

สทร. HSR-CT-2003:2568

มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะการควบคุมคุณภาพงานคอนกรีตสำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง Standards specifications for quality control of concrete work for high-speed rail projects

1. ขอบข่าย

- 1.1 ข้อกำหนดทางเทคนิคฉบับนี้เป็นข้อกำหนดสำหรับการควบคุมคุณภาพงานคอนกรีตในงานก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง ซึ่งมีความต้องการข้อกำหนดพิเศษบางประการที่ต่างจากโครงสร้างทั่วไป เช่น การกำหนดสมบัติของคอนกรีตที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในระยะยาว อายุการใช้งานในสภาพแวดล้อมการใช้งานต่างๆ เป็นต้น ข้อกำหนดฉบับนี้ไม่ครอบคลุมคอนกรีตชนิดพิเศษบางประเภท เช่น คอนกรีตมวลเบา คอนกรีตผสมเส้นใย คอนกรีตสมรรถนะสูงพิเศษ เป็นต้น
- 1.2 ใช้ระบบหน่วย SI (International System Unit) เป็นหน่วยสำหรับข้อกำหนดนี้
- 1.3 คุณลักษณะการควบคุมคุณภาพงานคอนกรีตสำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูงให้เป็นไปตามแบบแปลนข้อกำหนดในรายการประกอบแบบเฉพาะงานสัญญาผู้ว่าจ้าง หากเอกสารดังกล่าวไม่ได้ระบุในเรื่องใดไว้ ก็สามารถใช้มาตรฐานฉบับนี้อ้างอิงได้

2. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานอ้างอิงต่อไปนี้จะยึดตามฉบับปรับปรุงล่าสุดในทุก ๆ ครั้งที่มีการบังคับใช้ในมาตรฐาน แต่ต้องไม่ขัดกับมาตรฐานฉบับนี้

- 2.1 มยผ. 1101 มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร – มาตรฐานงานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 2.2 วสท. 011014 ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต
- 2.3 สคท. 1204 คู่มือการทำงานคอนกรีตหยาบ
- 2.4 สคท. 1205 คู่มือการทำงานคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง
- 2.5 สคท. 1206 คู่มือการทำงานคอนกรีตขยายตัว
- 2.6 สทร. HSR-CT-4011 มาตรฐานการทดสอบการขยายตัวอิสระของคอนกรีตขยายตัว สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง
- 2.7 ACI 117 Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials
- 2.8 ACI ITG-7-09 Specification for Tolerances for Precast Concrete

3. นิยาม

“คอนกรีต” (concrete) หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของวัสดุประสาน เช่น ปูนซีเมนต์หรือปูนซีเมนต์ผสมวัสดุปอซโซลาน มวลรวมละเอียด เช่น ทราย มวลรวมหยาบ เช่น หินหรือกรวด และน้ำ โดยมีหรือไม่มีสารเคมีหรือแร่ผสมเพิ่ม

“เถ้าลอย” (fly ash) หมายถึง วัสดุผงที่เหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่ถูกพาให้ลอยขึ้นโดยความร้อนของเตาเผา มีขนาดเล็กและมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก

“มวลรวม” (aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดโตตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตรขึ้นไป ประกอบด้วย มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด

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

“วัสดุปอซโซลาน” (pozzolans) หมายถึง วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในลักษณะของแร่ผสมเพิ่มซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม หรือผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะ ที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีต โดยผลผลิตของปฏิกิริยามีลักษณะเดียวกับผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ หากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานหลายอย่างในระยะยาวที่ดีกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนได้

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

4. ข้อกำหนดสำหรับการควบคุมคุณภาพงานคอนกรีต

4.1 การจัดเก็บวัสดุ

4.1.1 การเก็บปูนซีเมนต์

- (1) ปูนซีเมนต์ควรเก็บโดยแยกชนิดไม่ปะปนกันในบริเวณที่สามารถป้องกันความชื้นได้
- (2) การเก็บปูนซีเมนต์ในไซลอนั้น จะต้องออกแบบไซโลไม่ให้มีปูนซีเมนต์บางส่วนค้างถาวรอยู่ในไซโล
- (3) ปูนซีเมนต์ที่ถูกเก็บกักไว้นานควรจะมีการทดสอบคุณภาพก่อนการใช้
- (4) ในกรณีที่อุณหภูมิของปูนซีเมนต์สูงเกินไป ต้องมีการทำให้ปูนซีเมนต์เย็นลงก่อนใช้ โดยอุณหภูมิของปูนซีเมนต์ไม่ควรสูงเกินกว่า 55°C

4.1.2 การเก็บมวลรวม

- (1) ควรจัดเก็บมวลรวมโดยแยกชนิด ขนาด และส่วนคละ
- (2) ในการเก็บหรือเคลื่อนย้ายมวลรวมต้องไม่ก่อให้เกิดการแยกตัวของขนาด ไม่ให้มีสิ่งสกปรกเข้าไปปน และไม่ให้เกิดการแตกเป็นชิ้นเล็กของมวลรวม
- (3) สถานที่หรือไซโลที่ใช้เก็บมวลรวมที่ดีต้องมีขนาดใหญ่พอสมควร และควรได้รับการออกแบบให้มีการระบายน้ำได้ และควรเก็บมวลรวมโดยป้องกันไม่ให้มวลรวมเปียกเกินไป เพื่อให้ได้มวลรวมที่มีปริมาณน้ำที่ผิว (Surface water) ค่อนข้างคงที่ สำหรับการผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ
- (4) ในกรณีที่เก็บมวลรวมไว้กลางแจ้งควรมีวิธีการในการควบคุมผลจากแสงแดดที่จะทำให้อุณหภูมิของมวลรวมสูง และทำให้มวลรวมแห้ง เช่น มีหลังคาคลุม หรือมีการพ่นละอองน้ำ

4.1.3 การเก็บแร่ผสมเพิ่ม

- (1) ควรเก็บแร่ผสมเพิ่มโดยแยกชนิดไว้ในไซโลหรือโกดัง โดยหลีกเลี่ยงความชื้น
- (2) ควรมีการตรวจสอบคุณภาพแร่ผสมเพิ่มที่ถูกเก็บไว้นานก่อนใช้ โดยปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ขายอย่างเคร่งครัด
- (3) ควรระวังไม่ให้มีการฟุ้งกระจายของแร่ผสมเพิ่ม

4.1.4 การเก็บสารเคมีผสมเพิ่ม

- (1) ควรเก็บสารเคมีผสมเพิ่มโดยป้องกันไม่ให้มีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเข้าไปปะปนได้ ควรเก็บสารเคมีผสมเพิ่มที่เป็นของเหลวโดยป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ไม่ให้เกิดการสูญเสียในสารเคมีผสมเพิ่ม ไม่ให้แข็งตัวหรือแยกตัว สำหรับสารเคมีผสมเพิ่มแบบผงควรเก็บโดยป้องกันไม่ให้เกิดความชื้นหรือเกิดเป็นก้อน
- (2) ควรตรวจสอบสมบัติของสารเคมีผสมเพิ่มที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานานให้แน่ใจก่อนที่จะนำไปใช้ โดยปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ขายอย่างเคร่งครัด

4.2 การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต

วัสดุผสมแต่ละชนิดจะต้องชั่งตวงก่อนการผสมด้วยความถูกต้อง ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสมบัติตามความต้องการ

4.2.1 เครื่องมือในการชั่งตวงวัสดุผสม

- (1) วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการชั่งตวงวัสดุผสมจะต้องมีความเหมาะสมกับงาน และต้องมีความสามารถที่จะชั่งตวงให้ได้ปริมาณที่ถูกต้อง โดยมีค่าความละเอียดถูกต้องเพียงพอตามตารางที่ 1
- (2) เครื่องมือที่ใช้ในการชั่งตวงวัสดุผสมจะต้องได้รับการตรวจสอบและปรับแก้อย่างสม่ำเสมอก่อนที่จะนำมาใช้งาน และมีการตรวจสอบปรับแก้ซ้ำเป็นระยะๆ ในระหว่างการใช้งาน

4.2.2 การชั่งตวงวัสดุผสม

(1) ต้องชั่งตวงวัสดุผสมในสภาพที่จะใช้งานจริง ควรมีการทดสอบหาปริมาณความชื้นที่ผิวของมวลรวมตามมาตรฐานหรือโดยวิธีการอื่นใดที่เหมาะสมในกรณีที่วัสดุผสมอยู่ในสภาวะชื้น หากวัสดุผสมอยู่ในสภาวะแห้ง ควรมีการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำประสิทธิผลของวัสดุผสม ทั้งนี้เพื่อใช้ในการปรับแก้ปริมาณการชั่งตวงน้ำ และมวลรวมได้อย่างถูกต้อง

(2) ปริมาณของการชั่งตวงในแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับชนิดของการก่อสร้าง ปริมาณของคอนกรีตที่จะใช้ ขนาดและประสิทธิภาพของเครื่องผสมคอนกรีต วิธีการขนส่ง และเงื่อนไขการทำงานในสนาม

(3) ควรเตรียมวัสดุผสมไว้สำหรับการผสมแต่ละครั้งโดยการชั่งน้ำหนัก ทั้งนี้ยกเว้นน้ำและสารเคมีผสมเพิ่มอาจเตรียมไว้โดยการตวงปริมาตรแทนการชั่งน้ำหนักก็ได้

(4) ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการชั่งตวงไม่ควรเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (มาตรฐาน วสท. 011014)

วัสดุ	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้
น้ำ	ร้อยละ 1 ทุกปริมาณการเตรียม
ปูนซีเมนต์	ร้อยละ 2 เมื่อเตรียมน้อยกว่า 200 กก. และร้อยละ 1 เมื่อเตรียมไม่น้อยกว่า 200 กก.
มวลรวมทุกชนิด	ร้อยละ 3 เมื่อเตรียมน้อยกว่า 500 กก. และร้อยละ 2 เมื่อเตรียมไม่น้อยกว่า 500 กก.
แร่ผสมเพิ่ม	ร้อยละ 3 ทุกปริมาณการเตรียม
สารเคมีผสมเพิ่ม	ร้อยละ 3 ทุกปริมาณการเตรียม

4.3 การผสมคอนกรีต

วัสดุทุกชนิดจะต้องถูกผสมจนเข้ากันเป็นเนื้อเดียว

4.3.1 เครื่องผสม

(1) ไม่ว่าเครื่องผสมจะเป็นแบบใดก็ตาม จะต้องได้รับการตรวจสอบให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานเสมอ

(2) เครื่องผสมคอนกรีตทุกแบบต้องไม่ทำให้คอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้วเกิดการแยกตัวขณะที่คายคอนกรีตออก

4.3.2 การผสม

- (1) ลำดับในการใส่วัสดุผสมลงในเครื่องผสม และระยะเวลาที่จะใช้ในการผสม จะต้องกำหนดไว้ล่วงหน้าตามข้อแนะนำของผู้ผลิตเครื่องผสม หรือใช้ผลจากการทดลองผสม
- (2) พื้นที่ผิวภายในของเครื่องผสมควรเคลือบด้วยมอร์ตาร์ก่อนที่จะใช้ผสมคอนกรีตในครั้งแรก
- (3) ไม่ควรใส่วัสดุสำหรับการผสมครั้งต่อไปลงในเครื่องผสม จนกว่าจะคายคอนกรีตของการผสมครั้งก่อนออกจากเครื่องผสมจนหมด
- (4) ต้องทำความสะอาดเครื่องผสมก่อนและหลังการใช้งานทุกครั้งหากไม่ได้มีการใช้งานต่อเนื่อง
- (5) ไม่นำคอนกรีตที่ถูกทิ้งไว้จนเริ่มก่อตัวกลับมาใช้อีก

4.4 การลำเลียงคอนกรีต

ในการลำเลียงคอนกรีตที่ผสมแล้วต้องคำนึงถึงสภาพการลำเลียงคอนกรีต โดยต้องระวังให้เนื้อคอนกรีตไม่แยกตัวก่อนการเทลงแบบ และหากการลำเลียงใช้เวลานานควรป้องกันคอนกรีตจากสภาพแวดล้อม และภูมิอากาศที่เป็นผลเสียต่อคอนกรีต เช่น อุณหภูมิสูง และน้ำฝน เป็นต้น

การเลือกวิธีการลำเลียง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- (1) ปริมาณ และอัตราการเทในแต่ละครั้ง
- (2) ขนาด และประเภทของโครงสร้าง
- (3) ลักษณะภูมิประเทศ สถานที่ทำงาน และเส้นทางการขนส่ง
- (4) ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น ค่าแรง ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น

วิธีการลำเลียงคอนกรีตที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสถานที่ผสมคอนกรีตและบริเวณที่จะเทคอนกรีต โดยควรเลือกวิธีที่ไม่ทำให้คอนกรีตแยกตัว ตามข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

- (1) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับเดียวกับบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยคนงาน รถเข็น รถผสมคอนกรีต สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
- (2) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับสูงกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยรางสายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
- (3) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ในระดับต่ำกว่าบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยใช้รถยก ลิฟท์ รถเครน ทาวเวอร์เครน สายพานลำเลียง หรือคอนกรีตปั๊ม เป็นต้น
- (4) เมื่อที่ผสมคอนกรีตอยู่ห่างจากบริเวณที่ต้องการเทคอนกรีต ควรใช้วิธีการลำเลียงโดยรถโม้ขนคอนกรีตมาส่งที่หน่วยงาน และลำเลียงต่อไปสู่บริเวณที่ต้องการเทคอนกรีตด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสม

4.5 การเทคอนกรีต

อุณหภูมิคอนกรีตสดไม่ควรเกิน 35°C กรณีอุณหภูมิคอนกรีตสดสูงเกิน 35°C ต้องได้รับการอนุมัติจากวิศวกรก่อนการเท โดยมีผลการทดสอบหรือผลการวิเคราะห์เพื่อยืนยัน

สิ่งที่ควรเตรียมก่อนเทคอนกรีต มีดังต่อไปนี้

(1) ต้องตรวจสอบปริมาณ และตำแหน่งของเหล็กเสริมให้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ตลอดจนตรวจสอบแบบเทคอนกรีตและอุปกรณ์อื่นๆ ให้ถูกต้องตามแผนที่วางไว้ รวมทั้งตรวจสอบความสะอาดของผิวเหล็กเสริมให้ปราศจาก ดิน โคลน น้ำมัน หรือวัสดุสกปรกอื่นๆ ที่อาจส่งผลเสียต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

(2) ตรวจสอบผนังของเครื่องมือลำเลียง เครื่องมือเท และผนังด้านในของแบบเทคอนกรีต เพื่อไม่ให้มีสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปผสมกับคอนกรีตที่จะเท เช่น เศษดินโคลน หรือเศษไม้ เป็นต้น ผนังด้านในของเครื่องมือและแบบเทคอนกรีตดังกล่าว ควรจะมีการทำให้ชื้นก่อนเพื่อป้องกันการดูดซับน้ำจากคอนกรีตที่ลำเลียงหรือเท

(3) ในการเทหลุมหรือบ่อ ควรกำจัดน้ำที่หลงเหลืออยู่ในบ่อก่อนที่จะเทคอนกรีต และควรป้องกันไม่ให้น้ำไหลลงไปในบ่อในขณะที่เทคอนกรีตหรือขณะที่เทเสร็จแล้วใหม่ๆ

(4) การเทคอนกรีต ควรมีการวางแผนการเทคอนกรีตเพื่อให้สามารถเทได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพที่สุด โดยไม่ก่อให้เกิดอุปสรรคต่องานที่ไม่เกี่ยวข้อง

(5) การเทคอนกรีตที่ดี คือการเทเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอ ไม่มีการแยกตัว และไม่เกิดรูพรุนไม่ควรเทคอนกรีตให้กระทบโดยตรงกับเหล็กเสริมหรือข้างแบบ ควรเทคอนกรีตลงมาตรง ๆ และไม่ควรให้คอนกรีตไหลไปในแนวราบเป็นระยะทางไกล ยกเว้นในกรณีของคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง ซึ่งถูกออกแบบโดยมีการควบคุมการแยกตัว ถ้าพบว่าการแยกตัวของคอนกรีตหลังเริ่มการเทคอนกรีต จะต้องมีการแก้ไขทันที

(6) ในกรณีที่แบ่งเทคอนกรีตต่อเนื่องกันเป็นชั้นๆ คอนกรีตที่เทใหม่ในชั้นบนควรเททับก่อนที่คอนกรีตชั้นล่างจะเริ่มก่อตัว

(7) ในกรณีที่แบบมีความสูงมากไม่ควรเทคอนกรีตโดยปล่อยให้คอนกรีตตกอิสระจากส่วนบนที่สุดของแบบ แต่ควรใช้วิธีการใดๆ เช่น สายพาน รางเท (Chute) ถัง หรือต่อท่อ เพื่อให้ระยะตกอิสระของคอนกรีตไม่เกิน 1.5 เมตร

(8) ถ้าตรวจพบการเอี่ยมของคอนกรีตระหว่างการเทคอนกรีต ควรหยุดเทจนกว่าจะกำจัดน้ำที่เอี่ยมออกมาบนผิวคอนกรีตให้หมดก่อนที่จะเทคอนกรีตทับชั้นบนต่อไป

(9) การเทคอนกรีตต่อเนื่องกันในองค์อาคารที่มีความสูง เช่น เสา หรือกำแพง ควรเทด้วยอัตราที่ไม่เร็วเกินไป โดยปกติอัตราการเทที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 2 - 3 เมตรต่อชั่วโมง (ความสูง) ยกเว้นในกรณีที่แรงดันคอนกรีตด้านข้างไม่เป็นปัญหา สามารถพิจารณาตามความเหมาะสม

4.6 การทำให้แน่น

(1) ในขณะที่กำลังเทคอนกรีตอยู่นั้น จำเป็นต้องทำคอนกรีตให้แน่นโดยทั่วถึง โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้มือ ใช้เครื่องเขย่า หรือใช้เครื่องตบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้คอนกรีตที่แน่น มีการยึดหน่วงกับเหล็กเสริมดี และได้ผิวเรียบ

(2) บริเวณรอบๆ เหล็กเสริม และสิ่งที่จะฝังติดในคอนกรีต และตามมุมของแบบหล่อควรจะทำคอนกรีตให้แน่นเป็นพิเศษ

(3) ไม่ว่าจะใช้เครื่องเขย่าคอนกรีตชนิดไหนก็ตาม ควรเว้นระยะห่างสั้น ๆ ให้เพียงพอที่ส่วนของคอนกรีตที่ถูกเขย่าแล้วมีระยะเหลื่อมกันโดยไม่เว้นข้ามส่วนไหนเลย ควรให้การเขย่าดำเนินต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตแน่นตัวทั่วกันดี และแทรกเต็มช่องว่างทั้งหมด

4.7 การบ่มคอนกรีต

(1) คอนกรีตต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเท และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ

(2) การบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลมไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตและไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนหลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ เป็นต้น

(3) หลังจากเสร็จสิ้นการเทจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแข็งแล้ว ผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศยังต้องคงความเปียกชื้นอยู่ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการปกคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ ผ้าเปียกน้ำ หรือฉีดย้ำน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น

(4) คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ควรบ่มเปียกติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน ส่วนคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ควรบ่มอย่างน้อย 3 วัน ในกรณีของคอนกรีตที่มีวัสดุปอซโซลานผสม ควรบ่มมากกว่า 7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุปอซโซลานที่ใช้ ข้อเสนอแนะสำหรับระดับการบ่มคอนกรีตผสมเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อเสนอแนะสำหรับระดับการบ่มคอนกรีตผสมเถ้าลอย (มาตรฐาน วสท. 011014)

ปริมาณการแทนที่ (ร้อยละ)	เถ้าลอย ประเภทที่ 1*	เถ้าลอย ประเภทที่ 2ก*	เถ้าลอย ประเภทที่ 2ข*	เถ้าลอย ประเภทที่ 3*
10 – 20	+	++	+	+++
20 – 30	++	++	++	+++
30 – 40	++	+++	+++	+++
มากกว่า 40	+++	+++	+++	+++

หมายเหตุ: + บ่มเท่ากับคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ใส่เถ้าลอย
 ++ บ่มนานกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ใส่เถ้าลอย
 +++ บ่มนานกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ใส่เถ้าลอยมาก ซึ่งระยะเวลาบ่มสำหรับ
 ระดับการบ่มนี้ อาจไม่เกิน 21 วัน
 * ประเภทของเถ้าลอยเป็นไปตาม มอก. 2135

(5) สำหรับคอนกรีตพิเศษบางประเภท เช่น คอนกรีตแข็งตัวเร็ว เป็นต้น อาจไม่จำเป็นต้องบ่มนานตาม
 คำแนะนำที่ให้ไว้ข้างต้นก็ได้ ถ้าได้มีการออกแบบส่วนผสมให้ได้สมบัติตามต้องการโดยได้พิจารณาผลของการบ่ม
 ระยะสั้นในการออกแบบส่วนผสมไว้แล้ว การบ่มคอนกรีตขยายตัวควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือ
 ผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้การขยายตัวตามที่ต้องการ

(6) การบ่มแบบควบคุมอุณหภูมิมีความจำเป็นต่องานบางประเภท โดยเฉพาะงานคอนกรีตหนา ข้อเสนอแนะ
 สำหรับคอนกรีตหนาสามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการทำงานคอนกรีตหนา (สทท. 1204)

(7) ในงานบางประเภท เช่น การผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป อาจมีความจำเป็นต้องใช้การบ่มแบบเร่ง
 กำลัง เช่น บ่มไอน้ำหรือบ่มไอน้ำความดันสูง เป็นต้น การบ่มแบบเร่งกำลังนั้นควรคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ ระยะเวลา
 ที่จะเริ่มบ่ม อัตราการเร่งอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ อัตราการลด
 อุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ควรได้มาจากผลการทดสอบหรือประสบการณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อ
 คอนกรีตที่บ่ม การบ่มแบบเร่งกำลังนี้ ต้องให้คอนกรีตมีกำลังไม่น้อยกว่ากำลังที่ออกแบบไว้และต้องไม่มีผลเสียต่อ
 ความคงทนของคอนกรีตด้วย ในการบ่มแบบเร่งกำลังโดยใช้อุณหภูมิสูง ควรมีการควบคุมไม่ให้อุณหภูมิที่ใช้ในการ
 บ่มสูงเกินไป ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหา Delayed Ettringite Formation ในระยะยาวได้ ระดับอุณหภูมิของคอนกรีต
 ในช่วงการบ่มที่อาจทำให้เกิดปัญหา Delayed Ettringite Formation ในระยะยาว สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการ
 ทำงานคอนกรีตหนา (สทท. 1204)

(8) สารเคมีสำหรับการบ่มจะใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถบ่มคอนกรีตแบบเปียกได้ สารเคมีสำหรับการบ่มนั้นจะใช้ฉีดพ่นลงบนผิวหน้าของคอนกรีตที่ต้องการบ่มโดยควรฉีดพ่นซ้ำมากกว่า 1 เที่ยว เพื่อให้แผ่นฟิล์มเคลือบผิวหน้าคอนกรีตมีความหนาเพียงพอ และควรฉีดพ่นทันทีที่ผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้งเพื่อไม่ให้น้ำที่ค้างบนผิวหน้าคอนกรีตผสมกับสารเคมี ถ้ายังไม่สามารถฉีดพ่นทันทีที่ผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้งก็ให้ฉีดน้ำบนผิวคอนกรีตให้เปียกชุ่มไว้ก่อน แล้วรอจนผิวหน้าคอนกรีตเริ่มแห้งจึงค่อยฉีดพ่นสารเคมีสำหรับการบ่ม

(9) สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยงเพื่อไม่ให้คอนกรีตได้รับความเสียหายในขณะที่บ่มอยู่มีดังต่อไปนี้ การสั่นสะเทือน การกระแทก การรับน้ำหนักมากเกินไป การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมากในเวลาสั้นๆ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอายุต้นๆ ของคอนกรีต

(10) สามารถใช้คู่มือการบ่มคอนกรีต (สศท. 1201) เพื่อประโยชน์ในการอ้างอิงได้

4.8 แบบหล่อคอนกรีตและค้ำยัน

แบบหล่อคอนกรีตใช้เพื่อให้ได้โครงสร้างคอนกรีตที่มีขนาดและรูปร่างตามที่ต้องการ ต้องออกแบบและก่อสร้างแบบหล่อคอนกรีตและค้ำยัน ให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงที่เกิดจากการเทคอนกรีตและการเขย่าคอนกรีตให้แน่น และมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำให้มิติของคอนกรีตที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินค่าที่ยอมรับ (Tolerance) ในตารางที่ 3

ในกรณีประเภทการก่อสร้างอื่นๆ (หากมี) สามารถกำหนดในข้อกำหนดการก่อสร้าง โดยอ้างอิงมาตรฐานนานาชาติ เช่น ACI 117 Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials และ ACI ITG-7-09 Specification for Tolerances for Precast Concrete

ตารางที่ 3 ประเภทของการก่อสร้างและความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ (มาตรฐาน วสท. 011014)

ประเภทของการก่อสร้าง	ความคลาดเคลื่อนสูงสุด
1. ความคลาดเคลื่อนจากแนวดิ่ง (1) แนวหรือผิวของเสา ตอม่อ กำแพง ทุกๆ ระยะ 3.0 เมตร ค่าสูงสุดตลอดความสูง (2) มุมของเสาที่มองเห็นได้ ร่อง รอยต่อ และเส้นที่มองเห็นชัดเจน ทุกๆ ระยะ 3.0 เมตร ค่าสูงสุดตลอดความสูง	6 มม. 25 มม. 6 มม. 12 มม.
2. ความคลาดเคลื่อนจากค่าระดับหรือจากค่าความลาดเอียงที่ระบุในแบบ (1) ท้องพื้น ฝ้าเพดาน ท้องคาน (วัดค่าก่อนถอดค้ำยัน) ทุกๆ ระยะ 3.0 เมตร ทุกๆ ระยะช่วงคานหรือระยะ 6.0 เมตร ค่าสูงสุดตลอดความยาว (2) ขอบบนของประตูหน้าต่าง ธรณีประตู แผงคอนกรีต ร่องในแนวราบ และเส้นที่มองเห็นได้ชัดเจน ทุกๆ ระยะช่วงคานหรือระยะ 6.0 เมตร ค่าสูงสุดตลอดความยาว	6 มม. 10 มม. 20 มม. 6 มม. 12 มม.
3. ความคลาดเคลื่อนของแนวอาคาร และตำแหน่งของเสา กำแพงและแผงกั้นต่างๆ ทุกๆ ระยะช่วงคานหรือระยะ 6.0 เมตร ค่าสูงสุดตลอดความยาว	12 มม. 25 มม.
4. ความคลาดเคลื่อนของขนาดและตำแหน่งช่องเปิดทั้งในพื้นและผนัง	6 มม.
5. ความคลาดเคลื่อนของขนาดหน้าตัดของเสา คานและความหนาของพื้น กำแพง ค้ำลบ ค้ำบวก	ไม่เกิน 5 มม. ไม่เกิน 10 มม.

ตารางที่ 3 ประเภทของการก่อสร้างและความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมให้ (มาตรฐาน วสท. 011014) (ต่อ)

ประเภทของการก่อสร้าง	ความคลาดเคลื่อนสูงสุด
6. ฐานราก (1) ความคลาดเคลื่อนของขนาดความกว้างความยาว ค่าลบ ค่าบวก (2) ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งฐานราก (3) ความคลาดเคลื่อนของขนาดความหนาฐานราก ค่าลบ ค่าบวก	ไม่เกิน 12 มม. ไม่เกิน 50 มม. ไม่มากกว่าร้อยละ 2 ของขนาดฐานราก วัดในทิศทางที่คลาดเคลื่อน แต่ไม่มากกว่า 50 มม. ไม่เกิน ร้อยละ 5 ไม่เกิน 100 มม.
7. บันได (1) ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับชั้นบันไดในบันไดตัวเดียวกัน ลูกตั้ง ลูกนอน (2) ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับชั้นบันไดที่อยู่ติดกัน ลูกตั้ง ลูกนอน	4 มม. 6 มม. 2 มม. 4 มม.

4.8.1 การประกอบติดตั้งแบบหล่อและค้ำยัน

- (1) การประกอบติดตั้งแบบหล่อและค้ำยันต้องยึดให้แน่นและแข็งแรงตามที่ออกแบบไว้
- (2) ต้องตรวจสอบแบบหล่อนก่อนการวางเหล็กเสริม
- (3) ต้องทำความสะอาดแบบหล่อทุกครั้งก่อนใช้งาน และควรทาผิวแบบหล่อนด้วยน้ำมันเพื่อให้ถอดแบบหล่อนง่ายไม่ติดคอนกรีต
- (4) การประกอบติดตั้งแบบหล่อและค้ำยัน ควรเผื่อระยะเพื่อชดเชยการแอ่นตัวของแบบหล่อหรือค้ำยัน หรือฐานรองรับค้ำยันที่ประเมินโดยการคำนวณล่วงหน้าได้ว่าจะเกิดขึ้น
- (5) ก่อนเทคอนกรีตต้องทำความสะอาดเพื่อขจัดเศษวัสดุแปลกปลอม แบบหล่อนควรมีจุดเปิดเพื่อการทำความสะอาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณด้านล่างของแบบหล่อนเสาและแบบหล่อนผนัง

4.8.2 การถอดแบบหล่อและค้ำยัน

(1) ขั้นตอนและระยะเวลาในการถอดแบบหล่อและค้ำยัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ ส่วนผสมของคอนกรีต ความสำคัญของโครงสร้าง ชนิดและขนาดของโครงสร้างน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง อุณหภูมิ และอื่น ๆ

(2) จะถอดแบบหล่อและค้ำยันออกได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพียงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของคอนกรีตและน้ำหนักอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างต่อไป ให้ปฏิบัติตามที่ระบุในข้อกำหนดก่อสร้าง

(3) กรณีโครงสร้างทั่วไปซึ่งมิได้มีข้อกำหนดระบุไว้ สามารถถอดแบบหล่อและค้ำยัน โดยมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตขั้นต่ำของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มลักษณะเดียวกับโครงสร้างที่ก่อสร้างจริงดังแสดงในตารางที่ 4

(4) กรณีโครงสร้างทั่วไปซึ่งมิได้มีข้อกำหนดระบุไว้และไม่มีผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ให้ใช้ระยะเวลาถอดแบบหล่อและค้ำยันเร็วที่สุดดังแสดงในตารางที่ 5

(5) ควรระวังไม่ให้โครงสร้างเสียหายบริเวณผิวเปิดหลังจากถอดแบบ หรือเสียหายจากการรับน้ำหนักบรรทุกหลังจากถอดค้ำยัน เนื่องจากคอนกรีตยังไม่ได้พัฒนากำลังเต็มที่

ตารางที่ 4 กำลังอัดขั้นต่ำของคอนกรีตสำหรับการถอดแบบหล่อและค้ำยันของโครงสร้างทั่วไป

(มาตรฐาน วสท. 011014)

ชนิดแบบหล่อของโครงสร้าง	กำลังอัดขั้นต่ำของคอนกรีต (เมกะปาสกาล) ตัวอย่างทดสอบทรงกระบอก Ø ขนาด 150 mm x 300 mm
แบบหล่อด้านข้างของเสา คาน กำแพง และฐานราก	5
แบบหล่อท้องพื้นและท้องคาน	14

ตารางที่ 5 อายุขั้นต่ำของคอนกรีตสำหรับการถอดแบบหล่อและค้ำยันของโครงสร้างทั่วไป

(มาตรฐาน วสท. 011014)

ชนิดแบบหล่อของโครงสร้าง	อายุขั้นต่ำของคอนกรีต (วัน)
แบบหล่อด้านข้างของเสา คาน กำแพง และฐานราก	2
แบบหล่อท้องพื้นและท้องคาน	14

4.9 การตรวจสอบคุณภาพคอนกรีต

- (1) การตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตโดยใช้ผลการทดสอบนั้น นอกจากจะพิจารณาผลการทดสอบโดยรวมแล้ว ยังจำเป็นต้องมีการพิจารณาผลการทดสอบในแต่ละช่วงเป็นช่วงๆ ด้วย
- (2) การตรวจสอบความสามารถในการทำงานได้โดยการยุบตัว ในกรณีที่มิได้ระบุค่าความคลาดเคลื่อนของการยุบตัว กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการตรวจสอบความสามารถในการทำงานได้

(มาตรฐาน วสท. 011014)

ค่าการยุบตัว (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (มม.)
50 - 150 มม.	± 25 มม.
> 150 มม.	± 35 มม.

- (3) การตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตโดยกำลังอัด จะถือว่าคอนกรีตมีคุณภาพได้ตามต้องการก็ต่อเมื่อผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นไปได้ที่จำนวนตัวอย่างทดสอบที่มีกำลังอัดต่ำกว่ากำลังที่กำหนดมีน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยปกติแล้วค่ากำลังอัดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นค่ากำลังอัดที่ 28 วัน เว้นแต่จะมีการกำหนดเป็นอย่างอื่น

- (4) จำนวนของการเก็บตัวอย่างโดยทั่วไปแล้วไม่ควรน้อยกว่า 1 ครั้งต่อการเทคอนกรีตต่อเนื่องทุกๆ 50 ลบ.ม. หรืออย่างน้อย 1 ครั้งต่อวันหากปริมาณการเทคอนกรีตต่ำกว่า 50 ลบ.ม. ต่อวัน ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบหนึ่งค่าควรเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยค่าจากอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างในกรณีคอนกรีตหลายสามารถเก็บจำนวนต่างจากคอนกรีตธรรมดาทั่วไปได้ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนการเก็บตัวอย่างทดสอบสำหรับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตหยา
(สศท.1204 คู่มือการทำงานคอนกรีตหยา)

ปริมาณการเทคอนกรีตหยา, V (ลบ.ม.)	จำนวนครั้ง หรือชุดการ ทดสอบ*	ปริมาณการเทคอนกรีตหยา, V (ลบ.ม.)	จำนวนครั้งหรือชุด การทดสอบ*
ไม่เกิน 50	1	มากกว่า 50 ไม่เกิน 100	2
มากกว่า 100 ไม่เกิน 150	3	มากกว่า 150 ไม่เกิน 200	4
มากกว่า 200 ไม่เกิน 600	5	มากกว่า 600 ไม่เกิน 1,000	6
มากกว่า 1000 ไม่เกิน 1,500	7	มากกว่า 1,500 ไม่เกิน 2,000	8
มากกว่า 2,000 ไม่เกิน 2,500	9	มากกว่า 2,500 ไม่เกิน 3,000	10
มากกว่า 3,000 ไม่เกิน 3,500	11	มากกว่า 3,500 ไม่เกิน 4,000	12
มากกว่า 4,000 ไม่เกิน 4,500	13	มากกว่า 4,500 ไม่เกิน 5,000	14
มากกว่า 5,000 ไม่เกิน 5,500	15	มากกว่า 5,500 ไม่เกิน 6,000	16
มากกว่า 6,000 ไม่เกิน 6,500	17	มากกว่า 6,500 ไม่เกิน 7,000	18
มากกว่า 7,000 ไม่เกิน 7,500	19	มากกว่า 7,500 ไม่เกิน 8,000	20
มากกว่า 8,000 ไม่เกิน 8,500	21	มากกว่า 8,500 ไม่เกิน 9,000	22
มากกว่า 9,000 ไม่เกิน 9,500	23	มากกว่า 9,500 ไม่เกิน 10,000	24
มากกว่า 10,000	$24 + x$ โดยที่ $x = (V - 10000) / 500$		

หมายเหตุ * ทดสอบอย่างน้อย 1 ครั้งหรือชุดต่อวัน และเศษจากการคำนวณให้ปัดขึ้น

(5) ในกรณีที่คอนกรีตที่กำลังเทอยู่มีผลการวิเคราะห์ว่าไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ ก็จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุงส่วนผสม หรือตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนวิธีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือการเทคอนกรีต ในขณะเดียวกันก็ต้องมีการตรวจสอบคอนกรีตที่เทไปแล้วด้วยว่ามีคุณภาพได้ตามต้องการหรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็ต้องแก้ไข

5. คอนกรีตพิเศษ

ในการก่อสร้างโครงการรถไฟความเร็วสูงมักมีความต้องการใช้คอนกรีตชนิดพิเศษหลายชนิด

(1) คอนกรีตหยาบเหมาะกับการก่อสร้างโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีปัญหาเรื่องอุณหภูมิของคอนกรีตที่สูง เช่นฐานราก ในการทำงานสามารถอ้างอิง สคท. 1204 คู่มือการทำงานคอนกรีตหยาบ (จัดทำโดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

(2) คอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง เหมาะกับการเทโครงสร้างที่ทำให้แน่นได้ยากด้วยการกระทุ้งหรือเครื่องจี้หรือโครงสร้างที่มีความบางและรูปร่างซับซ้อน ในการทำงานสามารถอ้างอิง สคท. 1205 คู่มือการทำงานคอนกรีตไหลอัดแน่นด้วยตัวเอง (จัดทำโดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

(3) คอนกรีตขยายตัว เหมาะสำหรับใช้ในโครงสร้างที่ต้องการควบคุมการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีต หรือใช้เทช่องว่างที่ต้องการความต่อเนื่อง ในการทำงานสามารถอ้างอิง สคท. 1206 คู่มือการทำงานคอนกรีตขยายตัว (จัดทำโดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย) โดยที่การทดสอบการขยายตัวอิสระของตัวอย่างทดสอบคอนกรีตขยายตัวที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตขยายตัวสามารถอ้างอิงมาตรฐาน สทร. HSR-CT-4011 (มาตรฐานการทดสอบการขยายตัวอิสระของคอนกรีตขยายตัว สำหรับโครงการรถไฟความเร็วสูง)

(4) คอนกรีตพิเศษชนิดอื่นๆ สามารถอ้างอิงมาตรฐานสากลที่เป็นที่ยอมรับ