

초고압애자의 ESDD 및 NSDD 측정을 통한 내환경 특성 연구

이상윤\*, 임윤석\*, 이원교\*, 이동일\*, 신구용\*  
한전전력연구원\*

A Study on Environmental Characteristic of Insulators for Ultra High Voltage Using ESDD and NSDD Measurement

Sang-Yun Lee\*, Yun-Seog Lim\*, Won-Kyo Lee\*, Dongil Lee\*, Koo-Yong Shin\*  
Korean Electric Power Research Institute\*

Abstract

송배전용 설비에 사용되는 애자의 신뢰성은 전기적인 절연성질과 기계적인 내구성 뿐만 아니라 애자가 설치된 송전선로의 오손에 의한 내환경성에 의해서도 결정될 수 있다. 지금까지 염분 및 분진이 심한 지역에서 오손물이 애자에 미치는 영향에 대한 연구는 전기적, 기계적 신뢰성에 영향을 미치는 오손물질의 성분 분석 등을 통해 저압과 고압의 환경에서 진행되어 왔다.[1] 본 논문에서는 2003년부터 우리나라에서 운전해 오고 있는 765kV 애자오손 신뢰성 검토와 미국 전력연구원(EPRI)에서 수탁받은 765kV 고분자애자 특성연구의 일환으로, 765kV 상용선로에 사용되는 애자류에 대한 장기열화특성을 연구하기 위해 765kV 실증 시험설비를 구축하였다. 아울러, 765kV 애자 장기열화특성 분석을 위한 기초연구로 염분 및 분진 오손도를 측정하여 765kV 환경에서 애자종류에 따른 오손 특성을 검토하였다. 그 결과, RTV 실리콘고무 코팅 애자가 자기 및 유리제 애자에 비해 염분 오손도 면에서 비교적 우수한 특성을 지님을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

송배전용 설비에 사용되는 옥외 절연물로는 자기제나 유리제 애자가 주로 사용되어 왔고 최근 신소재의 발달로 가볍고 절연 성능이 우수한 폴리머애자(composite insulator)가 보편화되기 시작하였다. 배전급과 500kV급 이하에서 폴리머애자에 대한 연구는 상당히 진행되어 왔지만, 765kV 폴리머애자에 대한 오손특성 연구는 염분오손도가 낮은 오손지역에서만 국한되어 왔다.[2] 현재 765kV 2회선 시험선로가 구축되어 있는 한전 고창전력시험선로는 해안가에 인접해 있어 염해오손등급이 높은 지역에 위치하고 있어 오손등급이 높은 고전압 시험에 유리한 조건을 가지고 있다. 이러한 배경의 일환으로 한전전력연구원에서는 EPRI로부터 “전력연구원 고창 시험설비를 활용한 765kV 고분자애자의 열화특성에 관한 연구” 과제를 수탁받아 LAPP, Maclean, NGK에서 제작한 폴리머애자의 장기열화특성 연구와 염해지역에 속해 있는 765kV급 송전용 애자오손특성을 분석하기 위해 자기제, 유리제 및 RTV 실리콘 고무(Room Temperature Vulcanizing Silicone Rubber)코팅 애자에 관한 오손연구도 진행하고 있다. 본 논문에서는 765kV급 송전선로용 자기애자, 유리애자 및 RTV 실리콘 고무코팅 애자와 폴리머 애자에 대한 절연열화특성을 연구하기 위한 시험설비 구축현황에 대해 설명하고, 765kV 실증 애자오손 측정결과를 검토하고자 한다.

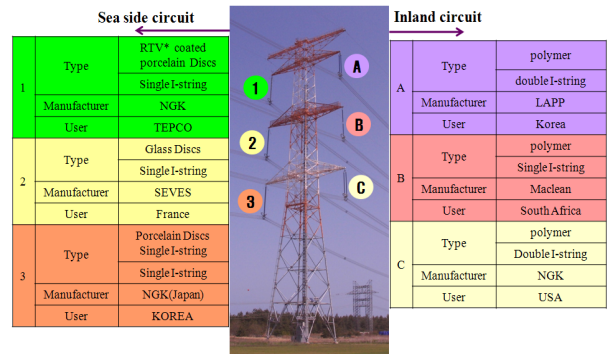
2. 본 론

2.1 시험설비 구축 및 현황

765kV 장기에자 열화시험을 위한 시험설비 구축현황 개요는 <그림 1>에서 확인할 수 있다. 먼저 좌측암의 경우, 상단부터 하단까지 ① RTV 실리콘 고무코팅 애자 ② Glass 애자 ③ 자기애자 순으로 설치하였고, 우측암은 모두 폴리머애자로 상단부터 하단까지 ④ LAPP ⑤ Maclean ⑥ NGK 제작사 순으로 설치하였다.<표 1> 한편, 각각의 암에는 실시간 누설전류 측정 장치(2.1.1 절)를 설치하였고, 좌측암에는 애자오손 상태를 측정하기 위해 각각의 암 옆에 같은 종류의 파일렛 애자를 추가로 설치하였다.

<표 1> 애자오손도 측정 시료

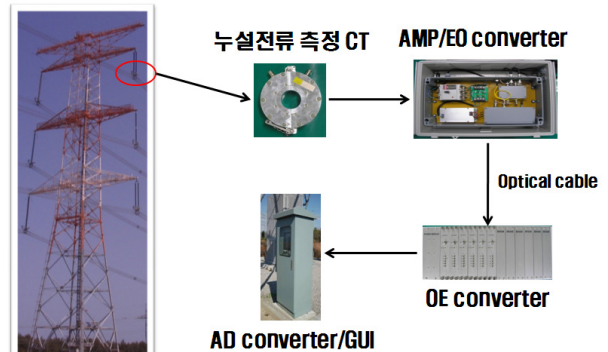
좌측암	종류	우측암	종류
상 단	RTV 실리콘 고무코팅 애자(NGK)	상 단	폴리머애자(LAPP)
중 단	유리애자(SEVES)	중 단	폴리머애자(Maclean)
하 단	자기애자(NGK)	하 단	폴리머애자(NGK)



<그림 1> 765kV 시험선로 철탑

2.1.1 765kV 폴리머애자 실시간 누설전류 측정장치

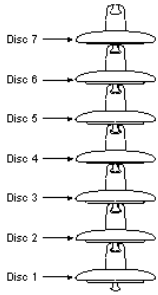
각각의 애자에는 가압상태에서의 애자에 흐르는 누설전류를 측정하기 위해 고속 광신호 DATA 측정장치를 이용한 실시간 누설전류 측정장치를 설치하였다. 신호 전송은 상용주파과전압 및 개폐과전압에 의한 측정시스템의 보호와 DATA 신뢰를 위해 애자에 설치된 CT에서 GUI까지는 광케이블을 사용하여 광신호를 사용하고 있다.



<그림 2> 실시간 누설전류 측정장치

2.2 애자오손도 시험

애자오손도를 정량적으로 측정하기 위하여 좌측 암에는 실제 전선을 지지하고 있는 애자와 같은 종류의 파일렛 애자 7개를 상단암에서 하단암까지 RTV 실리콘 고무코팅 애자, 유리애자, 자기애자 순으로 설치하였고, 오손도 측정은 가장 많이 사용하는 등가염분부착 밀도(ESDD ; Equivalent Salt Deposit Density)와 비용해성부착 밀도(NSDD ; NonSolubal Deposit Density)를 택하였다. 오염물질을 채취하기 위한 방법은 증류수를 이용하여 애자표면을 세척하는 필세법을 사용하였고 측정당시 온도에 따른 오차를 보정하기 위해 측정결과를 20℃를 기준으로 온도보상을 해주었다. 오염물 채취는 애자의 최상단과 최하단을 제외하고 매달 Round-Robin 방식으로 2번 애자부터 상단으로 시행하였다.



Disc	Time interval
Disc 2	Every month
Disc 3	Every 3 months
Disc 4	Every 6 months
Disc 5	Every 12 months
Disc 6	At 24 months
Disc 1 & 7	Not used

〈그림 3〉 애자오손도 측정을 위한 파일럿 애자

### 2.2.1 등가염분부착밀도(ESDD)

20°C 기준의 ESDD를 계산하기 위해 IEC 600507 기준을 사용하였다. 먼저 증류수를 이용한 애자세척물의 전도도를 온도와 함께 측정하고 아래와 같은 계산으로 온도보상 후 20°C 기준의 ESDD를 계산하였다.[3]

$$ESDD = \frac{V}{A} (5.7 \cdot \sigma_{20})^{1.03} [mg/cm^2]$$

$$\sigma_{20} = \sigma_t [1 - b(t - 20)]$$

$$b = 3.2 \times 10^{-8} \cdot t^3 + 1.032 \times 10^{-5} \cdot t^2 - 8.272 \times 10^{-4} \cdot t + 3.544 \times 10^{-2}$$

$\sigma_{20}$  : 온도 20°C 기준 전도도[S/m]

$V$  : 증류수 부피[mL]

$A$  : 애자세척 단면적[cm<sup>2</sup>]

$b$  : 온도보정 상수

### 2.2.2 비용해성부착밀도(NSDD)

비용해성부착밀도는 증류수로 세척한 오손물을 GF/A 1.6μm 필터지에 걸러 준 뒤 자연 건조시켜 비용해성부착밀도를 다음과 같이 계산하였다.

$$NSDD = \frac{1000 \cdot (W_f - W_i)}{A} [mg/cm^2]$$

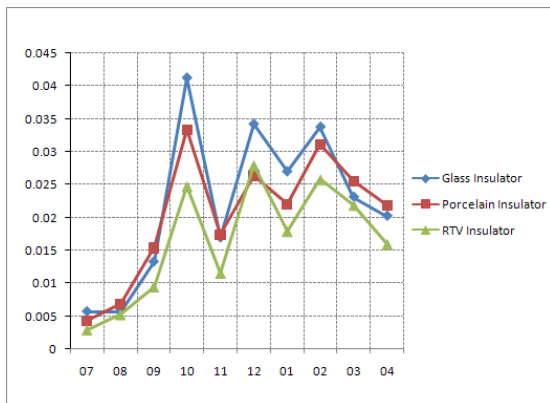
$W_f$  : 오손물을 거른 후 건조한 필터지 질량[mg]

$W_i$  : 필터지 초기질량[mg]

$A$  : 애자세척 단면적[cm<sup>2</sup>]

## 2.3 애자오손도 측정 결과

### 2.3.1 등가염분부착밀도(ESDD)

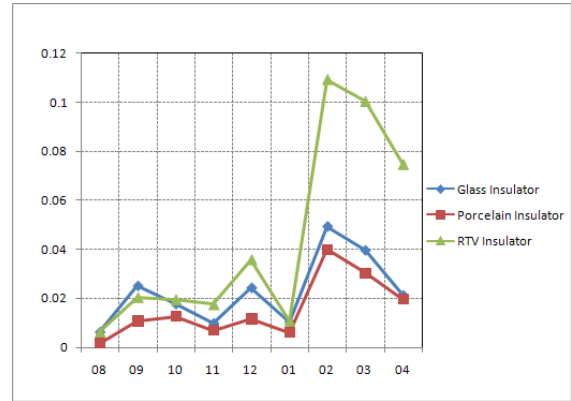


〈그림 4〉 #2 Disk ESDD 측정결과

위 세 종류의 시료에 대한 ESDD 측정결과는 <그림 4>에서 확인 할 수 있다. 측정값의 정확도를 위해 자동 ESDD 측정 장비의 측정값과 비교한 결과 본 연구를 위해 사용한 필세법은 신뢰할 만한 수준으로 결론지을 수 있다. <그림 4>의 결과는 전반적으로

우기와 건기에 따른 경향성을 확인 할 수 있으며, 7월과 8월의 하절기에 강수량 증가에 따라 애자표면의 염분 부착 밀도가 낮아짐을 볼 수 있다. 특히 11월과 1월은 매월 측정 기준일(25일) 전에 각각 강수량과 강우량의 증가로 ESDD값이 줄어든 것으로 판단된다. 특히, 세 종류의 애자의 염분부착특성을 비교해 볼 때 RTV 실리콘 고무코팅-자기-유리제질의 애자 순으로 RTV 실리콘 고무코팅 애자가 염분오손 면에서는 우수함을 확인할 수 있었다.

### 2.3.2 비용해성부착밀도(NSDD)



〈그림 5〉 #2 Disk NSDD 측정결과

같은 시료에 대하여 NSDD 측정결과는 <그림 5>에서 확인 할 수 있다. 강수 및 강우에 따른 경향은 ESDD와 비슷하나 전반적으로 비용해성부착밀도는 RTV 실리콘 고무코팅-유리-자기제 애자의 순으로 RTV 실리콘 고무코팅 애자표면에 비용해성 물질이 더 잘 부착되는 경향성을 확인 할 수 있다. 특히 2월 20일, 3월 16, 17일에는 이 지역에 황사가 관측되어 전체적으로 NSDD값이 증가하였고 RTV 실리콘 고무코팅 애자의 경우는 평균보다 5배가량 증가함에 따라 공장지대와 같은 분진발생이 빈번한 지역에서는 절연특성의 급격한 저하를 예측할 수 있었다. 2.3.1절에서 살펴본 ESDD 결과와 비교해 볼 때 RTV 실리콘 고무코팅 애자는 염분오손도가 높은 해안가 주변에서 상대적으로 우수한 성질을 나타내고, 유리애자는 해안가에서 비교적 취약하며 자기애자는 분진발생 지역에서 우수한 특성을 지님을 확인할 수 있었다.

## 3. 결 론

765kV 실증선로에서 애자의 절연 열화특성을 종합적으로 연구하기 고창전력시험센터 765kV 시험선로에 RTV 실리콘 고무코팅, 자기, 유리제질의 애자와 각각의 파일럿 애자, 그리고 초고압 폴리머애자를 설치하였다. 이와 동시에 각각의 애자에 대한 누설전류를 감시하기 위해 고속 광신호 실시간 누설전류측정 장치를 설치하였다. 본 논문에서는 상기 애자 중에서 고창전력시험센터의 애자오손환경을 측정하기 위해 파일럿 애자에 대한 기상요소에 따른 오손특성을 약 1년동안 1차적으로 분석하였고 그 결과, RTV 실리콘 고무코팅 애자가 염분오손 면에서 가장 우수한 특성을 보였다. 향후, 765kV 폴리머애자의 열화상태를 종합적으로 연구하기 위해 기 구축한 누설전류측정기의 측정값과 아울러 소수성 시험을 통한 절연 및 열화상태변화를 실증·분석하여 765kV 애자의 열화특성을 연구하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김찬영, "비용해성 산업용 분진이 배전용 자기제 현수애자의 전기적 특성에 미치는 영향", 대한전기학회 논문지, 50C-4-5, 182p, 2001
- [2] 이병성, "육외에서 사용되는 배전급 폴리머 현수애자의 오손 특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 50C-7-5, 340, 2001
- [3] Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems, IEC 60507