

บทที่ 11

การทดสอบความสามารถเทได้ (Workability)

บทนำ

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การทดสอบการยุบตัว (Slump Test) การทดสอบสัดส่วนการอัดแน่น (Compacting Factor Test) การทดสอบการจมของลูกบอลเคลลี่ (Kelly Ball Test) และการทดสอบการไหลตัว (Flow Table) ทั้งนี้เพราะความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตสดมีผลอย่างมากต่อการขนส่ง (Transportation) การเทลงแบบ (Placing) การทำให้คอนกรีตอัดแน่น (Compacting) และการแต่งผิวหน้าของคอนกรีต (Finishing) โดยเฉพาะความสามารถในการอัดแน่นของคอนกรีตสด จะส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัว เช่น กำลังอัด ความคงตัว ความทนทาน และความต้านทานในการซึมผ่านของน้ำ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความสามารถเทได้ (Workability)

ในทางทฤษฎี คือ ผลรวมของพลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างอนุภาค (Internal Friction) เพื่อให้เกิดการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติ นั้น พลังงานที่ใส่เข้าไปนั้นจะต้องเอาชนะทั้งแรงเสียดทานภายใน (Internal Friction) ระหว่างอนุภาค และแรงเสียดทานที่ผิว (Surface Friction) ระหว่างเนื้อคอนกรีตกับไม้แบบและเหล็กเสริม นอกจากนี้พลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในการเขย่าไม้แบบ และเขย่าคอนกรีตให้แน่นอีกด้วย

ความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตประกอบด้วยคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ

- **ความข้นเหลว (Consistency)** คือ สภาพความเหลวของคอนกรีต ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลของคอนกรีต

- **การยึดเกาะ (Cohesiveness)** คือ คุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตที่สามารถจับรวมตัวเป็นกลุ่มหรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก ซึ่งเกี่ยวข้องกับแนวโน้มของคอนกรีตที่จะเกิดการแยกตัว (Bleeding) หรือการแยกตัว (Segregation)

อย่างไรก็ตามค่าความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตที่เหมาะสมในการใช้งาน นอกจากคำนึงถึงความง่ายในการทำงานและการไม่แยกตัวของเนื้อคอนกรีตแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงชนิดของโครงสร้างวิธีการเทและวิธีการจี้เขย่า เพื่อให้เนื้อคอนกรีตเกิดการอัดแน่น เช่น คอนกรีตที่เหมาะสมกับงานฐานรากขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวสูง อาจไม่เพียงพอที่จะเทในงานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมาก หรือโครงสร้างบางๆ

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่กำหนดเป็นมาตรฐานในการวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต แต่ในทางปฏิบัติสามารถประมาณค่าความสามารถเทได้ หลายวิธีคือ

1. การทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test)

ค่ายุบตัวไม่ได้เป็นค่าที่วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตโดยตรงแต่เป็นการวัดความข้นเหลวของคอนกรีต (Consistency) หรือลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต (Flow Characteristic) แม้วิธีนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบคอนกรีตที่เหลว หรือแห้งมาก แต่ก็มีประโยชน์อย่างมากและสะดวกสำหรับการควบคุมความสม่ำเสมอของการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เช่น ในกรณีที่ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีค่ามากกว่าปกติที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีความผิดปกติเกิดขึ้นในส่วนผสม ขนาดกะ หรือความชื้นในมวลรวม ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตคอนกรีตสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้

การทดสอบทำได้โดยตักคอนกรีตใส่ลงในโคนที่มีลักษณะเป็นกรวยยอดตัด ต่ำด้วยเหล็กด้ามแล้วจึงค่อยๆ ยกโคนขึ้นอย่างช้าๆ คอนกรีตจะยุบตัวลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง ความสูงที่ยุบตัวของคอนกรีตที่วัดได้ถือเป็นค่ายุบตัวของคอนกรีต

ตารางที่ 1 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัวที่เหมาะสม(ชม.)
พื้นถนนสนามบิน	5.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานทั่วไป	7.5 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานฐานราก	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานบิ๊ม	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะเล็ก	10.0 ± 2.5
คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะใหญ่	มากกว่า 15
คอนกรีตสำหรับงานฐานรากแผ่ขนาดใหญ่หรืองานที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15

2. การทดสอบวัดส่วนการอัดแน่น (Compacting Factor Test)

การทดสอบวัดส่วนการอัดแน่นเป็นการวัดความสามารถเทได้ (พลังงานที่ใช้เพื่อให้เกิดการอัดแน่นอย่างสมบูรณ์) ด้วยวิธีกำหนดพลังงานมาตรฐานค่าหนึ่ง แล้ววัดระดับการอัดแน่น (Compacting Factor) ซึ่งสามารถหาได้โดยการหาอัตราส่วนความหนาแน่น (Density Ratio) ของคอนกรีตในภาชนะทรงกระบอกที่ได้จากอุปกรณ์ทดสอบ (Partially Compacted) ต่อความหนาแน่นของคอนกรีตในภาชนะทรงกระบอกที่ได้จากการอัดแน่นเต็มที่ (Fully Compacted)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับคอนกรีตที่แห้งหรือมีความสามารถเทได้ต่ำ เพราะการเปลี่ยนแปลงความสามารถเทได้สำหรับคอนกรีตที่แห้งเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าระดับการอัดแน่น (Compacting Factor) เปลี่ยนไปมาก แต่สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้สูง จะให้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก การทดสอบทำโดยตักคอนกรีตจนเต็มกรวยบนของอุปกรณ์ทดสอบวัดส่วนการอัดแน่น ดังรูปที่ 6 จากนั้นเปิดฝากรวยบนให้คอนกรีตตกลงสู่กรวยล่างแล้วเปิดฝากรวยล่างให้คอนกรีตตกลงสู่ภาชนะทรงกระบอก ทำการชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในภาชนะทรงกระบอกถือว่าเป็น Weight of Partially Compacted Concrete ต่อจากนั้นทำการหาค่าน้ำหนักคอนกรีตที่อัดแน่นเต็มที่ด้วยการกระทุ้งถือว่าเป็น Weight of Fully Compacted Concrete แล้วจึงคำนวณหาค่าอัตราส่วนการอัดแน่นต่อไป

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบระดับความสามารถเทได้กับอัตราส่วนการอัดแน่น

ระดับความสามารถเทได้	อัตราส่วนการอัดแน่น
ต่ำมาก	0.78
ต่ำ	0.85
ปานกลาง	0.92
สูง	0.95

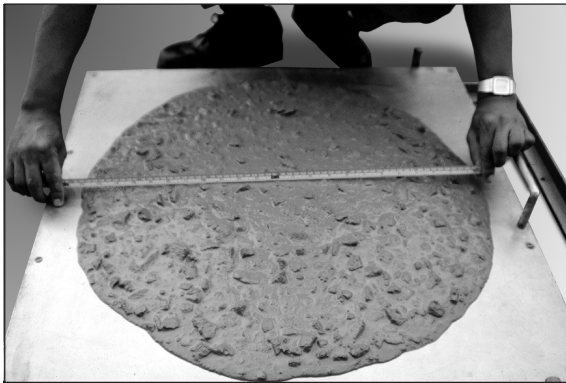
3. การทดสอบการจมของลูกบอลเคลลี่ (Ball Penetration Test)

การทดสอบการจมของลูกบอลเคลลี่ มีความคล้ายคลึงกับการทดสอบค่ายุบตัวในแง่ที่เป็นการทดสอบในสนามและใช้เพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของคอนกรีต แต่สามารถทำได้ง่ายกว่า เร็วกว่าและสามารถใช้ทดสอบคอนกรีตที่อยู่ในรถเข็นหรือเทลงในแบบหล่อได้อีกด้วยการทดสอบทำได้โดยการหย่อนลูกบอลเคลลี่ลงในคอนกรีต แล้ววัดค่าความความลึกของลูกบอลที่จมลงไป แต่ความหนาของคอนกรีตที่จะทดสอบด้วยวิธีนี้ต้องมากกว่า 20 ซม. และต้องห่างจากขอบภาชนะที่ทดสอบไม่น้อยกว่า 46 ซม.

4. การทดสอบการไหลตัว (Flow Test)

ในปัจจุบัน มีการใช้คอนกรีตที่มีความเหลวมาก (Flow Concrete) ในงานเสา คาน หรือฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ที่มีเหล็กเสริมหนาแน่นมาก คอนกรีตดังกล่าวมีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. ดังนั้นวิธีวัดค่าความสามารถเทได้ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตชนิดนี้ จึงใช้วิธีทดสอบการไหลตัว (Flow Test) ของคอนกรีตแทนการทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ทั้งนี้เพราะค่าที่ได้จากการวัดค่ายุบตัวของคอนกรีตเหลวมากจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันในการวัดแต่ละครั้ง การทดสอบการไหลตัวทำคล้ายกับการทดสอบค่ายุบตัว แต่ต่างกันที่ขนาดของกรวย และคอนกรีตจะถูกทดสอบบนโต๊ะเขย่า คือหลังจากที่ยกกรวยขึ้นแล้วจะทำการยกโต๊ะเขย่าขึ้น 15 ครั้ง คอนกรีตจะแผ่กระจาย แล้วจึงวัดเส้นผ่านศูนย์กลางคอนกรีตสองแนวที่ตั้งฉากกัน ค่าการไหลตัวของคอนกรีต คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองที่วัดได้ ซึ่งมาตรฐาน

กำหนดว่าคอนกรีตเหลวมาก (Flow Concrete) ต้องมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง ทั้ง 2 แนว มากกว่า 55 ซม. นอกจากนั้นการทดสอบการไหลตัวยังสามารถบอกได้ว่า คอนกรีตนั้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหรือไม่ โดยดูจากคอนกรีตหลังการทดสอบ ถ้าคอนกรีตมีการแยกตัวแสดงว่าคอนกรีตนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ให้ทำการปรับส่วนผสมใหม่



รูปที่ 1 ค่าการไหลตัวของคอนกรีตเหลวมาก

การทดสอบค่ายุบตัว

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 143

Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete

อุปกรณ์

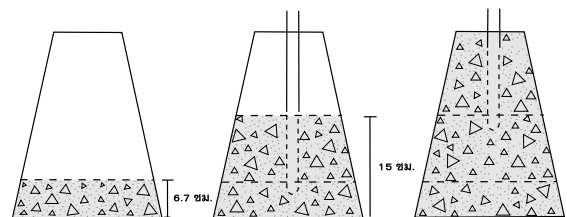
1. โคน (Slump Mold) รูปกรวยทรงตัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 10 ซม. และด้านล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้ทำเหยียบยบทั้ง 2 ข้าง
2. เหล็กต๋า (Tamping Rod) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 60 ซม. ปลายกลมมน
3. แผ่นเหล็กสำหรับรองมีลักษณะเรียบเป็นระนาบ
4. ช้อนตัก เกรียงเหล็ก ตลับเมตร หรือไม้วัด



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัว

วิธีทดสอบ

1. นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงกับพื้นราบ นำโคนขึ้นวางใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้างไว้
3. ใช้ช้อนตักคอนกรีตใส่ลงในโคน โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาตรเท่าๆ กัน ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในโคนสูงประมาณ 6-7 ซม. ต่ำด้วยเหล็กต๋า 25 ครั้ง ในการต๋าดึงทำให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 ซม. ต่ำให้ทะลุถึงคอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 3 ให้พ้นขอบจนเต็ม แล้วต่ำให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียงเล็กน้อย ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ รวมทั้งทำความสะอาดบริเวณโคนและแผ่นเหล็กทรง



รูปที่ 3 ปริมาณคอนกรีตที่ใส่ในโคนและการต๋า

4. ดึงโคนขึ้นตรงๆ โดยไม่หมุนหรือเอียง
5. วางโคนลงข้างๆ คอนกรีตแล้ววัดค่ายุบตัวของคอนกรีต

ค่ายุบตัว คือ ค่าที่คอนกรีตยุบตัวจากเดิม โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัวในการวัดให้วัดละเอียดถึง 0.5 ซม.



รูปที่ 4 การวัดค่ายุบตัว

รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปมี 3 แบบคือ

1. การยุบตัวแบบถูกต้อง (True Slump) เป็นการยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของคอนกรีตเอง
2. การยุบตัวแบบเฉือน (Shear Slump) เป็นการยุบตัวแบบเฉือนซึ่งเป็นการยุบตัวที่เกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตส่วนบน ในลักษณะเฉือนลงไปด้านข้าง
3. การยุบตัวแบบล้ม (Collapse Slump) เป็นการยุบตัวที่เกิดจากคอนกรีตที่มีความเหลวมาก

ถ้าหากคอนกรีตมีการยุบตัวแบบเฉือนหรือแยกตัว เพราะเหลวมากเกินไป ให้ทำการทดสอบใหม่โดยใช้คอนกรีตที่ยังไม่ได้ใช้ในการทดสอบ ถ้าหากพังลง 2 ครั้งติดต่อกันแสดงว่า Slump Test อาจไม่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตนี้ มาตรฐานทั่วไปกำหนดให้ค่าคลาดเคลื่อนในการยุบตัวมีค่า ± 2.5 ซม. เช่นถ้าต้องการค่ายุบตัว 7.5 ซม. ค่าที่ยอมรับได้คือ 7.5 ± 2.5 ซม. หรือ 5-10 ซม.



รูปที่ 5 รูปแบบการยุบตัว

การทดสอบสัดส่วนการอัดแน่น

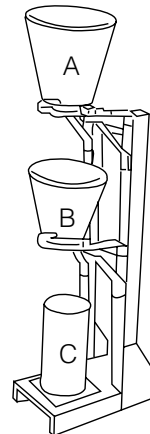
มาตรฐานที่ใช้

BS 1882 : PART 103 ; 1983

Method for Determination of Compacting Factor

อุปกรณ์

1. เครื่อง Compacting Factor ซึ่งประกอบด้วยกรวยยอดตัดบน A กรวยยอดตัดล่าง B และภาชนะรูปทรงกระบอก C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2. เหล็กต๋า
3. เครื่องชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 25 กก. โดยอ่านได้ละเอียด 10 กรัม
4. ช้อนตัก เกรียงเหล็ก



รูปที่ 6 อุปกรณ์ทดสอบสัดส่วนการอัดแน่น

วิธีทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักภาชนะทรงกระบอก C
2. ใช้ช้อนตัก ตักคอนกรีตใส่ในกรวยบน A จนเต็มปาดผิวหน้าเรียบ
3. เปิดฝาล่างของกรวยบน A ให้คอนกรีตตกลงมาในกรวยล่าง B ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า จะมีคอนกรีตส่วนหนึ่งล้นออกไป
4. เปิดฝาล่างของกรวยล่าง B ให้คอนกรีตตกลงในภาชนะรูปทรงกระบอก C

5. ปาดผิวหน้าคอนกรีตในภาชนะรูปทรงกระบอก C ให้เรียบและทำความสะอาดผิวด้านข้างภาชนะให้สะอาด

6. ชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของคอนกรีตในภาชนะ C ถือว่าเป็น Weight of Partially Compacted Concrete, W_p โดยอ่านค่าให้ละเอียดถึง 10 กรัม

7. เทคอนกรีตในภาชนะ C ออก จากนั้นตักคอนกรีตใหม่ใส่เป็นชั้น 6 ชั้น ชั้นละประมาณ 5 ซม. เท่าๆ กัน กระทั่งให้แน่นอย่างเต็มที่ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

8. ชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักคอนกรีตอัดแน่นในภาชนะ C โดยถือว่าเป็น Weight of Fully Compacted Concrete, W_f โดยอ่านค่าให้ละเอียดถึง 10 กรัม

9. คำนวณหาค่า Compacting Factor (C.F.)

$$C.F. = \frac{W_p}{W_f}$$

ข้อควรระวัง

1. ส่วนผสมคอนกรีตต้องมีขนาดใหญ่สุดของหิน ไม่เกิน 1 1/2" หรือ 38 มม.
2. ในกรณีที่คอนกรีตแห้งมากเกินไป คอนกรีตอาจจะอุดตันที่ด้านล่างของกรวย ให้ใช้เหล็กกระทุ้งยางให้คอนกรีตไหลลงไปยังล่าง

การทดสอบการจมของลูกบอลเคลลี่

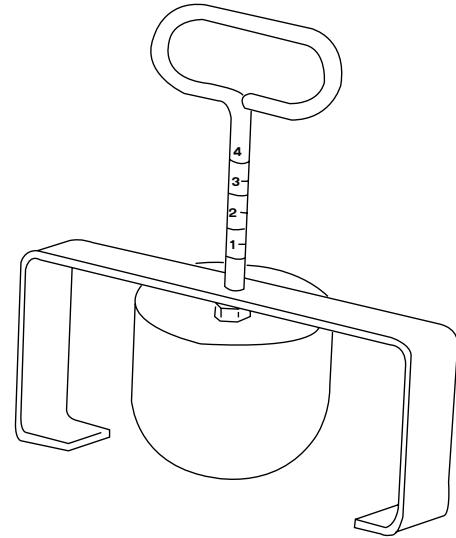
มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 360

Standard Test Method for Ball Penetration in Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete

อุปกรณ์

1. ลูกบอลโลหะเคลลี่ (Kelly Ball) เป็นลูกกลมโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.2 ซม. น้ำหนัก 14 กก.
2. ภาชนะใส่คอนกรีต ซึ่งมีความลึกไม่น้อยกว่า 20 ซม. และความกว้างด้านข้างไม่น้อยกว่า 45 ซม.



รูปที่ 7 ลูกบอลเคลลี่

วิธีทดสอบ

1. ตักคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ใส่ในภาชนะและปาดผิวให้เรียบ พยายามอย่าให้ภาชนะได้รับการสั่นสะเทือนหรือโดนกระแทก
2. ค่อยๆ หย่อนลูกบอลโลหะเคลลี่อย่างเบาๆ ลงบนคอนกรีต
3. อ่านค่าความลึกของลูกบอลที่จมลงไป ในคอนกรีตจากสเกลของเครื่องมือ โดยอ่านให้ละเอียดถึง 1/4" (6.4 มม.) ทำการทดสอบใหม่อีก 2 ครั้ง
4. ถ้าค่าแตกต่างระหว่างค่าความลึกมากที่สุดกับตื้นสุดมากกว่า 1" (25 มม.) ให้ทำการทดสอบเพิ่มจนกระทั่ง 3 ค่าการทดลองที่ติดต่อกันมีค่าความแตกต่างดังกล่าวไม่เกิน 1" (25 มม.)

การทดสอบการไหลตัว

มาตรฐานที่ใช้

DIN 1048 : Part 1

Method for Determination of Flow

อุปกรณ์

1. โต๊ะเขย่า (Flow Table) ขนาด 70 x 70 ซม. ที่มีพื้นเรียบเป็นระนาบ

2. กรวยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 13 ซม. ด้านล่าง 20 ซม. สูง 20 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท้าเหยียบ
3. ไม้ดำหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 x 40 มม.
4. ช้อนตัก เกรียงเหล็ก



รูปที่ 8 อุปกรณ์ทดสอบการไหลตัว

วิธีทดสอบ

1. ทำอุปกรณ์ทั้งหมดให้เปียก
2. วางโคนลงกลางโต๊ะเขย่าให้ตรงรอยขีดแล้วใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
3. ตักคอนกรีตใส่โคน 2 ชั้น แต่ละชั้นตาดด้วยไม้ดำ 10 ครั้ง
4. เมื่อตาดชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทำความสะอาดโต๊ะเขย่า
5. ยกโคนขึ้นตรงๆ
6. ยกโต๊ะเขย่าขึ้นให้สูงประมาณ 40 ± 1 มม. และปล่อยลง ทำอย่างนี้ 15 ครั้ง คอนกรีตจะแผ่กระจายบนโต๊ะเขย่า
7. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่ออกโดยวัด 2 แนวที่ตั้งฉากกัน
8. ค่าการไหลตัวของคอนกรีต คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองที่วัดได้