

154kV 고분자 애자의 장기 성능평가

임운석*, 원경배**, 이상윤*, 최인혁*, 신구용*, 안호성*
한전전력연구원*, 한국전력공사**

Evaluation of Long Term Performance of 154kV Polymer Insulators

Yunseog Lim*, Kyungbae Won**, Sangyoon Lee*, Inhyuk Choi*, Kooyong Shin*, Hosung An*
KEPCO Research Institute*, KEPCO**

Abstract - 본 논문에서는 한국전력공사에서 장기열화 시험을 수행한 154kV 고분자애자의 성능평가를 수행하고 그 결과를 1999년부터 2008년까지 한국전력공사154kV 송전선로에 시범 설치한 고분자애자의 주간코로나, 열화상 측정을 시행하고 제조회사/규격별 각 24편을 발취하여 총 168편에 대하여 한전 표준구배 규격에 따른 각종 시험을 수행하고 현 성능상태를 검증하였으며 이를 토대로 잔존 수명을 예측하고자 하였다. 대부분의 애자가 양호한 성능을 보이고 있으나 일부 애자에서는 부적합 결과를 보였으며 수명의 경우, 초기 품질계수 정보 부족 및 중간열화 상태의 데이터 부족으로 정확한 잔존수명 예측 데이터를 얻기에는 부족했으며 추가적인 가속열화시험 등의 데이터를 확보해야 할 것으로 사료된다.

1. 서 론

폴리머 절연물은 자체의 고강도성, 내부식성, 경량성의 장점이 외에도 절연성이 우수하여 많은 전기장치에서 절연재, 그리고 절연이 필요한 부재에도 그 적용성이 확대되고 있다. 이와 같은 다양한 장점이 알려지면서 폴리머를 이용하여 제작된 고분자애자는 국내외적으로 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 현재 사용 중인 애자들의 다양한 실험 데이터베이스가 없을 뿐만 아니라 열화에 의한 수명평가 및 장기 수명을 추정할 수 있는 기술조차도 명확히 확립되어 있지 않은 상태이다.

또한, 한국전력공사에서는 2010년 이후 154kV 송전선로 건설시 기존 자기재 애자가 아닌 고분자애자를 설치하며 345kV 애자의 경우에는 2011년부터 건설소요량의 50%를 고분자애자로 사용하는 중장기 계획을 세우고 있다. 따라서, 한국전력공사에서는 1999년부터 2010년까지 6,506편의 154kV 고분자 애자를 실선로에 시범으로 설치하여 운영하였으며 본 논문에서는 이들 시범설치한 애자 중 일부를 철거하여 장기열화에 따른 특성검토를 수행하였다. 특성평가를 수행하기 위한 방법으로서, 실 선로에 설치된 상태에서 주간코로나나 열화상 측정을 수행하였으며 E-field 검토 및 전기, 기계적 시험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 장기열화 특성 평가 방법

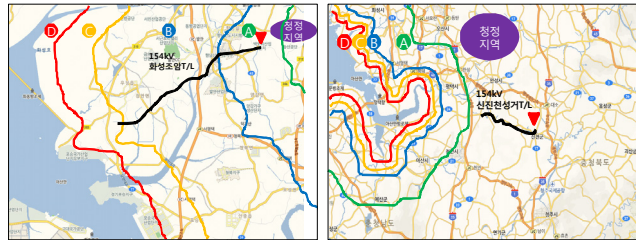
시범 적용중인 154kV 송전용 고분자애자의 장기열화특성 검토를 위해 현장에 설치된 애자 전량(6,352편)의 주간코로나 발현 상태와 과열개소를 점검하였으며, 일부(168편)를 발취하여 기계적 성능과 전기적 성능을 검증하였다. 주간 코로나 발현 상태와 과열개소는 각기 주간코로나 측정기(DayCor, OFIL) 및 열화상 측정장비(P640, FLIR)를 사용하여 점검하였다. 표 1에는 기계, 전기, 재료 시험 및 기타 시험에 대한 시험항목을 정리하였다. 시험은 주로 IEC 및 한전표준구배규격(ES)와 EPRI 가이드라인을 준용하여 시험하였다. 단, 본 논문에서는 장기열화특성에 주요영향을 미치는 코로나 방전개소 검출과 발수성 시험결과에 대하여 주로 검토하고자 한다.

2.1.1 시료발취

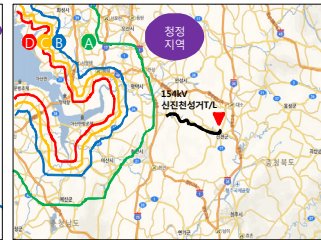
시험에 사용된 애자는 표 1와 같이 6개 송전선로에서 제조사별/규격별로 분류하여 총 183개의 애자편을 발취하였으며 이중 168편의 애자를 시험에 사용하였다. 표 1에는 각 발취시료의 세부내역을 정리하였으며 그림 1에는 각 애자를 발취한 선로의 오손등급별로 정리하였다.

〈표 1〉 제작사 및 규격별 시험 발취수량

| 제작사 | 규격 | | | | 발취수량 |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 25N | 25F | 36N | 36F | |
| P | - | 24 | - | 24 | 48 |
| K | - | - | 24 | - | 24 |
| N | 39 | - | 24 | - | 63 |
| L | 24 | - | 24 | - | 48 |
| 계 | 63 | 24 | 72 | 24 | 183 |



(a) 화성-조암 TL



(b) 신진천-성거 TL



(c) 신광주-장성 TL



(d) 신영일-북포항, 영천-아화 TL

〈그림 1〉 발취 선로 별 오손등급 구분

2.2 주간코로나 및 과열개소 측정 결과

전국 사업소에 기 설치되어 운용중인 154kV 고분자애자 6,506개를 대상으로 사고로 이어질 개연성이 가장 큰 금구 접속부(End fitting)를 중심으로 과열개소와 주간 코로나를 측정하였다. 금구 접속부(End fitting)의 코로나 방전활동을 정확하게 관찰하기 위해 가능한 승탑 후 측정을 시행하고, 현장상황에 맞춰 승탑이 용이하지 않거나 지표면에서도 가시거리 확보가 용이하다면 지상에서 측정하였다. 이를위해 금구 접속부(End Fitting)에 코로나 카운트 실선 박스를 설정하여 자외선 플래쉬 카운트 수를 확인하였다.

과열개소는 한전 가공송전운영업무기준에 근거하여 송전선로 접속 개소에 적용하고 있는 기준을 준용하여 애자표면 간, 금구류 및 고분자애자 표면 간, 접속 금구류 간의 온도차가 5℃ 초과 개소는 요주의, 10℃ 초과개소는 이상으로 정하였다.

과열개소 점검의 경우, 한전의 가공송전운영업무기준을 근거로 한 5℃ 초과(요주의) 또는 10℃ 초과(이상) 개소는 발견되지 않았다. 즉, 고분자애자 개소에서 요주의 이상이 요구되는 금구 접속 불량, 고분자애자 누설전류 증가 및 절연내력 저하 등에 의한 과열현상은 발견되지 않았다.

하지만 주간 코로나의 경우는 그림 2에서와 같이 3개소에 대하여 금구 접합부에서 코로나에 의한 자외선 방출이 집중적으로 관찰되었는데, 이는 EPRI Field Guide에서 권고하는 금구 접합부 코로나 방전활동 예시[1]와 주간코로나 제작업체인 OFIL 사에서

권고하는 불량 판정 기준인 5,000회를 모두 초과하였다[2]. 이러한 상태에서 코로나 방전활동이 지속되면 섬락사고나 탈락사고로 이어질 수 있기 때문에 즉각 교체가 필요한 상태로 판단된다 [1][2].



〈그림 2〉 주간코로나 측정결과 이상개소(3개소)

이상 두 측정결과를 바탕으로 두 측정법을 비교하면 적외선 검출의 경우는 전력설비의 진단 장비로 널리 사용되고 있지만 고분자애자 점검의 경우 전류에 의한 고분자애자의 표면과 금구 접합부(End Fitting)의 온도상승폭이 크지 않으며 주변 온도의 영향으로 자외선 검출보다 진단의 신뢰성이 떨어진다고 보여진다.

154kV 고분자애자 특별점검 결과, 현장 상황에 따라 모든 철탑을 승탑하여 과열개소를 자세히 점검하지는 못했지만 확보한 측정결과를 참고할 때 고분자애자의 두드러진 과열 상태를 발견하지는 못했다. 반면에 주간 코로나 측정의 경우는 적외선 카메라에 비해 고분자애자 고장지점 검출이 유리하다고 판단되지만 측정시간, 온도, 습도, 풍속, 풍향등 기상조건에 따라 자외선 플래쉬 카운트 수가 변동됨에 따라 주로 정성적인 판단에 의존하여 고분자애자의 이상여부를 판단해야 하는 어려움이 있었다.

특히 주간 코로나 측정시 산악지와 같은 청정지역을 제외한 개소들에서 관측대상의 코로나 방출과 무관하게 전체 화면에 걸쳐 자외선 플래쉬가 고르게 나타나는 문제점이 발생하였는데, 이는 노이즈 간섭에 의해 고분자애자로부터 발생하는 자외선 플래쉬 카운트 수에 대한 혼돈을 초래하였다.

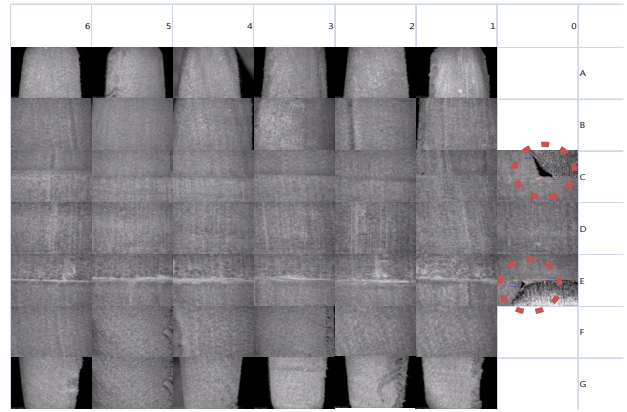
자외선 플래쉬 카운트수가 분당 5,000회를 초과하는 대부분의 개소가 이와 같이 노이즈로 판단되는 자외선 플래쉬 카운트에 의한 영향이었다. 따라서 이러한 측정결과에 대한 판단 오류를 막기 위해 EPRI Field Guide를 근거로 하여 고분자애자 금구 접속부(End Fitting) 또는 기타 고분자애자 표면에 코로나 방전활동이 집중되는 개소 여부를 우선으로 확인하였다. 이와 같은 현상의 원인은 측정 장비 내부의 문제와는 별도로 측정현장 미세먼지, 분진, 염해지역에서는 두드러지게 나타났으며 주변 오염 환경에 의한 자외선 검출 왜곡으로 판단된다. 주간 코로나 자외선 플래쉬 카운트 수를 근거 한 고분자애자 수명상태 진단 기법은 향후 추가적인 검토가 필요하다. 현재는 고분자애자의 주간코로나 측정을 통하여 이상개소별 코로나방전 활동 예시를 고장사례별로 보여주는 EPRI Field Guide와 주간코로나 제작사에서 제공하는 측정 판단기준을 현장 상황에 맞게 적용함으로써 송전용 고분자애자 예방 진단에 활용할 수 있으며 효과적인 고분자애자 사고예방에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2.2.1 재료 표면분석

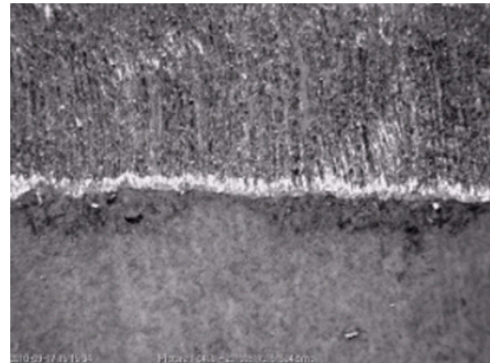
본 재료 표면 분석은 애자의 단면을 절단하고, 이를 구간별로 나누어 Digital Microscope로 촬영한 사진을 재조립한 후 애자의 결합상태를 파악하는 작업이다. 현재는 Digital Microscope를 이용하여 재료 표면 혹은 단면을 촬영하여 결합을 판단하였다.

본 재료 표면 분석을 위해 그림 3과 같이 애자의 단면을 절단하고, 이를 구간별로 나누어 Digital Microscope로 60배 확대하여 촬영하였다. 그림 4는 애자에 결합으로 판단되어 더 세밀히 관찰하기 위해 배율을 더 높여 200배 확대한 것들 중의 일부이다. 발견된 애자의 결합 대부분은 금구부와 심재사이, 외피절연부와 심재사이에서 발견되었으며, 이 결합의 대부분은 육안으로도 확인할 수 있을 정도로 커다란 결합이었으며 대부분 흑색으로 나타나 접착이 제대로 이루어지지 않아 생긴 기공(Void)이었다. 이는 금속중단부와 FRP봉의 압착제조과정과 폴리머 갯부분의 접착과정에서 문제가 있었다고 추정된다. 따라서 이러한 부분에 대한 엄격한 품질관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 200배까지도 확대 관측이 가능한 Digital Microscope를 이용한 결합 판정은 자기애자에서 사용한 SEM을 이용한 결합판정보다 간편하고 쉬운 방법으로 본 시험에서 처음으로 시도된 방법이다. 향후에도 Digital Microscope을 이용한 광학적 결합판정을 통해 판정시간과 비용을 줄이는 것이 바람직하다고 판단된다.



〈그림 3〉 N사 구간별 표면 분석 및 결합상태(적색 원 부분; 60배 배율)



〈그림 4〉 N사 36000lbs의 결합상태 (200배 배율)

3. 결 론

본 연구의 주간코로나, 과열개소 측정 및 발수성 측정 결과를 종합하여 아래의 결론을 도출하였으며, 더욱 상세한 시험결과는 차후 논문에 실고자 한다.

- (1) 주간코로나 점검결과 전체 설치애자 6,352련 중 3개련의 코로나 과다 발생개소를 검출하였다. 해당 애자련은 발취하여 추가 성능평가를 수행할 필요가 있으며 평가결과는 고분자애자 점검 및 교체기준에 반영되어야 할 것으로 판단된다.
- (2) 과열개소 점검결과, 교체기준에 따른 교체대상 애자련은 검출되지 않았으며 고분자애자의 과열개소 점검을 통한 교체 여부 판정은 실효성이 부족한 것으로 판단된다.
- (3) 발수성 시험결과, 일부 애자의 경우 HC4 이상 등급이 전체 애자표면의 50% 이상을 점유하는 경우를 불량으로 판정하였으며 168개의 애자련 중 12개련이 불량한 것으로 판정되었다. 이는 애자표면의 전도성이 급격히 진행되고 있는 것으로 볼 수 있으며 이러한 전도성 표면의 증가는 오손이 심한지역 및 염무가 심한 경우 전도과피(섬락)를 발생 확률을 급증 시키므로 점검시 매우 세심한 주의가 필요하다.
- (4) 현재의 발수성 시험결과는 발취한 시품을 확인한 것으로서, 향후에는 현장 점검시에 발수성 시험을 통해 현장 오손도 및 애자표면의 전도성 변화 여부를 점검할 필요가 있는 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] EPRI Field Guide(Daytime Discharge Inspection of Transmission and Distribution Overhead Lines and Substation; 1013895)
- [2] DayCor Methodology, Ofil Ltd., 2001
- [3] IEC 62073, Guidance on the measurement of wettability of insulator surfaces, 2003.6
- [4] EPRI AC Transmission Line Reference Book - 200kV and Above, Third Edition, pp. 4-11, 4-32, 4-55, 2005
- [5] Xidong et al., "Artificial pollution test and pollution performance of composite insulators", Proceedings of ISH 1999, 1999