

염해방지를 위한 콘크리트 표면도장재료의 성능평가

Evaluation of Surface Coating Materials of Concrete for Protection of Chloride Attack

정 해 문* 유 환 구** 이 병 덕* 안 태 송*** 오 병 환****
Cheong, Hai Moon Yu, Hwan Gu Lee, Byung Duk Ahn, Tae Song Oh, Byung Hwan

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 which include the test method, quality criteria, and construction method, the performances of surface coating materials were evaluated.

1. 서론

콘크리트 구조물의 내염 대책은 여러 가지 방안이 가능하며, 우선적으로 콘크리트 구조물이 염화물에 의한 침투 및 부식에 저항할 수 있도록 콘크리트의 품질을 고품질화하고, 방청제 등 혼화재의 사용과 예폭시 수지 도막철근 등 코팅철근의 사용 등에 의해 철근의 부식을 제어할 수 있다¹⁻³⁾. 그러나 이들은 건설비용의 증가 뿐만 아니라, 시공전의 내염 대책이므로 이미 시공된 구조물에 적용하기에는 힘든 실정이다. 따라서 이미 시공된 구조물에 경우의 염해를 방지하고 내구수명을 확보할 수 있는 좀더 다른 내염대책이 적용되어야 하는데, 이러한 목적으로 사용되고 있는 내염 대책으로는 해양에서 철근 부식의 주원인이 되는 염분의 침투를 억제하고 나아가 수분과 대기의 침투를 억제하는 콘크리트 표면도장처리 방법이 가장 폭넓게 사용되고 있다⁴⁾. 그러나 염해를 방지할 목적으로 시공되는 표면도장재료의 염화물 침투 저항성 및 방식 성능 평가 등에 대한 명확한 연구결과나 합리적인 판단기준이 없기 때문에 사용에 혼란이 초래되고 있다. 따라서 콘크리트 표면도장재료의 성능평가 및 품질기준, 그리고 내구년한 산정 등에 관한 체계적인 연구가 절실히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 표면도장재료의 품질기준과 성능평가 시험기준을 도출하기 위한 기초자료로서, 국내 시판 콘크리트용 표면도장재료를 재료계열별로 선택해 성능평가를 실시하였다.

* 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 도장재를 사용하였다. 도장재 도막 자체의 시험체 제작이 가능하므로 도장재 도막자체만의 유리도막 공시체(free film, 코팅재료 중 중도와 상도만의 도막 공시체)와, 모르터와 콘크리트에 도장재를 도포한 공시체를 각각 제작해 사용하였다. 도장사양은 각 제조사에서 추천한 도장사양에 맞춰 행하였으며, 도장처리 후 상온 대기중에서 14일간 양생하였다. 각 도막 특성시험에 미치는 하지의 영향을 최소화하기 위해, 물투과성 시험은 보통강도(압축강도 240kg/cm²), 부착성은 고강도의 콘크리트(압축강도 450kg/cm²), 균열추종성은 보통강도의 모르터 공시체(W/C=0.5)를 이용하였다.

2.2 도장재 성능 평가 시험

국내에는 콘크리트 표면도장재료에 대한 품질 및 성능 평가 기준이 아직 정립되어 있지 못한 실정이다. 따라서 외국자료를 참고하고^{5,6)}, 국내 유사 규격을 조사하여 각 특성 및 시험항목에 적합한 기준을 적용하여 실험하였다. 각종 성능시험은 표 2에 나타난 바와 같은 항목들을 선정해 행하였다. 본 연구에서는 도장재가 갖춰야 할 각종 열화요인 차단성능(물투과, 수증기투과, 염화물투과, 산소투과)과, 하지만 콘크리트와의 부착성능, 콘크리트 균열발생에 대한 추종성능 등을 행하였다. 한편, 각종 촉진열화 후의 도장재의 성능저하를 평가하기 위해, 일정기간 상온의 기중에서 양생시킨 표준상태 시험체에 대한 시험과 함께, 표준양생 후 각각 KS F 2274에 준해 촉진내후성 시험 250시간 행한 후, JIS K 5400에 준해 내알칼리성 시험 15일간 행한 후, JIS K 5400에 준해 내염수성 시험 15일간 행한 후 동일 시

표 1 본 연구에 사용된 각 도장재료

| 구분 | 화학적 분류 | 도장사양 | | | | 도막두께 ^{주1)} (μ m) |
|-------------------|------------|-------------|--------|--------|--------|-----------------------------------|
| | | 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 |

주1) 중도와 상도의 도막두께임 주2) 산화 알루미늄 파우더 첨가된 제품 주3) 세라믹 파우더 첨가된 제품

표 2 도장재료 성능평가 시험항목

| 시험 구분 | 공시체 전처리 조건 | 참고규격 | 사용공시체 | 비고 |
|-----------|--------------------------|----------------------|-----------------|----|
| 물투과성 | 표준, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | KS F 2451 | 콘크리트(보통강도) | |
| 수증기 투과성 | 표준, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | KS A 1013 | 유리도막(free film) | |
| 염화물 투과성 | 표준, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | 일본도로협회 ⁶⁾ | 유리도막(free film) | |
| 산소 투과성 | 표준, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | KS M 3052 | 유리도막(free film) | |
| 콘크리트와 부착성 | 표준, 습윤, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | KS F 4715 | 콘크리트(고강도) | |
| 균열 추종성 | 표준, 촉진내후성, 내알칼리, 내염수 | 일본도로공단 ⁷⁾ | 모르터(보통강도) | |

험을 수행하였다. 부착성 시험의 경우, 이외에도 KS F 4715 5.8.3 침수 후의 시험방법에 준해 10일간 침수시켜 습윤상태로 하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 물투과 시험 결과

수압을 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 가하여 도장재를 투과하여 공시체로 침투된 물의 양을 측정한 결과, 대부분의 도장재에서 물이 투과되지 않았으나, 아크릴 수지계에서 매우 적은 양의 물이 투과되는 결과를 얻었다. 그림 1에 소량의 물투과를 보인 아크릴 계열 제품의 표준상태와 촉진 열화 시험후의 물투과율 결과를 함께 나타내어 보았다. 그림에서 보이듯이 표준상태에 비해 촉진 시험 후의 물 투과율이 증가되었으며, 특히 내염수성 시험 후의 물투과율이 다른 촉진 열화 시험에 비해 크게 나왔다.

3.2 염화물 투과시험 결과

일본도로협회에서 제안한 방법⁶⁾에 의해 표면도장재료의 도막에 대한 염소이온의 투과량을 측정한 결과 에폭시수지, 아크릴실리콘수지, 아크릴우레탄수지계열의 제품이 상대적으로 적은 염화물 침투량을 보여주고, 폴리우레탄수지, 아크릴 수지 계열 제품의 순으로 많은 염화물 이온 투과량을 보여주고 있다(그림 2). 전계열에 걸쳐, 촉진 열화 후에 염화물 투과량이 다소 증가되는 것이 확인되었으며, 특히 촉진 내후성 시험과 내알칼리성 시험 후에 투과량이 증가된 것을 볼 수 있다.

일본도로공단 콘크리트표면도장재료에 대한 품질선정기준⁷⁾을 보면, 이 방법에 의한 기준값으로 일반적인 염해를 받는 지역에 대해서는 $5.0 \times 10^{-3} \text{ mgCl}^- / \ell \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{day}$ 이하, 특히 염해가 현저한 지역의 경우에는 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mgCl}^- / \ell \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{day}$ 이하로 규정하고 있다. 이 기준에 의하면, 일반적인 염해를 받은 지역에 대한 기준으로는 에폭시, 아크릴실리콘, 아크릴우레탄수지 계열의 제품이 만족한 결과를 보여 주었지만, 염해가 현저한 지역에 대한 기준으로는, 모든 제품에서 만족하지 못하는 결과값을 보였다.

3.3 수증기 투과 시험 결과

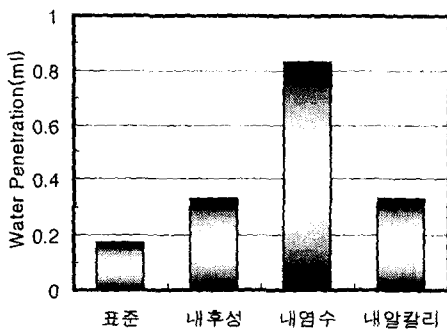


그림 1 아크릴계 제품의 물투과율 시험결과

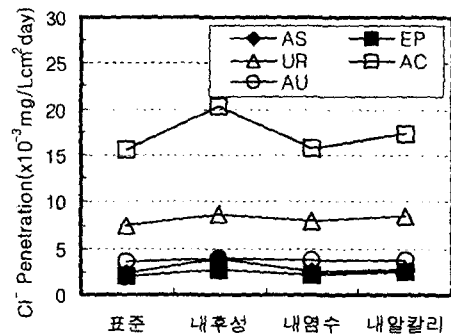


그림 2 염화물 투과시험 결과

코팅식 표면도장재료 5종에 대한 수증기 투과성 시험결과를 그림 3에 나타내었다. 본 연구에서 시험한 제품 중 아크릴계가 다소 높은 수증기 투과결과를 보이고, 다른 계 도장재료는 낮은 결과를 보여 주었다. 다만, 아크릴계의 경우 측정결과와 편차가 다소 크게 나타나 더 많은 데이터의 축적이 필요하리라 보여진다. 촉진열화 후 모든 계열에서 수증기 투과도가 증가되는 것이 확인되었으며, 각 도장재료마다 그 경향은 조금씩 다르게 나타났다. 일본도로공단 기준에는 수증기 투과율이 $5\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{day}$ ($12\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) 이하, 일본철도종합연구소 규격으로는 $20\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 이하로 규정되어 있어 본 연구에서 시험한 도장재료는 철도종합연구소 규격으로는 모두 만족하는 것으로 나타났으나, 일본도로공단 품질기준 상으로는 아크릴수지계가 열화시험 후 결과가 규격을 상회하는 것으로 나타났다. 그러나, 제품에 따라서는 콘크리트 내부의 습기를 방출하도록 재료설계된 제품도 있어, 이러한 제품에 대한 수증기 투과율에 대한 규격은 더 검토를 해야할 것으로 생각된다.

3.4 산소투과도 시험

아크릴 계열의 경우 산소 투과도가 $855\text{cm}^3/\text{m}^3 \cdot 24\text{hrs} \cdot \text{atm}$ 으로 나왔으나, 다른 시험편은 시험기계의 산소 투과도 측정 한도 $20,000\text{cm}^3/\text{m}^3 \cdot 24\text{hrs} \cdot \text{atm}$ 을 넘는 결과가 나왔다. 본 연구에서 선택한 시험법은 플라스틱 슈트와 필름에 적용하는 시험법으로서, 본 연구에서 사용된 도막에 적용하기에는 다소 산소분압이 과도했다고 보여진다. 콘크리트 도장재료의 재료특성에 맞는 산소 투과도 시험에 대한 시험방법을 더 검토해야 할 것이라고 생각된다.

3.5 콘크리트와 부착성 시험

콘크리트와 부착성 시험은 모재의 영향을 최소화시키기 위해 하지 콘크리트는 모두 압축강도가 $450\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트를 사용하였다. 본 연구에서 시험한 제품 중 아크릴 계열의 제품이 콘크리트와의 부착력이 낮게 나왔으며, 나머지 계열은 모두 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 계면파괴 없이 우수한 결과를 나타내었다(그림 4). 한편, 모든 시험체에서 촉진열화 시험후 부착강도 저하가 나타났다. 열화 시험 중에서 촉진내후성과 내알칼리성 시험 후 부착강도 저하가 상대적으로 크게 나타났다. 이와 같이 촉진열화 시험 후에 부착강도가 저하되는 것은 촉진열화시험에 의해 도막자체의 성능이 저하되는 것 이외에도, 촉진내후성, 내알칼리성, 내염수성 시험 모두 물을 게재하는 시험으로 시험기간 동안 콘크리트 내부로 수분의 흡수가 있었기 때문으로 보인다.

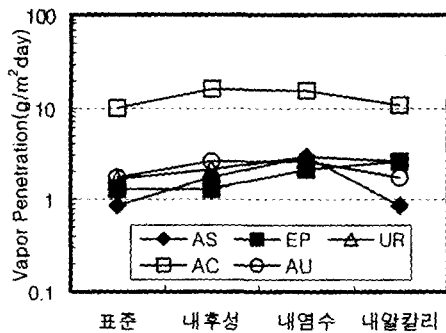


그림 3 수증기 투과율 시험결과

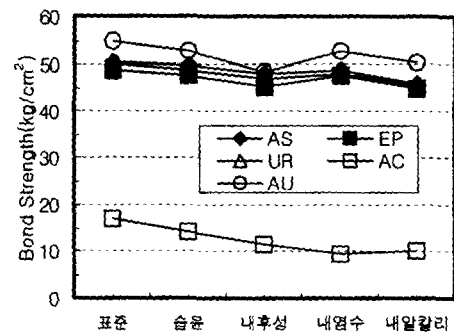


그림 4 부착강도 시험결과

3.6 균열추종성 시험

본 연구에서 선택한 균열추종성 시험법은 일본도로공단에서 제안한 방법으로 일명 제로스팬법이라고 한다. 여기에서 균열은 실구조물의 균열을 재현한 것은 아니고, 도장재 도막 자체의 신장 성능을 통해 균열에 대한 추종성을 상대적으로 비교하는 시험이다. 도막에 대한 인장강도와 신장을 모두 측정하였는데, 그림 5에 보이듯이 본 연구에서 시험한 제품 중 폴리우레탄수지계 제품의 인장강도가 가장 크게 나왔으며, 아크릴수지계의 도장재료가 신장값이 가장 크게 나왔다. 촉진열화의 영향을 살펴보면, 재료에 따라 다르나, 촉진열화 후 인장강도와 신장 모두 저하되는 결과를 보였다. 아크릴계 제품과 같은 탄성이 좋은 제품의 경우, 인장강도는 낮지만, 신장이 매우 우수한 결과를 보였다. 제로스팬방법을 고안한 일본도로공단의 경우, 도막의 인장강도가 아니라, 신장값으로 0.8mm 이상으로 기준하고 있다. 일본에서는 보수가 필요한 유해 균열폭을 0.4mm 정도로 판단하므로, 이 정도의 균열폭까지 도장재가 견디어야 한다는 생각으로 안전측면에서 0.8mm 신장값으로 기준하고 있다. 이 규정으로 볼 때, 본 연구에서 시험한 모든 제품이 균열 추종성 기준값을 모두 만족하고 있고, 특히 아크릴계가 우수한 균열 추종 성능을 지니고 있다고 볼 수 있다. 다만, 일본도로공단 규격에서는 저온에서의 신장과, 내후성 시험을 행한 후의 신장에 대해서도 기준하고 있는데, 이에 대한 검토가 더 이루어져야 하리라 생각된다.

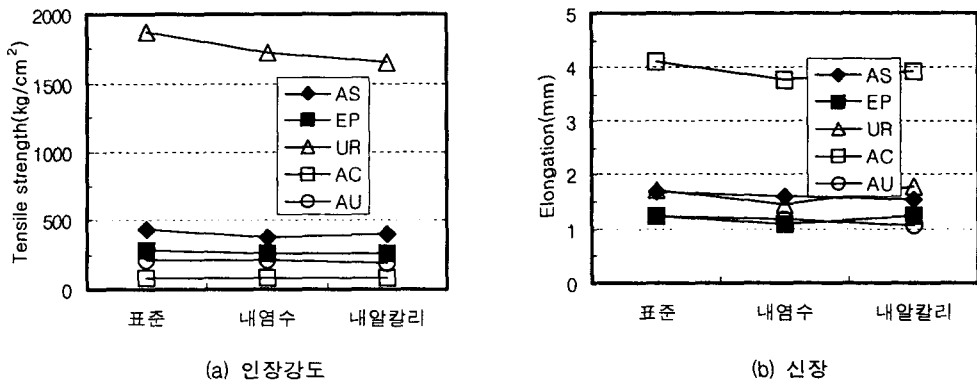


그림 5 균열추종성 시험 결과

3.7 고찰

국내 콘크리트 표면도장재에 대한 각종 성능 시험을 행하여, 일본도로공단에서 정한 기준치를 인용하여 본 결과, 일부 제품과 일부시험항목을 제외하고는 대부분의 제품이 기준치를 만족하는 것으로 나왔다. 하지만, 염화물 투과성 시험결과, 일본 기준치를 만족시키지 못하는 것으로 나와 이에 대한 검토가 더 필요하다고 생각되고, 산소투과성 시험의 경우 시험기계 측정한도를 넘는 결과가 나와 도막 측정에 필요한 적정 산소 분압 등의 시험조건에 대한 검토가 이루어져야 하리라 생각된다. 또, 각종 촉진열화 시험 후, 도장재에 대한 성능평가를 행하였으나, 이 촉진 열화시험이 실제 노출 조건을 정확히 모사하는 것이 아니므로, 열화시험 조건에 대한 검토도 더 이루어져야 하리라 보여지는데, 본 연구에서 선택한 촉진열화시험으로 도장재 간의 우열이 많이 나타나지 않았으므로, 더 혹독한 열화환경을 상정한 조건을 검토해야 하리라 보여진다.

한편, 본 연구에서 나온 결과들은 특정제품에 대한 결과이므로 재료 성분에 따른 계열에 대한 특성을 대표한다고 할 수는 없다.

본 연구에서는 국내 관련 규격과 기준치가 없어 일본도로공단에서 정한 기준값을 인용하여 보았으나, 일본에서도 실내시험에 의한 품질 기준치가 실제 염해 환경에서 장기 노출시켰을 때 나타내는 성능과의 상관성에 대해서는 아직 명확한 결론을 내리지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서 얻은 실내 성능평가 결과에 대한 검증은 위해 장기 해양 노출 시험을 진행중이며, 추후 이에 대한 보고를 할 예정이다.

4. 결론

콘크리트 표면도장재 품질기준과 성능평가 시험기준을 도출하기 위해 콘크리트 도장재에 적합한 시험항목들을 선정하였고, 국내 시판 도장재를 재료계열별로 선택해 성능평가를 수행하였다. 그 결과, 일부 제품과 일부시험항목을 제외하고는 대부분의 제품이 기준치를 만족하는 것으로 나왔다. 특히, 시험항목중 염화물 투과시험의 경우, 모두 일본에서 정한 기준치를 만족하지 못하는 것으로 나타나, 이에 대한 대책 및 검토가 더 필요하리라 보여진다.

본 연구에서 사용한 시험방법 중 산소투과도 시험과, 촉진열화시험의 경우, 도장재료간의 우열을 판단하지 못하였으므로, 이에 대한 더 깊은 검토가 필요하리라 보여진다.

참고 문헌

1. 岸谷孝一, 西沢紀昭, "塩害," 技報堂 1986.
2. 김문한, "염해와 대책," 한국콘크리트학회지, 제4권 1호, pp. 35-42, 1992.
3. 신공항건설공단, "콘크리트 염해방지/품질개선 조사 용역 보고서," 1996.
4. 片脇清土, "最新のコンクリート防食と補修技術," 山海堂, 2000.
5. 日本土木学会 콘크리트委員会, "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.
6. 日本道路協会, "道路橋の塩害対策指針(案) 콘크리트塗装の設計・施工・品質基準(案)," 1984.
7. 日本道路公団 試験研究所 材料施工研究会 "콘크리트保護工," 材料施工資料 第1号, 日本道路公団, 1994.
8. National Cooperative Highway Research Program Synthesis 209, "Sealers for Portland Cement Concrete Highway Facilities," Transportation Research Board, National Research Council, 1994.