

PD 측정을 이용한 배전용 EPDM에자의 성능평가

Estimation of EPDM Insulator in Distribution Line Using PD Measurement

송 일 근, 임 장 섭, 이 형 구, 천 중 옥
 한전 전력연구원, 목포해양대학교, 삼흥중전기, 삼흥중전기

Song Il-Keun, Lim Jang-Seob, Lee Hyung-Gu, Cheon J.W.
 KEPRI, Mokpo Maritime Univ., Sam-Heung Elec. Co.

<ABSTRACT>

Many researchers make efforts to develop an effective material with anti-degradation property. Specially, the porcelain type insulator is required exchanging to polymer insulator according to the environmental consideration.

In this paper, we have developed the estimation system using the PD testing. The approach of PD has been very successful applied to the various practical insulator.

1. 서 론

전력계통에는 여러 종류의 절연재료가 도전재료, 자성 재료 및 절연재료 등으로 사용되고 있다. 이 중 옥외용 절연재료는 타 분야의 재료에 비하여 장기간 사용되고 열악한 환경에 노출되어 있다. 이러한 이유로 옥외용 애자로 Porcelain Type 애자가 내아크성, 내후성, 내열성 등의 절연특성 갖고 있으므로 이용되고 있었다. 그러나 산업의 발전으로 인한 전력수요의 급격한 증가는 상기의 특성외에도 유지·보수, 소형화, 경량화 및 내환경성 등의 추가적인 기능이 요구되고 있다. 특히 종래에 사용되던 Porcelain Type 애자는 내열성, 내열화성, 기계적 강도 등이 우수하지만 가공 및 성형이 곤란하고, 환경적 절연특성 등에서 취약하여, 선진국에서는 약 20년전부터 폴리머 절연재료가 연구개발되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 배전용 22.9[KV] EPDM 애자를 이용하여 트래킹의 발생 및 진행 과정을 분석하고, 특히 산성비와 염해에 의한 트래킹 열화과정을 SEM, IEC-587법 및 PD 측정을 통하여 비교분석 및 각종가속실험 전후의 특성을 건전상태에서 판단하고자 한다. 그리고 마지막으로 SD 사진촬영을 통하여 SD 방전을 촬영하여 EPDM 애자의 가속열화에 따른 방전로 현상을 고찰하였다.

2. 트래킹 파괴

폴리머 절연재료의 성능은 주어진 환경 조건 하에서 시간이 경과함에 따라 열화 현상을 가져와 성능의 저하 및 파괴를 동반한다. 폴리머 열화 현상의 요인들은 환경 열화, 미생물에 의한 열화, 기계적 열화, 방사선광에 의한 열화, 열적열화 및 전계로 인한 열화 등을 들 수 있으며, 그 중에서 열적열화와 전계로 인한 열화가 중요한 요인으로 작용한다. 이 중 전계적 요인의 하나인 트래킹 파괴현상은 절연물의 표면에 수분이나 이온성 물질, 화학약품, 염분 등 오염물이 부착하여 오염물질의 전도성을 따라 누설 전류가 흐르고, 이 누설 전류에 의한 Joule 열의 발생으로 부분건조되어 건조점과 건조대가 형성되어 전로가 분단된다.

내 트래킹성의 시험법은 결과의 재현성을 향상시키기 위하여 IEC-112법 및 IEC-587법 등이 있고, Dust & Fog 법, 모세관법, DIP법 등 거의 20여 종류 이상의 방법이 제안되었다.

기존의 트래킹 특성은 가속열화에 대한 여러가지 조건에 대해서 비교분석하는 분야가 대다수를 차지하고 있다. 이러한 Lab Testing의 문제점은 다음과 같다.

- 장기간 테스트에 대한 신뢰성 평가가 부족하다.
- 발전상태에서 불가능.
- 장비의 휴대성 여부가 문제
- 열화정도의 불분명한 판단근거.

본 연구에서 상기의 진단시스템 연구를 위하여 1차적으로 개발하고자 하는 연구내용은 다음과 같다.

- 열화시 폴리머 표면의 변화. (SEM)
- Surface Discharge(SD) 의 촬영.
- 건전상태에서의 EPDM재료의 상대비교.
- Tracking Wheel 전후의 PD 분석.

3. 실험방법 및 가속열화

트래킹과 같은 표면열화의 오랜 연구기간에도 불구하고, 명확한 열화진단 및 평가가 많은 문제점을 갖고 있다. 특히 신개발품의 성능을 가속열화하여 판단하는 방법 역시도 상당히 어려운 실정이고, 만족할 만한 결과나 기준이 제안되지 않고 있다. [ASTM(1979)]

여러 가지의 단기적 실험을 통하여 가속실험 및 열화 요소로서 염수가 가장 치명적인 부분으로 추정되고, 또한 SD, PD에서도 가장 효과적인 가속 오손액으로 판단된다.

3-1. IEC 587법

실험에 사용한 시험장치는 IEC에서 규정한 IEC-587법으로서 두께 6[mm]내외의 시편을 50[mm]×120[mm] 크기로 절단하여 45°로 경사지게 배치하고, 고압측에는 회로의 안정성을 위하여 전류제한용 저항(33kΩ, 300W)을 부착하였다. 과전류단로기는 고전압측에 1[A]이상의 전류가 2초간 흐를 때 차단되도록 제작하였다.

시험액의 유량을 일정하게 유지하기 위해 상부전극과 시료 사이에 엠보성지(Filter paper)를 삽입시켰다. 오손액과 염수를 공급하는 장치로서 튜브펌프를 제작하여 분당 0.6[ml]을 시험장치의 상부전극으로 공급하였다. 실험에서의 내트래킹성 시험방법은 시료의 양단에 4.4[kV]의 전압을 인가하였다.

3-2. 22.9[KV]급 EPDM 애자

표 1은 현재 시험된 EPDM 애자를 시료별 구분하여 실험한 조건이다. 특히 A1, B1, C1는 IEEE에서 권장하는 Wheel Test를 수행한 후의 시료이다.

표 1. 22.9[KV]급 EPDM 애자의 시료별 구분

Symbol	Wheel Testing	육안판정	물리적손상	개발상황
A1	30,000 회	Worst	.	Old Type
A2	0 회	Bad	.	Old Type
A3	0 회	Good	.	New Type
A4	0 회	Good	.	New Type
B1	30,000 회	Worst	.	Old Type
B2	0 회	Bad	손상	Old Type
C1	30,000 회	Worst	.	Old Type
C2	0 회	Good	.	Old Type

3-3. PD Measurement

방전이 일어나면 시료의 리드 선에 전류임펄스의 패턴이 생긴다. 여러 가지 회로가 이들 임펄스를 검출하기 위해 사용되지만

검출되는 방전신호의 특성은 짧은 임펄스의 연속발생과 같은 클러스터(Cluster) 그룹으로 측정된다. 이들은 50 또는 120 [Hz]의 반복주파수를 가진다. 이 신호를 더

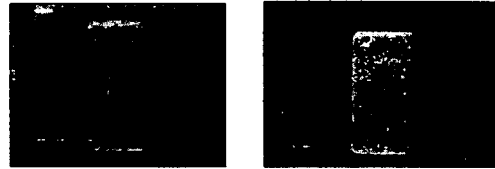
다루기 위해 임펄스 신호펄스들의 상대적인 위치와 클러스터 그룹에서의 상대적인 크기만을 취급한다. 이런 간략화된 요건으로 인해 증폭기의 선택과 신호를 다루는 데 있어서 자유롭게 된다. 이로 인하여 방전 검출기의 감도를 최적화 할 수 있다.

측정되는 방전 검출회로의 감도는 최소의 부분 방전에 의해 규정된다. 최소의 검출가능한 방전의 크기는 피코쿨롬(pC)의 범위에서 표현된다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 염수 및 산성염수 가속실험(IEC-587)

현재 단계에서는 명확한 결론을 내리기가 어렵다. 그것은 실험대상의 모든시료가 IEC-587의 규정하는 6시간 이상으로 견디고 있기 때문이다. 그러나 시료의 침식과 같은 부분은 상당히 많은 차이를 보이고 있다.



(a) 인공산성염수 (b) 염수
사진 1. 인공산성염수 및 염수 트래킹. (4.4[KV])

사진 1은 인공산성염수 또는 염수를 이용하여 실험한 후의 표면침식을 확인한 결과이다. 일반적으로 오손액을 일정한 정도로 비교하는 것은 어렵지만 염수에 대한 표면침식이 많은 문제점을 가지고 있음을 추론할 수는 있었다.

이러한 토대로 일차적인 가속조건으로 염수를 선택하여 시제품의 열화실험을 수행 하였다.

4-2. SEM

폴리머의 표면상태는 내트래킹성을 결정하는 대단히 중요한 요건이다. 특히 IEC-587법과 조합하면 기본적인 폴리머의 제작상태를 추정할 수 있다. 표면의 비교를 위하여 1000배 및 5000배로 확대하여 EPDM의 표면상태를 조사하였다.

본 연구에서는 최초 개발상태에서 표면을 조사하였다. 사진 2는 최초 제작된 시제품의 표면 상태이며 상당히 고르지 못한 면의 상태를 확인하여, 1차적으로 EPDM소재의 재질을 개선시키고 적절한 필라를 선택하여 반복적인 개선작업을 수행한 결과 사진 3과 같은 비교적 개선된 표면상태를 제작할 수 있었다. 이에따른 장기간의 성능개선에 까지 평가를 내리지는 못했으나 외국의 개발된 제품에 대해서 상당히 개선된 것으로 추정된다.

IEC-587 결과에서도 비교적 EPDM의 표면 침식이 상당히 감소하였음을 확인하였다. 그러나 현재의 프로세서

에서는 다음과 같은 표면의 결함이 존재하고 있고, 결함의 모형으로 추정되는 결은 EPDM의 가교중에 발생하는 가스 부산물이 표면의 상태를 약화시키는 것으로 추정되며, 이러한 점을 지속적으로 개선하려는 연구가 진행 중이다.

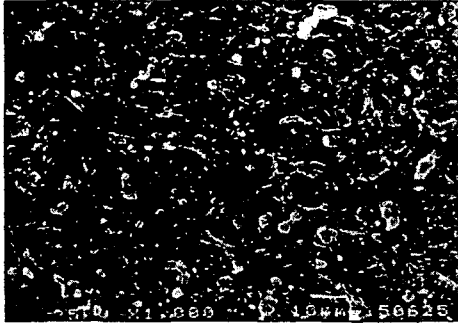


사진 2. 최초 EPDM 애자의 표면상태

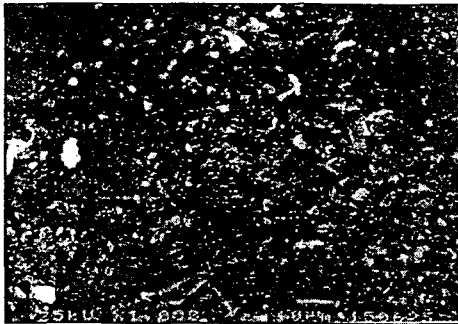


사진 3. 1차 개선후 EPDM 애자의 표면상태

IEC-587 실험에서는 EPDM의 트래킹 열화가 어떤 과정을 거치는가를 비교적 빠르게 확인할 수 있다.

4-3. SD 사진촬영

애자에서 발생하는 SD의 관측은 기존의 사진촬영으로 손쉽게 확인된다. 그러나 효과적인 확인을 위해서는 적절한 노출(F 및 S)이 요구된다. 특히 SD의 방전량이 노출시간을 결정한다. 본 실험은 반드시 암실에서 수행하여야 하며, 인가전압과 PD 측정량을 통하여 수행한다.

특히 방전량이 20[pC]인 경우에는 2시간 이상의 노출시간이 요구된다.

SD의 진행은 다음과 같은것으로 추정된다.

- Step-1> 초기에는 대단히 미세한 SD 혹은 미발생.
- Step-2> 상부전극에서 청색형 SD 관측.
- Step-3> 열화가 진행된 후, 중간층에서의 SD가 관측.
- Step-4> 중간층에서 옐로우색 SD 관측.
- Step-5> 애자의 전 구간에서 SD발견 및 SD면적 증가.
- Step-6> 트래킹 파괴에 도달.

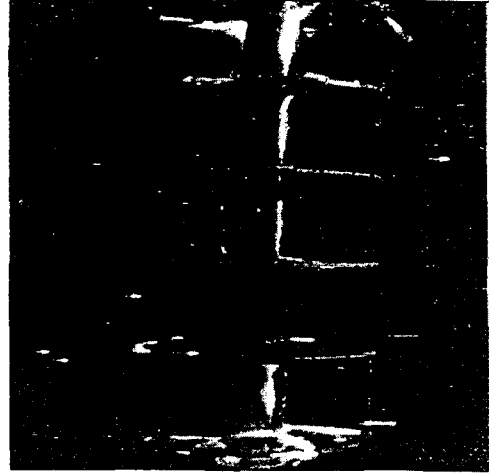


사진 4. 층간에 집중적인 SD가 발생하는 경우.

상기의 고찰에서 트래킹 열화와 SD진행의 상관관계를 확인 할수 있으나, 건전상태에서 발견하는데는 상당한 노출시간으로 인하여 보다 집중적인 연구가 요구된다.

4-4. PD Measurement

본 연구에서는 건전한 상태에서 EPDM 애자를 비교분석하고자 한다. 이때의 최적 방법 중의 하나로 PD를 제안한다. 이것은 추후 진단시스템의 실용화에서도 대단히 중요한 관점이기 때문이고, 주된 목적은 다음과 같다.

다음에 기술되는 4장의 그림은 건전한 상태, 즉 염수나 다른 오손액 상태에서 실험한 경우에는 열화판정이 어렵기 때문에 건조된 정상적인 상태에서 인가전압의 약 200% 까지 상승하여 PD 방전량을 측정하였다. 전압 인가는 스텝식의 전압상승을 하였다. 500[Volt/sec]의 승압속도로 매회 5[KV]의 단계로 상승하고 1분간 전압을 일정하게 유지하였다.

상기의 결과로 각각의 우열성을 평가하기에는 데이터가 부족하지만, 다음과 같이 근사적인 평가를 하고자 한다. 현재까지의 판정 상태는 상기와 같다. >기호는 우열성 판단이 가능한 정도를 의미하고 ≥는 다소 애매함을 의미 하였다. 그러나 각각의 제품 편차는 고려되지 않았다.

- Wheel Testing 후의 샘플중 [A1, B1, C1]

$$B1 > A1 > C1$$

- A형 제품에 대한 평가. [A1, A2, A3, A4]

$$A3 \geq A4 > A1 \geq A2$$

현재 개발된 A3나 A4의 경우가 상대적으로 구형 모델보다도 우수하다. 특히 A2의 경우에는 45 [KV] 이상에서 급격한 PD 및 SD의 증가가 확인된다.

- PD분석으로 추정되는 모든 샘플의 건전성 평가

$$A3 \geq A4 \geq B1 > A1 \geq A2 \geq C1 \geq B2 > C2$$

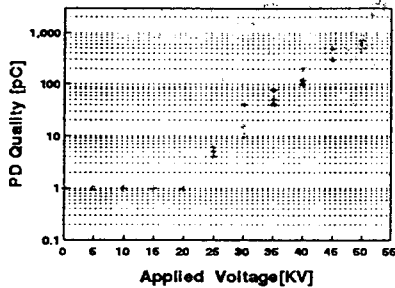


그림 1. A1 제품의 PD 측정.

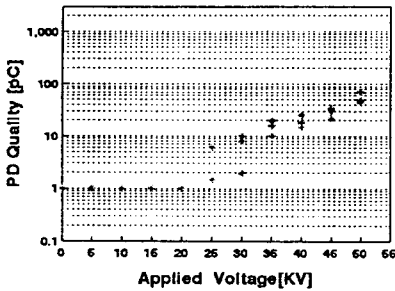


그림 2. A3 제품의 PD 측정.

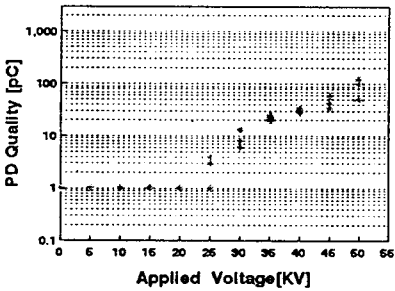


그림 3. B1 제품의 PD 측정.

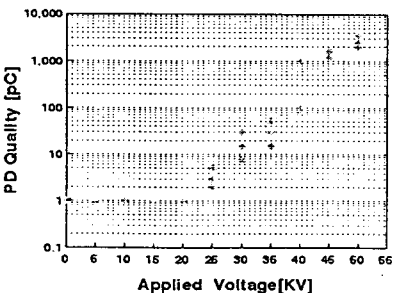


그림 4. C2 제품의 PD 측정.

4-7. 허용가능한 PD 허용량에 대한 고찰

현재의 비교 데이터만 가지고는 상당한 신뢰영역을 확보하기가 어렵다. 그러나 비교적 우수한 조건으로 선정된 22.9[KV]급 폴리머 애자에서 허용가능한 범위는 다음과 같이 고찰되었다.

제품의 PD 측정에 대한 지속적인 고찰이 요구된다. 즉 인가전압의 130 혹은 150 %의 스트레스에서 발생하는 PD량을 허용할 수 있다고 보고하고 있다. 그러나 이는 대단히 신뢰도가 높은 영역으로 추정되고 최근에 CI GRE를 중심으로 전력설비의 수명연장을 위한 인자 및 허용치를 다시 연구과제로 상정하고 있다.

현재의 시험대상만을 전제로 한다면, 최초 제품은 20 %의 인가전압 상태에서 100 [pC] 이하를 요구할 수 있다. 또한 이에 대한 습도나 온도적인 고찰은 보다 많은 데이터적 반복이 요구된다. 또한 일반적인 시험요건인 Wheel Testing 후에 허용가능한 PD량은 약 300 [pC] 이하로 규정하는 것이 적정할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 배전급 EPDM애자의 성능평가 및 개발을 위하여 IEC-587, SD, PD 등의 연구를 중심으로 절연성 평가 및 시제품 개발을 수행한 결과는 다음과 같다.

1> 트래킹파괴는 최초 미소발광방전으로 인한 표면손상 및 Crack을 형성한다. 특히 EPDM은 Crack 진행을 억제하는 Crack진행 저감효과가 있다.

2> SD는 인가스트레스에 의해서 발생 위치가 결정된다. 즉 열화초기에는 상부전극에서 SD가 발생하지만, 점차적으로 애자 중간부분으로 이동하고 최종적으로는 전역역에서 관측된다.

3> PD는 건전상태에서 열화판정 및 전전성 평가가 가능하다. 다른방법보다도 높은 재현성을 갖는다.

4> 최초 제품은 200%의 인가전압 상태에서 100 [pC] 이하가 요구되고, Wheel Testing 후에는 허용가능한 PD량은 약 300 [pC] 이하가 적정하다.

상기와 같은 중간 결과를 얻을 수 있었으나, 반복실험 및 다양한 제품개발이 요구되고 있으며 제조과정의 많은 문제점을 지속적으로 개선하려고 노력해야 한다. 특히 전 세계적으로 관심이 고조되고 있는 진단시스템의 개발에 대한 체계적인 연구와 고찰이 필요하다.

<REFERENCE>

1> "배전용애자류의 고품질 기술개발", 제 1 회 신기술 개발 워크샵, 한전전력연구원, 1998.