

**송전철탄용 절연애자 불량 및 오손 검출장치 개발**

최광범\*, 어수영\*, 심종태\*, 류철휘\*\*, 구자윤\*\*  
태광이엔시\*, 한양대\*\*

**The Development Detecting Device for Bad and Pollution Porcelain Insulator**

Kwang-Bum Choi\*, Soo-Young Eo\*, Jong-Tae Shim\*, Cheol-Hui Ryu\*\*, Ja-Youn Goo\*\*  
TGE\*, HanYang University\*\*

**Abstract** - 송전 철탄에 취부되는 절연물인 자기애자는 외부 환경에 노출된 구조물으로서 오염이나 크랙등에 의해 절연성능이 손상받을 수 있다. 이러한 절연애자의 불량이나 오염정도를 감지하기 위하여 애자를 통하여 흐르는 누설전류를 분석하는 기법을 사용하여 불량 및 오손을 감지하는 장치를 개발하였다. 본 논문에서는 개발 장치에 삽입될 전체적 검출 알고리즘과 실제작동인 장치의 일부분에 관하여 다루었다.

**1. 서 론**

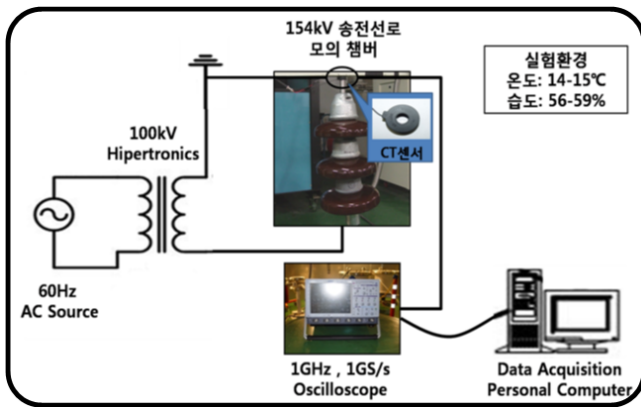
송전철탄에 취부되는 애자는 전선과 철탄접지의 절연을 유지하는 역할 외에도 전선의 지지역할을 하므로 전기절연성 및 기계적 강도를 확보해야 한다. 전통적으로 자기 재료를 이용한 자기(Porcelain)애자가 현재 주류를 이루고 있으며 765kV 송전 철탄에는 유리애자등도 사용되고 있는 실정이다. 자기 애자는 절연성과 기계적강도가 좋으나 자기 재료를 사용하므로 자체 무게가 무겁고 취급시 주의가 요하는 단점이 있다. 또한 외부 환경에 노출될 수 밖에 없는 상황으로서 염전해에 의한 오손이나 부분파손 혹은 장기간에 걸친 크랙등에서 자유로울 수 없다. 따라서 본 연구에서 절연물의 오손 및 불량을 검출을 위한 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 절연애자를 통해 흐르는 누설전류를 이용하는 방식이며 이는 세계적인 추세이다. 또한 검출 알고리즘을 탑재할 검출모듈을 제작하고 알고리즘이 원활하게 동작할 수 있도록 수차례에 걸쳐 튜닝을 하였다. 그 결과 만족할만한 동작범위를 가지게 되어 현재 고장 시험 벤 전소에 실제동 시험을 위한 준비중에 있다.

**2. 본 론**

**2.1 불량 및 오손 애자 검출을 위한 알고리즘 팩터 검색 실험**

**2.1.1 실험 구성**

알고리즘 구성 및 검출을 위한 실험 구성은 그림1과 같다.



<그림1> 실험 구성

실제 선로에서와 같은 구성을 모의 하기 위하여 고압실험실을 구성하였으며 실험 샘플로 사용한 정상애자는 36000lbs급의 154kV용 자기애자를 사용하였다. 불량애자 샘플은 현장에서 직접 수거한 크랙 애자를 사용하였다. 누설전류를 측정하기 위하여 CT센서를 사용하였으며 정밀도는 0.05mA 기준 99.95% 이상이다.

**2.1.2 기초 실험**

절연애자의 건전성 시험을 위해서 애자표면을 따라 흐르는 누설전류

를 이용하는 것은 세계적인 추세라고 볼 수 있다. 그러나 누설전류의 정량적인 지표로 따지는 것은 지극히 단순하면서도 정확한 결과를 낼 수 없는데 이는 절연애자의 오손이나 불량이나 모두 자체 절연저항을 감소시키는 원인이 되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 알고리즘을 구성하기 위한 요소로 기존 사고의 틀을 깬 새로운 검출 팩터를 조합하였다. 누설전류를 정량적으로 쟈 뿐만 아니라 여기에 현장 조건을 감안하여 습도의 인자를 추가하였다. 실험애자는 정상애자와 임펄스에 의한 탄흔이 존재하는 부분불량 애자를 먼저 기초적으로 누설전류 정량시험을 하였다. 기초 실험 결과 예상대로 인가전압의 증가에 따라 2개의 실험군이 모두 누설전류가 일정하게 증가하는 패턴을 보여주었다. 단지 정상애자보다 부분 불량애자가 누설전류량이 미량 더 증가하는 패턴을 보였으나 그 부분이 명확하지 않은 정도였다.

정량 시험 이후 열화상 카메라에 의하여 정상애자와 불량애자의 열적 변화를 관찰하기 위하여 열화상 카메라 시험을 하였다. 개별 애자에 장시간 일정 부단전압을 가압하고 열화상 카메라로 촬영한 결과 결론적으로 열화상 카메라를 통해서 애자의 불량을 관찰할 수 없다는 결론에 이르렀다. 그 이유는 부분 탄화라던지 크랙이 발생한 애자를 시험하였음에도 불구하고 열화상카메라에서는 온도의 변화감지가 거의 잡히지 않았으며 고가의 장비이므로 알고리즘이 개발된다 하더라도 현장적용에 경제적 제약을 줄 수 있다.

다음으로 정상애자와 불량애자에서 누설전류의 고조파 성분을 분석하여 보았다. 각각으로 실험하고 분석한 결과 고조파 성분은 특히 크랙으로 인하여 절연성능이 심하게 저하되어 있는 애자에서 3고조파 및 5고조파 성분이 조금 더 크게 나타나는 것으로 발견되었다. 그러나 염수를 주수한 이후에 한 시험에서 주수의 시간이 변화함과 실험의 반복에 따라 점차 불명확해져서 정상애자와 불량애자를 구분하는 팩터로 쓰기에 좀더 많은 실험과 시도가 뒤따라야 할 것으로 결론지어졌다.

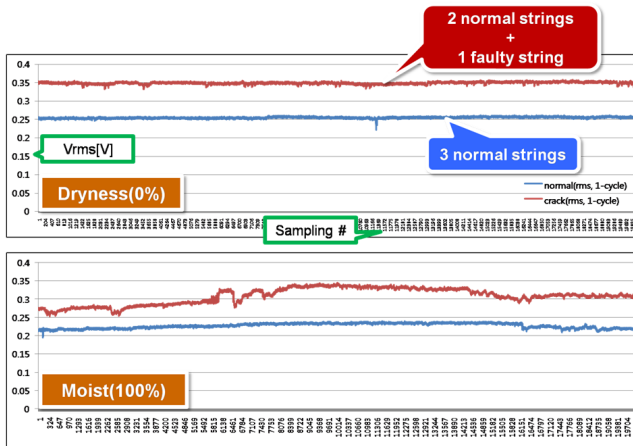
**2.1.3 불량애자 검출 시험**

본 연구를 위한 2.1.2항에서의 많은 시행착오와 오류를 거친 끝에 본 장비에서 채택한 검출 팩터는 현장 조건을 좀더 구체적으로 시행한 아이디어에서 비롯되었다. 송전철탄이 옥외에 설치되어 있으며 항상 오손과 습기에 노출되어 있는 환경이라는 점과 옥외 GIS 부분방진 시스템을 다년간 설치하고 진단한 경험에 비추어 비가 온 이후에 정상적인 절연물의 상태라면 표면 방진이 갖어드는 현상을 이용해 본 실험에서는 다음과 같은 2가지의 애자 조합군을 만들어 시험을 하였다.

- a) 정상애자 3개
- b) 정상애자 2개 + 불량(크랙)애자 1개

위의 샘플 두가지는 불량과 정상 애자를 구분하기 위한 극단적 샘플로 구성하였으며 시험은 애자를 염수에 일정시간 담갔다가 꺼내어 시험을 하는 방식으로 비온 후의 상황을 모의하였다. 데이터 취득을 위한 시험 구성은 그림1과 동일하였으며 시험 결과 그림2와 같이 취득된 데이터상에 두 샘플군간의 극명한 차이를 보여주고 있음을 발견하였다.

먼저 CT 후단에 일정 저항성분을 달아 전압값으로 채취한 누설전류량의 Vrms값을 분석한 결과 a)샘플의 경우 건조하거나 습윤하거나 동일하게 일정한 누설전류량을 유지하고 있음을 알 수 있다. 그러나 불량애자가 포함된 b)샘플의 경우 건조할 때 정상애자와 같이 일정한 전류량을 유지하고 있으나 습윤할 때 전류량이 꽤 큰 폭으로 지속 변화함을 알게 되었다. 또한 Vpp값을 분석한 결과 불량애자의 방전효과로 보이는 특성이 도출되었는데 이는 표1에서와 같이 정상애자련은 건조상태에서 습윤상태로 넘어갈 경우 Vpp값이 더 안정되게 유지되는 반면 크랙애자가 포함된 애자련의 경우 건조상태에서보다 습윤상태에서 변화율이 더 크다는 것을 알 수 있게 만드는 데이터가 출력되었다. 이런 현상은 수분



〈그림2〉 정상애자련과 불량애자포함 애자련의 누설전류값 (Vrms) 비교

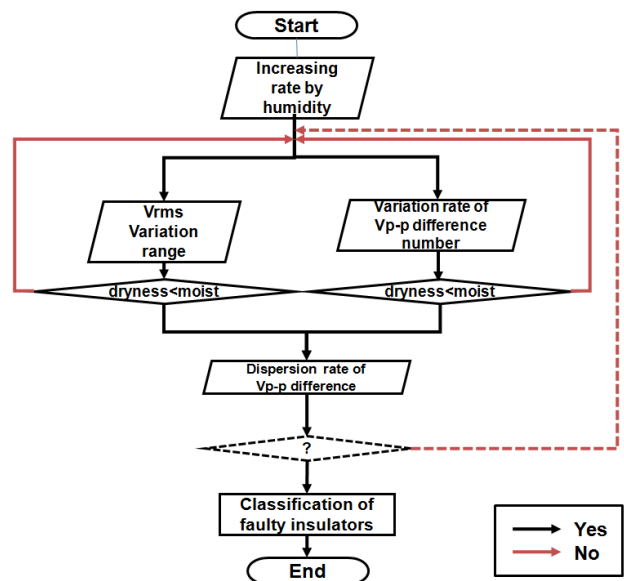
에 의한 절연체의 방전시 더 일부의 누설전류 에너지가 부분방전에 의하여 공기중으로 빠져나가서 발생하는 것으로 예상되며 이때 갑자기 누설전류량이 일시적으로 감소하였다가 다시 증가하는 현상으로 추정된다.

〈표1〉 불량 및 습윤에 따른 애자련의 Vpp 차등값 실험 결과표

Specimen Level	Specimen (1) vs. Specimen (3)	Specimen (2) vs. Specimen (4)
Level 4 (0.25)	-38.89	72.22
Level 3 (0.1875)	-39.73	48.69
Level 2 (0.125)	-6.15	15.10
Level 1 (0.0625)	1.77	3.16
Level 0 (0.0000)	3.85	-11.89
Level -1 (0.0625)	-0.30	0.67
Level -2 (0.125)	-5.37	18.32
Level -3 (0.1875)	-34.57	56.15
Level -4 (0.25)	-50.00	100.00

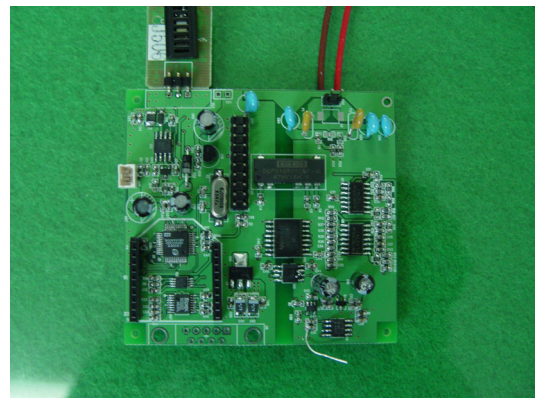
### 2.2 불량애자 검출 알고리즘

불량애자 검출을 가능하게 하기 위한 2.1항의 시험을 토대로 하여 본 개발과제에서는 여러 가지 알고리즘을 삽입하였는데 가장 기초가 되는 알고리즘은 2.1항의 시험결과를 이용하여 and 조건 처리하는 방식으로 결정하였다. 또한 오손애자는 습도가 높아질 때 누설전류량이 비선형적으로 증가하는 특성[1]을 이용하여 구분할 수 있도록 하였다. 오손과 불량 애자련이 공존하는 애자련에서의 정상애자 구분은 조금더 넓은 시야를 가지고 바라볼 필요가 있다고 사료된다. 따라서 본 장치에서 채택한 방식은 동일 지역내에 있는 애자에는 모두 동일하게 오손되어 있어서 같은 비선형 누설전류를 가지며 누설전류량이 오차범위 안에 들어 있다는 가정 하에 불량과 오손이 공존하는 애자련은 오손만 존재하는 애자련에 비해 누설전류 값이 조금더 크게 나타나며 특히 비은 이후에 습윤상태에서 애자련이 전체적으로 청결해지고 이때 각 애자련에 2.1항의 특징 알고리즘을 적용하여 불량애자를 검출하는 방식이다. 이외에도 불량과 오손애자를 구별하기 위해 분산도의 개념을 도입한 시험을 현재 진행중이다. 이런 알고리즘의 구성을 그림3에 나타내었다. 이 구성도는 완성본은 아니며 분산도의 개념과 구현된 하드웨어의 성능 및 향후 제품 완성도에 따라 몇 번의 수정작업이 이루어 질 것이다.



〈그림3〉 불량 및 오손애자 검출 알고리즘

### 2.3 불량애자 검출 모듈



〈그림 4〉 불량애자 검출 모듈

그림4에 제작된 불량애자 검출을 모듈을 나타내었다. 모듈에는 전류 검출부와 전원제어부 통신부 등으로 구성되어 있다. 통신은 Zigbee 통신을 사용하도록 되어 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 송전선 절연애자의 불량 및 오손을 검출하기 위한 장치를 개발하기 위하여 현장 수거 애자를 통한 고압 실험을 통하여 검출 알고리즘을 개발하였다. 또한 이 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 측정 모듈을 개발하고 고장 전력시험장에서 실증시험을 준비중이다. 이 장치의 개발을 성공적으로 마무리하기 위하여 남은 일들은 여전히 산적해 있다. 장치 개발을 위해 남은 일들을 아래와 같이 정리하였다.

- 철탑과 금구류 및 애자의 기능수행에 문제 없는 외장 개발
  - 장치 자체의 내구성 및 maintenane-free를 구현하기 위한 소자 선정
  - 강전계에서 물의 없이 통신하기 위한 통신 구성
  - 자율 전원과 긴 수명을 가진 전원저장장치 선정
  - 클러스터링 구성을 위한 USN 구성
- 위에 나열한 많은 문제들이 해결되었을 경우 본 개발장치는 세계적으로 수익성 있는 상품이 될것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

[1] 최인혁 외 3, “송전용 애자의 인공오손시험 기법과 누설전류 특성”, 한국조명 전기설비학회, 춘계학술대회, 2004년