

## NaCl에 의한 PVC 케이블의 부분방전 열화 특성에 관한 연구

이성일<sup>a</sup>

한국교통대학교 안전공학과

### A Study on Partial Discharge Degradation Properties of PVC Cable due to NaCl

Sung Ill Lee<sup>a</sup>

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 380-702, Korea

(Received September 19, 2015; Revised September 23, 2015; Accepted September 24, 2015)

**Abstract:** In this study, the partial discharge degradation properties for 2-core PVC cable(2 cores  $\times$  1.5 mm<sup>2</sup> cross section, length of 10 cm, 20 cm, 30 cm) following immersion with the salt water that the 2%, 4%, 8% of NaCl is dissolved in 100 g of distilled water for 48 and 96 hours has been measured. The results of this study are as follows. When the degradation time in salt water of 2% NaCl is 48 hours, it found that the number of partial discharge increased as about 40 pps, 50 pps, 90 pps with increasing the length of cable to 10 cm, 20 cm, 30 cm. In case the concentration and degradation time is same, the inception and extinction voltage decreased with increasing the length of cable. When the degradation time in salt water is 96 hours and the length of cable is 20 cm, it found that the number of partial discharge decreased as 3,000 pps, 500 pps, 100 pps with increasing the concentration of NaCl to 2%, 4%, 8%.

**Keywords:** Partial discharge, Silicone cable, Carbonized road, Partial discharge charge quantity, Inception voltage, Extinction voltage

#### 1. 서 론

다양한 기후 환경의 변화 속에 특수 목적으로 사용되고 있는 고분자 절연 케이블은 장기간 NaCl 스트레스를 받아서 전기적 물성치의 열화에 의해 절연재가 수명이 단축되어 감전이나 화재 등의 재해가 발생하게 된다 [1,2]. 케이블의 화학적 결합에 의해 생긴 공극이나 이물질 등에 의한 부분방전 발생원인 규명은 아직 해결하여야 할 부분이 너무 많다. 이에 시료로 선정한 PVC (polyvinyl chloride) 케이블은 C-Cl 극성기 때문에 유극성이 되어 분자간의 힘이 크므로 딱딱하게 된다. 저분자 가소제로

D.O.P. (dioctyl phthalate)를 수지 100에 대해 50을 넣으면 분자간의 힘이 약해져서 가소성이 부여하게 되어 연질 염화비닐이 만들어지게 된다. 전기적으로는 유전정접이 커서 저전압, 저주파용으로 전선, 코드 피복재 및 테이프 등 종래의 고무 절연에 대체되어 사용된다. 또 내약품성 및 성형성이 우수하여 전선 및 배관 등으로 사용되고 있다 [3-5]. 교류 부분방전 시험은 케이블 절연체에 사용 전압과 비슷한 상용 주파 교류 전압을 인가하여 절연체 내부에 공극(void), 이물 혼입 등의 국부적 결함에 의해 발생하는 부분방전을 정량적으로 측정하여 절연체의 열화 상태를 가늠할 수 있는 방법이다 [6,7].

이 연구에서는 10 cm, 20 cm, 30 cm인 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도가 2%, 4%, 8% 상태에서 48 시간, 96시간 동안 열화시킨 후 인가전압에 따른 방전전하량(V-Q), 방전전하량에 따른 방전발생 수(Q-N)을 측정하여 열화의 정도를 비교 검토하였다.

a. Corresponding author; [silee@ut.ac.kr](mailto:silee@ut.ac.kr)

## 2. 실험 방법

### 2.1 측정

#### 2.1.1 측정시료

이 연구에서는 300/500 V용 PVC (polyvinyl chloride) 2코어 전력용 케이블(2 cores × 1.5mm<sup>2</sup> cross section)을 10 cm, 20 cm, 30 cm인 시료(주: Tomas 전선)를 그림 1과 같이 구리 부분을 1 cm의 나전선으로 제작했다. 또한 시료를 증류수 100 g에 NaCl 2%, 4%, 8% 배합된 용액에 48시간, 96시간 동안 침적하여 열화시켰다. 또한 시료의 길이 및 NaCl 농도를 변화시켜 인가전압에 따른 방전전하량(V-Q), 방전전하량에 따른 방전발생 수(Q-N)을 측정하여 부분 방전 열화를 측정하였다.

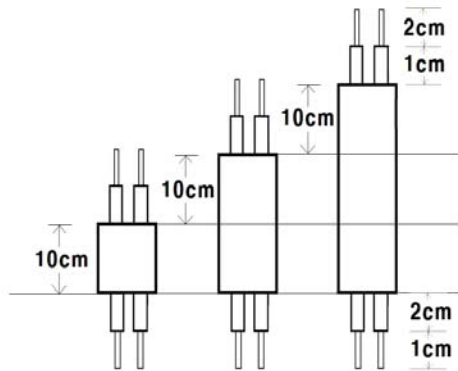


Fig. 1. A schematic illustration of cable specimen.

### 2.2 측정 장치 및 회로

실험장치는 일본 NKS 사의(Nihon Keisokuki Seizosho Co., Ltd.) 부분 방전 측정 시스템을 사용하였다. 부분방전 측정 시스템은 HV-30K05 가변 저항기와 변압기, 커플링 콘덴서(BL코일), 교정전하 생성기 NPG-2, 오실로스코프, 자동화 부분방전측정기인 CD-6, 부분방전 검출 임피던스 DI-21, AC전압 측정장치 ACU-1, 그리고 데이터 기록 및 원격 자동화 측정 소프트웨어 CD-6AU 및 결과 분석 프로그램인 PDANALA가 탑재된 노트북 컴퓨터로 구성되었으며 측정회로도를 그림 2에 나타내었다. 또한 V-Q 측정시는 최대인가 전압 1.2 KV까지 서서히 인가시키며 측정하였으며, Q-N 측정은 측정전압 1.95 kV 인가 후

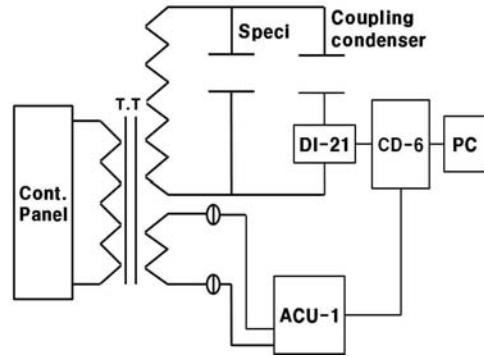


Fig. 2. Block diagram of partial discharge measuring equipment.

INPUT ATT=1/1에서 시작하여 INPUT ATT=1/1,000 까지 INPUT ATT를 감쇄시키면서 값을 측정하였다. 또한, 이 동작을 500 ms의 속도로 10회 반복 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3~5는 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블(2 cores × 1.5 mm<sup>2</sup> cross section)을 NaCl 농도 2%, 절연체 부분을 침적 열화시간 48시간 동안 10 cm, 20 cm, 30 cm인 시료를 구리 부분 2 cm의 도체로 제작한 후 1.62~1.74 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정한 결과이다. 이때의 측정주기는 500 ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다.

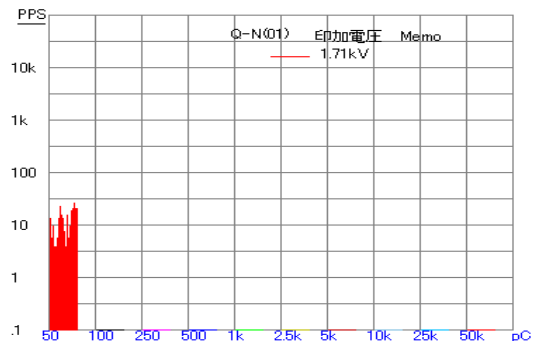


Fig. 3. Q-N properties of pvc cable(10 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

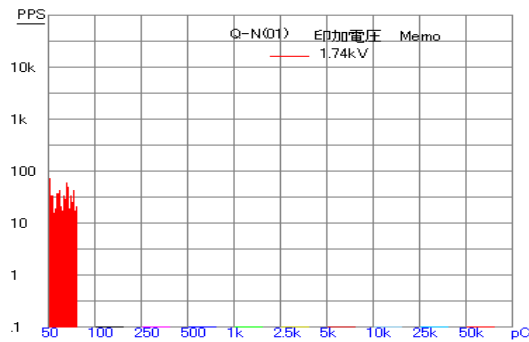


Fig. 4. Q-N properties of pvc cable(20 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

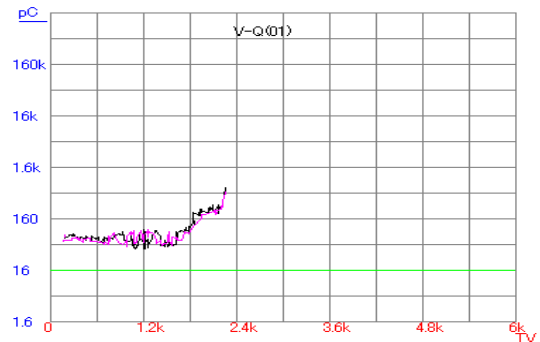


Fig. 6. V-Q properties of pvc cable(10 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

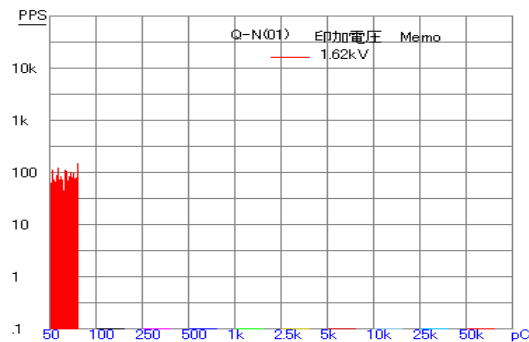


Fig. 5. Q-N properties of pvc cable(30 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

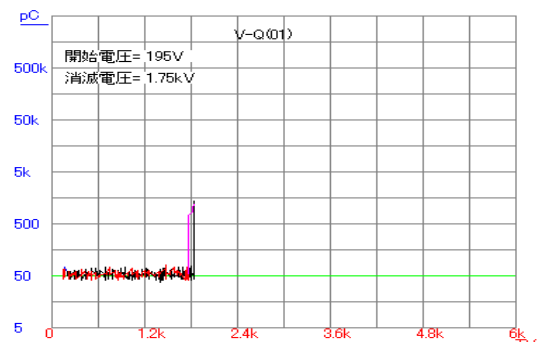


Fig. 7. V-Q properties of pvc cable(20 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

그림 3은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 2%, 절연체 부분 10 cm, 구리 부분 2 cm인 시료를 제작하여 48시간 동안 침적 열화시켜 1.71 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 이때의 측정주기는 500 ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다. 방전전하량이 50 pC일 때 발생 빈도수는 약 10 pps 정도를 나타내었다.

그림 4는 그림 3과 같은 조건에서 절연체 부분 20 cm, 구리 부분 2 cm인 시료를 제작하여 48시간 동안 침적 열화시켜 1.74 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 이때의 측정주기는 500 ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다. 방전전하량이 50 pC일 때 발생 빈도수는 약 40 pps 정도를 나타내었다.

그림 5는 그림 3과 같은 조건에서 절연체 부분 30 cm, 구리 부분 2 cm인 시료를 제작하여 48시간 동안

침적 열화시켜 1.62 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 이때의 측정주기는 500ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다. 방전전하량이 50 pC일 때 발생 빈도수는 약 100 pps 정도를 나타내었다. 그림3~5에서 2%의 농도 열화시간이 48시간일 경우 길이 길어질수록 방전빈도수는 10pps, 40pps, 100pps로 증가함을 확인했다.

그림 6~8은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블(2 cores  $\times$  1.5 mm<sup>2</sup> cross section)을 NaCl 농도 2%, 침적 열화시간 48시간 동안 10 cm, 20 cm, 30 cm인 시료의 인가전압에 따른 부분방전 개시전압과 소멸전압을 측정된 결과이다. 그림 6은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 2%, 48시간 동안 10 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 0.7 kV, 부분방전 소멸전압은 1.75 kV이었다.

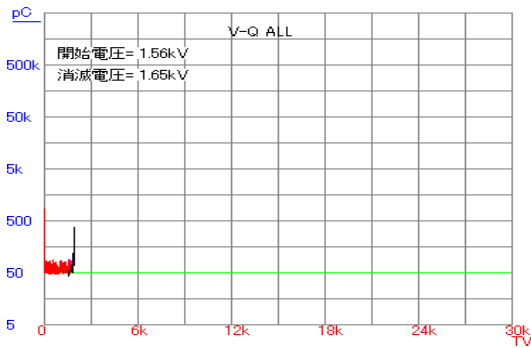


Fig. 8. V-Q properties of pvc cable(30 cm) NaCl 2%, degraded time 48 hours.

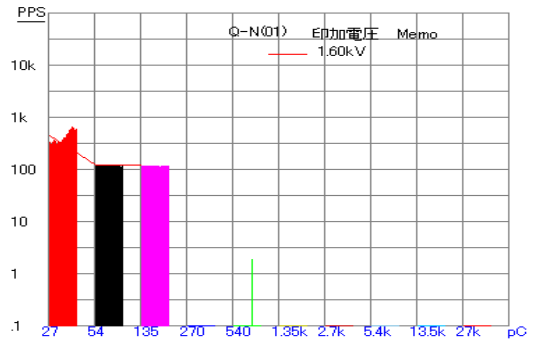


Fig. 10. Q-N properties of pvc cable(20 cm) NaCl 4%, degraded time 96 hours.

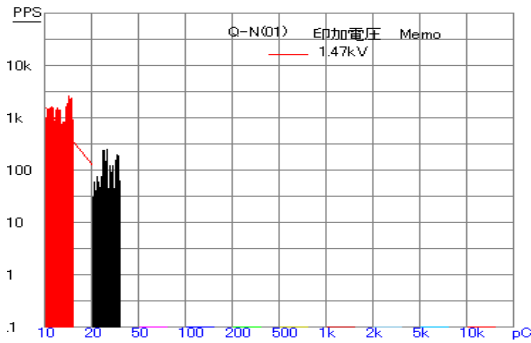


Fig. 9. Q-N properties of pvc cable(20 cm) NaCl 2%, degraded time 96 hours.

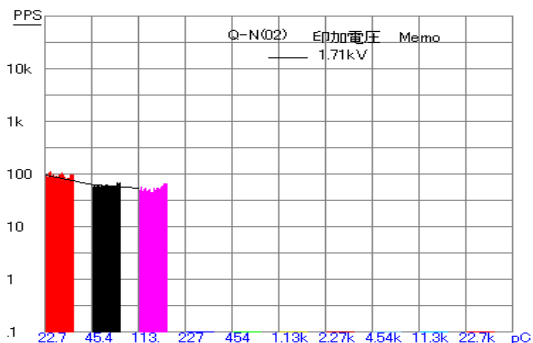


Fig. 11. V-Q properties for degraded silicone cable at the rate of 100%.

그림 7은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 2%, 48시간 동안 10 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 196 V, 부분방전 소멸전압은 1.75 kV이었다.

그림 8은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 2%, 48시간 동안 30 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 1.56 kV, 부분방전 소멸전압은 1.65 kV 정도였다. 그림 6~8에서 2%의 농도 열화시간이 48시간일 경우 길이가 길어질수록 개시전압은 약 0.6 kV, 1.65 kV, 196 V, 1.56 kV 정도로 염분의 농도보다 공극의 영향을 더 받았다고 판단된다.

그림 9~11은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블의 길이 20 cm, NaCl 농도를 2%, 4%, 8%로 변화시켜 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료를 나전선 부분 2 cm로 제작한 후 1.47~1.71 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전

발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 이때의 측정 주기는 500 ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다.

그림 9는 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블의 길이 20 cm, NaCl 농도를 2%에 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료를 나전선 부분 2 cm로 제작한 후 1.47 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 이때의 측정주기는 500 ms이며, 측정 반복 횟수(loop)는 10회로 설정하였다. 방전전하량이 10 pC일 때 발생 빈도수는 약 3,000 pps, 20 pC일 때 발생 빈도수는 약 60 pps 정도로, 감소했음을 확인했다.

그림 10은 그림 9와 같은 조건에서 NaCl 농도를 4%에 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료를 나전선 부분 2 cm로 제작한 후 1.60 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 방전전하량이 27 pC일 때

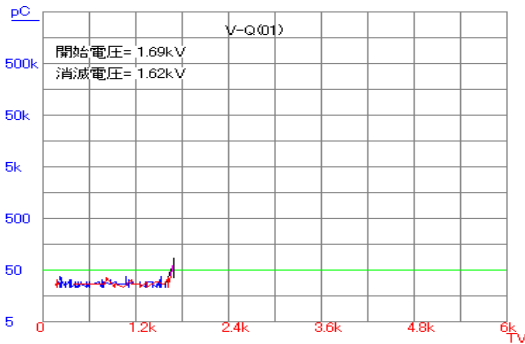


Fig. 12. V-Q properties of pvc cable(20 cm) NaCl 2%, degraded time 96 hours.

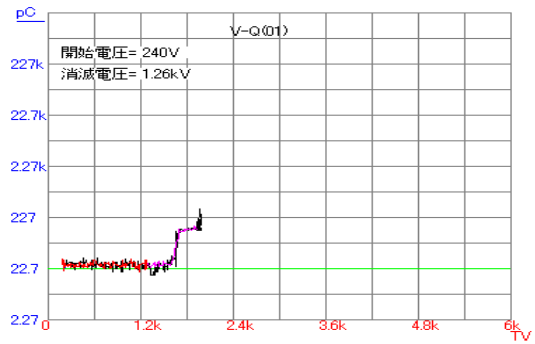


Fig. 14. V-Q properties of pvc cable(20 cm) NaCl 8%, degraded time 96 hours.

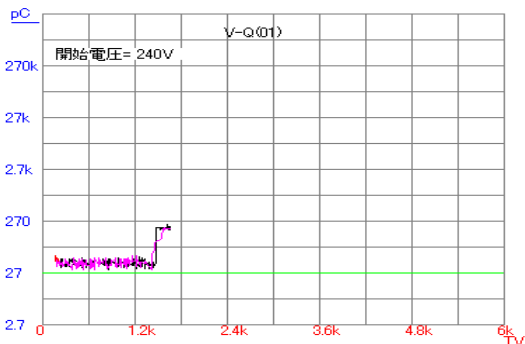


Fig. 13. V-Q properties of pvc cable(20 cm) NaCl 4%, degraded time 96 hours.

발생 빈도수는 약 500 pps 정도에서 54 pC일 때 발생 빈도수는 약 100 pps 정도로 감소하다가 135 pC일 때 발생 빈도수는 약 100 pps 정도로 변화가 없었다.

그림 11은 그림9와 같은 조건에서 NaCl 농도를 8%에 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료를 나전선 부분 2 cm로 제작한 후 1.71 kV의 인가전압을 유지시킨 상태에서 방전전하량과 방전발생 수(Q-N)을 측정된 결과이다. 방전전하량이 22.7 pC일 때 발생 빈도수는 약 100 pps 정도, 45.4 pC일 때 발생 빈도수는 약 90 pps 정도, 113 pC일 때 발생 빈도수는 약 80 pps 정도로 감소했다. 그림 9~11에서 케이블의 길이 20 cm, NaCl 농도를 2%, 4%, 8%로 변화시켜 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료의 경우 농도가 증가할수록 방전빈도수는 약 3,000 pps, 약 500 pps, 100 pps로 감소함을 확인했다. 이는 농도의 영향을 받고 있음이라 생각된다.

그림 12~14는 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블의 길이 20 cm, NaCl 농도를 2%, 4%, 8%로 변화시켜 절연체 부분을 96시간 동안 침적 열화시킨 시료를 나전선 부분 2 cm로 제작한 후 시료의 인가전압에 따른 부분방전 개시전압과 소멸전압을 측정된 결과이다.

그림 12는 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 2%, 48시간 동안 20 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 1.69 kV, 부분방전 소멸전압은 1.62 kV이었다.

그림 13은 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 4%, 48시간 동안 20 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 240 V, 부분방전 소멸전압은 1.6 kV이었다.

그림 14는 300/500 V용 PVC 2코어 전력용 케이블을 NaCl 농도 8%, 48시간 동안 20 cm인 케이블 시료를 침적 열화시켰을 때 시료의 부분방전 개시전압은 240 V, 부분방전 소멸전압은 1.26 kV이었다. 그림 12~14에서 NaCl 용액의 증가에 따라 부분방전 개시전압과 부분방전 소멸전압은 감소함을 확인했는데 이는 NaCl 용액의 영향을 받는다고 생각된다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 300/500 V용 PVC (polyvinyl chloride) 2코어 전력용 케이블(2 cores  $\times$  1.5 mm<sup>2</sup> cross section)을 10 cm, 20 cm, 30 cm로 제작하였다. 또한 시료를 증류수 100 g에 NaCl 2%, 4%, 8% 배합된 용액에 48시간, 96시간 동안 열화시킨 시료의 부분방전 열화 특성을 측정된 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 농도가 2%, NaCl에 열화시간이 48시간일 때, 길이가 10 cm, 20 cm, 30 cm로 길어질수록 발생 빈도수는 약 40 pps, 50 pps, 90 pps로 증가했다.

2. NaCl에 열화시간이 96시간, 길이가 20 cm일 때, 2%, 4%, 8%로 증가할수록 발생 빈도수는 3,000 pps, 500 pps, 100 pps로 감소함을 확인했다. 즉, 농도와 열화시간이 같을 경우 케이블이 길어질수록 개시전압 및 소멸전압이 감소하였다.

### 감사의 글

이 논문은 2015년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

### REFERENCES

- [1] S. I. Lee, KIEE, *Smart High Power and Application*, **1**, 863 (2015).
- [2] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **8**, 522 (2014).
- [3] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **9**, 576 (2014).
- [4] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **11**, 730 (2014).
- [5] S. I. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **12**, 841 (2014).
- [6] H. G. Cho and Y. K. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **10**, 770 (1997).
- [7] J. J. Park and J. Y. Lee, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **17**, 5 (2010).