

# 세라믹 코팅의 콘크리트 중앙분리대 환경하중 저항성에 관한 연구

## A Study on the Resistance Against Environmental Loading By Ceramic Coatings For the Concrete Median Barrier

최돈화\* · 이승우\*\* · 김성길\*\*\*

Choi, Don Hwa · Lee, Seung Woo · Kim, Seong Kil

### 1. 서론

겨울철 기습적인 폭설, 한파 등 전 세계적인 이상기후 현상으로 매년 동결융해 의한 피해 및 제설제 사용이 증가되고 있으며, 이로 인해 도로상의 콘크리트 구조물의 열화가 촉진되고 있다. 현재 국내에서 가장 많이 쓰이고 있는 제설제로는 염화나트륨과 염화칼슘으로 국내 고속도로의 경우 습염살포방식이 쓰이고 있다. 습염살포방식이란 염화칼슘 수용액에 고체 염화나트륨을 적셔 살포하는 방식으로 초기에 빠른 제설효과를 가져온다.(2003, 조서연) 하지만 습염살포방식은 표 1과 같이 제설제 사용량을 급격히 증가시키고 있으며, 그림 1과 같이 제설제에 직접적으로 노출되어 있는 중앙 분리대의 심각한 열화를 초래하고 있다. 2008년 이병덕의 “겨울철 제설제 살포가 콘크리트 내구성에 미치는 영향” 연구결과에 의하면 제설제의 사용은 콘크리트 구조물의 표면박리, 내구성 저하, 미관상의 문제점 등이 발생되어 유지관리비용의 증가가 예상되고 있다.

표 1. 상주시사의 제설제 살포량 변화

연도	총 강설량	제설제 사용량 (kg/k/m1차로)	비고
2001~2002(모래+염화칼슘)	41cm	염화칼슘(571.48)	2차로 연장 90.2km
2002~2003(습염살포)	65cm	염화칼슘염화나트륨(1161.99)	
2003~2004(습염살포)	45cm	염화칼슘+염화나트륨(1255)	

콘크리트의 열화를 방지하기 위하여 현재 해수와 직접 접촉하는 갑문과 같은 콘크리트 구조물은 코팅을 적용하고 있으나, 중앙 분리대에서는 그림 2와 같이 제설작업에 의해 제설제가 직접적으로 접촉하여 피해가 예상되지만 코팅이 적용되지 않고 있다. 이에 따라 중앙 분리대에 코팅을 적용하여 콘크리트 중앙분리대의 열화방지를 통한 수명을 연장시키고자한다.

현재 많이 사용되는 유기물은 코팅은 화학적, 물리적, 기계적으로 안정한 폴리머인 알킬계, 페놀계, 폴리에스터 에나멜계, 폴리에틸렌계, 에폭시 실리콘계, 에폭시 폴리우레탄계, 복합 아크릴수지계, 타르 등 기지내를 통한 확산 계수가  $10^{-12}$  cm<sup>2</sup>/sec 정도로 차단 수명이 대부분 수년 범위로 지속적인 유지관리가 필요하다((주) 비엔비코리아, 2006).

따라서 본 연구에서는 콘크리트 중앙분리대의 장기적인 열화를 방지하기 위하여 기존 콘크리트 보호용 코

\* 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:mynamedona@naver.com)

\*\* 강릉원주대학교 토목공학과 부교수원·공학박사(E-mail:swl@gwnu.ac.kr)

\*\*\* (주) 비엔비코리아 전무원·공학박사(E-mail:skkim1206@hanmail.net)

팅제의 5배 이상의 성능을 가진 세라믹계열의 코팅제 효과를 검토하고자 동결융해, 표면바리 저항성, 염소이온 침투 저항성 등 환경하중 저항성 시험을 실시하였다.



그림 1. 콘크리트 중앙분리대 표면바리



그림 2. 폭설에 따른 제설제 사용

## 2. 콘크리트의 코팅제

본 연구에서 사용된 중앙분리대 열화방지를 위한 코팅제의 경우 B사의 아토메탈 코팅제를 사용하였다. 아토메탈 코팅제는 표 2와 같이 세라믹계 방식 코팅제로 비스페놀 F형 에폭시수지를 주재료로 사용하고 동결기저온경화성이 우수한 펜알카민(Phenalkamine)을 경화제로 사용한다. 또한 부식 유발 원소에 대한 침투성이 거의 없는 필러를 첨가한 방식으로 복합 코팅층의 차단 수명은 종래의 콘크리트용 코팅제에 비해 2~5배 정도인 10년 내지 15년 정도이다.

그림 3과 같이 세라믹 필러의 첨가 및 코팅면에 대하여 평행하게 배열되는 특성으로 물, 수증기의 확산, 투과를 매우 효과적으로 차단할 수 있으며 코팅의 강도, 내마모성 향상, 경화수축 억제 등 화학적 기능이 우수하다. 현재 사용 가능한 층상 실리케이트 재료의 종횡비는 대부분 6~40 정도의 범위를 가지는 것이 일반적이며(E. Picard et al, *Journal of Membrane Science* 292:133 - 44(2007)), 이들 재료를 코팅층과 평행한 방향으로 균일하게 배열하는 것이 어려운 문제점이 있다. 따라서 아토메탈 코팅 필러재료는 유리 플레이크(glass flake)로 두께가 4내지 6 $\mu\text{m}$ 범위이고, 폭은 50 $\mu\text{m}$ 에서 3.4mm정도로 기존의 코팅제에 비해 종횡비를 증가시킨 필러를 사용하여 그림 4와 같은 미세조직을 갖고 있다.

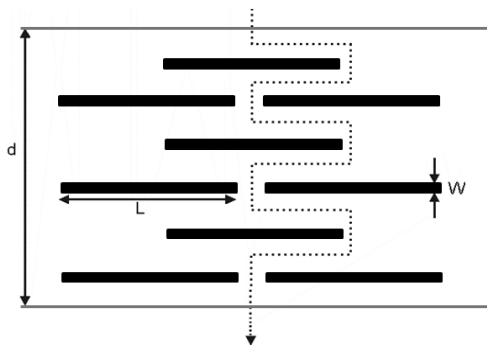


그림 3. 차단 개선 효과 모식도

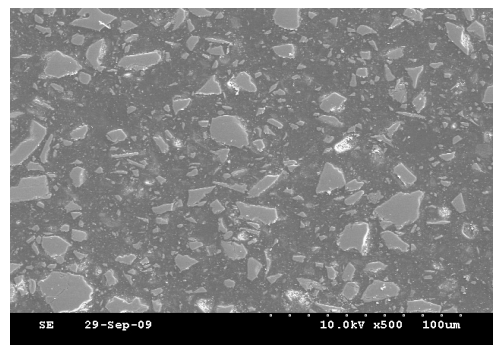


그림 4. 유리 필러를 사용한 미세 조직

아토메탈 코팅제의 코팅 성능 평가 결과 표 2와 같이 콘크리트 보호용 코팅제의 시험(KS F 4936) 및 산소투과성 시험 내용제성 시험(KS A 1027), 촉진내후성 시험(KS M 5000-3231), 수도용 액상에폭시수지도료 도장방법의 음용수 용출시험(KS D 8502) 등 11가지의 시험항목에서 모두 우수한 결과를 나타내고 있다.

표 2. 아토메탈 코팅재의 코팅 성능 평가 ((주) 비엔비코리아)

시험 항목		아토메탈 코팅	
내투수성(ml)		0.12	
투습도(mg/cm <sup>2</sup> · day)		2.3	
중성화깊이(mm)		0.2	
염화물투과성(×10 <sup>-3</sup> mg/cm <sup>2</sup> · day)		0.05	
균열대응성(mm)	20℃	1.2	
	-20℃	0.6	
부착강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	표준양생	37	
	축진내후시험후	34	
	은냉반복시험후	32	
	내알카리성시험후	35	
	내염수성시험후	32	
산소투과성(×10 <sup>-2</sup> mg/cm <sup>2</sup> · day)		3.8	
내용제성(MEK rub/times)		3	
축진내후성	1000 (hrs)	광택보존값 (%)	92
		색상차 (ΔE)	0.68
	2000 (hrs)	광택보존값 (%)	52
		색상차 (ΔE)	0.89
	3000 (hrs)	광택보존값 (%)	34
	색상차 (ΔE)	1.98	
축진오염성	물	물세척성	양호
		문지름성	양호
	용매	물세척성	양호
		물세척성	양호
염수 용출시험		적합	

### 3. 시험계획 및 방법

#### 3.1 시험계획

고속도로에서 사용되고 있는 콘크리트 중앙분리대는 동절기 동해에 따른 내구성 저하 및 제설제와 직접적으로 접촉하여 콘크리트 표면이 열화되어 구조상, 외관상 많은 문제점이 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 중앙분리대의 아토메탈 코팅을 통하여 환경저항성 평가를 수행하였다. 또한 기존에 열화가 진행된 콘크리트 중앙분리대에 코팅을 적용하기 위하여 콘크리트 시험편을 열화 시킨 후 아토메탈 코팅을 통한 내구성 저하 및 표면바리 감소 효과를 확인하였다. 시험체는 비중 3.15인 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 잔골재 비중 2.59, 굵은골재 비중은 2.61로 이루어진 재료로 하여 표 3과 같이 한국도로공사에서 제시된 중분대 표준 배합비를 사용하였다.

표 3. 중앙분리대 배합비 (한국도로공사, 2009)

구분	규격	기준강도 (MPa)	최대 골재치수 (mm)	단 위 재 료 량				슬럼프 (cm)	비 고
				시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	세골재 (kg/m <sup>3</sup> )	조골재 (kg/m <sup>3</sup> )	AE 감수제 (g/m <sup>3</sup> )		
중분대	쇄석	24	25	370 (377)	863 (949)	1001 (1031)	1110 (1132)	0-2	H=1.27m

콘크리트 시험편의 코팅은 콘크리트 표면의 소지를 정리를 한 다음 세라믹 단면 보수재를 건조코팅두께(DFT) 150μm으로 주격으로 도장하여 1일 동안 자연 건조시킨 후에, 세라믹 방식 코팅재를 2회에 걸쳐 75~100μm 두께로 코팅을 실시하였다. 1일 동안 자연건조 시킨 후, 상기 배합에 의해 제조된 상도코팅재를 무코팅, 코팅1회(75μm코팅), 코팅 2회(150μm코팅)의 3가지 Case로 7일간 자연 건조시켜 두께별 시험코팅 성능을 평가하였다.

### 3.2 시험방법

#### 3.2.1 동결융해

동결융해 시험은 공기 중에서 급속 동결하여 수중에서 용해시키는 시험과정인 KS F 2456 (B type)의거하여 공시체 내부의 온도를 2시간 내지 4시간 사이에서 교대로 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고 -18℃에서 4℃로 상승하는 과정을 1사이클로 하여 총 300사이클 동안 동탄성 계수(%) 및 무게 변화를 측정한다. 일반적으로 양생 14일 후 동결융해 시험 전 시편을 포화시키는 과정을 거치게 되는데 본 시험에서는 시험체의 크기는 400mm×100mm×100mm로 제작하여 코팅을 위해 14일 양생 후 약 10일간 코팅을 실시하였으며 무처리 시편도 같은 조건하에 시험을 실시하였다.

#### 3.2.2 표면박리 저항성

제설제에 의한 표면박리저항성의 경우 시험체의 크기 300mm×300mm×100mm로 제작하여 14일의 양생기간을 거친 후 코팅을 실시하였다. 시험은 ASTM E 672에 의거하여 17시간은 -18℃에서 동결, 7시간은 상온에서 용해하는 과정을 1사이클(총 24시간)로 하여 총 50사이클 동안 측정하였다.

#### 3.2.2 염소이온 침투시험

염소이온의 침투 저항성 시험은(KS F 2711) Ø100×200mm 공시체의 가운데 부분을 두께 50±3mm로 커팅하여 코팅 후 용기 속에서 18시간동안 침전하였으며, 제작된 시험셀을 이용하여 시험하였다. 시험용액은 증류수에 0.3N의 수산화 나트륨 수용액 및 3%의 염화칼슘 수용액을 각각 제조하여 전압전원 및 데이터 측정 장치의 수산화 나트륨 수용액은 (+)극, 염화나트륨 수용액은 (-)극에 연결하여 전원을 30V로 일정하게 유지하였다. 측정 그림은 아래와 같으며, 실험은 30분 주기로 하여 총 6시간 동안 온도 및 전류(A)의 변화를 측정하였다.

## 4. 시험 결과

### 4.1 동결융해 시험결과

시험결과 열화 하기전의 중앙분리대 시편의 동탄성 계수는 그림 5와 같이 초기 30사이클에서 상대 동탄성 계수값이 코팅을 실시했을 코팅 1회 코팅시 91.9%, 2회 코팅시, 94.2% 무코팅시 85.5%로 측정되었으며, 300 사이클 동안 시험을 수행한 결과에서는 1회 코팅시 94.3%, 2회 코팅시 96.1% 무코팅시 88.3%로 소폭 상승하였다. 따라서 코팅여부와 관계없이 동결융해의 300사이클 완료시 동탄성계수의 기준값인 60% 이상으로 만족하지만 아토메탈 코팅을 실시함으로 인해 내구성 저하를 2~3% 향상하는 효과가 나타났으며 복합적인 환경 하중 발생시 우수한 내구성을 확보할 것으로 판단된다.

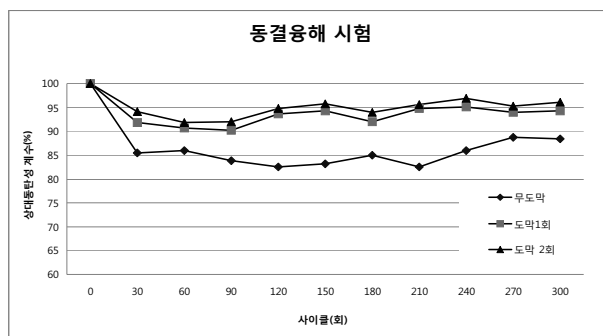


그림 5. 동결융해 시험결과

#### 4.2 제설제 저항성

50사이클 동안 무게 감소 측정 결과 아토메탈 코팅된 시험편의 경우 초기에 유리 플레이크(glass flake)의 사용으로 물의 침투를 방지하여 무게 변화가 크게 발생되지 않았지만 무코팅 시험편의 경우 초기 콘크리트 표면에 물이 흡수되어 무게가 크게 증가함을 볼 수 있다. 코팅 두께에 따른 무게 변화 결과에서 코팅을 2회 실시했을 경우 1회 실시할 경우 보다 시험편의 무게가 30g 정도 증가하는 경향을 보였지만 육안관찰 및 자연건조 후 무게변화량을 확인한 결과 시험편 코팅 안된 부분에서 물이 흡수되어 발생하는 오차로 판단된다. 50사이클이 완료된 시점에서 시험편의 건조 후 무게 변화를 측정한 결과에서도 코팅된 시험편은 2g정도로 미세하게 무게가 증가했으나, 무코팅 시험편의 경우 32.8g의 무게 감소가 나타났다. 육안관찰 결과 그림 6과 같이 제설제로 인한 표면의 박리현상이 없으며, 색의 변화없이 광택을 유지, 내후성 및 오염방지 기능이 우수하였다. 하지만 그림 7과 같이 콘크리트의 표면박리가 발생하였다.

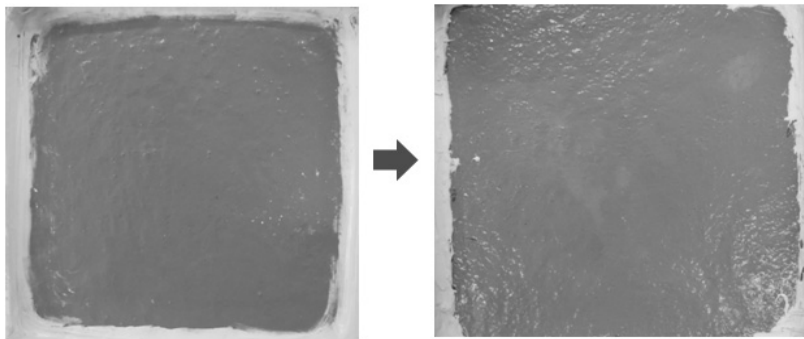


그림 6. 코팅에 따른 표면 상태 변화(50사이클 후)

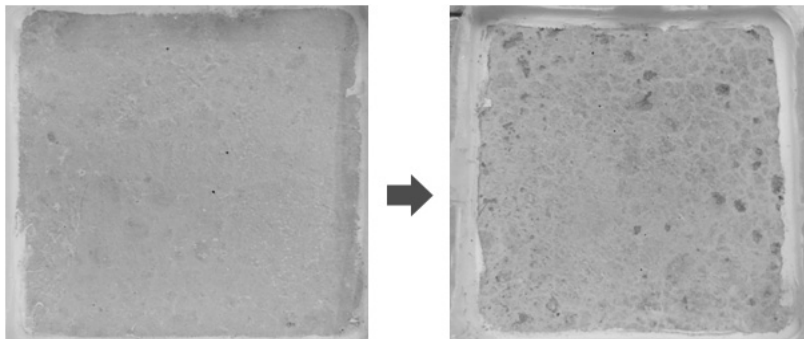


그림 7. 무코팅에 따른 표면 상태 변화(50사이클 후)

#### 4.3 염소이온 침투 저항시험

염소이온 침투에 대한 6시간 경과 후 통과 전하량 변화는 표 4와 같이 같다. 시험결과 무코팅된 시험편의 경우 콘크리트의 염소이온 침투가 발생하는 반면에 아토메탈 코팅을 실시할 경우 두께와 관계없이 염소이온의 침투가 없는 것으로 나타났다. 이는 열화 또는 부식을 유발하는 수분, 산소, 이산화탄소, 할로겐족 원소들은 폴리머 기지내를 통하여 확산이 발생하여 부식 및 열화를 발생시키는데, 아토메탈 코팅은 세라믹 필러가 첨가되어 이 원소들의 확산 경로가 획기적인 증가와 필러가 일정한 방향으로 배향시켜 차단 성능이 개선으로 인해 염화이온에 대한 침투가 없는 것으로 판단된다.



표 4. 시간에 따른 전류 변화

시간 \ 종류		코팅 별 시간에 따른 전류 변화 (C)		
		무 코팅	75 $\mu$ m 코팅	150 $\mu$ m 코팅
		전류	전류	전류
30분 경과		1080	0.00	0.00
1시간 경과		1080	0.00	0.00
2시간 경과		1080	0.00	0.00
3시간 경과		1080	0.00	0.00
4시간 경과		1080	0.00	0.00
5시간 경과		1296	0.00	0.00
6시간 경과		1296	0.00	0.00

### 5. 결론

본 연구는 콘크리트 중앙분리대에 세라믹 코팅을 실시함으로써 동결융해 저항성, 제설제 저항성, 염소이온 침투 저항성 등 환경하중 저항성을 평가하였다. 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 동결융해 시험결과 코팅여부와 관계없이 동결융해의 300사이클 완료시 동탄성계수의 기준값인 60% 이상으로 만족하지만 아도메탈 코팅을 실시할 경우 효과가 뛰어났으며 겨울철 동해에 따른 장기적인 내구성 확보가 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 제설제 사용으로 인한 표면박리 저항성 검토결과 코팅을 실시했을 경우 시험초기에 물의 침투를 차단하여 코팅시 무코팅에 비해 무게 증가가 없었으며, 50사이클이 경과한 시점에서 건조 후 콘크리트 시험편의 무게변화는 코팅시 무게가 감소되지 않은 반면에 무코팅시에는 32.8g의 무게 감소가 발생되었다. 따라서 제설제 표면박리에 따른 콘크리트 열화 방지 및 도로 미관 유지가 가능할 것으로 본다.
- 3) 염소이온침투 시험 결과 무코팅 시 1296C의 전하 통과량을 보이는 반면 아도메탈 코팅을 실시했을 때 염소이온의 침투가 발생되지 않았다.
- 4) 환경하중 저항성 시험결과 아도메탈 코팅을 실시한 경우 제설제의 사용으로 인한 피해 및 동결융해와 같은 피해방지에 효과적일 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

1. 이병덕 외, (2004), “겨울철 제설제 살포가 콘크리트 내구성에 미치는 영향”, 2004년도 콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집
2. 이병덕 외, (2008), “콘크리트 표면보호재 종류에 따른 동결융해 및 중성화 내구특성”, 2008년도 콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집
3. 조서연, (2003) “습염살포 제설작업 소개” 대한토목학회, Vol.51 No.5, pp.16~19
4. (주) 비엔비코리아, “콘크리트 구조물의 표면코팅방법”, KR 10-0920245(2009)
5. E. Picard et al, (2007), *Journal of Membrane Science* 292:133 - 44
6. 국토해양부(2009), 도로공사 표준시방서