

ANSYS를 이용한 현수애자의 계면팽창거동에 대한 해석

우병철 한세원 조한구 최인혁*
*한국전기연구원 전력연구원

Simulation of interface ageing effect of suspension insulator using ANSYS

B. C. Woo S. W. Han H. G. Cho I. H. Choi*
Korea Electrotechnology Research Institute Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The suspension insulators are subjected to harsh environment in service for a long time. Long term reliability of the insulators is required for both mechanical and electrical performances. 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.

제로 해석하였으며 시멘트 부위를 제외한 다른 부위의 열전도율을 1000배 이상 작게 하여 시멘트만의 열팽창을 고려하였다. 표 1은 본 시물레이션에 사용한 재료의 특성을 나타내었다.

1. 서 론

전력용 애자는 선로의 절연을 유지하고 적절한 강도를 가져야 한다. 현재 사용되고 있는 많은 애자들은 자기재 애자(porcelain insulator)로 유리 애자와 고분자 애자보다 오래전부터 사용하여 왔으며 아직까지 주류를 이루고 있다. 국내의 경우 대부분 자기재 애자를 사용하고 있으나 일부 선진국에서는 유리와 고분자로 제조된 애자가 많이 사용되고 있는 실정이다. 이러한 애자는 사용환경과 시간에 따라 초기 설치시의 특성과 달리 그 특성이 변하게 되며 이러한 원인 중 수분에 의한 영향이 가장 크다고 알려져 있다. 본 연구에서는 초기 제조과정에서 발생된 형상에서 일정시간까지의 시멘트부의 수축과정을 거친 후 팽창하는 과정에서 발생하는 열응력특성을 평가하여 자기재의 취성부위에 영향을 미치는 경향을 파악하고자 하였다.

본 연구에서는 ANSYS를 사용하였으며 2차원 축대칭 문제로 해석하였다. 시간에 따른 시멘트 부위의 팽창을 고려하여 팽창이 없는 조건에서 1%의 열팽창이 있을 경우를 비교하여 시멘트와 자기재 부위의 열응력 거동을 알아보았으며 원통의 내압을 적용한 열팽창 거동의 연구 결과와 유사한 특성을 얻을 수 있었다.

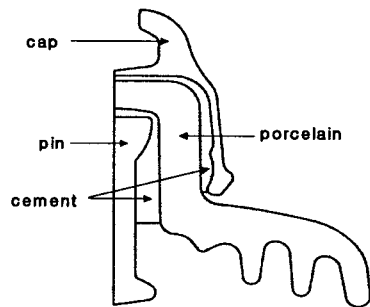


그림 1 일반적인 현수애자의 형상

2. 본 론

2.1 송전선용 현수애자의 형상

송전선용으로 사용되는 현수애자의 형상을 그림 1에 나타내었으며 구조상 금구와 자기재 그리고 시멘트로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용한 형상은 송전선용으로 널리 사용되고 있는 제품을 선정하였다.

2.2 Simulation model

그림 1에서 나타낸 송전선용 현수애자의 형상을 고려하여 축대칭 2차원 모델을 그림 2와 같이 나타내었다. 해석에서 사용한 s/w는 ANSYS 6.0이며 plane42 element 방정식을 적용하였다. 본 시물레이션에서는 2차원 축대칭모델을 사용하였고 element 수는 2800개이다. 또한 송전선용 애자의 실제 구속조건과 같게 하기 위해서 송전선에 작용하는 하중을 계산하여 해석하였다. 그리고 시멘트 부위의 팽창을 고려하기 위해서 열팽창문

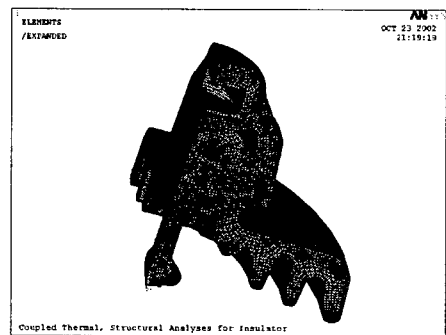


그림 2 시물레이션용 현수애자의 형상

표 1 현수애자용 재료의 특성

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

그림 2와 같이 해석용으로 사용한 모델 형상은 실제 형상의 1/4모델을 보여주고 있으며 축대칭 문제로 해석하였기 때문에 원통방향의 element의 형상을 확인할 수 없다.

또한 그림 3은 현수애자에 사용되는 시멘트의 부피변화를 나타내고 있으며 제조과정에서 발생하는 양생과정 중에는 부피가 팽창하고 몇 년까지는 약간 수축하는 경

향을 보여주고 있다. 또한 수년이 지나면 부피가 다시 팽창하는 경향을 나타내는데 이것은 수분과 외부 환경적인 오손에 기인하는 것으로 알려져 있다.

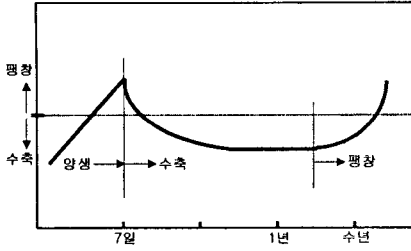


그림 3 현수애자의 시멘트부의 부피변화

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.

그래서 본 논문에서도 부피팽창이 없는 경우와 시멘트 내부의 부피팽창이 1%까지 진행되면서 얻어지는 현수애자 내부의 응력과 변형 특성을 파악하고자 하였다.

외부에서 가해지는 장력은 현수애자가 장착되어 있는 조건을 그대로 적용하였으며 5000kg의 하중이 가해지고 시멘트를 제외한 다른 부위에서는 열팽창이 전혀 일어나지 않았다는 조건의 특성을 알아보았다.

2.3 Simulation 결과

그림 4는 내부의 열팽창이 전혀 없는 상황에서 얻어진 Von Mises Equivalent stress를 나타내고 있으며 내부와 외부에서 큰 편차를 가지고 있음을 확인할 수 있다.

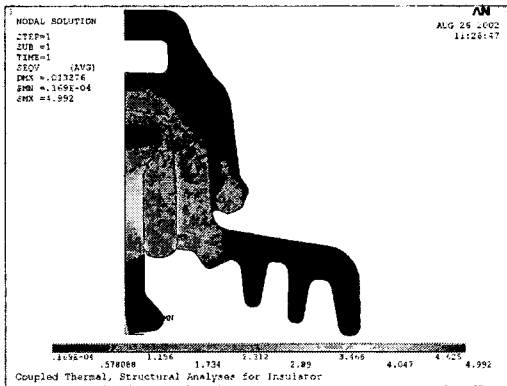


그림 4 시멘트 부의 열팽창이 없는 경우의 응력변화

그림 4에서 알 수 있듯이 시멘트부에 해당하는 금구와 자기애자부의 사이에서 응력이 집중되고 있는 특성을 확인할 수 있으며 특히 자기부와 접촉하고 있는 부분에서 가장 높은 응력이 작용하고 있다. 이러한 결과는 파손된 애자의 형상에서 자기부의 깨어짐에서 확인할 수 있으며 응력의 크기와 달리 응력의 변화가 가장 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

이러한 응력집중은 변형에서도 마찬가지로 작용하고 있으며 그림 5에 변형의 총합을 나타내었다.

그림 5에서 알 수 있듯이 현수애자의 양단에서 작용되는 장력 외에 아무런 열팽창 등의 변형이 없는 경우에는 현수애자의 상부와 하부에서 최대 수축과 이완이

작용하고 있음을 확인할 수 있다.

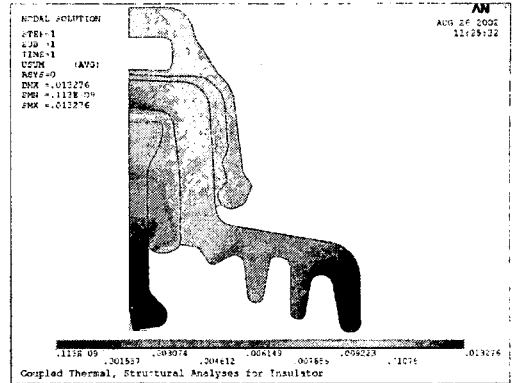


그림 5 열팽창이 없는 경우의 변형 특성

그림 4와 5에서 알 수 있듯이 양단에 작용하는 장력의 원인으로 시멘트부의 내측과 외측에서 응력이 집중되고 있는 양상을 보이고 있다.

그림 6은 시멘트부의 내측의 선상에서 작용하는 원통방향의 변형특성을 나타내었으며 시멘트 부의 열팽창을 적용하여 부피팽창이 없는 경우로부터 부피팽창이 1%인 경우에 변화되는 양상을 확인하였다.

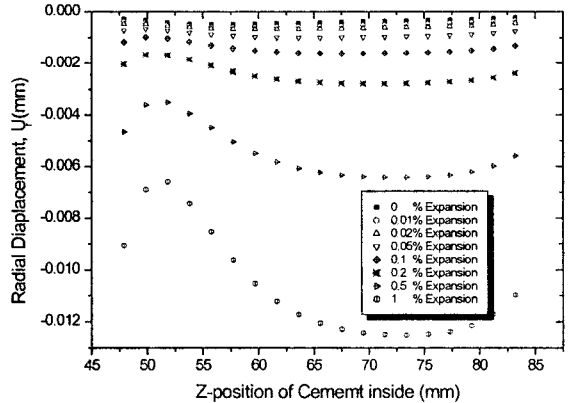


그림 6 시멘트의 팽창에 따른 반경방향의 응력 변화 (시멘트와 금구가 접촉하고 있는 선상의 특성)

그림 6에서 알 수 있듯이 시멘트 부의 부피팽창으로 인해서 금구와 접촉하고 있는 시멘트 내측 면의 변형특성은 부피 팽창에 의해서 수축되는 결과를 가져오며 0.2%의 부피팽창부터 심각한 변형이 초래되고 있다.

이러한 변형특성은 응력의 변화에서도 마찬가지로 나타나고 있으며 반경방향의 응력변화를 그림 7에 나타내었다.

그림 7도 그림 6에서 나타낸 변형특성과 거의 유사한 특성을 확인할 수 있으며 시멘트와 접촉하고 있는 금구 선상의 응력변화는 수축으로 인한 압축응력이 작용하고 있으며 반경방향의 응력특성으로 나타난 결과이다.

금구와 접촉하고 있는 부의 특성은 시멘트의 내측 면에 있는 결과로 인해서 부피팽창으로 인한 압축응력이 작용하고 있다. 그러나 시멘트의 부피 팽창으로 인해서 자기애자와 접촉하고 있는 부분에서는 인장응력이 작용

할 것으로 판단되며 그림 8에 그 결과를 확인하였다.

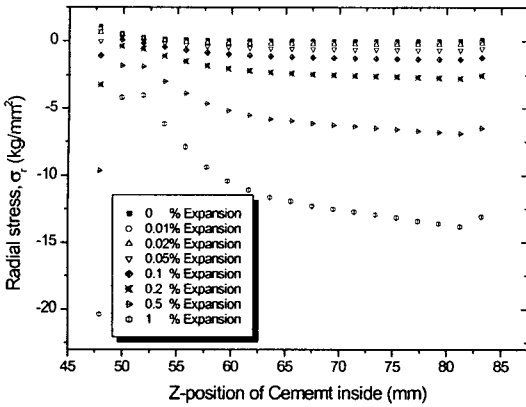


그림 7 시멘트 부의 부피 팽창에 따른 반경방향의 응력변화 (시멘트와 금구가 접촉하고 있는 선상의 특성)

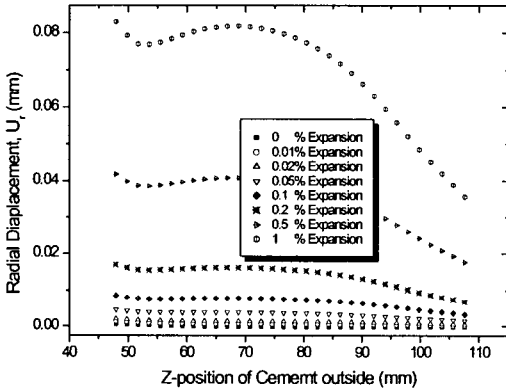


그림 8 시멘트 부의 부피팽창에 따른 반경방향의 변형특성 (시멘트와 자기 애자부가 접촉하고 있는 선상의 특성)

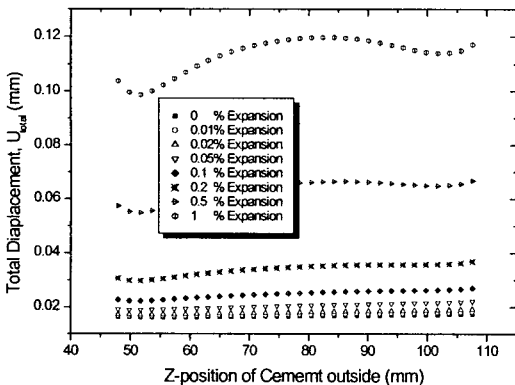


그림 9 시멘트 부의 부피팽창에 따른 전체 변형특성 (시멘트와 자기애자가 접촉하고 있는 선상의 특성)

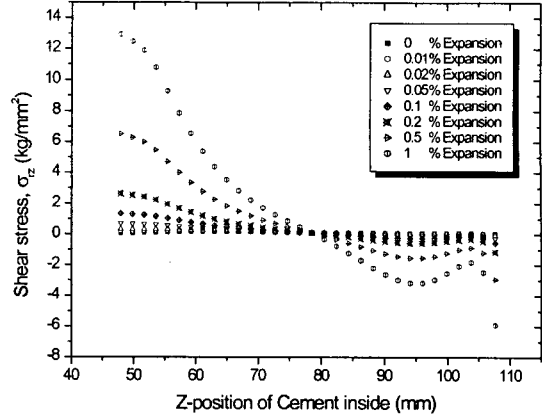


그림 10 시멘트 부의 부피 팽창에 따른 수직방향의 응력변화 (시멘트와 자기애자가 접촉하고 있는 선상의 특성)

그림 8은 부피팽창으로 인해서 작용되는 반경방향의 변형특성을 나타내었으며 반경방향과 그 반대방향의 변형의 총합과 수직방향의 응력특성을 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

그림 9에서 확인할 수 있듯이 수직방향의 위치가 80mm인 부분에서 인장응력에서 압축으로 변하고 있는 양상을 확인할 수 있으며 시멘트 부의 부피팽창의 영향으로 수직방향의 응력변화가 점점 증가하고 있는 양상을 나타내고 있는 이러한 결과는 자기애자의 허용응력에 가깝게 증가하고 있으며 본 해석에서 사용된 자기애자의 허용하중인 8250kg보다 더 심각한 응력변화를 나타내고 있다. 이러한 응력변화는 자기애자와 접촉하는 부위에서 가장 심각한 문제를 야기할 수 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

이상과 같이 현수애자에서 부피변형이 초래되는 시멘트부의 변형을 고려한 해석결과에서 인장력으로 인한 변형보다 부피팽창으로 인해 작용되는 변형과 응력특성이 심각한 문제를 야기할 수 있음을 확인하였으며 특히 자기애자와 접촉하고 있는 시멘트 부분에서 가장 심각한 문제를 발생할 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [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, 논문지B, 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, 강동필, "Composite insulator의 금구류 형상변화에 따른 전기특성" 97 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 1443-1445, 1997