

콘크리트의 표면성능개선이 염소이온투과저항성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

An experimental study on surface performance improvement of concrete influencing on resistance to chloride

김재성* 강석표** 홍성윤***
Kim, Jae Sung Kang, Suk Pyo Hong, Sung Yoon

ABSTRACT

Salt attack is one of the serious deterioration factor with respect to the durability of concrete structure. Especially, in case of exposed rebar concrete structure in marine environment, corrosion of rebar is accelerated by penetration of Cl^- from exterior. Through this path, volume of corroded rebar is increased about two and half times due to increased inner pressure originated from rust. As a consequence, the overall deterioration of concrete structure, namely, cracks, reduction of adhesive strength and pop-out is followed.

In this paper, the effect of structure treatment of concrete on chloride resistance has been investigated. At the same time, the relationship among several characteristics, such as resistance to chloride, water absorption coefficient and surface hardness of concrete has been investigated.

It is believed that surface performance improvement by the application of penetrative hardening agent influences on positively water absorption coefficient, surface hardness of concrete and resistance to chloride ion penetration.

1. 서론

콘크리트는 건설재료 가운데 성형성, 고강도, 수밀성 및 내구성이 우수한 장점을 가진 경제성이 좋은 재료로 알려져 있다. 그러나 콘크리트는 시공 후 염해, 중성화, 동해, 화학적 침식등의 성능저하요인들에 의하여 그 수명이 단축된다. 이러한 내구성능 저하요인들 중 특히 염해는 철근 콘크리트 구조물의 내부철근의 부식을 촉진시켜 콘크리트 구조물의 균열과 열화를 초래하는 중요한 성능저하 요인이다.

이 같은 콘크리트의 염해는 내부에 이미 존재하는 그리고 외부로부터 침투한 염소이온에 의하여 콘크리트내부 철근부식을 가속시키고 이에 의하여 부식된 철근은 그 체적이 2.5배까지 증가한다. 그리고 이 녹의 팽창압력에 의하여 콘크리트 내부에 균열을 발생시키며 철근 부착강도의 저하, 피복콘크리트의 박리, 철근 단면적의 감소에 의한 저항모멘트의 저하를 초래하며 종국에는 구조물 전체의 성능저하를 초래한다.

특히 철근콘크리트구조물의 외적염해는 콘크리트표면으로부터 침투되는 Cl^- 에 의하여 진행되기 때문에 콘크리트 표면상태에 따라서 큰 영향을 받게 된다. 이 때문에 콘크리트 표면에 표면보호재를 도입함으로써 염소이온확산계수를 저감시키는 방안은 이미 수많은 연구결과가 발표되고 있으나 피복제

* 정희원, 한일시멘트(주) 중앙연구소 연구원

** 정희원, 한일시멘트(주) 중앙연구소 주임연구원, 공학박사

*** 정희원, 한일시멘트(주) 중앙연구소 건설재료1팀장, 이학박사

표면보호재는 바탕 콘크리트와 완전히 일체화되지 못하고 시간이 경과함에 따라 표면보호재의 박리·박락이 진행되는 단점을 지니고 있다.

따라서 본 연구에서는 충전형 합침계 표면보호재의 도포에 의한 염소이온투과저항성을 평가함으로써 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 W/C 60, 50, 40%의 콘크리트를 제작하여 28일간 표준수중양생을 실시한 후 표면강화제 도포 유무에 따른 표면성능개선을 압축강도, 표면경도, SEM, 세공용적 등을 통하여 검토한 후 물흡수계수 및 염소이온투과저항성을 측정하였다.

2.2 콘크리트배합

본 연구에서의 콘크리트 배합은 표 3에 나타낸 바와 같으며, 본 연구에서 사용한 재료의 일반적 성질은 표 2에 나타내었다.

또한 본 연구에서 사용한 표면강화제는 규플루오르화염(Fluorosilicate)을 주성분으로 하는 무기질계로서 콘크리트 표면에 빠르게 침투하여 유리식회 탄산칼슘과 화학적으로 반응하여, 표면의 미세기공에 물리·화학적으로 안정한 불용성 화합물을 생성 시킴으로써 조직을 치밀하게 한다.

2.3 시험체 제작

본 연구에서의 콘크리트 압축강도 시험체는 KS F 2403에 준하여 제작하였으며, 콘크리트 표면경도 시험체는 콘크리트 비빔직후 굽은골재를 제거한 모르타르를 이용하여 5×5×5cm의 시험체를 제작하여 28일간 표준수중양생을 실시하였다.

물흡수계수 측정용 시험체는 28일 양생 종료 후 압축강도 측정용 시험체인 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체의 일정부위를 선정하여 두께 3cm로 절단하여 제작하였으며, 염소이온투과저항성시험은 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체의 일정부위를 선정하여 두께 5cm로 절단하여 측정면을 제외한 나머지 면을 에폭시 코팅하였다.

2.4 측정방법

본 연구에서의 콘크리트 및 모르타르 압축강도 시험은 각각 KS F 2405 및 KS L 5220에 준하여 측정하였으며, 물흡수계수 시험은 KS F 2609, 표면경도 시험은 사진 1에서 보는 바와 같은 로크웰경도기(Akashil, HR-521)의 L스케일을 이용하여 60kgf의 시험하중으로 직경 6.35mm의 압입자를 시험체 표면에 압입한 후 10kgf의 기준하중으로 되돌리면서

표 1. 실험계획

W/C(%)	표면강화제 도포	평가항목
40	유·무	- SEM
50		- 세공용적
60		- 압축강도
		- 표면경도
		- 물흡수계수
		- 염소이온투과저항성

표 2. 사용재료의 물리적 성질

시멘트	종류 : 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : $3,200\text{cm}^2/\text{g}$
굽은골재	종류 : 부순자갈 비중 : 2.62 최대치수 : 25mm
잔골재	종류 : 강모래 비중 : 2.55 최대치수 : 5mm
표면강화제	주성분 : 규플루오르화염 보조성분 : 실리카계 발수제

표 3. 콘크리트 배합

W/C (%)	S/A (%)	단위수량 (kg/m^3)	단위중량 (kg/m^3)		
			C	S	G
40	48	180	300	849	955
50			360	825	929
60			450	789	889

*C : 시멘트, S : 잔골재, G : 굽은골재

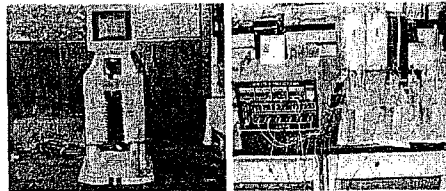
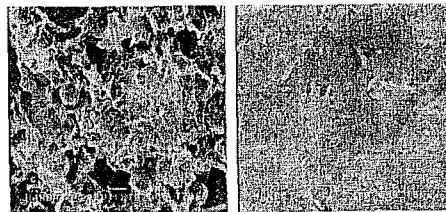


사진 1. 로크웰 경도기

사진 2. 염소이온투과 시험장치



무도포(W/C 60%)

도포(W/C 60%)

사진 3. SEM

시험편의 표면경도를 측정하였다.

염소이온투과저항성측정은 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험방법으로 KS F 2711 (ASTM 1202)에 준하여 사진에서 보는 바와같이 실시하였다.

시험방법은 시험편의 윗면과 면하고 있는 시험셀을 3.0% NaCl용액으로 채우고 다른 쪽은 0.3N NaOH용액을 채웠다. 전원공급을 $60 \pm 0.1V$ 에 맞춘 다음 초기전류값을 측정하고 30분마다 전류를 측정 및 기록하였으며 6시간 이후 시험을 종결하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면성능 개선효과

표면강화제 도포 28일 후에 측정한 콘크리트 표면의 SEM 측정결과는 사진 3에서 보는 바와 같이 무도포 시험체에서의 표면 공극이 표면강화제 도포에 의하여 불용성의 불화금속염이 생성됨으로서 표면의 미세공극이 충전된 것을 확인할 수 있었다.

표면강화제 도포 유무에 따른 콘크리트 및 모르타르 압축강도 측정결과는 그림 1에서 보는바와 같이 모르타르의 경우 W/C 60%에서 약 30MPa, W/C 50%에서 약 40MPa, W/C 40%에서 약 50MPa 수준을 보이고 있으며, 콘크리트의 경우는 모르타르 압축강도와 비교하여 약 20MPa 정도 낮게 발현하고 있었다. 그러나 표면강화제 도포 유무에 따른 압축강도 증진은 나타나고 있지 않았다.

표면강화제 도포 유무에 따른 표면경도 측정결과는 그림 2에 나타난 바와 같이 표면강화제 도포에 의하여 무도포 시험체와 비교하여 증가하는 것으로 나타났다. 도포 후 측정재령 7일까지는 표면강화제 도포에 따른 표면경도는 무도포 시험체와 유사한 경향을 보이고 있으나, 측정재령 28일에서는 약 3H_{RL} 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 표면강화제의 주성분인 규플로오르화염이 콘크리트 내부의 유리석회와 화학반응하여 불용성의 불화금속염을 생성함으로써 콘크리트 표면의 미세공극을 충전하기 위해서는 어느 정도의 수화기간이 필요하기 때문인 것으로 사료된다.

그림 3은 표면강화제 도포 28일 후에 측정된 콘크리트 표면의 총 세공용적을 나타낸 것으로 표면강화제를 도포 한 시험체의 총 세공용적이 무도포 시험체와 비교하여 W/C 60 및 50%에서 약 0.04ml/g, W/C 40%에서 약 0.02ml/g 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 표면강화제 도포에 따른 총 세공용적 감소폭은 W/C가 증가할수록 크게 나타났다.

3.2 물 흡수방지 효과

그림 4는 표면강화제 도포 28일 후에 측정된 물흡수량 측정결과를 나타낸 것으로 표면강화제 도포 시험체

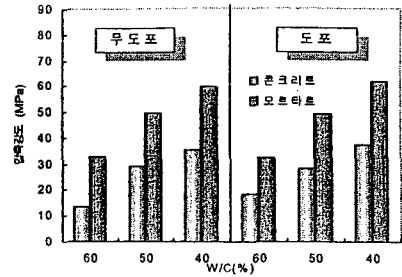


그림 1. 28일 압축강도 측정결과

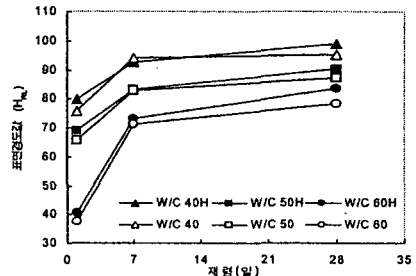


그림 2. 표면경도 측정결과

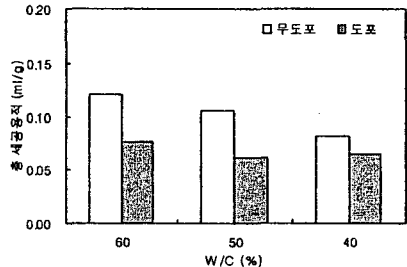


그림 3. 세공용적 측정결과

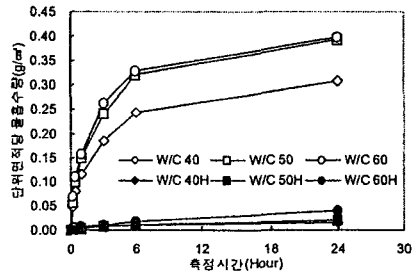


그림 4. 물흡수계수 측정결과

의 물 흡수량은 무도포 시험체와 비교하여 W/C 60%에서 2.74kg/m², W/C 50%에서 3.43kg/m², W/C 40%에서 2.87kg/m² 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 표면강화제에 함유되어져 있는 실리카계 발수성분이 콘크리트 표면에 발수성 피막을 형성시켜 수분의 침투를 억제시킨 것으로 판단된다. 이와 같은 수분침투 억제효과로 인하여 콘크리트내부로의 열화인자 침투를 억제시킬 뿐만 아니라 철근부식의 억제효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 염소이온투과저항성

그림 5는 측정시간별 이동전류 측정값을 나타낸 것으로서 측정시간이 경과될수록 이동전류는 증가하는 것으로 나타났으며 W/C가 높을수록 측정시간에 따른 이동전류값의 증진폭이 증가하였다.

그림 6은 표면강화제 도포 유무에 따른 통과전하량 측정결과를 나타낸 것으로 표면강화제 도포에 의하여 통과전하량은 무도포 시험체와 비교하여 상대적으로 감소하였다.

특히 W/C 60%의 경우 KS F 2711에서 제시하고 있는 염소이온침투성 평가기준은 무도포 시험체의 「높음」에서 표면강화제 도포에 대하여 「보통」으로 염소이온침투저항성이 향상되었으며, W/C 50% 및 40%의 경우 각각 「보통」 및 「낮음」에서 표면강화제의 도포에 의하여 염소이온투과저항성이 향상되는 것으로 나타났다.

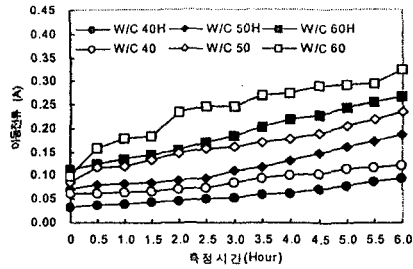


그림 5. 측정시간별 이동전류

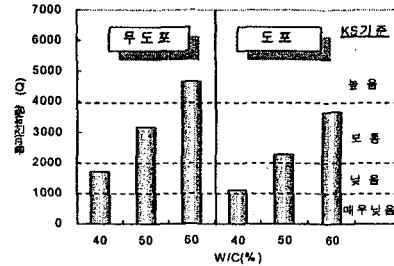


그림 6. 시험 통과전하량

4. 결론

침투형 표면강화제 도포에 의한 콘크리트표면에서의 성능개선 및 조직을 치밀화시켜 콘크리트구조물의 내구성 향상을 위한 기초자료를 제시하고자 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 규포르포르화염을 주성분으로 한 표면강화제를 도포함으로써 모르타르 및 콘크리트의 압축강도의 증가는 보여지지 않고 있으나 표면경도를 측정된 결과 도포 후 28일 후에 표면강화제 도포에 의하여 표면경도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트 표면에서의 총 세공용적 및 SEM 측정결과 콘크리트 표면의 유리석회와 화학반응하여 불용성의 불화금속염을 생성함으로써 콘크리트 표면의 미세공극을 충전하는 것으로 나타났다.
- 3) 표면강화제 도포 시험체는 무도포 시험체와 비교하여 뚜렷하게 물 흡수량이 감소하는 것으로 나타났으며 이로 인하여 콘크리트내부로의 열화인자 침투를 억제시킬 뿐만 아니라 철근부식의 억제효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.
- 4) 표면강화제의 도포에 의하여 염소이온투과저항성은 향상되는 것으로 나타났으며 그 경향은 W/C가 증가할수록 크게 나타났다.

참고문헌

1. 김무한 외, 활성황토를 사용한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성에 관한 실험적연구, 한국 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp.781~786, 2001.5
2. Page, C.L., Diffusion of Chloride Ions in Hardened Cement Pastes, Cement and Concrete Reseach, 11, 1981, pp.395~406
3. 문한영 외, 콘크리트 중의 철근방식을 위한 방청제를 적용, 한국 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp.751~754, 1999.9
4. Tang, I and Nilsson, L-O., Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, Jan-Feb. 1992, pp.49~53
5. 김도겸, 콘크리트중의 염화물 확산속도에 따른 철근부식 예측에 관한 연구, 박사학위논문, 충남대학교, 2002