

22.9[kV]급 애자의 표면오염에 의한 자외선 영상과 열화판정

(The UV Images and Aging Judgement with Behaviors Caused by Surface Contamination on 22.9[kV] Class Insulators)

송길목* · 김영석

(Kil-Mok Shong · Young-Seok Kim)

요 약

본 연구에서는 22.9[kV] 애자의 표면오염에 의한 자외선 영상과 거동을 통해 자외선 이미지 형태 판단법을 정의하였다. 코로나 방전에 의해 나타나는 자외선 영상은 아메바, 젤리피쉬, 썬플라워 형태 등 3가지로 나누어지며, 세부적으로는 8개의 진행 메커니즘으로 구분하였다. 전력설비가 설치된 현장에서는 즉각적으로 이 판단 방법으로 전력 설비의 열화된 부분을 찾을 수 있다. 이는 신뢰성 있는 데이터를 통해 전력설비의 열화를 판단하는 기준에 활용이 가능하다. 향후 현장진단에 적합한 기술로서의 연구가 활용될 것이다.

Abstract

In this paper, the ultraviolet rays images and aging judgement caused by surface contamination on 22.9[kV] class insulators was defined. UV images represented by the corona discharge are divided 3 types such as sunflower, jellyfish, amoeba and in detail, there are classified the progress mechanism of eight. In the field which is installed the power facilities, immediately, this judgement method can be found out the deteriorated parts of the power facilities. 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 : Ultraviolet Light, UV Images, Behavior, Corona Discharge, Sunflower, Jellyfish, Amoeba

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 호

* 주저자 : 전기안전연구원 진단기술연구부
Tel : 031-580-3061, Fax : 031-580-3070
E-mail : natasder@kesco.or.kr
접수일자 : 2009년 11월 16일
1차심사 : 2009년 11월 18일
심사완료 : 2009년 11월 30일

과적으로 검출하고 진단하는 기술이 발전하였다. 고전압 설비에 부분방전이 발생하면 전자파 신호에서부터 초음파, 진동, 광, 가스분해 등 다양한 형태의 신호가 발생한다. 과거에는 사후 보수 수준의 관리가 이루어졌으나 최근에는 전력설비의 상태를 모니터링과 진단하는 기술로 발전되고 있다[1-2]. 최근 들어 국내 전력설비에 관심을 가지고 있는 분야는 과거에 설치되었던 전력설비의 활용 극대화에 있다. 따라서 노후 전력기기의 수명예측을 통해 재활용하고자 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[3-4].

국내에 분포되어 있는 22.9[kV]급 전력설비는 고전압 설비 중 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 전력설비 충전부의 절연지지물로서 애자는 전기에너지의 흐름을 외부로 유출되지 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 전기재해통계분석 자료[5]에 의하면, 순수 지지물/애자류에 대한 설비 사고 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. 또한, 애자는 외부에 노출되어 있는 상태에서 사용되므로 환경요인에 의해 열화되기 쉬우

며, 고장 또는 사고과급에 의한 손실을 억제하기 위해서는 적절한 설비진단이 필요하다. 자외선 카메라는 활선상태에서 설비진단이 가능하며, 향후 활용성이 높아질 것으로 예상된다.

본 논문에서는 애자의 열화과정에서 발생하는 자외선을 영상으로 받아 거동특성과 형태를 구분하여 열화상태를 분석하고자 하였다.

2. 전기설비 노출충전부의 방전경로

자외선 발생예측 시뮬레이션은 자외선 카메라를 이용하는 경우 코로나에 의한 자외선 발생지점의 정확한 위치를 판별하는데 있어서 시뮬레이션을 통해 검증한 비교 자료이다. 대상물은 현장에서 가장 많은 분포를 가지고 있는 자기애자와 폴리머애자를 대상으로 하여 내전압 시험조건에서의 절연과괴 될 때를 $100(V_m/V_{bd} \times 100)$ [6-7]으로 하여 자외선 발생과 거동을 분석하였다. 또한, 자외선 검출 카메라를 이용하여 카메라의 특성상 노출충전부를 대상으로 하여 현장에서 사용이 가능하도록 분석기술을 정리하였다. 노출충전부에서 발생할 수 있는 고장 또는 사고원인은 다양하며, 발생경로와 사고과급에 있어서도 다양한 경향을 보인다. 옥외 시설물의 경우 환경적 영향을 받아 절연이 열화되는 경우에는 누설전류에 의해 발생할 수 있는 연면방전이 있을 수 있다. 접촉부의 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 1에서 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[8], 기중방전과 연면방전에서 발생할 수 있는 자외선 형상은 많지 않은 것으로 확인되었다.

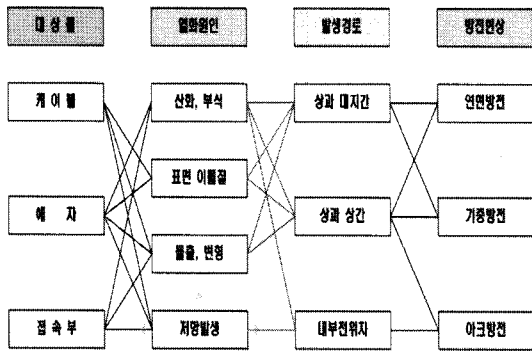


그림 1. 열화 원인과 방전분류
Fig. 1. The Causes of deterioration and the classifications of discharge

3. 자기애자의 자외선 발생 시뮬레이션

배전용 자기애자의 정전계 해석을 위해 사용된 프로그램은 CST 2006B, CST EM studio “Electrostatic solver”에 의하였다. 시뮬레이션 모델은 배전용 볼소켓형 자기애자를 선택하였으며, 그림 2는 애자의 크기와 형태를 나타낸 것이다.

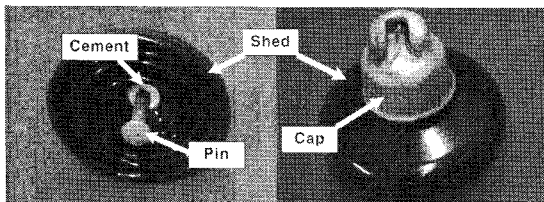


그림 2. 배전용 볼소켓형 애자
Fig. 2. The ball-socket type insulator for distribution equipment

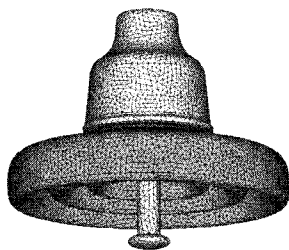


그림 3. 4면체형 시뮬레이션 모델의 설정
Fig. 3. The setup of the tetrahedron type simulation model

애자의 구성은 상부의 캡, 절연물, 하부의 핀으로 구성된다. 애자는 갓(shed) 부분의 주름으로 그 연면거리를 유지하며, 상부의 캡과 하부의 핀을 고정하기 위해 접합제로서 시멘트를 이용한다. 실험대상물은 191[mm] 볼소켓형 애자를 이용하였다. 이때 설계된 시뮬레이션모델은 그림 3과 같다.

전계해석에 필요한 기본적인 해석조건에 있어서 전극과 애자의 물성은 캡과 핀은 동일 재료로서 PEC(완전도체)로 설정하였으며, 애자부분은 세라믹으로 비유전율(ϵ)은 6.5로 하였다. 접착재료로서의 포틀랜드 시멘트는 비유전율(ϵ)이 2.5로 하여 설정되었다. 인가 전압은 하부의 핀 측을 20[kV]로 하였으며, 상부의 캡 측에 0[V]로 할당하였다. 표면을 분할하는 메시타입은 4면체형으로 설정하여 경계면을 설정하였다. 또한, 표면의 오염상태를 각각 모의하였다. 수막 또는 염수막에 대한 전계해석을 통해 전계가 집중되어 코로나가 발생하는 부분을 모의하여 자외선 검출 이미지와 비교하였다.

분석 프로그램은 Electro v6.4(IES)이며, 해석조건에서 셋업은 Quasi-static Analysis에 의해 수행하였다. 그림 4는 정상상태에서의 애자에 가해지는 전계분포와 실험을 통해 촬영된 이미지를 비교하여 나타낸 것이다.

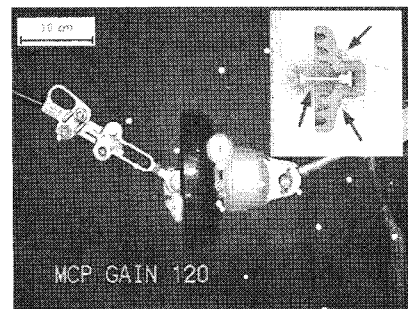


그림 4. 자기애자의 전계분포
Fig. 4. The electric field distribution of porcelain insulator

화살표시된 부분은 전계가 집중되는 부분으로 도체와 애자의 접합부분에서 가장 큰 것을 볼 수 있다. 연면에서의 전계집중은 없는 것으로 나타났으나 캡과 애자의 접합부분과 핀과 애자의 접합부분에서는 전계

가 집중되는 것을 관찰하였다.

4. 실험구성 및 방법

본 논문은 현장에서 이용되는 진단기법 중 초기방전이 시작되었을 때 발생하는 자외선 영역을 효과적으로 검출하여 이미지로 보여주는 장비의 현장적용을 위한 것이다.

실험검증은 전압발생장치(Hipotronics, 0~200[kV], USA)를 이용하여 절연과피 직전까지의 상태에서 자외선을 검출하여 분석한 자료와 CEA LWIG-01(96)에 의한 트래킹휠 시험법을 이용하여 실시하였다. 본 실험의 조건은 KS C IEC 60060-1 (2006)에 의해 정의된 고전압 발생장치를 이용하여 전기설비를 평가하는 방법을 활용하였다.

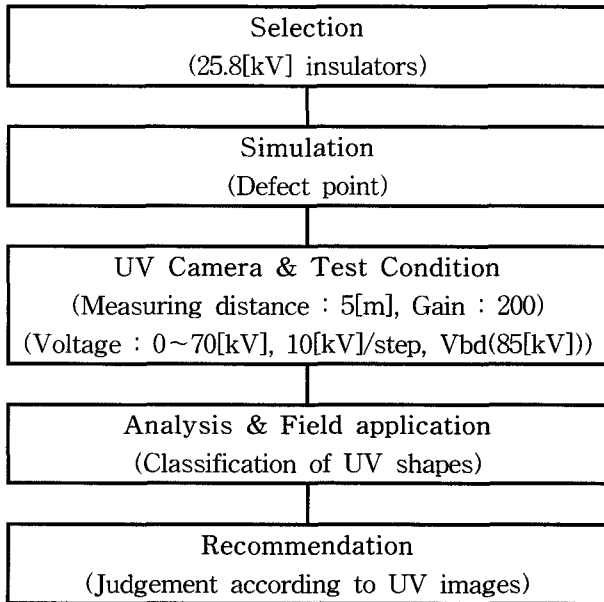
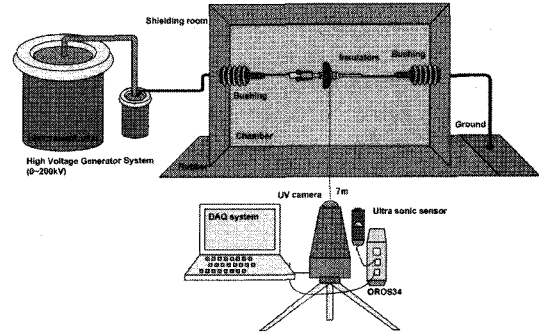


그림 5. 실험 및 분석흐름도
Fig. 5. Experiment and analysis flowchart

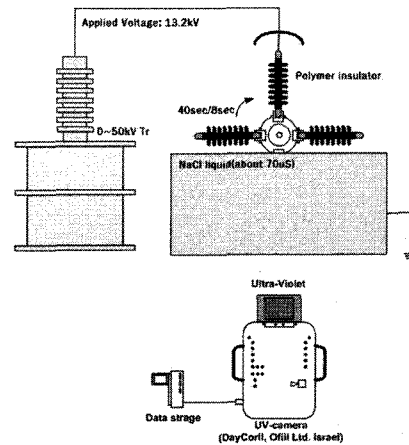
NASA No. PT-TE-1415[9]의 내용에서도 언급되어 있듯이 전력설비의 코로나 방전에 의해 발생하는 다양한 신호를 검출할 수 있도록 구성하였다. 이때, 실험실 온도는 5[°C], 습도는 65 [%]를 유지하였다. 측정 거리는 5[m]로 하였으며, 측정치는 10회 이상 축적된

자료를 평균으로 하였다.

트래킹휠시험(Tracking wheel test)은 공급전압을 AC 13.2[kV]로 하였으며, 수조의 도전율은 염화나트륨수용액으로 약 70[μS/cm]로 하였다. 또한, 가압시간과 회전시간은 40[sec]/8[sec](가압시간/회전시간)으로 설정하였다.



(a) withstand voltage test



(b) tracking wheel test

그림 6. 애자의 코로나 발생 실험개략도
Fig. 6. Experimental diagram of corona generation of insulators

5. 코로나 방전에 의한 자외선 거동과 분석

5.1 검출 자외선 비교와 분류

검출된 자외선 이미지만으로 쉽게 구분이 가능한 부분은 기 실험과 검증을 통해 정리하였다. 표 1은 자외

선 검출 이미지의 형태에 따른 판별을 구분하여 정리한 것이다. 아메바(amoeba)형은 절연물의 표면에서 발생하는 형태로 무정형이기는 하나 대부분 시작점과 끝점이 이어져 타원의 형태를 가지고 있는 것이 특징이다. 젤리피쉬(jellyfish)형은 고전계 집중이 된 경우 이면서 방향성을 가지고 진행되는 것으로 대체적으로 폴리머에자의 전원측 부분에서 나타났다. 썬플라워(sunflower)형은 둥근 원형의 것으로 크기에 따라 절연과괴가 임박한 것으로 나타났으며, 기중에서 많이 발생하는 코로나방전인 것으로 판단된다.

표 1. 자외선 이미지 거동 분류
Table 1. The classification of UV images behavior

구분	형태	설비상태, 특성	촬영이미지
amoeba		· 절연물 표면 열화 · 진행단계에 따라 크기 변화 · 대부분 타원을 갖는 무정형 · 연면방전	
		· 다수가 발생하는 형태 · 가장 큰 면적으로 평가 · 근접한 경우에는 2개의 지점을 합산하여 평가	
		· 전계가 집중된 지점이 모여 있는 상태 · 기중방전	
		· 자외선 발생지점이 겹침 · 연면에서 시작하여 기중방전으로 전이	
jellyfish		· 고전계집중 · 전계의 방향성(좌→우) · 기중방전	
		· 방전경로 확인 가능 · 기중방전	
sunflower		· 직경의 크기가 10[%] 범위내 · 절연물 한 지점에서 발생 · 방전초기의 현상 · 기중 또는 연면방전	
		· 고전계집중 · 절연과괴 임박 · 기중방전	

옥외에 설치된 설비인 경우 초기에는 세정으로 열화의 진행을 방지할 수 있다. 그러나 열화가 지속적으로 진행이 되면, 썬플라워형으로 바뀌는 특징을 가지고 있다.

5.2 자외선 거동에 따른 열화단계

자외선 검출 카메라는 고전압설비의 연면 또는 기중에서 발생하는 코로나방전 중 280[nm]이하의 원자의 선만을 효과적으로 검출하여 외부 노이즈를 줄일 수 있으며, 사고지점을 확인할 수 있다는 장점도 가진다. 자외선 검출이미지만으로는 그 열화정도를 파악하기 어렵고 발생개소를 구분하는 데는 매우 용이한 것으로 확인하였다. 방전의 진행에 따른 형태변화를 도식화하여 현장에서 판정하는데 도움이 될 수 있도록 구성하였다. 연면 또는 기중에서의 코로나 방전과 절연과괴로 이어지는 과정에서 자외선 검출 이미지의 변화는 시간의 차이는 있으나 진행과정에 따른 패턴의 변화가 존재하고 있음을 확인하였다.

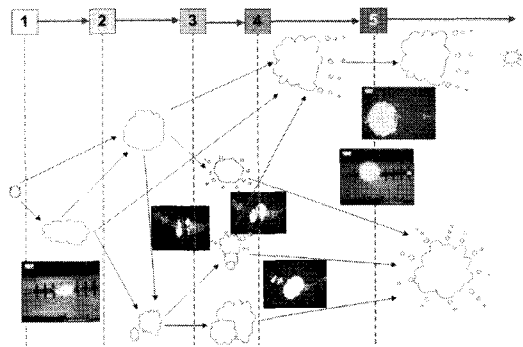


그림 7. 코로나 성장과정
Fig. 7. The growing mechanism of corona

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 썬플라워형과 연면방전에서 발생하는 아메바형으로 구분하여 성장한다. 아메바형은 대체적으로 초기에는 타원형태를 유지하는 것으로 판단된다. 이때 설비의 열화상태가 표면열화에 의한 것인지 이물질의 부착이나 탄화, 부

22.9[kV]급 애자의 표면오염에 의한 자외선 영상과 열화판정

식, 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, 썬플라워형이 커지는 형태 또는 켈리피쉬형으로 진전되는 경우를 확인할 수 있다. 켈리피쉬형으로 진전된 경우에는 절연파괴에 임박하고 있음을 보여주는 것이다. 썬플라워형인 경우에는 켈리피쉬형이나 진전된 썬플라워형으로 발전하며, 주변에 다수의 아메바 또는 썬플라워형이 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. 썬플라워형인 경우에는 주변이 작은 자외선 검출이미지가 발생하는 경우가 나타나거나 켈리피쉬형 또는 겹치는 경우를 확인할 수 있다. 겹치면서 자외선 검출이미지가 성장한 경우에는 대체적으로 썬플라워형으로 주변에 고전계에 의한 이미지 가장자리에서 작은 스팟들이 형성된 것을 확인할 수 있으며, 절연파괴에 임박한 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. 열화조건에 따른 판단단계
Table 2. The judgement steps according to deterioration conditions

단계	가속열화 조건	
	$V_m/V_{bd} \times 100$	TWT turning counts
①	30	500
②	40	
③	50	5,000
④	60	
⑤	70	10,000

표 2에서 가속열화시험조건에서 절연파괴전압에 따른 전압측정치의 비($V_m/V_{bd} \times 100$)를 통해 촬영된 영상의 형태를 분류하였으며, 트래킹휠시험을 통해 열화 단계별로 구분한 내용을 분류한 것이다.

5.3 단계별 판단과 조치사항

상기의 검증을 통해 정의된 각각의 판단단계에 대해 현장에서의 조치사항을 정리하였다.

표 3. 단계별 조치사항
Table 3. The complementary measures points by steps

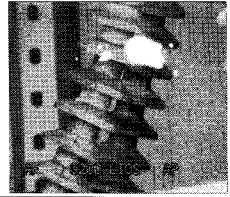
단계	구분	조치사항
①	방전구분	인지, 관리의 방향 (청소, 지속적 관리 등)
②	성장단계	지속적 일상점검 필요
③	관리단계	정전계획 수립 후 정밀검사
④	즉시교체	열화에 의한 위험상태
⑤	즉시교체	매우 위험한 상태

각 단계가 진행되는 과정에서 판정을 한다면, ①단계가 넘어서는 경우에는 설비의 열화상태가 표면에서의 초기열화인지 전계집중에 의한 것인지를 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.


6. 현장에서의 자외선 검출과 분석

그림 8은 국내에 분포된 전기설비 중 옥외에 설치된

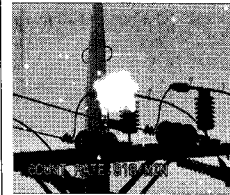
경우 각각의 설비에서 발생하는 자외선을 촬영한 이미지와 분석한 예를 정리하였다.

	<ul style="list-style-type: none"> - 외부환경에 의한 표면열화 진행 중 - 지속적인 일상점검 필요 - 세정 또는 표면 확인
Amoeba- I	Step ②(성장단계)

(a) 케이블 중단접속부

	<ul style="list-style-type: none"> - 한 지점에서 탄화지속 발생 중 - 정전계획 수립 후 정밀검사 - 교체 필요
Sunflower- I	Step ③(관리단계)

(b) 동대 지지애자

	<ul style="list-style-type: none"> - 한 지점에서의 탄화가 확대 진행 중 - 열화에 의한 위험상태 - 즉시교체 필요
Amoeba-IV	Step ④(즉시교체)

(c) 케이블 라인포스트애자

그림 8. 현장촬영과 진단
Fig. 8. Field photographs and diagnosis

그림 8 (a)는 케이블 중단접속부에서 발생한 것으로 자외선이 외부의 먼지 또는 열화되어 자외선이 검출되었다. 아메바- I의 형태로 ②단계의 성장단계를 의미하며, 표면열화 부분이 한 지점에 모아지는 초기의 진행 중인 단계를 의미하며, 관리자의 조치는 지속적인 일상점검을 통해 세정 또는 표면을 확인하여야 하는 실행이 요구된다. 그림 8 (b)는 지지애자로서 옥외에 설치된 폐쇄분전반 내부의 동대(busbar)를 지지하는 역할을 한다. 지지애자의 상부에서 외부 환경에 의해 열화된 것으로 추정되는 탈색이 확인되었으며, 자외선이 검출되었다. 형태는 썬플라워- I이며, 열화수

준은 관리단계인 ③단계로써 정전계획을 수립하여 정밀검사가 요구되는 사항이다. 상태는 한 지점에서 탄화가 진행 중으로 정전 후 교체가 필요한 상태를 의미한다. 그림 8 (c)는 전주 위의 케이블을 지지하는 라인포스트애자와 케이블에서 발생한 자외선을 검출한 것이다. 형태는 아메바-IV로서 열화단계는 즉시교체가 요구되는 ④단계이다. 한 지점에서의 탄화가 확대 진행 중으로 전계집중이 가속화되는 위험상태로 즉시교체가 필요한 상태를 의미한다.

현장에서 실측한 영상을 통해, 자외선의 형태를 분류하고 평가하였으며, 전력설비의 상태진단을 하는데 매우 효과적이고 신속한 판단이 될 것으로 기대된다.

7. 결 론

본 논문은 현장에서 자외선 검출 카메라를 이용하여 판단하는 방법 중 하나인 자외선 이미지 형태에 따른 판단법을 정의한 것으로, 외부의 변화요인을 최소화하고 열화 단계의 기준을 설정하여 판단하는 기법을 정리하는 데 있다. 따라서 자외선 이미지 형태 판단법을 이용하여 현장에 적용하였을 경우 일부의 오차범위가 크게 벗어나지 않을 것으로 판단된다. 본 연구는 우선적으로 판단기준에 대한 개략적 내용을 정의하고 이를 토대로 전기설비에 대해 각각의 조건에서 실험하고 정의하였다. 자외선 검출이미지 형태의 변화는 연면과 기중방전에 발생하여 대상물에 따라 달라질 수는 있으나 실험결과에 의하면, 그리 많지 않은 것으로 추정된다. 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.

본 연구는 지식경제부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 송길목, 김영석, 정진수, “방전모델에서의 자외선 검출이
이미지분석과 안전기준”, Trans. KIEE, Vol. 58, No. 7,
pp.1380~1388, 2009.
- [2] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, 정진수, “연면방전에 의
한 폴리머애자의 자외선 발생과 열화특성”, Trans. KIEE,
Vol. 57, No. 9, pp.1606~1611, SEP, 2008.
- [3] 송길목, 방선배, 김종민, 김영석, “코로나 방전에 의한 자
기 및 폴리머 애자의 자외선 발생특성”, Journal of the
KIEE Vol. 22, No. 4, pp. 147~152, April 2008.
- [4] 송길목, 방선배, 김종민, 김선구, “자기애자에서의 코로나
방전에 의한 자외선이미지 검출”, KIEE HV&D spring
conference, pp.2-13~2-16, 2007.
- [5] 한국전기안전공사, “전기재해통계분석”, 17호, 한국전기안
전공사, pp.67~74, 2008.
- [6] 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 Porcelian Insulators at 22.9[kV] Distribution Line Using
UV-Camera”, 15th ISH2007, pp.439, 2007.
- [7] Kil-Mok Shong, Young-Seog 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.
- [8] EPRI, “Guide to Corona and Arcing Inspection of
Substations”, 2002.
- [9] 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&PID, pp.80~83, 2002.

◆ 저자소개 ◆

송길목 (宋 佶 穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 송실대학교 전기공학과 졸업.
2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동
대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기
안전공사 전기안전연구원 진단기술연구부 책임연구원.
관심분야 : 설비진단 및 시스템 개발, 설비사고분석
Tel : (031)580-3061
Fax : (031)580-3070
E-mail : natasder@naver.com

김영석 (金 榮 錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기
공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원.
2003년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 진단
기술연구부 주임연구원.
관심분야 : 설비진단 및 시스템 개발, 설비사고분석
Tel : (031)580-3064
Fax : (031)580-3070
E-mail : athens9@naver.com