ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวมหยาบ

ตารางที่ 4 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน กำหนดปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต fc' = 19.62 เมกกะปาสคาล

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่น (กก/ม^3)	กำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)	ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด (เมกกะปาสคาล)
1 : 2.2 : 5.3	1754	7.57	6.41
	1722	6.04	
	1783	5.62	

จากตารางที่ 4 เป็นผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ทราย : โฟม เท่ากับ 1 : 2.2 : 5.3 โดยปริมาตรและออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตให้มีกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 19.62 เมกกะปาสคาล ใช้อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7 ตัวอย่างที่ 1 มีความหนาแน่น 1754 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 7.57 เมกกะปาสคาล ตัวอย่างที่ 2 มีความหนาแน่น 1722 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 6.04 เมกกะปาสคาล, ตัวอย่างที่ 3 มีความหนาแน่น 1783 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 5.62 เมกกะปาสคาล แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีโฟมเป็นส่วนผสมให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ทุกตัวอย่างที่ทดสอบ คือ ต่ำกว่า 19.62 เมกกะปาสคาล แต่จะมีน้ำหนักเบากว่าเนื่องจากโฟมมีน้ำหนักเบา ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเท่ากับ 6.41 เมกกะปาสคาล ซึ่งความหนาแน่นของคอนกรีตผสมโฟมให้ค่าสอดคล้องกับ งานวิจัยของ นิพนธ์ [5] ที่ใช้สัดส่วน 1:2:3 ความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 1608 ถึง 1627 กก/ม^3

ตารางที่ 5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน กำหนดปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต fc' =17.66 เมกกะปาสคาล

อัตราส่วนผสม	ความหนาแน่น (กก/ม^3)	กำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัย (เมกกะปาสคาล)
1 : 2.8 : 6.3	1764	5.58	5.18
	1740	4.38	
	1692	4.72	

จากตารางที่ 5 เป็นผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซ.ม. สูง 30 ซ.ม. โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ทราย : โฟม เท่ากับ 1 : 2.8 : 6.3 โดยปริมาตรและออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตให้มีกำลังอัดประลัยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 17.66 เมกกะปาสคาล ใช้อัตรา น้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7 ตัวอย่างที่ 1 มีความหนาแน่น 1764 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 5.58 เมกกะปาสคาล ตัวอย่างที่ 2 มีความหนาแน่น 1740 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 4.38 เมกกะปาสคาล และ ตัวอย่างที่ 3 มีความหนาแน่น 1692 กก/ม^3 กำลังอัดประลัยเท่ากับ 4.72 เมกกะปาสคาล แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีโฟมเป็นส่วนผสมให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ คือ ต่ำกว่า 17.66 เมกกะปาสคาล ทุกตัวอย่างที่ทดสอบ แต่จะมีน้ำหนักเบากว่าเนื่องจากโฟมมีน้ำหนักเบา ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเท่ากับ 5.18 เมกกะปาสคาล ซึ่งความหนาแน่นของคอนกรีตผสมโฟมให้ค่าสอดคล้องกับ งานวิจัยของ นิพนธ์ [5] ที่ใช้สัดส่วน 1:2:3 ความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 1608 ถึง 1627 กก/ม^3

ข. ความสามารถในการรับแรงดัด ของคอนกรีตที่ใช้โฟมซีเมนต์เป็นมวลรวมหยาบ

จากตารางที่ 6 เป็นผลการทดสอบโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตขนาด 15x15x50 ซม.ที่ อายุ 28 วัน ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาล ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตประมาณร้อยละ 22 (จากค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เท่ากับ 6.41 เมกกะปาสคาล) ซึ่งค่าโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตโดยปกติส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่างร้อยละ 11 ถึง 23

ตารางที่ 6 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตรูปทรงคานขนาดหน้าตัด 15 ซม. x 15 ซม. ยาว 50 ซม. ที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนผสม 1 : 2.2 : 5.3

ตัวอย่าง	ขนาด (ซม x ซม)	ความยาว (ซม)	น้ำหนัก (กก.)	อายุ (วัน)	โมดูลัสการแตกหัก (เมกกะปาสคาล)
1	15 x 15	50	8.430	28	1.01
2	15 x 15	50	8.590	28	2.03
3	15 x 15	50	8.975	28	1.22
เฉลี่ย	15 x 15	50	8.665	28	1.42

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาแยกตามลักษณะของการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบมอร์ต้าและการทดสอบคอนกรีต

6.1 สรุปผลการทดสอบมอร์ต้าที่ผสมโฟม

จากหัวข้อที่ 5.1 ผลการทดสอบมอร์ต้า อัตราส่วน ปูนซีเมนต์:ทราย:โฟม ที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 1:0.5:3 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 4.52 เมกกะปาสคาล มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1232.36 กก/ม^3 แต่เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาทำเป็นคอนกรีตแล้วต้องใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตในงานวิจัยครั้งนี้ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7 ในการผสมคอนกรีต

6.2 สรุปผลการทดสอบคอนกรีตที่นำโฟมมวลรวมหยาบเป็นส่วนผสม

จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่อัตราส่วนผสม 1:2.8:6.3 และ 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ตามหัวข้อที่ 5.2 พบว่าผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วน 1:2.2:5.3 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 อายุการบ่มที่ 28 วัน ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดคือ 6.41 เมกกะปาสคาล และผลการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต มีค่าโมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาล

จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าสามารถนำโฟมซีเมนต์ไปใช้ผสมคอนกรีตในงานโครงสร้างได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านการรับกำลังและความเป็นไปได้ในการนำโฟมที่เหลือใช้หรือไม่ได้ใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] American Society for Testing Materials, “ASTM C 109: Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50-mm Cube Specimens),” **In Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.01, Philadelphia, ASTM, 1999.

[2] American Society for Testing Materials, “ASTM C 642-97: Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete,” **In Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, ASTM, 1999.

[3] American Society for Testing Materials, “ASTM C 39-96: Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” **In Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, ASTM, 1999.

[4] American Society for Testing Materials, “ASTM C 293-94: Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading),” **In Annual Book of ASTM Standards**, Vol. 04.02, Philadelphia, ASTM, 1999.

[5] นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์. “คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้โฟมเป็นมวลรวมหยาบ.” วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 23. ฉบับที่1. (มกราคม – มิถุนายน 2539) หน้า 181-191.