

소호 재료에 따른 기중 아크 차단 현상의 실험적 연구

이상엽, 연영명, 박홍태, 오일성  
LG산전 전력연구소

Experimental Study on Air Arcs Interruption Phenomena  
with Arc Quenching Materials

S. Y. Lee, Y. M. Yeon, H. T. Park, I. S. Oh  
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems.

**Abstract** - Arc phenomena occur in the air, must be more diverse than vacuum and SF6. An air arc interruption method has been used in low rated voltage circuit breakers such as ACB, MCCB and MCB. Most of them have the arc chamber composed of arc chutes and lateral walls that made of many kinds of materials.

Therefore, the criterion of material selection is necessary for breaking capacity improvement. So, we selected some contact and lateral wall materials, and carried out short circuit tests.

Especially, some parameters of arc plasma properties were very different each polymeric wall material.

1. 서 론

기중 차단기의 소호실은 고압 차단기의 경우처럼 진공 상태나 SF6가스로 밀폐되어 있는 것이 아니라, 공기 중에 노출되어 있고, 사고 전류 차단 시 발생하는 아크는 상온의 대기압 공기 중에서 발생하여 소호실로 유도되며, 사고 전류가 영점을 통과할 때 소호된다.

기중 아크 역시 아크 플라즈마의 일반 원칙을 벗어나진 않지만, 공기는 여러 가지 기체가 복합되어, 구성되기 때문에 기중 아크 특성의 일반론 내지 일반식은 유도하기가 쉽지 않다. 현재 컴퓨터 계산 능력의 향상으로 CAE를 이용해 아크 유동, 변위, 전자기력 등을 해석하여 차단기 설계에 도움을 주고 있지만, 기중 차단 방식은 실험적 연구가 주를 이루어 진행되어져 왔다.

일반적으로 기중 차단기의 소호실은 고정 및 가동 접점과 기중에 노출된 금속이 절연판에 일정한 간격을 두고, 적층되어 있는 모양을 하고 있다. 이 소호실의 주 역할은 아크의 길이를 늘리고, 아크를 여러 개의 직렬 아크로 분할시키며, 냉각하여 전류 차단이 쉽도록 하는 것이다.[1]

저압 차단기용 접점은 Ag 함유량이 높은 접점이 사용되며, 그 용도에 따라 내부 조성이 다른데, 고정 접점은 전류 통전 능력이 필요하며, 가동 접점의 경우는 내아크성을 필요로 한다. 이에 기본 재료인 Ag의 첨가물(W, C, CdO, SnO2)을 첨가하게 되는데, 그 첨가물의 양의 차이가 크다. 고정 접점의 경우 약 10 [Wt%]이하이나, 가동 접점의 경우 50 [Wt%]까지 첨가된다.

그리드의 재료는 자성 재료인 철(Fe)을 주로 이용하고 있는데, 이는 아크 전류에 의해 유도되는 자체 자기력을 이용하여, 배출 방향으로 유도하기 위해서이다. 또, 열전도율이 좋은 구리합금을 사용하기도 하는데, 이는 높은 아크 열을 빠르게 전도시켜, 아크 냉각 특성을 향상시키는 데 그 목적이 있다.

마지막으로, 그리드를 지지하고 있는 절연판의 재료도 매우 다양하게 적용되고 있는데, 내열성, 우수한 기계적 강도, 내아크성을 갖는 재료가 이용된다.

이의 역할은 그리드지지 역할 이외에 아크 열에 의한 표면 열화 시 소호성 가스를 방출하여, 소호 특성을 향상

시킨다. 또한 아크 플라즈마의 저항을 상승시킴으로써, 아크 전압 상승이 유리되며, 이는 저압용 차단기에서 이용되는 한류 효과를 상승시키는 역할을 한다.

최근 아크 열에 의한 표면 열화로 발생 가스량을 달리 하여, 차단기 내부의 압력을 상승시켜, 이를 아크 유동에 이용하는 차단 기술이 소개되었다. 이러한 절연판은 다양하게 사용되는데, 현재 대부분의 차단기는 폴리에스테르, 에폭시, 나이론 등을 사용하고 있다.

본 연구에서는 차단기의 내부 소호 구조, 메커니즘이 동일하다고 가정하고, 저압용 차단 성능에 영향을 미치는 아크 전압 및 내부 발생 압력을 재료적인 측면에서 실험을 통해 알아보았다.

2. 관련 기술

2.1 아크 전압과 한류 현상

그림 1. 은 차단기내에서, 아크 전압과 한류효과를 나타낸 그래프이다. 그림 1.에서 알 수 있듯이, 아크 전압이 전원 전압보다 높아지게 되면, 한류 현상이 발생되면, 전류가 급격히 제한된다.

저압 차단기에서 한류 현상을 이용해 전류를 차단하기 위해서는 두 가지의 조건이 있다.

낮은 전원 전압에서 빠르게 높은 아크 전압을 발생시키거나, 접점의 개리 시간  $t_s$  와, 접점 개리 속도를 빠르게 하며, 단락 전류의 피크점 이전(약 4[ms]이내)에 동작시켜, 차단하는 것이다.

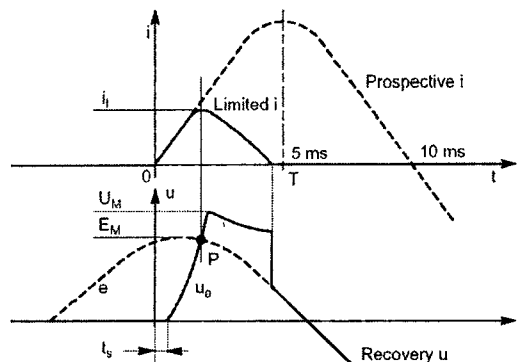


그림 1. 아크 전압과 한류 효과

이러한 높은 아크 전압은 아크 플라즈마의 저항과 관계가 되는데, 아크 플라즈마의 소스, 길이, 그리드를 이용하여, 직렬 아크 분할 갯수, 냉각 속도에 영향을 받는다. 아크 전압은 크게 두 요소의 결합으로, 플라즈마 소스에

의한 전압(  $U_{AC}$  )과, 아크 플라즈마의 길이, 분할, 냉각에 의해 발생하는 전압(  $U_L$  )의 합으로 나타난다.

$$U_{arc} = U_{AC} + U_L \quad [1]$$

$U_{AC}$ 는 접점 재료에서 따라 다르게 나타나며, 이에 따라서 발생하는 전압은 약 20 ~ 40 [V]로 알려져 있다. 그리고,  $U_L$  은 아크 플라즈마의 길이나, 냉각 속도, 온도 등에 따라 영향을 받아 달라지는데, 이는 약 50 ~ 100 [V/cm]로 알려져 있다. [2]

따라서, 사용된 접점 및 차단기의 내부 소호 구조, 동작 메커니즘의 특성이 동일하다면,  $U_L$ 을 상승시키기 위해서는 아크 플라즈마의 열에 의한 표면 열화로 발생시키는 가스 성분 및 가스 양에 영향을 미치는 소호 재료의 선택이 중요하다.

소호 재료에서 발생하는 가스 성분은 유동되고 있는 아크 플라즈마의 저항을 변화시키고, 가스 량은 내부 압력을 변화시켜 아크의 유동성을 변화시킨다.

이러한 차단기 내부에서 발생하는 한류 현상 이외에, 별도의 한류기를 부착하는 경우도 있다. 현재 소개되고 있는 저압용 한류기는 정격 전류 100[A]이하로써, 가장 알려지는 것은 PTC(Positive Temperature Coefficient resistor)소자가 있다.

PTC소자는 전류가 흘러 소자의 온도가 상승하고, 상승한 온도에 의해 저항이 상승하여 전류의 흐름을 제한하는 동작 특성을 갖는다. 이의 재료는 크게 세라믹 계열과 고분자 계열로 나눌수 있는데 저압 차단기용 PTC는 세라믹 PTC는 Doped-BaTiO3가 사용되며, 폴리머 계열 PTC는 Carbon-black을 함유한 폴리에틸렌이 이용된다.[3][4]

## 2.2. 가스를 이용한 아크 유동

저압 기중 차단기는 아크를 그리드에 의한 자체 자계력을 이용하여 유동시키는데, 배출구까지 완전히 이동시키지 못하면 다시 접점 부근으로 되돌아 오게 된다. 이를 Back-Commutation 현상이라 하는데, 이는 소호실 내부까지 이동된 아크가 가동 접점의 바운싱 현상의 발생과 내부 가스 흐름의 방향이 역으로 진행될 경우 발생된다. 일반적으로 소호실 내에서 발생하는 가스는 소호실 후단에 설치된 배기구로 배출되는데, 이 때의 가스 흐름은 아크 구동 방향과 일치하여, 아크 구동에 좋은 영향을 미친다. 하지만, 배기 구조가 양호하지 못하게 되면, 지속적으로 아크가 유지되어, 소호되지 못하고, 전류 영점을 지나더라도 차단하지 못하게 된다.

가스 흐름을 이용한 아크 차단 방식은 고압 SF6 가스 차단기에서 이용되었는데, 이를 Puffer 차단 방식이라 한다. Puffer 차단 방식은 내부의 아크 열과 기계적 구조를 이용하여, 강제로 SF6가스를 유동시켜, 아크를 차단하게 되는 방식이다.

최근 이러한 고압용 차단 기술이 저압용 차단기에 적용하고 있다. 하지만 저압용 차단기에서는 고압 SF6 가스를 사용하지 않기 때문에, 고압의 가스를 발생하기 위해서는 가스 발생 재료를 아크가 발생하는 접점 부근에 배치, 사용한다.

또한 가스 이동을 차단기 동작 메커니즘 구동에 이용하는 경우도 있는데, 이는 릴레이나 바이메탈로 구성된 동작 메커니즘보다 빠르게 동작되어, 그림 1.에서의 개리 시작 시간(ts)을 줄여준다.

## 3. 실험 방법

본 연구에 사용된 실험회로는 그림 2. 에 나타낸 것과 같이 LC공진 회로를 구성하여 사용하였으며, 시험 전류

는 3rd 반파를 3, 5 kArms로 설정하여 시험하였다. 아크 전압과 아크 전류를 분압기와 로고스키코일을 이용하여 측정하였으며, 압력을 측정하기 위해서 압전 센서를 이용하였다.

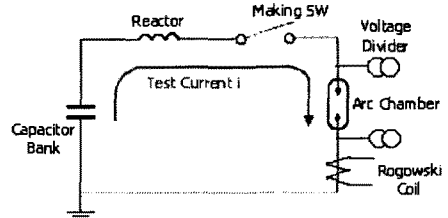


그림 2. LC공진 회로

그림 3. 은 실험에 이용된 아크 챔버의 구성도이며, 표 1.에서 나타낸 접점 및 소호 재료를 사용하여 실험하였다. 실험 재료는 현재 상용 제품에서 사용 중인 재료 중에서 선정되었다.

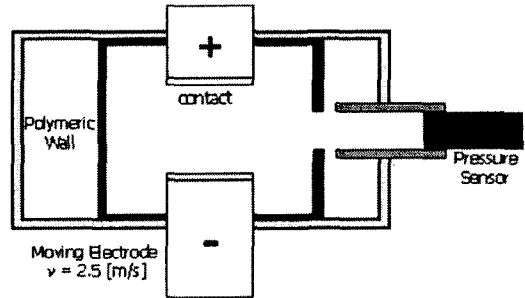


그림 3. 실험용 아크 챔버 개략도

아크의 발생은 접촉되어 있던 접점이 분리되면서 시작되며, 이를 1[μs]단위로 조절할 수 있는 시퀀스타이머를 이용하여 동작시켰다. 본 실험에서는 세 번째 반파에서 동작하도록 조절하였다.

표 1. 접점 및 소호 재료

	Anode	Cathode	소호재료
1	AgWC	AgWC	Polyester
2	AgCdO	AgWC	Epoxy
3			Teflon

## 4. 실험 결과

### 4.1 아크 전압 특성

접점 재료에 따른 아크 전압의 비율은 전체 아크 전압의 약 10 [%] 정도로 큰 영향을 미치지 않는다. 반면, 소호 재료의 경우는 그 영향의 차이가 크다.

이는 아크가 발생하고, 아크 열에 의한 소호 재료의 표면 열화로 발생하는 가스는 아크의 저항 성분을 변화시켜, 높은 아크 전압을 유지하기 위해서는 소호 재료의

신중한 선택이 필요하다.

본 연구에서는 그리드를 이용한 아크 소호실을 모의하지 않고, 재료에 의한 아크 전압 특성을 보고자 하여, 높은 아크 전압이 유지 되지 않았지만, 그림 4.에서 나타낸 바와 같이 소호 재료에 따라서 그 발생 아크 전압이 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 4.는 5kArms의 실험 전류에서 AgCdO 접점과 AgWC 접점을 사용하고, 소호재료를 달리하여, 실험한 아크 전압 결과이다.

언급되었던 접점 재료에 의한 아크 전압을 40[V]라고 가정한다면, 각각의 소호 재료에 따라 형성되는 아크 전압이 차이가 약 40[%]까지 달하는 것을 알 수 있다.

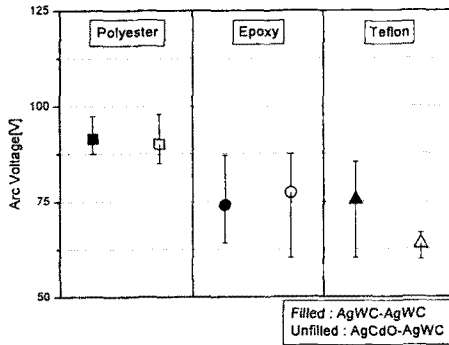


그림 4. 소호 재료에 따른 아크 전압

#### 4.2 발생 압력 특성

표 3.은 시험 전류 5kArms에서 각각의 재료에 따라 나타난 발생 압력을 측정된 것이다. 폴리에스테르 소호 재료는 약 2.0 ~ 2.5 [bar]의 압력을 형성하였으며, 에폭시는 2.5 ~ 3.0 [bar] 까지 나타났다. 반면 테프론 재료는 2.0 ~ 2.2 [bar]의 압력을 나타내었다. 접점 재료에 의한 영향은 발생 압력에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 접점 재료 보다는 소호재료에 따라 다르게 형성되는 것을 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 내부 아크의 유동을 빠르게 진행 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 소호 재료를 순수하게 발생 압력만으로 평가하는 데에는 무리가 있다. 모든 유기 재료의 주 성분은 탄소(C)로써, 표면 열화에 의해 표면에서 발생하는 탄화물의 양이 많다면, 차단 시 아크 재발호에 영향을 미치며, 차단 후에도 벽면에 부착되어, 차단기 내부 벽면의 절연 성능을 저하시킨다. 이에 따라 압력 상승도 중요하지만, 발생 가스 성분을 파악하여 이의 조성에 따른 영향 또한 파악하여야 한다. 향후 이들의 발생 가스의 조성에 따른 차단 현상 분석 연구를 계획하고 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 저압 차단 현상 중 차단 현상에 영향을 미치는 아크 전압과 내부 발생 압력을 실험을 통해 파악하려 했다. 실제 저압용 차단기의 내부 차단 현상과는 차이가 있지만, 동일한 아크 소호실의 구조를 갖는다면, 접점 및 소호 재료에 따라서, 그 차단 현상 차이를 알 수 있었다.

[1] 저압 차단기에서 차단 능력을 향상하기 위해 필요한 환류 작용을 발생하기 위해서는 높은 아크 전압을 필요로 하는데, 구조가 동일하다면, 소호 재료에 따라 그 아크 전압을 다르게 얻을 수 있다.

[2] 내부 가스의 유동을 이용하여 아크를 신장 시키거나,

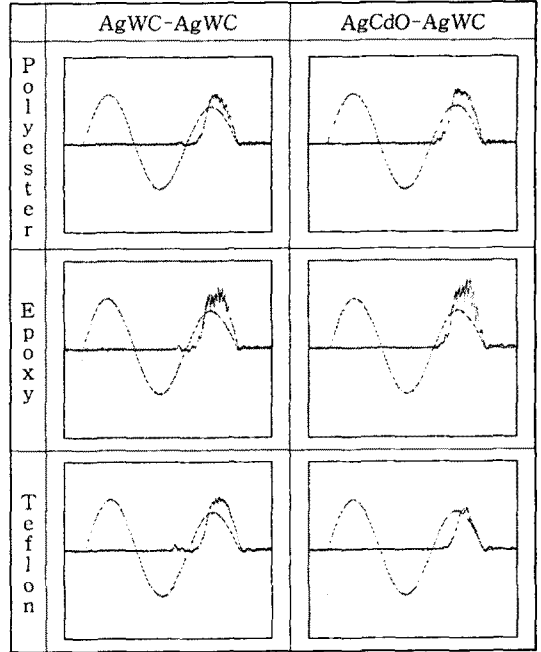


표 3. 소호 재료에 따른 발생 압력의 차이  
[3rd half-wave 5kArms, 1bar/div]

이동시키기 위해서는 아크 발생 시 높은 압력을 갖어야 하는데, 소호 재료에 따라서, 다르게 그 압력이 나타났으며, 실험적으로는 에폭시가 높은 압력을 나타내었으며, 테프론이 가장 낮은 발생 압력을 나타내었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] A. T. Johns, G. Ratcliff, A. Wright "Power circuit breaker theory and design" IEE Power Engineering Ser. pp. 190, 1982
- [2] P. Scheller "LV breaking 압력 by current limitation" Cahier Technique No. 163 pp 5 ~ 6, 1998
- [3] W. Chen "Current communication in arcless interruption with PTC" IEEE pp. 141~147
- [4] 이방욱의 "전력계통 고장전류 저감을 위한 환류 기술 및 환류기 개발 동향 분석" KIEE 춘계학술대회 pp. 6'7, 2002.