

## การประเมินความสามารถในการไหลเบื้องต้นของ

## SELF-COMPACTING CONCRETE ด้วยการทดสอบมอร์ตาร์

ดร. อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ

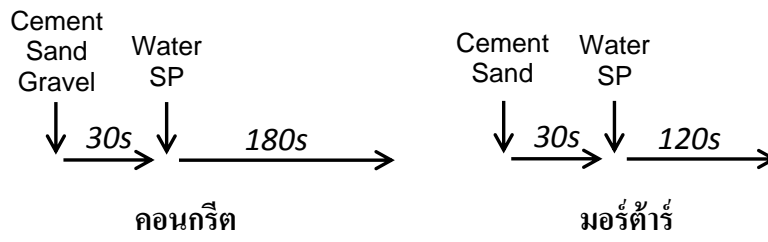
Kochi University of Technology

### 1. บทนำ

Self-Compacting Concrete (SCC) คือคอนกรีตสมรรถนะสูง (High Performance Concrete) ที่สามารถไหลเข้าแบบได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องสั่นช่วยในการเทคอนกรีต [1] การไหลของ SCC เกิดขึ้นจากความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์และสารลดน้ำ (Superplasticizer) และเนื่องจากคุณสมบัติที่สภาวะคอนกรีตสดของ SCC นั้นแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา วิธีการทดสอบก็จะแตกต่างเช่นเดียวกัน ในการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตจำเป็นที่จะต้องให้ผู้ทดสอบหลายคนในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเป็นงานที่ค่อนข้างหนัก ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์จึงถูกกำหนดขึ้นเพื่อประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นของ SCC ที่สภาวะคอนกรีตสด อีกทั้งยังช่วยลดช่วยลดการสิ้นเปลืองวัสดุ, ลดระยะเวลาการทดสอบและปริมาณผู้ทดสอบได้อีกด้วย เนื่องจากการทดสอบมอร์ตาร์นั้นสามารถทำได้โดยผู้ทดสอบเพียงคนเดียว [2] การทดสอบที่สภาวะคอนกรีตสดจะทดสอบคุณสมบัติ 3 อย่าง คือ การเสียรูป (Deformability) ความหนืด (Viscosity) และการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (Self-compactability) มอร์ตาร์จะถูกทดสอบ 3 คุณสมบัตินี้เช่นเดียวกัน

### 2. วิธีการผสมคอนกรีตและมอร์ตาร์

การผสมคอนกรีตทั้งในห้องทดลองและโรงงานจะมีวิธีผสมที่คล้ายกันคือ วัสดุผงและมวลรวมจะถูกผสมเข้าด้วยกันก่อน จากนั้นวัสดุที่เป็นของเหลว เช่นน้ำ, สารลดน้ำ และสารกักกระจายฟองอากาศ จะถูกผสมรวมกับส่วนผสมในขั้นแรก โดยทั่วไปการผสมวัสดุผงและมวลรวมจะใช้เวลา 30 วินาที จากนั้นจะใส่วัสดุเหลวแล้วผสมต่อโดยใช้เวลาใช้ 180 วินาที แต่สำหรับการผสมมอร์ตาร์นั้น ระยะเวลาการผสมจะแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากพลังงานจากเครื่องผสมและปริมาตรมอร์ตาร์ที่ใช้จะน้อยกว่าของคอนกรีตมาก ระยะเวลาที่ใช้ผสมมอร์ตาร์หลังจากใส่วัสดุเหลวแล้วคือ 120 วินาที แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระยะเวลาในการผสมคอนกรีตและมอร์ตาร์

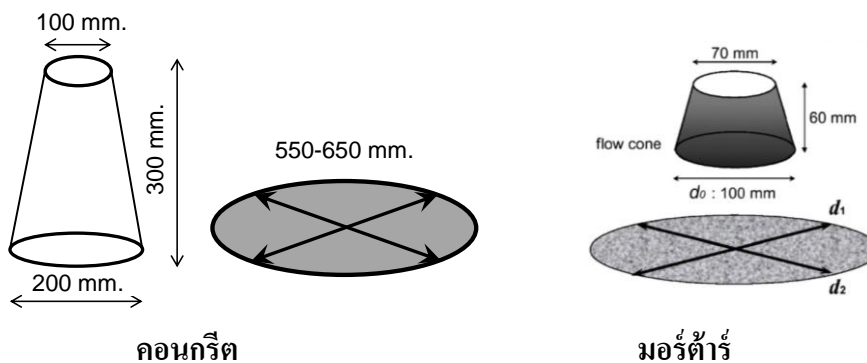
เมื่อผสมคอนกรีตและมอร์ตาร์ตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว ก็จะทำการทดสอบคุณสมบัติต่อไป

### 3. การทดสอบคุณสมบัติการไหลเบื้องต้นคอนกรีตด้วยมอร์ตาร์

คุณสมบัติหลัก 3 อย่างของ SCC คือ การเสีรูปร่าง (Deformability) ความหนืด (Viscosity) และการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (Self-compactability) ทั้ง 3 คุณสมบัตินี้สามารถประเมินได้จากการทดสอบมอร์ตาร์

#### 3.1 การประเมินค่าการเสีรูปร่าง (Deformability)

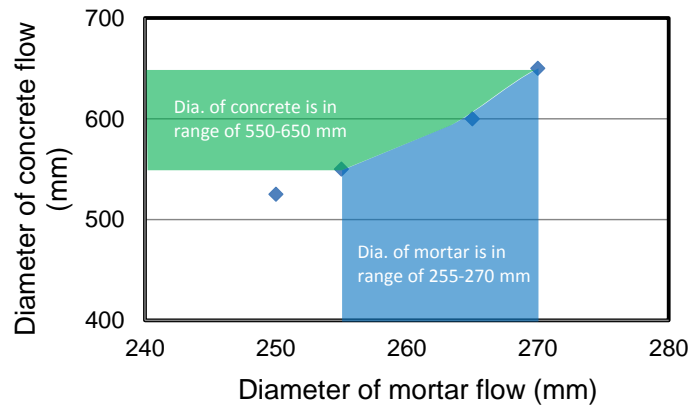
วิธีการวัดค่าความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ของ SCC จะวัดจากความสามารถในการเสีรูปร่าง (Deformability) โดยใช้กรวยทดสอบขนาดมาตรฐานเช่นเดียวกับการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตธรรมดา การวัดค่าการเสีรูปร่างจะวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตหลังจากที่ยกกรวยทดสอบขึ้นแล้วปล่อยให้คอนกรีตไหลจนหยุดนิ่ง ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 600-650 มม. แสดงดังภาพที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบมอร์ตาร์ถูกย่อขนาดให้เล็กลงเพื่อให้มีความเหมาะสม ค่าการเสีรูปร่างจะวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2 วิธีทดสอบการเสีรูปร่างของคอนกรีตและมอร์ตาร์ [1]

จากการทดสอบที่ผ่านมา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ตาร์สัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือเมื่อนำมอร์ตาร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมไปผสมกับมวลรวมหยาบตามข้อกำหนดของ Japan Society of Civil Engineering (JSCE) [3] แล้ว SCC ที่ได้จะมีการ

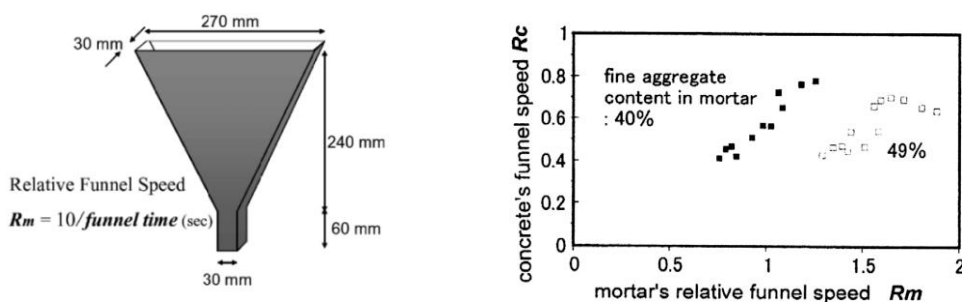
เสีรูปที่ดี ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 550-650 มม. เพื่อให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางดังกล่าวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของมอร์ตาร์คือ 255-270 มม. แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตและมอร์ตาร์

### 3.2 การประเมินค่าความหนืด (Viscosity)

ค่าความหนืดเป็นอีกหนึ่งดัชนีที่ใช้ในการประเมินการไหลของมอร์ตาร์โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า V-funnel (ภาพที่ 4 ซ้าย), โดยใส่มอร์ตาร์ให้เต็มแล้วปล่อย จากนั้นวัดระยะเวลาที่มอร์ตาร์ไหลออกจากอุปกรณ์นี้ มอร์ตาร์ที่ใช้เวลาสั้นจะมีลักษณะเหลวมาก มีโอกาสเกิดการแยกตัว ในทางกลับกัน มอร์ตาร์ที่ใช้เวลานานจะมีลักษณะหนืดมากซึ่งอาจส่งผลให้มอร์ตาร์ไหลได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะเมื่อไปผสมกับมวลรวมหยาบ สำหรับมอร์ตาร์ที่ใช้นั้นจะใช้เวลาประมาณ 10 วินาที ดรรชนีความหนืดของมอร์ตาร์ ( $R_m$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างเวลาที่ใช้ของมอร์ตาร์ที่ดีและมอร์ตาร์ที่ทดสอบ ซึ่ง  $t_m$  คือระยะเวลาที่วัดได้ในหน่วยวินาที



ภาพที่ 4 วิธีการวัดค่าความหนืดมอร์ตาร์ [2]

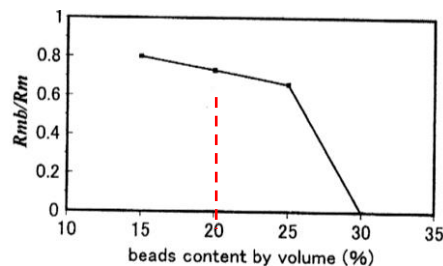
$$R_m = 10/t_m \quad (1)$$

เมื่อนำมอร์ตาร์ที่มีค่าความหนืดต่างๆ ไปผสมกับมวลรวมหยาบ จากนั้นนำมาวัดค่าความหนืดของคอนกรีต

( $R_c$ ) โดยการคำนวณแบบเดียวกัน พบว่าความหนืดของมอร์ตาร์และคอนกรีตมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง (ภาพที่ 4 ขวา) อย่างไรก็ตามในกรณีของมอร์ตาร์ที่มีปริมาณมวลรวมละเอียดสูง (มากกว่า 49%) ความของคอนกรีตกลับมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมอร์ตาร์มีความหนืดมากกว่า 1.65 ปริมาณมวลรวมละเอียดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนืดของคอนกรีตและมอร์ตาร์

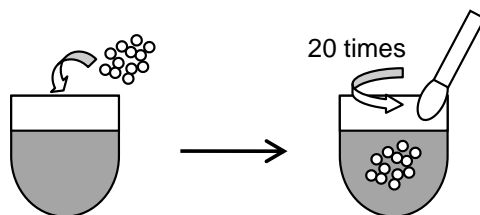
### 3.3 การประเมินความสามารถในการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (Self-compactability)

ความสามารถในการไหลของ SCC สามารถทดสอบได้ด้วยอุปกรณ์ Box test ซึ่งคอนกรีตที่มีการไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่ดีควรไหลผ่านอุปกรณ์นี้จนได้ความสูง (Filling height) มากกว่า 250 มม. แต่สำหรับการทดสอบมอร์ตาร์นั้น อัตราส่วนการทดสอบจะต้องลดลงรวมถึงขนาดของมวลรวมหยาบด้วย ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบง่ายขึ้น V-funnel จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับมวลรวมหยาบจำลองซึ่งมีลักษณะเป็นลูกแก้วใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. มีความถ่วงจำเพาะ 2.55 ดังภาพที่ 5 ซ้าย ปริมาณลูกแก้วที่ใช้ถูกกำหนดไว้ที่ 20% เนื่องจากเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบมอร์ตาร์ดังภาพที่ 5 ขวา แทนที่จะแสดงอัตราส่วนระหว่างความหนืดของมอร์ตาร์ที่มีมวลรวมหยาบจำลอง ( $R_{mb}$ ) และความหนืดของมอร์ตาร์ ( $R_m$ ) ค่านี้จะลดลงช้าๆเมื่อปริมาณลูกแก้วเพิ่มในช่วง 15-25% และมอร์ตาร์จะไม่สามารถทดสอบได้เมื่อปริมาณลูกแก้วมากกว่า 30% ดังนั้นปริมาณลูกแก้ว 20% จึงถูกเลือกใช้เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่สามารถทดสอบได้



ภาพที่ 5 ลักษณะของมวลรวมหยาบจำลองและปริมาณที่ใช้ทดสอบ [2]

หลังจากทดสอบความหนืดของมอร์ตาร์แล้ว มวลรวมหยาบจำลองจะถูกใส่ลงในมอร์ตาร์และคนจำนวน 20 ครั้ง ดังภาพที่ 6 จากนั้นนำไปทดสอบความหนืดต่อไป



ภาพที่ 6 วิธีการผสมมวลรวมหยาบจำลองในมอร์ตาร์ [4]

วิธีการทดสอบความหนืดของมอร์ตาร์ที่มีลูกแก้วจะเหมือนกับการทดสอบมอร์ตาร์ปกติและสามารถคำนวณครรชนีความหนืดได้ตามสมการที่ (2) ซึ่ง  $t_{mb}$  คือระยะเวลาที่ใช้ในหน่วยวินาที

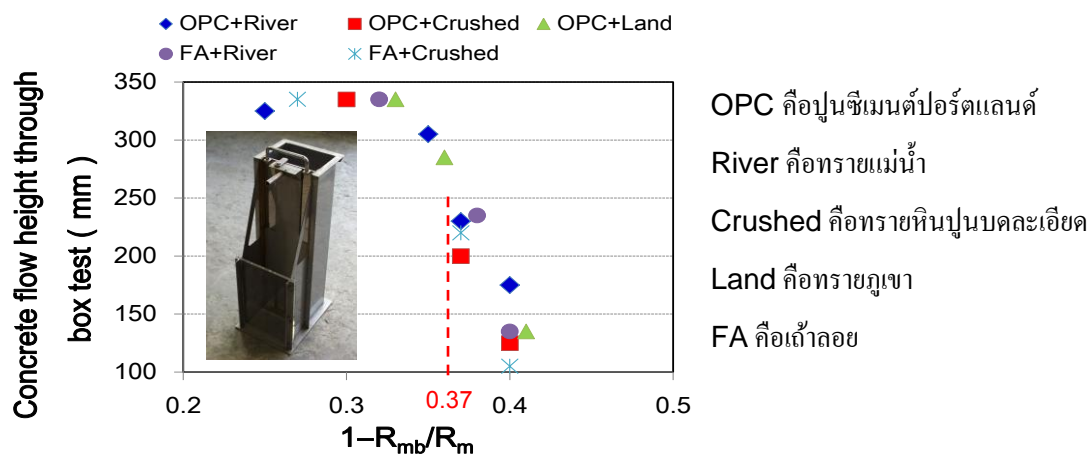
$$R_{mb} = 10/t_{mb} \quad (2)$$

ความสามารถในการไหลของมอร์ตาร์ถูกพิจารณาอยู่ในรูปของความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมวลรวมหยาบจำลอง แน่นอนว่าเมื่อมีปริมาณมวลรวมมากขึ้น ความเสียดทานจะมากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่สำหรับมอร์ตาร์ที่มีการไหลที่ดีนั้นความเสียดทานนี้จะต้องไม่เพิ่มมากเกินไป อัตราการเพิ่มขึ้นของความเสียดทานสามารถคำนวณได้จากอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนืดโดยเทียบกับมอร์ตาร์ที่ไม่มีมวลรวมหยาบจำลองดังสมการที่ (3) เมื่อจัดรูปร่างสมการให้ง่ายต่อการคำนวณ จะได้ค่าการเพิ่มขึ้นของความเสียดทานซึ่งเรียกว่าค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างมวลรวมหยาบจำลองและมอร์ตาร์แสดงดังสมการที่ (4)

$$(R_m - R_{mb})/R_m \quad (3)$$

$$1 - (R_{mb}/R_m) \quad (4)$$

เมื่อนำมอร์ตาร์มาผสมกับมวลรวมหยาบจริง แล้วนำไปทดสอบความสามารถในการไหลผ่านสิ่งกีดขวางด้วย Box test พบว่าค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์ที่เป็นเอกลักษณ์กับผลการทดสอบมอร์ตาร์โดยใช้มวลรวมหยาบจำลอง แสดงดังภาพที่ 7 แม้ว่ามวลรวมละเอียดที่ใช้จะมีหลายชนิด รวมทั้งมีการใช้วัสดุพอซโซลานอย่างถ่้าลย ผลการทดสอบก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของมอร์ตาร์และการไหลผ่านสิ่งกีดขวางของคอนกรีต [2]

พิจารณาภาพที่ 7 ค่าการไหลผ่านของ SCC ที่มากกว่า 250 มม. สัมพันธ์กับค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างมวลรวมหยาบจำลองและมอร์ตาร์ ( $I-(R_{mb}/R_m)$ ) ที่น้อยกว่า 0.37 หมายความว่าถ้าต้องการ SCC ที่มีค่าการไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่ดี ต้องใช้มอร์ตาร์ที่มีค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างมวลรวมหยาบจำลองและมอร์ตาร์ ( $I-(R_{mb}/R_m)$ ) ไม่เกิน 0.37 ผสมกับมวลรวมหยาบจริงตามข้อกำหนดของ JSCE [3] ทั้งนี้ทั้งนี้ค่า  $I-(R_{mb}/R_m)$  ที่เหมาะสมสำหรับ SCC อาจแตกต่างจาก 0.37 เมื่อวัสดุที่ใช้มีความแตกต่างจากการทดสอบนี้มาก เช่น ชนิดของมวลรวมละเอียด, สารลดน้ำที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง, การใช้วัสดุสังเคราะห์เพื่อเพิ่มกำลังเฉพาะส่วน (เส้นใยชนิดต่างๆ) เป็นต้น ดังนั้นเมื่อมีการใช้วัสดุใหม่สำหรับ SCC จำเป็นที่จะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างคอนกรีตและมอร์ตาร์อีกครั้ง รวมทั้งหาค่า  $I-(R_{mb}/R_m)$  ที่เหมาะสมใหม่เพื่อใช้ในการประเมินคุณสมบัติการไหลของ SCC ด้วยมอร์ตาร์ต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

1. Okamura, H., Ouchi, M. (2003) "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, ACT Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.
2. Ouchi, M., Edamatsu, Y., Ozawa, K., and Okamura, H (1999) "A Simple Evaluation Method for Interaction between Coarse Aggregate and Mortar's Particles in Self-Compacting Concrete," Proceeding of the 1<sup>st</sup> International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, pp. 121-130.
3. Japanese Society of Civil Engineer (1998). "Recommendation for Self-Compacting Concrete,"
4. Attachaiyawuth, A., and Ouchi., M. (2014). "Effect of entrained air on mitigation of reduction in interaction between coarse aggregate and mortar during deformation of self-compacting concrete at fresh stage" Proceeding of the Japan Concrete Institute, JCI, Vol. 36, No. 1, 1444-1449.
5. 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.
6. Okamura, H., Maekawa, K., and Ozawa, K., (1993) "High Performance Concrete", Gihodo Publishing, JSCE.
7. Okamura, H., and Ozawa, K., (1995). "Mix-design of self-compacting concrete," Concrete Library of JSCE, 25, 107-120.