

콘크리트 구조물의 표층부 내구성 증진을 위한 세라믹 메탈계 방수·방식재 도료의 성능 평가 연구

Performance Appraisal of the Ceramic Metal Resin Paints for Waterproof and Anti-Corrosion to Improve the Property of Concrete Structure

전 병 훈*
Jun, Byung-Hun

김 진 성**
Kim, Jin-Sung

강 효 진***
Kang, Hyo-Jin

오 상 근****
Oh, Sang-Keun

Abstract

The ceramic metal resin paints for waterproof and anti corrosion is not long history in development of materials even many actual result. So far, no standard have been given to construction and maintenance method, quality and property, it is real state that cannot afford to proper quality control in job site or production.

This study has been test for the ceramic metal resin paints for water and anti corrosion, as the result, it have proper performance of job site and mechanical performance of compare to other existing. In particular, tensile strength indicates more high about 14.1N/mm² than epoxy resin paints, and in elongation per unit length is more high.

It is shows having better adhesive strength than epoxy resin paint for crack on the concrete structure.

Moreover, The ceramic metal paint for water and corrosion proofing have to have main performance is watertightness and resistance for external impact, chloride ion permeation, drinkable water elution.

키 워 드 : 세라믹메탈계, 방수방식도료, 균열보수

Keywords : Ceramic Metal, Waterproof Paint and Anti-Corrosion, Crack Repair

1. 서 론

최근 우리나라가 국가적인 산업 경기의 회복을 목적으로 건설 산업 분야 경기부양 및 대외적 국가 경제의 홍보와 신뢰성 확보를 위하여 다양한 건설구조물의 구축에 많은 예산을 사용하고 있다. 특히 국내외적으로 건설구조물은 대형화되고 기념비적으로 축조되고 있으나, 이러한 양적 증대와 더불어 공사기간의 단축에 의한 시공 및 품질관리의 부족, 사용과정에서의 유지관리 소홀로 인한 노후화 및 하자(Claim) 발생이 증가하고 있어 오히려 사회 문제로까지 인식되고 있다.

특히, 누수가 가장 많은 하자의 원인으로서 대부분의 경우가 건설 구조물의 균열을 통해 발생함에 따라 균열과 누수는 밀접한 관계를 이루고 있다. 이에 건설 구조물의 안전성, 사용성, 유지관리성의 향상을 위해 건설 구조물의 방수방식에 관한 연구가 다양한 각도로 활발히 진행되어 가고 있다. 현재 강판교량, 수문 갑판, 콘크리트 수조구조물의 방수방식 성능을 강화하기 위해 사용되고 있는 도료에는 크게 에폭시 수

지와 세라믹 메탈계 수지가 있다. 에폭시 수지인 경우는 현재까지 사용되어온 소재로서 이미 KS F 4921, F 9001, D 8502 등에서 재료적 성능과 시공 방법, 품질관리 기준 등을 구체적으로 규정하고, 제품 사용의 안전성 및 일반화를 도모하고 있다. 그러나 개발되지 얼마되지 않은 세라믹 메탈계 방수방식 도료는 사용 실적이 많음에도 불구하고 아직 품질 및 성능 기준, 시공 및 유지관리 방법 등에 대해 규격화 되어 있지 않아 생산 및 현장 사용에 있어서 적절한 품질관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 건설 구조물에 사용되는 세라믹 메탈계 방수방식 도료를 성능평가하여 현장 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 부식에 의한 세라믹 메탈계 도료 방수방식

2.1 강재와 콘크리트의 부식원리

1) 강재의 부식

일반적으로 강재의 부식은 강재 제품 자체의 불균질성과 외부 환경의 불균질성에 의해 철이 이온화하여 녹이 발생하게 되는데, 특히 철근 콘크리트내의 철근 부식의 경우에는 콘

* 서울산업대학교 산업대학원 건축설계학과 석사과정

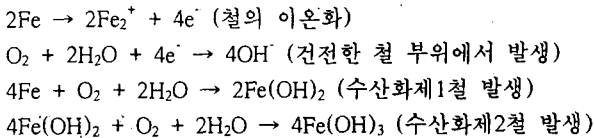
** 서울산업대학교 주택대학원 생산공학과 석사과정

*** 서울산업대학교 주택대학원 생산공학과 석사과정

**** 서울산업대학교 건설대학, 교수

크리트의 균열 부위를 통한 염소이온(Cl-)의 침입과 콘크리트 중의 각종 결합이나 수밀성의 차이, 염분과 알칼리 농도의 차이 등의 불균일성에 의한 염소이온(Cl-)의 확산으로 철근 표면의 부동태 피막이 파괴되고, 강재 표면의 화학적 불균일성 때문에 그림 1에서와 같이 부식이 발생한다.

즉, 강재의 부식은 다음과 같은 과정을 거치면서 진행된다.



계속해서 이 화합물은 수분을 잃고 수산화제2철(붉은 녹)이 되면 일부는 산화가 불충분한 채로 Fe₃O₄(검은 녹)가 되어 녹의 층을 형성한다.

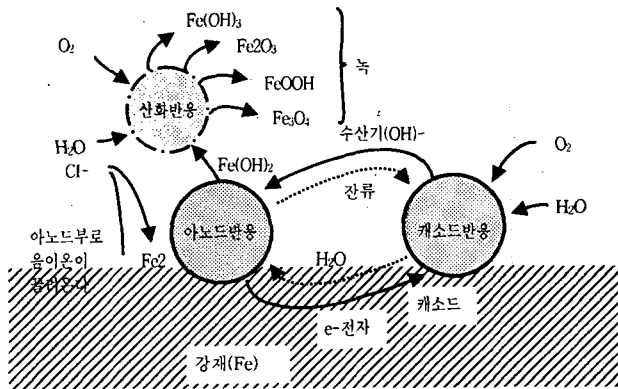
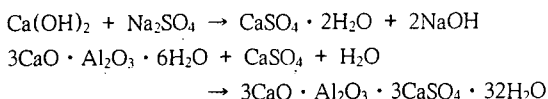


그림 1. 강재의 부식과정

2) 콘크리트의 부식(침식)

외부의 충격이나 재료상의 문제점(해사의 사용, 반응성 골재의 사용 등), 건조 수축에 의해 콘크리트 내·외부에 균열이 발생하게 되면, 균열부위를 통하여 누수 현상이 발생하게 되어 동결융해를 심화시켜 기존에 발생한 균열폭의 증대와 함께 콘크리트 내부의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)의 용출로 인한 설계기준강도의 저하 유발과 화학 오염수로 인한 콘크리트 내·외부의 화학적 침식 등으로 심각한 구조적인 문제점을 야기시키게 된다. 콘크리트의 화학적 침식 과정은 다음과 같다.

- (1) 황산, 염산 등의 강한 무기산은 시멘트 수화물을 분해시켜 콘크리트를 현저하게 침식시킨다. 초산 기타 유기산의 분해작용은 무기산에 비하여 약하다.
- (2) 황산염은 다음의 화학반응식에 나타낸 바와 같이 시멘트의 수화에 의해 발생한 수산화칼슘과 반응하여 황산칼슘(석고)를 생성하여 체적을 증대시키고 더욱이 이 석고는 시멘트 중의 C₃A와 반응하여 칼슘페알루미네이트(3CaO · Al₂O₃ · 3CaSO₄ · 32H₂O)를 생성하여 현저한 체적팽창에 의하여 콘크리트를 붕괴시킨다.



- (3) 해수중의 황산마그네슘은 시멘트의 수화생성물과 반응하여 석고와 Mg(OH)₂를 발생하여 체적팽창을 일으킨다. 더욱이 석고의 일부는 시멘트 중의 C₃A와 반응하여 에트리팅 가이트를 생성하여 큰 체적팽창을 일으킨다. 또한 해수중의 염화마그네슘은 시멘트중의 칼슘과 반응하여 수용성의 염화칼슘을 발생하여 조직을 다공질로 한다. 더욱이 염분 침투는 철근부식을 촉진한다.
- (4) 해수위 부근의 콘크리트는 상기의 해수에 의한 화학작용 외에 동결융해, 건습의 반복 및 파도에 의한 마모 등을 받아 손상이 심하다.

2.2 세라믹 메탈계 도료의 방수방식 원리

1) 세라믹 메탈계 도료의 필수 구성 요소

세라믹 메탈계 방수·방식 도료는 금속분말+세라믹 분말+폴리머(Polymer)로 구성되어 있다. 특히 금속분말로는 텅스텐과 몰리브덴이 주로 사용되고 있으며, 325MASH의 순도 99.99%의 미세분말이면서 고융점 금속이어야 제조과정 중에서도 이들 분말간 소결(Sintering)이 발생하지 않아 폴리머의 장점인 유동성과 접착성을 최대한 발휘할 수 있다. 또한 물이 있는 환경, 습윤 및 수중에서도 피도체와 접촉, 경화가 잘 이루어 지도록 친수성기와 소수성기를 보유한 계면활성제를 함유하여야 한다.

2) 세라믹 메탈계 도료의 물성

본 시험에 사용된 세라믹 메탈계 방수·방식 도료의 기본적인 물성은 표 1과 같다.

표 1. 제품의 물성

항 목	결 과 치
부착강도	1.5N/mm ² 이상
내수압	6.4N/mm ² 이상
오존시험	10ppm, 40℃, 48시간, 이상없음
내열시험	-20℃~80℃ 168시간 이상없음
사용가능시간(Pot Life)	60분(주제+경화제 혼합 후)
재도장간격	4~48시간
경화시간	20℃에서 8시간 이내

3) 세라믹 메탈계 도료의 방수·방식 원리

세라믹 메탈계 방수·방식 도료의 방수·방식 원리는 무기질 소재의 세라믹과 금속성 소재 및 폴리머로 구성되는 주제와 경화제가 서로 결합하여 물질 자체의 자생발열로 분자 결합하여 치밀한 도막을 형성함으로써 수분이나 산소 등의 부식을 발생시키는 주변 요소들이 직접 강재 또는 콘크리트와 접촉할 수 없도록 하여 고압투수 및 수질 환경에 대하여 높은 방수성 및 방식성을 갖게 되는 것이다.

3. 세라믹 메탈계 방수·방식도료의 성능 평가

표 2의 성능시험 항목에 따라 시험·평가함으로써 세라믹

메탈계의 재료적 특성과 성능을 검토하여 향후 건설 구조물에서의 폭넓은 적용과 그 사용 가능성 등을 평가한다.

표 2. 성능시험 항목

시험항목	시험방법	관련규격
1.도료 작업성	KS F 4921 6.1.4 C)에 준하여 붓칠 도포 또는 주걱바름	KS F 4921
2.인장성능	열화처리(알카리, 산, 수중침적)한 시험체와 열화처리하지 않은 시험체(표준)과의 인장강도 및 신장률 비교	KS F 2241 KS F 3211
3.인열성능	시험체 : KS M 6518 B형	KS M 6518
4.내충격성	0.5, 1.0, 1.5, 2.0m에서 측정	JIS A 5304
5.투수성	∅10×3cm 원형공시체에 0.3N/mm ² 수압을 1시간 가한 후 측정(OUT-PUT)	KS F 2451 KS F 4919
6.저온고온반복성	KS F 4921 6.2.5 e) 시험방법에 준함	KS F 4921
7.부착성능	밀판의 종류 : 콘크리트와 철판 바탕조건 : 표준과 습윤상태	KS F 4921
8.음용수 용출성	KS F 4921 6.2.5 f)에 준하여 10개 항목에서의 안정성 평가	KS F 4921
9.염소분무시험	시험체 밀판(철판, 60×80×1mm)	KS D 9502
10.내마모성	KS F 2812 낙사법 마모량(4kg씩 2회)	KS F 2812
11.장기 노출 및 열화처리후의 성능 검토	각 시험항목의 장기(동일 시험 조건에서 1년), 노출(외부 노출 환경하에서 1년)에서 시험체의 변색상태 및 인장 성능 검토	KS F 2456

3.1 도료 작업성 및 인장성능

콘크리트 밀판에 세라믹 메탈계 방수·방식 도료를 사진 1 과 같이 붓칠 도포한 결과, 적절한 점성을 유지하고 있어 구조물의 조건에 따라 사용재료의 배합비 및 시공 기준을 현장에서 정확히 준수하면 시공 상에 문제점이 없을 것으로 판단 된다.

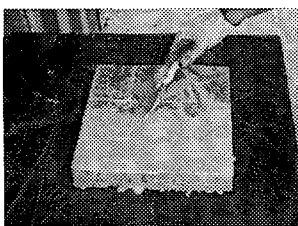


사진 1. 도료 작업성 시험

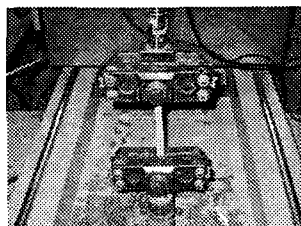


사진 2. 인장 시험(표준)

사진 2의 인장시험결과, 다음 그림2에 결과에 의해 균열에 대한 추종성이 에폭시 수지 방수·방식 도료보다 우수하다고 판단된다.

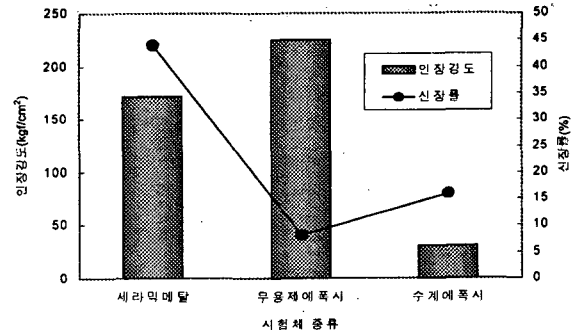


그림 2. 인장강도 시험결과

3.2 열화 처리후의 인장성능

인장강도는 산에 의한 열화가 무처리 시험체의 54%로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 알카리와 수중침적에 의한 열화의 정도는 각각 67%, 69%로 유사한 것으로 나타났다.

신장률은 인장강도 저하에 따른 신장률의 상승으로 모든 경우에 있어서 무처리 시험체보다 높은 것으로 나타났다.

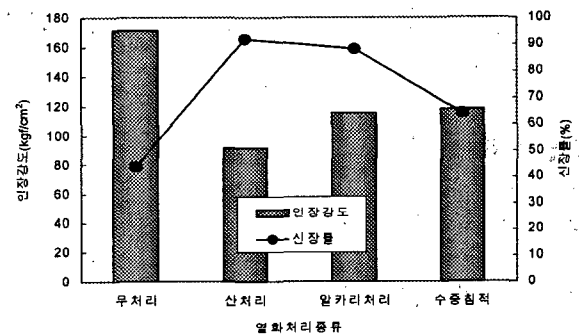


그림 3. 열화처리후 인장성능 시험결과

3.3 인열강도, 내충격성, 투수시험

인열강도는 약 15.5N/mm² 전후의 성능으로 나타나고 있으며, 사진 3의 내충격성 시험은 낙하높이 2.0M에서 약간 함몰하는 것으로 나타나 충격저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 방수·방식층 작업시 중량이 있는 공구, 기구 등을 떨어뜨려도 크게 손상을 받지 않는 성능을 가지고 있다.

사진 4의 투수시험결과, 0.3N/mm²의 수압에서도 투수되지 않은 것으로 나타나, 고수압에서도 투수 안정성이 있다.

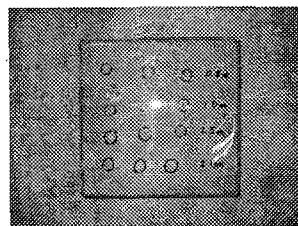


사진 3. 내충격성 시험 결과

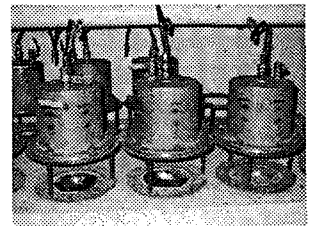


사진 4. 투수시험(OUT-PUT)

3.4 저온고온 반복 저항성, 부착강도, 음용수 용출성 시험

저온·고온 반복 시험결과, 모든 시험체에 균열·벗겨짐이 없는 것으로 나타나 저온고온 범위의 반복 영향에 대한 안정성을 가지고 있다.

사진 5의 부착강도 시험결과, 모르타르 바탕에서 표준, 흡수상태의 부착강도가 각각 3.5N/mm², 3.3N/mm²로 나타나 KS F 4921의 에폭시 수지계 방수방식 도료의 부착강도 기준치인 1.53, 1.22N/mm²보다 상대적으로 높게 나타났다. 시험체 바탕이 철판인 경우에는 모든 경우에서 에폭시 본드 계면에서 탈락하는 것으로 나타났다.

사진 6의 음용수 용출성 시험은 총 10개 항목의 기준치를 만족하는 것으로 나타나 향후, 상수도 구조물의 세라믹 메탈계 방수방식 도료의 확대 적용상, 음용수 용출의 문제점이 없을 것으로 사료된다.

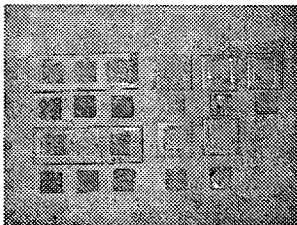


사진 5. 부착 강도 시험 결과

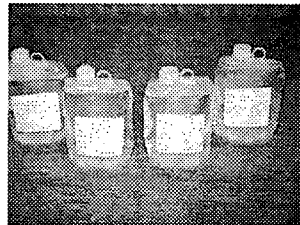


사진 6. 음용수 용출 시료수

3.5 염소 분무, 내마모성

염소분무의 경우, 사진 7과 같이 300시간 염용액을 분무하였으나 녹이나 부풀음이 없는 것으로 나타났다. 이는 향후 세라믹 메탈계 방수방식도료의 건설 구조물의 적용시 내식에 대한 충분한 저항성을 보유할 것으로 사료된다.

내마모성 시험에서는 사진 8과 같이 총 5개의 시험체 중, 2개의 시험체에서만 0.002, 0.009g 마모가 되어 외부 마찰 등에 의한 마모 저항성이 우수하다.

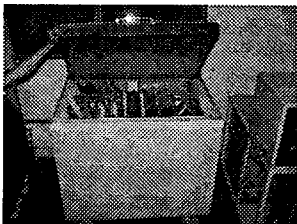


사진 7. 염수 분무 시험기

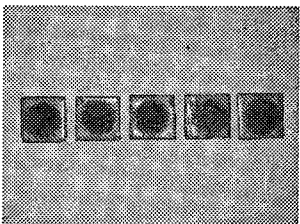


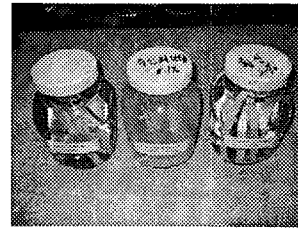
사진 8. 낙사 마모 시험기

3.6 장기 노출 및 장기 침지 후 성능

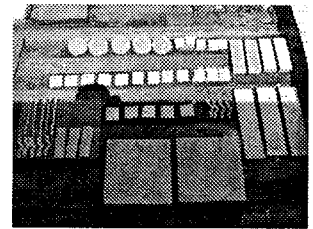
변색상태는 사진 9와 같이 시공 직후의 시험체와 옥외에 1년동안 노출 폭로시킨 시험체의 표면상태를 비교진행하였다. 장기 외부환경에 노출된 시험체의 경우, 바탕표면의 변색이 심한 것으로 나타났으나, 장기 침지한 시험체(산, 알카리, 수중 침적한 시험체)의 경우에는 시공 직후의 시험체에 비교해서 색의 변화는 없는 것으로 나타났다.

인장성능(무처리시험체 100% 기준)은 그림 4와 같이 장기 노출(1년 옥외 노출)시킨 시험체의 경우에만 인장강도비(백분율)가 154%로 증가하는 것으로 나타났고, 1년간 장기 침지

시킨 시험체인 경우에는 산처리 27%, 알카리처리 64%, 수중 침적 60%로 인장강도가 무처리 시험체에 비해 저하하는 것으로 나타났다. 산처리 시험체의 경우에만 인장강도비가 66%로 무처리 시험체에 비해 저하하는 것으로 나타났고, 장기 노출, 알카리 처리, 수중침적 시킨 시험체인 경우에는 각각 118%, 223%, 255%로 나타나 무처리 시험체에 비해 증가하는 것으로 나타났다.



(a) 장기



(b) 노출

사진 9. 변색 상태 시험 (장기 및 노출 시험)

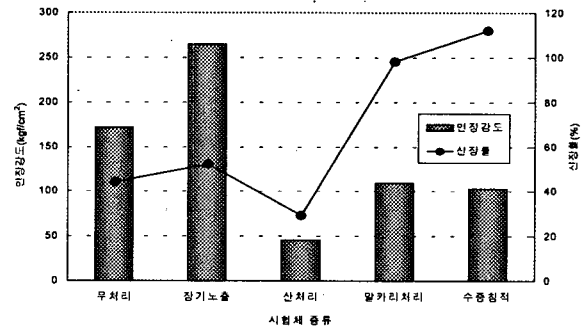


그림 4. 열화처리후 인장성능 시험결과

4. 결 론

- 1) 세라믹 메탈계 방수방식 도료의 성능 평가 결과, 세라믹 메탈계 방수방식 도료는 적절한 시공성을 보유하고 있으며, 현재 방수방식재로 주로 사용하고 있는 에폭시 수지와 기계적 성능 측면에서 비교하였을 경우에도 뒤처지지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 인장강도 측면에서는 동일한 수계의 에폭시 수지 방수방식 도료보다는 14.1N/mm² 정도 높게 나타났으며, 신장률 측면에서도 세라믹 메탈계 방수방식 도료가 무용제계, 수계 에폭시 수지보다 상대적으로 높은 것으로 나타나 바탕 콘크리트에 균열이 발생하였을 경우에 균열에 대한 추종성이 에폭시 수지 방수방식 도료보다 우수하다고 판단되며, 부착강도 측면에서도 에폭시 수지 방수방식 도료보다 우수한 부착강도를 보유하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 세라믹 메탈계 방수방식 도료는 방수방식재가 갖추어야 할 주요 성능인 수밀성과 외부 충격 및 염소 이온 투과성, 염수 분무 시험에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타나 향후 방수방식재로서의 다양한 적용이 기대되며, 음용수 용출성 시

험결과도 만족한 것으로 나타나 상수도 구조물의 세라믹 메탈제 방수·방식 도료의 확대 적용시 문제가 없을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 오상근, 콘크리트 방수의 현황과 대책, 콘크리트학회지, 제6권 2호, 1994.4
2. 지하구조물 방수설계 및 누수보수건설신기술 보고자료, 서울산업대학교 방수기술연구센터, 2003
3. 吳祥根, ケイ酸質微粉末混合 セメント系塗布防水材料の濕潤環境下のコンクリートおよびモルタルにする水密性改善効果に関する研究, 1992
4. 日本建築學會：建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鐵筋 コンクリート工事, 1986. 11