

진공차단기의 기술현황과 장래전망

이은 응(충남대), 김종겸(수자원공사),
김택수(한전기술연구원), 김욱동(광명기전),
김광훈(현대중공업)

1. 머리 말

산업의 신장과 생활수준의 향상으로 전력수요량이 늘어남으로써 전력을 생산하여 수용가에 공급하기 위한 전력설비가 늘어나게 되었고 이에 따라서 전력공급 기능상 필수 장치인 차단기·개폐기의 수요가 증대되고 있다.

이와같은 수요증대에 따라 우리나라에서도 아주 간단한 지압 소전류용 나이프스위치(Knife switch)로 부터 고압용 진공차단기(VCB), 특고압용 가스차단기(GCB)에 이르기까지 사용되고 있고, 그 수요 또한 점점증하는 추세에 있는데도 지금까지 학회에서는 특별한 관심을 이끄는 분야가 아니었던 것 같다. 그래서 다른 차단기·개폐기에 비해 소형, 輕量, 장수명등 우수성과 불연성, 유지보수성 省力化등의 장점을 갖는 36KV 이하의 고압용 차단기·개폐기인 VCB의 기술적인 특성을 밝히고 적용분야를 검토하여 장래에 대한 전망등을 하고자 한다.

진공차단기는 1960년대 후반 대전류 차단이 가능한 실용적인 진공튜브가 제작되기 시작한 이래 개발되기 시작하여 1970년대 초까지 재단서지에 관한 연구가 행해졌고, 1970년대 후반에는 다중재발호에 관한 연구가 활발했으며, TNA(Transient Network Analysis)나 EMTP(Electromagnetic Transient Program)을 사용한 simulation 기술이 개발되어 現象解析과 함께 적절한 적용기술이 확립되어 왔다.

우리나라에서는 1980년대 초부터 신설 발전소를 중심으로 3.6KV~168KV까지 여러 종류중에 7.2KV, 6~16KA 급에서는 VCB가 전력설비에 채용되기 시작하여 1992년에는 약 200억 이상의 시장규모의 6개 회사(현대중전기, 광명기전, 금성계전, 금성기전, 효성중공업, 이천전기, 신도전기)에서 생산하여 공급 하였다.

외국에서는 수화력 원자력발전소, 송배전 및 변전설비등 전력설비뿐만 아니라 교통 및 산업용에도 진공차단기의 장점을 충분히 살려 널리 사용되고 있으므로 우리나라에서도 더욱 사용분야가 넓어지고 수요량도 많아지리라 예측된다.

2. 진공차단기의 원리와 특성

2.1 진공차단기의 원리와 특성

진공아크는 기중의 아크와의 본질적으로 다르다. 기중아크는 전극간에 존재하는 기체가 진리한 것이지만, 진공중에서는 음극에 의해 증발해오는 증기성의 금속증기원자, 이온 및 전자로 구성된다. 이들 입자는 음극영역에서 공급되는 한편, 진공중에서도 점차 확산해서 금속증기실드의 표면에서 냉각되어 부착하거나 재결합하여 소호한다. 전류가 상용주파의 영점을 만나게 되면, 진공중에서는 하전입자의 소멸이 대단히 빠르기 때문에 급속히 절연을 회복하여 전류를 차단한다.

진공 특유의 강력한 소호능력을 가지고 있어 개

극상태에서도 높은 차단 상태를 갖는다. 이렇게 때문에 소전류 차단시에는 전류가 영점에 달하기 전에 강제적으로 차단시키는 차단현상이 발생하여 회로에 전동기와 같이 유도성 부하를 갖는 경우 과도한 재단 서지를 발생하는 경우가 있다. 전류 재단 현상의 발생원인으로 전류재단 현상이 소위 아크 불안정성에 기인하여 발생하는 것이고 아크의 불안정성이 어떠한 매카니즘으로 발생하는가는 차단아크의 종류에 따라 정해진다.

서지 전압의 크기는 재단전류 값과 재단파형 급준도의 크기도 결정된다.

그림 1은 진공아크 상황을 모델화한 것이다.

금속증기원자, 이온이나 전자가 진공중의 확산하는 양에 비해 음극에서 공급하는 양이 따르지 못하면 아아크를 유지할 수 없게 되어 아크가 불안정한 고주파 확산을 하게 하는 상태로 부터 벗어나서 재단과가 된다. 유도성 회로 L_m (전동기부하등)에서 I_0 의 크기는 전류재단이 발생했다고 하면 $1/2 I_0^2 L_m$ 이 남아서 그대로 부하기의 정전용량 C_m 과 과도진동을 일으키게 된다.

그리고 서지전압은 $E_s \approx \eta \sqrt{L_m / C_m} I_0$ (η : 부하 조건에 따라 정해지는 감쇄 계수)이 된다.

2.2 구성요소

진공차단기는 그림 2와 같은 구조로 되어 있다.

(1) 接觸子(CONTACT)

전원투입시 접점을 이루는 접촉자 매질은 진공차단기의 질을 결정하는 중요한 요소로서 다음과 같은 성질을 가진 재질이 요구된다.

① 차단시 회로조건에 의해 발생하는 과전압이 개폐기의 극간 내전압보다 높을 경우 발생하는 재발호의 반복원인이 되는 금속이온이 잘 일어나지

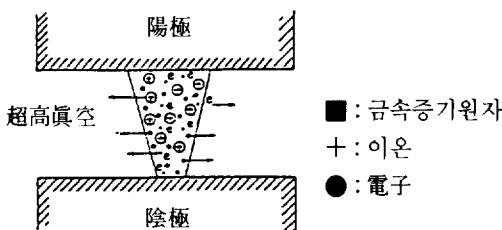


그림 1. 진공아크 모델

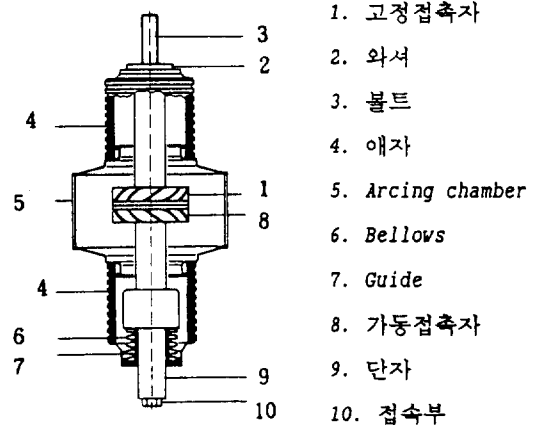


그림 2. 진공차단기의 구조

않아야 한다.

② 차단기의 궁극적인 사용목적은 전원으로 부터 기기를 빠른 시간내에 분리시키는 것으로서 동일 형태라도 접촉자의 매질에 따라 다른 차단기에 비해 소형화 할 수 있고 가능한 차단능력이 우수하여야 한다.

③ 전원 분리시 접점부사이에서 발생하는 아크로 인해 접촉부의 표면이 용융하는 일이 없고, 여러번 개폐를 반복하더라도 차단성능이 저하하지 않아야 한다.

④ 전원을 차단한 후 빨리 절연회복이 될 수 있도록 차단기내부에 잔류가스성분이 존재하지 않아야 한다.

(2) 아크차폐(Arc Shield)

전원개폐로 전류재단시, 접점간에 발생한 금속증기를 압축포착하는 기능을 갖고 있다.

(3) Bellows

차단기 개폐시 가동 접촉자의 이동을 가능하게 하고, 가동접촉자의 이동에 따른 기계적 강도와 전류의 흐름과의 관계를 고려하여 구조와 크기등이 설계되어야 한다.

(4) 진공밸브

압력이 $0.1 [Pa] (7.5 \times 10^{-4} Torr)$ 이하로 유지되면 파괴전압이 일정하게 유지될 수 있다는 Paschen 법칙을 차단기의 특성에 적용 하기위해 진공밸브를 사용한다.

(5) 게터

진공내에서 잔류 가스를 제거하여 진공도를 향상

시키는 것으로 대개 지르코늄(Zr)을 사용한다.

2.3 消弧原理

접점분리시 아크 발생으로 전극재료가 용융하면서 발생한 금속증기가 플라즈마 상태로 형성되어 금속아크를 형성한다. 이 금속아크는 비교적 높은 증기압으로 되며, 진공중에서 압력이 높은 발생지점에서 주위의 낮은 쪽으로 급속히 확산된다. 아크 전류가 증가할때는 전극표면에서 발생하는 금속증기도 증가하게 되지만, 전류의 자연 영점근처에서는 아크전류가 감소하게 되기 때문에 금속증기의 발생도 감소하게 되어 전극간에 잔류하는 금속증기도 극히 작게된다. 전류의 자연영점에서 아크가 소멸하면, 전극간 잔류금속증기는 진공밸브의 주위로 확산되어 극간절연이 빠르게 회복되므로서 이후에 再發弧電壓이 인가되더라도 再發弧가 일어나지 못하고 차단이 완료된다.

2.4 眞空遮斷器의 低서지化

재단전류값이 낮은 접촉자재료를 채용하면, 전류 재단에 의한 서지의 억제가 가능하여 안정화를 기할 수 있다. 재단전류값은 접촉자재료에 따라서 크게 좌우된다. 그리고 일반적으로는 증기압이 높고, 열전도율이 낮은 재료일수록 재단전류값이 낮다. 진공개폐기는 용도에 따라 여러 종류의 접촉자로 나누어 진다.

진공차단기내에서 아크 플라즈마의 빠른 확산은 높은 차단능력을 보증하지만, 양극의 과열에 의한 발생되는 양극점은 차단능력을 제한한다. 양극에서 금속증기나 열전자의 방출이 너무 많으면 전극사이의 절연회복을 악화시켜 신속한 차단을 이룰 수 없다. 그래서 양극점의 형성을 막기 위해 아크를 자체적으로 제어할 수 있는 몇가지의 방법이 講究되고 있다. 그 하나가 아크에 수직인 자계를 가하여 아크를 이동하는 방법과, 다른 하나는 아크 전류에 의한 축자계를 형성시켜 수많은 소형의 아크를 일정하게 배분시키고, 전극표면의 에너지 밀도를 감소시켜 아크를 제한 하는 방법이다. 즉, 진공차단기에 자계를 도입하는 것은 차단능력을 향상시키기 위한 것으로서 자계에 의한 아크의 조절은 차단능력의 저하를 초래하는 양극점의 형성을 막기 위해서 채택되어진다. 이는 아크 위치의 변화를 통해 양

극점의 형성을 막을 수 있기 때문이다.

(1) Spiral 電極

차단전류가 크고 전극의 직경이 크게되면, 아크는 전극의 표면에 일정하게 퍼지지 않고, 일부분에 편중하게 된다. 특히 전극의 角부분에서는, 금속증기가 발생하기 쉬우며, 아크가 이 부분에 融着해서 현저하게 전극표면을 熔融시켜 再點弧의 원인이 되면 부하축기기에 나쁜 영향을 미치는 수가 있다. 그림 3은 아크에 직각 방향의 자계를 가하여 아크 전류의 진로를 移動시키므로 전극의 국부적인 가열을 막아주는 동작원리를 나타낸 것이다.

(2) 單極 軸磁界 電極(uni-pole axial magnetic field type electrode)

접촉자인 전극구조는 디스크 형태의 주전극과 코일전극으로 구성되어 있다. 전류는 그림 4와 같이 축 중심에서 나누어져서 축 주위로 흐르게 된다. 이때 나뉘어진 전류는 각자 코일전극의 원주부분을 통해 주 전극으로 흐르게 된다. 아크는 주 전극사이에서 점화되어지며, 코일전극의 원주 부분에서의 전류는 전체적으로 단극 축자계를 발생한다. 이 방식은 자계를 한 방향으로 형성하기 때문에 와류를

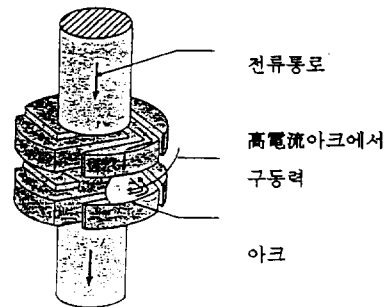


그림 3. 磁界移動方式의 電極構造圖 및 斷面圖

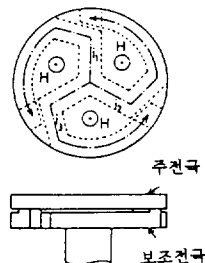


그림 4. 축자계인가 방식의 자계구성도

발생한다는 단점을 지니고 있다.

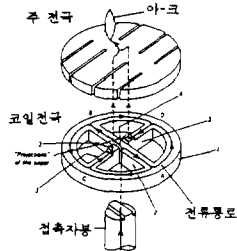
(3) 多極 軸磁界 電極(multi-pole axial magnetic field type electrode)

축자계 자속은 자계가 전극을 수직으로 통과함에 따라 전극내에서 渦流가 발생한다. 와류에 의해 발생된 자계의 극성은 전극사이의 차단전류에 의해 발생하는 주 자계의 극성과는 반대다. 이 와류에 의한 자계의 相은 전체 자계의 크기를 감소시킬뿐 아니라. 전류 영점의 순간에 약간의 잔류자계를 생겨나게 하여 주자계의 상보다 늦어진다. 그리고 잔류자계는 잔류 아크 플라즈마를 급속히 확산하지 못하게 하므로서 절연회복을 느리게 한다. 이와같은 현상을 제거하는 방법으로 와류를 감소시키기 위하여 전극에 몇개의 슬릿을 만든다. 그렇게 하더라도 도체 棒 때문에 전극의 중심 근처에서는 별로 효과가 없지만, 다극 축자계 전계는 전류 최고값에서 축자계를 발생시키고, 전류 영점에서 매우 낮은 잔류자계를 가지며 축중심에서는 잔류자계를 가지지 않는 장점이 있다. 아래 그림 5는 다극 축자계에 대한 모습을 나타내는 것이다.

(4) 低서지 接觸材

전동기를 개폐하기 위해서 주로 사용되는 진공개폐기의 접촉자는 차단전류값이 낮고, 전류개폐에 의한 소모가 적은 AgWC 접촉자가 사용되며, 이 개폐기는 보통 서지보호장치없이 전동기의 개폐에 사용할 수 있다.

일반적인 진공차단기의 접촉자는 대전류의 차단능력이 높은 CuBi 접촉자나 CuCr 접촉자가 사용되고 있지만, 차단전류값이 높기 때문에 전동기를 개폐하는 경우는 서지보호장치를 조합해서 사용하



1. Ring section 2. First spokes
3. Second spokes 4. Hub section

그림 5. 다극 축자계 전극

는 일이 많다. 차단전류값이 낮으면서 동시에 대전류차단능력이 높다고 하는 상반되는 특성을 겸비한 점접재료는 CoAgSe가 개발되었다는 보고도 있다.

2.5 開閉서지 現象

VCB로 전원과 부하를 연결하므로서 형성되는 회로의 특성에 따라 개폐시에 다음과 같은 서지 현상이 일어난다.

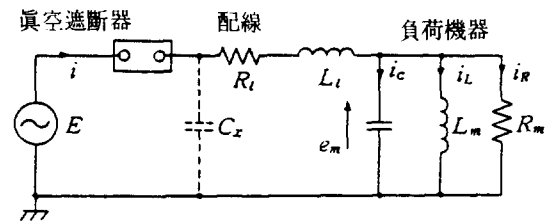
① 裁斷서지

전류가 자연영점에 도달하기전에 강제적으로 차단할 때 그림 6의 (c)처럼 전류재단현상이 발생하여 회로의 서지 임피던스의 積에 해당하는 서지전압이 발생하게 된다. 전류재단 현상은 전극을 구성하는 재질의 용융점, 증기압, 일함수, 이온화 에너지등의 많은 실제적인 요소들에 의해 좌우된다. 특히, 전류재단은 소용량 전동기의 지연전류의 차단시에 발생하기 쉬운 현상이다.

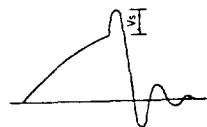
전류재단 현상은 음극점으로 부터 급속증기나 하전입자의 공급이 아크중에 진공으로 확산하는 하전입자나 급속증기를 따를수 없기 때문에 생기는 것으로 분석된다. 따라서 음극점으로부터 급속증기의 공급능력을 적게하므로써 전류재단레벨을 감소시킬수 있다.

② 재발호서지

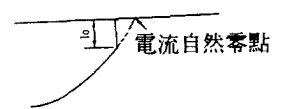
차단시의 개극과정에서 극간절연이 회복전압(재



(a) 재단서지해석 단상등가회로도



(b) 재단전압과형



(c) 재단전류과형

그림 6. 재단서지현상

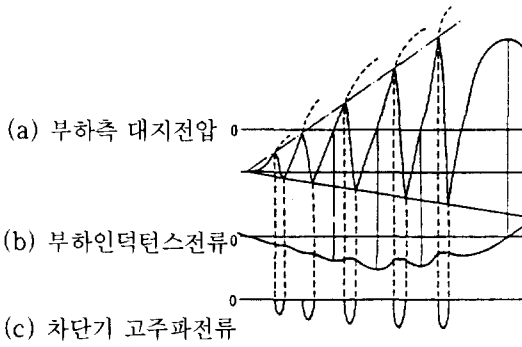


그림 7. 다중재발호에 의한 파형

기전압)에 견디지 못하면 재발호(reignition)현상이 생기게 되고 이와같은 재발호 현상을 다중재발호라고 하고 그림 7과 같이 다중 재발호에 의해 상승되는 서지전압은 고주파 전류차단능력, 전극동작 속도, 전극내 전압, 케이블길이, 케이블의 인덕턴스, 부하 인덕턴스와 캐패시턴스 등에 영향을 받게 된다. 이 再發弧 현상이 여러번 반복되면, 회로의 정전용량에 충전되는 것이 累積되어 높은 서지전압이 되는 경우가 생겨나게 된다.

다중 재발호 전압상승과정을 두가지 방법으로 끝나게 된다. 그 첫째는 개극시간의 경과와 접촉자의 극간거리가 증가함에 따라 전압이 상승하는 과정에서 고주파전류의 차단이 일어나고 접촉자 극간에서는 정상 주파수의 회복과도 전압이 지속하는 것과, 둘째는 부가적으로 발생하는 고주파수나 전원주파수 전류에 첨가된 고주파 전류가 영점으로 감쇄될 때 까지 수많은 주기동안 지속하는 것이다.

③ 3相 同時遮斷現象(Virtual current chopping)

비접지계통에 있어서 遲相 小電流를 차단하는 경우, 삼상동시차단(virtual chopping)이라는 현상이 생기는 수가 있다. 삼상동시차단에 의해 미관상 차단되는 전류값은 보통의 경우에 비해 대단히 큰 값이 되고, 이 결과 발생하는 전압도 대단히 큰 값이 될 가능성이 있다. 이는 차단시에 다른 상에 강제적으로 차단영상을 미치는 것으로서 한상(즉 a상)에서 再發弧와 전압상승을 수반하여 나머지 다른 두 상(b, c상)과 결합하여 고주파 전류가 흐르게 되면 이런현상이 그림 8과 같이 발생하게 된다. 이는 케이블과 접지선 임피던스에서 상호인덕턴스에 영향

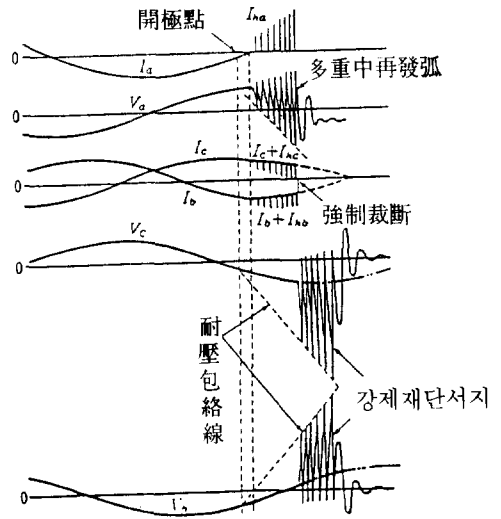


그림 8. 삼상동시차단현상

을 받는것이 지배적이다. 그러나 발생시 일어나는 회로정수의 범위가 정해져 있고, 충분히 큰 고주파 전류가 흐르기 때문에 부하측 대지전전용량의 값이 크게 되면, 과도회복전압 주파수가 작게되어 재발호 발생이 어렵게 된다는 것이다.

④ 投入서지

차단기의 투입 접점극간사이의 전계세기가 이들 접촉자가 접촉하기도 전에 일정이상되어 접점갭의 絶緣이 破壞되어 일어나는 현상을 말한다. 차단기의 선로측과 전원측 전압은 매우 빠른 속도로 중간치 이하로 떨어지며, 이 변화는 수십 [ns]의 짧은時間以內에서 일어나게 된다. 차단기의 선로측에서 일어나는 매우빠른 전압변화는 매우 가파른 전압파형이 되어 선로에 연결되어 있는 회로망에 투입 및 반사 되는 것과 같은 결과를 낳게된다. 이 파형의 크기는 시스템 선간 중성점 전압이 정점값 만큼이나 높다. 이 과도전압에 의해 아크가 발생하여 투입 접점갭을 통과하여 흐르는 전류는 회로의 성질이 나, 차단기의 형식에 따라 차단될 때 투입접점갭 사이의 유전체의 세기가 접점을 통과한 전압의 세기보다 클때까지 회복된 상태를 유지하는 것이고, 유지 못하게 되면 두번째 선점호가 일어나게 된다. 이 과정은 접점이 최종적으로 닿게 되기까지 여러번 반복될 수 있다. 그러나 선점호현상은 그 수가 매우 작고, 접촉자 갭이 시간에 대해 매우 빠른 속도로

감소하기 때문에 부하를 차단할 때 보다는 가혹하지 않다고 볼 수 있다.

⑤ 再點弧 서지

전류차단후 1/4 cycle 以後에 극간이 접촉하는 현상을 재점호라 하며, 재점호에 의한 서지가 문제로 되는 것은 전류차단후에 높은 전압이 가해져서 콘덴서 탱크나 케이블의 충전전류를 차단하는 경우이다. 콘덴서와 같은 용량성 부하를 차단하는 경우 콘덴서에 남아있는 전압 때문에 전원전압이 반전하여 극간에 높은 전압이 가해질때에 재점호한다. 재점호 상은 3.5[pu], 다른 상에는 5.8[pu]의 서지전압이 발생할 수 있다.

2.6 다른 遮斷器와의 比較

진공을 소호매체로 한 진공차단기는 차단시 강력한 소호력과 개극상태에서 높은 차단상태를 유지하기 때문에 소전류차단시에 전류가 영점에 도달하기 전에 강제적으로 차단되는 재단현상이 발생함을 이미 설명했고 이와같은 현상은 진공을 소호매체로 하는 진공차단기는 진공특유의 강력한 소호력을 가지고, 개극상태에 있어서도 높은 차단상태를 유지하고 있다. 이 때문에 소전류 차단시에는 전류가 영점에 도달하기전에 강제적으로 차단되는 재단현상이 발생하고, 회로에 변압기나 전동기등의 유도성 부하를 가지는 경우에는 과대한 재단서지를 발생하는 경우가 있다.

이 현상은 진공차단기뿐 아니라 다른 소호방식을 이용한 차단기에 있어서도 발생하는 현상으로 고압 압축공기에 의해 소호를 행하는 공기차단기나, 절연유에 의한 소유량 차단기등에서도, 진공차단기보다 오히려 큰 값이 전류재단을 발생하는 수가 있다.

전류재단현상은, 그 발생원인이나 메카니즘이 차단기의 종류나 회로조건에 의해 크게 변화한다. 따라서 전류재단현상의 발생원인이나 메카니즘은 개개의 차단기에 대해서 별도로 취급하여야 하지만, 모든 차단아크에 공통으로 취급될 수 있는 것은, 전류 재단현상이 소위 아크의 불안정성에 기인해서 발생하게 되고, 아크의 불안정성을 낳는 메카니즘은, 차단아크의 종류에 의해서 정해진다.

각종 차단기의 전류재단현상을 전류재단값과 재단파형의 급준도로서 비교하면, 일반적으로 수십

[A]의 소전류범위에서는 다음과 같다.

[재단전류치]

ABB > 소유량 OCB > VCB > GCB 및 OCB > MBB

[파형 급준도]

VCB > GCB > 소유량 OCB > ABB > OCB > MBB

여기서, ABB : 공기차단기, OCB : 유입차단기, GCB : 가스차단기, MBB : 자기차단기

일반적으로 재단전류값과 재단파형급준파도가 클수록 서지전압은 크게되는 것이기 때문에, 재단파형급준도가 비교적 완만한 공기차단기나 소유량차단기와 진공차단기로서는 거의 같은 정도의 서지레벨이 된다고 할 수 있다.

이외 진공차단기는 다른 차단기에 비해서 고주파 전류차단능력이 높고, 전류차단후의 절연회복이 극히 빠른 특징을 가지고 있다. 이 때문에 다소 드물기는 하지만, 재발호와 고주파차단을 반복하는 다중 재발호 현상이 생기게되어, 부하기기의 권선사이에 손상을 끼치게되기 때문에 회로조건등을 고려한 서지보호를 검토할 필요가 있다.

그러나, 최근에는 진공밸브의 접촉재료등의 연구가 이루어져, 전류재단값을 대폭적으로 저감시킨 底서지 진공차단기도 제품화 되고 있어, 서지보호 장치의 필요성도 점차 해소 되고 있는 추세이다.

3. 適用設備에 대한 技術的 妥當性

수요자의 선택기준은 필요한 성능을 갖추고 있는 것 이외에도 ① 고신뢰도, ② 경량, 소형화, ③ 經濟性 ④ 運轉保守가 容易 등을 요구한다. 따라서 우리나라에서도 조립생산으로 끝날것이 아니라 性能向上과 재료개발을 위한 계속적인 연구로 이와같은 요구에 적응해야 한다. 또한 다빈도 개폐성능의 향상은 물론이고 현장에서 차단기의 진공도를 간단하게 진단하는 방법이 연구 해결되어야 한다. 여기서 발전설비에서 요구되는 차단기의 성능에 진공차단기가 기술적으로 우수함을 비교적 자세히 설명하므로써 다른 설비에 진공차단기를 선정함에 참조되게 하고자 한다.

3.1 發電所 設備

수력발전소 뿐만 아니라 火力이나 原子力發電所에서도 VCB가 채택되려면 높은 신뢰성 뿐 아니라

표 1. 發電所에 적용되고 있는 VCB의 概略定格

種 類	定格電壓(KV)	定格電流(A)	遮斷電流(kA)	用 途
水 力	7.2	400~4,000	12.5~40	發電機並列, 起動電動機, 補助機器
	12	1,200~3,000	36.1~50	發電機並列
	24	2,000	40	發電機並列
火 力	7.2	1,200~3,000	40	所內 補助機器
原 子 力	7.2	3,000	63	所內 補助機器

차단전류가 40~63KA의 대용량의 요구에 적합해야 한다. 그리고 발전소에서는 주로 회전기의 개폐기로 쓰기 때문에 스위칭서지 문제가 해결되어야 한다. 이와같은 문제점을 해결하기 위한 다음과 같은 연구가 이루어져야 한다.

① 大容量化

우리나라는 아직도 차단전류 25KA 정도를 한계로 대용량 분야에서는 GAS 차단기(GCB)를 써야 한다고 생각하고 있다. 그러나 VCB도 전극구조의 연구가 진척되고 자계에 의한 arc를 안정화 시키는 기술이 진전되어 현재는 168KV 60KA 급의 대용량까지 안정하게 사용된다.

② 依賴性 提高

진공차단기는 「진공도 불량이 발생하는 두려움이 있기 때문에 위험하다」라고 하던 것이 사용 경험이 쌓이면서 그 염려는 없어지고 오히려 「신뢰성이 높고 안전한 차단기」로 평가되고 있다. 특히 차단전류가 크게 되며 다른 종류의 차단기에서는 점점 가동부중량이 무겁게 되거나 가스압이나 가스 유량이 늘기 때문에 큰 구동 에너지를 필요로 하게 되어 조작기구에 과대한 힘이 가해진다거나 壽命을 짧게 되는 두려움이 있지만, VCB의 경우는 기계적인 부하도가 경감되기 때문에 機械部分의 信賴性이 높게 되고 高速投入, 遮斷도 비교적 容易하다.

③ 輕量, 小形化

VCB를 配電盤函內에 넣으면 MBB를 수납한 盤에 비해서 盤面積을 절반으로 縮小되어 發電所의 Layout의 자유도가 커지고, 공간을 유효하게 활용할 수 있게 된다. 특히 비상시에 原子爐를 안전하게 停止시키기 위한 원자력발전소 비상용전원 설비등은 地震中에도 계전기나 차단기가 오동작 하지 않고 정상으로 동작하는 고도의 耐震性能을 실현 시키기는데 가볍고 작은 VCB가 유리하다.

④ 開閉서지 低減裝置開發

발전소에서는 회전기부하가 많기 때문에 開閉서지에 대응한 안전을 위해 보호장치를 설치한다. 보호장치로는 CR Surge absorber 혹은 ZnO 피뢰기가 일반적으로 쓰이고 있다.

⑤ 眞空不良 完全除去

진공관리 기술이 발달한 요사이에는 진공불량이 발생하는 경우는 없다. 또 비유효접지계통에서는 만일 3상중 1상에 진공불량이 발생하더라도 VCB는 사고전류를 안전하게 차단되는 것이 실제 실험결과로 보고되었다.

⑥ 耐環境性

진공차단기의 접점은 대기중에 노출되어 있지 않기 때문에 먼지, 습도, 부식성 가스등의 영향을 받지 않는다. 그래서 염분이 많은 海岸地帶, 먼지가 많은 工場地帶에 立地한 화력발전소나 부식성 가스가 발생하는 火山지대에서 사용하면 좋다. 이와같은 이유로 배전설비에서 보다 신제품의 採擇에 신중을 기하는 발전소에서는 VCB의 사용이 늘어나고 있다. 그 대표적인 사용정격에는 표 1과 같다.

3.2 其他 電力設備

① 變電設備

3.6KV~36KV 급의 배전용 모선 연결용, 변압기용, 콘덴서용 등으로 쓰이며, 다른 종류의 차단기에 비해 적용범위, 구조, 제어회로등이 앞에서 서술한 것처럼 장점을 갖고 있고, 가격이 싸기 때문에 사용이 바람직하다.

② 調相設備

전력계통의 전압제어를 위해서 변전소에 콘덴서나 리액터로 구성되는 조상설비가 사용된다. 이와같은 설비에 쓰이는 차단기. 개폐기는 매일 수회의 개폐를 하기 때문에 개폐수명일 길고 보수 점검이

표 2. 事故障礙 內容

	不 良	具體的不良內容	不良原因	對 應 策
1	진공밸브불량	-진공도저하 -연면절연저하	-취급불량 -가공불량 -汚損濕潤	-취급보수시 취급주의 -보수시 청소 -품질관리의 철저
2	절연열화	-龜裂, 破壞 -閃絡 燒損 -코로나 發生	-설계불량 -재질불량 -加工不良	-보수시 눈으로 체크 -보수시의 清掃 -신뢰성 검증
3	개발불량	-개발동작불량	-가공불량 -조정불량 -구리스 경화	-보수시 개폐동작 -정기적 주유
4	투입불량	-투입동작불량 -운전중 자연개발	-조정불량	-보수시 개폐동작점검
5	제어회로불량	-접합부 접촉불량 -제어보조 릴레이 부적합 -보조 스위치 부적합	-설비불량 -제품불량 -振動	-제어부품의 신뢰성 검증 -防塵對策
6	그밖의 불량	-출입조작불량 -인터록 관련 -동작회수계 동작불량	-설계불량 -제품불량 -振動	-취급주의 -방진대책
7	외부요인에 의한 불량	-단락사고 -절연파괴	-소금물 침입 -뇌서지침입 -수해	-盤 밀폐도의 향상 -절연협조의 향상

용이하며 低騒音등의 특성이 요구된다.

진공차단기 개폐기는 아크 에너지가 작기 때문에 접점의 소모가 거의 없어 많은 빈도용으로 적합하며 소형·경량이면서도 운전 보수면에서 장점을 갖고 있어 조상설비에 쓰면 유리한 점이 많다.

③ 高速電鐵이나 地下鐵

다른 차단기보다 소형·경량화가 이루어지고 있으며, 다빈도 개폐성능이 우수하고, 유지보수의 성격성이 뛰어난 등을 활용하여 고속철도의 전원설비, 지상전력설비, 차량탑재 구동회로 개폐기 등에 쓰일 수 있다.

④ 기타

VCB가 통전전류와 차단전류가 큰 강철플랜트, 화학플랜트 등의 수변전설비, 전기로, 선박, 광산의 특수 용도에 쓰이면 다른 차단기 보다 많은 장점을 갖고 있어 널리 쓰일 전망이다. 그러나 먼지나 부식 가스가 많은 곳은 보수회수를 늘려 점검해야 할 것이다.

3.3 問題點과 點檢事項

진공차단기가 사용되어 오늘날에 이르기까지 사고나 장애가 일어난 내용과 원인을 분석하고 이에 대한 대응책을 모아보면 다음 표 2와 같다.

그리고 생산자나 사용자가 다함께 점검을 요하는 내용을 정리하면 다음과 같다.

① 外部點檢

- 외부손상의 유무, 청결도
- 단자부 부착상태
- 부싱, 지지가 쉽고 barrier 등의 龜裂, 損傷, 清掃
- 인출장치의 이상유무, 인터록 장치 점검
- 단로부, 접촉부의 과열, 스퍼링類의 절손
- 濕氣, 汚損상태의 有無
- 其他

② 操作 機構部의 點檢

- 스프링, 핀등의 變形, 消耗의 유무, 청소, 給油
- 緩衝裝置의 點檢

- 접합부, 연결부, 봉합부의 점검조정
- 보조 개폐기의 점접상태, 불임 상태
- 제어회로의 리드선 손상, 단선의 점검
- 其他

③ 차단부의 點檢

- 진공밸브의 내전압 시험, 진공도 점검
- 전극소모량의 측정
- 진공밸브의 표면의 清掃
- 절연저항의 측정
- 접촉저항의 측정
- 기타

④ 개폐조작부

- 투입·인출, 인출자유조각 최저동작특정시험
- 불평형 시간의 측정
- 표시등, 표시기의 점검
- 제어회로의 절연저항의 측정
- 동작 회로의 기록
- 기타

⑤ 기타

- 압력계의 지시확인, 동작계의 확인, 점검
- 漏氣音
- 공기탱크의 排水
- 계기오차의 시험
- 압축공기계통의 접속점, 가스가 새는가 test
- 흡착판의 교환, 換氣 filter
- 비, 눈의 침입점검

4. 將來展望

4.1 技術發展展望

진공차단기·개폐기가 실용화 되기 시작한 1970년대 이후 미국, 일본, 영국, 독일에서 36KV 이하에서는 차츰 보급율이 높아지고 있고, 영구·개발도 진행되고 있다. 가스 차단기를 주로 사용하는 프랑스, 스웨덴도 진공차단기가 조금씩 채용되고 있으며, 그의 인도, 동남아시아 중동, 남아프리카, 중남미국가, 구소련등에서도 진공차단기가 채용되고 있다.

이와같은 수요증가는 진공차단기가 소형, 경량화하고, 수명이 길며 안전성이 우수하고, 현재 불연성이며, 유지보수가 간편한등 사회적 요구에 부합되기 때문이다. 현재 진공차단기·개폐기의 개폐서지

에 관한 실험 연구는 거의 완료되어가고 있으며, 서지에 대한 해석, 시뮬레이션에 관한 연구는 앞으로 많은 진보가 기대된다.

또 개폐장치의 인테리전트화와 함께, 반도체제품화로 지향할 때의 서지로 인한 오동작문제도 더욱 검토할 필요가 있다. 다음은 앞에서 대부분 언급한 내용이지만 진공차단기·개폐기의 장래전망을 각항목별로 간추린 것이다.

① 小形化

접촉자재료의 개발, 電極구조의 개선에 의해 진공밸브의 소형화의 연구와 함께 진공차단기의 소형화가 급속히 진행되고 있다.

② 大容量化

새로운 접촉자 재료의 개발이나 종자계전극구조의 적용에 의해 진공차단기의 대용량화가 진행되고 있다. 종자계전극을 사용하면 원리적으로 100KA 이상의 제품화가 가능하고 1차단점에서 13.8KV-100KA의 진공차단기가 제품화 되고 있다. 진공밸브를 병렬사용한 예에서는 정격전압 DC 44KV, 정격차단전류 130KA의 직류차단기가 있다.

큰 출력의 화력발전소나 원자력 발전소에서 발전소 보조기기의 대용량화에 사용되는 예가 증가하고 있고, 7.2KV-63KV 진공차단기의 적용이 증가하고 있다.

③ 高電壓化

진공밸브의 외측을 저압력 SF₆ 가스등으로 절연한 정격전압 74KV, 168KV의 진공차단기가 제품화되고 있다. 앞으로의 진공차단기의 고전압의 동향으로서는 SF₆ 가스 외부절연 압력을 증가하고, 진공밸브 소형화의 장점을 살린 전체로의 소형화가 가능한지? 또 가스차단기와 비교해서 가격 경쟁력이 있는지가 고압화의 문제이며 1차단점 168KV의 挑戰도 소형화와 가격이 열쇠이다.

④ 低서지化

차단전류 20KV까지의 저서지 진공차단기가 제품화 되어 있고, 현재는 일반용과 가격이 비싼 저서지용을 구별해서 제품화 되어 있지만, 장래 기술혁신이 진행되어 저서지 진공차단기로 통일될 것으로 전망한다. 그리고 차단전류도 20KV에서 31.5KA, 40KA의 것이 제품화 될 것으로 생각된다.

⑤ 용도의 다양화

진공차단기가 직류회로에 사용되고 있는 예는 극

히 한정되고 있지만, 진공식 고속도 차단기의 제품화에 의해 전기철도에, 이용될 것으로 전망된다.

250KV 초고압 다단자 직류송전의 보급이 지연되고 있는 원인중의 하나가, 초고압직류 차단기의 제품화가 지연되고 있기 때문이다. 장래 고압직류(HVDC)송전의 요구가 높아지면, 초고압직류차단기의 개발이 재개되리라고 생각한다.

⑥ 多頻度化

전동기 개폐용의 진공차단기는 일반적으로 전기적 수명이 25만회이지만, 24KV, 36KV의 전기로 개폐에 사용되고 있는 진공차단기·개폐기의 전기적 수명은 현재 10만회 이고, 자기부상식 고속철도 등에서는 더욱 긴 수명이 요구되고 있다. 새로운 접촉재료와 진공밸브의 개발이나 전극구조의 개량에 의해 다빈도화가 가능하다.

⑦ 인테리전트화 및 유지보수의 성력화

보수요원의 감소등에 대해 대처하기 위해 유지보수의 省力化가 요구되고 있다. 진공개폐장치에 대해서도 진공도감시, 조작코일의 단선검출, 개폐시간 감시, 발열감시등으로 이상검출기능을 부가시켜 자료처리에 의해, 이상의 예지, 열화검출을 행하는 인테리전트화나 유지보수의 省力化에 대해 연구가 진행될 것이다.

이상 현재 선진외국에서 진행되고 있는 진공차단기의 기술동향을 설명하였지만, 앞으로도 진공차단

기가 신뢰성과 안정성이 높은 성력화 차단기의 특징이 더욱 좋아지고 적용이 확대되리라 기대된다.

4.2 國內 技術水準과 展望

우리나라에서 생산되는 제품보다도 수입되는 완제품의 가격이 싼 현실에서 분전반제작시 주문사양에 VCB로 지정되는 경우를 위하여 생산회사는 기술적인 문제는 외국의 기술제휴회사에 의존하여 생산하고 있다. 국내 기술수준은 대략 다음 표3과 같다.

VCB를 처음으로 사용한 발전소에서 VCB 개폐서지에 대한 대책이 전혀 없어 만들어진 국산 대용량 전동기 소손되는 경향이 있어, VCB채용에 신중을 기하는 분위기 인듯하다. 그러나 앞에서 설명한 것처럼 VCB는 다른 차단기에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 따라서 사용 경험이 쌓이게 되면 점차 사용 분야가 넓어지고 수요가 급증하리라 전망된다.

수요량이 증가하면 차츰 제조기술뿐 아니라 설계기술이 우리손으로 해결할 수 있도록 개발될 것이며 소재산업도 따라서 이루어 질 것이므로 완전국산화의 시기가 점차 가까워지고 있다.

5. 맺음말

다른 차단기 보다 성능이 우수하고 수명이 길며 보수점검이 용이하고 소형 경량화가 가능한 VCB

표 3. 國內水準

區 分		技 術 水 準
메카니즘 (MECHANISM)	設計技術	모방설계에서 독자설계로 전환한 단계
	製造技術	- 국산화 완료(업체별로 완성시기는 약간씩 다름) - 정밀가공기술 未洽
	素材生産	일부소재 수입
眞空遮斷部	設計技術	- 외국기술도입에 의존함 - 독자설계를 위한 시험 및 분석시설 불충분으로 독자설계요원
	製造技術	- 외국기술을 도입하여 적용단계 - 대부분 수입설비에 의해 제조하며 점차 일부제조설비를 국산화 진행
	素材生産	접점재료 및 ceramic, bellows 등 주요부품을 수입하지만 bellows를 생산하는 회사도 있음
性 能 試 驗		- 일반 물리적검수 시험사항의 필요설비만 보유 - 단락시험, 실부하 개폐성능시험설비는 없음 - 서지억제를 위한 연구시험설비 전무

의 이론을 차단원리, 구조와 기능, 소호원리, 개폐서지현상등으로 나누어 원리를 설명하였다. 또 VCB가 각 분야의 전력설비에의 차단기로서 적합함을 기술적으로 검토하였으며, 장래에 대한 전망과 우리나라의 기술수준을 밝히므로써, VCB 생산업체에서는 기술제고 노력을 촉구하였으며, 산업계에서 새로 건설하거나 기존 설비를 개조할 때 VCB 채용을 위한 참고자료로 쓰이도록 노력하였다.

참 고 문 헌

- [1] 일본전기학회 기술보고서 “真空遮斷器·開閉器의 適用에 관하여” II 部 No, 197, 1985
- [2] 일본전기학회 기술보고서 “真空遮斷器·開閉器의 surge와 適用技術” II 部 No, 421, 1992
- [3] 東芝技術資料 “開閉 surge 現狀의 理論의 解説” 1983
- [4] K, Yokura. et al, “Multiple Restrking Voltage Effects in a Vacuum Circuit Breaker no Motor Insulation” IEEE Trans on Power Apparatus & System, Vol PAS-100, No. 4, pp. 1940~1947, 1981
- [5] T, Fuji. et al, “Three-phase Simultaneous Interrupting Inductive Current using Vacuum Switches Switches” IEEE Trans on Power Apparatus & SyStem, Vol PAS-93, No.1, pp. 264~271, 1973
- [6] A.N. Greenword, et al, “A Guide to the Application of Vacuum Circuit Breakers” IEEE Trans on Power Apparatus & SyStem, Vol PAS-90, No.4, pp. 1589~1597, 1971
- [7] M, Murano et al, “Voltage Escalation in Interrupting Inductive Current vy Vacuum Switches” IEEE Trans on Power Apparatus & SyStem, Vol PAS-93, No.1, pp. 264~271, 1974
- [8] J, Panek and K, G, Fehrle, “Overoltage Phenomena with Virtual Current Chopping in Three Phree Phase Circuit” IEEE Trans on Power Apparatus & SyStem, Vol PAS-94, No.4, pp. 1317~1325, 1975



이은웅(李殷雄)

1944년 8월 14일생, 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982~83, 1985~86년 캐나다 McGill대학 방문교수. 1984~85 당학회대전지부장. 1987~현재 평의원, 1989~90편수위원, 1991~92 학술이사. 현재 충남대공대 전기공학과 교수, 당학회 편집이사.



김종겸(金宗謙)

1961년 10월 3일생, 1984년 동아대 공대전기공학과 졸업. 1991년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 수자원 공사 입사. 현재 충남대 대학원 전기공학과 박사과정 및 대청용수관리사무소 근무.



김택수(金鐸洙)

1949년 5월 25일생, 1987년 서울산업대 졸업. 1992년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 한전입사. 현재 한전 기술연구원 전력연구실 책임연구원.



김옥동(金旭東)

1948년 4월 28일생, 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 현재 (주) 광명기전 연구소장.



김광훈(金光薰)

1945년 12월 30일생, 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 현재 현대중전기(주) 배전반설계부 이사