강재 전력시설물을 위한 액상 규산질 도장제 개발에 대한 연구

Development of Fluid Silicic Acid Coating with Paint Materials of the Steel Electric Power Facilities

권 성 준* 박 상 순** 이 상 민*** 이 명 훈****

Kwon Seung-Jun Park Sang-Sun Lee, Sang-Min Lee, Myung-Hoon

Abstract

Generally, organic paint on steel towers can guarantee durability in normal condition but occasionally shows its deterioration on the power line tower and electric power facilities, exposed to light(ultra violet) or heat. The objective of this study is to develope the inorganic paint material based on fluid silicic acid for steel electric power facilities. For the purpose, optimal mixture proportion is derived through 6 preliminary test and, additionally physical and durability performance test are carried out for selected specimens. The performances of developed organic paint material is similar to those of organic paint material. If resistance to chemical attack is improved, the developed inorganic paint is evaluated to replace the organic paint and obtain wide application.

요 지

일반적으로 강재시설물에 사용되는 유기에폭시 도장의 경우, 일반적인 조건에서는 우수한 내구성을 보이고 있으나, 송/배전 시설물인 강재전력시설물과 같이 빛(자외선)이나 열에 노출되는 환경에서는 도막자체의 열화현상에 의한 피해가 더욱 심각하게 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 무기계 액상 규산질을 기초로 한 강재용 도장제를 개발하는 것이다. 이를 위해 6가지 예비실험을 거쳐서 최적의 배합조건을 도출하였으며, 물리적 특성실험 및 내구성 실험을 수행하였다. 실험결과 개발된 무기계 도료는 현재의 유기계 도료의 성능을 확보하고 있었으며, 내화학성에 대한 저항성이 개선된다면, 강재 시설물의 대체 도료로 사용될 수 있으며, 그 적용성이 더욱 증가할 것으로 평가되었다.

Keywords : Deterioration, Inorganic, Organic, Paint, Power facilities, Silicic

핵심 용어 : 열화, 무기계, 유기계, 도료, 전력시설, 규산

* 정회원, 비앤티 엔지니어링 차장, 공학박사

** 정회원, 한국건자재시험연구원 선임연구원

*** 정회원, 비앤티 엔지니어링 대표이사, 공학박사

**** 정회원, 한국해양대학교 방식 및 표면코팅공학 교수

E-mail : parkss87@kicm.re.kr 019-255-7255

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

과학기술과 각종산업의 발달에 따라 전력수요는 매년 증가하고 있고, 또한 이에 따른 발전관련 시설물이나 송전탑 등의 배전관련 시설물은 그 수와 규모의 면에서 급증하고 있는 실정이다. 그러나 이들 전력시설물의 대부분이 해안가나 습윤환경에 노출되어 있으므로 강재시설물의 경우 부식 또는 코팅재료의 들뜸, 박리와 같은 현상이 빈번하게 발생한다.[1]

따라서, 현재 이들 강재전력시설물에 대해서는 장기간 안정적으로 보호하여 사용하기 위한 목적으로 그 시설물에 유기 에폭시계 도장을 하여 대기 중 부식성 환경물질인 O_2, H_2O, Cl^-, SO_2^-, NOx 등을 차단 및 방식하는 방법을 주로 사용하고 있다. 그러나, 현재 적용되고 있는 유기에폭시 도장의 경우에는 부식환경을 차단하여 방식유지를 하는 등의 일반적인 차원에는 상당히 우수하나, 강재 전력시설물 처럼 빛(자외선)이나 열에 노출되는 환경 하에서는 도막자체의 열화현상에 의해 도막 균열, 들뜸 및 박리 등의 문제로 유지관리에 상당한 어려움을 겪고 있다. 한편 이에 대한 거액의 유지보수비용이 주기적으로 소요되고 있는 형편이다.[2][3]

특별히, 원자력발전소 격납건물의 경수로형의 경우 강재라이너에 에폭시 도장을 실시하여 방사선의 1차 차폐 및 제염 역할을 담당하도록 하고 있으나, 격납건물 내부의 상대적으로 높은 온도 하에서 에폭시 도장의 자체열화로 목표내구수명에 미치지 못하는 경우가 발생하고 있다. 또한 화력발전소 강재 보일러 구조물의 경우, 자외선 및 보일러에서 뿜어 나오는 고열로 인하여 보일러를 감싸고 있는 강재들의 에폭시 도장이 변색과 함께 들뜨거나 박리되어 강재의 부식을 유발하는 원인이 되고 있다. 또한, 송전탑 강재에 대해 희생양극(Sacrificial anode)원리로 부식방지를 하는 용융아연도금의 경우에는 처리방법중 내식성을 유지하기 위해 도금 효율, 두께 증가, 도금 질 그리고 경제적 비용 등이 해결해야 할 과제로 남아 있는 실정이다.

최근들어 선진국 및 국내 일부의 관련 기업에서는 이러한 유사 환경에 대응하기 위한 방법으로써 유기계 에폭시에 여러 가지 무기질의 세라믹성분을 첨가하여 품질을 개선시키는 무기질 함유 세라믹 에폭시의 연구개발 및 보급을 서두르고 있다.

이러한 무기질 세라믹 도료의 경우, 열 또는 빛에 의한 저항 특성 등에 대하여 개선된 면은 있으나 유기계 도장이 갖는 첨가 휘발성분 등에 의한 환경오염 문제나 고온 열화성 그리고 경제적인 문제를 근본적으로 해결하지 못하고 있는 형편이다.

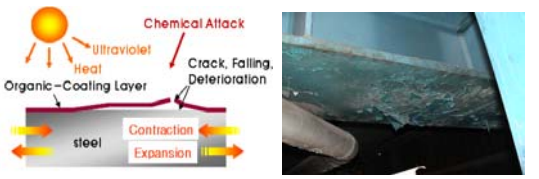
본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 표면보호재로서의 성능을 만족하고 밀착성 및 내식성이 우수한 순수무기계의 액상 규산질을 바인더로 한 강재용 도장제를 개발하였으며, 기초적인 성능평가 실험을 수행하였다.

2. 강재용 도료의 특성 및 개선점 분석

2.1 유기계 및 무기계 도료 특성

도료(Paint)란 물체의 표면에 도포하여 형성된 피막층을 형성시킴으로서 물체에 소기의 성능을 부여하는 유동상태의 화학제품을 말한다. 일반적으로 도료 그 자체는 화학제품으로 불리우고 있으나, 도료의 가치는 도장되어 소기의 성능을 가진 도막이 형성되어야만 물리적 의미가 생기므로 결국 도료의 최종 목표는 도막이며, 도료는 단지 도막을 얻기 위한 재료(반제품)에 불과하다.[5][8]

현재 일반적으로 사용되는 유기계 재질에 의한 도막형성 주요소(Binder)는 분자의 결합에너지가 약해서 시간경과와 더불어 또한 자외선, 수분 및 산소 등의 복합 환경에서는 −C−C−결합이 약해지는 백화(Chalking) 현상이 발생하므로, 연소시에 다량의 유독가스를 발생한다. 한편 석유화학으로부터 추출된 유기 합성수지계의 결합제는 연소시에 다량의 유독가스를 발생한다. 유지수지도료 역시, 부자재로써 휘발성 유기화합물(VOC′s)을 많이 필요로 하기 때문에 환경오염이나 공해를 발생시키는 문제를 기본적으로 야기 시키며 현재 세계적으로 이에대한 규제 강화가 진행되고 있다.[4]



(a) 유기계 코팅의 박리 (b) 유기계 코팅 열화현황
Fig. 1 열화에 노출된 유기계 코팅재의 박리

Table 1 유기계 및 무기계 도료의 특성 분석

	유기계	무기계
Binder 구성	-C-C-	-C-Si-
광택	일반적으로 좋음	탁함
고온저항성	박리 발생	우수
자외선 저항성	불리	우수
내염성 및 내수성	유리	불리
표면조도	매끈함	거칠음
호기성	불리	유리
VOC's 발생	발생	미발생

반면 개발 대상인 무기 액상규산질 도료는 도막형성 주요소(Binder)의 성분을 규소(Si)원자로 사용하고 있는데, 주기율표에서는 탄소(C)와 같은 Ⅳ족이지만 탄소(유기)보다 금속성이 큰 원소전자를 많이 갖고 있다. 따라서 규소(비철금속원소)의 양이온(+)과 비금속원소인 산소의 음이온(-)이 강한 결합 에너지를 갖는 치밀하고 강인한 도막의 구성이 가능하다. 한편 내자외선성에서는 도막형성 주요소(Binder)가 유기합성수지 경우는 290~390nm 파장에너지의 자외선을 흡수해서 수지의 -C-C-결합력을 저하시키는 백화(Chalking) 현상에 의해 열화되는 것이 일반적이지만 -Si-O-Si-결합을 하는 무기도료의 경우는 자외선 파장영역이 아닌 지상에 도달하지 않는 270nm에서 열화되는 특성이 있으므로 유기계에 비하여 내구적이라고 할 수 있다. 또한 도막형성주요소가 SiO_2 산화물 형태의 무기 규산질 도료이므로 내산성이 우수하다. Si-O의 결합에너지가 106kcal/mol 이므로 우수한 내열성을 확보할 수 있다.

Fig. 1에서는 열화에 노출된 강재 구조물의 박리현상을 나타내고 있으며, 유기계 및 무기계의 장단점 비교는 Table 1에 요약하여 나타내었다.

2.2 개발된 무기계 도료의 메카니즘

2.2.1 무기계 도료의 화학조성

무기계 도료는 결합제에 유기성분과 무기성분의 혼합물을 이용하여 휘발성 성분의 함유량을 소량으로 조정한 하이브리드계 무기도료, 유기구조 성분을 내장한 규소화합물을 결합제로 조정한 수용성 도료인 무기계 도료, 그리고 규산성분을 결합제로 하는 무기도료로 분류할 수 있다. Fig. 2에서는 알킬실리케이트 및 알칼리실리케이트의 조성을 나타내고 있으며, 본 연구에서는 알킬 및 알칼리 실리케이트를 혼입한 일액형 무기계 도료를 개발하였다.

2.2.2 무기계 도료 개발을 위한 예비실험

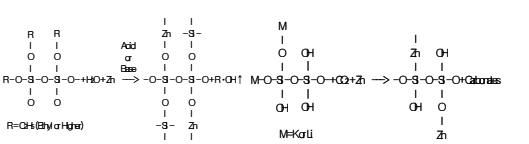
본 연구에서는 강재 시설물을 대상으로 한 무기계 도료를 개발하기 위하여, 예비실험을 수행하였다. 기본 바인더는 Fig. 2와 같은 액상규산질이며, 분산제, 중화제 등의 혼입량을 변화시켜 다양한 무기계 예비시편을 제작하였다. Table 2에서는 예비실험 배합 특성 및 평가결과를 요약하였다.

예비실험에서 알 수 있듯이, Test-6의 실험결과가 작업성 및 기본물성에서 우수성을 나타내었으므로 추가적인 역학적, 내구성 실험을 수행하였다.

3. 개발된 도료의 내구성, 역학 실험

3.1 실험 개요

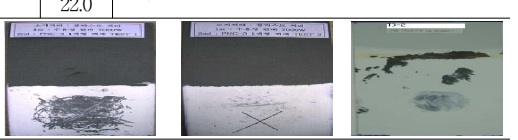
본 연구에서는 물리적 특성실험 및 내구성실험으로 분류하여 실험을 수행하였는데, 물리적 특성시험에서는 도막두께, 기계적 물성실험이 수행되었으며, 내구성 실험으로는 내약품성, 대기폭로시험, 내흡수성 및 투수성, 난연성, 내방사선, 유해성 분석 등을 수행하였다.



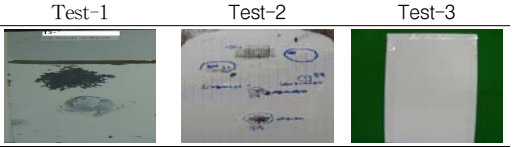
(a) 알킬실리케이트 화학식 (b) 알칼리실리케이트 화학식
Fig. 2 무기계 도료의 화학식

Table 2 예비실험 배합 및 특성

항목	배합 특성	특성 및 평가
Test -1	Water 24.9 Binder 60.71	· 액상실리케이트계/알칼리실리케이트계 · 일액형, 수용성 · Cr판 적용시 도막이 취성파괴 · Zn 프라이머 적용시 부착력이 좋지 않아서 도막이 떨어짐 · Reology modifier(안정제, 조정제) 사용 제한적
Test -2	Water 24.9 Binder 41.71	· 액상실리케이트계/알칼리실리케이트계 · 일액형, 수용성 · Cr판 적용, 도장 가능 (일부 취성) · Zn 프라이머 적용, 도장 가능 (일부 박리) · 수지와의 상용성이 완벽하지 않음 · Zn 프라이머 적용시 물성차이 발생
Test -3	용제 18.1 Binder 60.4	· 액상실리케이트계/알칼리실리케이트계 · 이액형, 수용성 · Cr 적용시 도장면 거칠고 흘러내림
Test -4	용제 0.7 12.6 Binder 55.2	· 액상실리케이트계/알칼리실리케이트계 · 이액형, 수용성 · 0.7 용제를 사용시 표면조도 불량 · 용제형이므로 무용제형으로 개선해야 함 · 외관양호
Test -5	Water 13.2 Binder 40.0, 22.0	· 무기폴리머계 폴리실라잔 · 일액형, 수용성 · 표면 레벨링이 매우 떨어짐 · 부분 건조시 균열 발생
Test -6	Water 13.2 Binder 40.0, 22.0	· 실리케이트 응용배합 · 일액형, 수용성 · 스프레이작업시 일부기포발생 하지만 세팅시 소포됨



Test-1 Test-2 Test-3



Test-4 Test-5 Test-6

본 연구에서는 현재 사용되는 유기계 도료와의 직접적인 성능비교보다는 개발된 무기계 도료의 성능평가에 우선을 두었으며, 도막두께 실험을 제외한 모든 실험은 건자재시험연구소에 의뢰하여 수행하였다. 실내실험의 경우 60~65% R.H. 및 20~25℃의 온도에서 수행되었다.

3.2 물리적 특성 실험

3.2.1 도막두께

도막두게 측정에서는 디지탈도막두께 측정기(LE-300J:Kett)를 이용하였으며, 용융아연금속을 소지금속으로 하여 수행하였다. 하나의 시편에 대하여 10회 측정값시의 평균값을 사용하였는데 일반적인 유기계 도료의 도막두께인 23.3~30.3㎛인데 비하여 개발된 무기계 도료의 경우, 10.2㎛수준으로 평가되었다. Table 3에서는 상대비교를 위하여 수행한 유기계 도료와 개발된 도료의 측정결과를 사진과 함께 나타내었다.

3.2.2 기계적 물성평가

기계적 물성에서는 광택, 내충격성, 연필경도, 부착강도, 내마모성 등을 평가하였는데 실험결과는 Table 4와 같이 요약하였다.

Table 3 도막두께 측정결과 (용융아연)

도료종류	측정값	사진
유기계	23.3	
유기계	25.8	
유기계	32.9	
유기계	30.6	
유기계	14.1	
유기계	30.3	
개발 무기계도료	10.2	

Table 4 기계적 물성평가

구분	규격	유기계						무기계
광택(상도 60°)	KSM 5000	74	66.5	30.3	70.3	83.5	46.4	23.1
내충격성 (300g×50㎝)	KSF 4715	이상무						이상무
연필경도 (UNI-Pencil)	JIS A 5400	H						6H 이상
부착강도 (철재Mpa), 중착시험없음	KSF 4715	6.0	5.7	5.0	6.0	5.5	5.0	4.0
내마모성 (200회/17번, ㎎)	KSM 3351	201	287	168	175	54	149	71

3.3 내구성 실험

3.3.1 내약품성 실험(용융아연강판)

내약품성 실험은 내산성, 내알칼리성, 내수성, 내염무분수시험을 포함하고 있으며, 정해진 규격에 따라 유기계 6가지, 개발 무기계 1가지 시편에 대하여 실험을 수행하였다. Table 5에서는 내약품성 실험결과를 나타내고 있다. 한편 Fig. 3에 대해서는 내산성실험 후 각 시편들의 표면변화를 나타낸다.

Table 5 내약품성 실험결과 (용융아연강판)

구 분	규격	유기계						무기계
내산성 240hrs	KS M ISO 2812-1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	□
내알칼리성 240hrs	KS M ISO 2812-1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
내수성 750hrs	KS M ISO 2812-1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
내염수분무 750hrs	KS D 9502	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

◎ : 녹은 발생하지 않고 전체적으로 이상무
○ : 표면에 녹은 발생하지 않았고, 변색이 되었음
□ : 표면 일부분의 박리 및 균열 발생

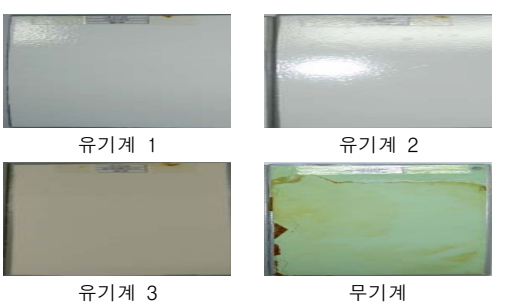


Fig. 3 내산성 실험후 도료 표면의 변화

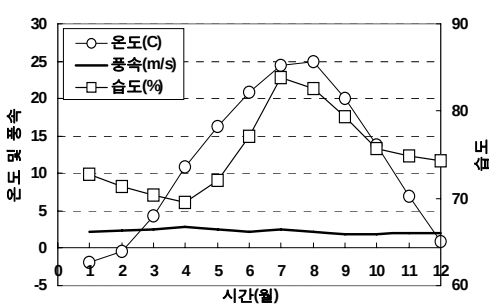


Fig. 4 대기폭로실험 노출환경

3.3.2 대기폭로실험(해상)

본 실험은 해상위에 지지대의 경사각을 45°으로 하여 일조량이 가장 큰 방향으로 설치하였으며, 150일 동안 존치하여 표면의 열화상태를 실험하였다. 노출환경에 대한 정보는 Fig. 4에 나타나 있으며, 존치기간은 5월에서 9월로 조사되었다.

Fig. 5에서는 내식성 평가를 위한 대기폭로실험 전경 및 실험후 표면상태(무기계)를 나타낸다.

3.3.3 내흡수성 및 투수성

내흡수성 및 내투수성은 KS F 4930-02를 참조하여 수행하였으며, 시험결과는 표준상태에 비하여 내흡수성은 0.49, 내투수성은 0.57로 평가되었다. Table 6에서는 내흡수성능 및 내투수성능의 시험결과를 나타내고 있다.

(a) 실험전경

(b) 실험전

(c) 실험후

Fig. 5 내식성 평가를 위한 장기폭로실험 (해상)

Table 6 내흡수성능 및 내투수성능 시험결과

시험 항목		시험결과	시험방법
내흡수성능-물흡수계수비	표준상태	0.49	KS F 4930-'02
내투수성능-투수비		0.57	

3.3.4 친환경성 평가(난연성 및 유해성 분석)

도장재의 경우, 난연성의 평가는 매우 중요한데, 도료가 화재에 노출될 경우, 유독가스의 피해가 주된 인명사고의 원인이 되기 때문이다. 실내 공기 유해성 분석 역시 친환경 도료의 개발에 필수적이라 할 수 있다. Table 7에서는 친환경성 평가의 실험결과를 실험장비와 함께 나타내었다.

Table 7 친환경성 평가 및 실험장비(난연성, 유해성)

난연성 2급, 표면시험 KS F 2271-98		결과 1	2	3	
전체두께에 걸친 용융		없음	없음	없음	
방화상 해로운 변형		없음	없음	없음	
뒷면의 균열(mm)		0	0	0	
잔염(초)		0	0	0	
발연계수(CA)		1	0	0	
온도시간면적 (℃・min)	3분이내	0	0	0	
	3분이후	0	0	0	
실내공기질공정시험법 (환경부 고시 2004-80)		TVOC(mg/kg)			없음
		HCHO(mg/kg)			없음

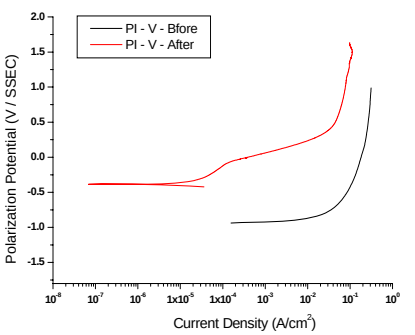


Fig. 6 방사능 시험 전・후 양분극 거동변화 비교

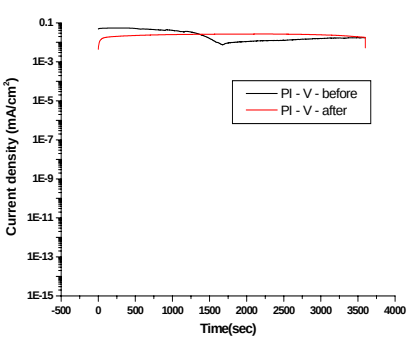


Fig. 7 방사능 시험 전・후 양분극 거동변화 비교

3.3.5 내방사성 실험

내방사선 평가를 위해 5cm×10cm 크기로 무기계 도료 시험편을 제작하여 방사선에 10일간 노출한 시험편과 방사선에 노출하지 않은 시험편과 전기화학적 부식열화특성을 비교해 보았다. Fig. 6~8에서는 무기계 시험편의 방사능 시험 전・후의 양분극 거동변화, 정전위 거동변화, 임피던스 저항의 변화, 실험 전후의 값을 나타내었으며 Fig. 9에서는 방사능실험 전후의 표면변화를 나타내고 있다.

4. 실험결과 분석 및 평가

4.1 물리적 실험 평가

물리적 실험에서는 도막두께 및 기계적 물성평가(광택, 내충격성, 연필경도, 부착강도, 내마모성)등이 수행되었다.

도막두께 평가에서는 기존의 유기계 도료에 비하여,

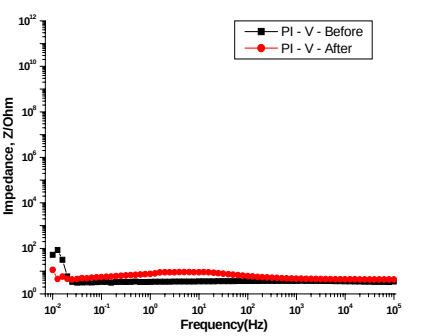
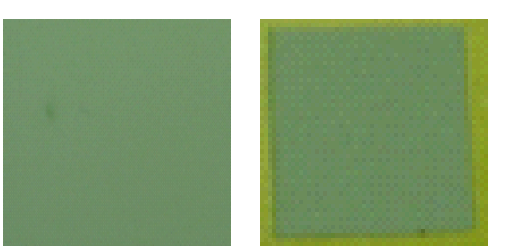


Fig. 8 방사능 시험 전・후 양분극 거동변화 비교



(a) 방사능 시험 전 표면상태 (b) 방사능 시험 후 표면상태

Fig. 9 방사능 시험 전후의 표면변화

50% 수준의 비교적 낮은 도막두께가 평가되었다. 상도 및 하도의 소요층두께 만큼 덧칠하면 큰 문제는 발생하지 않으리라 평가된다. 도막의 두께는 도막회수 또는 스프레이시 작업량에 관련지어지므로 이러한 점을 고려하는 것이 바람직하다. 기계적 물성평가에서는 기존의 유기계 도료에 비하여, 낮은 광택을 보유하고 있으며, 높은 경도, 높은 내마모성을 확보하고 있었다. 부착강도는 상대적으로 낮게 평가되었지만 현재 일반적요구수준[1]인 300psi (2.07MPa)을 만족하고 있음을 알 수 있다.

4.2 내구성 실험 평가

내구성 실험에서는 내약품성, 대기폭로실험, 내흡수성, 친환경성, 내방사선 등이 수행되었다.

내약품성실험에 대해서는 내산성 및 내알칼리성에 대해서는 문제점이 일부 발생하였다. 부식이 크게 발생하여, 문제된 것은 아니지만, 240시간동안 촉진실험을 수행한 결과, 내산성에 대해서는 일부 박리 및 균열이 발생하였으며, 내 알칼리성에 대해서는 부식이 발생하지는 않았으나, 변색이 관측되었다. 강산 및 알칼리에 대해서는 적용제한 사항을 두어 사용을 제한하는 것이 바람직하다. 일반적으로 자연전위, 양분극전위, 정전위 등 실내실험이 내염해성 또는 내부식성의 평가자료로 사용되지만,[6][7] 실제로는 시험도료를 대기폭로실험과 같이 실제 부식환경에 폭로하여 그 결과를 평가하는 것이 가장 바람직한 방법으로 알려져 있다.[9]

평가기준은 Table 5의 평가기준과 동일하며, 설치한 각 시편은 유기계 및 무기계 모두 양호한 형태(◎)를 유지하였다. 본 무기계 도료는 일반적인 조건 뿐 아니라 비래 염분이 축적되는 해안가 구조물에도 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있다. 명확한 평가를 위해서는 좀 더 장기적인 폭로시험결과를 이용하는 것이 바람직하다. 한편, 흡수성 및 투수성 실험결과에서는 도포 전의 50~60% 수준으로 감소하였는데 이러한 물리량의 감소는 표면 열화물질의 흡착, 축적을 감소시킬뿐 아니라 내부로 침투되는 열화물질량을 감소시키므로 매우 효과적인 방어기재로 작용할 수 있다.[10]

최근들어 실내의 도료사용에 따른 휘발성물질(VOC′s)의 용출로 인해 많은 문제점이 제시되고 있는데,[4] 본 실험결과 개발된 무기계 도료에서는 Table 7과 같이 난연성 및 유해성 분석에 대해서 우수한 결과를 실험적으로 얻을 수 있었다.

방사능 실험 전 후에 따른 양분극 거동변화에서는 실험전후 큰 변화가 발생하지 않았다. 양분극의 전류밀도의 경우 방사능 측정 전에는 $1\times10^{-4}A/cm^2$이었으나 방사능 측정 후에는 $1\times10^{-5}A/cm^2$으로 오히려 부식속도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 정전위 실험에 따른 전류밀도값의 변화는 1×10^{-1}~$1\times10^{-2}A/cm^2$으로 측정전후에 비슷한 값의 변화를 보여 주었다. 임피던스 저항 값의 변화는 측정전후에 1×10^{2}~$1\times10^{1}A/cm^2$으로 비슷한 값의 변화를 보여주었다. 한편 실험후의 표면변화는 없었으며, 양호한 외관상태를 유지하였다. 방사선 투과실험 전후, 도료의 성능은 크게 변하지 않음을 알 수 있다.

본 연구를 통하여, 시설물에 즉각적으로 적용하기는 한계가 있지만, 친환경성을 확보하고 유기계도료의 단점을 개선한 무기계 도료를 개발하였으며, 물리, 내구성 실험을 통하여 그 성능을 평가하였다. 산 및 염기성 등에 대한 저항성개선, 무기계 도료를 이용한 부식제어기법 등에 대한 연구가 보완된다면 강재시설물의 내구수명 증진 및 유지관리비의 감소에 기여할 것으로 판단된다.

5. 결 론

강재 전력시설물을 위한 액상 규산질 도장제 개발에 대한 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 6가지 무기계 도료를 개발하여 예비실험을 수행하였으며, 가장 좋은 성능을 가진 시편에 대하여 물리, 내구성 실험을 수행하여 일액형 수용성 무기계 도료를 개발하였다.
2) 개발된 무기계 도료는 현재 일반적으로 사용하는 무기계 도료에 비하여, 낮은 광택, 높은 경도, 높은 내마모성을 확보하고 있었으며, 상대적으로 낮은 부착강도를 보이고 있었으나, 현재 규준은 확보

하고 있음을 알 수 있었다.

3) 내구성 실험에서는 내산성, 내알칼리성에 대해서는 비교적 취약함을 보이고 있었으므로 사용의 제한이 필요하지만, 내수성 및 내염수분무 시험에서는 유기계 도료와 동등한 성능을 확보하고 있었다. 특히 해상에 장기노출된 무기계 시편에서는 표면의 열화 현상을 보이고 있지 않았다. 한편 개발된 무기계 도료는 난연성 및 실내유해성에 안전하게 평가되었다.

감사의 글

본 과제는 산업자원부(R-2005-0-043)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 본 연구진은 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국전력공사, “송전철탑 도장 신도료 성능평가”, 연구보고서, TR.04PE01.S2005.753, KEPRI, 2005, 10.
2. 산업자원부, “옥외노출소재(도료, 플라스틱, 고무)의 신뢰성 평가기술 및 표준화 개발에 관한 연구”, 연구보고서, 2002.
3. 산업자원부, “공업재료의 촉진복합사이클 내식성 시험 및 평가방법 표준화기술 개발에 관한 연구”, 연구보고서, 2004.
4. 유철, “조선소의 페인트 에어로졸 중 주석에 의한 토양오염 및 인근지역 주민의 노출 평가”, 연세대학교, 환경공학과 공학석사, 2001.
5. 關西國際空港, “鋼構造物の防蝕指針”, 1990.
6. 東京灣橫斷道路(株), “鋼構造物の防蝕指針”, 1991.
7. 日本電氣化學協會, “電氣化學便覽”, 日本電氣化學協會(丸善(株)), 1985.
8. 運輸省港灣技術研究所, “(財)沿岸開發技術研究所センター”, 鋼管杭協會, 鋼管杭の防蝕法に關する研究總括報告書, 1995.
9. Winston R.R., “Uhlig′s Corrosion Handbook-Lifetime Prediction of Materials in Environment”, 2000, pp. 27-38.
10. Mars G. F., “Corrosion Engineering”, Fonyana, New York, USA, 1986, pp. 153-218.

(접수일자 : 2006년 11월 13일)