

염해방지용 표면도장재료를 적용한 콘크리트의 내구성 평가

Durability of the Concrete Treated by Coatings for Protection of Chloride Attack

정 해 문* 유 환 구** 안 태 송*** 오 병 환****
Hai-Moon Cheong Hwan-Gu Yu Tae-Song Ahn Byung-Hwan Oh

ABSTRACT

The safety and serviceability of concrete structures are influenced by corrosion of steel bars in concrete. Several methods have been available to protect the reinforcing bars from corrosion. Among them, the surface coating method is one of the easiest way to apply to concrete structures. However, the realistic guideline for surface coating materials has not been established yet in this country. In this study, in order to establish a reasonable technical guidelines, the durability of the concrete treated by coatings was evaluated.

1. 서론

콘크리트는 화학적으로 매우 안정하여 내구성이 우수한 재료로 인식되어 왔으나, 해안가, 적설한랭 지대 등과 같은 환경에서 조기에 열화되는 현상이 널리 알려지면서 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 높아져가고 있다. 이러한 내구성 열화현상에 대한 방지대책으로 콘크리트 자체를 고품질화하여 밀실한 조직을 부여하고, 각종 혼화재료를 사용하여 필요로 하는 성능을 부여하는 시도와 함께, 콘크리트를 열화시키는 각종 외부 요인을 차단하여 콘크리트의 내구성을 확보시키는 표면도장 처리 공법도 최근 많이 소개되고 있다^{1,2)}. 특히 염해에 대해서는 철근부식의 주원인이 되는 염화물의 침투를 억제하고 나아가 수분과 대기의 침투를 억제하여 철근 부식에 대한 내구성을 확보할 수 있다.

그러나 염해를 비롯한 각종 내구성 저하를 방지할 목적으로 시공되는 표면 도장재료의 성능 평가 등에 대한 연구결과가 국내에는 매우 적기 때문에 콘크리트 표면도장재료의 성능에 대한 체계적인 연구와 데이터 축적이 필요한 실정이라고 할 수 있다. 저자들은 염해방지를 위한 도장재료 자체의 성능 평가를 실시하여 그 결과를 이미 지난 봄 학술발표회에 보고한 바 있는데³⁾, 본 발표에서는 일련의 연구로서, 도장재료를 적용한 콘크리트에 대한 각종 내구성능을 평가하였고, 그 결과에 대해서 보고한다.

* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

** 정회원, 한국도로공사 대구-포항건설사업소 과장
**** 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

2. 실험방법

2.1 공시체 제작

본 연구에 사용한 도장재료는 표 1에 나타난 것과 같이 5종류의 코팅식 도장재와 2종류의 발수제계의 침투식 도장재를 사용하였다. 바탕재는 압축강도 240kg/cm²의 콘크리트를 사용하였고, 도장은 각 제조사에서 추천한 도장사양에 맞춰 행하였다. 바탕 콘크리트는 28일간 양생한 다음, 도장처리를 행하였으며, 도장처리 후 상온 대기중에서 28일간 양생하여 각종 내구성 시험을 행하였다.

표 1 본 연구에 사용된 각 도장재료

구분	화학적 분류	도장사양				도막두께 ^{주1)} (μm)
		프라이머	피티	중도	상도	
AS	아크릴 실리콘 수지	에폭시	에폭시	아크릴실리콘	아크릴실리콘	50
EP	수성 에폭시 수지	에폭시	에폭시	에폭시	에폭시	250
UR ^{주2)}	폴리우레탄	폴리우레탄	시멘트계	폴리우레탄	폴리우레탄	125
AC	아크릴 폴리마	아크릴, 실레인-실록산	시멘트계	아크릴	아크릴	400
AU ^{주3)}	아크릴우레탄수지계	아크릴우레탄	아크릴우레탄	아크릴우레탄	아크릴우레탄	100
SI	실란계(침투식)	-	-	-	-	4,000
SM	SiO ₂ ·Mg(OH) ₂ ·Li ₂ O (침투식)	-	-	-	-	-

주1) 코팅식은 중도와 상도의 도막두께, 침투식은 침투깊이임 주2) 산화 알루미늄 파우더 첨가된 제품

주3) 세라믹 파우더 첨가된 제품

2.2 내구성 평가 시험

표면도장재를 적용한 콘크리트에 대해서 다음과 같은 내구성 평가시험을 행하였다. 먼저, 촉진 염화물 침투 시험은 염소이온 확산계수를 구하기 위해 Tang & Nilsson에 의해 제안된 촉진 CTH 방법⁴⁾을 사용하였다. 그림 1에 나타난 것과 같은 측정장치에 50mm두께의 콘크리트 시편을 설치하여 확산셀을 구성한 다음, (+)전극 쪽에 0.3M의 NaOH를, (-)전극에는 3%의 NaCl 용액을 넣고, 30±0.2V의 정전압을 공급한 후, 일정 시간 경과 후 콘크리트 공시체를 할렬로 절단하여, 0.1N 질산은 용액 분무법에 의해 은회색으로 발색된 경계를 측정하여 염화물 침투깊이로 정하였다. 이렇게 하여 측정된 침투깊이로서 아래 식을 이용해 촉진확산계수를 구하였다.

$$D_{nssm} = \frac{RTL}{zFU} \frac{x_d - \alpha\sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

여기서, D_{nssm} : Diffusion coeff. determined by non-steady-state migration test

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \operatorname{erf}^{-1} \left(1 - \frac{2c_d}{c_0} \right) \quad (2)$$

- z : absolute value of ion valence, for chloride ions, $z=1$
 F : Faraday constant, $F = 9.648 \times 10^4 \text{ J}/(\text{V} \cdot \text{mol})$
 U : absolute value of potential difference, V
 R : gas constant, $R = 8.314 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$
 T : solution temperature, K
 L : thickness of the specimen, m
 x_d : chloride penetration depth, m
 t : test duration, second, $t = t_{\text{CTH}} \times 3600$
 erf^{-1} : inverse of error function
 c_d : chloride concentration at which the colour changes, $c_d \approx 0.07\text{N}$
 c_o : chloride concentration in the upstream cell, $c_o \approx 2\text{N}$

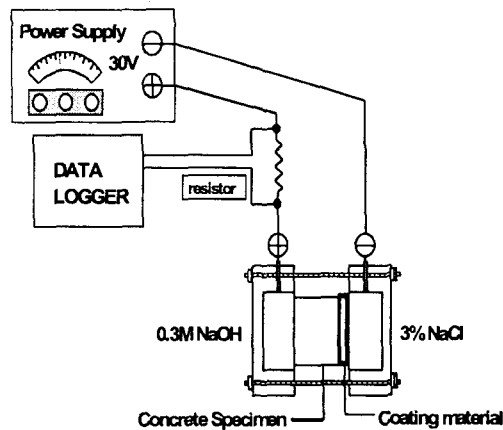


그림 4 촉진 염화물 확산 실험 장치 개요도

동결융해시험은 KS F 2456의 A법에 준해서 측정하였고, 촉진중성화 시험은 CO_2 10%, RH 60%, 4 $^{\circ}\text{C}$ 의 조건에서 4주간 행한 후, 페놀프탈레인용액 분무법에 의해 중성화 깊이를 측정하였다. 흡수율 시험은 ASTM C 642에 준해, 온도 21 $^{\circ}\text{C}$ 의 물에 48시간 정도 침지하여 24시간 마다 무게변화를 관찰하여 상대 질량비로서 흡수율을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 촉진확산계수 시험 결과

7종의 표면도장재료를 적용한 콘크리트 공시체에 대해서 촉진 CTH방법에 의해 확산계수 시험을 수행하여 얻은 유효확산계수 결과를 그림 2에 나타내었다. 무도장 콘크리트 공시체에 비해 도장처리를 한 공시체의 확산계수가 4~20여배 정도 작은 것으로 나타나, 차염성능이 우수하다는 사실을 정량적으로 확인할 수 있었다. 그리고, 침투식에 비해 코팅식의 확산계수가 작은 것으로 나타나, 코팅식 도장재

의 염분차단 능력이 더 우수한 것을 알 수 있고, 코팅식 제품중에서는 아크릴 우레탄계, 아크릴실리콘, 에폭시 제품이 상대적으로 우수한 특성을 나타내었다. 특히 아크릴우레탄계 제품은 시험기간 동안 염화물 침투가 전혀 이루어지지 않았다.

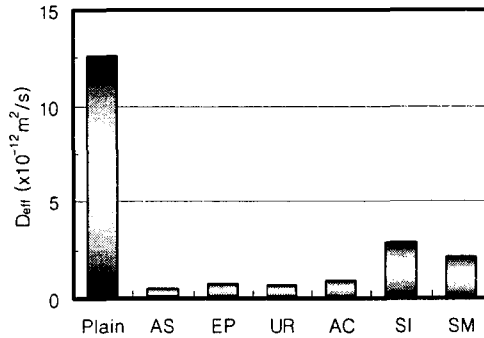


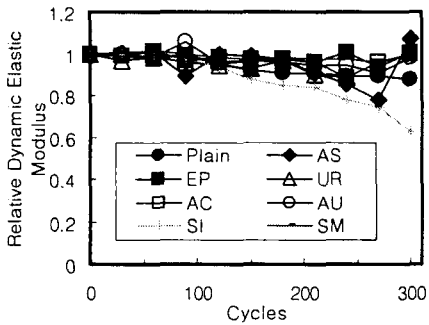
그림 2 각 시험편의 유효확산계수

3.2 동결융해저항성 시험 결과

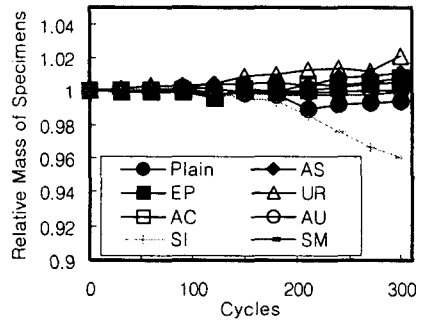
표면도장재를 적용하지 않은 콘크리트와 적용한 콘크리트에 대한 동결융해 저항성 시험 결과를 그림 3에 나타내었다. 동탄성 계수와 질량변화율 결과를 보면, 쉘라계 침투식 도장처리를 한 경우가 다른 도장재에 비해 다소 동결융해에 대한 저항성이 떨어지는 것으로 나타났고, 무처리한 기준 콘크리트와 나머지 6종의 표면도장재료를 적용한 콘크리트 시편 모두 300사이클까지 우수한 결과를 보여주었다. 그러나, 동탄성계수와 질량변화율 결과상으로는 거의 열화되지 않은 것으로 나타났으나, 300사이클 종료후 외관관찰 결과, 몇몇 도장재에 있어서 도막이 탈락된 현상이 발견되어, 동결융해 시험과 같은 온냉반복에 대해 바탕 콘크리트와의 부착력이 저하되는 현상이 보였으므로, 이에 대한 재료측면에서의 검토가 더 필요하리라 보여진다. 한편, 도장처리를 하지 않은 기준 콘크리트와 비교적 투수 및 흡수가 많이 이루어지는 아크릴계를 적용한 콘크리트 공시체에서 동결융해에 대한 열화현상이 없었다는 점으로 미루어, 도장재 처리에 의한 수분의 침투를 억제하는 것보다도 바탕콘크리트 자체의 공기량 확보가 더 중요한 것으로 판단되나, 이에 대해서는 추가적인 데이터 축적이 필요하리라 보여진다.

3.3 중성화 시험 결과

축진 중성화 시험결과를 그림 4에 나타내었다. 표면도장재료를 적용한 시편의 경우, 처리하지 않은 시편에 비해 중성화 침투깊이가 작게 나왔으며, 본 연구에서 시험한 제품 중 침투식 도장재료에 비해 코팅식 도장재료가 중성화에 대한 저항성이 우수한 것으로 나왔다. 이러한 결과로 보아, 표면도장재료의 이산화탄소 침투에 대한 차단능력이 우수한 것으로 나타났다. 코팅식 도장재료의 경우 전혀 중성화되지 않은 시편도 있는 반면, 약 1~2mm 정도의 중성화 깊이를 보이는 재료도 있었는데, 이는 1개월 간의 축진중성화 시험동안 도막을 이산화탄소가 실제로 투과했다고 보여지지는 않고, 도장처리 전에 바탕 콘크리트를 1개월간 양생하는 과정에서 표면에서 발생한 중성화 때문이라고 보여진다.



(a) 상대동탄성계수 결과



(b) 질량변화율 결과

그림 3 각 시편에 대한 동결융해 저항성 시험 결과

3.4 흡수율 시험 결과

그림 5는 각 도장재료별 흡수율을 비교한 결과이다. 무도장 콘크리트에 비해 도장처리를 한 콘크리트 시편이 매우 작은 흡수율을 나타내, 우수한 흡수 차단 성능을 보여 주고 있다. 본 연구에서 시험한 제품 중 침투식 도장재료와 코팅식 중에서 아크릴계의 도장재료를 적용한 콘크리트가 흡수가 많이 일어났으나, 나머지 코팅식 제품은 매우 낮은 흡수율을 보여주고 있다.

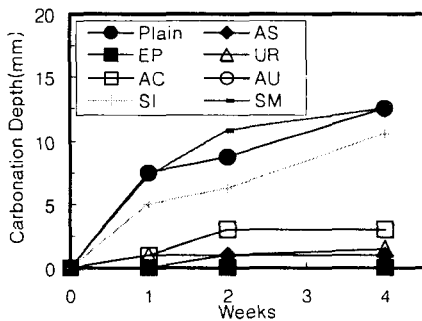


그림 4 촉진중성화 시험 결과

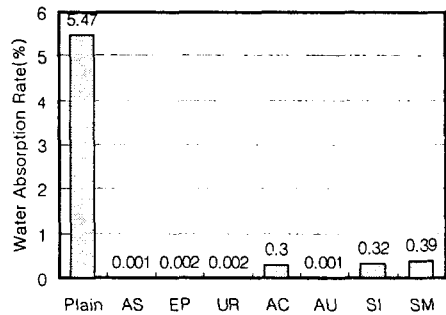


그림 5 각 시편의 흡수율 측정결과

3.5 고찰

국내에서 시판되는 콘크리트 표면도장재를 적용한 콘크리트 공시체에 대한 각종 내구성 평가 시험을 행한 결과, 표면도장 처리를 행한 콘크리트가 처리를 행하지 않은 콘크리트에 비해, 차염성, 중성화 억제성능, 흡수 억제 성능 등이 우수한 것으로 나타났다. 특히 염해에 대하여 가장 중요한 성능중의 하나인 차염성능에 대해서는 도장처리 하지 않은 콘크리트 공시체에 비해 4~20배 정도 작은 염화물 확산계수를 보여주어, 염해의 우려가 있는 콘크리트 구조물에 대해서는 매우 유효할 것으로 판단된다. 도장재료별로 비교해 보면, 코팅식의 도장재가 침투식 발수제계의 도장재에 비해 우수한 내구성능을

나타내었고, 칩투식 도장재도 무처리 콘크리트에 비해 우수한 내구성능을 나타내었으므로, 해양환경중 간만대나 비말대와 같이 염해의 우려가 현저한 곳의 경우에는 코팅식 도장재를, 해상대기부나 해안으로부터 얼마 떨어지지 않은 해안가의 경우에는 칩투식 도장재를 적용해도 되리라 보여진다.

본 실험에서 행한 내구성 평가 시험은 모두 촉진 시험법으로, 재료간의 변별력은 어느 정도 파악되었다고 보여지나, 실제 해양환경에서 수행한 것이 아니므로, 도장재의 내구 수명을 정량적으로 판단하기 위한 현장 노출 시험에 대한 검토가 추가적으로 필요하리라 보여진다. 이에 저자들은 본 연구에서 얻은 실내 성능평가 결과에 대한 검증과 내구 수명 예측을 위해 장기 해양 노출 시험을 진행중이며, 추후 이에 대한 보고를 할 예정이다.

4. 결론

- (1) 국내에서 시판되는 콘크리트 표면도장재 7종류를 선정해, 도장재를 적용한 콘크리트 공시체에 대한 각종 내구성 평가 시험을 행한 결과, 표면도장 처리를 행한 콘크리트가 도장처리를 하지 않은 콘크리트에 비해, 차염성, 중성화 억제성능, 흡수 억제 성능 등 각종 내구성능이 우수한 것으로 나타나, 콘크리트 구조물 장수명화를 위해 표면도장공법이 유효하리라 판단된다.
- (2) 코팅식의 도장재가 칩투식에 비해 우수한 내구성능을 나타내어, 공용환경에 따라 사용 도장재료를 선정할 필요가 있다고 보여진다. 즉, 해양환경중 간만대나 비말대와 같이 염해의 우려가 현저하리라 예상되는 경우에는 코팅식 도장재를, 해상대기부나 해안으로부터 얼마 떨어지지 않은 해안가의 경우에는 칩투식 도장재를 적용해도 되리라 보여진다.

참고 문헌

1. 片脇清士, “最新のコンクリート防食と補修技術”, 山海堂, 2000.
2. 日本土木学会 콘크리트위원회, “鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向”, 日本土木学会, 1999.
3. 정해문, 유환구, 이병덕, 안태송, 오병환, “염해방지를 위한 콘크리트 표면도장재료의 성능평가”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol.14, No.1, pp.749-754 2002.
4. Tang Luping, "Chloride Transport in Concrete.", Chalmers University of Technology Department of Building Materials, 1996.