

สทร. HSR-CT-4008-2568

มาตรฐานการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างกับซิลิกา (ทดสอบโดย
ตัวอย่างทดสอบคอนกรีต) สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
(Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to
Alkali-Silica Reaction in High-Speed Rail Projects)

บทนำ

มาตรฐานการทดสอบนี้จัดทำขึ้นโดยใช้มาตรฐาน ASTM C1293/C1293M-23a Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction เป็นต้นแบบ

1. ขอบข่าย

- 1.1 การทดสอบนี้ใช้สำหรับการตรวจสอบการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างในคอนกรีตกับซิลิกาในมวลรวมในส่วนผสมคอนกรีตที่มีการใช้สารปอซโซลาน หรือตะกอนบดเตาถลุงเหล็ก
- 1.2 ใช้ระบบหน่วย SI (International System Unit) เป็นหน่วยสำหรับมาตรฐานนี้
- 1.3 การปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ไม่ได้เป็นการรับรองความปลอดภัย ความปลอดภัยจากการใช้มาตรฐานนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐาน
- 1.4 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับการทดสอบในงานก่อสร้างโครงการรถไฟความเร็วสูง สำหรับระบบรางอื่น ๆ เช่น รถไฟระหว่างเมือง รถไฟชานเมือง และรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน สามารถนำมาตรฐานการทดสอบฉบับนี้ไปใช้ศึกษาอ้างอิงประกอบงานก่อสร้างได้ตามความเหมาะสม

2. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานอ้างอิงต่อไปนี้จะยึดตามฉบับปรับปรุงล่าสุดในทุก ๆ ครั้งที่มีการบังคับใช้ในมาตรฐาน แต่ต้องไม่ขัดกับมาตรฐานฉบับนี้

- 2.1 สทร. HSR-CT-4002 มาตรฐานการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.2 สทร. HSR-CT-4006 มาตรฐานการทดสอบปริมาณอากาศคอนกรีตโดยวิธีวัดความดัน สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.3 สทร. HSR-CT-4007 มาตรฐานการทดสอบความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม (ทดสอบโดยตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์) สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.4 ASTM C29/C29M Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate

- 2.5 ASTM C33/C33M Specification for Concrete Aggregates
- 2.6 ASTM C114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- 2.7 ASTM C125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- 2.8 ASTM C138/C138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- 2.9 ASTM C143/C143M Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete
- 2.10 ASTM C150/C150M Specification for Portland Cement
- 2.11 ASTM C157/C157M Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
- 2.12 ASTM C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- 2.13 ASTM C294 Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates
- 2.14 ASTM C295/C295M Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete
- 2.15 ASTM C490/C490M Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete
- 2.16 ASTM C494/C494M Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- 2.17 ASTM C595/C595M Specification for Blended Hydraulic Cements
- 2.18 ASTM C618 Specification for Coal Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- 2.19 ASTM C702/C702M Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
- 2.20 ASTM C856/C856M Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete
- 2.21 ASTM C989/C989M Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars
- 2.22 ASTM C1240 Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- 2.23 ASTM C1260 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)
- 2.24 ASTM C1778 Guide for Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete
- 2.25 ASTM D75/D75M Practice for Sampling Aggregates
- 2.26 ASTM E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves
- 2.27 CSA A23.2-14A Potential Expansivity of Aggregates (Procedure for Length Change due to Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Prisms at 38°C)

2.28 CSA A23.2-27A Standard Practice to Identify Degree of Alkali-Reactivity of Aggregates and to Identify Measures to Avoid Deleterious Expansion in Concrete

2.29 CSAA23.2-28A Standard Practice for Laboratory Testing to Demonstrate the Effectiveness of Supplementary Cementing Materials and Lithium-Based Admixtures to Prevent Alkali-Silica Reaction in Concrete

3. นิยาม

“ตะกรันบดเตาถลุงเหล็ก” (blast furnace slag) หมายถึง วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในลักษณะของแร่ผสมเพิ่มที่ได้จากการบดตะกรันเตาถลุงเหล็กที่ถูกทำให้เย็นโดยเร็วให้ละเอียด เมื่อใช้ผสมในคอนกรีตจะสามารถทำทั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันในลักษณะเดียวกับปูนซีเมนต์ และปฏิกิริยาปอซโซลานิกในลักษณะเดียวกับสารปอซโซลานได้ โดยผลผลิตของปฏิกิริยามีลักษณะเดียวกับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ และสารปอซโซลานกับต่างในคอนกรีต หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานหลายอย่างในระยะยาวที่ดีกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนได้

“ปฏิกิริยาระหว่างต่างกับมวลรวม” (alkali-aggregate reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตระหว่างต่างในคอนกรีตกับแร่ซิลิกาที่มีอยู่ในมวลรวมที่สามารถทำปฏิกิริยากับต่างได้ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดการขยายตัวในเนื้อคอนกรีตที่นำไปสู่ความเสียหายของโครงสร้างคอนกรีตในระยะยาวได้

“แร่ผสมเพิ่ม” (mineral admixture) หมายถึง แร่ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เช่น เพิ่มกำลัง เพิ่มความทนทาน หรือทดแทนปูนซีเมนต์ได้บางส่วน เป็นต้น

“วัสดุประสาน” (cementitious material) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมแร่ผสมเพิ่ม เมื่อนำมาผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้แข็งตัว เมื่อผสมกับมวลรวมจะเป็นคอนกรีต

“สารเคมีผสมเพิ่ม” (chemical admixture) หมายถึง สารเคมีที่ใช้ผสมในคอนกรีต ไม่ว่าจะผสมในน้ำผสมคอนกรีตก่อนการผสมคอนกรีต หรือผสมในขณะที่ผสมคอนกรีต หรือผสมก่อนการเทคอนกรีตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น เพิ่มความสามารถในการทำงาน เพิ่มกำลัง หน่วงหรือเร่งการแข็งตัว เป็นต้น

“สารปอซโซลาน” (pozzolans) หมายถึง วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในลักษณะของแร่ผสมเพิ่มซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม หรือผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ ที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับต่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีต โดยผลผลิตของปฏิกิริยามีลักษณะเดียวกับผลผลิตที่

ได้จากปฏิกิริยาไฮดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานหลายอย่างในระยะยาวที่ดีกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนได้

4. การใช้มาตรฐาน

- 4.1 ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับซิลิกาเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตระหว่างแร่ซิลิกาบางชนิดที่มีอยู่ในมวลรวมกับไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ในคอนกรีต ซึ่งความเข้มข้นของไฮดรอกซิลไอออนในคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นหลัก
- 4.2 มาตรฐานการทดสอบนี้ใช้สำหรับการตรวจสอบการทำปฏิกิริยาของมวลรวม หรือส่วนผสมที่มีการใช้ร่วมกันของมวลรวมกับสารปอซโซลาน หรือตะกัณบกเตาถลุงเหล็ก ว่าส่วนผสมจะมีความเป็นไปได้ในการขยายตัวในระดับที่จะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างด่างกับซิลิกาหรือไม่
- 4.3 หากทดสอบส่วนผสมที่มีการใช้ร่วมกันของมวลรวมกับสารปอซโซลาน หรือตะกัณบกเตาถลุงเหล็ก ผลการทดสอบจะใช้ในการหาปริมาณต่ำสุดของสารปอซโซลาน หรือตะกัณบกเตาถลุงเหล็กที่ทำให้ผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อไม่ให้เกิดการขยายตัวที่มากเกินไป สารปอซโซลาน หรือตะกัณบกเตาถลุงเหล็กที่ใช้ในการทดสอบจะมาจากแหล่งเดียวหรือหลายแหล่งผสมกันก็ได้
- 4.4 การพิจารณาคัดเลือกและเก็บตัวอย่างมวลรวม ประกอบกับจำนวนตัวอย่างที่จะเก็บสำหรับการทดสอบ ต้องคำนึงถึงความไม่แน่นอนทางธรณีวิทยาที่อาจส่งผลกระทบต่อตัวอย่างที่ได้มาประกอบการพิจารณาด้วย
- 4.5 การทดสอบนี้เป็นการประเมินพฤติกรรมของมวลรวมในคอนกรีตที่มีปริมาณต่างเทียบเท่า $5.25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ หรือในคอนกรีตที่มีการใช้สารปอซโซลานหรือตะกัณบกเตาถลุงเหล็กที่ช่วยลดปริมาณต่างเทียบเท่าในอัตราที่เป็นสัดส่วนกับการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิด GU วิธีทดสอบนี้ใช้ทดสอบได้กับทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด โดยที่เงื่อนไขการทดสอบจะเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งจะมีความแตกต่างจากในสถานที่ก่อสร้างจริงในหลายเงื่อนไข เช่น ปริมาณต่างในคอนกรีต การบ่ม สภาพเปียกสลับแห้ง อุณหภูมิ หรือหลายอย่างร่วมกัน จึงไม่ได้เป็นการจำลองสมรรถนะจริงในสถานที่ก่อสร้าง
- 4.6 ผลการทดสอบจะใช้เป็นส่วนประกอบในการตัดสินใจว่าควรจะมีมาตรการที่ใช้ในการลดการขยายตัวที่สูงเกินไปจากปฏิกิริยาด่างกับซิลิกาหรือไม่ สามารถตีความผลการทดสอบ และดูข้อแนะนำเพิ่มเติมได้ในข้อ 14
- 4.7 หากค่าการขยายตัวจากการทดสอบนี้มากกว่าค่าที่กำหนดในข้อ 14 หมายความว่ามวลรวม หรือส่วนผสมของมวลรวมกับวัสดุประสานที่ใช้เกิดปฏิกิริยากับด่างมากเกินไป ควรตรวจสอบเพิ่มเติมเพื่อยืนยันว่าการขยายตัวที่เกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาด่างกับซิลิกาจริงหรือไม่ ซึ่งอาจตรวจสอบเพื่อยืนยันด้วยวิธีการส่องกล้อง

(petrographic examination) ตาม ASTM C856/C856M หรือตรวจสอบผลิตผลของปฏิกิริยาเพื่อยืนยันเพิ่มเติม

- 4.8 การทดสอบนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ในการยืนยันความเหมาะสมของสารปอซโซลาน หรือตะกอนบดเตาถลุง เหล็กที่ใช้ในการทดสอบว่าเหมาะสมแก่การใช้งานในคอนกรีตโดยรวมหรือไม่ แต่เป็นเพียงการยืนยันความเหมาะสมเฉพาะเรื่องปฏิกิริยาระหว่างต่างกับซิลิกาเท่านั้น

5. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 5.1 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ และอุปกรณ์เสริม เครื่องมือวัดความยาวสำหรับวัดความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างทดสอบ ให้เป็นไปตาม ASTM C490/C490M และแบบหล่อต้องมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 75 mm x 75 mm ยาว 285 mm
- 5.2 ภาชนะเก็บตัวอย่างทดสอบในขณะทดสอบต้องสามารถควบคุมให้มีความชื้นสูง โดยอาจเลือกใช้ดังต่อไปนี้
- 5.2.1 ภาชนะที่มีปริมาตรระหว่าง 19 L ถึง 22 L ทำจากพลาสติกโพลีเอทิลีน มีฝาปิดที่ทึบอากาศ มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างภาชนะระหว่าง 250 mm ถึง 270 mm เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนภาชนะระหว่าง 290 mm ถึง 310 mm และความสูงระหว่าง 355 mm ถึง 410 mm มีการผนึกปิดฝาเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากภาชนะ ในการทดสอบ ตัวอย่างทดสอบต้องวางสูงจากพื้นภาชนะประมาณ 30 mm ถึง 40 mm โดยวางบนวัสดุรองที่มีความพรุน หรือตะแกรง เติมน้ำในภาชนะให้ระดับน้ำสูงจากพื้นภาชนะ 20 ± 5 mm การสูญเสียความชื้นที่มากเกินไปสามารถประเมินได้จากการที่น้ำสูญเสียไปมากกว่า 3% เทียบกับที่เติมลงไปในภาชนะ ใช้ไส้ตะเกียงหรือวัสดุที่คล้ายกัน เช่น กระดาษซับ หรือวัสดุประเภทแผ่นเส้นใย polypropylene geotextile บุผิวภายในภาชนะให้รอบ รวมถึงผิวบน โดยให้ปลายด้านล่างของไส้ตะเกียง หรือวัสดุที่คล้ายกันจุ่มอยู่ในน้ำ เพื่อคงความชื้นภายในภาชนะให้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ
- 5.2.2 ภาชนะในลักษณะอื่น ที่มีสมรรถนะเช่นเดียวกันกับภาชนะในข้อ 5.2.1
- 5.3 สภาวะแวดล้อมในการเก็บตัวอย่างขณะทดสอบต้องควบคุมให้มีอุณหภูมิ 38°C อย่างคงที่และสม่ำเสมอ ให้เก็บตัวอย่างทดสอบในสถานที่ เช่น ภาชนะ กล่อง หรือห้อง ที่สามารถปิดผนึก และมีฉนวนกันการสูญเสียความร้อนในทุกด้านรวมถึงประตู หรือฝาปิด มีระบบการหมุนเวียนอากาศภายใน เช่น มีการติดตั้งพัดลมที่สามารถทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายใน ด้านบน (250 mm จากผนังบน) และล่าง (250 mm จากพื้นล่าง) ของสถานที่หรือภาชนะเก็บตัวอย่างทดสอบไม่เกิน 2.0°C ขึ้นวางตัวอย่างทดสอบต้องห่างจากผนังอย่างน้อย 30 mm และต้องโล่งเพื่อให้อากาศสามารถไหลผ่านขึ้นวางได้สะดวก ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้ได้ $38 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ และให้บันทึกอุณหภูมิในขณะทดสอบไว้ด้วย หากเป็นไปได้แนะนำให้เตรียมตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ได้ใช้ในการทดสอบแต่ใช้เฉพาะการวัดอุณหภูมิโดยฝัง thermocouple ไว้ภายใน เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิต่อเนื่อง

6. สารเคมี

- 6.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ต้องเป็นชั้นคุณภาพ USP หรือชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ ในขณะที่เตรียม หรือใช้งานสารละลายควรระมัดระวังและมีการป้องกันเป็นอย่างดี เช่น สวมใส่หน้ากาก หรือแว่นกันสารละลายต่าง ฉ้ายางและถุงมืออย่างกันต่าง และเตรียมวิธีในการจัดการหากมีปัญหาเกิดขึ้น
- 6.2 น้ำที่ใช้ในการผสมส่วนผสมที่ใช้หล่อตัวอย่างทดสอบ และที่ใช้เติมในภาชนะเก็บตัวอย่างทดสอบระหว่างการทดสอบสามารถใช้น้ำประปาได้

7. วัสดุ

- 7.1 ปูนซีเมนต์ ให้ใช้ปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน มอก. 15 หรือ มอก. 2594 ชนิด GU ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีปริมาณต่างเทียบเท่า ($\%Na_2O \text{ equivalent} = \%Na_2O + 0.658 \%K_2O$) เท่ากับ $0.9 \pm 0.1\%$ ค่าปริมาณต่างเทียบเท่าสามารถหาได้จากผลปริมาณ $\%Na_2O$ และ $\%K_2O$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้องประกอบของปูนซีเมนต์โดยตรง หรือจากใบรับรององค์ประกอบที่ได้จากผู้ผลิตปูนซีเมนต์ก็ได้ ให้เติม NaOH ลงในน้ำผสมตัวอย่างคอนกรีตเพื่อที่จะเพิ่มปริมาณต่างในส่วนผสมคอนกรีตที่คำนวณเป็น $\%Na_2O \text{ equivalent}$ ของปูนซีเมนต์ให้ได้ 1.25% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ในส่วนผสม การเพิ่มความเป็นต่างถึงค่า 1.25% นี้มีจุดประสงค์เพื่อเร่งให้เกิดการขยายตัวเร็วขึ้น แต่ไม่ได้เป็นการจำลองสภาวะจริงในสถานที่ก่อสร้าง
- 7.2 มวลรวม
 - 7.2.1 หากต้องการประเมินความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาของมวลรวมหยาบ ต้องเลือกใช้มวลรวมละเอียดที่ไม่ทำปฏิกิริยา โดยมวลรวมละเอียดที่ไม่ทำปฏิกิริยาหมายถึงมวลรวมละเอียดที่หากทดสอบโดย สทร. HSR-CT-4007 แล้วตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์มีการขยายตัวต่ำกว่า 0.1% ที่ 14 วัน โดยให้ใช้มวลรวมละเอียดที่มีสมบัติตาม ASTM C33/C33M (มอก. 566) และมีโมดูลัสความละเอียด 2.7 ± 0.2
 - 7.2.2 หากต้องการประเมินความเป็นไปได้ในการทำปฏิกิริยาของมวลรวมละเอียด ให้ใช้มวลรวมละเอียดที่มีขนาดละเอียดเช่นเดียวกับที่จะใช้งานจริง แต่ต้องเลือกใช้มวลรวมหยาบที่ไม่ทำปฏิกิริยา โดยมวลรวมหยาบที่ไม่ทำปฏิกิริยาหมายถึงมวลรวมหยาบที่หากทดสอบโดย สทร. HSR-CT-4007 แล้วตัวอย่างทดสอบมอร์ตาร์มีการขยายตัวต่ำกว่า 0.1% ที่ 14 วัน โดยให้ใช้มวลรวมหยาบที่มีสมบัติตาม ASTM C33/C33M (หรือ มอก. 566) และเตรียมมวลรวมหยาบให้มีขนาดละเอียดตามที่กำหนดใน 7.2.3
 - 7.2.3 เตรียมมวลรวมหยาบให้มีขนาดละเอียดที่เป็นไปตามตารางที่ 1 เลือกขนาดละเอียดแบบหยาบหรือปานกลางโดยขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของตัวอย่างมวลรวมที่ได้รับมา ให้คัดมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm ออกก่อน หากมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm ดังกล่าวไม่มีแนวโน้มที่จะมีความแตกต่างทางด้านองค์ประกอบทางเคมีหรือทางแร่เมื่อเทียบกับมวลรวมที่คัดขนาดไว้แล้วตามตารางที่ 1 ก็ไม่ต้องนำมวลรวม

ขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm นั้นมารวมในตัวอย่าง แต่หากมีแนวโน้มกลับกัน เช่น มีผลการตรวจสอบโดยการส่องกล้อง (petrographic examination) ที่ยืนยันว่ามวลรวมขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm นั้นน่าจะมี ความแตกต่างในด้านความสามารถในการทำปฏิกิริยากับต่าง ให้ปฏิบัติตามวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้ (7.2.3.1 หรือ 7.2.3.2)

7.2.3.1 วิธีทดสอบตามสัดส่วนโดยการเตรียมให้เป็นตัวอย่างมวลรวมเดียว ให้บดมวลรวมขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm นั้นให้เล็กลงจนสามารถผ่านตะแกรงขนาด 19 mm ได้ทั้งหมด โดยควบคุมการบดให้มีปริมาณ ที่ผ่านตะแกรง 4.75 mm (เบอร์ 4) น้อยที่สุด แล้วจัดขนาดคละของมวลรวมที่บดได้ให้เป็นไปตามตารางที่ 1 จากนั้นนำไปผสมกับตัวอย่างมวลรวมที่คัดขนาดเอาไว้แล้วในข้อ 7.2.3 โดยผสมในอัตราส่วนเดียวกับ อัตราส่วนปริมาณมวลรวมขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm ที่มีอยู่ในมวลรวมเริ่มต้น

7.2.3.2 วิธีทดสอบมวลรวมขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm แยกต่างหาก ให้บดมวลรวมขนาดใหญ่กว่า 19.0 mm นั้นแล้วจัดขนาดคละให้เป็นไปตามตารางที่ 1 แล้วทดสอบมวลรวมนี้แยกต่างหาก

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดขนาดคละของมวลรวมหยาบสำหรับเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ขนาดตะแกรง		สัดส่วนโดยมวล	
ผ่านตะแกรง	ค้างบนตะแกรง	หยาบ	ปานกลาง
19.0 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	1/3	---
12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	1/3	1/2
9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (เบอร์ 4)	1/3	1/2

7.3 ส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบ ให้เตรียมดังต่อไปนี้

7.3.1 ปริมาณวัสดุประสาน $420 \pm 10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

7.3.1.1 หากต้องการประเมินการทำปฏิกิริยาของมวลรวม ให้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน

7.3.1.2 หากต้องการประเมินส่วนผสมของมวลรวมร่วมกับสารปอซโซลาน หรือตะกัณบดเตาถลุงเหล็ก ให้ใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีสารปอซโซลาน หรือตะกัณบดเตาถลุงเหล็กในอัตราส่วนแทนที่ที่ต้องการประเมิน

7.3.2 ปริมาณมวลรวมหยาบ ให้ใช้ปริมาตรมวลรวมหยาบเท่ากับ $70 \pm 2\%$ ของปริมาตรที่ความหนาแน่นแห้ง (ความหนาแน่นแห้งทดสอบตาม ASTM C29/C29M)

7.3.3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ให้อยู่ระหว่าง 0.42 ถึง 0.45 โดยน้ำหนัก โดยปรับให้ส่วนผสม มีความสามารถในการเทได้เพียงพอในการเทเข้าแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ หากความสามารถในการเทได้ ไม่เพียงพอ ให้ใช้สารเคมีผสมคอนกรีตประเภท F ตาม ASTM C494/C494M ช่วยในการเพิ่ม ความสามารถในการเท ในทางกลับกัน หากส่วนผสมมีความเหลวมากเกินไปจนเกิดการเยิ้ม หรือการ

แยกตัวของส่วนผสม ให้พิจารณาใช้สารปรับความหนืด (viscosity-modifying admixture) เพื่อช่วยลดการแข็งหรือการแยกตัว ให้รายงานอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ปริมาณสารเคมีผสมคอนกรีต และสารปรับความหนืดที่ใช้ไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย

7.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำผสมคอนกรีตให้ได้ปริมาณต่างในคอนกรีตซึ่งคำนวณโดยปริมาณต่างเทียบเท่า ($\%Na_2O \text{ equivalent} = \%Na_2O + 0.658 \%K_2O$) เท่ากับ 1.25% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีผสมคอนกรีตชนิดที่นอกเหนือจากที่ได้กล่าวถึงในข้อ 7.3.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการสำหรับปรับปริมาณต่างในคอนกรีตให้ได้ 1.25% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 การเพิ่มปริมาณต่างจาก 0.9% เป็น 1.25% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ส่วนผสมใช้ปูนซีเมนต์ล้วน

$$\text{ปริมาณปูนซีเมนต์} = 420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{ปริมาณต่างในคอนกรีต (0.9\%)} = 420 \times 0.9\% = 3.78 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาณต่างที่ต้องการ (1.25\%)} = 420 \times 1.25\% = 5.25 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาณต่างที่ต้องเติมเพิ่ม} = 5.25 - 3.78 = 1.47 \text{ kg}$$

ตัวคูณที่ใช้ในการแปลง Na_2O ให้เป็น NaOH ได้มาจากสมการเคมี



$$\text{น้ำหนักโมเลกุลของ } Na_2O = 61.98$$

$$\text{น้ำหนักโมเลกุลของ } NaOH = 39.997$$

$$\text{ตัวคูณที่ใช้ในการแปลง} = 2 \times 39.997 / 61.98 = 1.291$$

$$\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการเติม} = 1.47 \times 1.291 = 1.898 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

ตัวอย่างที่ 2 การเพิ่มปริมาณต่างจาก 0.9% เป็น 1.25% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ในกรณีที่ส่วนผสมใช้สารปอซโซลาน หรือตะกั่วบดเตาถลุงเหลือแทนที่ปูนซีเมนต์ 20%

$$\text{ปริมาณวัสดุประสาน} = 420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{ปริมาณปูนซีเมนต์} = 420 \times 0.8 = 336 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

$$\text{ปริมาณต่างในคอนกรีต (0.9\%)} = 336 \times 0.9\% = 3.02 \text{ kg}$$

$$\text{ปริมาณต่างที่ต้องการ (1.25\%)} = 336 \times 1.25\% = 4.20 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณต่างที่ต้องเพิ่ม} &= 4.20 - 3.02 = 1.18 \text{ kg} \\
 \text{ตัวคูณที่ใช้ในการแปลง} &= 1.291 \\
 \text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้เติม} &= 1.18 \times 1.291 = 1.523 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}
 \end{aligned}$$

8. การเก็บตัวอย่างมวลรวม

เก็บตัวอย่างมวลรวมตามวิธีปฏิบัติใน ASTM D75/D75M และลดปริมาณตัวอย่างให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ สำหรับการทดสอบตามวิธีปฏิบัติใน ASTM C702/C702M

9. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

9.1 การผสมคอนกรีต

9.1.1 ผสมคอนกรีตและบ่มคอนกรีตโดยวิธีปฏิบัติมาตรฐานทั่วไปตาม ASTM C192/C192M

9.1.2 วัดค่ายุบตัวของคอนกรีตในแต่ละครั้งของการผสมตาม ASTM C143/C143M หรือ สทร. HSR-CT-4002

9.1.3 หาค่าปริมาณอากาศของคอนกรีตในแต่ละครั้งของการผสมตาม ASTM C138/C138M หรือ สทร. HSR-CT-4006 คอนกรีตที่ใช้วัดค่ายุบตัว และปริมาณอากาศสามารถเทคินลงในเครื่องผสมเพื่อผสมและใช้ต่อไปได้

9.2 เตรียมตัวอย่างทดสอบคอนกรีต 3 ตัวอย่างต่อคอนกรีตหนึ่งส่วนผสมที่ต้องการทดสอบ เตรียมตัวอย่างตาม ASTM C157/C157M อาจเตรียมตัวอย่างเพิ่มอีก 1 ตัวอย่างเพื่อการทดสอบโดยการส่องกล้อง (petrographic examination) ก็ได้

9.3 หลังหล่อตัวอย่างทดสอบแล้วให้เก็บตัวอย่างทดสอบในห้องควบคุมหรือกล่องที่ปิดที่มีอุณหภูมิ $23 \pm 2.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 95% เป็นเวลา $23 \text{ h} \pm 0.5 \text{ h}$ แล้วแกะแบบโดยไม่ให้ตัวอย่างทดสอบสูญเสียความชื้น

10. กระบวนการทดสอบ

10.1 การวัดเพื่ออ่านค่าเริ่มต้น ให้ปฏิบัติตาม ASTM C157/C157M ยกเว้นเพียงไม่ต้องแช่ตัวอย่างทดสอบในน้ำต่างอิมตัว ให้อ่านค่าเริ่มต้นทันทีหลังจากถอดแบบที่อายุ $23 \pm 0.5 \text{ h}$ หลังจากนั้นให้เก็บตัวอย่างทดสอบโดยควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เป็นไปตามที่กำหนดในข้อ 5.3 และเก็บในภาชนะตามที่อธิบายในข้อ 5.2

10.2 การอ่านค่าการขยายตัว

ให้เก็บตัวอย่างทดสอบในภาชนะในแนวตั้งโดยต้องไม่ให้สัมผัสกับน้ำที่ขังไว้ที่ก้นภาชนะ ปิดฝาภาชนะและฉีกให้แน่นตามที่อธิบายในข้อ 5.3 ภาชนะต้องวางไม่ให้สัมผัสกับผนัง หรือพื้นห้องทดลอง และวางให้มีการถ่ายเทของอากาศได้ดีรอบๆ ภาชนะในทุกด้าน

10.2.1 เมื่ออายุของตัวอย่างทดสอบถึง 7 วันให้นำตัวอย่างทดสอบออกจากภาชนะเพื่อวัดอ่านค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความยาวเริ่มต้น โดยปฏิบัติตามข้อ 10.2.2 หลังจากอ่านค่าที่อายุ 7 วันแล้วให้อ่านค่าที่อายุ 28 วัน 56 วัน 3 เดือน 6 เดือน และ 12 เดือน ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบการขยายตัวจากปฏิกิริยาด่างกับซิลิกาของมวลรวม แต่หากต้องการตรวจสอบการขยายตัวจากปฏิกิริยาด่างกับซิลิกาของมวลรวมร่วมกับสารปอซโซลาน หรือเถ้าตะกั่วเตาถลุง ก็ให้อ่านค่าที่อายุ 18 เดือน และ 24 เดือนด้วย หากต้องการผลที่ยาวนานกว่านั้น ให้อ่านค่าทุก 6 เดือน

10.2.2 ในการวัดอ่านค่า หลังจากนำตัวอย่างทดสอบออกจากภาชนะแล้ว ให้อ่านตัวอย่างทดสอบไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิ 23 ± 2.0 °C เป็นเวลา 18 ± 6 h ก่อนที่จะวัดอ่านค่า

10.3 ตัวอย่างทดสอบในภาชนะเดียวกันควรหล่อในระยะเวลาเดียวกัน เพื่อที่จะได้สามารถวัดอ่านค่าในเวลาเดียวกันได้

10.4 หลังจากวัดอ่านค่าในแต่ละครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างทดสอบคืนเข้าในภาชนะ ให้เก็บคืนในลักษณะที่กลับหัวตัวอย่างทดสอบ (สลับบนล่าง) ทุกครั้ง เพื่อไม่ให้ตัวอย่างทดสอบมีปลายใดปลายหนึ่งอยู่บน หรือล่างตลอดช่วงเวลาการทดสอบ

11. การคำนวณ

11.1 คำนวณค่าความยาวที่แตกต่างระหว่างค่าที่วัดและอ่านได้ของค่าเริ่มต้นกับค่าของการวัดและอ่านได้จากการวัดแต่ละครั้ง ถึงความละเอียด 0.001% ของความยาวเกจ และให้บันทึกเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของตัวอย่างทดสอบที่เวลานั้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของส่วนผสมใดๆ ที่อายุที่ทำการวัด จะได้จากการเฉลี่ยค่าของ ตัวอย่างทดสอบทุกตัวอย่างที่เตรียมไว้สำหรับส่วนผสมนั้น ที่อายุนั้น

11.2 ค่าที่ได้ต้องมาจากการเฉลี่ยจากตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

12. การรายงานผล

รายงานผลดังต่อไปนี้

12.1 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

12.2 หน่วยงานที่ทดสอบ

12.3 วันเวลาที่วัดค่าเริ่มต้น

- 12.4 ชนิดและแหล่งของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และขนาดผลของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการทดสอบ
- 12.5 ชนิดและแหล่งของปูนซีเมนต์
- 12.6 ปริมาณต่างของปูนซีเมนต์ รายงานปริมาณ $\%K_2O$, $\%Na_2O$ ของปูนซีเมนต์ และต่างเทียบเท่า ($\%Na_2O_{eq} = \%Na_2O + 0.658 \times \%K_2O$)
- 12.7 ชนิด แหล่ง และร้อยละการแทนที่วัสดุประสานโดยน้ำหนักของสารปอซโซลาน หรือตะกรันบดเตาถลุงเหล็กที่ใช้
- 12.8 ปริมาณของสารเคมีผสมคอนกรีต และสารเพิ่มความหนืดที่ใช้ (ถ้ามีการใช้)
- 12.9 ส่วนผสมของคอนกรีต โดยคำนวณมวลรวมในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD)
- 12.10 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เติมลงในน้ำผสมคอนกรีต รายงานเป็นปริมาณต่างเทียบเท่าของปูนซีเมนต์ ($\%Na_2O$ equivalent by mass of cement)
- 12.11 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของคอนกรีตที่ทดสอบ คำนวณโดยให้มวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
- 12.12 ค่ายุบตัว ปริมาตรคอนกรีตที่ได้ และปริมาณอากาศของคอนกรีตที่ทดสอบ
- 12.13 ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงความยาว รวมถึงค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง
- 12.14 การเปลี่ยนแปลงของสภาพตัวอย่างทดสอบที่สังเกตได้ เช่น การแตกร้าว การเกิดเจล การเกิดวงรอบมวลรวมที่เกิดจากผลผลิตของปฏิกิริยา เป็นต้น
- 12.15 ชนิดและลักษณะของภาชนะที่ใช้เก็บตัวอย่างทดสอบที่ต้องควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 38 ± 2.0 °C หากมีความแตกต่างจากที่อธิบายไว้ในข้อ 5.2.1 และ 5.3

13. ความแม่นยำ

13.1 ต่างห้องปฏิบัติการ

- 13.1.1 ในกรณีที่ค่าการขยายตัวต่ำกว่า 0.014% ความแตกต่างของค่าที่วัดได้ของส่วนผสมที่ใช้มวลรวมเดียวกันจากห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน ไม่ควรเกิน 0.009%
- 13.1.1 ในกรณีที่ค่าการขยายตัวสูงกว่า 0.014% ความแตกต่างของค่าที่วัดได้ของส่วนผสมที่ใช้มวลรวมเดียวกันจากห้องปฏิบัติการที่ต่างกัน ไม่ควรเกิน 65% ของค่าเฉลี่ย

13.2 ห้องปฏิบัติการเดียวกัน

13.2.1 ในกรณีที่ค่าการขยายตัวต่ำกว่า 0.02% ความแตกต่างของค่าที่วัดได้จากตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนผสมที่ใช้มวลรวมเดียวกันจากห้องปฏิบัติการเดียวกัน (ระหว่างค่าสูงสุด และต่ำสุด) ไม่ควรเกิน 0.008%

13.2.1 ในกรณีที่ค่าการขยายตัวสูงกว่า 0.02% ความแตกต่างของค่าที่วัดได้จากตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนผสมที่ใช้มวลรวมเดียวกันจากห้องปฏิบัติการเดียวกัน (ระหว่างค่าสูงสุด และต่ำสุด) ไม่ควรเกิน 40% ของค่าเฉลี่ย

14. เกณฑ์การตัดสิน และข้อแนะนำ

หากผลการทดสอบแสดงค่าการขยายตัวหลังสิ้นสุดการวัดที่ 12 เดือน ต่ำกว่า 0.04% ถือว่ามวลรวม หรือการใช้ร่วมกันของมวลรวมกับสารปอชโซลาน หรือเตกรันเตาถลุงที่ใช้ในการทดสอบ ไม่มีความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายจากการทำปฏิกิริยาระหว่างต่างในคอนกรีตกับซิลิกาในมวลรวม และสามารถผลิตคอนกรีตได้ ในกรณีที่ผลการทดสอบแสดงค่าการขยายตัวที่ไม่ต่ำกว่า 0.04% แนะนำให้ใช้มาตรการเพิ่มเติม เช่น เปลี่ยนเงื่อนไขส่วนผสม โดยอาจใช้สารปอชโซลาน หรือเตกรันบดเตาถลุงหลักในปริมาณการแทนที่ที่สูงขึ้น หรือเปลี่ยนแหล่งมวลรวม หรือมาตรการอื่นๆ ที่สามารถลดการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาดังกับซิลิกาได้

เอกสารอ้างอิง

- Diamond, S. (1983). Alkali Reactions in Concrete-Pore Solution Effects, Proceedings, 6th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Copenhagen, Denmark, pp. 155–166.
- Diamond, S. (1989). ASR - Another Look at Mechanisms, Proceedings, 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, pp. 83–94.
- Fournier, B. and Malhotra, V. M. (1996). Interlaboratory Study on the CSA A23.2-14A Concrete Prism Test for Alkali-Silica Reactivity in Concrete, Proceedings, 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 302–309.
- Grattan-Bellew, P. E. (1989). Test Methods and Criteria for Evaluating the Potential Reactivity of Aggregates, Proceedings, 8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Kyoto, Japan, pp.279–294.
- Grattan-Bellew, P. E. (1992). Microcrystalline Quartz, Undulatory Extinction and Alkali-Silica Reaction, Proceedings, 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Concrete Society, Slough, UK, pp. 383–394.

- Rogers, C. A. (1988). General Information on Standard Alkali-Reactive Aggregates from Ontario, Canada, Ontario Ministry of Transportation, Engineering Materials Office, p. 59.
- Rogers, C. A., and Hooton, R. D. (1992). Comparison Between Laboratory and Field Expansion of Alkali-Carbonate Reactive Concrete, Proceedings, 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Concrete Society, Slough, U.K., pp.877–884.

DRAFT