

# 도포공법에 의한 콘크리트 구조물의 내구성 증진에 관한 실험적 연구

## An Experimental study on durability improvement of concrete structures by a concrete coating method

조 병 완\*                  문 린 곤\*\*                  박 승 국\*\*                  김 대 민\*\*\*  
Jo, Byung Wan          Moon, Rin Gon          Park, Seung Kook          Kim, Dae Min

### ABSTRACT

The Durability of Concrete Structure is serverely degraded due to mainly carbonation, sulfate attack and chloride ion diffusion in concrete.

The ultimate purpose of this study is to obtain how much the durability of Concrete Structure is improved according to the variation of physical properties in concrete or the frequency of surface coating on concrete. Where, variation of physical properties is a water-cement ratio or amount of air.

The experiments are the chliride ion diffusion test, the lapid corrosion test, the lapid carbonation test, the test on resistance to freezing and thawing. Finally, this study shows that the effect by the surface coating method is better than the variation of physical properties in concrete.

Keywords : surface coating, chliride, corrosion, carbonation

### 1. 서 론

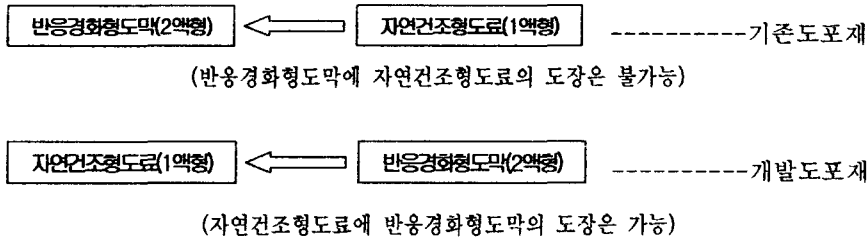
콘크리트는 외부와 접촉하고 있는 공기나 수증기에 의해서 중성화가 발생하게 되는데, 철근의 표면에 형성되어 있는 부동태 피막을 소멸시켜 철근의 부식을 가져오고, 균열 및 박리, 나아가서 구조물의 안전성에까지 문제점을 야기시킨다. 이러한 현상은 콘크리트 내에 염소이온이나 이산화탄소, 수분 등이 내부로 침투하여 확산할 수 있는 공간적인 여유가 있기 때문이다.

따라서, 물-시멘트비의 감소, 콘크리트 혼화제 사용 등, 콘크리트의 물성을 강화시키는 방법이 시도되었으나, 내구성을 증가시키는 면에 있어서 한계가 있고, 최근에 사용되고 있는 염해와 중성화 전용 방지 도포재 자체에서도 여러 가지 면에서 문제점을 보여주고 있기 때문에, 본 연구에는 이러한 문제점을 분석하고 보완하여 새로운 도포재를 개발하였으며, 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 기존 도포재의 문제점 및 개발된 도포재의 특성

염해와 중성화 방지를 위한 도포재는 일반적으로 이중복합도장(하도재+상도재)방법을 사용하기 때문에 모체와 하도재, 하도재와 상도재 간의 극성차이로 인해서, 시간이 지남에 따라 도포재의 박리 및 탈락 현상이 일어난다. 다시 말해, 성질이 같은 도포재를 사용하여야 한다. 그럼으로 나타내면 다음과 같다.



그 외에도 하도재의 pH값이 11이하의 값을 갖는 경우가 있으며, 내약품성, 내화학성, 특히 내산성에 약하고, 외부에 노출되는 부분에서 황변현상이 발생하고 있다.

따라서, 기존의 문제점을 보완하여, 개발된 본 도포재는, 수성에폭시수지와 액화조강용시멘트 및 세라믹물질(Hydro epoxy-polymer cement aluminum silicate)로 조성된 도포재인 하도재와, 무황변 아크릴폴리에스테르우레탄(Acrylic polyester urethane)수지도료를 상도재로 이용한 새롭게 개발된 콘크리트구조물의 염해와 중성화를 방지하기 위한 도포재다.

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 도포재 실험 결과

도포재 자체의 성능을 시험한 결과, 부착강도에 있어서는, 일본도로공단에서 제시(JIS A 6910) 하는 도장재료의 부착강도는 '10 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이어야 한다'는 규정에 2.5배의 값을 보여주었다.

내부식성에 있어서는, 일반적인 내약품성 시험보다, 25%농도의 산과 알칼리에 대한 농도에서 시편으로 사용한 철은 부식되고 녹아 없어진 반면에, 본 도포재는 원 상태를 유지하였다.

신축효과를 알기 위해서는, 신장성 실험을 시행하여, 그 허용값이 0.2mm이상[도장재료의 규격(일본도로공단)]의 값을 가져야 하는데, 기준치 이상(0.2mm)의 3배인 결과값(=0.6mm)를 보였다.

### 3.2 도포재를 적용한 콘크리트 실험 및 결과

#### 3.2.1 염분침투 저항성 실험 결과

공시체는  $\Phi 100 \times 200$ mm인 몰드를 사용하여 제작 후,  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 인 수중에서 재령 28일까지 수중양생 시킨 후,

5cm로 절단한 시편을 사용하여, 15V의 직류를 ±0.1V 정도로 안정적으로 공급하여 실험을 실시하였다. 배합표는 아래 표 1과 같다.

결과적으로, 도포를 한 공시체는, 그림 1, 표 2와 같이, 전류값이 3mA정도의 낮은 값을 보여준 반면, 무도포 공시체는 최소 76mA의 전류값을 보여, 무도포에 비해서 염소이온의 침투가능성이 높음을 보여주고 있다.

한편, Fick의 1차원 확산법칙에 따라, 식 (1)을 사용하여, 철근부식개시기를 예측할 수 있는데, 그 결과 무도포시는 최대 8.71년, 도포시는 67.68년으로 내구연한에 있어서도 7배 정도의 효과를 보여주었다.

표 1 공시체 배합표

실험종류 \ 배합비	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물-시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m <sup>3</sup> )			
						물	시멘트	잔골재	굵은 골재
염분침투저항성시험, 철근부식촉진시험	25	10	1.5	40	36	193	484	605	1086
	25	10	1.5	50	39	193	386	688	1086
	25	10	1.5	60	41	193	320	742	1086
동결융해저항성시험	25	10	1.5	50	39	193	386	688	1086
	25	10	4	50	38	169	338	670	1086
중성화 촉진시험	시멘트(C):잔골재(S) = 1:3의 절대건조 중량비로 배합한 모르타르 공시체 사용								

$$C(x, t) = C_0 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ave} \cdot t}}\right) \quad \text{식 (1)}$$

- C : 염소이온의 농도(kg/m<sup>3</sup>)
- x : 확산거리(m)
- t : 확산시간(sec)
- C<sub>0</sub> : 염소이온상수(kg/m<sup>3</sup>)
- D<sub>ave</sub> : 평균 염소이온 확산계수(m<sup>2</sup>/sec)

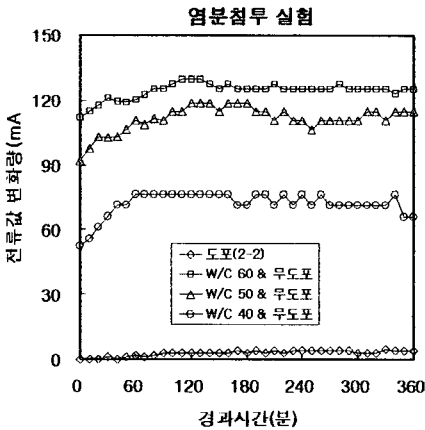


그림 1. 시간에 따른 전류값

표 2 공시체별 전류값(mA) (평균값)

w/c(%)	무도포	도포(2-2)
60	125	3
50	110	
40	76	

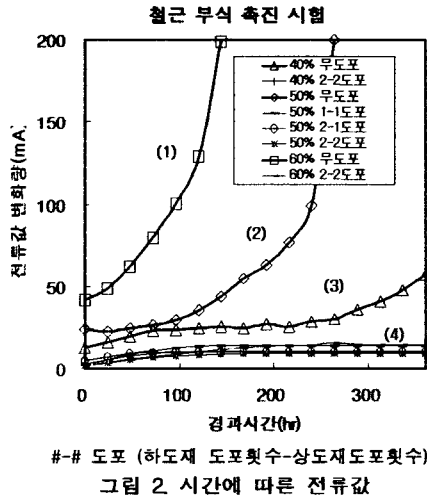
\* 여기서, 도포(2-2)는 하도재 2번, 상도재 2번을 도포한 표준도포를 의미한다.

표 3 공시체별 철근부식개시시기 (years)

w/c(%)	무도포	도포(2-2)
60	1.03	67.68
50	3.33	
40	8.71	

### 3.2.2 철근부식 촉진 실험 결과

0.5mol의 NaCl 용액에 콘크리트 공시체 (Φ100×200mm의 규격으로 제작한 공시체 가운데에 직경 12mm인 원형철근을 삽입한 후 20±1℃의 수중에서 28일간 양생시키며 만듦) 를 침지한 후 10V의 직류를 통전시켜 전위차에 의한 철근의 전기부식을 유도하여 실험을 시행하였으며, 그 결과 그림 2에서 볼 수 있듯이 무도포공시체는 그래프(1), (2)처럼, 각각 150시간, 250시간에서 전류량의 급격한 변화를 보이며, 공시체가 파괴된 반면, 도포를 한 공시체는 (4)처럼 낮은 전류값을 지속적으로 유지하여, 철근에 대한 피해를 방지해 주고 있음을 확실히 보여주고 있다.



### 3.2.3 중성화 촉진 실험 결과

5×5×5cm 규격의 시험체를 제작하여, 온도 40℃, CO<sub>2</sub>농도 5%, 상대습도는 80%로하여 폭로시켰으며, 시험 종료 후, 페놀프탈레인 용액(1%)을 분무한 결과, 그림 3처럼, 무도포공시체는 20.9mm까지 중성화가 발생된 반면, 도포를 한 공시체는 오른쪽 공시체에서 보여주듯이, 중성화에 대한 피해가 일어나지 않았다.

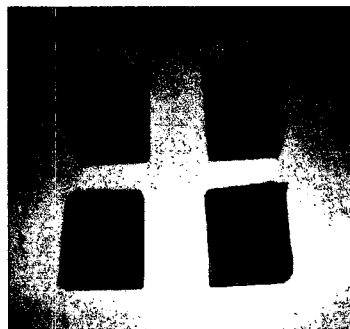


그림 3. 중성화 결과 사진

### 3.2.4 동결융해 저항성 실험 결과

동결융해 저항성 시험은 KS F2456에 의한 “수중 급속융해 시험방법”에 의한 것으로 300사이클까지 동결융해촉진시험을 실시하였다. 시험 중 상대동탄성계수가 60%이하로 저하될 경우 그 시험체에 대해서는 시험을 종료하였으며, 시험결과를, 표 4와 같이, F-N-AN 공시체는 상대동탄성계수는 150사이클 수에서 60%이하로 급격히 떨어지는 값을 보였으며 내구성 지수에 있어서도 30%로 떨어졌다. 하지만 도포를 한 공시체는 공기량과는 크게 상관없이 상대동탄성계수와 내구성지수는 큰 저하현상을 보이지 않고 내구성을 유지하였다.

표 4 동결융해 저항성시험에 따른 내구성 지수값

공시체	동결융해시험 목표사이클 수(M)	동결융해시험을 마친 사이클 수(N)	N사이클에서의 상대동탄성계수% (C)	내구성 지수 (%)
F-N-AN	300	150	60	30.0
F-N-AE	300	300	72.6	72.6
F-H3-AN	300	300	89.4	89.4
F-H3-AE	300	300	93.0	93.0

(F는 동결융해시험, H3는 표준도포(하도제2회+상도제2회), N은 무도포, AN은 공기량 1.5%, AE는 공기량 4%)

## 5. 결론

1) 도포재 자체의 성능평가시험에서 부착강도, 내부식성, 신축효과는 성능의 개량으로 기준치보다 2~3배정도의 우수함을 보여주었다.

### 2) 염분 침투 시험

무도포 공시체의 물-시멘트비를 60%에서 50%, 50%에서 40%로 그 값을 작게 하였을시 각각 12%와 31%의 전류값의 감소를 보여주었다. 한편 도포를 한 공시체는 물-시멘트비가 60%인 무도포 공시체에 비해서 거의 90%이상의 전류값 감소효과를 가져와 물-시멘트비의 저감으로 얻을 수 있는 이상의 효과를 보였다. 또한, 내구연한을 비교하였을 때에도, 무도포시는 최대 8.71년, 도포시는 67.68년으로, 7배 정도의 효과를 보였다.

### 3) 철근 부식 시험

실험종료시까지 균열발생을 보이지 않고 12mA 의 낮은 전류값을 유지해 줌으로써 철근부식에 대한 큰 저항성을 보여 주었다.

### 4) 중성화 촉진 시험

무도포 공시체는 이산화탄소가 콘크리트 내부로 침투하여 20.7mm가 중성화되는 결과를 보인 반면, 도포를 한 공시체는 30일이 경과한 후에도 중성화가 일어난 흔적을 발견할 수 없었다.

### 5) 동결 융해 저항성 시험

공기량이 1.5%인 무도포 공시체를 도포하였을 경우 198%의 내구성지수 증가효과를 보였으며, 공기량이 4% 무도포 공시체에 대해서는 28%의 내구성 증가효과를 가져왔다.

## 감사의 글

본 연구는 콘크리트 성능저하 방지를 위한 도포재 및 공법개발을 위해 수행되었으며, (주)태일케미칼의 연구개발 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 고경택, 김도겸, 김성욱, 조명석, 송영철, “동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하 평가” 한국콘크리트학회지 Vol.13, No.4, pp.397~405, August 2001
2. 문한영, 김성수, 김홍삼, 정호섬, “내염성도장 콘크리트 주에 묻은 철근의 방청효과” 1996년도 가을 학술발표회 논문집 pp.196~200
3. 오병환, 김선우, 정상화, 서정문, “염해 및 황산염의 복합작용에 따른 염소이온 확산특성의 실험적 연구” 한국콘크리트학회 2000년도 가을 학술발표회 논문집 pp.413~418
4. 김문한, “염해(鹽害)와 그 대책(對策)” 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 4권 1호, 1992.
5. 정해문, 김종우, 이대근, 최광일, “동결융해 및 중성화를 받은 콘크리트의 철근 부식 특성” 한국콘크리트학회 1997년도 가을 학술발표회 논문집, 1997 pp.293~298