

ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการขยายตัวและปรากฏการณ์ของ ASR

The Relationship of Expansion Behavior and ASR Evidence

สุวิมล สัจจาณิชย์,¹ ปิยะ โชติกไกร,¹ โรจนกร กันตพงษ์² และมนสิข สาริกฤติ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

โทร. 02-5794575 โทรสาร 02-5797565

E-mail: fengsusa@ku.ac.th, fengpyc@ku.ac.th

²บริษัท สยามวิจัยและพัฒนา จำกัด 51 หมู่ 8 ทับทิมทอง แขวงคลองจั่น 18260

โทร. 66-36 273 152-63 โทรสาร 66-36 273 151

E-mail: rojanagg@scg.co.th, manasits@scg.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาปรากฏการณ์ของ ASR และพฤติกรรมการขยายตัวจากสถานะแรงของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตที่สุ่มเจาะจากโครงสร้างจริง โดยเป็นข้อมูลในประเทศที่ยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน เพื่อให้เกิดความตระหนักถึงพฤติกรรมและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่องานคอนกรีต การศึกษานี้ใช้วิธีคัดกรองอย่างง่าย ด้วย Uranyl acetate และแสง Ultraviolet และทดสอบการเร่งการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตที่มีแนวโน้มของ ASR ด้วยน้ำอุ่นและสารละลาย NaOH ที่อุณหภูมิสูง ผลการศึกษาพบแนวโน้มของ ASR Gel ทั้งบริเวณขอบโดยรอบมวลรวมและภายในรอยแตกร้าวมวลรวมโดยปริมาณมวลรวมที่พบมีความผันแปรต่างกัน ซึ่งอาจมีผลต่ออัตราการขยายตัวของโครงสร้างโดยรวมต่างกัน ผลการเร่งการขยายตัวด้วยน้ำอุ่น 38°C พบว่าตัวอย่างจำนวนหนึ่ง มีการขยายตัวที่ชัดเจนและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อเนื่อง ค่าการขยายตัวสูงสุดจากการเร่งการขยายตัวด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 M มีค่า 0.23% ที่อายุการแช่ 64 วัน จากข้อจำกัดด้านจำนวนของชิ้นตัวอย่างและขอบเขตการทดสอบ ทำให้การศึกษาต่อไปรายละเอียดที่ครอบคลุมมากขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการระบุสาเหตุความเสียหายที่ชัดเจน

Abstract

This paper reports the ASR evidence and expansion behavior of cored samples from the existing structure. This is aimed to provide the local information that has not been reported before, and to evoke the public recognition of ASR behavior and its damage to concrete structures. The simple technique to identify ASR evidence by using uranyl acetate and UV light was employed, accompanied with the accelerated expansion test, using warm water 38 °C and NaOH solution under high temperature. The ASR gel was abundantly found at the aggregate's rim as well as in cracks, but the variation of the evidence for different samples was also found. This may affect the different rate of expansion. The warm water test results confirmed the evidence of expansion in some samples and its continued trend. The maximum expansion under high temperature NaOH solution of 0.23% was reported at the age of 64 days. However, under the limited number of sample and scope of study, the results indicate the need of further investigation to accurately predict the cause of structure's deterioration.

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันว่า Alkali Silica Reaction (ASR) เป็นการเสื่อมสภาพของคอนกรีตที่เกิดจากด่าง (Alkali) ในซีเมนต์ โดยเฉพาะไฮดรอกซิลไอออน ทำปฏิกิริยากับแร่ซิลิกาบางชนิดในมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมี และเกิดเป็น ASR Gel ที่มีคุณสมบัติดูดน้ำและขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวในภายหลัง [1] ปฏิกิริยานี้เป็นไปอย่างช้าๆ โดยปกติใช้เวลานาน อาจกินเวลาถึง 5 – 15 ปี ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมลักษณะของมวลรวม และปริมาณอัลคาไลน์ในซีเมนต์ โดยเฉพาะโซเดียมและโพแทสเซียม เนื่องจากปริมาณและความเข้มข้นของโซเดียมและโพแทสเซียมในปูนซีเมนต์เป็นตัวควบคุมหรือส่งผลกระทบต่อไฮดรอกซิลไอออนเป็นหลัก[2]

เกือบทั่วโลก มีรายงานการเสื่อมสภาพของโครงสร้างหรือสาธารณูปโภคเนื่องจาก ASR นับตั้งแต่ปี ค.ศ.1940 [3] แต่ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานอย่างเป็นทางการถึงการเสื่อมสภาพจาก ASR ทั้งนี้อาจอธิบายเหตุผลได้ว่ามวลรวมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศมักเป็นหินปูนคุณภาพดี ซึ่งไม่มีรายงานปัญหา ASR มาก่อน แม้จะมีแหล่งหินอุตสาหกรรมในประเทศ ประมาณร้อยละ 15 ที่เป็นหินประเภทอื่นๆ ซึ่งอาจมีปัญหาในด้าน ASR [4] บ้าง เช่น หินแกรนิต บะซอลต์ ควอตซ์ แอนดิไซด์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สำหรับโครงการขนาดใหญ่ที่มักใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ผู้ผลิตคอนกรีตรายใหญ่ก็จะมีกระบวนการคัดกรองแหล่งหินก่อนเพื่อเลี่ยงจากการใช้แหล่งหินที่มีปัญหา และหากเป็นโครงการขนาดเล็กก็มักมีการติดตามการเสื่อมสภาพก่อนข้างจำกัด

อย่างไรก็ดีในปัจจุบันปริมาณของแหล่งวัสดุที่มีคุณภาพดีเริ่มมีข้อจำกัด และงานก่อสร้างบางส่วนอาจต้องใช้แหล่งหินที่มีคุณภาพด้อยลงหรือมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของคอนกรีตมากขึ้น ทำให้หัวข้อ ASR ซึ่งจัดเป็นการเสื่อมสภาพทางเคมีลักษณะหนึ่ง จำเป็นต้องได้รับความสนใจจากผู้เกี่ยวข้องมากขึ้นกว่าในอดีต เนื่องจากเริ่มพบปรากฏการณ์นี้ในประเทศไทยแล้ว

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาปรากฏการณ์ของ ASR ที่ตรวจพบจากชิ้นตัวอย่างคอนกรีตจำนวนหนึ่งที่สุ่มเจามา

จากโครงสร้างจริงและพฤติกรรมการขยายตัวจากสภาวะเร่งเพื่อให้ข้อมูลที่เป็นข้อมูลในประเทศและให้เกิดความตระหนักถึงพฤติกรรม และความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่องานคอนกรีต โดยเฉพาะในงานที่อาจต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง

1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ของ ASR โดยใช้วิธีอย่างง่าย [5]
2. เพื่อศึกษาการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตที่มีแนวโน้มปรากฏการณ์ของ ASR

1.2 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นจากชิ้นตัวอย่างจริงที่มีจำนวนจำกัด โดยการทดสอบคัดกรองเบื้องต้นด้วย Uranyl acetate และแสง Ultraviolet (UV) ตลอดจนการเร่งการขยายตัวด้วยน้ำอุ่น และสารละลาย NaOH ที่อุณหภูมิสูง

1.3 ความสำคัญของการศึกษา

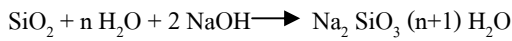
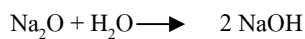
การศึกษานี้จะให้ข้อมูลจริงในประเทศและสร้างความตระหนักถึงพฤติกรรมของการเสื่อมสภาพทางเคมีลักษณะหนึ่งที่พบกันมากทั่วไป แต่ยังไม่มีรายงานในประเทศไทย

2. Alkali Silica Reaction (ASR)

ASR เป็นการเสื่อมสภาพที่เกิดอย่างช้าๆ โดยปกติใช้เวลานานกว่าจะตรวจพบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสามประการคือ ลักษณะของหิน ปริมาณอัลคาไลน์ในซีเมนต์ และความชื้น ASR นี้เป็นการเสื่อมสภาพจากมวลรวมที่พบมากที่สุด จาก 3 ประเภท [6] คือ 1) Alkali Silica Reaction (ASR) 2) Slow/late Expanding Alkali Silicate Reaction (SLASSR) หรือที่เรียกว่า Alkali Silicate Reaction และ 3) Alkali Carbonate Reaction (ACR) ซึ่งประเภทนี้เกิดจากหินปูนบางชนิด และมีการพบการเสื่อมสภาพกรณีนี้้น้อย

Alkali Silica Gel ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางเคมีของ Alkali ซึ่งละลายปนอยู่ใน Pore water ซึ่งส่วนใหญ่มีมาจากซีเมนต์ และแร่ซิลิกา จากมวลรวม ตามสมการข้างล่าง [1] โดยอาจเกิดอยู่ในช่องว่างในเนื้อคอนกรีต หรืออาจอยู่

ตามขอบของมวลรวม และจะดูดซับความชื้นและขยายตัว ทำให้เกิดรอยแตกกว้างได้หากอยู่ในช่องว่างที่จำกัด



องค์ประกอบทางเคมีของ ASR Gel ซับซึ้นและผันแปรมาก แม้จะมีความพยายามจำแนกองค์ประกอบด้วยการวิเคราะห์ด้วย x-ray microanalysis ก็ตาม [7]

3. ลักษณะโครงสร้าง

โครงสร้างจริงเป็นคอนกรีตผลึกที่มีข้อมูลเบื้องต้นค่อนข้างจำกัด การแตกร้าวที่ตรวจพบบางส่วนเป็นรอยร้าวเก่า ซึ่งจากการตรวจสอบขึ้นต้นถึงปริมาณรอยร้าวและรูปแบบตลอดจนลักษณะรอยร้าว และการรายงานเบื้องต้นถึงระยะเวลาที่เริ่มตรวจพบรอยร้าว ประกอบกับขนาดขององค์อาคารที่ค่อนข้างใหญ่ ซึ่งอาจมีปัญหาเรื่องความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สะสมได้ ทำให้การประเมินความเห็นจากการตรวจสอบเบื้องต้นพุ่งประเด็นไปที่การยึดรั้งทางปริมาตร และ Thermal Cracking เป็นสาเหตุหลัก อย่างไรก็ตามเมื่อมีการทดลองซ่อมรอยร้าวด้วยการเกราที่อ็อพอกซี โดยมีการควบคุมวิธีการทำงานในภาวะเกิดรอยร้าวกว้างสุดอย่างระมัดระวังแล้ว แต่ก็ยังพบการขยายตัวเพิ่มขึ้นและการเกิดรอยร้าวใหม่

4. รายละเอียดการศึกษา

รายละเอียดการศึกษาในรายงานฉบับนี้ประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังนี้

1. การเจาะแท่งตัวอย่าง 3 ชิ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มม. ยาว 500 มม. โดย 2 ชิ้น สุ่มจากโครงสร้างเดียวกัน โดยตัวอย่างทั้งหมดสุ่มมาจากโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียงซึ่งมีปัญหาและมีรูปแบบรอยร้าวลักษณะเดียวกันกับโครงสร้างที่ซ่อมและตรวจพบการขยายตัว โดยทำการสุ่มเจาะขึ้นตัวอย่างจากบริเวณที่ไม่ปรากฏรอยร้าว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบขึ้นตัวอย่างในด้านการเสื่อมสภาพทางเคมี โดยพุ่งประเด็นไปที่กลไกการเสื่อมสภาพทางเคมี ในกรณี ASR เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยไม่จำกัดระยะเวลา และให้ผลลัพธ์ในการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเมื่อมีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง

2. การทดสอบคัดกรองด้วยสารละลาย Uranyl acetate และแสง UV ใช้วิธีที่ ASTM 8 56-04 (Annex) [7] และนำโดยตัดผ่านขึ้นตัวอย่างในข้อ 1. เป็นชิ้นบาง หนาประมาณ 0.8 – 1 ซม. ที่ระดับประมาณ 5 ซม. จากผิวบน เพื่อพ่นด้วยสารละลาย Uranyl Acetate และทิ้งไว้ให้ดูดซับประมาณ 1 นาที แล้วใช้น้ำกลั่นชะล้างออก แล้วนำไปส่องดูภายใต้แสง Ultraviolet (UV) ซึ่งเป็นแสงคลื่นสั้น มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ภายในบริเวณที่มีด ขึ้นตัวอย่าง A และ B มาจากโครงสร้างเดียวกัน ขึ้นตัวอย่าง C มาจากโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียงกัน

นอกเหนือจากขึ้นตัวอย่างข้างต้นแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้นำขึ้นตัวอย่างเดิม D จากโครงสร้างในกลุ่มเดียวกัน มาผ่านเป็นแผ่นบาง โดยใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างและตรวจสอบเช่นเดียวกัน

3. การทดสอบการเร่งการขยายตัวด้วยน้ำอุ่น 38 °C และสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 M ที่อุณหภูมิ 80 °C โดยแช่ตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มม. ยาว 150 มม. ทั้ง หดในน้ำ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 38 °C ก่อนจะนำมาวัดความยาวเริ่มต้นทั้งหมดเพื่อการอ้างอิง จากนั้นนำแท่งตัวอย่างมาทดสอบเร่งการขยายตัวใน 2 ลักษณะ คือ แช่น้ำอุ่น และแช่ในสารละลาย NaOH ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิจนถึงช่วงเวลาทดสอบ ในการวัดการขยายตัวใช้อุปกรณ์วัด Comparator วัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะจนมีอายุ 112 วันและ 64 วัน ตามลำดับ

5. ผลการศึกษา

ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

5.1. ผลการตรวจสอบคัดกรองเบื้องต้นด้วย Uranyl Acetate

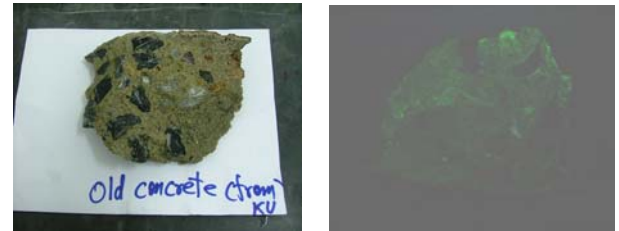
ก่อนการทดลอง ได้ตรวจสอบขึ้นตัวอย่างที่เก็บมาจากคอนกรีตเก่า อายุเกิน 40 ปี และขึ้นตัวอย่างอายุ 60 วัน ทั้งสองตัวอย่างใช้มวลรวมหินปูนและไม่มีปัญหา ASR เมื่อพ่นด้วยสารละลาย Uranyl Acetate และตรวจสอบภายใต้แสง UV จะมองไม่เห็นส่วนเรืองแสงจากมวลรวม (รูปที่ 1ก และ ข รูปซ้าย) แต่เมื่อใช้กระบวนการเดียวกันกับขึ้นตัวอย่างที่

ศึกษา A, B, C และ D พบว่าตัวอย่างจากแท่งตัวอย่างที่เจาะใหม่จากโครงสร้าง 2 โครงสร้าง 2 ชั้นใน 3 ชั้น (A, B) มีการสะท้อนแสง UV เห็นเป็นขอบ (rim) เรืองแสงสีเขียวเหลืองชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1 ข (รูปขาว) และรูปที่ 2 เช่นเดียวกับรูปที่ 4 ซึ่งเป็นผลของชั้นตัวอย่าง D จากกลุ่มโครงสร้างเดียวกัน ซึ่งต่างจากชั้นตัวอย่าง C (รูปที่ 3) ขอบเรืองแสงสีเขียวเหลืองแสดงถึง ASR Gel ที่ถูก ไอออนของ Uranyl (UO_2^{+2}) เข้าไปแทนที่อัลคาไลน์ไอออนใน Gel และเรืองแสงภายใต้แสง UV

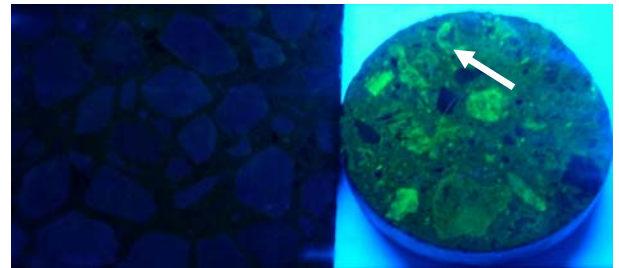
รูปที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบคอนกรีตที่ไม่มีปัญหา (รูป ก ข ซ้าย) กับชั้นตัวอย่าง A ที่มีปัญหา (รูป ข ขวา) และชั้นตัวอย่างที่มีการรายงาน ASR ในรูป ค [8] ในรูปที่ 2 และ 3 ลูกศรที่บ่งชี้แสดงถึง ASR Gel ที่หนาแน่นเป็นขอบ โดยรอบก้อนมวลรวมหยาบ บางก้อนมี ASR Gel ตกค้าง ดังแสดงด้วยลูกศรประในรูปที่ 2 แสดงถึง ASR Gel ที่หนาแน่นเป็นบางบริเวณใกล้มวลรวมหยาบ

สำหรับชั้นตัวอย่าง A, B และ C ขอบของมวลรวมบางก้อนเรืองแสงเป็นขอบชัดเจน ดังแสดงด้วยลูกศรทึบในรูปที่ 2 และ 3 แม้ว่าภายใต้แสงสว่างปกติจะมีได้แสดงลักษณะที่แตกต่างให้เห็นเลย ชั้นตัวอย่าง B ในรูปที่ 2 ยังปรากฏแนวเรืองแสงในบริเวณรอยแตกของหิน ซึ่งแสดงแนวด้วยลูกศรประเส้นบาง ซึ่งแสดงการสะสม ASR Gel และอาจมีผลจากการแตกร้าวจากการขยายตัวของ Gel สำหรับแผ่นตัวอย่างที่ตัดจากชั้นตัวอย่าง B ในรูปที่ 2 แสดงปัญหา ASR แม้ว่า มวลรวมหยาบจะมีได้ปรากฏขอบเรืองแสงทั้งหมด แต่ส่วนที่ปรากฏมีปริมาณค่อนข้างมาก ต่างจากกรณีชั้นตัวอย่าง C ในรูปที่ 3 แม้ว่าชั้นตัวอย่าง C จะเห็นขอบเฉพาะบางตำแหน่งดังแสดงด้วยลูกศรทึบ และเห็นการสะท้อนแสงของมวลรวมทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจำนวนมาก ซึ่งอาจอธิบายได้ว่ามีหินที่มีแร่บางชนิดเช่นแคลไซต์ ที่อาจเรืองแสงได้ภายใต้แสง UV เช่นกัน และอาจเป็นไปได้มากกว่ามวลรวมละเอียด บางส่วนมีการปนเปื้อนจากส่วนละเอียดของมวลรวมหยาบที่อาจมีปัญหาเช่นกัน ในรูปที่ 4 ขอบของมวลรวมบางก้อนเรืองแสงเป็นขอบชัดเจน ดังแสดงด้วยลูกศรทึบเช่นกัน แนวเรืองแสงจำนวนมากยังปรากฏในบางบริเวณซึ่ง

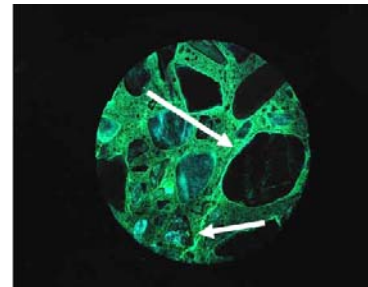
แสดงด้วยลูกศรประ เช่นเดียวกับในรูปที่ 2 ซึ่งอาจแสดงถึงความเข้มข้นของ ASR Gel ในบริเวณนั้น



(ก) คอนกรีตเก่า (40ปี) ภายใต้แสงปกติและแสง UV

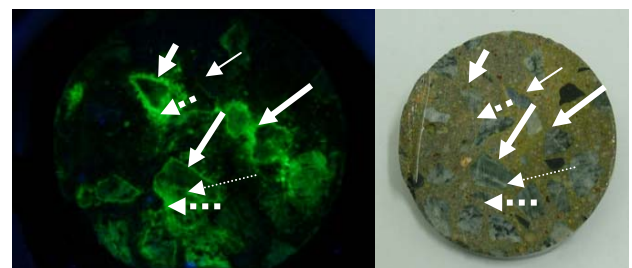


(ข) คอนกรีตเก่า (60 วัน) และคอนกรีตตัวอย่าง A ที่มี
การปนเปื้อน ASR ภายใต้แสง UV

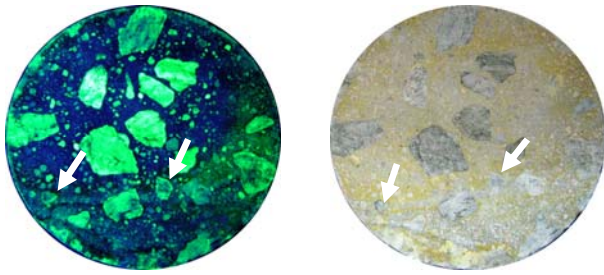


(ค) ตัวอย่างที่มีการรายงานไว้ [8] (ลูกศรแสดงขอบ ASR)

รูปที่ 1 การเปรียบเทียบภาพชิ้นส่วนคอนกรีตเก่า คอนกรีตใหม่ และคอนกรีตที่มีการปนเปื้อน ASR



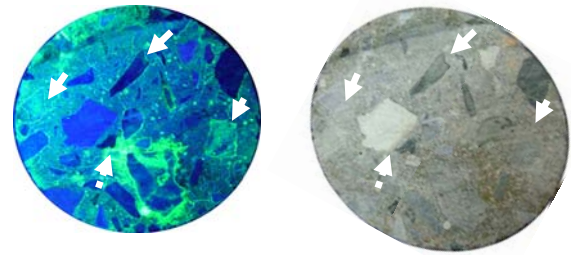
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบชิ้นส่วน B ภายใต้แสง UV และภายใต้แสงปกติ



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบชิ้นส่วน C ภายใต้แสง UV และภายใต้แสงปกติ

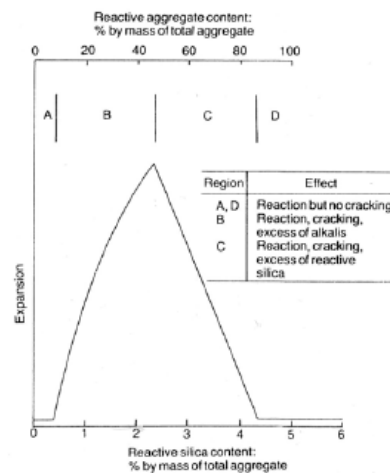
จากรูปที่ 1, 2, 3 และ 4 จะเห็นว่าชิ้นตัวอย่างจากโครงสร้างส่วนที่สุ่มมาศึกษา มวลรวมที่ใช้อาจมีการปนเปื้อนของมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาโดยปริมาณการปนเปื้อน และปรากฏการณ์ ASR Gel ในแต่ละชิ้นตัวอย่างมีความแตกต่างกันไปและเป็นการยากที่จะระบุปริมาณที่แน่นอนได้ เพราะมวลรวมบางชิ้นก็มิได้แสดงขอบสะท้อนแสงดังเช่นลูกศรเส้นบางในรูปที่ 2 การจะระบุปริมาณการปนเปื้อนของมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาและทำให้เกิด ASR Gel ซึ่งมีผลต่อการขยายตัวและการแตกร้าวทำได้ยากและเป็นปัญหาซับซ้อน [6] เพราะมีรายงานการศึกษาพบว่าแม้แต่มวลรวมที่มีศักยภาพที่จะเกิดปัญหา ASR ก็อาจไม่เกิดปัญหาหรือเกิดปัญหาในระดับที่ไม่เกิดความเสียหาย แสดงว่าการปนเปื้อนของมวลรวมด้วยมวลรวมแร่ซิลิกาที่ไวต่อปฏิกิริยา หากมีจำนวนน้อยหรือมากเกินไปก็ไม่ทำให้เกิดปัญหา ASR ซึ่งจำนวนที่เหมาะสม หรือ Pessimism Content นี้แสดงในรูปที่ 5 [6] อย่างไรก็ตาม Pessimism Content ของมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยานี้ได้จากการศึกษาที่ควบคุมระดับอัลคาไลน์คงที่ ดังนั้นหากมีมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาน้อยอัลคาไลน์ที่มีอยู่ก็จะมีได้ทำปฏิกิริยาทั้งหมด หากมีมวลรวมที่มีปัญหามากเกินไปการเกิดปฏิกิริยาจะตกลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ปริมาณอัลคาไลน์ในคอนกรีตอาจมีได้คงที่เสมอไป อาจกล่าวได้ว่าปฏิกิริยา ASR นั้นขึ้นกับทั้งปริมาณอัลคาไลน์ ปริมาณมวลรวม และขึ้นกับการเคลื่อนย้ายของของเหลวในช่องว่าง (Pore fluid) ซึ่งขึ้นกับความพรุนและความชื้นได้ของคอนกรีต ซึ่งสัมพันธ์กับ w/b โดยตรงซึ่งทำให้ปฏิกิริยา

ASR และปรากฏการณ์การเสื่อมสภาพมีความซับซ้อนในกลไกยิ่งขึ้น



(ก) ภายใต้แสง UV (ข) ภายใต้แสงปกติ

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบชิ้นส่วน D ภายใต้แสงปกติ และภายใต้แสง UV



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบ Pessimism Content ของปริมาณมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยา ASR [6]

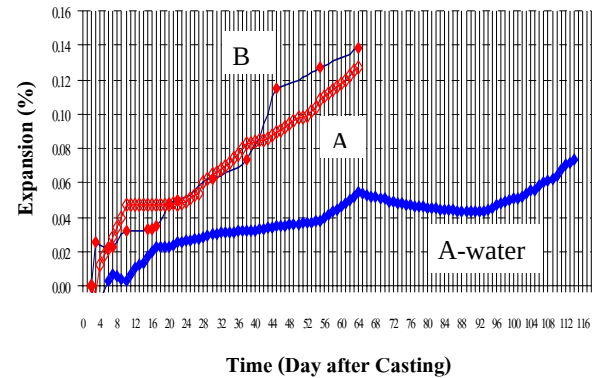
อาจกล่าวโดยสรุปว่า จากการตรวจสอบคัดกรองเบื้องต้นด้วย Uranyl Acetate พบการเรืองแสงของ ASR Gel รอบมวลรวม และภายในรอยแตกของมวลรวม 3 ตัวอย่างในระดับต่างกัน ซึ่งแสดงแนวโน้มที่จะมีปัญหา ASR ในชิ้นตัวอย่าง แม้ว่าปริมาณความเสียหายและปริมาณมวลรวมที่มีปัญหาไม่อาจระบุได้เนื่องจากการสุ่มตัวอย่าง และต้องทำการตรวจสอบวิธีอื่นเพื่อยืนยัน

5.2. การทดสอบการขยายตัว

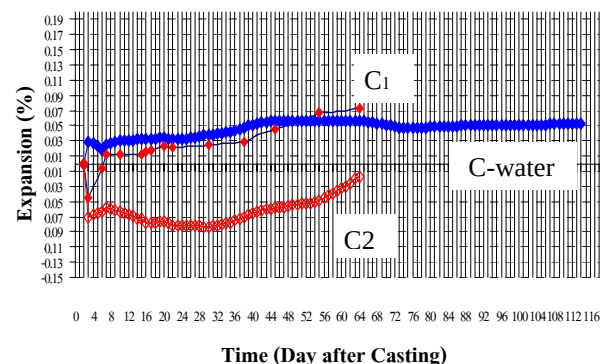
5.2.1. ผลการทดสอบการเร่งการขยายตัวโดยการแช่ขึ้นตัวอย่างในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ แสดงด้วยเส้นประและเครื่องหมาย $\diamond$ สีน้ำเงิน ในรูปที่ 6 และ 7 สำหรับตัวอย่างที่ A และ C โดยมีค่าที่วัดที่ระยะเวลาแช่ 112 วัน 0.08% และ 0.06% ตามลำดับ ตัวอย่าง A แสดงพฤติกรรมแสดงการขยายตัวเพิ่มขึ้นตามเวลาชัดเจน และแสดงแนวโน้มที่จะขยายตัวเพิ่มขึ้นต่อเนื่องเมื่อเวลานานขึ้นตามความลาดชันในทางบวก แม้เมื่อระยะเวลาผ่านไปกว่า 3 เดือน สำหรับตัวอย่าง C ความลาดชันค่อนข้างคงที่

การเร่งการขยายตัวด้วยน้ำภายใต้ภาวะอุณหภูมิ $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ อาจใกล้เคียงกับสภาวะในสนามมากที่สุด จึงอาจใช้เป็นแนวทางในการคาดการณ์พฤติกรรมของการขยายตัวได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ค่าจริงของการขยายตัวอาจต่ำกว่าในสนามได้เนื่องจากอุณหภูมิภายในเนื้อคอนกรีตอาจต่ำกว่า $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ ขณะเดียวกันยังมีปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการขยายตัว เช่น ปริมาณเกลือ (Cl^-) ที่อาจต่างไปจากกรณีทดสอบ ซึ่งหากมีการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อม และซึมเข้าในเนื้อคอนกรีต อาจมีผลต่อการเร่งการขยายตัวได้ด้วย [1]

แม้ว่าเส้นแบ่งที่ชัดเจนระหว่างวัสดุมวลรวมที่อาจมีแนวโน้ม หรือ ไม่มีการเสื่อมสภาพจากการขยายตัวผิดปกติยังคงคลุมเครือ แต่ก็มีแนวทางที่ให้ไว้บ้าง เช่น หากร้อยละของการขยายตัวเกิน 0.05 จากการทดสอบการขยายตัวด้วยแท่งมอร์ตาร์เป็นเวลา 3 เดือน หรือเกินร้อยละ 0.10 จากการทดสอบเป็นเวลา 6 เดือน จึงจัดว่าอยู่ในเกณฑ์สูงผิดปกติ [9, 10] หรือมีการแนะนำให้ใช้ค่าการขยายตัวสูงสุด 0.1% จากการเร่งที่อายุ 14 วัน [11] อย่างไรก็ตามแนวทางนี้อาจเป็นเพียงตัวเลขที่พิจารณาประกอบการศึกษานี้เท่านั้น เนื่องจากการศึกษานี้ใช้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างจริง ซึ่งต่างจากการเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อการทดลองตามมาตรฐาน



รูปที่ 6 การขยายตัวของชิ้นตัวอย่าง A, B ในสารละลาย NaOH และในน้ำ



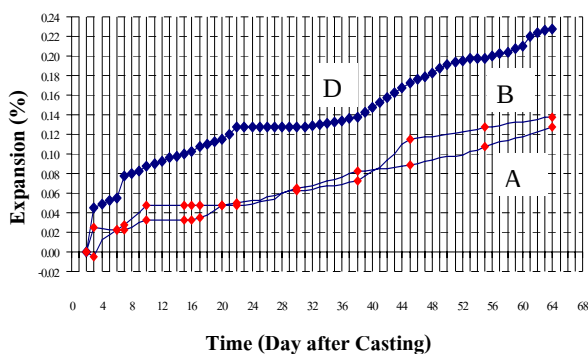
รูปที่ 7 การขยายตัวของชิ้นตัวอย่าง C ในสารละลาย NaOH และในน้ำ

5.2.2. ผลการทดสอบการเร่งการขยายตัวโดยการแช่ขึ้นตัวอย่างในสารละลาย NaOH 0.1 M ภายใต้อุณหภูมิควบคุม 80°C เป็นเวลา 64 วัน ในรูปที่ 6 ซึ่งจัดเป็นสภาวะการเร่งการขยายตัวอย่างรุนแรง ดังแสดงด้วยเครื่องหมาย $\diamond$ สีแดง สำหรับชิ้นตัวอย่าง A และ B ซึ่งตัดมาจากโครงสร้างเดียวกัน ระดับความลึกต่างกัน 15 ซม. จากผิวบน ชิ้นตัวอย่าง A และ B มีการขยายตัวใกล้เคียงกัน มีค่าสูงสุด 0.12 – 0.14 % หรือประมาณ 2 เท่าของการขยายตัวด้วยน้ำอุ่น $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ แนวโน้มการขยายตัวชัดเจนและสอดคล้องกับข้อ 1 ซึ่งแสดงว่าสำหรับกรณีของคอนกรีตที่มีปัญหา ASR นั้น ระดับความลึกในการศึกษา (15 ซม. และ 30 ซม.) มิได้มีผลชัดเจนเท่ากับปริมาณมวลรวมที่มีปัญหา

อย่างไรก็ดี ตัวอย่าง C มีปรากฏการณ์การขยายตัวในสารละลาย NaOH ที่ต่างกันเล็กน้อยคือในชิ้นตัวอย่าง C1

แสดงการขยายตัวในช่วงหลังจาก 8 วันแรก ที่แสดงการหดตัวเล็กน้อย ขณะที่ขึ้นตัวอย่าง C2 ซึ่งคัดในระดับ 15 – 30 ซม. จากผิวบนแสดงการหดตัวอยู่ในช่วง 0.04%

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่าง A, B และ D ในรูปที่ 8 (ท้ายบทความ) ตัวอย่าง D มีปรากฏการณ์การขยายตัวที่สูงกว่ากันมากคือประมาณ 2 เท่าของขึ้นตัวอย่าง A, B หรือประมาณ 0.23 % และจากความลาดชันของกราฟ แสดงแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อไปอีก



รูปที่ 8 การขยายตัวของขึ้นตัวอย่าง A, B และ D ในสารละลาย NaOH

เมื่อพิจารณาประกอบกับรูปที่ 1, 2, 3 และ 4 แล้ว จะเห็นว่าตัวอย่างมีพฤติกรรมสอดคล้องกับผลการทดสอบ ASR Gel จาก Screening test ซึ่งขึ้นตัวอย่างที่ A, B และ D เห็นขอบ ASR Gel ชัดเจนของมวลรวมหยาบจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณมวลรวมทั้งหมด โดยประมาณและมีบริเวณที่แสดงถึง ASR Gel ที่หนาแน่น นอกเหนือจากขอบ ASR Gel ปกติ ขณะที่ขึ้นตัวอย่าง C แม้จะปรากฏ ASR Gel บ้าง แต่มีปรากฏในปริมาณน้อยกว่ามาก

อย่างไรก็ดีเนื่องจากการทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อดูแนวโน้มการขยายตัวของขึ้นตัวอย่างจริง แม้ว่าจะใช้แนวทางของ ASTM 1293 เป็นหลักเท่าที่จะทำได้คือใช้กระบวนการทดสอบ สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิที่สูงกว่าในสนาม ดังนั้นค่าที่ได้จึงเพียงแสดงแนวโน้มพฤติกรรมเท่านั้น โดยในสนาม ความรุนแรงอาจน้อยกว่าทั้งนี้ขึ้นกับสภาวะแวดล้อม และสภาวะโครงสร้างภายใน

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาขึ้นตัวอย่างที่เจาะจากโครงสร้างจริง มีข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. จากการตรวจสอบคัดกรองเบื้องต้นด้วย Uranyl Acetate พบปรากฏการณ์ของ ASR Gel ทั้งบริเวณขอบโดยรอบของมวลรวมบางส่วนมีรอยแตกร้าวภายในเนื้อมวลรวมและบริเวณเพสต์โดยรอบมวลรวมเฉพาะบริเวณ จำนวนตัวอย่างที่แสดงปรากฏการณ์ 4 ชิ้น ซึ่งแสดงว่าพบ ASR ในตัวอย่างที่ตรวจสอบเป็นส่วนใหญ่ แต่มีปริมาณมวลรวมที่พบผันแปรต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการขยายตัวของโครงสร้างโดยรวมต่างกัน

2. จากการเร่งการขยายตัวโดยการแช่ในน้ำอุ่น 38°C และวัดการขยายตัว พบว่าขึ้นตัวอย่าง A มีการขยายตัวที่ชัดเจน และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อเนื่อง โดยมีค่า 0.16% ที่อายุ 112 วัน สำหรับขึ้นตัวอย่าง C ซึ่งเจาะมาจากโครงสร้างที่อยู่ใกล้เคียงกัน การขยายตัวไม่ชัดเจนเท่า A, B และที่ระดับความลึก 2 ระดับของตัวอย่างจากขึ้นตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะขึ้นเดียวกัน แสดงพฤติกรรมของการขยายตัวแตกต่างกันเล็กน้อย

3. จากการเร่งการขยายตัวด้วยการแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 M ขึ้นตัวอย่าง A แสดงการขยายตัวสูงสุด มีค่า 0.23% ที่อายุการแช่ 64 วัน

รายงานฉบับนี้เป็นารายงานสิ่งที่ตรวจพบจากจำนวนขึ้นตัวอย่างที่มีความจำกัดทั้งจำนวน และขอบเขตการทดสอบ ดังนั้นการศึกษาต่อในรายละเอียดที่ครอบคลุมมากขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และได้รับความสนับสนุนด้านอุปกรณ์และการวัดการขยายตัว และการทดสอบคัดกรองเบื้องต้นจาก บริษัท สยามวิจัยและพัฒนา จำกัด และบุคลากรของบริษัท โดยเฉพาะ ดร.โรจนกร กันตพงษ์ คุณมนสิข สาริกฤติ คุณปณณมาน นรรัตน์ คุณชนศ กิ่งรางสาด และคุณวรวิ คุณนัย และได้รับความร่วมมือประสานงานจาก คุณสืบศักดิ์ พรหมบุญ และดร.ยาใจ

Tinkey ตลอดจนความร่วมมือด้านการตรวจสอบหินจาก
ดร.กฤษณ์ วันอินทร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การทดสอบจากดร.ดวงฤดี
ฉายสุวรรณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.N.Swamy, "The Alkali-Silica Reaction in Concrete", Taylor & Francis e-Library, 1992.
- [2] Diamond, S., "ASR—Another Look at Mechanisms," Proceedings, 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, 1989, pp. 83–94.
- [3] ACI Committee 221, State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity, ACI 221.1R-98.
- [4] กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และ สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม
- [5] ASTM 8 56-04 (Annex) Designation: C 856 – 04, Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete, American Society for Testing & Materials, Philadelphia, USA.
- [6] Crucq, P., "Development of a Method to Measure the Mechanical Behavior of ASR Gels", Microlab Civil Engineering and Geosciences, 2005.
- [7] Dipayan Jana, "DEF and ASR in Concrete – A Systematic Approach from Petrography", Proceedings of The thirtieth Conference on Cement Microscopy, April 20 to 24, Reno, Nevada, USA 2008.
- [8] Draft AC 150/5380-8A in Appendix 1: Handbook for Identification of Alkali-Silica Reactivity in Airfield Pavement, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
- [9] ASTM Designation: C 33 – 02a: Standard Specification for Concrete aggregates in Appendix (Nonmandatory Information) X1. Methods for Evaluating Potential for Deleterious Expansion Due to Alkali Reactivity of an Aggregate, American Society for Testing & Materials, Philadelphia, USA.
- [10] ASTM Designation: C 227 – 03: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), American Society for Testing & Materials, Philadelphia, USA.
- [11] Neil Lee, Alkali-Silica Reactivity in Concrete, Branz Ltd. from www.branz.co.nz/cms retrieved on 12/07/52