

콘크리트 표면도장에 의한 내구성증진 효과

Effect of Concrete Coating Materials for the Improvement of Concrete Durability

문 한 영^{*} 김 성 수^{**} 안 태 송^{***} 김 홍 삼^{****}
Moon, Han Young Kim, Seong Soo Ahn, Tae Song Kim, Hong Sam

ABSTRACT

Long-term durability of the reinforced concrete structures exposed to marine environment deteriorates seriously by the attack of the chloride ion from sea water results in corrosion of steel reinforcement in concrete. Their coating effect is aluminum oxide-isocyanate-based coating material, resistance of chloride penetration, carbonation and freezing and thawing resistance were compared to acryl-based coating material and sealer type of waterproofing material.

Aluminum oxide-isocyanate-based and acryl-based coating material show higher resistance to chloride penetration and carbonation than the sealer type do waterproofing material and aluminum oxide-isocyanate-based coating resist about 99% of chloride penetration. Resultants to the accelerated test for freezing and thawing, coating concretes show higher resistance than non-coating concrete, respectively.

1. 서 론

콘크리트 구조물이 해양 환경하에 건설될 경우 해수성분 중의 염소이온이 콘크리트표면으로부터 내부로 침투하여 콘크리트 중의 철근을 부식시킴으로서 구조물의 성능이 크게 저하된다. 그래서 콘크리트 중의 철근부식 억제 방안 중 도장재료로서 콘크리트 구조물의 표면을 도장함으로써 외부로부터 염소이온의 침입을 방지할 뿐만 아니라 수분이나 탄산가스 등 콘크리트에 유해한 물질의 침투를 억제하여 콘크리트 구조물의 내구성 저하의 원인을 줄여주는 효과가 있다고 알려져 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 콘크리트의 표면도장 공법에 의한 콘크리트 구조물의 내구성 개선 및 지속적인 유지효과에 대한 연구성과 및 사용실적이 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트 구조물의 내구성을 증진시킬 목적으로 콘크리트 표면에 침투식방수제, 에폭시계, 우레탄계 및 산화알루미늄-이소시아네이트계 도료로 도장을 실시한 콘크리트 시험체를 제조하여 염화물 침투확산시험, 중성화 촉진시험 및 동결융해 촉진시험을 실시한 결과에 대하여 내구성 개선 효과 등을 비교, 고찰하였다.

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실장

**** 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

2. 실험개요

- (1) 시멘트 : 비중 3.14, 비표면적 $3,126\text{cm}^2/\text{g}$ 인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.
- (2) 골재 : 잔골재는 비중 2.61, 조립률 3.21인 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 25mm, 비중 2.62 및 조립률 6.73인 부순돌을 사용하였다.
- (3) 표면도장재료 : 콘크리트의 표면도장재료는 씨란계(이하 SL라 약함) 및 실리콘계(이하 SC라 약함) 침투성방수재 2종류와 아크릴수지계(이하 AC라 약함) 및 산화알루미늄-이소시아나이트계(이하 AI 또는 이소시아나이트계라 약함) 표면도장재 2종류를 사용하였으며, 주성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 표면도장재료의 주성분 및 물리적성질

종 류	주성분	비 중	외 관	도포량 (kg/m^2)		
				하도재	주 재	상도재
침투성방수재	씨란계	0.92	유백색	-	0.30	-
	실리콘계	0.92	유백색	-	0.35	-
표면도장재I	아크릴수지계	1.45	회 색	0.10	1.50	0.30
	이소시아나이트계	1.61	은회색	-	0.30	-

- (4) 공시체의 도장 및 콘크리트의 배합 : 공시체는 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 의 수중에서 28일간 표준양생한 후 공시체의 표면을 완전히 건조시키고 이물질을 제거한 후 표 1과 같이 표면도장하였으며, 도장의 두께는 도포량으로 관리하였다. 한편 콘크리트의 배합은 단위시멘트량 $300\text{kg}/\text{m}^3$, 물-시멘트비 60%, 슬럼프 $10\pm 2\text{cm}$ 및 공기량 $1.5\pm 0.5\%$ 로 정하였다.
- (5) 중성화촉진시험 : $100\times 100\times 100\text{mm}$ 의 콘크리트 공시체를 온도 30°C , 습도 60%, CO_2 농도 5%의 중성화촉진 시험기내에서 6개월간 촉진시험을 한 후, 공시체 중앙을 쪼개어 할렬면에 페놀프탈레인 1%용액을 분무하여 중성화깊이를 측정하였다.
- (6) 염화물 침투확산시험 : 직경 10cm의 원주형 시험편을 제조하여 28일간 수중 양생한 후 2cm 두께의 원판으로 절단하여 한쪽 표면에 표면도장재료로 도장한 후 그림 1과 같이 염분확산장치에 직류전압 10V를 통전하여 시간별 염분농도를 Salt Meter로 측정하였다.
- (7) 동결융해촉진시험 : $100\times 75\times 400\text{mm}$ 의 각주형 공시체를 제작하여 재령 14일 동안 수중에서 표준양생한 후 콘크리트표면을 도장하여 KS F 2456에 의한 “공기중 급속동결 및 수중 급속융해 시험방법”에 의해 300사이클까지 동결융해촉진시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 중성화 억제를 위한 표면도장의 효과

표면도장에 의한 콘크리트의 중성화에 대한 억제 성능을 평가하기 위하여 도장을 실시한 4종류의 콘크리트 공시체와 도장을 실시하지 않은 공시체

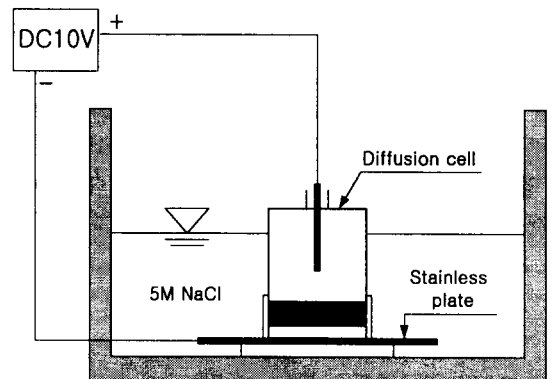


그림 1 염화물 침투확산 시험장치

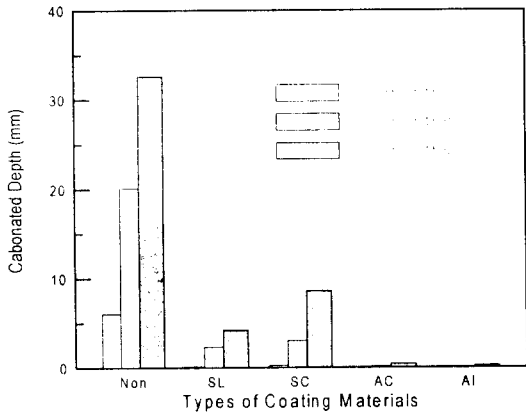


그림 2 도장재료의 종류에 따른 중성화깊이

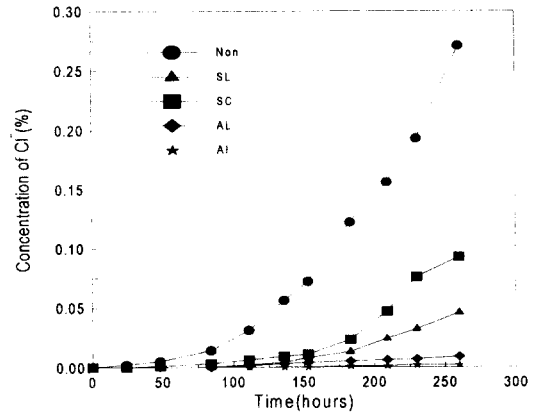


그림 3 경과시간에 따른 염화물농도

를 6개월 동안 중성화를 촉진시킨 후 중성화 깊이를 측정하여 정리한 것이 그림 2이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 도장을 실시하지 않은 경우 촉진시험 초기부터 중성화가 급속하게 진행되어 촉진재령 3개월에 20.1mm 및 촉진재령 6개월에 32.6mm를 나타내었으며, 칩투식방수재의 경우 촉진재령 초기에는 중성화가 거의 진행되지 않았으나 촉진재령 6개월에는 씨란계 4.2mm 및 실리콘계는 8.6mm 정도로 중성화가 진행되었다. 그러나 아크릴수지계와 이소시아네이트계로 표면도장한 경우에는 거의 중성화가 진행되지 않아 촉진재령 6개월에 1mm이하로 상당히 우수한 중성화억제성능을 발휘함을 알 수 있었다. 한편, 일본도로공단에서 정한 콘크리트용 도장재료의 규격에 의하면 도장재료의 중성화저지성은 중성화촉진시험 3개월 후 중성화 깊이가 1mm이하로 정하고 있으며, 본 실험결과에 의하면 아크릴수지계와 이소시아네이트계는 이 규격을 만족하고 있음을 알 수 있다.

3.2 염화물침투 억제를 위한 표면도장의 효과

보통시멘트 콘크리트와 보통시멘트 콘크리트에 4종류의 도장재료로 도장을 실시하여 만든 콘크리트 시편으로 확산셀을 제작하여 직류전압 10V를 가한 후 경과시간에 따른 확산셀 내부의 염분농도를 측정하는 결과를 경과시간에 따라 나타낸 것이 그림 3이다. 이 그림에서 도장하지 않은 경우 시간이 경과함에 따라 염화물 농도가 직선적으로 크게 증가하는데 비해 도장을 한 경우는 도장재료에 따라 차이는 있지만 염화물이 훨씬 적게 침투되었음을 알 수 있다. 특히 아크릴수지계와 이소시아네이트계는 촉진시험 260시간까지도 거의 염화물의 침투가 없었으며, 씨란계의 경우 110시간부터 염화물농도가 약간 증가하고, 실리콘계는 48시간부터 염화물농도가 증가함을 알 수 있다. 260시간에서의 확산셀 내부의 염화물농도를 비교해 보면 도장하지 않은 경우를 100%로 볼 때, 실리콘계 34%, 씨란계는 17% 정도였으며, 아크릴수지계와 이소시아네이트계는 1% 미만으로 염화물 침투확산의 억제효과가 큼을 알 수 있었다. 특히 4종류의 표면도장재료 중 실리콘계의 염화물 침투가 크게 나타난 것은 실리콘계의 분자 크기가 커서 콘크리트의 미세공극에 침투할 수 없었기 때문으로 사료되며, 씨란계의 경우 초기에는 염화물 침투억제 성능을 발휘하지만 장기적인 침투억제성능은 저하된 것으로 사료된다.

3.3 표면도장한 콘크리트의 동결융해 저항성

표면도장한 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 알아보기 위하여 물-시멘트비 60%, 공기량이 1.5%인 보통시멘트 콘크리트에 4종류의 도장재료로 도장을 한 후 300사이클 동안 동결융해촉진시험을

실시하여 사이클 수에 따른 상대동탄성계수, 내구성지수 및 질량감소율을 측정하여 나타낸 것이 표 2 및 그림 4이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 도장을 하지 않은 경우 촉진사이클 초기부터 동탄성계수가 급격히 저하되어 70사이클 이후부터 상대동탄성계수가 60이하로 저하되지만 표면도장을 실시한 경우는 실시하지 않은 경우에 비해 동탄성계수의 저하가 상당히 지연됨을 알 수 있으며, 특히 이소시안네이트계로 도장한 경우 300사이클까지도 동탄성계수의 저하가 거의 없는 것을 알 수 있다. 그러나 실리콘계를 도장한 경우에는 촉진 800사이클 정도까지는 동탄성계수의 저하가 적었으나 그 이후부터는 감소되어 촉진 260사이클 이후부터는 상대동탄성계수가 60이하로 저하됨을 알 수 있었다. 또한 표 5에서 알 수 있듯이 무도장의 경우 내구성지수가 18인데 비해 이소시안네이트계 및 아크릴수지계는 각각 96 및 88로 양호하였으며, 실리콘계 침투식방수재의 경우 내구성지수가 50정도로 동결융해에 대한 장기적인 내구성은 떨어짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 침투식방수재의 경우 건설반복과 동결융해의 반복작용을 받은 경우에는 초기에 침투했던 성분이 장기적으로 콘크리트 공극속에서 보존되지 못하고 콘크리트 밖으로 유출되어 성능을 유지하지 못한 것으로 사료된다.

표 2 내구성지수 및 질량감소율 시험결과

종류	항목	내구성지수	질량감소율(%)
	무도장	18	7.0
	씨란계	76	1.2
	실리콘계	50	3.0
	아크릴수지계	88	0.4
	이소시안네이트계	96	0.2

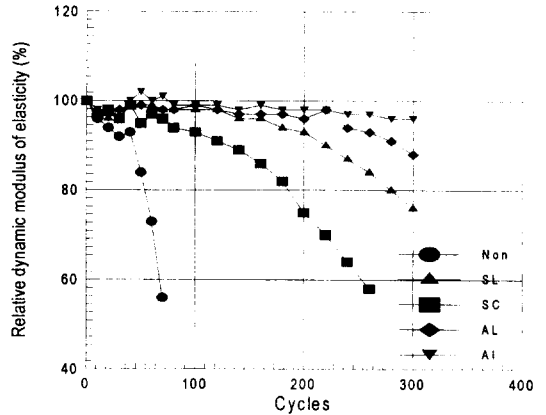


그림 4 촉진사이클수에 따른 상대동탄성계수

4. 결론

- (1) 표면을 도장하지 않은 콘크리트 시험체의 경우 촉진재령 6개월에 32.6mm를 나타내었으며, 침투식방수재를 적용한 경우, 씨란계 약 4.2mm, 실리콘계 8.6mm 정도로 중성화가 진행되었다. 그러나 아크릴수지계나 이소시안네이트계로 표면도장한 콘크리트 시험체의 경우, 중성화 깊이가 1mm 이하로 중성화 억제효과가 우수하였다.
- (2) 표면도장을 실시한 시험체의 염화물 침투확산 시험결과를 염화물농도로서 비교할 때, 도장하지 않은 콘크리트 시험체가 100일 때, 실리콘계 34%, 씨란계 17% 정도였으며, 아크릴수지계와 이소시안네이트계는 1% 미만으로 염화물 침투확산의 억제효과가 큼을 알 수 있었다.
- (3) 표면도장한 콘크리트 시험체의 동결융해 시험결과, 도장을 하지 않은 콘크리트 시험체의 경우 70사이클에서 상대동탄성계수가 60%이하로 저하되어 내구성지수가 18인데 비해 실리콘계 침투식방수재를 사용한 콘크리트 시험체의 경우 내구성지수 50정도 였으나, 이소시안네이트계 및 아크릴수지계는 내구성지수가 각각 96 및 88 정도로 동결융해 저항성이 우수하였다.