

초고압 현수애자의 Pin 형상에 따른 응력해석

조한구 · 박기호 · 한세원 · 윤문수  
한국전기연구원

The Temperature Distribution Analysis and Temperature Rise Test of Pole Mold Transformer

Han-Goo Cho · Ki-Hoo Park · Se-Won Han · Mun-Su Yun  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - Various types suspension insulators made of toughness glass or porcelain are used in the power transmission. And, Insulators are continually subject to mechanical and electrical stresses which depend on the characteristics of the line. The main factor that influence the increase in reliability of insulators in operation is the capacity of the design to withstand the certain load over a long time, the mechanical strength of the insulators.

This paper describes the results of a study on the stress analysis of suspension insulator based on the finite element analysis using NASTRAN. And, the mechanical strength was evaluated through such as kinds of pin type.

물로서 사용시 문제점을 미리 예측하여 보완하기 위한 목적으로 시뮬레이션을 통한 해석과 실 해석 모델 제품을 제조, 평가하여 비교 검토하였다.

2. 유한요소 모델링

그림 1은 NASTRAN을 이용하여 응력해석을 실시한 현수애자의 1/4 축대칭 단면사진과 이종재료(캡, 자기부, 시멘트, 핀)의 구성을 보여주는 구성도이며, 응력해석의 요소분할도와 이종물질간의 경계처리 상태를 나타내었다. 여기서 총 요소수는 2976개, 절점수는 6167개로 구성하여 해석을 하였다. 인장조건은 상부 경계부를 고정된 상태에서 핀의 하단방향으로 인장력을 가하는 상황으로 하였다.

1. 서론

산업의 발전과 문화 생활의 발달에 따라 전력수요는 급격히 증가하고 있으며, 이를 대처하기 위하여 발전시설을 건설함과 동시에 전력계통에서는 송전시 대용량 송전과 전력손실을 감소시키기 위하여 송전전압을 345kV에서 765kV로 증압송전을 하고 있다.

그리고, 현재 건설된 765kV 선로에 설치되어 있는 초고압용 400kN(40ton) 현수애자의 경우 아직 국내 개발이 되지 않아 모두 수입에 의존하는 실정이며 초고압용 현수애자를 수입하는데 사용하는 비용은 연간 수십 억원에 달하고 있다.

가혹한 환경에서도 장시간에 걸쳐서 전선을 기계적으로 지지해야 하고 뇌 방전 등에 의한 섬락 및 전류가 애자의 두부를 통전할 때 발생하는 아-크 에너지에 견디는 우수한 애자를 개발하기 위해서는 재료적, 전기적 및 기계적 특성 등을 고려해야 함과 동시에 응력해석에 의한 최적의 형상을 갖도록 설계하여야 한다.

현수애자는 원판형 자기부와 캡 또는 핀을 시멘트를 이용하여 접착시킨 것으로 자기부, 금구부 그리고 자기와 금구를 결합하는 결합부(시멘트)로 구성되어 있으며, 송·배전용이나 전기철도용의 전선로, 발전소나 변전소, 통신선의 인류용 등으로 사용된다. 그리고 사용전압에 따라 특고압 선로에서는 여러 개의 현수애자를 결합하여 사용하며 일단 구조물에 설치되면 십년 이상 장기간 사용되는 특징이 있다.

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

따라서, 본 논문에서는 초고압 현수애자에 작용하는 기계적 특성을 살펴보고 구조물로서의 적합성을 해석적 프로그램을 통하여 검증하였고, 또한 현수애자의 이론적 방법에 해석적 방법을 접목하여 핀 형상 변경에 따른 기계적 강도를 예측하였으며, 초고압 현수애자가 실 구조

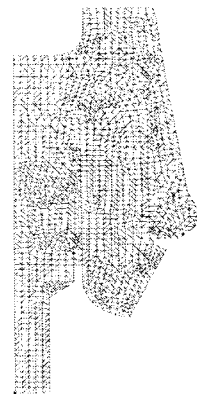


그림 1. 자기애자의 유한요소 모델

3. 결과 및 고찰

그림 2는 A type의 round 1 pin, B type은 straight 1 pin, C type은 round와 straight가 조합된 2 pin인 경우 핀 형상 변경에 따른 자기부의 응력분포를 나타낸 것으로 그 결과는 A type인 경우 두부의 상부측에서 응력집중을 보여주며, 하부측 핀의 목부위에서 응력분포가 넓게 형성되어져 있다. B type에서는 전체에 폭넓게 응력이 작용하고 있으며, 목부위는 미약한 응력값을 보여준다. 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 사료되어지며, 이론적인 그래프와 유사하게 나타남을 알 수 있다.

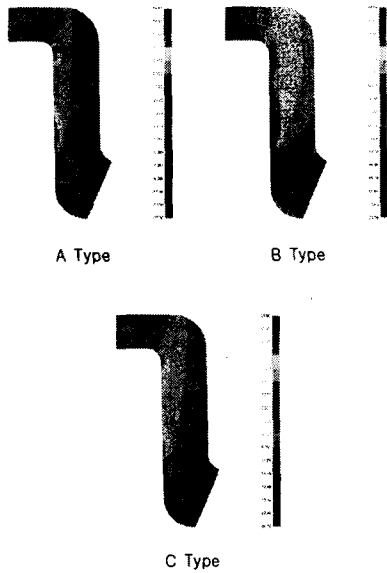


그림 2. 주응력에 의한 자기부의 응력분포

그림 3은 핀 형상에 따른 응력의 양상을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 A와 B type은 다른 응력의 양상을 보여주고 있다. 이는 핀의 형상에 따라서 응력분포 양상이 크게 변화하며, C type에서는 응력분포가 핀 상부부분까지 집중된 것이 완화되어지는 경향을 보여준다.

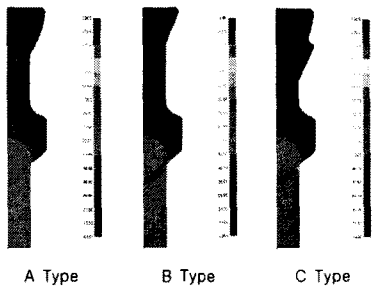


그림 3. Von Mises에 의한 응력분포

그림 4, 그림 5, 그림 6은 자기부 형상 변경이 없는 상태에서 핀 상부측 두부의 크기[(a) 49mm, (b) 51.5mm, (c) 53.5mm]를 변경함에 따른 응력분포를 살펴본 것으로 몇 가지 특성을 살펴볼 수 있다.

그림 4는 핀의 두부형상(49, 51.5, 53.5mm) 변경에 따른 자기에자의 Von Mises 응력분포를 살펴본 결과로, 핀의 형상을 증가시켜도 전체적인 기계적 응력분포 양상은 비슷하게 나타나고 있으며 기계적 강도 측면에도 이상이 없음을 알 수 있다.

그림 5는 자기부에 가해지는 응력분포 양상을 보여주는 것으로 핀의 형상을 변경함에 따른 자기부에 작용하는 응력(인장응력과 압축응력)은 비슷한 응력값을 나타내고 있으나, 응력분포 양상은 많은 차이점을 나타내고 있다. 두부의 크기가 49mm인 경우 응력의 양상은 높은 값이 넓게 형성되어 캡 주위로 응력이 전달되어짐을 알 수 있으며, 51.5mm인 경우에는 자기부에 응력분포가 상부 및 하부측에 응력분포가 확산되어져 낮은 값들이 캡부위로 전달되어짐을 보여주고 있다. 그러나 두부의 크기가 53.5mm인 경우에는 자기부의 상부 및 하부에 응력분포가 완화되어지는 않고 국부적으로 응력이 집

중되어서 가해지는 양상을 보여주고 있다. 이는 핀 두부 형상이 변경되지만 자기부의 형상은 변경이 되지 않은 상태로 자기부에 응력이 전달되는 경우에 핀의 두부 크기가 53.5mm에서는 핀에서 자기부에 작용하는 응력(인장 및 압축)이 곧바로 전달되어서 국부적 응력이 집중되는 단점을 보여주고 있다.

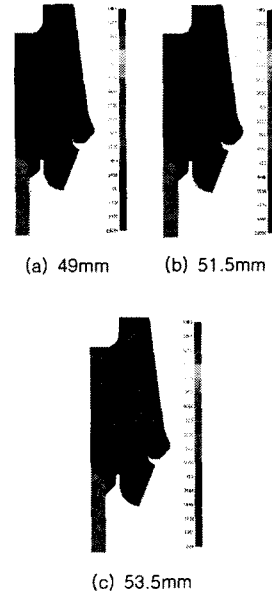


그림 4. Von Mises에 의한 응력분포

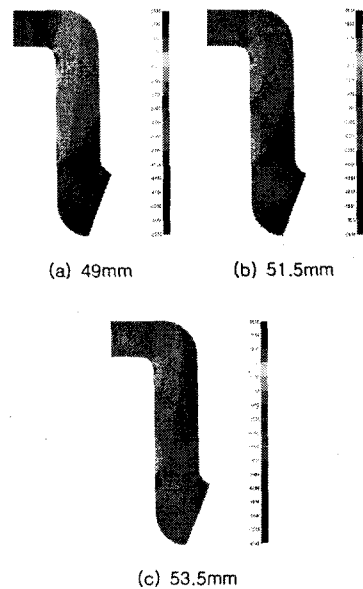


그림 5. 주응력에 의한 응력분포

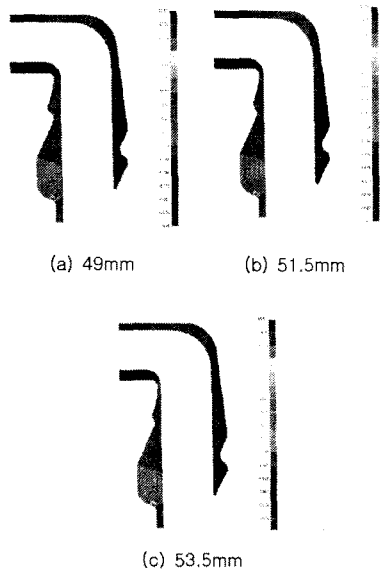


그림 6. 시멘트부의 주응력에 의한 응력분포

그림 6은 시멘트부에 작용하는 응력분포를 나타낸 것으로 핀의 헤드 하단에 큰 인장력이 작용하는 것으로 나타났으며, 시멘트부에 있어서 핀 두부형상이 증가할수록 시멘트부의 상단부가 얇아지는 단점을 보이고 있으며 이는 시멘트부에서 응력의 분산을 하지 못하고 핀의 응력이 자기부에 바로 영향을 주는 형태를 가지게 되는 단점이 있다. 그러므로 두부가 53.5mm인 경우에는 상단 끝 부분에서 응력분포가 집중되어짐을 알 수 있다.

모델링 결과와 비교하기 위한 실 제품의 과전과과하중치는 각각의 경우 두부 49mm는 시험규정의 40ton을 통과하는 42.6ton이었다. 두부 51.5mm의 모델은 두부 49mm 보다 20~25% 향상된 51.3~53.5의 과전과과하중치를 나타내었다 이와 같이 최적의 응력해석을 통하여 핀의 형상을 변형시켜 과전과과하중치를 향상시킬 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 초고압 현수애자 개발에서 중요한 요건으로 생각되는 기계적 특성을 유한요소 모델을 사용하여 실 구조물로서의 사용가능성을 미리 예측하기 위해 프로 그램으로 해석하였다. 또한 해석 결과와의 비교 평가를 위한 실 모델 제품을 제조하여 이를 비교 평가하여 검토 하였다.

A type의 Round 1 pin, B type은 Straight 1 pin, C type은 Round와 Straight가 복합된 2 pin, 자기부 형상 변경이 없는 상태에서 핀 상부측 두부의 크기[(a) 49mm, (b) 51.5mm, (c) 53.5mm]를 변경함에 따른 응력분포에서 몇 가지 특성을 살펴볼 수 있다.

A type인 경우 두부의 상부측에서 응력집중을 보여주며, 하부측 핀의 목부위에서 응력분포가 넓게 형성되어져 있다. B type에서는 전체에 폭넓게 응력이 작용하고 있으며, 목부위는 미약한 응력값을 보여준다. C type은 A와 B에서 나타나는 부위별 응력의 양상이 완화되어지는 양상을 보여주고 있다.

A, B, C type에 따른 Von Mises에 의한 응력분포는 핀에 일정한 하중값을 입력하였을 경우의 핀에서 자기부로 응력이 형성되어지는 양상을 나타내었다. 각각의 응력분포 양상에서 A type은 상부측으로 응력이 분포되어지며, B type에서는 자기부 옆면에서 응력분포가 넓

게 형성되어짐을 알 수 있다. 그러나 C type에서는 응력분포가 상부와 옆면으로 응력이 넓게 형성됨으로 응력의 집중에 따른 완화작용을 하고 있음을 보여주고 있다.

핀의 두부형상 변경에 따른 자기애자의 Von Mises 응력분포를 살펴본 결과는 다음과 같다. 핀의 형상을 증가시켜도 전체적인 기계적 응력분포 양상은 비슷하게 나타나고 있으며 기계적 강도 측면에도 이상이 없음을 알 수 있다.

두부의 크기가 49mm인 경우 응력의 양상이 높은 값이 넓게 형성되어 캡 주위로 높은 응력이 전달되어짐을 알 수 있으며, 51.5mm인 경우에는 자기부에 응력분포가 상부 및 하부측에 응력분포가 확산되어져 낮은 값들이 캡부위로 전달되어짐을 보여주고 있다. 그러나 두부의 크기가 53.5mm인 경우에는 자기부의 상부 및 하부에 응력분포가 완화되어지는 않고 국부적으로 응력이 집중되어져 가해지는 양상을 보여주고 있다.

#### [참고 문헌]

- [1] J.S. Looms, "Insulators for High Voltages" Chap. 2, 1988
- [2] 新宮行太, "碍子와 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 편형상에 따른 기계적 강도 해석", 한국전기전자재료학회 춘계학술집, pp. 140-142, 2001. 4.
- [5] 조한구 외 2명, "초고압 현수애자의 기계적 강도해석", 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp. 140-142, 2001. 7.