

초고압 SF₆ 가스 절연기기(1) (GCB, GIS)

글/김 상 진 · 현 종 수(효성중공업 주식회사)

목 차

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. 서론 | 7. 가스차단기의 열화현상 |
| 2. 차단기의 용도 | 8. SF ₆ 가스 절연기기(GCB, GIS)의 현지 작업기준 |
| 3. 차단기의 종류 | 9. SF ₆ 가스 절연기기(GCB, GIS)의 보수점검기준 |
| 4. SF ₆ 가스의 성질 | 10. 신뢰성 향상 및 향후 진단기술 |
| 5. 차단기의 성능 | 11. 맺음말 |
| 6. 시 험 | |

1. 서론

최근 전력수요의 급증에 따라 보다 양질의 전력공급, 도심지 용지 가격상승 및 도심형 변전소 증가로 전력기기의 소형화, 고신뢰성 및 경량화가 요구되고 있으며 이에 대해 각 제조회사마다 각사의 제품 특성에 맞게 제품을 제작, 생산중에 있다. 국내에서는 SF₆ 가스 교류차단기(이하 차단기)가 국내 제조회사에서 직접 제작하여 한국전력공사에 최초로 납품한 것이 '70년대 말경이며 약 15년이 경과된 지금 한전 및 민수시장에도 많은 국내 차단기가 보급되어 국내 중전기산업 및 전력보호계통에 일익을 담당하고 있다. 따라서 점차적으로 증가추세인 가스 절연기기(GCB, GIS)의 신뢰성 및 현지 보수, 점검에 대한 운전자들의 교육이 절대적으로 필요하다고 생각된다.

가스 절연기기란 절연 및 소호성이 우수한 SF₆ 가스를 압력용기내에서 사용하기 때문에 대부분이 외기의 영향을 받지 않는다.

또한, 제조회사에서 충분한 성능검증을 한후 조립상태로 운송되어 현지 설치하는 것이 주이므로 신뢰성이 높고 무보수, 무점검을 지향하는 기기라고 할 수 있다.

2. 차단기의 용도

차단기(Circuit Breaker)는 규격상으로 「정상상태 및 이상, 단락상태의 전로(電路)를 개폐할 수 있는 장치」라 명시되어 있다.

즉 전력계통에서 발생하는 지락, 단락 개소를 신속히 계통으로부터 분리시켜, 직렬로 접속되어 있는

기기의 대전류에 의한 파괴나 사고를 일으킨 기기의 ARC에 의한 손상을 방지하기 위해 사용되며 일반적으로 기계적 접점을 가지고 있어 계통사고시 이 접점을 개리시켜 발생한 ARC를 전류 0점에서 소호 차단한다. 이러한 차단기는 기본적으로 다음과 같은 사항을 만족하여야 한다.

- 1) 폐로시에는 양질의 도체이며 상시부하전류는 물론 단락전류에 대해서도 열적, 기계적으로 견딜 것
- 2) 개로시에는 양호한 절연성을 가지며, 청정, 오손상태에서도 대기 및 동상단자간의 전압에 견딜 것
- 3) 폐로상태 임의의 시점에 있어서 정격차단전류 이하의 전류에서 이상전압을 발생시키지 않고 가능한 한 단시간내에 차단할 것
- 4) 개로상태의 임의의 시점에서 단락상태에 있는 회로를 접촉자의 용착 등을 수반하지 않고 단시간에 안전하게 투입 가능할 것

3. 차단기의 종류

3-1. 소호매체 및 소호방법에 따른 분류

차단기에는 구조나 동작원리에 따라 많은 종류가 있지만 사용하는 소호매체 및 소호 방법에 따라 분류하면

- 1) 유(油)입 차단기(OCB) : 절연유를 소호매체로 하는 것으로 탱크형과 소유량형으로 구분할 수 있다.
- 2) 공기차단기(ABB) : 압축공기를 소호매체로 하는 것
- 3) 가스차단기(GCB) : SF₆가스를 소호매체로 하는 것
- 4) 자기(磁氣)차단기(MBB) : 대기중에서 전자력으로 소호실내 ARC를 구동하는 것
- 5) 진공차단기(VCB) : 높은 진공중에서 소호를 하는 것

3-2 각 차단기의 특징

1) 유입차단기 : 차단기중 가장 오랜 역사를 가지고 있으며, 차단부가 절연유를 채운 철재탱크 속에 설치되어 있다.

그러나 유입차단기는 절연물과 소호매체를 동시에 절연유로 사용하기 때문에 고전압에 사용하는 경우 소호(消弧)에 불필요한 다량의 절연유를 채워야하므로 중량, 보수적인 측면에서 불리하다.

2) 공기차단기 : 공기차단기는 압축공기를 소호매체로 하며 소호특성은 압축공기의 압력 및 청정도에 따라 좌우된다.

보통 압축공기는 약 7kg/cm²에서 절연유와 동등한 절연내력을 가지며 실사용시에는 15~50kg/cm²로 사용하고 있다.

이 차단기의 장점은 소호매체인 공기가 절연 및 소호에 우수할 뿐만 아니라 대기중에서 공기압축기를 이용 무한정 얻을 수 있으며 차단기 조작부의 동력원으로 사용가능한 장점이 있으나 압축공기가 대기중으로 빠른 속도로 배기될 시 소음이 크다. 이 보완책으로 소음장치를 설치하면 소음을 줄일 수 있다.

3) 가스차단기 : 현재 차단기의 주종을 이루고 있으며 SF₆ Gas라는 공기보다 소호성능이 약 100배정도 양호한 소호매체를 사용하는 차단기로서 애자형과 탱크형이 있으며, 내진성, 보수성 및 신뢰성이 우수할 뿐만 아니라 CT를 BCT로 하여 기기에 내장 가능하고, 차단부의 구조가 퍼프(Puffer) Type으로 간단하다.

4) 자기차단기 : 자기차단기는 기름 등을 사용하지 않기 때문에 보수가 용이하여 주로 3.6~12KV 폐쇄배전반에 장착 사용되고 있다.

5) 진공차단기 : 높은 진공상태를 매체로 사용하는 차단기로서 소형, 경량, 저소음, 보수점검의 용이 및 수명이 길다는 장점이 있어 자기차단기 대용으로 폐쇄배전반에 대부분 사용하고 있다.

4. SF₆가스의 성질

SF₆가스의 소호력은 공기의 약 100배이며, 저확산성 아크플라즈마 재료로서 가장 우수한 성질을 가지고 있다.

또한 화학적으로 대단히 안정된 화합물로서 보통 상태에서는 불활성(不活性), 불연(不燃), 무취, 무독의 기체로서, 대기압에서 -62℃, 12기압 0℃에서 액화된다.

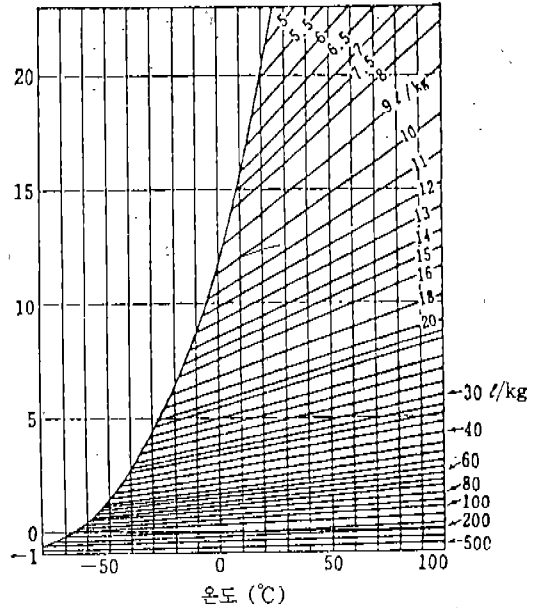
주요 물리적 성질로서는 <표 1>과 같다.

<표 1> SF₆ 주요 물리적 성질

분자식	SF ₆	공기 (참고치)
분자량	146.07	28.8
용융점(℃)	-50.7	
승화점(℃)	-36.8	
임계온도(℃)	45.547±0.003	
임계압력(kg/cm ²)	38.35	
임계밀도(g/cm ³)	0.73	
유전률(1기압 25℃)	1.002	1.0005
밀도(20℃ g/l)		
0 kg/cm ² G	6.25	1.166
1 "	12.3	
5 "	38.2	
10 "	75.6	
15 "	119	
열전도도(cal / s. cm. °C at 30℃)	3.36×10 ⁻⁵	5.12×10 ⁻⁵
비열비	1.07	1.4
정압비열(cal / g. ma l 1기압 at 25℃)	23.22	6.85
기름에 대한 가용성	0.297	1cc기름
물에 대한 가용성	0.001	1cc물
SF ₆ 에 대한 물의 가용성	0.035±0.01	중량%, at 30℃

<표1>에서 보듯이 비중은 공기의 약 5배, 단위 mole당 정적비열은 공기의 약 3.5배로 대단히 무거운 가스로서 절연내력은 평등전계에서 공기의 2~3배, 약 3kg/cm²·G에서는 절연유이상이 된다.

또한 SF₆가스는 액화성가스로서 사용시 압력온도 특성을 고려해야만 한다. <그림 1>에 SF₆가스의 압력과 온도관계를 표시하였다.



<그림 1> SF₆가스 압력-온도 특성

5. 차단기의 성능

전류차단에 이용되는 아크플라즈마의 재료로서 최적의 특성을 가진 SF₆가스를 사용하는 가스차단기는 일반적으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째 : 단락차단성능에서 보면 대단히 높은 재기전압상승률(2KV/μs)에서도 차단능력이 우수하며, 통상 재기전압 억제를 위한 병렬저항 등이 필요없으므로 높은 회복전압에 대한 특성도 우수하다. 그래서 적은 차단점수로서 고전압, 대용량 차단성능이 우수하며, 근거리선로고장(SLF), 탈조차단, 이상(二相)지락 등의 특수 가혹한 차단조건에 대해서도 충분한 성능을 가진다.

둘째 : 개폐서지(surge)

가스차단기는 극간 절연내력의 회복과 내전압특성이 우수하기 때문에 충전전류 차단에 대해서는 무재점호의 여유가 많다. 한편, SF₆가스 고유특성으로서 차단전류 level이 현저히 낮기 때문에 소전류 차단이 용이하며, 변압기 여자전류 등 소전류 차단에 의한

이상전압이 대개 발생치 않는다. 이와같이 개폐서지가 낮은 것은 SF₆가스를 사용시 소호방식에는 관계 없으므로 개폐서지 억제를 위한 저항체 등을 필요로 하지않아 차단기 구조가 간단하다.

셋째 : 절연협조

전류차단후 절연내력 회복특성의 우수함으로 문제가 되고 있는 차단개극 극간의 절연, 특히 다빈뇌에 의한 차단직후의 뇌격에 대한 극간절연의 신뢰성이 높다.

넷째 : 전류용량

분자량이 큰 SF₆가스는 열전달계수가 대단히 커 SF₆가스중의 접촉자나 도체에 대한 냉각효과가 뛰어나므로 허용하는 온도상승 한도내에 있어서의 대전류 통전이 가능하다. 더불어 SF₆가스는 산소를 포함하지 않는 안정된 가스로서 공기중이나 기름중에 사용되는 접촉자와 같이 고온에 의한 산화 등이 발생되지 않으므로 재래의 차단기보다 높은 온도상승도 허용하며, 통전능력에 여유가 있는 대전류 정격차단기 설계가 용이하다.

다섯째 : 저소음

가스차단기의 성능적 특징은 우수한 소호능력, 가느다란 아크, 낮은 아크-에너지, 분해가스의 뛰어난 재결합 특성 때문에 대전류 차단을 밀폐봉입한 가스중에서 가능하다. 그 결과 차단기 내부구조물의 분위기 오손이 없는 등, 여러가지 특징이 있지만 특히, 차단시 또는 조작시 배기소음이 없는 것이 큰 장점이다.

여섯째 : 접촉자의 소모

SF₆가스 아크에 의한 접촉자 소모가 대단히 적은 것도 SF₆가스차단기 특징중의 하나이며, 혹 대단히 낮은 아크-에너지 및 극히 낮은 전압강하에 의한 것도 있지만, 다회수 아크발생과 더불어 대전류 아크발생에 의한 접촉자나 접촉자 노즐(Nozzle) 소모가 대단히 적다. 이것은 접촉자의 점침이나 교체가 필요한 보수상의 문제점을 해결하는 것을 의미하며, 특히 가스차단기와 같은 밀폐형 구조에 있어서는 대단히 큰 장점이다.

6. 시험

차단기는 규격에 정해진 시험으로 최초 피시험품을 통해 설계 및 성능검증을 확인한다. 차단기의 사명은 전력계통 이상사태를 해소하는 보호기기라는 측면에서 예상되지 않는 조건이 계통의 구성, 운용방식 변환에 따라 발생하는 것과 상시 동작하지 않는 점을 고려, 신뢰도의 정의가 다른 상용기기와는 다르며, 본래의 사명인 단락전류 차단현상은 아크라는 이론적으로 완벽하게 해명되지 않은 현상을 대체로 하기 때문에 기술적인 해석이 곤란하여 대부분 실증 시험에 의거 검증하지 않으면 안된다는 의견이 지배적이다. 따라서 현재 가스차단기(GCB) 및 가스절연개폐장치(GIS)에 대한 시험은 한국전력(공) 가스차단기규격 ESB150('90), 가스절연개폐장치 잠정규격 PS150-578('89) 및 국제규격인 IEC 56('87), IEC 517('86), IEC 694, ANSI C57.13 등에 의거 전항목에 걸쳐 형식시험을 실시하고 있으며, 검수시험은 승인사양서 및 상규규격에 의거 일부항목만 실시, 개발시험시와 성능 비교하는 것을 목적으로 하고 있다.

시험항목 및 시험법은 다음과 같다.

6-1. 시험항목

시험항목은 <표 2>와 같다.

6-2. 시험법

1) 구조외관검사

GCB 및 GIS가 다음과 같은 구조로 되어있는가를 확인한다.

- (가) 전기적, 기계적으로 내구성을 가질 것
- (나) 조작은 원활 확실할 것
- (다) 보수점검은 안전하고 용이할 것

2) 전기적 절연시험

2-1) 뇌충격내전압시험

(가) 시험목적

GCB, GIS가 정해진 뇌충격 내전압치를 견딜수 있게 설계, 제작되어 있는지를 확인한다.

<표 2> 시험 항목

시 험 항 목	형식시험	검수시험	비 고
1. 구조 외관 검사	○	○	362kv급 이상
2. 전기적 절연시험			
- 뇌충격 내 전압	○	-	
- 개폐충격 내전압	○	-	
- 상용주파 내전압(건조)	○	○	
- 부분 방전	○	○	
- 보조회로의 절연시험	○	○	
3. 라디오 장애(RIV) 시험	○	-	
4. 온도상승 시험	○	-	
5. 주회로 저항 측정	○	○	
6. 단시간 전류 시험	○	-	요청시 대기온도조건
7. 투입 및 차단능력 시험			
- 기본단락 시험 (BTF Duty No.1~5)	○	-	
- 임계전류시험	○	-	
- 근거리 선로 고장차단시험	○	-	
- 탈조차단시험	○	-	
- 송전전류차단시험			
• 선로충전	○	-	
• 케이불충전	○	-	
• 콘덴서군 차단	*	-	
- 지상소전류 차단시험	○	-	
8. 기계적 동작시험 (CB, DS, ES)			
- 수동개폐시험	○	○	
- 개폐특성시험	○	○	
- 연속개폐시험 (CB : 2000회, DS, ES : 1000회)	○	-	
9. 접지스위치 투입능력 확인시험	○	-	
10. 보조회로 보호등급시험	○	-	
11. 외함시험 (과열압력 또는 비파괴압력)	○	-	
12. 내부고장시 아크상태 시험	○	-	

시 험 항 목	형식시험	검수시험	비 고
13. 외함압력시험	○	○	중간검사
14. Sequence 시험	○	○	
15. 절연저항측정	○	○	
16. 모선 루-프 전류 개폐능력 확인시험	○		
17. 기밀시험	○	○	
18. 재질시험	○		
19. BCT시험	○	○	
20. P,T시험	○	○	
21. Local Control Panel시험	○	○	
22. 붕싱시험 - AC주수 내전압시험	○	-	
23. 도금시험	○	○	참고시험 "
24. 연속개폐 10,000회 시험	※		
25. 소음시험	※		
26. ES유도전류 차단 시험	○		
27. DS 충전전류 차단 시험	○		

(나) 적용범위

주회로대지간, 동상주회로단자간, 이상주회로간(3상일괄형의 경우)에 적용한다.

(다) 피시품의 상태

완전조립 상태로 한다.

(라) 봉입가스압력

최저보증가스압력으로 한다.

(마) 시험방법

i) 시험전압

정격전압(kV,rms)		725	170	362
뇌 충 격 내 전 압 1.2x 50μs	대지간	325	750	1175
	극간	325	750	1175(205)
	상간	325	750	1175(205)
	DS극간	375	860	1175(205)

주) ()의 수치는 피시험단자의 반대측 단자에 인가된 상용주파전압 파고치임.

ii) 가압방법

- 주회로 - 대지간 : 개폐기기에 대해서는 열림(ES) 및 닫힘(CB, DS) 상태에서 실시
- 동상주회로단자간 : 열림상태에서 실시.
- 이상주회로간 : 3상일괄형에 적용, 개폐기기에 대해서는 열림(ES) 및 닫힘(CB, DS)상태에서 실시. 전압을 인가하지 않는 단자측은 반드시 접지한다.

(바) 시험결과의 판정

규정된 전압을 정, 부 15회 실시 3회이상 F.O (FLASH OVER)가 발생되지 않아야 한다.

(사) 시험결과의 정리

시험회로 및 피시험품의 형상을 간략하게 도식적으로 표시하고 (i) 시험전압(KV), ii) 시험전압의 극성, iii) 파형 및 회수, iv) 가압부분, v) 봉입가스압력, vi) 시험결과(양호, 불량)

기중붓상이 있을 경우에는 기상조건(기온, 습도, 기압)도 기록한다.

2-2) 개폐충격내전압시험

(가) 시험목적

GCB, GIS가 정해진 개폐충격내전압치를 견딜수 있게 설계, 제작되어 있는지를 확인한다.

(나) 적용범위

300KV급 이상에 대해서 주회로와 대지간, 동상주회로 단자간에 적용한다.

(다) 피시험품의 상태

완전조립상태로 한다.

(라) 봉입가스압력

최저보증 가스압력으로 한다.

(마) 시험방법

i) 시험전압

정격전압 (KV,rms)	개폐충격내전압(KV,파고치)250×2500μ s	
	주회로 와 대지간	동상극간
362	950	800(295)

주) ()의 수치는 피시험단자의 반대측단자에 인가된 상용주파전압 파고치임.

ii) 가압방법

뇌충격내전압시험과 동일

(바) 시험결과의 판정 및 정리

뇌충격내전압시험과 동일

2-3) 상용주파내전압시험

(가) 시험목적

GCB, GIS가 정해진 상용주파내전압치를 견딜수 있게 설계, 제작되어 있는지를 확인

(나) 적용범위

주회로와 대지간, 동상주회로단자간, 이상주회로간 (3상일괄형만 해당)

(다) 피시험품의 상태

완전조립상태로 한다.

(라) 봉입가스압력

최저보증압력으로 한다.

(마) 시험방법

i) 시험전압

정격전압(KV,rms)		725	170	362
상용주파내전압 (KV,실효치)	대지간	140	325	450
	극간	140	325	520
	상간	140	325	520
	DS극간	160	375	520

ii) 가압시간은 1분간으로 한다.

iii) 가압방법, 시험결과의 판정 및 정리

뇌충격내전압시험과 동일

2-4) 부분방전시험

(가) 시험목적

부분방전시험은 GCB 및 GIS (특히 고체 절연물)가 오랜기간동안 정상적인 운전전압과 지속성이 상전압에 견디는가를 검증하는 것과 조립도중에서의 결함 유, 무를 확인하는 2가지 목적이 있다.

형식시험시는 전자를 검수시험시는 후자를 주목적으로 시험을 실시한다.

(나) 적용범위

주회로-대지간, 동상 단자간 및 3상일괄형 기기의 이상 주회로간에 적용

(다) 피시험품의 상태

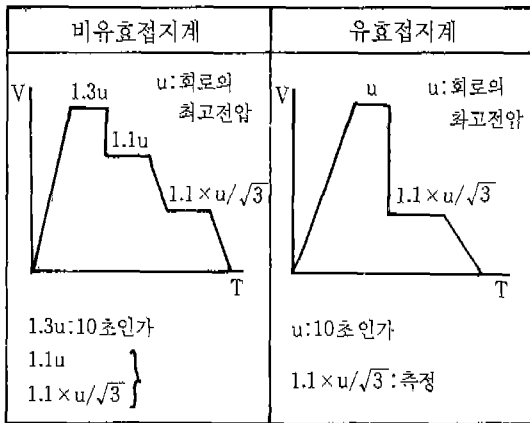
완전조립상태로 한다.

(라) 봉인가스압력

최저보증압력으로 한다.

(마) 시험방법

i) 시험전압



ii) 전압인가개소

3상일괄형에 있어서는 전압을 한상에 인가하여 잔여 2상은 용기와 함께 접지한다.

이것으로 주회로-대지간 및 이상간의 동시견증을 행하는 것으로 된다.

(바) 시험결과 판정

형식시험시는 부분방전 전하량 10PC이하를 원칙으로 하며, 검수시험시 주위환경 잡음이 예상되는 장소에는 20PC까지 인정할 수 있다.

(사) 시험결과 정리

- i) 시험회로, ii) 시험전압, iii) 시험주파수,
- iv) 가압부분, v) 가스압력,

- vi) 부분방전, 전하량(PC), vii) 양, 불량률의 판정,
- viii) 기상조건

3) RIV(Radio Inference Voltage) 시험

(가) 시험대상

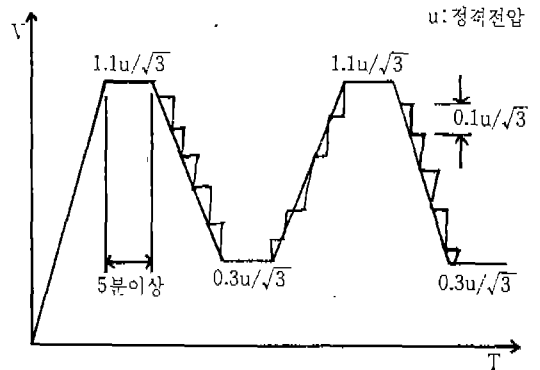
123 kV급 이상의 전력기기에 해당되며, Dead Tank형 GCB, GIS에 대해서는 Tank 내부의 RIV는 접지된 Tank에 의해 차폐되기 때문에 붓싱부만 해당된다.

(나) 시험목적

전력기기의 운전상태에서 코로나에 의한 라디오 주파수 영역의 전파 방해전압 LEVEL을 측정하기 위함

(다) 시험전압 및 방법

i) 시험전압



ii) 시험방법

- 주회로-대지간: 개폐기기에 대해서는 열림(ES) 및 단힘(CB, DS) 상태에서 실시
- 동상주회로단자간: 열림상태에서 실시

(라) 판정

1.1u/√3의 시험전압에서 0.5MHZ~2MHZ범위의 RIV Level이 2500μV 이하일것

<다음호에 계속...>