

Development of Self-leveling Mortar for repairing concrete surfaces

การพัฒนา mortars เทปรีระดับไหลได้ด้วยตัวเองสำหรับซ่อมพื้นผิวคอนกรีต

วาริส บัวขาว¹ ธีรพงศ์ ธีรพรพงศ์² ดุลทัศน์ พันธุ์โกศล³ ธนากร พิระพันธุ์⁴

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

² นักเรียนนายเรืออากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

³ นักเรียนนายเรืออากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

⁴ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

ARTICLE INFO:

Received August 26, 2021

Received Revised Form:

September 13, 2021

Accepted: September 27, 2021

ABSTRACT:

This research aims to improve the properties of self-leveling mortar for repairing concrete surfaces with the ability to work well, high compressive strength, no shrinkage, and taking less time in concrete surface repairing. The ingredients include Portland cement type III, coarse sand, fine sand as well as bulk water reducing agent, Mighty MX-H, with 2% of cement content quantity, silica fume with 5% of cement content quantity, Denka CSA 20 Reducer with 8% of the cement content quantity and Mighty 150SA-5 accelerator with 2% of the cement content quantity. The results showed that the self-flow leveling mortar using the 1:1.33 ratio of cement to sand, the 1:1 ratio of coarse sand to fine sand, and the 0.36 ratio of water to cement, have the ability to work well with the initial flow and flow retention; 167 mm and 126 mm respectively. The compressive strength was 19.47, 32.7, 44.67, and 61.75 MPa at 8, 12, 24 hours, and 28 days respectively. The flexural strength was 5.5 MPa at 28 days. In the mortar bond strength test, the result was 0.8 MPa at 7 days. The ring test for measurement of Restrained Shrinkage of Concrete showed no cracks at 14 days. The simulated test of repairing concrete surface size 50x100x2 cubic centimeters resulted in no delamination and cracks.

KEYWORDS: Self-leveling Mortar, Concrete Surface Repairing, Drying shrinkage

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติของ mortars เทปรีระดับไหลได้ด้วยตัวเองสำหรับงานซ่อมพื้นผิวคอนกรีต ให้มีความสามารถในการทำงานที่ดี, มีค่ากำลังอัดสูง, ไม่มีการหดตัว และใช้ระยะเวลาในการซ่อมน้อย ส่วนผสม mortars ที่ใช้คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3, ทรายหยาบ, ทรายละเอียด, สารลดน้ำปริมาณมาก Mighty MX-H ร้อยละ 2 ของปริมาณปูนซีเมนต์, ซิลิกาฟุ้ง ร้อยละ 5 ของปริมาณปูนซีเมนต์, สารลดการหดตัว Denka CSA 20 ร้อยละ 8 ของปริมาณปูนซีเมนต์ และสารเร่ง Mighty 150SA-5 ร้อยละ 2 ของปริมาณปูนซีเมนต์ ผลการวิจัยพบว่า mortars เทปรีระดับไหลได้ด้วยตัวเองที่ใช้สัดส่วนปูน:ทรายเท่ากับ 1:1.33 และใช้สัดส่วนทรายหยาบ:ทรายละเอียด เท่ากับ 1:1 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.36 มีความสามารถในการทำงานที่ดี โดยมีค่า initial flow และ flow retention เท่ากับ 167 มิลลิเมตร และ 126 มิลลิเมตรตามลำดับ มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 19.47,

*Corresponding Author,
Email address:
waris.kmutt@gmail.com

32.7, 44.67 และ 61.75 MPa ที่อายุ 8, 12, 24 ชั่วโมง และ 28 วันตามลำดับ มีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 5.5 MPa ที่อายุ 28 วัน การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ตาร์เท่ากับ 0.8 MPa ที่อายุ 7 วัน ในการทดสอบหาอายุที่เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวแบบยัดรีงพบว่า ไม่เกิดรอยแตกร้าวที่อายุ 14 วัน และทำการทดสอบจำลองการซ่อมผิวคอนกรีตขนาด 50x100x2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่เกิดการหลุดร่อนและรอยแตกร้าว

คำสำคัญ: มอร์ตาร์เทพริบระดับ, คอนกรีตสำหรับซ่อม, การหดตัวแบบแห้ง

1. บทนำ

พื้นผิวทางวิ่ง พื้นผิวลานจอดและพื้นผิวทางขับ ภายในพื้นที่สนามบินกองทัพอากาศ มักเกิดการแตกร้าวของผิวคอนกรีต ดังรูปที่ 1 ซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ โดยปกติแล้วพื้นผิวทางวิ่ง ลานจอดและทางขับจะต้องปราศจากสิ่งผิดปกติที่อาจมีผลต่อการขึ้น-ลงของอากาศยาน ความผิดปกติของพื้นผิวอาจส่งผลกระทบต่อ การขึ้น-ลง ของอากาศยานโดยก่อให้เกิด การกระดอน (Bouncing) การโคลง (Pitching) การกระเทือนอย่างมากส่งผลให้เกิดความยากในการควบคุมอากาศยานและเนื่องจากมีความจำเป็นที่จะต้องเปิดใช้งานอยู่ตลอดเวลา ในการซ่อมแซมพื้นผิวดังกล่าวฯ ให้กลับมาเรียบสม่ำเสมอใช้งานได้ปกติจึงเป็นข้อจำกัดของระยะเวลาในการซ่อม เพื่อสามารถเปิดใช้พื้นที่ให้เร็วที่สุด ซึ่งรอยแตกร้าวที่พบ ถึงแม้จะไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้างของพื้นคอนกรีตแต่ก็ทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิมได้ เนื่องจากความชื้นและอากาศแทรกซึมเข้าไปตามรอยแตกร้าวและทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมภายในจนเกิดสนิม



รูปที่ 1 แสดงรอยแตกร้าวบริเวณผิวทางขับ

ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวคอนกรีตส่วนใหญ่ มักพบความเสียหายที่มีความลึกไม่เกิน 5 ซม. ซึ่งต้องเลือกใช้วัสดุในการซ่อมที่มีสมบัติเฉพาะ แต่ถ้าความเสียหายของพื้นผิวคอนกรีตมีความลึกมากกว่า 5 ซม. สามารถเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ ทั่วไปสำหรับวิธีการซ่อมได้ เช่น คอนกรีตสำหรับงานซ่อมผิวคอนกรีต เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนา mortars เทพริบระดับด้วยตัวเองมาใช้ในการซ่อมพื้นผิวคอนกรีต สำหรับการซ่อมพื้นผิวทางวิ่ง ลานจอดและทางขับภายในพื้นที่สนามบิน

กองทัพอากาศ ที่สามารถใช้ระยะเวลาในการซ่อมไม่เกิน 12 ชั่วโมง และมีสมบัติสามารถแต่งพื้นผิวได้ ก่อตัวเร็ว ทนทาน ไม่เกิดรอยแตกร้าว และสามารถรับกำลังได้ภายในเวลาที่กำหนด

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 สำหรับงานซ่อมพื้นผิวคอนกรีตที่มีความลึกไม่เกิน 5 เซนติเมตร

2.2 สำหรับซ่อมพื้นผิวสนามบินประเภท Rigid pavements (Portland cement based)

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

มอร์ตาร์เทพริบระดับไหลได้ด้วยตัวเอง (Self-leveling Mortar) มีความหมายตาม มอก.3057-2563 คือ วัสดุที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และมวลผสมละเอียดเข้าด้วยกัน ซึ่งอาจมีสารผสมเพิ่มหรือสีย้อมก็ได้ เมื่อผสมกับน้ำสะอาดจะเหลวมีประสิทธิภาพที่สามารถเทพริบระดับไหลได้ด้วยตัวเอง

3.1 สมบัติทางฟิสิกส์ของมอร์ตาร์เทพริบระดับไหลได้ด้วยตัวเอง

เมื่อผสมตามอัตราส่วน มอร์ตาร์ต้องมีสมบัติทางฟิสิกส์ตามมาตรฐาน มอก.3057-2563[2] ดังตารางที่ 1

3.2 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นในซีเมนต์เพสต์ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต ซึ่งอาจจะนำไปสู่การแตกร้าวได้ การหดตัวของคอนกรีตที่มักพบโดยทั่วไปได้แก่ การหดตัวแบบออโตจีเนียส และการหดตัวแบบแห้ง ในหลายกรณีการหดตัวทั้งสองชนิดนี้จะเกิดขึ้นไปด้วยกัน แต่มักจะรุนแรงต่างเวลากัน โดยการหดตัวแบบออโตจีเนียสจะเกิดมากในช่วงอายุต้น แต่การหดตัวแบบแห้งมักจะเกิดมากเมื่อผิวหน้าคอนกรีตเกิดการแห้งตัวแล้ว หลังจากการบ่มทำให้ต้องคำนึงถึงการหดตัวทั้งสองแบบในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและในการออกแบบโครงสร้างเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการแตกร้าวที่ไม่พึงประสงค์

ตารางที่ 1 สมบัติทางฟิสิกส์ของมอร์ตาร์เทปปรับระดับไหลได้ด้วย

ตัวเอง

สมบัติทางฟิสิกส์	หน่วย	เกณฑ์การกำหนด เทรื่องพื้น	เทรื่องหน้า	วิธีการ ทดสอบ
1. การไหลเริ่มต้น (initial flow)	mm	125 -150	125 -150	ASTM C1708
2.การไหลแล (flow retention)				ASTM C1708
- 20 นาที	mm	125 -150	125 -150	
- 30 นาที	mm	125 -150	125 -150	
3. ความหนืด (viscosity) เวลาไหล (flow time)	s	30 - 100	30 -100	ASTM C1708
4. ระยะการคืนตัว (healing time) ไม่น้อยกว่า	min	20	20	ASTM C1708
5. ระยะเวลาก่อตัว (setting time)				ASTM C1708
- การก่อตัวระยะต้น (initial set) ไม่น้อยกว่า	min	45	45	
- การก่อตัวระยะปลาย (final set) ไม่น้อยกว่า	min	1440	1440	
6. ความต้านแรงอัด (compressive strength)				ASTM C1708
- ไม่น้อยกว่า อายุ 3 วัน	MPa	10.0	15.0	
- อายุ 7 วัน	MPa	15.0	20.0	
- อายุ 28 วัน	MPa	20.0	30.0	
7. ความต้านแรงดัด (flexural strength)				ASTM C1708
- ไม่น้อยกว่า อายุ 3 วัน	MPa	1.0	15.0	
- อายุ 7 วัน	MPa	2.0	20.0	
- อายุ 28 วัน	MPa	4.0	30.0	
8. การเปลี่ยนแปลงความยาว (length change)				ASTM C1708
- ไม่มากกว่า อายุ 28 วัน	%	0.15	0.15	
9. แรงยึดเกาะ (adhesive strength)				ASTM C1583
- ไม่น้อยกว่า อายุ 28 วัน	MPa	0.5	0.5	

3.2.1 การหดตัวแบบออโตจีเนียส(Autogeneous Shrinkage)

การหดตัวแบบออโตจีเนียสเกิดจากผลรวมของการหดตัวทางเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน(Chemical Shrinkage) รวมกับการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นในช่องว่างคappelle ในโพสท์ ทำให้เกิดแรงดึงคappelle (Capillary Tension) ขึ้นในช่องว่างคappelle ซึ่งจะมีผลให้คอนกรีตหดตัว (Physical Shrinkage due to Self-desiccation) การหดตัวแบบออโตจีเนียสจะเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหากคอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคือต่ำกว่า 0.4

3.2.2 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

การหดตัวแบบแห้งเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่องว่างและโพรงอากาศในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณผิวที่สัมผัสกับอากาศสูญเสียความชื้นไปสู่สิ่งแวดล้อม และเกิดการหดตัว โดยการหดตัวที่เกิดขึ้นนั้น บางส่วนไม่อาจกลับคืนสู่สภาพเดิมได้แม้ว่าจะทำให้คอนกรีตเปียกชื้นขึ้นมาใหม่ คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมีช่องว่างคappelle (Capillary Pores) และปริมาณน้ำอิสระมาก ทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวกและมาก ดังนั้นจึงมีการหดตัวแบบแห้งที่สูง กลไกของการหดตัวแห้งของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ เพราะโดยทั่วไปมวลรวมมีการหดตัวต่ำมาก

3.3 พื้นผิวสนามบิน

พื้นผิวสนามบินประกอบด้วย ทางวิ่ง(Runway), ทางขับ (Taxiway) และลานจอด(Apron) รวมทั้งพื้นผิวใดๆ ที่ต้องทนต่อน้ำหนักของเครื่องบินได้โดยไม่เกิดความเสียหาย พื้นผิวสนามแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

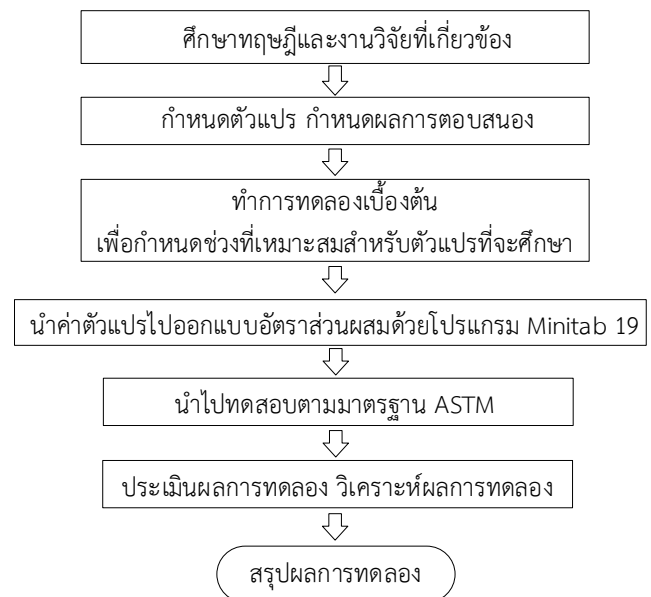
1.) Rigid pavement พื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นด้วย

ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์

2.) Flexible pavement ผิวที่ถูกสร้างขึ้นด้วยแอสฟัลต์

4. วิธีวิจัย

การดำเนินการวิจัยการพัฒนา mortar เทปปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองสำหรับซ่อมแซมพื้นผิวงานคอนกรีตประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) กำหนดตัวแปร กำหนดผลการตอบสนอง 3) ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อกำหนดช่วงที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรที่จะศึกษา 4) นำค่าตัวแปรไปออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยโปรแกรม Minitab 19 5) นำไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 6) ประเมินผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อให้ได้ mortar เทปปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองที่มีคุณภาพ โดยมีกรอบงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 2



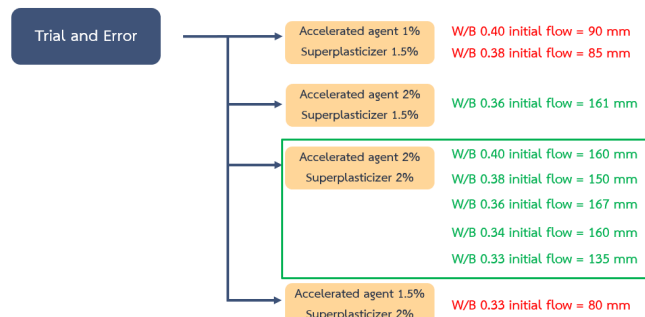
รูปที่ 2 แสดงกรอบงานวิจัย

4.1 การกำหนดช่วงที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรที่ศึกษา

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมสำหรับการผสม mortar เทปปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเอง มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ 1 : 1.13 และอัตราส่วนมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด มีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ 1 : 1 ดังนั้นในการทดลองเบื้องต้นสำหรับการกำหนดช่วงที่เหมาะสม

สำหรับตัวแปรที่ศึกษา ผู้วิจัยจึงมีการกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ 600 กก./ลบ.ม. ทราวยหยาบและทรายละเอียดคงที่อย่างละ 400 กก./ลบ.ม. แล้วจึงทำการปรับปริมาณตัวแปรอื่นให้มีความเหมาะสม

ผู้วิจัยได้เริ่มทำการทดลองผสมอัตราส่วนมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองเบื้องต้น โดยกำหนดเป้าหมายว่า ช่วงอัตราส่วนมอร์ตาร์ที่นำมาใช้จะต้องมีค่า initial flow อยู่ระหว่าง 125-150 มม. ซึ่งผลการทดลองแบบลองผิดลองถูกโดยเลือกใช้สารลดน้ำปริมาณมาก สารเร่งการก่อตัว และ ค่า w/b ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงผลการลองผิดลองถูกด้วยโปรแกรม Minitab 19

4.2 นำค่าตัวแปรไปออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยโปรแกรม Minitab 19

จากผลการลองผิดลองถูก อัตราส่วนผสมที่ให้สภาพการไหลของมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองที่เหมาะสม โดยมีค่าการไหลเริ่มต้น อยู่ระหว่าง 135 – 167 มม. คืออัตราส่วนผสมที่ใช้ สารลดน้ำปริมาณมากในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และ สารเร่งการก่อตัวในปริมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยมีช่วง w/b ระหว่าง 0.33-0.36

เมื่อได้ช่วงค่าต่ำสุดและสูงสุดของอัตราส่วนผสมมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเอง ผู้วิจัยได้นำค่าต่ำสุดและสูงสุดของตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ w/b มีค่าระหว่าง 0.33-0.36 สารเร่งการก่อตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 2-2.5 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และ สารลดการหดตัวและแตกร้าว Denka CSA 20 อยู่ระหว่างร้อยละ 8-10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ นำไปออกแบบการทดลองด้วยวิธี Design of experiment (DOE) ซึ่งเป็นชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า (Input variable) ของกระบวนการหรือระบบเพื่อสังเกต หรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลลัพธ์ได้ โดยสามารถออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab19 ซึ่งจะได้ตารางการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงส่วนผสมมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย

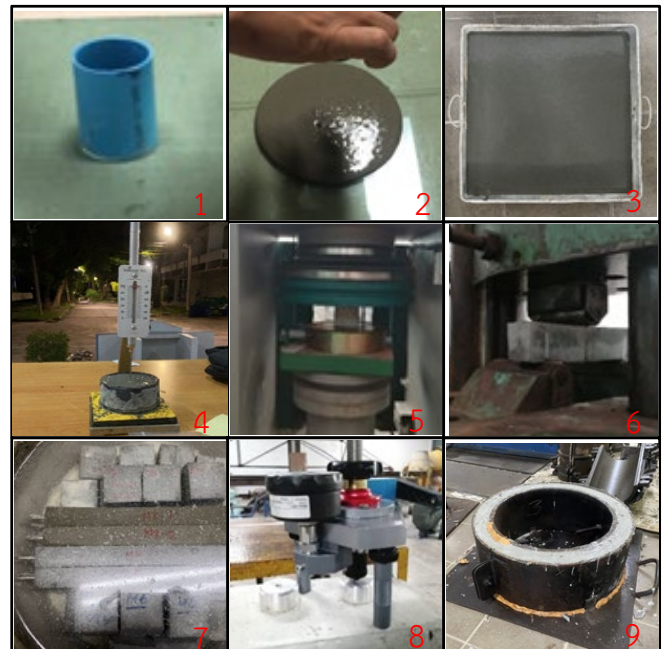
ลำดับ	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3 (กก./ลบ.ม.)	ทราย หยาบ (กก./ลบ.ม.)	ทราย ละเอียด (กก./ลบ.ม.)	สารลดน้ำ (SP) (ร้อยละ)	ซิลิกาฟูม (ร้อยละ)	w/b	สารลด การหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (AC) (ร้อยละ)
1	600	400	400	2	5	0.33	8	2.0
2	600	400	400	2	5	0.33	8	2.5
3	600	400	400	2	5	0.33	10	2.0
4	600	400	400	2	5	0.33	10	2.5
5	600	400	400	2	5	0.36	8	2.0
6	600	400	400	2	5	0.36	8	2.5
7	600	400	400	2	5	0.36	10	2.0
8	600	400	400	2	5	0.36	10	2.5

SP- superplasticizer คือสารลดน้ำจำนวนมาก

AC - accelerator คือสารเร่งการเกิดปฏิกิริยา

4.3 ทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์สดและมอร์ตาร์ที่แข็งตัวแล้ว มอร์ตาร์เทปรับระดับไหลด้วยตัวเอง

การทดสอบ ประกอบด้วย 1) ทดสอบการไหลเริ่มต้น 2) ทดสอบการไหลแผ่ 3) ทดสอบระยะการคืนตัวของมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลด้วยตัวเอง 4) ทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์ 5) ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ 6) ทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์ 7) ทดสอบการวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของมอร์ตาร์ 8) ทดสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวพื้นผิวคอนกรีต และ 9) ทดสอบหาอายุที่เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวแบบยัดรี้ง ซึ่งการทดสอบทั้งหมดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงรูปภาพการทดสอบสมบัติของมอร์ตาร์สดและมอร์ตาร์ที่แข็งตัวแล้วของมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลด้วยตัวเอง

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการทดสอบสมบัติมอร์ตาร์สดของมอร์ตาร์เทปรับระดับไหลด้วยตัวเอง

การทดสอบสมบัติมอร์ตาร์สดซึ่งประกอบไปด้วย การไหล เริ่มต้น การไหลแผ่ ระยะเวลาการคืบตัว และ ระยะเวลาการก่อตัว ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองสมบัติมอร์ตาร์สด

ลำดับ	w/b	สารลดการหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (ร้อยละ)	การไหล เริ่มต้น (มม.)	การไหลแผ่ (มม.)	ระยะเวลา การคืบตัว (นาท.)	ระยะเวลา การก่อตัว (นาท.)
1	0.33	8	2	135.00	115.00	15	250
2	0.33	8	2.5	160.33	136.00	35	255
3	0.33	10	2	153.00	106.70	10	180
4	0.33	10	2.5	166.00	130.00	25	210
5	0.36	8	2	167.00	126.00	20	225
6	0.36	8	2.5	170.00	145.00	35	255
7	0.36	10	2	166.00	126.00	20	210
8	0.36	10	2.5	163.00	146.00	35	225

จากตารางที่ 3 เทียบค่ามาตรฐานตามตารางที่ 1 พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 1 และ 3 ค่าการไหลแผ่และระยะเวลาการคืบตัว ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยที่อัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.33 และปริมาณสารเร่งที่ร้อยละ 2 ส่งผลให้การไหลแผ่และระยะเวลาการคืบตัวไม่ผ่าน เกณฑ์

5.2 ผลการทดสอบสมบัติมอร์ตาร์ที่แข็งตัวของมอร์ตาร์เทปปรับ ระดับไหลด้วยตัวเอง

5.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

ผสมมอร์ตาร์ทั้ง 8 อัตราส่วนและทำการเทลงแบบหล่อ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทำการบ่มและทดสอบกำลังอัดที่อายุ 8, 12, 24 ชม. และ 28 วัน แสดงผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

ลำดับ	w/b	สารลด การหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (AC) (ร้อยละ)	ผลทดสอบกำลังอัดที่อายุ (MPa)			
				8 ชม.	12 ชม.	24 ชม.	28 วัน
1	0.33	8	2.0	16.30	32.40	43.80	55.00
2	0.33	8	2.5	13.60	31.10	45.57	54.70
3	0.33	10	2.0	17.63	31.60	45.55	57.70
4	0.33	10	2.5	19.57	33.23	45.50	55.50
5	0.36	8	2.0	19.47	32.70	44.67	61.75
6	0.36	8	2.5	10.00	30.13	31.47	51.20
7	0.36	10	2.0	18.10	18.10	31.07	51.20
8	0.36	10	2.5	17.90	21.63	21.63	50.80

จากตารางที่ 4 เทียบกับค่ามาตรฐานตารางที่ 1 พบว่า ทุก ลำดับอัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัด ที่อายุ 28 วัน ผ่านเกณฑ์ ทุกอัตราส่วนผสม โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดคืออัตราส่วนผสม ลำดับที่ 5 และอัตราส่วนผสมลำดับที่ 8 มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด โดยอัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.36 สารลดการหดตัวร้อยละ 8 และ สารเร่งร้อยละ 2 ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด

5.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์

เตรียมตัวอย่างลงแบบหล่อขนาด 4x4x16 ซม. ทำการ บ่มและทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดที่อายุ 28 วัน แสดงผลการ ทดลองดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์

ลำดับ	w/b	สารลดการหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (AC) (ร้อยละ)	ผลทดสอบค่ากำลังดัด ที่อายุ 28 วัน (MPa)
1	0.33	8	2.0	5.10
2	0.33	8	2.5	5.10
3	0.33	10	2.0	5.00
4	0.33	10	2.5	5.10
5	0.36	8	2.0	5.50
6	0.36	8	2.5	4.10
7	0.36	10	2.0	4.10
8	0.36	10	2.5	4.00

จากตารางที่ 5 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานตารางที่ 1 พบว่าทุกลำดับอัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงดัด ที่อายุ 28 วัน ผ่านเกณฑ์กำหนดสำหรับเทรื่องพื้น โดยที่ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด คืออัตราส่วนผสมลำดับที่ 5 ต่ำสุดคืออัตราส่วนผสมลำดับที่ 8 โดย อัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.36 สารลดการหดตัวร้อยละ 8 และสาร เร่งร้อยละ 2 ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงที่สุด

5.2.3 การทดสอบแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์

การทดสอบแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์ทำการเลือกลำดับ อัตราส่วนมอร์ตาร์เทปปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองที่มีค่ากำลังรับ แรงอัดที่สูง จำนวน 4 อัตราส่วนผสมสำหรับการเตรียมตัวอย่าง ทดสอบแรงยึดเกาะมอร์ตาร์กับพื้นผิวคอนกรีตเดิม แสดงผลดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์

ลำดับ	w/b	สารลดการหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (AC) (ร้อยละ)	การทดสอบแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์ (MPa)
2	0.33	8	2.5	0.87
3	0.33	10	2.0	0.85
4	0.33	10	2.5	0.79
5	0.36	8	2.0	0.80

จากตารางที่ 6 เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานตารางที่ 1 พบว่าทุกลำดับอัตราส่วนผสมมีค่าแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์ ที่อายุ 28 วัน ผ่านเกณฑ์ โดยค่าอัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.33 และสาร เร่งร้อยละ 2- 2.5 ส่งผลให้ค่าแรงยึดเกาะของมอร์ตาร์สูง

5.2.4 การทดสอบหาอายุที่เกิดการแตกร้าวจากการหด ตัวแบบยัดรี้งของมอร์ตาร์

ทำการเลือกอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองที่มีคุณสมบัติด้านค่ากำลังรับแรงอัดดีที่สุดจำนวน 2 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 4 และ อัตราส่วนผสมที่ 5 เพื่อทดสอบการหาอายุที่เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวแบบยัดรีงของมอร์ตาร์ แสดงผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบการหาอายุที่เกิดการแตกร้าวจากการหดตัวแบบยัดรีงของมอร์ตาร์

ลำดับ	w/b	สารลดการหดตัว (ร้อยละ)	สารเร่ง (AC) (ร้อยละ)	อายุที่เกิดการแตกร้าว (วัน)
4	0.33	10	2.5	น้อยกว่า 14 วัน
5	0.36	8	2.0	น้อยกว่า 14 วัน

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าทั้งสองอัตราส่วนผสมเกิดการแตกร้าวที่อายุน้อยกว่า 14 วัน สามารถแปลผล Potential for cracking เป็น Moderate-high [9] ดังตารางที่ 8 ซึ่งผลการแปลผลดังกล่าวแสดงถึงความน่าจะเป็นที่มอร์ตาร์จะมีโอกาสแตกร้าวได้ปานกลางถึงสูงเมื่อมีการยัดรีง แต่จะมีผลกระทบค่อนข้างน้อยเมื่อใช้สำหรับงานซ่อมผิวคอนกรีตที่มีความลึกไม่เกิน 5 ซม. หรือความเสียหายที่ไม่ถึงชั้นเหล็กเสริม

ตารางที่ 8 แสดงการแปลผล Potential for crack classification (ASTM C1581) [9] ด้วยอายุการแตกร้าวของมอร์ตาร์

Time to cracking, t_{cr} (day)	Stress rate, S (MPa/day)	Potential for cracking
$0 \leq t_{cr} \leq 7$	$S \geq 0.34$	High
$7 \leq t_{cr} \leq 14$	$0.17 < S \leq 0.34$	Moderate-high
$14 \leq t_{cr} \leq 28$	$0.10 < S \leq 0.17$	Moderate-low
$28 > t_{cr}$	$S < 0.10$	Low

6. สรุปผล

การพัฒนาออร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองสำหรับซ่อมพื้นผิวคอนกรีตสำหรับนำไปใช้ในการซ่อมพื้นผิวทางวิ่ง ลานจอดและทางขับภายในพื้นที่สนามบินกองทัพอากาศ จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

การทดลองผสมแบบวิธีการลองผิดลองถูก ทำให้ได้อัตราส่วนผสม ได้ค่าคุณสมบัติของมอร์ตาร์ ผ่านมาตรฐาน มอก.3057-2563 และผ่านงานซ่อมของมอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเอง โดยการใช้อัตราส่วนผสมดังนี้ ทรายหยาบและทรายละเอียดด้วยอัตราส่วน 1:1 อัตราส่วน w/b ระหว่าง 0.33 – 0.36

เมื่อใช้สารลดน้ำปริมาณมากปริมาณที่คงที่ร้อยละ 2.00 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และปรับอัตราส่วนร้อยละของสารเร่งและร้อยละของสารลดการหดตัว เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองในแต่ละอัตราส่วนผสมจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.3057-2563 และมาตรฐานงานซ่อม ASTM C 1581, C 1583 ซึ่งจากผลการทดสอบมีอัตราส่วนผสมที่ความเหมาะสมจำนวน 2 อัตราส่วนผสม คือ อัตราส่วนผสมที่ 4 และ 5 สามารถนำไปทดลองใช้จริงรับน้ำหนักได้ตามระยะเวลาที่กำหนด ไม่เกิดการแตกร้าวหรือหลุดร่อน ถึงแม้ว่าผลการทดสอบอายุการแตกร้าวจากการหดตัวแบบแห้ง จะให้ค่าอัตราการหดตัวที่อยู่ในเกณฑ์ ปานกลาง-สูง แต่เนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยนำไปใช้สำหรับงานซ่อมพื้นผิวคอนกรีตตื้นหรือมีความลึกไม่เกิน 5 ซม. และความลึกที่ไม่ถึงชั้นเหล็กเสริม ทำให้เกิดการหดตัวแบบยัดรีงเกิดค่อนข้างน้อยจึงสามารถนำมาใช้งานสำหรับงานซ่อมดังกล่าวได้

7. ข้อเสนอแนะ

การนำมอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองไปใช้งานซ่อมความลึกไม่เกิน 3.00 ซม. ลดปัญหาเรื่องการแตกร้าวจากการหดตัวแบบยัดรีงของมอร์ตาร์

มอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองมาใช้งานสำหรับงานซ่อมสิ่งสำคัญคือการเตรียมพื้นผิวเดิม อาทิ เช่น การสกัดพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มพื้นผิวสัมผัส การทำความสะอาดพื้นผิวเดิม ล้วนแต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของมอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลได้ด้วยตัวเองเป็นอย่างมาก และควรหลีกเลี่ยงการใช้มอร์ตาร์ที่ปรับระดับไหลด้วยตัวเองบนพื้นผิวที่มีความลาดชันมากเกินไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยการสนับสนุนทั้งงบประมาณและเครื่องมือทดลองห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ทางผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] เรืองศักดิ์ นนทิเมธากุล และ อนันต์ สิริภริมย์. Concrete Repair and Maintenance การซ่อมแซมคอนกรีตและการบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ : เอสซีซี ซีเมนต์, 2551.

- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอร์ตาร์เทพรับระดับโหลได้ด้วยตัวเอง มอก.3057-2563.กรุงเทพฯ, 2563.
- [3] นนอ.จิรพัทธ์ ระหงษ์ และ นนอ.ชลากร วัตกีกุล. การพัฒนา มอร์ตาร์สำหรับงานซ่อมพื้นผิวคอนกรีต. เอกสารวิจัยปริญญานิพนธ์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช, 2561.
- [4] R. Myrdal., “Accelerating admixture for concrete”, SINTEF Building and Infrastructure , 2007.
- [5] A. Hassaninein and E. Shalaby. “Self-Leveling Mortar: why and how ?”, Resilient Infrastructure, pp. 1-10, 2016.
- [6] V. Srivastava and R. Kumar. “Effect of Silica Fume on Workability and Compressive Strength of OPC Concrete”, J. Environ, Nanotechnol, pp. 32-35, 2016.
- [7] G. Appa Rao., “Long-term drying shrinkage of mortar - influence of silica fume and size of fine aggregate”, Cement and Concrete Research, pp. 171-175, 2001.
- [8] American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Self-leveling Mortars Containing Hydraulic Cements. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01, C1708/C1708M. 16, 2016.
- [9] Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induce Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, ASTM C 1581M-18a, 2004.
- [10] Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair Overlay Materials by Direct Tension (Pull-off Method), ASTM C 1583/C1583M, 2004
- [11] Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), ASTM C293, 2004.
- [12] Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM C348 , 2004.