

에폭시 캐스팅수지 에자의 형상해석

^{OO} 송 일근, 김 영래, 박 구범, ^O ^{*} ^{**}
 권 회로, 전 상준, 권 동진 김 석기
 전력연구원 송실대학교 모건코리아

The design analysis of epoxy casting resins insulator for distribution line

^{OO} I.K. SONG, Y.L. KIM, G.P. PARK, ^O ^{*} ^{**}
 H.R. KWAK, S.J. JEON, D.J. KWON, S.K. KIM
 KEPCO KEPRI SOONGSIL UNIV. MORGAN KOREA LTD.

ABSTRACT

Porcelain insulators have been used for the almost all of the suspension insulators in distribution line.

However, Puncture breakdowns in porcelain insulators caused by weaking cement between metal fitting nad porcelain material. There is little puncture breakdown in Epoxy casting insulator.

This paper presents a new design technique for the development of suspension insulator used Cycloaliphatic Epoxy resin. The design was performed on the basis of two conditions (weather conditons for the past 30 years and the existing installation conditions of KEPCO) and was proven of its adaptability by FEM method.

1. 서 론

옥외에 사용되는 전기 절연용 에자는 무기재료인 세라믹을 재료로 하는 Porcelain 에자가 주로 사용되어져 왔으나, 최근 들어 유기재료의 합성 및 처방기술의 급속한 발달과 고분자재료 성형 기술의 발달에 따라 유기재료를 사용하는 에자의 사용이 미국, 유럽을 중심으로 선진 각국에서 크게 증가하고 있는 추세이다.

이러한 경향은 기존의 자기제 에자가 갖는 취약성인 표면 오손에 의한 Flashover를 방지하기 위한 주기적인 세정작업 필요성, 취약한 내충격성, 매입금구와 자기제의 계면을 형성하는 시멘트 집착층의 취약성 등에 기인하는 것으로, 전적으로 자기제 에자의 사용에 의존하고 있는 국내의 현실을 감안할 때 기존 단점을 개선한 새로운 타입의 에자개발이 시급히 요구되고 있는 상황이다.

여러가지의 전기절연용 절연재료 가운데 유기 고분자 재료의 일종인 Cycloaliphatic Epoxy 수지는 자기재료에 비해 가벼우면서도 기계적 특성이 우수하고, 절연내력이 높으며, 유전손실이 적어서 제반특성이 상대적으로 우위에 있으며, 자기제에 비해 상대적인 취약점으로 여겨지던 옥외에서의 내후특성에 대해서도 일반적으로 사용되는 Aromatic 타입의 에폭시와 달리 자기재료와 동등수준을 나타내는 우수한 재료임이 선진 각국의 사용 경험을 통하여 입증된 재료이다. 영국의 경우 66kV와 132kV 송전선로에까지 에폭시수지를 사용한 고분자에자가 수년전부터 설치, 사용되어져 오고 있는 실정이다.

본 고에서는 우리나라의 22.9kV용 에폭시 캐스팅수지 현수 에자의 형상설계 개념과 해석에 대해서 기술하고자 한다.

2. 형상설계 개념

에폭시수지를 이용한 배전용현수에자 설계는 디스크형과 BAR형으로 설계가 가능할 것으로 추측되었으나, 디스크형 에자는 기계적강도에서 파괴가 발생하기 때문에 본 고에서는 BAR형의 형상설계 개념에 대해서만 논하였다.

우리나라의 기후조건과 배전계통에 적합한 에자설계를 위해서는 다음과 같은 조건들을 검토하였다.

- 한국의 기후조건
- 한전의 옥외 가설선로의 제반조건
- ESB-131-537의 기계적, 전기적 특성조건
- 기계적 강도와 전계강도 해석을 통한 FEM법으로 형상 설계 검토 등

특히 가장 가혹한 기후조건을 설계에 반영하기 위하여 과거 30여간의 기상청 자료를 근간으로 일일 최고치 온도 40℃, 최저 온도 -32℃, 최대 강설량 150cm/일, 최대 적설량 293cm/일, 최고 풍속 45m/sec (돌풍시 50m/sec), 최대 강우량 547mm/일 로 가정하였다.

또한, 한전의 가설조건은 배전 설계기준을 기준으로 각종 풍압하중은

- 지 지 물 : 수직투영면적 1㎡당 60kg 적용
- 전 선 : 수직투영면적 1㎡당 76kg 적용
- 에자장치 : 수직투영면적 1㎡당 106kg 적용
- 완 금 류 : 수직투영면적 1㎡당 122kg 적용

울중, 병중 풍압하중은 각종 풍압하중의 1/2를 적용하였으며, 최대 정간은 70m를 적용하였다.

3. 형상설계

에폭시 캐스팅수지 에자는 일체형으로 제작하기 때문에 다른 Polymer(E.P.D.M, Composite 에자등) 에자들 보다 이중 물결간의 계면접착에 의한 사고율이 적고, 절연재료의 유전율이 적은 편이다.

그러나, 에자를 구성하는 완성품은 인서트, 에폭시 소지 및 몰드의 정밀도에 따라 캐스팅수지 에자의 성능이 좌우되기 때문에 이들 3요소를 중점적으로 기계적 강도, 전기적 특성 및 소재 특성기준을 기본으로 형상설계하였다.

3.1 인서트 최적 설계

기본적인 조건은 ESB의 과전파괴 하중 70KN과 최소 수명 25년을 지속시키는 것으로 장기간 부하시험(기계적 강도시험)과 단기간 시험(24시간 2배의 하중을 140KN 견디는 것)을 고려하였다.

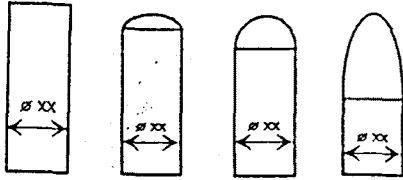


그림 1. 인서트 형상 종류

장기간 부하시험은 25년간 70KN 적용시 시험기간 동안 25N/mm² [25MPa] 이상의 전계가 걸리면 안된다. 결국

$$\sigma = 25\text{N/mm}^2 = F/A = 70,000\text{N}/A$$

$$A = 70,000\text{N}/25\text{N/mm}^2 = 2,800\text{mm}^2 = \pi \times r^2$$

$$r = 29.9, \phi = 59.8\text{mm}$$

따라서 애자의 직경을 60mm 로 정하였다.

단기간 시험은 24시간 2배의 하중을 140KN에 견디어야하므로

$$\sigma = F/A, F = 140,000\text{N}$$

$$A = \pi \times r^2 = 2,800\text{mm}^2$$

$$\sigma = 140,000\text{N}/2,800\text{mm}^2 = 50.0\text{N/mm}^2 = 50.0\text{MPa}$$

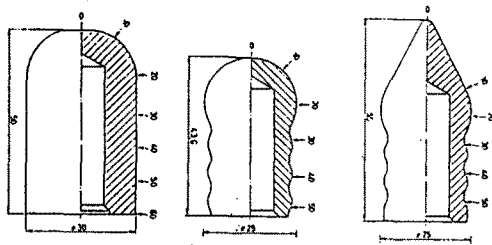
50.0MPa의 전계를 168시간 이상 견디었다.

인서트의 최소 직경은 인서트의 재질을 일반 주강재로 가정할 경우 최소 인장강도는 42Kgf/mm²이다. 인서트의 최소 직경

$$A_i = 70,000\text{N}/9.8 \times 42 = 170$$

$$\phi^2 \times \pi/4 = 170$$

이다. 따라서 최소 직경 $\phi \geq 14.7\text{mm}$ 이어야 한다.



인서트 A형 인서트 B형 인서트 C형
그림 2. 인서트 전계강도 형상

3.2 해석결과

인서트A의 끝단부에서 최소 전계강도를 나타내며, U = 100V를 인가했을때 1.2V/mm를 나타낸다. 인서트 B의 최대 전계강도는 100V를 인가시 1.57V/mm이며, 인서트 C가 최대의 스트레스를 받으며, 전계강도는 4.9V/mm이다. 인서트 A, B, C형의 전계강도 결과치 비교는 그림 3과 같다.

4. 전계강도 해석

수치해석 방법에는 유한요소법(Finite Element Method), 경계요소법(Boundary Element Method), 유한 차분법(Finite Difference Method), 전하 중첩법; Mement법이 개발되어 이용되고 있

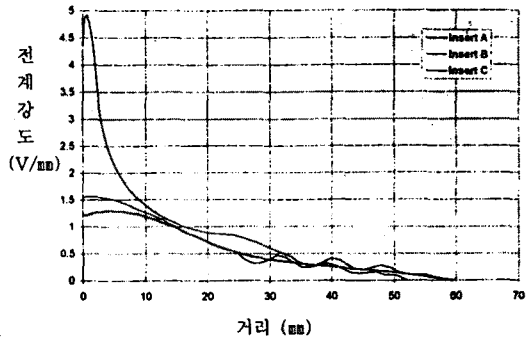


그림 3. 전계강도 결과 비교

으나, 본 고에서는 유한요소법을 이용하여 해석하였다.

해석의 방법은 주어진 문제의 형태, 즉 경제영역, 재질의 특성, 정전계 또는 동특성 문제 등에 따라 해석기법이 선택되어지며, 전자기장 공간분포는 Maxwell 방정식의 조합으로 해석하고 있다.

$$\text{Ampere's law : } \nabla \times H = J + \partial D / \partial t$$

$$\text{Faraday's law : } \nabla \times E = -\partial B / \partial t$$

단,

E : 전계강도 [V/m]

H : 자계강도 [a/m]

D : 전속밀도 [c/m²]

B : 자속밀도 [Wb/m²]

J : 전류밀도 [A/m²]

ρ : 전하밀도 [C/m³] 이다.

4.1 해석모델

애자의 전계강도 해석은 그림 2와 같이 축대칭 모델을 이용하여 전계를 구하였고, 경계조건은 고압전극(상부전극)에 접하는 면을 100V, 접지면을 0V로 고정 경계조건을 주었으며, 나머지 부분은 자연 경계조건으로 처리하였다.

한편, 정확한 계산을 위하여 전계강도 크기, 분포에 중요한 요인은 내부의 전기자 요소(인서트)이므로 별도요소를 모델로 하였다.

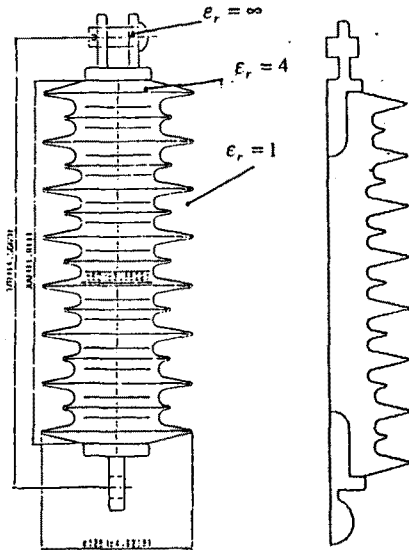


그림 4. 에폭시 애자의 설계모델과 FEM 해석용 축대칭 모델

이때 인서트는 이상적인 전기적도체로 가정하고, 에폭시 수지의 유전율 $\epsilon_r = 4.0$ 의 절연재료에 대해서 열전도 상수 $K = KXX = KXY$ 로 가정하고, 주위 공기는 $\epsilon_r = 1.0$ 으로 정하였다.

4.2 해석결과

에폭시 애자의 최종 설계조건은 내용년수가 최소 25년을 유지하는 것으로 해석되었으며, 완성품의 유한요소로 분할된 영역은 그림 5와 같다.

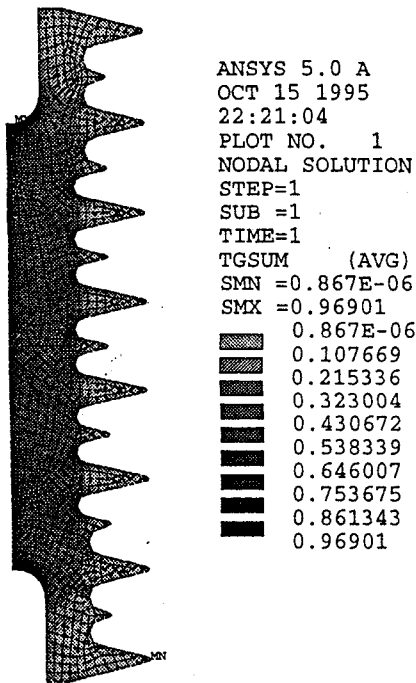


그림 5. 유한요소로 분할된 해석영역

5. 결론

플라머 애자는 서서히 자기제 애자의 시장을 잠식해 가고 있다. 그러나 확실한 수명 보존을 위한 설계는 소재의 품질, 전력 회사의 설계용 시험분석 및 제조회사의 품질관리등이 매우 중요하다. 특히 FEM법에 의한 형상설계는 기계적 강도, 전기적 특성 및 소재의 특성해석이 종합적으로 가능하며, 계산이 간편한 장점이 있다.

따라서 본 고에서는 우리나라의 기후조건, 가설조건을 충족하는 설계 개념과 해석을 FEM법에 의거 제시하였고, 추후 시작품 제작 완료후에는 전기적 특성시험, 설계용 시험 분석 및 내후성 평가를 지속적으로 연구, 검토할 예정이다.

참고문헌

1. 송일근, 김석기, "에폭시 캐스팅 수지 배전용 현수애자 개발" 중간보고서, 전력연구원, 1995. 10
2. H. C. Karner, "Outdoor characteristics of polymer materials", polymer seminar, 1990. 6
3. H. C. Karner, "Electrical and dielectric behaviour of cast epoxy resins", Braunschweig Univ.
4. R. H. Brealey, "Development of bulk-graded, filled polymer insulators," EPRI, 1981. 11

5. Kenzo Kadotani, "Design of composite insulators", 1993. 7
6. H. C. Karner, "Insulator news and market report", 1995 7
7. I.K.SONG, H.R.KWAK, "Characteristic analysis of electric field for suspension insulator using an optimization technique with FEM", ISEM, UK, 1995. 9