

# 170kV GIS ARC 소호방식 특성 비교 및 고장사례 연구

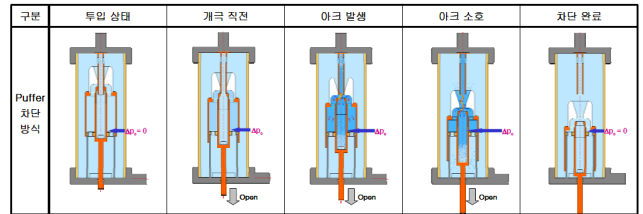
전상동, 김도원, 이봉희  
KEPCO

## The comparison of various arc quenching characteristics and studying failure cases in 170kV GIS

Sang-Dong Jeon, Do-Won Kim, Bong-hee Lee  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - 기존에 사용되고 있는 초고압 가스차단기(GCB : gas circuit breaker)는 대부분 피퍼형(puffer type) 소호방식의 가스 차단기를 사용하였다. 피퍼형 소호방식은 차단동작에 있어서 대단히 큰 조작력이 요구되고 소호부 size가 큰 단점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 아크 자체의 에너지를 아크 소호에 필요한 압력상승을 일으키는 데 이용하는 자력소호방식(self-extinguishing type)에 작은 체적의 피퍼 실린더를 병용하는 복합소호방식(hybrid extinguishing type) 차단부가 개발되어 사용이 확대되고 있다. 본 논문에서는 차단기의 소호방식별 특성을 비교 분석하고 최근 사용이 확대되고 있는 복합소호방식 차단기의 고장사례 분석을 통해 개선대책을 제시하였다.

동작시 소음이 크고, 소호부 size가 크다는 것이다. 또한 조작에너지가 크므로 기계적 강도에 대한 고려가 필요하다.



〈그림 1〉 Puffer 차단방식

### 1. 서 론

현재 사용하고 있는 피퍼형 소호방식은 차단동작에 있어서 대단히 큰 조작력이 요구된다. 따라서 큰 조작력을 내기 위해서는 유압(hydraulic mechanism) 또는 공압(pneumatic mechanism)방식의 조작기를 사용하고 있다. 그러나 유지보수, 환경문제, 소음, 경제성 등의 이유로 유압 또는 공압 방식의 조작기는 점차 배척되고 있으며, 일부 선진국에서는 토양오염을 근거로 유압 조작기를 사용하는 차단기에 대해서는 수입을 금지하고 있다. 이에 대응하기 위해 현재 전동스프링 또는 모터 구동(motor drive)형 조작기의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 전동스프링 또는 모터 구동형 조작기가 유지보수, 환경문제, 소음 등에 있어서 장점을 가지고 있지만 메커니즘 특성상 기존의 유압 또는 공압 방식의 조작기에 비해 조작력이 훨씬 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 큰 조작력 또는 빠른 개극속도(opening speed)를 요구하는 순수 피퍼형 소호방식에 전동스프링 또는 모터 구동형 조작기를 적용하는 것이 대단히 어려운 일이 되었다. 이러한 문제를 극복하기 위해 아크 자체의 에너지를 아크 소호에 필요한 압력상승을 일으키는 데 이용함으로써 조작력의 부담을 덜어주는 자력소호방식이 초고압 가스차단기에 채용되었다. 하지만 순수 자력소호방식은 전류크기가 작은 경우 즉, 소전류 차단 성능에 단점을 가지게 되었다. 이를 보강하기 위해 작은 체적의 피퍼 실린더를 병용하여 소전류 차단은 피퍼 실린더가 담당하고 대전류 차단은 열팽창실이 담당하는 일명 “복합소호방식” 차단부가 고안되었다.[1]

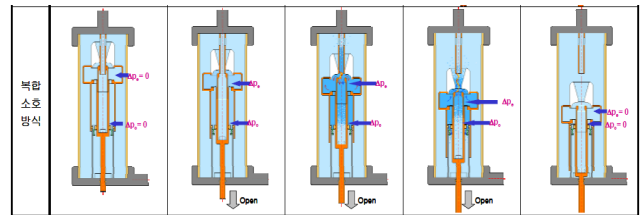
### 2.1.2 복합소호 차단 방식

차단원리는 소전류 차단시에는 압축실에 압축된 가스가 팽창실로 분출되어 노즐을 경유하여 아크 접점간에 발생한 아크를 소호하는 방식으로 puffer 차단 방식과 유사하지만 대전류 차단시에는 아크접점간에 발생한 아크에 의하여 열팽창실의 압력이 압축실 보다 높게 되어 팽창실 plate가 닫히고 열팽창실에서 아크에 의해 상승된 압력으로 차단하게 된다. 또한 이때 압축실에는 차단에 필요한 압력 이상이 되면 release valve가 열려 압축실의 압력을 배기하여 puffer 지지대에 반발력이 크게 작용하지 않으므로 큰 조작력이 불필요하다. 따라서 차단속도를 항상 일정하게 유지할 수 있다. 복합소호 차단 방식의 장점으로는 소모 조작에너지가 작고 동작시 소음과 소호부 size가 작다는 것이다. 또한 조작에너지가 적으므로 기계적 내구성이 우수하다. 단, 부품수가 puffer 방식보다 약간 많다는 것이 단점이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 차단기 소호방식 비교

압축분사 소호방식인 puffer type은 가스차단기 소호방식중 하나로 평상시 5~6kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 가스압력으로 절연을 유지하다가 소호시 puffer cylinder와 puffer piston에 의하여 30kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 가스압력을 상승시켜 소호를 하는 방식으로 압축분사후 가스유동 경로에 따라 단일유동과 퍼식, 이중유동 퍼퍼식, 역유동(back flow) 퍼퍼식으로 나뉜다. 복합소호 방식에는 크게 2가지로 나누며 먼저 복합(열팽창+로타리아크)소호방식은 전류 차단시 아크에 의한 열팽창과 전자석에 의한 자력발생으로 아크를 회전 구동시켜 아크를 냉각, 전류를 차단시키는 방식이고 복합(열팽창+피퍼)소호방식은 기존의 피퍼형 소호방식에 열팽창가스를 축압시켜 높은 가스압력으로 아크에 분사시켜 아크를 냉각시키고 전류를 차단하는 방식이다.



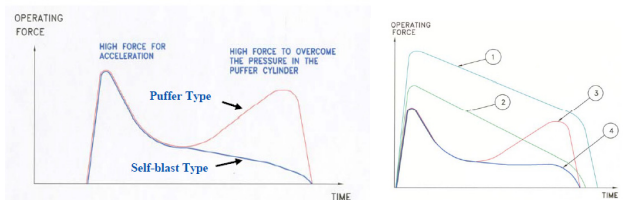
〈그림 2〉 복합소호 차단방식

#### 2.1.1 Puffer 차단 방식

차단원리는 차단지령에 의하여 실린더 로드가 아래로 이동하게 되면 압축실에는 압축가스가 발생하게 되고 차단시 아크접점간에 발생하는 아크를 압축가스가 노즐을 통하여 분출되어 아크를 소호하는 방식으로 대전류 차단시 아크에 의해 상승된 압력이 puffer 지지대에 반발력으로 작용하게 되어 큰 조작력을 필요로 한다. 따라서 대전류 차단시는 차단 속도가 떨어지는 경향이 있다. puffer 차단 방식의 장점은 상대적으로 부품수가 적다는 것이고 단점은 대용량 조작장치가 필요하며

### 2.2 차단기 동작특성 비교

기존 puffer type은 차단초기 기동 동작에 따른 기동에너지가 필요하고 차단 후반에는 압축실린더의 가스 압축에 따른 동작에너지가 필요하다. self-blast type은 차단초기 기동 동작에 따른 기동에너지가 필요하고 차단 후반에는 차단시 발생하는 arc 에너지를 이용하여 적은 구동에너지로 차단된다. 복합소호방식 차단기는 위의 2가지를 조합한 puffer + self-blast type 조합으로 최적의 구동에너지 동작으로 인한 차단기를 구현하였다.



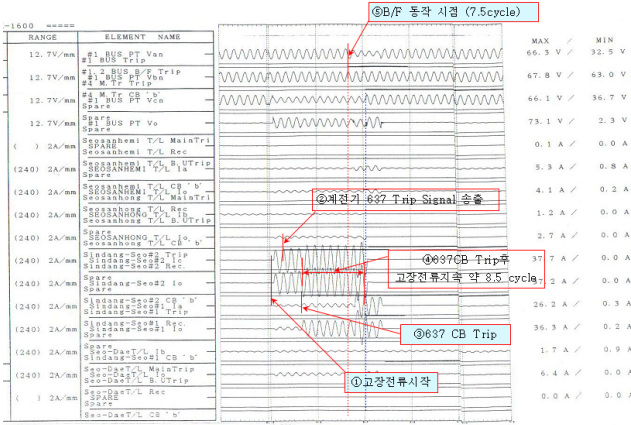
〈그림 3〉 복합소호 차단기 동작특성

### 2.3 복합소호차단기 고장사례

2010년 9월 2일 서산변전소의 154kV 신당진-서산 #2 송전선로 차단기 Trip후 Gas 절연회복 성능이 저하되어 아크 소호시간이 길어져 과도 회복전압 지연으로 고장전류가 8.5Hz 지속됨으로 break fail 동작되어 #2 모선이 정전되는 고장이 발생하였다.

〈표 1〉 고장차단기 내역

설비명	규격	제작사	제작일자
GIS(#2BUS)	170kV 3000A	OO산전	'09.06



〈그림 4〉 모선 B/F 고장시 FR 파형



〈그림 5〉 고장차단기 사진

#### 2.3.1 고장원인 분석

복합소호방식을 적용한 차단기는 외경 축소로 Gas량이 1/2로 축소되어 제작되었고 puffer 방식보다 아크에 대한 냉각 효과가 떨어지기 때문에 차단용량이 증가할 때마다 절연회복 성능 저하가 우려된다. 금번 고장 차단기는 동작중 제작사에서 제시한 3분 이상 절연회복 시간이 4회 있었으며 동일한 조건의 신당진 변전소 차단기와 타 변전소 고장사례에서 더 가혹한 운전조건에서도 차단기 내부가 이상없던 사실과 비교할 때 금번 고장 차단기는 절연회복성능이 저하되었다고 볼 수 있다.

〈표 2〉 puffer type 차단기와 비교

구분	puffer type	복합소호 type
CB Tank 외경	Φ1,224mm	Φ812.8mm
정격 Gas 압력	6 kgf/cm <sup>2</sup> .G	7 kgf/cm <sup>2</sup> .G
SF6 Gas량	159.2kg	88kg
적용시점	2004.11	2007.09

〈표 3〉 연속 고장전류 동작사례

선로명	년월	동작 횟수	제작사	CB 동작	결과	소호 방식
태인S/S 태인-서산	'10.09	6회	LS산전	19분	차단	Puffer
서산S/S 신당진-서산	'10.09	6회	효성	19분	실패	복합소호
음성S/S 음성-금양	'09.12	8회	효성	23분	차단	Puffer
금영S/S 음성-금양	'09.12	8회	현대	23분	차단	Puffer

154kV 신당진-서산 #2T/L의 CB 동작은 O - 0.3s - C - 3m48s - O - 0.3s - C - 27s - O - 2m53s - C - 3m17s - O - 1m40s - C - 3m50s - O - 0.3s - C - 2m3s - O 이고 이에 비해 더 가혹한 고장인 154kV 음성-금양 #1T/L의 CB 동작은 O - 0.3s - C - 1m38s - O - 0.3s - C - 7s - O - 41s - C - 1m26s - O - 1m31s - C - 46s - O - 2m15s - C - 42s - O 이다. 더 가혹한 고장에서도 차단이 성공한 것에 비해 복합소호장치를 적용한 신당진-서산 #2T/L의 CB는 차단 실패하였다. 그 원인은 Trip후 고장전류를 차단할 때 Gas 절연 성능이 저하되어 아크 소호시간이 길어져 차단기 극간에 나타나는 과도 회복전압(TRV)의 지연으로 고장전류가 지속(8.5Hz)된 것이 고장원인으로 분석되었다.

〈표 4〉 사고시 고장전류 크기

선로명	동작 시간	고장전류(A)			비고
		서산	신당진	음성	
서산S/S	04:59	5,400	7,920	-	-
신당진-서산	05:02	9,048	7,848	-	고장 지속
음성S/S	10:52	-	-	5,784	특이
음성-금양	10:52	-	-	8,040	사항 없음

#### 2.3.2 향후대책

문제점은 한전표준규격 교류차단기의 단락시험 검증 조건이 미흡하다는 것이다. 현재 CB 표준동작책무 시험은 제품 개발시 차단기 단락시험은 1회만 시행(제작사→한국전기연구원)하고 있고 한전 표준규격의 교류차단기 3.6.2 단락시험 정격과도회복전압 표준치는 아래 〈표 5〉와 같다. 단시간 연속 고장전류 차단시 표준동작책무 이내의 SF6 Gas 절연 성능 회복에 대한 규정이 없으며 단시간에 연속적인 선로고장으로 차단기 내부 소호능력 저하되어 154kV 신당진-서산 #2T/L은 6회째 고장 차단시 SF6 Gas 절연 성능 회복 부족으로 고장전류가 지속되었다. 향후 대책으로는 한전표준규격 교류차단기(ES-5925-001)의 단락시험에서 연속시험 횟수 규정을 개정하고 단락시험의 정격과도회복전압시험에서 동작책무 연속시험을 현재 1회 → 2~3회 추가할 예정이다.

〈표 5〉 단락시험 정격과도회복전압 표준치

정격 전압 U(kV)	시험부	First-pole-to-clear factor k <sub>cc</sub> (pu)	Amplitude factor k <sub>at</sub> (pu)	초기 파고치 U <sub>1</sub> (kV)	초기 파고 시간 t <sub>1</sub> (μs)	파고치 U <sub>c</sub> (kV)	파고 시간 t <sub>2</sub> OR t <sub>3</sub> (μs)	지연 시간 t <sub>d</sub> (μs)	지연 전압 U(kV)	지연 전 시간 좌표치 t(μs)	상승률 U <sub>1</sub> /t <sub>1</sub> U <sub>c</sub> /t <sub>3</sub> (kV/μs)
170	T100	1.3	1.4	135	68	253	272	2(19)	68	36(53)	2
	T60	1.3	1.5	135	45	271	270	2-14	68	25-36	3
	T30	1.3	1.54	-	-	278	56	8	93	27	5
	T10	1.5	0.9×1.7	-	-	319	46	7	106	22	7

### 3. 결론

본 논문에서는 puffer type 차단기와 복합소호방식을 적용한 차단기의 특성을 비교하였고 차단원리에 대해 살펴보았다. 또한 사용이 확대되고 있는 복합소호방식의 최근 고장사례를 분석하여 문제점과 향후대책에 대해 제시하였다. 전력계통의 안정을 위해서는 기존의 표준 동작책무(O - 0.3S - CO - 3분 - CO) 이상의 차단기를 설계, 시험하여야 하며 향후 단시간 다중되에 의한 고장조건도 차단기 설계시 반영되어야 하겠다.

#### [참고 문헌]

- [1] 송기동, 직렬-복합소호형 모델 가스차단기의 차단성능평가, 2004.9
- [2] 송기동, 고속도 개극 시의 복합소호 가스차단기의 차단특성, 2005.9
- [3] IEC 62271-100, High Voltage Alternating Current Circuit Breakers
- [4] Ruben D Garzon, High Voltage Circuit Breakers Design and Applications, Marcel Dekker, Inc, pp217-227, 2002
- [5] Kunio Nakanishi, Switching Phenomena in High Voltage Circuit Breakers, Marcel Dekker, Inc, 1991
- [6] 최중용, 복합소호식 차단기 개발 126kV ~ 252kV, LS산전, 2009.10
- [7] 김영성, 복합소호형 245kV 차단기 개발, 현대중공업(주), 2008.10
- [8] KEPCO, 송변전기술용어 해설집, 2001.2
- [9] KEPCO, 서산변전소 154kV #2BUS 정전 원인분석 및 대책, 2010.9