

22.9kV 애자의 코로나 방전에 따른 자외선 거동과 검출이미지 형태 분석

(An Analysis on UV Behavior and Shape of Detection Images Due to Corona Discharge of Insulators at 22.9kV)

송길목* · 김영석*

(Kil-Mok Shong · Young-Seok Kim)

Abstract

In this paper, there analyzed the UV behavior and detection images due to corona discharge of insulators at 22.9kV. As the results, the shapes of UV detection images are jellyfish, sunflower, and amoeba type. Generally, the jellyfish and sunflower type appeared in air discharge. In surface discharge, Amoeba is generated. Also, there are classified 8 patterns such as sunflower A or B, jellyfish A or B, amoeba A, B, C, D. This method of the facilities assessment has an immediate effect in the field.

1. 서 론

전력설비진단은 초기 고장 검출을 통해 설비의 신뢰성 확보는 물론, 효율적 유지보수의 중요한 역할을 담당한다. 이미 오래 전부터 전력설비의 이상상태를 진단하고자 하는 많은 노력이 있었다. 특히, 고전압 설비에서 이상이 발생하였을 때 나타나는 부분방전을 효과적으로 검출하고 진단하는 기술이 발전하였다. 고전압 설비의 부분방전에 의해서는 전자파 신호에서부터 초음파, 진동, 광, 가스 분해 등 다양한 형태의 신호가 발생한다. 과거에는 사후 보수 수준의 관리가 이루어졌으나 최근에는 전력설비의 상태를 모니터링과 진단하는 기술로 발전되고 있다. 최근 들어 국내 전력설비에 관심을 가지고 있는 분야는 과거에 설치되었던 전력설비의 활용 극대화에 있다. 따라서 노후 전력기기의 수명예측을 통해 재활용 하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 2001년도 일본 도쿄전력의 자료에 의하면, 전력기기 예비율은 약 20%에 이르며, 노후기기의 재활용 가능성도 약 40%에 이르는 것으로 나타났다. 이에 따라 전력설비의 고장 또는 사고예방과 전기안전 확보를 위해 체계적이고 과학적인 접근이 요구되고 있다. 국내에 분포되어 있는 전력설비는 2000년대를 기점으로 약 23조원이 넘어섰으며, 노후전력기기에 대한 유지보수 비용이 크게 증가할 것으로 예측된다[1][2].

국내에 분포되어 있는 22.9kV급 전력설비는 고전압 설비 중 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 전력설비 충전부의 절연지지물로서 애자는 전기에너지의 흐름을 외부로 유입되지 않도록 방지하는 중요한 역할을 담당한다. 애자의 역할에 대한 중요성에 입각하여 국내외적으로는 많은 연구와 개발이 이루어지고 있다. 국내 산업규격 중에 KS

C IEC 60507(2005)에서 명시되어 있듯이 교류시스템에서 사용되는 고압애자의 다양한 조건에서의 인공오염 시험 및 평가방법 등을 제시하고 있다. 한국전력의 ESB 131 (애자시험방법)이나 ANSI C29.1(Electrical Power Insulators - Test Methods)에서 절연지지물의 평가에 대한 시험법 등이 소개되고 있다. 한국전기안전공사 (KESCO)의 2007년도 전기재해통계분석 자료에 의하면, 순수 지지물/애자류에 대한 설비사고 점유율은 약 2.6%에 이르나 전력설비의 대다수가 애자를 포함하고 있어서 이에 대한 사고 점유율을 본다면, 개폐기류, 변압기, 피뢰기 등 중전기기의 대다수 사고에 있어서 애자류에서 발생하는 연면 또는 기중방전에 의한 사고 점유율은 약 50%가 넘을 것으로 추정되고 있다. 전기설비 사고원인별 분류에 있어서도 절연불량, 열해, 분진, 빙설, 뇌, 이물질 접촉, 부식, 자연열화 등이 지지물을 열화시키는 주요원인으로 속한다. 고장 또는 사고파급에 의한 손실을 전력설비를 수리하거나 교체하는 비용 이외에 정전으로 인한 막대한 경제적 손실을 발생시킨다. 따라서 사고파급을 줄이는 것은 매우 중요하다[3][4].

2. 자외선 검출 이미지 판별

2.1. 노출충전부의 방전경로

자외선 검출 카메라를 이용하여 현장에서 사용이 가능하도록 분석기술을 정리하였으며, 자외선 검출 카메라의 특성상 노출충전부를 대상으로 한다. 노출충전부에서 발생할 수 있는 고장 또는 사고원인을 다양하며, 발생경로와 사고파급에 있어서도 다양한 경향을 보인다. 옥외 시설물의 경우 환경적 영향을 받아 절연이 열화 되는 경우에는

누설전류에 의해 발생할 수 있는 연면방전이 있을 수 있다. 접속부의 접촉 불량에 의해 접촉지점 간 접촉저항이 발생하고 이에 따라 접촉저항 사이에서 전위차에 의한 줄열발생, 아크 등이 나타날 수 있다. 애자의 경우 상과 대지 사이에서 연면방전이나 주변 환경에 의한 기중방전이 발생할 수 있다.

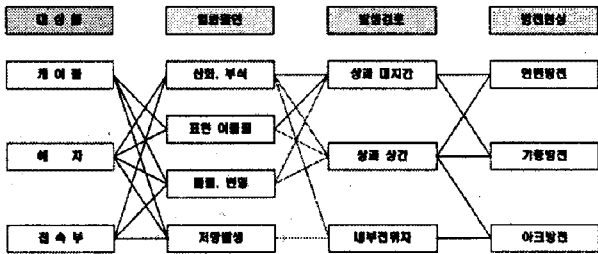


그림 1. 대상물의 열화경로와 방전종류

그림에서 알 수 있듯이 대상물의 노출충전부에서 발생할 수 있는 방전의 종류는 연면방전, 기중방전, 아크방전이 있다. 아크방전의 경우에서도 대부분은 기중에서 발생된다. 따라서 자외선 검출 이미지에 있어서 보이드 방전, 내부 이물질에 의한 방전, 유중에서의 방전 등은 고려하지 않았다. 다수의 실험과 현장에서 계측된 자료를 활용하여 형태를 검증하였으며[5], 기중방전과 연면방전에서 발생할 수 있는 자외선 형상은 많지 않은 것으로 확인되었다.

2.2. 자외선 검출이미지 형태 분석

자외선 검출 카메라는 고전압설비의 연면 또는 기중에서 발생하는 코로나방전 중 280nm이하의 원자외선만을 효과적으로 검출하여 외부 노이즈를 줄일 수 있으며, 사고 지점을 확인할 수 있다는 장점도 가진다. 자외선 검출이미지만으로는 그 열화정도를 파악하기 어렵고 발생개소를 구분하는 데는 매우 용이한 것으로 확인되었다. 검출된 자외선 이미지만으로 쉽게 구분이 가능한 부분은 기 실험과 검증을 통해 정리하였다. 표 1은 자외선 검출 이미지의 형태에 따른 판별을 구분하여 정리한 것이다.

썬플라워(sunflower)형은 둥근 원형의 것으로 크기에 따라 절연파괴가 임박한 것으로 나타났으며, 기중에서 많이 발생하는 코로나방전인 것으로 판단된다. 젤리피쉬(jellyfish)형은 고전계 집중이 된 경우이면서 방향성을 가지고 진행되는 것으로 대체적으로 폴리머애자의 전원측 부분에서 나타났다. 아메바(amoeba)형은 절연물의 표면에서 발생하는 형태로 무정형이기는 하나 대부분 시작점과 끝점이 이어져 타원의 형태를 가지고 있는 것이 특징이다. 옥외에 설치된 설비인 경우 초기에는 세정으로 열화의 진행을 방지할 수 있다. 그러나 열화가 지속적으로 진행이 되면, 썬플라워형으로 바뀌는 특징을 가지고 있다.

표 1. 형태의 대분류와 특징

구분	형태	설비상태, 특성	촬영이미지
sunflower		<ul style="list-style-type: none"> 직경의 크기가 10% 범위내 절연물 한 지점에서 발생 방전초기의 현상 기중 또는 연면방전 	
		<ul style="list-style-type: none"> 고전계집중 절연파괴 임박 기중방전 	
jellyfish		<ul style="list-style-type: none"> 고전계집중 전계의 방향성(좌→우) 기중방전 	
		<ul style="list-style-type: none"> 방전정도 확인 가능 기중방전 	
amoeba		<ul style="list-style-type: none"> 절연물 표면 열화 진행단계에 따라 크기 변화 대부분 타원을 갖는 무정형 연면방전 	
		<ul style="list-style-type: none"> 다수가 발생하는 형태 가장 큰 면적으로 평가 근접한 경우에는 2개의 지점을 합산하여 평가 	
		<ul style="list-style-type: none"> 전계가 집중된 지점이 모여 있는 상태 기중방전 	
		<ul style="list-style-type: none"> 자외선 발생지점이 점침 연면에서 시작하여 기중방전으로 전이 	

방전의 진행에 따른 형태변화를 도식화하여 현장에서 판정하는데 도움이 될 수 있도록 구성하였다. 연면 또는 기중에서의 코로나 방전과 절연파괴로 이어지는 과정에서 자외선 검출 이미지의 변화는 시간의 차이는 있으나 진행 과정에 따른 패턴의 변화가 존재하고 있음을 확인하였다.

2.3. 코로나 방전에 따른 자외선 거동

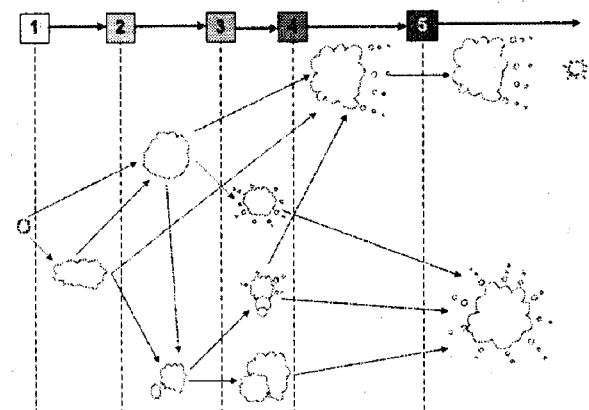


그림 2. 자외선 이미지의 성장과정

방전초기에는 자외선 이미지가 조그만 원 형태로 확인된다. 이는 간헐적인 형태가 아니라 지속적으로 한 지점에서 발생하는 것을 볼 수 있다. 자외선 이미지의 면적이 커지면서 기중방전의 형태인 섀플라워형과 연면방전에서 발생하는 아메바형으로 구분하여 성장한다. 아메바형은 대체적으로 초기에는 타원형태를 유지하는 것으로 판단된다. 이때 설비의 열화상태가 표면열화에 의한 것인지 이물질의 부착이나 탄화, 부식, 패임 등에 의한 스팟형태인지 추정할 수 있다. 2단계에서 3단계로 진행될 때, 연면방전에서 기중방전으로 발전되는 경우와 다수의 연면방전이 나타나는 경우로 구분할 수 있다. 기중방전으로 발전될 때의 형태는 크게 2가지로 구분되며, 섀플라워형이 커지는 형태 또는 켈리피쉬형으로 진전되는 경우를 확인할 수 있다. 켈리피쉬형으로 진전된 경우에는 절연과피에 압박하고 있음을 보여주는 것이다. 섀플라워형인 경우에는 켈리피쉬형이나 진전된 섀플라워형으로 발전하며, 주변에 다수의 아메바 또는 섀플라워형이 나타날 수 있다. 주변에 다수의 자외선 검출이미지가 나타난 경우에는 다음단계에서 겹치는 형태로 진전하게 되는 데 다수가 하나의 형태로 되는 경우와 이미지가 커지면서 극간이 하나의 자외선으로 되는 경우로 진전된다. 섀플라워형인 경우에는 주변이 작은 자외선 검출이미지가 발생하는 경우가 나타나거나 켈리피쉬형 또는 겹치는 경우를 확인할 수 있다. 겹치면서 자외선 검출이미지가 성장한 경우에는 대체적으로 섀플라워형으로 주변에 고전계에 의한 이미지 가장자리에서 작은 스팟들이 형성된 것을 확인할 수 있으며, 절연과피에 압박한 상태임을 보여준다. 일부 자외선 이미지가 겹쳐서 성장한 것들 중에는 켈리피쉬형으로 발전되는 경우가 있으며, 켈리피쉬형인 경우에는 발생하는 극의 반대편에서 자외선 검출이미지가 발생하는 것으로 나타났다.

표 2. 자외선 이미지형태의 단계별 판단과 조치사항

단계	구분	조치사항
①	방전구분	인지, 관리의 방향 (청소, 지속적 관리 등)
②	성장단계	지속적 일상점검 필요
③	관리단계	정전계획 수립 후 정밀검사
④	즉시교체	열화에 의한 위험상태
⑤	즉시교체	매우 위험한 상태

각 단계가 진행되는 과정에서 판정을 한다면, ①단계가 넘어서는 경우에는 설비의 열화상태가 연면에서 시작되는 지 한 지점의 탄화, 이물질 등에 의한 전계집중인지를 추정하는 확인단계이며, ②단계가 넘어서면, 초기단계에서 열화가 가속화되기 위해 변형하는 초기단계인 것으로 판단된다. ③단계가 넘어서면, 설비의 이상상태가 가속화된 상태로 정밀검사를 위해 정전해서 확인해야 하는 시기이다. ④단계 또는 ⑤단계에서는 즉시 교체가 요구되는 상태로 판단된다. 외형적인 판단만으로는 설비를 객관적으로 확인하는 데 무리가 있으나 시급한 상황에서는 참고자료로서 매우 유용할 것으로 판단된다.

2.4. 현장에서 검출이미지 분석

국내에 분포된 전기설비 중 옥외에 설치된 경우 각각의 설비에서 발생하는 자외선을 촬영한 이미지를 보면 그림 3과 같다.

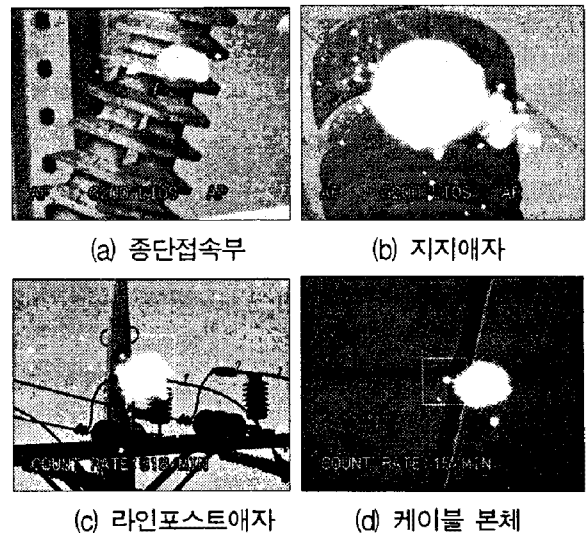


그림 3. 자외선 카메라를 이용한 현장실측

그림 3(a)는 케이블 중단접속부에서 발생한 것으로 갓 표면이 외부의 먼지 또는 열화되어 자외선이 검출되었다. 그림 3(b)는 지지애자로 옥외에 설치된 폐쇄분전반 내부의 동대(busbar)를 지지하는 역할을 한다. 지지애자의 상부에서 외부 환경에 의해 열화된 것으로 추정되는 탈색이 확인되었으며, 자외선이 검출되었다. 그림 3(c)는 전주위의 케이블을 지지하는 라이포스트애자와 케이블에서 발생한 자외선을 검출한 것이다. 그림 3(d)는 케이블 본체에서 발생한 자외선으로 소선이 끊긴 부분에서 전계가 집중되어 코로나방전이 되면서 자외선이 발생한 것으로 추정된다. 현장에서 실측한 내용을 전압크기와 자외선 검출지점의 코로나 방전위치, 코로나 특성과 원인추정을 정리하였다.

표 2. 전압크기에 따른 자외선 검출과 특성

전압, kV	방전발생	특 성
22.9	애자, 애관	표면열화, 균열, 탄화
	케이블	케이블 손상, 접속부 불량
154	애자	불량애자, 접속부, 표면열화
	케이블	소선절단, 접속부 불량

전압크기에 있어서 22.9kV의 경우 자외선이 검출된 대상물은 애자 또는 애관, 케이블로 구분되었으며, 연면방전이나 전식, 탄화 등에 의해 절연이 저하된 부분에서 발생한 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문은 현장에서 자외선 검출 카메라를 이용하여 판단하는 방법을 마련하기 위하여 외부의 변화요인을 최소화하고 적정범위의 설정과 이를 통해 판단하는 기법을 정리하는 데 있다. 따라서 자기애자에서 발생한 자외선을 이용한 열화 판단법의 실험적 적용을 수행하였으며, 우선적으로 판단기준에 대한 개략적 내용을 정의하고 이를 토대로 전기설비에 대해 각각의 조건에서 실험하고 정의하였다. 자외선 검출이미지 형태로 구분이 가능한 것은 그리 많지 않다. 전력설비가 설치된 현장에서는 안전관리자가 촬영 즉시 판단하기를 원하기 때문에 신뢰성이 높은 부분을 선정하여 본 연구에서는 3개항의 대분류와 8개항의 세분류를 통해 방전메커니즘 및 형태변화를 정리하였다. 이는 현장에서 매우 효과적으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, “코로나 방전에 의한 자기 및 폴리머 애자의 자외선 발생 특성”, KIEE Vol. 22, No. 4, 2008
- [2] 송길목, 김영석, 김종서, 정진수, “폴리머애자의 내전압 특성에 따른 부분방전 측정과 자외선 특성”, KIEE autumn conf., 2008
- [3] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, 정진수, “연면방전에 의한 폴리머애자의 자외선 발생과 열화특성”, Trans. KIEE. Vol. 57, No. 9, 2008
- [4] EPRI, “Guide to Corona and Arcing Inspection of Substations”, 2002
- [5] MA Bin, ZHOU Wenjun, WANG Tao, DING Yigong, “Study on Discharge Test under the Power Frequency Voltage of the Severe Non-uniform Electric Field Based on the UV-light Imaging Technology”, CEEM'2006/Dalian, pp.253~259, 2006