

กำลังรับแรงดัดของแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่ใช้เศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่แทนที่ มวลรวมละเอียดบางส่วน

Flexural Strength of Fiber-Cement Sheets using Recycled Gypsum Board as Partial Fine Aggregate Replacement

บุราฉัตร กิตติกรจรัส นุ้ย เھر่าหมัด กฤตติน เปี่ยมปรีชารัตน์ มนต์สิทธิ์ งามทรัพย์ อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ*
กลุ่มวิจัยนวัตกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ชลบุรี 20230

Burachat Kittikornjarus Nuh Raomat Monsit Ngamsub Krittin Piampricharat

Anuwat Attachaiyawuth*

The Innovation in Infrastructure and Construction Management Research Group

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha,

Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi, 20230

*Corresponding author Email: anuwat@eng.src.ku.ac.th

(Received: January 22, 2021; Accepted: July 12, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบของการนำเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในมอร์ตาร์เพื่อผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยตามมาตรฐาน มอก. 1427-2540 กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ ผลการวิจัยระบุว่าสามารถแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษแผ่นยิปซัมได้ถึง 0.20 ต่อปริมาตรมอร์ตาร์ซึ่งทำให้มอร์ตาร์มีค่าโมดูลัสแตกร้าวกว่ากับ 4.03, 4.41 และ 4.42 เมกะปาสคาล เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.40, 0.45 และ 0.50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบชนิดที่ 1 ที่มีค่าโมดูลัสแตกร้าวน้อยกว่า 4 เมกะปาสคาล อย่างไรก็ตามมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านน้ำได้ ทำให้จัดอยู่ในกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยประเภท A และ B คือสามารถใช้ได้ภายในหรือภายนอกโดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรงเท่านั้น

คำสำคัญ: เศษแผ่นยิปซัม มวลรวมละเอียด มอร์ตาร์ โมดูลัสแตกร้าวกว่า กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย

ABSTRACT

This paper presents the effects of partial fine aggregate replacement by recycled gypsum board in mortar for producing fiber-cement sheets conformed to TIS 1427-2540 Fiber-cement sheets: Flat sheets. The results showed that fine aggregate volume could be replaced by recycled gypsum board up to 0.20 by mortar volume which affected the tested modulus of rupture of 4.03, 4.41 and 4.42 MPa with water to cement ratio (W/C) of 0.40, 0.45 and 0.50, respectively. Those mortars passed the standard of fiber-cement sheets type 1 with the modulus of rupture higher than 4 MPa. However, mortar with recycled gypsum board could not protect water penetration. Therefore, those mortars were put in fiber-cement sheets type A and B that could be used indoor or outdoor without directly facing sunlight and water.

Keyword: Recycled gypsum board, fine aggregate, mortar, modulus of rupture, fiber-cement sheet.

1. บทนำ

ปัจจุบันแผ่นยิปซัมบอร์ดได้รับความนิยมและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตกแต่งภายใน เช่น การใช้แผ่นยิปซัมบอร์ดทำเป็นผนังกันห้องหรือฝ้าเพดานเพราะมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนและไฟได้ดี ป้องกันเสียง มีน้ำหนักเบา อีกทั้งยังสามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วทำให้ประหยัดเวลาในการก่อสร้างได้มาก มีความสวยงาม รวมไปถึงสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอก อย่างไรก็ตามแผ่นยิปซัมบอร์ดถูกผลิตโดยมีขนาดตามมาตรฐาน มอก.219-2552 [1] ซึ่งในการใช้งานจริงต้องมีการตัดชิ้นงานเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดที่ต้องใช้งานตามหน้างานจริงทำให้เกิดเศษแผ่นยิปซัมบอร์ดที่ไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้เกิดขยะจากการก่อสร้าง รวมไปถึงในการรีไซเคิลโครงสร้างต่างๆ จากการใช้งานยิปซัมที่หลากหลายตามการใช้งานอย่างทีกล่าวไปข้างต้น ทำให้เกิดเศษแผ่นยิปซัมทั้งแบบที่เหลือใช้และแบบที่เป็นขยะจากการก่อสร้างจำนวนมาก โดยเฉพาะยิปซัมเหล่านี้มีปริมาณมากถึง 20 ตันต่อปีต่อบริษัทกรรมวิธีในการกำจัดเศษยิปซัมบอร์ดมีวิธีหลักๆ อยู่สองวิธีด้วยกันคือการฝังกลบและการนำมาเข้าสู่กระบวนการหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยวิธีการฝังกลบต้องใช้พื้นที่มากและขยะอาจจะได้รับการปนเปื้อน รวมถึงแผ่นยิปซัมอาจจะทำปฏิกิริยากับขยะอินทรีย์และเมื่อสัมผัสกับความชื้นที่ภาวะออกซิเจนต่ำจะเกิดเป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ทำให้ผู้ที่สูดดมหรือสัมผัส เกิดการระคายเคืองดวงตาและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชีวิตผู้คนโดยรอบพื้นที่ฝังกลบอย่างมาก และอีกวิธีหนึ่งคือการกำจัดแผ่นยิปซัมโดยการนำไปหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียสเพื่อให้ยิปซัมแปลงสภาพกลายเป็นสภาวะหลอมเหลวและเข้าสู่กระบวนการผลิต

แผ่นยิปซัมบอร์ดอีกครั้งซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการสูงมาก

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำยิปซัมสังเคราะห์หลายรูปแบบมาผสมกับมอร์ตาร์โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.9 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 148.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อใช้ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ 9.6 มีค่าความหนาแน่น 1,983 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [2] นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการใช้อัตราส่วนยิปซัมต่อปูนซีเมนต์ที่แตกต่างกันต่อความชื้นเหลวและระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ [3] พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณยิปซัมลงในคอนกรีตส่งผลให้ความชื้นเหลวลดลงเนื่องจากยิปซัมมีสมบัติการดูดน้ำสูงและมีระยะเวลาการก่อตัวเร็วขึ้น มีการศึกษาผลกระทบของยิปซัมสังเคราะห์ต่อสมบัติของมอร์ตาร์ที่จะนำไปใช้สำหรับอิฐประดับ [4, 6] ตามมาตรฐาน มอก.168-2546 [6] พบว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย:ยิปซัมสังเคราะห์ที่เหมาะสมคือ 1:2:4 ร่วมกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1.50 ทำให้มอร์ตาร์มีกำลังรับแรงอัดประลัย ที่อายุการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 6.48 เมกะปาสคาล และมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเท่ากับ 10.31 เปอร์เซ็นต์ โดยการบ่ม 5 ชั่วโมง ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อิฐประดับ มอก. 168-2546 [6] จากนั้นผสมมอร์ตาร์ด้วยอัตราส่วนผสมดังกล่าวมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกปูถนน ขนาด 190 x 90 x 65 มม. พบว่าคอนกรีตบล็อกปูถนนผสมยิปซัมสังเคราะห์มีกำลังรับแรงอัดประลัยเท่ากับ 5.39 เมกะปาสคาล ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดจากการบ่ม 5 ชั่วโมง เท่ากับ 14.62 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อิฐประดับ มอก. 168-2546 ชั้นคุณภาพ ก.

จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาการเกิดมลภาวะต่างๆจากเศษขยะยิปซัม ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการนำเศษยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่เป็นส่วนผสมของมอร์ตาร์โดยใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน เพื่อนำไปพัฒนาเป็นแผ่นซีเมนต์เส้น

ใยสำหรับงานสถาปัตยกรรมต่อไป ทำให้สามารถลดปริมาณขยะจากเศษแผ่นยิปซัมบอร์ดได้ เกิดการใช้งานขยะจากแผ่นยิปซัมบอร์ดมากขึ้น สามารถช่วยลดปัญหาต่างๆทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมบัติของมอร์ตาร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษยิปซัมบอร์ด

นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีเป้าหมายนำไปผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใย ตามมาตรฐาน มอก. 1427-2540 กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ [7] ซึ่งใช้สำหรับงานตกแต่งผนัง ฝ้าเพดาน หรือรั้ว เป็นต้น โดยมีสมบัติสำคัญ 2 ประการที่จำเป็นต้องทดสอบคือ โมดูลัสแตกร้าวและการซึมผ่านน้ำ โดยสามารถจำแนกประเภทของแผ่นซีเมนต์เส้นใยได้ตามโมดูลัสแตกร้าวได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางมาตรฐานการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์เส้นใย [7]

ชนิด	โมดูลัสแตกร้าว			
	ประเภท A และ B		ประเภท C	
	ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า	ตามแนวนานเส้นใยไม่น้อยกว่า	ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า	ตามแนวนานเส้นใยไม่น้อยกว่า
1	4	2.8	4	2.8
2	7	4.9	7	4.9
3	13	9.1	10	7.0
4	18	12.6	16	11.2
5	24	16.8	22	15.4

*หน่วยเป็นเมกะปาสคาล

ประเภท A คือแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่นำไปใช้ภายนอกได้ โดยถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง

ประเภท B คือแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่นำไปใช้ภายนอกได้ โดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง

ประเภท C คือแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่นำไปใช้ภายในโดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง

โดยหากแผ่นซีเมนต์เส้นใยเกิดการซึมผ่านของน้ำ จะถูกจัดอยู่ในประเภท B และ C คือสามารถนำไปใช้ภายนอกและภายในได้ โดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถหาได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. เล่ม 15-2555 เป็นวัสดุประสานมวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร น้ำประปาทั่วไป และเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่ที่ได้จากโรงงานซึ่งผ่านการย่อยขนาดเรียบร้อยแล้ว องค์กรประกอบหลักเป็นแผ่นกระดาษขนาด 5-15 มิลลิเมตร และมีผงยิปซัมประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ลักษณะเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้

ใหม่แสดงดังรูปที่ 1 และสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 เศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่จากโรงงาน

ตารางที่ 2 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุ	สมบัติที่สำคัญ
วัสดุประสาน	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ 3.15 ตามมาตรฐาน มอก. เล่ม 15-2555
มวลรวมละเอียด	ทรายแม่น้ำขนาดไม่เกิน 4.75 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.64
เศษแผ่นยิปซัม	กระดาษขนาด 5-15 มม. ความถ่วงจำเพาะ 1.02
น้ำ	น้ำประปาทั่วไป

2.2 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์

อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์แสดงดังตารางที่ 3 โดยทุกส่วนผสมมีอัตราส่วนมวลรวมต่อมอร์ตาร์ร้อยละ 50 (s/m 0.50) โดยปริมาตร อัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 0.10, 0.20 และ 0.30 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 0.40, 0.45, 0.50, 0.55 และ 0.60 โดยน้ำหนัก หากพิจารณาปริมาณวัสดุที่ใช้ในแต่ละส่วนผสมต่อมอร์ตาร์ 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

2.3 ขั้นตอนการผสมและหล่อตัวอย่างมอร์ตาร์

มอร์ตาร์ทุกส่วนผสมถูกผสมโดยขั้นตอนที่เหมือนกันทุกประการ เริ่มจากการเตรียมเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่โดยการเติมน้ำปริมาณเท่ากับ

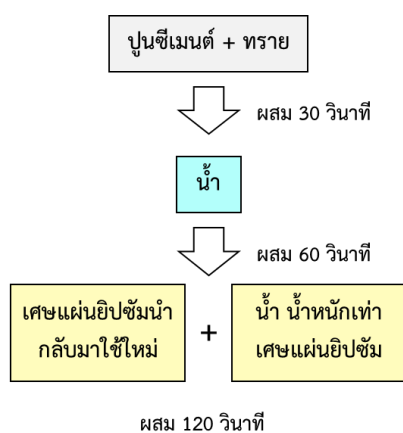
น้ำหนักของเศษแผ่นยิปซัมเพื่อลดปริมาณการดูดซึมน้ำลงเนื่องจากองค์ประกอบหลักของเศษแผ่นยิปซัมเป็นกระดาษซึ่งมีอัตราการดูดซึมน้ำสูง จากนั้นเริ่มขั้นตอนการผสมจากวัสดุแห้งโดยเทปูนซีเมนต์และทรายลงในเครื่องผสมคอนกรีตชนิดแรงเฉือน (Pan type) ขนาด 100 ลิตร เปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเทน้ำที่ชั่งเตรียมไว้ตามอัตราส่วนผสมและผสมเป็นเวลา 60 วินาที สุดท้ายเทเศษแผ่นยิปซัมที่เตรียมไว้ลงในเครื่องผสมและผสมเป็นเวลา 120 วินาที แล้วจึงนำส่วนผสมไปหล่อเข้าแบบต่อไปขั้นตอนการผสมมอร์ตาร์แสดงดังรูปที่ 2

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์

ส่วนผสม	อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	อัตราส่วนทรายต่อมอร์ตาร์ (s/m)	อัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์ (g/m)
1	0.60	0.50	0.00
2		0.40	0.10
3		0.30	0.20
4		0.20	0.30
5	0.55	0.50	0.00
6		0.40	0.10
7		0.30	0.20
8		0.20	0.30
9	0.50	0.50	0.00
10		0.40	0.10
11		0.30	0.20
12		0.20	0.30
13	0.45	0.50	0.00
14		0.40	0.10
15		0.30	0.20
16		0.20	0.30
17	0.40	0.50	0.00
18		0.40	0.10
19		0.30	0.20
20		0.20	0.30

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมมอร์ตาร์คิดต่อ 1 ลูกบาศก์
เมตร

ส่วนผสม	อัตราส่วนผสม			
	ปูนซีเมนต์ (กก)	น้ำ (กก)	ทราย (กก)	เศษแผ่นยิปซัม (กก)
1	696.9	278.8	1300.0	0.0
2	696.9	278.8	1040.0	102.0
3	696.9	278.8	780.0	204.0
4	696.9	278.8	520.0	306.0
5	651.5	293.2	1300.0	0.0
6	651.5	293.2	1040.0	102.0
7	651.5	293.2	780.0	204.0
8	651.5	293.2	520.0	306.0
9	611.7	305.8	1300.0	0.0
10	611.7	305.8	1040.0	102.0
11	611.7	305.8	780.0	204.0
12	611.7	305.8	520.0	306.0
13	576.4	317.0	1300.0	0.0
14	576.4	317.0	1040.0	102.0
15	576.4	317.0	780.0	204.0
16	576.4	317.0	520.0	306.0
17	545.0	327.0	1300.0	0.0
18	545.0	327.0	1040.0	102.0
19	545.0	327.0	780.0	204.0
20	545.0	327.0	520.0	306.0



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผสมมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเศษ
แผ่นยิปซํ้ากลับมาใช้ใหม่

เมื่อผสมมอร์ตาร์เรียบร้อยแล้ว มอร์ตาร์ถูกเทลงในแบบหล่อขนาดกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 600 x 600 x 25 มม. แสดงดังรูปที่ 3 (ก) และ บีบอัดด้วยแผ่นเหล็กเพื่อให้ความหนามีค่าเท่ากับ 25 มม. แสดงดังรูปที่ 3 (ข) ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วจึงแกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อ ตัดตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชั้นแสดงดังรูปที่ 4

โดยชั้นที่ 1 นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน ตามมาตรฐาน มอก. [7] จากนั้นนำไปตัดให้มีขนาดเท่ากับกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 100 x 150 x 25 มม. เพื่อทดสอบโมดูลัสแตกร้าวต่อไป ชั้นที่ 2 นำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน เพื่อศึกษากรณีที่บ่มด้วย

ความชื้นเหมือนคอนกรีต จากนั้นตัดให้มีขนาดเท่ากับ
ชั้นที่ 1 และนำไปทดสอบโมดูลัสแตกร้าวต่อไป



(ก) มอร์ตาร์ในแบบหล่อขนาด 600 x 600 x 25 มม.



(ข) บดอัดมอร์ตาร์ด้วยแผ่นเหล็ก
รูปที่ 3 เศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่จากโรงงาน



รูปที่ 4 ชิ้นตัวอย่างถูกแบ่งออกเป็น 2 ชิ้น

2.4 การทดสอบโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture)

มอร์ตาร์ที่ผสมเศษแผ่นยิปซัมสำหรับทดสอบ
โมดูลัสแตกร้าวมีขนาดเท่ากับ 100 x 150 x 25 มม.
โดยทดสอบทั้งหมด 5 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม เพื่อให้
มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ลักษณะการติดตั้งตัวอย่าง
มอร์ตาร์สำหรับทดสอบโมดูลัสแตกร้าวแสดงดังรูปที่ 5
การทดสอบดำเนินไปจนกว่าชิ้นตัวอย่างจะแตกหักโดย

มีอัตราการให้น้ำหนักคงที่ให้ชิ้นตัวอย่างแตกหัก
ภายใน 10-30 วินาที [7]



รูปที่ 5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

โมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์เส้นใยสามารถ
คำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$\text{Modulus of rupture} = 3F_l / 2be^2 \quad (1)$$

เมื่อ F คือแรงกดแตกหัก หน่วยเป็นนิวตัน
 l คือระยะห่างระหว่างศูนย์กลางแท่นรองรับ
หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 b คือความกว้างชิ้นทดสอบหน่วยเป็น
มิลลิเมตร
 e คือค่าเฉลี่ยความหนาชิ้นทดสอบตามแนว
การแตกหัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.5 การทดสอบการซึมน้ำ

การทดสอบการซึมน้ำเป็นอีกหนึ่งสมบัติที่
จำเป็นต้องทดสอบเพื่อจำแนกประเภทการใช้งานของ
แผ่นซีเมนต์เส้นใยได้ ลักษณะการทดสอบการซึมน้ำ
แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะการทดสอบการซึมน้ำ
แผ่นซีเมนต์เส้นใยถูกทดสอบการซึมน้ำเมื่อตัวอย่างถูกบ่มในอากาศครบ 14 วัน โดยนำแผ่นซีเมนต์เส้นใยวางในอุณหภูมิจากนั้นติดตั้งกรอบความสูง 25 มม. รอบขึ้นตัวอย่างด้วยวัสดุที่บ่มน้ำ จากนั้นเติมน้ำลงในกรอบจนน้ำมีความสูงจากแผ่นซีเมนต์เส้นใยประมาณ 20 มม. ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตว่ามีน้ำซึมไปจนถึงอีกด้านของขึ้นตัวอย่างหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 6

3. ผลทดสอบและการอภิปรายผล

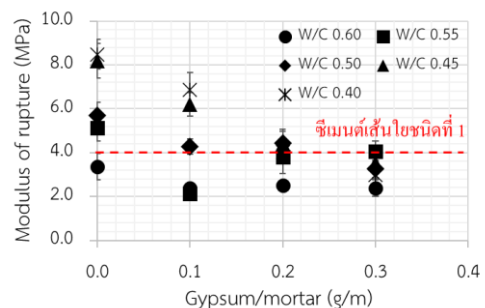
3.1 ผลทดสอบโมดูลัสแตกร้าว

โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่บ่มอากาศ 14 วันและบ่มในน้ำ 28 แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าโมดูลัสแตกร้าวลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญในทุกส่วนผสมที่มี W/C ต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษแผ่นยิปซัม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าโมดูลัสแตกร้าวแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์โดยมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของอนุวัฒน์และคณะ ซึ่งระบุว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเศษแผ่นยิปซัม [8] และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้ผงยิปซัมจากแผ่นยิปซัมเป็นวัสดุประสาน [9]

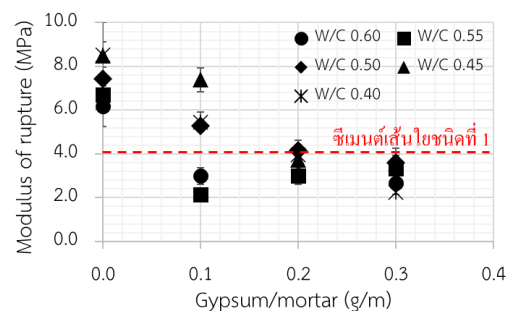
เมื่อพิจารณาชั้นคุณภาพของแผ่นซีเมนต์เส้นใยตาม มอก. 1427-2540 ชนิดที่ 2 ซึ่งต้องมีค่าโมดูลัสแตกร้าวไม่น้อยกว่า 7 MPa พบว่าส่วนผสมที่มีการแทนที่ด้วยเศษแผ่นยิปซัมและมีค่าโมดูลัสแตกร้าวมากกว่า 7 MPa มีเพียงส่วนผสมเดียวเท่านั้นคือมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ 0.45 อัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์ 0.10 และบ่มในน้ำซึ่งมีโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 7.39 MPa ดังนั้นเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้เศษแผ่นยิปซัม ผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นไปที่ชนิดที่ 1 ที่มีโมดูลัสแตกร้าวไม่น้อย 4 MPa

เมื่อพิจารณาโมดูลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดที่ 1 ตาม มอก.1427-2540 แล้วพบว่ามีส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์ อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์และ

ค่าโมดูลัสแตกร้าวจากการทดสอบของมอร์ตาร์ที่บ่มอากาศ 14 วัน และบ่มน้ำ 28 วันแสดงดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ค่าโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์เท่ากับ 0.3 มีค่าน้อยกว่า 4 MPa ในทุกส่วนผสมซึ่งมีปริมาณเศษกระดาษจากเศษแผ่นยิปซัมมากเกินไป เห็นได้ชัดว่าสามารถแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษแผ่นยิปซัมได้ไม่เกิน 0.20 โดยปริมาตรมอร์ตาร์สำหรับการบ่มทั้ง 2 กรณี โดยหากพิจารณาปริมาณการแทนที่ที่มากที่สุดเท่ากับ 0.20 ส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์แผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดที่ 1 ที่บ่มด้วยอากาศ 14 วัน คือส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50, 0.45 และ 0.40 โดยมีค่าโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 4.42, 4.41 และ 4.03 ตามลำดับ กรณีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 นั้นมีค่าโมดูลัสแตกร้าวต่ำกว่ามอร์ตาร์ที่มีค่า W/C สูงกว่าเนื่องมาจากปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการทำให้ตัวอย่างเข้าแบบได้ดี ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในมอร์ตาร์ส่งผลให้มีค่าโมดูลัสแตกร้าวต่ำกว่าส่วนผสมที่มีค่า W/C 0.45 และ 0.50



รูปที่ 7 โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่บ่มในอากาศ 14 วัน



รูปที่ 8 โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่บ่มในน้ำ 28 วัน

สำหรับกรณีมอร์ตาร์บ่มในน้ำ 28 วันนั้น มีเพียงส่วนผสมเดียวที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษแผ่นยิปซัม 0.20 โดยปริมาตร ที่ผ่านเกณฑ์แผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดที่ 1 คือมอร์ตาร์ที่มีค่า W/C เท่ากับ 0.50 โดยมีค่าโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 4.16 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการบ่มอากาศ 14 วัน

ตารางที่ 5 โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์บ่มอากาศ 14 วันที่ผ่านเกณฑ์ชนิดที่ 1

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	อัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์ (g/m)	โมดูลัสแตกร้าว (MPa)
0.50	0.10	4.28
	0.20	4.42
0.45	0.10	6.19
	0.20	4.41
0.40	0.10	6.87
	0.20	4.03

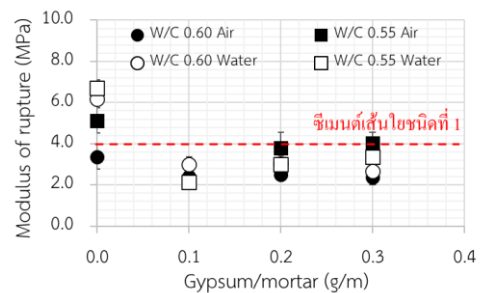
ตารางที่ 6 โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์บ่มน้ำ 28 วันที่ผ่านเกณฑ์ชนิดที่ 1

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C)	อัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์ (g/m)	โมดูลัสแตกร้าว (MPa)
0.50	0.10	5.28
	0.20	4.16
0.45	0.10	7.39
0.40	0.10	5.47

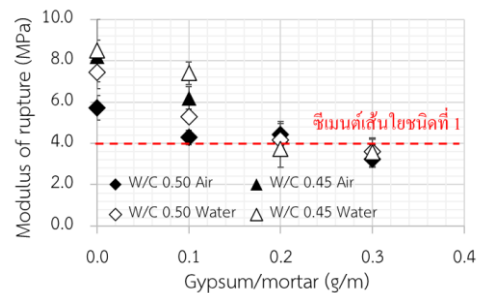
3.2 เปรียบเทียบการบ่มที่แตกต่างกัน

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวระหว่างมอร์ตาร์ที่บ่มอากาศ 14 วันและบ่มน้ำ 28 วัน โดยรูปที่ 8 (ก) เปรียบเทียบมอร์ตาร์ที่มีค่า W/C 0.55-0.60, รูปที่ 8 (ข) เปรียบเทียบมอร์ตาร์ที่มีค่า W/C 0.45-0.50 และรูปที่ 8 (ค) เปรียบเทียบมอร์ตาร์ที่มีค่า W/C เท่ากับ 0.40 ในทางทฤษฎีการบ่มในน้ำช่วยให้มอร์ตาร์พัฒนากำลังได้ดีกว่าบ่มในอากาศซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 ในกรณีที่ไม่ใช่เศษแผ่นยิปซัมเป็นส่วนผสม (g/m 0.0) อย่างไรก็ตามเมื่อมอร์ตาร์มีส่วนผสมของเศษแผ่นยิปซัมนำกลับมาใช้ใหม่

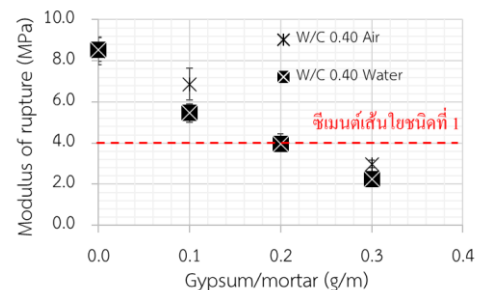
การบ่มในน้ำอาจทำให้มอร์ตาร์มีความชื้นจากการที่กระดาษดูดซึมน้ำมากเกินไประหว่างการบ่มทำให้มอร์ตาร์มีกำลังน้อยกว่าที่คาดการณ์ ซึ่งพบได้ในกรณีที่มีมอร์ตาร์ที่มีปริมาณเศษแผ่นยิปซัมสูง (g/m 0.2-0.3) ร่วมกับมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง (W/C 0.55-0.60) แสดงดังรูปที่ 8 (ข) เนื่องจากมอร์ตาร์ที่มีปริมาณน้ำมากทำให้เกิดรูพรุนภายในปริมาณมาก น้ำจึงซึมเข้าชิ้นตัวอย่างได้ง่ายและไปสะสมอยู่ในส่วนผสมที่เป็นกระดาษภายใน



(ก) เปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่มี W/C 0.55 และ 0.60 เมื่อบ่มต่างกัน



(ข) เปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่มี W/C 0.45 และ 0.50 เมื่อบ่มต่างกัน



(ค) เปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่มี W/C 0.40 เมื่อบ่มต่างกัน

รูปที่ 9 เปรียบเทียบโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่บ่มต่างกัน

ขณะที่มอร์ตาร์ที่มีค่า W/C เท่ากับ 0.40 ค่าโมดูลัสแตกร้าวที่แตกต่างกันเนื่องจากการบ่มมีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อยเนื่องจากมอร์ตาร์มีความทึบน้ำสูงทำให้ปริมาณน้ำที่ซึมเข้าตัวอย่างน้อยกว่าส่วนผสมที่มี W/C มากกว่า 0.40 อย่างไรก็ตามพบว่ามอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนเศษแผ่นยิปซัมต่อมอร์ตาร์เท่ากับ 0.1 นั้นมอร์ตาร์ที่บ่มอากาศมีค่าโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 6.87 MPa ขณะที่มอร์ตาร์บ่มน้ำมีค่าโมดูลัสแตกร้าวเท่ากับ 5.47 MPa

3.3 ผลทดสอบการซึมผ่านน้ำ

มอร์ตาร์ทั้ง 20 ส่วนผสมถูกทดสอบการซึมผ่านน้ำตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ 2.5 ผลการทดสอบพบว่าทุกตัวอย่างมีการซึมผ่านของน้ำทะลุไปอีกด้านของชิ้นตัวอย่าง แม้ว่าบางส่วนผสมจะไม่มีส่วนผสมเศษแผ่นยิปซัม ดังนั้นส่วนผสมทั้งหมดนี้ไม่สามารถนำไปผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่นำไปใช้ภายนอก โดยถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรงได้ (ประเภท A) แต่สามารถนำไปใช้ภายนอกโดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรงได้ (ประเภท B) หรือนำไปใช้น้ำไปใช้ภายในโดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรงได้ (ประเภท C) อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิจารณาโมดูลัสแตกร้าวของแต่ละส่วนผสมร่วมด้วยในการนำไปผลิตใช้งานจริง ลักษณะชิ้นตัวอย่างหลังผ่านการทดสอบการซึมผ่านน้ำแสดงดังรูปที่ 10 การนำเศษแผ่นยิปซำนากลับมาใช้ใหม่มีความคุ้มค่าทางเทคนิค สามารถใช้ เป็น ผลิตภัณฑ์ วัสดุ ก่อ สร้าง ได้ [10,11,12,13,14,15,16,17,18]



รูปที่ 10 ตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผ่านการทดสอบการซึมผ่านน้ำ

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบโมดูลัสแตกร้าวและการซึมผ่านน้ำของมอร์ตาร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษแผ่นยิปซำนากลับมาใช้ใหม่เพื่อผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยทั้งหมด 20 ตัวอย่างสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้;

1. เศษแผ่นยิปซำนากลับมาใช้ใหม่สามารถนำไปแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในมอร์ตาร์เพื่อผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยได้ โดยสามารถแทนที่ได้มากที่สุดเท่ากับ 0.20 โดยปริมาตรมอร์ตาร์ และต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอโดยมีค่า W/C เท่ากับ 0.40-0.50 ซึ่งทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยมีค่าโมดูลัสแตกร้าวอยู่ในช่วง 4.03-4.42 MPa แบบบ่มในอากาศ ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 1427-2540 เป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดที่ 1

2. ค่าโมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญตามปริมาณเศษแผ่นยิปซัมที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมเนื่องจากเศษแผ่นยิปซามีลักษณะเป็นกระดาษส่งผลให้มอร์ตาร์มีความแข็งแรงลดลง

3. มอร์ตาร์ที่บ่มด้วยน้ำสามารถพัฒนากำลังได้ดีกว่ามอร์ตาร์ที่บ่มด้วยอากาศในกรณีที่มีปริมาณเศษแผ่นยิปซำน้อย (0.10 โดยปริมาตร) หรือไม่ผสมเศษแผ่นยิปซัม อย่างไรก็ตามการบ่มด้วยน้ำอาจทำให้โมดูลัสแตกร้าวของมอร์ตาร์ที่มีเศษแผ่นยิปซัมปริมาณมาก (0.20-0.30) มีค่าน้อยกว่าการบ่มด้วยอากาศเนื่องจากการบ่มด้วยน้ำทำให้น้ำซึมเข้าตัวอย่างได้มากทำให้กระดาษในมอร์ตาร์มีความชื้นสูง ส่งผลให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่บ่มในอากาศ

4. มอร์ตาร์ที่แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษแผ่นยิปซำนากลับมาใช้ใหม่สามารถนำไปผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1427-2540 ได้ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้ภายในหรือภายนอกโดยไม่ถูกแสงแดดและ/หรือน้ำโดยตรงเท่านั้น (ประเภท B หรือ C) เนื่องจากทุกส่วนผสมไม่สามารถต้านทานการซึมผ่านน้ำได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิปซัม จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนเศษแผ่นยิปซัมที่จำเป็นสำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาที่สนับสนุนทุนวิจัยแบบบูรณาการประจำปีงบประมาณ 2563 ไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] TIS Standard for Gypsum Plasterboard, TIS Standard 219-2552, 2009.
- [2] A. Kongsitthanakorn, P. Sangkakit and W. Dampanrat, "A Study on Possibility of Using Synthesis Gypsum for Paving Blocks," Bachelor's dissertation, College of Industrial Technology, KMUTNB, 2003.
- [3] J. Sriwichai, S. Chareonsukkho, A. Chaiyasith, S. Kongsomsaksiri and N. Yamoth, "Effects of Synthesis Gypsum in Concrete," Bachelor's dissertation, College of Industrial Technology, KMUTNB, 2005.
- [4] T. Cholatar, T. Klubprasith, W. Permrith, S. Kongsomsaksiri and N. Yamoth, "Effects of Water Content on Paving Concrete Blocks Made with Synthesis Gypsum," Bachelor's dissertation, College of Industrial Technology, KMUTNB, 2004.
- [5] N. Noochaya, W. Wisutchanon, S. Piyo, S. Kongsomsaksiri and N. Yamoth, "A Development of Paving Concrete Blocks Made with Synthesis Gypsum," Bachelor's dissertation, College of Industrial Technology, KMUTNB, 2004.
- [6] TIS Standard for Facing Bricks, TIS Standard 168-2545, 2003.
- [7] TIS Standard for Fiber-Cement Sheets, TIS Standard 1427-2540, 1997.
- [8] A. Attachaiyawuth, C. Ngamthanachot and C. Vivatvanavong, "Effects of Compressive Strength of Mortar using Recycled Gypsum as Partial Replacement Material," *KMUTT Research and Development*, vol. 3, pp. 247-262, Jul. 2019.
- [9] WRAP (Waste & Resources Action Programme) (2009, August 5). Recycled Gypsum in Concrete Construction Product Applications [Online] Available: <http://www.warp.org.uk/construction>
- [10] A. Erbs, A. Nagalli, K. Q. de Carvalho, V. Mymrin, F. Hermes Passig and W. Mazer, "Properties of recycled gypsum from gypsum plasterboards and commercial gypsum throughout recycling cycles," *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 1314-1322, 2018.
- [11] D.A. Kontogeorgos and M.A. Founti, "A generalized methodology for the definition of reactive porous materials physical properties: Prediction of gypsum board properties," *Construction and Building Materials*, vol. 48, pp. 804-813, 2013.
- [12] J. Zhang, X. Guan, X. Song, H. Hou, Z. Yang and J. Zhu, "Preparation and properties of gypsum based energy storage materials with capric acid-palmitic acid/expanded perlite composite PCM," *Energy and Buildings*, vol. 92, pp. 155-160, 2015.
- [13] S. Sair, B. Mandili, M. Taqi and A. El Bouari "Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation," *Composites Communications*, vol. 16, pp. 20-24, 2019.
- [14] T. Raghavendra and B.C. Udayashankar, "Engineering properties of controlled low

- strength materials using flyash and waste gypsum wall boards,” *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 548-557, 2015.
- [15] H. Liang and J. Li, “The influence of hydration and swelling properties of gypsum on the preparation of lightweight brick using water supply reservoir sediment,” *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 691-700, 2015.
- [16] M. Garg, A.K. Minocha and N. Jain, “Environment hazard mitigation of waste gypsum and chalk: Use in construction materials,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, pp. 944-949, 2011.
- [17] Q. L. Yu and H. J. H. Brouwers, “Development of a self-compacting gypsum-based lightweight composite,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, pp. 1033-1043, 2012.
- [18] P. Sormunen and T. Kärki, “Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing,” *Journal of Building Engineering*, vol. 24, 100472, pp. 1-14, 2019.