

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

วิธีทดสอบปูนซีเมนต์

เล่ม 11 วิธีทดสอบการขยายตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยวิธีออโตเคลฟ

บทนำ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยอาศัย ASTM C151/C151M – 18 Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของ ASTM International ตั้งอยู่ที่เลขที่ 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, สหรัฐอเมริกา โดยได้รับอนุญาตจาก ASTM International

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดวิธีทดสอบการขยายตัวของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก โดยวิธีออโตเคลฟ

2. เอกสารอ้างอิง

2.1 มาตรฐานอ้างอิง

มอก. 2752 เล่ม 8	วิธีทดสอบปูนซีเมนต์ เล่ม 8 วิธีทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความชื้นเหลือปกติของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเพสต์
มอก. 2752 เล่ม 17	วิธีทดสอบปูนซีเมนต์ เล่ม 17 การผสมปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเพสต์ และมอร์ตาร์ในสภาพเหลวด้วยเครื่องผสม
ASTM C490	Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete
ASTM C511	Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes
ASTM C856	Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete
ASTM C1005	Specification for Reference Masses and Devices for Determining Mass and Volume for Use in the Physical Testing of Hydraulic Cements
มอก. 2594	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก

3. นัยสำคัญและการใช้งาน

- 3.1 การทดสอบค่าการขยายตัวโดยวิธีออตเคลฟให้ดัชนีชี้วัดการขยายตัวที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) หรือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) หรือทั้งสอง เมื่ออยู่ในปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก

4. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ

- 4.1 ปอซโซลานที่มีผลึกละเอียดของควอตซ์ จะทำให้เกิดการขยายตัวมากเกินไปภายใต้การทดสอบโดยวิธีออตเคลฟ สภาวะที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์-ซิลิกา จะไม่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะปกติ เมื่อเกิดการขยายตัวที่มากเกินไปของเพสต์ที่มีส่วนผสมของปอซโซลาน แนะนำให้ตรวจสอบตัวอย่าง (ดูใน ASTM C856) เพื่อหาสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์-ซิลิกา (หมายเหตุ 1)

หมายเหตุ 1 หากการขยายตัวมากเกินไปเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์-ซิลิกาภายใต้สภาวะการทดสอบโดยวิธีออตเคลฟ การหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ของปอซโซลานสามารถทำได้โดยใช้วิธี ตาม มอก. 2594

5. เครื่องมือทดสอบ

- 5.1 ต้มน้ำหนักและเครื่องชั่ง

ตาม ASTM C1005

- 5.2 กระจกบดตวง

มีความจุ 200 mL หรือ 250 mL และตาม ASTM C490

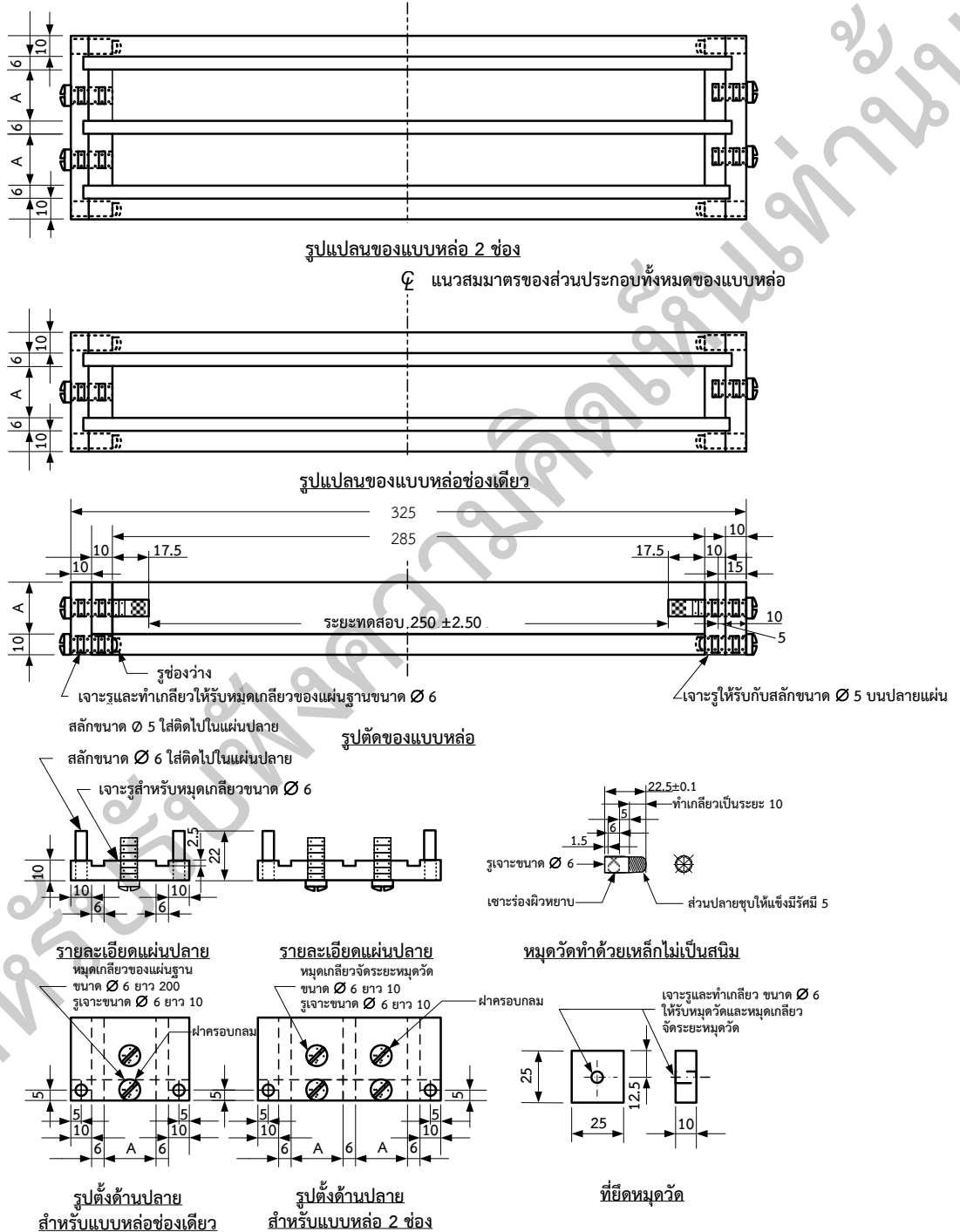
- 5.3 แบบหล่อ

ต้องเป็นแบบหล่อ 1 ช่องหรือ 2 ช่อง ตาม ASTM C490 ดังรูปที่ 1 หรือรูปที่ 2 แบบหล่อแท่งทดสอบเพื่อทดสอบหาการเปลี่ยนแปลงความยาวของแท่งซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ต้องมีขนาด 25 mm x 25 mm x 285 mm ระยะทดสอบ 250 mm หรือขนาด 1 in x 1 in x 11 ¼ in ระยะทดสอบ 10 in

- 5.3.1 ระยะทดสอบต้องมั่นใจว่าเป็นความยาวระหว่างปลายมุมที่ฝังอยู่ ส่วนของแบบหล่อเมื่อประกอบเข้าด้วยกันต้องติดและยึดกันอย่างแน่นหนา แบบหล่อต้องทำจากเหล็ก หรือโลหะแข็งไม่ถูกทำลายด้วยซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีต ด้านข้างของแบบหล่อต้องแข็งแรงพอที่จะไม่ยืดตัวหรือบิดงอ ผิวของแบบหล่อต้องเรียบและปราศจากรู สำหรับแบบหล่อตามรูปที่ 1 ความคลาดเคลื่อนของขนาด A ไม่เกิน ± 0.7 mm สำหรับแบบหล่อตามรูปที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของขนาด A ไม่เกิน ± 0.03 in

- 5.3.2 แผ่นปลายโลหะแต่ละด้านของแบบหล่อจะต้องมีส่วนประกอบเพื่อยึดมุมวัดให้อยู่กับที่ ในระหว่างประกอบดังแสดงในรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 มุมวัดต้องทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 316 ตาม American Iron and Steel Institute (AISI) Type 316 stainless steel หรือ โลหะทนการกัดกร่อนชนิดอื่นที่มีคุณภาพเหมือนกัน มุมวัดต้องมีการขยายตัวต่ำจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการยึดรั้งของมุม ส่วนประกอบที่ยึดมุมวัดจะต้องทำให้สามารถคลายออกได้บางส่วน หรือทั้งหมดเมื่อจำเป็น ภายหลังจากการอัดซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ตาร์ให้เข้าที่ในแบบหล่อแล้ว ต้องจัดให้แกนหลักของมุมวัดนี้ตรงกับแกนหลักของแท่งทดสอบ สำหรับแบบหล่อที่แสดงในรูปที่ 1 มุมวัดจะต้องยื่นเข้าไปในแท่งทดสอบ 17.5 mm \pm 0.5 mm ระยะระหว่างปลายด้านในของมุมวัดต้องเท่ากับ 250 mm \pm 2.5 mm

และใช้ระยะทดสอบเท่ากับ 250 mm สำหรับคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลง สำหรับแบบหล่อที่แสดงในรูปที่ 2 หมุดวัดจะต้องยื่นเข้าไปในแท่งทดสอบ $0.625 \text{ in} \pm 0.025 \text{ in}$ ระยะระหว่างปลายด้านในของหมุดต้องเท่ากับ $10.00 \text{ in} \pm 0.10 \text{ in}$ และใช้ระยะทดสอบเท่ากับ 10 in สำหรับคำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลง

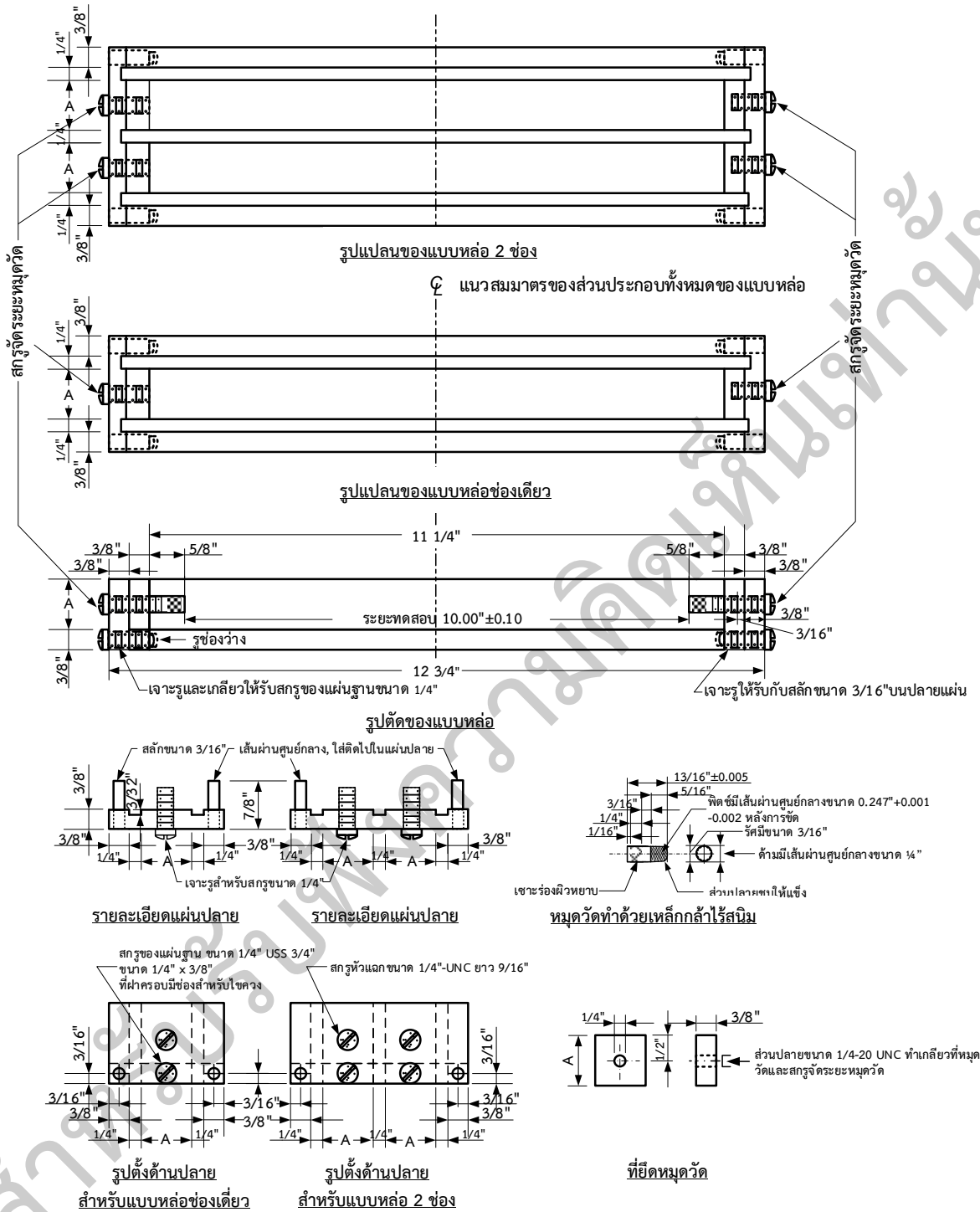


หมายเหตุ ขนาดของ A เป็นไปตามที่ผู้ซื้อกำหนด

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 แบบหล่อ (SI Units)

(ข้อ 5.3 และข้อ 5.6.1)



หมายเหตุ ขนาดของ A เป็นไปตามที่ผู้ซื้อกำหนด

หน่วยเป็นนิ้ว

รูปที่ 2 แบบหล่อ (Inch-Pound Units)

(ข้อ 5.3 และข้อ 5.6.2)

5.4 เกรียงเหล็ก

มีขอบคม สันตรง ยาว 100 mm ถึง 150 mm

5.5 ออโตเคลฟ (Autoclave)

ประกอบด้วยภาชนะบรรจุไอน้ำแรงดันสูง มีช่องสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ ออโตเคลฟต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดันอัตโนมัติและอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัย คือ รัปเจอร์ดิสก์ (rupture disk) ที่จะแตกเมื่อความดันสูงถึง 2.4 MPa (350 psi) \pm 5% หรือใช้วาล์วนิรภัย (safety valve) แทน ออโตเคลฟจะต้องมีวาล์วระบายอากาศเพื่อเปิดให้อากาศออกระหว่างเริ่มให้ความร้อน และเพื่อระบายความดันค้างอยู่ในช่วงทำให้ออโตเคลฟเย็นลง เกจวัดความดันต้องมีขนาด 4.0 MPa (600 psi) หน้าปัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 mm (4 ½ in) และมีขีดแบ่งจาก 0 MPa ถึง 4.0 MPa (0 psi ถึง 600 psi) ด้วยขีดแบ่งสเกลไม่เกิน 0.03 MPa (5 psi) ความคลาดเคลื่อนของเกจวัดความดันต้องไม่เกิน ± 0.02 MPa (± 3 psi) ที่ความดันที่ใช้งาน 2 MPa (295 psi) ความสามารถของเครื่องทำความร้อนที่กำลังสูงสุด (น้ำรวมกับแท่งทดสอบ) ต้องทำให้ความดันของไอน้ำอิ่มตัวในออโตเคลฟ ความดันขึ้นถึง 2 MPa (295 psi) ในเวลา 45 min ถึง 75 min จากเวลาเริ่มเปิดเครื่องทำความร้อน เครื่องควบคุมอัตโนมัติต้องสามารถรักษาความดันที่ 2 MPa \pm 0.07 MPa (295 psi \pm 10 psi) อย่างน้อย 3 h ความดันเกจที่ 2 MPa \pm 0.07 MPa (295 psi \pm 10 psi) สอดคล้องกับอุณหภูมิ 216 °C \pm 2 °C (420 °F \pm 3 °F) ออโตเคลฟต้องถูกออกแบบให้ความดันลดจาก 2 MPa ให้เหลือน้อยกว่า 0.07 MPa (295 psi) ให้เหลือน้อยกว่า 10 psi) ในเวลา 1 h 30 min หลังจาก ปิดเครื่องทำความร้อน

5.5.1 รัปเจอร์ดิสก์ (rupture disk)

ทำจากวัสดุที่มีกำลังต้านแรงดึงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วง 20 °C ถึง 216 °C (68 °F ถึง 420 °F) และเป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมี (electrochemically compatible) เช่นเดียวกับท่อที่มาติดกับตัวรัปเจอร์ดิสก์และกับวัสดุที่ยึดตัวรัปเจอร์ดิสก์

5.6 เครื่องเปรียบเทียบความยาว

ตาม ASTM C490 ใช้สำหรับวัดความยาวของแท่งทดสอบ ต้องถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของแท่งทดสอบที่วัด และตำแหน่งของจุดสัมผัสกับหมุดวัด และสามารถอ่านค่าได้สะดวกและรวดเร็ว ตัวอย่างดังรูปที่ 3

5.6.1 เครื่องเปรียบเทียบความยาว สำหรับวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบจากแบบหล่อตามรูปที่ 1

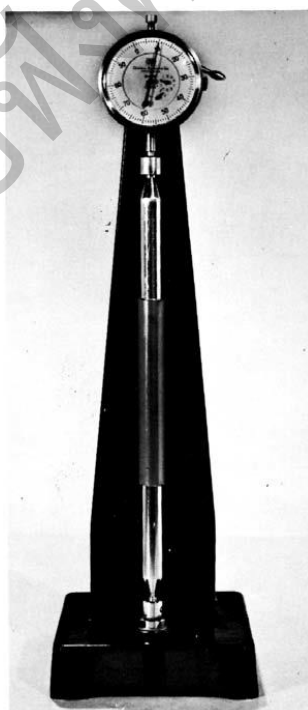
ต้องใช้ไดอัลไมโครมิเตอร์ (dial micrometer) หรือเครื่องวัดที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.002 mm หรือละเอียดกว่า และมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.002 mm ในทุกระยะวัด 0.020 mm และไม่เกิน 0.004 mm ในทุกระยะวัด 0.200 mm นอกจากนี้ต้องมีช่วงวัดเพียงพอ (อย่างน้อย 8.00 mm) สำหรับวัดความแตกต่างในระยะวัดของแท่งทดสอบต่าง ๆ ด้วย ส่วนปลายของเครื่องเปรียบเทียบความยาวต้องเรียบ มัน และผ่านการชุบแข็ง ต้องถูกสวมด้วยปลอกซึ่งยึดด้วยสกรู ปลอกต้องห่างจากผิวระนาบของปลายเครื่องเปรียบเทียบความยาว 1.5 mm \pm 0.1 mm ปลอกต้องให้ปลายหมุดหมุนอย่างอิสระและมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนปลายหมุดเฉลี่ยไม่เกิน 0.5 mm ซึ่งเข้าได้พอดีกับปลอก

5.6.2 เครื่องเปรียบเทียบความยาว สำหรับวัดความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบจากแบบหล่อตามรูปที่ 2 ต้องใช้ไดอัลไมโครมิเตอร์ (dial micrometer) หรือเครื่องวัดที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.0001 in หรือละเอียดกว่า และมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.0001 in ในทุกระยะวัด 0.0010 in และไม่เกิน 0.0002 in ในทุกระยะวัด 0.0100 in นอกจากนี้ต้องมีช่วงวัดเพียงพอ (อย่างน้อย 0.3 in) สำหรับวัดความแตกต่างในระยะวัดของแท่งทดสอบต่างๆ ด้วย ส่วนปลายของเครื่องเปรียบเทียบความยาวต้องเรียบ มัน และผ่านการชุบแข็ง ต้องถูกสวมด้วยปลอกซึ่งยึดด้วยสกรู ปลอกต้องห่างจากผิวระนาบของปลายเครื่องเปรียบเทียบความยาว $0.062 \text{ in} \pm 0.003 \text{ in}$ ปลอกต้องให้ปลายแหลมมนอย่างอิสระและมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนปลายแหลมเฉลี่ยไม่เกิน 0.02 in ซึ่งเข้าได้พอดีกับปลอก

5.6.3 แท่งอ้างอิง

ต้องมีความยาวทั้งหมด $295 \text{ mm} \pm 3.0 \text{ mm}$ ($11 \text{ in} \pm 1/8 \text{ in}$) ซึ่งเหมาะสมกับแท่งทดสอบที่ใช้ แท่งอ้างอิงทำด้วยเหล็กอัลลอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวโดยความร้อนไม่เกิน 2 ส่วนในล้านส่วนต่อองศาเซลเซียส ปลายแต่ละด้านของแท่งอ้างอิงต้องมีรูปร่างเหมือนปลายแหลมของแท่งทดสอบที่ใช้สัมผัส ปลายของแท่งอ้างอิงที่สวมเข้าไปในปลอกของเครื่องเปรียบเทียบความยาวจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $6 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ ($0.250 \text{ in} \pm 0.010 \text{ in}$) แท่งอ้างอิงต้องไม่ถูกชุบแข็งยกเว้นส่วนปลาย (หมายเหตุ 2) ส่วนกลางของแท่งอ้างอิงต้องถูกหุ้มด้วยท่อที่ยาว 100 mm [4 in] ผนังหนาอย่างน้อย 3 mm [$1/8 \text{ in}$] เพื่อให้มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในขณะถือ แท่งอ้างอิงต้องถูกทำเครื่องหมายที่ใกล้ปลายด้านหนึ่ง

หมายเหตุ 2 วัสดุอัลลอยอย่างเช่น Invar เมื่อได้รับความร้อนหลังจากการชุบแข็งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ตัวอย่างเครื่องเปรียบเทียบความยาวของแท่งทดสอบ

(ข้อ 5.6)

- 5.7 การตรวจสอบเครื่องมือทดสอบตามข้อ 5.3 และข้อ 5.6 อย่างน้อยทุก 2 ½ y

6. อุณหภูมิและความชื้น

- 6.1 ห้องหล่อแบบ ควบคุมอุณหภูมิของห้องหล่อแบบ ปูนซีเมนต์แห้ง ที่อุณหภูมิ $23^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ น้ำผสมที่อุณหภูมิ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 50%
- 6.2 ตู้ควบคุมความชื้นหรือห้องควบคุมความชื้น ควบคุมอุณหภูมิที่ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 95%

7. ความปลอดภัยและข้อควรระวัง

- 7.1 เกจวัดความดันต้องมีขนาด 4.0 MPa (600 psi) การใช้เกจขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไป อาจเป็นอันตรายต่อการใช้งาน ถ้าใช้เกจขนาดเล็ก ความดันอาจออกนอกสเกล และการใช้เกจขนาดใหญ่ การเคลื่อนของเข็มอาจน้อยเกินกว่าสังเกตได้ ผู้ปฏิบัติต้องมั่นใจว่าเข็มเกจไม่เกินขีดสูงสุดของสเกล
- 7.2 ทดสอบเกจวัดความดันที่ใช้งาน โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์พร้อมกับเกจวัดความดันตรวจหาจุดผิดปกติของเกจวัดความดันเพื่อให้ทำงานอย่างเหมาะสมและชี้บ่งสภาวะผิดปกติ
- 7.3 รักษาเครื่องควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานอย่างเหมาะสมตลอดเวลา
- 7.4 การตั้งวาล์วนิรภัย (safety valve) ให้ทำงานที่ความดันสูงกว่าความดันสูงสุดที่ใช้งาน 6% ถึง 10% {ประมาณ 2.3 MPa (330 psi)} และให้หันทิศทางการปล่อยของวาล์วนิรภัยออกจากผู้ปฏิบัติ

หมายเหตุ 3 เหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดอาจเกิดขึ้นได้ เช่น กรณีตัวควบคุมอัตโนมัติไม่ทำงาน หรือวาล์วนิรภัยไม่ทำงานและเข็มไม่อยู่ที่ตำแหน่ง 0 ตั้งแต่เริ่ม ดังนั้นเกจวัดความดันจะต้องถูกตรวจสอบและความดันจะต้องถูกปล่อยออกก่อน เครื่องมือจะเสียหาย

- 7.5 สวมถุงมือหนึ่งเพื่อป้องกันผิวหนังไหม้ขณะถอดฝาด้านบนของโอโตเคลฟหลังจากทดสอบเสร็จ หันปลายวาล์วระบายอากาศ (vent valve) ออกจากผู้ปฏิบัติขณะถอดฝาโอโตเคลฟ เอียงฝา เพื่อให้ไอน้ำได้ถูกปล่อยโดยไม่สัมผัสผู้ปฏิบัติ ระมัดระวังการเกิดแผลไหม้หรือลวกจากของเหลวในโอโตเคลฟ
- 7.6 ผู้ปฏิบัติต้องระวังไว้เสมอว่า เกจวัดความดันโอโตเคลฟ การหมุนกลับของเข็มเกจไปยังจุดเริ่มต้น ซึ่งที่จุดนั้น อาจยังคงมีความดันที่เป็นอันตรายอยู่ ควรปฏิบัติตาม วิธีทดสอบข้อ 11.2

8. จำนวนแท่งทดสอบ

- 8.1 ทำอย่างน้อยหนึ่งแท่งทดสอบ

9. การเตรียมแบบหล่อ

- 9.1 การเตรียมแบบหล่อ
ตาม ASTM C490

10. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

10.1 การเตรียมซีเมนต์เพสต์

- 10.1.1 ผสมปูนซีเมนต์ 650 g กับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวปกติ ตาม มอก. 2752 เล่ม 8 และผสมตาม มอก. 2752 เล่ม 17
- 10.1.2 แท่งทดสอบสามารถเตรียมจากซีเมนต์เพสต์ที่เหลือในอ่างผสมของการทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวและปริมาณน้ำที่เหมาะสม ตาม มอก. 2752 เล่ม 8

10.2 การหล่อแท่งทดสอบ

ทันทีที่เตรียมตัวอย่างเพื่อหาระยะเวลาก่อตัวหรือภายหลังจากผสมเสร็จ นำซีเมนต์เพสต์หล่อแท่งทดสอบ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นถูกกดด้วยนิ้วหัวแม่มือหรือนิ้วชี้ ด้วยการกดให้ซีเมนต์เพสต์เข้ามุมและรอบๆ หมุดและผิวด้านยาวจนกระทั่งแท่งทดสอบเป็นเนื้อเดียวกันอัดขึ้นบน ปาดส่วนที่เกินออกด้วยเกรียงเหล็กขอบบางและทำให้ผิวเรียบ

- 10.3 การเก็บแท่งทดสอบ หลังจากหล่อแท่งทดสอบให้วางในตู้ควบคุมความชื้นหรือห้องควบคุมความชื้น เก็บแบบหล่อในความชื้นอย่างน้อย 20 h ถ้าถอดออกจากแบบหล่อก่อน 24 h ต้องเก็บแท่งทดสอบไว้ในตู้ควบคุมความชื้นหรือห้องควบคุมความชื้นจนกระทั่งถึงเวลาทดสอบ

11. การทดสอบตัวอย่าง

- 11.1 ที่ $24 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$ หลังจากหล่อแบบให้น้ำแท่งทดสอบออกจากบรรยากาศชื้น วัดความยาวของแต่ละแท่งทดสอบทันทีและวางที่ตะแกรงในออตoclave ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ทุกด้านของแท่งทดสอบสัมผัสกับไอน้ำอิ่มตัว ออตoclave ต้องบรรจุน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 20°C ถึง 28°C (68°F ถึง 82°F) รักษาบรรยากาศไอน้ำอิ่มตัวตลอดช่วงทดสอบ โดยปกติใส่น้ำ 7% ถึง 10% ของปริมาตรออตoclave
- 11.2 ปลอ่ยอากาศออกจากออตoclave ในช่วงแรกที่ทำให้ความร้อน โดยการเปิดวาล์วระบายอากาศ จนกระทั่งไอน้ำเริ่มผ่านออก (เพื่อความปลอดภัยให้ศึกษาข้อระวังเกี่ยวกับความปลอดภัยและข้อควรระวัง) ปิดวาล์วระบายอากาศและเพิ่มอุณหภูมิของออตoclave ด้วยอัตราที่เพิ่มความดันเกจของไอน้ำถึง 2 MPa (295 psi) ในเวลา 45 min ถึง 75 min จากเวลาที่เริ่มเปิดเครื่องทำความร้อน รักษาความดันที่ $2 \text{ MPa} \pm 0.07 \text{ MPa}$ ($295 \text{ psi} \pm 10 \text{ psi}$) เป็นเวลา 3 h เมื่อครบ 3 h ปิดเครื่องทำความร้อนและทำให้ออตoclave เย็นด้วยอัตราที่ความดันลดเหลือน้อยกว่า 0.07 MPa (10 psi) ภายในเวลา 1 h 30 min ที่ช่วงเวลา 1 h 30 min ปลอ่ยความดันที่เหลืออย่างช้า ๆ ด้วยการเปิดวาล์วระบายอากาศบางส่วนจนถึงความดันบรรยากาศ แล้วเปิดฝ้ออตoclave และวางแท่งทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C (194°F) ให้ความเย็นกับน้ำรอบๆ แท่งทดสอบด้วยอัตราคงที่โดยการเติมน้ำเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 23°C (74°F) ภายในเวลา 15 min รักษาอุณหภูมিরอบ ๆ แท่งทดสอบที่ 23°C (74°F) เพิ่มอีก 15 min แล้วนำแท่งทดสอบ 1 แท่ง ออกจากน้ำ เช็ดน้ำที่หมดแต่ห้ามเช็ดแท่งทดสอบและวัดแท่งทดสอบด้วยเครื่องเปรียบเทียบความยาว

12. การคำนวณ

- 12.1 คำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบด้วยการลบความยาวที่อ่านได้หลังเข้าอโตเคลฟด้วยความยาวที่อ่านก่อนเข้าอโตเคลฟ และรายงานค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบละเอียดถึง 0.01% รายงานร้อยละของความยาวที่เพิ่มขึ้นเป็นการขยายตัวจากการเข้าอโตเคลฟ แต่หากความยาวลดลงให้รายงาน โดยใส่เครื่องหมายลบหน้าค่าร้อยละ

คำนวณความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบ ดังสูตรต่อไปนี้

$$L = \frac{(L_x - L_i) \times 100}{G}$$

เมื่อ

- L = ความยาวที่เปลี่ยนแปลงของแท่งทดสอบ เป็นร้อยละ
 L_x = ความยาวที่อ่านได้ของแท่งทดสอบหลังเข้าอโตเคลฟ ลบด้วยความยาวที่อ่านได้ของแท่งอ้างอิง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เมื่อใช้แบบหล่อตามรูปที่ 1) หรือหน่วยเป็นนิ้ว (เมื่อใช้แบบหล่อตามรูปที่ 2)
 L_i = ความยาวที่อ่านได้ของแท่งทดสอบก่อนเข้าอโตเคลฟ เริ่มต้นลบด้วยความยาวที่อ่านได้ของแท่งอ้างอิง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (เมื่อใช้แบบหล่อตามรูปที่ 1) หรือเป็นหน่วยนิ้ว (เมื่อใช้แบบหล่อตามรูปที่ 2)
 G = ค่าคงที่ของเครื่องเปรียบเทียบความยาว มีค่า 250 mm เมื่อใช้เครื่องมือตามรูปที่ 1 หรือ 10 in เมื่อใช้เครื่องมือตามรูปที่ 2

หมายเหตุ ให้วัดแท่งอ้างอิงก่อนวัดค่า L_x และ L_i ทุกครั้ง

13. ความแม่นยำ

- 13.1 การขยายตัวของอโตเคลฟช่วงระหว่าง 0.11% ถึง 0.94% ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้ทดสอบคนเดียว (ในห้องทดสอบ) มีค่า 0.024 % ดังนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ 2 ครั้ง โดยผู้ทดสอบคนเดียวกันของตัวอย่างชุดเดียวกัน ต้องต่างกันไม่เกิน 0.07% ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของห้องทดสอบต่างแห่ง (ระหว่างห้องทดสอบ) มีค่า 0.030 % ดังนั้นผลที่ได้จากการทดสอบ 2 ครั้งจากห้องปฏิบัติการ 2 แห่งของตัวอย่างชุดเดียวกัน ต้องต่างกันไม่เกิน 0.09%

14. คำสำคัญ

- 14.1 ออโตเคลฟ (autoclave) การขยายตัวด้วยออโตเคลฟ (autoclave expansion) การขยายตัว (expansion) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (hydraulic cement) ความคงตัว (soundness)

ภาคผนวก ก.

ตารางเปรียบเทียบประเด็นทางวิชาการระหว่าง ASTM C151/C151M-18 กับ มอก. 2752 เล่ม 11 – 25xx

ข้อกำหนด	ASTM C151/C151M-18	มอก. 2752 เล่ม 11 – 25xx
1. ขอบข่าย	มีจำนวน 3 ข้อย่อย	มีจำนวน 1 ข้อย่อย โดยตัดข้อ 1.2 ถึงข้อ 1.3
2. เอกสารอ้างอิง	มีเอกสารอ้างอิงจำนวน 6 ฉบับ คือ - ASTM C187 - ASTM C305 - ASTM 490 - ASTM C511 - ASTM C856 - ASTM C1005 - ASTM C1157	มีเอกสารอ้างอิงจำนวน 6 ฉบับ โดยมีแก้ไข ดังนี้ - แก้ไข ASTM C187 เป็น มอก.2752 เล่ม 8 - แก้ไข ASTM C305 เป็น มอก.2752 เล่ม 17 - แก้ไข ASTM C1157 เป็น มอก. 2594
4. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ	หมายเหตุ 1 ปอซโซลานสามารถหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลโดยใช้วิธี ตาม ASTM C1157	หมายเหตุ 1 ปอซโซลานสามารถหาค่าการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไลโดยใช้วิธี ตาม มอก.2594
5. เครื่องมือทดสอบ	ข้อ 5.3 แบบหล่อ ตาม ASTM C490/C490M-11e1	ข้อ 5.3 แบบหล่อ เพิ่มรายละเอียดและรูปของแบบหล่อ ตาม ASTM C490/C490M-11e1
	ข้อ 5.6 เครื่องเปรียบเทียบความยาว ตาม ASTM C490/C490M-11e1	ข้อ 5.6 เครื่องเปรียบเทียบความยาว เพิ่มรายละเอียดและรูปของแบบหล่อ ตาม ASTM C490/C490M-11e1
	ไม่มีข้อ 5.7	เพิ่มข้อ 5.7 “การตรวจพินิจเครื่องมือทดสอบตามข้อ 5.3 และข้อ 5.6 อย่างน้อยทุก 2 ปีครั้ง” ตาม ASTM C490/C490M-11e1
6. อุณหภูมิและความชื้น	ข้อ 6.1 ห้องหล่อแบบ ควบคุมอุณหภูมิของห้องหล่อแบบ ปูนซีเมนต์แห้ง น้ำผสม และความชื้นสัมพัทธ์ ตาม ASTM C490	เพิ่มรายละเอียดตาม ASTM C490/C490M-11e1 6.1 ห้องหล่อแบบ ควบคุมอุณหภูมิของห้องหล่อแบบ ปูนซีเมนต์แห้ง ที่อุณหภูมิ $23^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ น้ำผสมที่อุณหภูมิ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ และ ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 50%

ข้อกำหนด	ASTM C151/C151M-18	มอก. 2752 เล่ม 11 - 25xx
	6.2 ตู้ควบคุมความชื้นหรือห้องควบคุมความชื้น ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตาม ASTM C511	เพิ่มรายละเอียดตาม ASTM C511-13 6.2 ตู้ควบคุมความชื้นหรือห้องควบคุมความชื้น ควบคุมอุณหภูมิที่ $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 95%
10. การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	ข้อ 10.1 การเตรียมซีเมนต์เพสต์	ข้อ 10.1 การเตรียมซีเมนต์เพสต์ แยกข้อความตาม ASTM C151/C151M-15 ออกเป็น 2 ข้อย่อย
13. ความแม่นยำ	มีจำนวน 2 ข้อ คือ 13.1 ความแม่นยำ 13.2 ความลำเอียง	มีจำนวน 1 ข้อ โดยตัดข้อ 13.2 ความลำเอียง