

## ผลกระทบของเถ้าลอย ดินขาวและซิลิกาฟุ้งต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เนื่องจาก ASR

### Effect of Fly Ash, Mate Kaolin and Silica Fume on Mortar Bar Expansion Due to ASR

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ<sup>1</sup>และอนุรักษ์ เทพกรณ์<sup>1</sup> ศิรัช แสงภัทรเนตร<sup>1</sup> ศรสวรรค์ เกตุเกษร<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พหลุสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 E-mail: sirachat-s@rmutp.ac.th, sornsawan-k@rmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ โดยใช้มวลรวม เกรย์แวก (Grey wacke) มีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา (ASR) และใช้ เถ้าลอย (Fly Ash), ดินขาว (Meta kaolinite) และซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน การวัดขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ใช้ตามมาตรฐาน ASTM C-1260 และ ASTM C-1567 เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนัก ดินขาวแทนที่ร้อยละ 10, 15 และ 20 และซิลิกาฟุ้งแทนที่ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบค่าการขยายตัวที่อายุ 14 และ 28 วัน หลังการหล่อ ผลการศึกษาพบว่าที่อายุการขยายตัวสูงสุด ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม (0.183%), MK20 (-0.027%), SF20 (-0.041%), และ FA50 (0.002%) สังเกตว่าวัสดุปอซโซลานทั้ง 3 ชนิดแทนที่ปูนซีเมนต์ในร้อยละที่สูง มีแนวโน้มลดการขยายตัวจากปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกา (ASR) ซึ่งจะมีผลกระทบในการพิจารณาการรับกำลังของมอร์ตาร์และควรสนใจในการทดสอบคอนกรีตต่อไป

คำสำคัญ: ASR, เถ้าลอย, ดินขาว และซิลิกาฟุ้ง

#### Abstract

The objective of this research is to study the expansion behavior of mortar bars using gray wacke aggregates. There is a tendency for alkali silica reactions (ASR) and fly ash (Fly Ash), Kaolin (Meta Kaolinite) and Silica Fume used to replace partial cement. The expansion measure of the mortar is used in accordance with ASTM C-1260 and ASTM C-1567. Fly ash replaces 20%, 35% and 50% by weight of kaolin instead of 10%, 15% and 20% and silica fume instead of hundreds. 10, 15 and 20 by weight, to compare the expansion of mortar bar at 14 and 28 days after casting. The results showed that the highest expansion are control samples (0.183%), MK20 (-0.027%), SF20 (-0.041%), and FA50 (0.002%). Notice that all 3 types of pozzolanic materials replace cement at a high percentage. There is a tendency to reduce the expansion of the

alkali silica reaction (ASR) which will have an impact on considering the strength of the mortar and should be interested in further concrete testing.

Keywords: ASR, fly ash, meta kaolinite, silica fume

#### 1. บทนำ

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างด่างและมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากต่างในสารละลายในช่องว่างของคอนกรีต (Pore solution) ทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุบางชนิดในมวลรวม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเจลซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซึมความชื้น และจะขยายตัวเมื่อได้รับความชื้นเมื่อเจลขยายตัวจะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ ในกรณีที่รุนแรง AAR อาจมีผลทำให้เหล็กเสริมขาดได้ AAR แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Alkali-Silica Reaction(ASR) และ Alkali-Carbonate Reaction (ACR) ซึ่งปฏิกิริยาที่พบบ่อย คือ ASR

ในต่างประเทศ มีรายงาน ปัญหา ASR ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายซึ่งการเสื่อมสภาพจาก ASR นั้นจะต้องใช้เวลานานกว่าคอนกรีตจะแตกร้าว แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะยากต่อการแก้ไขและการซ่อมแซม ในบางครั้งเป็นปัญหาใหญ่ และบางครั้งอาจรุนแรงถึงขั้นต้องทุบโครงสร้างทิ้ง ในอดีตปัญหา ASR ไม่มีรายงานการพบในประเทศไทย อาจเป็นเพราะมวลรวมที่มีแร่ธาตุที่ไวต่อปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ในซีเมนต์มีน้อย หรือยังไม่ได้รับความสนใจถึงผลกระทบโดยตรงและยังไม่พบปัญหา จึงทำให้การเสื่อมสภาพจาก ASR ถูกมองข้ามไป แต่ในปัจจุบันมีการพบปัญหา ASR ในประเทศ และอาจเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจพบโครงสร้างที่เสียหายจาก ASR มากขึ้น เนื่องจากการแก้ไข ปัญหา ASR ในโครงสร้างที่เสียหายไปแล้วนั้นทำได้ยาก วิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการเกิด ASR คือการหลีกเลี่ยงการใช้หินที่ไวต่อปฏิกิริยา ASR แต่ปัจจุบันแหล่งทรัพยากรนั้นมีจำกัด การหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุเหล่านั้นจึงทำได้ยาก ดังนั้นการป้องกันอาจทำได้ตั้งแต่การผสมคอนกรีต

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการขยายตัวของคอนกรีตที่เกิดปัญหา ASR โดยใช้เถ้าลอย (Fly ash), ดินขาว (Meta kaolinite) และซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4  
Proceedings of the 4<sup>th</sup> RMUTP Conference on Engineering and Technology

## 2. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

### 2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในศึกษาพฤติกรรมการขยายตัวของคอนกรีตที่เกิดปัญหา ASR โดยใช้เถ้าลอย (Fly ash) ดินขาว (Meta kaolinite) และซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

### 2.2 วิธีการดำเนินโครงการ

การศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะการใช้สารปอซโซลานในลักษณะวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน Supplementary cementing material (SCM<sub>s</sub>) มีทั้งหมด 3 ชนิดประกอบด้วย เถ้าลอย (Fly ash) ดินขาว (Meta kaolin) และซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) โดยนำมาใช้ในลักษณะเป็นส่วนผสมระบบสอง (Binary blends system) โดยมีหลักการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนดังนี้ สำหรับระบบสองประสานใช้เถ้าลอย (Fly ash) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนร้อยละ 20 35 และ 50 ตามลำดับสำหรับดินขาว (Meta kaolin) และซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) ใช้การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนที่เท่ากันคือที่ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสัดส่วนการผสมที่กล่าวมาข้างต้นใช้สำหรับทำตัวอย่างของแท่งมอร์ตาร์เพื่อใช้สำหรับวัดค่าแนวโน้มการขยายตัว วิธีการสำหรับแท่งมอร์ตาร์ทำตามมาตรฐาน ASTM C1260 และ C 1567 เป็นการทดสอบหาแนวโน้มการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาเป็นวิธีการเร่งให้เกิดการขยายตัว Accelerate Mortar Bar Test (AMBT) โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาวัดค่าแนวโน้มการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เบื้องต้นที่อายุ 14 วัน ถ้าขยายตัวเกินกว่าร้อยละ 0.20 แสดงว่ามีแนวโน้มในการเกิด ASR และต่อจากนั้นให้ทดสอบหาแนวโน้มการขยายตัวของแท่งคอนกรีตปริซึม (Concrete prisms) ตามมาตรฐานของ RILEM AAR-5 และ AAR-4.1 ที่

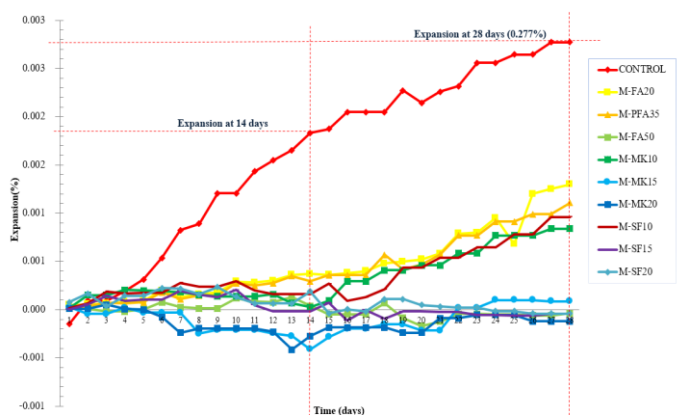
อายุ 28 วันและ 150 วัน (20 สัปดาห์) ตามลำดับ หลังจากนั้นเปรียบเทียบสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของสารปอซโซลานในการแทนที่ซีเมนต์เพื่อใช้ในการตัดสินใจสำหรับออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมในคอนกรีต ในส่วนวัสดุที่ใช้ในการผสมทำตัวอย่างทดสอบของแท่งมอร์ตาร์ประกอบด้วยสารปอซโซลาน (Pozzolans) ใช้เป็นส่วนผสมของมอร์ตาร์และคอนกรีตในระบบสองและสามประสาน (Binary and Ternary Blends System) ประกอบด้วยเถ้าลอย (Fly ash) จากโรงงานผลิตกระดาษไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง, ดินขาว (Meta kaolin) จากบริษัท Metamax CO., LTD, from USA, ซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัดมหาชน จ.สระบุรี มีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ Type I, PFA, MK และ SF

Oxides (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Cement (OPC)	18.74	5.22	3.20	65.30	0.82	0.08	0.5
Fly ash (PFA)	36.35	19.86	14.15	18.12	2.82	1.33	2.30
Meta kaolin(MK)	51.49	45.74	0.37	0.02	< 0.0	0.30	0.23
Silica Fume(SF)	97.26	0.19	0.03	0.43	0.49	0.26	0.62

## 3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

วิธีการทดสอบในส่วนนี้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของวัสดุปอซโซลานในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาเนื่องจาก ASR โดยวัดการเปลี่ยนแปลงความยาวของแท่งมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C1260 และ ASTM 1567 ของหินแกรนิต โดยใช้สารปอซโซลานในส่วนผสมด้วยระบบสองใช้การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสำหรับแท่งมอร์ตาร์มีรายละเอียด ผลของการควบคุมแนวโน้มการขยายตัวเนื่องจาก ASR ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของการขยายตัวของมอร์ตาร์ระหว่างตัวอย่างควบคุมกับวัสดุปอซโซลานเนื่องจาก ASR ของหินแกรนิต

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4  
Proceedings of the 4<sup>th</sup> RMUTP Conference on Engineering and Technology

เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการขยายตัวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา ASR พบว่าการขยายตัวที่อายุ 14 และ 28 วัน ของมอร์ตาร์ควบคุม (M) ของหิน Grey wacke ขยายตัวมากที่สุดร้อยละ (0.183, 0.277) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการใช้สารปอชโซลานแทนที่ซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมพบว่าประสิทธิภาพในการควบคุมการขยายตัวเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา ASR ที่สุดของซิลิกาฟูมขยายตัวน้อยกว่าเถ้าลอยและดินขาวเมื่อแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 15SF, 50FA และ 20MK ตามลำดับที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน จะให้การขยายตัวน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ (-0.001, -0.006)SF, (0.004, -0.006)FA และ (-0.027, 0.078)MK ตามลำดับ นอกจากนี้เปรียบเทียบผลการใช้สารปอชโซลานเมื่อใช้ซิลิกาฟูมจะควบคุมการขยายตัวได้ดีกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 และ 35 ขยายตัวน้อยกว่าดินขาวที่ร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ

## 4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 4.1 ผลของเกิดปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาของแท่งมอร์ตาร์

ดังนั้นสามารถสรุปผลกระทบจากการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา ASR ได้หลายปัจจัยหลักที่สำคัญดังนี้ ปริมาณแอลคาไลของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้วัสดุปอชโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสม นอกจากนี้ ปฏิกิริยาปอชโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ด้วยอัตราส่วนที่ต่ำของ Cao/SiO<sub>2</sub> จากการเกิดของ (C-S-H) จะทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หมดไปในสารละลายในช่องว่าง (Pore Solution) ของคอนกรีต เพราะอัตราส่วนที่ต่ำของ Cao/SiO<sub>2</sub> นี้จะทำให้แอลคาไลถูกจำกัด ดังนั้นการที่ลดปฏิกิริยาของทั้งสองนี้มีผลกระทบทำให้ปริมาณของไฮดรอกซิลอิออนไม่สามารถมีส่วนร่วมในการทำปฏิกิริยา ASR จึงทำให้ช่วยควบคุมการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์

### 4.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากทราบแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของ ASR ทำให้ขยายตัวมากกว่าร้อยละ 0.20 เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1260 และ C1567 ต่อจากนั้นให้ทดสอบหาแนวโน้มการขยายตัวของแท่งคอนกรีตปริซึม (Concrete Prisms) ตามมาตรฐานของ RILEM AAR-5 และ AAR-4.1 ที่อายุ 28 วัน และ 150 วัน (20 สัปดาห์) ตามลำดับ หลังจากนั้นเปรียบเทียบเพื่อหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของสารปอชโซลานในการแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในการตัดสินใจสำหรับออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการเกิดปฏิกิริยา ASR ในคอนกรีต

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิมล สัจจาพาณิชย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาและขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] จักรพันธ์ แสงสุวรรณ และศุภชัย ไทยพุ่ม. (2559). อิทธิพลของปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์และคอนกรีต
- [2] จรูญ จันทร์สมบูรณ์. (2547). การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ
- [3] ชาญณรงค์ สังข์กล่อม, ทยุทธ สุธีรวุฒิ และ นิธิ เป็นพัฒน์. (2555). ประสิทธิภาพของผงแก้วและผงอิฐต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เนื่องจากปัญหา ASR
- [4] บุรฉัตร ฉัตรวิระ และพิชัย นิมิตรยงสกุล. การออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
- [5] วชิรวิทย์ สารานุกรมย์. (2553). สมบัติเชิงกลและความทนทานของแท่งมอร์ตาร์ผสมผงหินปูนและเถ้าแกลบบดค้ำ.
- [6] สุวิมล สัจจาพาณิชย์, วัชรกร วงศ์คำจันทร์, กฤษณ์ วันอินทร์, มนสิขสาริกฤติ และโรจนกร กันตพงษ์. (2553). การใช้เจลเรืองแสงตรวจสอบปรากฏการณ์ ASR ของโครงสร้างเดิม. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 6