

# 콘크리트의 내구성능 향상을 위한 표면도장공법

## 연·재·순·서

- 1회  
콘크리트의 염해 평가 실험 방법의 현황
- 2회  
콘크리트의 미세구조와 내구성능
- 3회  
탄산화와 염해에 의한 콘크리트의 복합 열화
- 4회  
콘크리트의 내구성능 향상을 위한  
표면도장공법

## 들어가며

콘크리트의 표면은 염해 환경으로부터 내부의 철근을 보호하는 방호벽이므로 콘크리트 구조물의 내구수명은 피복 콘크리트의 성능에 의해 좌우된다. 피복 콘크리트의 성능을 증진시키기 위한 방법 중 표면도장공법은 콘크리트 내부로 침투되는 염소이온을 차단하여 철근을 부식으로부터 보호하기 위한 능동적이고 경제적인 예방 및 보수공법으로 실용적인 방법에 속한다. 특히 해양 환경에서의 해수는 콘크리트 내부로 확산되어 콘크리트 구조물의 내구성을 현저히 저하시킴으로 차염성이 우수한 표면도장재료를 선정 및 적용해야 한다. 해외 주요 선진국은 이미 표면 처리공법의 적용 등 콘크리트 구조물의 내구수명을 증진시키기 위한 실내외 연구가 상당한 수준까지 진행되었다. 그러나 우리나라는 아직까지 적절한 실험방법 및 판단기준이 없을 뿐만 아니라 시공실적도 부족해 차염 효과를 신뢰할 수 없는 상황이다. 또한 균열의 실링을 목적으로 하는 표면도장공법은 방수, 미관 및 내구성 향상을 위하여 건설현장에서 시공하고 있는 방법임에도 불구하고 이에 대한 재료의 선정, 적용한계에 대한 연구가 매우 미흡한 실정이다.

이에 이 코너의 마지막 주제는 콘크리트의 구조물의 차염성능을 구명할 수 있는 도장공법의 차염성능 특성에 대해 다루고자 한다. 여기서는 해양환경에서 콘크리트 표면에 도장공법을 적용함에 있어 내구성능 증진효과의 가능성 및 영향요인들을 살펴보고, 표면도장공법 적용에 따른 균열의 실링효과를 검토하고자 한다.

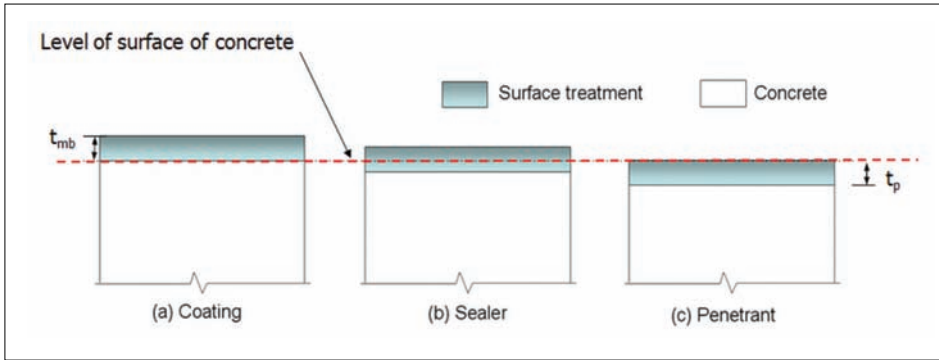
## 표면도장공법의 차염효과

### 표면도장공법의 종류

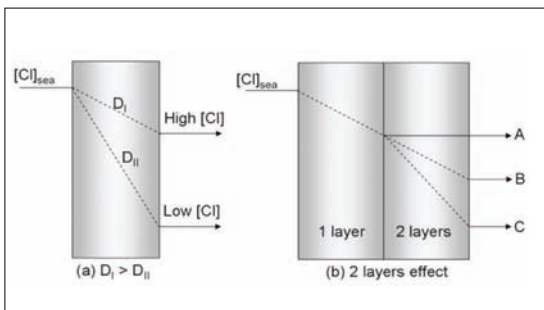
콘크리트용 표면도장공법은 코팅계, 침투계, 실리계 등으로 대별된다. <그림 1>과 같이 코팅계는 콘크리트 표면에 두께를 갖는 밀실한 도막을 형성하며, 침투계는 표면에 여타의 도막형성이 없이 콘크리트 구체에 침투하여 함침 및 고화작용을 한다. 또한, 실리계는 콘크리트에 침투함과 동시에 표면층에 미세한 도막을 형성하여 코팅계와 침투계의 양쪽 특성을 갖는다. 침투계 및 실리계 표면도장공법의 적용은 미국 연방고속도로국(SHRP)에서 실란 혹은 실록산 계열을 내구수명 증진을 위하여 권장하고 있는 대표적 방안으로 그 성능이 침투 깊이에 의존한다. 특히 공극, 공극크기 분포, 공극연결성, 수분량 등의 구체 물성과 관련이 있고 때로는 구체 공극벽의 전기화학적 성질 및 공극수의 성분에서도 영향을 받는다.

콘크리트 내 염소이온 침투는 표면에서의 모세관력 흡수작용과 내부에서의 확산작용이 주요 구동력이 되므로 내구수명을 현저하게 증진시킬 수 있는 표면도장공법은 내수성 및 수밀성이 우수해야만 한다. 그러나 표면도장공법의 적용시 차염효과는 도장재료의 품질 및 도막두께에 따라 가변적이기 때문에 올바른 시공지침 설정이 반드시 필요하다.

<그림 1> 표면도장공법의 종류



<그림 2> 표면도장공법의 품질에 따른 차염효과



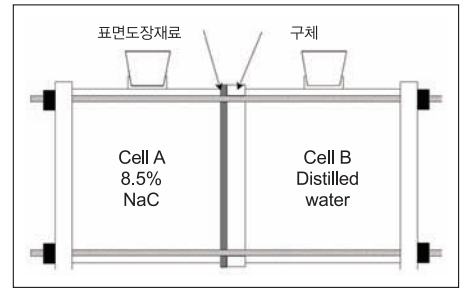
표면도장공법의 품질은 차염성능에 큰 영향을 미친다. <그림 2>의 (a)에 의하면 표면도장재료가 해수의 농도  $[Cl]_{sea}$ 에 접할 때, 높은 염소이온 확산계수  $D_I$ 을 갖는 표면도장재료는 염소이온의 투과율이 높게 나타난다. 그러나 염소이온 확산계수가 낮은  $D_{II}$ 를 갖는 표면

도장재료는 매우 밀실해서 염소이온이 내부 안으로 침투하는 것을 효율적으로 잘 제어할 수 있다. <그림 2>의 (b)는 폴리머계열 멤브레인 도막을 갖는 표면도장공법의 도장횟수에 따른 차염 효과를 보인 개념도이다. 1회도장시 염소이온 투과율은 A가 된다고 가정하면, 2회도장시에는 B의 투과율을 보여야 하나 실질적으로는 이보다 더 낮은 투과율을 갖는 C를 보인다. 이에 대한 이유는 폴리머 코팅효과에 의하여 표면층에 밀실한 막이 형성되어 1회 도막보다 2회 도막 시공이 실질적으로 염소이온 침투의 제어에 효과적이기 때문이다.

### 차염성능 실험

표면도장된 시험편에 차염효과를 얻는데 가장 적절한 방법 중 하나로 간주되는 농도차 확산 실험의 염소이온 확산 실험장치는 <그림 3>과 같다. Cell I, Cell II의 염소이온 농도를 측정한다. 확산계수 D는 농도구배가 구동력인 Fick의 제 1법칙에 따라 구할 수 있다. 코팅계 표면도장공법은 구체의 공극크기와 표면전하 및 용액 내 다른 이온과 같은 요인

<그림 3> 농도차 확산셀 실험장치



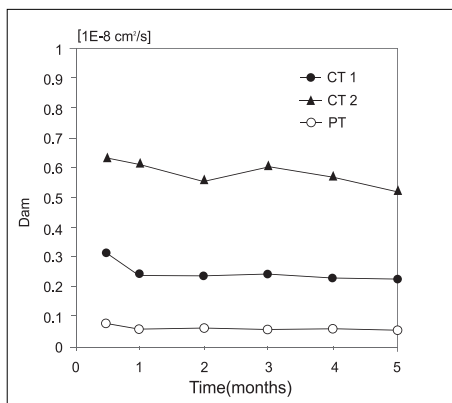
들에 의해 영향을 받으며 이온의 침투가 복잡한 멤브레인 특성을 갖는다. 그래서 멤브레인 도막의 차염효과를 구명하기 위하여 표면도장된 모르터 시험편의 염화물 확산계수를 구해 도장회수 및 도막두께에 따른 결과를 <그림 4>에 나타냈다. 도막공법(PT)이 침투공법(PT)보다 염소확산계수가 더 낮게 나타났다. 또한, 표면침투제2중으로 도막처리된 표면도장(CT 2)이 단일 도막처리한 동일재료(CT 1)보다 약 30% 이하 수준으로 확산계수가 크게 감소하였다.

이러한 이유는 폴리머 계열인 표면도막재료를 중도로 코팅한 양생 초기에 대기환경에서 유기질 폴리머와 시멘트 겔의 단일공유 매트릭스와 미세한 폴리머 필름이 형성되고, 추후 2중 도막코팅

후에 최종 상도부에 폴리머 필름이 재차 형성되었기 때문으로 보인다. 즉, 단일로 코팅한 것은 최종 상도부에 폴리머 필름이 단일 형성되었으나 2중으로 도막 코팅한 것은 중도 및 최종상도부에 폴리머 필름이 2회가 연속 형성되었기 때문에 염소 이온에 대한 내침투성능 효과가 더욱 증진된 것으로 생각된다.

따라서 향후 해수와 직접적으로 접하는 해양환경의 주요 구조물에 표면도장공법을 적용할 경우에는 2회 이상의 시공을 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

<그림 4> 표면도장된 모르터의 확산계수

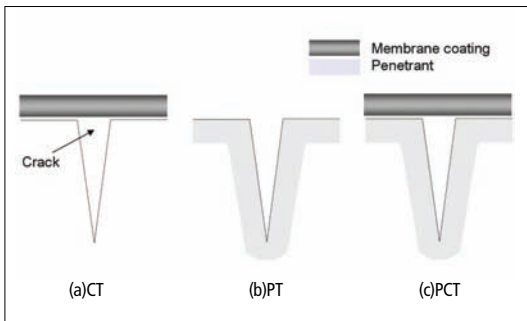


## 표면도장공법의 균열실링 효과

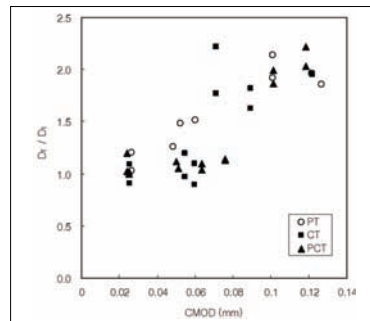
표면도장공법은 균열내부의 치료를 할 수 없을 뿐더러 균열이 성장하면 그 움직임을 추종하기 어려운 결점이 있다. 그럼에도 불구하고 미세한 균열폭 범주 내에서 간단히 균열보수 효과를 얻을 수 있기 때문에 현장에서 손쉽게 이용되고 있다. 그러나 표면도장공법으로 미세균열의 실링에 대한 유효성을 검토하는 데는 실험 방법적인 측면에서 어려움이 존재한다.

첫 번째, 표면도장공법의 차염효과를 구명하는데 적절한 실험방법으로서 농도차 확산실험이 알려져 있으나, 이를 미세균열이 도입된 콘크리트에 적용했을 때는 시험편의 두께가 균열길이 이상이 되어야 하기 때문에 두꺼운 시험편으로 제작되어야 하고 이는 장기간의 확산실험을 초래한다. 두 번째, 균열이 존재하는 콘크리트의 자기치료(self-healing)를 배제한 확산실험이 실질적으로 어렵다. 이러한 이유로 실험적 방법에 의하여 본 연구의 주제를 검토하기에는 많은 어려움이 존재하였고, 이는 연구결과의 부족을 초래하였다. 따라서 실구조물에 타당성을 갖고 적절한 재료 및 시공방법을 선정 및 적용하는데 한계가 있다. <그림 5>를 보면 균열폭이 매우 작은 미세균열이 발생한 경우 도막공법(CT)은 균열발생 유무와 상관없이 표면층을 밀실하게 형성하며, 침투계만 적용한 것(PT)은 균열벽간의 간극을 채울 수 있으나 균열이 발생한 공간을 효과적으로 채우는 데는 한계가 있다.

〈그림 5〉 균열이 발생한 콘크리트에 적용된 표면도장공법



〈그림 6〉 표면도장된 콘크리트의 염소이온 확산계수



<그림 6>은 도포재의 종류에 따라 균열부의 염소이온 확산계수 대비 균열부의 확산계수 비율인 상대 확산계수( $D_r/D_0$ )를 구하여 나타낸 결과이다. 균열개구변위 CMOD 값에 따른 염소이온 확산계수의 변동 추이는 상당히 뚜렷한 추이를 확인할 수 있다. 즉, 도막재(CT)는 CMOD 0.06mm 이내에서는 약 1.0의 상대 확산계수값을 갖지만, 그 이상에서 급격히 상승하는 추이를 보였다. 침투재(PT)는 CMOD가 증가함에 따라 선형으로 뚜렷이 상승하지만, 도막재(CT)와 병행 사용한 것(PCT)은 0.08mm CMOD 내에서 약 1.0의 값으로 일정하게 유지되다가 점차 상승하는 것을 알 수 있다. 일본 콘크리트공학협회에서는 균열폭의 변동이 작을 경우 방수성능을 유지하기 위한 목적으로 균열폭 0.20mm 이하의 조건에서 표면도장공법을 적용할 수 있다고 제안했다. 또한, 우리나라

의 콘크리트 보수 보강 시방서에서는 0.02mm 이하 균열폭 조건에서 표면도장공법의 차염효과를 긍정적으로 기대할 수 있으며, 0.20~1.0mm의 균열폭까지는 다소간의 기대가 가능한 것으로 제시된 바 있다. 그러나 <그림 6>의 결과에서는 침투재에서는 균열치료 효과를 기대하기 어려우나, 멤브레인 도막을 형성할 경우 0.06mm, 침투재와 도막을 병행사용하면 0.08mm 균열폭까지 염소이온 침투를 제어 가능한 것으로 나타났다. 이 임계균열폭은 표면도장공법의 재료 성능, 도장재료의 염소이온 확산계수, 도막두께 및 도막회수 등에 의존되는 것으로 생각된다. 다만 이는 균열이 정치된 경우에 한하여 행한 실험 결과로 균열의 진전이 지속될 경우에 추종성에 대한 검토가 필요하다. 다양한 재료특성을 갖는 표면도장재료에 적용하여 균열폭, 도포조건 등에 따라 균열을 통한 염소이온 침투의 거동의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 맺음말

해양콘크리트 구조물의 내구성을 향상시킬 수 있는 표면도장공법의 차염성능은 재령, 도장회수 및 도장두께 등에 따른 염소이온 침투제어의 유효성이 매우 상이하다. 이 글에서 설명한 접근방법은 표면도장공법의 내염성능에 대한 표준화 확립이 필요하며 향후 코팅제, 침투제, 실리계 등의 제품군에 따라 콘크리트 구조물의 염소이온 침투를 가장 효과적으로 제어할 수 있는 표면도장공법의 제품군 선정 및 공법 적용에 따른 기대 내구수명 증진효과와 검토가 필요하다. 표면도장된 콘크리트의 내구성 설계는 표면도장공법 자체의 차염성능과 콘크리트의 미세구조 변화와 화학적 물성 변화에 기인한 내구성 설계 매개변수의 변화를 토대로 예측기법의 개발 및 다양한 시나리오의 구축에 유용하게 활용될 수 있다.

끝으로 올 한 해 동안 연재한 '테크니컬 리포트' 시리즈가 시멘트 및 콘크리트 기술자에게 내구성능에 대한 기술적 이해와 최신 기술동향의 정보를 제공하는데 조금이나마 도움이 되었기를 바라는 바이다. ▲



### 참고문헌

1. 한국시설안전기술공단 (1999) 콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수보강 전문시방서, 건설교통부, pp.6.8-6.8.
2. 社団法人 日本コンクリート工學協會 (2003) コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強設計-2003.
3. Nolan, E., Basheer, P.A.M., and Long, A.E. (1995), Effects of Three Durability Enhancing Products on Some Physical Properties of Near Surface Concrete, Construction and Building Materials, Vol.9, No.5, pp.267-272.
4. Metin, A. (2001), The Effects of Permeable Formworks with Sucker Liners on the Physical Properties of Concrete Surfaces, Construction and Building Materials, Vol. 15, pp.149-151.
5. SHRP (1993), Concrete Bridge Protection, Repair, and Rehabilitation Relative to Reinforcement Corrosion: A Methods Application Manual, SHRP-S-360, Washington, pp.48-64.