

電氣設備의 트러블 對策

5

V. 가스壓 低下로 發生하는 트러블

60kV 이상의 受變電設備는 空氣絶緣方式인 屋外鐵構式, 큐비클(Cubicle) 方式의 變電所로부터 SF₆ 가스를 絶緣매체로 한 가스絶緣변전소(GIS)로 크게 변천해 왔다. 이것은 사회정세의 변화와 함께 受變電設備에 대한 要求機能도 간단히 전력을 受電할 뿐만 아니라 縮小化, 高信賴度化, 省力化, 環境調和化 등과 高度化, 多樣化되어온 결과이며 GIS는 이들의 要求機能을 충족시키는 受變電設備로서 '70년부터 실용화되어 왔다(그림 1).

GIS는 탁월한 絶緣성능을 가지고 있고 化學的으로도 不活性인 SF₆ 가스로 高電壓充電部를 絶緣하여 接地金屬容量에 밀봉한 것을 基本構造로 하고 있으며 그 特徵도 SF₆ 가스의 特性에 기인한다 해도 과언이 아니다.

여기서는 GIS의 가스低下와 관련하여 SF₆ 가스의 特性과 GIS를 장기간 안전하게 사용하기 위하여 해결해야 할 문제와 그 기술적 대응책에 관하여 설명함과 동시에 유지보수點檢의 方法, 事故障害의 상황에 관하여 소개한다.

1. SF₆ 가스의 特性

SF₆ 가스는 무색, 무독, 不燃性的 安定된 氣體

이며 그 실용상의 성능으로서 특히 絶緣성능 및 消弧能力이 우수하다.

가. 絶緣性能

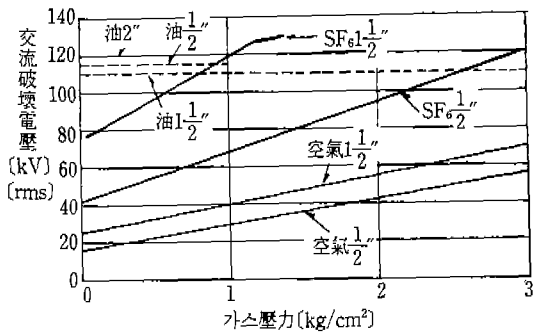
그림 2에 나타낸 바와 같이 SF₆ 가스는 同一壓力의 공기와 비교하여 2.5~3.5倍의 絶緣내력이 있고 3~4 氣壓에서 絶緣유와 同一能力을 가지고 있다. 交流電壓에 있어서 最低放電開始電壓은 실용적인 電極配置 및 가스壓力에 있어서 다음 式으로 표시된다.

$$V_{br} = k \times P^n \times u \times l$$

여기서 V_{br} 은 最低放電開始電壓(kV), k (kV/cm·atm)은 定數로서, 電極의 形狀, 表面의 精度, 材質, 電極間值數 등으로부터 정해지며 실용



<그림 1> 72/84kV 全 3相-活形 GIS



(주) 電極形狀 0.5인치 球對 3인치 平板 그림중의 數値는 갭 길이(인치)를 나타냄.

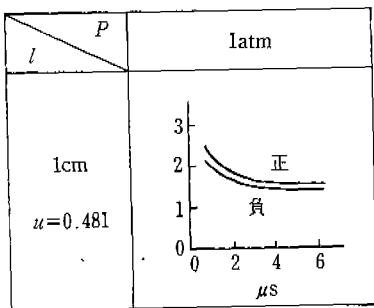
<그림 2>

적으로는 80정도이다. l 는 電極間值數(cm), u 는 電極系의 電界分布를 계산하여 얻어지는 定數이며, 電極表面의 最大電界 E_{max} 로 電極間의 平均電界 E_{ac} 를 제한 값이다. P 는 氣의 壓力(atm), n 는 定數로서 실험결과에서 약 0.8의 값이다.

이 式은 充流電壓에 있어서 放電開始電壓에도 適用하고 직류전압, 충격과전압 및 개폐서지에 대해서도 適用할 수 있다. 다만, 충격과 및 開閉서지의 放電開始電壓은 교류전압보다 높아 그림 3과 같은 $V-t$ 특성을 가지고 있다.

나. 消弧能力

SF_6 氣의 消弧能力은 空氣보다도 훨씬 우수



<그림 3> SF_6 氣중 갭 $V-t$ 特性曲線

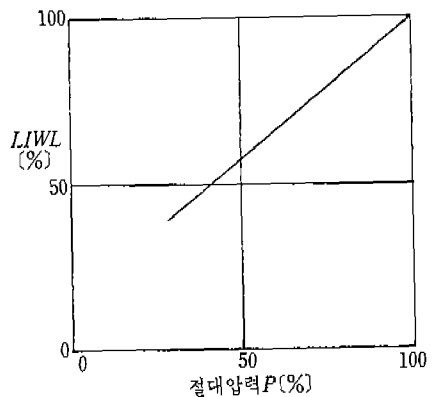
하다. 이것은 SF_6 氣가 이온 捕獲性이 강해서 Mobility(移動度)가 적기 때문에 고온에서 특이한 熱力學的性質이 작용하는 것으로 생각된다. 그러므로 大電流의 차단능력에 뛰어나다.

2. 長期間 使用에 의한 問題點과 그 對策

GIS를 長期間 사용하는데 있어서 생각되는 問題는 氣壓의 低下, 水分의 混入 등이 있으나 이에 대한 技術적인 검토, 검증 및 대책이 강구되고 있으며 實用上 아무 問題도 없음이 확인되고 있다.

가. 氣壓力下에 의한 絶緣耐力의 低下

GIS는 定格氣壓보다 낮은 氣壓의 一定值로 設定된 低壓警報壓力(또는 鎖錠壓力)에서 所要되는 耐電壓性能을 가진 설계가 되는데 만일 氣壓力이 此값의 以下로 될 경우에는 그림 4에서 보인 耐電壓特性에 따라서 絶緣耐力는 저하한다. 이것은 앞서 記述한 絶緣耐力와 氣壓의 關係를 그래프化한 것이며 絶緣 耐力는 氣壓의 거의 0.8乘에 比例한다. 예를 들어 7.7kV 系統의 機



<그림 4> SF_6 氣壓力과 絶緣耐力(LIWL 基準)과의 關係

기로 설명하면 3kg/cm²(게이지壓力)에서 400kV의 레임펄스(Impulse)에 견디는 機器의 가스壓이 0kg/cm²(게이지壓力)로 低下할 경우의 耐電壓은 다음 式과 같다.

$$\frac{400}{(3+1)^{0.8}} = 133(\text{kV})$$

交流耐電壓은 피크值에서 레임펄스의 1/1.2~1.4 정도이므로 交流의 耐電壓은 다음과 같다.

$$133/\sqrt{2} (1.2\sim 1.4) = 78\sim 67(\text{kV}) (\text{rms})$$

GIS가스 密封에 대한 信賴性은 과거 수십년 아래의 실적에서도 충분히 확인되고 있으며 가스壓이 大氣壓에까지 低下하는 상태는 일어날 수 없다고 생각되지만 일반적으로 大氣壓까지 저하하여도 正規使用電壓(77/√3 kV)에는 견디는 것을 알 수 있다.

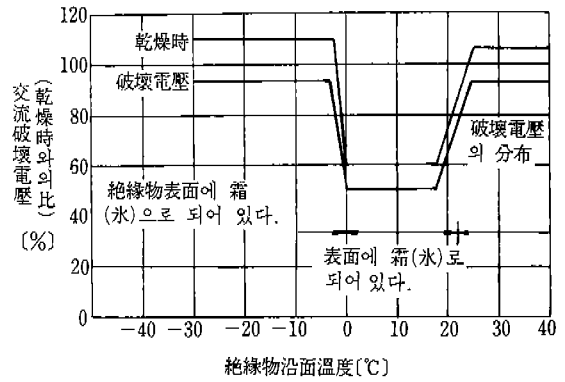
나. 水分의 混入

그림 5에서 보인 바와 같이 SF₆ 가스中에 水分이 混入되어 絶緣物표면에 水滴(露)이 끼면 絶緣 내력은 저하하지만 混入水分量이 적어서 結露가 없으면 耐電壓의 저하는 없다. 또 絶緣物표면에 水滴이 아니라 氷(霜)의 상태로 附着되어도 絶緣 내력의 저하는 없기 때문에 가스中의 水分이 低溫時에 水滴이 되지 않고, 氷이 되도록 水蒸氣의 水點을 잘 관리하면 좋다. 통상 露點을 -5℃ 이하로 관리하는 것이 바람직하며 이때의 許容水分量은 표 1과 같이 나타나 있다.

또한 實際의 運用面에서는 가스中의 水分을 管理值 이하로 유지하기 위하여 吸着劑가 封入되어 있고 그 量은 50년 이상의 長期間使用에 견디는 설계로 되어 있다.

가스中의 水分量表示方法으로서 표 1에서도 보인 바와 같이 ppm(體積)이 일반적으로 이용되어

$$\begin{aligned} \text{ppm(體積)} &= \frac{\text{물의 分子數}}{\text{가스의 分子數}} \times 10^6 \\ &= \frac{\text{水蒸氣分壓}}{\text{가스의 全壓}} \times 10^6 \end{aligned}$$



(주) 水分量 一定, 가스溫度變化
SF₆ 가스壓 : 1.5kg/cm²,
水分壓 : 11.8mmHg(5,700ppm)

<그림 5> 水分多量인 경우의 溫度와 破壞電壓

<표 1> 許容水分量

區 分	分解가스가 發生하지 않는 機器	分解가스가 發生하는 機器
管理值	500ppm(體積)	150ppm(體積)
許容量	1,000ppm(體積)	300ppm(體積)

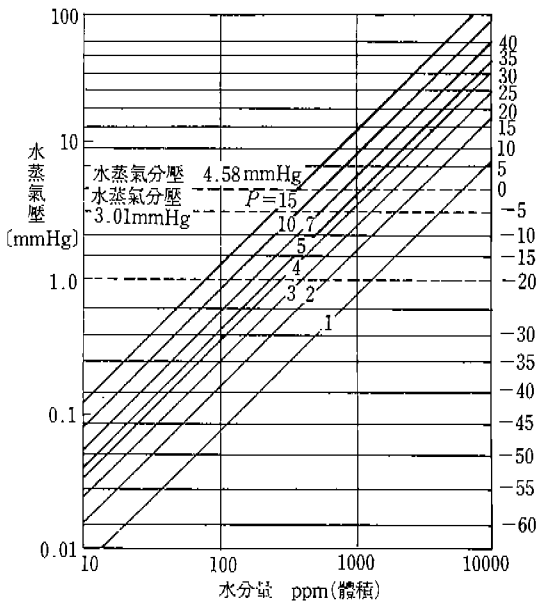
(주) 適用壓力範圍 3.0~6.0kg/cm²

으로 나타내며 그림 6과 같은 관계가 성립된다.

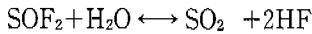
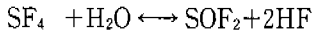
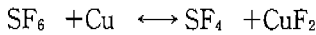
그림에서 알 수 있듯이 가스中에 許容可能水分量은 가스壓에 反比例하는 것에서 가스壓의 低下와는 반대로 水分의 허용량을 증가시키는 것이 可能하게 된다. 이것으로부터 가스壓低下時의 水分의 영향은 생각하지 않아도 좋다고 한다.

다. 水分과 分解가스

SF₆ 가스는 常溫에서는 극히 安定된 가스지만 고온의 電流아크에 노출된 경우에는 약간의 分解現象이 보인다. 보통은 분해후 급속히 재결합하여 안정된 SF₆ 가스로 되돌아 가지만 水分이 존재하면 微量의 分解가스가 發弧電極의 材料와 反應하여 低位의 불화유황가스와 微粉狀의 析出物이 보인다. 그 化學反應은 주로 다음과 같이 나타난다.



<그림 6> 飽和水蒸氣分壓과 水分濃度·露點의 關係

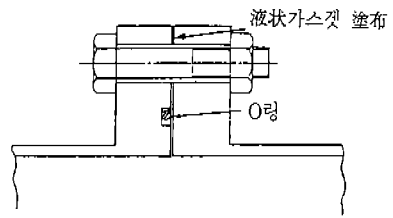


그렇지만 차단기내에서 발생하는 분해가스량은 遮斷電流, 차단회수 및 接點材料 등에 의하여 결정되는데 吸着劑가 없는 경우에 장기간 사용하더라도 1~3% 정도이며 문제가 되는 값은 아니다. 더욱이 吸着劑가 封入되어 있으며 分解가스 및 水分량은 극히 낮은 값으로 관리되고 있어서 전기적 특성에의 영향은 없다고 한다.

3. 密封技術과 가스누출 對策

GIS는 가스를 開封하는 構造이기 때문에 密封技術은 매우 중요한 것의 하나로서 장기간의 연구와 실적에 따라 일반적으로 요구되는 年 1%의 누출률로 충분히 여유도가 있는 뛰어난 技術이 확립되어 있다.

여기서는 機器接屬部分의 密封構造와 그림 7에서 보는 바와 같이 “O”링(Ring)과 액체가스켓에



<그림 7> 플랜지部의 密封構造

의한 2중실 方式이 일반적으로 채용되고 있다.

O링은 ① 材料의 耐SF₆ 分解가스性, ② 溫度特性, ③ 耐久性, ④ 水分을 透過하지 않는 것에서 통상 네오프렌(Neopren)系고무가 이용된다.

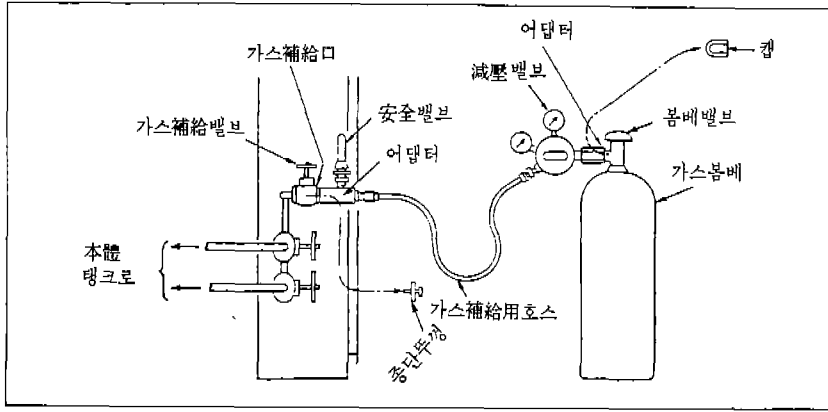
O링의 大氣側에는 액체가스켓이 사용되고 있으며 ① 氣密의 백업(Back Up), ② O링의 酸素·오존(O₃)에 의한 劣化防止, ③ 플랜지接屬面の 防鏽役割을 다하고 있다. 이밖에 O링이 2重으로 사용되는 예도 있다.

가. 가스漏出管理

가스누출의 관리방법으로는 ① 工場에서의 組立後 또는 現地에서의 設置後에 실시되는 리크테스트(Leak Test)와 ② 운전중의 監視로 나뉘어



<그림 8> 가스리크 디텍터에 의한 가스누출테스트



<그림 9> 가스補給圖

진다.

그림 8은 가스리크디텍터(Gas Leak Detector)에 의한 가스누출 확인의 실시상태를 나타낸다. 플랜지접속 부분에 감긴 비닐봉지 안에 測定針을 넣으면 유출량을 용이하게 측정할 수 있게 된다. 비닐주머니로 플랜지接續部分을 감싼 것은 슬로리크(Slow Leak)에 대한 測定精度를 높이기 위하여 하는 것이며 통상 12시간 이상 放置後 가스누출량이 확인된다.

또 운전중에는 각기의 가스구분으로 설치된 溫度補償壓力스위치(密度스위치)에 따라 常時가스壓을 자동적으로 감시한다. 만일 가스누출이 생겨 가스壓이 低下할 경우에는 溫度補償壓力스위치의 작용으로 가스補給指습이 내려지고 다시 가스壓低下가 계속되면 차단기의 경우에는 操作로크가 이행된다.

나. 가스補給

가스補給指습이 내려진 경우나 日常點檢으로 가스壓이 低下하고 警報設定值까지 低下할 우려가 있는 경우에 가스의 補給이 필요하게 된다. 그림 9에 가스보급의 一例를 보였으나 보급중에도 停電되는 일 없이 GIS의 운전상태에서 간단하게 실시할 수 있도록 배려되고 있다.

아래에 그 方法에 관하여 그림에 따라 설명한다.

- (i) 가스補給口의 중단뚜껑을 떼어내고 어댑터 a(安全밸브附)를 장치한다.
- (ii) 가스보배(Bombe)의 캡을 떼어내고 어댑터 b, 感壓밸브를 장치한다.
- (iii) 어댑터 a에 가스補給用 호스를 끼우고 bombe側을 가설치하고 나서 가스보급변을 조금

나부터 먼저...



쓰레기는 부피를 작게하여 버리는 습관을 들입니다.

열고 가스보급용 호스내의空氣를 SF₆ 가스로 밀어내고 나서 완전히 설치한다.

- (iv) 가스補給밸브를 열어 놓고 봄베밸브(Bombe Valve)를 이용하여 조금씩 가스를 GIS내부로 보낸다.
- (v) 定格壓力까지 가스가 보급되면 봄베밸브를 잠그고 나서 가스보급변을 닫고 가스補給用 호스를 떼어낸다.

4. 維持補修點檢

SF₆ 가스절연기기는 앞에 설명한 바와 같이 절연 및 消弧 能力이 뛰어난 SF₆ 가스를 金屬容器內에서 사용하기 위하여 主回路充電部는 外氣의 영향을 받지 않고 더욱이 工場에서 충분한 성능검증이 된 후 가능한 한 조립상태로 輸送되고 現地에서는 裝置工事が 主體인 點 檢, 信賴性이 높고, 無整備, 無點檢을 指向한 것이라고 한다.

이상과 같은 경우에는 「SF₆ 가스 絶緣機器整備基準」은 다음과 같은 유지보수點檢의 方法을 推獎하고 있다.

- (i) 가스中部分에 관하여는 常時 가스壓力管理

를 하는 定期的인 分解點檢을 실시하지 않는다.

- (ii) 동작체크를 重點으로 한 普通點檢을 3년에 1회의 周期로 행한다.
- (iii) 차단기 등의 操作機構部에 관하여는 종래와 같이 6년에 1회의 周期로 細密하게 點檢한다.
- (iv) 異常이 생긴 경우 또는 규정동작횟수에 달한 경우 임시점검을 한다.

여기에서 可動機構를 가진 機器에 관하여는 耐久性의 觀點에서 보다 動作回數를 규정할 必要가 있으며 그 값을 결정한 規定動作回數를 표 2에 표시하였다.

또한 앞에서 설명한 유지보수點檢方法을 베이스로 하여 實際의 點檢項目과 內容을 리스트化하여 運用하고 있으나 本文에서는 생략하기로 한다.

5. 事故障害의 狀況

GIS에 관한 事故障害의 狀況調査結果가 「SF₆ 가스 絶緣機器整備基準」에 있으며 이 調査는 日本의 예로서 약 7년간의 데이터로 全國規模의 조사결과이다.

事故障害件數는 전체적으로 많지 않으며 그 比率는 0.7%/年·유닛으로 되어 있는데 이것은 事故障害發生의 確率이 1유닛 對 약 140년에 1회인 것을 보여주고 있다. 또 1970년대초기에는 禿禿 불이 현저하게 눈에 띄었으나 이후 점차 低下하여 최근에는 0.5%/年·유닛 이하로 安定되어 있다.

이상과 같이 長期間 安全하게 사용하기 위한 技術的인 검토, 검증 및 그에 依거한 대책이 강구되어 그 成果로서 오늘의 GIS가 있다고 한다. 그 후 점차 一般적으로 채용되어 將 GIS에 關하여 豫防保全의 견지에서 더욱더 研究開發하여 加一 增 信賴性이 높은 機器로 육성해 가는 노력이 필요할 것이다.

<표 2> 規定動作回數

No	機 種	使用條件	規定動作回數	備 考
1	가스遮斷器	定格遮斷電流 上同의 50% 負荷電流	10 30 500 2,000	定格電流가 4kA를 초과 定格電流가 4kA 이하
2	루프電流開閉用 斷路器	無負荷開閉 루프電流開閉	2,000 100 200	(1) 定格電流가 4kA 이상 定格電流가 4kA 미만
3	誘導電流開閉用 接地開閉器	無負荷開閉 誘導電流開閉	2,000 100	
4	斷路器	無負荷開閉	2,000	(2)
5	接地開閉器	無負荷開閉	2,000	(2)

(주) (1) 斷路器에 관하여는 기타 變壓器의 勵磁電流의 開閉, 接地開閉器에 관하여는 케이블 回路接地의 開閉를 맡은 것이 있으나, 이것들은 開閉電流에 따라서 本表를 準用하고자 한다.

(2) 動力操作式에 適用