

Development and the Long-Term Test of Anti-Adhesion Surface Coating Technology on Electric Power Distribution Equipment

배전기기 외함 부착방지 및 자기세정 코팅기술 개발 및 현장실증

Myung Jin Shim, Song Ho Sohn, Ji Hoon Seo, Sang Chul Han
심명진, 손승호, 서지훈, 한상철

Abstract

The demand for coating technology on electric power equipment that has arisen from such issues regarding the attaching of illegal advertisements and posters to electric power distribution boxes such as TR, SW, etc. in down town areas seeks to produce functional coating surfaces using polymers and nano-materials that will result in improvements in self-cleaning performance and greater stability even under harsh environmental conditions. KEPCO-coatings consist of copolymerized acrylic resin and methacryl-modified reactive silicone that are able to chemically combine, which results in performance improvement without any leakage of of silicone, thus contributing to its properties of high-stability. Thus, the research team has also started long-term on-site testing on 9 electric power distribution spots around a city center in cooperation with the KEPCO Daeduck-yusung branch. The KEPCO-coating technology could advance the best coating materials and processes to meet appropriate circumstances for a variety of outdoor damage environment. It is also predicted that KEPCO could be possible to expand international electric maintenance markets and to arrange business platforms if KEPCO would achieve its original technology (IPs) by the means of upgrading in self-cleaning coating technology and obtaining long-term on-site test records from nationwide electric facilities.

전력수요가 많은 도심지역의 전력설비 설치가 늘어남에 따라 다수의 배전용 개폐기, 변압기와 같은 지상기들이 보도에 설치되어 있다. 도심지역의 경우 매우 가혹한 환경(불법광고물 부착, 자동차 매연, 부식, UV 열화, 오염 등)으로 인해서 0.5-5년 내에 거리의 흉물로 변하고 있다. 불법광고물 무단 부착, 부식, 자동차 매연 및 오염, UV 열화로부터 환경친화형 배전기기를 운영하기 위해서는 광고물 부착방지, 방식, 내구성 향상, 미관 개선 기능의 현장 적용이 가능한 생체모방코팅소재 제조기술과 도포 기술 개발을 필요로 한다. 따라서 도막 경도가 단단한 실리코네진 기반 도료를 개발하여 부착방지 및 낙서방지 기능 뿐만 아니라 도막 경도를 향상시키는 것으로 박리 현상을 저하시킬 수 있는 도료를 개발했다. 개발된 코팅제는 한국전력공사 대덕유성지사와 공동으로 노은 및 지족동 일대 배전기기 외함 9개소를 대상으로 현장 장기 실증시험을 통한 장기 내구성평가를 진행했다. 전력기기 생체모방 코팅기술은 다양한 손상 환경에 따라서 그 조건에 맞는 최적의 코팅 물질 및 공정 개발이 가능하다. 지속적인 코팅기술 업그레이드로 원천기술 및 지적재산권을 획득하고 전국의 설치된 기기로부터 장기실증 데이터를 취득함으로써 전력기기 운영/정비/보수 시장에 진출하여 경쟁력 있는 사업화의 기반 마련이 가능할 것으로 전망한다.

Keywords: Anti-Adhesion, Self-Cleaning, Electric Power Equipment

I. Introduction

거리에 설치되어 있는 가로등, 전주, 육교, 교량 및 다양한 배전반 등에 무질서하게 부착된 광고용 스티커 등의 부착물은 미관을 저해한다는 1차적인 문제와 함께 시설물 고유 기능의 발현을 저해하여 안전상의 문제를 유발시킬 수 있다. 이에 지속적으로 인력을 투입하여 부착물을 물리적으로 제거하고 있는 실정이다. 또한 자동차 배기가스, 타이어 마모에 따른 비산물질 및 부유 증인 먼지 등으로 인해 설치된 시설물이 쉽게 오염되고 시간 경과에 따라 외

관의 색상 자체가 변하는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 광고 스티커 등의 부착물을 방지할 수 있는 지속성이 우수한 부착방지 기술(도료 및 장치)을 도입하고 있다. 그러나 도료의 경우 기능성을 구현할 수 있는 기간이 상대적으로 짧고, 도막 차제가 쉽게 열화 되는 문제가 있으며, 부착방지용 장치의 경우 별도의 시설물 설치에 따른 비용 증가 및 주변 환경과 이질적인 형태 등으로 인해 광범위한 적용은 제한되고 있는 상황이다 [1].

이에 따라 본 연구에서는 부착방지 성능과 장기 내구성을 향상시키기 위해 아크릴 폴리에틸렌 수지 말단기에 반응성 실리코네 오일

Article Information

Manuscript Received January 16, 2020, Revised March 27, 2020, Accepted April 6, 2020, Published online September 30, 2020






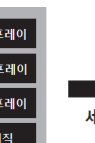


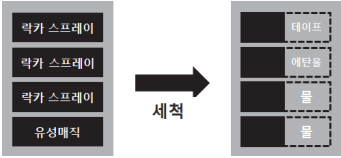
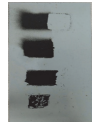



The authors are with KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Republic of Korea.

Correspondence Authors: Myung Jin Shim (mj.shim@kepcoco.kr), Sang Chul Han (sangchulhan@kepcoco.kr)



This paper is an open access article licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>. This paper, color print of one or more figures in this paper, and/or supplementary information are available at <http://journal.kepcoco.kr>.

TABLE 1
부착방지 기능성 코팅제의 내오염성 비교

		SW-P-69	스피롤탄	스피탄년 스티커 TX	보성파워텍
색차 ($\Delta E=2L+2a+2b$) ^{0.5}	시험사진				
카본 오염성 ($\Delta E < 10$)	시험사진				
색차(ΔE)		0.62	5.23	5.72	16.1
유성매직/ 락카 오염성	시험방법				
	시험사진				
유성매직/ 락카 오염성	색차(락카/테이프)	0.27	측정불가	0.41	0.69
	색차(락카/에탄올)	0.21	0.14	0.48	0.39
	색차(락카/물)	0.21	측정불가	0.22	0.50
	색차(유성매직/물)	0.65	측정불가	25.93	2.00

을 이용하여 화학적으로 결합(공중합)시키는 방법으로 부착방지 도료용 수지를 합성하였다. 기존의 일반 수지들은 아크릴 폴리에올과 실리콘 오일이 따로 존재하기 때문에 실리콘 오일의 유실 및 성능 저하가 쉽게 발생한 반면, 본 개발품은 아크릴 폴리에올과 실리콘 오일을 하나로 결합 및 합성함으로써 실리콘 오일의 유실 및 열화현상을 줄이는 것으로 내구성 향상을 이끌어냈다 [2][3].

II. 제작

A. 부착방지 코팅소재 합성 및 기능성 평가

코팅제에서 부착방지 기능성을 포함한 코팅제의 물성구현에 가장 중요한 영향을 미치는 원료는 Base resin이다. 부착방지 기능성 코팅제 개발을 위해 표면장력이 낮은 Silicone (Oil, Rubber type) resin 및 코팅막의 우레탄 가교결합을 위해 경화제를 검토했다. 코팅제의 부착방지 기능성은 Base resin에 각종 첨가제의 적용을 통해 기능성 향상이 가능하다. 방오특성을 갖고 있는 Silicon 첨가제(KF-2012(10%), ShinEtsu사)와 상온에서 코팅제의 경화가 가능하고 내약품성, 내구성이 우수하며 부착방지 기능성 구현이 용이한 아크릴-우레탄 시스템을 Base resin (CAR 5000, 고경도 아크릴 폴리에올, 삼화페인트) 으로 사용하였다. 그리고 Bead (Poly Propylene (100, 150 μm), MPI)를 첨가해서 코팅막 표면에 미세한 요철을 형성하여 부착면의 접촉제와의 접촉면적을 줄여 부착방지 기능성 구현을 위한 목적으로 사용했다.

반응기 내 용제에 Reactive silicone 일부를 배합하고 아크릴 모노머에 Reactive silicone을 적하할 경우 수지 외관과 물성이 우

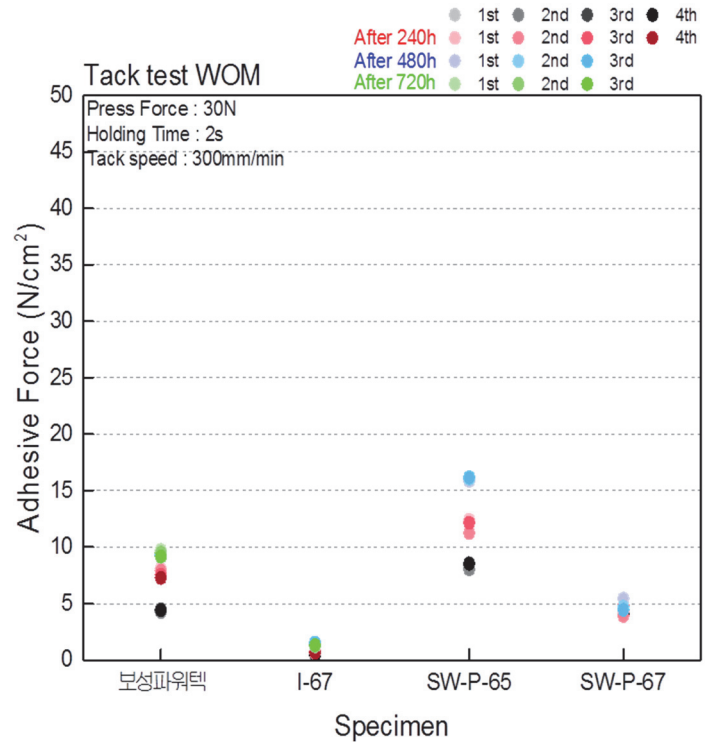


Fig. 1. Silicone rubber 적용에 따른 부착방지성능 평가(Tack test).

수하다. 제조된 부착방지용 코팅제(P-69)와 대조군으로 선정된 코팅제와의 오염방지성능 비교평가 결과는 TABLE 1과 같다. 스피롤탄은 삼화페인트공업(주)에서 제조/판매 중인 일반 아크릴-우레탄 도료이며, 스피탄년스티커TX는 삼화페인트공업(주)에서 제조/판매 중인 아크릴-우레탄 타입의 부착방지용 코팅제이다. 이와 함께 비교평가를 위해 보성파워텍(주) 부착방지용 코팅제를 대조군으로 선정하여 시험을 진행하였다. 시험 결과 P-69는 카본오염성 및 유성매직/락카오염성에서 모두 우수한 결과를 보였으며, 보성파워텍 부착방지용 코팅제는 카본오염성에서 관련 규격 기준치(색차 ΔE 10 이하)에 미달하였다. 따라서 본 연구에 최적화된 코팅제용 수지합성 조건으로 선정하였다.

B. Silicone Rubber를 이용한 부착방지 기능성 검토

Silicone oil을 이용한 부착방지용 코팅제의 장기 내구성 향상을 위해 Silicone oil 대비 분자량이 커서 외부 노출 시 표면 이형이 적고 장기적인 부착방지 기능성을 기대할 수 있는 Silicone rubber를 이용한 코팅제 개발을 검토하였다. Silicone rubber는 건조성과 도막 경도가 떨어져 물성 향상을 위해 우레탄 혼합을 검토하였으며, 대부분의 아크릴은 Silicone rubber와 우수한 상용성을 보였으나 경화제(Isocyanate)와 상용성이 떨어져 실제 적용을 위해서는 추가 개선 연구가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 1의 SW-P-67와 같이 Silicone rubber와 우레탄이 혼합된 경우가 Silicone oil이 적용된 SW-P-65 대비 상대적으로 우수한 부착방지 기능성을 나타내는 것을 확인 할 수 있다.



Fig. 2. 전력연구원 내 배전기기 실증 도장.



Fig. 3. 대전 유성구 노은동 일대 배전기기 실증시험.

III. 현장 실증을 통한 코팅 성능 평가

A. 전력연구원 내 배전기기 외함 실증 적용 시험

배전기기에 부착방지용 코팅제 현장실증에 앞서 소재 부착성, 내구성, 외관, 작업성, 부착방지성능 사전 검증을 위해 전력연구원 내 개폐기/변압기에 실증시험을 Fig. 2와 같이 진행하였다.

좌측 배전기기는 분체도막 위에 용제 탈지 후 개발된 SW-P-69 코팅제를 도장되었으며, 우측 배전기기는 분체도막 위에 인쇄된 시트지 부착 후 SW-P-69를 도장하였다. 코팅 작업은 Air spray로 진행하였으며, 도막두께는 선행도장된 분체도막을 포함 약 120~150 μm 수준으로 작업되었다. SW-P-69는 우레탄 경화 타입의 코팅제로 최적의 물성을 구현할 수 있는 완전경화까지 최소 2주(동절기 건조조건)가 소요되는 점을 감안하여 도막 물성 시험을 진행하였다. 시험 결과 개발된 SW-P-69와 분체도막/인쇄 시트지 간의 층간부착성은 양호하였으며, Air spray를 통한 도장 작업성 및 외관, 부착방지 기능성은 기존 Lab. TEST 결과와 유사한 수준으로 확인되었다.

B. 대전 유성구 노은동 일대 현장 실증 도장

한국전력공사 대덕유성지사의 협조를 받아 노은동 일대 배전

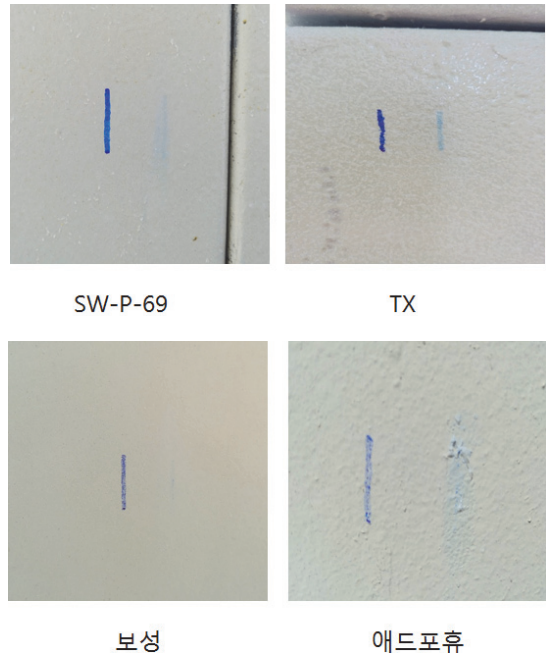


Fig. 4. 전력연구원 내 배전기기 실증 도장.




기기 9개소에 대하여 당사 개발품(SW-P-69) 4개소, 비교 평가를 위한 당사 기존 부착방지용 코팅제(스피탄넨스티커TX) 1개소, 에드포후 2개소, 보성파워텍 2개소에 대한 현장 실증시험을 Fig. 3과 같이 실시하였다.

시험에 제공된 배전기기가 장기 옥외폭로로 노후화되어 당사에 배정된 5개소에 대해서는 부식 방지를 위해 부식 및 오손방지 코팅제용으로 개발된 하도를 적용 후 부착방지용 코팅제를 도장하였다. 에드포후 및 보성파워텍 또한 부식방지용 하도를 별도 적용하였다.

배전기기 위치가 도로변에 설치되어 있는 상태임에 따라 도장 시 발생하는 분진에 의한 오염이 발생할 수 있어 Air spray 도장 대신 Roller 도장을 실시하였다. Roller 도장의 경우 Air spray 도장 대비 Bead 입자의 균일한 분포가 불가하여 부착방지 기능성이 상대적으로 저하되는 단점이 있으나, 실증시험 주변 조건을 감안하여 시험을 실시하였다. 상온 건조 2주일 후 매직오염성, 부착방지성능, 도장 외관에 대한 검증을 실시하였다. Fig. 4는 상온건조 2주가 완료된 도막에 유성 매직을 이용하여 별도의 세척용제 없이 거즈를 사용하여 제거되는 정도를 확인하였다. 스피탄넨스티커TX와 에드포후 코팅된 배전기기에서는 매직 흔적이 잔존하였으며, SW-P-69와 보성파워텍 제품이 적용된 배전기기에서는 매직 제거가 양호하였다. TABLE 2는 현장 실증도장 완료 후 현장 검증 과정에서 발생한 특이사항에 대한 내용을 정리한 것이다. 보성파워텍 제품이 도장된 배전기기는 TABLE 2에서 보는 바와 같이 도막의 건조가 늦어 차량 매연에 의한 도막 오염이 확인되었으며, 도장 완료 후 1개월 경과 이전에 도막 박리가 시작되어 점차 전파되는 현상이 확인되었다. 초기 부착방지 성능은 우수하나, 설치 후 장기간 설비가동이 필요하고 이에 따르는 코팅제의 장기 내구성을 요구하는 바 실증시험에 의한 확인된 도막박리 현상은 심각한 코팅제의 물성결함으로 판단된다.

TABLE 2의 에드포후 제품 또한 단기간 내 도막 박리가 발생하는 문제점이 발견되었다. Silicone rubber를 이용한 부착방지 기

TABLE 2
배전기기 실증시험체에 적용된 도로 성능평가

장소	대전 유성구 지족로 374	
날짜	2019.05.02	2019.05.30
식별번호	반석 SW-3	
코팅제	보성파워텍	
사진		
특이사항	도막 박리 현상 지속됨	
장소	대전 유성구 노은동로 99	
날짜	2019.05.30	
식별번호	중앙 TR-21	
코팅제	에드포휴	
사진		
특이사항	상단부 도막 박리 발생	
장소	대전 유성구 은구비로 42	
날짜	2019.05.30	
식별번호	노은 TR-17	
코팅제	SW-P-69	
사진		
특이사항	도막 박리 없음	불법광고물 부착 흔적

능성 제품의 공통적인 문제점인 내구성 불량에 발생한 것으로 보이며, 혹서기/혹한기를 거치며 도막 박리가 가속되어 기능성 및 외관 저하로 이어질 것으로 판단된다.

TABLE 2의 SW-P-69 코팅제 적용 배전기기는 도막이 견고하여 같은 기간 도막박리 등의 문제가 발생하지 않았다. 반면 광고부착물 일부가 도막에 붙어 있는 현상이 확인되었으나, 손으로 쉽게 제거되었으며 부착방지성능 기준(0.49 N/cm)은 충분히 만족하는 상태였다. 우레탄 결합에 의한 코팅제의 경우 외부에서 인위적인 충격으로 강제 박리시키지 않는 이상 도막이 박리되지는 않는 장기 내구성이 우수한 장점이 있어, 고내구성 코팅제에 광범위하게 활용되는 기술이다.

C. 현장 실증 시험 결과 종합분석

대전 유성구 노은동 일대 배전기기 9개소를 대상으로 당사 개발품(SW-P-69), 기존품(스피탄넌스티커TX), 보성파워텍, 에드포

휴 부착방지용 코팅제에 대한 실증시험을 진행하였다. 배정된 배전기기의 소재 부식 및 노후화가 심하여 차열기능성이 포함된 방청하도를 적용하였다.

보성파워텍 대비 당사 개발품의 건조성이 우수하여 도장 후 1일 경과 시 표면 끈적임이 없으며, 인성(Toughness)가 우수한 강인한 도막을 형성하는 것을 확인하였다 [4]. 부착방지 성능에 큰 영향을 미치는 Bead 입자의 균일한 분산을 위해 Spray 코팅하였을 경우 부착방지성능의 향상을 기대할 수 있을 것으로 예상된다. 보성파워텍과 에드포휴 제품은 도장 완료 후 1개월 이내에 배전기기 모서리 부분에서부터 박리가 진행되는 것이 확인되어 코팅막의 장기 내구성에 문제가 있는 것으로 판단되었다. 또한 도막의 박리 및 표면 오염이 심하여 미관저해의 요인이 될 수 있는 문제점을 확인하였다. 약 9개월 간 지속적인 현장 실증을 통해 코팅막의 물성검증을 진행 결과 개발품의 경우 초기의 부착력 및 내구성을 유지하였다. 기성품의 경우 실리콘 수지 베이스의 물성으로 인해 초기 부착력은 우수하나 일부 제품에 내구성 문제로 인한 박리 및 빗물 오염[5]이 조기 발생했다.

IV. Conclusion

본 논문에서는 전력기기 부착방지 코팅 기술은 기능성 코팅제를 도포할 수 있는 간단한 장치만 필요하기 때문에 기술 적용이 상당히 용이할 뿐만 아니라, 기술의 상품화도 동시에 추진할 수 있을 것으로 기대된다. 다양한 손상 환경에 따라서 그 조건에 맞는 최적의 코팅물질 및 공정 개발이 가능하며, 전력기기에 기능성 코팅을 쉽고 빠르게 할 수 있는 장점이 있다. 고객의 필요를 충족시키고, 현장 실증으로 Track Record를 조기에 확보함으로써, 전력기기 운영/정비/보수 시장에 진출하여 기술사업화 기반을 마련하고자 한다. 생체모방 코팅기술에 대한 기능성 코팅제 제조기술, 코팅제 도포기술, 공정 및 절차 등에 대한 지속적인 업그레이드로, 진보성과 경쟁력 있는 사업화가 가능할 것으로 전망한다.

Acknowledgment

This work was supported by Korea Electric Power Corporation under Grant R17XA04.

본 연구는 한국전력공사의 주력연구개발과제 연구비에 의해 지원되었음 (과제번호: R17XA04).

References

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "전력기기 결빙방지 및 자기세정을 위한 생체모방 기술개발"(1차년도 연차보고서), 2018.
- [2] 손승호, 한상철, 정용찬, 김기태, "광고물 부착방지용 도로 조성물 및 이의 제조방법", 2019-0056819, 2019.
- [3] 한국전력공사 전력연구원, "전력기기 결빙방지 및 자기세정을 위한 생체모방 기술개발"(2차년도 연차보고서), 2019.
- [4] ASTM standard D 522: standard test methods bend test of attached organic coatings.
- [5] Kansai paint, "도막의 빗물자국오염 메커니즘", 2014.