

전철 탑재형 ZnO 고분자 피뢰기의 전개해석

이운웅*, 장동욱, 강성화, 임기조, 한세원, 조한구
 한국전기연구소*, 충북대학, 충청대학, 충북대학, 한국전기연구소, 한국전기연구소

Electric Field Analysis of Polymeric ZnO Surge Arrester for loading in Electric Traction

U.Y. Lee, D.U. Jang, S.H. Kang, K.J. Lim, S.W. Han, H.G. CHO
 KERI, Chungbuk Univ., Chungchong Univ., Chungbuk Univ., KERI, KERI

Abstract - Polymeric ZnO surge arresters are used to protect the electric traction to limit the overvoltage invading into its inner electrical circuits. We have developed polymeric ZnO surge arresters design and investigated electric field analysis of its by FEM(Finite Element Method).

자기 피뢰기의 한계를 극복하도록 설계 및 제조가 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 고분자 피뢰기는 자기애판 피뢰기에 비해 내오손 성능이 우수하여 도심지의 여러 가지 오손물질이 많은 지역에 적절히 이용될 수 있다.

1. 서론

피뢰기는 계통전압의 승압에 따른 초고압화로 송배전 계통이 복잡하게 됨에 따라 각종 선로에서의 뇌서지, 회로의 개폐 등으로 인한 이상 과전압을 제한하는 전력기 기로서 그 중요성은 계속 증대되고 있다. 피뢰기는 사용 장소, 성능, 갭의 유무 그리고 하우징 소재의 재질에 따라 분류되는데, 성능을 결정하는 중요한 요소인 소자는 종래 SiC소자보다 비선형 특성이 개선된 ZnO소자가 많이 사용되고 있다. 또한 하우징은 사고시 폭발로 인한 파편비산과 같은 안전상의 문제점을 개선한 고분자 하우징이 개발되어, 가볍고 폭발비산에 대한 안전성과 내오손 성능이 우수한 고분자 하우징 피뢰기 개발이 주류를 이루고 있다^[1, 2].

유한요소법(FEM)은 복잡한 경계조건의 처리 및 재질의 비선형성과 매질 처리 등이 매우 용이하여 현재 가장 널리 이용되고 있는 수치해석법이다. 최근 전력기기 분야에서도 이 해석법을 이용하여 변압기, 애자, 부상, 케이블 등에 대한 전자계 해석을 많이 연구하고 있다^[3].

본 연구에서는 전철 탑재형 ZnO 고분자 피뢰기를 설계한후 절연설계와 계면특성, 오손특성에 대해 알아보기 위해 유한요소법을 이용하여 제작된 전자계 프로그램 Maxwell 2D Simulator로 전개해석을 하였다. 먼저 기본 설계모델에 대한 전개분포를 분석한후, 피뢰기 내·외부 계면 특성, 오손에 따른 전개분포 및 정전용량 등을 알아보았다.

2. 피뢰기의 설계

2.1 기존 피뢰기의 설계

대부분의 피뢰기 사고는 오손에 의한 섬락사고 및 단자와 가스켓의 불완전한 sealing으로 흡습열화되므로 아크가 발생하여 파괴되고, 수분이 피뢰기 내부로 유입되면 내부섬락에 의하여 관통파괴도 일어난다. 자기에판에서의 또 다른 문제점은 열화로 인하여 파괴되면 그 파편이 비산하면서 주위의 전력기기에 손상을 준다. 자기애판은 외부형상의 설계에 있어서 제조상의 제약이 있어 누설거리를 늘리는 것 등 설계상에 많은 어려움이 따른다. 그러나, 고분자 피뢰기는 일반적으로 사용하고 있는

2.2 전철 탑재형 피뢰기

전차 시스템에서 과전압에 의한 서지를 억제하는 것은 안전한 철도 운행면에서 대단히 중요한 기술이다. 피뢰기가 철도차량에 장착되면 철도 시스템은 가혹한 뇌 및 개폐서지로부터 보호가 가능하다. 현재 사용되고 있는 전철 탑재형 피뢰기는 자기 피뢰기가 대부분인데, ABB사 등에서 고분자 피뢰기로 대체하고 있다.

2.3 피뢰기의 설계요소

고분자 피뢰기의 기술은 전기적 절연성능을 확보하기 위한 절연설계와 피뢰기의 기능을 확보하기 위한 구조설계, 고장전류에 대한 방폭설계 그리고 계면/접촉 설계로 분류할 수 있다. 절연설계는 재료의 선택, 안정적인 절연형상, 누설거리 등이 해당되며 구조설계는 ZnO 소자와 전극과의 기밀설계, 계면접촉설계, 고장전류에 대한 방폭 구조 등에 해당된다. 기능에 따른 특성설계는 선로의 서지보호 등급을 고려하여 소자의 선택과 직선절연 거리를 산정할 수 있다.

3. Maxwell 2D Simulator를 이용한 전개해석

최근 전력기기 분야에서는 유한요소법을 이용하여 변압기, 애자, 부상, 케이블 등에 대한 전자계 해석을 많이 연구하고 있다. 유한요소법을 이용한 전개해석 프로그램으로서 상용화되어 있는 패키지는 Flux 2D, 3D 및 Maxwell 2D, 3D 등이 있으며 본 논문에서는 Maxwell 2D Simulator를 사용하여 피뢰기의 전개해석을 하였다.

3.1 모델설계

본 연구소에서 개발하고자 하는 38.5kV급 전철 탑재형 피뢰기 모델을 설계하여 시뮬레이션을 통해 전개해석을 하였다. 설계한 모델은 그림 2와 같다. 상·하부 전극 사이에는 소자와 전극의 접촉을 강화시키기 위해 접촉 디스크를 넣었고, 하우징(Silicone rubber)과 ZnO소자 사이에는 FRP 실린더로 이루어졌다.

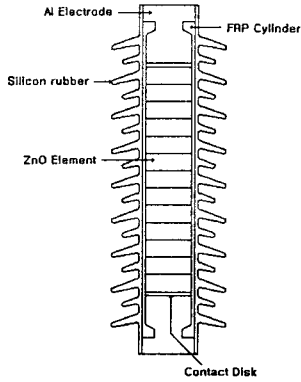


Fig 2. 설계한 모델

3.2 기본모델 전계해석

Maxwell 2D Simulator를 이용하여 전계해석하는 방법은 다음과 같다.

- ① Solver Menu를 선택
- ② 설계하려는 모델을 CAD로 Drawing
- ③ 각 구성요소의 재료특성을 선정
- ④ 경계요소를 선정
- ⑤ 요소분할 및 에러율
- ⑥ Solving
- ⑦ Post Processing를 통해 전계분포 연구.

위 수순을 통해서 개발 피뢰기를 분석하였다. 그림 3은 요소분할을 나타내고 있으며, 메쉬는 약 12,000개이다. 인가전압을 38.5kV하여 전계해석 한 결과 그 전계분포도가 그림 4와 같다.

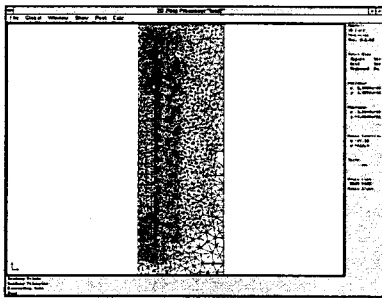
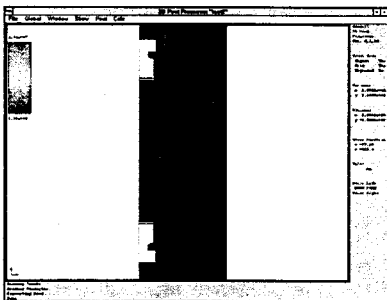
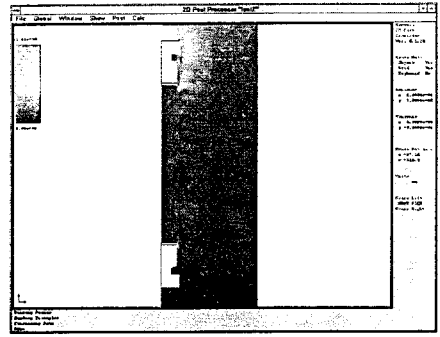


Fig 3. 요소분할



(a)



(b)

Fig 4. 기본모델의 전계분포

그림과 같이 전계가 집중 상·하부 전극, 전극과 ZnO 소자와 FRP 등 여러재료가 만나는 계면에서 가장 전계가 집중되었다. 이 부분의 전계값은 $1.01e+7[V/m]$ 이며, 실제 FRP의 절연내력은 약 $4e+7[V/m]$ 로 시뮬레이션 결과보다 높다^[4]. 그러나, 장기적인 열화관점에서 볼 때 이 부분에서 가장 먼저 열화될 가능성이 높을 것으로 사료된다.

3.3 계면에서의 전계분포특성

모델의 내부계면 특성을 알아보기 위해 2가지 내부계면에 대한 전계분포에 대해 알아보았다. 그림 5는 2가지 내부계면의 설정내용을 나타낸다.

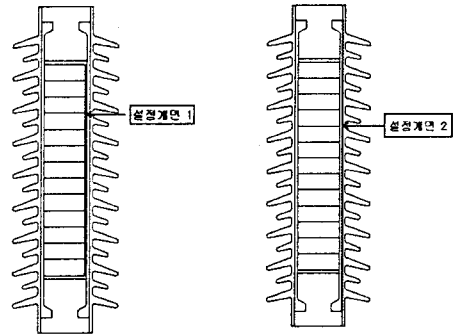
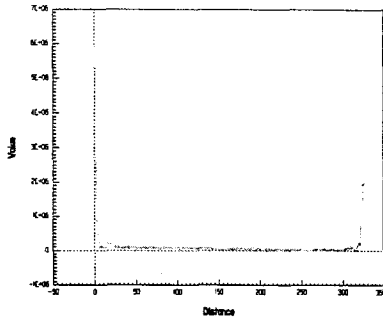


Fig 5. 내부계면 설정내용

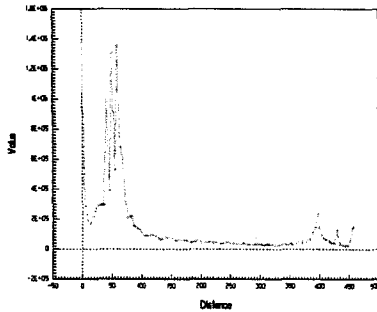
설정계면 1, 2의 내용은 다음과 같다.

- ① 설정계면 1 : ZnO와 FRP 사이의 계면
- ② 설정계면 2 : FRP와 외부 하부전극과의 계면

두 계면에서의 전계분포는 그림 6과 같다. 그림 6(a)는 설정계면 1에 대한 전계분포로 상부끝단과 하부끝단에서 전계집중을 보이고 있다. 전계값은 상부쪽이 약 $6e+6[V/m]$ 이고 하부쪽은 약 $2e+6[V/m]$ 였다. 이는 세 재료의 계면에서 전계집중이 일어난다는 것을 알수 있다. 그림 6(b)는 설정계면 2에 대한 전계분포인데 전계가 집중적으로 나타나는 부분이 여러재료들의 계면에서 나타나고 있다.



(a)



(b)

Fig 6. 설정계면1(a)과 설정계면2(b)에서의 전계분포

3.4 오손에 따른 전계분포 특성

피뢰기의 외부 하우징에 오손물질이 형성되면 이로인해 전계집중이 일어나게 된다. 특히 염수의 경우는 외부 하우징 열화를 일으키는 오손성분 중 하나이다. 본 논문에서는 염수를 갓표면에 설정하여 전계집중 현상을 분석하였다. 그림 7은 염수를 갓표면에 설정한 모습을 나타낸다.

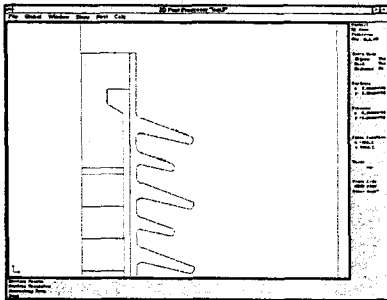
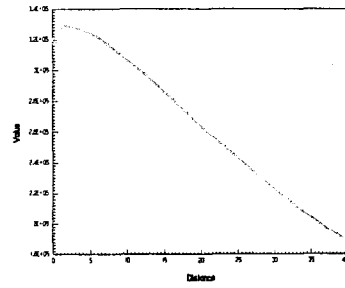
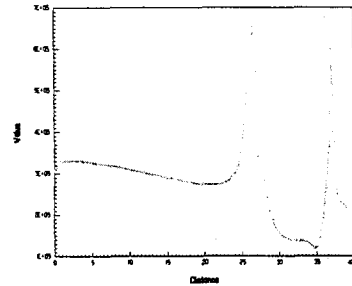


Fig 7. 갓표면에 설정된 염수

그림 8은 갓표면에 염수가 없을 때와 있을 때 1번 큰갓 표면에서의 전계분포를 비교한 것이다. 그림 8(a)는 염수가 없을 때의 큰갓 표면에서의 전계분포인 반면에, 그림 8(b)의 경우, 염수설정 위치부분에서 전계가 집중되는 모습을 볼 수가 있다. 염수가 없을 때는 $2.35e+5[V/m]$ 였던 곳이 염수설정 후에는 약 $9.5e+5[V/m]$ 까지 전계값이 상승하였다.



(a)



(b)

Fig 8. 염수설정시 전계분포

4. 결 론

본 연구에서는 전철 탑재형 고분자 피뢰기를 설계한 후, 전자계해석 프로그램을 이용하여 전계해석을 한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전극캡 및 하부지지대 제외시 설계모델의 전체적인 전계분포를 알수 있었다.
2. 전계해석 결과, 가장 전계가 집중되는 곳은 3개의 구성요소들이 만나는 계면이었으며, 그 전계값은 FRP의 절연내력에는 못미치지만, 장기적인 열화관점에서 볼 때 가장 먼저 열화가 일어날 것으로 사료된다.
3. 내부계면에서의 전계분포 해석결과 역시, 계면에서 전계가 집중되는 것을 알수 있었다. 이 계면에서의 전계집중을 완화시키기 위한 설계방법도 고분자 피뢰기의 설계시 중요하다라는 것을 알수 있었다.
4. 피뢰기 하우징에 오손물질(염수)을 설정하여 전계해석 결과, 청정시에 비해 전계집중이 두드러지게 나타나는 것을 알수 있었다. 이러한 국부적인 전계집중으로 인해 방전이 발생하고 그로인해 외부하우징이 열화된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jin-Liang HE et al, "Protective Effects to Lightning Overvoltages of Polymeric Arresters for AC Railroad Vehicles", ICEE 98', Vol. 1, pp. 808, 1998.
- [2] Dennis W. Lenk et al, "A New Approach to Distribution Arrester Design", IEEE Trans. Power Deliv., Vol. 3 No. 2, April 1988.
- [3] S. Chakravorti et al, "Power Frequency and Impulse Field Calculation around a HV Insulator with Uniform or Nonuniform Surface Pollution", IEEE Trans. EI, Vol. 28 No. 1, Febs. 1993.
- [4] 日本電氣學會, "複合絶縁 界面現象 그 評價", 日本電氣學會技術報告 第694号, 1998