

## 초고압 현수애자의 기계적 강도 해석

### Mechanical Strength Analysis of Ultra High Voltage Suspension Insulator

(조한구\* · 한세원\* · 박기호\* · 이동일\*\* · 안용호\*\* · 최연규\*\*)

H. G. Cho\* · S. Y. Han\* · K. H. Park\* · D. I. Lee\*\* · H. Y. An\*\* · Y. G. Choi\*\*

#### Abstract

The main objective of this paper is to design and mechanical strength analysis of UHV(Ultra High Voltage) suspension insulator. One of the important properties required for suspension insulators is mechanical strength under tensile load. The cement and porcelain part are express according to change of pin head type an aspect mechanical stress. These insulators are designed and produced by using the computer analysis of mechanical, electrical and electrical stresses together with the technical know-how accumulated from long years of study into every respect of insulators.

**Key Words** : Mechanical Strength, Porcelain, Suspension, Insulator

#### 1. 서 론

송·배전용 자기 현수애자는 선로와 대지간의 절연의 목적으로 사용되며, 현수애자의 실선로상에 전력설비 및 수용가에 막대하다<sup>1)</sup>.

산업의 급격한 발달로 인하여 대전력의 소모가 늘고 있는 실정이다. 이에 차세대 송전의 대용량화로 인하여 송전급 계통의 대규모화를 대처하기 위해서는 송전급 초고압 현수애자의 개발이 시급한 실정으로 부각되어지고 있다. 일본에서는 1974년부터 UHV 송전시대에 대응하여, 오랜 세월에 축적된 고성능 애자의 제조에 관한 기술을 결집한 고성능, 고품질의 70톤 및 84톤 현수애자의 개발연구를 추진하여 실제 사용하고 있는 상황이며, 국내에서는 전량 수

입하는 효과를 가지고 있다. 이에 본 연구를 통하여 수입의 대체효과 및 국내 애자시장의 발전을 위해서 연구가 필요하다고 생각되어진다<sup>2)</sup>.

현수애자는 원판형 자기애자와 켈 또는 핀을 시멘트를 이용하여 접착시킨 것으로 송·배전용이나 전기철도용의 전선로, 발전소나 변전소, 통신선의 인류용 등으로 사용되고, 지지물에 따라서 인류나 현수의 두 종류로 구분된다. 그리고 사용전압에 따라 특고압 선로에서는 여러 개의 현수애자를 결합하여 사용하며 일단 구조물에 설치되면 십년이상 장기간 사용되는 특징이 있다.

애자의 순간 최대 기계적 강도는 장기간 사용에 따른 강도저하 현상을 고려하여 보통 사용하중의 2~3배정도로 결정하고 있는데, 애자의 기계적 강도는 사용하중, 애자 부품의 형상 및 치수 등에 좌우된다.

본 연구의 목적은 초고압 현수애자 개발시 작용하는 기계적 특성을 살펴보고 구조물로서의 적합성을 검증할 수 있는 대안을 마련하기 위하여 해석적 프로그램을 통하여 신뢰성을 보완하기 위함이다.

\* : 한국전기연구원  
(경남 창원시 성주동 28-1 한국전기연구원)  
Fax: 055-280-1673  
E-mail : hgcho@keri.re.kr

\*\* : 전력연구원

\*\*\* : 고려애자(주)

## 2. 본 론

### 가. 유한요소 모델링

그림 1은 자기애자의 단면도를 살펴본 것으로 자기부와 핀, 시멘트, 캡으로 나누어져 있다. 각각의 성질이 다른 것이 하나의 부품으로 존재하여 그것을 결합하여 하나의 현수애자를 형성하고 있음을 알 수 있다. 본 유한요소 모델은 핀의 형상 크기를 확대함에 따른 해석상의 문제점을 검토하였다.

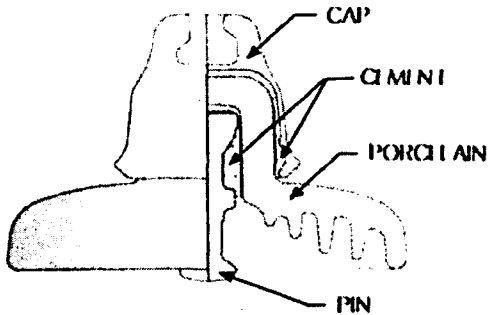


그림 1. 자기애자의 단면도

그림 2는 NASTRAN을 이용하여 응력해석을 실시한 현수애자의 1/4 축소칭 단면사진과 이중재료(캡, 자기부, 시멘트, 핀)의 구성을 보여주는 구성도이며, 응력해석의 요소분할도와 이중물질간의 경계 처리 상태를 나타낸 그림이다. 여기서 총 요소수는 2976개, 절점수는 6167개로 구성하여 해석을 하였다. 인장조건은 상부 경계부를 고정된 상태에서 핀의 하단방향으로 인장력을 가하는 상황으로 하였으며, 최대 인장값은 앞에서 설명한 바와 같이  $90.48\text{kg/mm}^2$ 로 하였다<sup>3)</sup>.

### 나. 결과 및 고찰

실제적인 크기의 애자 형상에서 나타나는 전형적인 응력의 분포의 예를 아래 그림에 해석 결과를 나타내었다. 일반적으로 자기부와 시멘트부와 같이 취성이 큰 소지의 경우 응력해석은 주로 주응력설(Axisym Axial Stress)이 가장 일반화되어 있으며, 핀과 캡은 Von Mises 응력해석에 의해서 해석결과를 살펴볼 수 있다. 아래 그림들은 자기부 두께를 고정하고 핀 두부의 형상[(a) 49mm, (b) 51.5mm, (c) 53.5mm]을 변경함에 따른 응력분포를 살펴본 것으로 몇 가지 특성을 살펴볼 수 있다<sup>4)</sup>.

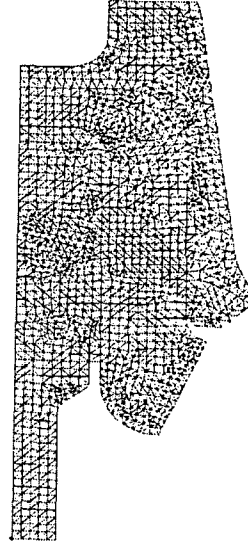
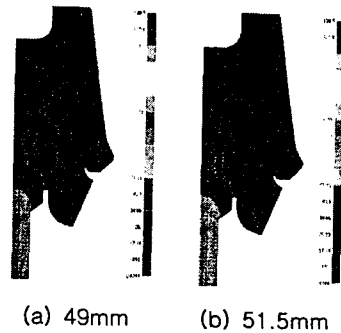


그림 2. 자기애자의 유한요소 모델

표 1은 유한요소 해석시에 사용되어지는 소지들의 기계적 물성에 관하여 나타낸 것이다.

표 1. 애자재료의 기계적 성질

성질 재료	탄성재료 ( $\text{kg/mm}^2$ )	전단계수 ( $\text{kg/mm}^2$ )	포아손비	파괴강도
핀	$2.10 \times 10^4$	$8.30 \times 10^4$	0.28	62
캡	$1.83 \times 10^4$	$7.80 \times 10^4$	0.17	50
시멘트	$3.20 \times 10^4$	$1.30 \times 10^4$	0.22	0.9
자 기	$9.70 \times 10^4$	$3.99 \times 10^4$	0.20	4.0



(a) 49mm

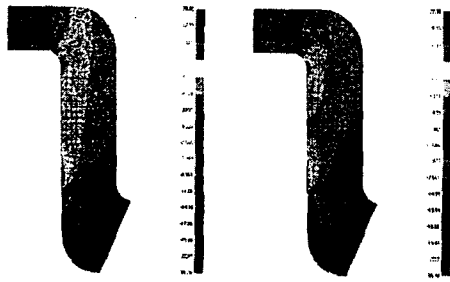
(b) 51.5mm



(b) 53.5mm

그림 3. Von Mises에 의한 응력분포

그림 3은 핀의 형상을 각각 변경한 예자를 Von Mises로 응력을 해석한 결과 핀의 형상을 증가시키도 전체적인 기계적 응력분포 양상은 비슷하게 나타나고 있으며 기계적 강도 측면에도 이상이 없음을 알 수 있다.



(a) 49mm

(b) 51.5mm



(b) 53.5mm

그림 4. 주응력에 의한 응력분포

자기부에 가해지는 응력의 형태는 그림 4에 나타난 것과 같다. 핀의 형상을 변경함에 따른 자기부에

작용하는 응력(인장응력과 압축응력)은 비슷한 응력 값을 나타내고 있으나, 응력분포 양상은 많은 차이를 나타내고 있다. 핀의 형상이 클수록 자기부에 하중은 가중되어지는 국부적인 부분에 응력이 집중되는 양상을 보여주고 있다. 이는 핀의 형상이 변경되지만 자기부의 형상은 그대로 유지함에 따른 핀에서 형상 변경에 따른 자기부에 미치는 응력이 바로 전달되어지는 문제점에 의해 국부적으로 취약한 부위에서 응력이 집중되는 단점을 보여주고 있다.

자기부에 걸리는 최대 인장강도 값이 20MPa 이상으로 이 값은 고강도 알루미늄질 자기부의 인장파괴 강도값을 60MPa 정도로 본다면 파괴에 이르기에는 많은 여유가 있다.



(a) 49mm

(b) 51.5mm



(b) 53.5mm

그림 5. 시멘트부의 주응력에 의한 응력분포

그림 5는 시멘트부에 작용하는 응력분포를 나타낸 것이다. 주로 핀의 헤드 하단에 큰 인장력이 작용하는 것으로 나타났으며, 최대 인장강도는 50MPa 정도로 나타났으며, 압축력에 따른 압축강도는 약 20MPa 이상의 강도값이 나타나고 있으나 고강도 시멘트의 압축강도는 해석값보다 훨씬 높은 80MPa로 알려져 있다.

해석결과를 살펴보면 시멘트부에 있어서 핀 형상

이 변경될수록 시멘트부의 상단부가 얇아지는 단점을 보이고 있으며 이는 국부적으로 응력이 집중되어지는 양상을 보여준다.

그림에서 핀의 형상이 (c) 53.5mm인 경우에서 상단 끝 핀부분에서 응력분포가 집중되어짐을 알 수 있다. 이는 핀의 형상이 증가함에 따라 시멘트부가 응력을 완화시키는 역할을 하는 것이 아닌 곧바로 자기부에 응력을 전달하는 양상을 보이는 것 때문이라고 생각되어진다.

### 3. 결 론

본 연구는 초고압 현수애자 개발에서 중요한 요건으로 생각되는 기계적 특성을 유한요소 모델을 사용하여 해석하여 실 구조물로서의 사용가능성을 미리 예측하기 위하여 해석적 프로그램(NASTRAN)을 사용하여 계산과 해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일정한 인장하중을 가하였을 경우에 핀의 형상을 변경함에 따른 자기부에 작용하는 응력(인장응력과 압축응력)은 비슷한 값을 나타내고 있다.
2. 자기부에 걸리는 최대 인장강도 값이 20MPa 이상으로 이 값은 고강도 알루미늄질 자기부의 인장파괴 강도값을 60MPa 정도로 본다면 파괴에 이르기에는 많은 여유가 있다.
3. 시멘트부에 작용하는 응력을 살펴보면 핀의 헤드 하단에 큰 인장력이 작용하며, 최대 인장강도는 약 50MPa 정도이며, 압축강도는 약 20MPa 이상의 응력이 작용한다.
4. 시멘트부에 있어서 핀 형상이 변경될수록 시멘트부의 상단부가 얇아지는 단점을 보이고 있으며 이는 국부적으로 응력이 집중되어지는 양상을 보여준다.

### 참 고 문 헌

- [1] J.S. Looms "Insulators for High Voltages" Chap. 2, 1988
- [2] 新宮行太 "碍子和 碍管" 第4章
- [3] Kuniji Kito, Akihiro Watanabe, Takashi Irie and Hiroshi Nozaki "Ultra High Strength Insulators for UHV Transmission Lines Mechanical and Electrical Strength of 70 and 84 ton Suspension Insulators" NGK Review
- [4] 조한구 외 1명 "초고압 현수애자의 핀형상에 따른 기계적 강도 해석", 한국전기전자재료학회 춘계학술집,