

송전선용 현수애자 양생공정에서 발생하는 접착부의 응력변화

우병철 한세원 조한구
한국전기연구원

Stress Response of Cement Interface on Manufacturing Process of a Suspension Insulator

Byung-Chul Woo See-Won Han Han-Goo Cho
Korea Electrotechnology 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 simulation analysis and experimental results show that cement volume growths affect severely to be mechanical failure ageing.

친 후 수년간에 걸쳐 다시 수축하는 과정을 거친다. 이러한 과정은 시멘트의 기본적인 물성이며 외부의 환경적인 요인이라기보다는 시멘트가 가지는 특성에 의한 결과이다. 그러나 수년간의 시멘트의 수축과정 후 또 다시 팽창하는 과정을 겪게 되는데 이것은 외부의 습기와 오존 등의 환경에 의한 요인으로 알려져 있다. 그림 1은 시멘트 부위의 양생과정 중 발생하는 부피팽창 선도를 나타내고 있다.

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 사용 환경과 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 초기 수축율을 고려하여 수축율에 따른 변형 특성을 파악하고 이에 따른 응력 거동을 알아보았다.

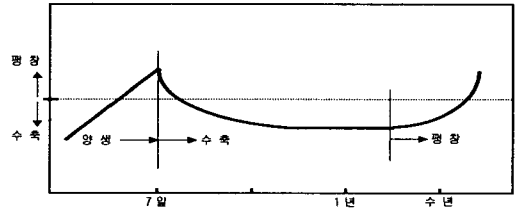


Fig. 1 Variation of cement volume at suspension insulator

본 연구에서는 초기 7일간의 양생공정을 거친 후 약 1년간 발생하는 수축거동에서 발생하는 시멘트 부위의 수축현상을 FEA 프로그램으로 모델화 하였으며 이러한 수축거동을 거친 후 20-30년간 사용되는 자기재 현수애자는 다시 팽창하여 사용 환경 하에서 파손되는 경향을 가지는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 대표적으로 많이 사용하고 있는 FEA 상용프로그램인 ANSYS를 사용하였으며 2차원 축대칭 문제로 해석하였다. 시간에 따른 시멘트 부위의 수축을 고려하여 수축이 없는 조건에서 0.01%에서 0.5%의 수축이 발생할 경우를 비교하여 시멘트와 자기재 부위에서 발생할 수 있는 변형특성을 파악하여 시효현상으로 얻어지는 팽창거동의 연구결과와 비교하였다.

2.2 Simulation model...

본 논문에서 사용한 시뮬레이션 형상은 송전용 현수애자의 형상을 기본으로 축대칭 2차원 모델로서 높이 127mm, 반경 131mm이며 그림 2와 같다.

2. 본 론

2.1 송전선용 현수애자의 형상.....

송전선용으로 사용되고 있는 현수애자의 형상을 그림 1에 나타내었으며 구조상 금구류, 자기재 및 시멘트 부위로 크게 나눌 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 pin 부위에서는 외부의 금구류에 의해서 고정되는 구조를 가지고 있으며 cap 부위는 cap의 내부에 금구류가 위치하게 되어 약간의 변형이나 움직임에 의해서 발생하는 굽힘이나 회전에 의한 변형을 완화하는 역할을 하게 된다.

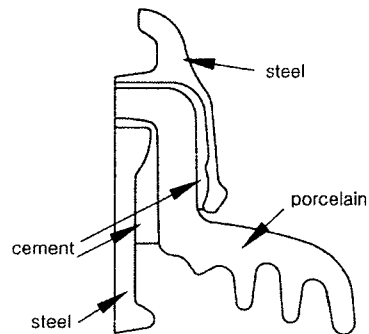


Fig. 2 Configuration of suspension insulator

전력용 애자는 금구류와 자기재 애자로 구성되어 있으며 이를 고정하는 재료는 특수용 시멘트를 사용하고 있다. 시멘트의 특성상 경화되는 과정은 수축과 팽창과정을 거치게 된다. 이러한 수축과 팽창의 특성을 보상하기 위해서 일정 압력을 가하면서 성형하는 방식으로 제조되고 있고 수축 후 수일간에 걸쳐 팽창하는 과정을 거치는 것으로 알려져 있다.

그림 2는 축대칭 모델로서 2800개의 element로 구성되어 있으며 ANSYS 6.0 plane42 element 방정식을 사용하였다. 축대칭 중심부를 중심으로 축방향의 굽힘은 없는 것으로 가정하였으며 축의 아래 부분이 고정

또한 약 7일간의 양생공정 중 계속 팽창하는 과정을 거

되어 있고 실제 인가되는 하중은 고려하지 않고 수축으로 인해서 얻어지는 거동만 파악하였다.

Table 1 Material properties

property material	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

표 1에서 알 수 있듯이 열팽창계수는 7-12x10⁻⁶/K로서 큰 차이가 없지만 실제 시멘트의 열팽창을 적용하기 위해서 핀과 자기부에는 7, 12x10⁻⁶/K로 적용하여 계산하였다.

제조공정에서 얻을 수 있는 상태와 시간에 따른 수축 거동을 고려하기 위해서 0.01%에서 0.5%의 부피수축에 따른 자기재 애자의 취약부인 애자와 시멘트 부위의 팽창거동을 알아보았으며 자기재 애자의 내부면과 외부면을 다른 특성을 비교 분석하였다.

2.3 자기재의 수축에 따른 응력-변형 특성

36,000lb의 강도를 가지는 송전용 국산 자기재 애자를 대상으로 실제 기계적, 열적 환경을 고려한 0.01%의 수축거동에 따른 자기재의 앞 뒤에서 얻어지는 응력과 변형거동을 알아보았다.

그림 3은 0.01%의 시멘트 부위의 수축으로 얻어지는 변형특성을 나타내고 있으며 각 방향에서 얻어진 값은 총합을 나타내고 있다.

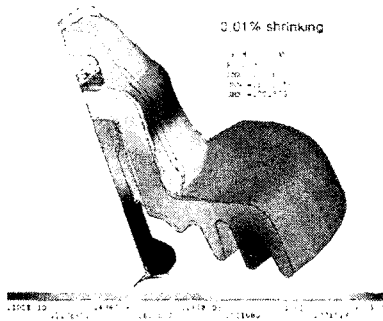


Fig. 3 Total displacement of suspension insulator with 0.01% shrinking of cement

그림 3에서 얻어진 결과를 보면 0.01%의 수축으로 인해서 외부의 금구류부위에서 가장 큰 변형을 초래하고 있으며 시멘트 부위의 자기재 애자가 접하는 부위에서 약간의 변형의 변화가 있음을 확인할 수 있다. 그러나 금구류에서 얻어진 크기에 비해서는 10%이하의 값이지만 변형의 변화는 상당히 크게 작용함을 알 수 있다.

또한 그림 4에서 알 수 있듯이 현수애자의 전단응력은 중심부에 해당하는 탄소강과 끝부분과 시멘트가 닿는 부위와 시멘트와 자기재 애자가 닿는 부위에서 최대값을 가지게 됨을 확인할 수 있다. 이 결과는 자기재 애자가 파손되는 전단력을 고려할 경우 자기재 부분에서 최대 전단력이 발생하는 부위가 취약하다는 것을 알려주고 있다.

그림 5는 그림 4에서 얻어지는 전단응력과 애자의 전체에 작용하는 다음 성분을 조합한 Von Mises equivalent stress를 나타내고 있다.

그림 3에서 얻어진 변형특성에서 금구류와 시멘트의 경계에서 변화되는 경향이 큼을 확인할 수 있었는데 그 결과로 인해서 그림 4와 5에서 얻어진 응력특성에서 큰 값을 가짐을 확인할 수 있다. 이것은 조금의 변형으로

인해서도 경계에서는 큰 응력으로 작용함을 증명하고 있다.

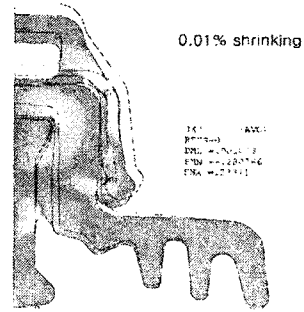


Fig. 4 A shear stress of suspension insulator

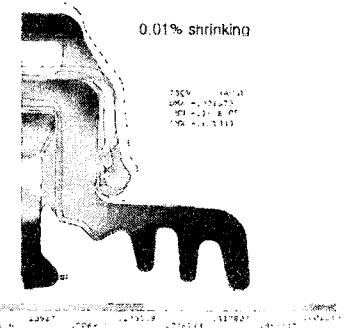


Fig. 5 Von Mises equivalent stress of suspension insulator

2.4 탄소강과 시멘트 경계선상의 응력-변형 특성

현수애자의 특성상 탄소강과 절연을 목적으로 하는 자기재가 공존하게 되며 이를 접착해주는 시멘트가 압축성형되는 공정을 거치게 되는데 자기재의 양쪽에 고정된 시멘트의 변형으로 인해서 자기재에 힘을 받게 된다.

그림 6은 자기재와 지탱해 주고 있는 금구류의 연결해주는 시멘트 부위에 발생하는 변형거동을 나타내고 있으며 중심축의 금구류와 시멘트의 경계에서 얻어진 반경방향의 변형특성이다.

또한 그림 7은 그림 6과 같은 위치에서 얻어진 전체 변형특성을 나타내고 있다. 전체 변형 특성은 반경방향의 변형과 달리 반경 방향에서 얻어지는 거동과 수직방향에서 발생하는 변형의 합으로서 얻어진 값으로 그림 6과 비교하면 수직방향에서 발생하는 변형의 거동도 유추할 수 있다.

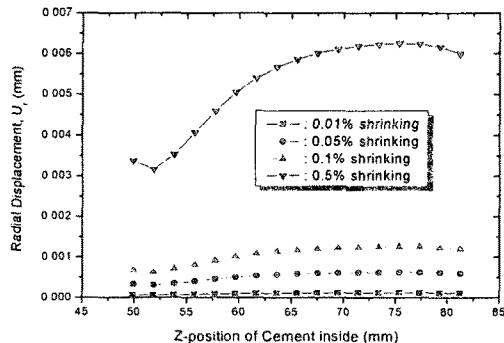


Fig. 6 Relation between Radial displacement and cement position with a shrinkage.

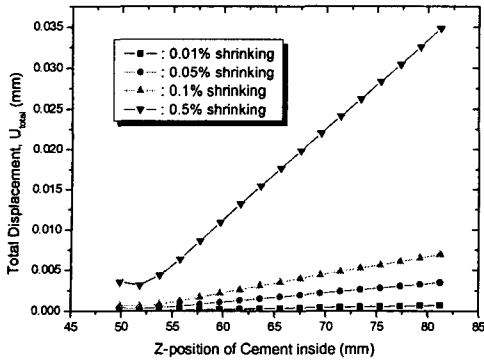


Fig. 7 Relation between total displacement and cement position with a shrinkage.

그림 6과 7과 같이 금구류와 자기재 애자의 접착을 위해서 사용된 시멘트의 수축으로 인해서 얻어진 변형특성은 단지 수축으로 인해서 발생된 변형된 결과로서 주어진 형상에서 변형은 작지만 큰 응력으로 작용할 수 있으므로 내부에 작용하는 응력특성을 계산하였다.

그림 8은 시멘트 부위의 금구류가 접하는 선상에서 얻어진 전단응력특성으로서 길이에 따라 거의 선형적으로 변형되는 총 변형과 달리 아랫부분에서는 압축응력이 작용하고 윗부분에서는 인장응력이 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

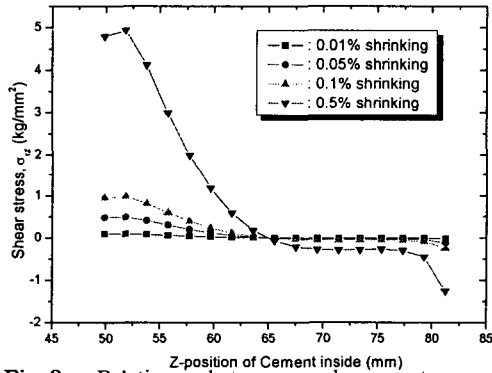


Fig. 8 Relation between shear stress and cement position with a shrinkage.

또한 그림 2에서 내측 시멘트와 자기재 애자 경계부에서 발생하는 변형으로 인해서 발생하는 반경방향의 응력의 총합을 그림 9에 나타내었다.

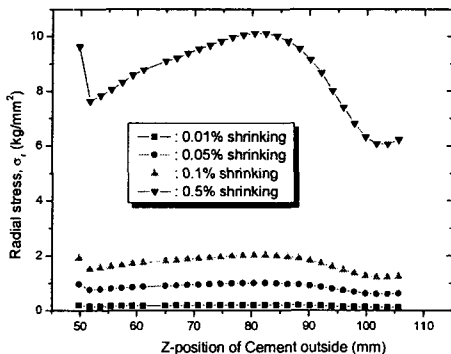


Fig. 9 Relation between radial stress and cement position with a shrinkage.

그림 9에서 알 수 있듯이 시멘트와 자기재 애자와 접하는 경계에서는 하부에서 상부로 올라가면서 중심부에서 최대의 반경방향의 응력이 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

이러한 결과는 시멘트 부위의 팽창으로 인해서 발생하는 결과와 비교하여 거의 유사한 특성을 가지고 있으며 단지 인장과 압축응력이 작용하는 방향만 다른 결과이었다.

3. 결 론

송전선용으로 널리 사용되고 있는 자기재 애자를 대상으로 제조공정에서 발생하는 수축과 팽창과정을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 시멘트 부위의 팽창으로 인해서 변형특성은 외부를 감싸고 있는 금구류 부위에서 가장 큰 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 금구류와 시멘트 경계에서 작용하는 전단응력을 고려한 결과 전체길이의 중심부를 경계로 반대방향의 응력이 작용하고 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Morita, "Study on long term reliability of suspension insulators", 일본전기학회, 논문지B, 117(12), 1997
- [2] E. A. Cherney, "Cement growth failure of porcelain suspension insulators", IEEE Transactions, Vol. PAS-102, No.8, 1983
- [3] 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
- [4] 우병철, 한세원, 조한구, 최인혁, "ANSYS를 이용한 현수애자의 계면팽창거동에 대한 해석", 전기학회 전기물성·응용부론회 추계학술대회 논문집, pp.74-76, 2002
- [5] 한세원, 조한구, 우병철, 정길조, "송전용 자기재 애자의 시멘트 변위응력에 관한 시뮬레이션", 전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, pp.476-479, 2002