

시멘트계 및 유기계 도포재료의 방청성능에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on Performance of Cementitious and Organic Anti-corrosion Coatings

○ 신 도 철 * 이 종 열 ** 박 정 준 * 오 희 갑*** 이 태 규****
Shin, Do Chul Lee, Jong Ryeul Park, Chung Jun Oh, Hee Kap Lee, Tae Gyu

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the mechanical and the anti-corrosion characteristics of cementitious, organic coatings on steel plates. Tests are performed according to KS M 5331, 5250, etc'. For the test, we used water based epoxy, Tar epoxy, the red lead, and cementitious anti-corrosion coatings.

The results of adhesion tests satisfying the requirements in relevant standards. The impact test shown that the impact resistance of cementitious anti-corrosion coating is superior to other anti-corrosion coating. The results of corrosion test, red lead, epoxy, cementitious show good corrosion resistance.

1. 서론

현재 도목, 건축 분야에서의 강재의 방청 처리는 대부분이 용제를 이용한 도료계 대부분을 차지하고 있다. 그러나 환경에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라 유기 용제를 사용하는 기존의 방청 재료는 성능의 우수성에도 불구하고 점차 사용을 규제하는 추세에 있고, 기술 방향도 점차 수용화, 분체화 되고 있다. 이러한 측면에서 유럽을 중심으로 수용성의 무기질계 재료의 사용이 활발히 진행되고 있으며, 최근 국내에서도 시멘트 성분과 수용성 고분자를 복합화한 무기계의 방식 도포재료가 개발되어 소개 되는 단계에 있다. 시멘트계의 무기방식 도포제는 얇은 피막만으로 강재표면의 강알카리성을 유지시켜 표면을 부동태화 시키고, 외부로부터의 수분, 산소, 염소이온등의 침투를 물리적으로 차단함으로써 강재의 부식을 방지하는 것이다. 이때 사용되는 물은 시멘트 성분의 이온수화 물량에 가까운 물만 필요하므로 경화체의 치밀성을 높이고, 고분자 물질과 이차적인 결합을 통해 탄성과 내구성이 높은 피막을 형성하게 된다.

현재 건설분야에서 강재의 부식방지를 위해 주로 사용되고 있는 도료는 주로 광명단, 에폭시, 탈 함유계의 유기도료재료이며, 시멘트계의 무기도포 재료도 많은 관

심을 불러 일으키고 있다. 지금까지 이들 재료에 대한 재료간의 성능을 비교한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 시멘트계 방식 도포재료와 기존의 유기도료간의 기본적인 성능의 차이를 비교한 연구는 없었던 실정이다. 따라서 본 연구에서는 건설현장에서 주로 사용되는 광명단, 수용성 에폭시, 탈에폭시, 시멘트계 방식 도포재를 대상으로 규정된 시험항목을 적용하여 그 성능을 비교함으로써 현장에서의 설계와 활용을 위한 기본적인 자료로 삼고자 한다.

2. 실험개요

2.1 실험방법

본 연구에서는 각 도포재료의 기본적인 기계적 특성과 내부식특성을 평가하기 위하여 KS M 5331 "강선 외관용 유성도료", KS M 5250 "강관 및 철근용 에폭시수지 분체 도료" 규격을 주로 적용하였으며 일부 도료, 도장 시험규격을 보완하여 적용하였다.

2.2 사용재료

각 시험에 사용된 방식용 유기 및 시멘트 무기계의 재료 내역은 표 1과 같다. 사용된 재료는 현재 현장에서 주로 적용되고 있는 광명단, 에폭시, 탈 에폭시와 최근 소개되고 있는 시멘트 무기계의 방식 도포재를 대상으로 실험을 수행하였다.

- * 쌍용 중앙연구소 주임연구원
- ** 쌍용 중앙연구소 수석연구원
- *** 쌍용 중앙연구소 소장, 공박
- **** 쌍용 중앙연구소 선임연구원, 공박

표 1. 방식용 도포재료 내역

재료종류	주요 성분	배합비
시멘트 무기질계 방식도포재 (S 사)	.액상: 수용성 합성고무 라텍스 .분말: 시멘트, 필러, 안정제 등	.분말: 1+ 수지 0.6-0.7 비 (중량)
에폭시 (B 사)	.수용성에폭시-액상에폭시, 변성 포리아민, 안료, 물	.주제: 1+ 경화제 3-4
탈-에폭시 (O 사)	.수용성 탈-에폭시-액상에폭시, 콜탈 변성포리아미드, 안료, 물	.주제: 1+ 경화제 5-6
광명단 혼합페인트 (K 사)	.1종 순광명단분: 96.5% 이상	-

2.3 시험용 시편제작

각 방식 도포재료의 도포방법은 에이스 플레이를 이용하여 도장을 했으며 도포두께는 표2의 두께를 목표로하여 도장하였다. 여기서 도포재 시험편은 KS M 5000의 시험방법 1111에 규정된 철재의 연강판을 사용하였으며, 도포두께는 각 재료 메이커의 지정 두께를 적용하였다.

표 2. 시험재료의 목표 도포두께 (평균)

시험 항목	도포두께 (µm)			
	시멘트계	에폭시	탈에폭시	광명단
부착, 내충격, 내습, 내수, 내약품	400	250	300	200
염수분무시험 -760hr	150 ~ 450	100 ~ 300	100 ~ 300	100 ~ 300

염수분무 시험용 시편은 도장두께에 따른 영향을 보기 위하여 도장반복 회수를 1 ~ 3 회 달리하여 도포두께를 변화시켜 시험하였다. 최종 도포 작업 후 시험편은 7일간 실험실(온도: 20±3℃, 습도: 60±5%)에

서 경화시킨 후 시험을 하였다.

3. 시험결과

3.1 도포도막의 물리적 특성

1) 경재와의 부착성

KS M 5250 규격에 준하여 연강판에 도포된 각 방식재료에 양면이 깎인 칼날로 가로, 세로 각각 6개의 줄을 2 mm 간격으로 25개의 구획을 만들고 그 위에 넓이 15 mm의 셀로판테이프 붙여 급히 떼어낸 후 도막상태를 관찰하였다. 시험결과 전 시편 모두 26개의 구획 중에서 박리현상 없이 양호한 결과를 나타내고 있어 부착성 규격을 만족하는 것으로 나타났다.

표 3. 부착성 시험 후의 관찰결과

구분	시멘트계	에폭시	탈에폭시	광명단
두께 (µm)	412	237	320	186
결과	양호	양호	양호	양호

2) 몰탈과 도포재간의 부착성

본 시험은 건설현장에서 형강, 철근 등의 방식재료 도포후 몰탈, 콘크리트 등의 피복을 고려하여, 방식 도포재와 시멘트와의 부착성에 대한 기초자료를 얻고자 실험하였다. 시험은 압연 강판 (100x600x6 mm)에 각 방식재료를 도포한 후 7일간 경화시켰다. 경화된 방식 도포재 표면에 1종 시멘트 1, KS 표준사 2.45, 물/시멘트비 48.5% 배합비로 제조된 몰탈을 그림 1과 같이 접착시킨후, 7,28일간 실험실에서 양생시킨 후 건연식 인장 부착시험기로 도포재와 피복몰탈간의 부착력을 측정하였다.

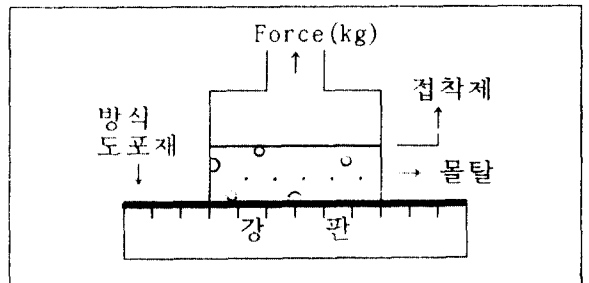


그림 1. 부착강도 측정 모식도

부착강도 측정결과는 표 4에 나타내었다.

표 4. 방식도포재와 몰탈간의 부착강도

도포재 종류	인장 부착강도 (kg/cm ²)	
	7 일	28 일
시멘트계	9.2 ~ 10.3	12.6 ~ 13.8
에폭시	1.5 ~ 3.4	1.2 ~ 2.6
탈에폭시	측불(박리)	측불(박리)
광명단	1.2 ~ 1.8	측불(박리)

시험결과 유기계 도포재는 몰탈과의 접착이 매우 불량하거나 접착이 안되고 있으며, 특히 광명단은 시멘트와 같은 알칼리 성분에도 장층이 용해되어 손실됨으로서 28일 경과 후에는 몰탈과 박리되는 현상을 나타냈다. 그러나 시멘트계 도포재는 양호한 부착성을 보여주며 재령경과에 따라서 부착성이 증가되는 현상을 보이고 있다. 시멘트계 도포재는 피복되는 몰탈과 동질의 재료특성으로 인해 접착면에서 일부 반응이 일어남과 아울러 양 재료의 수축이 유사함에 기인되는 것으로 사료된다.

3) 내충격성

"KS M 5326"의 추낙하식 충격시험 방법에 따라 시험을 하였으며 추(강구)의 무게는 1000g, 추의 낙하높이는 1000 mm로 하였다. 표 2의 두께로 연강판 (150x100x1.6 mm)에 도포된 시험편을 도포면이 위로 되게 고정한 후 강구를 자유낙하시켜 도막의 손상여부를 조사하였다.

표 5. 1000 g x 1000 mm 충격시험 결과

종 류	두께 (μm)	도 막 상 태
시멘트계	378	도막손상 없음 도막 눌림현상
에폭시	264	도막 일부파손 (σ: 2 mm), 눌림 현상없이 충격부위 깨짐
탈에폭시	320	도막 일부파손 (σ: 4 mm), 충격부위 밀림 현상에 의한 찢김
광명단	170	도막손상 없음 일부 밀림현상

내 충격시험 결과 에폭시계는 충격부위에서 깨지는 형태의 손상을 나타내고 있어 취성이 큰 특성을 보여주고 있다. 시멘트계는 합성고무 성분의 라텍스와 결합된 특성으로 인해 도막의 탄성과 유연성이 높아 충격부위에서 도막의 눌림현상 외에는 손상되는 현상이 나타나지 않았다. 광명단도 손상없이 양호한 특성을 나타냈다.

3.2 내 부식성 시험

1) 내 약품성

3 mol의 CaCl₂, NaOH 용액과 1% H₂SO₄ 용액에 45일간 침지 한 후 도막의 손상여부를 관찰 하였다.

표 6. 도포재 종류에 따른 내약품 특성

도포재 종류	두께 (μm)	시 험 구 분		
		3 mol CaCl ₂	3 mol NaOH	1 % H ₂ SO ₄
시멘트계	414	양호	양호	시멘트 분소실
에폭시	258	양호	양호	일부부풀음
탈에폭시	289	양호	수포 발생	부풀음, 박리
광명단	226	양호	용해, 소실	변색

3 mol CaCl₂ 45일 침지 결과 도막상태는 모두 양호하였다. 알칼리 용액에서는 광명단이 용해되어 도막이 대부분 소실되었으며 바탕의 강판이 노출되었다. 탈에폭시 도료는 도막의 일부가 부푸는 현상(blistering)과 도막층의 박리가 관찰되었다. 그러나 에폭시와 시멘트계 도포재는 양호한 상태를 유지하고 있다.

1% 황산용액에 침지한 결과 탈 에폭시계가 도막의 손상이 크게 나타나 도막의 전면적인 박리와 박리층이 부스러지는 현상을 관찰할 수 있었다. 에폭시는 도막층 일부분의 박리, 부풀음 현상과 박리부분에서 도막의 파손이 나타났다. 시멘트계는 도막의 부풀음, 박리는 없으나 도막표층부에서 시멘트 성분만이 용해, 소실되고 라텍스 성분의 도막으로 존재하고 있다. 광명단은 안료의 용출현상으로 색상이 탈색된 것을 제외하고는 양호한 상태를 보여 주었다.

2) 내습, 내수성

온도 45 ± 2 °C, 습도 95% 이상 유지되는 습기함과 온도 20 ± 2 °C 의 수중에 100일간 침지 시킨 후 도막의 외관을 관찰하였다. 표 7의 결과에서와 같이

표 7. 내습성, 내수성 시험결과

도포재 종류	두께 (μm)	시 험 구 분	
		내 습 성 (100일)	내 수 성 (100 일)
시멘트계	430	양호 (수포, 박리, 발청 없음)	양호 (수포, 박리, 발청 없음)
에폭시	278	수포발생, 발청, 박리 없음	양호
탈에폭시	321	수포발생, 일부 발청, 박리	수포발생, 발청, 박리 없음
광명단	190	양호	양호

내습, 내수성에서는 시멘트, 광명단이 양호하였으며 에폭시 도포재는 발청, 박리현상은 없으나 수포현상이 일부 관찰되었다 그러나 탈 에폭시는 에폭시 보다 수포현상이 다량 발생되었으며 일부 발청현상도 나타났다.

3) 염수분무시험

시험용 염용액은 NaCl 5% 용액을 사용하였으며, 시험장치는 KS D 9502의 "Neutral salt water spray chamber" 를 이용하여 시험하였다. 시험시의 염용액 온도는 35 ± 2 °C, 압착공기는 1.2 kg/cm^2 으로 유지되게 하였다. 시험조건은 각 방청 도포재료의 도장두께 (도장횟수)를 표 8과 같이 하여 시편을 제조하였다.

염수분무 시험용 시편은 각 3개씩 만들어 시험을 한 후 부식면적을 구해 평균치로 구하였다. 부식면적 측정방법은 그림 2에서와 같이 시험이 종료된 직후 투명한 비닐을 시험편에 부착시켜 이 비닐에 발청된 부분을 그려 아래식에 따라 부식면적을 측정하였다.

$$\text{부식면적율} = \frac{\text{부식면적 결점수 (n)}}{\text{측정면적 결점수 (N)}} \times 100$$

표 8. 염수분무 시험용 도포재 도장조건

시 험 구 분	도 포 재 종 류			
	시멘트계	에폭시	탈에폭시	광명단
1회 목표 도장 두께 (μm)	150	100	100	100
도장횟수	1 ~ 3 회			

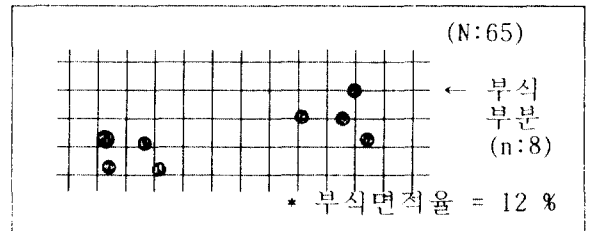


그림 2. 부식면적율 측정방법

760 시간 동안 염수분무 시험 후의 각 도포재료별, 도장두께(도장횟수)별 부식면적율 측정결과는 표 9와 같다.

표 9. 부식면적율 측정결과

도 포 재 료	도장횟수 (회)	도장두께 (μm)	부식 면적율 (%)
시멘트계	1	162	14.3
	2	340	2.5
	3	480	0.0
에폭시	1	81	11.7
	2	218	1.5
	3	330	0.0
탈에폭시	1	80	12.8
	2	228	3.0
	3	293	0.0
광명단	1	75	9.2
	2	170	0.0
	3	266	0.0

각 도포재료 간에 따라서는 광명단이 다소 양호한 경향이며 에폭시, 탈 에폭시, 시멘트계간의 성능은 유사하게 나타나고 있다. 그러나 각 시험재료를 지정두께로 도포할 경우 방청능력이 동등한 수준으로 양호한 결과를 보여주고 있다. 특히 방식도포재료의 방청성능 확보를 위해서는

지정두께의 확보와 반복도장을 통해 1차 도포층에서 생길수 있는 미세한 핀홀, 결합부분의 회복이 필요하다. 시멘트 무기계 방식도포재는 타 도포재에 비해 재료 특성상 후(厚)도장 특성을 가지고 있어 동일 도포두께에서의 방청성능 비교가 곤란 하였다.

4. 결론

현재 현장에서 주로 사용되고 있는 수용성 에폭시, 수용성 탈 에폭시, 광명단 (1종) 과 시멘트 무기질계의 방식도포재를 대상으로 하여 규격에 규정된 여러가지 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 방식도포재와 강제와의 부착성은 모두 관련 규격에 만족하는 것으로 나타났으며, 각 도포재와 도포재에 피복한 시멘트-물 탈과의 부착성은 시멘트 무기계를 제외하고는 불량한 것으로 나타났다.

2) 내충격성 시험에서 에폭시계는 충격부위에서 국부적인 취성과파괴가 나타났으며 광명단은 도막의 손상없이 양호하였다. 시멘트계는 충격부위가 눌리는 현상이 관찰되었으나 도막의 손상은 없었으며, 이는 함유된 합성고무 리텍스에의해 유연성과 탄성이 큰 도막특성을 나타냄에 따라 취성과파괴가 일어나지 않았다고 사료된다.

3) 내약품성, 내습, 내수성 실험에서는 도포재료에 따라 성능의 차이를 나타내었다. 3 mol 의 염화칼슘 용액에서는 대부분 양호하였으나, 3 mol 의 수산화나트륨 용액에서는 광명단이, 1% 황산용액에서는 탈 에폭시가 취약한 것으로 나타났다. 내습, 내수성에서는 에폭시계 도포재에서 $\phi 1 \sim 2$ mm 크기의 수포가 발생되었으며, 발청, 박리 현상은 나타나지 않았다.

4) 염수분무시험 결과 시험재료를 지정두께로 도장 할 경우 대부분 동등한 방청성능을 발휘하고 있으나, 1회 도장으로 지정 두께 보다 얇게으로 도포할 경우 부식발생이 크게 증가되는 것으로 나타나고 있어 방청성능의 확보를 위해서는 적정도막 두께의 확보와 반복 도장이 필요함을 알 수 있었다.

5) 지금까지 기본적인 방식용 도포재의 성능평가 외에도 바탕면 조건에 따른 방식 성능, 도포재 자체의 기계적인 특성 (인장, 휘, 내마모, 경도) 등에 대한 성능평가가 보완 될 필요가 있으며 앞으로 이에 대한 연구가 지속적으로 진행될 예정이다.

참고문헌

- 1) 대한건축학회, "철근콘크리트의 내구성 향상에 관한 심포지움" 1995.5, pp155~166.
- 2) 최완철, 홍기섭 외, "부식전위 측정법에 의한 에폭시 도막 철근의 내부식 성능평가" 대한건축학회 논문집 제11권4호 통권 78호, 1995.4
- 3) 최완철, 김채훈 외, "에폭시 도막철근의 성능시험 연구" 한국 콘크리트학회 논문집 제6권1호, 1994.5
- 4) 오병환, "에폭시 도막철근의 콘크리트 시방지침" 사단법인 한국콘크리트 학회, 1994, pp.122~185
- 5) KS M 5250 "강관 및 철근용 에폭시 수지 분체도료"
- 6) KS M 5331 "강선의관용 유성도료"
- 7) 岸谷孝 · 外, 鹽害(1), 技報堂 出版, 1987.