

송전용 애자의 장기실증시험 분석

(A Characteristic analysis of EHV insulators on long-term outdoor tests)

최인혁 · 최장현 · 정윤환 · 이동일

(In-Hyuk Choi · Jang-Hyun Choi · Yoon-Hwan Jung · Dong-Il Lee)

Abstract

Experimental equipments for long-term outdoor tests of EHV insulators in outdoor were constructed. The testing insulators have been energized with 89 [kV] phase-to-ground AC voltage under identical condition at station, and the investigation was carried out for leakage current and various environments such as temperature, relative humidity and wind velocity. The test results of leakage current wave trends have forms on distorted waves including harmonics. The porcelain and glass insulators have low leakage current in case of daytime because moisture and humidity have relative low values. In comparison with these conditions, high leakage current was shown at dawn and rainy day due to high humidity. However, leakage current of polymer insulators was shown approximately 120 [μ m] without relation to the weather due to hydrophobicity on their surface.

1. 서 론

오늘날 산업 발전과 문화생활의 발달에 따른 전기에너지의 수요가 증가하면서 대용량 에너지의 장거리 송전에 필요한 전압 격상과 함께 환선상태에서도 금구류의 기능 저하에 대한 측정에 관한 연구에 관심이 높아져가고 있다.[1] 그중 송전선과 철탑과의 절연 기능을 하는 애자는 작업자의 안전과 선로의 신뢰성을 결정하는 가장 중요한 역할을 담당하고 있으며 그 종류는 자기애자, 유리애자 및 폴리머애자가 사용되고 있다.[2-4] 이들의 오손요인은 크게 지형적 요인, 기후적 요인, 환경적 요인 등과 애자의 내부 균열, 특히 두부의 균열에 의한 열화가 발생하면 누설전류가 크게 증가하여 작업자의 안전에 위협을 제공한다.[5] 따라서, CIGRE, IEEE 등 외국의 연구단체에서 옥외 시험을 위한 실증시험장을 구축하여 인공적으로 애자를 오염시켜 애자의 누설전류 및 내전압(withstand voltage) 특성에 관하여 연구되고 있다.[6] 또한 각 국가 마다 자국에 맞는 실증시험장을 구축하여 환경적 변화에 따른 송전용 애자의 특성이 분석되고 있다.[7]

따라서 본 연구에서는 외옥장기시험장을 구축하여 시험용 변압기를 이용하여 154 [kV]의 상전압인 89 [kV]를 인가하여 가공송전용 자기, 유리, 폴리머 애자의 경년품 및 신품에 대한 누설전류와 외부 환경요소인 온도, 습도, 풍속과의 관계를 분

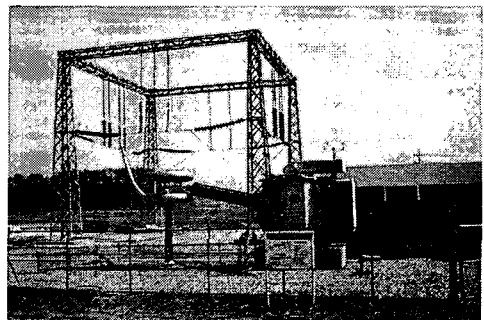
석하였다.

2. 본 론

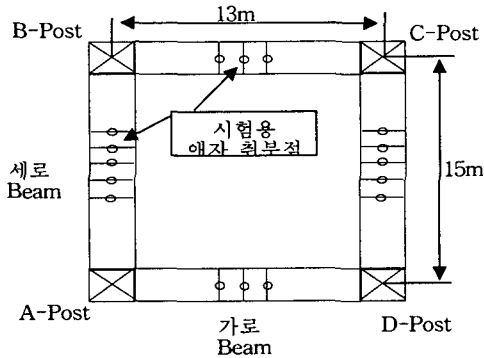
2.1. 실험장치 및 방법

2.1.1 장기실증시험 설비 구축

송전용 애자의 누설전류를 측정하기 위해 먼저 옥외 장기실증시험 설비를 구축하였다. 그림 1은 옥외 장기실증시험장과 철구 구성도이다. 본 구조물은 가로 13 [m] 세로 15 [m]이고, 상부구조물과 송전선의 거리는 6 [m] 송전선과 지상과의 높이는 8 [m]로 전체 높이는 14 [m]로 되어있다. 완성된 시험장에 표 1과 같이 시험용 송전용 애자의 누설전류를 측정하기 위해 접지쪽 애자에 누설전류 측정용 쉴드선을 연결하였다.



(a) 장기실증시험장



(b) 철구 모형도

그림 1. 장기실증시험장과 철구 모형도
Fig. 1. Test equipment and tower drawing of long-term outdoor test

표 1. 애자의 사양
Table 1. Insulators specimens

Sample	애자 종류	제작사	애자 강도	제작 년도	구분
No.1	유리	국외A	154kV용	2000	신 품
No.2	폴리머	국내A	154kV용	2001	신 품
No.3	폴리머	국외B	154kV용	1999	경년품
No.4	폴리머	국내B	154kV용	1999	경년품
No.5	자기	국내C	36,000lbs	2000	신 품
No.6	자기	국외B	36,000lbs	2001	신 품
No.7	자기	국내C	36,000lbs	1989	경년품
No.8	자기	국외B	36,000lbs	1999	경년품

2.1.2 누설전류 측정시스템(LCMS)의 구성

그림 2는 LCMS(Leakage Current Measuring System) 구성도로써, 본 시스템은 광대역 누설전류를 측정하기 위해 측정범위를 자동적으로 변경할 수 있도록 10 [Ω], 100 [Ω], 1,000 [Ω] 등 3개의 무유도성 분로(shunt) 저항으로 구성된 자동절체부(auto range selector part)가 포함된 누설전류 측정부(leakage current measuring part), 누설전류가 외부 환경적 요소인, 온도, 습도, 풍향, 풍속에 많은 영향을 받기 때문에 기상관측부(meteorological observation part)를 설치하였다. 또한, 측정된 누설전류와 환경요인(parameter)의 노이즈 제거 및 증폭을 위한 신호 처리부(signal convertor part), 계측된 누설전류 및 기상 자료를 관측지로 보내기 위한 신호 전송부(analog signal transmitter part), 자료를 전송 받아 저장하고 표시하기 위한 자료 수신 및 기록부(data receiving & recording part), 현장에서 장비 점검시 필요한 현장 표시부(local indicator)로 구성되었다. 특히 고전압의 위험으로부터 계측자의 안전을 확보하고, 썬지, 낙뢰 등의 영향으로

발생하는 과도 썬지 전압으로부터 시스템을 효과적으로 보호하기 위한 썬지 차단부(surge protection part)로 구성하였다.[8]

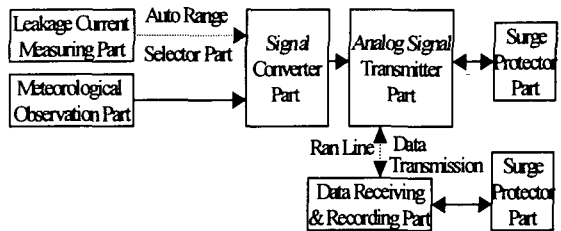


그림 2. 누설전류 측정 장치 구성도
Fig. 2. Flowchart of leakage current measuring system

2.2. 누설전류 파형 특성

그림 3은 89 [kV] 전압을 인가하여 시험용 애자의 표면에 따라 흐르는 누설전류 파형을 접지측 애자에 썬드선을 연결한 후, 오실로스코프를 이용하여 측정된 누설전류의 파형을 나타낸 것이다. 모든 시험용 애자에서 60Hz 상용주파 인가했을 때 고주파(harmonic wave)가 포함된 왜형파(distorted wave)를 관찰할 수 있다. 왜형파의 형태는 애자의 종류와 관계없이 동일한 파형이 나타났다. 자기애자와 유리애자의 경우는 경년품 신문에 관계없이 누설전류의 값이 폴리머 애자보다 높게 나타났다. 이것은 폴리머와 자기애자의 누설거리 및 각 애자의 물질특성에 기인한 현상이라고 할 수 있다.[9]

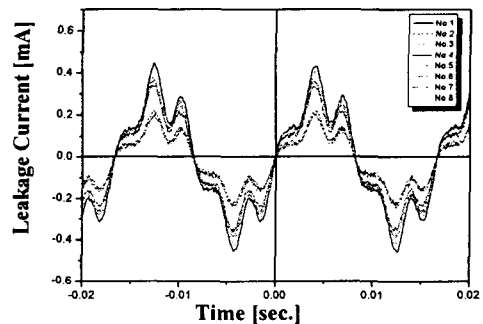


그림 3. 상전압 89(kV)에서 누설전류 파형
Fig. 3. Waveform of leakage current in 89(kV) phase voltage

2.3. 누설전류 특성

옥외장기 실증시험장에 상전압 89 [kV] 전압을 인가하여 주위 환경적 요인 및 등가열분부착밀도와 누설전류와의 관계를 알아보았다. 송전선에서 발생하는 애자의 누설전류 값은 분로(shunt) 저항과 직렬로 연결하여 전

압을 측정하는 방법으로 계측기의 데이터 샘플링은 분당 3개의 비율로 전압의 평균값을 측정하였다.

그림 4는 선간전압 154 [kV]용 36,000lbs 자기애자의 날씨가 맑은 날 일일 데이터를 나타낸 것이다. 누설전류 값은 주야의 차이를 확연히 구분 할 수 있다. no.7, no.8의 경년품은 높은 누설전류 값을 가지고, 1991년의 no.8의 경년품은 1989년의 no.7 경년품 보다 더 높은 누설전류 특성을 보였는데, 이것은 자기애자의 특성상 제조방법, 재료의 재질의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.[10] 그에 반해, 외국 B사와 국내 C사의 신제품은 안정된 누설전류 값을 나타내었다.

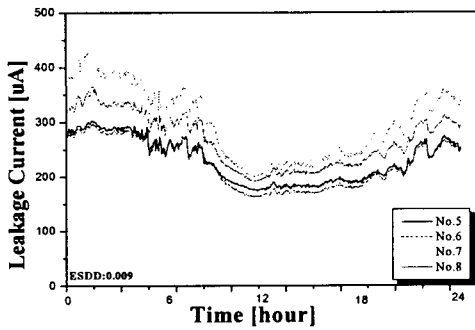


그림 4. 36,000lbs 자기애자의 누설전류 특성(맑은날)
Fig. 4. Leakage current of porcelain insulators on 36,000lbs (clear day)

그림 5는 풍속 데이터를 나타낸 것으로 바닷가에 위치한 시험장의 지리적 환경 때문에 우천시는 평균 풍속 4-6 [m/s] 정도의 강한 바람이 불었고, 맑은 날은 평균 풍속 2-3 [m/s] 바람이 불었다. 그림 6의 습도, 온도 데이터는 주간 높은 온도의 영향으로 습도가 낮아지므로, 누설전류의 값도 낮아짐을 알 수 있었다. 이와 같이 자기애자는 외부 환경적 요인에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

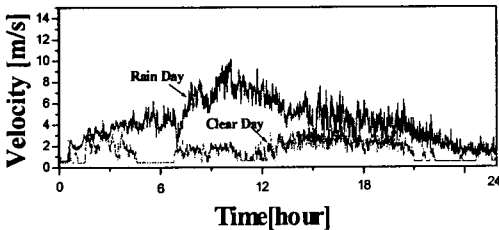


그림 5. 풍속 특성 곡선
Fig. 5. Wind velocity waveform for a day

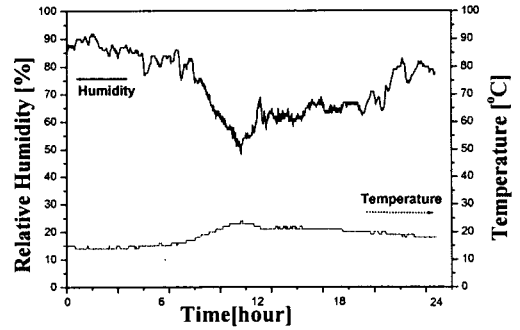


그림 6. 습도, 온도 특성 곡선(맑은 날)
Fig. 6. Relative humidity and temperature waveform (clear day)

그림 7은 우천기상의 조건에서 36,000lbs 자기애자의 누설전류 특성을 나타낸 것이다. 자기애자의 표면에서 가지는 발수성(hydrophobicity) 특성 때문에 비가 올 때는 높은 누설전류 값을 보인다는 것을 알 수 있다. 경년품인 no.7, no.8은 높은 누설전류 값을 나타내며, 국외 B사와 국내 C사의 신제품인 no.5, no.6은 경년품에 비하여 더욱 안정된 누설전류 특성을 보였다. 경년품의 누설전류가 높은 이유는 재질 특성 보다는 염분 및 진애 등의 부착으로 인한 표면의 자연오손 때문으로 판단된다. 또한 그림 4의 맑은 날 누설전류 특성과 비교하면 자기애자의 특성인 발수성이 좋지 않아 경년품과 신제품의 차이에 상관없이 높게 나타냄을 알 수 있다. 그림 8은 우천시 습도, 온도 특성 곡선을 나타내었다. 그림 7과 그림 8에서 새벽 6시 경에 비가 올 때의 자기애자는 수분 및 습도의 영향으로 갑자기 누설전류가 증가됨을 알 수 있었다. 비가 오는 날은 등가염분 부착밀도가 0.004로 비의 자연 세정작용으로 염분 부착밀도가 더 낮게 나타났다.

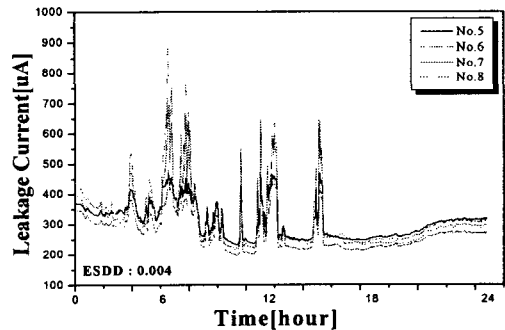


그림 7. 36,000lbs 자기애자의 누설전류 특성(우천시)
Fig. 7. Leakage current of porcelain insulators on 36,000lbs (rainy day)

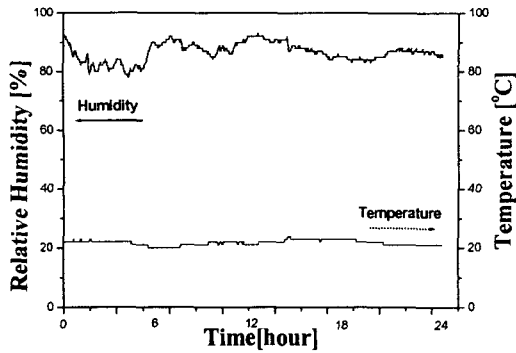


그림 8. 습도, 온도 특성 곡선(우천시)
Fig. 8. Relative humidity and temperature waveform(rainy day)

그림 9와 그림 10은 그림 4와 그림 7의 동일한 날씨 조건에서 측정된 폴리머애자, 유리아자의 맑은 날과 우천시의 누설전류 특성곡선을 비교한 것이다. 그림 9의 맑은 날의 경우 폴리머애자는 자기애자보다 월등히 낮은 누설전류 특성을 보였다. 이는 폴리머애자가 자기애자보다 우수한 발수 특성을 가지고 있음에 기인된 것으로 판단된다. 이러한 특성은 그림 6과 그림 8의 습도, 온도, 풍속 등의 환경적 요인에 큰 영향을 받지 않음을 확인 할 수 있었다. 그러나 그림 9에서 유리아자는 자기 애자 처럼 표면의 유리가 가지는 발수 특성 때문에 외부 환경적인 요인의 영향을 받아 새벽에는 누설전류가 증가하고 낮 시간 때에는 누설전류가 감소하는 것을 알 수 있었다.

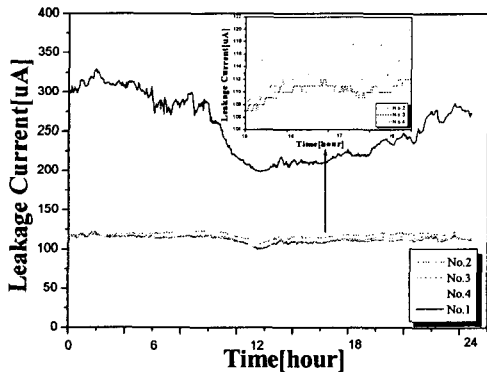


그림 9. 폴리머애자, 유리아자의 누설전류 특성 곡선(맑은 날)
Fig. 9. Leakage current waveform of polymer and glass insulators(clear day)

그리고 그림 10의 우천시 누설전류 특성의 경우 폴리머애자는 표면에 물기가 있어도 누설전류의 값에는 영향을 주지 않아 유리아자의 누설전류 값과는 상이한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 7의 36,000lbs 자기애자의 누설전류에서 보이는 자기애자의 발수성 특성과 그림 10의 유리아자의 우천시의 누설전류 특성은 거의 유사한 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

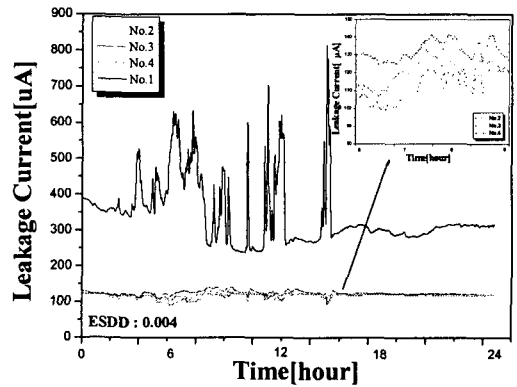


그림 10. 폴리머애자, 유리아자의 누설전류 특성 곡선(우천시)
Fig. 10. Leakage current waveform of polymer and glass insulators(rainy day)

3. 결 론

선간전압 154 [kV] 송전용 자기, 폴리머, 유리아자의 외부 환경적 요인인 습도, 온도, 풍속, 강우에 따라 누설전류의 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 구축된 장기실증시험 설비를 통하여 시험을 실시하였다.

1. 자기애자와 유리아자의 경우에는 수분 및 습도의 영향을 많이 받아 주간에는 경년품과 신품에 관계없이 낮은 누설전류 특성을 나타냈으나, 습도가 높은 새벽과 우천시에는 높은 누설전류 특성을 나타낸다.

2. 경년품의 자기애자가 우천에 많은 영향을 받는 이유는 염분 및 진애 등의 표면 오손에 영향을 많이 받기 때문으로 사료되므로, 주기적인 애자세정 작업이 애자의 수명에 밀접한 관계가 있다.

3. 폴리머 애자의 경우에는 환경적 요인에 의한

영향을 받지 않고 자기애자 보다 낮은 누설전류가 발생된다.

향후, 장기간동안 지속적인 시험을 통한 신뢰성 높은 데이터를 취득하여 애자에 의한 송전전압의 이상현상을 예방할 수 있는 시험을 지속적으로 진행할 예정입니다.

참 고 문 헌

- [1] G. H. Vaillancourt, J. P. Bellerive, M. St-Jean, C. Jean, "New live line tester for porcelain suspension insulators on high voltage power lines", IEEE transactions on power delivery, Vol. 9, No. 1, p. 208, 1994.
- [2] S. Grzybowski, R. A. Wilson, A. L. Libby, R. Barbre, "Electrical and mechanical performance of porcelain suspension insulators removed from a 230kV transmission line after 35 years of service", IEEE proceedings, p. 59, 1995.
- [3] R. Matsuoka, H. Shinokubo, K. Kondo, Y. Mizuno, K. Naito, T. Fujimura, T. Terada, "Assessment of basic contamination withstand voltage characteristics of polymer insulators", IEEE Transactions on power delivery, Vol. 11, No. 4, p. 1895, 1996.
- [4] F. F. Bologna, A. C. Britten, G. Watridge, D. J. Stevens, G. Grigorakis, "Leakage current on lightly polluted on 275kV glass disc insulator strings in conditions of light wetting", IEEE proceedings, p. 739, 1999.
- [5] Guozhang Xu Paul B. McGrath, Clayton W. Burns, "Accelerated environmental and electrical aging of polymer insulators", IEEE annual report, p. 405, 1996.
- [6] Tetsuya Usui, Noriaki Kasuya, Hiroaki Ozaki, Shigeo Ito, Homare Kurebayashi and Ryosuke Matsuoka, "Withstand voltage characteristics of contaminated polymer insulators under rain conditions", IEEE proceeding of the 6th international conference on properties and application of dielectric materials, p. 387, 2000.
- [7] Redu Munteanu, Felix Kaidanov, "Some results of polluted insulator investigations in Israel", IEEE proceedings, p. 491, 1996.
- [8] I. H. Choi, J. H. Choi, D. I. Lee, G. J. Jung, J. S. Ahn, "광대역 누설전류 자동측정 장치", Korea Patent, 10-2003-0074891, 2003.
- [9] Stephen A. Sebo, John D. Sakich, Tiebin Zhao, "Evaluation of leakage current pulse data of polymer insulator aging tests" IEEE international conference, p. 426, 1998.
- [10] "송전용 애자의 신뢰성 평가 연구(중간보고서), KEPCO, 2003.