

알루미늄네이트계 급결제를 사용한 슛크리트의 황산염침식 저항성 평가

Evaluation on the Sulfate Attack Resistance of Shotcrete with Aluminate Accelerator

김성수* 김홍삼** 이규필*** 김동규*** 윤하영****
Kim, Seoung Su Kim, Hong Sam Lee, Gyu Phil Kim, Dong Gyou Yoon, HaYoung

ABSTRACT

Shotcrete have become a deterioration which is used in the underground such as groundwater and soil in sulfate ion. Sulfate attack on concrete structures in service is not widespread, and the amount of laboratory-based research seems to be disproportionately large. In this study, immersion test using Na_2SO_4 solution(1,2,5%) was performed to evaluate the resistance of shotcrete. From the results of the immersion test for 112 days of exposure.

In order to understand the deterioration mechanism due to seawater attack, test using scanning electron microscopy(SEM) analysis and X-ray diffraction showed that the deterioration mechanism due to sulfate attack in shotcrete.

1. 서론

산업발전에 따라 증가하는 교통량의 처리와 국토 이용의 효율성의 두가지 측면에서 지하공간의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 터널 및 지하공간의 건설공사 시 주요 지보재로 사용되고 있는 슛크리트를 이용한 공법이 확대되고 있다. 일반적으로 콘크리트 경우 높은 내구성을 가지고 있는 인식 때문에 별도의 유지관리 비용 없이 반영구적으로 사용할 수 있는 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근 많은 연구 및 구조물의 조사를 통하여 콘크리트 구조물 또한 많은 취약점이 있다는 것을 밝혀냈다. 터널구조물의 경우 안전관리를 위한 지침 및 상태평가가 육안에 의한 관측에 국한되어 있어 근본적인 안전관리를 위한 구조적 안정성을 판단하기 어려운 실정이다. 이에 슛크리트의 환경조건에 따른 열화특성을 파악하기 위하여 지하수 또는 토중에 대표적인 유해 환경조건을 설정하여 열화특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

2.1 실험개요

본 연구에서는 슛크리트의 황산염 노출에 따른 침식특성을 평가하기 위하여 터널 시공 현장에서 직접 타설된 슛크리트 코어공시체를 대상으로 3종류의 농도가 다른 Na_2SO_4 시험용액에 공시체를 침지하여 압축강도에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 더불어 슛크리트가 시험용액에 침지 되었을 때 나타나는

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 한국 도로공사 연구원

*** 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원

**** 정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

반응생성물과 미세구조를 분석하여 황산염침식 저항성을 평가하고 성능저하 요인을 분석하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 배합은 KS L 5201에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 비중은 3.15였다. 골재는 경북 경산지역에서 생산되는 13mm 굵은골재(비중 2.60)와 잔골재(비중 2.59)를 사용하였고, 급결제는 Aluminate 계를 시멘트량의 5% 사용하였다. 슛크리트의 목표 설계강도는 21MPa이고, 배합은 표 1에 나타내었다.

표 1 슛크리트의 배합

Items (MPa)	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				유동화제 (kg)	비고
						W	C	S	G		
21	13	10	-	45	62	204	453	1132	572	2.27	시방 배합

2.3 실험방법

1) 압축강도

스�크리트의 강도 변화 특성을 알아보기 위하여 Na₂SO₄ 용액에 침지한 슛크리트의 압축강도와 수중양생을 실시한 슛크리트의 압축강도를 KS F 2405, KS F 2422에 의하여 측정 한 후 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{압축강도감소율(\%)} = \frac{S_w - S_s}{S_w} \times 100$$

여기서, S_w : 수중양생한 슛크리트의 압축강도(MPa)

S_s : Na₂SO₄용액에 침지한 슛크리트의 압축강도(MPa)

2) XRD(X-ray diffraction) 분석

스�크리트의 반응생성물을 동정하기 위하여 X-ray 회절분석을 실시하였으며, 측정조건은 CuK(Ni, filter) 35kv, 20mA, Scanning speed 80/min, Full Scale 14cps, 2θ= 5~60°로 하였다.

3) ESEM 및 EDS 분석

본 연구에 사용된 주사형 전자현미경은 philips XL30 ESEM이고, SEM분석과 동시에 에너지 분산형 분석장치 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)형 전자현미경분석기를 이용하여 미세구조를 관찰하였다.

4) 실험조건

스�크리트의 황산염침식 특성을 평가하기 위하여 Na₂SO₄ 1%, 2%, 5% 용액에 침지 후 재령 14, 28, 56 및 112일에서 압축강도를 측정하였다. 용액에 교체 주기는 2주간격으로 교체하였다.

표 2 실험용액의 수준

	농도 조건	사용 용액	비고
기준조건	수중양생	수도수	28일 수중양생 후 약품침지 용액의 온도 : 20±3℃
황산염환경	1%, 2%, 5%	Na ₂ SO ₄	

3. 실험결과 및 분석

3.1 재령별 쏫크리트의 강도변화

황산염 용액에 노출된 쏫크리트의 강도 변화 특성을 알아보기 위하여 황산나트륨(Na_2SO_4)를 이용하여 1,2 및 5% 용액을 제조하여 쏫크리트 코어공시체를 침지 후 침지 재령 14, 28, 56, 및 112일에서 측정된 압축강도를 정리하여 그림1에 나타내었다.

쏘크리트의 압축강도는 재령 56일까지는 침지재령이 증가할수록 수중양생 쏫크리트의 압축강도를 상회하였으며, 황산염의 농도가 높을수록 쏫크리트 공시체의 압축강도가 큰 것으로 나타났다. 이는 침지 초기재령에서 황산염인 SO_4^{2-} 이온이 시멘트 수화생성물과 반응하여 팽창성 물질인 ettringite 등이 생성되어 수화조직을 치밀하게 하여 압축강도가 수중양생에 비해 최고 10%를 상회하는 결과를 나타냈다. 또한 용액의 농도가 높을수록 압축강도가 높게 나타나는 것으로 보아 농도가 높을수록 팽창성 수화생성물의 생성이 촉진되는 것을 알 수 있다.

한편 침지재령 112일에서는 압축강도의 경향이 역전되어 5% Na_2SO_4 용액에서는 수중양생한 쏫크리트의 압축강도에 비하여 약 80% 정도의 작은 값이 나타났다. 뿐만 아니라 유해이온의 침식작용에 의한 쏫크리트의 강도 감소량은 황산염 용액의 농도에 비례하여 증가하는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 그 이유는 초기재령에서 팽창성 수화생성물의 생성으로 인하여 수화조직이 치밀하게 된 탓으로 사료되며, 또한 장기재령으로 갈수록 시멘트 경화체 표면에 균열이 다량으로 생성되어 강도감소량이 더욱 크게 나타났다고 생각된다.

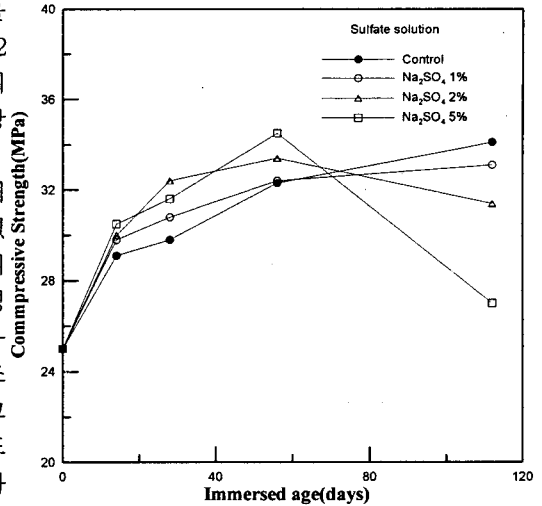


그림 3 Na_2SO_4 용액에 침지한 쏫크리트의 압축강도

3.2 XRD 회절분석

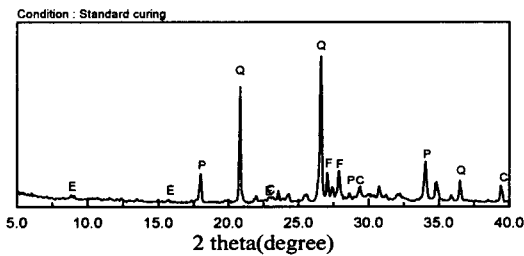


그림 2 수중양생 한 쏫크리트

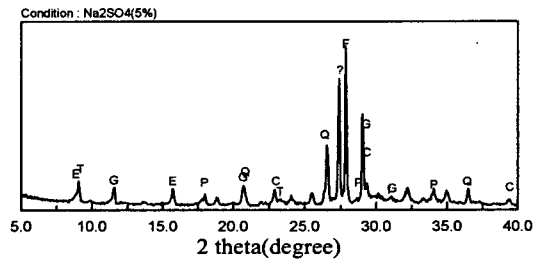


그림 3 Na_2SO_4 용액에 침지한 쏫크리트

황산염에 노출된 쏫크리트의 반응생성물을 점성적으로 평가하기 위하여 112일 간 Na_2SO_4 용액에 침지한 콘크리트 코어 공시체 표면부위에서 채취한 시편을 대상으로 XRD 회절 분석을 실시한 결과를 그림 2,3에 나타내었다. 그림 2의 경우 수중양생을 실시한 쏫크리트를 대상으로 한 XRD 회절 패턴을 나타낸 것으로 시멘트의 주요 수화생성물로서 결정성 물질인 portlandite와 더불어 골재에서 기인된 quartz 및 feldspar 등의 결정성 피크가 검출된 반면, Na_2SO_4 용액에 침지한 시편에서는 황산염 침식을 크게 받은 탓으로 C-S-H의 분해로 인하여 portlandite의 피크는 소실된 반면, gypsum의 피크가 확인되었으며, ettringite 및 thaumasite로 추정되는 피크가 검출되었다.

3.3 SEM

수중 양생 및 Na_2SO_4 용액에 112일간 침지한 숯크리트 시편을 대상으로 2000배 확대하여 촬영한 ESEM 및 EDS 분석결과를 정리하여 나타낸 것이 그림 4,5,6 및 7이다. ESEM 및 EDS 분석결과 수중양생 경우 수화조직이 치밀하며 portlandite 및 C-S-H 등의 결정성 수화생성물을 확인할 수 있었다. 이에 반하여 Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트 시편에서는 침상물질인 ettringite가 확인되었고 portlandite가 소멸되고, 수화조직 구조도 수중양생에 비하여 치밀하지 못한 것으로 사료된다.

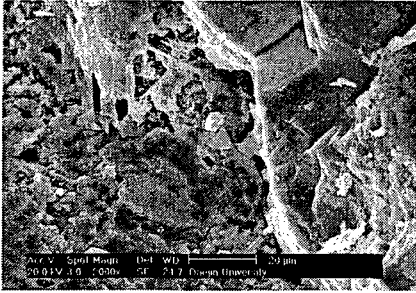


그림 6 수중양생 한 숯크리트의 SEM(112일 침지)

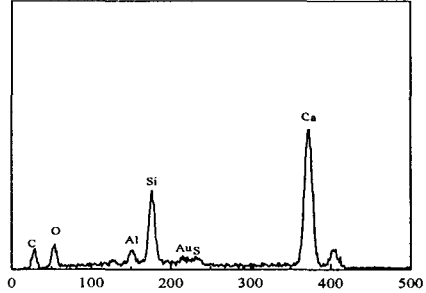


그림 7 수중양생 한 숯크리트의 EDS

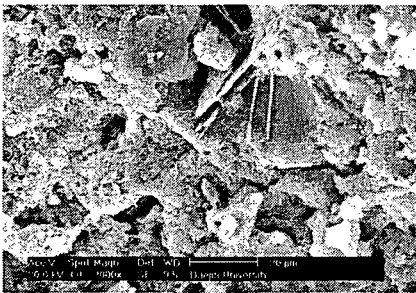


그림 8 Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트의 SEM(112일 침지)

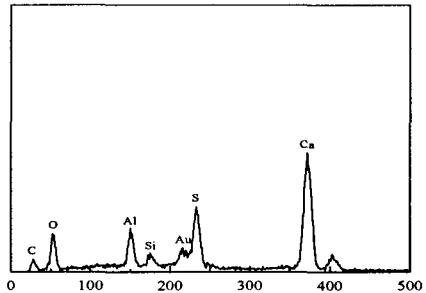


그림 9 Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트의 EDS

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄이테계 급결제를 혼합한 숯크리트의 황산염 침식에 대하여 숯크리트의 압축강도 및 미세구조에 대하여 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트의 압축강도는 침지재령 56일까지는 수중양생 숯크리트의 압축강도를 최고 10%정도 상회하였으며, 농도가 높을수록 숯크리트의 압축강도가 큰 것으로 나타났다. 반면 112일에서는 압축강도의 경향이 역전되어 5% 황산염용액의 경우 수중양생대비 약 80%의 압축강도를 나타내었다. 이때 강도감소 경향은 Na_2SO_4 용액의 농도가 낮을수록 감소하였다.
- 2) XRD 분석결과 수중양생의 경우 수화생성물인 portlandite의 피크가 검출된 반면 Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트의 경우 portlandite의 피크는 소멸되고 팽창성 물질인 ettringite 및 thaumasite의 피크가 검출되었다.
- 3) ESEM 분석결과 수중양생이 Na_2SO_4 용액에 침지한 숯크리트에 비하여 조직구조가 치밀하며 시멘트 수화생성물들이 안정하게 분포하였다. Na_2SO_4 용액의 침지한 숯크리트의 경우 침상형의 ettringite이 확인되었다.

참고문헌

1. Romer, M., Holzer, L. and Pfiffner, M. Swiss tunnel structures : concrete damage by formation of thaumasite, 1st international concrete on thaumasie in cementitious materials(2002)\