

154 kV 송전용 자기애자의 수명 예측기법

박준호*, 강병규*, 최인혁*, 이동일*, 방향권**, 황정일*
 한전 전력연구원*, 한전 중앙교육원**

A Technology of the life prediction and assessment for 154 kV Transmission porcelain Insulators

J. H. Park*, B. K. Kang*, I. H. Choi*, D. I. Lee*, H. K. Bang**, J. I. Hwang*
 KEPRI*, KEPCO**

Abstract - 선진국의 경우 송전용 애자의 내구성 향상을 위한 새로운 평가 기법을 적용하여 신뢰성을 향상시키는 등 연구가 활발하지만 국산 송전용 애자에 대한 열화요인 진단 및 대체기술은 거의 초기 연구 단계에 불과하다. 따라서, 국내 송전 선로 환경에 따른 송전용 애자의 구성 요소별 장기 열화요인 분석 기술의 부족을 극복할 필요가 있다. 모든 형태의 절연물은 사용 환경에 따라 열화에 따른 품질 저하는 피할 수 없다. 이에 따라 초기 설계에서 최종적인 품질 확인 시험까지 적절한 불량 요인을 진단하여 개선 할 수 있는 제조공정과 경년품에 대한 정기적인 열화 시험 평가 등을 통해 송전용 자기애자의 신뢰성을 유지하는 것이 필요하다.

송전용 현수 애자의 수명과 신뢰성을 결정하는 요인은 복잡적이며, 적절한 시료수와 통계적 접근 방법을 동원하여 분석하는 것이 최선이다 자기 애자의 수명에 영향을 주는 핵심 인자는 시멘트 및 자기부의 강도 저하로 알려져 있다. 기본적인 단품 성능 시험을 실시한 결과, 냉열 및 급준과 특성에 대한 내구성이 문제점으로 도출되었다. 물론 특정 경년품(1989년도 제품)에서 집중적으로 불량이 발생한 것이지만, 이것은 일반적으로 문제가 있는 자기 애자에서 발생하는 전형적인 형태이다. 현재 가장 문제가 되는 것은 급준과 및 내아크 시험과 같이 열적, 기계적 충격에 대한 내구성을 확인하는 열화 평가방법이 요구된다. 본 연구에서는 경년품 및 신품에 대한 냉열 가속, 경년 가속 열화시험 및 급준과 열화시험과 현수 애자의 핵심 소재인 자기의 HRB 정도 특성 시험하였다.

1. 서 론

국내 송전 선로에는 주로 자기 애자가 광범위하게 사용되고 있으나 신뢰성 평가에 대한 연구 부족으로 인하여 교체 기준이나 사고의 미연 방지 대책이 부족한 실정이다. 국산 자기 애자의 경우에는 개발 시험을 만족하고 있으나 실제 사용상에 있어서는 문제점이 있는 것으로 알려져 그 정확한 성능 확인 및 개선이 요구되고 있다. 국내 초고압 시스템에 특성이 우수한 기존 수입품을 대체하기 위해서는 국내 독자 기술로 설계 제조된 송전용 애자의 장기 신뢰성을 검증하고 내구성을 확보하는 시험, 평가 및 열화 진단 기술의 확보가 중요하다.

선진국의 경우 송전용 애자의 내구성 향상을 위한 새로운 평가 기법을 적용하여 신뢰성을 향상시키는 등 연구가 활발하지만 국산 송전용 애자에 대한 열화요인 진단 및 대체기술은 거의 초기 연구 단계에 불과하다. 국내 송전 선로 환경에 따른 송전용 애자의 구성 요소별 장기 열화요인 분석 기술의 부족을 극복할 필요가 있다. 모든 형태의 절연물은 사용 환경에 따라 열화에 따른 품질 저하는 피할 수 없다. 따라서 초기 설계에서 최종적인 품질 확인 시험까지 적절한 불량 요인을 진단하여 개선 할 수 있는 제조공정과 경년품에 대한 정기적인 열화 시험 평가 등을 통해 송전용 자기애자의 신뢰성을 유지하는 것이 필요하다.

송전용 현수 애자의 수명과 신뢰성을 결정하는 요인은 복잡적이며, 적절한 시료수와 통계적 접근 방법을 동원하여 분석하는 것이 최선이다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내에 사용하고 있는 송전용 자기 애자를 중심으로 주요 특성 및 장기 열화 성능 평가 시험을 통해 애자의 수명예측 기법을 확보하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 시료

가속열화시험에 사용된 시료는 단품 성능시험과 동일한 종류의 표 1과 같은 4종류의 경년품과 2종류의 신품(국산, 외산)에 대

해 실시하였다.

<표 1> 송전용 애자 시험용 시료 종류

종류	제조년	제작사	규격	알루미나 함유량
국산	(A) 1989년 (경년품)	고려애자	36,000 lbs, 250mm	8 %
	(B) 1995년 (경년품)	"	36,000 lbs, 250mm	12 %
	(E) 1997년 (경년품)	"	36,000 lbs, 250mm	17 %
	(C) 2001년 or 2002년(신품)	"	36,000 lbs, 250mm	17 %
외산 (일본)	(D) 2002년 (신품)	NGK	36,000 lbs, 250mm	17 %

2.2 가속 열화 시험 알고리즘

자기 애자의 수명에 영향을 주는 핵심 인자는 시멘트 및 자기부의 강도 저하로 알려져 있다. 기본적인 단품 성능시험을 실시한 결과, 냉열 및 급준과 특성에 대한 내구성이 문제점으로 도출되었다. 물론 특정 경년품(1989년도 제품)에서 집중적으로 불량이 발생한 것이지만, 이것은 일반적으로 문제가 있는 자기 애자에서 발생하는 전형적인 형태이다. 따라서 이러한 문제점을 감안하여 다음 표 2와 같은 가속 열화시험을 실시하여 송전용 애자의 신뢰성을 검증, 평가하는 방법으로 선택하였다. 현재 가장 문제가 되는 것은 급준과 및 내아크 시험과 같이 열적, 기계적 충격에 대한 내구성을 확인하는 열화 평가방법이 요구된다. 본 연구에서는 HRB(hardness rockwell B scale) 시험을 실시하여 자기 소재의 미세조직이 열적, 기계적 충격에 대한 내구성을 어느 정도 유지하는지 등에 관한 특성을 비교 검토하였다.

<표 2> 가속 열화 시험 방법

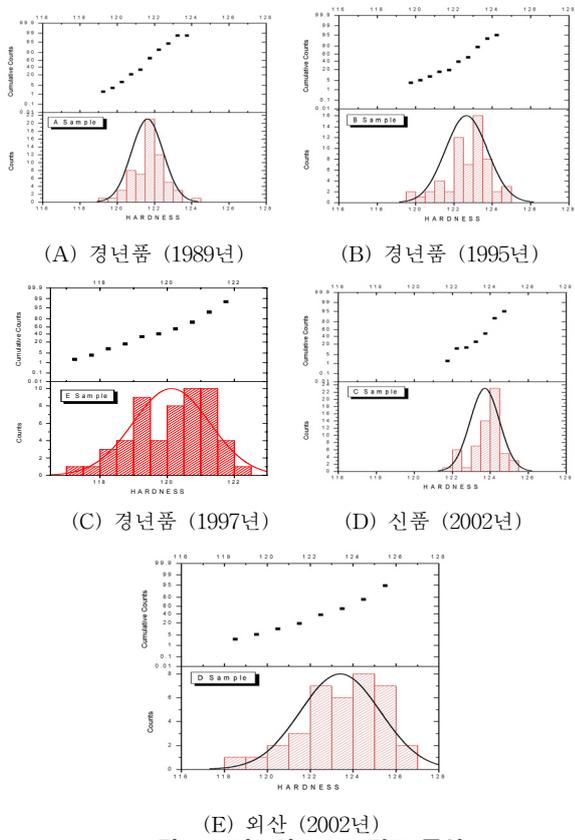
가속열화시험항목	평가요인	기준
냉열가속 열화시험	열충격 내구성	ES, 일본 전력회사 기준
경년 가속열화시험	열-기계적 충격 내구성	ES, NGK, IEC 기준
급준과 열화시험	급준과 내구성	IEC, IEEE
HRB시험	미세조직 내구성 평가	일본 전력회사 기준

3. 고찰

3.1 HRB 크기와 분포 특성

자기 소재의 경년적 열화 요인을 판정하는데 주로 사용되는 시험방법은 냉열 시험과 흡습시험이 있다. 그러나 이 시험만으로 자기 내부에 존재하는 결함요인을 완전히 발견하기란 불가능하다. 이러한 점을 보완하여 자기의 내부 불량 요인을 확인하는 방법으로 일본의 전력회사(구주전력)에서는 HRB법(hardness rockwell B scale method)를 개발하여 적용하고 있다.

자기 소재는 크리스토팔라이트, 플라이트(mullite), 석영(quartz) 및 알루미나(alumina) 등의 결정질과 비정질의 불균일한 유리상(glass phase)의 결합으로 구성되어 있다. HRB 법은 이러한 자기 조직에 경도계 입자를 가압하여 분쇄시켜 그것의 침입 깊이와 면적을 미세조직 사진과 함께 관찰하여 결합 강도를 측정하는 방법이다.



<그림 1> 시료의 HRB 경도 특성

따라서 이 시험은 결정상과 유리상 간의 결합력을 직접적으로 판단할 수 있으며 가압 충격에 의한 균열 진행을 미세 조직 사진으로 확인하므로 보다 미시적인 고강 상태를 추적할 수 있다. 비정질 유리 조직의 응력을 강화시키기 위해서는 플라이트나 고강도 알루미나와 같은 결정 입자를 풍부하게 분포시켜 소성이 이루어지면 가능하다.

HRB 시험은 로크웰 경도계로 B 스케일의 압자를 사용하여 경도를 측정한다. 이때 B 스케일 압자는 1/16" 강구로 1000kg 하중을 가하게 되어있다. 측정 횟수는 6개의 시료에 대해 5회 씩 모두 30회를 측정하여 평균값과 분포 특성을 비교하였다.

그림 1은 국산 시료('89, '95, '97, '02)와 외산 시료('02)에 대해 HRB 경도를 측정하여 크기와 분포상태를 분석한 결과이다. 경도의 평균 크기는 '89→'95→'97→'02(외산 '02) 순으로 높은 값을 나타낸다. 경년품인 1989년산 시료의 경우 평균 경도값이 121.5로 이는 일본의 구주전력에서 제시하는 자기의 불건전 경도 기준값인 120 이하의 값보다 높은 양호한 자기 특성치에 해당한다. 특히, 최근에 제작된 국내산 2002년 제품의 경우 HRB 경도가 약 124 정도로 외산과 거의 대등한 값을 나타내고 있으며 분포 특성에서도 매우 우수한 값으로 나타났다. 처음 알루미나 함유량이 17%로 제작된 시료 1997년의 경도는 최근 제품과 비교하여 상당히 낮아 거의 시료 1995년의 값과 유사한 경도 특성을 나타내었다. 이것은 1997년도 제품의 경우 최상의 알루미나 입자 강화가 이루어지지 않은 상태임을 보여준다. 이상의 HRB 경도시험 결과로부터 1989년과 1995년을 거쳐 최근에 제작되는 애자 자기부의 제질과 특성은 고강도 알루미나 입자의 강화와 더불어 개선되어진 것으로 판단된다.

4. 결론

경년품 및 신품에 대한 냉열 가속, 경년 가속 열화시험 및 급준과 열화시험과 현수 애자의 핵심 소재인 자기의 HRB 경도 특성을 시험하여 다음과 같은 몇 가지 결과를 도출하였다.

- (1) 냉열 열화 가속주기에 따른 누설전류(실효치)의 변화를 측정 한 결과, 경년품 및 신품 모두 50회의 냉열가속에서 1 mA 이하의 낮은 누설전류 값을 나타내었다. 이것은 두부의 자기내의 심각한 관통이나 균열에 의한 열화가 진행되어 있지 않은 상태임을 확인하여 주었다.
- (2) 냉열 열화 가속주기에 따른 유전 특성(유전정접(tanδ), 정전용량)을 측정 한 결과, 본 실험 조건에서는 유전정접과 정전용량의 현저한 증가나 변화는 거의 나타나지 않았다.
- (3) 냉열 열화 가속 후, 자기 애자 시료의 전기적 내구성을 확인 하는 내전압 시험에서 시료 B(1995년 경년품)의 경우 건조 시 내전압시험과 습락전압 특성은 모두 양호한 것으로 나타났으나, 주수 내전압시험에서 37 kV에서 관통이 발생하여 기준치(45 kV, 1분)를 통과하지 못하였다. 한편 다른 경년품과 신품은 모두 기준치 이상의 결과를 나타내었다.
- (4) HRB 경도시험 결과, 경년품인 A 시료의 경우 평균 경도값이 121.5로 이는 자기 소재의 불건전 경도 기준값인 120 이하의 값보다 높은 특성값을 나타내었다. 특히, 최근에 제작된 국내 시료 C의 경우 HRB 경도가 약 124 정도로 외산과 거의 대등한 값을 나타내고 있으며 분포 특성에 우수한 값으로 나타났는데 이는 1989년과 1995년을 거쳐 최근에 제작되는 애자의 자기부 제질과 특성은 고강도 알루미나 입자의 강화에 의해 개선되어진 것으로 판단된다.
- (5) 애자 수명을 진단하는 방법으로 불량률은 애자 소지의 균일도와 연관이 있으므로 품질지수와 균일도의 상관성을 고려한 경년 수명을 통계적으로 계산하여 예측하고자 하였다. 이러한 알고리즘으로 진단 결과, '95년 경년품의 경우 불량 품질지수를 1.0과 3.0으로 하고 불량 저하 지수 k를 0.0237로 하여 균일지수가 고려된 잔존 신뢰 수명 Y_m 은 각각 4년과 0.7년이 남은 것으로 계산되었다. 다시 말하면 0.7년 후에 애자의 품질지수가 3.0에 도달하고 4년 후에 1.0에 도달한다는 추정이다. 하지만, 0.7년 후에 애자가 고장이 발생할 가능성이 높은 품질지수 3.0 이하에 도달한다는 것으로 0.7년 후에 애자가 수명을 다한다고 보기는 어렵다. 보다 명확한 결과를 추정하기 위해서는 국산 송전용 현수애자의 품질지수가 경년 변화에 따라 저하하는 데이터가 축적되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "배전용 애자류 품질확보를 위한 경년 시험방법에 관한 연구", 한국전력공사, 한전전력연구원, 최종보고서, 1996. 2.
- [2] "고신뢰성 자기계 배전용 현수애자 개발", 한국전력공사, 한국전기연구소, 최종보고서, 1996. 5.
- [3] "초고압(400kN)용 내장애자 국산화 개발", 한국전력공사, 고려애자공업(주), 최종보고서, 2002. 6.
- [4] "송전용 현수애자의 성능확인 및 특성시험 분석", 연구기획조사사업, 한국전력공사, 한전전력연구원, 1999. 9.
- [5] "345, 765kV 현수애자 국의 공장시험 보고서", 한국전력공사, 1996.4.
- [6] "애자 시험 방법", 한국표준규매시방서, ES 131, 1998. 6.
- [7] "초고압 불소켓형 현수애자", 한국전력공사 잠정표준 구매시방서, PS 131-570, 1994. 11.
- [8] "애자 시험 방법", 일본공업규격, JIS C 3801, 1980.
- [9] "애자 열화 진단 기술", 일본잡지.
- [10] "배전선 절연 사고방비 대책", 일본전기협동연구, 27권 3호.
- [11] "절연 열화 진단 기술", 일본전기평론, pp. 52, 1990. 11.
- [12] Y. Yamada, Y. Kawaguchi, N. Tanaka and T. Kishi, "Slow Crack Growth of Mullite Ceramics", 일본세라믹협회, 논문지, 99(6), 1991.
- [13] K. Morita, Y. Suzuki and H. Nozaki, "Study on Long Term Reliability of Suspension Insulators", 일본전기학회, 논문지 B, 117(12), 1997.
- [14] E. A, Cherney, "Cement Growth Failure of Porcelain Suspension Insulators", IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-102, No.8, 1983.
- [15] J. Bellerive, "Performance of Porcelain Insulator Forty Years Experiences at Hydro Quebec", CEA Peper, March, 1990.