Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2014) 28(3) : 78~83
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2014.28.3.078 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)

논문 28-3-12

자외선 센서를 이용한 코로나 방전 강도에 따른 자외선 검출

(UV Detecting according to Corona Discharge Intensity using UV Sensor)

곽동순* · 김영석
(Dong-Soon Kwag · Young-Seok Kim)

Abstract

To minimize the financial loss due to power facility malfunction, on-line diagnostic techniques are required to grasp any abnormal state of facilities in the live line as well as devices to diagnose abnormal states of power facility in an easy and prompt manner. This study aims to develop a portable UV detecting system by means of UV sensors for easier and efficient inspection of the degradation state of power facility in a long distance. Accordingly, it includes a simulation of corona discharges that may occur due to degradation of power facility and detection of ultraviolet pulse generation depending on the corona discharge intensity and measuring distance in application of UV sensors. Additionally, the optimal algorithm is determined for its application to the system's degradation diagnosis program based on the measured experiment data.

Key Words : Corona Discharge, UV Detecting System, Power Equipment Diagnosis, UV Sensor

1. 서 론

전력설비 고장으로 인한 경제적 손실을 절감하기 위해서는 활선상태에서 설비의 이상여부를 사전에 파악하는 무정전 진단기법이 필요하며, 전력설비의 이상여부를 쉽고 빠르게 진단할 수 있는 장비의 보급이 필요하다[1-2]. 특히 현장에서는 열화상카메라나 열반응테이프 등과 같이 소형이면서 휴대와 점검이 간편하고 경량화된 계측기를 선호하고 있다. 또한 국내의 무정전 진단 및 검사 장비의 해외의존도는 95% 수준이며, 국산화 및 관련 기술의 연구개발이 절실한 실정이다.

자외선을 이용한 전력설비의 열화진단 방법에는 주로 자외선카메라가 이용되고 있지만, 수천만 원 이상인 고가의 광증배관을 사용하고 있어 시스템의 전체적인 가격이 비싸고 부피도 커서 휴대가 어렵다는 단점이 있다. 휴대용 UV 감지시스템의 경우 대표적으로 이스라엘에서 'Uvolle-S', 남아공에서 'CoroCAM 6D' 등의 제품을 판매하고 있지만, 여전히 고가의 광증배관 기술을 사용하고 있다.

최근에는 가격이 저렴한 단일 UV 센서를 사용하는 방법이 대두되고 있다[3]. 태양광의 자외선 파장범위는 100~400nm이고, UV-A, UV-B, UV-C 영역으로

* 주(교신)저자 : 경일대학교 소방방재학과 조교수
* Main(Corresponding) author : Assistant Professor, Dept. of Fire Safety, Kyungil University
Tel : 053-600-5403, Fax : 053-600-5419
E-mail : dskwag@kiu.ac.kr
접수일자 : 2014년 1월 27일
1차심사 : 2014년 1월 30일
심사완료 : 2014년 3월 11일

Copyright ⓒ 2014 KIIEE All right's reserved

구분된다. 그 중에서 UV-A는 오존층을 모두 통과하고 UV-B는 일부만이 통과되지만, UV-C(100~280nm)는 오존층에서 완전히 흡수되어 지구상에는 존재하지 않는다. 또한 코로나 방전 시 발생하는 자외선 파장은 230~405nm로 알려져 있으며[4], 이 중에서 UV-C 영역과 중첩되는 230~280nm의 파장대만을 검출한다면 주간에도 측정이 가능한 전력설비 열화진단 시스템 개발이 가능하다. 반면 단일 UV 센서만을 사용하기 때문에 측정거리에 따른 감도의 저하가 예상되고, 시스템의 사용 환경을 고려한 최적의 알고리즘 도출이 필요하다[5].

본 연구에서는 스펙트럼 응답이 185~260nm인 단일 UV 센서를 사용하여 원거리에서 전력설비의 열화진단이 가능한 휴대용 UV 감지시스템을 개발하고자 한다. 따라서 전력설비의 열화로 인해 발생할 수 있는 코로나 방전 현상을 모의하고, 실험을 통해 방전강도와 측정거리에 따른 자외선 검출 감도의 변화를 측정하였다. 측정된 실험데이터를 통해 본 시스템의 열화진단 프로그램에 적용하기위한 최적 알고리즘을 도출하였다.

2. 실 험

본 연구의 수행방법 및 절차를 그림 1에 나타내었다. 먼저 시스템에 적용할 UV 센서를 선정하고, 렌즈의 최적화 설계를 통한 프로토타입 UV 감지시스템을 개발하였다. 코로나 방전을 모의하기 위한 침대 평판 전극을 제작하고, 이를 이용하여 방전강도, 측정거리, 전극간격의 변화에 따른 자외선 검출강도를 측정하여 DB화하였다. 실험결과를 바탕으로 UV 감지시스템의 열화진단 프로그램에 적용하기 위한 최적의 알고리즘 및 진단 환경을 도출하였다.

2.1 프로토타입 UV 감지시스템 개발

그림 2는 UV 센서를 이용한 UV 감지시스템의 구성을 보여주고 있다. 측정거리가 멀어질수록 현저히 줄어드는 자외선 광량을 집광시키기 위하여 광학렌즈를 사용하였으며, 초점거리는 200mm, 렌즈의 직경은 100mm, 화각은 10°로 집광 비구면 렌즈의 최적화를 실시하였다. 렌즈를 통해 들어온 빛은 UV 센서를 통해 검출되며, DAQ에서는 출력되는 펄스 신호 중 문턱

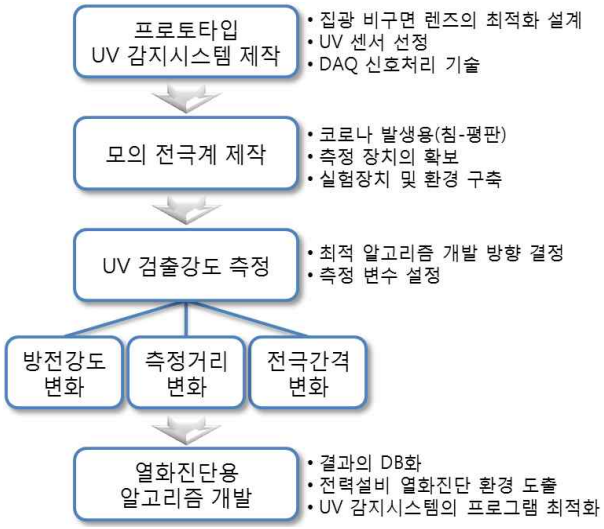
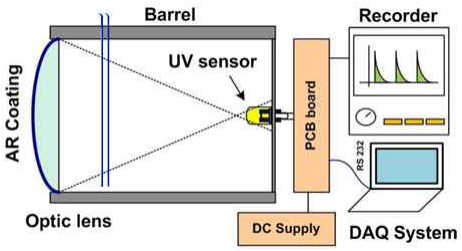
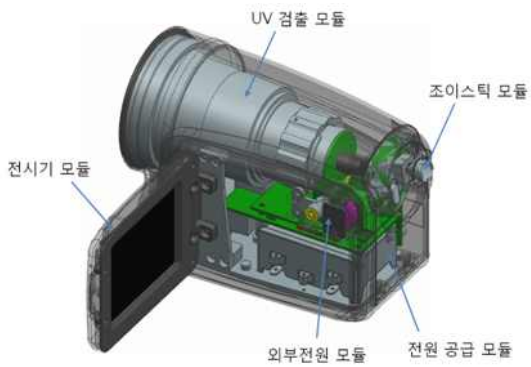


그림 1. 연구의 수행방법 및 절차
Fig. 1. Experimental method and procedure



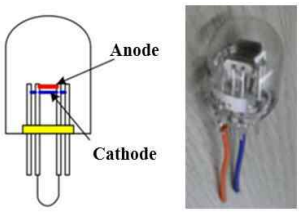
(a) Schematic



(b) Prototype

그림 2. 프로토타입 UV 감지시스템
Fig. 2. UV detecting system of prototype

전압 5V를 초과하는 펄스의 개수를 산정하여 나타낸다. 본 실험에 사용된 UV 센서는 방전전극의 광전효과와 가스증폭 기술을 이용한 센서이며, 그림 3에 UV 센서의 기초특성을 보여준다.



Type No.	R9533
Spectral response(nm)	185 to 260/A
Supply voltage(V)	Above 400
Ambient temperature(℃)	-20 to +120
Diameter / Length(mm)	13.5 / 34

그림 3. UV 센서의 기초 특성
Fig. 3. Basic properties of UV sensor

2.2 코로나 방전용 모의 전극계 제작

코로나 방전강도에 따른 자외선 검출을 위해 사용된 전극계의 구성을 그림 4에 보여준다. 코로나 방전이 쉽게 발생할 수 있도록 침대 평판 전극으로 구성하였으며, 전극 재질은 스테인리스강(SUS304)을 사용하였다. 전극계 지지를 위하여 기계적 강도와 내열특성이 우수한 FRP(fiber reinforced plastic)를 전극홀더로 사용하였다. 전극과 전극홀더의 나사를 조정하여 전극간격을 1~120mm까지 정밀하게 조정할 수 있다.

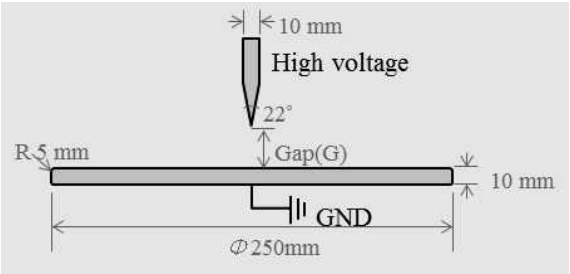
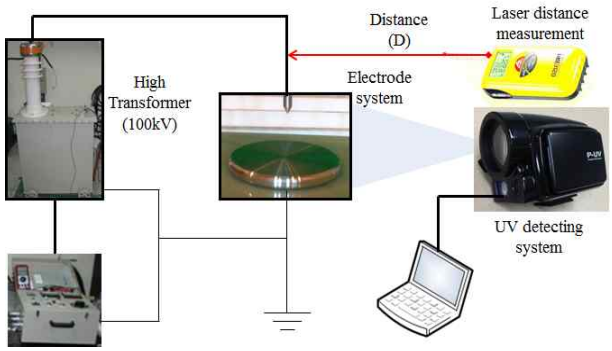


그림 4. 코로나 방전용 침대 평판 전극계
Fig. 4. Needle to plane electrode system for corona discharge

2.3 실험방법



(a) Schematic diagram

(b) Scene of experiment

그림 5. 실험장치의 구성
Fig. 5. Experimental setup

그림 5는 코로나 방전강도에 따라 발생하는 자외선 펄스를 검출하기 위한 실험장치의 개략도와 실험장면을 보여준다. 교류내전압시험기를 사용하여 침대 평판으로 구성된 전극에 고전압을 인가하면서 이때 발생하는 자외선 펄스의 수를 UV 센서를 이용하여 측정하였다. 전극간격(G)은 10~100mm 사이에서 10mm 간격으로 조정되었으며, UV 감지시스템과 전극 사이의 측정거리(D)는 1~20m 사이에서 1m 간격으로 조정되었다. 모든 실험은 상온의 공기 중에서 이루어졌다. 고전압 인가를 위해 최대전압 100kV인 60Hz 교류

내전압시험기를 사용하였으며, 초당 1kV의 속도로 전압을 상승시켰다. 우선 각각의 전극간격에 따른 절연파괴 전압을 측정하여 기록한 후, 이들 절연파괴 전압값의 10% 간격으로 전압을 상승시키면서 그때의 UV 펄스를 검출하여 기록하였다.

3. 결과 및 토의

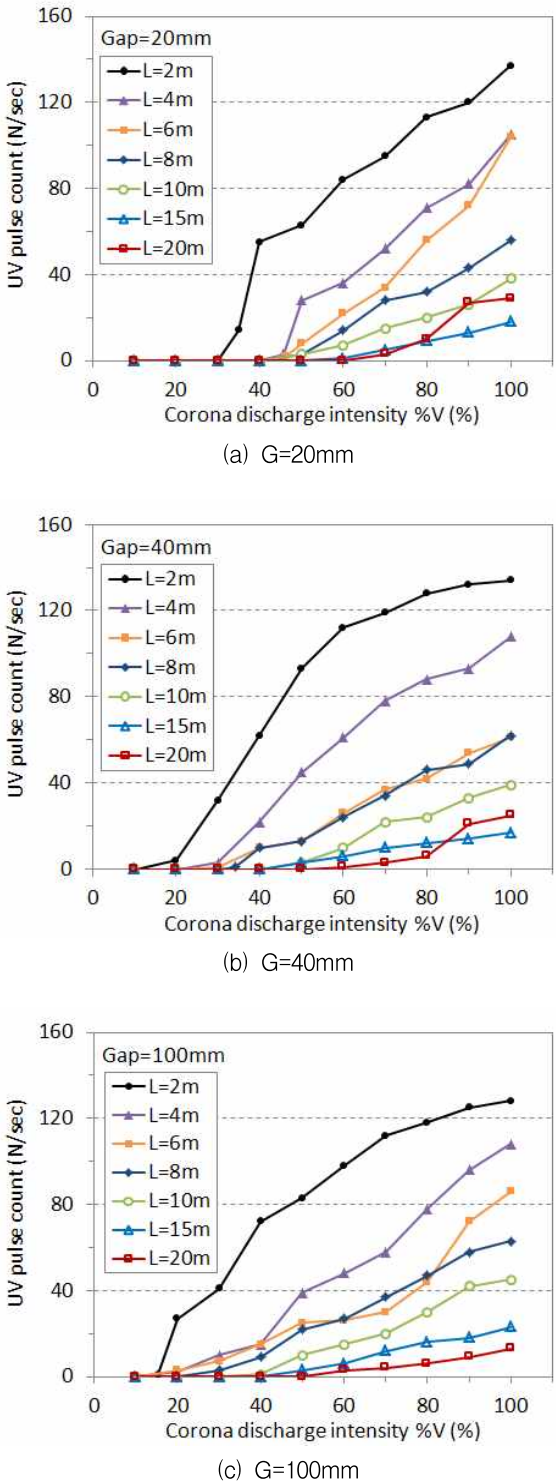
본 실험을 통해 측정된 각각의 전극간격에 따른 절연파괴 전압 값을 퍼센트 코로나 방전강도(%V) 100%로 설정하였다. 본 논문에서 사용된 퍼센트 코로나 방전강도는 식 1에 의해 정의되며, 각 전극간격별 절연파괴 전압에 대한 인가전압의 비율로 결정된다. 일반적으로 공기의 절연파괴 전압은 1cm당 30kV 내외로 알려져 있지만, 본 실험에서는 코로나를 인위적으로 발생시키기 위해 불평등 전계의 침대 평판 전극을 사용하였기 때문에 절연파괴 전압은 일반적인 경우보다 낮다고 할 수 있다.

$$\%V = \frac{V_m}{V_{BD}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서 $\%V$는 퍼센트 코로나 방전강도, V_m은 인가전압, V_{BD}는 절연파괴전압을 나타낸다.

그림 6은 퍼센트 코로나 방전강도에 따른 초당 UV 펄스의 수를 측정하여 나타내었다. 전극 간격 10~100mm에 대해 측정거리를 2~20m 사이로 변화시키면서 UV 펄스를 카운트하였으며, 본 논문에서는 전극간격 20, 40, 100mm인 경우의 결과를 제시하였다. 전극간격에 상관없이 %V가 증가함에 따라 UV 펄스의 수는 현저히 증가하고 있음을 보여주고 있으며, %V가 30~40% 수준에서는 전 영역에서 UV 펄스가 검출되고 있다. 한편 전극간격이 커질수록 상대적으로 낮은 %V(10~20%)에서 UV 펄스가 측정되기 시작하지만, 기울기는 전극간격이 좁은 경우에 비해 완만한 증가를 보이고 있다.

또한 측정거리가 멀어질수록 측정되는 UV 펄스는 현저히 감소함을 확인할 수 있으며, 이는 빛의 세기가 거리에 제곱에 반비례($L = k(1/d^2)$)하기 때문인 것



(a) G=20mm

(b) G=40mm

(c) G=100mm

그림 6. 전극 간격에 따른 초당 자외선 펄스의 수
Fig. 6. UV pulse count per second according to the electrode gap(G)

으로 판단된다. 측정거리에 따른 UV 펄스 수의 변화를 살펴보면 4m 이하에서는 UV 펄스 수의 증가가 현저히 나타나며, 6~10m에서는 완만한 반면, 15m 이상에서는 감지할 수는 있으나 그 변화가 뚜렷하지 않다. 따라서 본 UV 감지시스템의 운용거리는 10m 이내가 적절할 것으로 판단된다. 한편 전극간격이 큰 100mm의 경우에는 %V가 15~60% 사이에서 UV 펄스의 검출이 시작되었고, 전극간격이 좁은 20mm에서는 37~60% 사이에서 UV 펄스의 검출이 시작하였다. 이는 UV 펄스의 발생이 %V 뿐만 아니라 인가전압의 크기에도 관계가 있음을 유추할 수 있으며, 전극간격이 커서 인가전압이 높을 경우에는 발생하는 빛의 에너지도 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 뚜렷하지는 않지만 측정거리가 멀어질수록 높은 %V에서 UV 펄스의 검출이 시작됨을 확인할 수 있었다.

그림 7은 전극간격 100mm인 경우의 측정거리에 따른 UV 펄스의 수를 일례로 분석하여 나타내었다. 분석 결과에 의하면 UV 펄스의 수(UVC)는 측정거리(D)에 대한 4차 함수의 실험식으로 유도되었다[6]. %V가 40, 60, 80%인 경우의 예를 식 (2)~(4)에 나타내었다. 향후 본 분석결과를 UV 감지시스템의 알고리즘에 적용하고자 한다.

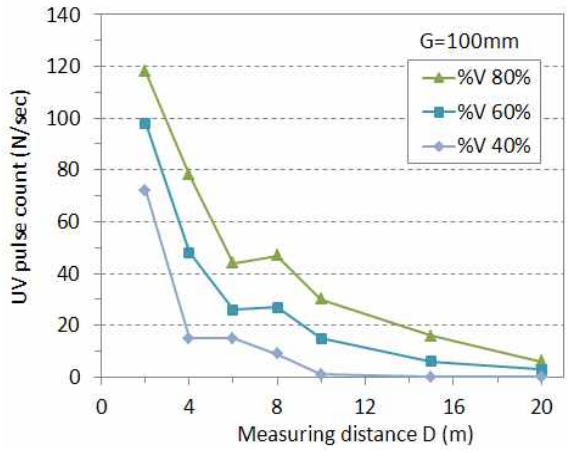


그림 7. 측정 거리에 따른 %V별 UV 펄스의 수
Fig. 7. UV pulse count according to the measuring distance by various percent corona discharge intensity

$$UVC_{40\%} = 0.0106\,D^4 - 0.5138\,D^3 + 8.7077\,D^2 - 61.813\,D + 162.04 \quad (2)$$

$$UVC_{60\%} = 0.0095\,D^4 - 0.4658\,D^3 + 8.0682\,D^2 - 60.746\,D + 190.29 \quad (3)$$

$$UVC_{80\%} = 0.0062\,D^4 - 0.3135\,D^3 + 5.7437\,D^2 - 48.473\,D + 195.02 \quad (4)$$

4. 결 론

본 연구는 휴대용 UV 감지시스템을 활용한 전력설비 열화상태 진단을 위한 알고리즘을 개발하기 위한 연구로서, 전력설비의 열화로 인해 발생할 수 있는 코로나 방전현상을 모의하고 UV 센서를 이용하여 코로나 방전강도에 따른 자외선 펄스의 검출 특성을 조사하였다.

%V의 증가에 따라 검출되는 UV 펄스의 수는 급격히 증가하였으며, %V 30~40% 수준에서 전 영역의 UV 펄스가 검출되기 시작하였다. 전극간격이 커질수록 상대적으로 낮은 %V에서 UV 펄스가 검출되기 시작하는 반면, 기울기는 완만해지는 특성을 보였다. 한편 측정거리가 증가할수록 검출되는 UV 펄스의 수는 현저히 감소하는 특성을 보였으며, 이는 빛의 세기가 측정거리의 제곱에 반비례하기 때문인 것으로 판단된다. 실험결과를 근거로 UV 센서를 이용한 휴대용 UV 감지시스템의 운용거리는 10m 이내가 적합할 것으로 판단되며, 본 시스템의 유효 운영거리 내에서 열화진단 프로그램에 적용하기 위한 측정거리와 UV 펄스의 수에 대한 4차 함수의 실험식을 유도하여 제시하였다.

본 연구를 통해 단일 UV 센서를 이용한 전력설비의 열화진단은 측정거리 면에서의 기술적 한계는 존재하고 있으나, 유효거리 내에서는 기존 고가의 제품을 대체하기에 충분한 감도와 성능을 보여주었다. 향후 지속적인 연구를 통해 실험 및 측정 과정에서 발생한 오차를 최소화하고, 다양한 실험조건과 현장에서의 검증을 통해 진단기술에 필요한 알고리즘을 정립해 나가야 할 것이며, 저가의 진단기기 보급 확산을 통해 전력

설비의 관리 효율 증대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] T. Oda and Y. Ito, “Studies on electrostatic surface discharges on corona-charged polymer surfaces”, IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 26, No. 4, pp. 656-661, 1990.

[2] P. Blackmore and D. Birtwhistle, “Surface discharges on polymeric insulator shed surfaces”, IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 2, pp. 210-217, 1997.

[3] A. R. Pauchard, D. Manic, A. Flanagan, P. A. Besse and R. S. Popovic, “A method for spark rejection in ultraviolet flame detectors”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 47, No. 1, pp. 168-174, 2000.

[4] 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. 26, No. 3, pp. 1579-1584, 2011.

[5] Z. Wenjun, L. Han, Y. Xiao, T. Jun and Y. Jianhui, “A criterion for UV detection of AC corona inception in a rod-plane air gap”, IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, No. 1, pp. 232-237, 2011.

[6] Young-Seok Kim, Chong-Min Kim, Myeong-Il Choi, Sun-Bae Bang, Kil-Mok Shong and Dong-Soon Kwag, “A Study of Electrical and Optical Method of Safety Standards for diagnosis of Power Facility using UV-IR Camera”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 27, No. 4, pp. 54-61, 2013.

◇ 저자소개 ◇

곽동순(郭東洵)
1975년 9월 8일생. 2002년 2월 경상대학교 전기전자공학부 졸업. 2004년 2월 동 대학원 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

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