

접지시스템의 부식 방지를 위한 CNT/PVDF 복합막의 내부식 특성

임영택¹, 신백균¹, 최선규², 이선우^{3,a}

¹ 인하대학교 전기공학과

² 한국전력공사 전력연구원

³ 인하공업전문대학 전기정보과

Anti-corrosion Property of the CNT/PVDF Composite Coating Films for Preventing the Corrosion of the Ground System

Young Taek Lim¹, Paik-Kyun Shin¹, Sun-Kyu Choi², and Sunwoo Lee^{3,a}

¹ School of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

² Korea Electric Power Corporation Research Institute, Daejeon 305-760, Korea

³ Department of Electrical Information, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea

(Received October 16, 2014; Revised October 24, 2014; Accepted October 24, 2014)

Abstract: In this paper, we propose an enhanced anti-corrosion property of the ground system by coating the CNT/PVDF composite film on it. Polymer material used for preventing the corrosion of ground system is polyvinylidene fluoride (PVDF), and conducting filler for obtaining conductivity of the composite film is multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). The MWCNTs were dispersed in the organic solvent of methyl ethyl ketone 2-butanone (MEK) with different concentration ratios, and the PVDF was solved in the MEK solvent with constant concentration ratio of 1 wt%. The CNT/PVDF composite solution was prepared by mixing and re-dispersing the CNT solution and the PVDF solution. Finally, the CNT/PVDF composite films were fabricated by the spray coating method using the above composite solution. Electrical conductivity, surface states, and anti-corrosion property of the CNT/PVDF composite films coated on the Cu substrate were evaluated. We found that the CNT/PVDF composite film showed relatively low resistance, hydrophobic surface state, and chemical stability. Consequently, we could improve the anti-corrosion property and maintain the electrical conductivity of the ground system by coating the CNT/PVDF composite film on it.

Keywords: Anti-corrosion, Ground system, CNT/PVDF composite film, Hydrophobic

1. 서론

접지구조물에서 발생하는 부식은 접지시스템의 신뢰성을 해치는 주요한 요인 중 하나이다. 일반 접지극의 경우 대지의 토양과 집적 접촉하여 자연 부식을 일으키거나 토양 내에 존재하는 수분과 여러 화학 성분들이 접지봉을 통해 흐르는 전류로 인해 화학적 전기 분해 반응을 일으켜 접지봉을 손상시키고 있어 접지극의 수명 단축 및 재시공을 필요로 하고 있다. 이

a. Corresponding author; swlee@inhac.ac.kr

러한 단점을 보완하기 위해 본 연구는 일반 접지구조물에 내부식성이 강한 고분자와 도전성을 부여하기 위한 나노재료를 복합화하여 코팅함으로써 기존의 접지구조물의 단점을 보완하고자 하였다.

CNT는 나노재료 중 전도성을 부여할 수 있는 여러 재료 중 하나이다. CNT는 나노 기술의 대표적인 물질로, 나노 크기의 튜브 반경과 100:1 이상의 높은 종횡비, 그리고 물리·화학적 안정성 등으로 인해 전기, 전자, 재료 등의 여러 분야에서 많은 연구기관들이 CNT를 이용한 응용 소자를 개발하고 있다 [1-6].

Polymer 재료를 이용한 초소수성 표면을 제작하기 위한 많은 연구가 진행되어 지고 있는데 예를 들어 photolithography, sol-gel, chemical deposition, 그리고 polymer coating 등이 있다 [7-14]. 이러한 기술들은 초소수성을 얻기 위하여 표면을 나노 크기의 binary 구조를 형성하는 것으로 물방울이 표면과 최소한으로 접촉하게 하는 역할을 한다. 접촉면과 접촉각의 관계는 Wenzel, Cassie-Baxter 방정식으로 설명이 된다 [15, 16].

본 논문에서는 PVDF 고분자의 내화학적 및 발수 특성을 이용하여 접지구조물에서 발생하는 부식을 방지하는 역할을 부여하고, 이에 전도성이 우수한 MWCNT를 첨가하여 전도성을 부여함으로써 접지구조물 본래의 역할을 수행할 수 있도록 하기 위한 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

CNT/PVDF 복합막의 제작은 스프레이 코팅법을 사용하였으며, 스프레이 코팅에 사용될 CNT/PVDF 용액의 제작과정은 다음과 같다. 먼저, 100 ml의 MEK 용매에 0.015~0.15 wt%의 CNT를 넣고 30 min 동안 초음파 처리하여 분산하였다. 다음으로, 1 wt%의 PVDF를 100 ml의 MEK 용매에 넣고 교반기 위에서 50°C의 온도에서 300 rpm으로 6 h 동안 교반하여 용해하였다. 마지막으로, 100 ml의 CNT 용액과 100 ml의 PVDF 용액을 혼합하여 교반기 위에서 300 rpm으로 교반하였다. 이러한 방법으로 제작된 CNT/PVDF 용액을 이용하여 스프레이 코팅법으로 핫 플레이트 위에 놓여진 Cu 기판 위에 코팅하였다. 스프레이 코팅은 2 bar의 압력으로 5 min 동안 수행하였으며, 유기 용매인 MEK를 증발시키기 위해 핫플레이트의 온도를 80°C로 설정하였다. 그림 1(a)에 스

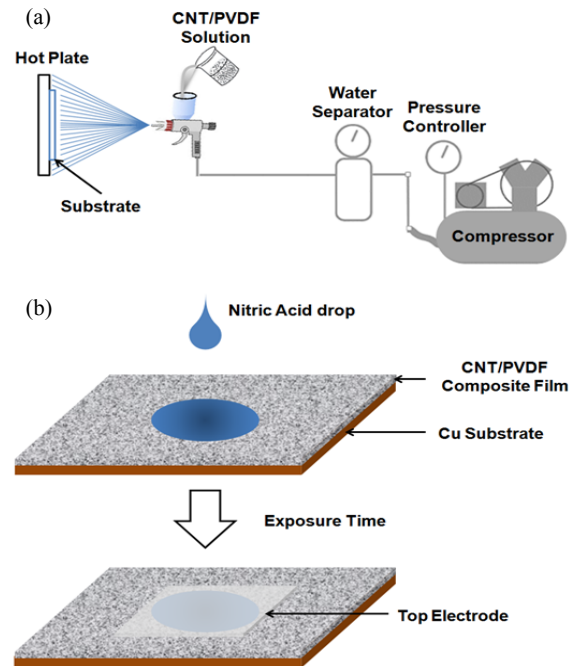


Fig. 1. Schematics of (a) the spray coating method and (b) the anti-corrosion property measurement.

프레이 코팅 과정을 나타내었다.

스프레이 코팅법으로 제작된 CNT/PVDF 복합막의 전기적 특성을 관찰하기 위해 I-V 측정을 하였다. Keithley 2400 Source-meter를 사용하여 0~1 V의 전압을 가하여 변화되는 전류량을 측정하였다.

제작된 CNT/PVDF 복합막의 표면 특성을 평가하기 위해 접촉각 측정기를 사용하여 측정하였다. CNT/PVDF 복합막의 내화학적 특성을 관찰하기 위해 0.1 ml의 질산 용액을 Cu 기판과 CNT/PVDF 복합막이 코팅된 Cu 기판에 떨어뜨린 후 시간의 경과에 따른 저항의 변화를 관찰하였다. 그림 1(b)에 내화학적 특성의 측정 방법을 나타내었으며, 시간의 경과에 따른 저항의 변화를 관찰하기 위해 I-V 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Cu 기판 위에 스프레이 코팅법으로 제작된 CNT/PVDF 복합막에서 CNT 함유량에 따른 전기적

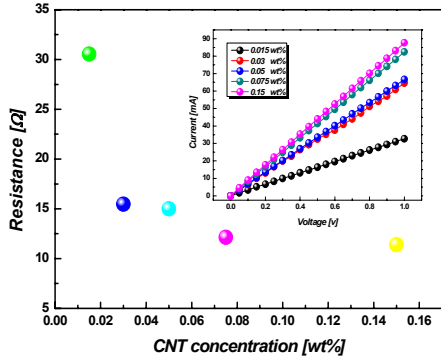


Fig. 2. I-V curves of the CNT/PVDF composite films with the CNT concentration and resistance (inset) derived from the I-V curves.

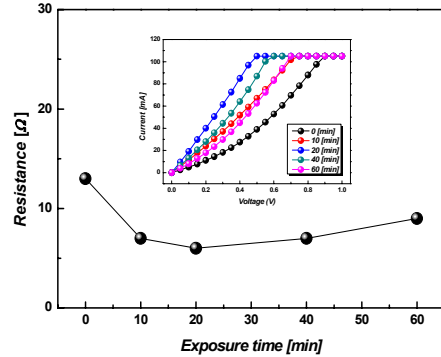


Fig. 4. I-V curves (inset) and resistance derived at 0.5 V from the I-V curves of the CNT/PVDF composite films with the nitric acid exposure time.

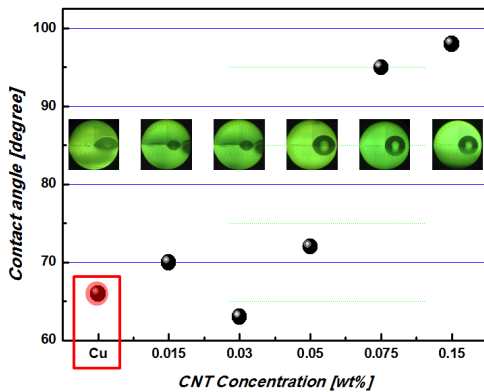


Fig. 3. Contact angle of the CNT/PVDF composite films with the CNT concentration.

특성을 I-V 특성을 통해 측정하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. CNT의 함유량이 증가함에 따라 전류의 양이 증가하는 것을 알 수 있으며, 이것은 CNT가 PVDF 내부에 고르게 분산되어 CNT 네트워크에 의한 채널이 형성되어 전도성이 향상되었다는 것을 의미한다 [17]. 또한, CNT/PVDF 복합막이 코팅된 Cu 기판에서 CNT의 함유량이 0.15 wt%인 경우에 약 10 mΩ의 저항이 관찰되어, 접지 시스템에 사용하기에 부족하지 않음을 알 수 있다.

CNT/PVDF 복합막의 코팅 전후의 Cu 기판의 표면 상태를 조사하기 위해 CNT의 함유량에 따른 CNT/PVDF 복합막에서의 접촉각 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. Cu 기판에서의 접촉각은 66°로 매우 낮아 친수성 표면임을 알 수 있다.

그러나 CNT/PVDF 복합막이 코팅된 기판은 CNT의 함유량이 증가함에 따라 접촉각이 커지는 현상이 관찰되었으며, 이는 CNT/PVDF 복합막이 코팅된 Cu 기판의 표면 성질이 소수성으로 변해 간다는 것을 유추할 수 있다. 따라서 Cu 기판을 CNT/PVDF 복합막으로 코팅하는 경우, 표면의 성질이 소수성으로 개질되어 접지시스템에서 부식의 원인이 되는 수분 및 화학 약품과의 접촉을 막을 수 있을 것이라 기대된다.

CNT가 0.15 wt%가 포함되어있는 CNT/PVDF 복합막의 내부식성 평가를 위해 복합막이 질산에 노출된 시간의 경과에 따른 전기적 특성의 변화를 관찰하였으며, 결과를 그림 4에 나타내었다.

질산에 노출되지 않은 CNT/PVDF 복합막에 비해 노출된 복합막의 저항이 다소 작아지는 경향이 있으나, 이는 복합막 표면에 존재하는 고분자의 일부가 용해됨으로써 CNT가 노출되어 CNT의 네트워크에 의한 저항의 감소로 생각할 수 있다. 노출 시간의 경과에 따라 저항은 다소 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보이지만, 그 변화폭은 크지 않은 것을 알 수 있다. 따라서 CNT/PVDF 복합막이 코팅된 접지시스템은 외부의 화학적 공격에 크게 영향을 받지 않는다고 생각할 수 있다.

이상의 결과로부터, 접지시스템의 부식을 방지하며 접지시스템 본래의 역할인 도전성을 확보하기 위해 도입한 CNT/PVDF 복합막의 코팅은 전력설비의 운용 측면에서 상당한 성과를 가져올 수 있을 것이라 기대할 수 있다. 단, 접지시스템을 구성하는 여러 가지의 부품에 일률적으로 적용하기에는 아직 해결 과

제가 남아 있다. 예를 들어, 타입식으로 설치하는 접지봉은 타입 시에 코팅막이 벗겨지거나 손상되는 경우가 발생할 수 있기 때문에, 접지봉의 표면과 코팅막 사이의 접착력이 향상되어야 할 뿐만 아니라 코팅막을 구성하는 고분자의 내마모성도 개선되어야 한다.

4. 결 론

본 논문에서는 접지시스템에서 발생하는 부식 문제를 방지하기 위해 CNT/PVDF 복합막을 스프레이 코팅법으로 접지시스템에 코팅하여 접지시스템이 내화학특성을 개선하고자 하였다. 접지시스템의 부식을 방지하기 위해 내화학 특성이 우수한 PVDF 고분자를 도입하였으며, 접지시스템 본래의 역할인 전기 전도성을 확보하기 위해 도전성이 우수한 CNT를 도입하였다.

CNT/PVDF 복합막의 전기전도도를 측정된 결과 0.15 wt%의 CNT 함유량을 가진 복합막에서 약 10 mΩ의 저항을 확보하여 접지시스템에 적용 가능함을 확인하였다. 또한, CNT/PVDF 복합막의 접촉각 측정 결과 소수성의 표면 특성을 확인하였으며, 내화학 특성을 평가하기 위한 방법으로 질산 용액을 CNT/PVDF 복합막에 노출한 결과 저항의 증가가 관찰되지 않음을 확인하였다. 이상의 표면 특성과 내화학 특성으로부터 CNT/PVDF 복합막은 내부식성의 원인이 되는 수분 및 화학약품과의 반응성이 매우 낮은 것으로 판단되어 내부식성이 우수함을 확인하였다.

결과적으로 CNT/PVDF 복합막을 접지시스템에 적용함으로써, 접지시스템이 내부식성을 가짐과 동시에 도전성을 유지하여 접지시스템의 수명 연장을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국전력공사의 재원으로 기초전력연구원의 2013 선정 기초연구개발과제의 지원을 받아 수행된 것임. [과제번호 : R13DA13].

REFERENCES

- [1] W. B. Choi, D. S. Chung, J. H. Kang, H. Y. Kim, Y. W. Jin, I. T. Han, Y. H. Lee, J. E. Jung, N. S. Lee, G. S. Park, and J. M. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 3129 (1999).
- [2] S. Lee, J. S. Lim, and S. J. Baik, *J. Electrochem. Soc.*, **158**, K193 (2011).
- [3] Y. Saito, K. Hamaguchi, S. Uemura, K. Uchida, Y. Tasaka, F. Ikazaki, M. Yumura, A. Kasuya, and Y. Nishina, *Appl. Phys. A*, **67**, 95 (1998).
- [4] O. K. Varghese, P. D. Kichambre, D. Gong, K. G. Ong, E. C. Dickey, and C. A. Grimes, *Sensors Actuators B*, **81**, 32 (2001).
- [5] L. Valentini, L. Lozzi, C. Cantalini, I. Armentano, J. M. Kenny, L. Ottaviano, and S. Santucci, *Thin Solid Films*, **436**, 95 (2003).
- [6] S. Lee, S. Moon, H. S. Yoon, X. Wang, D. W. Kim, I. S. Yeo, U. I. Chung, J. T. Moon, and J. Chung, *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 182106 (2008).
- [7] D. Zahner, J. Abagat, F. Svec, J.M.J. Frechet, and P. A. Levkin, *Adv. Mater.*, **23**, 3030 (2011).
- [8] A. Pozzato, S. D. Zilio, G. Fois, D. Vendramin, G. Mistura, M. Belotti, Y. Chen, and M. Natali, *Microelectron Eng.*, **83**, 884 (2006).
- [9] S. J. Sakka, *Sol-Gel Sci. Techn.*, **37**, 135 (2006).
- [10] A. Cannavale, F. Fiorito, M. Manca, G. Tortorici, R. Cingolani, and G. Gigli, *Build. and Environ.*, **45**, 1233 (2010).
- [11] Y. Park, M. Han, and Y. Ahn, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **32**, 1091 (2011).
- [12] M. Han, Y. Park, J. Hyun, and Y. Ahn, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **31**, 1067 (2010).
- [13] H. Y. Erbil, A. L. Demirel, Y. Avci, and O. Mert, *Science*, **299**, 1377 (2003).
- [14] Y. Park and Y. Ahn, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **32**, 4063 (2011).
- [15] R. N. Wenzel, *Ind. Eng. Chem.*, **28**, 988. (1936).
- [16] A.N.D. Cassie and S. Baxter, *Trans. Faraday Soc.*, **40**, 546 (1994).
- [17] J. H. Han and Y. C. Choi, *Synthetic Metals*, **185**, 45 (2013).