

การสึกกร่อนของคอนกรีตและการทดสอบ ASTM C1138 (Under water method)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหาลภ หอมวุฒิม่วงค์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
E-mail : sahalaph.h@msu.ac.th

บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความทนทานเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น แต่เมื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานของคอนกรีตแล้ว วิศวกรยังคงต้องให้ความสำคัญกับความคงทนของคอนกรีตอยู่เสมอ ซึ่งสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อระบบโครงสร้างในระยะยาว เป็นตัวบ่งชี้ถึงการใช้งานโครงสร้างหรืออาคารเป็นไปตามวัตถุประสงค์อย่างดี ถ้าคอนกรีตมีความทนทานสูงก็จะทนต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ดีและยืดระยะเวลาของการเสื่อมสภาพออกไปให้นานมากขึ้น การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ เช่น การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน การกัดกร่อนของซัลเฟต กรดซัลฟูริก การหดตัว ฯลฯ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ส่งผลให้คุณภาพของคอนกรีตลดลง การสึกกร่อนของคอนกรีตก็นับว่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความทนทานของคอนกรีต โดยการสึกกร่อนเกิดจากวัสดุประสานบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตเริ่มหลุดลอกจากการขัดสี ทำให้เกิดความเสียหายหรือร่องรอยต่างๆ ในบริเวณขนาดเล็กและขยายออกเป็นบริเวณกว้าง สามารถทำให้เกิดความเสียหายกับคอนกรีตโครงสร้างได้ โดยอาจมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อความแข็งแรงของโครงสร้างหรืออาจขยายจนสามารถทำให้โครงสร้างวิบัติได้

การสึกกร่อนของคอนกรีต

ในโครงสร้างคอนกรีตบางประเภทนั้น นอกเหนือจากการรับน้ำหนักบรรทุกตามปกติโดยทั่วไปแล้ว ที่ผิวหน้าของคอนกรีตยังมีการสัมผัส ขัดสี หรือการเลื่อนไปมาของวัตถุต่างๆ ทำให้ผิวหน้าของคอนกรีตเกิดหลุดร่อนได้ ซึ่งจะทำความเสียหายให้กับโครงสร้างคอนกรีตโดยตรง นั่นคือการเสียพื้นที่ของเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก และในอีกส่วนหนึ่งก็คือ บริเวณผิวคอนกรีตที่สึกกร่อนนั้นจะกลายเป็นจุดด้อย ไม่แข็งแรง ความชื้นหรือสารละลายชนิดต่างๆ สามารถซึมเข้าไปได้ง่ายกว่าปกติ และทำให้เกิดอันตรายต่อโครงสร้างภายในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น ลักษณะของการสึกกร่อนแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 คือการสึกกร่อนเนื่องจาการถยนต์บรรทุกมีน้ำหนักเบา หรือจากคนเดินเท้าหรือจากการลื่นไถลของวัตถุบนของผิวคอนกรีต

ประเภทที่ 2 คือ เป็นการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีตเนื่องจากการบรรทุกขนาดใหญ่หรือพวงรถตีนตะขาบ

ประเภทที่ 3 คือ การสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกั้นน้ำ เช่น เขื่อน รางระบายน้ำ อุโมงค์ส่งน้ำ หรือตอม่อสะพาน ซึ่งการกัดกร่อนเหล่านี้ เนื่องมาจากกระแส น้ำไหล

ประเภทที่ 4 คือ การสึกกร่อนของโครงสร้างกั้นน้ำในประเภทที่ 3 เกิดจากการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดฟองอากาศและการกัดกร่อนที่เรียกว่า cavitation นอกจากนี้ยังมี การสึกกร่อนอื่นอีก เช่น ลมที่หอบเอาทรายมาปะทะกับผิวหน้าตึกก็สามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนได้



รูปที่ 1 ลักษณะการสึกกร่อนของผิวถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก

ปัจจัยที่มีผลต่อการสึกกร่อน

ความสามารถในการต้านทานต่อการสึกกร่อนหรือการสึกกร่อนของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของคอนกรีต ลักษณะโครงสร้าง การใช้งาน และทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตคอนกรีตล้วนเป็นปัจจัยทั้งหมด ซึ่งในแต่ละปัจจัยก็มีอิทธิพลต่อการสึกกร่อนของคอนกรีตเล็กน้อยแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่สำคัญ ได้แก่

1) **กำลังอัดของคอนกรีต** โดยพบว่าคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงจะมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนได้ดี การใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณสูงในส่วนผสมหรือการใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ต่ำ (w/c) ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูง มีปริมาณของซีเมนต์เฟสต์มากพอที่จะสามารถเคลือบและยึดเหนี่ยวอนุภาคของมวลรวมละเอียดได้อย่างดีและแข็งแรง ในขณะที่ผิวหน้าช่องว่างหรือโพรงในเนื้อคอนกรีตมีขนาดและปริมาณไม่มาก เนื่องจากการใช้น้ำในส่วนผสมคอนกรีตมีไม่มาก ทำให้เหลือน้ำส่วนเกิน (Excess water) น้อย ซึ่งน้ำในส่วนนี้จะไปก่อให้เกิดโพรงหรือช่องว่าง คอนกรีตที่มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่ำจึงมีความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตสูงและมีโพรงเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนของคอนกรีตดีขึ้น

2) **มวลรวม** จากการวิจัยพบว่ามีอิทธิพลต่อสมบัติด้านการต้านทานการสึกกร่อนค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาในคอนกรีตกำลังต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะลดลงเมื่อคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามวลรวมหยาบที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องมีความแข็งแรงและขนาดโตสุดควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 25 มม. โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะมีค่าการต้านทานการสึกกร่อนสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดใหญ่ สำหรับมวลรวมละเอียดที่เหมาะสมนั้นต้องมีความสะอาด มีสัดส่วนคละและการกระจายตัวที่ดี ปริมาณและอัตราส่วนระหว่างมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดต้องมีความเหมาะสม ไม่ควรใช้ชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป ปัจจัยเหล่านี้ก็จะส่งผลให้คอนกรีตมีความต้านทานการสึกกร่อนได้ดีขึ้น

3) **การตกแต่งผิวหน้าของคอนกรีตสด** เช่น การขัดผิวหน้าของคอนกรีต ทั้งการขัดผิวหยาบหรือการขัดผิวมัน ต่างก็ทำให้ผิวหน้าของคอนกรีตแข็งแรงกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้มีการขัดผิวหน้า เพราะในทางปฏิบัติจะเป็นการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีต ในกรณีของการขัดผิวมัน หรือเป็นการลดปริมาณน้ำสำหรับกรณีของการขัดผิวหยาบ การใช้ซีเมนต์ชนิดพิเศษหรือวัสดุเคลือบผิวหน้าก็จะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของผิวหน้าของคอนกรีต เช่น ผิวพื้นของโรงงานอุตสาหกรรม ในทางตรงกันข้าม ส่วนผสมคอนกรีตที่มีน้ำในคอนข้างมากและมีน้ำส่วนเกินลอยขึ้นมาอยู่บนผิวหน้าของคอนกรีตขณะที่กำลังจะแข็งตัว และเมื่อ

แข็งตัวแล้วความต้านทานต่อการสึกกร่อนจะค่อนข้างต่ำมาก เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ที่ผิวหน้ามีค่าสูงเกินไปทำให้กำลังของเพสต์ต่ำ ส่งผลให้หน้าผิวคอนกรีตและอนุภาคของมวลรวมหลุดร่อนออก โดยสามารถพบได้ในถนนหรือทางสัญจรที่ผิวหน้าหลุดร่อนจนเห็นผิวของหินหรือมวลรวมหยาบ

4) การบ่มคอนกรีต เป็นการรักษาน้ำหรือความชื้นในเนื้อคอนกรีตเพื่อสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชันของอนุภาคปูนซีเมนต์ที่เกิดขึ้นในระยะหลัง ซึ่งทำให้กำลังหรือความแข็งแรงของคอนกรีตพัฒนาสูงขึ้นเมื่ออายุผ่านไป ดังนั้นกำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีจะสูงกว่าของคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่ม เมื่อคอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น คุณสมบัติทางด้านการต้านทานการสึกกร่อนก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย

5) ปริมาณโพรงหรือช่องว่างในคอนกรีต โดยที่คอนกรีตมีปริมาณโพรงหรือช่องว่างในคอนกรีตปริมาณมากจะส่งผลให้มีความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง เนื่องจากการเคลือบหรือการเชื่อมประสานอนุภาคของมวลรวมละเอียดโดยซีเมนต์เพสต์ไม่สมบูรณ์ ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเมื่อถูกแรงกระทำก็จะหลุดร่อนได้ง่าย และอีกประการหนึ่งก็คือ เมื่อเริ่มมีการสึกกร่อนเกิดขึ้นและผิวของคอนกรีตหลุดร่อนขยายลึกลงไปจนถึงโพรงหรือช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้ความลึกของการสึกกร่อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความเสียหายที่เกิดจากการสึกกร่อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ คอนกรีตที่มีเติมสารกักกระจายฟองอากาศหรือคอนกรีตที่มีความพรุนสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีการสึกกร่อนสูง

การทดสอบความต้านทานต่อการสึกกร่อนของคอนกรีต

การประเมินความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตนั้น ในมาตรฐานของหลายประเทศได้มีการระบุให้ทำการทดสอบ ไม่ว่าจะทำการทดสอบกับคอนกรีตโดยตรงหรือทดสอบกับมวลรวมของคอนกรีต นั้นแสดงว่าการสึกกร่อนมีความสำคัญต่อคุณสมบัติคอนกรีตที่ต้องพิจารณา เช่น มาตรฐานประเทศอังกฤษ (British Standard, BS EN 812-113 Dolly abrasion machine (Method for determination of aggregate abrasion value, AAV) มาตรฐานประเทศตุรกี (Turkey Standard, TS699-Rotating steel disc) ฯลฯ สำหรับมาตรฐาน ASTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีการยอมรับและใช้กันทั่วไป มีการทดสอบการสึกกร่อนของคอนกรีตหลายวิธี เช่น ASTM C418, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance to Sand blasting, ASTM C779, Standard Test Method for Horizontal Concrete Surface Abrasion Resistance, ASTM C944, Standard Test Method for Concrete or Mortar Surface Abrasion Resistance using the Rotating-Cutter Method และ ASTM C1138, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance, Underwater Method

ผู้เขียนได้ทำการทดสอบหาค่าต้านทานการสึกกร่อนด้วยวิธีการทดสอบใต้น้ำหรือตามมาตรฐาน ASTM C1138 เป็นการหาค่าการสึกกร่อนของตัวอย่างคอนกรีต โดยการนำตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร หนา 100 มิลลิเมตร ไปติดตั้งไว้ในชุดถังทดสอบ ดังรูปที่ 2 และมีลูกโลหะสแตนเลสกลม 3 ขนาด ที่มีจำนวนแตกต่างกัน ถูกนำมาวางอยู่บนผิวหน้าของก้อนตัวอย่างคอนกรีต ทำการเติมน้ำสะอาดให้สูงกว่าผิวคอนกรีตประมาณ 16 เซนติเมตร แล้วกวนน้ำในถังด้วยใบพัดขนาดตามมาตรฐานกำหนด ด้วยความเร็ว $1,000 \pm 100$ รอบต่อนาที ลูกโลหะสแตนเลสทั้ง 3 ขนาดก็จะเคลื่อนที่ตามการไหลวนของน้ำไปมาบนผิวของก้อนตัวอย่าง เมื่อครบเวลา 12 ชั่วโมง จะนำตัวอย่างคอนกรีตออกมาทำความสะอาดและประเมินการสึกกร่อนด้วยการชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3 เสร็จแล้วก็นำตัวอย่างกลับเข้าไปในถังทดสอบอีกทั้งเพื่อทำตามกระบวนการเดิมอีกจำนวน 5 รอบ เมื่อเสร็จแล้วก็ทำการคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนของตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบการสีกร่อนตามมาตรฐาน
ASTM C1138



รูปที่ 3 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตก่อนการทดสอบ



รูปที่ 5 ตัวอย่างคอนกรีตหลังการทดสอบครบ 6 รอบ

จากการทดสอบในแต่ละรอบ จะได้ข้อมูลของน้ำหนักก่อนตัวอย่างที่ชั่งในน้ำและชั่งในอากาศ ซึ่งน้ำหนักทั้งสองชนิดควรจะลดลงเมื่อจำนวนรอบของการทำทดสอบเพิ่มมากขึ้น นำค่าน้ำหนักที่วัดได้มาทำการคำนวณให้เป็นปริมาตรของก้อนตัวอย่างในแต่ละรอบของการทดสอบ และเมื่อครบทั้ง 6 รอบการทดสอบ ก็จะเป็นปริมาตรรวมที่ลดลง ซึ่งสามารถนำไปเปรียบเทียบกับปริมาตรของตัวอย่างก่อนเริ่มต้นการทดสอบ รูปที่ 4 และ 5 แสดงสภาพของผิวหน้าตัวอย่างคอนกรีตก่อนและหลังการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนี้ มาตรฐานได้ระบุไว้ว่าต้องใช้อย่างน้อย 3 ตัวอย่างคอนกรีตต่อคอนกรีตหนึ่งชนิด

ตัวอย่างการคำนวณค่าการสึกกร่อนตามมาตรฐาน ASTM C1138

Calculate the volume of the specimen at any time as follows:

$$V_t = \frac{W_{\text{air}} - W_{\text{Water}}}{G_w} \quad (1)$$

where:

- V_t = volume of the specimen at the desired time, m^3
 W_{air} = mass of the specimen in air at the desired time, kg
 W_{water} = apparent mass of the specimen in water at the desired time, kg
 G_w = unit weight of water kg/m^3

Calculate the volume of concrete lost at the end of any time increment of testing as follows:

$$VL_t = V_i - V_t \quad (2)$$

where:

- VL_t = volume of material lost by abrasion at the end of the test increment in question, m^3
 V_i = volume of specimen before testing, m^3
 V_t = volume of the specimen at the end of the test increment in question m^3

Should it be desired to calculate the average depth of wear at the end of any time increment of testing based on volume of abraded material, it may be done as follows:

$$ADA_t = VL_t / A \quad (3)$$

where:

- ADA_t = average depth of abrasion at the end of the test increment in question, m.
 A = area of top of specimen m^2

ตัวอย่างตารางค่าที่ได้จากการคำนวณ

Table 1 Weight of sample in air and water at each interval of testing (1 interval = 12 hrs)

No.	MSU 001					
	Sample 1		Sample 2		Sample 3	
	weight (kg)		weight (kg)		weight (kg)	
	air	water	air	water	air	water
Initial	15.556	9.301	16.356	9.915	16.637	9.946
1	15.531	9.291	16.335	9.900	16.577	9.914
2	15.502	9.274	16.314	9.889	16.527	9.885
3	15.473	9.258	16.305	9.882	16.508	9.874
4	15.454	9.244	16.291	9.875	16.473	9.854
5	15.446	9.243	16.278	9.868	16.442	9.823
6	15.429	9.230	16.266	9.862	16.427	9.812

Table 2 Volume of the specimen at the desired time, m³

V _t	MSU 001		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
V ₀	0.006255	0.006441	0.006691
V ₁	0.006240	0.006435	0.006663
V ₂	0.006228	0.006425	0.006642
V ₃	0.006215	0.006423	0.006634
V ₄	0.006210	0.006416	0.006619
V ₅	0.006203	0.006410	0.006619
V ₆	0.006199	0.006404	0.006615

Table 3 volume of material lost by abrasion at end of the test increment in question , m³

VL _t	MSU 001		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
VL ₁	0.000015	0.000006	0.000028
VL ₂	0.000012	0.000010	0.000021
VL ₃	0.000013	0.000002	0.000008
VL ₄	0.000005	0.000007	0.000015
VL ₅	0.000007	0.000006	0.000000
VL ₆	0.000004	0.000006	0.000004

Table 4 Average depth of abrasion at the time of the test increment in question, mm.

ADA _t	MSU 001		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
ADA ₁	0.212207	0.084883	0.396119
ADA ₂	0.169765	0.141471	0.297089
ADA ₃	0.183912	0.028294	0.113177
ADA ₄	0.070736	0.099030	0.212207
ADA ₅	0.099030	0.084883	0.000000
ADA ₆	0.056588	0.084883	0.056588

Table 5 Accumulative depth of abrasion) mm(.

Time (Hrs.) (hrs.)	Accummulative depth (mm.)		
	MSU 001		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
12	0.212207	0.084883	0.396119
24	0.381972	0.226354	0.693208
36	0.565884	0.254648	0.806385
48	0.636620	0.353678	1.018592
60	0.735650	0.438560	1.018592
72	0.792238	0.523443	1.075180

Table 6 Summary of abrasion of specimens (mm.)

Sample	MSU 001		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
ADA _t ,end	0.792	0.523	1.075

เอกสารอ้างอิง

ASTM C1138 (1997). Standard test method for abrasion resistance of concrete (Underwater Method). *Annual Book of ASTM Standards*, 04(02), USA, West Conshohocken.

Homwuttiwong, S., Chindaprasirt, P., and Jaturapitakkul, C., 2012 "Permeability and abrasion resistance of concrete containing high volume fine fly ash and palm oil fuel ash *Computers and Concrete*, Vol. 10, No. 4, pp. 349-360.

Horszczaruk, E. (2003). The model of abrasive wear of concrete in hydraulic structures. *Wear*, 256, 787-796.

Horszczaruk, E. (2005). Abrasion resistance of high-strength concrete in hydraulic structures. *Wear*, 259(6), 62-69

- Horszczaruk, E. (2006). Mathematical model of abrasive wear of high performance concrete . *Wear*, 264(2), 113–118.
- Horszczaruk, E. (2008). Hydro-abrasive erosion of high performance fiber-reinforced concrete . *Wear*, 267(4), 110–115.
- Kakhunthot, N., Ongwandee, M., and Homwuttiwong, S., "Abrasion resistance of Pozzolan concrete", Proceedings of International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB), July 23-24, 2011, Danung, Veitnam.
- Kilic A., Atis C.D., Teymen A., Karahan O., zcan F. O., Bilim C. and zdemir M. O. (2007). The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement & Concrete Composites*,30(4), 290–296.
- Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D., 2003, *Concrete*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey.
- Neville, A.M., 1995, *Properties of Concrete*, 4th ed., Prentice Hall, London.
- Uzal, B. and Turanli, L. (2003). Studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans. *Cement Concrete Research*, 33(11), 1777-1781.
- Yu-Wen Liu, Tsong Yen and Tsao-Hua Hsu. (2005). Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. *Cement and Concrete Research*, 36(10), 1814-1820.