

## 초고압 현수애자의 Pin 형상에 따른 응력해석

### Analysis for Stress According to Pin Type of High Voltage Suspension Type Insulator

조 한 구 · 박 기 호

H.G. Cho · K.H. Park

#### Abstract

In this study mechanical for stress according to Pin type of high voltage suspension type insulator. R-shaped metal pin, and a tapered metal pin having a tensile pin having a tensile strength of more than the breaking strength of insulating body are provided in porcelain insulating bodies, and a suspension insulator according to the present invention, a test for determining the tensile strength of the insulating body was made and the results.

These insulators are designed and produced by using the computer analysis of mechanical and electrical stresses together with the technical know-how accumulated from long year of study into every respect of insulators.

**Key Words(중요용어)** : Tensile Strength, Porcelain Insulator, Pin Type

#### 1. 서 론

최근에 들어서 차세대 송전의 대용량화로 인하여 송전급 계통의 대규모화를 대처하기 위해서는 송전급 초고압 현수애자의 개발이 시급한 실정으로 부각되어지고 있다. NGK에서는 1974년부터 UHV(Ultra High Voltages) 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 수입하는 실정이다. 국내에서는 송전용 현수애자의 수요가 계속적으로 증가하는 추세에 비하여 국내에서 생산되는 송전급 초고압 현수애자의 개발이 미흡한 실정이다.

이에 본 연구를 통하여 수입 대체효과 및 국내 애자

시장의 발전을 위해서 연구가 필요하다고 생각되어진다.

송·배전용 자기 현수애자는 선로와 대지간의 절연의 목적으로 사용되며, 현수애자의 실선로상에 전력설비 및 수용가에 대단히 중요하다.

자기질 현수애자는 자기부, 금구부 그리고 자기와 금구를 결합하는 결합부(시멘트)로 구성되어 있다.

본 연구에서는 초고압 현수애자의 이론적 방법에 해석적 방법을 접목하여 핀 형상 변경에 따른 기계적 강도를 예측하였으며, 초고압 현수애자가 실 구조물로서 사용시 문제점을 미리 예측하여 보완하기 위한 목적으로 시뮬레이션을 통한 해석을 시행하였다.

#### 2. 기계적 강도이론

##### 2.1 현수애자의 파괴강도 이론

현수애자의 파괴강도의 이론적으로 생각하여 보면 파단(rupture)은 큰 응력을 받아서 물체가 절단되는 것을 말하고, 파괴(fracture)는 재료에 균열이 생겨 이것이 성

한국전기연구원

(경남 창원시 성주동 28-1 한국전기연구원)

Fax: 055-280-1673

E-mail : hgcho@keri.re.kr

장되어가다가 파단이 되는 현상을 말한다.

주철이나 유리같이 뚜렷한 소성변형없이 파단되는 현상을 말한다. 주철이나 유리같이 뚜렷한 소성변형없이 파단되는 것을 취성파괴(brittle fracture)라 하고, 국부적인 단면수축(necking)인 소성변형이 생기면서 파괴하는 것을 연성파괴(ductile fracture)라고 한다.

## 2.2 인장강도 특성

애자의 전형적인 stress-strain 특성 곡선이다. 자기의 stress-strain 특성곡선에서 인장력(OP)과 압축력(OP')을 구할 수 있고, 파괴에 이르기까지는 완전히 Hooke의 법칙에 따라 변화하게 된다. 금속에서는 탄성한도를 넘어 파괴점에 이르기까지 큰 연신율을 가지고 있지만 자기는 이러한 탄성변형(plastic strain)을 발생하지 않는다.

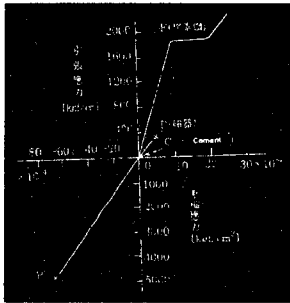


그림 1. 애자의 전형적인 stress-strain 특성 곡선

응력(stress)을  $\sigma$  (kgf/cm<sup>2</sup>), strain을  $\epsilon$  라 하면 탄성계수(Young's modulus) E(kgf/cm<sup>2</sup>)는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

따라서 자기의 인장이나 압축에 따른 탄성계수는 그림 1로부터 대략  $75 \times 10^4$  (kgf/cm<sup>2</sup>)로 계산된다. 탄성강의 탄성계수가  $200 \times 10^4$  (kgf/cm<sup>2</sup>) 정도이므로 자기의 철의 1/3에 해당하는 취성재료의 특성을 가지고 있다.

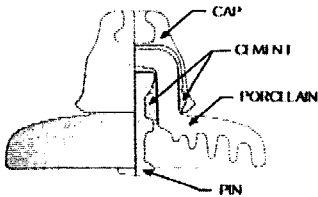


그림 2. 자기애자의 구성도

그림 2는 현수애자의 기본적인 구성도를 나타낸 것으로 이종재료(캡, 시멘트, 자기, 핀)의 구성을 보여주는 구성도이다.

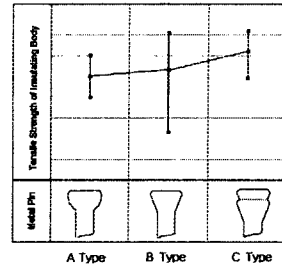


그림 3. Pin 형상에 따른 강도특성

그림 3은 Pin 형상 변경에 따른 기계적 강도특성을 나타낸 것으로 A, B, C Type을 나누었을 때 인장강도를 그림에서 나타내었다. 이론적으로 나타난 값을 비교하여 보면 C Type의 형태에서 초고압 현수애자의 특성에 적용시 유리한 특성을 보일 것으로 이해된다.

## 2.3 유한요소 해석

유한요소해석(FEA ; Finite Element Analysis)이란 구조물내의 무한개의 미지수점들을 유한개의 이산화된 위치들을 절점(node)으로 나타내고, 이들간에 서로 유기적인 관계를 맺어주는 요소(element)를 이용하여 전체 구조물이나 실제의 물리적 시스템을 절점들의 변위를 미지수로 하는 연립방정식으로 나타내고 이를 계산하여 각 절점에서의 변위를 구함으로써 구조물 내의 임의의 점에서의 변위, 응력, 변형률 등의 결과값을 수치적인 근사화를 통해 얻어내는 것을 말한다. 요소라는 것은 도식적으로는 그림 3과 같이 절점과 절점들을 연결하는 블록의 형태를 가지고 있지만 실제로는 각 절점들간의 관계를 나타내는 정보의 집합이라고 할 수 있다.

## 3. 결과 및 고찰

아래 그림들은 NASTRAN을 이용하여 응력해석을 실시한 현수애자의 1/4 축대칭 단면 해석 그림을 보여 주고 있다.

인장조건은 상부 경계부를 고정한 상태에서 핀의 하단방향으로 인장력을 가하는 상황으로 하였으며, 최대인장값은  $89.54 \text{ kg/mm}^2$ 로 하였다.

표 2는 해석에 사용한 이종재료들의 기계적 물성을 나타낸 것이다.

표 2 애자재료의 기계적 성질

성질 재료	탄성재료 (kg/mm <sup>2</sup> )	전단계수 (kg/mm <sup>2</sup> )	프와송비	파괴강도	비고
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	

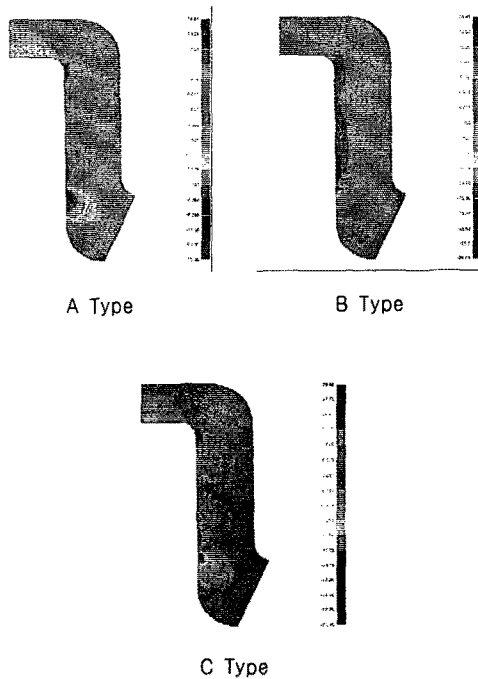


그림 4. 주응력에 의한 자기부의 응력분포

본 해석결과를 살펴보면 실제적인 크기의 애자형상에서 나타나는 전형적인 응력의 분포의 예를 나타낸 해석 결과이다. 일반적으로 자기부는 취성이 큰 소지의 경우이므로 응력해석은 주로 주응력설이 가장 일반화되어 있다.

그림 4는 핀 형상에 따른 자기부의 응력분포를 나타낸 것으로 핀 형상 변경에 따른 응력이 집중을 분석하여 본 결과 B type에서는 넓은 stress의 양상을 보여주고 있으며, C type은 A와 B에서 나타나는 부위별 응력의 양상이 완화되어지는 양상을 보여주고 있다. 이는 C type의 핀 형상이 자기에 미치는 응력을 완화하고 기계적 강도를 충분히 지지할 수 있다고 사료되며 이론적인 값이 그림 2와 유사한 양상을 보여주고 있다.

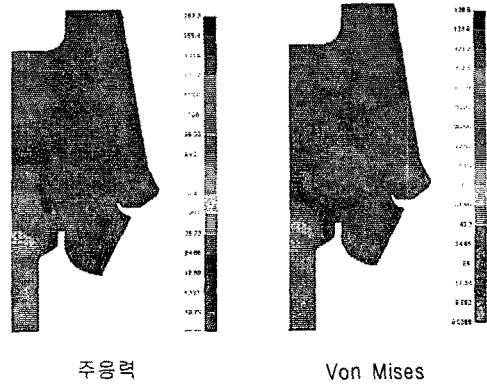


그림 4. 주응력 및 Von Mises에 의한 응력분포

그림 4는 C type에 따른 주응력 및 Von Mises에 의한 응력분포를 나타낸 것으로 자기부에 가해지는 응력의 형태와 핀에 가해지는 응력의 양상을 보면 핀에서 높은 강도를 가지면서 자기부 전체에 스트레스가 미치는 것을 알 수 있다. 이는 강도를 지지하는 현수애자의 구조적인 문제가 전체에 응력을 가하므로 응력이 완화되어주는 양상이 된다.

#### 4. 결 론

본 연구의 결과를 비교 검토하면 다음과 같다. 핀의 하단방향으로 인장력을 가하는 상황으로 하였으며, 최대 인장값은  $89.54\text{kg/mm}^2$ 로 하였다.

핀 형상에 따른 자기부의 응력분포를 나타낸 것으로 B type에서는 넓은 stress의 양상을 보여주고 있으며, C type은 A와 B에서 나타나는 부위별 응력의 양상이 완화되어지는 양상을 보여주고 있다.

C type에 따른 주응력 및 Von Mises에 의한 응력분포를 살펴보면 자기부 전체에 스트레스가 미치는 것을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] 日本電氣學會 “かいし” 第4章, 1987
- [2] J.S. Looms “Insulators for High Voltages” Chap.2, 1988
- [3] 新宮行太 “碍자와 碍管” 第4章
- [4] 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