

# 코팅막의 두께에 따른 기능성 코팅의 내오염 특성 분석 및 전기철도용 애자로의 활용

## Anti-fouling Properties of Functional Coating according to the Film Thickness and its Application to the Insulators for Electrical Railway

선 박 문\* · 강 현 일\* · 최 원 석<sup>†</sup> · 김 정 현\*\*

(Bowen Shan · Hyunil Kang · Wonseok Choi · Jung Hyun Kim)

**Abstract** - A method of improving the anti-fouling characteristics of porcelain insulators was proposed in this study. Functional coating was performed as a method of reducing the surface contamination of the porcelain insulators. The functional coating was applied on a ceramic substrate, which has the same material as the porcelain insulators. After coating the ceramic substrate 2, 3, 4, and 5 times alternately in the horizontal and vertical directions, the surface characteristics according to the thickness of the coating film were analyzed. The optimal process was selected to coat the surfaces of the post insulators and long rod insulators, which are the representative porcelain insulators. After coating, heat treatment was performed for 1 hour at 200°C in a furnace to secure the durability of the coating film. Compared to the uncoated insulators, the insulators with the functional coating showed significantly improved anti-fouling characteristics as well as excellent adhesion to the coated insulator surface.

**Key Words** : Porcelain insulator, Self-cleaning, Functional coating, Anti-fouling, Film thickness

### 1. 서 론

자기애자 (Porcelain insulator)는 절연능력이 우수하고 강한 내구성을 갖기 때문에 전력계통 등의 전기설비에 사용하는 전기 절연물로 오랜 기간 사용되어 왔다[1]. 그러나 이러한 자기애자들은 이물질의 표면에 부착에 따른 오염으로 섬락 현상 같은 사고도 자주 발생하는 단점을 가진다[2]. 이러한 애자의 절연능력 상실로 인한 사고는 자주 발생하고 있으며 이에 따른 인명, 재산 등의 피해가 심각하다[3, 4]. 이러한 사고를 방지하기 위해 애자에 부착된 오염물을 쉽게 제거하여 절연 성능저하를 방지해야 한다[5]. 그러나 자기애자에 부착된 오염물은 자연강우와 풍력만으로 제거하기에 한계가 있기에 주기적인 관리가 필요하다. 특히 지하구간과 터널구간에 설치 운용중인 애자의 경우 주기적인 관리가 필요하며 이에 따른 오염처리를 위한 비용 증가 문제가 발생한다.

본 연구에서 오염방지 특성이 뛰어난 기능성 코팅을 자기애자 표면에 활용하여 오염 문제를 해결하는 방안을 제시하였고 기능성 코팅 박막의 두께에 따른 오염방지 특성을 확

인하였다. 표면 코팅 방식으로 딥핑 (Dipping), 브러시 (Brush), 스프레이 (Spray) 방식이 주로 사용된다. 이중 딥핑은 기존에 설치되어 있는 애자에 코팅할 수 없는 단점을 가지고, 브러시 코팅은 굴곡이 심한 애자에 활용하기 어려운 단점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 기능성 코팅의 애자 활용을 위해 스프레이 코팅 방법을 사용하였다.

굴곡이 심한 자기애자에 코팅한 후 코팅막의 두께와 표면 접촉각을 직접 측정하기 불가능이기 때문에 자기애자와 같은 재질인 세라믹 기판에 코팅 공정 완료 후 두께와 접촉각을 측정하였다. 실험을 통해 확보된 최적의 코팅 방식을 사용하여 실제 자기애자 표면에 코팅하였다. 코팅된 자기애자는 코팅되지 않은 자기애자와 비교 분석하여 오염방지 특성이 향상된 것을 확인하였다.

### 2. 실험 방법

자기애자의 오염방지 특성을 향상시키기 위해 사용한 기능성 코팅용액은 실리카 (SiO<sub>2</sub>), 리튬 (Lithium), 칼륨 (Kalium) 등의 무기물질을 주요 성분으로 포함하고 있다. 점성은 1~3 cP, 밀도는 1.1g/cm<sup>3</sup>, 비중은 1.13±0.05이다. 자기애자 뿐만 아니라 금속과 유리에도 코팅이 가능하다.

100×100 mm 크기 세라믹 기판에 샘플을 제작하였다. 코팅하기 전에 아세톤, 메탄올 및 DI water에서 10분씩 초음파 세척 후 질소가스를 사용하여 기판을 건조 시켰다. 굴곡이 존재하는 애자 표면에 코팅 가능한 스프레이 코팅 방식으로 공정을 수행하였다. 가로 세로 교대하여 2번, 3번, 4번 및 5번 4가지 방식으로 코팅하여 박막의 두께에 따른 특성 분석을 수행하였다. 코팅 박막의 내구성 향상을 위해 소성로

<sup>†</sup> Corresponding Author : Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea  
E-mail: wschoi@hanbat.ac.kr

\* Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea

\*\* Department of Applied Materials and Engineering, Hanbat National University, Korea

접수일자 : 2017년 4월 27일

최종완료 : 2017년 5월 29일

로 최적한 열처리 온도 200°C에서 열처리를 수행하였다. 제작이 완료된 시편은 두께, 접촉각 및 내오염 등의 특성에 대해 측정하였고 최적화된 공정을 사용하여 실제 전기철도용 자기애자 표면에 코팅하였다.

표면 분석기(AEP technology, NanoMap-LS)로 박막 두께를 측정하고 접촉각 측정기(SEO, Phoenix 300 Touch)를 사용하여 두께에 따른 시편의 접촉각 변화를 측정하였다. 유성매직펜(모나미, Oil magic ink)을 사용하여 오염방지 특성 분석을 수행하였다. 부착력을 측정하기 위해 ASTM D3359 검사기준을 바탕으로 측정을 수행하였다. 코팅된 세라믹 기판 표면에 격자선을 그은 다음 테이프를 붙이고 떼어내 그 격자선의 박리 정도에 따라 부착력을 결정하였다. 선과 선 사이의 거리는 1~2 mm 정도이다. 격자선이 깨끗하면 5B이고 격자선의 박리 정도가 5% 미만이면 4B, 5~15%는 3B, 15~35%는 2B, 35~65%는 1B 그리고 65%를 초과하면 0B이다[6].

### 3. 결과 및 고찰

합성된 박막의 두께 측정 결과를 그림 1에 정리하였다. 2번 코팅한 세라믹 기판 표면의 박막 평균 두께는 0.61 μm이고 3번 코팅한 경우는 1.10 μm이며, 4번과 5번 코팅한 경우는 각각 2.08 μm와 2.91 μm로 측정되었다.

박막의 두께가 증가하면 코팅 표면이 거칠어지며 접촉각이 낮아지는 것으로 알려져 있다[7]. 두께에 따른 접촉각 측정 결과를 그림 2에 정리하였다. 2번, 3번, 4번, 5번 코팅한 것은 각각 10.6°, 8.9°, 5.1°, 5.3°로 측정되었다.

두께에 따른 오염방지 특성을 확인하기 위해 기판 표면에 유성매직으로 마킹 후 물과 반응시켜 보았다. 이러한 결과를 앞서 접촉각 측정 결과와 마찬가지로 코팅 횟수가 증가함에 따라 접촉각이 감소하여 오염방지 특성이 향상된 결과이며 이러한 결과를 바탕으로 4번 코팅한 경우 가장 특성이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 오염방지 특성에 대한 측정 결과를 그림 3에 정리하였다.

4번 코팅한 최적화된 공정 방식을 사용하여 실제 전기철도용 애자 표면에 코팅을 수행하였다. 사용된 애자는 지지애자(KD, KRT-ES-000S-I001)와 장간애자(NGK, KRT-

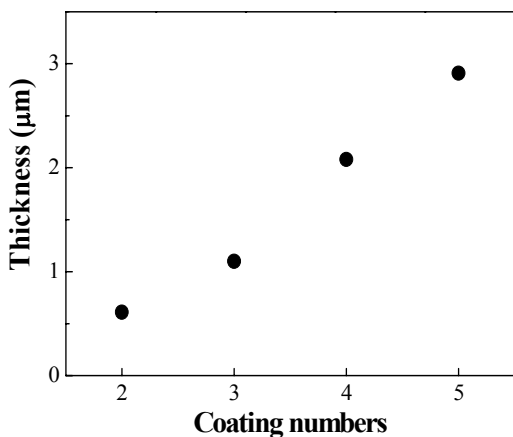


그림 1 코팅 횟수에 따른 박막 두께  
Fig. 1 Thickness according to the coating times

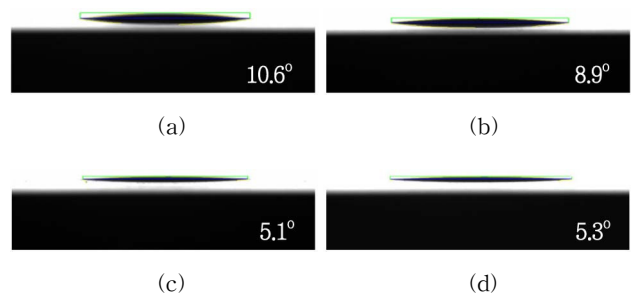


그림 2 코팅 횟수에 따른 세라믹 기판 위의 접촉각; (a) 2번 코팅된 샘플의 표면, (b) 3번 코팅, (c) 4번 코팅, (d) 5번 코팅

Fig. 2 Contact angle of ceramic substrate surface according to the coating times; (a) 2 times coated sample, (b) 3 times coated, (c) 4 times coated, and (d) 5 times coated

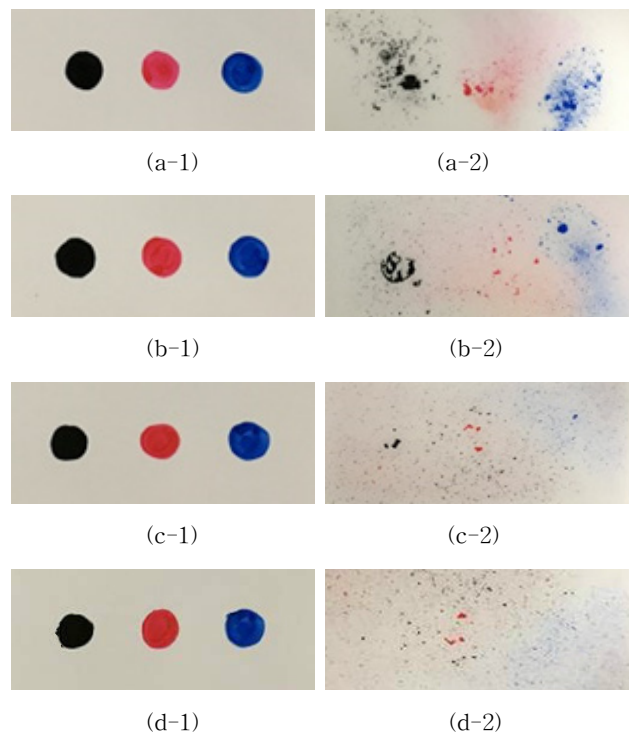
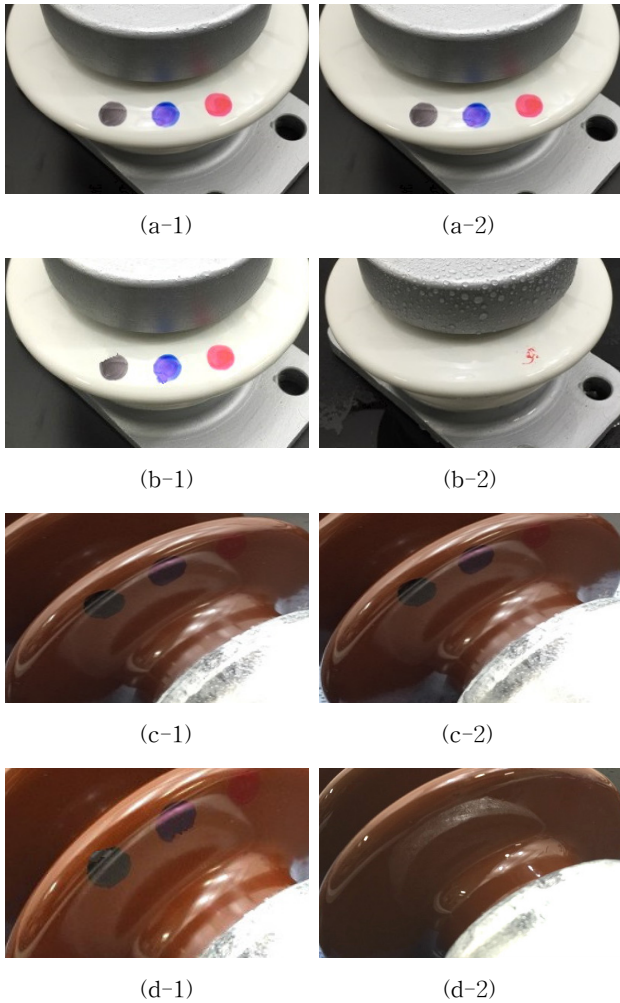


그림 3 코팅 횟수에 따른 세라믹 기판 위의 오염방지 특성, 유성 매직으로 마킹 후; (a-1) 2번 코팅된 샘플의 경우, (b-1) 3번 코팅, (c-1) 4번 코팅, (d-1) 5번 코팅, 물과 반응 시킨 후; (a-2), (b-2), (c-2), (d-2)

Fig. 3 Anti-fouling characteristics of ceramic substrate surface according to the coating times, after marked using a permanent maker. (a-1) 2 times coated sample, (b-1) 3 times, (c-1) 4 times, and (d-1) 5 times, after reaction with water; (a-2), (b-2), (c-2), and (d-2)

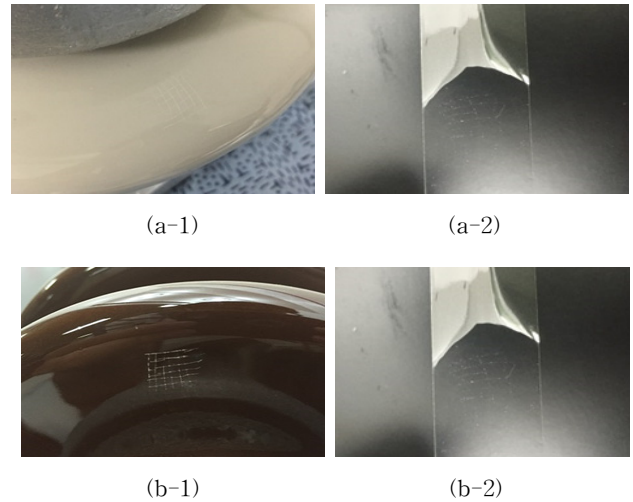
ES-000S-T001)의 두 종류이다. 코팅된 자기애자와 코팅되지 않은 자기애자를 비교하기 위해 오염방지 특성 테스트를 측정하였다. 측정결과를 그림 4에 정리하였다. 두 종류의 애



**그림 4** 코팅 유무에 따른 자기애자의 오염방지 특성, 유성 매직으로 마킹 후; (a-1) 일반 지지애자, (b-1) 코팅된 지지애자, (c-1) 일반 장간애자, (d-1) 코팅된 장간애자, 물과 반응 시킨 후; (a-2), (b-2), (c-2), and (d-2)

**Fig. 4** Anti-fouling characteristics of the porcelain insulators, after marked using a permanent maker. (a-1) general post insulator, (b-1) coated post insulator, (c-1) general long rod insulator, and (d-1) coated long rod insulator, after reaction with water; (a-2), (b-2), (c-2), and (d-2)

자 모두 코팅이 안된 경우 오염물질(유성펜 자국)이 그대로 있지만 코팅된 경우 말끔하게 제거되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 기능성 코팅이 실제 애자의 오염방지에 효과적인 것을 확인할 수 있다. ASTM D3359 기준에 따른 자기애자 표면 부착력 측정 결과를 그림 5에 정리하였다. 애자 표면에 격자선을 그은 후 테이프로 붙이고 떼어 코팅 박막이 하나도 박리되지 않은 것을 확인하였다. 두 가지 애자 표면 코팅막의 부착력은 모두 5B의 최우수한 결과를 나타내었다.



**그림 5** 자기애자 표면 부착력, 격자선을 그은 후; (a-1) 코팅된 지지애자, (b-1) 코팅된 장간애자, 테이프로 붙이고 떼어 후; (a-2), (b-2)

**Fig. 5** Adhesion measurement of the porcelain insulators, lattice lines drawn on surface; (a-1) coated post insulator, (b-1) coated long rod insulator, after tape attached to and detached from surface; (a-2), (b-2)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자기세정 능력을 가진 기능성 코팅을 세라믹 기판과 전기철도용 자기애자 표면에 적용하였다. 굴곡이 심한 자기애자 대신에 세라믹 기판을 선택하여 코팅한 후 표면 코팅막의 두께와 접촉각을 측정하였고 최적화된 공정 방식을 확보하여 실제 애자 표면에 코팅을 수행하였다. 2번, 3번, 4번 및 5번으로 코팅한 세라믹 기판 표면의 코팅막 두께는 각각 0.61  $\mu\text{m}$ , 1.10  $\mu\text{m}$ , 2.08  $\mu\text{m}$ , 2.91  $\mu\text{m}$ 이고 접촉각은 10.6°, 8.9°, 5.1°, 5.3°로 확인되었다. 코팅횟수가 증가할수록 오염방지 특성 또한 향상되었으며, 이는 코팅횟수가 증가함에 따라 필름 두께는 두꺼워 지고 접촉각은 감소하고 이에 따라 오염방지 특성은 우수해진 결과이다. 최적화된 공정 방식을 사용하여 실제 자기애자 위에 코팅을 수행하여 애자의 오염방지 특성이 향상된 것을 확인하였다. 또한 부착력 테스트를 통해 코팅된 애자 표면의 내구성도 우수한 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 확보된 기능성 코팅 기술은 자기애자에 활용하여 오염방지 특성을 향상시킬 수 있으며 전기애자 뿐만 아니라 오염방지가 요구되는 다양한 전기설비 분야에 활용 가능할 것으로 기대된다.

#### References

- [1] X. Jiang, J. Hu, Z. Zhang, and J. Yuan, "Switching impulse flashover performance of different types of insulators at high altitude sites of above 2800 m," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 15, no. 5, pp. 1340-1345, 2008.
- [2] Y. J. Jeon, G. C. Lee, S. B. Lee, K. I. Choi, T. H.

Lee, "A research on the tunnel insulator pollution characteristic in electric railroad," *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 3454-3459, 2009.

- [3] Y. S. Kim, K. M. Shong, M. I. Choi, "A Study on Selection of Cleaning Period and Pollution Analysis of Insulators in Tunnel," *J Korean Inst. IIIum. Electr. Install. Eng.*, vol. 24, issue. 4, pp. 149-155, 2010.
- [4] S. H. Chang, "Technical Considerations Relation to the Protection Wire Type Decision of Catenary System in the High Speed Line," *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 1596-1598, 2014.
- [5] C. B. Park, S. N. Chun, B. S. Lee, and C. M. Chu, "Analysis of Contaminants Adhered and Insulation Characteristics on Polymeric Insulators," *Trans. Korean Inst. Electr. Eng.*, pp. 56-57, 2008.
- [6] M. E. McKnight, J. F. Seiler, T. Nguyen, and W. J. Rossiter, "Measuring Peel Adhesion of Coatings," *J. Prot. Coat. Linings*, vol. 12, no. 5, pp. 82-89, 1995.
- [7] X. Liu, Z. Jiang, J. Li, Z. Zhang, and L. Ren, "Super-hydrophobic property of nano-sized cupric oxide films," *Surface & Coatings Technology*, vol. 204, iussue 20, pp. 3200-3204, 2010.



**최 원 석 (崔 源 錫)**

2006년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박사), 2006~2007년 플라즈마 응용 표면기술연구센터 박사후연구원, 2007년~현재 한밭대학교 정보기술대학 전기공학과 정교수  
 Tel : 042-821-1094  
 Fax : 042-821-1088  
 E-mail : wschoi@hanbat.ac.kr



**김 정 현 (金 正 顯)**

2009년 한국과학기술원 기계항공시스템학부 공학박사. 2009~2011년 Univ. of St. Andrews, Research Fellow 2011년~현재 한밭대학교 공과대학 신소재공학과 부교수  
 Tel : 042-821-1239  
 E-mail : jhkim2011@hanbat.ac.kr

저 자 소 개



**선 박 문 (單 博 文)**

2015년 한밭대학교 전기공학과 졸업, 2015년~현재 한밭대학교 전기공학과 석사과정  
 Tel : 042-821-1624  
 E-mail : shanbowen@naver.com



**강 현 일 (姜 賢 一)**

2007년 성균관대 전기전자공학과 졸업(공학박사), 2007~2008년 성균관대 정보통신공학부 연구교수, 2009~2011년 서울메트로 전문위원, 2011년~현재 한밭대학교 정보기술대학 전기공학과 부교수  
 Tel : 042-821-1091  
 E-mail : hikang@hanbat.ac.kr