

오염물질에 따른 변압기부상 모델의 기중 코로나 방전 특성

(Corona Discharge Characteristics of Transformer Bushing Model
with Contaminations in Air)

방만식* · 김우진 · 김영석 · 김상현**

(Man-Sik Pang · Woo-Jin Kim · Young-Seok Kim · Sang-Hyun Kim)

Abstract

The surface of bushing is contaminated with rain, dust, salt and others. A bushing with contaminations in air is 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 of surface flashover model with contaminations in air. Also, UV images of discharge and corona pulse count in air are analyzed using prototype UV camera of Korea and a UV sensor with an optic lens. These results are studied at both AC and DC voltage under a non-uniform field.

Key Words : Bushing Model With Contaminations, UV Image, Corona Discharge Characteristics, AC and DC Voltage Corona Discharge, Corona Pulse Count

1. 서 론

최근 산업의 급속한 발전에 따라 각종 전력설비의 초고압화 대응량화가 진행되고 있다. 이에 따라 전력설비의 안정성 및 신뢰도 향상을 위하여 사전예방 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다

전력용 부상은 애관의 재료에 따라 고분자 부상과 자기(porcelain) 부상으로 나누고 있으나 최근 경량화,

제조법 등의 문제로 폴리머 부상이 큰 관심을 갖게 되었다. 그림 1은 일반적인 부상의 기본적인 구조를 나타낸다. 일반적으로 구리 도체위에 절연지 등의 절연체를 감고 애관(insulator)에 삽입하고 절연유를 채워 절연하는 구조이다[1-2]. 예를 들면 고분자 부상의 애관은 유리강화섬유플라스틱(GFRP) 튜브와 실리콘 고무 하우징(housing)으로 구성된다. 부상에 있어 도체의 양끝은 고전압 인가부와 변압기 권선이나 케이블에 연결이 되기 때문에 전기적인 방전 기술이 반드시 필요하다. 따라서 고분자의 사용은 불가피하며 부상의 신뢰도 향상, 장수명, 안전성을 위해서는 고분자 표면에서의 연면방전 특성과 절연과피 특성 연구와 더불어 열화연구는 반드시 필요한 핵심기술이다[1]. 그

* 주저자 : 한국국제대학교 전기에너지공학과 교수

** 교신저자 : 경상대학교 전기공학과 교수

Tel : 055-751-7901, Fax : 055-751-7909

E-mail : mspang@dreamwiz.com

접수일자 : 2012년 4월 20일

1차심사 : 2012년 4월 28일

심사완료 : 2012년 5월 9일

림 1 에서와 같이 주요 절연요소는 플랜지 상부의 기중의 연면방전이 발생할 수 있는 기중 단부 절연(A), 고체 절연체의 관통과괴가 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 관통과괴가 발생할 수 있는 하부 절연(D)로 구성된다. 특히 시스템의 가장 취약점인 A 및 C 부분의 연면 방전 현상을 파악하는 것은 설비의 사고 진단을 위해서 매우 중요하다.

전력용 부싱에 국부적으로 불평등 전계가 집중되면 절연과괴가 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, 열 감지, 초음파 분석, 전자파 감지, 가스검출, 자외선 분석 등이 있다[2-3]. 특히 자외선(ultra-violet ray, UV) 분석 방법은 UV 카메라의 이미지를 통해 열화상태를 판단하는 방법이다. UV 카메라는 방전에 의해 발생된 자외선을 증폭시킨 후, 가시광선의 이미지의 형태로 모니터에 나타낸다. 코로나 방전시 발생하는 자외선의 정확한 발생지점과 양을 시각적으로 보여주므로 활선 상태에서 진단을 할 수 있다. 그러므로 정전에 따른 손실을 최소화할 수 있고, 설비유지관리의 효율성의 면에서 발·변전소의 전력설비의 열화 진단에 적합한 방법 중 하나이다.

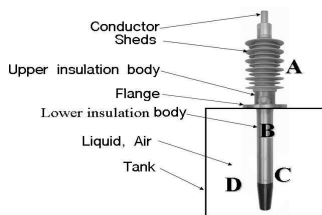


그림 1. 변압기용 부싱의 개략도
Fig. 1. Insulation configuration of a transformer bushing

현재 UV 카메라의 자외선 검출범위는 240~280[nm] 범위의 파장으로 이스라엘, 남아공, 일본과

에드먼드 합작으로 개발하여 시판되고 있으나, 가격이 고가이고 감도와 이상 판단 기준이 없다. 국내에서는 삼성테크윈, 이오시스템(주) 등 5개 업체가 적외선 열화상 카메라 제작 기술을 보유하고 있다. 그러나 부분방전을 시각적으로 측정할 수 있는 자외선 검출 기술은 이오시스템(주)이 유일하게 보유하여 UV 카메라 개발을 하고 있으나, 코로나 방전 특성의 기초연구와 더불어 필터 설계 및 핵심부품 연구 등의 원천 기술의 부족으로 국산화 개발이 어려운 실정이다.

이와 같은 관점에서 본 연구에서는 불평등 전계하에서 모의 방전모형을 선정하고, 오염물질에 따른 기중에서의 AC, 정침 및 부침 DC에서의 코로나 연면방전 특성을 비교 검토하였다. 오염물질에 따른 전극간격과 인가전압에 대한 자외선 발생량 및 형상, 코로나 발생 시 펄스 수 등을 측정 분석하여 UV 카메라 개발의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

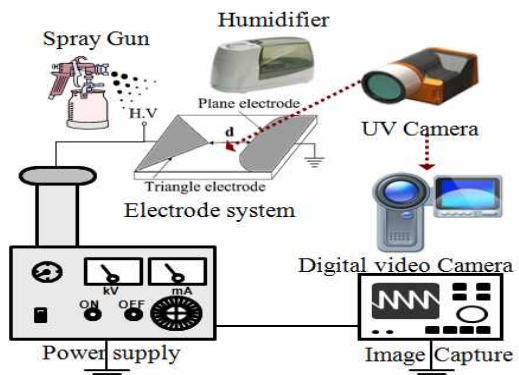


그림 2. 실험장치 개략도
Fig. 2. Experimental schematic diagram

그림 2에 실험장치의 개략도를 나타낸다. 실험장치는 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 개발한 시제품 UV 카메라(Opus I, EOSt)와 디지털카메라, 영상처리장치를 이용하였다.

연면 방전 특성을 위한 전극계는 그림 3과 같이 5[mm] 두께의 유리강화섬유플라스틱(GFRP: glass fiber reinforced plastics)판 위에 0.3[mm] 두께의 스테인레스 강(SUS 304)의 침(곡률각 : 60[°])-평판 전극을 붙이고 수평배치 하였다. 평판전극의 단부는 전계집중을 피하기 위하여 곡률반경을 10[mm]로 처리하였으며, 전극간격(d)은 15, 30, 45, 50 및 70[mm]로 변화시켰다.

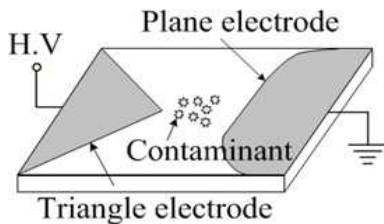


그림 3. 전극계의 형상
Fig. 3. Electrode configuration

오염물질은 염분, 흙먼지, 안개, 비를 모의하여 전극 간에 이물질들을 삽입시켰다. 염분은 소정의 농도의 오염물을 삽입시켰다. 비는 Spray gun을 이용하여 전극 간에 물을 뿌려 모의했으며, 염분은 GFRP 표면에 NaCl 3.2[wt %]용액을 뿌린 후 60[°C]에서 24시간 건조시켰으며, 전극간에 가습기(humidifier)를 이용하여 시간당 350[cc]의 안개를 모의했다.

에틸알코올로 GFRP표면을 세척, 건조시킨 후 전극계를 설치하여 표준상태(이물질이 없는 경우 : Standard)와 오염상태(이물질이 있는 경우)를 모의하여 설치하고 대기중에서 AC 및 DC 전압을 인가하여 연면방전 특성 및 UV 이미지를 관측하였다. DC 전압은 + 및 - 극성을 바꿔가면서 전극간격에 따른 코로나 방전 특성을 측정하였다. 전압상승은 약 2k[V/s]의 속도로 수동으로 일정간격으로 전압을 상승하여 인가 (V_m)하였으며, 측정치는 10회 이상의 실패치를 평균하여 사용하였다. 또한 인가 전압에 따른 자외선(코로나) 개수 측정은 UV 센서를 이용한 이미 보고된 장비와 동일한 장비를 사용하였다. 코로나 발생시 검출되는 자외선량이 작아 투과형 광학렌즈를 이용하여 집광하였다[4-5]. 자외선 이미지는 주변 자외선의 간섭

이 없도록 조명을 소등하고 암막으로 태양광을 차단한 상태에서 측정하였으며, UV 사진촬영은 시료에서 2,000[mm] 떨어진 거리에서 1,000[frame/sec] 속도로 촬영하면서 영상을 저장한 후 분석하였다. 또한 사진 촬영은 GFRP 시료면에 수직인 위치에서 촬영하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전극 간격에 따른 연면 방전 전압 의존성

그림 4는 전극간에 오염물질 없는 표준상태의 대기 중에서 AC 및 DC 전압을 인가한 경우의 연면방전 특성을 나타내었다. 그림의 ◆표시는 AC 실효치전압의 평균값이고, □표시 및 ▲표시는 각각 정극성과 부극성의 DC 전압의 평균값을 나타낸다. 지금까지 보고된 결과와 같이 어느 경우에도 GFRP 연면전극간격에 따라 연면파괴전압은 증가하고 있으며, 동일한 연면전극간격일 경우 DC의 부침이 정침의 경우보다 연면파괴전압이 높음을 알 수 있었고, 실험장비의 한계로 DC+와 DC-의 경우 전극간격을 45[mm]까지만 실험하였다.

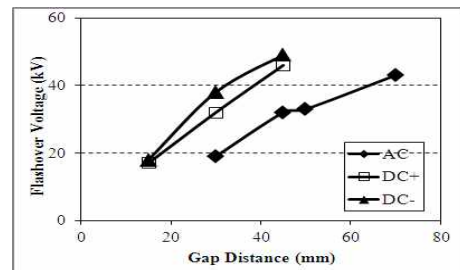


그림 4. 연면 파괴전압에 따른 연면 전극간격 의존성
Fig. 4. Surface electrode distance dependence of surface breakdown voltage

3.2 오염물질 종류에 따른 연면방전 특성

그림 5는 오염물질 종류에 따른 AC 연면방전 특성을 나타낸다. 전극간격은 45[mm]이고, 오염물질의 종류는 염분, 안개, 비 등이며, 이물질이 없는 경우인 표준상태와의 연면방전 전압을 비교하였다. 염분, 흙먼

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

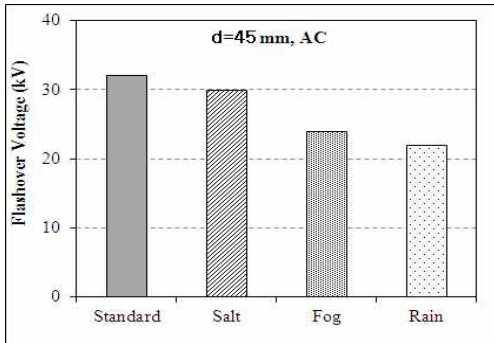


그림 5. 오염물질 종류에 따른 연면방전 특성
Fig. 5. Characteristic of surface discharge according to contaminations

3.3 오염물질 종류에 따른 자외선 영상

그림 6은 AC전압을 인가하고 시제품 UV카메라를 이용하여 전극간격 $d=45[\text{mm}]$ 로 일정히 하고, 침-평판극에절연과괴 전압(V_{bd})의 30[%], 50[%], 70[%], 90[%]의 전압을 각각 인가(V_m) 경우의 자외선 이미지를 나타낸다. 촬영거리는 2,000[mm]에서 촬영한 연면방전시의 코로나 방전 사진을 나타낸다. 사진에서 흰점은 전극간에 발생된 자외선이다.

그림 (a)에서 알 수 있는 바와 같이, 표준인 경우에 발생하는 자외선은 절연과괴 전압의 약 70[%]인 22[kV] 근처에서부터 침전극 선단 근처에서 흰점인 자외선이 발생하고, 전압 증가에 따라서 흰점의 수와 크기가 증가하다가 연면 파괴전압의 90[%]인 29[kV] 근처에서는 흰점의 수와 크기가 전극간에서 GFRP 연면 전체적으로 분포되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 그림 (b)와 같이 소금의 모의 경우도 표준 상태와 유사하고 그림 (c)의 안개 모의 경우 약 70[%]인 17[kV] 근처에서부터 침전극 선단 근처에서 자외선이 많이 발생하고, 전압 증가에 따라서 흰점의 수와 크기가 증가하고 그림 (d)에서 비를 모의 한 경우 연면 파괴전압의 50[%]부터 아주 많은 자외선 발생함을 알 수 있었다. 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 전극간을 단락되는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상은 안개의 경우에서도 유사하나 코로나 바람(corona wind)의 영향으로 저전계에서는 자외선 발생이 약하고, 진행속도가 느렸다.

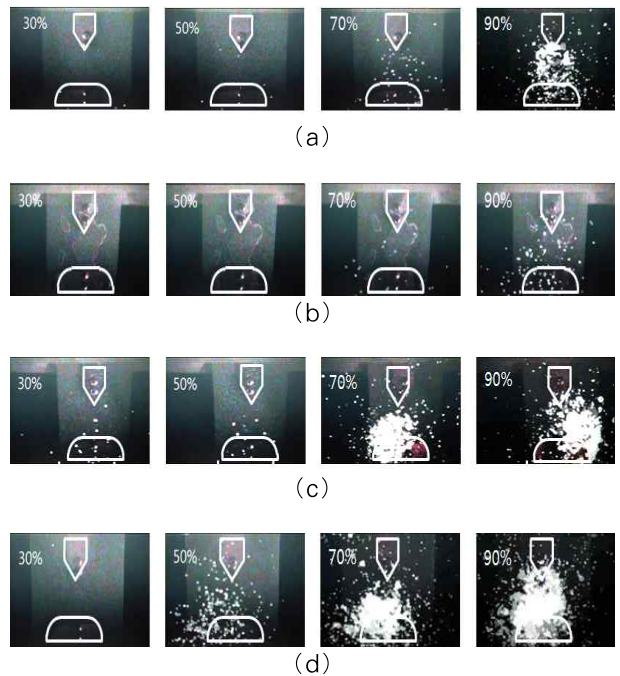


그림 6. AC에서 오염물질의 종류에 따른 자외선 영상 :
(a) 표준, (b) 소금, (c) 안개, (d) 비
Fig. 6. Images of UV according to contaminations at AC : (a) standard, (b) salt, (C) fog, (d) rain

3.4 전압종류에 따른 자외선 영상

그림 7은 DC+와 DC- 전압을 각각 인가하고 비를 모의 했을 때의 자외선 영상을 나타낸다. DC+ 전압을 경우 그림 (a)에서와 같이 낮은 전압에서도 발생하다가 특히, 연면 파괴전압의 70[%] 이상에서 코로나가 많이 발생함을 알 수 있고, DC- 전압을 인가 한 그림 (b)의 경우 DC+ 전압을 인가했을 때보다 자외선 발생이 약했다.

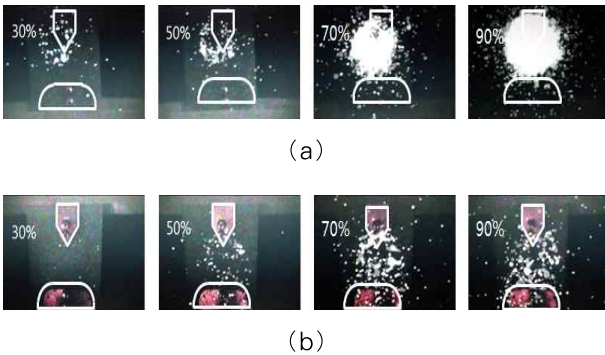


그림 7. 비 모의에 의한 자외선 영상 : (a) DC+, (b) DC-
 Fig. 7. Images of UV according to contaminations by rain at AC : (a) at DC+, (b) at DC-

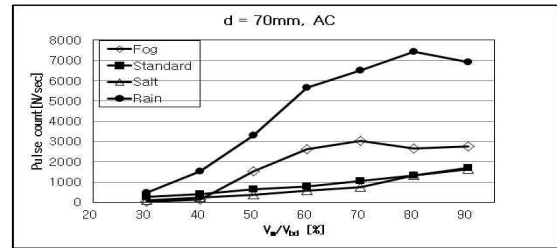
3.5 오염물질에 따른 코로나 발생개수

그림 8은 UV 센서를 이용하여 오염된 시료와 자외선 센서와의 측정거리 2,000[mm] 거리에서 측정된 절연과 피전압에 대한 인가전압비(V_m/V_{bd}) 변화에 따른 코로나 자외선 개수를 나타낸다. 자외선 개수는 투과형 광학렌즈, 자외선 센서(UV tron R9533) 및 레코드를 설치하여 출력되는 펄스신호를 컴퓨터로 계산되었다.

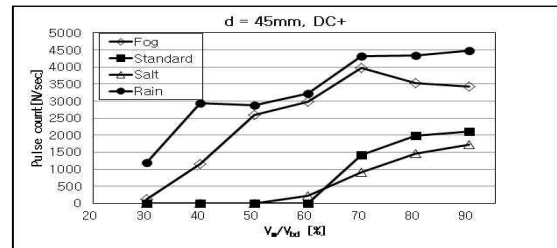
그림 (a)는 전극간격 70[mm], AC전원을 인가 한 경우로 V_m/V_{bd} 30[%] 이상에서 인가 전압에 비례하여 발생하고 소금의 경우 표준상태와 유사하고 비와 안개의 경우엔 인가전압에 비례해서 많이 발생하다가 V_m/V_{bd} 80[%] 이상에서 코로나 바람(Corona wind)으로 인해 자외선 발생 개수는 약간 낮아진다. 그림 (b)는 전극간격 45[mm], DC+전원을 인가 한 경우로 표준 및 소금의 경우 V_m/V_{bd} 60[%] 이상에서 인가 전압에 비례하여 자외선코로나가 유사하게 발생하고, 비와 안개를 모의한 경우 그림 7 (a)에서도 알 수 있는바와 같이 인가전압에 급격하게 비례해서 많이 발생하다가 V_m/V_{bd} 80[%] 이상에서 코로나 바람으로 인해 자외선 발생 개수는 약간 낮아짐을 알 수 있었다. 그림 (c)는 전극간격 45[mm], DC-전원을 인가한 경우로 DC+ 전압을 인가한 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 오염물질에 따른 코로나 자외선 개수 발생 개수는 소금모의, 표준상태, 안개모의, 비모의 순으로 증가함을 알 수 있었다.

그림 (b), (c)에서 알 수 있는 바와 같이, DC+, DC-

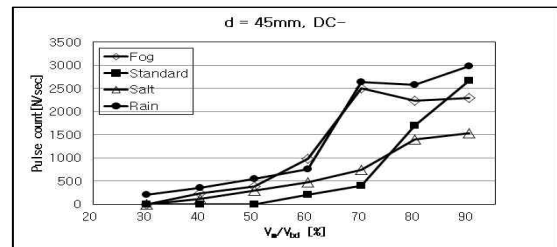
전압에서는 어느 경우에도 자외선 개수는 연면과 피전압의 근처인 V_m/V_{bd} 가 60[%]에서 부터 발생하여 급격히 증가하다가 80[%]근처에서 초당 2,500~4,000개의 자외선이 발생하다가 연면과피가 일어났다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. 오염물질 V_m/V_{bd} 에 따른 코로나 개수; (a) AC, $d=70$ (mm), (b) DC+, $d=45$ (mm), (c) DC-, $d=45$ (mm)

Fig. 8. Numbers of corona according to V_m/V_{bd} with contaminations ; (a) AC at $d=70$ (mm), (b) DC+ at $d=45$ (mm), (c) DC- at $d=45$ (mm)

4. 결 론

침-평판 전극의 불평등 전계에서 오염물질에 따른 연면방전 모델의 기중 코로나 방전 특성에 관해 연구 하였다.

인가전압에 따른 자외선 이미지는 AC는 인가전압

에서도 소량의 자외선이 발생하여 선형적으로 증가하는 반면 DC의 경우 절연과피전압의 60[%] 이하의 전압에서는 자외선 방출이 없거나 매우 적었으나 80[%] 이상의 전압이 인가되면 전압이 증가할수록 자외선방출도 급격히 증가하였다.

염분의 자외선 이미지는 표준상태의 현상과 유사하나, 양전극간에서 연면 전체적으로 분포됨을 확인하였다. 비를 모의해 물을 뿌린 상태에서의 자외선 이미지는 저전계에서 삼각전극 선단 근처에서 흰점인 대량의 자외선이 발생되며 매우 짧은 시간에 반대편의 평판전극에서도 자외선이 검출되면서 전체적으로 분포되고 빗물을 통해 전극간을 단락되는 것을 확인하였다.

자외선 개수는 AC의 경우 V_m/V_{bd} 30[%] 이상에서 인가 전압에 비례하여 발생하고 소금의 경우 표준상태와 유사하고 비와 안개의 경우엔 인가전압에 비례해서 많이 발생하다가 V_m/V_{bd} 80[%] 이상에서 코로나 바람(Corona wind)으로 인해 자외선 발생 개수는 약간 낮아진다. 결과적으로 오염물질에 따른 코로나 자외선 개수 발생 개수는 소금모의, 표준상태, 안개모의, 비모의 순으로 증가함을 알 수 있었다.

코로나 방전 모델의 방전 특성과 자외선 이미지에 미치는 AC, DC+ 및 DC- 인가전압의 영향, 오염물질의 영향에 관한 연구는 UV카메라 개발과 더불어 부상을 비롯한 각종 전력설비의 열화진단을 예측하는 기초자료로서 적극 활용될 수 있을 것으로 판단되며 차후 현재 개발 중인 UV 카메라를 이용하여 자외선 발생 수, 크기와 면적 등을 재검토 할 필요가 있다.

감사의 글

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

References

[1] E. Kuffel and W. S. Zaengl, "High Voltage Engineering", Pergamon Press, Oxford, p.407-421., 1984.
 [2] K. M. Shong, S. B. Bang, C.M. Kim, Y. S. Kim and J. S. Jung, "The Characteristics of UV Generation and Aging materials in According to Surface Discharge, KIEE 57, 1606, 2008.

[3] Hyun-Seon Song, Sang-Don Lee, "The Deterioration Diagnosis of pole Transformer using Remote Measurement", J. KIEE, 17, 37, 2003.
 [4] D. J. Kweon, S. B. Chin, H. R. Kwak, "The Analysis of Ultrasonic Signals by Partial Discharge and Noise From the Transformer", IEEE Trans. POWER Deliv., Vol. 20, No. 3, pp.1976-1983, 2005.
 [5] Y. S. kim, M. I. Choi, C. M. kim, S. B. Bang, K. M. Song, " A Study on judgment Methode and Analysis of Corona Discharge on the Polymer Insulator using UV Sensor Array include optic Lens", KIEE Summer onference, pp. 2165-2166, 2010.

◇ 저자소개 ◇



방만식 (龐萬植)

1968년 10월 1일생. 1990년 경상대학교 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 1998년~현재 한국국제대학교 전기에너지공학과 교수.



김우진 (金宇鎭)

1987년 2월 1일생. 2011년 경상대학교 전자공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 박사과정.



김영석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 경상대학교 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 일본 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.



김상현 (金相賢)

1950년 2월 7일생. 1974년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 일본 오사카대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986~1989년 한국전기연구원 초전도연구실 실장. 1999~2001년 경상대학교 공과대학 학장. 1989년~현재 경상대학교 전기공학과 교수.