

## 세라믹 기판위에 코팅된 기능성 필름의 열처리 분위기에 따른 내오염 및 기계적 특성

선박문<sup>1</sup>, 강현일<sup>1</sup>, 최원석<sup>1,a</sup>, 정연호<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한밭대학교 전기공학과

<sup>2</sup> 한밭대학교 전자제어공학과

### Effects of Annealing Ambient on the Anti-Pollution and Mechanical Properties of Functional Film Coated on the Ceramic Substrate

Bowen Shan<sup>1</sup>, Hyunil Kang<sup>1</sup>, Won Seok Choi<sup>1,a</sup>, and Yeun-Ho Joung<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

<sup>2</sup> Department of Electronic and Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

(Received March 2, 2016; Revised March 5, 2016; Accepted March 10, 2016)

**Abstract:** For the improvement of the anti-pollution properties of porcelain electrical insulators, in this study, we have applied the functional film to the surface of insulator. The functional films were coated on the ceramic substrates which components were like the porcelain electrical insulator. The coating material was applied to ceramic substrate by spray coating method and then the film was cured at around 300°C for 10 minutes with different gas ambient, such as O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and only vacuum. We have measured the contact angle of the coated surface, and obtained the lowest angle (8.9°) and a strong hydrophilic property at vacuum condition. The anti-pollution properties were measured, revealing that as the contact angle decreased, the anti-pollution properties improved. The mechanical hardness and adhesion were both excellent regardless of the annealing ambient.

**Keywords:** Electrical insulator, Functional coating, Self-Cleaning, Anti-Pollution, Annealing ambient

#### 1. 서론

전력계통, 전기철도 등의 전기설비에 사용하는 전기 절연물로 자기애자(porcelain insulator)가 오랜 기간 사용되어 왔다 [1,2]. 그러나 애자표면에 이물질의 부착에 따른 오염으로 섬락 현상이 발생하는 단점을 가진다 [2]. 이러한 사고를 방지하기 위해서는 애자에 부

착된 오염물을 제거하여 애자의 수명을 향상시켜 절연 성능저하를 방지해야 한다 [3]. 그러나 전기애자에 부착된 오염물은 자연강우나 풍력으로 제거하기에는 한계가 있기 때문에 주기적인 관리가 필요하다. TiO<sub>2</sub>를 바탕으로 한 광촉매는 우수한 자기세정(self-cleaning) 능력으로 오염방지를 필요로 하는 다양한 분야에 활용되고 있다 [4,5]. 그러나 지하구간과 터널구간과 같이 빛이 없는 곳에서 광촉매는 기능을 발휘할 수 없다.

본 연구에서는 빛 없이도 자기세정 기능을 가진 기능성 박막을 애자표면에 코팅하여 내오염 특성을 향상시키는 연구를 수행하였다. 굴곡이 심한 애자표면에 활용이 가능한 코팅 방식은 딥핑(dipping)과 스프레이 코팅

a. Corresponding author; [emblemdo@kopti.re.kr](mailto:emblemdo@kopti.re.kr)

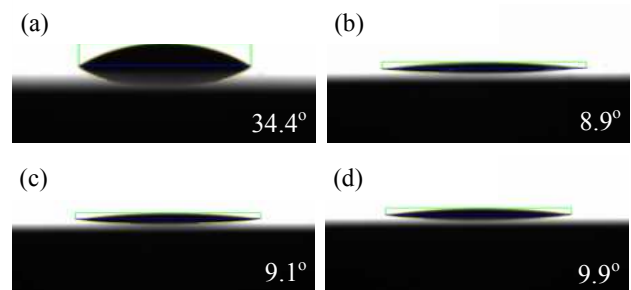
방식 등이 있다. 본 연구에서는 설치된 기존애자에도 활용가능한 스프레이 코팅방식을 사용하여 실험을 수행하였고 코팅 후 열처리 분위기에 따른 내오염 특성 및 기계적 특성 등을 비교 분석하였다.

## 2. 실험 방법

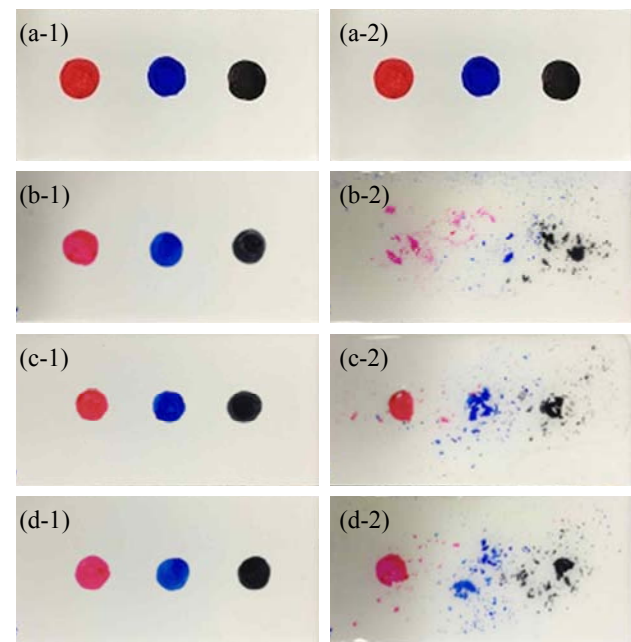
코팅 공정 이전 세라믹 기판 표면 세정을 위해 아세톤, 메탄올, D.I water에서 각각 10분 간 초음파 세척 후 마지막으로 질소가스를 사용하여 기판을 건조시켰다. 코팅 공정은 스프레이 분무기를 사용하여 세척된 기판 표면을 향해 균일하게 세로 방향과 가로 방향으로 각각 세 번씩 코팅을 수행하였다. 코팅된 필름은 RTA (rapid thermal annealing)를 사용하여 300°C의 온도에서 열처리를 수행하였다. 열처리 수행시 분위기에 따른 특성변화를 관찰하기 위해 진공, 산소 및 질소의 세 가지 분위기에서 각각 열처리 공정을 수행하였다. 접촉각 측정기(Phoenix 300 Touch, S.E.O.)를 사용하여 열처리 분위기에 따른 시편의 접촉각 변화를 측정하였고, 기계적 특성분석을 위해 ASTM D3363 기준에 따라 연필 (Mitsubishi, Japan) 경도 측정기(CT-PC1, Coretech)로 제작된 필름의 경도(hardness)를 측정 하였고, ASTM D3363 기준에 따라 부착력(adhesion)을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

열처리 분위기에 따른 접촉각을 그림 1에 정리하였다. 코팅하지 않은 세라믹 기판의 접촉각은 34.4°로 측정되었고 코팅된 세라믹 기판은 모두 10° 미만의 값을 나타내었다. 이러한 이유는 기능성 박막의 코팅에 따라 세라믹 기판 표면이 친수화 되었기 때문으로 판단된다. 산소 분위기와 질소 분위기에서 열처리한 경우의 접촉각은 각각 9.1°와 9.9°의 값을 나타내었고, 가스를 주입하지 않고 진공상태로 열처리한 경우 8.9°의 가장 낮은 값을 나타내었다. 열처리 분위기에 따른 오염방지 특성을 확인하기 위해 세라믹 기판 표면에 유성매직을 사용하여 마킹 후 건조시킨 다음 물을 뿌려 물과 반응시켜 보았다. 코팅하지 않은 세라믹 기판에 유성매직을 마킹하고(그림 2(a-1)) 물과 반응시켰을 때 아무런 반응이 없는 것을 확인하였다(그림 2(a-2)). 반면에 코팅을 수행한 모든 시편의 경우 물과의 반응에 의해 오염



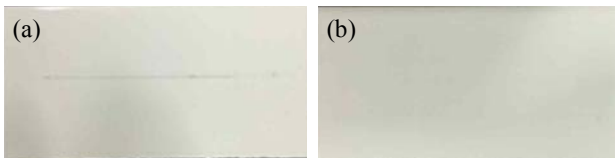
**Fig. 1.** Contact angle according to the annealing ambient, (a) uncoated substrate, (b) in vacuum condition, (c) in O<sub>2</sub> ambient, (d) in N<sub>2</sub> ambient.



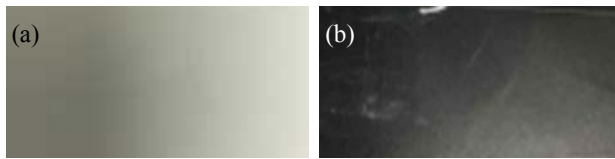
**Fig. 2.** Improvement anti-pollution properties according to the annealing ambient, after marked using a permanent marker on (a-1) uncoated substrate, (b-1) vacuum condition substrate, (c-1) O<sub>2</sub> ambient substrate, and (d-1) N<sub>2</sub> ambient substrate, after sprayed with water (a-2), (b-2), (c-2), and (d-2).

물질이 제거되는 것을 확인 할 수 있으며(그림 2(b-2), (c-2), (d-2)) 특히 진공상태에서 열처리된 시편의 경우 가장 우수한 내오염 특성을 나타내었다.

이러한 이유는 앞서 접촉각으로 확인하였듯 진공상태에서 열처리 시킨 경우 가장 낮은 접촉각을 갖는 강한 친수성 특성을 나타내었고 이러한 특성이 오염물질의 자기세정 작용에 영향을 준 것으로 판단된다. 경도는



**Fig. 3.** Surface hardness measurement of the sample annealed in vacuum condition, (a) a pencil line drawn on the surface, (b) after erasing the pencil line trace.



**Fig. 4.** Adhesion measurement of the sample annealed in vacuum condition, (a) lattice lines drawn on the surface, (b) after tape attached to and detached from the surface.

연필경도 측정기로 측정되었다. 연필 경도 등급은 9H-1H, F, HB 및 1B-6B로 정해지고 그 중 9H가 제일 강한 경도 등급이다. 연필로 그은 선을 지우고 코팅 표면의 상태를 확인하여 경도를 판단할 수 있다[6]. 측정 결과는 세 가지의 경우 모두 9H의 가장 높은 경도를 나타내었다. 그림 3에 진공상태에서 열처리한 기능성 박막의 경도 측정 결과를 정리하였다.

세라믹 기판위에 합성된 기능성 필름의 열처리 분위기에 따른 부착력을 측정하였다. 코팅된 세라믹 기판 표면에 격자선을 그은 다음 투명 테이프를 붙이고 떼어내 그 격자선의 박리 정도에 따라 부착력을 결정한다. 선과 선 사이의 거리는 1~2 mm 정도이다. 열처리 분위기에 관계없이 모두 격자선이 깨끗한 5B의 부착력을 나타내었다. 진공상태에서 열처리된 시편의 부착력 측정 결과를 그림 4에 정리하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 빛 없이도 자기세정 기능을 가진 기능성 박막을 세라믹 기판표면에 코팅하여 내오염 특성을 향상시키는 연구를 수행하였다. 스프레이 방식을

사용하여 세라믹 기판 위에 기능성 필름을 코팅한 뒤 진공, 산소 및 질소의 세 가지 분위기에서 각각 열처리하였다. 제작된 시편의 특성분석으로 접촉각, 내오염 특성, 경도 및 부착력 테스트를 수행하였다. 진공상태에서 열처리한 경우 8.9°의 가장 낮은 접촉각을 나타냈으며 코팅을 한 경우 모두 10° 미만의 친수성 표면 특성을 나타내었다. 내오염 특성분석을 수행한 결과 코팅을 수행한 경우 모두 오염방지 특성이 향상되는 것을 확인하였으며 특히 접촉각이 낮을수록 자기 세정 특성이 우수한 것을 확인하였다. 기계적 경도와 부착력 측정결과 열처리 분위기에 관계없이 모두 9H와 5B의 우수한 결과를 나타내었다. 본 연구를 통해 확보된 기능성 필름 코팅 기술과 열처리 기술은 전기애자에 활용하여 오염방지 및 유지보수의 효율화와 안전성을 확보할 수 있으며 전기애자 이외에 오염방지가 요구되는 모든 전기설비 분야에 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B091404-02)에 의해 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] X. Jiang, J. Hu, Z. Zhang, and J. Yuan, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **15**, 1340 (2008). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2008.4656242>]
- [2] J. Sun, G. Gao, L. Zhou and G. Wu, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **20**, 731 (2013). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TDEI.2013.6518942>]
- [3] Y. S. Kim, K. M. Shong, and M. I. Choi, *Journal of the KIIEE*, **24**, 149 (2010).
- [4] Q. Li, Q. Liu, B. Peng, L. Chai, and H. Liu, *Constr. Build. Mater.*, **106**, 236 (2016). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.088>]
- [5] B. Xin, L. Wang, C. Jia, *Appl. Surf. Sci.*, **357**, 2248 (2015). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.218>]
- [6] A. K. Tiwari, H. Kumar, R. Bajpai, and S. K. Tripathi, *J. Chem. Pharm. Res.*, **2**, 172 (2010).