

송전용 고분자 애자의 정적 및 동적인 상태에서 장기 기계적 특성 연구

김수연 김영성 홍진영 박완기  
LG전선주식회사

A Study on the Long-term Mechanical Properties Under Static and Cyclic State of Composite Insulators for Transmission Lines

S.Y.Kim, Y.S.Kim, J.Y.Hong, W.K.Park  
LG Cable & Machinery Ltd.

**Abstract** - The extensive use of composite insulators for transmission lines can ultimately be justified only on long-term qualification tests. The actual load working on the insulator in the field is not static load but cyclic load. So in this paper, we discussed an examination of aging degradation by mechanical performance of composite insulators under static tension load and cyclic tension load, and also described useful approaches for analyzing their long term performance so as to develop reliable composite insulators. The static and cyclic tension load-time test data were examined by Weibull distribution for their capability of presuming long term performance.

It was found that cyclic tension loads were more severe than static tension loads. The results also indicate that it may be relevant for an user to select composite insulators on basis of their performance under cyclic tension loads than static tension loads.

2. 본 론

2.1 시험 시료

평가 대상은 154kV 16.5ton 계열의 송전선로용 고분자 애자로서 시료의 형상은 그림 1과 같다.

고분자 애자에서 기계적 특성에 가장 중요한 역할을 하는 금구와 심재의 연결방식은 가장 보편적으로 사용하고 있는 압착방식을 택하였다. 고분자 애자에서 내부절연과 기계적 하중을 지지하고 있는 심재는 epoxy resin에 유리섬유가 강화된 FRP rod를 사용하였으며 직경은 22.0mm이다. 시험에 사용한 시료의 길이는 600mm로 기존 애자의 축소형이다.

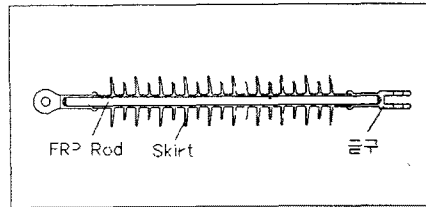


그림 1. 시험에 사용된 시료의 형상

1. 서 론

산업규모의 급속한 확대와 생활구조의 향상으로 인한 냉난방설비 등의 급증으로 전력수요가 지속적으로 증대하여 송배전 선로의 초고압, 대용량화가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 전력계통에서 중추적 역할을 담당하고 있는 가공 송전선로는 사고시 전력공급에 큰 차질을 초래할 수 있다는 점과 국토의 지형적 특성 및 사회적 요구 때문에 주로 산악지역에 설치되어 있는 점을 고려하여 설비의 소형화, 경량화, 안정성 및 유지 보수의 간편화가 절실히 요구되고 있다<sup>(1)</sup>. 이러한 요구에 따라 최근 가공선로에서 기존 자기재를 대체하여 고분자 애자의 사용이 확대되고 있으며 전기적, 물리적 및 단기적인 기계적 시험에서 그 특성이 양호함을 보여주고 있다.

그러나 자기재 애자와의 제품수명 비교에서 신뢰성 평가에 문제를 보이는 것은 기계적, 화학적 응력으로 인한 유기물 재료의 열화로 인하여 장기적으로 기계적 특성에서 신뢰성을 주지 못하기 때문이다. 특히, 애자가 포설될 첩탑의 실제환경에서는 풍압, 온도, 빙설 등의 영향으로 고분자 애자가 받는 기계적 응력은 정적인 상태가 아니라 동적인 상태이므로 이를 위한 특성평가 시험이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 애자의 포설환경을 고려하여 모델링한 동적인 하중 조건하에서의 장기적인 기계적 특성 시험을 실시하였으며 이를 정적 하중상태에서의 특성과 비교함으로써 두 조건에서의 시간-하중 특성의 차이점을 파악하였다.

2.2 시험 방법

기계적 인장특성 평가를 위하여 25ton 만능인장시험기(모델명:Z250/SA5A, Zwick,독)를 사용하였으며 모든 시험은 실온에서 진행되었다. 그림 2는 시험진행중인 인장시험기를 나타낸 것이다.



그림2. 만능인장시험기

### 2.2.1 정적인 상태에서의 시험

우선 시험품의 최대인장파괴하중(MML) 값을 설정하기 위하여 동일한 압착조건으로 제작한 10개의 시료에 대해 파괴점까지 선형적으로 인장력을 증가시켜 MML 값을 구하였고 그 값은 20 ton이었다.

각 단계별 측정 하중을 설정하는데 있어서 30일 이내에 파괴현상이 나타날 수 있도록 MML의 70%이내<sup>(2)</sup>인 18.5, 17.5, 16.5, 15.5, 14.5ton의 5단계로 설정하였고 각 단계별 4~6개의 시료를 사용하여 시간에 따른 파괴특성을 평가하였다.

### 2.2.2 동적인 상태에서의 시험

실제 사용중의 고분자 애자가 받는 기계적 응력은 풍압, 온도, 빙설 등의 영향으로 정적인 상태가 아닌 동적인 상태가 되므로 모의시험을 위해서는 이 환경을 최대한 근접하게 모델링 하는 것이 중요하다.<sup>(3)(4)</sup> 본 연구에서는 그림 3과 같이 기준하중에서 진폭하중 만큼을 일정한 주기로 가감한 가변하중을 인가함으로써 선로의 동적 하중을 모의하였다. 이때 진폭하중은 154kV 16.5ton계 가공송전선로의 실 사용중 풍압과 빙설에 의한 하중을 고려하여  $\pm 1.5\text{ton}$ <sup>(5)</sup>으로 하였으며 가속요소로서 주파수를 1Hz로 설정하여 기준하중 17.5, 16.5, 15.5, 14.5, 13.5, 12.5, 11.5ton에 각각 중첩하여 인가하였다.

시료의 수는 정적인 상태에서와 동일하게 각 단계별 4~6개의 시료를 사용하였다.

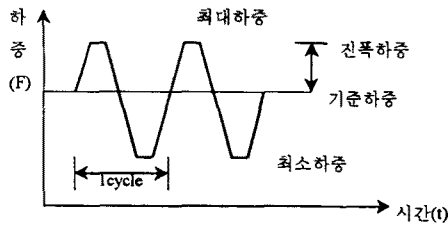


그림 3. 동적인 상태를 모델링한 형상

## 2.3 시험 결과 및 분석

### 2.3.1 정적인 상태에서의 시험

각 단계별 정적하중을 인가하여 얻은 파괴시간 데이터로부터 시료의 수명을 예측하기 위하여 그림 4에서와 같이 Weibull 분포함수에 적용하여 각 단계별 50% 파괴확률의 시간을 취하였으며 이를 그림 5와 같이 하중-시간 곡선에 적용하여 수명을 예측하였다.

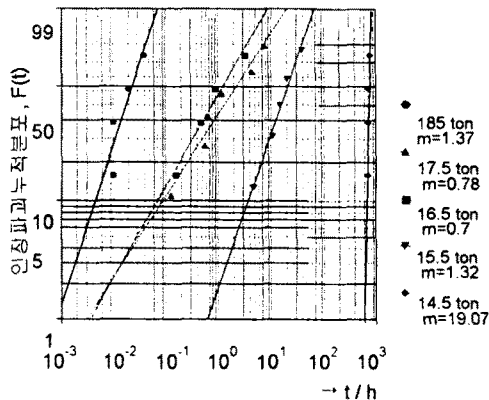


그림 4. 정적인 시험에 대한 Weibull 분포

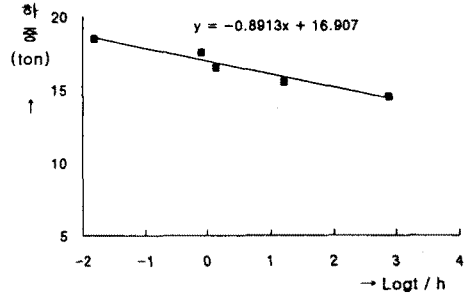


그림 5. 정적인 상태에서의 시간-하중 그래프

정적상태의 하중-시간 특성은 그래프상에서 선형적인 감소 곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 이같은 추이로부터 12ton의 정적 인장하중에서 일반적인 애자의 수명인 30년 이상을 보장할 수 있음을 예측할 수 있으며, 빙설, 풍압 등을 고려한 154kV급 가공송전선로의 실 포설환경의 최대하중인 5.5ton의 하중<sup>(6)</sup>에서는  $7.1 \times 10^6$ 년의 수명을 예상할 수 있다.

### 2.3.2 동적인 상태에서의 시험

그림 6은 동적 하중을 인가하여 얻은 하중-시간 data를 Weibull 분포에 적용하여 그 추이를 나타낸 것이다.

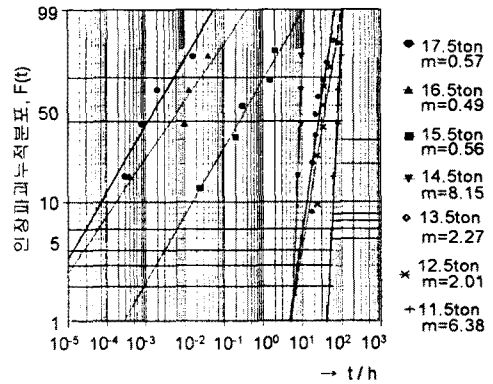


그림 6. 동적인 상태에서의 Weibull 분포

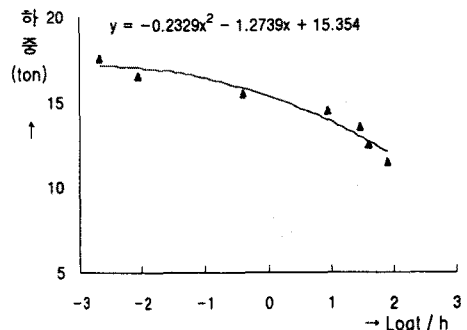


그림 7. 동적인 상태에서의 시간-하중 그래프

### 3. 결 론

그림 7에서는 Weibull 분포에서 각 단계별 50% 파괴확률의 시간을 취하여 시간-하중 그래프를 나타내었다. 정적인 상태에서의 선형적 그래프와는 달리 포물선 형태의 시간-하중 그래프가 되는 것을 알 수 있다.

#### 2.3.3 시험결과와 분석

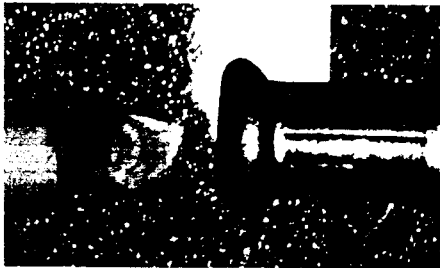
이상과 같은 시험 결과로부터 동적인 상태에서의 최대 유지시간인 100시간 이내의 파괴하중을 살펴보면 동적인 상태의 하중이 정적인 상태에서 보다 20% 이상 낮으며 이 하중의 차이는 시간이 경과 할수록 커지는 것을 알 수 있다. 즉, 일정 하중에서의 유지시간은 동적인 상태가 정적인 상태에서 보다 짧은 시간을 보여주고 있을 뿐 아니라 하중에 따른 파괴시간의 추이도 서로 다른 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

이러한 이유는 정적상태에서의 파괴현상과 동적상태에서의 파괴현상이 서로 다른 메카니즘에 의해 기인됨을 짐작할 수 있으며 파괴된 시편의 형상을 분석함으로써 설명할 수 있다. 그림 8은 정적인 상태와 동적인 상태에서 장기간 인장시험 후 파괴된 시편의 형상을 보여주고 있다.

본 연구에서는 옥외용 고분자애자의 기계적 특성을 파악하고자 정적상태와 애자의 포설환경을 최대한 모델링한 동적상태에서의 모의시험을 통해 각각의 파괴특성을 고찰해 보았다. 시험결과 정적 및 동적 하중상태에서의 하중-시간 시험을 통해 얻어진 수명예측 추이가 서로 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있었고 이는 서로 상이한 파괴 메카니즘에서 기인되는 현상임을 알 수 있었다.

정적인 상태에서는 금구와 압착부위에서 상당 기간이 지난 후 취성적 파괴형태를 나타내고 있는 반면 동적인 상태에서는 FRP rod에 가해지는 동적인 스트레스로 인하여 FRP rod의 주성분인 레진과 유리섬유 사이의 파로하중이 커지면서 비교적 짧은 시간내에 이종물질간의 계면적 파괴 양상을 보이고 있었다.

결론적으로 옥외용 고분자애자의 실포설환경은 정적하중 보다는 동적하중 상태의 스트레스가 지배하므로 FRP rod의 동적특성을 개선시키는 측면에서 레진과 유리섬유사이의 계면특성을 향상시킬 경우 고분자애자의 기계적 신뢰성을 보다 높일 수 있을 것이다.



a. 정적인 상태



b. 동적인 상태

그림8. 시험 후의 파괴된 시료의 형상.

정적인 상태에서는 FRP rod 자체에 동적인 하중이 주어지지 않은 상황이어서 금구와 압착부위에서 상당 기간이 지난 후 유리섬유에서의 취성적 파괴를 야기하는 것으로 사료된다.

반면 FRP rod에 동적인 하중이 가해지는 경우에는 정적인 상태에 비해 짧은 기간 내에 FRP rod가 축방향으로 갈라지는 형태의 파괴현상을 나타내고 있다. 이는 동적인 스트레스로 인한 파괴현상을 지배하는 메카니즘이 유리섬유의 취성파괴 현상이 아닌 FRP rod의 주성분인 레진과 유리섬유 사이의 계면 파괴에서 기인되고 있음을 나타내는 것이다.

본 연구는 한국전력공사 지원과제인 "송전용 고분자 애자의 제조기술 및 열화시험기술 개발(생기 97-5)로 수행한 연구내용입니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 송전용 고분자애자의 제조기술 및 열화시험기술 개발(1차년도 완료보고서). 한국전력공사
- [2] C.de Tourreil, R.Roberge, P.Bourdon, "Long-Term Mechanical Properties of high Voltage Composite Insulators", IEEE Transmission on Power Apparatus and System, Vol PAS-104, No.10, October 1985.
- [3] C.H. de Tourreils, Senior Member, IEEE, "Response of Composite Insulators to Dynamic Mechanical Loads", 89 SM 769-1 PWRD.
- [4] Takeshi Ishihara, Masaru Kojima, Toshio Akiyama, Shigeo Ishino, "Aging Degradation to the Mechanical Properties of Composite Insulators and its Analytical Approaches" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 3, No 1, January 1988.
- [5] 송전철탑 설계 표준화 용역 최종 보고서. 한국전력공사
- [6] 설계기준 1310(가공송전선 애자장치 기준). 한국전력공사