

# 고전압 방전 검출용 자외선 코로나 카메라 개발 및 방전 이미지 분석

(Analysis of Image and Development of UV Corona Camera for High-Voltage Discharge Detection)

김영석\* · 송길목 · 방선배 · 김중민 · 최명일

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

## Abstract

In this paper, the UV corona camera was developed using the solar blind and Multi Channel Plate(MCP) technology for the target localization of UV image. UV camera developed a  $6.4[^\circ] \times 4.8[^\circ]$  of the field of view as a conventional camera to diagnose a wide range of slightly enlarged, and power equipment to measure the distance between the camera and the distance meter has been attached. UV camera to measure the discharge count and the UV image was developed, compared with a commercial camera, there was no significant difference. In salt spray environments breakdown voltage was lower than the normal state, thereby discharging the image was rapidly growing phenomenon.

Key Words : UV Corona Camera, Solar Blind, Corona Discharge, Salt Spray Environment, Diagnosis

## 1. 서 론

발전설비 및 전력설비 등의 대형화에 따라, 전력설비 진단은 안정적인 전력공급, 전기사고에 의한 정전과 이에 따른 재산적 피해 최소화하기 위한 중요하며, 최근 설비진단에 대한 관심도 증가되고 있다.

고전압 설비에서 방전에 의한 사고는 기중 또는 액체나 고체 절연파괴에 의해 나타나며, 고전압 설비의 활선상태에서 열화를 진단하기 위해서는 적외선 열화상 이미지를 촬영하거나 초음파 검출, UHF 센서에 의

한 검출 등을 이용하여 설비상태를 진단하고 있다 [1-4]. 코로나 방전(Corona discharge)은 고전압이 가해진 도체 표면에 전계가 집중하여 절연파괴가 발생하여 방전이 지속되는 현상으로서 코로나 방전에 의한 열화 상태를 진단하기 위해 자외선 코로나 카메라가 보급되어 국내에도 활용되고 있다[5-6].

그러나 국내 전력설비의 부분방전, 코로나 방전 등의 열화를 효과적으로 검출하는 수단은 약 95[%]가 외국의 진단 장비를 도입하여 사선 및 활선상태에 활용되고 있는 실정이므로 시급하게 국산화가 요구된다.

자외선 코로나 카메라는 코로나 방전 현상을 가시광선 영역의 이미지로 보여줌으로써 현장 전기안전관리자들이 쉽게 눈으로 열화 상태를 알 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 최근에 전기설비 기술기준의 판단 기준의 “전로의 절연내력 확인 방법”에 자외선 이미지

\* 주저자 : 전기안전연구원 진단기술연구부 선임연구원  
Tel : 031-580-3064, Fax : 031-580-3111  
E-mail : athens9@kesco.or.kr  
접수일자 : 2011년 7월 8일  
1차심사 : 2011년 7월 20일  
심사완료 : 2011년 8월 9일

형태에 의한 판단법이 추가되어 개정되었으며, 제작사에서 제공하여 방전카운트로 설비의 열화 상태를 진단하는 방법이 적용되고 있다. 하지만 카메라 1대당 가격이 비싸기 때문에 국내의 전력설비 진단에 확대되어 보급되어 있지는 않다.

따라서 외국 진단장비의 수입에 대체할 수 있는 진단 장비를 개발할 필요가 있으며, 자외선 이미지에 의한 열화 상태를 판단할 수 있는 분석기술을 개발함으로써 안전 관리자가 쉽게 현장에 적용할 수 있는 장비가 요구된다. 본 논문에서는 자외선 코로나 카메라의 국내 개발 현황과 특징에 대해 살펴보고, 이를 이용하여 코로나 방전 자외선 이미지를 측정하였다.

## 2. 자외선 카메라 개발 및 사양

전력설비를 진단 할 수 있는 장비로 최근 주목 받고 있는 것은 자외선 코로나 카메라이다. 자외선 코로나 카메라를 생산하는 업체는 세계적으로 이스라엘, 남아프리카공화국 등이 있다. 기존 국내에서 수입되어 활용되고 있는 자외선 코로나 카메라는 이스라엘에서 생산한 것으로, 코로나 방전에서 발생하는 자외선(UV-C) 대역(100~280[nm])의 파장을 검출하여 가시광선의 이미지로 보여주는 것이다. 하지만 UV-C 대역의 자외선은 대기의 오존층에서 완벽하게 차단되며, UV-C 대역의 자외선은 지상에서 자연적으로 존재하지 않아 태양광 블라인드(Solar Blind) 대역으로 불린다. 따라서 태양광 블라인드의 파장대역을 검출할 수 있다면 자외선 코로나 카메라를 개발하는 것이 가능하다. 이를 위해서는 지상에 인위적으로 존재하는 UV-C 대역을 검출할 수 있는 필터 기술과 UV 증폭관을 이용하면 미세한 세기의 자외선을 검출할 수 있다. 자외선 카메라의 원리는 그림 1과 같이 지상에 존재하는 자외선 광자를 내부의 광증배관(MCP, Multi Channel Plate) 기술을 이용하여 자외선을 수천만 배로 증폭하여 가시광선의 이미지로 나타낸 것이다.

그러나 국내의 자외선 코로나 카메라 개발은 전혀 없다고 해도 무방하다. 일부 자외선램프 등을 사용하여 자외선을 발생하는 장비는 국내의 다수 업체가 있으나 자외선 코로나 카메라의 핵심기술인 UV-C 대역(Solar

Blind 대역)을 빛을 받아서 자외선을 탐지하는 장비는 전혀 없다. 하지만 최근 국내에서도 군사용인 자외선 탐지 장치를 응용한 자외선 코로나 카메라를 개발하였으며[7], 그림 2와 표 1에 사진과 사양을 나타낸다.

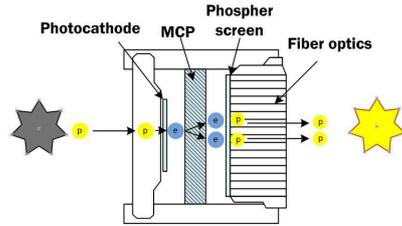


그림 1. 자외선 코로나 카메라의 개념  
Fig. 1. The concept of UV corona camera.

자외선 코로나 카메라의 핵심기술은 자외선 필터 기술, 자외선 이미지 처리 기술, 자외선 및 주간영상 합성 등이 있다. 자외선 필터는 태양광 중 250~280[nm] 파장대역(UV-C 대역)만 통과하고 나머지 파장대역 부분은 12 OD이상 차단하는 필터 기술이다. 자외선 이미지 처리는 자외선 이미지를 영상처리 알고리즘을 통하여 노이즈를 제거하고 안전진단에 적합하도록 하는 것이며, 자외선 및 주간영상 합성은 자외선 영상과 주간 영상을 동시에 보이도록 합성하는 기술이다. 이번에 개발된 자외선 코로나 카메라의 외형을 살펴보면, 고전압 설비에서 발생하는 자외선을 검출하기 위한 광학계와 주간카메라부, 거리측정기부, 자외선 이미지를 저장하고 제어할 수 있는 제어 패널부, 자외선 이미지를 볼 수 있는 LCD 화면부, 그리고 휴대성을 위한 배터리부로 크게 나눌 수 있다.



그림 2. 개발된 자외선 코로나 카메라의 사진  
Fig. 2. The photograph of developed UV corona camera

**표 1. 자외선 코로나 카메라의 사양**  
**Table 1. The parameters of UV corona camera.**

주요 성능지표	단위	UV 카메라
1. 시야각(Field of View)	[°]	6.4[°]×4.8[°]
2. 초점거리	[m]	0.5~∞(Vis)
3. UV-C 파장대역	[nm]	250~280
4. Video 출력	-	NTSC
5. Display(LCD)	[inch]	5"
6. 해상도	[pixel]	800×480
7. Display Mode	-	UV/Vis
8. Frame rate	[Hz]	30
9. Video Format	-	AVI
10. 저장용량	[GB]	16[GB] 이상
11. 스틸 이미지 저장	[JPEG]	가능
12. 방전 Counting	#	기능 탑재
13. 안전진단 S/W	-	기능 탑재
14. 거리측정기능	-	기능 탑재

자외선 코로나 카메라를 이용하여 전력설비를 진단할 수 있는 범위인 시야각은 6.4[°]×4.8[°]로서 기존 카메라보다 약간 확대되어 넓은 범위를 진단할 수 있으며, 초점거리는 0.5[m]에서 무한대까지 맞추도록 하였다. 또한 자외선 영상은 LCD를 통해 화면에 나타나도록 하였으며, 저장용량은 16[GB]이상으로 하였다. 특히 전력설비와 카메라 사이의 거리를 측정할 수 있는 거리측정기가 부착되었다. 거리 측정은 전력설비의 진단에 있어 중요한 부분이다. 왜냐하면 일반적으로 자외선을 포함한 광(光)은 거리의 자승에 반비례하기 때문에 거리 따른 자외선의 크기가 변하기 때문에 거리측정이 무엇보다 중요하다.

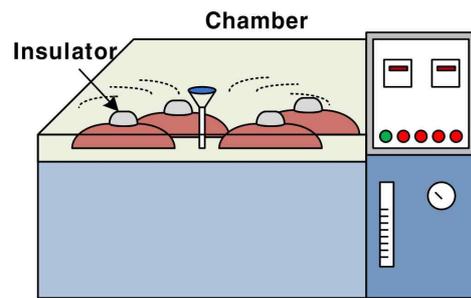
또한 기존 카메라에서는 전력설비의 열화현상을 방전 카운트뿐만 아니라, 거리측정과 자외선 이미지 비교를 통해 설비의 이상여부를 판단할 수 있는 안전진단 소프트웨어가 탑재될 예정이다. 이미 자외선 코로나 카메라에서 검출되는 자외선 이미지 판단 기법은 전기안전연구원에서 다년간의 연구결과로 전력설비 진단 분야에 많이 보고되었으며, “전력설비의 방전 자외선 이미지 분석방법”은 2009년 특허가 등록되었

다. 따라서 개발된 자외선 코로나 카메라에 안전진단 기능이 탑재되면 세계 유일한 장비로써 무 정전 상태에서의 전력설비 상태를 진단할 수 있는 새로운 시장을 선도하는 기술이 될 것으로 판단된다.

### 3. 염수환경에서의 절연애자의 코로나 방전 실험

발전설비 및 전력설비에 많이 사용되고 있는 고압 절연애자의 염수 등의 환경조건 실험을 위하여 “교류 시스템에 사용되는 고압애자의 인공 오염 시험(KS C IEC 60507)”에 의거하여 실험을 수행하였다. 이 규격은 최고 전압이 1,000[V]~765[kV]인 교류 시스템에 사용하며, 오염 대기에 노출되는 옥외용 세라믹 소재와 유리 소재로 제작된 절연체의 상용 주파수 내전압 특성 결정이 적용된다. 이 규격은 가공지선과 변전소 견인선, 부싱 등에 사용하는 절연체에 대한 인공 오염 시험 절차를 명시한 것이다.

표준 시험을 위한 오염 시험 방법으로는 절연체를 정해진 오염 환경에 노출시키는 염무법, 절연체 표면에 고체 오염층을 부착시키는 고체층법이 있으며, 본 실험에서는 염무법을 통해 인공 오염 실험을 수행하였다.



**그림 3. 염수환경 열화실험장치**  
**Fig. 3. Apparatus of salt water environment.**

염수환경 열화실험 장치는 KSC IEC 60507 기준에 적합하도록 설계 및 제작하였다. 그림 3은 염수환경 열화실험 개략도를 나타낸다. 염무법은 압축공기를 분무하여 시험 챔버 안에 연무를 생성하게 하는 방법이다. 실험은 공업용 염화나트륨(NaCl)과 수돗물을

준비하여 염도를 5[%]로 맞추었으며, 가속열화상태를 모의하기 위해 25시간, 50시간 등으로 가속열화 시켰다. 실험에 사용된 절연애자는 송전용 현수애자 (191[mm])를 사용하였다.

그림 4는 고전압 인가에 따른 절연애자의 자외선 이미지 촬영 개략도를 나타낸다. 고전압 인가 실험은 KS C IEC 60060-1(2006)에 의해 정의된 고전압 발생장치를 이용하여 평가하는 방법을 활용하였다. 이때 실험실 온도는 5[°C], 습도는 65[%]를 유지하였다. 대상물과 자외선 코로나 카메라와의 측정거리는 5[m]로 고정하였으며, 측정치는 10회 이상 축적된 자료를 평균으로 하였다. 고전압발생장치(Hipotronics, 0~200[kV])를 이용하여 기중 절연파괴가 될 때까지 10[kV]씩 전압을 상승시키며 그 때 발생하는 자외선 이미지를 검출하였다.

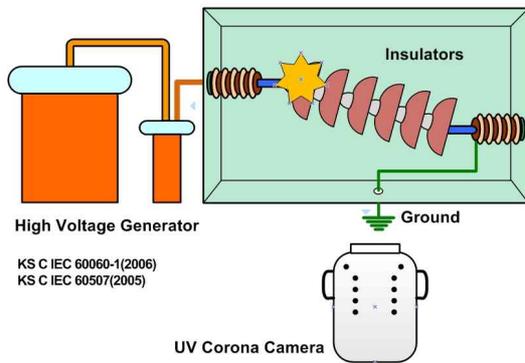


그림 4. 절연애자의 자외선 이미지 실험 개략도  
Fig. 4. Schematic of experimental for UV image on insulator

#### 4. 염수환경에서의 절연애자의 열화실험 결과

그림 5는 염수환경에 노출된 절연애자의 절연파괴 전압을 나타낸다. 정상상태에서 자기애자 1 shell의 절연파괴전압은 85[kV]였다. 염수환경에 노출된 자기애자는 25시간 뒤, 절연파괴전압이 약 60[%]인 49[kV]로 급격하게 감소되었으며, 50시간 뒤에는 약 50[%] 감소된 45[kV]로 낮아졌다.

그림 6은 정상상태에서 자기애자에 발생하는 자외

선 이미지를 나타낸다. 자기애자의 자외선 카메라와의 측정거리는 5[m]로 고정하였다. 그림에서 왼쪽은 주간영상과 자외선 영상을 결합한 사진을 나타내며, 오른쪽은 자외선 이미지만을 나타낸다. 고전압을 인가 후 절연파괴 될 때까지의 자외선 방전에 따른 자외선 검출은 약 40[kV] 근처에서 자외선 이미지가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 고전압이 증가할수록 자외선 이미지 면적이 점점 증가하는 것으로 나타났다. 자외선 이미지의 형태는 전계가 집중하는 곳을 중심으로 면적이 넓어졌으며, 고전압 증가에 따라 중앙을 중심으로 미소한 방전 이미지가 점점 늘어났다.

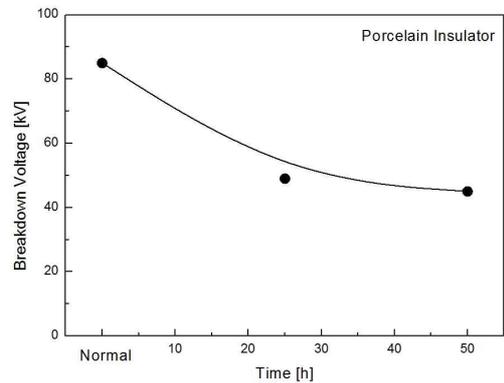
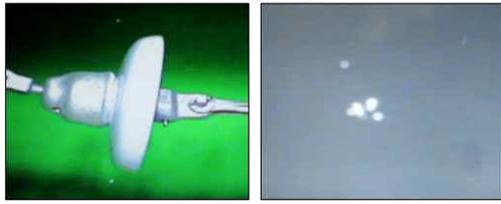


그림 5. 염수시간에 따른 자기애자의 절연파괴전압  
Fig. 5. Breakdown voltage of porcelain insulator by salt time

그림 7은 기존 카메라와 개발된 카메라에서 촬영된 이미지를 비교한 것을 나타낸다. 비교하는 대상 설비가 다르지만, 자기애자 및 폴리머애자에서 발생하는 자외선 이미지는 크게 차이가 나타나지 않았으며, 절연파괴전압의 약 35[%] 근처에서 자외선이 이미지가 발생하였다.

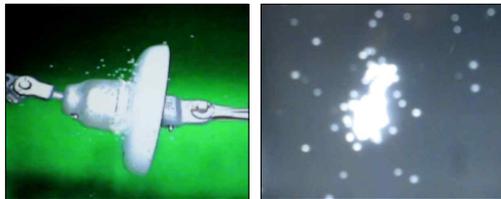
그림 7은 환경열화장치에 의해 염수를 50시간 분무하고 난 뒤 자기 애자에서 발생하는 자외선 이미지를 나타낸다. 고전압을 인가 후 절연파괴 될 때까지의 자외선 방전 이미지를 촬영하였으며, 절연파괴 전압은 약 45[kV]였다. 방전에 따른 자외선 검출은 약 10[kV] 근처에서 발생하여 이미지 형태와 면적이 점점 증가하는 것으로 나타났으며, 정상상태에서의 방전이미지와 약간의 차이를 보이는 것은 주변에 자외선 이미지



(a) 30[kV](Vm/Vbd = 35.3(%))



(b) 50[kV](Vm/Vbd = 58.8(%))



(c) 60[kV](Vm/Vbd = 70.6(%))



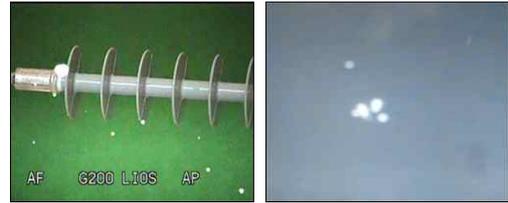
(d) 70[kV](Vm/Vbd = 82.3(%))

그림 6. 정상상태 현수애자에서의 자외선 이미지  
Fig. 6. UV image of insulator at normal state

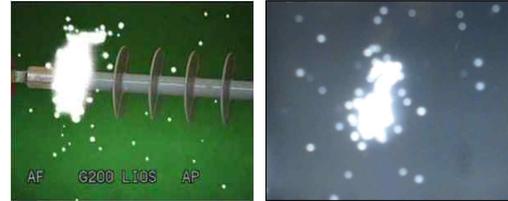
들이 넓게 퍼져있는 것을 알 수 있다. 즉 염수 등의 열화원인에 의해 절연파괴가 급속하게 진행되는 단계를 나타내는 것으로 판단된다. 또한 자기애자의 설치 형태에 따라 아래 부분에서 방전 이미지가 시작되었으며, 이는 염수 등의 오염물이 아래쪽으로 흘러내리기 때문에 방전이 먼저 시작되는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

개발한 자외선 코로나 카메라는  $6.4[^\circ] \times 4.8[^\circ]$ 로서 기존 카메라보다 약간 확대되어 넓은 범위를 진단할 수



(a) Vm/Vbd = 35.3(%)

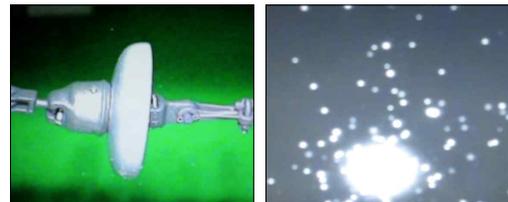


(b) Vm/Vbd = 70.6(%)

그림 7. 기존카메라와 개발 카메라의 자외선 이미지 비교  
Fig. 7. Comparison of UV image of developed UV camera and existing camera(Ofil company)



(a) 20[kV]



(b) 30[kV]



(c) 40[kV]

그림 8. 염수분무(50h) 후의 자기 애자에서의 자외선 이미지  
Fig. 8. UV image of insulator after salt water (50hour)

있으며, 전력설비와 카메라 사이의 거리를 측정할 수 있는 거리측정기가 부착되었다. 자외선 코로나 카메라를 이용하여 자외선 이미지 영상을 촬영하였으며, 절연과피 전압에 가까울수록 자외선 방전 이미지가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 염수분무에 의한 가속 열화에 의해 절연과피전압도 낮아지며, 낮은 전압에서도 자외선 이미지가 검출되는 것을 알 수 있었다. 환경열화에 의한 자외선 이미지의 변화는 큰 차이는 나타나지 않았지만, 환경열화의 이미지와 정상상태의 이미지 비교를 통해 자외선 이미지의 면적 계산과 형태를 보고 절연애자의 열화 상태를 진단할 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2011년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천 논문으로 선정된 논문임.  
본 연구는 2010년도 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. (2010T100100339)

### References

- [1] Kil-Mok Shong, Young-Seok Kim, Sun-Gu Kim, "Images Detection and Diagnosis of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9(kV) D/L", IEEE SDEMPED2007 Proc. pp.462-466, 2007.
- [2] ZANG Chunyan et al, "Research on Mechanism and Ultraviolet Imaging of Corona Discharge of Electric Device Faults, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp.690-693, 2008.
- [3] Moore, P.J. Hickery, D.L. Urbaneja, M.G.G., "Remote sensing of voltage using optical assessment of corona", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, pp. 1159-1164, 2000.
- [4] 정순원, 구경완, "전력설비의 신뢰성 향상을 위한 불량에 자검출기법의 비교", 대한전기학회, Vol. 57P, No. 4, pp. 417-423, 2008.
- [5] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, 정진수, "연면방전에 의한 폴리머애자의 자외선 발생과 열화특성", 대한전기학회, Vol.57, No. 9, pp.1606-1611, 2008.
- [6] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, "코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 애자의 자외선 발생특성", 한국조명전기설비학회, Vol. 21, No. 4, pp.147-152, 2008.
- [7] 이명준, 황병설, 김원식, "자외선을 이용한 광학장비 개발의 현황", Korea Association of Defense Industry Studies, Vol. 15, No. 1, pp.225-245, 2008.

### ◆ 저자소개 ◆



**김영석 (金榮錫)**

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



**송길목 (宋佶穆)**

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 전기안전연구원 진단기술연구부 책임연구원.  
Tel : (031)580-3061, Fax : (031)580-3111  
E-mail : natasder@kesco.or.kr



**방선배 (方善培)**

1968년 5월 18일생. 1994년 2월 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 전기안전연구원 진단기술연구부 선임연구원.  
Tel : (031)580-3062, Fax : (031)580-3111  
E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



**김종민 (金鐘旻)**

1972년 7월 18일생. 1998년 2월 전북대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 진단기술연구부 주임연구원.  
Tel : (031)580-3063, Fax : (031)580-3111  
E-mail : cmkim@kesco.or.kr



**최명일 (崔明日)**

1975년 5월 30일생. 2002년 2월 창원대학교 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 8월 광운대학교 정보통신대학원 졸업(석사) 2003년~현재 전기안전연구원 진단기술연구부 주임연구원.  
Tel : (031)580-3065, Fax : (031)580-3111  
E-mail : ken2003@kesco.or.kr