

# 나노금속산화물졸과 복합실란의 합성을 통해 제조한 세라믹 코팅제에 의한 강구조물 보수도장공법 (세라수 침투공법)

The Steel Structure Maintenance System to Coating by Composite Nano-Metal Oxide Sol and Combined Silane Monomer



김성수 Seong-Soo, Kim  
대진대학교 건설시스템공학과 교수  
E-mail : sskim@daejin.ac.kr



이정배 Jeong-Bae, Lee  
(주)GFC R&D 대표이사  
E-mail : dlwjdqo@lycos.co.kr

## 1. 기술의 범위 및 내용

### 1.1 기술의 개요

본 신기술은 강구조물의 손상된 도장막을 복구하는 보수도장공법으로 부착력의 저하 및 구도막의 종류에 따르는 호환성 문제를 해결하기 위하여 개발된 세라믹 코팅제를 부식이 발생된 부위에 도장하여 강구조물의 사용수명을 증진시키는 신기술 공법이다.

### 1.2 기술의 내용

강구조물 등의 표면을 보호하고 내구성을 향상시키기 위한 도장 공법으로 부착력 저하 및 다양한 구도막 종류에 따르는 호환성 문제를 해결하기 위하여 첫째, 나노사이즈의 금속산화물졸의 합성기술을 응용하여 우수한 표면침투력을 강화하였고 둘째, 복합실란 합성기술을 응용하여 다양한 금속 기재와 기존 구도막과의 호환성을 확보한 기술이다. 세라믹 코팅제의 주성분이 세라믹( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )으로 구성되어 친환경적이며 불연성 및 내약품성이 뛰어나고 강구조물을 비롯한 비철금속 소재에도 적용 가능하며 구조물의 내구연환을 증진시켜 구조물의 유지관리비용을 효과적으로 절감할 수 있다.

## 2. 기술개발의 배경 및 목표

### 2.1 도장공법의 필요성

건설시장에서 사용되고 있는 재료 중 강재는 콘크리트와 더불어 가장 많이 사용되고 있으며, 사용의 편리성 등 여러 가지 측면에서 유용한 건설자재로 인식되고 있다. 강재를 사용한 대표적인 토목구조물에는 강교량이 있으며 그 밖에 사용 목적에 따라 다양한 형태의 구조물에 적용되어 국가의 기반시설물로서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 이러한 강구조물은 대부분 시공 시점부터 물리적, 화학적으로 열악한 환경조건에 노출되며 이러한 환경은 점차적으로 강구조물의 성능을 저하시키게 된다. 또한, 강재는 공기 중의 산소와 수분에 의해서 쉽게 부식되는 특성을 가지고 있어 강재의 부식에 의한 재료적 성능 저하는 이를 사용하는 구조물의 내용연수를 급격하게 저하시키고 구조물의 안전성에 부정적인 영향을 미치게 됨으로써 이에 따르는 막대한 경제적인 손실이 발생된다.

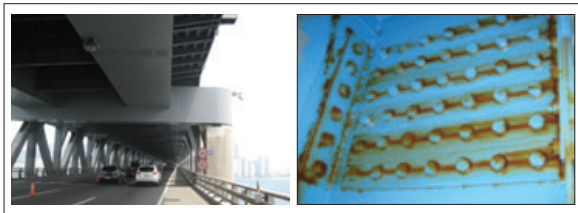


그림 1. 해양환경의 강구조물 부식



그림 2. 내륙지역의 강구조물 부식

### 2.2 기존 도장공법의 문제점

구조물의 부식방지를 위해 기존에 주로 사용되고 있는

방법은 도료를 표면에 코팅하여 외부로부터 침투하는 수분, 공기 및 유해인자(염분, 아황산가스 등)를 차단하여 부식을 방지하는 방법으로 도장으로 불린다. 도장은 시행 초기에는 부식을 차단하는 기능을 수행하지만 도막의 내구성능이 구조물의 수명보다 짧기 때문에 구조물의 부식을 방지하기 위해서는 구조물의 공용기간이 끝날 때까지 지속적인 유지보수 작업이 필수적으로 이루어져야한다. 또한, 토목구조물의 특성상 구조물이 위치하는 환경조건이 다르므로 이에 적합한 재료가 필요하지만, 현재 사용되는 대부분의 재료는 이러한 환경적 특성을 고려하지 않은 사용으로 하자 발생요인이 되며, 동일 계열의 재료를 사용한 경우에도 적용환경에 따라 수명의 차이가 발생할 수 있다. 그림 3은 건설구조물 표면 도장에 의한 부식방지 원리를 나타낸 것으로 구조물 표면에 형성된 도막에 의해 유해인자를 차단하여 부식을 차단하게 되는데, 강구조물의 보수 시 표면처리가 완벽하지 않을 경우 도막의 탈락, 추가적인 부식 발생, 균열 등으로 장기 내구성능을 확보할 수 없다.

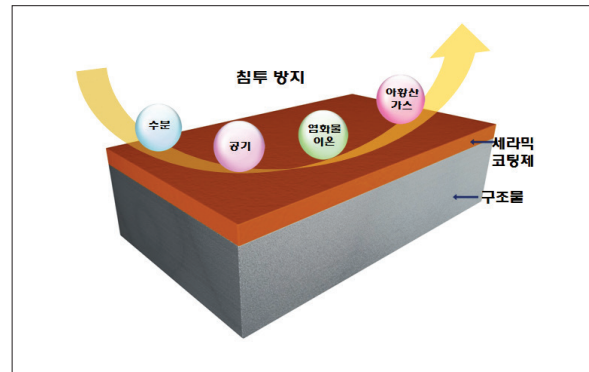


그림 3. 도장에 의한 부식 방지 원리

#### ① 도장재의 수명이 짧음

강구조물의 경우 부식에 의한 성능저하를 효과적으로 방지할 경우 사용 수명을 증진시킬 수 있다. 도장재는 그림 4와 같이 백화(Chalking), 침식(Erosion), 체킹(checking), 앨리게이터링(Alligatoring), 크래킹(Cracking), 진흙 크래킹(Mud Cracking), 주름

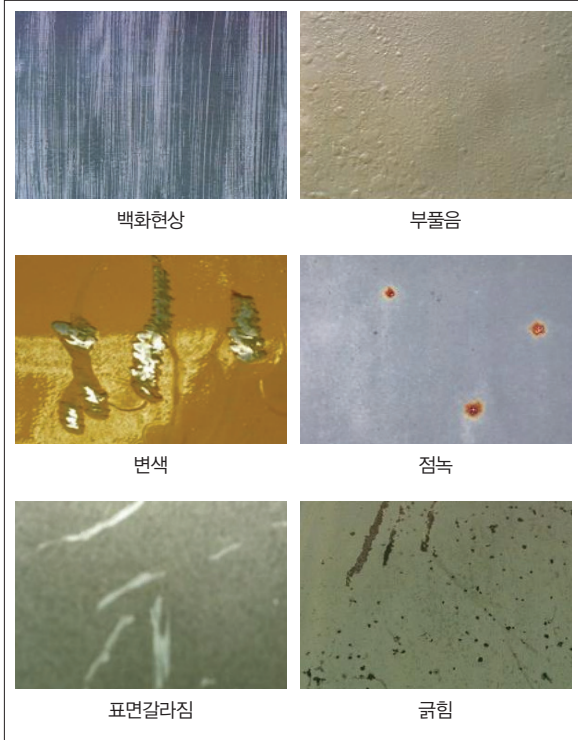


그림 4. 도장재의 열화

(Wrinkling), 생물학적인 열화, 변색 및 점녹(Pinpoint rusting) 등 다양한 형태의 열화가 발생되어 성능이 저하된다.

② 다른 계열의 도장재료를 적용하기 어려움

보수도장의 경우 기존에 남아있는 도막과 다른 종류의 도장재를 사용할 경우 호환성을 확보할 수 없어 부착력이 저하되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해서는 구도막과 같은 계열의 도장재료를 사용하는 것이 효과적이거나 구도막의 계열을 파악할 수 없거나 동일 계열의 재료가 없는 경우가 발생할 수 있기 때문에 다양한 종류의 도장계열과의 호환성을 확보한 재료 및 공법이 필요하다.

③ 피착재에 따른 도장재료의 호환성

철, 알루미늄, 스테인레스 등 성질이 다른 재료를 사용

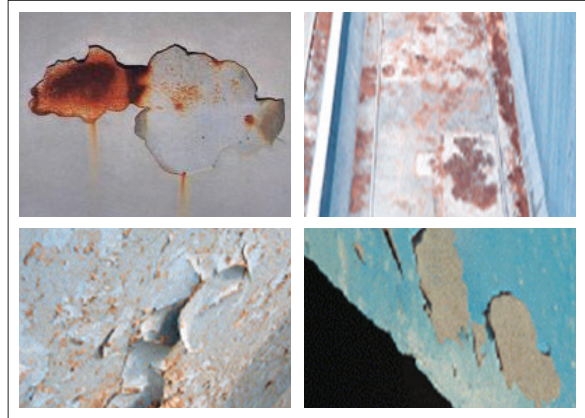


그림 5. 구도막과 보수도장의 접착불량에 의한 도막의 재탈락

한 구조물의 경우 피착재에 맞지 않는 도장재료를 사용할 경우 부착력이 저하되며, 단기간에 탈락이 발생되어 추가로 보수해야하는 문제점이 발생되고, 특히 강구조물의 접합을 위해 적용된 용접부위는 부착이 이루어지지 않으므로 하자 발생이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 여러 가지 피착재에 적용이 가능한 도장재료가 필요하다.

2.3 기술 개발의 목표

① 호환성을 확보한 재료의 개발을 통한 적용성 향상

강구조물에 사용되는 여러 가지 종류의 도장재료와의 호환성을 높여 장기적으로 안정적인 부착력을 확보가 필요하다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 다양한 반응기를 가지는 복합실란을 적용함으로써 여러 가지 종류의 도막과의 호환성 확보를 목표로 하였다. 또한, 강구조물의 도장을 위한 품질관리가 용이하고 균질한 시공이 가능하도록 공법을 간소화 하고자 하였다.

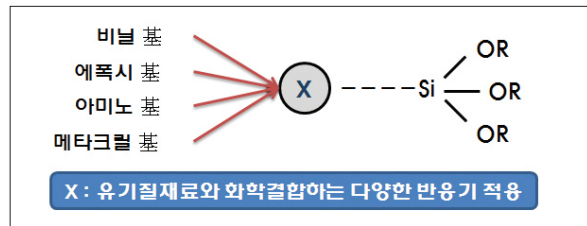


그림 6. 세라믹코팅제의 화학 결합 모식도

② 장기적으로 안정적인 도막을 유지하여 구조물의 성능저하를 방지

현재의 도장공법에 비해 하자발생의 요인을 효과적으로 제어함으로써 안정적인 도막을 형성하여 구조물을 장기적으로 보호, 유지할 수 있어야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위하여 다양한 종류의 구도막 및 피착재와의 부착력이 필요하며, 강한 침투부착력을 통해 성능을 발휘할 수 있어야 한다. 이러한 장기적인 안전성의 확보와 재도장 시기의 연장을 통해 구조물의 유지관리비용을 효과적으로 절감할 수 있다.

### 3. 기술개발의 메카니즘

#### 3.1 기술개발 내용

① 나노금속산화물 졸의 제조 기술

분말분산법, 침전적정법, 용매추출법, 몰리브덴산 암모니아 첨가법, 암모니아 첨가제법 및 초산분해법 등의 sol화 방법을 적용하여 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 금속산화물을 나노사이즈의 콜로이드 용액으로 제조하는 기술을 개발하였다. 이러한 방법으로 제조된 금속산화물은 평균입경 10~30nm의 콜로이드 용액으로 형성됨으로써 금속표면, 구도막, 미세균열 및 공극으로 침투가 용이해지게 된다.

② 복합실란의 합성 기술 개발

sol-gel process의 가수분해 반응과 축중합 반응을 이용하여 복합실란 합성하는 기술을 개발하고자 Vinyl trimethoxy silane, Vinyl triethoxy silane, 3-Methacryloxypropyl trimethoxy silane, 3-Glycidyloxy propyl trimethoxy silane, 3-Glycidyloxy propyl methyl diethoxy silane, 3-Aminopropyl triethoxy silane, N-2-(Amino ethyl)-3-aminopropyl trimethoxy silane 등의 출발물질로부터 2가지 이상의 silane을 합성할 수 있었고 망목상고분자 형태의 화학구조를 갖도록 형성함으로써 부착력 및 장기내구성능을 확보할 수 있었다. 반응 시 적정 반응온도, 농도 등의 반응

조건을 정립하고, 사용목적에 따른 반응조건 확립하여 복합실란 적용에 따른 도장재료의 저장안정성 확보하였다.

③ 나노금속산화물과 복합실란을 사용한 세라믹 코팅제의 제조 기술 개발

복합실란을 적용함으로써 다양한 기재와의 부착력을 확보할 수 있었고, 금속산화물 졸의 분자량을 3만 이하로 제어하여 기재표면의 침투력 확보한 코팅제를 개발할 수 있었다. 특히, 세라믹 성분인 SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3가지의 콜로이드 용액을 사용하여 유연성 및 내마모성 증진으로 기능성을 확보하였다.

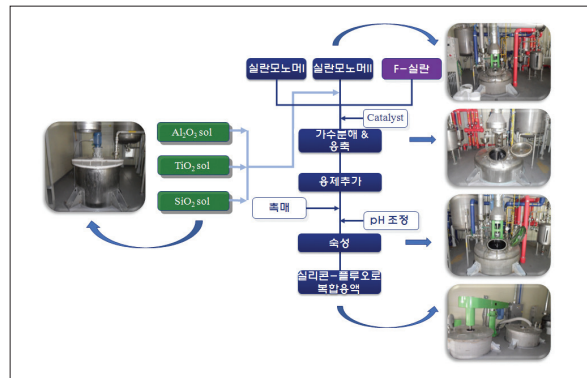


그림 7. 세라믹 코팅제의 제조과정

#### 3.2 기술 개발의 특징

① 침투부착성 확보

일반적으로 도장재료 제조 시 사용되는 금속산화물졸의 경우 수성형태로 이루어져 있어 유성계열의 도료에 적용하기 어려웠으나 기술개발을 통해 금속산화물졸을 유성처리하고 입자를 10~30nm의 크기로 개발하였다. 또한, 한가지의 콜로이드실리카 분산액만을 사용하게 되면 도막이 쉽게 깨지는 문제점이 있었는데, 이를 보완하기 위해 3가지의 금속산화물졸(SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 사용함으로써 유연성과 내마모성을 확보하였고 분자량을 3만 이하로 제어함으로써 기재에 침투하여 부착하여 장기적인 안정성을 확보하였다.

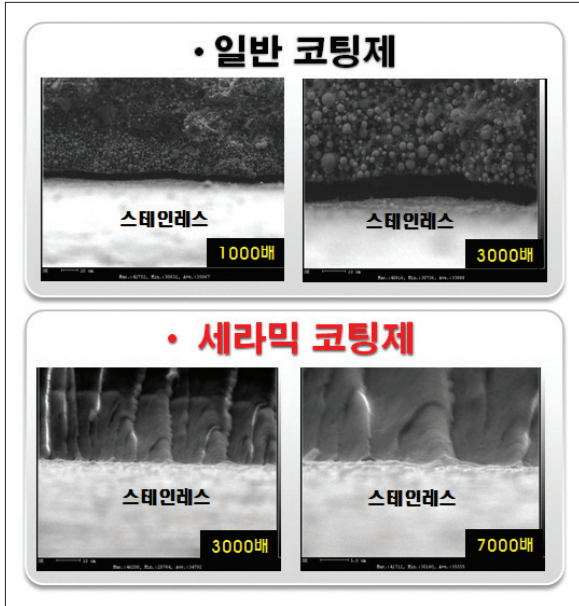


그림 8. 부착 계면 비교 SEM 촬영

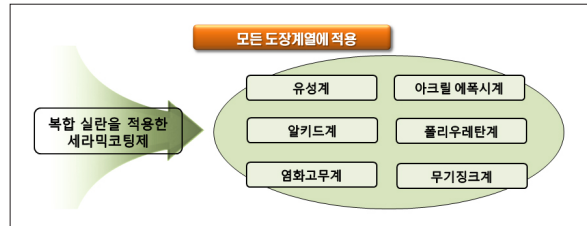
② 코팅제의 호환성 확보

보수도장의 경우 기존에 사용된 도막의 종류가 다양하고, 하나의 구조물이라고 해도 여러 가지 종류의 피착재가 존재하는 경우가 있다. 이러한 이유로 도장의 효과를 극대화하기 위해서는 다양한 종류의 도막 및 피착재에 사용이 가능한 특성을 가지고 있어야 한다. 본 신기술에서는 상기 특성을 다양한 반응기를 가지는 복합실란의 합성 기술을 통해 실현하였으며, 보수 도장 시 구도막의 계열에 영향을 받지 않는 코팅제를 제조할 수 있었다. 또한, 복합실란은 내수성, 내후성, 내알칼리성, 내습성 등이 우수하여 세라믹 코팅제의 성능향상에 기여한다.

③ 저장안정성 확보

도료의 제조에 있어 필수적으로 사용되고 있는 실란은 다양한 반응기를 가지고 있으며, 서로 다른 반응기가 동시에 사용될 경우 겔화되는 문제점과 동일한 반응기에는 적용성이 높지만 다른 반응기를 가지는 도료와 부착될 경우 부착력이 저하되는 특성을 가지고 있어 도장재료 제조 시 유의할 필요가 있다. 세라믹코팅제는 두 가지 이상의 알콕시실란모너머를 사용하는 복합실란의 개발로 겔화되

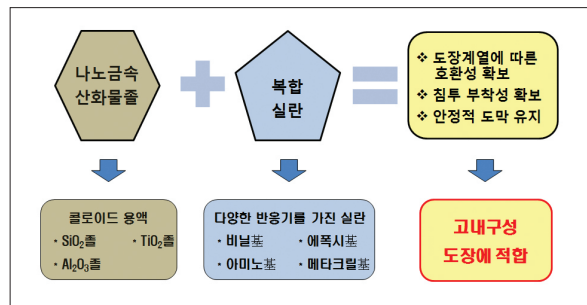
지 않고 1년 이상의 저장안정성을 확보하였으며, 복합적인 반응기를 가지므로 다양한 종류의 도막 및 피착재에 적용이 가능하게 하였다.



4.기술의 활용실적 및 기대효과

4.1 개발 기술의 활용실적

강구조물의 내구수명을 연장하기 위하여 세라믹 코팅제를 사용한 도장공법인 세라수 침투공법은 건설신기술 2013년까지 6건의 활용실적을 통해 현장적용성을 확인하였다. 이 후 추적조사를 통하여 본 공법의 성능을 재차 검토하였다.



4.2 향후 활용전망

강구조물은 대부분 국가기반시설로써 활용되고 있고 구조물을 새로이 건설하는 것보다 기존의 건설구조물의 유지관리를 통해서 경제적 이득과 사회기반시설물로서의 기능을 확보하려는 노력이 증가하고 있다. 열화된 강구조물의 기능을 회복시키고 내구연한을 증진 시킬 수 있

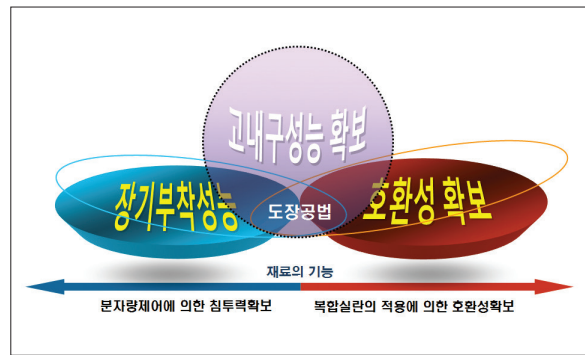
[표 1] 본 신기술의 시공 공정



는 도장공법은 다양한 구도막과의 호환성과 알루미늄, 스테인레스 등의 비철금속 기재와 호환성을 확보할 수 있는 특성이 필요하다. 본 신기술의 경우 보수 도장 및 신설 도장에서 필요한 호환성 문제를 해결하였고 시공의 편이성 및 칩투 부착성능을 확보하여 건설 구조물에 폭넓게 활용할 수 있다. 향후 본 신기술은 표 2에 나타난 적용처를 중심으로 널리 활용될 것으로 기대된다.

### 4.3 기대 효과

본 신기술은 신설 도장 및 보수도장에 모두 적용할 수 있는 공법이다. 특히 보수도장 시 현장 여건에 따라 완벽한 표면처리가 어려운 상황이 발생할 수 있으므로 이러한 환경에서 완벽한 도막을 형성하고 피착재에 부착이 가능한 코팅제가 필요하다. 이러한 환경에 적합하게 제조된 세라믹 코팅제는 다양한 반응기를 가지는 복합실란을 적용함으로써 호환성을 확보할 수 있었으며, 실제 도장 공법에서 사용되는 여러 종류의 코팅제와 호환성을 높일 수 있었다. 또한 재료 및 시공방법에 의해 시공의 편리성을 확보하여 시공 품질 및 유지관리 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 시공 품질 및 경제적 이득 외에도 본 기술은 세라믹 재료가 가지는 내화성, 내오염성 등의 기능성과 환경친화성을 확보한 도장재료로 다수의 강구조물에 적용될 것으로 판단된다.



[표 2] 본 신기술의 적용 대상물

구분	적용 대상물
도로 구조물	교량, 육교 등 교통시설물(표지판, 가로등, 신호등, 가드레일 등) 등 터널, 지하차도 등
상하수도구조물	정수시설(정수지, 침전지, 배수지, 배수관 등) 하수처리시설(하수처리장, 분뇨처리장, 침사지, 반응조, 하수관거 등) 저류시설(우수저류조, 펌프장 등)
해양 및 수처리 구조물	선박, 연육교, 배수갑판, 수문 등 항만시설(계류시설 등) 및 담수화시설 해양 및 하천 레저시설
일반건축 구조물	옥상, 바닥, 내·외벽(중성화방지 및 방수방식) 등
산업용 및 기타구조물	산업용 기능성 코팅(지문인식 등) 및 알루미늄, 스테인레스, 타일, 유리 등의 구조물