

콘크리트 구조물 표면 보호재의 성능에 대한 실험적 평가

An Experimental Evaluation on Performance of Surface Protector for Concrete Structures

남 용 혁* 정 영 준** 장 석 환*** 안 영 기****
Nam, Yong-Hyuk Chung, Young-Jun Jang, Suk-Hwan An, Young-Ki

Abstract

This study is on the evaluation of double surface protection method using water repellent primer and final top coat to protect concrete. Water repellent agent has been applied on the final top coat to protect concrete. However, to make up for the weakness to the ultraviolet of the water repellent, the work procedure of these protectors is done vice versa. This combination of protectors was compared with existing ones in this study. Even though the final top coat was applied on the water repellent primer, its adhesive strength met to KS F 4936-'03 with other protectors used in this study. All surface protectors used in this study were excellent in protecting concrete. Especially, in case of applying with final top coat in conjunction with water repellent primer, the resistance against chloride ion penetration and neutralization by CO₂ was more efficient than other surface protectors used in this study under this given condition.

요 지

본 연구는 콘크리트를 보호하기 위해서 발수성 프라이머와 마감 코팅재를 사용한 이중 표면보호 방식을 평가하기 위한 것이다. 기존의 경우에는 발수제가 가장 마지막 도장재로 사용된다. 그러나 본 연구는 발수제가 자외선에 약한 결점을 보완하고자 발수제 도장 후에 마감재가 도장되는 순서로 시공하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 이러한 조합의 표면 보호재와 기존 표면 보호재를 비교 평가하였다. 본 연구에서 사용된 표면 보호재의 부착 성능은 발수제 위에 보호재가 시공되어도 본 연구에서 사용된 다른 보호재와 마찬가지로 KS F 4936-'03을 만족한 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 모든 보호재는 콘크리트를 보호하는 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 특히 발수성 프라이머와 마감 코팅재를 함께 도포한 경우 염소이온 침투 저항성 및 이산화탄소에 의한 중성화 저항성이 본 연구에서 사용된 다른 표면 보호재에 비해 우수한 것으로 나타났다.

Keywords : Surface protector, Water repellent, Chloride ion penetration, Neutralization

핵심 용어 : 표면 보호재, 발수, 염소이온 침투, 중성화

* 정회원, 중앙크리텍(주) 기술개발부 팀장

** 정회원, 인본건설(주) 기술연구소 책임연구원, 공학박사

*** 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 교수, 공학박사

**** 정회원, 인본건설(주) 대표이사, 공학박사

E-mail : grasscon@grasscon.com 031-913-2461

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내
주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트는 건설 산업에서 많은 비중을 차지하고 있는 재료이며, 콘크리트의 사용은 세계 2차 대전 이후부터 꾸준히 성장해 왔다(S. C., Edwards, 1993).

콘크리트는 압축강도에 비해 인장강도 성능이 떨어지기 때문에 콘크리트 내에 보강철근이 사용되며, 이러한 보강철근이 보호되는 방법은 크게 철근 피복두께에 의한 물리적인 방법과 철근 표면에 고알칼리성의 부동태 피막 형성에 의한 화학적인 방법으로 구분할 수 있다(C. S., Kazmierczak and P. R., Helene, 1995). 그러나 이산화탄소, 아황산가스 및 염분 등의 유해물질이 콘크리트 내부로 유입되면 철근의 부식이 시작되고 산화물의 내부 팽창에 의한 균열, 박리, 박락 등의 성능저하 현상이 나타나게 된다. 따라서 외부로부터의 열화물질이 침투되는 것을 억제하여 철근이 부식되는 것을 방지하기 위해 콘크리트 표면에 연속적인 막을 형성하거나 콘크리트 내의 공극 속으로 발수성의 물질을 침투시키는 방법이 필요하다.

콘크리트 표면에 코팅을 하면 표면이 평활해져서 열화물질의 접착이 어렵고, 빗물 등에 의해서 쉽게 세척되어 나가기 때문에 콘크리트 내부에 열화물질의 축적이 매우 적게 되어 콘크리트 내의 보강철근이 부식되는 것을 방지하는데 유효한 방법일 뿐만 아니라 구조물의 외관에 색, 모양 및 디자인 등도 고려할 수 있다(김성수 등, 2003). 또한, 콘크리트 내부에 존재하는 공극 속으로 실란이나 실록산 같은 발수성의 재료를 침투시키면 물에 녹아 있는 열화물질의 침투가 어렵고 또한 기존 콘크리트 구조물의 외관이 변형되지 않고 보존될 수 있다.

콘크리트 표면 보호용 코팅제는 외부의 염화물이나

이산화탄소 등의 손상 물질이 침투되는 것을 억제해야 하는 반면, 내부의 수증기가 자유롭게 외부로 이동하는 통기성이 있어야 한다. 만일 통기성이 부족할 경우는 수증기압에 의한 코팅제의 들뜸 또는 박리현상이 발생되어 콘크리트 구조물을 보호할 수 있는 기간이 짧아진다. 한편, 침투성 발수제의 경우 통기성은 우수하여 기존 코팅제에서 발생하는 문제점은 없으나 이산화탄소 침투 억제 성능은 부족하다(S. C., Edwards, 1993). 뿐만 아니라 침투성 발수제는 자외선에 노출되었을 경우 분자 구조가 변형되어 발수 성능을 상실하게 되며, 침투성 발수제의 침투 깊이가 작을 경우에는 자외선에 의한 영향을 더 많이 받을 수 있다(Kvalitetsutvärdering av utbrda arbeten, 1998).

따라서 본 연구에서는 코팅제와 침투성 발수제의 장점을 유지하면서 단점을 보완한 콘크리트 이중 표면보호 공법에 사용되는 표면 보호재의 물리 성능과 내구 성능을 평가하여 콘크리트 구조물의 내구성을 증진시키는 방안을 모색하고자 한다.

2. 평가 방법

2.1 평가 개요

본 연구에서는 여러 가지 열화요인에 노출되어 있는 콘크리트 구조물의 내구성을 향상시키기 위한 표면 이중 보호공법에 사용되는 발수성 프라이머와 아크릴 마감 코팅제의 성능을 평가하고자 하였으며, 물리 성능과 내구 성능을 평가하기 위한 항목 및 방법은 Table 1과 같다.

2.2 사용 재료

2.2.1 표면 보호재

본 연구에서 사용한 표면 보호재는 콘크리트 표면에 도막을 형성하여 외부로부터 염화물, 이산화탄소 및 각종 유해물질을 차단하여 구조물의 성능저하를 막도록 하는 것으로서 Table 2와 같이 국내외에서 사용하고 있는 4종의 표면 보호제이다.

Table 1 표면 보호재 성능 평가 항목 및 방법

구분	평가 항목	평가 방법
물리 성능	<ul style="list-style-type: none"> · 부착강도 - 표준 양생 후 - 온냉반복 시험 후 · 내투수성 	KS F 4936-03
내구 성능	<ul style="list-style-type: none"> · 염소이온 침투 저항성 · 중성화 저항성 	

Table 2 표면 보호재 종류

기호	DSP	A	B	C
표면 보호재 주요 성분	아크릴계	금속계	세라믹 계	아크릴과 시멘트계 혼합
프라이머 성분 및 사용 여부	실란 실록산	사용 안함	사용 안함	사용 안함

Table 3 내자외선 평가 결과

평가 항목	평가 결과 (DSP)	평가 기준	평가 방법
축진내후성 시험 후 부착강도	1.1 N/mm ²	1.0 N/mm ²	KS F 4936- '03
축진내후성 (WS형 500시간)	이상없음	주름, 간갈림, 핀홀, 변형 및 벗겨짐이 없을 것	

본 연구에서 사용된 DSP의 시공 순서는 실란실록산계 발수성 프라이머를 먼저 도포한 후에 아크릴계 코팅제로 마감하는 것이다. 이러한 목적은 콘크리트 내부로 이산화탄소 및 염화물이 침투되는 것을 더욱 억제시키기 위한 것이다. 또한 발수성 프라이머가 자외선에 취약한 것을 보완하기 위해 아크릴계 코팅제로 마감하는 것이며, DSP의 자외선 저항성에 대한 평가를 국내 공인시험기관에 실시한 결과는 Table 3과 같다.

2.2.2 바탕 콘크리트

본 연구에 사용된 콘크리트 표면 보호재의 부착 성능을 평가하기 위해 사용된 바탕 콘크리트는 Table 4와 같이 제작하였다.

2.3 표면 보호재 성능 평가 방법

2.3.1 부착강도

본 연구에서는 콘크리트 표면 보호재의 부착성능을 평가하기 위해 표준양생 및 온냉 반복시험 후에 KS F 4936-'03(한국표준협회, 2003)에 근거하여 시험을 수행하였다. 부착강도 측정용 밀판은 30 × 30 × 10cm 치수로 제작하여 28일 동안 양생하였으며, 양생 후 밀판에 각각의 표면 보호재를 코팅하여 7일간 기건양생 후 Fig. 1과 같이 부착강도를 측정하였다.

Table 4 부착강도 측정용 바탕 콘크리트 배합표

굵은골재 최대치수 (mm)	물- 시멘트 비(%)	잔골재율 (%)	슬럼프 (cm)	단위 중량 (kg/m ³)			
				시멘트	물	굵은 골재	잔골 재
25	48	41	13±1	359	175	1,140	705

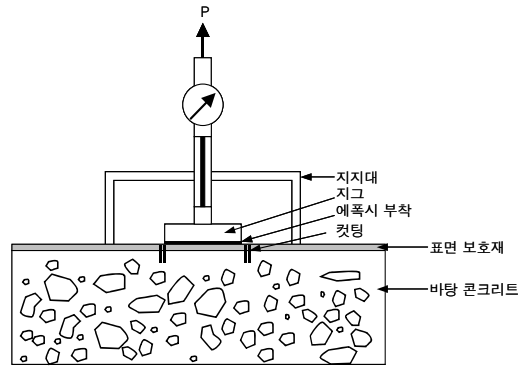


Fig. 1 부착강도 평가 방법

또한 온냉 반복 시험 후의 부착강도 시험은 표준양생 후의 시험과 동일한 방법으로 제작된 시험체를 20±2℃의 물속에서 18시간 담가둔 뒤 즉시 -20±3℃의 항온탱크 속에서 3시간 냉각시키고, 이어서 50±3℃의 다른 항온탱크 속에서 3시간 가온하는 1사이클을 10회 반복한 뒤 부착강도를 측정하였다.

2.3.2 내투수성

콘크리트 구조물 표면 보호재의 투수성능을 평가하기 위해 KS F 4936-'03에 의거하여 내투수성 시험을 실시하였다. 시험체는 $\phi 150 \times 40$ mm의 콘크리트를 제작한 후 각각의 표면 보호재를 3개씩 밀판에 기포가 없도록 균일하게 코팅한 후, 7일간 양생하여 표면 보호재가 코팅된 면을 제외한 모든 면을 에폭시 수지로 완전히 도포하고 1일 이상 양생하였다.

내투수성 시험은 Fig. 2와 같이 투수시험장치에 시험체를 고정시킨 후 0.1N/mm²의 수압을 1시간 가하였으 며, 수압을 가한 후 시험 장치로부터 시험체를 분리하여 거름종이로 약 10초 동안 가볍게 닦고 시험체 중앙부를 2분할하여 표면 보호재 아래의 밀판에서 투수여부를 관찰하였다.

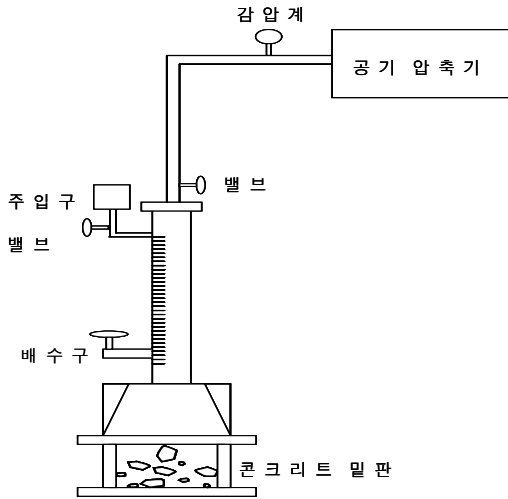


Fig. 2 투수성 시험 방법

2.3.3 염소이온 침투 저항성

본 연구에서는 $\phi 100 \times 50 \text{mm}$ 로 제작한 콘크리트 시험체에 표면 보호재를 코팅한 후 염소이온 침투성을 알아보기 위해서 Fig. 3과 같이 확산셀을 구성하였으며, 이 회로에서 전원은 1.0 Ω 을 사용하여 60V의 직류를 $\pm 0.1 \text{V}$ 정도로 공급할 수 있도록 하였다. 확산셀에 들어가는 전해질 용액은 Applied Voltage의 (-)전극에 3%의 NaCl 용액, (+)전극에는 NaOH 용액을 채웠다. 시험 중 30분마다 저항에 걸리는 전압을 6시간까지 측정하고 0.1mV까지 전압을 측정하여 (식 1)에 의해 전류 값으로 환산한 후 (식 2)를 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 산정하였으며, Table 5에 의해 염소이온 투과성을 평가하였다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{1.0} \quad (1)$$

여기서, I : 전류, V : 전압, R : 저항

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

여기서, Q : 회로를 통과한 전하량(Coulombs)

I_n : 시험 시작 후 n분이 경과하였을 때의 전류

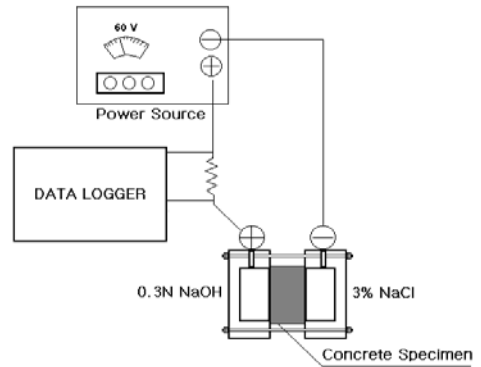


Fig. 3 염소이온 투과성 시험 방법

Table 5 염소이온 투과성 평가

통과전하량	염소이온 투과성
> 4000	높음
2000 ~ 4000	보통
1000 ~ 2000	낮음
100 ~ 1000	매우 낮음
< 100	무시할 만함

2.3.4 축진 중성화 저항성

본 연구에서는 표면 보호재의 중성화 저항성을 측정하기 위하여 $100 \times 100 \times 100 \text{mm}$ 의 콘크리트 시험용 공시체를 제작하여 코팅재를 바탕체 윗면에 도포하고 7일간 양생하였다. KS F 4936-'03에 따라 양생종료 1일 전에 공시체의 4측면 및 밑면을 에폭시 수지로 밀봉하고, 에폭시 수지를 24시간 경화시켜 온도 $20 \pm 2^\circ \text{C}$, 상대습도 $65 \pm 10\%$, CO_2 농도 5.0%로 고정된 중성화 축진시험기에 넣은 후 7일, 28일, 50일 동안 중성화 시켰다. 그 후 시험체 단면을 절단하고 Fig. 4와 같이 절단된 면에 1%의 페놀프탈레인 용액



Fig. 4 축진 중성화 깊이 측정 방법

을 분무하여 적자색으로 변하지 않은 부분을 중성화된 부분으로 하여 1측면당 3개소의 깊이를 버니어캘리퍼스로 측정하여 평균값을 측정하였다.

3. 평가 결과 및 고찰

3.1 부착강도 평가 결과

본 연구에서 사용된 표면 보호재의 표준양생 및 온냉 반복 시험 후의 부착강도 측정결과는 Fig. 5와 같다. 본 연구에서 사용한 콘크리트 구조물 표면 보호재의 부착강도 측정결과 모든 표면 보호재의 부착강도는 KS F 4936에 제시된 1.0N/mm² 이상을 만족하여 충분한 부착성능을 가지고 있음을 알 수 있었다.

3.2 내투수성 평가 결과

콘크리트 구조물의 표면을 보호하기 위해 사용되는 보호재의 방수성능을 알아보기 위해 국내의 4종의 표면 보호재에 대한 투수 시험을 실시한 결과는 Table 6과 같다.

콘크리트 표면 보호재의 투수시험결과 모든 표면 보호재에서 투수가 되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에 사용된 모든 표면 보호재는 구조물 외부의 내투수성 표면 보호재로서 적합할 것으로 판단된다.

3.3 염소이온 침투 저항성 평가 결과

확산셀을 구성한 후 4종류의 표면 보호재에 대해 측정된 염소이온에 의한 통과전하량을 측정된 결과는

Table 6 투수 시험 결과

구분	DSP	A	B	C
결과	투수 안됨	투수 안됨	투수 안됨	투수 안됨

Fig. 6과 같다.

본 시험의 조건에서 표면 보호재를 도포하지 않은 콘크리트 시험체의 통과전하량은 2,325Coulombs으로 나타나 염소이온 투과성은 보통 영역으로 평가되었으며, C를 제외한 3종류의 코팅재는 결과 값이 1,000 Coulombs 이하로서 염소이온 투과성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

표면 보호재의 종류에 따른 염소이온 투과 저항성을 보면 발수성 프라이머와 마감재를 이중으로 코팅한 DSP 시험체가 885 Coulombs으로 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 마감 코팅재에 의한 물 흡수계수 감소와 발수성 프라이머의 물 침투 억제력을 통한 시너지 효과에 의해서 물속에 녹아있는 염분의 침투가 매우 억제되기 때문에 나타난 결과라 사료되었다.

3.4 촉진 중성화 저항성 평가 결과

100mm 입방체 시험체에 4종류의 표면 보호재를 도포하여 7일간 양생한 후 이산화탄소의 농도를 높인 촉진시험기안에 7일, 28일, 50일 동안 촉진시킨 후 측정된 중성화 깊이는 Fig. 7과 같다.

평가결과 표면 보호재를 도포하지 않은 경우 중성화 촉진 초기부터 중성화가 급속하게 진행되어 촉진재령 50일에 9.6mm를 나타내었으나 발수성 프라이머와 마감 도장재를 코팅한 DSP의 경우는 재령 50일에 1.4 mm 깊이로 중성화가 진행되어 월등하게 중성화

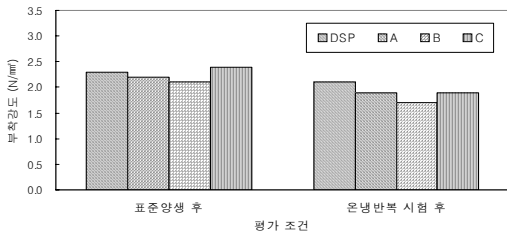


Fig. 5 부착강도 측정 결과

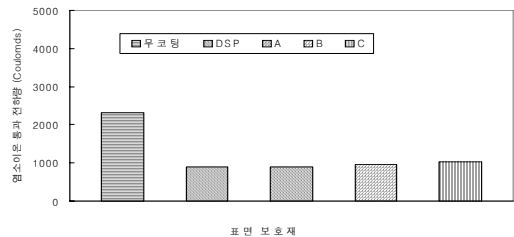


Fig. 6 염소이온 투과성 결과

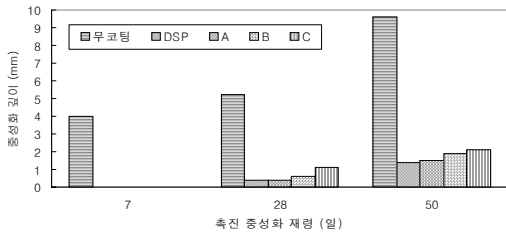


Fig. 7 중성화 깊이 측정 결과

저항성이 높음을 알 수 있었다. 이상의 시험결과를 종합해 보면 본 연구에서 사용된 모든 콘크리트 표면 보호제는 콘크리트의 중성화를 억제할 수 있을 것으로 사료되며, 특히 발수성 프라이머와 마감 도장재를 이용하여 이중 보호하는 것과 A가 중성화를 억제하는데 우수함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 콘크리트 구조물을 염해 및 중성화로부터 보호하여 구조물의 내구수명을 증진시키기 위해 개발된 발수성 프라이머 및 마감재의 성능을 기존의 표면 보호제와 비교 평가한 것으로서 본 연구의 성능평가 조건에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트의 표면에 막을 형성하여 표면을 보호하는 표면 보호제의 부착강도를 측정한 결과 본 연구에 사용된 모든 표면 보호제가 표준양생에서 2.1 N/mm² 이상, 온냉 반복시험 후에서 1.7 N/mm² 이상으로 나타나 모두 KS F 4936-'03에서 제시한 1.0 N/mm²보다 높게 나타났다.
- 2) 염소이온 침투에 대한 저항성을 평가한 결과 표면 보호제를 도포하지 않은 콘크리트의 통과 전 하량은 2,325 Coulombs로 측정되었으며 C가 1,028 Coulombs로서 염소이온 투과성이 낮은 영역에 해당되었고, 발수성 프라이머와 마감재를 함께 도포한 시험체인 DSP, A 및 B는 1,000 Coulombs 이하로서 모두 매우 낮은 영역에 해당되었다. 특히 표면을 이중으로 보호하는 DSP의 경우 통과 전하량은 885 Coulombs로서 염소이온 투과성에 대한 저항성이 가장 우수하게 나타났다.

- 3) 본 연구에 사용된 표면 보호제에서의 투수는 모두 되지 않은 것으로 나타나 구조물의 방수 효과가 우수할 것으로 나타났다.
- 4) 4종류의 표면 보호제에 대한 중성화 억제성능을 평가하기 위해 중성화를 촉진시켜 중성화 깊이를 측정한 결과 코팅을 하지 않은 경우는 촉진재령 초기에서부터 중성화가 급속하게 진행되어 촉진 재령 91일에 9.6mm가 나타났으며, 표면을 발수성 프라이머와 마감 도장재를 사용하여 이중으로 보호하는 DSP는 1.4mm, A는 1.5mm, B는 1.9mm 및 C는 2.1mm로 나타나 본 연구에서 사용된 모든 표면 보호제는 콘크리트 구조물의 중성화 진행을 충분히 지연시키는 효과가 있었다.
- 5) 본 연구에 사용된 발수성 프라이머와 마감재를 사용하여 이중으로 콘크리트 표면을 보호할 경우 콘크리트의 내구성을 더욱 증진시킬 수 있을 것으로 사료되며, 현장 적용 후의 모니터링을 수행하여 장기적인 성능 또한 이루어져야 할 것으로 사료된다.
- 6) 콘크리트의 수명을 증진시키기 위한 표면 보호제는 구조물 표면에 발생된 미세한 균열의 거동에도 대응할 수 있어야 하기 때문에, 추후 이에 대한 성능 평가도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김성수, 최춘식, 남용혁, "콘크리트의 내구성 증진을 위한 코팅제의 성능 평가", 한국구조물진단학회 제 7 권, 제 4호, p.100, 2003. 10.
2. C.S., Kazmierczak and P.R., Helene, "Testing concrete coating resistance to CO₂ permeability", concrete under severe conditions : Environmental and Loading, Vol. II, E&FN SPON, p.97, 1995.
3. S.C., Edwards, "The Repair of Concrete Structures", Chapman&Hall, second edition, p.122, 1993.
4. S.C., Edwards, "The Repair of Concrete Structures", Chapman&Hall, second edition, p.127, 1993.
5. Kvalitetsutvärdering av utlbrda arbeten, "Im pregning av betong", 1998. 4.

(접수일자 : 2006년 3월 20일)