

철근 콘크리트 구조물을 보호하기 위한 표면 보호재의 성능 평가

Evaluation on Performance of Surface Protectors for Protecting Reinforced Concrete Structures

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

Abstract

This study is on the evaluation of three kinds of surface protectors for protecting reinforced concrete against corrosion of reinforcing steel by chloride attack and carbonation. In this study, the test has been carried out on the performance of specimens applied with surface protectors for anti-corrosion and anti-carbonation. The result showed that specimens applied with the three kinds of surface protectors, were excellent in resistance to the corrosion of reinforcing steel and carbonation. Especially the specimen applied with finish coating in conjunction with hydrophobic primer showed great reduction in the corrosion of reinforcing steel and carbonation.

요 지

본 연구는 철근 콘크리트를 염해 및 중성화로부터 보호하여 철근의 부식을 방지하기 위한 3종류 표면 보호재의 성능을 평가한 것으로서, 표면 보호재를 사용한 시험편의 부식저항성능과 중성화 저항 성능을 평가하였다. 실험결과 3종류의 표면 보호재를 사용한 시험편에서는 철근의 부식저항성능이 매우 우수하게 나타났으며, 중성화 방지 성능도 우수하게 나타났다. 특히 발수성의 프라이머와 마감 코팅재를 함께 사용한 시험편은 철근의 부식과 중성화를 매우 크게 감소 시켰다.

Keywords : Surface protector, corrosion, carbonation, hydrophobic primer, finish coating

핵심 용어 : 표면 보호재, 부식, 중성화, 발수성 프라이머, 마감 코팅

* 정희원, 인본건설주식회사, 대표이사, 공학박사

** 정희원, 대전대학교 토목공학과, 조교수, 공학박사

*** 정희원, 인본건설주식회사, 기술연구소, 책임연구원, 공학박사

**** 정희원, 중앙크리텍주식회사, 기술개발부, 팀장

E-mail : yhnam70@hanmail.net 031-913-2461

•본 논문에 대한 토의를 2005년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2005년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

부식은 철근 콘크리트 구조물의 내구성 성에 있어서 주요 관심사 중의 하나이며 (Bavarian, 2004 ; Bjegovic et al., 2003), 콘크리트 내의 보강철근에 부식이 발생되기 위해서는 수성 상태의 전해질이 존재하여야 한다. 철근이 부식하면 그 최종결과로서 녹 층이 형성되며, 녹 층이 발생되면 철근의 체적이 팽창되고 콘크리트의 피복 층에 균열을 일으킬 수 있을 정도의 팽창력이 발생된다(Nürberger, 1991).

수산화칼슘(Ca(OH)₂)용액과 같은 알칼리환경 하에서 콘크리트 내의 철근 표면에는 부동태 피막이 형성되어 철근이 보호되지만(Gaidis and Rosengerg, 2001), 부동태 피막이 파괴되고 산소가 존재할 때 부식이 발생된다. 부동태의 피막이 안정되기 위해서는 최소의 pH를 유지하는 것이 중요하며, 이러한 조건에서는 산소가 존재하여도 피막은 손상되지 않을 것이다. 그러나 대기 중의 이산화탄소(CO₂)가 침투하여 pH가 대략 10이하로 내려갈 경우에는 부동태 피막이 파괴되고, 산소가 침입하면 부식이 진행될 것이다 (Broomfield, 1994 ; 永嶋正久 등, 1995 ; 坂井説郎, 1993).

또한 염이온이 존재할 경우에 피막의 투과성을 높여 부식을 더욱 가속화시킬 것이다(福島敏夫, 1990).

따라서 본 연구에서는 철근 콘크리트 구조물의 표면 보호를 위한 침투성 Gel 타입 발수제, 아크릴 코팅제 및 발수성 프라이머와 아크릴 코팅제를 병행한 보호재 각각에 대해 염이온 존재 하에서의 철근 부식 방지 성능과 중성화 방지 성능을 비교평가 하고자 하였다.

2. 표면 보호 메커니즘

2.1 침투에 의한 보호 메커니즘

발수성을 지닌 재료들은 염이나 물로부터 콘크리트를 보호한다는 많은 연구보고서가 발표되고 있으며, 그 중 대표적인 발수제는 실란이다. 실란은 콘크리트의 내부로 그 자체는 침투되지만, 표면으로 물이 침투되는 것을 방지하기 때문에 물에 녹아있는 염이온도

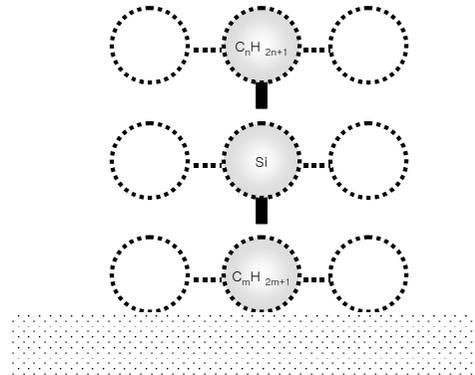


Fig. 1 silane molecule

콘크리트 내부로 침투되는 것이 방지된다.

실란 분자는 Fig. 1과 같이 중앙에 두 개의 탄화수소 소그룹과 연결되어 있는 원자를 가지고 있다.

외부에 노출되는 그룹은 표면 수소(발수)성을 만들며, 탄소원자 “n”의 수에 따라서 휘발성이 달라진다.

콘크리트에 접한 그룹은 콘크리트 표면에서 알코올을 분산시키면서 OH그룹과 화학적으로 반응하며 “m”의 수에 따라 침투성능이 달라진다.

실란은 콘크리트 공극 벽에 화학적으로 결합되어 다른 코팅제처럼 손실되거나 벗겨지지 않는다.

실란은 콘크리트 공극 벽과 화학적으로 결합하고, 연결을 통해 긴 사슬을 형성하면서 양생된다. 발수층이 형성되고, 이 발수층은 공극 시스템을 막기에 충분치 않은 정도로 얇으며 콘크리트가 숨쉴 수 있도록 한다.

2.2 코팅에 의한 보호 메커니즘

보호 코팅제를 이용하여 콘크리트 표면에 차단층을 형성하는 것은 대기 중의 이산화탄소 및 염화물 등이 콘크리트 내부로 침투하는 것을 방지하여 철근의 부식을 방지하는데 유효한 방법이다.

이러한 보호코팅 방법의 장점은 비교적 얇은 막으로 우수한 효과를 얻을 수 있는 점이고, 구조물의 외관에 색, 모양 및 디자인 등을 고려할 수 있다는 것이다.

콘크리트는 국부적으로 불균질하기 때문에 시공 이음부나 Fig. 2와 같은 미세 균열 등의 결합 부분에서

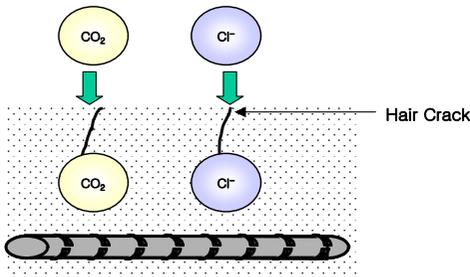


Fig. 2. Concrete without the coating film for protection

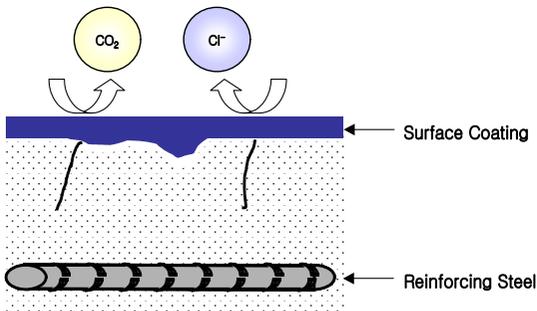


Fig. 3. Concrete with the coating film for protection

열화물질의 침투가 급속해지며(日本建設省土木研究所, 1989 ; 日本コンクリート工學協會, 1983), 표면에 정착한 열화물질은 상당량이 내부로 이동하는 것으로 알려져 있다. 콘크리트 표면에 보호 코팅 막이 있는 경우는 Fig. 3과 같이 열화물질의 침투가 어려울 뿐만 아니라 표면이 평활하기 때문에 열화물질의 접촉이 어렵고 빗물에 의해서도 쉽게 세척된다.

3. 표면 보호재의 성능 평가

3.1 사용 재료

3.1.1 포틀랜드 시멘트

본 연구에 사용된 보통포틀랜드 시멘트는 국내 S사에서 생산하는 것으로서 시멘트의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

3.1.2 잔골재

잔골재는 한강 상류지역에서 채취한 것으로서, 잔골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

3.1.3 철근

염화물에 의한 철근의 부식 저항 성능을 평가하기 위해 사용된 철근은 $\phi 10\text{mm}$ 의 원형 봉강으로서 물리적 성질은 Table. 3과 같다.

3.1.4 표면 보호재

본 연구에 사용된 표면 보호재의 종류는 Gel 타입의 침투성 발수제, 표면 마감 코팅제 및 발수성 프라이머이다.

본 연구에서는 Gel 타입 발수제인 HG 200을 도포한 시험편은 H, 마감 코팅제인 V 100을 코팅한 시험편은 V로 표기하였고 발수성 프라이머인 GW 100을 도포하고 그 위에 V 100을 마감 코팅한 시험편을 GV로 표기하였다.

Table 1 Physical characteristics of portland cement

Gravity	Fineness (m2/g)	Soundness (%)	Setting Time (Min)		Compressive Strength (kgf/cm ²)		
			Start Setting	Finish Setting	F3	F7	F28
3.15	3,303	0.08	226	409	233	315	411

Table 2 Physical characteristics of fine aggregate

Gravity	Absorption	F.M
2.58	1.94	2.26

Table 3 Physical characteristics of steel

Symbol	yield strength (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Elongation Ratio (%)	Bending Angle (°)
SR 24	above 24	39 ~ 53	above 20	180

Table 4 Physical characteristics of surface protectors for concrete

Sort	Ingredient	Density (g/cm ³)	Appearance	Adhesive Strength (kgf/cm ²)	Penetration Depth (mm)*	Symbol
HG 200	Silane	0.96	Pale Yellow	-	above 9	H
V 100	Pure Acryl	1.35	White	above 10	-	V
GW 100	Silane/Siloxane	0.96	Yellowish Brown	above 10	above 2	GV (GW100 + V100)

* : Fck = 280 kgf/cm²

본 연구에 사용된 콘크리트 표면 보호제의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

3.2 실험 방법

3.2.1 자연전위 측정

본 연구에서는 보호제의 종류에 따른 염화물에 의한 부식저항 성능을 알아보기 위해 $\phi 10\text{mm}$ 의 원형강봉을 $80 \times 80 \times 100\text{mm}$ 의 모르타르 속에 매입시킨 후 24시간 동안 대기 중에서 양생시키고 탈형 즉시 수중에서 24시간 양생, 다시 대기 중에서 24시간 동안 양생시킨 후 양단면은 에폭시로 코팅하고 이외의 표면은 보호재로 도포 및 코팅하였다.

표면 도포 및 코팅된 시험편은 7일 동안 대기양생시켰으며, 이 후 3.5%의 염화나트륨(NaCl)용액에 약 20mm 정도를 10개월 동안 침지 시키면서 Fig. 4와 같이 자연전위를 측정하였다.

3.2.2 중성화 깊이 측정

$50 \times 50 \times 50\text{mm}$ 의 모르타르를 48시간 동안 대기 중에서 양생시키고 탈형 즉시 5일 동안 수중에서 양생시킨 후 다시 6일 동안 대기 중에서 양생시켜서 1면을 제외한 모든 면을 에폭시로 코팅하였다. 다시 24시간

경과 후 에폭시가 코팅되지 않은 면에 3종류의 보호재를 도포 및 코팅한 후 7일 동안 대기 중에서 양생시키고 이산화탄소의 농도를 높은 축진시험기 안에 시험편을 노출시켰다.

본 연구에서 실시한 중성화 축진 조건은 온도 40°C, 상대습도 50%, 이산화탄소 농도 15%로 고정하였으며, 중성화 깊이의 측정은 축진 개시부터 2주, 4주, 6주, 8주 및 10주 채로 하고 Fig. 5와 같이 시험편의 절단된 단면에 1%의 페놀프탈레인-알코올 용액을 분무하여 적색으로 변하지 않은 부분을 중성화부분으로 하였다.

3.2.3 철근 중량 손실량 측정

자연전위 측정을 위해 만든 모르타르 속의 철근을 꺼내어 붉은 녹과 검은 녹이 발생된 부분은 깨끗이 제거한 후 철근의 중량을 측정하였다. 염화물에 의해 철근이 부식되어 발생된 철근의 중량 손실량은 철근의 초기 중량과 최종 중량과의 차이로 구하였다.

3.2.4 가용성 염분량 측정

3.5%의 염화나트륨 용액에 침지시킨 시험편에 염분이 확산되는 비율을 측정하기 위해 표면으로부터 약 20mm 정도에서 시료를 채취하였으며, 염분량을 측정

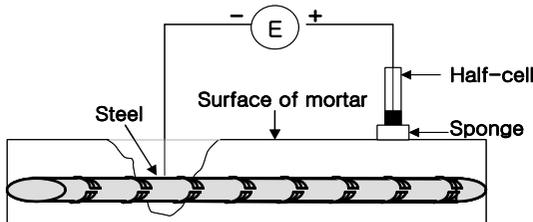


Fig. 4. Half-cell

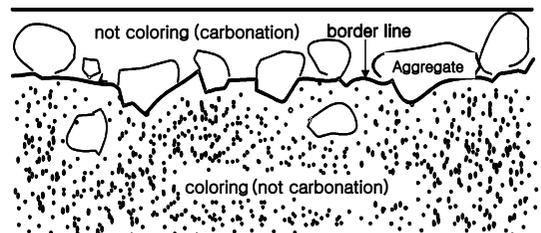


Fig. 5. carbonation test



Fig. 6. Chloride meter

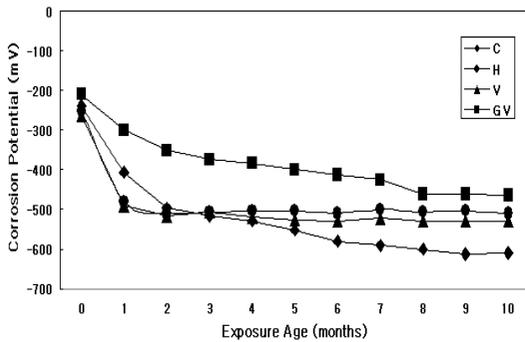


Fig. 7 Half-cell potential versus protectors

하기 위해 채취한 시료는 미분말로 만들어 Fig. 6과 같은 염화물 측정기를 이용하여 염분용액을 추출하였다.

4. 성능 평가 결과 및 고찰

4.1 자연전위 측정 결과

3종류의 표면 보호재를 도포 및 코팅한 후 3.5%의 염화나트륨 용액을 만들어 10개월 동안 부식환경에 노출시킨 시험편의 자연전위를 측정한 결과 -100~ -200에서부터 -500~-600까지의 변화를 보였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 노출재령 10개월의 경우 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에서의 자연전위는 -610mV이었으며, 표면 보호재를 사용한 시험편의 경우 -510mV 이하로 나타나 부식저항 성능이 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 발수성의 프라이머와 마감 코팅재를 함께 병행한 시험편은 -466mV로서 가

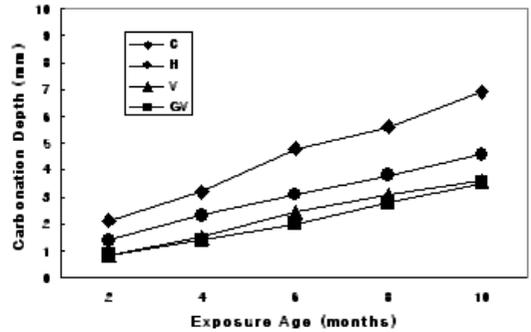


Fig. 8. Carbonation depth versus protectors

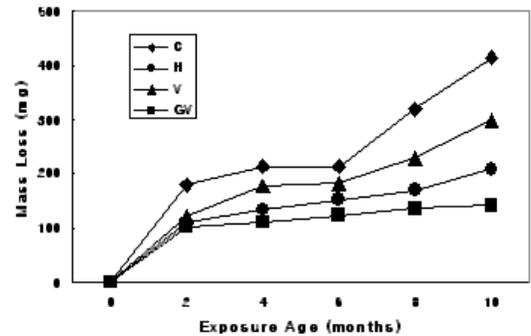


Fig. 9 Weight loss of reinforcing steel bars versus protectors

장 부식에 대해 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 표면 마감 코팅재에 의한 물 흡수계수 감소와 발수성 프라이머의 물 침투 억제를 통한 시너지 효과 (synergy effect)에 의해서 물 속에 녹아있는 염분의 침투가 매우 억제되기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.

4.2 촉진 중성화 깊이 측정 결과

각각의 표면 보호재를 사용한 시험편을 중성화 촉진 시험기 안에 10주까지 노출시킨 후 중성화 깊이를 측정된 결과는 Fig. 8과 같으며, 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에서 중성화 깊이가 6.9mm로서 가장 크게 측정되었다. 또한 표면 보호재를 사용한 시험편들의 경우에 있어서는 침투성 발수제인 HG 200을 도포한 시험편에서 중성화 깊이가 4.6mm로서 크게 측정되었으며, V 100 단독으로 마감 코팅한 시험편과 발수성 프라이머인 GW 100을 도포한 후 V 100.

로 마감 코팅한 시험편에서의 중성화 깊이는 각각 3.6mm, 3.5mm로서 거의 같은 깊이로 측정되었다.

따라서 중성화에 대한 저항성능은 발수제보다는 코팅제가 더 우수한 것으로 판단되었다.

4.3 철근 중량 손실량 측정 결과

부식환경에 노출시킨 시험편의 노출재령에 따른 철근의 중량 손실량을 측정한 결과는 Fig. 9와 같이 표면 보호재를 사용하지 않은 모르타르 속에 매입한 철근의 중량 손실은 416mg이고, 표면 보호재를 사용한 모르타르 속에 매입한 철근의 중량손실은 141~210mg로 나타났다. 따라서 본 연구에서 사용된 3종류의 표면 보호재는 부식환경에 노출된 철근 콘크리트를 충분히 보호할 수 있을 것으로 판단되었으며, 특히 발수성 프라이머와 마감 코팅제를 함께 사용한 표면 보호재의 부식에 대한 저항성능은 매우 우수한 것으로 사료되었다.

4.4 가용성 염분량 측정 결과

3.5%의 염화나트륨에 침지시킨 시험편의 염분량을 24시간 동안 측정한 결과는 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에서 측정된 염분량이 1.10%로서 가장 많이 측정되었으며 마감 코팅제 단독 사용의 경우는 0.72%, 침투성 발수제의 경우 0.67%, 발수성 프라이머와 마감 코팅제를 병행한 표면 보호제의 경우 0.46% 순으로 염분량이 낮게 측정되었다.

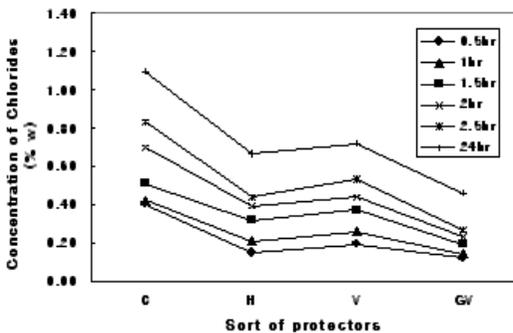


Fig. 10 Chloride diffusion resistance versus protectors

발수성 프라이머인 GW 100과 마감 코팅제인 V 100에서 가장 적은 염분량이 측정된 이유는 GW 100의 발수 성능과 V 100의 방수 성능이 복합적으로 작용되어 염이온의 확산 저항능력이 가장 우수하게 나타난 결과라고 사료된다. Fig. 10은 각각의 표면 보호재를 사용한 시험편의 염분량을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

5. 결론

본 연구는 중성화 및 염해로부터 철근 콘크리트 구조물을 보호하기 위해 사용되는 3종류의 표면 보호재를 대상으로 성능을 비교 평가한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험조건에서 자연전위를 측정된 결과 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에 비해 표면 보호재를 도포 및 코팅한 시험편의 부식저항 성능이 더 우수하게 나타났으며, 발수성의 프라이머를 도포한 후 코팅제를 마감한 시험편의 부식저항 성능이 가장 우수하게 나타났다.
- 2) 이산화탄소의 농도를 높인 촉진 중성화 실험결과 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에서의 중성화 깊이가 가장 크게 나타났으며, 표면 보호재를 사용한 시험편 중에서는 침투성 발수제를 도포한 시험편에서의 중성화 깊이가 가장 크게 나타났으나 발수성 프라이머 위에 코팅제로 마감한 시험편에서의 중성화 깊이는 가장 작게 나타났다.
- 3) 3.5%의 염화나트륨 용액에 침지시킨 후 부식에 의한 철근의 중량 손실량을 측정한 결과 표면 보호재를 사용한 시험편 모두에서 부식에 대한 저항 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 특히 발수성 프라이머와 마감 코팅제를 함께 사용한 시험편에서 가장 성능이 우수하게 나타났다.
- 4) 3.5%의 염화나트륨 용액에 침지시킨 시험편의 시간 경과에 따른 염이온 확산비율을 측정된 결과 표면 보호재를 사용하지 않은 시험편에서 가장 크게 나타났으며 마감 코팅제, 침투성 발수제, 발수성 프라이머와 마감 코팅제를 함께 사용한 시험편 순으로 확산 비율이 낮게 나타났다.

- 5) 중성화 및 염해로 인한 철근의 부식을 방지하기 위해서는 발수재와 마감 코팅재를 병행하여 사용함으로써 철근 콘크리트 구조물의 내구 수명을 더 연장시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 본 연구는 중성화 및 염해 각각의 열화에 대해서 평가한 것이나 실제 철근 콘크리트 구조물은 단독 열화보다는 복합열화의 환경에 노출된 경우가 대부분이므로 향후 복합열화에 대한 표면 보호재의 성능평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 福島敏夫, "鐵筋コンクリート造建築物の壽命", 技報堂出版, 1990.
2. 永嶋正久, 飛内圭之, "コンクリートの中性化", シメント・コンクリート化學とその應用, シメント協會, 1995.
3. 日本建設省土木研究所, "コンクリート造建築物の電氣防蝕に關する共同研究報告書", 1989.
4. 日本コンクリート工學協會, "海洋コンクリート構造物の防蝕指針(案)", 1983.
5. 坂井説郎, "炭酸化反應", わかりやすシメント科, シメント協會, 1993.
6. B. Bavarian and L. Reiner, "Improving Durability of Reinforced Concrete Structures Using Migrating Corrosion Inhibitors", Corrosion 2004, NACE int., paper #04323, 2004.
7. D. Bjegovic, et al., "Case Study -Corrosion Monitoring in Marine Environment in Croatia", Euro corr, Budapest, 2003.
8. J. M. Gadis and A. M. Rosenberg, "Avoding Corrosion Damage in Reinforced Concrete", concrete int., 2003.
9. J. P. Broomfield, "Assesing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures", Prec. of the Int. Conf. Corrosion and Corrosion Protection, Sheffield, England, July, 1994.
10. U. Nürberger, "Korrosionsschutz im Massivbau", Expert Verlag, Böbligen, 1991.

(접수일자 : 2004년 10월 5일) (급행)