인위적인 자외선 조사량에 따른 폴리머애자에서의 코로나 방전 특성

A Study of Corona Discharge in Polymer Insulators by Artificial UV Radiation

김 영 석[†] · 최 명 일^{*} · 김 중 민^{*} · 방 선 배^{*} · 송 길 목^{*} · 곽 동 순^{**}

(Y. S. Kim · M. I. Choi · C. M. Kim · S. B. Bang · K. M. Shong · D. S. Kwag)

Abstract - In this study, degradation was observed by irradiating UV rays to the polymer insulators which have been widely used in outdoor electric power facilities. For an indoor accelerated UV test, 0.55 w/m² of UV rays were applied using a xenon-arc method. A UV detection system with 65 Ømm in diameter, 100 mm in length and 1.0 of brightness (F/#) has been designed. Even though efflorescence on the surface of polymer insulators wasn't observed according to the accelerated UV test. UV rays were detected at around 50% and 40% of insulation breakdown in EPDM and silicone-type insulators respectively. As degradation continued because of an indoor accelerated UV test, breakdown voltage with which UV rays can be detected in an early stage decreased as well. A silicone polymer insulator would be severer than EPDM polymer insulator in terms of surface degradation because of UV strength against V_m/V_{BD} was high in silicone polymer insulators. UV strength in silicone-type insulators increased at 1,000 kJ/m² because contact angle at the initial stage sharply decreased to from 113° to 92.1°.

Key Words : UV radiation, UV detection, Polymer insulator, Surface discharge, Contact angle

1. 서 론

전력설비의 대용량화, 정보화에 따라 전력산업은 대형화, 다양한 된 기능으로 변화되었으며, 고품질의 전력 안정화가 무엇보다 중요하게 되었다. 특히, 최근 우리나라에서는 여름철과 겨울철에 전력수급에 비상이 걸려 있는 사항이며, 정전에 따른 피해를 최소화하기 위해 송전선로, 배전선로, 옥내 전력설비에 대해 진단 및 유지관리가 중요하다. 송전선로, 배전선로 등의 전력설비 및 옥내 전력설비에 사용되는 폴리머 계열의 절연애자는 가공전선을 지지물로부터 전기적으로 절연하는 목적뿐만 아니라, 각 종 원인에 의한 외력과 전선을 기계적으로 지지하는 중요한 역할을 한다[1-3]. 그러나 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라 환경에서 폴리머 계열의 절연애자는 염분에 의한 표면열화, 옥외에 노출된 장소에서 대부분 사용되기 때문에 태양 광 등에 장기간 노출되어 태양광에 포함된 자외선 등으로 인해 백화현상이 발생하여 절연이 약화되는 문제점이 있다. 즉, 태양광에 포함된 자외선 노출에 의해 폴리머의 화학구조 분열이 발생하여 폴리머애자의 연면방전 전압을 저하시켜 전기절연을 약화 시키게 된다[4-5]. 따라서 태양광에 포함된 자외선인 290~340 nm의 파장대역에서 폴리머애자의 표면 열화 현상을 관측하고 가속열화에 의한 절연내역의 변화 추이를 조사하여 폴리머애자의 교체시기 등의 전력설비 진단을 수행할 필요가 있다.

옥외에 많이 사용되고 있는 폴리머 애자 등을 포함하는 전력설비의 노출충전부는 적외선 열화상 이미지를 촬영하거나 초음파 검출, UHF 센서에 의한 검출, 자외선 코로나 카메라 등을 이용하여 설비상태를 진단하고 있으며, 최근에는 코로나 방전에 의한 자외선 영상 이미지를 이용하여 설비의 이상 유무를 확인하는 자외선 코로나 카메라가 많이 활용되고 있다. 하지만, 자외선 코로나 카메라의 경우 전량 수입되고 자외선 영상 이미지에 사용되는 센서의 가격이 수천만원 등의 비싸다는 단점이 있다. 하지만, 본 논문에서 개발된 소형화된 자외선 검출 장비는 내부 방전전극의 광전효과와 가스증폭 기술을 이용하여 자외선을 감지하는 기술로서 기존 자외선 코로나 카메라의 광증배관(MCP) 센서 보다 가격이 저렴하고, 코로나 방전에서 발생하는 자외선 파장(UV-C) 대역인 260 nm 이하의 파장을 측정할 수 있어 쉽게 코로나 방전 현상을 검출 할 수 있다[6-8].

따라서 본 논문에서는 옥외 전력설비의 절연으로 많이 사용되고 있는 폴리머 애자를 대상으로 자외선을 인위적으로 조사하여 표면의 백화현상을 관측하고, 광학렌즈가 포함된 자외선 검출 시스템을 이용하여 자외선 열화에 의한 코로나 방전량 실험을 수행하였다. 이를 통해 옥외 폴리머애자의 열화 상태를 진단하여 이상 유무를 판별할 수 있는 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실내 자외선 가속열화 실험

그림 1은 폴리머애자의 실내 자외선 가속열화 실험 개략도를 나타낸다. 실험은 한국건설생활환경시험연구원 서산옥외폭포시험장에서 제논-아크 시험장치(CI-4000, Atlas)를 이용하였다. 자외선 광 가속열화 시험은 폴리머애자를 제논-아크 광원에 온도, 습도, 수분, 암흑기간 사이클 등의 시험조

[†] Corresponding Author : Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea
E-mail : athens9@kesco.or.kr

^{*} Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation, Korea

^{**} Dept. of Fire Safety, Kyungil University, Korea

Received : January 24, 2013; Accepted : April 3, 2013

건을 통해 노출시키는 시험방법으로 짧은 시간 안에 물리·화학적 성질 변화를 조사하는 것이다. 실험에 사용된 폴리머에자는 25kV급 폴리머 애자 B호로서 EPDM 타입과 Silicone 타입 2가지를 선정하였다. 폴리머에자는 상부와 하부 쪽에 케이블타이를 이용하여 상, 하에 고정시켰다.

실내 자외선 가속열화 실험의 제논 아크의 광량 조사는 ISO 4892-2[9]의 기준에 의해 태양광 필터를 이용한 인공 폭로실험의 값인 0.55 W/m^2 로 선택 하였다. 제논 아크는 여러 가지 필터 조합을 통하여 자외선(UV) 영역과 가시광(Visible) 영역에서 다른 어떤 인공광원보다도 자연광에 가까운 빛을 모사할 수 있는 장점이 있다. 또한 다양한 필터 조합을 통하여 시험 목적에 맞는 분광분포를 얻을 수 있으며, 시험편 표면의 방사조도를 재료 및 제품의 사용 환경에 맞추어 조절이 가능하다. 가속열화 실험 내부에 조사되는 자외선 파장은 $290 \sim 800 \text{ nm}$ 이며, 상대습도는 $50 \pm 5\%$ 이다. 물 분무 사이클은 자외선이 102분간 조사 되는 동안에 18분간은 자외선과 물을 동시에 분무하였다.

그림 1 실내 자외선 가속열화 실험 개략도(Xenon-Arc)
Fig. 1 Schematic of experiment set-up for Xenon-Arc.

자외선 조사 실험 사이클은 노출 조사량 0.55 W/m^2 에 시간을 곱하면 J/m^2 으로 표시되며, 이를 500 kJ/m^2 , $1,000 \text{ kJ/m}^2$, $1,500 \text{ kJ/m}^2$, $2,000 \text{ kJ/m}^2$, $2,500 \text{ kJ/m}^2$, $3,000 \text{ kJ/m}^2$ 의 총 6 단계별로 실험을 하였다. 실제로 $3,000 \text{ kJ/m}^2$ 까지 제논-아크 자외선을 노출시켰을 경우의 시간을 계산하면 다음과 같다.

$$kJ/m^2 = W/m^2 \times 3600 \text{ sec} \quad (1)$$

이를 계산하면, 1,515시간이 소요되며, 일수로는 63일이 소요된다. 또한 이 값을 이용하여 실제로 옥외에서 폴리머 애자에 자외선이 조사된 양을 계산하면 다음과 같은 값을 얻을 수 있다[10].

$$\frac{54.5 \text{ W/m}^2 \times 1,515 \text{ hr} \times \frac{\text{J/sec}}{\text{W}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{\text{hr}}}{1000} = 297 \text{ MJ/m}^2 \quad (2)$$

여기서, 54.5 W/m^2 은 ATLAS Irradiance conversion calculator에 의해 계산된 값이다. 우리나라 서해안의 옥외폭로시험장에서 얻어진 연간 총 자외선량은 약 270 MJ/m^2

($315 \sim 400 \text{ nm}$)이었으며, 이들 조건으로 제논 아크 시험을 할 경우 서산옥외폭로시험장에서 직접폭로시험을 하면 약 13개월 정도 소요된다. 그러나 제논 아크의 과장영역($300 \sim 400 \text{ nm}$)과 옥외폭로시험장에 설치된 자외선센서의 과장영역($315 \sim 400 \text{ nm}$)의 범위가 다르므로 1년 미만의 기간이 소요될 것으로 판단된다.

3. 자외선 센서 감지 시스템 구성 및 실험

자외선 센서를 이용한 감지 시스템은 광학렌즈를 이용하여 전력설비와의 거리에 따른 자외선 특성 조사하고 자외선 센서를 이용하여 전력설비 노출 충전부(부싱, 절연애자)에서의 방전현상을 측정할 수 있다. 이 시스템은 출력되는 자외선 카운트에 의해 설비의 이상 유무를 판단하는 것이 가능한 장비로서 광학계 설계가 필요하다. 그림 2는 자외선 감지 시스템의 자외선 광학계 개략도 및 센서 위치를 나타낸다. 자외선 광학계의 크기는 직경 $65 \text{ } \phi \text{mm}$ 이고 길이 100 mm 이며, 밝기(F/#)가 1.0인 것으로 설계하였다. 광학렌즈의 재질은 자외선 투과율이 좋은 Fused Silica 렌즈를 사용하여 구면렌즈 2개를 사용하였으며, 과장범위는 $213 \sim 260 \text{ nm}$ 로 하였다. 시야각(FOV)은 $\pm 3.2^\circ$ 으로 하였으며, 그림에서 자외선이 투과되면 렌즈 2개를 통해 중앙에 자외선이 집광되는 구조로 설계하였다. 또한 광학계 우측에 자외선 센서를 고정시켜 방전에 의해 발생하는 자외선을 검출하도록 하였고 자외선 검출을 위한 자외선 센서의 전압은 직류 380 V 를 공급하였다. 즉, 소형화된 UV 검출 시스템은 폴리머애자에서의 코로나 방전에 의해 자외선이 발생하면, 광전효과에 의해 애노드와 캐소드 사이의 미소방전으로 자외선을 검출하게 되며, 시간에 따른 자외선 발생횟수를 카운트하게 되어 코로나 방전량을 기록하게 된다. 이를 통해 실제 전력설비에서 발생하는 고전압 방전현상의 검출이 가능하며, 저가로 시스템 구축이 가능하다.

그림 2 자외선 감지 시스템의 자외선 광학계 개략도
Fig. 2 Schematic of UV optical system for UV detection.

그림 3은 폴리머 애자의 코로나 방전 실험 개략도를 나타낸다. 고전압 인가 실험은 IEC 60060-1[11]에 의해 정의된 고전압 발생장치를 이용하여 전력 설비를 평가하는 방법을 활용하였다. 고전압 실험은 주변 환경의 영향에 의해 약간씩 차이가 발생하지만, 측정거리는 5 m 에서 폴리머애자에서 발생하는 코로나 방전을 측정하였으며, 측정횟수를 10회 이상으로 하여 평균값을 취하였다. 고전압 실험 동안의 주변 온도는 15°C 였으며, 습도는 45% 였다. 고전압발생장치(Hipotronics, $0 \sim 200 \text{ kV}$, USA)를 이용하여 기중 절연과피

그림 3 코로나 방전 측정 개략도

Fig. 3 Diagram of the high-voltage generator for corona discharge measurement.

가 될 때 까지 1 kV/sec 전압을 상승시키며 그 때 발생하는 자외선을 검출하였다.

4. 실험결과 및 검토

그림 4는 자외선 가속열화 실험에 따른 EPDM 폴리머 애자의 자외선 세기 변화를 나타낸다. 그림에서 V_m 은 인가 고전압을 나타내며, V_{BD} 는 폴리머애자의 절연파괴 전압을 나타낸다. EPDM 폴리머애자 B호의 절연파괴를 위해 전압을 1kV/sec당 상승시켰으며, 절연파괴 전압은 123 kV였다. 절연파괴 후, 폴리머애자에서의 표면변화는 나타나지 않았다. 그림 4에서 자외선 세기는 절연파괴 전압에서 근접할수록 증가하는 것을 알 수 있다. EPDM 폴리머 애자는 절연파괴의 50 % 근처에서 정상상태 및 자외선 가속열화 실험에 의한 시료 모두 자외선이 검출되기 시작하였으며, 실내 자외선 가속열화 실험에 의해 500 kJ/m²에서 3,000 kJ/m²으로 열화 시간이 많아질수록 검출되는 자외선 세기는 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 실내 자외선 가속열화 실험에 의해 열화가 진행됨에 따라 초기에 자외선을 검출 할 수 있는 절연파괴전압도 낮아졌다. 즉, V_m/V_{BD} 값이 약 30 % 부근에서 자외선 조사량이 2,500 kJ/m², 3,000 kJ/m²에서는 각각 8 N/sec, 4 N/sec 의 자외선 세기가 검출되었다. V_m/V_{BD} 값이 감소하게 되면 EPDM 폴리머 애자 표면의 열화에 의해 표면방전의 발생으로 자외선이 검출된 것으로 판단되며,

그림 4 자외선 가속열화 실험에 따른 EPDM 폴리머 애자의 자외선 세기 변화

Fig. 4 Variation of UV strength of EPDM polymer insulator according to UV radiation.

V_m/V_{BD} 값이 약 100 %에 근접할수록 자외선 세기는 포화되는 경향을 나타내었다.

그림 5는 자외선 가속열화 실험에 따른 Silicone 폴리머애자의 자외선 세기 변화를 나타낸다. Silicone 폴리머애자 B호의 절연파괴 전압은 129 kV이며, EPDM 폴리머애자와 동일하게 절연파괴 후의 표면변화는 관측되지 않았다. 그림 4와 동일하게 전체적으로 절연파괴 전압에 근접할수록 자외선 세기는 증가하는 것을 알 수 있다. EPDM 폴리머애자와 약간 다른 경향으로 Silicone 폴리머 애자는 절연파괴의 40 % 근처에서 정상상태 및 자외선 열화에 의한 시료 모두 자외선이 검출되기 시작하였다. 또한 자외선 세기도 EPDM 폴리머애자에 비해 급격하게 증가하였다. 자외선 가속열화 실험에 의해 열화 정도가 심해짐에 따라 초기에 검출할 수 있는 자외선 세기는 EPDM 폴리머애자와 유사하게 V_m/V_{BD} 값이 약 30 % 정도일 때 검출하였으며, 자외선 조사량이 2,500 kJ/m², 3,000 kJ/m²에서는 각각 17 N/sec, 3 N/sec 의 자외선 세기가 검출되었다.

그림 5 자외선 가속열화 실험에 따른 Silicone 폴리머 애자의 자외선 세기 변화

Fig. 5 Variation of UV strength of Silicone polymer insulator according to UV radiation.

그림 6은 자외선 가속열화 실험에 따른 EPDM 및 Silicone 폴리머애자의 자외선 세기를 비교한 것을 나타낸다. 그림 (a)는 자외선 조사량이 1,000 kJ/m²이며, 그림 (b)는 2,500 kJ/m²을 나타낸다. 두 결과 모두 Silicone 폴리머애자에서 V_m/V_{BD} 대비 자외선 세기가 높게 나온 것을 알 수 있다. 그림 (a)에서 Silicone 폴리머애자의 경우는 V_m/V_{BD} 의 40 % 부근에서 자외선이 검출되는 것을 확인할 수 있으며, 약 60 N/sec 값을 가졌다. 하지만, EPDM 폴리머애자에서는 V_m/V_{BD} 의 40 % 부근에서 자외선이 검출되지 않았다. 또한 V_m/V_{BD} 의 40~70 % 구간에서는 Silicone 타입과 EPDM 타입의 자외선 세기 차이가 발생하지만, 절연파괴에 근접할수록 자외선 세기는 폴리머애자 모두 약 120 N/sec 값을 가졌으며, 큰 차이는 나타나지 않았다. 그림 (b)의 2,500 kJ/m²에서는 Silicone 타입 및 EPDM 타입 모두 V_m/V_{BD} 의 30 % 부근에서 자외선이 검출되었으며, 자외선 세기는 Silicone 타입의 경우 17 N/sec, EPDM 타입의 경우에는 약 8 N/sec 의 값을 가졌으며, 차이는 크게 발견되지 않았다. 인위적인 자외선 가속열화에 의한 폴리머애자의 열화 상태는 Silicone

타입이 초기 자외선 열화에 의해 표면의 열화 정도가 EPDM 타입보다 특성이 좋지 않은 것으로 판단된다. 따라서 옥외에 설치되어 있는 폴리머애자의 경우, 자외선 가속열화가 어느 정도 진행이 되면 코로나 방전량을 나타내는 자외선은 낮은 전압에서 검출이 가능하며, 전력계통의 운전전압에서 자외선 세기의 크기 변화를 통해 폴리머애자의 상태를 진단할 수 있는 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

(a) UV radiation = 1,000 kJ/m²

(b) UV radiation = 2,500 kJ/m²

그림 6 자외선 가속열화 실험에 의한 폴리머 애자의 자외선 세기 비교

Fig. 6 Comparison of UV strength of polymer insulator by UV radiation.

그림 7과 8은 자외선 가속열화 실험 후의 EPDM 타입과 Silicone 타입의 표면 사진을 나타낸다. EPDM 및 Silicone 타입 모두 옥안으로 관찰한 표면 색 변화는 나타나지 않았다. 일반적으로 폴리머애자의 경우 자외선 조사에 의해 화학구조의 분열이 발생하여 표면에 백화현상이 발생하여 절연을 약화시키게 된다. 즉, 본 실험의 자외선 가속열화 실험에 의한 표면의 백화현상은 관측되지 않았다.

그림 9는 폴리머애자 표면에 액체방울을 떨어뜨려 접촉각을 측정하는 방법을 나타낸다. 접촉각 측정 장치는 Theta 2.0을 사용하였으며, 액적법(Sessile drop)으로 측정하였다. 이는 고체표면에 액체방울을 떨어뜨리면 표면에너지(surface energy) 및 계면장력(interface energy)의 균형에 의해 액체방울은 특정한 형태(곡면)를 나타낸다. 이때 액체의 표면 접선과 액체-고체 간에 계면이 이루는 각을 접촉각(contact

그림 7 자외선 가속열화 실험 후의 EPDM 애자 사진

Fig. 7 Photograph of EPDM type insulator after Xenon-Arc.

그림 8 자외선 가속열화 실험 후의 Silicone 애자 사진

Fig. 8 Photograph of Silicone type insulator after Xenon-Arc.

그림 9 접촉각 측정에 대한 개략도

Fig. 9 Schematics of contact angle measurement.

angle)이라 한다. 여기서 접촉각(θ)의 젖음 정도에 있어서 $\theta=0^\circ$ 일 때는 액체는 고체표면에 완전히 퍼지고 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 일 때는 젖으며 $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 일 때는 젖지 않는다. 그리고 $\theta=180^\circ$ 일 때는 완전히 젖지 않는다.

그림 10은 EPDM 타입 및 Silicone 타입 애자의 접촉각 측정 결과를 나타낸다. 자외선 조사량에 따라 폴리머애자의 접촉각은 작아지는 것을 알 수 있다. 초기 정상상태의 접촉각 특성에서는 Silicone 타입 애자가 좋은 특성을 가지지만,

모두 발수성이 우수한 상태인 것을 알 수 있다. 그림에서 EPDM 타입의 애자의 경우, 정상상태의 접촉각이 108° 에서 $3,000 \text{ kJ/m}^2$ 일 때 86.6° 로 약 21.4° 의 접촉각 변화가 발생하여 완만하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉, $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 범위의 젖음 상태로 서서히 진행되는 것으로 추정된다. 하지만, Silicone 타입 애자의 경우는 초기 정상상태의 접촉각이 113° 에서 약 $1,000 \text{ kJ/m}^2$ 에서 급격하게 접촉각이 92.1° 로 감소하였으며, $3,000 \text{ kJ/m}^2$ 일 때는 83.2° 로 초기상태와 비교하여 약 30° 의 접촉각 변화가 발생하였다. 앞에서 나타낸 그림 6에서 Silicone 타입 애자가 $1,000 \text{ kJ/m}^2$ 일 때의 자외선 세기가 급격하게 증가한 것은 접촉각이 92.1° 로서 젖음 상태를 나타내는 90° 이하에 근접하게 되어 애자 표면의 발수성 특성이 나빠지는 것이 주원인으로 판단되며, 표면의 성분변화를 조사하여 확인해 볼 필요가 있다고 생각된다. 이는 추후 연구를 통해 보고할 예정이다.

그림 10 자외선 조사량에 따른 폴리머애자의 접촉각 결과
Fig. 10 Results of contact angle of polymer insulator by UV radiation.

5. 결 론

본 논문에서 폴리머 애자를 대상으로 자외선을 인위적으로 조사하여 열화현상을 관측하고 자외선 검출 시스템을 이용하여 코로나 방전량을 조사하였다. 실내 자외선 가속열화 실험은 제논 아크 방법을 이용하여 0.55 W/m^2 로 자외선 빛을 비추었으며, 500 kJ/m^2 에서 $3,000 \text{ kJ/m}^2$ 까지 단계별로 실시하였다. 자외선 검출 시스템은 자외선 광학계를 설계하고 직경 65 mm 이고 길이 100 mm 이며, 밝기(F/#)가 1.0인 것으로 제작하였다. 광학렌즈는 Fused Silica 렌즈를 2개 사용하여 자외선 센서 중앙에 자외선이 집광되도록 하였다. 자외선 가속열화 실험 결과, EPDM 타입 애자는 절연파괴의 50 % 부근, Silicone 타입 애자는 절연파괴의 40 % 부근에서 정상상태 및 자외선 가속열화 실험에 의한 시료 모두 자외선이 검출되기 시작하였다. 자외선 조사량에 따라 폴리머 애자 표면의 열화에 의해 표면방전이 발생하여 V_m/V_{BD} 값이 낮아지며, V_m/V_{BD} 값이 약 100 %에 근접할수록 자외선 세기는 포화되는 경향을 나타내었다. 자외선 가속열화 실험에 의한 폴리머애자 표면의 백화현상은 관측되지 않았지만, 접촉각 측정을 통해 애자 표면의 열화가 진행되는 것을 확인하였다. EPDM 타입의 애자의 경우, 접촉각의 변화

가 완만하게 감소하는 경향을 나타내고 있지만, Silicone 타입 애자의 경우는 초기 정상상태에 비해 약 $1,000 \text{ kJ/m}^2$ 에서 급격하게 접촉각이 감소하였다. 따라서 Silicone 타입 애자의 자외선 세기가 변화 폭이 큰 것은 애자 표면의 열화에 의한 친수성 때문 인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 2011T100100098)

References

- [1] Vasquez-Arnez, R.L.; Jardini, M.G.M.; Masuda, M.; Carita, L.A.; Jardini, J.A, "Preventive inspection of line insulators through corona emission: A case study", Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES, pp. 1-6, 2010.
- [2] Kil-Mok Shong, Sun-Gu Kim, Woon-Ki Han, Young-Seok Kim, Jin-Su Jung and Hyoung-Jun Choi, "Recognition and Detection of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9kV Distribution Line Using UV-Camera", XVth International Symposium on High Voltage Engineering, 2007
- [3] Soon-Won Jung, Kyung-Wan Koo, "Comparison of the Poor Insulator Detecting Technique for the Reliability Enhancement of the Electric Power Facilities", Trans. KIEE. Vol. 57P, No. 4, pp.417-423, 2008.
- [4] B.H. Youn, K.M. Bai, S.J. Lee, J.H. Paek, S.W. Kim, S.I. Jeon, "Degradation of Silicone Rubber Used as Outdoor Insulator Under Accelerated Weathering Condition", KIEE Summer conference, pp. 1906-1908, 2004.
- [5] Young-Seong Kim and Soon-Wook Jeong, "A Study on the Ultraviolet Aging Characteristics of Outdoor Polymeric Insulating Materials", Korean Journal of Materials Research, Vol. 9, No. 4, pp. 409-413, 1999.
- [6] Wenjun Zhou, Han Li, Xiao Yi, Jun Tu and Jianhui Yu, "A Criterion for UV Detection of AC Corona Inception in a Rod-plane Air Gap", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, VOL.18, NO.1, pp.232-237, 2011.
- [7] Youngseok Kim, Kilmok Shong, "The Characteristics of UV Strength According to Corona Discharge from Polymer Insulators using a UV Sensor and Optic Lens", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 24, Issue 4, pp.1809-1814, 2011.
- [8] M. Lindner, S. Elstein, P. Lindner and J. M. Topaz, A. J. Phillips, "Daylight Corona Discharge Imager",

High Voltage Engineering Symposium, pp.22-27, 1999.

- [9] "Plastics-Methods of exposure to laboratory light sources-Part 2: Xenon-arc lamps" ISO 4892-2, 2006.
- [10] KESCO, "The development of low voltage circuit breaker about life improvement & The selection of optimum replace cycle", KETEP report, pp.56-67, 2010.
- [11] "High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements", IEC 60060-1, 2010.

저 자 소 개

김 영 석 (金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
Tel : 031-580-3064
Fax : 031-580-3111
E-mail : athens9@kesco.or.kr/

최 명 일 (崔明日)

1975년 5월 30일생, 2002년 2월 창원대학교 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원.
Tel : 031-580-3065
Fax : 031-580-3111
E-mail : ken2003@kesco.or.kr

김 종 민 (金鍾旻)

1972년 7월 18일생, 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 ~ 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원
Tel : 031-580-3063
Fax : 031-580-3111
E-mail : cmkim@kesco.or.kr

방 선 배 (方善培)

1968년 5월 18일생, 1994년 2월 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 강원대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년 ~ 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.
Tel : 031-580-3031
Fax : 031-580-3111
E-mail : bsb1586@kesco.or.kr

송 길 목 (宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 여수지사 총괄부장.
Tel : 061-650-3500
Fax : 061-650-3508
E-mail : natasder@kesco.or.kr

곽 동 순 (郭東洵)

1975년 9월 8일생. 2002년 2월 경상대학교 전기전자공학부 졸업. 2004년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2011년~2012년 플로리다주립대 CAPS 연구원. 2008년~현재 경일대학교 소방방재학과 조교수.
Tel : 053-600-5403
Fax : 053-600-5419,
E-mail : dskwag@kiu.ac.kr