

## 알루미나계 자기애자의 장기 피로특성에 관한 연구

한세원\*, 조한구\*, 이동일\*\*, 최인혁\*\*

한국전기연구원 신소재응용연구그룹\*, 전력연구원 송변전연구그룹\*\*

### Study on Long-term Deterioration Properties of Porcelain Insulators with Aluminous System

Se-Won Han\*, Han-Goo Cho\*, Dong-Il Lee\*\* In-Hyuk Choi\*\*

KERI\*, KEPRI\*\*

**Abstract :** In case of aged porcelain, the failure in basic performance tests happened in cool-heat tests. Based on this characteristic, we studied the method predicting failure phenomena through more severe accelerated cool-heat ageing and accelerating thermal mechanical performance tests. Test results indicated that the thermal stress by temperature gradient was more severe parameter than thermal stress by quenching cycles within a category of standard or accelerating methods. And there is no the deterioration of statistic strength, but the deterioration of strength according to accelerating tests is serious.

**Key Words :** Aluminous porcelain insulator, Long-term deterioration, Heat-cool test, Thermal mechanical acceleration test

#### 1. 서론

전력용 자기재 애자는 장시간 동안 가혹한 환경에서 노출되어 사용하기 때문에 기계적으로나 전기적으로 장기 피로에 대한 내구성이 요구된다. 송전용 애자의 신뢰성을 검증하는 가장 중요한 요인도 이러한 관점에서 시험과 평가가 이루어진다. 현장 수거품의 경우 규격에 따른 장기 신뢰성 평가 항목에 대한 시험을 실시한 후 문제점이 발견되면 보다 엄격한 가속 시험을 실시하여 상태 검진과 열화 정도를 조사한다. 본 연구에서는 현재 국내 송전용 절연물로 가장 많이 사용하고 있는 알루미나계 자기 애자를 대상으로 열화 피로 특성 시험을 실시하여 열화 요인과 최적의 가속 피로 특성 시험법에 대하여 검토하였다.

#### 2. 실험

실험에 사용된 애자는 송전용 자기재 애자로 한전규격 ES 131-543(250mm, 현수애자) 사양에 따르는 제품이다. 현재 송전용 현수애자로 사용되는 제품은 제작사와 제작년도에 따라 다양하지만 크게 알루미나 첨가량에 따라 크리스탈 발라이트 결정상 제품과 알루미나 결정상 제품으로 대별할 수 있다. 열화가 진행된 자기질 애자의 경우 냉열에 의한 스트레스에 약한 것으로 알려져 있다.

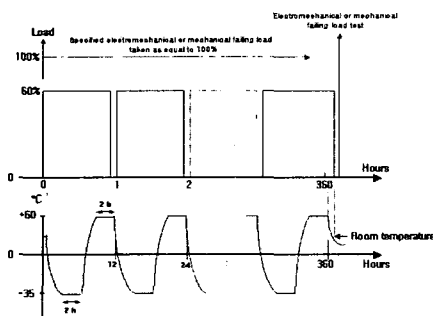


그림 1. 경년 가속 시험

본 연구에서는 냉열의 주기를 20회, 각각의 유지시간을 10분으로 하여 냉열 가속 시험을 실시하였다. 이때 적절한 주기에 누설전류, 유전특성 및 내전압 시험으로 제품의 상태를 파악하였다. 그림 2는 냉열 가속 시험보다 시험 조건이 엄격한 경년 가속 시험을 나타낸 것이다. 이 실험에서는 냉열 온도차가 더 크고 기계적 스트레스가 작용하기 때문에 제품의 내구성을 판단하는 지표로 많이 적용되는 시험 항목이다. 그림 1은 경년가속시험 과정을 나타낸 그림이다.

#### 3. 결과 및 고찰

자기애자의 저속도 균열 성장 속도를 고려하여 사용 전에 사용 응력 이상의 응력 하에서의 하중 시험을 하여 보증 시험(Proof Test)을 실시하게 된다. 여기서 사용 응력-보증 시험 응력-정적 피로 파괴 시간 관계를 이론적으로 도입하면서 세라믹 소재가 사용 중에 정적으로 피로 파괴에 이르는 신뢰성을 추정하였다(그림 2).

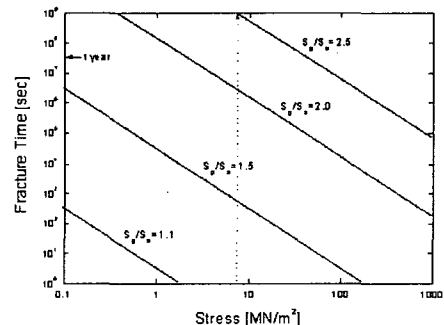


그림 2. 자기 애자 보증 시험 통계도

10MPa(102kg/cm²)의 응력을 받는 자기 애자의 경우 40년간의 안전을 보장받으려면 사용 응력보다 2.5배 큰 응력을 가하여 보증시험을 실시할 필요가 있음을 나타낸다.

보통 애자의 최대 사용 하중은 보증 강도의 40% 이하로 상시 사용 하중은 보다 낮은 레벨로 설정되어 있다. 이것은 자기 재료의 정적 피로 한계보다 훨씬 낮은 응력 레벨에서 있는 것이다. 따라서 자기애자가 정적 피로 파괴를 발생하는 경우는 실제로 거의 없다. 자기애자의 열 및 기계적 피로 특성을 이해하기 위해 열, 기계 해석 프로그램을 사용하여 열화 거동을 분석하였다. 온도구배를 100℃로 하여 스트레스를 가하는 경우 자기애자의 시멘트의 변위는 0.05% 발생하는 것으로 나타났다. 그림 3은 시멘트 변위차에 따른 자기부의 스트레스 특성을 해석한 결과이다. 자기애자 구조상 절연부에 열충격으로 작용하는 것은 절연부의 자기 스트레스와 시멘트의 변위로 인한 것이 있다. 장기 열화로 인해 시멘트의 변위가 0.1%까지 발생하는 경우 실사용 조건에서 자기부에 가해지는 최대 인장강도는 그림 5의 해석 결과에서 알 수 있듯이 약 200kgf/cm<sup>2</sup> 인 것으로 나타났다. 이 값은 알루미늄계 자기애자의 자기 강도값의 약 13% 정도에 해당하는 것으로 장기간 작용하면 파손으로 이어질 가능성이 높다.

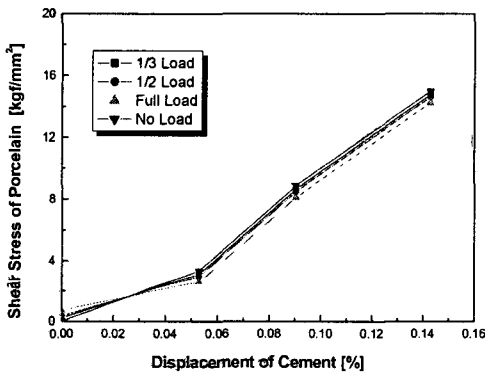


그림 3. 시멘트 변위에 따른 자기부 스트레스 특성

자기의 형상이 복잡하고 실선로에 적용되는 경우 하중의 변화와 더불어 시멘트 등의 변위로 인한 스트레스가 자기 두부에 작용하기 때문에 정확한 응력을 계산하기란 불가능하다.

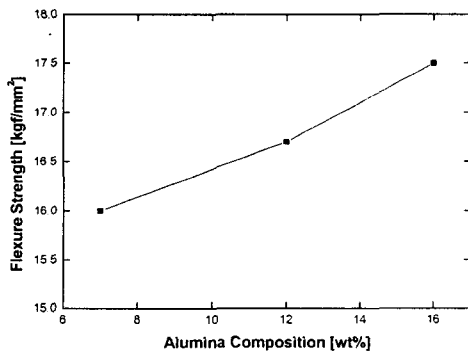


그림 4. 알루미늄 자기 애자의 기계적 강도 특성

이러한 관계를 실험적으로 측정이 가능한 자기, 시멘트 및 금구의 기계적, 열적 특성과 실제 형상을 고려하여 기계적 인장 하중과 시멘트의 변위로 인한 응력이 자기에 미치는 영향을 프로그램으로 모델링하여 계산된 응력을 SPT 특성에 적용하여 비교하였다. 모델링의 주 변화 요소는 실제 송전 환경의 인장 하중 특성을 고려하여 과전 하중 조건(0, 1/3, 1/2, Full loading, 실제 사용 환경은 과전 하중 파괴치의 1/4-1/5로 알려져 있음)을 설정하였으며 특히 캡-핀 간의 접합을 담당하는 시멘트의 온도 변위 특성을 고려하여 자기부에 미치는 응력을 해석하였다. 그림 4는 실제 제품의 강도특성이다. 실제적으로 시멘트는 양생 과정에서 0.05% 정도의 변위를 경험하기 때문에 이를 고려하면 과전하중을 1/2-1/3로 달리할 때 계면을 따라 자기부에 작용하는 최대 응력은 298-312kgf/cm<sup>2</sup> 값은 갖는다. 결국 애자 자기부에 작용하는 응력은 애자 환경에 따른 인장하중과 온도 환경에 의한 계면 변위의 영향을 크게 받기 때문에 이러한 요소를 고려한 검토가 중요하다.

#### 4. 결론

냉열 시험에서 자기의 장기 신뢰성을 가속적 방법으로 확인하기 위해서는 열 충격 구배의 온도를 적절히 설정하여 시험하는 것이 가장 중요한 요인임을 알 수 있었다. 온도 구배를 95℃로 강화하여 경년 가속 열화 시험과 모의 해석 결과 크리스토팔라이트 자기는 알루미늄이 강화된 제품과 비교하여 열 스트레스에 의한 내부 열화가 진행되면서 강도가 저하하였으며 피로 거동은 시멘트의 변위차로 인한 충격보다는 순간적인 온도차로 나타나는 자기 스트레스가 큰 것으로 나타났다. SPT 보증 시험특성 분석을 적용하면 1/3 과전하중에 시멘트 변위가 없는 경우 73.4 kgf/cm<sup>2</sup> 정도 누적 피로 파괴 시간은 10<sup>9</sup>초 이상이 되어 년수로 계산하면 약 31년에 해당하는 수명이다. 실제 선로의 경우 애자에 작용하는 하중은 과전 보증 하중치의 1/4-1/5이기 때문에 이러한 조건에서 자기의 정적 피로 파괴는 거의 발생하지 않는 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 전력연구원의 연구비 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] "현수애자의 장기신뢰성에 관한 연구", TIEE, Japan, Vol. 117-B, No. 12, 1529-, 1997.
- [2] "배전선 절연사고 방지대책", 일본 전기협동연구, 27권, 3호.
- [3] "Thermal Mechanical Performance Test and Mechanical Performance Test on String Insulator Units", NGK B or NGK C Test Method, IEC 575, 1977.