

초고압급 가스차단기용 노즐 및 아크접점의 내아크 특성시험

송기동, 정진교, 박경엽, *권기영
한국전기연구소 스위치기어 연구팀, *효성중공업(주) 기술연구소

Tests of the arc-resistant characteristics of nozzle and arcing contact for EHV class GCB

K.D. Song, J.K. Chong, K.Y. Park, *K.Y. Kweon
KERI, Switchgear Research Team, *Hyosung Indus. Co. Ltd.

Abstract - Various types of nozzles and arcing contacts for EHV class GCB have been made to investigate the arc-resistant characteristics of them during short-circuit tests. The tested results are presented and analyzed to give useful information for GCB nozzle and contact manufacturers.

계없이 거의 일정한 조성비(Cu-W)의 접점이 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 노즐과 아크 접점에 대해 국내 제작업체 각 2개사를 선정하여 성분비에 따른 강화테플론 노즐과 접점을 제작하여 간이합성시험설비를 이용, 대전류 내아크 특성시험을 실시한 결과를 제시한다.

1. 서 론

계통에 고장이 발생하였을 경우 고장전류를 차단하여 전력기기 및 계통을 보호하는 초고압급 가스차단기의 차단특성은 실린더 상승압력, 개극속도, 노즐형상 및 접점형상 외에 노즐 및 접점의 재질특성에 따라 크게 달라진다.

현재 배전급 가스차단기와 초고압급 가스차단기에 취부되어 사용되고 있는 노즐의 재질은 주로 사불화 에틸렌 수지(PTFE : Polytetra Fluoroethylene)이며 실험적으로도 SF₆가스 차단기의 노즐재료로서 최적의 특성을 보유한 것으로 밝혀졌다. 하지만, 전기에너지에 대한 수요가 급격히 증가하여 차단기가 차단해야 할 고장전류의 크기도 크게 증가하고 차단전류의 증가와 함께 노즐 용삭량도 증가하면서 순수 PTFE 차단기의 차단성능을 보장할 수 없는 상태에 이르렀다.

따라서, 이미 선진 외국에서는 PTFE의 내아크성을 보완하기 위해 충진재를 혼합한 강화테플론 노즐을 제작하여 사용해 왔으며, 1960년대 말부터 충진재의 종류, 입자크기, 충진비율뿐만 아니라 노즐에서의 용삭(ablation)이 일어나는 기본 메카니즘에 관한 연구도 활발히 진해해 오고 있다[1]. 국내의 경우는 충진재의 종류에 대한 연구는 물론, 강화테플론 노즐에 대해 연구된 바가 거의 없으며, 실제로 차단시험으로 아크를 발생시켜 노즐의 조성비에 따른 내아크성을 관측한 연구는 전무한 실정이다.

아크 접점의 경우는 국내의 제작기술의 부족과 기본적인 연구가 부진하여 차단기의 차단용량에 관

2. 본 론

2.1 대전류 아크에 의한 노즐 및 접점의 열화

강화테플론 노즐은 대전류 차단시에 발생하는 아크에 의한 내부열화 및 표면의 소모를 감소시키기 위한 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서 노즐은 가능한 한 아크에 의해 탄화(Carbonization) 되지 않아야 된다는 기본원칙을 만족해야 한다. 왜냐하면 탄소가 부착된 연면은 탄소가 없는 연면에 비해 내전압성능이 약 1/4로 저하되기 때문이다[1]. 또한 용삭이 일어나더라도 떨어져 나간 입자들의 크기가 승화 또는 기화될 정도로 충분히 작아야 한다. 그렇지 않을 경우, 차단기의 접촉부에 쌓혀 들어가기도 하고, 피스톤, 실린더 사이에 들어가서 동작불능이 생기게 한다. 또한 둉어리가 떨어져 나가면서 생긴 노즐표면의 요철은 가스, 공기 등의 소호매체의 흐름을 방해하고 차단기의 차단성능 및 내전압성능을 저하시키기 때문이다[2].

PTFE가 아크에 의해 손상을 입는 경로는 크게 두가지로 나누어 진다. 첫째는 아크에서 발생하는 오옴열(Ohm's heating)에 의한 것과, 두 번째는 방사에 의해 전달된 광에너지에 의한 것이다. 오옴열에 의한 경우는 PTFE가 승화만 일어나고 탄소는 발생하지 않는다. 광에너지인 경우 플라즈마의 파장에 따라 용삭이 일어나는 양상이 달라지게 된다. 즉, 파장 308nm의 빛을 PTFE에 조사할 경우, PTFE의 표면이 집중적으로 분해되지만 탄소는 발생하지 않으며, 10.6μm인 경우는 불꽃과 함께 검은 연기를 발생한다. 이것은 PTFE 표면이 열에너지를

흡수해서 고온으로 되고 열전달에 의한 열화가 발생한 것으로 해석되고 있다. 끝으로 1.06㎛처럼 매우 짧은 파장을 조사한 경우, 빛에너지는 PTFE내부까지 침투해서 시료내부에서 표면까지 손상을 발생시키며, 손상부에는 탄소가 발생하게 된다[1].

아크접점의 경우 차단기 동작시에 아크뿌리(arc root)가 거동하는 지점이 되고 따라서 아크발생시 매우 가혹한 열적 스트레스(thermal stress)가 아크접점에 가해진다. 이러한 열적 스트레스는 접점의 표면을 변형시키거나 침식(erosion)에 의해 접점재 질을 덩어리체 날려 버릴 수 있다. 또한, 접점을 용융시켜 접촉부위의 접촉저항을 증가시키거나 접점간에 융착을 일으켜 차단기의 차단동작이 불가능하게 되는 경우가 있다. 따라서 아크접점은 기본적으로 고유저항 및 접촉저항이 낮아야 되며 비점 및 융점이 높아야 되고 열전도도가 높고 고온에서의 경도변화가 없어야 되며 산화가 일어나지 않는 특성을 구비해야 한다.

2.2. 강화테플론 노즐 및 아크접점의 제작

2.2.1 강화테플론 노즐의 제작

충진재를 혼합하여 강화테플론 노즐을 제작하기 위해서는 몇가지 사항을 고려해야 한다.

이제까지 알려진 충진재는 BN, Al₂O₃, TiO₂, MoS₂ 등과 같은 것이 있다. 이러한 충진재의 종류는 순수PTFE에 첨가할 경우 내아크성이 향상된다 는 것이 실험적으로 밝혀진 것들이다. 반면에 황화아연, 불화아연, 탄화규소와 같은 것은 PTFE에 첨가할 경우 내아크성이 오히려 저하되는 현상이 발생한다[3]. 따라서, 우선적으로 충진재의 종류를 선정하는 문제가 제기된다.

두 번째로 특정한 무기물의 첨가량에는 특별한 제한이 없지만 너무 다량으로 첨가하면 PTFE의 성질을 손상하게 되고, 너무 적게 첨가하면 첨가의 효과가 없게 된다[3]. 따라서, 최적의 첨가량은 얼마인가?라는 문제점이 대두된다. 일반적으로 무기물의 첨가량은 조성물의 수지에 있어서 조성물의 광반사율이 60% 이상이 되도록 조정된다. 여기에서 광반사율을 측정은 수지의 융점의 온도에서 수지자체를 젤상태(투명 또는 반투명 상태)로 하여 수지 중에 분산된 전체의 광반사율을 측정한다고 알려져 있다[4]. 하지만, 측정방법, 측정조건, 측정장비의 구비가 용이하지 않아 국내의 실정으로는 현재까지 외국에서 연구된 결과들을 활용할 수밖에 없는 실정이다.

세 번째로 충진재를 첨가한 경우라도 성형조건(온도, 압력), 충진재의 품질(입도, 불순물) 등이 적절하지 않으면 반사율이 저하되고 아크광의 침입을 저지하는 능력이 떨어져서 내부열화가 발생하는 원인이 된다. 또한 충진재의 첨가량이 동일하더라도 성형조건이나 충진재의 품질에 의하여 반사율이 다를 수 있다[4]. 따라서 무기물의 혼합기술 및 제작

기술에 따라 노즐의 특성은 큰 차이가 난다는 것을 유념해야 한다.

이상의 사항들을 고려하여 본 연구에서는 BN과 Al₂O₃를 선정하여 적절히 혼합비를 조정 강화테플론 노즐을 제작하였다. 이러한 충진재를 선택한 이유는 BN의 경우 다른 무기충진재에 비하여 넓은 파장범위에서 광반사율이 높다는 것이 특징이고 그 결과 노즐이 아크를 흡수하지 않으므로 수명이 길다는 잇점이 있기 때문이다. 또한, Al₂O₃인 경우 당 연구팀에서 러시아의 VEI연구소와 공동으로 연구한 결과에서 우수한 연구결과를 얻었기 때문이다. MoS₂인 경우는 다른 연구과제에서 큰 효과를 보지 못했기 때문에 제외시켰다. TiO₂는 BN과 같이 내부 내아크성은 우수하지만, 표면열화를 의미하는 소모량(용삭량)이 너무 커서 SF₆ 가스차단기용 절연물로서는 부적합하다고 자료조사결과에서 얻어졌기 때문에 제외시켰다[4]. 왜냐하면, 소모량이 큰 노즐재료를 이용하면 노즐과 가동접점간의 간격이 크게 되므로 그만큼 소호능력이 저하되기 때문이다.

표 1은 본 연구에서 제작한 강화테플론 노즐을 나타내고 있다.

표 1. 충진재의 종류 및 노즐 시료

모델명	재질	제작업체
A1	8% BN	A사
A3	10% Al ₂ O ₃	
A5	2% BN+10% Al ₂ O ₃	
B1	8% BN	B사
B2	5% BN+5% Al ₂ O ₃	
B4	15% Al ₂ O ₃	

2.2.2 아크접점의 제작

아크접점은 국내 제작업체 C사와 D사를 선택하여 제작하였으며, C사에서 제작된 아크접점은 현재 국내에서 사용중인 170kV 50kA 파퍼형 가스차단기용 접점(Cu : W - 4 : 6)이며, D사에서는 기존의 아크접점(구리와 텉스텐의 비가 4:6)외에 구리와 텉스텐의 비가 2 : 8인 접점을 별도로 제작하였다.

표 2는 본 연구에서 제작된 아크접점을 정리하여 나타내고 있다.

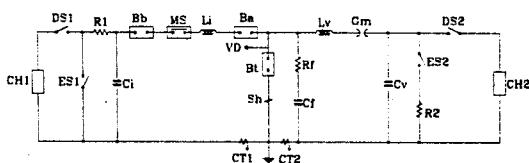
표 2. 아크접점의 종류.

모델명	아크접점	Cu-W비	제작사
가	D6DCA, D6FCA, D6MCA	4 : 6	D사
나	D6DCB, D6FCB, D6MCB	4 : 6	
다	D8DCA, D8FCA, D8MCA	2 : 8	
라	D8DCA, D8FCA, D8MCA	2 : 8	
마	DC7134, FC717, MCF2306	4 : 6	C사
바	DC7142, FC718, MCF2293	4 : 6	

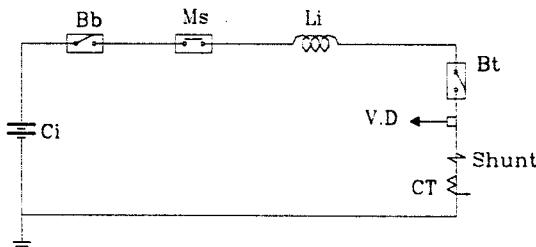
* 비고 : DC - 디스크형 접점, FC - 고정아크 접점, MC - 가동아크접점

2.3 내아크 특성시험

노즐 및 접점의 내아크특성시험은 당 연구팀이 설계·제작한 간이합성시험설비를 이용하여 수행되었다. 이러한 시험설비를 이용할 경우 단락발전기를 사용하는 것보다 취급이 쉽고, 경제성이 매우 크기 때문에 노즐 및 접점의 내아크 특성시험뿐만 아니라 차단기의 차단성능을 확인하는 데 커다란 장점을 가지고 있다[5]. 그림 1은 간이합성시험설비의 회로도를 나타낸다. 회로도의 좌측은 단락전류를 공급하는 전류원이며, 우측은 과도회복전압(TRV), 회복전압, 주입전류(injection current)를 공급하는 전압원회로를 나타낸다. 그리고 본 연구에서는 노즐과 접점의 내아크특성을 확인하는 것이므로 전류원회로만을 이용하였다. 또한, 내아크 특성시험은 현재 국내에서 사용되고 있는 170kV 50kA SF₆ 파퍼형 가스차단기에 강화테플론 노즐과 접점을 축부하여 수행되었다. 표 3은 본 연구에서 제작된 노즐과 접점시료들의 조합을 나타내고 있다.



(a) 간이합성시험설비 전체회로도.



(b) 내아크특성시험을 위한 전류원회로도.

그림 1. 간이합성시험설비 회로도.

표 3. 노즐과 접점의 시료조합

아크접점모델	노즐 모델명	평균아크시간	차단시험횟수
가	A3	18ms	5회
나	B4	18ms	5회
다	A1	12ms	5회
라	A5	18ms	6회
마	B1	18ms	5회
바	B2	18ms	5회

시험은 전류원을 약 9.3kV를 충전하여 피시폼 차단기에 약 56kA의 전류를 통전시키고 피시폼 차단기로 전류를 차단하였다. 만약 피시폼 차단기가 차단실패할 경우 3사이클 후에 보조차단기로 차단할 수 있도록 설정하였다. 이러한 시험을 한 시료당 5회실시하는 것을 기준으로 하였고, 그림 2는 시험

에 있어서 인가된 전류와 아크전압의 한 예를 나타낸다.

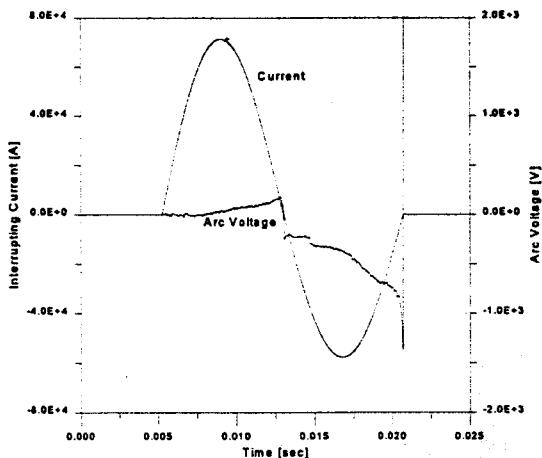


그림 2. 단락전류 및 아크전압 파형의 한 예.

2.4 시험결과

각각의 노즐에 대한 시험결과를 종합하여 그림 3에 나타내고 있다.

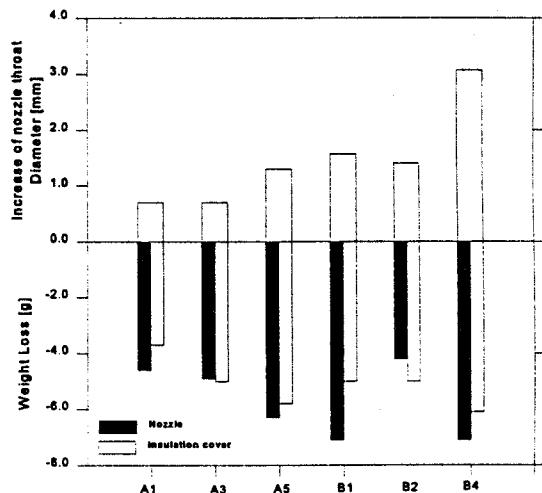


그림 3. 노즐 및 절연카바의 무게변화와 노즐목 직경의 변화.

위 그림에서 B4 시료(15% Al₂O₃)는 시료들 중에서 가장 많은 용식량과 가장 큰 노즐목 직경의 변화를 보이고 있다. 이 결과를 10% Al₂O₃가 혼합된 시료 A3와 비교해 볼 때, A3의 경우가 크게 호전된 것을 알 수 있다. 시험후의 두 시료에 대한 외관상의 비교를 나타낸 그림 4에서 알 수 있듯이 시료 B4의 노즐목상에는 탄화현상과 심한 용식이 일어났음을 알 수 있다. 이상의 결과에서 Al₂O₃를 충

진재로 사용할 경우 그 첨가량은 10%미만이어야 된다는 결론을 얻을 수 있다.

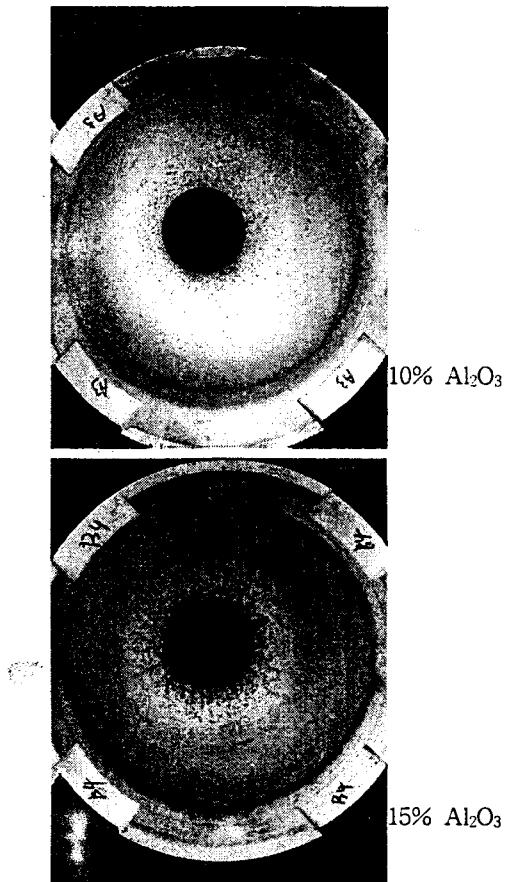


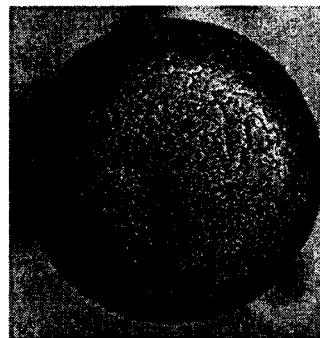
그림 4. A3와 B4노즐의 시험후의 외관.

동일한 성분과 함량(8% BN)으로 제작된 노즐 A1과 B1을 비교하면, A1이 가장 좋은 결과를 나타낸 반면에 B1은 매우 나쁜 결과를 보이고 있다. 이 두 시료에서의 차이점은 단지 제작회사가 틀리다는 것 뿐이다. 따라서, 제작공정 및 가공기술에 있어서의 기술적인 차이라고 해석할 수 있다.

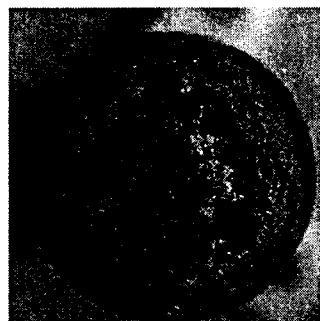
2종류 이상의 충진재가 혼합된 A5(2% BN+10% Al_2O_3)와 B2(5% BN+5% Al_2O_3)에서는 용삭량의 감소에는 다소 만족스러운 결과를 얻었지만 노즐목 직경의 변화에 있어서는 기대치에 미치지 못하는 결과를 얻었다. 다만, 시료 A5는 통전/단락을 6회 실시하였기 때문에 B2보다 용삭량이 증가한 것으로 판단된다.

접점의 경우는 제작회사를 막론하고 구리와 텅스텐의 비가 4 : 6인 접점은 열적스트레스에 의한 침식작용이 매우 심하게 발생한 것을 볼 수 있었다. 또한 차단시험 후 접점표면에서 접점성분들이 덩어리채 뜯겨져 나간 자리를 확인해 관측할 수 있었으며, 아크접점으로서의 제기능을 더 이상 기대할 수

없을 정도였다. 반면에, 구리와 텅스텐의 비가 2 : 8인 접점의 경우 침식되어 접점이 날아간 흔적을 거의 발견할 수 없었으며, 접점표면에서는 소위 “거북등”이라는 형태를 발견할 수 있었다. 또한, 차단시험을 6회실시한 “라”的 모델의 경우 구리와 텅스텐의 비가 4 : 6인 접점과는 비교할 수 없을 만큼 매우 양호한 결과를 얻었다.



모델명 “다”



모델명 “나”

그림 5. 내아크 시험후의 고정아크접점 표면상태

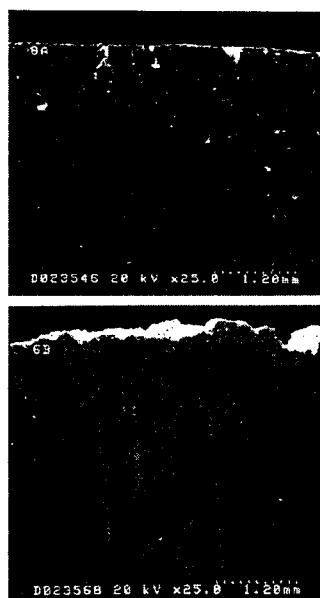


그림 6. 내아크 시험후의 고정아크접점 톱의 단면.

그림 5에는 차단시험 후의 구리와 텉스텐의 비가 각각 4 : 6, 2 : 8인 아크접점의 표면상태를 보여주고 있으며, 그림 6에는 아크접점 팁(tip)을 절단하여 광학현미경으로 관측한 사진을 보여주고 있다.

이상의 결과에서 현재 사용중인 아크접점의 성분비(Cu-W 4 : 6)를 조정(최소 3 : 7 또는 2 : 8)할 필요성이 있다고 판단된다.

3. 결 론

이상의 연구결과에서 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다.

- 1) Al_2O_3 무기물을 충진재로 사용할 경우 그 함유량은 전체의 10%를 초과해서는 안된다.
- 2) 동일한 성분과 함량으로 강화테플론을 제작하더라도 제작상의 기술이 뒤받침 해주지 않으면 기대하는 효과를 거둘 수 없다.
- 3) 2가지 이상의 충진재를 사용하는 경우는 1가지 충진재를 사용하는 경우보다 노즐목의 직경이 증가였지만, 용삭량의 감소에 있어서는 만족할 만한 특성을 얻었다.
- 4) 가장 우수한 특성을 나타낸 시료는 BN을 8% 혼합한 노즐에서 얻어졌으며, 이 결과는 참고문헌에서 얻어진 결과들과 일치하고 있다.
- 5) 현재 사용중에 있는 (구리와 텉스텐의 비가 4 : 6인) 초고압급 가스차단기의 아크접점은 그 성분비를 현재보다 텉스텐의 함량비를 크게 증가시킬 필요가 있다.

이상의 결과들은 국내의 노즐 및 접점 제작업체뿐만 아니라 차단기 제작업체에도 매우 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구결과는 생산기반기술과제의 수탁과제인 96IP31에서 얻어진 연구결과의 일부이며, 본 연구의 수행에 도움을 주신 효성중공업(주) 기술연구소 송원표 차장, 권기영 과장에게 감사드립니다.

(참 고 문 현)

- [1] 進 雅美 외, “大電流アーケによる絶縁物の耐電壓低下の機構とその抑制法の検討”, 平成8年電氣學會全國大會, 1501, pp. 6-380~6381, 1996.
- [2] 坂本貞一, “しゃ断器”, 日本国特許資料, 特許出願公告 昭53-28639, 1978.
- [3] 山本孝司, “耐アーケ性の大きな四弗化エチレン-エチレン系共重合体組成物”, 日本国特許資料, 特許出願公告 昭48-38216, 1973.
- [4] 山口元男, “SF₆ガスしゃ断器”, 日本国特許資料, 特許出願公告 平3-29229, 1991.
- [5] 신영준, 박경업, 송기동 외, “765kV급 GIS용 차단부 설계 및 제조기술 개발”, 한국전기연구소 보고서, Vol. 2, pp. 34 ~ 68, 1993.