

## 저압배선용 전선퓨즈의 I-t곡선 시뮬레이션

박두기<sup>0\*</sup>, 이세현<sup>0</sup>, 박영남<sup>00</sup>, 구경원<sup>000</sup>, 김중식<sup>0000</sup>, 한성욱<sup>0</sup>  
충남대학교<sup>0</sup>, 청주기능대학<sup>00</sup>, 대전산업대<sup>0000</sup>, 영동공과대학<sup>000</sup>

### I-t Curve Simulation of the Low Voltage Distribution Line Fuse

D.K.Park<sup>0</sup>, S.H.Lee<sup>0</sup>, Y.B.Park<sup>00</sup>, J.S.Kim<sup>0000</sup>, K.W.Koo<sup>000</sup>, S.O.Han<sup>0</sup>

ChungNam National Univ.<sup>0</sup>, CheongJu Polytech. Coll.<sup>00</sup>, Taejon Tech<sup>0000</sup>, YoungDong Institute of Tech.<sup>000</sup>

#### ABSTRACT

In this paper, we deal with the I-t characteristic of low voltage distribution fuse. It is used to be thermal characteristic in being produced at fuse element part. The elements are divided low temperature melting element(LTME) by high temperature melting element(HTME). Those parts make of coordination. The characteristic of fuse is decided by material and design etc. used at element. We analysis I-t characteristic curve by using the numerical method. And we compared the curve of simulation with that of experiment

#### 1. 서 론

전력계통설비 중에서도 저압전선은 시민 생활환경에 가장 근접한 설비이다. 특히 저압 배전선 분기부에서 각 수용가로의 구간에서 발생하는 고장에 관해서는 기기 보호와 공중 안전면에서 충분한 배려가 필요<sup>(1)</sup>한 곳이다. 현재 이곳에 전선퓨즈가 사용되고 있다.

그러나, 외국에서 설계된 퓨즈를 검증 없이 적용을 하거나, 설계자의 경험적인 견지에서 특성에 대한 판단을 내린 후 재질의 변화와 형상의 변화에 의한 기본 설계를 한다. 따라서 이론적인 검증 없이 만들어 놓여진 시료를 가지고 무수히 많은 반복실험을 통해 I-t특성에 적합한 퓨즈를 개발하고 있다.

현재 실사용 중인 전선퓨즈(정격전압 220[V]이고, 전선의 굵기 2.6φ, 3.2φ, 정격전류 38[A], 50[A]의 2종류)도 외국의 기술 도입하여 생산되고있다. 자체 연구를 통해서 실험에 의해 개선된 퓨즈를 실제 상황에 투입하였다.

낮은 전류영역에서는 신뢰성이 낮은 컷취출더를 전선퓨즈로 대체되었다. 그러나, 부하의 용량이 크고, 높은 전류 영역에서는 아직도 컷취출더에 의해서 보호 되고 있는 형

편이다. 이에 기존의 저전류 영역에서의 전선퓨즈의 기본 특성을 이론적으로 검증을 하여 대전류 영역에서의 퓨즈 개발을 위해서 기본이론을 정립하고자 한다.

#### 2. 시료 및 실험 방법

##### 2.1 시료의 선정

현재 배전계통에 실사용 중인 2.6φ 전선에 정격전압 220[V], 정격전류 38[A]의 전선퓨즈를 사용하여 시뮬레이션된 퓨즈의 I-t특성과 실험 결과로서의 얻은 I-t특성 결과를 비교 검토하였다.

실제 사용된 퓨즈의 형상은 다음과 같다.



그림 1 전선퓨즈의 단면도

Fig. 1 Cut out View of Line Fuse

전류가 낮은 부분에서는 가용체부분에서 용단이 되고 높은 영역에서는 가용체 핀에서 동작하도록 퓨즈를 설계 되어있다.

##### 2.2 수치적 해석에 의한 퓨즈의 특성

전선 퓨즈의 용융특성은 범용의 FEM 프로그램을 이용하여 퓨즈의 I-t특성을 이끌어냈다. 이 프로그램으로부터 계산된 온도는 전계와 열계로 결합된 미분 방정식의 해로부터 구해진다.

##### 2.2.1 수치해석에 의한 지배 방정식

전도고체에서의 열흐름에 대하여 지배 미분 방정식은

다음과 같다.

$$\text{div}(-\lambda \cdot \text{grad}T) + \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} = \eta \quad (1)$$

전류흐름의 Laplace 방정식은 다음과 같다.

$$\text{div}j = \text{div}(k \cdot \text{grad}\phi) = 0 \quad (2)$$

(1)식의 좌변 첫 번째 항은 열전도에 의한 열손실을 나타내는 항이고, 두 번째 항은 엘리먼트에 축적되는 열이다. 우변의 항은 엘리먼트에 공급되는 열을 나타낸다.

이곳에서

- $\lambda$  : 열전도도(Thermal conductivity)
- $T$  : 온도(Temperature)
- $t$  : 시간(Time)
- $c$  : 비열(Specific heat)
- $k$  : 전기 전도도(Electrical conductivity)
- $J$  : Current density vector
- $\phi$  : Electrical potential

방정식(1) 과 (2)의 결합(Coupling)은 다음식과 같이 표현되는 주열(Joule heating)에 대한 표현으로 주워진다.

$$\eta = \frac{1}{k} \cdot j^2 \quad (3)$$

이곳에서  $\eta$ 는 체적당 발생하는 열이다<sup>(2X3X4)</sup>.

퓨즈가 대칭적인 형상이기 때문에 전체의 1/2의 영역을 해석하였다.

### 2.2.2 특성결과 및 고찰

그림2 1 = 266[시]일 때 시간에 따른 등열선의 변화

그림2는 전류가 266[시]가 흐를 때 시간에 따른 등열선의 변화를 시뮬레이션 한 결과이다. 짧은 시간영역에서는 협소부의 반경이 용단부보다 작기 때문에 이곳에 발생하는 열이 높게 나타나는 것이다. 그러나 시간이 흐름에 따라 주위로 전도되어져 가는 현상을 고찰할 수 있다.

그림3. 1 = 266[시]일 때 엘리먼트의 거리에 따른 온도변화

그림3은 엘리먼트에서 전류가 들어오는 곳부터 전류가 나가는 부분까지의 온도변화를 엘리먼트 길이에 따른 나타내었다. 협소부의 온도가 용단부에 비해서 현격히 올라가고 있다. 이 부분의 온도변화에 대한 물리적 고찰을 하기 위해, 그림 4에서는 이 부분들의 최고온도만을 시간의 변화에 따라서 다시 나타낸 그림이다. 0.5[sec]이하의 부분을 확대하여 보면, 협소부의 온도상승이 훨씬 커짐을 알 수 있다. 협소부에 사용되는 재료의 용융점은 1025℃로서 온도 기울기는 크지만 용융점에 이르지 못하는 것을

나타내고있다. 그러나, 용단부에 사용되는 재료는 185℃에서 용융이 되게 만들었기 때문에 온도변화는 협소부에 비해서 낮지만 같은 시간동안에 벌써 용적에 도약하여 용단되었다.

그림 5, 6, 7

그림5,6,7은 3000[시]의 전류를 인가 했을 때의 변화를 나타낸다. 인가된 전류가 크기 때문에 매우 짧은 시간에 변화가 일어남이 관측되어진다. 등열선의 변화도 협소부에 상당히 높은 온도가 발생되어 축적되지만 열의 전도가 미소하게 일어난다. 협소부와 용단부의 시간에 따른 온도 변화에 대한 물리적인 고찰을 해보면, 협소부에서 짧은 시간동안 온도상승 기울기가 훨씬 커 용융점에 이르렀지만 용단부에는 아직도 용융점에 도달하지 않았다.

이로서 낮은 전류에 의한 온도 변화와 높은 전류에 의한 온도 변화를 수치적 해석에 의해서 전선퓨즈의 특성을 해석할 수 있었다.

### 2.3 실험 장치구성 및 특징

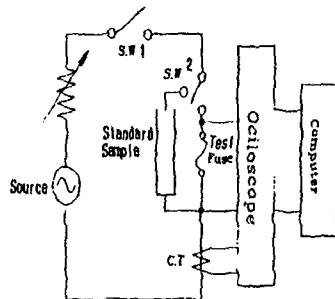


그림 8 실험장치 회로도

Fig. 8 Circuit diagram of Experimental device

그림8은 시뮬레이션을 검증하기 위한 실험장치도이다. 100[kA]까지는 10cycle내에서 공급할 수 있으며, 60[kA]는 연속적으로 공급할 수 있는 정비이다. CT를 이용하여 흐르는 전류를 측정하였다. 공급된 전류는 64.4, 76, 85.5, 104.5, 114, 152, 190, 228, 266, 310, 320, 370[시]를 공급했다.

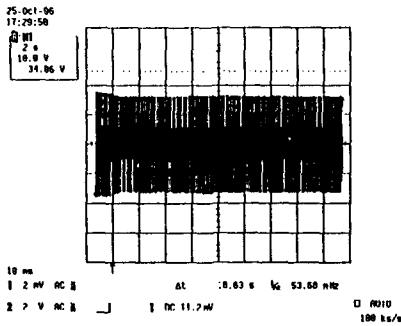


그림 9 1 = 114[A]일 때 용단오실로그램  
Fig. 9 Melting Oscillogram at I = 114[A]

그림은 여러 전류들 중에서 114[A]일 때 측정된 결과의 오실로그램이다. 1div당 50sec로 측정되었다. 전류가 인가 되면서 용단까지의 Real Time을 측정결과 18.63[sec]가 된다. 이 시간을 퓨즈의 용단 시간으로 취급하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

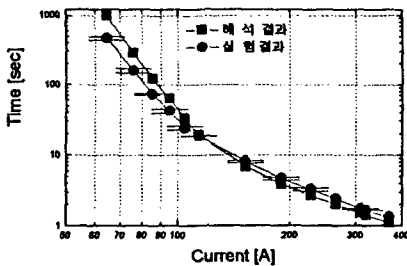


그림 10 실험과 시뮬레이션에 의한 용단곡선의 비교

Fig. 10 Comparison Melting Curve of Simulation with that of Experiment

그림은 시뮬레이션의 결과와 실제 실험의 결과를 비교한 I - t 특성곡선이다. 한 전류당 5번의 측정결과에 대하여 평균을 낸 그래프와 비교하였다.

100[A]이상의 높은 전류 영역에서는 0.17 ~ 0.2배의 오차가 발생한다.

100[A]이상의 저전류 영역에서는 1.5 ~ 2.1배의 오차가 발생하지만 실제와 유사한 특성을 얻을 수 있었다.

이러한 오차의 발생원인으로 다음을 고려하였다.

시뮬레이션에서는 용단부가 185℃에 이르면, 용단시간으로 취급하였지만, 현실에서는 용융점에 이르는 표시가

나타난 후 약 5 ~ 10[sec] 후에 용단이 됨을 알 수 있었다. 비로 이 표시는 비로 용융점에 이른 것이며 주변으로 넓어지면서 용단이 되는 것이라 할 수 있다. 또 액체의 점도의 영향에 의해 용단시간이 길어진다. 그러나 시뮬레이션에서는 잇점을 고려하지 않았다. 엘리먼트에 의한 영향만을 고찰하기 위해서 생략한 연결단자부 또한 금속속의 물질로서 열전도에 의한 영향도 고려 해야 할 것이다. 엘리먼트의 부식을 방지하기 위해 전체에 5μm도금하는 것을 해석상에서 고려할 수 없는 영역으로서 오차로서 적용할 것이다.

### 4. 결론

2.6φ 정격 220[V], 38[A]용 전선퓨즈에 대하여 수학적 해석을 통하여 얻은 용단곡선, 차단특성의 해석과 실제 실험 결과를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전류에 의한 HTME와 LTME의 시간에 따른 열적인 변화를 확인 할 수 있었다.
2. 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교해 보았을 때 퓨즈의 용단특성은 1.5pu이내의 오차를 갖고 있다.
3. 수학적으로 퓨즈특성해석을 통하여 치후 유사한 모델의 대전류 전선퓨즈개발에 이용이 가능하다. 이것은 전선퓨즈 개발을 위한 시간과 경제적 손실 부담을 줄일 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] 關口輝一, 岡崎正幸 외 4인, "瞬時動作形低壓ヒューズの開發", T. IEE Japan, Vol. 113-B, No. 4, pp. 397~404, 1993
- [2] 빅두기, 이세현, 한성욱 외 6명, "퓨즈 엘리먼트의 형식에 따른 온도분포 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.1688~1690, 1996
- [3] "25kV급 밀폐형 Cutout Switch개발(중간보고서)", 한국전력공사, 1996. 9
- [4] M. Lindmayer and M. Luther, "Fusing and Short Circuit Interruption Behaviour of Metal Film Fuses," pp.107~113, ICEFA, 1991

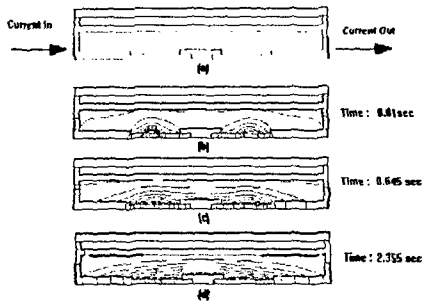


그림 2 I = 266[A] 일 때 시간에 따른 등열선의 변화

Fig. 2 Changing of Equi-thermal Line by the Time varying at I = 266[A]

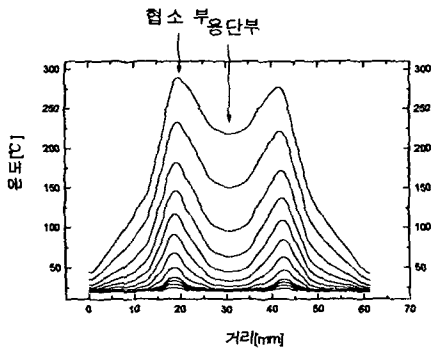


그림 3 I = 266[A] 일 때 엘러먼트 거리에 의한 온도분포

Fig. 3 Thermal Distribution by the Element Length at I = 266[A]

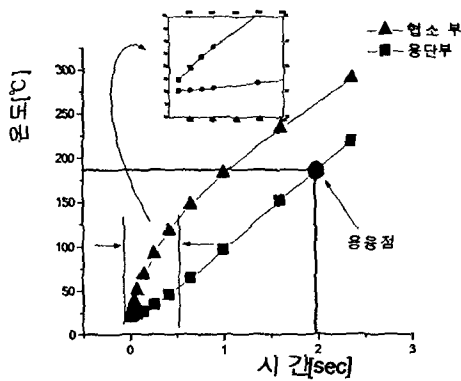


그림 4 I = 266[A] 일 때 시간에 따른 온도변화  
Fig. 4 Change of Temperature by Time Varying at I = 266[A]

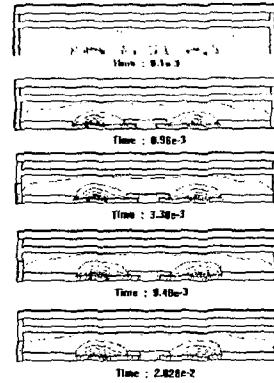


그림 5 I = 3000[A] 일 때 시간에 따른 등열선의 변화

Fig. 5 Changing of Equi-thermal Line by the Time varying at I = 3000[A]

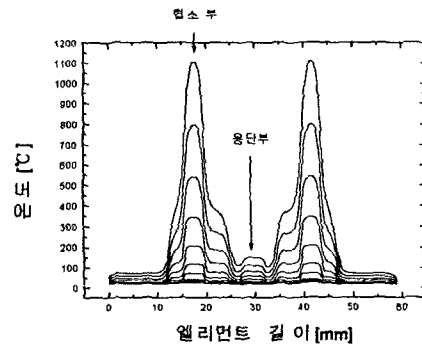


그림 6 I = 3000[A] 일 때 엘러먼트 거리에 의한 온도분포

Fig. 6 Thermal Distribution by the Element Length at I = 3000[A]

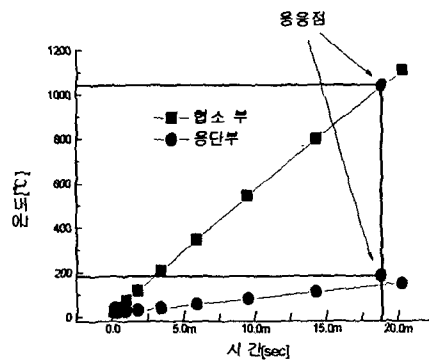


그림 7 I = 3000[A] 일 때 시간에 따른 온도변화  
Fig. 7 Change of Temperature by Time Varying at I = 3000[A]