



차단기 특성 및 개폐서지 발생 원리

이 종 석 차장 / K-water 강원지역본부
yorn70@naver.com

수·변전설비는 전기를 사용하는 장소에서 전력회사로부터 전기를 받아 사용하기 편리하도록 전압을 변경하고, 충분한 전력을 공급하기 위한 설비를 갖추고 이를 필요에 의해 제어할 수 있고, 또 고장이나 사고 발생 시 안전하게 차단할 수 있는 전기기기들의 조합이라고 할 수 있다.

이러한 수·변전설비의 주요 기기들은 변압기, 차단기, 케이블, 제어장치 등으로 크게 나눌 수 있으며, 본 고에서는 차단기에 대해서 차단기의 종류별 차단특성 및 개폐동작에서 발생하는 서지전압의 발생 원리에 대해 생각해 본다.

1. 차단기의 정의

차단기는 사고 시 큰 사고전류를 신속하게 차단하여 사고의 확대를 방지하고, 안전을 확보하는 데 목적이 있다.

차단기와 유사한 개폐기의 경우 전력기기를 운영하기 위한 스위치로서 On-Off 기능이 목적이다.

① 차단기(Braker)

- 고장전류(단락, 지락 등) 신속히 차단하여 기기 보호 및 안전 유지
- 부하전류 안전통전 및 개폐

② 개폐기(Switch)

- 부하전류(정상시)가 흐르는 상태에서 안전하게 개폐(On-Off)
- 부하전류를 안전하게 통전

③ 차단기와 개폐기의 차이점

회로를 On-Off하는 측면에서 차단기와 개폐기는 같은 행위를 수행하지만 차단기는 이상 시 큰 고장전류를 차단(遮斷)하여 사고의 파급을 막고, 개폐기는 정상 시 부하전류를 개폐(開閉)하여 부하를 운영한다.

■ 기호

- 차단기의 두 접점이 소호통 속에 있는 모양이다.
- 소호통 속의 매질에 따라 차단기의 종류가 구별된다.



[차단기 기호]



[진공차단기 소호통]



[500kV급 단로기 개폐아크]

■ 차단전류의 크기

- 차단기 : 수십[kA]
- 개폐기 : 수백[A], {진공접촉기(VCI) : 4[kA] 이내}
- 차단시점 : 전류 "0"점 차단

■ 동작 방식

- 차단기 : 스프링 동작 방식, 압축공기 방식 등 (동작력이 크다)
- 개폐기 : 전자석에 의한 전자력 동작 방식 (동작력이 작다, 상시/순시 여자 방식)

2. 종류별 차단(소호) 원리

차단기에서 차단은 소호(消弧)를 의미한다 즉, 회로를 차단하기 위해 차단기의 접점이 열리면 아크가 발생하고, 이 아크를 통해 사고전류는 계속 흐름으로 아크를 끊는 것이 소호 즉 차단이다.

(1) 유입차단기(OCB)

유입차단기는 소호통 내부를 절연유(광유)로 채우고, 개폐시 발생하는 높은 아크열에 의해 절연유(탄소와 수소분자의 결합으로 이루어짐)의 열분해 작용으로 발생하는 수소(H₂)가스의 냉각 작용으로 아크를 소호하는 방식이다.

- 탄화수소 성분의 절연유(광유)는 CH₂, C₂H₄, C₄H₈

등 탄소와 수소의 결합이 4,000°K 이상의 높은 아크열에 의해 분해되어 H₂ 수소가스가 다량 발생되고, 이 수소가스는 -200°C 이하로 차가워 발생된 아크를 냉각시켜 소호한다.

- 90년대 이전 국내에서는 66kV급 이상의 옥외 송/변전설비에 대전류 개폐 장소에 주로 적용되었고, 요즘에는 가스차단기의 대중화에 따라 대부분 대체되어 찾아보기 힘들다.
- 절연유 속의 탄소(C)와 수소(H)의 분해를 위해 높은 아크열이 필요하므로 소 전류 차단은 어려움이 있을 수 있다.
- 차단기 내부에 수분이 함유되면 물(H₂O)속의 산소+아크(불꽃)+인화물(H₂ gas)로 인해 폭발할 수 있어 밀봉에 대한 관리가 중요하다.

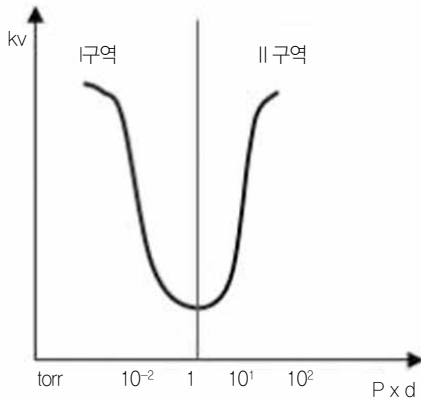
(2) 진공차단기(VCB)

진공차단기는 소호통 내부를 진공으로 하여 진공 중에서의 전자 발생 억제력과 발생한 전자의 급속한 확산으로 소호하는 방식이다.

- 파센 곡선에서와 같이 대기압보다 압력을 낮추거나 높이면 절연 파괴 전압이 높아진다.(진공도가 높을수록 절연 내력이 증대되어 발생하는 아크의 세력을 약화시킴)

차단기 특성 및 개폐서지 발생 원리

- 차단 성능이 우수하고, 차단시간이 짧다(3~5 cycle)
- 개폐 수명이 길다. (제조사에 따라 다소 차이는 있지만 대략 다음과 같다.)
정격전류 : 6,000회
무부하전류(기계적 특성) : 10,000회
정격차단전류 : 약 10회
- 개폐서지가 발생(전류절단)한다.
- 화재 및 폭발의 위험성이 없어 안전성이 높아 건물 내 큐비클 많이 사용

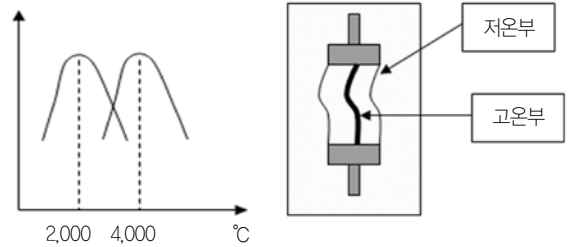


[파센의 곡선]

(3) 가스차단기(GCB)

가스차단기는 소호통 내부를 SF₆ 가스로 충전하여 차단 시 발생하는 아크의 열에 의한 SF₆ 가스의 열화학 작용과 전기적 부특성을 이용하여 소호하는 방식이다.

- 그림과 같이 차단기 내부의 접점 사이에 아크가 발생하면 아크의 중심부는 고온부가 되고, 외각부는 상대적으로 저온부가 된다.
- 이때 SF₆ 가스 고유의 특성은 고온부 쪽은 전기전도도가 높고, 저온부 쪽은 열전도도가 높아, 발생한 아크의 불꽃이 가운데로 몰리는 작용을 하여 아크 소호를 쉽게 하는 원리이다.
- 2,000~3,000℃ : 열 전도도 증가
- 4,000~5,000℃ : 전기 전도도 증가



[온도-전도도]

[GCV의 아크 발생 모형]

항 목	OCB	ABB	VCB	GCB
소호 원리	절연유 분해 수소 냉각	압축공기 10~30kg/cm ²	진공 중 전자 확산 및 발생 억제	중심부로 Arc 압축 전기적 부특성
사용 전압	3.3~345kV	고압 많이 사용	22.9kV 이하	22.9~345kV
차단 Cycle	3~5	5	3~5	3~5
단락 차단 / 서지 전압	대전류 / 약간	대전류 / 약간	소전류 / 큼	중 / 낮음
기타 특징	가연성 저점	소음 크다. 부대시설	보수 점검 간단	고가

※OCB : 22.9kV 이하에서는 장점 없음. 66kV 이상 옥외 변전소 주로 적용

ABB : 낮은 전압 대전류 주로 사용(발전기 출력 측)

VCB : 수변전설비 등 큐비클 많이 사용

GCB : GIS 설비, 22.9kV 이상 주로 사용

[각종 차단기의 특징]

- 또한 SF₆ 가스의 분해에 의해 발생한 할로겐(Halogen) 원자의 전기적 부특성으로 아크를 소호한다.
- 할로겐(Halogen) 원자의 전기적 부특성 SF₆ 가스의 분해에 의해 발생한 Halogen 원자(+)는 발생 아크(-)의 전자와 결합하여 중성화 시켜 소호한다.
- 차단 성능이 우수하며, 불활성·비연소성 Gas 사용으로 화재 우려 적음
- 초고압 계통 많이 사용(154kV급 이상 GIS 설비 등)
- 가격이 고가이지만, 설치면적은 타 차단기에 비하여 월등이 작다.

(4) 공기차단기(ABB)

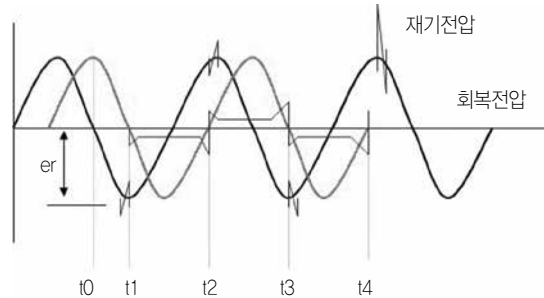
공기차단기는 명칭대로 발생한 아크에 공기를 “훅”하고 붙여넣어 아크를 소호하는 방식이다. 이때 고압의 압축공기를 형성하기 위하여 콤프레셔와 공기탱크 등 부대설비가 추가로 필요하다.

- 10~30kg/cm²의 고압의 압축공기를 소호실 내부로 붙여넣어 압축공기의 확산, 냉각, 가압, 물리적 차단 효과 등이 상승하여 소호하게 된다.
- 유지보수가 비교적 간단하고, 소음이 매우 크며, 차단 능력이 우수하여 과거 발전기 단자 측(10~20kV급)의 중전압급에 주로 사용되었으며, 근래 GCB로 대체되는 추세에 있다.

3. 개폐서지 발생 원리

개폐서지는 정상적인 부하 운영을 위한 On-Off (폐/개) 동작 시, 또는 고장전류 차단 시 등 차단기 또는 개폐기가 동작할 때 전류 “0”점에서 차단되지 않거나, 재점호 현상에 의해서 정격전압보다 훨씬 높은 전압이 부하단에 나타나는 현상이다.

(1) 차단기의 교류회로 차단 과정



- t0 : 차단기의 접촉자가 떨어지는 순간 전류는 바로 0되지 못하고 아크로 계속 흐름
- t1 : 전류 0점에서 일단 아크는 소멸되나, 극간 간격에 er 전압이 걸려 절연이 충분치 못하면 다시 아크가 발생 전류가 흐른다 (반주기마다 아크 점멸 반복)
- t4 : 극간 간격이 충분하여(절연내력 > 재기전압) 재기전압을 이기고 아크 소멸

(2) 개폐서지의 종류 및 발생 원리

① 개폐서지 종류

- 충전전류(or 무부하 전류) 개폐서지 → 투입서지, 개방 시 재점호 서지
- 유도성 소전류 차단(Tr 여자 전류 등) 전류 절단 (강제 재단) 서지
- 3상 비동기 투입서지 → 고장전류 차단, 고속 재폐로 등

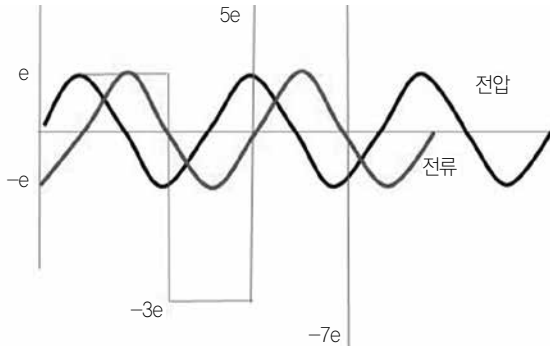
② 발생 원리

개폐서지의 종류는 부하의 종류, 개폐 시점, 개폐의 원인 등 각각의 상황에 따라 다양하게 발생되고 불려지며, 발생 원리는 크게 두 가지로 대별할 수 있다.

■ 재점호 서지(반복재점호)

충전전류, 콘덴서 또는 장거리 무부하 송전선로 등 Capacitance(C) 성분이 큰 것을 개방할 때 전류 “0”점에서 차단되지 못하고 재점호 하면, 부하 측 단자에 정격전압(전원 측 전압)의 3, 5, 7, 9... 배수로 서지전압이 발생한다.

차단기 특성 및 개폐서지 발생 원리

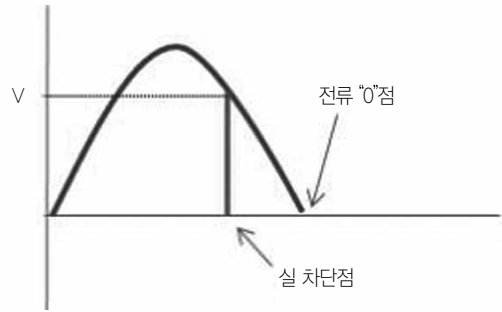


[재점호에 의한 서지 발생]

■ 전류절단 서지(Arc chopping)

차단기의 성능이 우수하거나, 아크 세력이 작은 소 전류 등을 차단할 때 전류 "0"점이 되기 전에 강제 차단

이 이루어지면 Reactance(L) 성분에 의한 역기전력이 발생하여 부하 측 단자에 스파이크성 서지전압이 발생한다.



[전류절단 서지 발생]

..... 원고를 받습니다

'월간 계장기술'이 참신한 원고를 받습니다. 소장하고 계신 원고나, 평소에 소개됐으면 하는 내용을 기사로 작성하여 보내 주시면 감사하겠습니다. (특별기고 · 기술정보 · 연재 · 산업동향 & 전망 / 자세한 사항은 본지 참조)

▶ 원고 게재 분량 및 내용

- FA와 PA 분야의 주요 품목인 DCS, PLC, 센서, 유량계, 인버터, 컨트롤 밸브, 필드버스(산업통신망), 계측 및 계장 기기, 중전기 및 발전 플랜트와 이를 활용한 기술 및 산업 전망
- 계측 제어 자동화 설비(플랜트) 분야의 산업 트렌드와 시장 전망

▶ 원고 분량 및 발송

A4지 4~10매(연재는 편집부와 협의)이며, E-mail로 보내 시면 됩니다. E-mail이 어려운 원고와 첨부자료(카탈로그와 제품사진 등)는 우편발송하시면 됩니다.

▶ 보내실 곳

서울시 영등포구 당산로2길 12 708호
(문래동3가 에이스테크노타워, 월간 계장기술 편집부)
TEL : (02)2168-8897 / FAX : (02)6442-2168
E-mail : procon@procon.co.kr / lch1248@naver.com

▶ 원고마감 : 매월 15일