

기중 부싱모델의 오염물질에 따른 방전 특성과 자외선 이미지

방만식¹, 최재형¹, 김우진¹, 김영석², 김상현^{1,a}

¹ 경상대학교 전기공학과 및 공학연구원

² 한국전기안전공사 전기안전연구원

Discharge Characteristics and UV Images at Air on Bushing Model with Contaminations

Man-Sik Pang¹, Jae-Hyeong Choi¹, Woo-Jin Kim¹, Young-Seok Kim²,
and Sang-Hyun Kim^{1,a}

¹ Department of Electrical Engineering and ERI, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

² Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Gapyeong 477-818, Korea

(Received November 8, 2011; Revised November 18, 2011; Accepted November 21, 2011)

Abstract: A bushing is very important because it must supply the high voltage to the power equipment. Generally, the surface of bushing is contaminated with rain, dust, salt and others. A bushing with contaminations at air are serious problem in insulation. Therefore, it is important to understand the inspection and diagnoses of the safety. The ultra-violet rays(UV) camera has attracted interest from the view point of easy judgement.

In this paper, we will report on the corona discharge characteristics on bushing model with contaminations. Also, UV images of discharge in air are analyzed using prototype UV camera of Korea. These results are studied at both AC and DC voltage under a non-uniform field.

Keywords: Bushing model with contaminations, UV image, Discharge characteristics, AC and DC voltage

1. 서 론

전력용 부싱은 애관의 재료에 따라 고분자 부싱과 자기(porcelain) 부싱으로 나누고 있으나 최근 경량화, 제조법 등의 문제로 폴리머 부싱이 큰 관심을 갖게 되었다. 그림 1은 일반적인 부싱의 기본적인 구조를 나타낸다. 일반적으로 구리 도체위에 절연지 등의 절연체를 감고 애관 (insulator)에 삽입하고 절연유를 채워 절연하는 구조이다 [1,2]. 예를 들면, 고분자 부싱의 애관은 유리강화섬유플라스틱 (GFRP) 튜브와 실리콘 고무 하우징 (housing)으로 구성된다. 부싱에

있어 도체의 양끝은 고전압 인가부와 변압기 권선이나 케이블에 연결이 되기 때문에 전기적인 방전 기술이 반드시 필요하다. 따라서 고분자의 사용은 불가피하며 부싱의 신뢰도 향상, 장수명, 안전성을 위해서는 고분자 표면에서의 연면방전 특성과 절연과피 특성 연구와 더불어 열화연구는 반드시 필요한 핵심기술이다 [3].

주요 절연요소는 플랜지 상부의 기중의 연면방전이 발생할 수 있는 기중 단부 절연 (A), 고체 절연체의 관통과피가 발생할 수 있는 부싱 바디 절연 (B), 플랜지 하부의 기체 혹은 액체 중 연면방전이 발생할 수 있는 하부 단부 절연 (C)와 탱크와 부싱 도체간의 관통과피가 발생할 수 있는 하부 절연 (D)로 구성된다. 특히, 시스템의 가장 취약점인 A 및 C 부분의 연

a. Corresponding author: shkim@gsnu.ac.kr

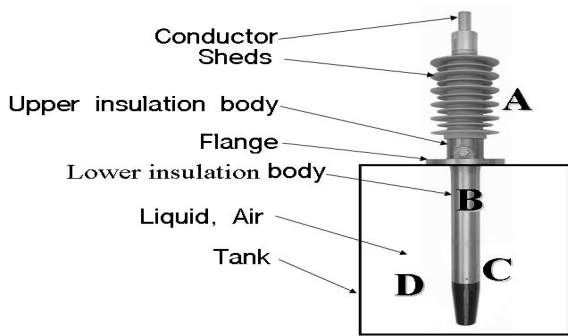


Fig. 1. The basic structure of bushing.

면 방전 현상을 파악하는 것은 설비의 사고 진단을 위해서 매우 중요하다.

전력용 부싱에 국부적으로 불평등 전계가 집중되면 절연과피가 발생하기 전에 그 부분에 부분방전으로 인한 코로나(corona)가 발생한다. 또한 코로나 발생으로 인한 자외선, 산화질소, 오존, 전자충격 등 다양한 형태의 신호가 검출된다. 이러한 신호들의 진단을 통하여 절연열화, 전기화재와 같은 사고를 예방할 수 있다. 일반적으로 사용되는 방법으로서 전압-전류 특성 분석, 열감지, 초음파 분석, 전자파 감지, 가스검출, 자외선 분석 등이 있다[4-5]. 특히, 자외선 (ultra-violet ray, UV) 분석 방법은 UV 카메라의 이미지를 통해 열화상태를 판단하는 방법이다. UV 카메라는 방전에 의해 발생한 자외선을 증폭시킨 후, 가시광선의 이미지의 형태로 모니터에 나타낸다. 코로나 방전 시 발생하는 자외선의 정확한 발생지점과 양을 시각적으로 보여주므로 활선 상태에서 진단을 할 수 있다. 그러므로 정전에 따른 손실을 최소화할 수 있고, 설비유지관리의 효율성의 면에서 발전소의 전력설비의 열화 진단에 적합한 방법 중 하나이다.

부싱은 일반적으로 애관의 표면이 불평등하게 오손되고 있다. 부싱이 불평등하게 오손되는 경우에는 애자의 종류, 시설 장소에 따라 여러 가지 형태가 있다. 오손에는 애관의 표면에 습기, 먼지, 비, 염분 등의 이물질이 부착되어 전기적인 특성에 영향이 미칠 가능성이 높다. 따라서 UV 카메라를 이용하여 전력용 부싱의 코로나 방전에 의한 자외선을 검출하고 열화 지점과 열화정도를 이미지 형태로 직관적으로 파악하여 기기의 사고를 미연에 방지하는 것이 바람직하다.

지금까지 필자들은 대기 중에서 침-평판 전극의 모의 연면방전 모델을 선정하고, AC 및 DC 인가전압에

대한 자외선 발생량 및 형상, 코로나 발생 개수를 측정하였다. 또한, UV 카메라의 자외선 이미지와 연면 절연과피와의 상관관계를 도출하여 열화를 진단할 수 있는 기법에 대한 기본적인 방향을 제시하였다 [6].

그러나 실제의 부싱에 있어서 폴리머 표면의 오염은 불가피하며 이에 대한 절연열화 및 UV 카메라에 의한 자외선 이미지의 분석은 확립되어 있지 않은 실정이다.

이와 같은 관점에서, 본 논문에서는 첫 단계로 고분자 부싱을 대상으로 GFRP 고분자 판상위에 침전극과 평판전극을 설치하고 오염물질을 인위적으로 부착하여 오염된 부싱 모델을 모의하여 방전 특성과 자외선 이미지 영상을 검토하고 UV 카메라 개발 및 적용연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험 방법

그림 2에 실험 장치의 개략도를 나타낸다. 실험 장치는 크게 모의전극계, 고전압발생기, UV 카메라 및 영상저장장치로 구성된다. 시료에 인가되는 전압은 최대전압 100[kV]의 AC 및 DC의 고전압 발생장치 (Kyonan Elect. Ltd.)를 사용하였다. 또한 UV 카메라는 이오시스템(주)에서 개발 중인 시제품과 디지털카메라를 이용하였다.

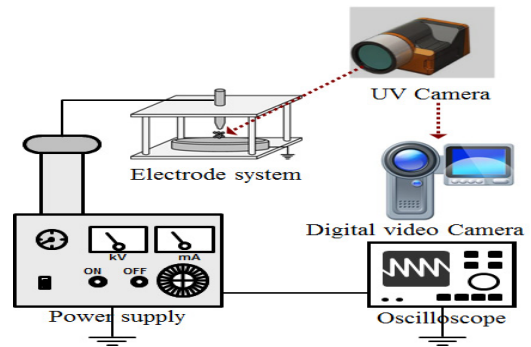


Fig. 2. Experimental apparatus.

그림 3(a) 및 3(b)에 각각 연면방전용 및 절연과피용 전극계를 나타낸다. 연면방전용 전극계는 그림 3과 같이 5[mm] 두께의 GFRP판 상에 0.3[mm] 두께의 스테인레스 강 (SUS)의 삼각 전극 (선단각: 60도)-평판 전극을 붙이고 수평배치 하였다. 평판전극의 단부는 전계집중을 피하기 위하여 곡률반경을 10[mm]로 처리하였다. 전극간격은 15~100[mm]로 변

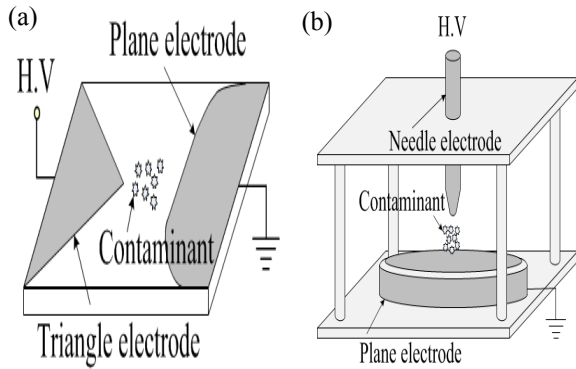


Fig. 3. Electrode configuration. (a) flashover discharge, (b) breakdown.

화시켰다. 또한 절연파괴용 전극계는 SUS 침 전극-평판 전극을 수직배치하고 전극간격은 10~70 mm로 변화시켰다.

오염물질은 염분, 흙먼지, 안개, 비를 모의하여 전극 간에 이물질들을 삽입시켰다. 염분은 소정의 농도의 오염물을 삽입시켰다. 비는 전극 간에 물을 뿌려 모의했으며, 염분은 GFRP 표면에 NaCl 3.2 wt%용액을 뿌린 후 60°C에서 24시간 건조시켰으며, 전극 간에 가습기를 이용하여 시간당 350 cc의 안개를 모의했다. 또한 금속성 이물질은 Al 금박지이며, 형상은 원형 (10 mmΦ)과 사각형 (가로, 세로 1 mm) 및 막대형 (50 mm), 전극 간에 부착 위치는 삼각전극 근처, 중앙, 평판전극 근처이며, 개수는 1, 2 및 3개이다.

에틸알코올로 GFRP 표면을 세척, 건조시킨 후 전극계를 설치하여 표준상태 (이물질이 없는 경우)와 오염상태 (이물질이 있는 경우)를 모의하여 설치하고 대기 중에서 AC 및 DC 전압을 인가하여 전기적 특성 및 UV 이미지를 관측하였다. DC 전압은 + 및 - 극성을 바꿔가면서 전극간격에 따른 방전 특성을 측정하였다. 전압상승은 약 2 kV/s의 속도로 수동으로 일정간격으로 전압을 상승하여 인가하였으며, 측정치는 10회 이상의 값을 평균하여 사용하였다. 자외선 이미지는 주변 자외선의 간섭이 없도록 조명을 소등하고 암막으로 태양광을 차단한 상태에서 측정하였으며, UV 사진촬영은 시료에서 1, 2 및 3 mm 떨어진 거리에서 촬영하면서 영상을 저장한 후 분석하였다. 또한 사진촬영은 GFRP 시료면에 수직인 위치에서 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 전극 간에 이물질이 없는 표준상태의 대기 중에서 AC 및 DC 전압을 인가한 경우의 연면방전 특성 및 절연파괴특성을 각각 나타내었다. 그림의 ◇표시는 AC 전압의 평균값이고, □표시 및 △표시는 각각 정극성과 부극성의 DC 전압의 평균값을 나타낸다. 지금까지 보고된 결과 [5]와 같이 어느 경우이나 GFRP 연면전극간격에 따라 연면파괴전압은 증가하고 있으며, 동일한 연면전극간격일 경우 DC의 부침이 정침의 경우보다 연면파괴전압이 높음을 알 수 있었다.

그림 5는 국내의 이오시스템(주)에서 개발 중인 UV카메라 시제품을 이용하여 표준상태에서 침-평판 전극에 AC 및 DC 전압에 따른 자외선 이미지를 나타내었고, 전극간격은 25 mm, 전극계와 UV 카메라와의 촬영거리는 2 m, 절연파괴전압과 인가전압과의 비율(V')이 90%의 전압을 인가하였을 때의 자외선 이미지를 나타내었다.

AC의 경우 V' 가 30%인 낮은 전압에서부터 고전계인 침전극 선단 근처에서 흰점인 소량의 자외선이 발생하며, 전압상승에 따라 흰점의 수와 크기가 증가하여 도넛 (doughnut)형상으로 크기가 커진다. V' 가 90%인(그림(a)) 근처에서는 흰점의 수와 크기가 전극 간에서 전체적으로 분포되었다.

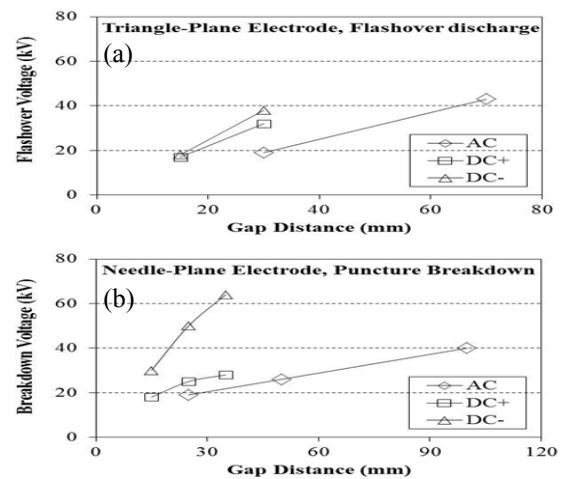


Fig. 4. Discharge characteristics of gap distance. (a) flashover discharge, (b) breakdown.

이와 같은 현상은 DC 전압에서도 유사하나, DC의 경우 절연파괴전압의 V' 가 80%이하의 전압에서는

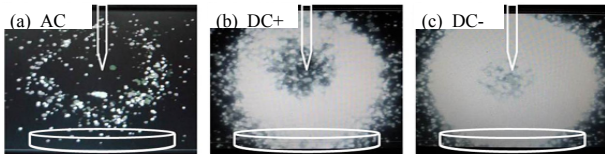


Fig. 5. UV image according to the voltage source. (a) AC, (b) DC+, and (c) DC-.

자외선 방출이 없거나 매우 적으며 간헐적으로 나타났다. 그러나 V' 가 90%의 전압이 인가되면 자외선 방출이 급격히 증가하다 절연과피가 되었다. 특히, 정극성 (그림(b))보다 부극성 (그림(c))에서 자외선이 다량 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 동일한 전극간격인 경우, AC보다는 DC가 높으며, 또한 DC의 부침이 정침의 경우보다 방전전압이 높아 방전에너지가 크기 때문이라 생각된다.

따라서, UV 카메라의 이미지로부터 알 수 있는 바와 같이, 전력설비에 있어서 자외선 검출은 이미 열화가 진행된 상태이며, 도넛 형상의 크기가 작은 경우는 초기단계이나 크기가 전극 간에 분포되어 있는 경우는 말기단계인 절연과피 근처이다. 특히 DC의 경우 자외선이 검출되는 단계는 말기단계의 위험단계라 주의해야 한다.

그림 6은 대기 중 UV 카메라와 시료와의 측정거리에 따른 자외선 이미지를 나타내었다. 전극간격은 25 mm, V' 가 90%인 AC 전압을 인가하고, 전극계와 UV 카메라와의 측정거리는 1 m, 2 m 및 3 m로 변화하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 측정거리가 짧은 1 m인 경우 (그림 (a)) 자외선 이미지 형상의 반경은 크게 나타났으며, 측정거리가 2, 3 m로 (그림 (a), (b)) 멀어지면 크기는 작아지지만 밀도가 높아져서 진한 색상으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 가까운 거리에서는 침전극 주위를 둘러싼 도넛 형상인데 반해, 먼 거리에서는 침전극의 끝에 구 형상으로 나타났고, 이러한 경향은 DC의 경우에서도 유사한 현상이 나타났다. 따라서 UV카메라 촬영 거리에 따른 자외선 이미지의 크기와 형상을 통해 코로나 발생정도를 예측하는 기초자료로써 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 7은 이물질 종류에 따른 AC 연면방전 특성을 나타낸다. 전극간격은 70 mm이고, 이물질의 종류는 염분, 흙먼지, 안개, 비 등이며, 이물질이 없는 경우인 표준상태와의 연면방전 전압을 비교하였다. 염분, 흙

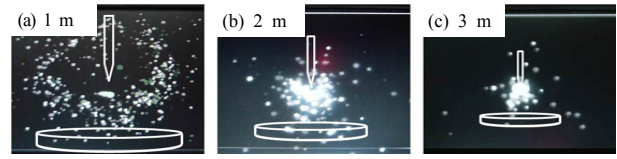


Fig. 6. UV image according to the distance between sample and UV camera. (a) 1 m, (b) 2 m, and (c) 3 m.

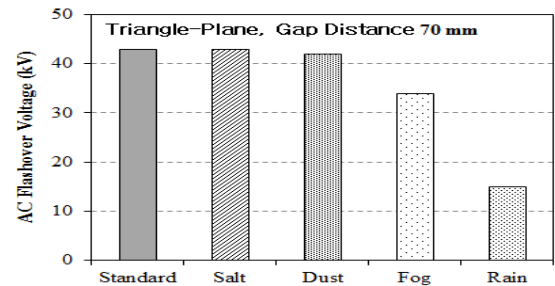


Fig. 7. AC surface flashover characteristics according to the various kinds of contaminations.

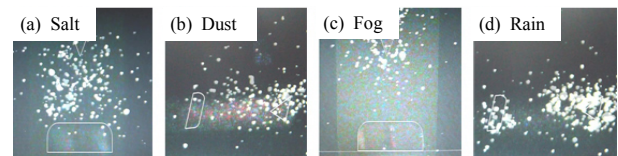


Fig. 8. UV image according to the various kinds of contaminations. (a) salt, (b) dust, (c) fog, and (d) rain.

먼지 경우의 연면방전 전압은 표준상태의 경우와 유사하나, 안개와 비의 경우는 방전전압이 특히 낮아짐을 알 수 있었다.

그림 8은 대기 중 연면방전시의 이물질의 종류에 따른 자외선 이미지를 나타내었다. 전극간격은 70 mm이고, 전압원은 AC를 사용하였으며, 전극계와 UV 카메라와의 측정거리는 2 m로 하였다. 전극 간에 부착된 이물질은 염분, 흙먼지, 빗물, 안개 및 금속성 이물질이다.

흙먼지, 염분의 자외선 이미지는 이미 보고된 표준상태의 현상과 같이 [6], 자외선 이미지 검출시점은 V' 의 30~40% 범위에서 부터 삼각전극 선단 근처에서 발생하고, 전압 증가에 따라서 회전점의 수와 크기가 증가하다가 V' 의 90% 근처에서는 그 수와 크기가 급격히 상승하여 전극 간에 전체적으로 분포하고

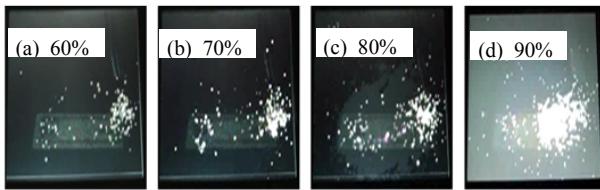


Fig. 9. UV image of dried salt according to V' (a) 60%, (b) 70%, (c) 80%, and (d) 90%.



Fig. 11. UV image according to the contamination of metal.

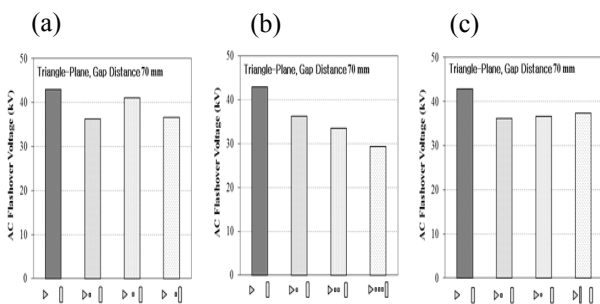


Fig. 10. AC surface flashover characteristics according to the contamination of metal. (a) position, (b) numbers, and (c) configuration.

있었다. 그러나 염분의 경우는 그림 9와 같이 V' 의 증가와 더불어 양전극 간에서 자외선 이미지가 전체적으로 분포됨을 확인하였다.

한편, 비를 모의해 물을 뿌린 상태에서의 자외선 이미지는 저전계에서 삼각전극 선단 근처에서 흰점인 소량의 자외선이 발생되나 매우 짧은 시간에 반대편의 평판전극에서도 자외선이 검출되면서 전체적으로 분포되고 빗물을 통해 전극 간을 단락되는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 안개의 경우에서도 유사하나 코로나 바람 (corona wind)의 영향으로 저전계에서는 자외선 발생이 약하고, 진행속도가 느렸다.

그림 10은 금속 이물질의 위치, 개수, 형상에 따른 연면방전 전압특성을 나타내었다. 삼각-평판 전극의 연면방전에 대하여 측정하였으며, 전극간격은 70 mm 이고, 측정거리는 2 m이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 금속 이물질은 전극 간에 위치하고, 이물질의 개수가 많고, 형상은 고전계를 형성하는 부분이 있으면 표준상태 보다 연면방전 전압이 낮아짐을 알 수 있었다. 이것은 금속 이물질이 전극 간에 부착되는 경우에는 표준상태와 유사하나, 전극 외에 이물질의 고전계가 형성되는

부분에서도 자외선이 발생되었다. (그림 11).

또한, 이물질의 개수가 많아지면 이물질이 방전의 징검다리 역할을 하며 진행하고, 이로 인해 연면방전 거리가 축소되어 연면방전 전압이 낮아진다고 생각된다.

4. 결론

UV카메라 개발 및 부식의 열화진단을 위해 코로나 방전 모델의 방전 특성에 미치는 금속 및 이물질의 영향과 자외선 이미지에 관해 연구하였다.

인가전압에 따른 자외선 이미지는 AC는 인가전압에서도 소량의 자외선이 발생하여 선형적으로 증가하는 반면 DC의 경우 절연과괴전압의 80% 이하의 전압에서는 자외선 방출이 없거나 매우 적었으나 90% 이상의 전압이 인가되면 전압이 증가할수록 자외선 방출도 급격히 증가하였다.

또한, 측정거리에 따른 자외선 이미지는 가까울수록 도넛 형상의 자외선 이미지의 형상이 크게 나타났으며, 멀어지면 구 형상으로 크기는 작아지지만 밀도가 높아져서 진한 색상으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 DC의 경우에서도 유사한 현상이 나타났다.

흙먼지, 염분의 자외선 이미지는 표준상태의 현상과 유사하나 염분의 경우는 양전극 간에서 연면 전체적으로 분포됨을 확인하였다. 비를 모의해 물을 뿌린 상태에서의 자외선 이미지는 저전계에서 삼각전극 선단 근처에서 흰점인 소량의 자외선이 발생되나 매우 짧은 시간에 반대편의 평판전극에서도 자외선이 검출되면서 전체적으로 분포되고 빗물을 통해 전극 간을 단락되는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 안개의 경우에서도 유사하나 코로나 바람 (corona wind)의 영향으로 저전계에

서는 자외선 발생이 약하고, 진행속도가 느리다.

금속 이물질은 전극 간에 위치하고, 이물질의 개수가 많고, 형상은 고전계를 형성하는 부분이 있으면 표준상태보다 연면방전 전압이 낮아진다. 자외선 이미지는 표준상태와 유사하나 전극 외에 이물질의 고전계가 형성되는 부분에서도 자외선이 발생된다. 이들의 코로나 방전 모델의 방전 특성과 자외선 이미지에 미치는 AC 및 DC 인가전압의 영향, UV카메라의 측정거리, 금속 및 이물질의 영향에 관한 연구는 UV카메라 개발과 더불어 부품을 비롯한 각종 전력설비의 열화진단을 예측하는 기초자료로써 적극 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 2010T100100339).

REFERENCES

- [1] H. G. Cho, D. H. Yoo, and H. K. Kang, *J. KIEEME*, **22**, 436 (2009).
- [2] L. L. Alston, *High-Voltage Technology* (Oxford University Press, London, 1968) p. 243.
- [3] E. Kuffel and W. S. Zaengl, *High Voltage Engineering* (Pergamon Press, Oxford, 1984) p. 407.
- [4] K. M. Shong, S. B. Bang, C. M. Kim, Y. S. Kim, and J. S. Jung, *J. KIEE*, **57**, 1606 (2008).
- [5] H. S. Song and S. D. Lee, *J. KIIEE*, **17**, 37 (2003).
- [6] M. S. Pang, J. H. Choi, W. J. Kim, Y. S. Kim, and S. H. Kim, *J. KIIEE*, **25**, 98 (2011).