

고강도 고유동 콘크리트의 침식 저항성

Erosion Resistance Evaluation of High-Strength SCC

최석환* 이재문** 한만엽*** 하재담****
Choi, Sokhwan Lee, Jae Moon Han, Man-Yop Ha, Jae-Dam

ABSTRACT

Damage of hydraulic concrete structures by the abrasion and erosion process is very severe and it indicates that the necessity of considering the influence of this process while designing concrete mixtures. Abrasion wear of concrete in hydraulic structures is caused by the movement of particles, water-borne debris.

The resistance against erosion for high-strength self-consolidating concrete(SCC) was examined in this paper. A newly designed testing method is presented in order to quantitatively estimate the erosion of concrete. It was shown that loss of volume in abraded concrete can be explained as function of material parameters such as the amount of fly ash and blast furnace slag. Those admixtures have been widely used to reduce heat of hydration and improve resistance against sulfate attack. The results of current study can be used as a guideline in selecting the composition of concrete exposed to abrasion-wear.

1. 연구배경 및 목적

콘크리트의 침식은 마모의 한 형태인데, 주로 유체나 물속의 부유물질 즉, 실트, 모래, 자갈, 부스러기 등이 콘크리트 수중구조물 표면에 충돌하면서 생기는 중량의 손실을 의미한다. 교량의 교각, 여수로, 콘크리트관, 댐, 감세지, 인공수로, 암거, 배수로 그리고 터널복공 등이 마모 및 침식의 영향을 받기 쉽다. 이러한 손상에 대한 어떤 물리적인 원인과 화학적인 원인을 구분하는 것은 다분히 임의적이며 실제로는 이 두 가지가 서로 겹친다고 할 수 있다. 예를 들어서 표면이 닳거나 균열이 발생해서 중량이 손실되면 콘크리트의 침투성이 증가하며 이는 화학적인 손상의 주된 원인이 된다. 거꾸로 시멘트폴의 성분이 연수에 녹아 나오면 콘크리트의 공극이 증가하게 되고 이로 인해서 콘크리트는 마모 및 침식의 영향을 더 잘 받게 된다. 침식의 정도는 부유물질의 양, 모양, 경도, 유속, 콘크리트의 품질 등에 의해서 결정된다.

매스콘크리트에서 수화열 균열을 줄이기 위해서 플라이애쉬, 그리고 지하수나 해수에 의한 염화물 피해에 대한 저항성을 높이기 위해서 고로슬래그 등의 무기질 혼화재를 시멘트와 같이 사용하고 있다. 본 논문에서는 콘크리트의 마모에 대한 저항성을 실험할 수 있는 실험 방법을 개발한다. 그리고 서로 다른 양의 무기질 혼화재를 사용한 배합비를 적용하여, 배합비에 따른 침식 저항성을 파악하고자 한다. 침식 시험 후 시편의 표면 마모량을 비접촉 3차원 측정기를 이용하여 분석하였다.

* 정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 부교수
** 정회원, 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정
*** 정회원, 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
**** 정회원, 쌍용기술연구소 수석연구원

2. 침식 시험 장치

콘크리트의 마모에 대한 저항성을 실험할 수 있는 방법에는 Steel-ball abrasion test, Dressing wheel test, Revolving disk test, Sandblast test, Rotating cutter method 등이 있지만, 침식 저항성을 측정하는 실험법으로는 ASTM C1138가 사용된다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 콘크리트의 침식 시험을 수행할 수 있는 장치를 다음과 같이 제작하였다. 먼저 원통 내의 바닥에 양생된 시편을 설치하고, 그 위에 구슬을 넣은 다음 물을 부은 후, 임펠러를 일정 시간 회전시켜서 침식 실험을 수행한다. 플렉시글라스 원통 내경은 290mm이고, 시편 위 수면의 높이는 200mm이다. 모터는 SPG S9190GBH-V12를 사용하였고, 임펠러는 높이가 16cm, 직경이 18cm이다. 침식 부유물의 모사하는 구슬은 지름 25.4mm 10개, 19.05mm 35개, 12.7mm 25개를 동시에 사용하였다. 실험은 무부하 속도 230rpm을 기준으로 7시간 동안 회전시켰다. 그림1(a)는 6개의 칸으로 구분된 시편 몰드로 타설 단위는 같은 배합비이지만 마모시험 시에는 서로 다른 배합비에서 추출해서 동시에 실험할 수 있도록 했다.

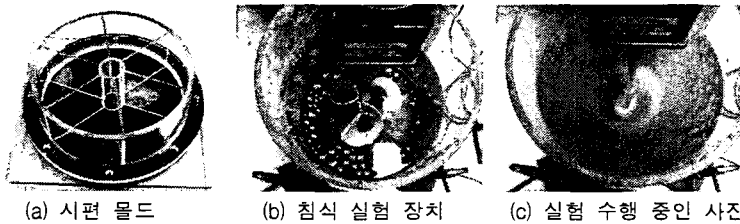


그림1 시편 몰드와 침식 실험 장치

3. 콘크리트 시편 제작

강제식 믹서를 이용해서 각 시편 그룹별 재료를 1분~2분가량 혼합한 후에 사용할 물의 50%를 넣고 믹서하면서 나머지 물 50%를 폴리카르보산계 고성능 AE 감수제와 함께 섞어서 재료와 물이 잘 섞일 때까지 2~3분가량 믹서하였다. 탁상용 바이브레이터를 이용해서 각각의 공시체를 17~20Hz로 진동 다짐하였다.

사용재료 및 배합설계는 표1에 주어진 바와 같다. 시험군 2, 3, 4, 6군은 62~64cm의 슬럼프플로우를 보였고, 1, 5군은 42~44cm이었다. 시편은 하루가 지난 후에 몰드에서 제거하여, 수온 23°C에서 14일간 수중양생을 실시하였다. 수중양생시 수조속의 물을 pH 11.7의 알칼리 상태로 맞춰주기 위해서 수산화칼슘($C_0(OH)_2$)을 물 1ℓ당 0.74g씩 첨가하였다. 그 후 공기 중에서 7일간 양생시킨 후 재령21일에 마모시험을 실시하였다.



(a) 침식 시험 후 시편에 마모 측정 영역 표시
그림2 침식량 측정

(b) 비접촉 3차원 측정

4. 표면 침식량 측정

실험을 수행한 후에 시편 표면의 침식량을 측정하는데는 비접촉 3차원 측정기 INTEK IMS Premium 400C가 이용되었다. 이 장비의 x, y, z 방향 측정 정밀도는 모두 0.1μm 단위이다. 측정된 침식량은 표1에 표기되어 있으며, 이러한 데이터를 바탕으로 그린 그래프가 그림3~그림6이다.

표1 시편의 배합설계

시험체군	침식 시험 ID	W/B	고로슬래그 (SG) 치환율(%)	플라이애쉬 (FA) 치환율(%)	배합 단위부피당 사용량(kgf/m ³)							침식량 (mm ³)	평균 압축강도 (MPa)
					W	B			S	G	SP***		
						C	SG*	FA**					
1-SOF0	1-6 3-5	0.25	-	0	170	680	-	-	675	807	7.48	- 182	46
2-SOF10	1-4 2-6	0.25	-	10	170	612	-	68	675	807	7.48	569 301	50
3-SOF20	2-4 3-3	0.25	-	20	170	544	-	136	675	807	7.48	771 371	34
4-SOF30	1-2 2-2 3-1	0.25	-	30	170	476	-	204	675	807	7.48	1145 434 529	41
5-FOS0	1-5 3-4	0.26	0	-	170	654	-	-	777	731	4.44	- 438	47
6-FOS20	1-3 2-5	0.26	20	-	170	523	131	-	777	731	4.44	- 336	57
7-FOS40	2-3 3-2	0.26	40	-	170	392	262	-	777	731	4.44	384 509	55
8-FOS60	1-1 2-1 3-6	0.26	60	-	170	262	392	-	777	731	4.44	782 544 733	55

*SG: (주)기초소재 고로슬래그 1종, **FA: (주)금륜 플라이애쉬(MEGAMIX-1000), ***SP: (주)GRACE ADVA148

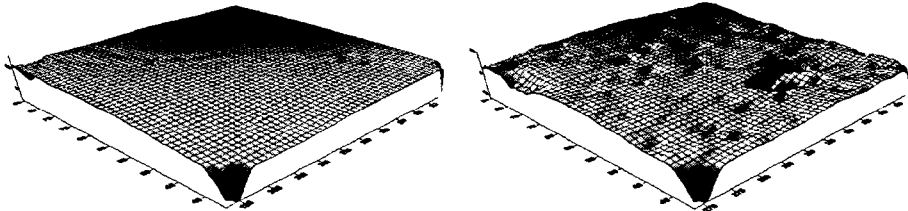


그림3 표면 침식 분석 그래프(ID 3-5, FA치환율 0%)

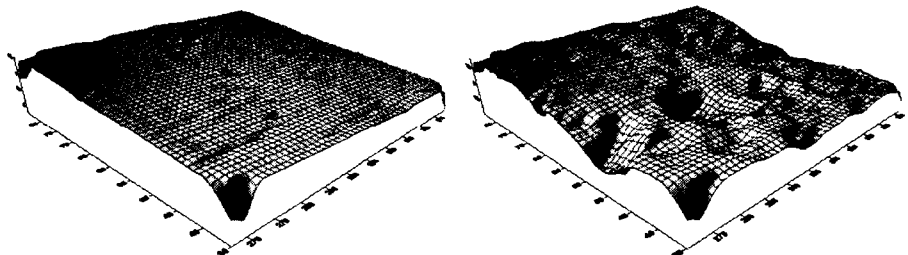


그림4 표면 침식 분석 그래프(ID 2-2, FA치환율 30%)

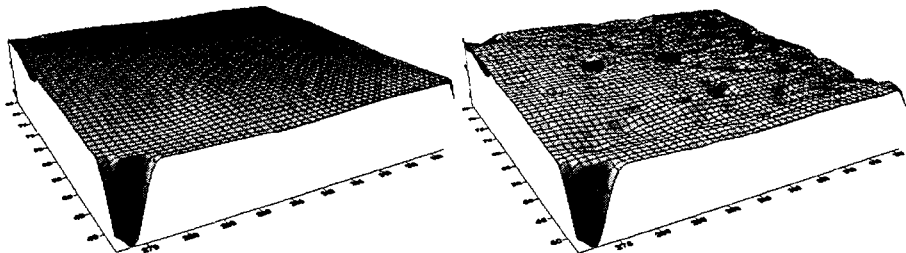


그림5 표면 침식 분석 그래프(ID 1-3, 슬래그치환율 20%)

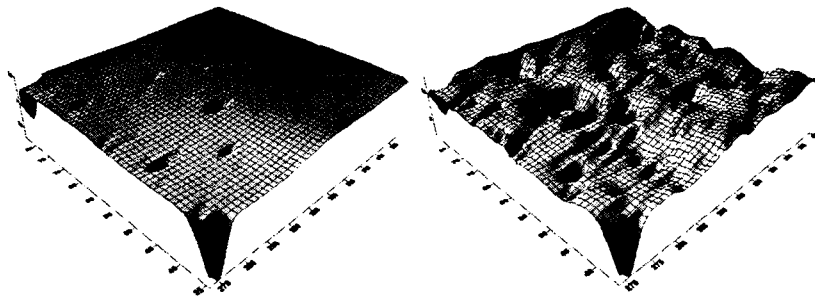


그림6 표면 침식 분석 그래프(ID 2-1, 슬래그치환률 60%)

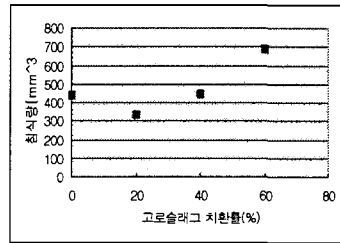
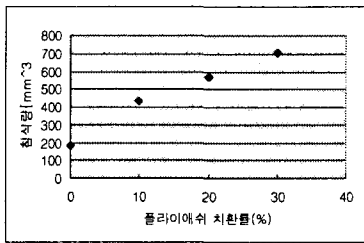


그림7 플라이애쉬 치환률과 침식량 상관관계 그림8 고로슬래그 치환률과 침식량 상관관계

5. 결론

침식에 대한 초기 저항능력은 콘크리트의 표면에 국한된 것이므로 침식에 대한 저항성을 높이기 위해서는 콘크리트의 표면처리 기법이 매우 중요하다. 이러한 사실은 침식 분석 그래프를 살펴보면 초기의 불규칙한 표면에서 상대적으로 침식이 빠르게 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 또한 플라이애쉬 및 고로슬래그의 양이 많아지면 침식 저항성이 떨어지고, 마모가 더 잘 일어나는 것이 시험결과 관찰되었다. 본 연구에서 사용한 실험법은 콘크리트의 내구연한에 대한 정량적인 수치를 주지는 않을지라도 콘크리트의 재료, 양생, 혹은 마감처리 등이 마모 및 침식에 대한 저항성에 미치는 영향을 평가하는 데는 사용되어 보다 내구적인 콘크리트 구조물의 설계에 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술평가원에서 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: D02-01)의 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. ASTM C 1138-89, "Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method)" pp. 592-595
2. Horszczaruk, H., (2004) "The model of abrasive wear of concrete in hydraulic structures," Wear 256, pp.787-796
3. K.C.Goretta, M.L.Burdett "Solid-particle erosion of Portland cement and concrete" Wear 224 (1999) pp.106-112
4. Graham, J.R.,(1988) "Erosion of concrete in hydraulic structures," ACI, 210, R1-R22