

알루미늄네이트계 급결제를 사용한 슛크리트의 산침식에 대한 저항성 평가

Evaluation on the Acid Attack Resistance of Shotcrete with Aluminate Accelerator

김 성 수* 김 홍 삼** 김 동 규*** 윤 하 영**** 봉 원 용*****
Kim, Seoung Soo Kim, Hong Sam Kim, Dong Gyou Yoon, Ha Young Bong, Won Yong

ABSTRACT

Recently, as it has greatly increased the demand on the serviceability of subway, cable tunnel and underground storage, the stability of tunnel structures has been attracting the concern of engineers and researchers.

Thus the aim of the present study is to evaluate acid attack resistance of shotcrete using in tunnel structures. And, in order to understand the deterioration mechanism, test using scanning electron microscopy(SEM) analysis and X-ray diffraction showed that the deterioration mechanism due to acid attack in shotcrete.

1. 서론

산업발전과 경제 성장으로 인한 교통량의 처리 문제와 국토 이용의 효율성 등의 측면에서 지하공간의 개발이 활발히 진행되고 있다. 특히, 터널 및 지하 구조물의 건설공사 시 주요 지보재로 사용되고 있는 슛크리트를 이용한 공법이 널리 사용되고 있다. 일반적으로 콘크리트 구조물의 경우 높은 내구성을 가지고 있다는 인식 때문에 별도의 유지관리 비용 없이 반영구적으로 사용할 수 있는 것으로 알려져 있지만, 최근에 많은 연구와 구조물 조사를 통하여 콘크리트 구조물이 많은 취약점이 있다는 것을 밝혀냈다. 현재 국내 터널 구조물의 경우 안전관리를 위한 지침 및 매뉴얼이 각 기관별로 제정되었으나, 이러한 지침 또는 매뉴얼은 터널 구조물 배면부분의 접근이 불가능한 특수성으로 인하여 육안으로만 관측 가능한 콘크리트 라이닝의 상태평가에 국한되어 있어 근본적인 안전관리를 위한 구조적 안정성을 판단하기 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 터널 지보재인 슛크리트의 내구성을 평가하기 위하여 터널구조물이 침식 받기 쉬운 환경조건인 산(Acid)에 대한 장기 내구특성을 알아보고자 침식을 받는 슛크리트의 역학적 특성, 반응생성물 및 미세구조 특성 등을 통하여 분석·평가 하였다.

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한국 도로교통기술원 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원

**** 정회원, (주)KCC건설 사원

***** 정회원, 대전대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험 방법

2.1 실험개요

본 연구에서는 숯크리트의 산(Acid) 노출에 따른 침식 특성을 평가하기 위하여 터널 시공현장에서 타설된 숯크리트 코어공시체를 대상으로 pH 1, 2, 3의 염산용액 및 pH 7(유수)에 공시체를 침지하여 기기분석을 통한 반응생성물 및 미세구조를 분석하여 산침식 저항성을 평가하고 성능저하 요인을 분석하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 비중이 3.15인 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 골재는 경북 경산지역에서 생산되는 최대치수 13mm 굵은골재(비중 2.60)와 잔골재(비중 2.59)를 사용하였고, 급결제는 Aluminate 계를 시멘트중량의 5% 사용하였으며, 혼화제의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 혼화제의 물리적 성질

Main component	Naphthalene acid based compound	Aluminate alkali based compound
Appearance	Dark brown liquid	White powder
Solid content	40±2%	-
Specific gravity	1.2±0.05	1.5
pH	8±1	13

2.3 실험조건 및 방법

1) 실험조건 : 산침식 저항성을 평가하기 위한 실험조건은 표 2와 같다.

표 2 실험용액의 수준

구 분	내 용	비 고
기준조건	유수(pH-7)	<ul style="list-style-type: none"> • 28일 수중양생 후 약품침지 • 용액의 온도 : 20±3℃
산침식 환경	<ul style="list-style-type: none"> • pH 1,2,3 인 HCl 용액을 사용 • 용액은 매 2주마다 교체 	

2) 외관상태조사 : 숯크리트 코어 공시체의 성능저하 상태를 육안으로 평가하기 위하여 Al-Amoudi 등(1994)의 연구에서 제시한 총 6등급으로 분류된 화학적 침식에 의한 외관등급기준 및 손상상태를 그림 1에 나타내었다.

3) 기기분석 방법 : 분말법을 이용하여 채취한 시료를 대상으로 RINT D/max2500(Rigaku)을 이용하여 X-ray 회절 분석을 실시하였으며, 측정조건은 CuKα(Ni Filter) : 30kV, 20mA, Scanning Speed : 6°/min, Full scale : 700cps, 2θ : 5~40°로 하였다. 또한 채취한 콘크리트 시료를 XL30 ESEM(Philips)를 이용하여 적절한 배율로 확대촬영을 실시(SEM)하였으며 반응생성물을 에너지 분산형 분석 장치(EDS)를 사용하여 확인하였다.

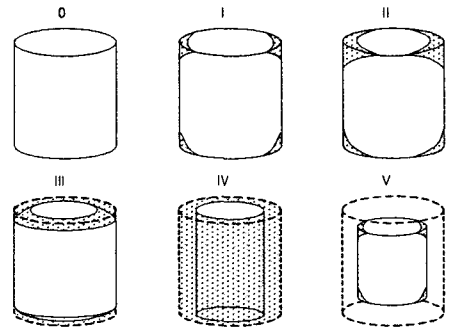


















그림 1 화학적 침식을 받은 경화체의 외관 등급 기준(Al-Amoudi, 1994)

3. 실험결과 및 분석

3.1 외관조사 결과

pH 농도를 달리한 산용액에 60주간 침지한 숯크리트 공시체의 화학적 침식에 의한 성능저하의 손상상태 및 외관등급평가를 각각 표 3에 나타내었다. 숯크리트 코어 공시체의 표면 손상 정도를 보면 pH-1 농도의 성능저하 등급은 침지재령 60주에서 IV등급으로 큰 성능저하 현상이 나타남을 확인할 수 있었고, 용액이 강산성으로 갈수록 또는 침지재령이 경과함에 따라 시멘트 경화체의 성능저하가 크게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

표 3 산용액에 침지한 숯크리트 코어 공시체의 재령별 외관 등급 평가

구 분	4주		16주		32주		60주	
	외관등급	손상상태	외관등급	손상상태	외관등급	손상상태	외관등급	손상상태
pH-1	I		II		III		IV	
pH-2	0		I		I		II	
pH-3	0		0		0		I	
pH-7	0		0		0		0	

3.2 X-ray 회절분석

그림 2는 산용액에 60주간 침지한 숯크리트 코어 공시체의 반응생성물을 알아보기 위하여 X-ray 회절분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 유수(pH-7)에 침지한 숯크리트 코어 공시체의 X-ray 회절분석 결과 시멘트 주요 수화생성물인 Portlandite 및 Ettringite 피크 이외에 Quartz 피크가 나타나 양호한 콘크리트 상태를 나타낸 반면, 산용액에 침지한 숯크리트 코어 공시체의 경우 용액이 강산성 쪽으로 감에 따라 Portlandite 피크의 소멸과 함께 Gypsum 피크가 뚜렷이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이것은 염산과 시멘트 반응생성물인 Ettringite 가 반응을 해서 생성된 것으로 사료되며, 또한 시멘트 경화체의 투수성 및 강도에 지배적인 영향을 미치는 C-S-H의 탈석회화를 일으키는 Thsumasite 피크가 나타난 것을

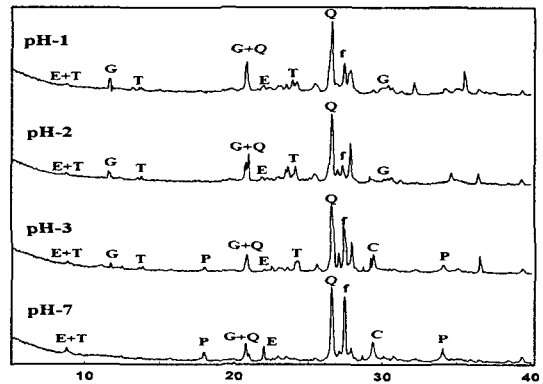


그림 2 XRD 분석 결과

및 강도에 지배적인 영향을 미치는 C-S-H의 탈석회화를 일으키는 Thsumasite 피크가 나타난 것을 확인할 수 있었다.

3.3 SEM 및 EDS 분석결과

산용액에 60주간 침지한 숯크리트 코어 공시체의 반응생성물 및 미세구조 구조를 확인하기 위해서 SEM 및 EDS 분석 결과를 정리하여 나타낸 것이 그림 3~그림 6이다.

그림 6에 나타낸 유수에 침지한 숏크리트 코어 공시체의 경우 수화조직이 치밀하며 portlandite, C-S-H 및 C-A-H 등의 양호한 콘크리트의 결정성 수화생성물을 확인할 수 있었지만, pH-1, 2, 3 용액에 침지한 숏크리트 코어 공시체에서는 전체적으로 Ca, S, O 및 Al의 원소가 검출되어 Gypsum, Ettringite가 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

특히 pH-1 용액에 침지한 숏크리트 코어 공시체의 경우 다량의 침상형 물질이 생성된 것을 알 수 있었으며, EDS 분석 결과 Gypsum, Thaumsite 및 Ettringite와 같은 성능저하 물질임을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과는 위의 X-ray 회절분석 결과와도 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄에이트계 급결제를 혼합한 숏크리트의 산침식에 대하여 성능저하에 따른 외관손상상태 및 미세구조에 대하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) pH 농도를 달리한 산용액에 60주간 침지한 숏크리트 코어 공시체의 외관손상상태는 pH가 강산성으로 갈수록 침지재령이 경과할수록 침식현상이 크게 나타난 것을 알 수 있었다.
- 2) X-ray 회절 분석결과 수중양생의 경우 수화생성물인 Portlandite 피크가 검출된 반면 산용액에 침지한 숏크리트의 경우 pH가 강산성 쪽으로 감에 따라 Portlandite 피크의 소멸과 함께 Gypsum의 피크가 나타난 것을 확인할 수 있었다.
- 3) SEM 및 EDS 분석결과 유수에 침지한 숏크리트 코어 공시체가 산용액에 침지한 숏크리트에 비하여 조직구조가 치밀하며 시멘트 수화생성물들이 안정하게 분포하였다. 또한, EDS분석결과 산용액에 침지한 숏크리트의 경우 Gypsum, Thaumsite 및 Ettringite와 같은 성능저하 물질이 검출되었다.

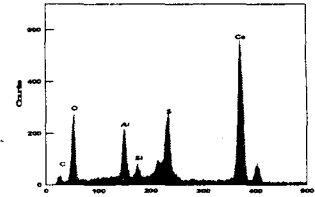
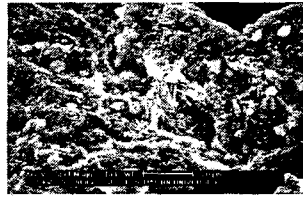


그림 3 pH-1에 침지한 코어공시체의 SEM 및 EDS분석결과

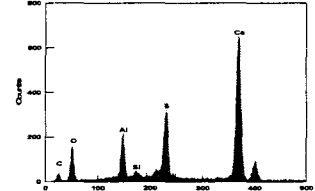
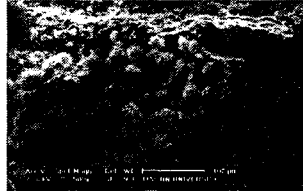


그림 4 pH-2에 침지한 코어공시체의 SEM 및 EDS분석결과

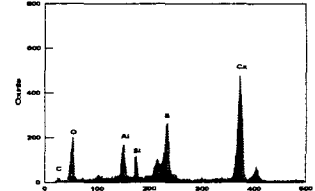
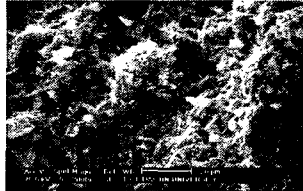


그림 5 pH-3에 침지한 코어공시체의 SEM 및 EDS분석결과

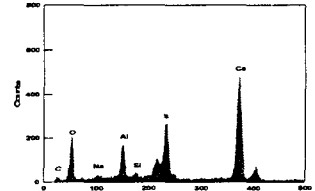
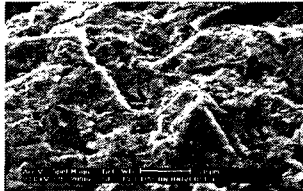


그림 6 pH-7에 침지한 코어공시체의 SEM 및 EDS분석결과

참고문헌

1. Al-Amoudi, O. S. B., Rasheeduzzafar, Maslehuddin, M., and Abdujauwad, S. N.(1994), Influence of Chloride Ions on Sulfate Deterioration in Plain and Blended Cements, Magazine of Concrete Research, Vol. 46, pp. 113-123.
2. Luiz, Roberto Prudencio Jr.(1998), Accelerating Admixtures for Shotcrete, Cement and Concrete Composites, pp. 213-219.