

코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 애자의 자외선 발생특성

(The Ultraviolet Generation Characteristics of Porcelain and Polymer Insulators
by Corona Discharge)

송길목* · 방선배 · 김종민 · 김영석

(Kil-Mok Shong · Sun-Bae Bang · Chong-Min Kim · Young-Seok Kim)

요 약

본 논문은 코로나 방전에 의한 자기애자와 폴리머애자의 자외선 발생 특성에 관한 것이다. 자외선 카메라를 이용하여 측정하고, KS C IEC 60060-1(2006)의 전압조건을 준수하여 실험하였다. 결과로서 자기애자에서의 코로나 방전은 애자 접합면에서 가장 취약한 부분에서 시작되었다. 폴리머애자는 취약한 접합면에서 자외선이 발생하였으며, 전원 측에서 나타났다. 이로써 자외선 검출을 통해 절연애자의 취약부분이 쉽게 확인되는 것을 알 수 있었다. 또한, 기존의 초음파 검출기술과 비교하여 열화단계가 정량화될 수 있음을 확인하였다. 이는 신뢰성 있는 데이터를 통해 전력설비의 열화를 판단하는 기준에 활용될 수 있다. 향후 현장진단에 적합한 기술로서 앞으로 많은 연구가 기대된다.

Abstract

This paper describes the breakdown properties of porcelain and polymer insulators using the UV camera. The experiment was carried out using condition of voltage at the KS C IEC 60060-1(2006). As these results, corona discharge in porcelain insulator was generated the weakness point of insulator union. And the corona discharge of polymer insulator happened in union of power source. Also, we could confirm easily weakness part of these insulators by ultraviolet image through the corona discharge. Besides, in the comparison with the exciting technique of ultrasonic detection, it confirmed that deterioration steps are corrected. These steps are possible to judge the deterioration of power facilities through reliable data. Hereafter, this study as the diagnostic technology suitable for the sites is used.

Key Words : Uv Camera, Polymer Insulator, Porcelain Insulator, Corona Discharge, Ultra Sonic, Power Facilities

1. 서 론

* 주저자 : 전기안전연구원 설비안전연구그룹
Tel : 031-580-3065, Fax : 031-580-3111
E-mail : natasder@kesco.or.kr
접수일자 : 2008년 1월 22일
1차심사 : 2008년 2월 11일
심사완료 : 2008년 2월 25일

국내의 배전선로 또는 수변전설비는 대부분 22.9 [kV]로 운용되고 있으며, 송전 및 배전의 전력을 안정적으로 공급하기 위해 전선의 지지물로 자기애자와 폴리머 애자가 주로 이용되고 있다. 고전압 설비

코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 예자의 자외선 발생특성

는 안정적 운전과 고장 또는 사고에 대비하여 다양한 차단장치 및 설비들이 갖추어져 있다. 그럼에도 불구하고 전기설비 고장은 제작 불량, 설치 불량 등 제조나 관리 소홀에 의한 것과 염해, 자외선, 황사, 낙뢰 등 주변 환경요인에 의해 전기설비사고가 빈번하게 발생한다. 절연이 파괴되기 시작하면 취약한 부분에서부터 가청잡음, 초음파, 자외선, 오존, 열 등이 발생되며, 항복전압 이상에서 아크방전으로 진전되고 대량의 아크가 주변 설비에 영향을 미친다. 전력설비의 고장 또는 사고의 파급을 방지하기 위한 기술로서 최근 전력설비 진단기술은 정전작업 등 비활선 상태의 진단에서 생산 활동을 지속적으로 유지할 수 있는 무정전 또는 비파괴 활선 진단으로 진화하고 있다. 또한 광범위한 지역에 설치되어 있는 전기설비의 효과적 검사를 통해 시간과 비용을 최소화하고자 노력하고 있다. 따라서 진단기술은 고장 징후를 사전에 찾아내어 분석한 후 적절한 조치를 취하는 데 그 목적이 있다. 이에 전압과 전류만을 측정하고 분석하는 이전의 기술에서 열감지, 초음파, 전자파, 가스검출, 자외선 등 다양한 검출기법이 개발되고 있다. 특히, 최근에는 코로나 방전 현상을 자외선이미지로 검출하여 진단하는 방법이 시간적 측면과 신뢰성 측면의 우수성으로 주목을 받고 있는 실정이다[1-3]. 그러나 체계적인 현장실증실험 등의 부족으로 국내외로 아직까지 자외선 이미지분석에 의한 진단기법이 확립되어 있지 않다[4-6].

따라서 본 연구는 절연예자의 절연파괴 과정 중 발생하는 자외선을 효과적으로 검출하고 분석하기 위한 것이다. 기존의 초음파 검출에서 나타나는 발생위치 판정과 잡음에 의한 신뢰성 등의 단점을 해소하고자 자외선 카메라를 이용하여 촬영한 이미지 데이터와 초음파 센서를 통해 검출한 신호를 각각 비교하고 안전관리자의 판단기준을 설정함으로써 그 활용성을 입증하여 향후 전기안전을 위한 검사기법과 광범위하게 분포된 전력설비의 절연 진단에 효과적 기술 자료로 활용하고자 한다.

2. 전력설비 사고통계 분석

한국전기안전공사가 발표한 2006년도 통계자료에

의하면, 국내 전기설비사고는 전체설비 24,429호 중 6,946건이 발생한 것이다. 이는 전체설비의 28.4[%]에 해당하며, 매일 약 19건의 전기설비사고를 경험하고 있는 것으로 나타났다. 계절적 요인을 보면, 봄철(3월에서 5월경)에는 1,501건, 여름철(6월에서 8월경) 2,596건, 가을철(9월에서 11월경) 1,436건, 겨울철(12월에서 2월경) 1,413건으로 여름철에 전기설비사고가 집중되는 것을 알 수 있다. 전기사고의 경향을 분석하기 위하여 고전압과 저전압 설비로 나누어 보면, 고전압설비의 사고점유비율이 전체 전기설비사고의 21.3[%]에 해당하는 1,481건으로 저전압 설비보다 낮은 것으로 나타났으나 사고의 파급효과는 저전압 설비보다 훨씬 클 것으로 판단된다. 고전압 전기설비 사고에 있어서 사고기기별로 보면, 그림 1과 같다.

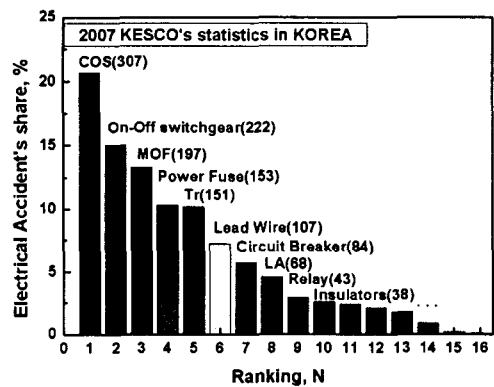


그림 1. 한국전기안전공사 고전압설비사고 통계
Fig. 1. KESCO's statistics of HV facilities accidents

고전압 설비에서 가장 많이 발생하는 사고대상물은 컷아웃스위치로서 20.7[%]의 점유율을 보인다. 다음으로 수배전용 개폐기(15.0[%]), 계기용변성기(13.3[%]), 전력퓨즈(10.3[%]) 등의 순으로 나타났다. 본 실험에 해당되는 절연예자의 경우에는 약 2.6[%]로서 연간 38건의 사고가 발생하였다. 절연예자의 사고원인으로는 자연열화(8건)가 가장 많으며, 다음으로 외부환경에 의한 경우와 절연불량에 의한 경우가 각각 7건씩 나타나 있다. 이 표본통계조사는 국내 전체 전기설비의 약 15[%]에 해당되는 것으로 이를 토대로 국내에서 발생되고 있는 절연예자와 관련된 사고는 200건이 훨씬 넘을 것으로 추정된다[7]. 따라

서 고전압에서 전기설비사고가 발생할 때 절연불량에 의해 다양한 방전현상이 나타난다. 따라서 생산시설의 생산력 저해는 물론, 인적 물적 피해를 초래하는 전력설비고장에 의한 사고를 미연에 방지하기 위한 전기설비 진단 또는 검사는 고장에 의한 파급을 감소시키기 위해 매우 중요한 기술 중 하나이다.

3. 실험구성 및 방법

본 논문은 현장에서 이용되는 진단기법 중 초기방전이 시작되었을 때 발생하는 자외선 영역을 효과적으로 검출하여 이미지로 보여주는 장비의 현장작용을 위해 기존의 초음파 검출장비와 비교분석한 내용이다.

본 실험의 조건은 KS C IEC 60060-1(2006)에 의해 정의된 고전압 발생장치를 이용하여 전기설비를 평가하는 방법을 활용하였다. NASA No. PT-TE-1415의 내용에서도 언급되어 있듯이 전력설비의 코로나 방전에 의해 발생하는 다양한 신호를 검출할 수 있도록 구성하였다[8-9].

그림 2는 고전압발생장치와 대상물 및 측정장치 등을 개략화하여 나타낸 것이다.

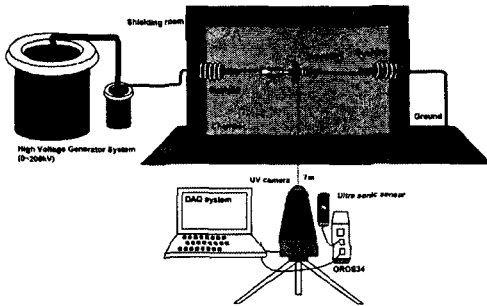


그림 2. 절연애자의 코로나 발생 실험개략도
Fig. 2. Experimental diagram of corona generation of insulators

이때, 실험실 온도는 5[°C], 습도는 65[%]를 유지하였다. 측정거리는 7[m]로 고정하였으며, 측정치는 10회 이상 측정된 자료를 평균으로 하였다.

코로나 발생 대상물은 현재 22.9[kV] 배전선로에서 가장 많이 이용되고 있는 자기애자(191[mm])와 폴리머애자(Silicone A type)이다. 공급전압은 고전압발생장치(Hipotronics, 0~200[kV], 60[Hz], USA)를 이

용하여 기중 절연파괴가 될 때까지 전압을 상승시키며 그 때 발생하는 자외선과 초음파를 검출하였다. 초음파 검출(Corona gun, ROBINSON, USA)은 초음파 센서로부터 신호를 받아 주파수 변환장치(OROS34, USA)를 이용하였다. 코로나 방전시 발생하는 자외선은 최근 전력설비에 활용되고 있는 자외선 카메라(DayCor II, Ofil Ltd, UV 240~280[nm], Israel)를 활용하여 검출하였다. 자외선 발생량은 이미지의 크기와 거리에 있어서 각각 선형적이므로 이를 근거로 하여 절연성능을 평가하였다. 그림 3은 절연애자에서 발생하는 자외선과 초음파를 검출하고 자외선 검출로 나타난 이미지를 효과적으로 분석하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

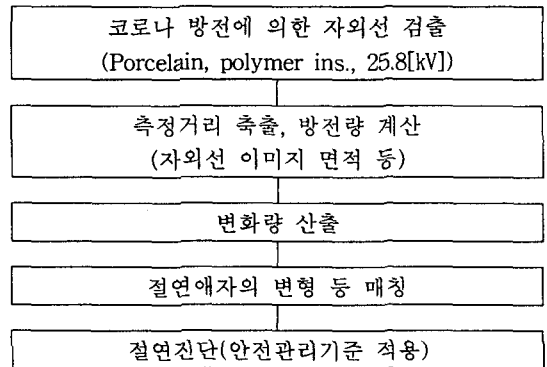


그림 3. 자외선 검출과 분석 흐름도
Fig. 3. Analysis process and detection of ultra violet

절연애자의 코로나 발생과정에서 나타난 초음파와 자외선 검출은 대상에 따라 적용 가능한지에 대해 검토하고, 절연파괴전압을 단위전압으로 하여 열화단계의 구성이 가능한 지를 분석하였다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 절연파괴 전압에서의 자외선 이미지 비교

그림 4와 그림 5는 22.9[kV]에서 이용되는 자기애자와 폴리머애자를 대상으로 고전압 발생장치로 전압을 가했을 때 절연파괴(V_{bd}) 직전에 촬영한 것이

코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 애자의 자외선 발생특성

다. 자기애자의 절연파괴 전압(V_{bd-pc})은 약 75[kV]였으며, 폴리머애자로서 절연파괴 전압(V_{bd-sl})은 약 160[kV]이었다.

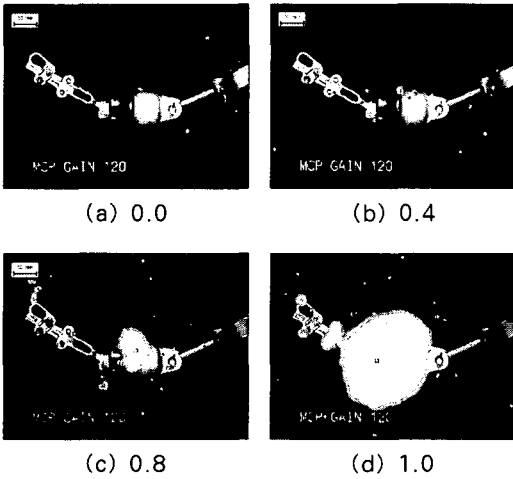


그림 4. 자기애자에서 절연파괴 전압(1(p.u.))까지의 자외선 발생
Fig. 4. Corona generation of porcelain insulator until breakdown(1(p.u.))

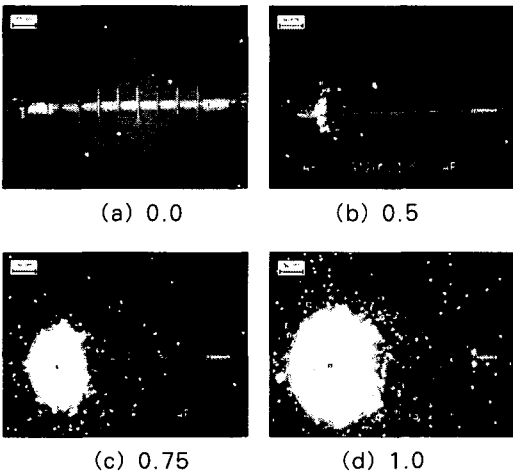


그림 5. 폴리머애자에서 절연파괴 전압(1(p.u.))까지의 자외선 발생
Fig. 5. Corona generation of polymer insulator until breakdown(1(p.u.))

그림 4에서 자기애자의 자외선 발생위치의 검출이 용이하였으며, 그림 4 (c)에서 보면, 갓을 중심으로

우측(접지) 부분의 자기 접합면에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 절연파괴 직전에 촬영된 그림 4 (d)는 자외선 발생으로 인해 자기애자의 이미지가 가리는 것으로 나타났다. 자외선 검출이미지의 면적을 정량적으로 분석하기 위해 측정거리를 비례적으로 계산하였다.

그림 5는 폴리머애자의 자외선 발생지점은 자기애자에서와 같이 접합면에서부터 시작되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5 (d)는 절연파괴에 임박한 상태의 자외선 검출이미지이며, 폴리머 8개의 갓 중 4개의 갓 부분까지 자외선이 발생하는 것으로 나타났다. 상대적으로 적게 발생하나 접지 측 접합면에서도 자외선 발생이 있는 것으로 판단된다. 그림 4와 그림 5에서 절연파괴가 임박했을 때의 자외선 이미지는 자기애자는 전체를 덮은 형상을 하고 있다. 반면, 실리콘 고무애자의 경우 전원발생 측에서 자외선이 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 극히 작으나마 접지 측의 실리콘고무와 연결접속부 사이에서 발생한 자외선이미지가 확인되었다. 절연파괴 전압의 크기와 절연형상에 따라 자외선 발생의 정도가 다른 것을 알 수 있다.

4.2 자외선 이미지 면적계산을 통한 특성평가

그림 6은 자기애자에서 절연파괴 전압까지 이르는 동안 자외선 발생량에 대한 가장 큰 자외선이미지의 면적을 계산한 것을 보여준다. 이때 p.u.(per unit)는 각각의 인가전압과 절연파괴전압의 비로 정의된다.

그림 6은 가장 큰 자외선 검출이미지의 면적을 나타낸 것으로 절연파괴 과정까지 다량의 함수적으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 이로써 자외선 발생 이미지의 면적을 비교하였을 경우 정량적이고 단계적으로 변화하는 특성을 이용하여 수식화하였다. 그림에서 자외선 검출이미지의 면적을 절연파괴 단위전압에 맞추어 4차 항으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$S_{\max-pc} = 35.3v_{p.u.}^4 - 58.4v_{p.u.}^3 + 31.7v_{p.u.}^2 - 5.6v_{p.u.} \quad (1)$$

여기에서, $S_{\max-pc} [cm^2]$ 는 자기애자에서 자외선검

출이미지 중 가장 큰 면적을 의미하며, $v_{p.u}$ p.u.는 절연파괴 될 때까지의 단위전압을 의미한다.

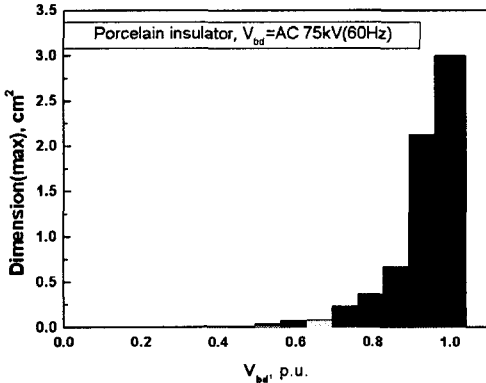


그림 6. 절연파괴 과정에 따른 자외선 발생 이미지의 면적배열(자기애자)
Fig. 6. Dimension of UV generation image due to breakdown process(porcelain insulator)

그림 7에서와 같이 자기애자와 달리 폴리머애자는 해당 절연파괴전압이 높은 것으로 나타나며, 절연이 강화된 A형 폴리머애자인 경우 절연파괴 될 때까지의 절연파괴전압은 평균 160[kV]이며, 자외선 발생과정을 보여준다.

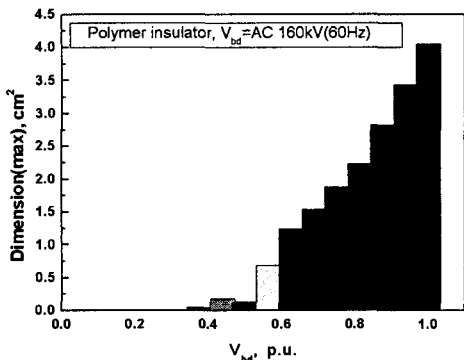


그림 7. 절연파괴과정에 따른 자외선 발생 이미지의 면적배열(폴리머애자)
Fig. 7. Dimension of UV generation image due to breakdown process(polymer insulator)

그림 7에서 가장 큰 자외선 검출이미지의 면적을 배열한 것으로 절연파괴 과정까지 선형적으로 변화되는 과정을 확인할 수 있다. 자외선 발생이미지의

면적을 비교하였을 경우 자기애자에서와 같이 정량적이고 단계적 변화를 보인다. 따라서 형상별 자외선 이미지의 분석을 체계화할 필요가 있다. 그림 8은 자기애자와 폴리머애자의 자외선 검출 이미지를 비교한 것이다.

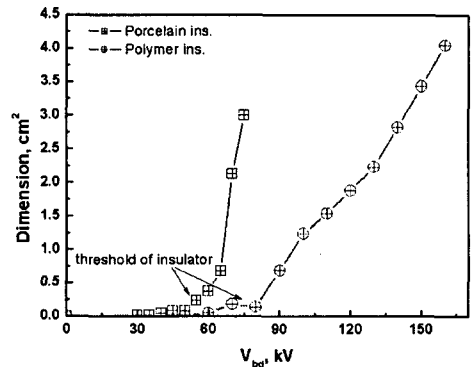


그림 8. 자기애자와 폴리머애자의 자외선 검출이미지 비교
Fig. 8. Comparison of UV detection images between porcelain and polymer insulators

그림 8에서와 같이 절연파괴전압과 형상이 다른 종류의 절연애자를 비교하면, 변화율의 차이가 있으며 절연파괴전압이 높은 전압을 가진 폴리머애자에서 낮은 단위전압에서 변화율을 보이기 시작하였다. 이는 절연파괴전압이 커짐에 따라 자외선 검출이미지의 면적에 대한 변화율이 선형적으로 나타나는 것을 의미한다.

4.3 자외선이미지와 초음파 검출의 비교

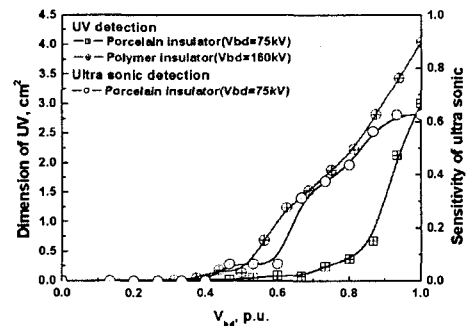


그림 9. 자외선 검출 이미지와 초음파 비교
Fig. 9. Comparison between UV detection images and ultrasonic

코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 애자의 자외선 발생특성

그림 9는 코로나방전에서 발생하는 초음파를 검출하여 비교한 것이다. 검출량에 있어서 자외선 이미지의 크기는 정량적으로 커지는 경향을 보이나 초음파 검출의 경우에는 실험실내에서 노이즈를 제거한 상태에서 취득한 자료로서 실제 현장에서는 주변 노이즈로 인해 정량화 할 수 있는 그래프의 패턴을 찾기 어려웠다.

5. 결 론

본 연구에서는 자기애자와 폴리머애자의 절연 파괴 특성과 절연파괴과정에서 가장 취약한 부분을 찾아내기 위한 실험을 실시하였다. 절연파괴 과정 중 발생하는 자외선을 효과적으로 분석하고, 기존의 초음파 검출기술과 비교하였다.

자기애자에서의 코로나 방전은 애자 사이의 소켓 아이와 볼아이에서 대부분 발생하였으며, 가장 취약한 접합부에서 시작되는 것을 관찰하였다. 폴리머 애자인 경우에는 접합면에서 자외선이 발생하였으며, 전원 측에서 시작되는 것으로 나타났다. 이로써 자외선 이미지와 초음파 검출을 통해 기존의 데이터보다 신뢰성 있는 자료가 확보되었다. 지속적인 연구를 통해 현장진단에 적합한 진단기술로서의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 송길목, 방선배, 김중민, 김선구, "자기애자에서의 코로나 방전에 의한 자외선이미지 검출", KIEE HV&D spring conference, pp.2-13~2-16, 2007.
- [2] K.M. Shong, S.G. Kim, W.K. Han, Y.S. Kim, J.S. Jung and H.J. Choi, "Recognition and Detection of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9kV Distribution Line Using UV-Camera", 15th ISH2007, pp.439, 2007.
- [3] Kil-Mok Shong, Young-Seog Kim, Sun-Cu Kim, "Images Detection and Diagnosis of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9kV D/L", IEEE SDEMPED2007 Proc., pp.462~466, 2007.
- [4] EPR, "Guide to Corona and Arcing Inspection of Substations", 2002.
- [5] EPR, "Guide to Corona and Arcing Inspection of Overhead Transmission Lines", 2002.
- [6] Su-Won Jang, Se-Jun Son, DoEok Kim, Dae-Hyuk Kwon, Sung-Hoon Kim, Young-Hyun Lee, and Shin-Won Kang, "UV-Sensitive Photofunctional Device Using Evanescent Field Absorption Between SU-8 Polymer Optical Waveguide and Photochromic Dye, IEEEPhoto. Tech., VOL. 18, NO. 1, pp.82~84 JAN. 1, 2006.
- [7] 한국전기안전공사, "전기재해통계분석", 16호, 한국전기안전공사, pp.67~74, 2007.
- [8] Stanley Siu et al., "Utility of CHARM-2 in Diagnosing Sources of Plasma Charging Damage in High Density Etchers and in Assisting Hardware Development", 20027th IS on P&FID, pp.80~83, 2002.
- [9] Kohji Hokkawa, "Study on Photo-induced Acoustic Charge Transport Effect in CaN Film", IEEE 0-7803-8846-1/05, pp.421~424, 2005.

◇ 저자소개 ◇

송길목 (宋 佶 穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기제어시스템공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기제어시스템공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 부설 전기안전연구원 설비안전연구그룹 선임연구원.
Tel : (031)580-3065
Fax : (031)580-3111
E-mail : natasder@kesco.or.kr

방선배 (方 善 培)

1968년 5월 18일생 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 박사수료. 2003년~현재 전기안전연구원 선임연구원.
Tel : (031)580-3074
Fax : (031)580-3070
E-mail : bsb1586@kesco.or.kr

김중민 (金 鍾 鎔)

1972년 7월 18일생. 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 연구원.
Tel : (031)580-3077
Fax : (031)580-3070
E-mail : cmkim@kesco.or.kr

김영석 (金 榮 錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 설비안전연구그룹 연구원.
Tel : (031)580-3064
Fax : (031)580-3111
E-mail : athens9@naver.com