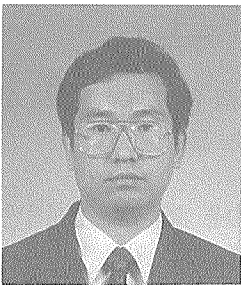


高壓用 가스 開閉器의 技術動向



産業技術情報院
電子電機室
研究員 裴 英 哲

I. 序 論

電力需要의 고도화, 다양화에 따라 공급 신뢰도 향상의 사회적 요구가 높아지고 있으며 이에 따른 전력설비의 소형화, 경량화 및 경제성의 필요가 대두되게 되었다.

이러한 사용자의 요구에 따라서 최근의 變電 및 受配電 設備에서는 주변환경을 고려하고 특히 도시에서의 좁은 공간에 전력설비를 설치하기 위한 전력설비의 소형화나 축소화가 요구되며 이와같은 防災上의 관점에서 不燃化, 難燃化가 要求되고 있다.

이와같은 추세를 반영하기 위한 變電 및 受配電 분야에서는 SF₆가스 絶緣機器의 사용이 주목되어져

왔다.

즉 SF₆ 絶緣機器의 사용은 機器設置에 필요한 공간을 현저히 줄일 수 있고 다음에 不燃性を 높여 신뢰성을 확보할 수 있다.

덧붙여서 66KV 이상의 變電 분야에서는 70년대부터 油絶緣機器에 대체하여 가스絶緣變壓器, 가스遮斷器, 가스絶緣 개폐장치가 보급되기 시작하였다.

그러나 SF₆의 이용범위는 최근에 특별고압 24KV나 36KV의 설비로 확대되고 있고 이것은 7.2KV의 受配電機器에 까지 이용하기 시작함을 의미한다.

그런데 7.2~36KV의 電壓분야에 특히 주목받고 있는 것은 負荷開閉器의 기술동향이다. 負荷開閉器 분야에서 難燃化, 不燃化가 과거의 油入開閉器를 氣中이나 眞空開閉器에 설치 대체하는 것 까지 추진되어 온 것은 주지의 사실이다.

이러한 연유로 가스개폐기를 개조하여 사용하는 것이 각광을 받고 있고 서두에서 언급한 縮小化, 不燃化 및 保守省力化를 위한 耐環境性이 높고 물 근방에 설치시에 絶緣劣化를 고려하는 기구가 요구되기 시작하였다.

지금 실용상 負荷開閉器는 負荷開閉器 性能뿐만 아니라 斷路性能이 요구되고 있다. 즉 負荷開閉 斷路器로서 사용되는 경우가 많다.

그래서 SF₆가스를 絶緣媒體로 이용한 開閉器의 발군의 斷路性能과 그 신뢰성 평가로서 더욱더 일층의 保守의 용이화와 자동화, 보수경비의 절감등이 실현될 수 있다는 것이 확실하여졌다.

앞으로 7.2~36KV의 수용가 설비에서도 SF₆가스 負荷開閉器가 급속하게 보급될 것으로 예상되어 진다.

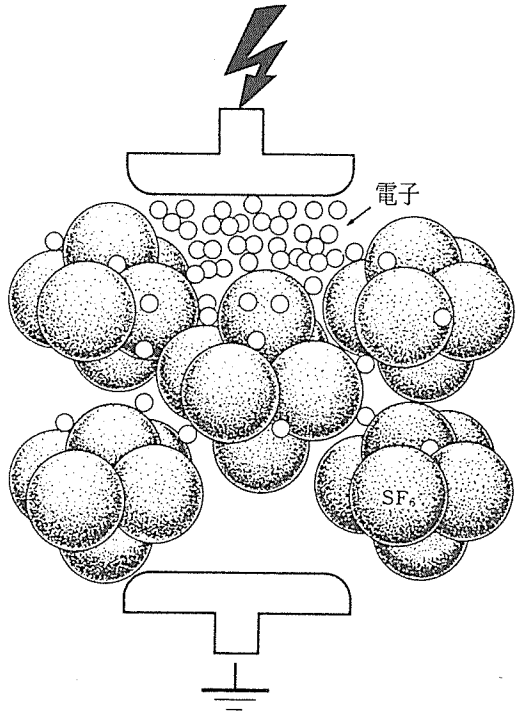
II. 絶緣媒體로서 空氣·眞空·SF₆ 가스의 비교

독일의 물리학자 패센은 19세기말에 空氣壓力과 絶緣耐力과의 관계를 설명하였다.

空氣는 70% 窒素, 20% 酸素, 10% 水素로 구성되어 있으며 氣中絶緣의 경우 配電盤에서는 大氣壓에서의 통상의 絶緣間隙을 가지는 경우에 그 空氣를 구성하는 각종 分子가 課電된 導體의 주위에 존재하는 荷電粒子(이온이나 電子)의 이동에 제동을 거는

작용을 가지고 충분한 絶緣耐力을 확보할 수 있다.

그림 1은 이상의 설명을 그림으로 표시한 것이다.



(그림-1) SF₆의 큰 분자가 전자의 이동에 제동을 거는 모습

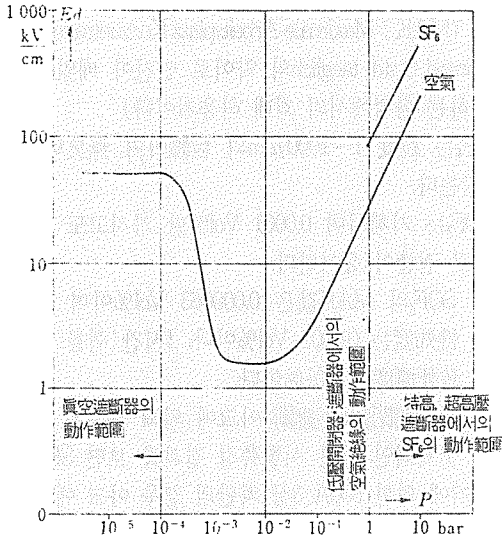
만약 空氣壓力을 常壓보다 높게하면 동일한 絶緣間隙에서도 絶緣耐力은 일단 높아지고 空氣가 水分을 흡수하는 경우에는 코로나 放電이 발생하고 空氣가 쉽게 이온화되어 도리어 絶緣耐力의 低下를 가져온다.

그러나 氣壓을 낮추고 空氣密度를 낮게 하면 예를 들어 한라산의 정상보다 높은 장소에서는 一定容積中の 가스 分子의 수가 반으로 줄어들게 됨으로써 絶緣耐力은 그 분포가 확실하게 저하된다면 配電盤의 絶緣間隙은 통상보다도 확대하지 않으면 안된다.

空氣壓을 더욱더 낮추게 되면 絶緣耐力은 더욱더 낮아지고 眞空에 근접한 부근으로 極少點을 통과하면 패센의 곡선은 그림 2에 표시한 것과 같이 反轉하며 絶緣耐力은 급격히 상승한다.

眞空開閉器에서는 이러한 고도의 진공영역을 消弧와 絶緣에 이용하여 고성능을 발휘하고 많은 진공누

설이 발생하는 경우에는 앞서 설명한 絶緣耐力の 極少点を 경유한 大氣壓에 복귀하기 위하여 짧은 開離接點間隙으로 閃絡의 위험이 있다.



〈그림-2〉 空氣→眞空의 絶緣耐力の 변화 (패센의 법칙)

眞空度を 증가하는 과정은 部品材料에서 不純物分子를 흡입하여 眞空중으로 확산하면 이 경우에도 閃絡을 유발하는 원인이 된다. 따라서 眞空밸브의 내부에는 충분한 가스를 빼기 위한 깨끗한 부품을 사용하지 않으면 안된다.

이상에 대하여 分子量의 대부분은 SF₆ 가스 분자가 絶緣에 사용하는 경우에는 상황이 다르다. 絶緣間隙에 SF₆ 가스 분자를 가득 채우면 荷電粒子(電子 및 이온)의 이동에 제동을 가하게 되고 空氣絶緣에 대하여 특별히 높은 絶緣耐력을 얻을 수 있다. 따라서 SF₆ 가스 絶緣의 전기설비나 기기는 특별히 소형으로 할 수 있다.

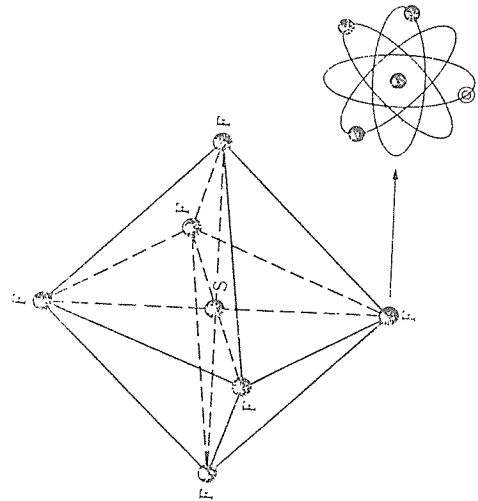
이때 가스가 누설되는 경우에도 開離接點間의 閃絡으로 발전할 가능성은 적어진다.

라 한다

1930년대에는 많은 과학자가 특별히 이 SF₆ 가스의 絶緣특성에 대하여 조사하였다. 1939년 부터 1948년의 10년간에 케이블 변압기 등의 高電壓 技術에서의 각종 응용에 대하여 특허가 신청되었다.

다음에 1960년부터 구미에서는 SF₆ 가스가 超高壓用 遮斷器의 絶緣 및 消弧材料로서 사용되기 시작하였다.

순수한 SF₆ 가스는 無毒으로 化學的으로 不活性이며 無色, 無臭의 성질을 가지고 또한 不燃性을 지닌다. 따라서 酸化하는 물에 녹지 않는다. SF₆ 가스는 공기보다 5배가 무겁다. 600°C이하의 온도에서는 분해가 되지 않는다. SF₆의 분자는 正 팔면체로 구성되어 있고 고 각선단에 불소원자가 결합된 모습을 가진다. 이를 그림으로 나타내면 그림 3과 같다.



〈그림-3〉 SF₆ 가스分子的 모형도

지금 SF₆는 電解法으로 얻은 불소와 이온의 화학에 의한 제조에 대하여 소개한다.

III. SF₆ 가스의 발견과 제조

1900년에 파리대학 약학부에서는 전기화학적 방법으로 얻은 불소를 이온에 작용하여 특별히 극한 不活性한 가스를 얻었다. 이것을 육불화 이온 SF₆ 가스

IV. SF₆ 가스의 성분

IEC 376에서는 SF₆ 가스의 성분을 다음과 같이 규정하였다. 여기에서 나타난 값은 液體의 성분을 기준으로 하였다.

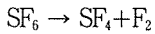
空氣	< 500重量 PPM
CF ₄	< 500重量 PPM
H ₂ O	15重量 PPM
HF	0.3重量 PPM
水素와 결합가능한 불소	1重量 PPM
鑼油	10重量 PPM

V. 아크열에 의해 분해된 SF₆ 가스의 이동

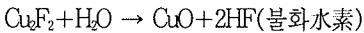
開閉器가 遮斷動作을 하고 遮斷 아크의 고온에 의한 SF₆ 가스 分子를 분해하면 SF₆ 가스중에 존재하는 불순물은 開閉器의 部品과 반응하여 고체 및 가스 형태의 생성물이 나온다. 이러한 생성물은 양호한 절연물이며 開閉器내의 수분 함유율이 극히 적은 경우에는 開閉器의 전기적 성능에 나쁜 영향을 미치지 아니한다.

그러나 수분이 존재하고 다음에 표시한 식에 반응을 일으키며 불화수소 또는 불산을 만들면 유리나 磁器는 용이하게 부식시킬 수 있다.

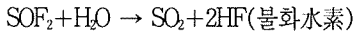
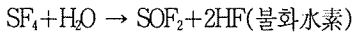
즉 아크에 의한 SF₆ 가스의 분해는



위식의 불소와 화합한 接點材料 Cu₂F₂와 水分이 反應하면



지금 SF₄ 가스와 물의 반응은



가 되며 불화水素를 발생한다.

따라서 유리나 磁氣등은 SF₆ 가스 開閉器의 消弧室등의 사용을 피하지 아니하여도 된다.

이것과 다른 은, 알루미늄, 동은 진공속에서 불화수소에 의한 부식은 일어나지 않는다. 에폭시 수지나 폴리에틸렌 및 塩化비닐 등의 樹脂도 부식되지 않는다.

아크의 고열에 의해 분해된 SF₄와 F₂는 消弧 후 다시 재결합하여 대부분은 SF₆에 복원된다. 이 복원된 체적은 전체의 87%이며 13%는 非可逆的인 분해이다.

이것들의 대부분은 다음의 3종류로 나뉜다.

- 2.83 Vol%는 CF₄, 고체(MAK. 10 PPM)
- 2.88 Vol%는 SiF₄, 고체(MAK, 0.6 PPM)
- 3.95 Vol%는 SOF₂, 기체(MAK 0.63 PPM)

* (MAK : Maximale Arbeitsplatz Konzentration während 8 std. taeglich의 약어로 인간이 매일 8시간 작업하는 환경에서의 최대 허용치이다)

SiF₄는 粒度 1-1000μm의 粒體이며 無臭의 성질을 갖는다.

SOF₂는 기체이며 0.0001 Vol%만 가지고도 악취가 나므로 검출이 용이하다.

즉 SOF₂의 MAK값은 0.000063 Vol%이며 악취에 의한 檢知度는 0.0001 Vol%이다. 1시간 쥐를 방치한 경우 致死濃度는 0.01%이다.

다음에 開閉器의 遮斷 아크에 의해 분해된 SF₆ 가스의 구체적인 양은 시험측정 결과를 보면 SF₆ 가스 개폐기에 의한 600A 3상 차단기의 경우 아크 에너지는 1회에 약 1Kw이다.

600A를 200회 차단하는 경우의 아크에너지 적산치는 600Kws정도이며 그 에너지에 의하여 분해되는 SF₆ 가스의 體積 V는

$$V = 600Kws \times 4cm^3 / Kws = 2.41$$

2.41의 약 13%는 非可逆的인 분해이며 즉 0.3121이 非可逆化合 生成物로서 잔류하게 된다.

VI. SF₆ 가스의 消弧性能

SF₆ 가스중의 아크시간은 동일의 회로 조건에 대하여 氣中の 약 1/100이다.

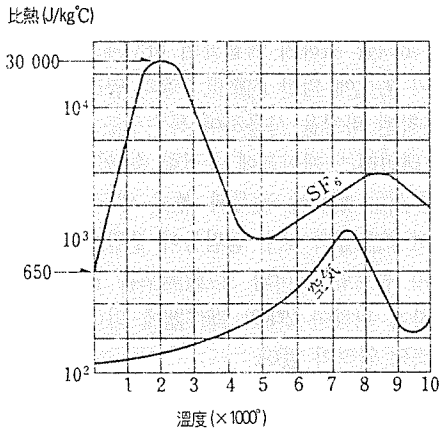
SF₆ 가스중에는 그림 4의 (1)에 표시한 2000℃ 전후의 비열이 가장 중요한 의미를 가진다. 이것은 그림 4의 (2)에 표시한 것과 같이 SF₆ 가스가 2000℃ 부근에서 급격한 解離反應이 시작되고 열 에너지를 필요로 하게 된다.

지금 8000℃ 부근에서는 SF₆ 가스가 이온화의 상태이며 도전율이 급속하게 변화하지만 그림 4의 (1)에서 본 것과 같이 比熱은 작아진 상태이다.

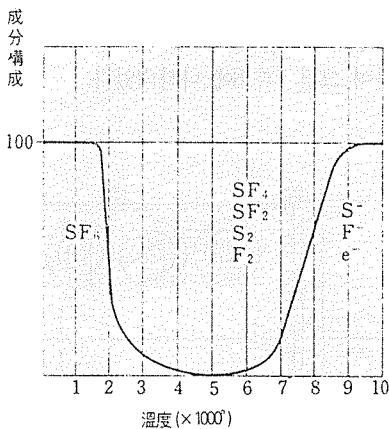
즉 SF₆ 가스중에는 아크의 중심 부근에서 導電率이 높고 比熱은 낮다.

이러한 상호를 얻을 때에 外炎部에서는 역으로 도전율이 낮고 비열은 크다.

즉 아크 熱流은 외측에서 비열의 큰 부분에 흡수 된다. 결국 冷却效果가 발생한다.



(1) 比熱

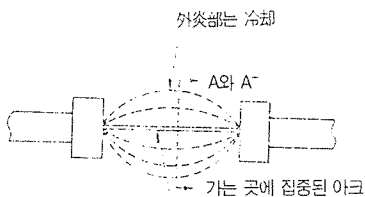


(2) 分子構造의 熱變化

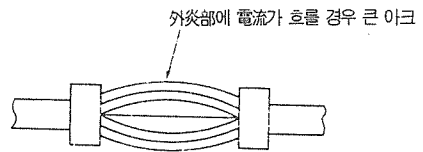
〈그림-4〉 SF₆의 특성

지금 고온의 중심부로 전류가 흐르면 그림 5의(1) 모양에서 가는 곳에 집중된 아크가 이웃하게 된다.

그위에 이 가는 곳에 있는 아크중의 전자는 분자에 부착된 것을 없애 버리기 위해 絶緣 回復速度는 극히 빠르다.



(1) SF₆가스의 아크



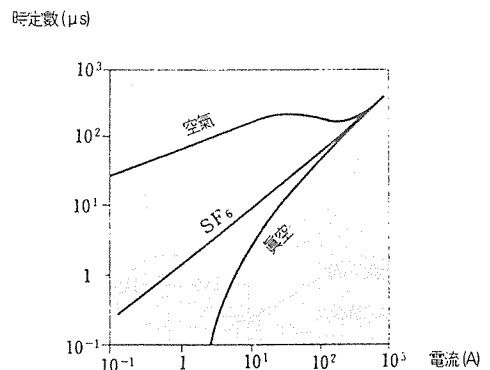
(2) 空氣中の 아크

〈그림-5〉 아크의 비교

그림 6은 絶緣回復 時定의 관계를 공기 SF₆ 진공과 상호 비교한 그림이다.

그림 6의 특성에서 살펴보면 전류가 0인 부근에서의 SF₆ 가스의 絶緣 回復時間은 空氣의 약 1/200정도이다.

이 絶緣回復의 속도는 아크 기둥의 단면적에 반비례 한다. 한편 SF₆ 가스중의 아크는 적은 전류로서 가는 弧心部를 유지할 수 있고 전류 영점에서 급속하게 絶緣이 회복된다. 즉 전류를 끊어 버리면 서지 전압도 발생하지 않는다.



〈그림-6〉 絶緣回復時定數

VII. 高壓交流가스 切替 開閉器

본 開閉器는 지금까지 기술한 SF₆ 가스에서 아주 우수한 몇가지 특성을 가진 것으로 7.2KV 配電網에서의 “常用豫備線 切替器”나 “商用 自家發 切替器”에 활용되고 가스 切替開閉器로서 市場에 처음으로 나온 제품이다.(일본 松下제품)

이 高壓交流 가스 切替開閉器에 어떻게 SF₆ 가스를 사용하고 우수한 성능에 기여할 수 있는가를 지금 특징과 구조면 보다도 어떻게 높은 안전성과 보유했을 수 있는가에 대해서 기술한다.

1. 開發目的과 適應性

본 開閉器는 無保守 無点檢, 고성능 고신뢰성, 소형 경량화를 주목적으로 하여 개발하였다. 배전망의 합리적인 운용과 과급사고 방지를 위하여 높은 안전성과 신뢰성이 市場에서 강하게 요구되고 있는 현상과 과거의 배전망, 절연방식이 급격하게 가스絶緣化로 바뀌어가고 있는 상황에다 보수, 점검을 불필요하는 에너지 절약화시대의 요구를 완전히 충족하기 위한 제품으로서 개발하였다.

병원, 은행등의 정전이 허락되지 않은 시설, 消防法으로 규제되는 특정 방화 대상물, 停電으로서 많은 손실을 가져올 수 있는 産業施設 등을 최적화하여 높은 안전성과 신뢰성을 갖춘 제품이다.

2. 구조

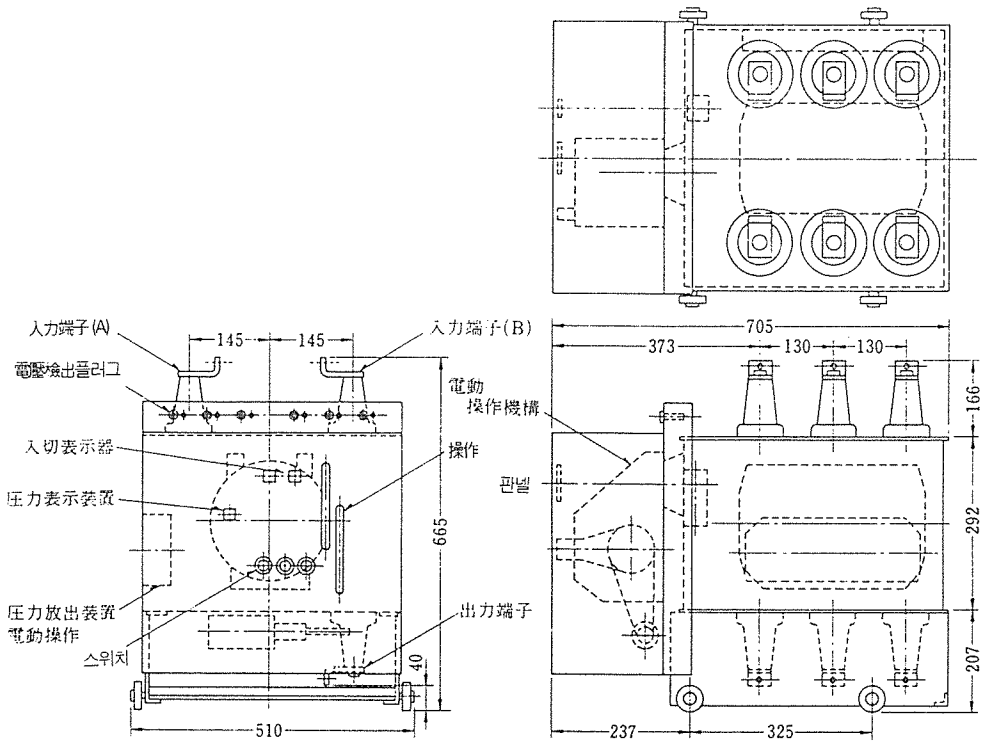
본 開閉器의 本體 구조는 스테인레스 케이스의 가스·密熔接에 의한 완전 봉합된 구조를 가지고 있고 가스 密封을 위하여 예를들면 바킹재료 등의 사용을 위하여 劣化에 의한 內壓低下 등의 염려가 없다. 붓싱에 부착된 바킹을 사용하여 특수구조의 플랜지가 직접 스테인레스 케이블에 용접할 수 있다.

操作器는 耐食性 部品과 乾式 베어링을 사용하기 위하여 給油 등의 보수 점검등이 불필요하다.

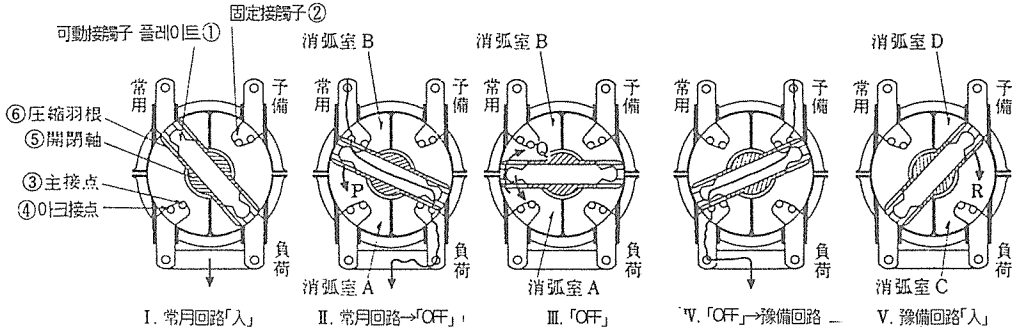
常用 뉴트럴 예비의 3位置開閉를 1대의 操作器로 실현하기 위하여 2대의 操作器에 의한 경우등의 投入短絡의 염려가 없다.

常用에서 豫備로의 切替開閉器 조작에서는 필히 뉴트럴 위치를 경유하기 위한 적절한 切替時間의 설정이 가능하다.

이 개발된 開閉器의 外形의인 단면도와 開閉動作에 대하여 그림 7과 8에 나타내었다.



(그림-7) 외형 단면도



(그림-8) 開閉動作(常用回路 → OFF → 豫備 回路)

開閉操作에 힘을 적게 들게 하기 위하여 電動式에
서는 조작전압에 관계없고 手動操作에서는 수동조작
속도에 관계없이 항상 安定한 投入, 遮斷特性을 얻을
수 있다.

3. 性能

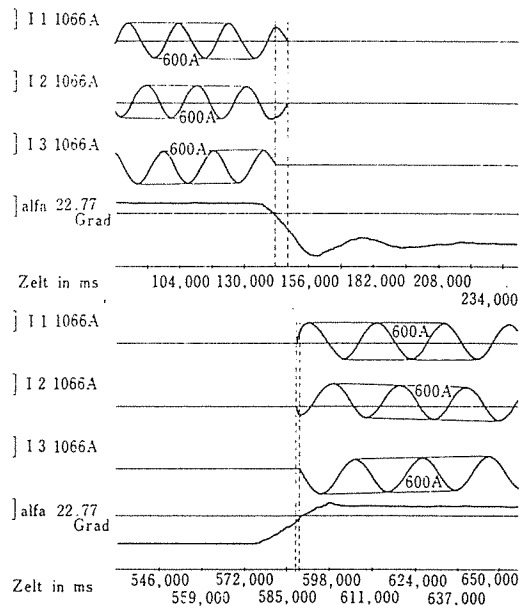
本 開閉器는 JISC 4605 高壓交流負荷 開閉器의 규격
에 적합하며 성능의 상세한 설명은 표 1에 나타내었다.

(표-1) CEL GIS-D高壓交流 가스 切替開閉器·定格仕様

形 式		CGD-76MFA
定 格 電 壓		7.2kV
定 格 周 波 數		50/60Hz
定 格 電 流		600A
定 格 投 入 電 流		31.5KA
定 格 短 時 間 電 流		12.5KA
開 閉 性 能	勵 磁 電 流	40A
	充 電 電 流	40A
	負 荷 電 流	定格電流 600A×200회 20A×1000회
	定格過負荷遮斷電流*	1200A×2회
	無 負 荷 開 閉	1000회
	定格負荷電流遮斷에 의한 時間	10mS 以下
	無負荷投入·開極時間	各1.25秒(DC100V)
商 波 用 耐 周 壓	主回路大地·異相主回 路間	22KV×1分間
	同相主回路間	35KV×1分間
衝 耐 擊 波 壓	主回路大地·異相主回 路間	60KV(1×40μs)
	同 相 主 回 路 間	70KV(1×40μs)
操 作	操 作 方 法	電動·스프링
	操 作 電 壓	DC100V(6A/0.8A) AC100·200V
總 質 量		80kg
準 據 規 格		JISC 4605

註) * JISC 4607의 기준

표 1에 따른 負荷電流 開閉性能을 그림 9에 표시
하였다.



(그림-9) 負荷電流遮斷 오실로 그래프 파형

絶緣媒體 및 消弧媒體로서 앞서 설명한 SF₆ 가스를
사용한다. 스프링 및 遮斷動作時에는 可動接点保持 絶緣物의 回轉에 의한 피스톤 효과보다 SF₆ 가스를
아크에 내어댈는 교묘한 구조로서 확실히 아크를
消弧한다. 지금 10분의 여유를 가진 投入 스프링 보
다 31.5KV의 短絡投入를 가지고 있다.

4. 安全性和 信賴性

확실한 투입 차단성능과 절연성능에 있어서 開閉
는 密閉 스텐레스 용기내에서 행하기 위하여 안전성
은 극히 높아야 하고 지금 만일 가스가 누설되는 경

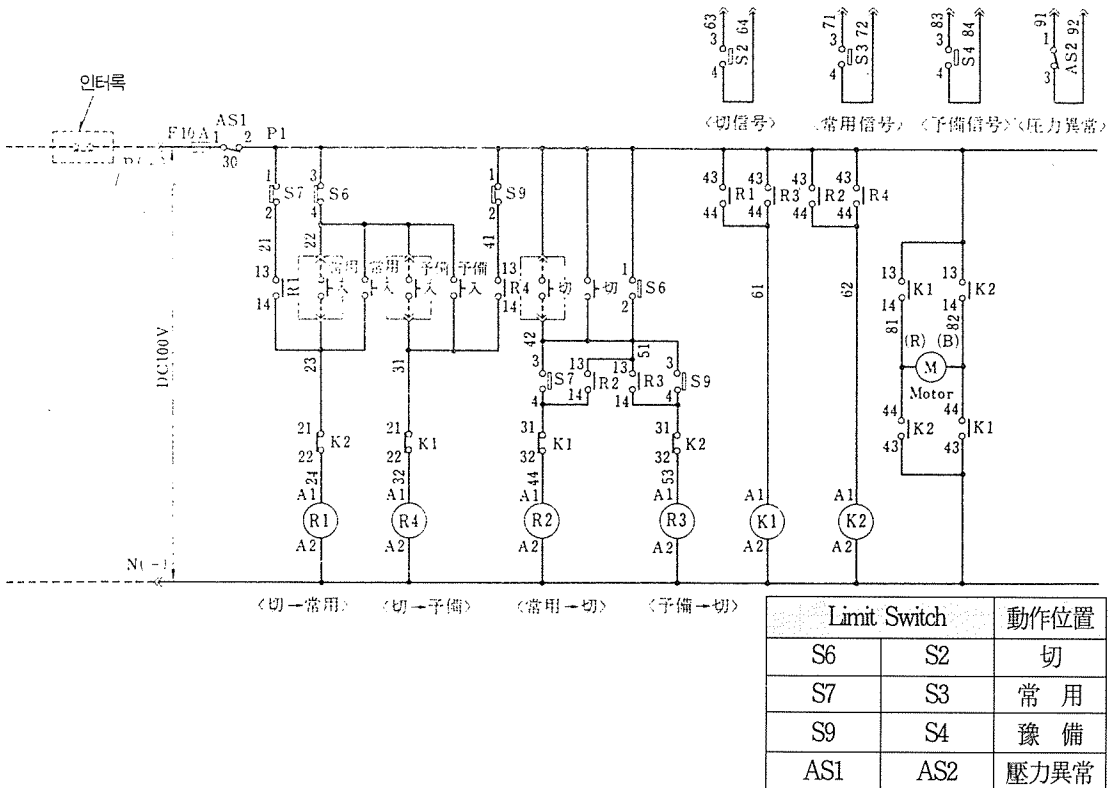
우는 특수한 磁氣 連結裝置보다 내부 가스 압력의 저하가 容器 외부에 표시하여 경보를 내는 동시에 電動操作器를 로컬로 開閉하지 않은 상태로 둔다. 또한 압력 표시 장치는 용기의 외부를 磁氣 커플링으로 연결하고 용기에는 정보전달 수단을 위한 貫通部가 존재하지 않는다.

지금 가스 누설후의 상태에서도 운전 전압에 대한 지장이 없는 절연설계를 할 수 있다.

이러한 최악의 경우로 용기내에 고 아크가 발생할 때 용기 내압이 급격하게 상승하는 경우는 안전弁이 동작하여 압력상승을 조절한다.

역시 앞서 설명한 바와 같이 常用 뉴트럴 豫備의 3位置開發은 1대의 조작기로 실현하기 위하여 常用, 豫備線間의 短絡事故는 일어나지 않는다.

개발된 개폐기의 제어회로도 그림 10과 같다.



(그림-10) 制御回路圖

Ⅷ. 結 論

지금까지 설명한 제품을 요약해 보면 1대의 消弧室과 1대의 操作器, 한편으로 SF₆ 가스 봉입, 소형 컨버터 등 切替開閉器가 실현되었다.

消弧室 및 다른 고압부는 모두 가스 멸용점에 의한 봉입 절단의 스텐레스 용기내에 넣고 SF₆ 가스로 절연하기 위한 와기의 영향이나 零壓氣의 영향받는

것을 고려하고 經年변화에 의한 바킹劣화에 기인하는 가스 누설을 염려하지 않고 유지보수를 자유롭게 하기 위한 경제성을 높이고 시대의 요구에 맞추어서 제품을 만들었다.

이러한 종류의 고압가스 개폐기는 시대적 요청과 기술적인 보완으로 많이 사용될 것으로 예측되며 시장성도 넓어질 것으로 생각된다.