

การศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ- อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์

Study of Mechanical Properties of Autoclaved Aerated Lightweight Concrete Element Containing Microfiber

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา¹ ปรีดา จันทวงษ์² และ โยธิน อึ้งกุล^{3,4}

Bovorn Israngkoon Na Ayudya¹ Preeda Chantawong² and Yothin Ungkoon^{3,4}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

²ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³สาขาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

⁴ฝ่ายวิจัยพัฒนา บริษัทซูเปอร์บล็อก จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์ ซึ่งได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่นแห้ง อัตราการดูดกลืนน้ำ และความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ไมโครไฟเบอร์ มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยซิลิกา และแคลเซียมออกไซด์ เป็นส่วนผสมหลัก การนำไมโครไฟเบอร์มาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ตามลำดับ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า จากการผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1505-2541 พบว่าสัดส่วนผสมแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 1.0 ผ่านเกณฑ์โดยจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.70

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ (AAC), ไมโครไฟเบอร์, ความต้านทานแรงอัด

Abstract

This research is related to the investigation of the mechanical properties of Autoclaved Aerated lightweight Concrete (AAC) containing microfiber, i.e. compressive strength, dry density, water absorption and flexural strength. The production used microfiber instead of cement in Autoclaved Aerated Concrete (AAC) products. Autoclaved Aerated Concrete (AAC) comprised of silica and calcium oxide as the main chemical components. Microfiber was used to replace the cement in the proportion of 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 percent by cement weight. The results show that Autoclave aerated concrete (AAC) contained with microfiber increased compressive strength and flexural strength. Based on the Thai Industrial Standard 1505-1998, the specimens in the proportion of 1.0 percent were claimed for AAC class 4 types 0.70.

Keywords: Autoclaved Aerated Concrete (AAC), Microfiber, Compressive strength.

1. บทนำ

สภาวะโลกร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลก มีสาเหตุเกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ขยะต่าง ๆ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินสำหรับก่อสร้างบ้านเรือนที่พักอาศัย จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำเสียที่เกิดขยะต่าง ๆ ได้แก่ พลาสติก เศษวัสดุก่อสร้าง วัสดุจากการเกษตร และอื่น ๆ จากปัญหาดังกล่าว จึงส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการดำรงชีวิตอย่างกว้างขวางในปัจจุบันนี้ ดังนั้นการแก้ปัญหา สำหรับภายในประเทศไทย จึงได้มีการทำการศึกษาอยู่สองกรณี กรณีแรกได้มีการศึกษาหาวิธีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และมีการส่งเสริมให้มีการพัฒนา การใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น เพื่อลดปัญหามลพิษทางอากาศ และกรณีที่สองได้มีการศึกษาหาวิธีลดปริมาณของเสียหรือขยะจากบ้านเรือน และภาคอุตสาหกรรมโดยการนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การศึกษาเศษพลาสติกอ่อน และอื่น ๆ ที่ใช้แล้ว นำกลับมาผลิตใหม่เป็นพลาสติกแข็ง หรือ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และวัสดุก่อสร้างที่ใช้แล้วให้นำกลับมาใช้ได้อีก จึงมีการศึกษาวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตกันอย่างแพร่หลายทั้งภายในและต่างประเทศ การศึกษาวัสดุเหลือใช้จากงาน คอนกรีตมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตโครงสร้างของอาคาร โดย Poon และคณะ [1] ที่ประเทศฮ่องกงโดยนำเศษคอนกรีตมาบดในขนาดต่าง ๆ เพื่อทดแทนการใช้หินดำ สำหรับเกาะยึดโครงสร้าง และ Akçaoğlu และคณะ [2] จากประเทศตุรกีใช้ขวด PET ที่มีขนาด 2 - 4 มิลลิเมตร ผสมในคอนกรีตมวลเบา พบว่า มีน้ำหนักลดลง และสามารถรับแรงกระแทก จากการสั่นสะเทือนของ

แผ่นดินไหวได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ได้มี การพัฒนาเสริมแรงให้ดียิ่งขึ้นโดยใช้สารประกอบพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง จากงานวิจัยของ Laukaitis และคณะ [3] ที่ประเทศลิทัวเนียได้นำ เส้นใยธรรมชาติสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ มาใช้ในการเสริมแรงแทนเหล็กเส้นในคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็กแบบมีฟองอากาศ- อบไอน้ำ จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการต้านแรงอัด และต้านแรงคดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีเส้นใยผสมอยู่ประมาณ 0.3% โดยน้ำหนักแห้ง และชนิดของเส้นใยก็มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณสมบัติได้แตกต่างกัน เส้นใยที่ช่วยในการเพิ่มการต้านแรงอัด และแรงคดได้ดีคือ คาร์บอนไฟเบอร์ > พอลิพรอพิลีน ไฟเบอร์> บาซอลท์ไฟเบอร์ > คาโอลิน ไฟเบอร์ ตามลำดับโดยเส้นใย ดังกล่าว จะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของการต้านแรงคดมากกว่า การต้านแรงอัดและ Beg และ คณะ [4] จากประเทศนิวซีแลนด์ ใช้ พอลิพรอพิลีนเสริมแรงแบบสายสั้น (kraft fiber reinforced polypropylene composites) พบว่า ความยาวของเส้นใย ที่สั้นลง ทำให้การต้านแรงอัด และการต้านแรงคดมีค่าต่ำลง นอกจากนี้ Bouvard และ คณะ จากประเทศฝรั่งเศส [5] ได้นำพอลิสไตรีนทรงกลม (Expanded polystyrene spheres :EPS) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนความร้อนมาใช้เพิ่ม คุณสมบัติคอนกรีตมวลเบา นอกจากนี้ยังพบว่า โมนิฟิลาเมนต์ไฟเบอร์มีคุณสมบัติในการเสริมแรงและลดการแตกร้าว จากการหัดตัวของคอนกรีตได้ดีกว่า มัลติฟิลาเมนต์ไฟเบอร์ [6] จึงเกิดแนวความคิดในการในการนำโมนิฟิลาเมนต์ไฟเบอร์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีต มวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแทนที่ปูนซีเมนต์ เพื่อ เพิ่มความคงทนแข็งแรงในคอนกรีต และ ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งจะมีการกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

2. การทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ใช้ไมโครไฟเบอร์ เพื่อ ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ เพิ่มความความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงคดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

2. เพื่อหา ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น อัตราการดูดกลืนน้ำ และความต้านทานแรงคดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่แทนปูนซีเมนต์ด้วยไมโครไฟเบอร์ตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541 ชั้นคุณภาพ 4 [7-8]

2.2 ระเบียบวิธีการทดลอง

จากแนวความคิดการนำไมโครไฟเบอร์มาใช้โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.50% 2.0% และ 2.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วน มี 3 ชุดการทดสอบ ชุดการทดสอบละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิต

ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำดังแสดงในตารางที่ 1 กระบวนการผลิตชุดทดสอบผลิตในกระบวนการอบคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีขนาดแม่พิมพ์ 20 x 20 x 100 ซม. นำไปผ่านกระบวนการอบไอน้ำด้วยแรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ 180-190°C ทำการตัดเป็นชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิต เพื่อทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดขนาดต่าง ๆ เช่น ขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ซม. เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัด, ความหนาแน่นแห้ง และอัตราการดูดกลืนน้ำ และขนาด 4 x 4 x 16 ซม. เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัด โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7 ผลิตในปี 2553 มีองค์ประกอบวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปูนขาว แร่แอนไฮดราย ทราบยบดละเอียด 63 – 90 ไมครอน มากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ และไมโครไฟเบอร์แทนที่ปูนซีเมนต์โดยไมโครไฟเบอร์ ที่ใช้ เป็นไมโคร-โมโนฟิลาเมนต์ไฟเบอร์ พอลิพรอพิลีน จากบริษัทชีก้า (ประเทศไทย) จำกัด ดังรูปที่ 1 ขนาดความยาว 2 - 4 มิลลิเมตร คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไมโครไฟเบอร์ดังแสดงในตารางที่ 2 การทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์ ดังรูปที่ 2 ทำการทดสอบตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505 – 2541 [7-8]

ตารางที่ 1. ส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ

ประเภทวัตถุดิบ	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)
ทราบยบดละเอียด 63 – 90 ไมครอน	67
ชิบซัม	1.93
ปูนขาว	15
ปูนซีเมนต์ ประเภท 1	16 / 15.5 / 15.0/14.5/14.0 / 13.5
ไมโครไฟเบอร์	0 / 0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 / 2.5
ผงอลูมิเนียม	0.07

ตารางที่ 2. คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไมโครไฟเบอร์

ประเภท	ไมโครไฟเบอร์
ประเภท	ไมโครโมโนฟิลาเมนต์ ไฟเบอร์พอลิพรอพิลีน
ความถ่วงจำเพาะ (กก./ล.)	0.91
ความยาว (มม.)	2.0 – 4.0
เส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน)	18
ขนาดแรงดึง (เมกะปาสกาล)	300 - 400



รูปที่ 1. ไมโครไฟเบอร์ ที่ผสมกับปูนซีเมนต์สัดส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.50% 2.0% และ 2.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



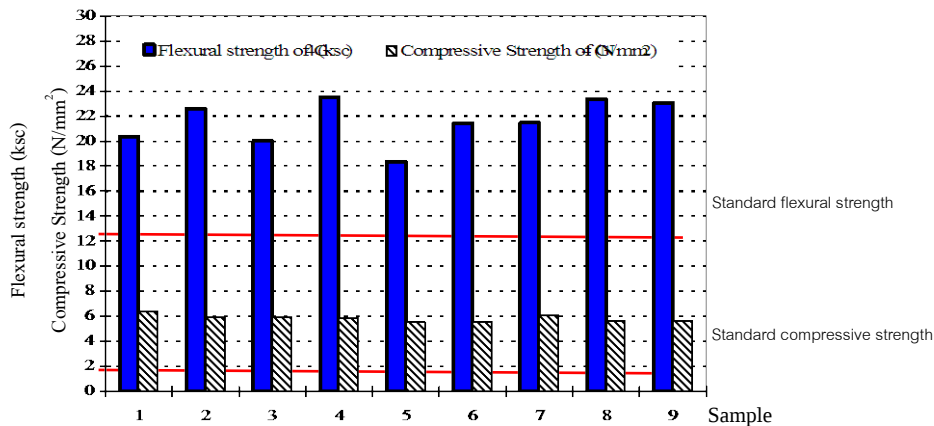
รูปที่ 2. ตัวอย่างชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอ้แบบผสมไมโครไฟเบอร์

3. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

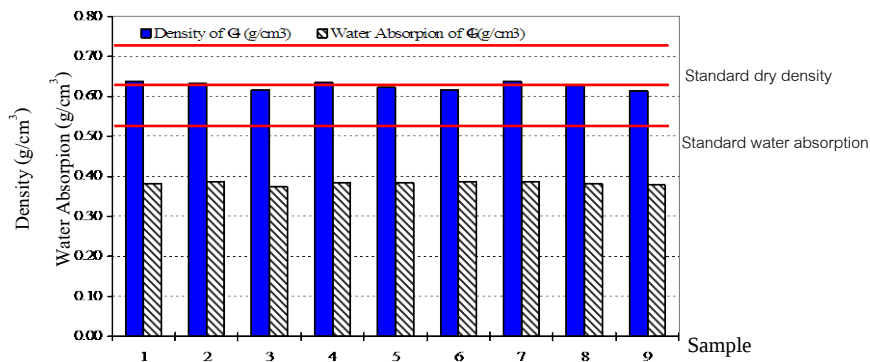
3.1 สมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอ้จากผู้ผลิตเชิงพาณิชย์

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอ้ ที่ทำการสุ่มตัวอย่างจากผู้ผลิตในเชิงพาณิชย์ นำไปทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1505 - 2541 ของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอ้ ชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7 เพื่อหา ค่าความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น อัตราการดูดกลืนน้ำ และ ความต้านทานแรงคด จากรูปที่ 3 – 4 ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานมอก. 1504-2541 พบว่า ค่าความต้านทานแรงคดสูงประมาณ 21 ksc. และความต้านทาน

แรงอัดสูงประมาณ 5.6 N/mm^2 และ มีค่าความหนาแน่นสูงประมาณ 0.61 g/cm^3 มีอัตราการดูดกลืนน้ำประมาณ 0.38 g/cm^3



รูปที่ 3. ความต้านทานแรงดัดและความต้านทานแรงอัดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ
ชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

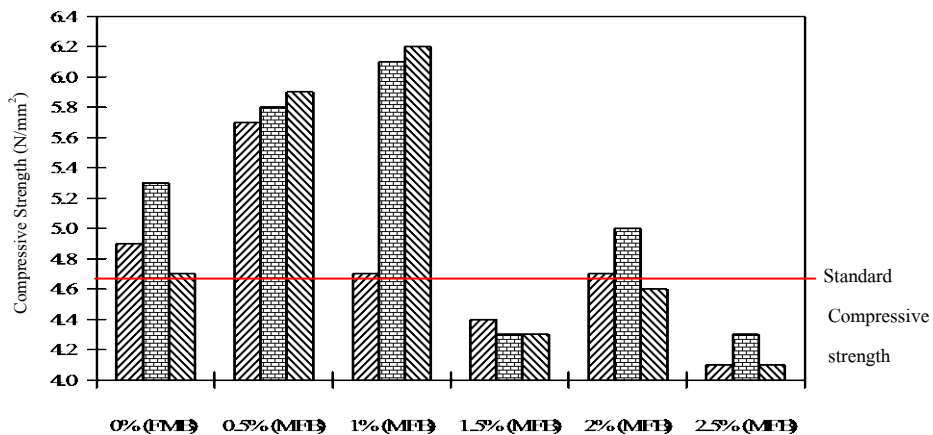


รูปที่ 4. ค่าความหนาแน่นและอัตราการดูดกลืนน้ำของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ
ชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

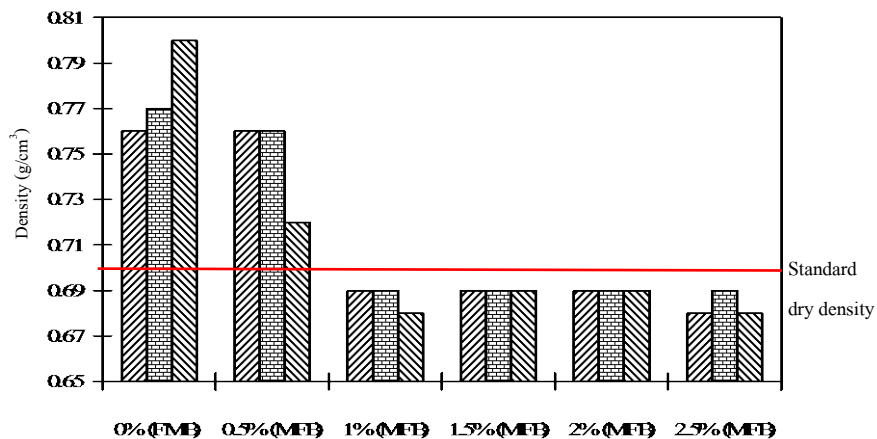
3.2 สมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์

จากรูปที่ 5 – 8 ผลการศึกษาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์ โดยเปรียบเทียบที่ส่วนผสมไมโครไฟเบอร์แทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.50% 2.0% และ 2.5% จากการเปรียบเทียบความต้านทานแรงอัด ค่าความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดกลืนน้ำ จากรูปที่ 5 พบว่า ชิ้นส่วนคอนกรีต

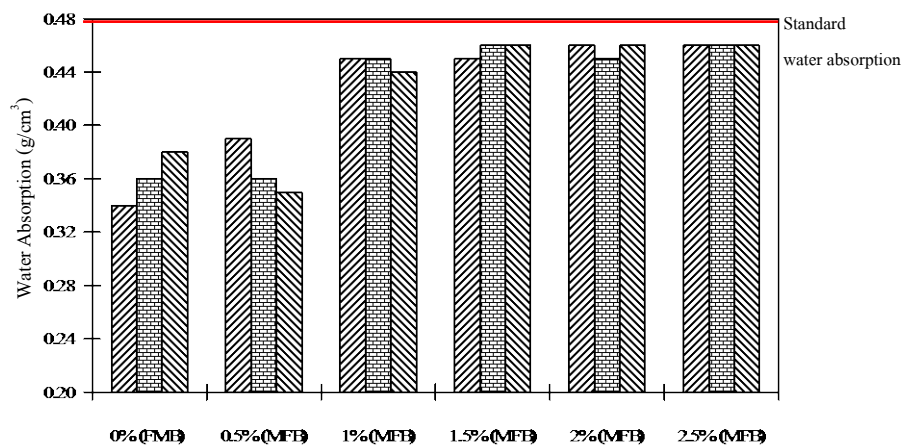
มวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของไมโครไฟเบอร์ 1.0 % มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า สัดส่วน 0%, 0.5%, 1.50% 2.0% และ 2.5% เนื่องจากมีสัดส่วนไมโครไฟเบอร์ในปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมแรงกับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ยังคงมีปริมาณสูง จึงแสดงผลให้มีค่ากำลังความต้านทานแรงอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่น และจากรูปที่ 6 จะพบว่า ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่มีส่วนผสมไมโครไฟเบอร์ 0% และ 0.5 % จะมีความหนาแน่นสูงกว่า สัดส่วน 1.0%, 1.50% 2.0% และ 2.5% เนื่องจากที่มีส่วนผสม 0% ไม่มีไมโครไฟเบอร์และ 0.5% มีปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่า 1.0%, 1.5%, 2.0% และ 2.5%



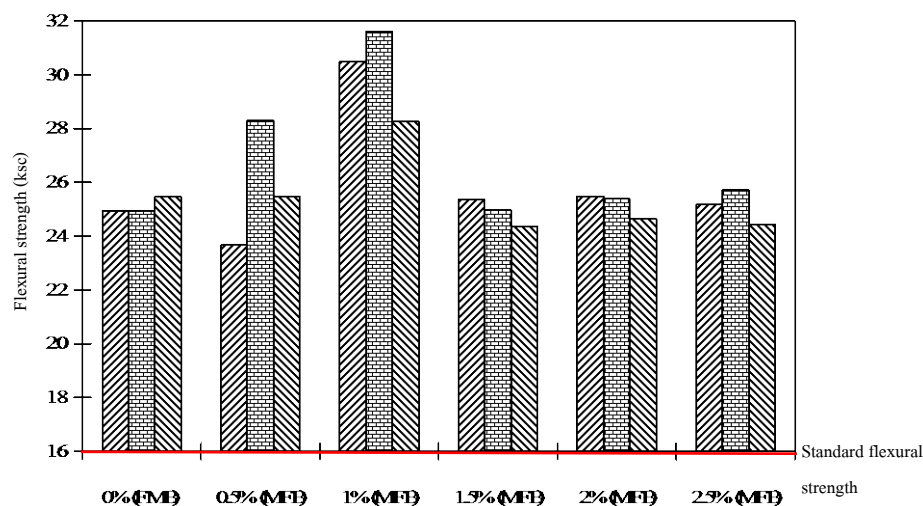
รูปที่ 5. ความต้านทานแรงอัดของการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผสมไมโครไฟเบอร์ ที่ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, และ 2.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6. ค่าความหนาแน่นของการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผสมไมโครไฟเบอร์ ที่ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, และ 2.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7. อัตราการดูดกลืนน้ำของการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผลสมไมโครไฟเบอร์ ที่ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, และ 2.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 8. ความต้านทานแรงดัดของของการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผลสมไมโครไฟเบอร์ ที่ 0, 0.5, 1, 1.5, 2 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำระหว่างชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์ โดยเปรียบเทียบที่ส่วนผสมไมโครไฟเบอร์แทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.50%, 2.0% และ 2.5% จากรูปที่ 7 จะพบว่าที่ส่วนผสม 0 และ 0.5% จะมีอัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าสัดส่วนอื่น ๆ เนื่องจากที่ส่วนผสม 0.5% มีการยึดเหนี่ยวระหว่างไมโครไฟเบอร์กับปูนซีเมนต์ได้ดีทำให้ไมโครไฟเบอร์เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับซีเมนต์ ช่วยในการขัดขวางน้ำที่จะซึมเข้า ในเนื้อชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ในขณะที่ปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่

เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเป็นเนื้อเดียวกันของเนื้อบล็อกลดลงเกิดโพรงภายในมากขึ้น การดูดกลืนน้ำจึงเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และจากรูปที่ 8 พบว่า ส่วนผสมไมโครไฟเบอร์ที่ 1.0% มีความต้านทานแรงดัดสูงกว่าส่วนผสมอื่น ๆ เนื่องจากการแทนที่ของไมโครไฟเบอร์ในปริมาณนี้เหมาะสมซึ่งเป็นผลสอดคล้องกับความต้านทานแรงอัด จึงส่งผลให้มีแรงดัดสูงประมาณ 28.5 - 31.0 ksc เป็นสัดส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์จะจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.70

4. สรุป

การศึกษาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมไมโครไฟเบอร์โดยเปรียบเทียบที่ส่วนผสมของไมโครไฟเบอร์แทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วน 0%, 0.5%, 1.0%, 1.50% 2.0% และ 2.5% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัดกับตัวอย่างที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ พบว่า ผลการแทนที่ไมโครไฟเบอร์ 1.0 % มีค่าความต้านทานแรงอัด และความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกันแต่ค่าความต้านทานแรงดัดและอัตราการดูดกลืนน้ำของการแทนที่ด้วยไมโครไฟเบอร์ 1.0 % มีค่าสูงกว่ามาก และผลการทดสอบมีคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 และผ่านเกณฑ์จะจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (นาโนเทค) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Poon, C.S., *et al.*, 2007. The Use of Recycled Aggregate in Concrete in Hong Kong. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 50, 293–305.
- [2] Akçaözoglu. S., Atiş. C.D., and Akçaözoglu. K., 2010. An Investigation on the Use of Shredded Waste PET Bottles as Aggregate in Lightweight Concrete. *Journal of Waste Management*, 30 (2), 285-290.
- [3] Laukaitis. A., Kerienė. J., Mikulskis. D., Sinica. M., and Sezemanas. G., 2009. Influence of Fibrous Additives on Properties of Aerated Autoclaved Coincrete Forming Mixtures and Strength Characteristics of Product. *Journal of Construction and Building Material*, 23 (9), 3034-3042.

- [4] Beg, M.D.H. and Pickering. K.L., 2008. Mechanical Performance of Kraft Fibre Reinforced Polypropylene Composites: Influence of Fibre Length Fibre Beating and Hygrothermal Ageing. *Composites Part A: Journal of Applied Science and Manufacturing*, 39(11), 1748-1755.
- [5] Bouvard. D., Chaix. J.M., Dendievel. R., Fazekas. A., Létang. J.M., Peix. G. and Quenard. D., 2007. Characterization and Simulation of Microstructure and Properties of EPS Lightweight Concrete. *Journal of Cement and Concrete Research*, 37(12), 1666-1673.
- [6] Peled. A., Guttman. H. and Bentur. A., 1992. Treatments of Polypropylene Fibres to Optimize their Reinforcing Efficiency in Cement Composites. *Journal of Cement and Concrete Composites*, 14(4), 277-285.
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, มอก.1505-2541. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- [8] Ungkoon, Y., Sittipunt, C., Namprakai, P., Jetipattaranat, W., Kim, K.S., and Charinpanitkul, T., 2007. Analysis of Microstructure and Property of Autoclave Aerated Concrete Wall Construction Material. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13(7), 1103 -1108.