

# 아크전압에 따른 fuse element의 burnback에 관한 연구

윤영주<sup>1</sup>, 박두기<sup>1</sup>, 이세현<sup>1</sup>, 심응보<sup>2</sup>, 구경완<sup>2</sup>, 한상옥<sup>3</sup>  
충남대학교<sup>1</sup>, 영동공과 대학교<sup>2</sup>, 한전 전력연구원<sup>3</sup>

## A Study of Fuse Element Burnback to the Arc Voltage

Y.J. Youn<sup>1</sup>, D.K. Park<sup>1</sup>, S.H. Lee<sup>1</sup>, E.B. Sim<sup>2</sup>, K.W. Koo<sup>2</sup>, S.O. Han<sup>3</sup>  
Chungnam Nat'l Univ.<sup>1</sup>, Youngdong Institute of Tech.<sup>2</sup>, KEPRI<sup>3</sup>

**Abstract** - When the short fault current is flowed into a fuse, the notch of element is melted, and burnbacked by arc plasma, which caused by the voltage of fuse at both ends. The cutoff ability of fuse is heavily influenced by the degree of burnback. In this paper, we investigated the amount of burnback to the applied voltage di/dt variation. As a result, we confirmed that the amount of burnback is proportional to the variation of the applied voltage.

의 경향을 파악하고자 하였다.

본 연구에서는 Capacitor Bank 1, 2로부터 각각의 독립된 전류원과 전압원을 인가하여 합성단락시험을 수행하였다. 실험조건으로는 Bank 1의 전압과 전류의 주파수를 고정시킨 상태에서 Bank 2에 충전되는 전압 그리고 전류의 기울기를 각각 가변시켜 나타나는 퓨즈의 차단특성을 조사하였다.

### 1. 서 론

### 2. 본 론

Current limiting fuse (CLF)는 과전류가 통과하게 되면 전류밀도가 큰 노치부분에서 엘리먼트가 먼저 용융 및 증발되고, 주위의 소호물질과 화학적으로 엘리먼트가 burnback 되어 단락전류를 차단하는 동작메커니즘을 가지고 있다. CLF의 동작중 아크의 발생정도는 차단성능을 좌우할 수 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 엘리먼트 주위에 소호물질이 채워진 상태에서 단락이 발생할 경우 burnback에 의한 fulgurite가 생성되는데, 이 fulgurite는 아크 활성을 감소시키고 차단후 절연을 유지시키는 중요한 역할을 하게된다.

#### 2.1 시료의 제작과 실험과정

##### 2.1.1 시료의 제작

실험에 사용된 시료는 日本 Sunhayato사의 96%의 상용 Cu기판을 이용하여 제작하였으며, photo etching 방법을 이용하여 원하고자 하는 모양의 엘리먼트를 제작하였다. 실험에 사용된 시료의 형태는 아래의 그림 1과 같다.

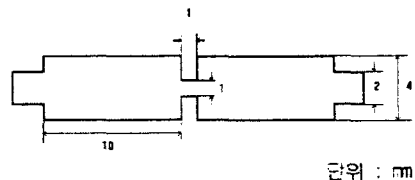


그림 1 fuse 엘리먼트의 구조  
Fig. 1 Structure of fuse element

CLF의 동작특성을 시뮬레이션 할 경우, 요구되는 파라미터의 변화를 조사하기 위해 본 연구에서는 차단의 성공을 좌우하는데 중요한 변수로 작용하는 burnback의량을 연구하여 실험조건에 대한 파라미터

전체의 길이는 25mm, 폭은 4mm이고 시료의 노치부분은 가로, 세로 각각 1mm로 정사각형의 형태로 제작하였다.

### 2.1.2 실험과정

실험에 사용된 장비는 LC공진을 이용한 간이 합성차단장치로서 회로도 는 그림 2와 같다.

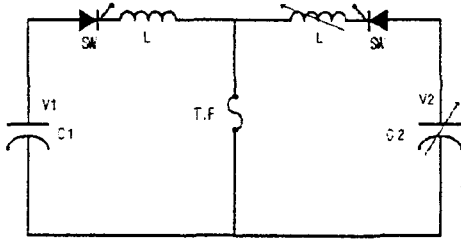


그림 2. 간이 차단장치의 회로도

Fig. 2. Circuit diagram of simplified test device

실험과정은 먼저 캐퍼시터 뱅크 1(C1)에 일정전압(60V)을 충전시킨 다음, SW1으로 표시된 싸이리스터를 동작시키면, LC공진작용에 의해서 AC파형이 만들어진다. 이 AC전류, 전압이 T. F.(Test Fuse)에 공급이 되어서 fuse가 용융이 되고 아크가 발생하게 된다.

이때, C1에 의해서 발생하는 전류에 의해 1차측에 감긴 코일에서 유기되는 전압을 이용하여 퓨즈에서 아크가 발생하는 순간에 뱅크 2에 충전되었던 전압이 퓨즈 양단에 인가된다. 캐퍼시터 뱅크 1과 2를 각각 동작시킨 이유는 독립된 전류원과 전압원을 공급하기 위해서이다. 퓨즈가 용단이 되는 동안의 전류와 전압이 오실로스코프(VC-6165, 100 MHz)에 의해서 측정이 되고, 이 측정된 데이터는 다시 컴퓨터로 인터페이스되어 데이터 베이스화 된다.

Bank 2의 전류와 전압에 의한 엘리먼트의 burnback 량과의 관계를 알아보기 위하여 Bank 2에 충전되는 전압과 전류의 기울기를 각각 변화시켜 보았다. 전압은 60V, 80V, 100V, 120V로 변화시켰으며, 전류의 기울기는 회로에 직렬로 삽입되는

부하 L의 값을 바꾸어서 각각 변화시켰다.

## 2.2 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 크게 나누어 Bank 2의 충전전압과 Bank 2에 의해서 흐르는 전류의 기울기, 두 가지의 실험조건을 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 그리고 이때에 실험조건에 대한 burnback의 영향을 알아보기 위해서 각각 회복전압(Vrecovery), 아킹  $I^2t$  (Arcing  $I^2t$ ), 아킹 시간(Arcing time), 그리고 burnback 량등을 조사하였다. 그리고 또한 이러한 실험 항목들은 Bank 1만을 동작시킨 경우에는 1로 Bank 1과 2를 같이 동작시킨 경우에는 2로 표시하였다.

### 2.2.1 전압의 변화

그림 3은 전압을 변화시킨 경우에 용단 이후 퓨즈 양단의 전압인 회복전압을 표현한 것이다.

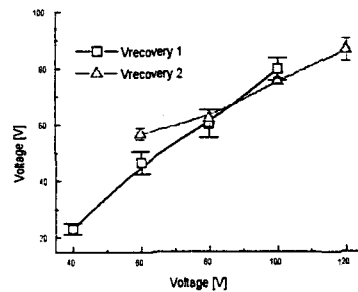


그림 3. 전압변화에 따른 회복전압

Fig. 3. Recovery voltage to voltage variation

Vrecovery 1은 Bank 1에 40, 60, 80, 100V로 각각 충전을 한 상태에서 동작을 시킨 경우이고, Vrecovery 2는 Bank 1에 60V로 고정해서 충전시키고 Bank 2는 각각 60, 80, 100, 120V로 충전시켜 동작을 한 경우이다. 그림에서 알 수 있듯이 Vrecovery 1의 경우, 일정전압이 인가되면  $V = \frac{it}{C}$ 의 수식으로부터 일정전류가 일정 시간동안 흐르게 되면 엘리먼트

의 노치부분이 용융하게 된다. 따라서 용융이 되고 난 후 아크의 활성화는 거의 일정한 값을 갖게되어 약 시험전압보다 20V 정도 작아짐을 알 수 있다. 그러나 Vrecovery 2의 곡선에서는 회복전압의 일정한 양상을 예측할 수가 없다. 60V를 인가한 전압에 대해서는 인가전압과 회복전압의 차이는 미미하다. 그러나 80~120V로 이동됨에 따라 아크발생시 아크주의 전기전도도가 양호하게 되어 아크의 활성화는 더욱 심화되고 인가전압과 회복전압의

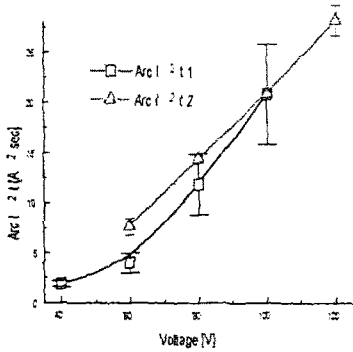


그림 4. 전압변화에 따른 아킹  $I^2t$   
Fig. 4. Arcing  $I^2t$  to voltage variation  
차이는 더욱 커지게 됨을 알 수 있다.

그림 4는 전압을 변화시킨 경우에 아킹  $I^2t$ 의 변화를 표현한 것이다. 인가전압이 증가할수록 아킹  $I^2t$ 의 값이 증가하여 아킹이 활성화되고 있음을 보여주고 있다. 또한 Bank 2가 같이 동작한 경우 Arc  $I^2t$  2가 Arc  $I^2t$  1보다 더 높은 값을 가지고 있음을 보여준다. 이는 아크 발생시 퓨즈 양단의 전압이 더 높기 때문에 나타난 것으로 사료된다.

그림 5는 역시 전압변화의 경우에 아킹 시간의 변화를 나타내는 것이다. Arcing time 1, 2 모두 전압이 증가함에 따라서 아킹이 활성화되어 아킹 시간이 증가했음을 알 수가 있다. 그리고 2의 경우가 1보다 더 아킹이 활성화되어 시간이 더 오래 지속되었음을 알 수 있다.

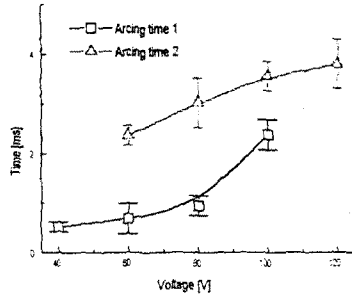


그림 5. 전압변화에 따른 아킹 시간  
Fig. 5. Arcing time to voltage variation

그림 6은 인가전압을 변화시킨 경우에 burnback의 변화를 살펴본 것이다. Bank 2를 같이 동작시킨 경우의 burnback 2가 역시 1보다 더 많은 값을 가짐을 알 수 있고, 전압이 증가할수록 burnback의 양이 선형적으로 증가했음을 알 수 있다.

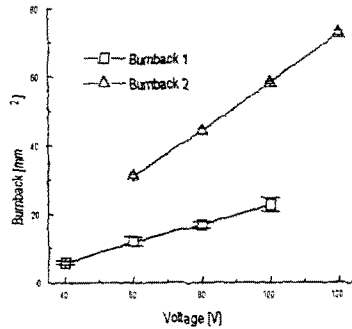


그림 6. 전압변화에 따른 burnback  
Fig. 6. Burnback to voltage variation

### 2.2.2 di/dt의 변화

그림 7은 회로의 2차측에 삽입된 L의 값을 변화시킴으로서 Bank 2에 의해서 흐르는 전류의 기울기를 변화시킨 경우에 퓨즈 양단의 회복전압의 값을 표현한 것이다. Vrecovery 2가 1보다는 일정한 값을 가지는 것을 보여주고 있다.

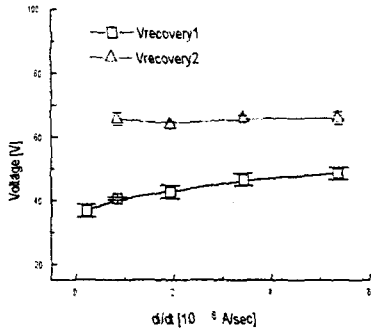


그림 7. di/dt 변화에 따른 회복전압  
Fig. 7. Recovery voltage to di/dt variation

그림 8은 di/dt 변화에 따른 아킹  $I^2t$ 의 변화를 표현한 것이다. 0에서 2 [10<sup>6</sup>A/sec]부근까지는 아크에너지가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 2에서 6 [10<sup>6</sup>A/sec]에서는 거의 일정한 아크에너지의 값을 유지하고 있다. 이러한 이유는 아크가 발생한 영역에 비선형적인 아크저항의 변화로 기인한 것으로 사료된다. 따라서 전류의 기울기가 위의 그래프보다 더 커지게 되면 아크에너지는 감소됨을 예측할 수 있다.

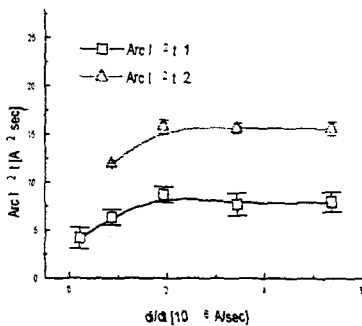


그림 8. di/dt 변화에 따른 아킹  $I^2t$   
Fig. 8. Arcing  $I^2t$  to di/dt variation

그림 9는 역시 di/dt를 변화시킨 경우에 아킹 시간의 변화를 보여주는 것이다. 전압을 변화시킨 경우와는 달리 아킹시간이 모두 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 전류의 기울기가 증가하면 아킹은 활성화되지만 그와 동시에 동작시간 자체가 짧아지기 때문에 아킹시간이 감소하는 것으로 사료된다.

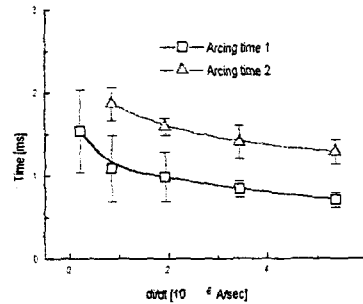


그림 9. di/dt 변화에 따른 아킹 시간  
Fig. 9. Arcing time to di/dt variation

그림 10은 di/dt 변화에 따른 burnback 량을 표현한 것이다. Bank 2가 같이 동작한 Burnback 2의 경우에 1의 경우보다 더 많은 burnback이 발생하고 있음을 알 수가 있다. 그러나 또한 전압변화의 경우처럼 선명한 증가의 형태를 보이지 않는

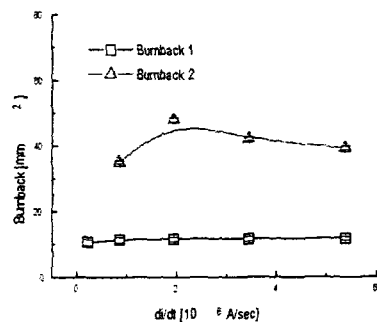


그림 10. di/dt 변화에 따른 burnback  
Fig. 10. Burnback to di/dt variation  
것을 알 수가 있다.

그림 11은 전압변화에 따른 burnback량의 변화를 표현한 것이다. 오른쪽으로 갈수록 인가되는 전압이 증가해서 burnback의 경향이 더 심화됨을 알 수가 있다.

그림 12는 di/dt를 변화시킨 경우의 burnback량을 표현한 것으로 그림 10에서 알 수 있듯이 전압변화의 경우보다 눈에 띄는 변화는 없음을 역시 알 수 있다.



그림 11. 전압변화에 따른 burnback  
Fig. 11. Burnback to voltage variation



그림 12. di/dt 변화에 따른 burnback  
Fig. 12. Burnback to di/dt variation

### 3. 결 론

본 연구에서는 일정한 형태를 갖는 fuse에 각각의 독립된 전류원과 전압원을 공급하여 등가차단시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

첫째, 아크가 발생하는 순간 퓨즈 양단의 전압크기에 대해 아크의 활성화는 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

둘째, 아크가 발생하는 순간 퓨즈 양단의 전압크기에 대해 burnback량은 선형적인 증가를 보이고 있다.

셋째, 선로의 인덕턴스에 의해 변화된 전류의 기울기에 의해 아크 활성화에 임계점이 존재함을 알 수 있다.

### [참 고 문 헌]

[1] 이세현, 박두기, 윤영주, 구경완, 한상욱, "아크 플라즈마에 의한 Copper Element의 burnback에 관한 연구", '97 대한전기학회 전기재료연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 35~39, 1997

[2] K. Jakubiuk, T. Lipski, and A. Pisanko, "An integrated physical model of the hbc fuse arcing process" Proc. ICEFA (Nottingham), pp 216-20, 1991

[3] K. Jakubiuk, T. Lipski "Dynamics of fulgurite formation during arcing in hrc fuses" J. Phys. D: Appl. phys. 26, pp. 424-430, 1996