

퓨우즈 엘리먼트의 형상에 따른 온도분포해석

박두기*, 이세현*, 김용락***, 최대식*, 이종철*, 박구범*, 구경완**, 김종석****, 한신욱*
 * 충남대학교, ** 영동공과대학, ***한국전력공사, ****대전산업대학교

The Analysis of Temperature Distribution by the Fuse Element Shape

D.K.Park, S.H.Lee*, Y.R.Kim***, T.S.Choi*, J.C.Lee*, K.B.Park*, K.W. Koo**, J.S.Kim****, S.O.Han*

* ChungNam Nat'l Univ., ** YoungDong Inst. Tech., ***KEPCO, ****Taejon Tech. Nat'l Univ

Abstract

In this paper, by using the Finite Element Method, we analysed the melting and clearing characteristic of fuse elements shapes. The melting characteristics and the effects of temperature conduction by fuse element shapes was studied. We compared the actual testing results by the clearing device with the simulation result.

1. 서론

퓨우즈란 주로 전기회로를 보호할 목적으로 회로에 삽입되어 이상 전류가 흐르게 되면 엘리먼트의 저항에 의해 발생하는 Joule열로 인해 급속의 온도가 상승하여 용융 및 차단되어, 회로를 보호한다. 지금까지 여러 각도에서 퓨우즈의 온도해석이 계속해서 진행되어 오고 있다.

본 논문에서는 엘리먼트의 기하학적 형상이 열전도와 열 저장에 상당한 영향을 미칠 것이라는 이론적 배경[1]을 근거로한 실험값[2]과 FEM을 이용하여 온도분포 및 전류분포 해석과 용단특성을 비교하였다.

2. 열전달의 수치적 시뮬레이션

Fuse heating의 방정식[3]은 다음과 같이 표현이 된다.

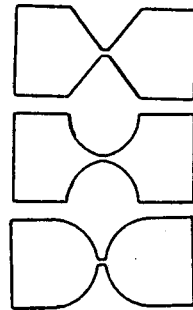
$$\rho_0(1+\alpha\theta)j^2 = -\lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + C \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{div } \sigma E = 0$$

위식에서 좌변은 fuse element에 공급되는 열에 응

답하는 항이고 우변의 첫 번째 항은 전도에 의한 열손실을 나타내고 두 번째 항은 엘리먼트에 축적되는 열이다. ρ_0 는 퓨우즈 엘리먼트의 저항을 나타내고 α 는 온도계수, λ 열전도도, C 는 열용량, J 는 전류밀도를 나타낸다. 밀도는 엘리먼트 길이에 따라 변화한다.

전기전도에 지배방정식은 경계조건과 매개체의 각점에서 라플라스 방정식을 만족한다. 방정식(1)을 풀기 위해서 본 논문에서는 FEM을 이용했고, 온도계산을 하기 위하여 퓨우즈 엘리먼트의 각점에서의 전류밀도가 필요했다.



(엘리먼트 폭 : 3[mm])

Fig.1 Geometry of Fuse Element [2]

그림1은 엘리먼트의 노치길이가 가로, 세로 0.5mm씩으로 같게 해주고 엘리먼트 폭의 길이 또한 같게 유지해 주었다. 단지 엘리먼트의 형상만이 직선형, 오목형, 볼록형으로 바꾸어 주었다.

엘리먼트 양쪽 끝단에 전압이 인가하고 가정했다. 경계조건[3]은 다음식(2)와 같이 되고 나머지 부분에서는 자연경계조건을 주었다. 그리고 열계의 해석은 전기전도와 Coupling되어 전도전류에 의하여 발생하는 열이

각 부분으로 전도, 대류, 방사 형태가 고려되었다. 열계의 경계조건은 전도전류에 의한 열원만 가질 수 있게 하기 위하여 모든 부분에서 자연경계조건을 주었다.

$$V_A = V$$

$$V_B = 0 \text{ ----- (2)}$$

$$J_{t=0} = 0$$

시뮬레이션을 실행한 대상은 한류퓨우즈의 엘리먼트로써 Ag, Al₂O₃ 및 Copper의 물리상수는 문헌[4][5]를 참고하였다. 각각의 시료의 물리적 상수에 의하여 모든 상황이 고려가 될 수 있지만, 퓨우즈 용단 상황은 방사와 대류를 고려하기에 너무나 순간적이기때문에 금속 내부와 경계면을 통하여 전도만이 되도록 하였다.

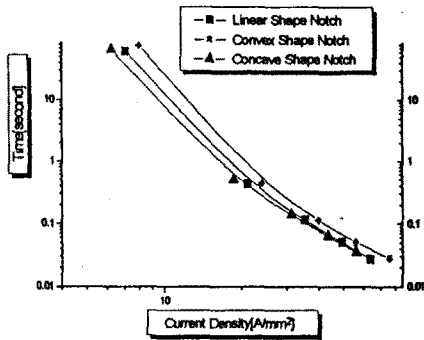


Fig.2 Analysis of the Melting Characteristic by Element Shapes

그림2는 3가지의 형태 중 모두가 같은 곳으로 노치 중앙인 점이 Ag의 용융점까지 도달하는 것을 나타내는 것이다. 가장 빨리 도달하는 하는 형상은 오목형태의 것으로 된다. 이 특성의 퓨우즈의 성능을 결정하는 것중에 하나가 된다.

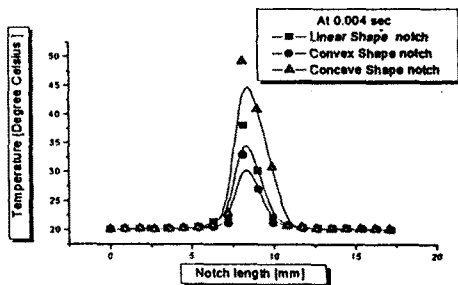


Fig.3 Temperature distribution to notch length
그림3은 0.004초 전원이 공급된 후 도체에서의 각부

분별 온도분포 곡선이다. 엘리먼트 중앙에서 오목형의 형태가 같은 시간에서 가장 높은 열이 발생된다. 발생된 열이 주위로 전도되는 모양을 관찰할 수 있는데, 엘리먼트 형상에 의하여 노치에서 발생하는 열을 재빨리 흡수하는 형태를 그림3에서 엘리먼트의 위치에 따라 방사되는 현상을 고찰하였다.

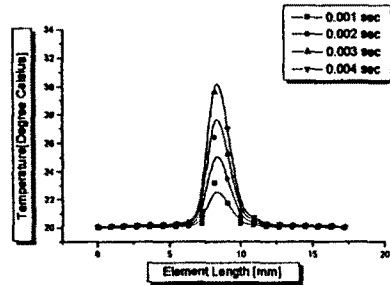


Fig.4 Temperature Distribution by Time at Linear Shape Element

그림4는 직선형 엘리먼트에서 시간이 경과함에 따른 온도분포이다. 시간이 지남에 따라 노치부위에서는 계속해서 열이 발생되고 주위로 서서히 전도되어 감을 알 수 있다.

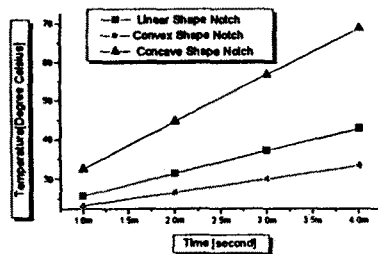


Fig.5 Effect of Temperature Absorption near Notch

그림5는 노치의 형상에 따라 주위로 전도되는 현상을 알아보기 위하여 시간을 0.001초에서 0.004초까지 변화상황하에서 각노치의 형태에 의한 온도변화를 나타내었다. 노치 형상의 영향만 비교하기 위하여, 노치중앙에서 형태가 변하기 시작하는 위치로 설정하였다.

같은 전원에서 오목한 형태의 노치가 시간이 지남에 따라 빨리 온도가 상승되어 간다. 오목형태의 기울기가 급하게 증가하는 것은 똑같은 재질이기 때문에 방사, 전도, 흡수하는 능력은 같지만 형상에 의하여 흐르는 전류의 변화로 발생하는 열의 차이로 생기는 것으로 사료된다.

3. 차단 실험

시뮬레이션의 결과에 의하면 엘리먼트의 형상에 따라 다른 용단특성을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과를 가지고 실제 단락발전기의 특성이 동가화된 LC공진회로로 각각의 퓨우즈 엘리먼트의 용단특성과 차단특성을 구하였다.

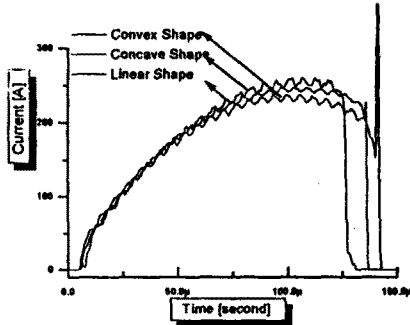


Fig.6 Clearing Oscillogram by Element Shapes

그림6은 퓨우즈가 차단될 때 양단에 발생하는 전류의 파형을 컴퓨터로 인터페이스 받은 그림이다. 엘리먼트 형상에 따른 열전달 특성을 살피기 위한 것이다. 회로의 콘덴서에 10[V]로 충전했을 때의 전류로써 퓨우즈를 장착한 후 같은 전원이 공급되는 상황에서 용단특성을 나타내었다. 그림에서 차단은 오목형, 직선형, 볼록형의 순서로 차단이 되었다.

그림6을 고찰하여보면 퓨우즈가 차단이 되어질 때까지 노치의 형태에 의한 영향을 알 수 있었으며 FEM으로의 해석결과와 같은 결과를 도출할 수 있었다.

그림7은 차단순간까지의 용단에너지(I^2t)를 비교한 그림이 다음과 같다.

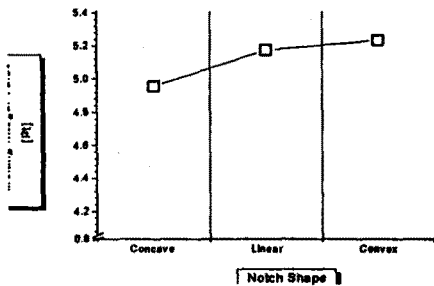


Fig.7 Comparison of Melting Energy by Element Shapes

용단에너지를 비교하여 볼 때 볼록한 형태의 엘리먼트가 가장 많은 에너지를 공급받아 차단되는 상황에

이르렀다.

4. 결론

엘리먼트 형상이 결정되어 이 형태의 용단특성 및 노치부분의 온도를 분석한 후 실증실험과 비교한 결과 다음과 같다.

구현되어진 용단곡선을 비교하여 볼 때 오목형의 엘리먼트가 제일 민감하게 반응하는 형태가 되어 바로 아크가 될 수 있는 용단 상황까지의 현상을 FEM을 통하여 구하였다. 실제실험을 통하여 예상의 결과가 실현 되어짐을 비교할 수 있다.

엘리먼트형태의 영향을 더 고찰하기 위해 엘리먼트 형상이 반영되지만, 다른 영향이 없는 점을 선정하여 비교하여 본 결과 오목한 형태가 민감하게 반응한다는 것을 알아 낼 수 있었다.

Heating 현상의 수치적 분석과 실험적 검증을 통하여 퓨우즈의 사용에 따라 요구되는 형상을 알 수 있었다. 즉 순간의 고장전류를 바로 감지하여 차단할 필요가 있는 곳에서 요구되어지는 속도형 형태와 순간적으로는 정격보다 몇배의 전류가 흐르지만 바로 정격전류에 도달하는 곳에서 요구되는 형상을 고려할 수가 있다.

시뮬레이션을 위해 간소화된 모델과 실제 복잡한 형태로 설계된 모델과 다소 오차가 있음을 알 수 있지만 엘리먼트 형태에 의한 경향을 분석할 수가 있었다.

퓨우즈가 요구되어지는 곳에서의 엘리먼트 형상설계는 노치부근의 각도와 노치길이에 따라 변화되어 영향이 반영되어야하고 각각에 의한 용단상황과 차단의 상황을 고려한 형태가 더 연구되어져야 할 것이다.

참고문헌

1. J.T.Odom, "Low Magnitude, Non-violent, Fault Clearing Device for Use with Current Limiting Fuses", IEEE Tran. Vol. PAS-101, No.7
2. 정광희, "한류형 퓨우즈 엘리먼트의 형상에 따른 열적 성능", 석사학위 논문, 1996. 2
3. O.Bottauscio, G. Crotti, G. Fartna "Non Adiabatic Process in Fuse Elements with Heavy Current Faults", pp.151~155, ICEFA 1991
4. M. Lindmayer, M. Luther, "Fusing and Short Circuit Interruption Behaviour of Metal Film Fuses", p112, ICEFA 1991
5. C. Garrido, J.Cidras "Analysis of Prearcing Time - Current Characteristic of Fuselinks", p180, ICEFA 1991