

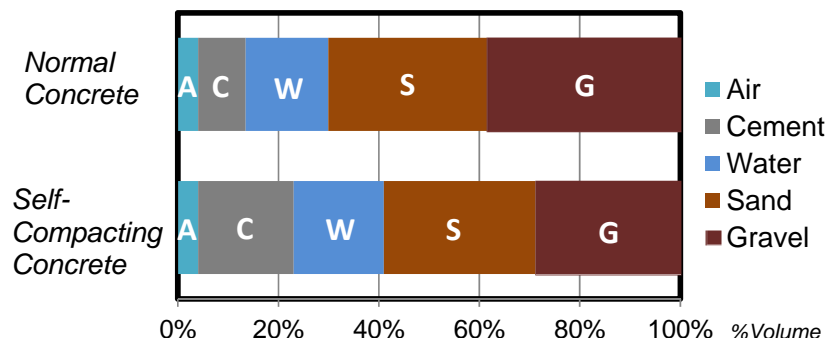
อัตราส่วนผสมและวิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ SELF-COMPACTING CONCRETE

ดร. อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ

Kochi University of Technology

1. บทนำ

Self-Compacting Concrete(SCC)ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1986 โดยมีแนวคิดหลักเพื่อลดปัญหาในการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตเนื่องจากความเชี่ยวชาญในการเทคอนกรีตของแรงงาน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความทนทานของโครงสร้างคอนกรีตให้มีอายุการใช้งานมากขึ้นอีกด้วย Self-Compacting Concreteคือคอนกรีตสมรรถนะสูง(High Performance Concrete)ที่สามารถไหลเข้าแบบได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองโดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องสั่นช่วยในการเทคอนกรีต ดังนั้นความอัดแน่นของคอนกรีตจึงค่อนข้างสูงส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงและทนทานมาก นอกจากนี้กำลังอัดของ Self-Compacting Concreteมีค่าสูงมากเนื่องจากปริมาณซีเมนต์ที่ค่อนข้างสูงในส่วนผสม ซึ่งมีค่าประมาณ 700-800 กก/ชม² อัตราส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดาและ Self-Compacting Concreteแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดาและSelf-Compacting Concrete[1]

คอนกรีตชนิดนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายนักในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เนื่องจากราคาต่อหน่วยที่สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศญี่ปุ่น เพราะว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงและเป็นวัสดุคงเพียงอย่างเดียว จำเป็นที่จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ Portland ชนิดที่ 3 (Low heat cement) ร่วมด้วยเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าปูนซีเมนต์ชนิด

ที่ 1 จึงทำให้ราคาต่อหน่วยสูงมาก Self-Compacting Concreteถูกนำมาใช้ในโครงสร้างพิเศษที่ต้องการกำลังสูงหรือในโครงสร้างที่มีการเสริมเหล็กปริมาณมาก เพื่อให้แน่ใจได้ว่าคอนกรีตสามารถไหลผ่านเหล็กเสริมจนเต็มแบบได้ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างสำหรับจุดยึดครั้งแรกเปิดของสะพาน Akashi-Kaikyo ซึ่งเป็นการใช้ Self-Compacting Concrete ทั้งหมด



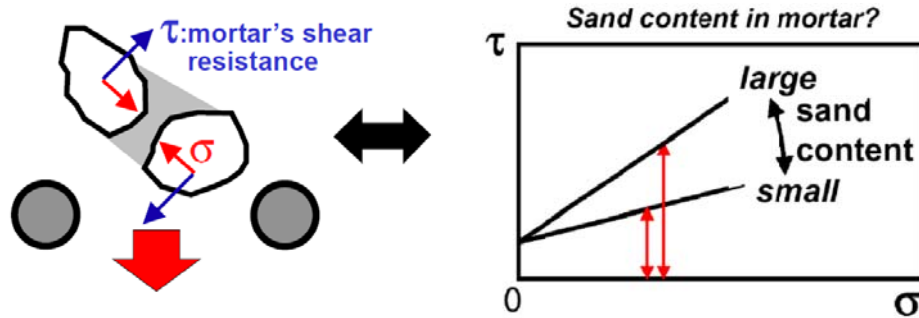
ภาพที่ 2 โครงสร้างสำหรับจุดยึดครั้งแรกเปิดของสะพาน Akashi-Kaikyo, ประเทศญี่ปุ่น

2. อัตราส่วนผสมเบื้องต้นของ Self-Compacting Concrete

ปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจนระหว่างคอนกรีตธรรมดาและ Self-Compacting Concrete คือ ปริมาณซีเมนต์และปริมาณมวลรวมหยาบในส่วนผสม (ดูภาพที่ 1) Self-Compacting Concrete ต้องการปริมาณซีเมนต์ที่สูงในการทำปฏิกิริยากับสารลดน้ำ (Superplasticizer, water reducing agent) เพื่อสร้างแรงผลักดันระหว่างอนุภาคซีเมนต์ที่จะทำให้คอนกรีตสามารถไหลได้ด้วยตัวเอง นอกจากนี้ปริมาณมวลรวมหยาบจำเป็นที่จะต้องจำกัดเนื่องจากปริมาณมวลรวมหยาบส่งผลอย่างชัดเจนต่อความสามารถในการไหลของคอนกรีต ปริมาณมวลรวมหยาบที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.28-0.31 ลบ.ม./คอนกรีต 1 ลบ.ม. โดยขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่ที่สุดควรมีค่าระหว่าง 20-25 มม. กำหนดโดย Japan Society of Civil Engineering (JSCE) [2]

ในทางทฤษฎี Self-Compacting Concrete ถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ Self-compacting mortar และ มวลรวมหยาบมอร์ตาร์จำเป็นต้องมีความสามารถในการไหลสูงเพื่อที่จะนำไปผสมกับมวลรวมหยาบแล้วได้ Self-Compacting Concrete เมื่อปริมาณมวลรวมหยาบถูกจำกัดแล้วความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์จะขึ้นอยู่กับปริมาณมวลรวมละเอียดเป็นหลัก แสดงดังภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อคอนกรีต

เสีรระหว่างการไหล มอร์ตาร์จะถูกบีบอัดด้วยแรงเค้นตั้งฉากจากมวลรวมหยาบ (Normal stress, σ) ส่งผลให้ความต้านทานแรงเฉือนของมอร์ตาร์ (Shear resistance, τ) มีค่าเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 3 (ซ้าย) ทำให้ความสามารถในการไหลของคอนกรีตลดลง ความต้านทานแรงเฉือนของมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับปริมาณมวลรวมละเอียดในส่วนผสม พิจารณาคอนกรีตที่มีปริมาณมวลรวมหยาบเท่ากัน แรงเค้นตั้งฉาก (σ) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่มีปริมาณมวลรวมละเอียดมากกว่า จะมีความต้านทานแรงเฉือนมากกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการไหลมีค่าน้อยกว่า แสดงดังภาพที่ 2 (ขวา)



ภาพที่ 3 พฤติกรรมการไหลของ Self-Compacting Concrete[3]

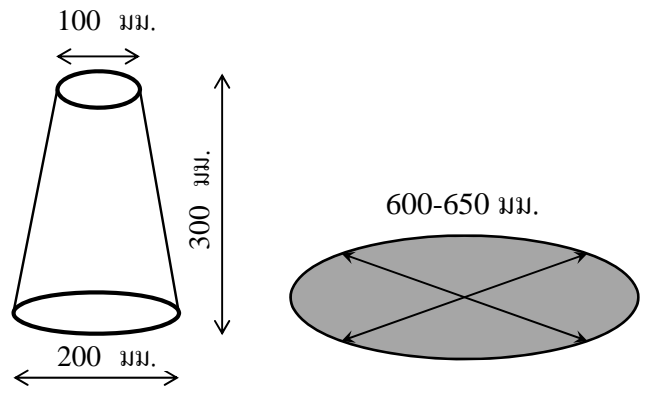
ดังนั้นนอกจากปริมาณมวลรวมหยาบที่ต้องจำกัดแล้ว ปริมาณมวลรวมละเอียดก็จำเป็นที่จะต้องจำกัดเช่นกัน โดยอัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดต่อมอร์ตาร์ (s/m) ไม่ควรจะมีค่ามากกว่า 45% โดยปริมาตร อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อการไหลของ Self-Compacting Concrete ก็คือปริมาณน้ำ แน่แน่นอนว่าปริมาณน้ำที่มากย่อมส่งผลให้คอนกรีตมีความเหลวมากขึ้นซึ่งจะทำให้คอนกรีตไหลดีขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่มากเกินไปก็อาจจะส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว (Segregation) ระหว่างการไหลขึ้นได้ ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสมที่ทำให้คอนกรีตสามารถไหลได้โดยไม่เกิดการแยกตัว มีค่าอยู่ระหว่าง 28-37% โดยน้ำหนัก กำหนดโดย Japan Society of Civil Engineering (JSCE) [2]

3. การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของ Self-Compacting Concrete ที่สภาวะคอนกรีตสด

3.1 การทดสอบการเสีรรูปของคอนกรีต (Deformability test)

วิธีการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตสดของ Self-Compacting Concrete จะแตกต่างโดยสิ้นเชิงจากการทดสอบของคอนกรีตธรรมดา โดยในการทดสอบความสามารถในการเสีรรูป (Deformability test) จะใช้กรวยทดสอบขนาดมาตรฐานเช่นเดียวกับการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตธรรมดา แสดงดังภาพที่ 4 แต่วิธีการวัดค่าจะแตกต่างออกไป การวัดค่าการเสีรรูปนั้นจะวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตหลังจากที่ยก

กรวยทดสอบขึ้นแล้วปล่อยให้คอนกรีตไหลจนหยุดนิ่ง ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 600-650 มม.คอนกรีตที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่านี้ถือว่ามีค่าการเสียรูปไม่เพียงพอซึ่งมีโอกาสสูงที่คอนกรีตจะไม่สามารถไหลเข้าสู่แบบและอัดแน่นได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่สภาวะใช้งาน ส่วนคอนกรีตที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าที่กำหนดนั้นคอนกรีตมีความเสี่ยงที่จะเกิดการแยกตัวสูง โดยจะสังเกตได้ว่าบริเวณขอบของคอนกรีตที่ทดสอบนั้นจะมีเพียงมอร์ตาร์เท่านั้น มวลรวมหยาบไม่สามารถไหลเป็นส่วนเดียวกับมอร์ตาร์ ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่สภาวะใช้งานเช่นเดียวกัน ดังนั้นความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมสำหรับ Self-Compacting Concreteจึงมีค่า 600-650 มม. ดังกล่าว

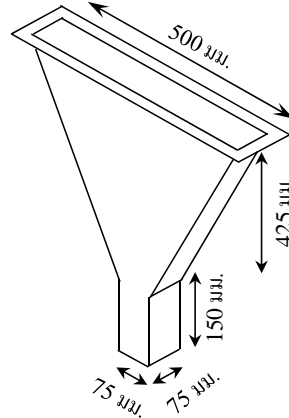


ภาพที่ 4การทดสอบการเสียรูปของคอนกรีต(Deformability test)[3]

3.2การทดสอบความหนืดของคอนกรีต (Viscosity test)

การทดสอบความหนืดของคอนกรีตสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า V-funnel โดยมีขนาดและรูปร่างแสดงดังภาพที่5คอนกรีตจะถูกใส่ลงไปในอุปกรณ์นี้จนเต็ม จากนั้นจะถูกปล่อยผ่านจุดปล่อยด้านล่าง ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มปล่อยคอนกรีตจนกระทั่งเห็นแสงลอดผ่านจุดปล่อยเมื่อมองจากด้านบนในหน่วยวินาทีคือดัชนีชี้วัดความหนืด(Viscosity)ของ Self-Compacting Concreteระยะเวลาสำหรับความหนืดที่เหมาะสมยังไม่มีกำหนดเป็นตัวเลขที่ชัดเจน ระยะเวลานี้เป็นตัวเลขที่บอกได้คร่าวๆว่าคอนกรีตมีลักษณะเป็นอย่างไร ถ้าคอนกรีตใช้เวลาในการผ่าน V-funnelน้อย แสดงว่าคอนกรีตมีลักษณะค่อนข้างเหลวซึ่งอาจจะมีโอกาสเกิดการแยกตัวขึ้นได้ หรือในทางกลับกัน ถ้าคอนกรีตใช้เวลาในการผ่าน V-funnelมาก แสดงว่าคอนกรีตมีความหนืดหรือเหนียวมาก ในกรณีนี้การแยกตัวอาจไม่เกิดขึ้นแต่คอนกรีตจะไหลได้

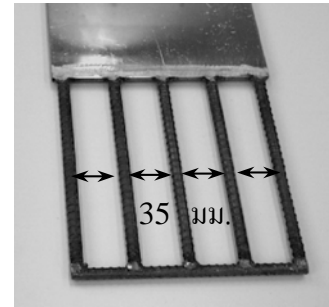
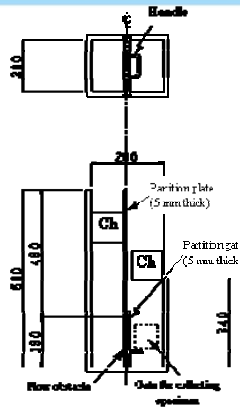
ซ้ำ ซึ่งส่งผลให้การเทคอนกรีตในหน้างานจริงอาจทำได้ยาก โดยทั่วไป Self-Compacting Concrete จะใช้ระยะเวลาผ่าน V-funnel ประมาณ 10-20 วินาที



ภาพที่ 5 การทดสอบความหนืดของคอนกรีต (Viscosity test) ด้วย V-funnel [1]

3.3 การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของคอนกรีต (Self-Compactability test)

ในการเทคอนกรีตในหน้างานจริง คอนกรีตจะต้องไหลผ่านเหล็กเสริมหรืออุปกรณ์อื่นๆ ทางด้าน อิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ คอนกรีตจะต้องไหลผ่านสิ่งเหล่านี้และไหลไปจนเต็มแบบที่ เตรียมไว้ ดังนั้นการทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางจึงมีความจำเป็นอย่างมาก การทดสอบนี้สามารถทำได้ โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Box test รูปภาพและขนาดของ Box test แสดงดังภาพที่ 6 คอนกรีตจะถูกเทลง ไปใน Box และทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้มวลรวมหยาบหยุดเคลื่อนที่ จากนั้นประตูที่กั้นคอนกรีตจะถูก เปิดขึ้น คอนกรีตจะไหลผ่านแผงกั้นที่เป็นตัวแทนของเหล็กเสริมในโครงสร้างซึ่งทำจากเหล็กเสริมจริง โดยมีขนาดช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม 35 มม. แสดงดังภาพที่ 6 (ขวา) คอนกรีตที่มีความสามารถในการไหลที่ดี จะต้องไหลผ่านแผงกั้นนี้มาอีกด้านหนึ่งจนมีความสูงมากกว่า 250 มม. วัดจากอีกด้านของ Box ตัวอย่างการ ทดสอบแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของคอนกรีต (Self-Compaction test) ด้วย Box[1]

การที่คอนกรีตไม่สามารถไหลผ่านแผงกั้นจนมีความสูงตามที่กำหนดนั้นอาจเกิดจาก 2 สาเหตุคือ

1. คอนกรีตเกิดการแยกตัวแม้จะเพียงเล็กน้อย มวลรวมหยابจะเคลื่อนที่ลงในช่วง 1 นาทีก่อนเปิดประตูกั้น ทำให้มวลรวมหยابลงไปกองขวางทางออกของคอนกรีตทำให้คอนกรีตไม่สามารถไหลผ่านแผงกั้นได้ จะพบว่าคอนกรีตส่วนที่ไหลผ่านแผงกั้นมาจะเป็นมอร์ตาร์เป็นส่วนใหญ่
2. คอนกรีตมีความสามารถในการไหลไม่เพียงพอ แม้การเรียงตัวของมวลรวมหยابจะสม่ำเสมอเนื่องจากไม่เกิดการแยกตัว แต่คอนกรีตไม่สามารถไหลผ่านแผงกั้นจนมีความสูงตามกำหนดได้ กรณีนี้เมื่อตรวจสอบบริเวณแผงกั้นจะพบว่าปริมาณมวลรวมหยابที่อุดหน้าแผงกั้นไม่มากเท่ากรณีแรก และคอนกรีตส่วนที่ไหลผ่านกั้นมาจะเป็นคอนกรีตที่มีปริมาณมวลรวมหยابโดยประมาณใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้



คอนกรีตมีความสามารถในการไหลไม่ดี



คอนกรีตมีความสามารถในการไหลดี

ภาพที่ 7 ตัวอย่างการทดสอบการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของคอนกรีต (Self-Compaction test)[4]

ในกรณีที่คอนกรีตไม่สามารถไหลผ่านแผงกันได้ดี ส่วนผสมจำเป็นที่จะต้องถูกปรับเพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลผ่านแผงกันจนได้ความสูงตามที่กำหนด ปัจจุบันสารผสมเพิ่ม (Chemical admixture) ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หรือแม้กระทั่งวัสดุใหม่ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลของคอนกรีต เช่น เถ้าลอย(Fly ash)หรือผงหินปูน (Limestone powder) เป็นต้น ดังนั้นวิธีการปรับส่วนผสมจะมีความหลากหลายมากขึ้น การเลือกวัสดุผสมจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการ รวมถึงงบประมาณที่กำหนดไว้ ยกตัวอย่างเช่น โครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการกำลังอัดปานกลาง (400-500 กก/ซม²)การปรับส่วนผสมอาจทำได้โดยการเพิ่มปริมาณน้ำร่วมกับการใช้สารลดน้ำชนิดใหม่ ที่มีส่วนผสมของสารเพิ่มความข้นหนืด(Viscosity agent) ทำให้คอนกรีตไม่เกิดการแยกตัวแม้ปริมาณน้ำจะมากขึ้น กรณีนี้กำลังอัดจะลดลงระดับหนึ่งซึ่งเป็นคอนกรีตที่มีกำลังอัดปานกลางหรืออีกตัวอย่างหนึ่ง โครงสร้างอาคารธรรมดาที่ต้องการกำลังอัดปกติประมาณ 300 กก/ซม²การปรับส่วนผสมอาจทำได้โดยใช้สารลดน้ำชนิดใหม่ร่วมกับวัสดุปอซโซลานเพื่อลดปริมาณการใช้ซีเมนต์เพื่อให้ได้กำลังอัดที่ไม่เกินความจำเป็นอีกทั้งยังเป็นการลดราคาต่อหน่วยของคอนกรีตอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อปรับส่วนผสมแล้ว คอนกรีตจำเป็นที่จะต้องผ่านการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทั้ง 3 อย่างตามหัวข้อที่ 3 เพื่อเป็นการยืนยันว่าคอนกรีตจะสามารถนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

1. Okamura, H., Ouchi, M. (2003) "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, ACT Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.
2. Japanese Society of Civil Engineer (1998). "Recommendation for Self-Compacting Concrete,".
3. Okamura, H., Maekawa, K., and Ozawa, K., (1993) "High Performance Concrete", Gihodo Publishing, JSCE.
4. Attachaiyawuth, A., Kazunori, T., Sovannasathya, R. and Ouchi., M. (2015). "Air-enhanced self-compactability of fresh concrete with effective mixing method."Proceeding of the Japan Concrete Institute, JCI, Vol, 37, No., 1 1069-1074.
5. Okamura, H., and Ozawa, K., (1995). "Mix-design of self-compacting concrete," Concrete Library of JSCE, 25, 107-120.