



Journal of Thailand Concrete Association

วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

การศึกษาลักษณะหินที่มีอิทธิพลต่อ ASR ของแหล่งมวลรวมในภาคตะวันออกของประเทศไทย

Investigation of alkali-silica reactivity potential of aggregate sources in the eastern part of Thailand

สุวิมล สัจจานิชย์¹ วัชรกร วงศ์คำจันทร์² กฤษณ์ วันอินทร์³ มนสิข สาริกะภูติ⁴ โรจนกร กัมพะพงศ์⁵

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

³อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴หัวหน้ากลุ่ม Cement and Cementitious Research บริษัทสยามวิจัยและพัฒนา จำกัด

⁵ผู้จัดการศูนย์ทดสอบ บริษัทสยามวิจัยและพัฒนา จำกัด

ARTICLE INFO:

Received: May 20, 2015

Received Revised Form: July 3, 2015

Accepted: July 15, 2015

ABSTRACT :

This paper reports the study of ASR expansion potential of different aggregate types which were randomly collected from some sources in the eastern coast of Thailand (three different lithology based-rocks are metamorphic, igneous, and sedimentary rocks). The samples were tested using several methods namely; Petrographic Analysis, Accelerated Mortarbar Test (AMBT), Accelerated Concrete Microbar Test (ACMT), Uranyl Acetate Gel Fluorescence Test and Microscopic Characteristics Analysis using digital stereo microscope. The aggregates in this study were Calc-silicate, Granite, Limestone and Greywacke. The results showed that aggregates of the same type but from different sources were similar in mineralogical compositions and chemical compositions. The AMBT expansion results indicated the larger expansion of samples in sedimentary group than the suggested values of the standard which indicated the potential ASR deleterious expansion. The uranyl acetate test of micro bars sample indicated the evidence of ASR gel at aggregates' rims as well as inside aggregate particles. These findings supported the expansion results. Also, the studies of thin section revealed the evidence of ASR gel at the aggregates's rim, inside the aggregates and in the matrix.

*Corresponding Author,
Email address: fengsusa@ku.ac.th

KEYWORDS: Lithology, Alkali-Silica Reaction (ASR), Petrographic Analysis, Uranyl Acetate, Thin Section, Reaction Rim

1. บทนำ

จากรายงานการเสื่อมสภาพที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา (Alkali silica Reaction, ASR) ในประเทศไทย [1-3] ทำให้การศึกษาพฤติกรรมของมวลรวมจากแหล่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิด ASR มีความสำคัญมากสำหรับการป้องกันหรือลดความรุนแรงของปัญหาในอนาคต เมื่อพิจารณาถึงจำนวนและชนิดของแหล่งหินอุตสาหกรรมในประเทศที่ได้รับประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรม พบว่ามีแหล่งมวลรวมประมาณร้อยละ 15 เป็นหินชนิด

ที่อาจเกิดปัญหาปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกาได้ และเป็นแหล่งขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตตั้งแต่ 50 ถึง 500 ตันต่อชั่วโมง [4]

เนื่องจากมวลรวมมีการตอบสนองต่อปฏิกิริยากับอัลคาไลน์แตกต่างกัน มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยามากที่สุดคือโอพอลีนซิลิกา [5, 6] แต่มวลรวมชนิดนี้พบได้น้อยมากในประเทศไทย เช่นเดียวกันกับหินคาลซิโดนี อย่างไรก็ตามหินในกลุ่มของหินภูเขาไฟและในกลุ่มหินตะกอน (Sedimentary Rock) บางชนิด ที่เคยมีรายงานในต่างประเทศว่าสามารถทำปฏิกิริยาและเกิดปัญหา ASR ในงานคอนกรีตได้ สามารถพบได้ทั่วไปในประเทศและบางส่วนมีการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ หินไรโอไรท์ หินแกรนิตบางชนิด หินปูนบางชนิด หินแกรนัยแคว หินฟิลไลต์ และหินชีสต์ [7]

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่ตั้งแต่ตอนใต้ของเทือกเขาเพชรบูรณ์และขอบที่ราบสูงโคราชต่อเนื่องลงมาจนถึงขอบอ่าวไทย ตอนบนบริเวณจังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี นครนายก และสระแก้ว ซึ่งมีลักษณะของชั้นหินที่ไม่มีความต่อเนื่องกัน อัตราการผุพังสูง หินภูเขาไฟและหินชั้นปรากฏตามบริเวณชายฝั่งด้านทิศตะวันออกและเกาะทางด้านทิศใต้ของจังหวัดตราด หินอัคนีส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตพบมากในเขตจังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดจันทบุรี หินตะกอนพบในบริเวณฝั่งทะเลด้านจังหวัดชลบุรี ซึ่งประกอบด้วยหินดินดาน หินเชิร์ตหินควอร์ตไซต์ และหินปูน เวลาและประวัติสภาพแวดล้อมทำให้หินเปลี่ยนลักษณะและแปรสภาพเป็นหินแปรกรดต่ำ [8] ด้วยลักษณะเด่นของหินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีชั้นหินที่ไม่ต่อเนื่องกันนี้เอง ทำให้หินในบริเวณนี้มีความแปรปรวนสูง ดังนั้นในกรณีที่ใช้หินจากแหล่งเหล่านี้เป็นวัสดุก่อสร้าง ผู้เกี่ยวข้องจึงควรให้ความสนใจความแปรปรวนดังกล่าวที่อาจมีผลต่อการใช้งานด้วย

บทความฉบับนี้รายงานผลการศึกษากายภาพของมวลรวมอัลคาไลน์ซิลิกาที่เป็นผลจากคุณภาพของมวลรวมที่สุ่มจากกลุ่มแหล่งเหมืองหินอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานก่อสร้างซึ่งมีชนิดของหินที่มีแนวโน้มจะเกิดปัญหาได้ โดยสุ่มจากลักษณะหินที่แตกต่างกันบางแหล่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 6 แหล่ง ที่เป็นหินต่างชนิดกันประกอบด้วยหินคัลซิไลต์ (หินแปร) หินแกรนิต (หินอัคนี) หินปูนและหินแกรนัยแคว (หินตะกอน) นำมาศึกษาแนวโน้มการขยายตัวจากปัญหา ASR โดยใช้วิธีทดสอบหลายวิธีควบคู่กัน [9, 10] ประกอบด้วยวิธีดิลาวรรณา (Petrographic Examination) ซึ่งใช้ตรวจสอบโครงสร้างภายในของแร่หรือชิ้นส่วนคอนกรีตจากตัวแทนวัสดุกลุ่มตัวอย่าง การวิเคราะห์

องค์ประกอบทางแร่ด้วยรังสี X (X-ray Diffraction, XRD) การทดสอบการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์และคอนกรีตด้วยวิธีเร่งโดยใช้สารละลาย NaOH ที่อุณหภูมิสูง (Accelerated Mortar Bar Test, AMBT และ Accelerated Concrete Microbar Test, ACMT) การทดสอบการเรืองแสงด้วยยูรานิลอะซิเตทภายใต้แสงยูวี (Uranyl Acetate Gel Fluorescence Test) และการวิเคราะห์ด้วยกล้องขยาย (Microscopic Characteristics Analysis)

ทั้งนี้ผลการศึกษาให้ข้อมูลของวัสดุท้องถิ่นที่ใช้งานจริง และเป็นข้อมูลในลักษณะที่ยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน เพื่อสร้างความตระหนักถึงความเป็นไปได้และแนวโน้มของการเสื่อมสภาพทางเคมีของคอนกรีตที่เกิดจากหินท้องถิ่นซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งที่พบมากทั่วโลก แต่ยังมีรายงานในประเทศไทยจำกัด

2. รายละเอียดการศึกษา

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การสำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

ทำการสุ่มสำรวจแหล่งมวลรวมขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานก่อสร้างในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ได้รับประทานบัตรการจดทะเบียนเป็นโรงโม่หินพื้นที่ดังกล่าวมีแหล่งมวลรวมขนาดใหญ่ที่มีชนิดของหินที่พบจากการศึกษาในต่างประเทศว่ามีปัญหา หรือแนวโน้มการเกิดปัญหาเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกาและทำการรวบรวมตัวอย่างมวลรวมจากการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งมวลรวม จำนวน 6 แหล่ง

2.2 แบบจำลองสัมประสิทธิ์การแพร่คลอไรด์

มวลรวมตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ มาศึกษาดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของมวลรวมด้วยวิธีดิลาวรรณา

เป็นวิธีในการหาแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาของมวลรวมสำหรับใช้ในคอนกรีตหรือเป็นวัตถุดิบสำหรับใช้ในการผลิตมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C 295 และ RILEM AAR-1 [11, 12] โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของมวลรวม ชนิดและองค์ประกอบแร่ที่มีอยู่ในมวลรวมโดยใช้หลายวิธีร่วมกัน ได้แก่

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้หน้าตัดแบบบาง (Thin section) การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยรังสี X (XRD และ XRF) การวิเคราะห์ภาพถ่ายอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) เป็นต้น สำหรับการศึกษาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยรังสี X (XRD และ XRF) หน้าตัดแบบบาง (Thin section) และการวิเคราะห์ด้วยกล้องขยาย

2.2.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยา

วิธีเร่งปฏิกิริยาการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ (AMBT) ทำตามมาตรฐาน ASTM C 1260 และ RILEM AAR-2 [13, 14] ซึ่งเป็นการทดสอบมวลรวมที่มีขนาดคล้อยตามที่กำหนด (มวลรวมที่ย่อยจนมีขนาดเล็กกว่า 4 มม.) ทำการหล่อเป็นแท่งมอร์ตาร์ขนาด 25x25x285 มม. จากนั้นจึงทำการเร่งปฏิกิริยาด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ทำให้แท่งมอร์ตาร์เกิดการขยายตัวในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ (ASTM C 1260 AASHTO T303 และ RILEM AAR-2) ถึง 12 เดือน (ASTM C227)[5]

วิธีเร่งปฏิกิริยาการขยายตัวของแท่งคอนกรีตไมโครบาร์ (ACMT) ตามมาตรฐาน RILEM AAR-5 [15] วิธีนี้พัฒนามาจาก Chinese test สำหรับ Alkali-carbonate reactive aggregates และมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษา ASR ในบางกรณี [16] มีขั้นตอนคล้ายคลึงกับ AMBT แต่แท่งตัวอย่างมีขนาดต่างกันคือ 40x40x160 มม. ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.33 และใช้ระยะเวลาในการเร่ง 28 วันโดยทำการศึกษาหลังจาก AMBT เฉพาะในกลุ่มตัวอย่างที่ผลของ AMBT แสดงแนวโน้มต่อการเกิด ASR

2.2.3 การทดสอบการเรืองแสงด้วยยูรานิลอซีเตทภายใต้แสงยูวี

เป็นวิธีที่ใช้บ่งชี้ผลิตภัณฑ์อัลคาไลน์ซิลิกาเจลที่ได้ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการที่ต้องการความรวดเร็วโดยทดสอบกับผิวตัวอย่างที่สกัดเปิดผิวใหม่แล้วพ่นเคลือบผิวหน้าด้วยสารละลายยูรานิลอซีเตท และตรวจดูการสะท้อนแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต ผลิตภัณฑ์ของ ASR ก่อให้เกิดการเรืองแสงที่สังเกตเห็นได้ [17] หลังจากทดสอบ AMBT แล้วจึงเลือกตัวอย่างเฉพาะในกลุ่มที่พบว่ามีแนวโน้มต่อการเกิด ASR มาทดสอบการตอบสนองต่อยูรานิลอซีเตทเพื่อยืนยันการเกิดขึ้นของ ASR-Gel ต่อไป

2.2.4 การวิเคราะห์ด้วยกล้องขยาย (Microscopic Characteristics Analysis)

เป็นการใช้กล้องขยายกำลังสูงแบบ Digital ตรวจพินิจขึ้นตัวอย่างเพื่อสังเกตและวิเคราะห์ ASR-Gel ที่ขอบหรือในมวลรวม หรือในแมทริกซ์และลักษณะการเกิดรอยร้าวในตัวอย่างหน้าตัดแบบบางจากมอร์ตาร์ และตัวอย่างคอนกรีต

3. ผลการศึกษา

3.1 การสำรวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

แหล่งมวลรวมที่สุ่มสำรวจ 6 แหล่งในภาคตะวันออก ใช้ฐานข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณีเพื่อคัดเลือกขนาดกำลังการผลิตและชนิดหินของแหล่งมวลรวม ที่มีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา โดยเน้นมวลรวมชนิดที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1

จากนั้นนักวิจัยผู้เชี่ยวชาญธรณีวิทยาทำการวิเคราะห์ตัวอย่างและระบุชนิดของมวลรวมด้วยวิธีวิเคราะห์ประกอบกับผลการทดสอบด้วยรังสี X (XRD และ XRF) ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จากผลการตรวจสอบพบว่ามวลรวมกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย หินคัลค์-ซิลิเกต หินแกรนิต หินปูน และหินเกรย์แวค



รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่างมวลรวมและลักษณะตัวอย่างที่เก็บ

ตารางที่ 1 รหัสและชนิดของมวลรวมในการศึกษา

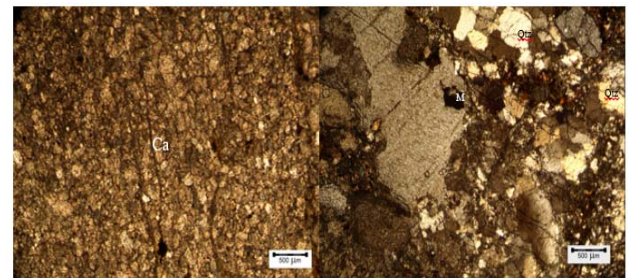
Code	Lithology	Type	
M-CS1	Metamorphic Rock	Calc-silicate	หินคัลล์-ซิลิเกต
I-GN1	Igneous Rock	Granite	หินแกรนิต
I-GN2	Igneous Rock	Granite	หินแกรนิต
S-LS1	Sedimentary Rock	Limestone	หินปูน
S-GW1	Sedimentary Rock	Greywacke	หินเกรย์แวก
S-GW2	Sedimentary Rock	Greywacke	หินเกรย์แวก

3.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของมวลรวมด้วยวิธีศิลาวรรณนา

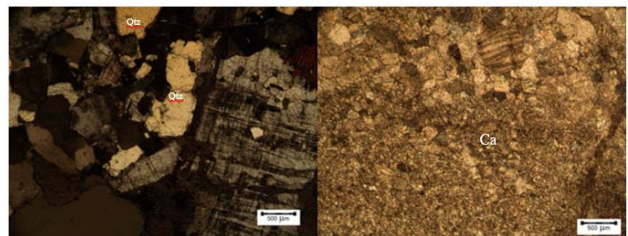
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยรังสี X ในตารางที่ 2 พบว่ามวลรวม M-CS1 เป็นหินคัลล์-ซิลิเกต ที่มีแร่แคลไซต์ (Calcite) มากกว่าร้อยละ 75 เป็นองค์ประกอบหลัก มวลรวม I-GN1 และ I-GN2 (ซึ่งเป็นมวลรวมชนิดเดียวกันและมีที่ตั้งแหล่งอยู่ห่างกันประมาณ 100 กิโลเมตร) เป็นหินแกรนิตที่มีควอตซ์ ไมโครไคลน์ (Quartz Microcline) และ แอลไบท์ (Albite) เป็นองค์ประกอบหลักโดยมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 20-25 ส่วนมวลรวม S-LS1 มีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 44 และมี ควอตซ์ เป็นองค์ประกอบรองร้อยละ 17 ในขณะที่มวลรวม S-GW1 และ S-GW2 (ที่ตั้งแหล่งอยู่ห่างกันประมาณ 60 กิโลเมตร) มี ควอตซ์ ไมโครไคลน์และแอลไบท์ เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมี ควอตซ์และแอลไบท์มากที่สุดคือร้อยละ 27-30 จากผลการวิเคราะห์พบว่าทั้งในกรณีของ หินแกรนิต และหินเกรย์แวกที่อยู่ต่างแหล่งกันมีองค์ประกอบทางแร่คล้ายคลึงกันโดยเฉพาะในส่วนองค์ประกอบหลัก

ส่วนองค์ประกอบทางเคมีนั้น M-CS1 มีแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) เป็นองค์ประกอบหลัก มีค่ามากกว่าร้อยละ 45 ในขณะที่กลุ่มหินแกรนิต I-GN1 and I-GN 2 มีซิลิกา (Silicon dioxide) เป็นองค์ประกอบหลัก (สูงกว่าร้อยละ 69) เช่นเดียวกับหินเกรย์แวก S-GW1 และ S-GW2 ที่มี ซิลิกาสูงที่สุดเช่นกัน (สูงกว่าร้อยละ 57) อย่างไรก็ตามสำหรับหินปูน S-LS2 พบว่ามีองค์ประกอบหลักทั้งซิลิกา(สูงกว่าร้อยละ 30) และแคลเซียมออกไซด์ (สูงกว่าร้อยละ 25)



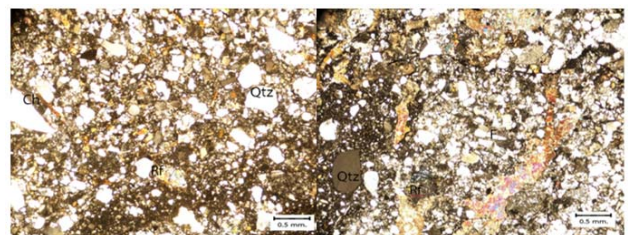
(a) M-CS1

(b) I-GN1



(c) I-GN2

(d) S-LS1



(e) S-GW1

(f) S-GW2

รูปที่ 2 ภาพถ่ายหน้าตัดแบบบาง (Thin section) ของมวลรวม ตัวอย่าง Cross polarization light

(Qtz = Quartz, Ch = Chlorite, Rf= Rock Fragment, Ca= Calcite, F = Feldspar, Bi = Biotite, M = Magnetite)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบด้วยรังสี X

Code		M-CS1	I-GN1	I-GN2	S-LS1	S-GW1	S-GW2
Mineral Composition % (X-ray Diffraction, XRD)							
Calcite		76.3	2.8	0.3	44.1	5.2	12.3
Quartz		2	24	26.2	17.6	30.8	27.6
Dolomite		0.5	-	-	-	-	-
Muscovite		0.7	14.9	10.6	4.7	10.4	16.3
Microcline		5.8	21.7	27.7	13.0	6.2	3.5
Albite		1.6	25.8	26.6	3.2	34.6	27.5
Clinocllore		1.6	6.3	2.7	4.7	11.8	10.6
Diopside		11.2	-	-	7.0	-	-
etc		0.4	4.6	5.9	5.6	1	2.2
Chemical compositions of aggregates % (X-ray Fluorescence, XRF)							
Silicon dioxide	(SiO ₂)	11.65	69.11	69.34	34.24	58.59	57.63
Aluminum oxide	(Al ₂ O ₃)	2.7	15.19	15.23	7.99	14.86	15.33
Iron oxide	(Fe ₂ O ₃)	1.29	2.82	1.76	4.53	7.22	7.37
Calcium oxide	(CaO)	46.26	1.25	2.12	25.94	4.92	5.52
Magnesium oxide	(MgO)	1.15	0.89	0.5	2.25	3.16	3.19
Sodium oxide	(Na ₂ O)	0.18	2.86	3.0	0.42	3.76	2.97
Potassium oxide	(K ₂ O)	0.86	5.45	5.55	2.47	0.93	1.41
Etc.		0.58	0.83	0.56	2.73	1.67	1.22
Loss on Ignition	(LOI)	35.29	1.54	1.87	19.34	4.86	5.31

จากภาพถ่ายหน้าตัดแบบบางและส่องผ่านแผ่นกรองแสงโพลาไรซ์ ในรูปที่ 2 พบว่า M-CS1 (รูปที่ 2 a) เป็นหิน คัลค์-ซิลิเกตที่มีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลัก ผลึกของแร่แคลไซต์กระจายอยู่ทั่วไปในหน้าตัด ในขณะที่ I-GN1 (รูปที่ 2 b) จัดอยู่ในพวกไบโอไทต์แกรนิต (Biotite granite) ประกอบด้วยควอตซ์ที่มีเม็ดแกรนหายา (Coarse grain quartz) กระจายอยู่ทั่วไปและมีเฟลด์สปาร์ (Feldspar) ที่มีความผูกพันสูงจนเกือบเรียกว่าแปรสภาพไปมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม I-GN2 (รูปที่ 2 c) ซึ่งเป็นแกรนิตที่มีควอตซ์ ไมโครไคลน์ (Quartz Microcline) และแอลไบต์เม็ดแกรนหายา (Albite coarse grain) เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วน S-LS1 (รูปที่ 2 d) เป็นหินปูนเม็ดแกรนหายา (Coarse grain limestone) ที่มีแร่แคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลัก พบไมก้าชีสท์ (Mica schist)

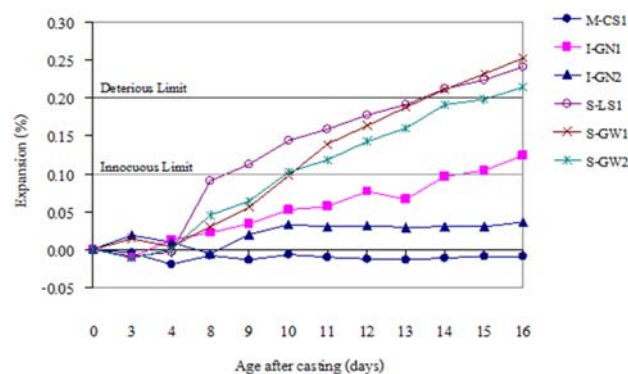
ปะปนจำนวนไม่น้อย และพบควอตซ์คริสโตคริสตัลไลน์ (Cryptocrystalline quartz) ซึ่งจัดเป็นส่วนที่ไวต่อปฏิกิริยา ASR

กลุ่มหินแกรนิต S-GW1 และ S-GW2 เป็นหินที่จัดว่ามีเม็ดแกรนละเอียด ประกอบด้วยแร่หลายชนิดเช่น ควอตซ์ (Quartz) คลอไรท์ (Chlorite) และเศษหินหายา (Rock fragment) ลักษณะการกระจายตัวของแร่องค์ประกอบบ่งชี้การเกิด Turbidite sequences หรือ Slump deposit ในการกำเนิด [17] สำหรับกลุ่ม S-GW1 บางส่วนมีดินเหนียว (Clay) เป็นเมทริกซ์ประมาณร้อยละ 10 สำหรับ S-GW2 (รูปที่ 2 f) เป็นหินแกรนิตที่มีขนาดเม็ดแร่และเศษหินหายา (Coarse grain) มีแร่ควอตซ์เฟลด์สปาร์ เศษหิน และคลอไรท์ กระจายอยู่ทั่วไป จากการ

วิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นบางพบว่าการร่อนของหินสูง รวมถึงมีการเรียงตัวของกลุ่มแร่ดินขาวและกราฟท์ ซึ่งบ่งชี้ถึงผลจากการเคลื่อนที่ของเปลือกโลกที่รู้จักกันในนามของธรณีแปรสัณฐาน (Plate tectonics) ที่พบในพื้นที่บริเวณนี้

3.2.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยา

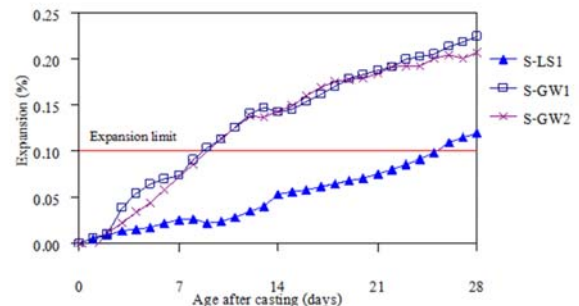
การทดสอบด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยาการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ดังแสดงในรูปที่ 3 มวลรวมตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างใน 6 ตัวอย่างมีการขยายตัวสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดและมีแนวโน้มต่อการเกิด ASR (ASTM C 1260 กำหนด Deleterious limit ไม่เกินร้อยละ 0.20) โดยมีค่าการขยายตัว ที่อายุหลังจากถอดแบบที่ 16 วัน เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ S-GW1, S-LS-1 และ S-GW2 โดยมีค่าการขยายตัวเท่ากับ 0.252, 0.241 และ 0.214 ตามลำดับ ในขณะที่มวลรวม I-GN1 มีค่าการขยายตัวเกินเกินร้อยละ 0.10 ซึ่งเกินเกณฑ์ขั้นต่ำไม่มีแนวโน้ม (Innocuous limit) แต่ไม่ถึงเกณฑ์ที่แสดงแนวโน้มต่อการเกิด ASR ตามข้อแนะนำของ ASTM และจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันแน่ชัดของแนวโน้มด้วยวิธีอื่นเพิ่ม ส่วนกลุ่มตัวอย่างมวลรวมที่ไม่มีแนวโน้มการเกิดปัญหาจาก ASR คือ I-GN2 และ M-CS1 ซึ่งมีการขยายตัวเท่ากับร้อยละ 0.035 และ -0.009 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ผลการทดสอบการขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM C 1260 ที่อายุ 16 วันหลังการหล่อตัวอย่าง

การทดสอบด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยาการขยายตัวของแท่งคอนกรีตไมโครบาร์หลังจากทดสอบด้วยวิธีแท่งมอร์ตาร์บาร์แล้วได้ใช้มวลรวม S-LS-1 S-GW1 และ S-GW2 มาหล่อเป็นแท่งคอนกรีตและทดสอบโดยผลการขยายตัวของแท่งตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4 และใช้ระดับการขยายตัว (Expansion limit) ไม่เกินที่ร้อยละ 0.1 เป็น

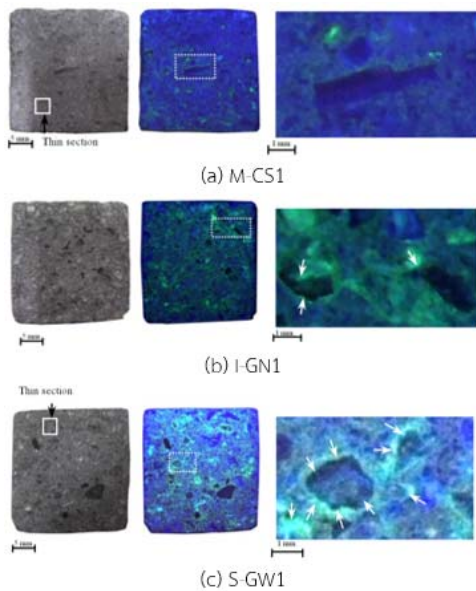
เกณฑ์ในการพิจารณาความเสี่ยงต่อ ASR ตามข้อเสนอประกอบวิธีนี้ที่ใช้ในประเทศจีน อย่างไรก็ตาม RILEM แนะนำให้พิจารณาเกณฑ์จากประสบการณ์การใช้งานมวลรวมในแต่ละพื้นที่ประกอบด้วย [15] ตัวอย่างที่ใช้กลุ่มหินตะกอนที่เลือกมาทั้งหมดมีค่าการขยายตัวสูงกว่าร้อยละ 0.1 (การขยายตัวที่ 28 วันเท่ากับ 0.225, 0.207 และ 0.120 สำหรับ S-GW1, S-GW2 และ S-LS-1 ตามลำดับ) ซึ่งยืนยันการทำปฏิกิริยา ASR ได้สำหรับมวลรวมกลุ่มนี้



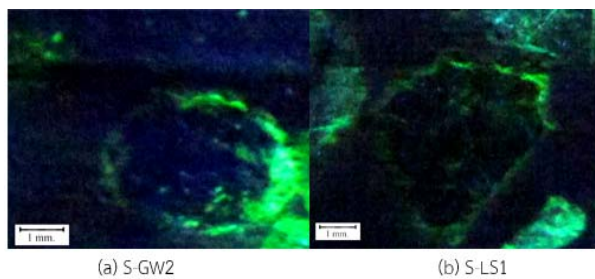
รูปที่ 4 ผลการทดสอบขยายตัวของแท่งคอนกรีตไมโครบาร์ที่อายุ 28 วันหลังการหล่อตัวอย่าง

3.2.3 การทดสอบการเรืองแสงด้วยยูรานิอซีเททภายใต้แสงยูวี

ผลการทดสอบจากชิ้นตัวอย่างจากแท่งมอร์ตาร์ที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 105 วัน สามกลุ่ม กลุ่มละ 1 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างที่ใช้มวลรวม M-CS1 (รูปที่ 5 a) มีการเรืองแสงภายใต้แสงยูวีน้อยมาก ในขณะที่ I-GN1 (รูปที่ 5 b) มีการเรืองแสงบ้างเป็นบางจุด ตัวอย่างมอร์ตาร์ S-GW1 มีการเรืองแสงชัดเจนที่สุดและพบการเรืองแสงกระจายตามแนวขอบของมวลรวมที่เกิดปฏิกิริยา ASR (ASR Reaction Rim) ทั้งทั้งตัวอย่าง (รูปที่ 5 c) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบการขยายตัว ตัวอย่างที่มีการเรืองแสงที่เห็นได้ชัดต่างมีการขยายตัวสูง โดยเฉพาะ S-GW1 มีการขยายตัวสูงที่สุด รองลงมาคือ I-GN1 ในขณะที่ M-CS1 มีการขยายตัวน้อยมากและในกรณีคอนกรีตไมโครบาร์ได้เลือกตัวอย่าง S-GW2 และ S-LS-1 ที่อายุการเร่ง 69 วัน ตรวจสอบการเรืองแสงด้วยเช่นกัน พบการเรืองแสงเกิดขึ้นทั้งสองตัวอย่าง (รูปที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าตรวจสอบเจลเรืองแสงให้ผลสอดคล้องกับวิธีอื่นและสามารถใช้เป็นวิธีคัดกรองเบื้องต้นได้ [2]



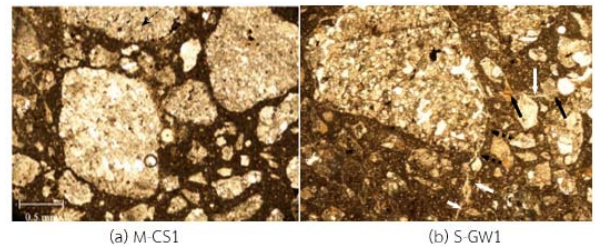
รูปที่ 5 ผลการทดสอบการขยายตัวตามมาตรฐาน ASTM C 1260 ที่อายุ 16 วันหลังการหล่อตัวอย่าง



รูปที่ 6 การทดสอบโดยวิธีตรวจสอบด้วยยูรานิอซีเตทภายใต้แสงยูวีของแท่งคอนกรีตไมโครบาร์

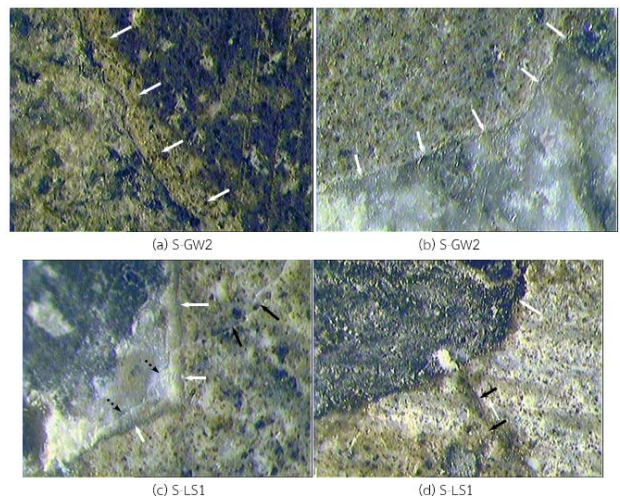
3.2.4 การวิเคราะห์ด้วยกล้องขยาย

การตรวจสอบหน้าตัดแบบบาง จากตัวอย่างมอร์ตาร์ในรูปที่ 7 สำหรับมวลรวม M-CS1 (รูปที่ 7 a) ไม่พบแนวปฏิกิริยา ASR เกิดขึ้นและไม่มียรอยแตกร้าวในชิ้นตัวอย่าง ในขณะที่ S-GW1 (รูปที่ 7 b) พบแนว ASR gel ตามบริเวณขอบของมวลรวม (ลูกศรเส้นประสีเข้ม) และรอยแตกร้าวตามแนว ASR gel ขยายเข้าไปในบริเวณเมทริกซ์ (Matrix) ของมอร์ตาร์ (ลูกศรสีขา) และรอยแตกร้าวตามแนว ASR gel ที่ลึกเข้าไปในตัวมวลรวมเอง (ลูกศรสีเข้ม) สอดคล้องกับผลการทดสอบก่อนหน้านี้ทั้งการขยายตัวและการเรืองแสงของยูรานิอซีเตทภายใต้แสงยูวี



รูปที่ 7 การทดสอบภาพถ่ายหน้าตัดแบบบางและผ่านแผ่นกรองแสงโพลาไรซ์ของตัวอย่างมอร์ตาร์

การวิเคราะห์ด้วยกล้องขยาย ในกรณีแท่งคอนกรีตไมโครบาร์ได้เลือกตัวอย่าง S-GW2 และ S-LS-1 พบการเกิด ASR gel ตามบริเวณขอบของมวลรวม (Aggregate's rim) ภายในมวลรวม และบริเวณเมทริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 8 ทั้งสองตัวอย่าง



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ด้วยกล้องขยายของแท่งคอนกรีตไมโครบาร์ แสดงให้เห็นรอยแตกร้าวขนาดเล็ก (microcracks) ในบริเวณผิวสัมผัส (ลูกศรสีเข้ม) ในมวลรวม (ลูกศรเส้นประ) และแนวการก่อตัวของ ASR Gel ที่ผิวสัมผัสของมวลรวม (ลูกศรสีอ่อน)

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาแนวโน้มการเกิด ASR จากการสุ่มสำรวจแหล่งมวลรวมในภาคตะวันออก สรุปผลได้ดังนี้

การวิเคราะห์คุณสมบัติของมวลรวมด้วยวิธีศิลาวรรณา (Petrography) สรุปได้ว่ามวลรวมตัวอย่าง หินคัลค์-ซิลิเกตมี แร่แคลไซต์ และควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก ในขณะที่หินแกรนิต และหินแกรนิตควมมี แร่ควอตซ์และกลุ่มแร่เฟลสปาร์ เป็นองค์ประกอบหลัก แต่หินแกรนิตควมมี แร่ควอตซ์ และเศษหินเป็นองค์ประกอบมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าหินชนิดเดียวกันที่อยู่ต่างแหล่งกันก็มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกันทั้งในกรณีองค์ประกอบทางแร่ และองค์ประกอบทางเคมี

การทดสอบด้วยวิธีเร่งปฏิกิริยาการขยายตัว แสดงว่ามวลรวมตัวอย่างหินตะกอนทั้งหมดจากตัวอย่างที่สุ่มมา มีการขยายตัวมากกว่ามาตรฐานกำหนดและมีแนวโน้มต่อการเกิด ASR

การทดสอบการเรืองแสงด้วยยูรานิลอซีเตภายใต้แสงยูวี แสดงว่าตัวอย่างที่มีการขยายตัวสูง มีการเรืองแสงที่เห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการขยายตัวต่ำซึ่ง สอดคล้องกับผลการทดสอบหน้าตัดแบบบางที่มีมวลรวมที่มีการขยายตัวสูงและพบ Reaction Rim อยู่ตามบริเวณขอบของมวลรวม รอยแตกกว้างใน Matrix และรอยแตกกว้างในตัวมวลรวมบางส่วน

การศึกษานี้เป็นการรายงานสิ่งที่ตรวจพบจากจำนวนชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มสำรวจจึงมีความจำกัดทั้งจำนวน และขอบเขตการทดสอบ แต่ผลการศึกษายืนยันความเป็นไปได้และแนวโน้มของการเสื่อมสภาพทางเคมีของคอนกรีตที่เกิดจากหินท้องถิ่นหลายแหล่ง ดังนั้นการศึกษาต่อไปในรายละเอียดที่ครอบคลุมมากขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้นผลการวิจัยนี้เป็นการสร้างความตระหนักต่อผู้เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศ ถึงการเสื่อมสภาพจาก ASR ซึ่งพบมากทั่วโลก แต่ยังมีรายงานในประเทศไทยจำกัด

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษานี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และได้รับความสนับสนุนด้านการวิเคราะห์และการเตรียมตัวอย่างบางส่วนจาก บริษัท สยามวิจัยและพัฒนา จำกัด และบุคลากรของบริษัทโดยเฉพาะคุณปณณมาน

นรรัตน์ คุณธนตร กิ่งรางสาต และคุณวรวิทย์ กุณยานัย ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวิมล สัจจาณชัย, ปิยะ โชติกไกร, โรจนกร กันตพงษ์ และ มนสิข สาริกฤติ. 2553. ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการขยายตัวและปรากฏการณ์ของ ASR. *วารสารวิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา*, ปีที่ 21 ฉบับที่ 2.
- [2] Sujavanich, S., W. I. Krit, W. Wongkamjan and P. Dararutana. 2012. The Application of Fluoresced Gel for the First Alkali Silica Reaction Evidence in Thailand, *Advanced Materials Research*. pp. 613-616.
- [3] Saengsoy, W., L. Baingam, P. Choktaweekarn and S. Tangtermsirikul. (2012, Oct.25-27, 2013). Diagnosing Alkali Silica Reaction and Delayed Ettringite Formation in Mass Concrete Structures: A Case Study. *Paper presented at the The 5 th International conference of Asian Concrete Federation*, PattayaChonburi Thailand.
- [4] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2553. ข้อมูลอุตสาหกรรมพื้นฐานและข้อมูลแร่. Available Source: <http://www.dpim.go.th/datacenter>
- [5] Swamy, R.N., 1992. pp. In Eds. The Alkali-Silica Reaction in Concrete. *Taylor & Francis e-Library*.
- [6] Crucq, P., 2005. Development of a Method to Measure the Mechanical Behavior of ASR Gels Part I: *Literature Study; Alkali-Silica Reaction, Causes, Effects and Prevention*. 55.
- [7] กรมทรัพยากรธรณี. 2553. ธรณีวิทยาประเทศไทย. Available Source: http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr_web/main.php?filename=index_geo
- [8] กรมทรัพยากรธรณี. 2553. ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. Available Source: http://www.dmr.go.th/main.php?filename=east_geo#
- [9] ACI Committee 221, State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity, ACI 221-1R-98, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI, 1998, 31 pp.

- [10] Sims, I. and P. Nixon. 2003. RILEM Recommended Test Method AAR-0: Detection of Alkali-Reactivity Potential in Concrete - Outline Guide to the Use of Rilem Methods. *In Assessments of Aggregates for Potential Alkali-Reactivity*. 36 (261): 472-479.
- [11] ASTM. 2004. ASTM C 295-2003, Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, *in Eds. Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02. ASTM designation.
- [12] Sims, I. and P. Nixon. 2003. Rilem Recommended Test Method AAR-1: Detection of Potential Alkali-Reactivity of Aggregates - Petrographic Method. *Materials and Structures*, 36(7), 480-496.
- [13] ASTM. 2004. ASTM C 1260-2001, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), *in Eds. Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02. ASTM designation.
- [14] RILEM Recommended Test Method AAR-2 (formerly TC-106-2) (2000): Detection of Potential Alkali-Reactivity of Aggregates: A - The Ultra-accelerated Mortar-bar Test. *Materials & Structures* (33): 283-289. (Complete revised edition in preparation).
- [15] Sommer H. I., P. J. Nixon and I. Sims (2005) AAR-5: Rapid preliminary screening test for carbonate aggregates. *Materials & Structures* (38): 787-792.
- [16] Grattan-Bellew PE, Cybanski G, Fournier B, Mitchell L. Proposed Universal Accelerated Test for Alkali-Aggregate Reaction the Concrete Microbar Test. *Cement, Concrete and Aggregates* 2003;25(2):29-34.
- [17] ASTM. 2004. ASTM C 856-2004, Standard Guide Petrographic Examination of Hardened Concrete, *in Eds. Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02. ASTM designation.
- [18] Tucker M.E., 2001. Sedimentary petrology (3rd ed.), *Blackwell Science*, Oxford UK, 262 pages.