

Comparison of the Poor Insulator Detecting Technique for the Reliability Enhancement of the Electric Power Facilities

鄭 焯 元* · 丘 庚 完†
(Soon-Won Jung · Kyung-Wan Koo)

Abstract - For the evaluation in the safety of outdoor insulator, there are various methods such as: visual observation; voltage measurement; use of ultrasonic wave due to partial discharge; electric field measurement; use of infrared/ultraviolet sensor-type camera. However, many problems have been issued regrading the reliability of the evaluation test and safety of testing operation. Accordingly, the present study has investigated and analyzed the characteristics and mechanisms of the insulator deterioration, in order to obtain an optimal method for detecting poor insulator so that the reliability of power facilities can be enhanced. Besides, based on theoretical analysis of domestic and international detection methods for poor insulator, the reliability has been compared and evaluated quantitatively. As a result, it was shown that the corona camera would be the best choice for domestic workplace application in detecting poor insulator for enhancing the reliability of power transmission line.

Key Words : Insulator, Aging, Thermo-Graphic Camera, Corona Camera

1. 서 론

최근 산업이 고도화·정보화됨에 따라 과거 양적인 측면에 주력해왔던 전력산업도 대형화, 밀집화, 다기능화를 가져오게 되었고, 고품질의 전력을 고도의 안정성 하에서 공급하여야 하는 시대가 도래하였다[1-2]. 따라서 각종 진단 및 첨단 장비를 이용하여 설비사고의 잠재 요인을 예측 분석하고, 그 결과를 데이터화하여 사고의 원인을 근본적으로 제거할 수 있는 체계적인 예방 보전이 절대적으로 필요하다. 각 분야에서는 관련 기기의 수명예측, 예방진단 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 송·배전분야에 있어서는 첩탐을 중심으로 한 각종 구조물의 안전성 평가, 절연물 상호간의 절연 협조, 절연물의 건전성 평가 등과 관련하여 많은 연구가 수행되고 있다[3-5]. 절연물의 건전성 평가를 위한 기술에는 크게 직접측정방법과 간접측정방법으로 나눌 수 있으며, 시각적 관찰에 의한 방법, 진동에 의한 공명음을 활용하는 방법, 분담 전압, 절연저하, 누설전류 등의 물리량을 이용한 방법, 방전 시 수반되는 초음파 신호를 활용하는 방법, 전계 측정을 활용한 방법, 적외선 센서 및 촬영을 활용한 방법, 코로나 카메라를 활용하는 방법 등이 적용되고 있으며, 선진국의 경우 검출

의 신뢰성, 적용의 편리성 및 안전성 향상을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[6-8]. 일본의 경우 전기설비의 절연불량 혹은 절연과피 시 발생하는 초음파를 이용하여 근거리에서 측정 가능한 SE-22와 SE-7 등의 검출기구와 송배전선이나 전철 등에서 라디오나 TV 주파수 대역의 잡음이 발생할 때, 이 잡음을 이용하여 원거리에 측정 가능한 SE-62형이 개발된바 있으며, 적외선 센서 방식의 장비를 개발, 차량에 탑재하여 전력설비의 건전성 평가에 활용하고 있다[9]. 또한, 캐나다의 Ontario Hydro, 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute) 및 STRI(Swedish Transmission Institute) 등에서도 적외선 카메라 및 코로나 카메라를 이용한 관련기술이 널리 적용되고 있다[10-11].

국내의 경우, 네온램프식 불량애자 검출장치, 초음파 및 전자파 검출식 불량애자 검출장치, 전계측정식 불량애자 검출장치, 적외선 센서식 불량애자 검출장치 등이 개발되어 현장에 응용되고 있으나, 검출결과의 신뢰성 및 활선 검출작업시의 안전성 등과 관련하여 많은 문제점이 제기되고 있어, 전력설비의 유지 및 보수의 효율성이 크게 저하되고 있는 실정이며, 각종 검출장치의 검출방식에 대한 이론적 분석을 바탕으로 그 신뢰성을 정량적으로 비교 평가하여 활용성을 배가시켜야 할 필요성이 크게 대두되고 있다.

이에, 본 연구에서는 애자의 열화기구(Aging mechanism) 분석 및 국내의 연구·개발사례에 대한 이론적 고찰을 수행하고, 국내의 전력계통 및 기술현황을 고려한 각종 불량애자 검출방식의 신뢰성을 정량적으로 비교 평가하여 국내 전력설비의 신뢰성 증대를 위한 최적의 불량애자 검출기법을 제시하고자 하였다.

* 正 會 員 : ETRI 융합부품·소재연구부문 Post-Doc. · 工博

† 교신저자, 正 會 員 : 湖西大學校 國防科學技術學科 副教授 · 工博

E-mail: alarmkoo@hoseo.edu

接受日字 : 2008年 7月 24日

最終完了 : 2008年 8月 26日

2. 애자의 열화 메커니즘

2.1 애자의 특성

애자는 가공전선을 지지물로부터 전기적으로 절연하는 목적 외에, 각종 요인으로 발생하는 외력과 전선을 지지하기 위해 사용된다. 그러므로 선로의 정상전압에 대해서는 물론 각종 사고에 따라 발생하는 이상전압(낙뢰나 스위칭 썬더)에 대해서 충분한 절연내력을 가져야 하고, 비·눈·안개 등에 대해서 표면저항을 가지며 누설전류가 아주 작도록 해야 한다. 또한 전선 등의 하중 외에 바람·눈 등에 의한 외력이 가해지는 경우에도 충분한 기계적 강도를 가져야 한다. 애자의 종류는 사용 전압 등급에 따라 송전용, 변전용, 배전용 등으로 나눌 수 있으며, 적용 방법에 따라 현수, 핀, 장간 애자 등으로 구분할 수 있다. 또한 절연물의 소재에 따라 자기제(porcelain), 유리(glass) 그리고 고분자(polymer) 애자로 분류할 수 있다. 표 1에 소재에 따른 애자의 기본 물성들을 비교 정리하였다.

표 1 소재에 따른 애자의 물성 비교.

Table 1 The property comparison of the insulator according to a material.

특 성	단 위	Glazed porcelain	Toughend glass	Polymer	FRP
밀 도	g/cm	2.3-3.9	2.5	0.9-2.5	2.1-2.2
인장강도	MPa lb/in ² (×10 ³)	100-120 4.0-14.0	100-120 14.5-17.4	20-35 3.0-13	1300-1600 190-230
압축강도	MPa lb/in ² (×10 ³)	240-820 34-120	210-300 30-40	80-170 11-24	700-750 100-107
인장율	GPa lb/in ² (×10 ⁶)	50-100 7-14	7.2	0.6-16 0.1-2	43-60 6.0-8.0
열전도율	W/m ² K	1-4	1.0	0.17-0.9	0.2-1.2
팽창력 (20-100°C)	(×10 ⁻⁶)/K	3.5-9.1	8.0-9.5	45-200	7.5-20
유전율 (50-60Hz)	Air=1	5.0-7.5	7.3	2.3-5.5	2.5-6.5
유전정접 (50-60Hz)	(×10 ³)	20-40	15-50	0.1-5.0	5.0-20
파괴강도	kV/mm	10-20	>25	>25	3.0-20
체적저항율 (at 20°C)	Ωm	10 ¹¹ -10 ¹³	10 ¹²	10 ¹⁵ -10 ¹⁷	10 ¹¹ -10 ¹⁴

2.2 애자의 열화 요인

전력용 절연물은 기계적 강도와 전기적 내구성의 2가지 기능을 가지도록 설계되며 사용 환경상 표면 오손이 불가피하다. 카본 또는 금속 산화물, 염분 등과 같은 전도성 오손 물질은 애자 표면으로 누설전류를 흐르게 한다. 일반적으로 이 오손층은 인가 전계에 대해 불안정한 특성을 나타내며 누설전류가 증가하면서 열 및 방전 현상이 발생한다. 결국 방전에 의한 전기화학적 침식에서 침식에 의해 절연물 자체가 전기적 특성과 기계적 지지물로서의 기본적인 역할을 상실하여 완전히 바이패스(by-pass)되는 상태에 이를 수 있다. 그림 1과 그림 2에 대표적인 자기애자의 열화형태와 폴리머애자의 열화형태를 보였다.

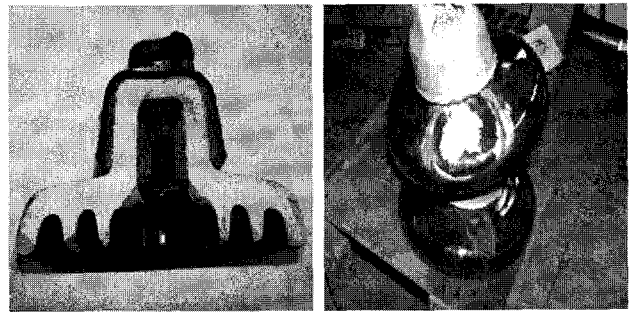


그림 1 자기애자의 열화 형태.

Fig. 1 The degradation form of the porcelain insulator.

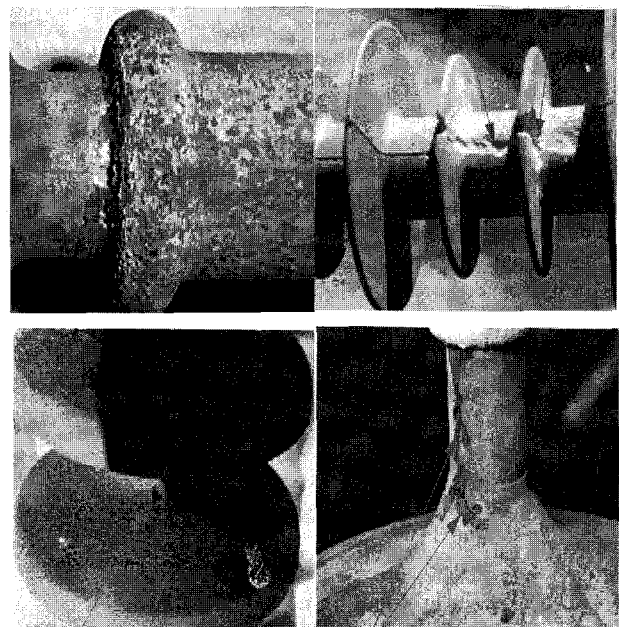


그림 2 폴리머애자의 열화 형태.

Fig. 2 The degradation form of the polymer insulator.

2.3 열화 메커니즘

전력용 절연물은 고전압이 인가되어 있는 도체를 허용된 공간에 유지시키기 위한 구조물로서 절연물을 통한 전기에너지 손실이 최소가 되도록 전기적 절연체이어야 하며, 송배전용 절연물의 경우 항시 전압이 가해져 있고 요구 수명이 수십년 정도이므로 기계적 강도 및 전기적 내구성을 가지도록 설계된다. 그러나, 제조공정 중에서의 미세한 결함, 각종 사용 환경에 따른 카본 및 금속 산화물, 염분 등과 같은 전도성 물질에 의한 오손, 낙뢰와 같은 이상전압, 플래시오버, 온도 변화 등과 같은 기계적, 전기적, 환경적, 열적 요인으로 인하여 열화가 불가피 하다. 이렇듯 복합적인 원인으로 인해 열화된 애자의 경우 절연저항저하, 전류, 분담전압, 전자계 등의 변화 및 부분방전으로 인한 열, 음, 전파 등이 발생하는 특성을 보이며, 이후 송·배전선로 사고에 대한 원인이 되어 양질의 서비스 및 고품질의 전력을 제공하는데 큰 지장을 초래하기도 한다[12-14]. 그림 3은 애자의 열화 요인에 따른 열화 진행과정 및 열화에 의해 발생하는 물리적 특성을 나타내고 있다.

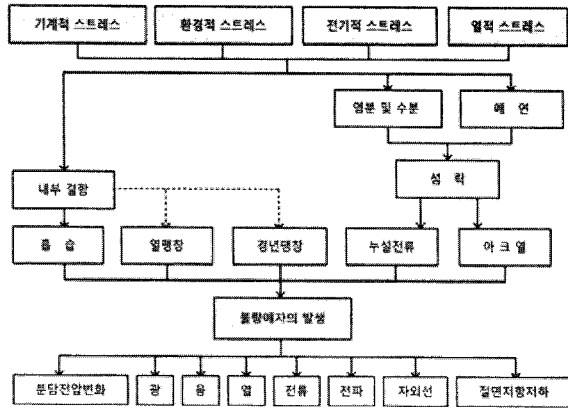


그림 3 자기애자의 열화 메커니즘.
Fig. 3 Degradation mechanism of insulator.

3. 불량애자 검출방법 및 비교·평가

전력수요 증가에 따라 1970년대 중반 154 kV 에서 345 kV 송압된 송전선로 및 배전선로는 현재 765 kV 송전선로가 건설되어 일부 운영되고 있으며 앞으로 그 수는 계속 증가할 예정이다. 현재 고압 전력용 절연물로 사용되는 애자는 제조공정 중에 미소균열 및 미세한 결함이 있을 수 있으므로 전력설비에 설치되기 전에 충분한 검사를 통하여 전력설비에 영향을 미치지 않도록 하여야 한다. 또한, 설비 이후 장시간의 사용으로 인해 열 스트레스,

전압 스트레스, 기계적 스트레스 및 환경 스트레스 등 복합적인 작용에 의해 열화 되므로 이에 따른 정기적인 진단이 필요하다. 따라서 이들 설비의 열화를 검출할 수 있는 기술이 필요하며, 이 기술들은 열화에 의해서 변화되는 특성 값들을 이용하여 열화의 정도를 알아내게 된다. 표 2는 열화 및 불량애자에서 발생하는 특성들을 진단 파라메타로 하여 나타낼 수 있는 기술상의 방법 및 검출 문제점에 대하여 정리한 것이다. 애자의 열화 정도를 진단하는 방법은 정지 상태에서 진단하는 방법과 운전 상태에서 진단하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 정지 상태에서 진단하는 방법은 오래 전부터 실시해오는 방법으로 여러 가지 진단 파라메타 측정이 가능하고, 진단의 신뢰성도 높일 수 있는 장점이 있는 반면에 진단하는 동안 전력설비를 정지해야 하기 때문에 전력공급에 차질을 빚게 된다. 이에 반해 운전 상태에서 진단하는 방법은 약간의 신뢰성이 떨어지지만 광범위한 지역을 빠른 시간 안에 검사할 수 있고 전력공급의 중단 없이 시행할 수 있다. 그러므로 측정방법 및 파라메타가 제한적이지만 전력설비의 신뢰성이 있고, 경제적인 보수에 적절한 열화 진단 방법은 운전 상태에서 진단하는 방법이 현재 각광을 받고 있으며 주로 사용되어 지고 있다.

3.1 전압, 저항, 누설전류 측정방법

사용 환경상 복합적인 요인으로 인하여 열화된 애자에서 나타나는 물리적인 특성을 이용하여 각각의 애자가 분담하는 전압을 측정하고, 불량애자에서 발생하는 부분방전전류 및 애자의 절연저항값을 측정함으로써 이상 유무를 검출하는 방법으로 대체적으로 정확하게 측정할 수 있는 방법들이다.

표 2 불량애자에서 발생하는 특성.
Table 2 Characteristics of the poor insulator.

검출항목	검출방법	평가					기술상의 문제
		불량형태			원격검출	애자련철탐	
		관통	shade 열화	흡습			
열	애자련의 열분포를 측정하고, 그 변화로부터 불량애자의 유무검출	△	×	×	△	×	발열량은 수 mW 이하로 작아, 겹의 표면은 상승하지 않기 때문에 가능성이 작음
음	불량애자로부터 발생하는 부분방전소음을 애자련 단위 또는 철탐단위로 검출	△	×	×	△	△	소음레벨이 낮고 외래잡음과 구분할 수 없기 때문에 가능성이 작음 단면에서는 가능성이 있음
전파	불량애자로부터 발생하는 부분방전 잡음 전파를 애자련 단위 또는 철탐단위로 검출	△	×	×	△	△	외래전파를 구분하는 특이현상을 찾아내는 것이 어렵고, 또 불량애자로부터 부분방전 잡음이 발생하는 것은 제한적이지 않기 때문에 실현가능성이 작음 단면에서는 가능성이 있음
전류	불량애자로부터 발생하는 부분방전 전류를 애자련 또는 철탐 단위로 검출	△	×	×	△	△	건전애자련과 비교하여 외래노이즈를 분리할 수 있으면 검출률이 향상되어 가능성이 있음 단면에서는 가능성이 있음
분단 전압	복수의 애자련 분단전압의 차를 측정하여 그 차이로부터 불량애자를 검출	○	×	△	×	△	건전할 때의 데이터를 취하여 그것과 비교하는 것에 의해 검출정확도를 올릴 필요 있음
절연 저항	각 애자의 절연저항을 측정하여 그 결과로부터 불량애자를 검출	○	×	△	×	×	검출률은 높다. 단, 애자의 오손 및 고습일 경우 검출률 저하 자동화, 로봇화에 의해 작업성안정성은 향상되지만 비용이 비싸 비현실적
주위 전자계	애자련 주위의 전자계 분포를 측정하고 그 변화로부터 애자의 불량여부를 검출	△	×	×	△	×	떨어진 장소로부터 전자계 측정은 오차가 커 검출이 힘들 전자계분포가 검출된다 하여도 불량애자를 검출할 수 없는 경우가 있어 가능성 작음
자외선	불량애자로부터 발생하는 자외선을 검출하여 판정함	△	×	×	△	△	검출정도는 낮아 실용성이 적음
고유 진동수	Crack이 있는 불량애자는 고유진동수가 다른것으로부터 그 고유진동수를 측정하여 불량애자 검출	△	×	×	△	×	검출에 손이 많이 가지만 가능성은 있음 소형고성능 측정기(레이저 건)의 개발은 어려움

그러나, 분담전압을 측정하는 경우 건전 애자련과 비교를 위한 외부 노이즈 분리 기술을 필요로 하며, 부분방전전류 측정은 건전시의 데이터 및 측정시의 정밀도가 요구된다. 또한 절연저항 측정방법은 애자의 오손이나 습윤시 적용이 곤란하고, 자동화 또는 로봇화에 많은 경제적 비용이 요구된다. 이들 방법은 각각의 애자를 실측하는데 많은 시간이 소요되고 활선상태에서 측정할 경우 직접 접촉하여야 함으로 검출기가 절연열화 될 경우 작업자에게 위험을 초래하기도 하는 문제점을 가지고 있다.

애자련 각각의 벨 전압을 측정하기 위해서는 hot stick의 끝 부분에 전압계를 연결하여 측정한다. 각각의 벨이 개별적으로 검사 되어져야하고 불량한 벨들은 측정될 때 0 이나 낮은 전압의 결과를 나타낼 것이다. 이 측정 방법은 132 kV보다 낮은 전압에서 작동하기에 적합하다. 그러나 고전압 하에서 전압분포가 비전형적이고 라인 끝 부분으로부터의 많은 수의 벨들의 전압이 아주 작게 나타나 건전한 애자로부터의 불량애자의 검출에 어려움이 있다. 각 애자의 캡과 핀 사이의 저항은 고전압펄스 응용에 의해 측정된다. 통상의 기구는 전압이 인가된 애자와 그렇지 않은 애자 모두에 측정을 실행할 수 있다. 그림 4에서처럼 전압이 인가된 애자를 측정위한 기구는 hot stick의 끝 쪽으로 연결되어진다. 기구들은 일반적으로 건전 상태인지 불량상태인지의 지시된 저항 값을 읽기 쉬운 범위들을 가진다. 이방법의 장점은 결과의 올바른 해석과 기구의 비교상의 간단함에 있다. 만약 애자에 구멍이 없다면 건전애자와 비교해서 측정된 저항 값은 변화가 없을 것이다. 측정된 저항 값은 일정한 건조 상태(RH<50%)에서는 신뢰할 수 있으나 건조한 상태가 아닌 습한 상태에서는 신뢰성이 떨어진다. 무엇보다도 저항측정 방법은 고전압에서의 전압분포가 비전형적으로 증가하기 때문에 132 kV나 그보다 낮은 전압에 사용된 애자에 보다 적합하다.

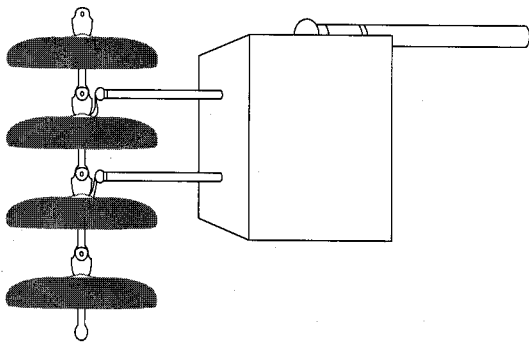


그림 4 검출기 시스템의 모형도.
Fig. 4 The model of the detector system.

3.2 전계를 이용한 검출방법

캐나다의 Hydro-Quebec과 Positron사에서 최초로 개발되었고, 국내에서는 1996년 전력연구원에서 개발된바 있는 검출기이다. 현재 국내에서 흔히 사용하는 검출기로서 현수애자련 주변의 전계 분포를 측정하는 검출기이다. 그림 5는 FEM을 이용한 애자련의 등전위선을 해석한 것이다. 전계의 크기는 축방향분(Ev)과 축과 직각방향분(Eh)으로 분해하면 거의 일정한 크기로 나타나고 있다. 그러나 불량애자가 있는 개소의 전계방향은 애자련의 축과 거의 직각 방향으로 근접하게

되고, 전계의 크기를 분해하면 정상적인 현수애자만 있는 경우보다 축방향의 전계(Ev)는 매우 감소되지만 축과 직각방향의 전계(Eh)는 거의 변화가 없음을 알 수가 있다. 따라서, 전계식 불량애자 검출기는 현수애자련에 분포된 축방향의 전계의 크기를 측정, 분석하여 현수애자의 양부를 판정하는 방법이다. 건전한 상태의 애자련의 등전위곡선은 그림 5의 (a)와 같이 접지가 되어 있는 철탑측에서 전압이 인가된 선로측으로 일정한 모양으로 분포되어 있다. 그러나 그림 5의 (b)에서처럼 애자련에 불량애자가 있을 경우 등전위곡선이 왜곡되게 된다. 즉 전계를 이용한 검출방법은 애자련에 분포된 축방향의 전계의 크기를 측정, 분석하여 건전성 평가를 하게 된다. 이 방법의 경우, 이격된 장소에서는 전자계 측정의 오차가 크며, 전자계 분포가 검출되더라도 불량애자를 검출할 수 없는 경우가 있다.

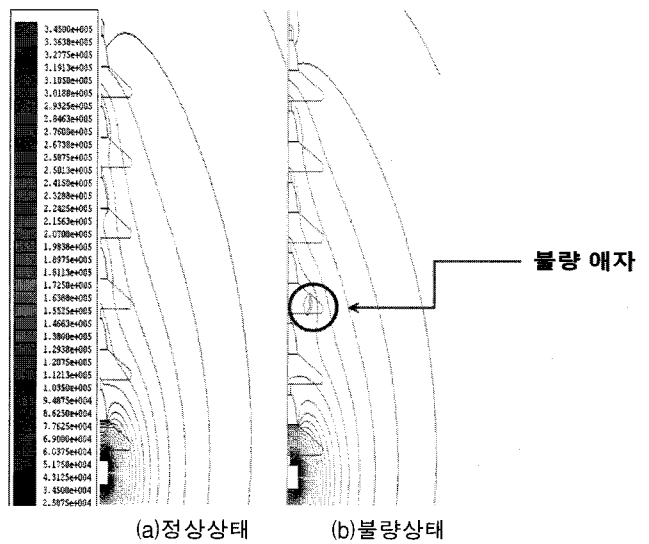


그림 5 애자련의 등전위 곡선.
Fig. 5 Equipotential curves of a suspension insulator.
(a) normal condition (b) abnormal condition

3.3 잡음 및 전파를 이용한 검출방법

애자의 열화가 진행된 경우 방전현상 시에 발생하는 미약한 음파 잡음 전파를 애자련 단위 또는 철탑단위로 검출하는 방법이다. 잡음전파나 초음파 발생기구와 불량애자가 있는 애자련의 등가회로는 그림 6과 같고, 과전상태에서는 m-n간의 공극 G에서 같은 방전 파형이 반복해서 발생하게 된다. 이러한 방전은 잡음으로 나타나 잡음전파나 초음파의 형태로 외부로 전달된다. 그래서 잡음전파방식은 감도가 좋은 안테나로 잡음전파를 수신하여 잡음전파의 크기를 레벨미터에 표시하거나 이어폰이나 스피커에 발생하는 음의 크기를 건전상태와 비교, 평가하여 불량애자를 검출한다. 이러한 방법은 애자련의 길이가 짧은 경우에는 잡음레벨이 커서 애자의 양부 판정이 가능하지만 애자련이 길면 잡음레벨이 작아서 건전한 애자련과 큰 차이가 없으므로 불량애자의 검출이 곤란하다. 그리고 초음파 측정방식은 불량애자의 방전현상 시에 발생하는 미약한 초음파를 감도가 좋은 마이크로폰으로 검출하여 음파의 크기로 양부를 판정하는 방식이다. 이러한 방법도 애자련이 짧고 측정지점과의 거리가 가까울 때는 양부판정이 가능하지만

애자련이 길고 측정거리가 멀면 불량애자의 검출이 곤란하다. 잡음전파는 불량애자에서만 발생하는 것이 아니고 금구의 접촉 불량 시나 애자의 표면이 심하게 오손된 경우에도 발생되고, 수많은 현수애자련 중에서 어느 애자가 불량인지를 확실하게 알 수가 없으므로 이러한 방법은 거의 사용되지 않고 있다.

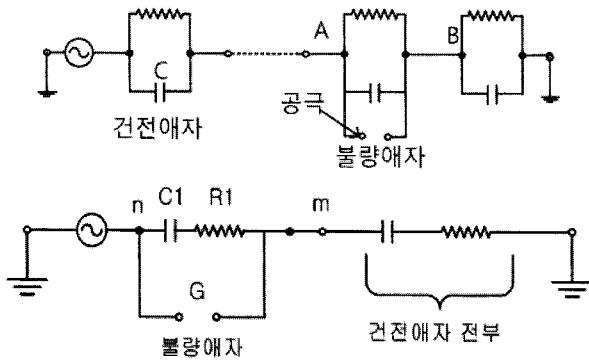


그림 6 애자련의 등가회로.
Fig. 6 Equivalent circuit of a suspension insulator.

3.4 열화상식 검출방법

모든 물체는 적외선을 발산한다. 영하 273 °C 이상의 모든 물체는 물질을 이루고 있는 기본 단위인 원자들이 미소한 진동을 한다. 이러한 원자들의 진동에 의한 에너지가 적외선 영역의 에너지와 동일하기 때문에 모든 물체는 적외선을 방출하고 있는 것이다. 온도가 높으면 높을수록 더 많은 양의 적외선이 발산된다. 적외선 열화상식 검출법은 이러한 기본 특징으로부터 불량애자에서 누설전류 및 섭락으로 발생하는 열화에 의한 온도상승을 적외선 센서로 감지하여 검출하는 방식이다. 즉 온도가 올라가면 적외선이 나오는 파장의 최대값은 가시광쪽으로 이동하고 많은 양의 적외선이 나오며, 온도가 낮을수록 파장의 최대 값은 긴 파장쪽으로 이동하며 나오는 적외선의 양도 적어지는 것을 의미한다. 이러한 기법으로 애자의 표면 온도는 IR 기구로써 측정되어진다. 선로쪽 애자로부터 지상쪽 끝까지 정상애자의 표면 온도 변화는 중앙보다 끝쪽으로 가까이 가면 보통 1-3 °C 낮아지는데 이것이 종종 높아지는 것은 그리 중요하지 않다.

열화상 카메라는 비디오처럼 작동하지만 영상이 일반적인 "Light"가 아닌 "Infrared Energy"(heat)를 검출하는 것이 특징이다. 그림 7은 이러한 열분포를 측정하는 적외선 카메라의 내부 구조도이다. 빛이 들어올 때 필터에 의해서 보통 파장 범위 3.5-14 μm 안에서 분광범위를 결정하여 그 범위의 파장만이 통과하게 된다. 통과된 빛은 위의 Visual Camera에 의해서 영상이 구형되고, Infrared Energy는 광학렌즈를 통과하여 센서에 모아진다. 이 센서는 Infrared Energy를 전기적 신호로 변환 증폭하여 한다. 이러한 두 신호에 의하여 영상이 합쳐지고 이에 따라 열 영상은 온도의 높낮이에 따라 물체 표면의 온도를 수 천개의 점으로 표현된다. 이러한 방법은 광범위한 전력설비의 모든 부분에 있어서 건전성 평가가 가능하다는 이점을 가지고 있으나, 불량애자에서 발생하는 발열량이 수 mW로 매우 작고, 측정위치에 따른 검출정도가 낮아 실용성이 적다[15]. 그림 8은 적외선 카메라를 이용해 측정된 불량 애자를 나타내고 있다.

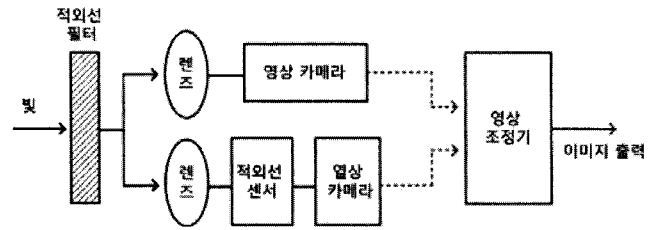


그림 7 적외선 카메라 측정 원리.
Fig. 7 Infrared camera measurement principle.

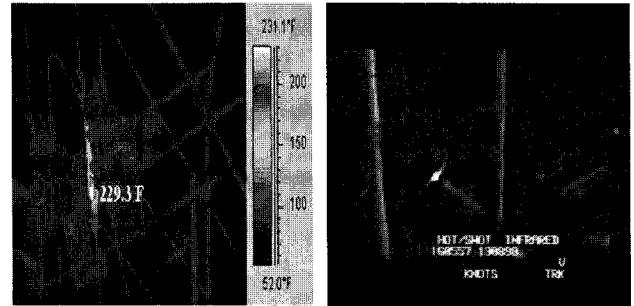


그림 8 적외선 카메라에 의한 불량절연물 관측.
Fig. 8 Infrared image of a poor insulator on electrical installations.

3.5 코로나 카메라에 의한 검출방법

1990년대 말 이스라엘의 OFIL사는 송배전 선로에서 쓰이고 있는 수많은 전력설비 및 애자의 예방 진단을 목적으로 여러 검출 시스템을 연구 개발하여 왔다. 그중에서 전력설비에서 코로나의 문제점을 파악하고 경년 열화된 설비 및 열화된 애자류의 검출을 시각적인 차원에서 검출할 수 있는 코로나 카메라를 발전시켜 왔다. 자외선 검출용 코로나 카메라로써 코로나와 부분방전영상을 주간에 적절하게 이용할 수 있도록 하였다. 이 시스템은 자외선 이미지를 덧입혀 눈으로 볼 수 있는 영상을 만들어 보여줌으로써 주간에도 약한 코로나의 신호를 탐지할 수 있다. 자외선 영역을 측정하는 코로나 카메라는 특수한 필터에 의해 240-280 nm 의 자외선 영역만을 측정하는데 그림 9(a)에서는 전형적인 코로나 방전 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림에서 코로나 방전은 자외선 영역을 포함한 230-380 nm 의 범위에서 공기 중으로 방출해 낸다. 이러한 영역 중 강도가 센 방출은 298 nm 이상에서 많이 나타난다. 그림에도 코로나 카메라가 낮은 강도의 파장영역을 갖는 이유는 태양으로 방출되는 자외선의 강도가 훨씬 크기 때문이다. 그러나 그림 9(b)는 태양광이 대지에 도달하는 파장 스펙트럼을 보여주고 있는데 약 300 nm 보다 작은 영역의 파장은 대기권의 오존층에 의해 지구에 도달하지 못하고 차단된다. 따라서 240-280 nm 의 자외선 영역을 측정하는 코로나 카메라는 태양으로부터 방사되는 자외선의 영향을 받지 않는다.

코로나 방전은 매우 약한 방사로 검출하기가 어렵다. 그럼에도 이 영역에서 각각의 파자들은 영상 CCD 카메라감지를 나타 내기에는 충분하다. 그래서 몇 피코-쿨롱보다 낮은 코로나 방전은 10 m의 거리에서도 보여질 수 있다. 이러한 기법을 실현시키기 위해 240-280 nm 의 파장은 잘 투과하고 태양 빛이나 그 밖의 다른 파장은 필터에 의해서 차단시킬 수 있는

화학적 필터의 기술 개발로 광전 효과들을 막을 수 있다. 이러한 필터와 CCD카메라의 조화로 눈으로 볼 수 있는 낮뿐만 아니라 어둠 속에서도 약한 코로나 근원의 영상을 보여주는 것이 가능해졌다. 자외선 광자들이 감지될 때 곧 코로나 방전이 감지될 때 화면상에 플래시 같은 작고 많은 점들로 구성되어 묘사된다. 코로나 카메라는 이뿐만 아니라 150 m의 거리에서도 측정이 가능하고 비행체에 설치하여 측정할 수 있으므로 빠른 시간내에 활선 상태에서 송배전선로를 안전하게 진단할 수 있다[16].

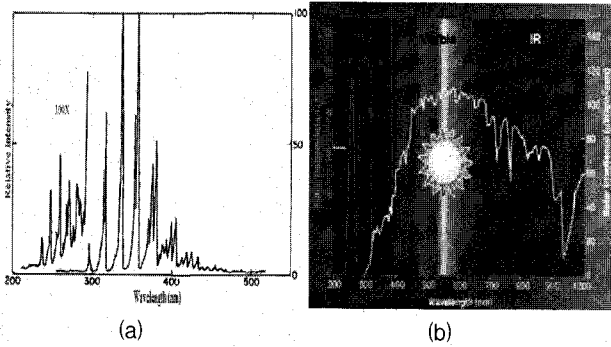


그림 9 코로나 방전 스펙트럼.
Fig. 9 Typical corona discharge spectrum.

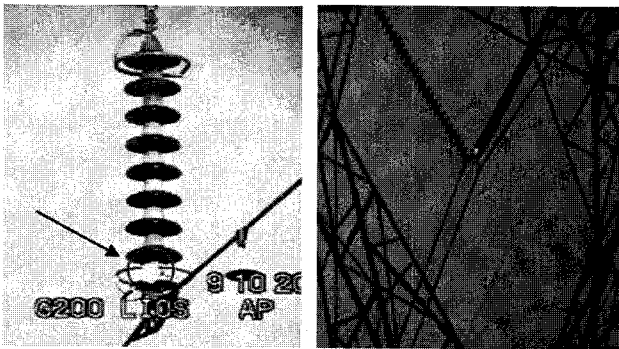


그림 10 코로나 카메라에 의한 송전선로의 불량애자 관측.
Fig. 10 Poor insulator observation of the transmission line by corona camera.

그림 10에서는 땅위에서 코로나 카메라를 사용하여 송전선로를 촬영한 것으로 하얀 플래시 같은 작은 점들로 나타난 부분의 애자에서 코로나 활동의 예를 보여준다. 이러한 불량애자의 원인으로 Sheath안의 큰 크랙 및 깨워진 자기애자로 발견되었다. 비록 코로나 활동이 한 불량한 구성요소를 지시할 지라도 그것은 정확한 것은 아니다. 예로써 도체 위에 새들의 배설물이나 죽은 벌레의 결과로 나타나기도 한다. 그러므로 관측자들은 불량으로 지시된 것과 양호한 코로나 지시근원 사이의 특징들을 구별할 수 있는 능력을 가져야한다.

국외에서는 변전소 안에서 코로나 검사 기술 적용이 시작되고 있다. 이러한 적용기술은 변전소에 대한 현장검사가 실행되어 설비 기기들은 검사를 받고 고장의 원인을 나타낼 수 있는 설비들은 바로바로 현장에서 교체되고 있는 실정이다. 검사 받거나 평가받는 구성원으로는 lighting arrestors,

support posts, 애자, 부상 그리고 오염된 절연물들을 포함하고 있다. 비록 코로나 활동이 배전 시스템에서는 일반적으로 행해지지는 않지만 종종 오디오 노이즈나 라디오방해의 원인이 되는 아크는 열화된 절연물에서 발생한다. 이러한 면에서 코로나 카메라는 배전 시스템의 검사를 위한 유용한 기구가 될 수 있다. 배전 시스템에서 배전라인에 설치된 애자에서 코로나방전을 보여주는 예로써 그림 11에서 보여진다.

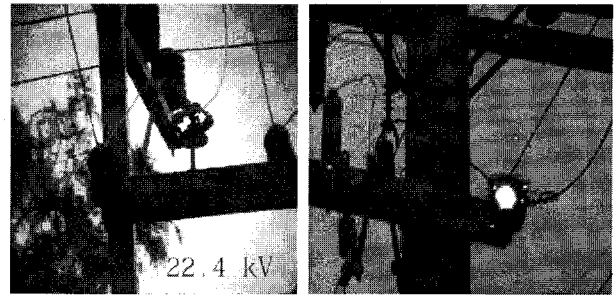


그림 11 코로나 카메라에 의한 배전선로의 불량애자 관측.
Fig. 11 Poor insulator observation of the distribution line by corona camera.

3.6 검출방법간의 비교평가

표 3은 송배전 선로에 사용중인 애자류의 제조공정상의 문제점이나 경년열화 등으로 인하여 발생하는 다양한 인자에 따른 불량애자 검출장치들에 대해 정량적으로 비교·평가한 것이다. 직접측정방법인 전압, 전류, 절연저항 측정 및 전계식 측정의 경우 절연물 측정은 대체적으로 정확하게 측정됨을 알 수 있으나, 그밖에 전력설비 및 작업의 효율성에서 다소 낮음을 알 수 있다. 초음파, 열화상 및 코로나 카메라를 사용하는 경우 대체적으로 애자의 열화 정도를 측정함에 있어 직접측정방법에 근사한 정확성을 가지고 있으며, 장주상태 및 통전상태 등의 측정에 있어서도 용이한 것으로 판단된다. 다만, 초음파 방식의 경우 건전애자와 불량애자의 구분이 어려운 점을 감안하여 작업의 효율성 면에서 다소 낮은 것으로 생각된다.

표 3 불량애자 검출방법의 비교·평가.

Table 3 Comparison and evaluation of poor insulator detecting methods.

	검출방법	절연저항	전계식	초음파	열화상	코로나
평	측정정도	○	△	△	△	△
	측정비용	○	△	△	△	△
가	장주상태측정	×	×	○	○	○
	통전상태측정	×	×	○	○	○
항	비파괴 측정	○	○	○	○	○
	작업 효율성	×	×	×	○	○
목	기술실적유무	○	○	○	○	○

○: 우수, △: 보통, ×: 좋지 않음

4. 결 론

전력설비의 효율적인 유지 및 보수를 위해 향후 국내의 전력계통 및 기술현황을 고려한 최적의 불량애자 검출기법을 제시하기 위한 일환으로 수행된 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 전압, 저항, 누설전류측정과 같은

직접측정방식의 경우 비교적 다른 측정방법에 비하여 정확한 측정이 가능하나, 각각의 예자에 대하여 측정하여야 함으로 많은 시간이 소요되며, 활성상태의 작업시 안정성에 따른 문제점을 가지고 있어, 전력수요의 증가 및 고전압화 추세에 비추어 볼 경우 적용이 용이하지 않은 것으로 판단되었다. 전계측정방법 및 초음파를 이용한 측정 방법의 경우 국내에서 개발되어 적용하고 있으므로 접근성에는 용이하나, 불량정도를 판별하기 위한 객관적인 기준 및 이론적 근거가 부족하며, 외부 환경적인 작용에 의해 정확한 검출이 어려우므로 외부 잡음 제거기술 개발 및 불량예자 검출의 판정기준이 마련되지 않고서는 적용하기에 부적합한 것으로 판단되었다.

적외선 카메라 및 코로나 카메라를 이용한 측정 방법의 경우 측정하고자 하는 전력설비로부터의 시야각에 따라 불량예자의 검출정도가 다르게 나타날 수 있으며, 고가의 장비라는 문제점을 가지고 있으나, 다른 검출방법과 정량적으로 비교하여 본 결과 검출정도의 신뢰성에 큰 차이가 없고, 시간적 경제성, 작업의 안정성 및 편의성 등을 고려한 결과 향후 국내의 전력설비 건전성 평가를 위한 방법에 가장 적합할 것으로 판단된다. 추후 추가적인 연구 및 설비를 투자하여 국내 송·배전 선로의 현장에서 꾸준한 검토를 수행한다면 산업화에 따른 국내 전력설비의 대형화, 고전압화에 적합하며, 검출결과와 신뢰성 및 활성 검출작업시의 안전성 등의 조건에 적합한 불량예자 검출방법을 실험적 근거를 토대로 좀더 정확히 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] G. T. Heydt, "Electric Power Quality, Stars in Circle Publications", Scottsdale, 1991.
 [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, H. W. Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996
 [3] C. R. Li, Y. C. Cheng, "Technique of detecting faulty insulator strings on ground", IEE Conference Publication, Vol. 4, Issue 467, pp. 135-138, 1999.
 [4] D. A. Swift, "CAP and PIN Insulators: An Assessment of Techniques for Detecting Defective Porcelain", IEE Conference Publication, Issue 273, pp. 32-38, 1987.
 [5] P. F. Ma, H. Y. Li, Q. Gao, Z. X. Song, "Radiation characteristic of pollutant on the insulators in the contamination and wet conditions", Gaodiyana Jishu/High Voltage Engineering, Vol. 33, Issue 9, pp. 56-60, 2007.
 [6] W. He, T. Chen, X. M. Liu, F. Yang, D. G. Yao, D. Xiong, "On-line monitoring system of faulty insulator based on non-touching UV pulse method", Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems, Vol. 30, Issue 10, pp.69-74, 2006.
 [7] H. Y. He, J. G. Yao, Z. L. Jiang, X. X. Wang, W. W. Li, "Infrared thermal image detecting of high voltage insulator contamination grades based on support vector machine", Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems, Vol. 29, Issue 24, pp. 70-74, 2005.
 [8] B. Vahidi, M. J. Alborzi, H. Aghaeinia, M. Abedi, "Corona detection on surfaces of insulators using ultrasound sensors and fiber-optic transmission systems", European Transactions on Electrical Power, Vol. 15, Issue 5, pp. 413-424, 2005.

[9] 전력연구원, "불량예자 검출기 기술자료 수집", 1994.
 [10] C. A. Young, P. T. Gallagher, "Multiscale edge detection in the corona", Solar Physics, Vol. 248, Issue 2, pp. 457-469, 2008.
 [11] H. Zhang, Q. Pang, H. Li, G. Zhang, "Detection of high-voltage corona based on UV spectrum technology", Guangzi Xuebao/Acta Photonica Sinica, Vol. 35, Issue 8, pp. 1162-1166, 2006.
 [12] H. D. Chandler, J. P. Reynnders, "Electrochemical damage to composite insulators", International Conference on Large High Voltage Electric Systems, p. 5, 1984.
 [13] A. Naderian, M. Saraye-Pasand, H. Mhseini, "A review of artificial contamination withstand test methods of high voltage outdoor insulators", Conference Record of IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 284-287, 2004.
 [14] F. J. Lambeth, "Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators", Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Vol. 118, Issue 9R, pp. 1107-1130, 1971.
 [15] J. Snell, J. Renowden, "Improving result of thermographic inspections of electrical transmission and distribution lines", Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol. 4020, pp. 115-126, 2000.
 [16] M. Lindner, S. Elstein, P. Lindner, J. M. Topaz, A. J. Phillips, "Daylight corona discharge imager", IEE Conference Publication, Vol. 4, Issue 467, pp. 349-352, 1999.

저 자 소 개



정순원 (鄭焯元)
 1998년 2월 영동대학교 정보·전자공학부(공학사). 2000년 2월 청주대학교 전자공학과(공학석사). 2004년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사). 2006년 3월-2007년 2월:영동대학교 컴퓨터공학과 전임강사. 2007년 3월-현재:한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문 Post-Doc.
 Tel : 042-860-6386
 E-mail : jungsoonwon@etri.re.kr



구경완 (丘庚完)
 1983년 2월 충남대학교 전자공학과(공학사). 1985년 2월 충남대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 2월 충남대학교 전자공학과(공학박사). 1998년 2월-1999년 2월 일본 우츠노미야 대학 박사후 연구. 1987년 6월-1989년 2월:현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1989년 3월-1994년 2월 충청전문대학 전자과 조교수. 1994년 3월-2005년 2월 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년 3월-현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수
 Tel : 041-540-9541
 E-mail : alarmkoo@hoseo.edu