

축진시험에 의한 콘크리트중의 황산이온 확산계수 추정

Estimation on the Sulfate Ion Diffusivity in Concrete by Accelerated Test

문 한 영^{*} 김 성 수^{**} 김 홍 삼^{***} 이 승 태^{****} 최 두 선^{*****}
Moon, Han Young Kim, Seong Soo Kim, Hong Sam Lee, Seung Tae Choi, Doo Sun

ABSTRACT

When concrete structures are exposed to sulfate or marine environments, sulfate ions penetrated into concrete make it deteriorate. An accelerated test under potential difference method was performed to evaluate not only the sulfate ion diffusivity in ordinary portland cement and ground granulated blast-furnace slag cement concretes but the effect of slag replacement and water-cement ratio on the sulfate ions diffusivity.

As the result of this study, we assumed the sulfate ion diffusivity was significantly related with total passed charge and initial current in concrete. Moreover sulfate ions penetration resistance of ordinary portland cement concrete was superior to that of ground granulated blast-furnace slag cement concrete.

1. 서 론

근래 해양환경하에 노출된 콘크리트 구조물의 내구성을 평가하기 위한 연구의 일환으로 전위차 축진법으로 콘크리트 중의 염소이온 확산계수를 추정하는 방법이 몇몇 연구자로부터 제안되고 있다. 그러나 콘크리트의 내부에 침투하여 성능저하를 일으키는 유해성분으로는 염소이온뿐만 아니라 황산이온, 이산화탄소가스 및 마그네슘이온 등이 존재하기 때문에 이들 성분의 콘크리트 중에서의 침투, 확산 메카니즘에 대한 규명이 요망된다.

특히, 콘크리트 구조물이 황산염환경에 노출되어 성능저하를 일으키는 경우, 황산염침식의 주요 원인인 황산이온에 관해서는 그 성능저하 원인뿐만 아니라 황산이온의 확산계수를 추정, 평가하는 연구가 아직도 미비한 실정이기 때문에 이에 대한 연구가 수행될 필요성이 점점 고조되고 있다.

본 연구에서는 보통포틀랜드시멘트 및 포틀랜드시멘트에 고로슬래그미분말을 40 및 60% 혼합한 콘크리트를 각각 제조한 후 콘크리트 내부로 침투하는 황산이온의 확산계수를 산정하여 콘크리트 중의 확산특성에 대하여 고찰하였으며, 아울러 총통과전하량 및 초기전류를 측정하여 황산이온 확산계수와 의 상관관계에 대해서도 비교, 검토하였다.

* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원, 대진대학교 이공대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

**** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

***** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 배합

- (1) 시멘트 및 광물질혼화재 : 보통포틀랜드시멘트(OPC로 약함)와 고로슬래그미분말(GGBFS로 약함)을 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.
- (2) 골재 : 잔골재는 비중 2.59, 흡수율 0.80%, 조립률 2.80인 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm, 비중 2.66, 흡수율 0.78%인 부순돌을 사용하였다.
- (3) 콘크리트 배합 : OPC콘크리트 및 GGBFS를 각각 40 및 60% 대체한 콘크리트를 2종류 물-시멘트 비로 제조하였으며 이들 콘크리트 배합을 표 2에 나타내었다.

표 1. 시멘트 및 고로슬래그미분말의 화학성분 및 물리적 성질

Item Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
OPC	19.88	4.87	3.11	61.56	2.95	2.82	2.93	3.15	3,480
GGBFS	31.88	12.64	0.39	42.46	6.38	3.63	0.65	2.92	4,930

표 2. 콘크리트 배합

Items Types	G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
						W	C	S	G	GGBFS
OPC-40	25	15±1.5	4.5±1.0	40	41	187	468	640	962	-
OPC-50	25	15±1.5	4.5±1.0	50	43	187	374	703	973	-
SG40-40	25	15±1.5	4.5±1.0	40	41	187	281	663	955	187
SG40-50	25	15±1.5	4.5±1.0	50	43	187	224	730	968	150
SG60-40	25	15±1.5	4.5±1.0	40	41	187	187	661	951	281
SG60-50	25	15±1.5	4.5±1.0	50	43	187	150	728	965	224

2.2 실험방법

- (1) 압축강도 측정실험 : $\phi 10 \times 20$ cm 원주형공시체를 제조하여 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수중에 양생한 후, 재령 7 및 28일의 압축강도를 KS F 2405에 의하여 측정하였다.
- (2) 전위차 측정 황산이온 확산실험 : $\phi 10 \times 20$ cm 원주형공시체를 제조하여 재령 28 및 56일간 수중 양생한 후, 5cm 두께로 절단한 시험편을 사용하여 그림 1과 같이 확산셀을 구성한 후 (-)셀 내부에는 5% Na₂SO₄ 수용액을, (+)셀 내부에는 포화 Ca(OH)₂ 수용액을 채운 뒤 30V의 직류전압을 12시간동안 통전시켰다. 또, 콘크리트 시험편을 흐르는 전류로부터 Andrade 모델을 적용시켜 황산이온 확산계수를 추정하였으며 시간대 전류곡선을 적분하여 통과전하량을 산정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 압축강도 및 총통과전하량

그림 2는 3종류 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것으로서 재령 7일에서는 OPC에 고로슬래그미분말을

각각 40 및 60% 대체한 SG40 및 SG60콘크리트의 압축강도 발현이 OPC콘크리트보다 작았으나, 재령 28일에서는 동등이상의 압축강도를 발현함을 알 수 있었다.

이번에는 3종류 콘크리트의 물-시멘트비별 총통과전하량을 나타낸 것이 그림 3으로써, 물-시멘트비에 관계없이 각 재령에서 OPC콘크리트 중의 총통과전하량이 SG콘크리트보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 특히 물-시멘트비 50%, 재령 28일에서 OPC콘크리트의 통과전하량이 SG60콘크리트의 약 2.14 배 정도 크게 나타나므로써 황산이온에 대한 침투저항성이 SG콘크리트보다 좋지 않음을 알 수 있었다. 한편 고로슬래그미분말을 대체한 콘크리트의 경우, 재령 28일의 SG60콘크리트는 총통과전하량이 SG40과 유사하게 나타났으나, 재령 56일에서는 적은 결과를 나타내므로써 장기재령화 될수록 SG60콘크리트의 황산이온에 대한 침투저항성이 우수할 것으로 예상된다.

3.2 콘크리트의 황산이온 확산계수

Andrade 모델을 이용한 전위차 촉진시험을 실시하여 측정된 콘크리트 중의 황산이온 확산계수를 재령별로 나타낸 것이 그림 4로써, 이 그림에서 알 수 있듯이 SG60콘크리트를 제외한 나머지 콘크리트는 물-시멘트비가 작을수록 황산이온 확산계수가 작아지는 경향을 나타내었다. 특히 OPC콘크리트의 경우, 재령 28일에서 물-시멘트비가 40%일 때 황산이온 확산계수는 $4.93 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 로써 물-시멘트비 50%의 $8.00 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 와 비교하여 약 52%에 지나지 않는 작은 값을 알 수 있었다. 한편 재령 56일에서는 고로슬래그미분말의 대체율이 클수록 잠재수경성에 의한 영향으로 인하여 황산이온 확산계수가 적어지는 경향을 나타내었다.

황산이온 확산계수와 콘크리트 중의 총통과전하량 및 초기전류와 황산이온 확산계수와의 관계를 각각 그림 5 및 그림 6에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있듯이 콘크리트 중의 황산이온 확산계수와 총통과전하량과의 사이에는 결정계수 99%의 좋은 선형관계를 나타내었으며, 총통과전하량이 큰 OPC콘크리트의 경우 확산계수도 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

한편, 그림 6과 같이 6종류 콘크리트에 통전된 초기전류와 황산이온 확산계수와의 사이에도 좋은 상관계수를 나타내었기 때문에 전위차 촉진시험시 콘크리트 중의 초기전류를 측정하므로써 확산계수를 유추할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

- (1) 전위차 촉진시험에 의하여 콘크리트 중의 총통과전하량을 측정한 결과, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트보다 고로슬래그미분말을 혼합한 콘크리트가 총통과전하량이 적어 황산이온의 침투저항성이 좋음을 알 수 있었다.
- (2) 콘크리트의 황산이온 확산계수를 측정한 결과, 재령이 증가하고 물-시멘트비가 감소할수록 콘크리트 중에 황산이온의 침투가 어렵기 때문에 황산이온 확산계수가 작아지는 경향을 나타내었다.
- (3) 콘크리트 중의 총통과전하량과 초기전류는 황산이온 확산계수와의 사이에 좋은 선형관계를 나타내었다. 다시 말해서 콘크리트 중의 총통과전하량과 초기전류를 측정한 결과로써 황산이온 확산계수를 추정할 수 있을 것으로 추정된다.

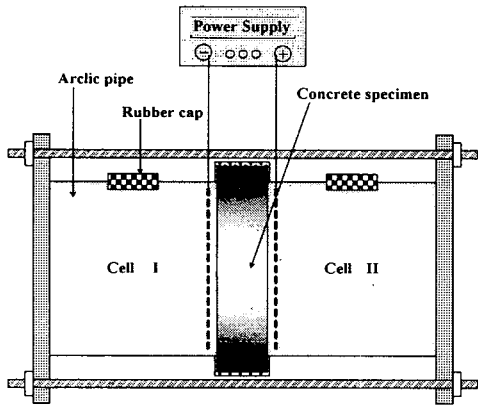


그림 1. 확산시험장치

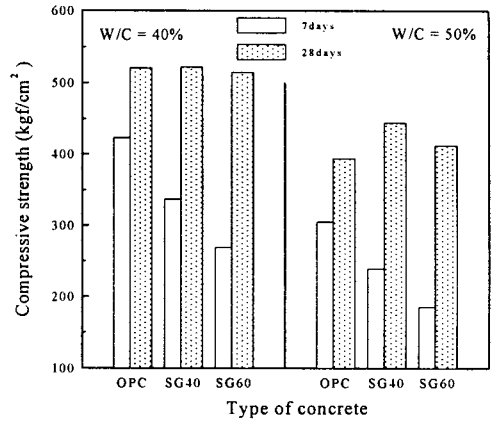


그림 2. 콘크리트의 압축강도

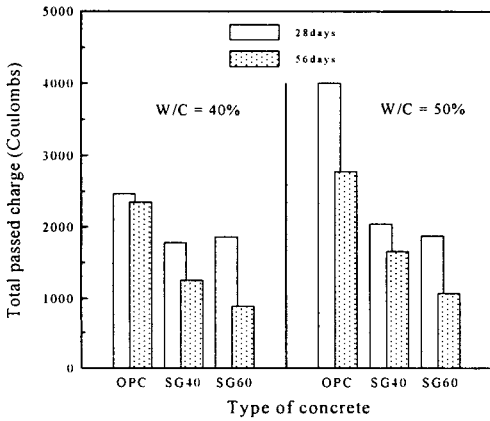


그림 3. 콘크리트의 총통과전하량

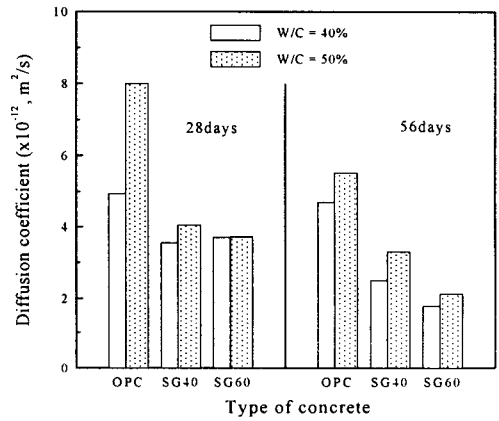


그림 4. 콘크리트의 황산이온 확산계수

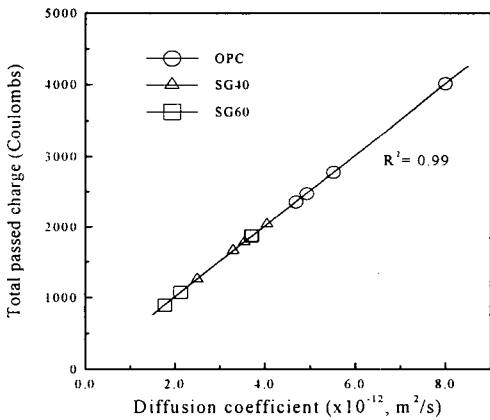


그림 5. 황산이온 확산계수와 총통과전하량

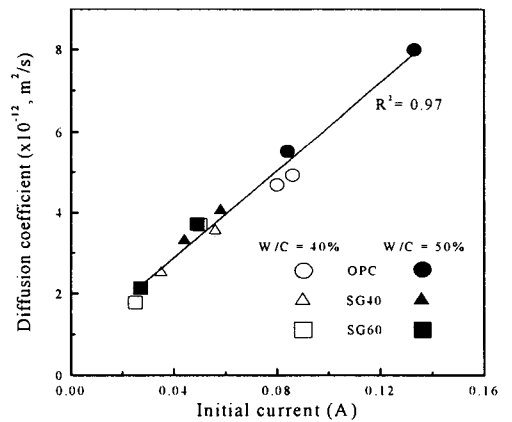


그림 6. 초기전류와 황산이온 확산계수