

초고압 가스차단기용 노즐의 재질에 따른 내아크 특성

정진교, 송기동, 박경엽, 송대진  
한국전기연구원 신전력기기연구그룹, (주)티.에프.시

Arc-Withstanding Characteristics with respect to the nozzle material for EHV Class Gas Circuit Breakers

J.K. Chong, K.D. Song, K.Y. Park, D.J. Song  
Advanced Power Apparatus Group KERI, TFC Co.

**Abstract** - Recently, main nozzle and inner nozzle for EHV class gas circuit breakers were made by PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylen) for the basic material composite. But, nowadays strengthened PTFE was demanded because the supply of electric power increased. This paper shows the research results for nozzles according to the filler materials.

연구내용을 정리하였다.

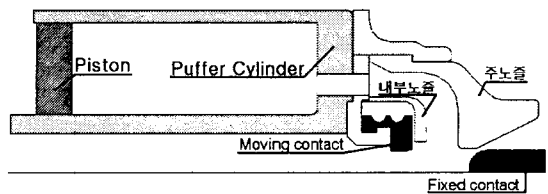


그림 1 파퍼식 가스차단부의 형상

1. 서 론

초고압 전력계통에서 발생하는 고장전류의 차단을 위해서는 SF<sub>6</sub> 가스를 접점사이의 아크에 분사시켜 고장전류를 차단하는 파퍼식 가스차단기가 주로 사용되고 있다. 이러한 가스차단기의 주요 부품으로는 그림 1에서 알 수 있듯이 피스톤, 파퍼실린더, 가동아크접점, 고정아크접점 그리고 주노즐 및 내부노즐 등이 있다. 이들 부품 중에서 SF<sub>6</sub> 가스의 흐름을 결정하는 주노즐 및 내부노즐은 고장전류에 의하여 발생하는 아크에 직접적으로 노출되므로 내아크성이 요구되며, 아크차단 후 아크접점 사이에 인가되는 과도회복전압을 견디기 위한 우수한 절연성능이 필요하다. 그리고 고속으로 동작하는 차단부의 충격을 견디기 위한 내충격성이 우수하여야 한다. 현재 전세계적으로 초고압 가스차단기용 노즐제작을 위해서는 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylen)수지가 기본재료로 사용되고 있다. 하지만 송·배전의 효율향상을 위하여 국내에서도 765kV 송전전압이 이용되고 있고, 고장전류의 용량도 63kA까지 대형화되어 계통이 건설되고 있다. 따라서 차단기에 설치되는 주노즐 및 내부노즐도 내아크성능이 더욱 우수한 강화PTFE의 사용이 요구되고 있는 실정이다.

2. 시편특성시험

먼저 강화노즐을 제작하기 위한 재질의 특성을 위하여 시편특성시험을 수행하였다. 시편제작을 위해서 열전도도, 내마모성, 광반사성 등을 고려하여 강화재를 선정하였으며, 최종적으로 선정된 강화재질 및 함유량을 정리하면 표1과 같다.

표 1 강화재질 및 함유량

강화재	함유량	비고
M-391	0%	Modified PTFE
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10%	
BN	10%	
BN	1%	
SiAl	-	

표 1에서 M-391은 강화재질의 특성값을 비교를 위하여 선정된 100% PTFE 재질을 나타내고 있으며 SiAl의 재질은 관련업체의 요구에 의하여 재질의 성분 및 함유량을 표기를 하지 않았다.

현재 국내에서 사용되고 있는 강화PTFE의 재료는 주로 Boron Nitride(BN)가 사용되고 있으나, BN Powder가 고가이고, 1~10%의 비교적 높은 함량이 이용되고 있다. 가격이 비싸다는 점뿐만 아니라 BN powder 제조국에서 수출기피 등은 국내 대용량 가스차단기의 개발에 방해요인으로 작용하고 있는 실정이다.

제작된 시편에 대해서 절연저항 및 내아크 특성시험을 수행하였으며 특성시험의 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

따라서 본 논문에서는 국내에서 사용하고 있는 강화노즐 제작을 위한 재료 중에서 성능이 가장 우수한 BN 10% 첨가된 PTFE에 상당하는 노즐을 개발하기 위한

2.1 절연저항 특성시험

절연저항은 체적저항율과 면적저항율의 측정으로 분류된다. 절연저항 측정은 직류전압 1000V를 인가하여 특성시험을 수행하였다. 시간 t=0 에서 전압을 인가하면 시

간에 따라 감소하는 전류가 있는데 이 감소하는 전류의 1성분은 전극계의 기하학적 치수를 충전하는 전류성분과 전자 및 원자분극에 기인하는 전류성분으로 거의 순간적으로 감소하며, 2성분은 전기분극(배향분극 계면분극)에 기인하는 전류성분으로 ( $I \propto t^{-n}$ )이다. 이와 같이 1성분과 2성분의 흡수전류 성분은 시간과 더불어 감소하므로 측정하고자 하는 누설전류 성분은 전압을 인가한 후로부터 1분 후의 값을 측정값으로 하였다.

선정된 강화재질의 특성시험 결과 즉, 체적저항  $R_v$  [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]와 표면저항  $R_s$  [ $\Omega$ ]를 정리하면 표 2와 같다.

표 2 절연저항 특성시험 결과

[단위 :  $10^6$ ]

시료명	항목	1	2	3	평균
M-391	Rv	46.852	49.826	19.797	38.825
	Rs	0.395	0.050	0.763	0.403
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%	Rv	7.233	8.838	8.480	8.184
	Rs	12.707	1.290	3.198	5.732
BN 10%	Rv	0.354	0.357	0.322	0.344
	Rs	4.387	1.557	0.560	2.168
BN 1%	Rv	76.79	2.072	9.294	29.385
	Rs	0.345	0.203	0.347	0.301
S1A1	Rv	1.931	2.098	2.436	2.155
	Rs	0.272	0.306	0.144	0.198

여기서  $R_v$ 는 체적저항을 나타내며 단위는 [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ],이고  $R_s$ 는 표면저항을 나타내며 단위는 [ $\Omega$ ]이다.

시험의 특성결과로부터 BN 10% 시험의 체적저항움이 가장 작은 값을 가지며, 면적저항움은 S1A1이 가장 작은 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

## 2.2 내아크 특성시험

고분자 절연물 표면이 아크(arc)에 노출되면 그 열에 의해 연소 및 탄화를 일으켜 열화되므로 절연성을 잃게 된다. 내아크성(arc resistance)은 아크에 의하여 전극간에 도전성 탄화물이 생겨 단락상태가 되어 아크가 소멸되기까지 걸리는 시간으로 평가한다. 여기서 대상으로 하는 고전압·소전류 아크에 대한 내성은 그 평가방법이 JEC-143[3], ASTM D 495[1]에 규정되어 있다.

고분자 절연물일 경우 전극의 재료는 텅스텐을 사용하며 전극의 직경은 2.4mm, 전극 사이의 거리는 6.3mm 이고 두 전극 사이에 직선으로 아크방전을 유지하기 위하여 30° 를 유지한다. 내아크 특성시험을 위한 전극의 배치는 그림 2과 같으며, 인가전압은 15kV이고 아크시간은 420 sec 로 설정하여 특성시험을 수행하였다.

내아크 특성시험 후 시료의 무게 변화량을 정리하면 표 3과 같다.

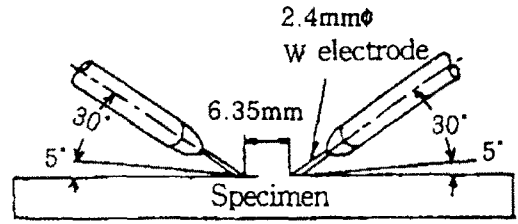


그림 2 내아크특성시험을 위한 전극형상

표 3 내아크 특성시험 결과

[단위 : g]

시료명	1	2	3	평균
M 391	0.14	0.13	0.17	0.147
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%	0.27	0.16	0.21	0.213
BN 10%	0.07	0.17	0.07	0.103
BN 1%	0.11	0.30	0.16	0.190
S1A1	0.08	0.05	0.08	0.070

특성시험의 결과로부터 시료명 S1A1의 질량변화량이 가장 작으므로 시료 중 가장 우수한 내아크 특성을 보유하고 있음을 알 수 있다.

## 3. 노즐의 내아크 특성시험

시험특성시험을 위하여 사용된 강화재질 및 함유량을 적용하여 170kV 50kA 가스차단기용 주노즐 및 내부노즐을 제작하였으며, 간이합성시험설비를 이용하여 주노즐 및 내부노즐에 대한 내아크 특성을 수행하였다. 간이합성시험설비는 시험전류를 공급하는 전류원회로와 시험전압을 공급하는 전압원회로로 크게 구분된다. 노즐의 내아크 특성시험은 아크에 대한 성능을 판단하기 위한 것으로 전류원회로만을 이용하여 시험을 수행하였다. 그림 3은 노즐의 내아크 특성시험을 수행하기 위한 시험설비를 보여주고 있다.

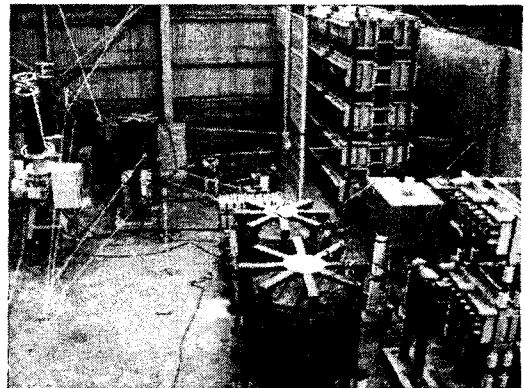


그림 3 간이합성시험설비 전경

노즐의 내아크 특성시험을 수행하는 동안 아크접점에 의한 영향을 동일하게 부여하기 위하여 가동아크접점과 고정아크접점은 시료노즐과 같이 하였으며, 본 시험을 위해선 사용된 아크접점은 텅스텐과 구리의 비율이 60%:40%인 접점을 이용하였다.

시료에 인가되는 시험전류는 50[kArms], 아크시간은 16[ms]로 설정하여 시험을 수행하였으며, 시험전류는 각각의 시료당 12회를 인가하였다. 그림 4는 시료명 S1A1의 12회 시험결과 중에서 1번째 시험결과를 보여주고 있다.

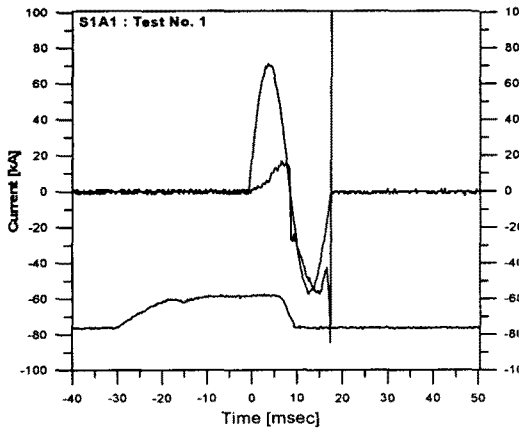


그림 4 특성시험결과

차단전류의 1차 최고값은 50.3[kArms] 2차 최고값은 40.4[kArms]이고 차단기의 양극간에 인가되는 아크전압의 최고값은 첫 번째 전류 0점 전에는 170[V]이고 두 번째 전류 0점 전에는 최고 840[V]까지 상승하고 있음을 알 수 있다.

모든 시료에 대한 특성시험 결과중에서 시료의 무게변화를 정리하면 표4와 같다.

표 4 내아크 특성시험에 따른 노즐의 무게변화

시료명	시험 전[g]		시험 후[g]		변화량[g]	
	주노즐	내부노즐	주노즐	내부노즐	주노즐	내부노즐
M-391	1533.1	152.3	1511.5	143.9	21.6	8.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10%	1621.6	164.6	1602.5	156.7	19.1	7.9
BN 10%	1558.4	156.7	1540.5	148.4	17.9	8.3
BN 1%	1550.1	155.2	1528.5	147.0	21.6	8.2
S1A1 -	1566.6	159.0	1544.5	148.2	21.7	10.8

측정결과로부터 주노즐의 경우 시료명 BN 10%가 가장 양호한 특성을 보이고 있으며, 내부노즐의 경우 시료명 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10%가 가장 양호한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 용삭량이 많으면 차단성능을 보장하는 차단횟수가 작아지고 용삭량이 작으면 차단성능을 보장하

는 차단횟수도 많아진다고 할 수 있다. 하지만 노즐은 정격차단전류를 10회 정도 차단하면 교체되는 부품으로 차단 횟수를 적절하게 설정할 경우, 용삭되는 입자의 크기가 대단히 작다면 용삭량을 어느 정도 증가시킬 필요가 있다. 왜냐하면, 아크에 의하여 노즐에서 유출되는 절연물의 열가스는 차단기 파퍼실의 압력상승을 증가시킬 뿐만 아니라 아크자체의 저항을 증가시켜 차단성능을 증가시키는 효과가 있기 때문이다.

노즐이 아크에 노출되면 노즐표면에 탄화혼적이 남게 되는데 이는 노즐의 절연성능을 저하시키는데 결정적인 작용을 한다. 따라서 내아크 특성시험 후, 시료의 무게변화도 중요하지만 노즐표면의 상태를 검증하는 것이 더욱 중요하다. 특성시험 후, 시료 노즐의 표면 상태를 그림 5부터 그림 9에 나타내었다.

시료의 표면을 살펴보면 시료명 BN 10%의 노즐과 시료명 S1A1의 노즐이 양호한 표면상태를 보이고 있음을 알 수 있다. 하지만 시료명 BN 10% 노즐의 경우 노즐목에서 약간의 탄화혼적이 보이고 있지만 시료명 S1A1의 경우에는 탄화혼적이 전혀 없음을 볼 수 있다.

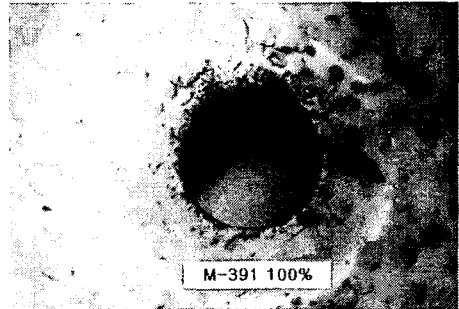


그림 5 시료명 M-391의 주노즐 표면

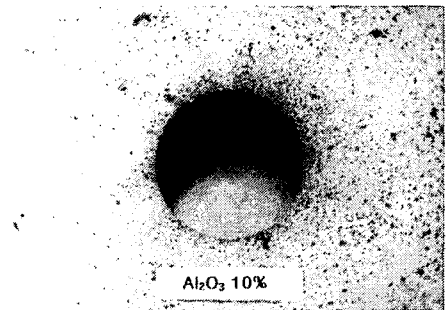


그림 6 시료명 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10% 주노즐 표면

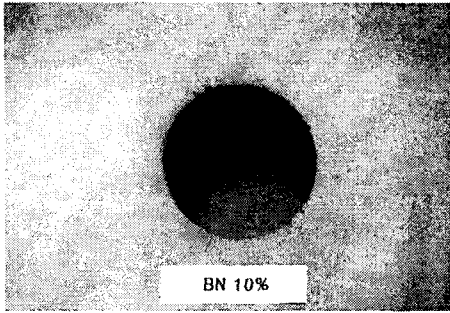


그림 7 시료명 BN 10% 주노즐 표면

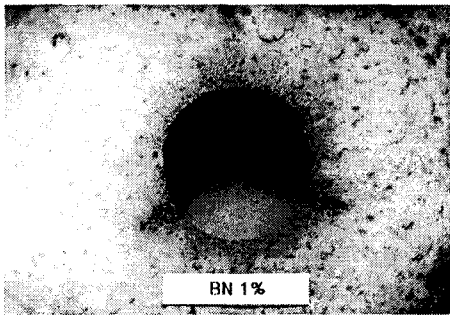


그림 8 시료명 BN 1% 주노즐 표면

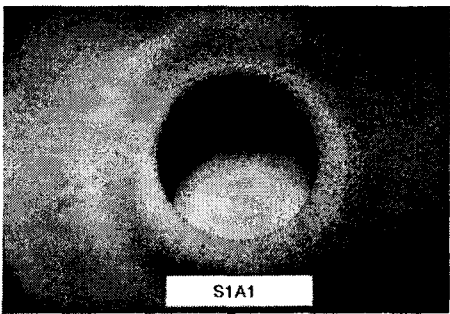


그림 9 시료명 S1A1 주노즐 표면

상태가 차단성능에 결정적인 영향을 주는 것으로 판단되는데 시료명 S1A1의 노즐이 가장 양호한 표면상태를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 시료명 S1A1은 현재 사용 중인 BN 10% 강화 PTFE노즐보다 더욱 양호한 내아크 특성을 보유하고 있는 것으로 판단할 수 있다.

본 연구는 중소기업 기술혁신개발사업 “초고압 GIS 노즐용 신소재 개발”과제로 수행한 연구결과입니다.

### 3. 결 론

본 연구는 현재 가장 성능이 우수한 것으로 알려져 있는 BN 10% 강화 PTFE와 동등이상의 성능을 확보할 수 있는 노즐을 개발하는 것이다.

특성시험 후, 노즐의 용삭량을 비교하여 보면 시료명 S1A1의 경우가 주노즐과 내부노즐에서 각각 약 3.3g, 2.1g씩, 시료명 BN 10%보다 용삭량이 많이 발생했음을 알 수 있다. 하지만 아크에 의하여 노즐에서 유출되는 절연물의 열가스는 차단기 파퍼실의 압력상승을 증가시킬뿐만 아니라 아크자체의 저항을 증가시켜 차단성능을 증가시키는 효과가 있기 때문에 큰 문제가 되지 않음을 알 수 있다. 노즐의 용삭량보다는 오히려 시료의 표면의