

ANSYS를 이용한 송전용 자기재 애자의 장력에 따른 특성 변화

우병철, 한세원, 조한구
한국전기연구원

A Variation of Maximum Stress with Axial Loading in Porcelain Insulators for Transmission Line using ANSYS

B. C. Woo, S. W. Han, H. G. Cho,
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

The ageing cause in many porcelain suspension insulators which occur on transmission and distribution line with dead-end stings is mechanical stress in interface between porcelain and cement materials. It is known that the principal mechanical stress which give electrical failure is the results of the displacement is due to cement growth. We studied an analysing method to find out a deformation of brittle porcelain with a thermal expansion of cement for suspension insulator. These simulation analysis and experimental results show that cement volume growths affect severely to be mechanical failure ageing. These simulation analysis and experimental results show that axial loading affects of Porcelain insulators severely to be mechanical failure ageing.

Key Words : porcelain insulator, transmission line, cement displacement, axial loading

1. 서 론

전력용 애자는 기계적 강도와 전기적 내구성의 2가지 기능을 가지도록 설계된다. 현재 세계적으로 가장 많이 사용하는 송전용 애자 종류는 자기재 애자(porcelain insulator)로 유리 애자와 고분자 애자보다 훨씬 많다. 국내의 경우 거의 전부가 자기재 애자를 사용되고 있는 실정이다. 이러한 애자는 사용환경과 시간에 따라 초기 설치시의 특성과 다른 특성으로 변하게 되며 이러한 원인 중 수분에 의한 영향이 가장 크다고 알려져 있다.

본 연구에서는 초기 제조과정에서 발생된 형상에서 일정시간까지의 수축과정과 팽창과정을 거친 경우를 대상으로 하였다. 또한 초기의 제작과정에 얻어진 형상을 중심으로 애자에 가해지는 하중의 변화에 따른 시멘트부와 자기애자 사이에서 발생하는 응력의 변화를 알아보았다.

본 연구에서는 ANSYS를 사용하였으며 2차원 축

대칭 문제로 해석하였다. 하중에 따른 시멘트의 변위의 내부응력 및 변형을 특성을 알아보았으며 자기재와 금구류를 접합하는 시멘트의 강도 결정에 사용할 수 있게 하중에 따른 경향을 조사하였다.

자기와 금구류를 접합하는 시멘트는 양생 종료 후에 건조 경화된다. 이때 시멘트는 수축하게 되는 데 K. Morita 외 연구자의 실험 결과에 의하면 약 6개월 이후에 0.08% 수축 변위가 발생하면서 경화되는 것으로 알려져 있다. 이 과정에서 시멘트 및 자기부 접합 계면에 부분적인 균열을 수반한다. 따라서 외기 중에 노출된 시멘트는 이 후 수분을 흡수하여 체적과 경도의 증가를 가져온다. 즉 시멘트 성장(cement growth)으로 불리우는 팽창 응력이 자기부와 금구류에 가해지는 것이다. 이와 같은 시멘트의 경년 팽창은 핀 애자나 현수 애자의 주 열화 요인으로 주목하여 연구가 진행되어 왔다. 일본, 캐나다 등에서는 자기 제품 물성에 맞는 조건으로 시멘트 수축, 팽창이 송전용 애자에 미치는

영향과 대책에 관해 상당한 연구가 진행되어 왔으나, 국내에서는 아직 이러한 연구 실적이 부진하고 특히 다양한 송전용 애자 사용 환경을 고려한 국산 애자의 응력 특성을 모의 해석한 연구는 거의 없었다.

2. 송전용 현수애자 사고

현수애자가 송전 시스템에 미치는 가장 치명적인 고장은 애자런이 파손, 분리되어 전선을 지상으로 낙하시키는 것이다. 현수애자의 구조는 그림 1과 같이 절연 자기, 캡/핀 금구류와 금구류와 자기를 결합하는 시멘트로 구성되어 있다.

시멘트는 제조과정에서 발생하는 양생공정 중에서 부피가 팽창하고 몇 년까지는 약간 수축하는 경향을 보여주고 있다. 또한 수년이 지나면 부피가 다시 팽창하는 경향을 나타내는데 이것은 수분과 일부 환경적인 오손에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이러한 부피변화는 여러 논문에서 언급하고 있으며 초기 팽창에서 수축율이 적게는 0.05%에서 많게는 1%정도로 측정되고 있는 실정이다. 또한 수년 후의 팽창거동도 수축과 거의 유사한 특성을 나타내고 있으며 절연파괴나 일반적인 파손결과에서 시멘트의 팽창으로 인한 결과로 판단되는 여러 논문들이 발표되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 경향의 기본적인 특성을 확인하기 위해서 시멘트의 양생공정을 기준으로 하고 0.1%의 팽창이 발생한 경우 하중의 변화에 따른 애자부의 특성변화를 알아보고자 하였다.

표 1. 외국 현수 애자런 분리사고

송전선로	제조국가 (보증강도)	애자 열화 상태
Ontario Hydro/캐나다 ■115kV 송전선 ■500kV 송전선	캐나다 15 kIP 25/36kIP	수회 분리사고 발생. 철거애자 전체가 보증강도 이하에서 파괴
QEC/호주 ■132/275kV 송전선	중국 70, 125kN	5회 분리사고 발생. 철거애자의 28% 균열발생
Hydro Qubec/캐나다 ■69~735kV 송전선	캐나다 15~36kIP	단선사고 20건 발생

그리고 자연 뇌(lightening)의 방전 등에 의해 열화된 애자가 개재된 애자런에 플래시오버(flashover)가 발생하면 속류가 열화 애자의 두부

를 경유하는 경우가 있다. 이때 두부에 작용하는 큰 아크 에너지에 의해 캡, 핀 금구의 분리에 따른 폭발이 발생하여 애자의 기계적 지지 기능을 상실하게 된다. 이를 방지하기 위해 송전선로의 경우 아크혼(arc horn)이나 가공지선 설치 등의 대책이 필요하다. 표 1은 이러한 대책이 미흡한 경우 발생한 외국의 애자런 분리사고의 일례를 나타내었다.

3. 송전용 현수애자 해석 모델링

가. 해석 모델 형상

그림 1은 시뮬레이션 해석 및 실험 대상인 국산 송전용 애자의 형상과 구조를 나타낸 것으로 축대칭 2차원 모델을 사용하였으며 사용한 s/w는 ANSYS plane42 element 이다. 또한 사용한 모델의 element 수는 2800개이었다.



그림 1. 송전용 자기재 애자 형상과 구조

애자의 응력 및 열 해석에 사용된 애자 각 부위의 기초 물성은 표 2와 같다.

표 2. 송전용 애자 각 부위 기초물성

특성치 재료	Modulus (kg/mm ²)	Thermal Expansion (10 ⁻⁶ /K)	Poisson ratio
Pin	14060	12	0.25
Porcelain	6890	7	0.2
Cement	2250	10	0.22

나. 초기조건과 경계조건

송전선용애자의 실제 구속조건과 같게 하기 위해서 송전선에 작용하는 하중을 계산하여 해석하였다. 그리고 시멘트 부위의 팽창을 고려하기 위해서 열팽창 문제로 해석하였으며 시멘트 부위를 제

외한 다른 부위의 열팽창율을 1000배 이상 차이를 두어 팽창에 따른 특성을 적용하였고 이에 따른 하중과 그 특성을 알아보았다.

송전선용 현수애자에 작용하는 설계하중은 8250kg 으로 알려져 있으며 이에 따른 특성을 고려하기 위해서 하중이 전혀 없는 상황에서 5000, 8250, 10000, 17000kg이 작용하는 조건에서 그 특성을 알아보았다. 또한 하중은 열팽창이 0.1% 발생한 경우를 대상으로 하였으며 응력과 변형특성을 상세히 알아보기 위해서 시멘트와 자기애자부위의 경계점에서 얻어지는 결과를 비교 검토하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 현수 애자의 응력 거동

그림 2는 자기재 현수애자에 아무런 부피 팽창이 없는 상황에서 5000kg의 하중이 작용할 경우 발생하는 Von Mises equivalent stress 거동을 나타내었다.

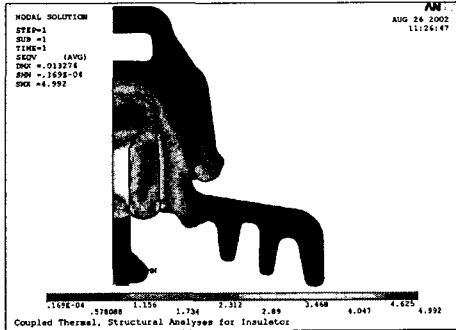


그림 2 현수애자의 Von Mises equivalent stress (내부 팽창이 없고 하중이 5000kg인 경우)

그림에서 알 수 있듯이 중심축에 해당되는 강에서 큰 응력이 작용하지만 높은 강도에 견딜 수 있게 설계되어 아무런 문제가 발생되지 않는다. 그러나 시멘트와 자기애자가 공존하는 경계층에서도 중심축에 작용하는 응력에 가까운 응력이 발생하고 있음을 알 수 있다.

즉 이러한 응력 변화로 인해서 중심축 다음으로 큰 변위를 낼 수 있으며 이로 인해서 파손으로 전파될 가능성이 높다고 할 수 있다.

그림 3은 10여 년간 구동되고 있는 실제 가동하고 있는 상황과 비슷한 조건을 적용하기 위해서

초기 내부의 팽창이 0.1%로 가정하여 현수 애자의 Von Mises equivalent stress를 알아본 결과이다.

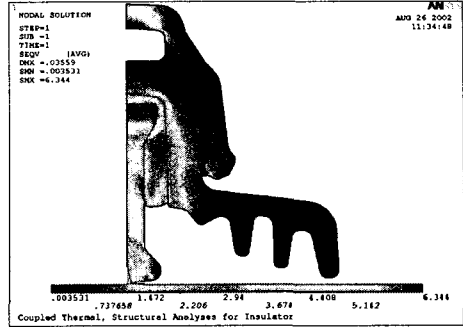


그림 3 현수애자의 Von Mises equivalent stress (내부 팽창 0.1%, 하중이 5000kg인 경우)

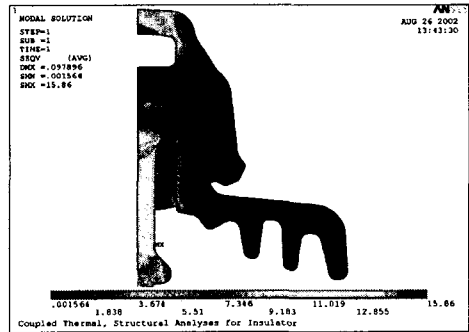


그림 4 현수애자의 Von Mises equivalent stress (내부 팽창 0.1%, 하중이 17000kg인 경우)

그림 3과 4에서 알 수 있듯이 최대 응력은 점점 증가되지만 최대응력에 대한 시멘트와 자기애자 경계의 응력비는 점점 줄고 있음을 확인할 수 있으나 경계부분의 최대치는 증가되고 있는 양상을 나타내고 있다.



그림 5 시멘트와 자기애자 경계부의 형상.

그림 6은 그림 5에서 나타내 것과 같이 자기재와 시멘트 부위의 경계인 60번 선상을 따라 시멘트 외부의 수직 축의 위치변화에 따른 변형특성을 나타내었다.

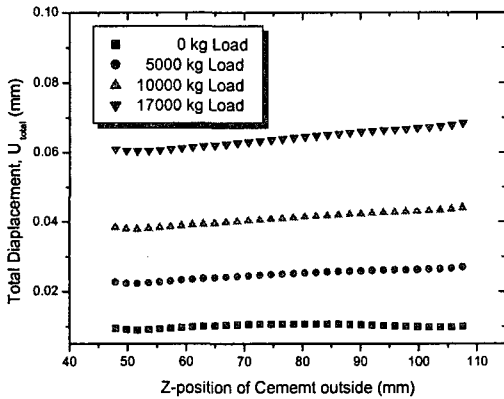


그림 6 인가하중에 따른 현수애자의 총 변형특성 (내부 팽창이 0.1%인 경우)

그림 6에서 알 수 있듯이 하중의 변화에 따른 변형을 거의 하중에 의존하는 특성을 가지고 있으며 이에 따라 자기애자의 파손을 일으키는 전단응력의 변화를 그림 7에 나타내었다.

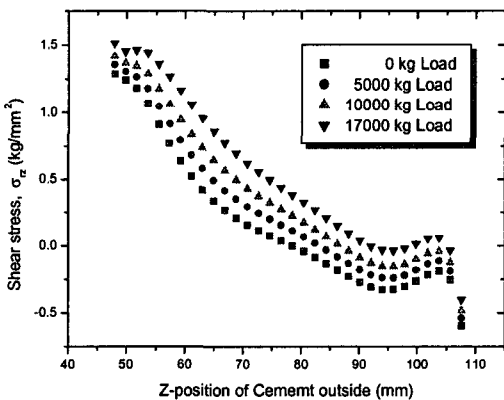


그림 7 인가하중에 따른 현수애자의 전단응력특성 (내부 팽창이 0.1%인 경우)

인가하중에 따른 영향을 고려하기 위한 시뮬레이션 결과 참고문헌 [5]에서 언급된 팽창에 따른

영향보다 훨씬 작은 전단응력이 발생하였지만 변형은 오히려 더 크게 발생되고 있는 경향을 가진다. 또한 최대 허용전단응력인 $3\text{kg}/\text{mm}^2$ 보다 작은 응력이 작용하고 있으나 실제 조건과 달리 하중의 변화에 따른 특성이므로 팽창에 따른 영향과 같이 고려할 필요가 있다.

5. 결론

송전용 국산 자기재 애자(36,000lb)를 대상으로 실제 기계적, 열적 환경을 고려한 시멘트의 수축, 팽창 거동을 위한 인가하중의 영향을 시뮬레이션한 결과 최대 작용하는 응력은 애자를 지지하고 있는 탄소강부위에서 발생하였으며 자기재와 시멘트의 경계에서도 크게 작용하고 있음을 확인하였다. 또한 자기재와 시멘트의 외부 경계에서 작용하는 변형특성은 자기애자에 인가되는 하중에 거의 선형적으로 증가되고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Y. Yamada, "Slow crack growth of mullite ceramics", 일본세라믹협회, 논문지, 99(6), 1991
- [2] K. Morita, "Study on long term reliability of suspension insulators", 일본전기학회, 논문지 B, 117(12), 1997
- [3] E. A. Cherney, "Cement growth failure of porcelain suspension insulators", IEEE Transactions, Vol. PAS-102, No.8, 1983
- [4] S. W. Han, H. G. Cho, T. Y. Kim, D. I. Lee, and I. H. Choi, "A study on electrical and mechanical simulation for designing porcelain insulators with high strength", International Conference on Electrical Engineering 2002, Vol.3, 1191, 2002
- [5] 우병철, 한세원, 조한구, 최인혁, "ANSYS를 이용한 현수애자의 계면팽창거동에 대한 해석", 전기학회 전기물성.응용부문회 추계학술대회 논문집, pp.74-76, 2002
- [6] 한세원, 조한구, 우병철, 정길조, "송전용 자기재애자의 시멘트 변위응력에 관한 시뮬레이션", 전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, pp.476-479, 2002