

SF₆가스에 대한 特性試驗과 使用上の 問題點

白 龍 鉉
(仁荷大 工大 電氣工學科 教授)

차 례

1. 序 言
2. SF₆가스의 概要特性
3. 絶緣破壞特性과 試驗條件
4. 各種不純物의 影響
5. 水分의 對策
6. 結 言

I. 序 言

할로젠계의 전기적負性を 갖는 기체중에서 특히 SF₆ 가스는 물리적, 화학적으로 安定하고, 無毒, 취급이 용이하며 전기적 특성이 우수하여 數年來 차단기, 密閉形開閉裝置케이블, 콘덴서, 피뢰기, 導波管 등에 사용되고 있고, 장차도 都市變電에 사용되고 있는 變壓機器의 絶緣抽는 SF₆가스로 대체 될 것이라고 注目된다. 그 중에서도 특히 密閉形開閉裝置는 昨今の 主要 都市의 전력 수요가 급증되는 反面에 시내 變電所는 用地難으로, 종래의 변전소 보다 劃期的으로 超小型인 변전설비가 요망되며 여기에 적합한 것으로 종래의 大氣絶緣에 의지 하여왔던 母線, 차단기, 단로기 등 各部를 SF₆ 가스로 封入시킨 容器로 밀폐시켜, 개폐기 전체의 용적을 종래 변전설비의 10%~2% 정도로 축소 시키고 있다.

이와같이 高氣壓·SF₆가스를 절연기기에 이용하게됨에 따라 絶緣媒體로서의 SF₆가스의 品質을 관리하기 위한 特性試驗의 필요성이 요구되며 이에 대한 검토가 進行되고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

SF₆가스는 절연유와 달라서 定해진 분자구조를 갖는 化學的으로 安定된 물질이므로 순수한 SF₆의 特性은 製法, 製造者에 관계없이 一定한 성질을 갖고 있다 따라서 特性試驗은 잘못해서 어떤 種類가 다른 기체가 들어 있지 않은가, 또는 SF₆가스라 하면 불순물은 어느 정도 포함되어 있는가 이 두가지點에 축소된다고 생

각된다.

SF₆가스中の 불순물의 측정법으로는 분광 사진기(Spectrograph), 기체 크로마토그래피(gas chromatograph), 각종化學滴定法, 露點法, 電解水分計에 의한 水分의 측정 등 물리적, 화학적 방법이 精度도 좋고 試驗法으로도 우수하며 이에 대한 각종 시험 規格案이 상세히 기술되어 있다⁽¹⁾.

한편 絶緣媒體로서의 SF₆라는 點으로 보아 絶緣破壞特性, 特性試驗法 등 電氣的인 試驗, 또한 測定에 필요한 標準電極 등도 많이 提案되고 있다⁽²⁻⁴⁾. 그러나 이와같은 電氣的測定은 불순물에 대하여 檢出感度가 극히 낮고, 試驗法으로 精度가 좋다고는 말할 수는 없지만 媒體로서의 성질을 직접 표시하는 指標로서 重要하다고 하겠다.

本稿에서는 SF₆가스의 절연특성에 영향을 미치는 各種要因을 시험조건에 關係되는 것과, SF₆가스中の 불순물의 효과대체등으로 나누어서 扼要하고 SF₆가스에 대한 特性試驗法과 SF₆가스를 사용하는데 있어서 參考가 되면 한다.

2. SF₆가스의 概要特性

SF₆가스는 극히 特異한 특징을 갖고 있는 가스에 다. 즉 보통상태에서는 질소와 마찬가지로 不活性, 不燃性, 無臭, 無毒인 기체이고 그 자신은 500°C까지 분해하지 않는다. 가장 특징인 것이 우수한 絶緣耐力과 消弧性能이다. 절연내력은 공기의 약 2.5배이고, 3氣壓에서 油의 절연내력과 같다. 또 消弧性能은 공기의 약 100배라 말하고 특히 高電壓大電流의 차단에 적합하다. SF₆가스는 기체로서는 무거운 部類에 속하고 공기의 약 5배인데 絶緣抽에 比하면 약 140분의 1밖에 안되어 機器가 가벼워 진다. 또 아아크에 의해서 分解되어도 油와 같이 導電性 카아본이 생기지 않는 것 油

와 같이 폭발하지 않는다는 것이 특징이다. 熱傳導率도 공기의 1.6배이고, 3氣壓으로 압축시키면 油의 2분의 1이 된다.

그러나 SF₆가스에도 여러가지 問題點이 있다. 예를 들면 그 絕緣耐力이 높다하여도 油의 絕緣耐力과 같이 하려면 氣壓을 높여야 하고 高氣壓에 견딜만한 密閉容器가 필요하다. 또 破壞電壓은 電界의 不均性에 의해서 대단히 左右되며 絕緣設計에 있어서는 특수한 주의가 필요하다. 또 固體와 결부시킨 절연에 있어서는 가스의 誘電率ε이 1이므로 油의 경우(ε=2.2) 보다 電壓分擔이 나빠지는 不利한 點이 있다. 또 常態에서 安定하다고 할찌라도 放電이나 高溫에는 一部分이 分解되어 腐蝕性, 毒性을 갖는 가스가 된다는 등이다.

3. 絕緣破壞特性和 試驗條件

SF₆가스의 絶緣 파괴특성을 측정할 경우, 시험조건에 따라서는 電極 등 試料가스以外的 要因에 의해서 전혀 성질이 달라질 수가 있으므로, 試驗法의 規格化를 할 경우에 있어서는 심중을 요하여야 한다.

(1) 가스壓力

SF₆의 絶緣내력은 원래 높으므로 封入가스壓力을 증가시키면 破壞試驗時의 電極面의 電界는 대단히 높은 值가 된다. 電極面에서 너무 높은 電界가 印加되면 표면의 微小한 突出部(Projection)에서 電子放出이 생겨 印加電界가 變歪된다는 등의 이유로, 가스 본래의 특성을 얻을 수가 없게 된다. 이와같이 試料가스 以外的 要因에 의해서 破壞特性이 左右되는 電界는 電極處理, 容器內의 清潔度 등에 의해서 영향을 받게 되는데 거의 10⁵ v/cm 이상이다. 따라서 SF₆의 絕緣耐力으로 보아서 絕緣特性을 측정할 경우 가스壓은 아무리 높아도 大氣壓以下로 設定해야 될 것으로 생각된다.

(2) 試驗電極

그림 1은 거울면과 같이 研磨한 電極의 高電界部의 面적을 變化시켜서 破壞特性이 가스 본래의 특성을 나타내는 領域을 가스壓과의 관계로 표시한 것이다⁽⁶⁾. 가스壓이 大氣壓일찌라도 電極表面을 너무 크게 하면 電極上에서 弱點이 생기는 確率이 커져 가스 본래의 특성을 얻기가 곤란해진다. 電極材料는 放電에 損傷이 적고 工作性도 고려하여 스테인레스 鋼이 적당할 줄 안다. 표면에 凹凸가 있으면 특히 高氣壓에서 破壞電壓이 저하된다. 그림 2는 平板上에 높이가 府面半徑의 4배가 되는 半回轉橢圓體狀의 突出部가 있을 때, 突出部의 높이와 破壞電壓과의 관계를 文獻⁽⁹⁾에 의해서 理

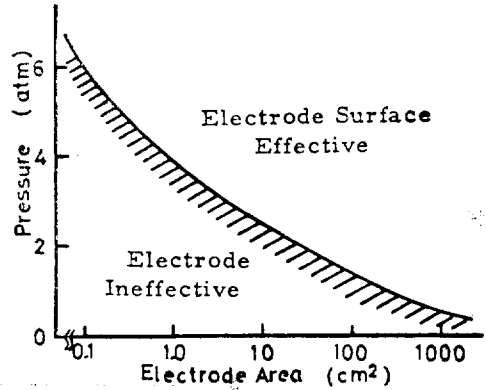


그림 1. 電極의 效果가 評價되는 전극면적과 가스 壓力의 領域

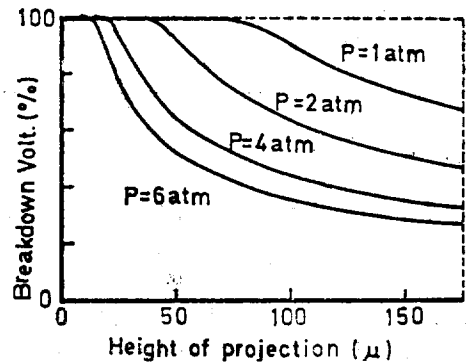


그림 2. 微小突出部の 높이와 파괴전압과의 關係

論的으로 계산하여 표시한 예이다. 이와같이 SF₆中에서는 電極上의 微小한 凹凸가 破壞特性에 영향을 미치므로 電極表面 처리에 유의할 필요가 있다.

(3) 試驗容器

SF₆가스의 絶緣특성을 絕緣物容器로 측정하면 外部 氣中코로나에 의해서 容器표면에 電荷가 堆積하여 電界變歪를 이트키게 된다. 그림 3은 3cmφ 球間隙을 內徑 6.6cm인 아크릴圓筒 容器에 넣어 측정한 破壞電壓과 충분히 큰 金屬容器內에서 同一한 條件에서 실험한 결과와를 비교한 예이다. 이와같이 試料가스壓이 높을 경우에는 靜電氣의으로 충분히 무시되리라 생각되는 器壁도 대단히 큰 영향을 미칠 수가 있으므로 試驗容器는 金屬製가 바람직하다. 또한 비교적 적은 實驗回數로 散在가 적은 측정결과를 얻으려면 紫外線照射가 有效하고 容器에는 이를 위한 石英窓을 만드는 것이 바람직 한다.

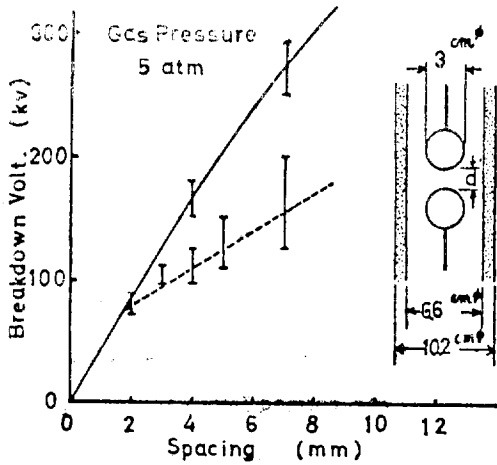


그림 3. 파괴電壓에 대한 絶緣容器壁의 効果

가스를 封入할 때, 容器를 眞空 시킬 必要가 있으나 後述하는 바와같이 空氣, 水分 등이 직접 破壞特性에 미치는 影響이 거의 없으므로 眞空度는 가스 封入壓力의 1%정도 이하라하면 충분할 것으로 생각된다.

(4) 電 源

破壞特性이 電極이나 器壁 등 外部의 影響을 받는데 空間電荷의 堆積過程이 있으므로 그 效果가 나타내려면 10 μ s정도 이상의 時間늦임이 必要하다. 따라서 이러한 影響을 받지 않으려면 印加電壓은 임펄스電壓이 바람직하다. 그러나 上述한 시험조건을 正當히 設定하면 측정치의 散在, 측정의 簡便등을 생각하여 直流 또는 商用周波電壓이 적합하다. 또한 精度가 좋은 측정결과를 얻으려면 破壞에 의한 電極의 損傷을 輕減시키기 위해서 파괴적후, 數 μ s 以內에서 學源을 바이 페스 (by pass)시키는 다이버터(diverter)가 必要하다.

4. 各種不純物의 影響

SF₆가스中에 들어있는 불순물의 主가되는 것은 특히 한번 사용한 후에 回收된 가스의 경우 空氣, 水分, 아 아크에 의한 分解生成物 등이라 생각된다. 그외에 극히 微量으로 들어있는 各種 불순물이 포함되었다 하여도 이들 가스가 직접 SF₆가스의 絶緣特性에는 그다지 影響을 미치지 않는다. 그러나 이들 불순물을 포함한 가스가 機器絶緣에 사용되었을 경우에는 여러가지 問題를 이르게 된다.

(1) 空 氣

SF₆가스中에 공기가 10~20%정도 들어 있어도 破壞電壓의 變化는 거의 볼 수가 없다. 그림 4는 平等電界에서 SF₆와 N₂를 混合한 破壞電壓의 變化를 조사한 데이타인데 비교적 多量의 질소가 混入되어 있어도 破壞電壓은 그다지 低下되지 않는 것을 표시하고 있다. 불순물이 공기인 경우도 거의 이것과 같은 特性을 표시한다. 질소나 산소는 극히 安定된 기체이므로 機器絶緣에 대한 影響은 實用上 없다고 보아도 된다. 그러나 SF₆가스中에서 針端 등에서 코로나放電이 발생하고 있을 때는 사소한 공기가 들어 있어도 코로나電流는 급격히 증가한다. 그림 5는 同軸圓筒電極에 12개의 針電極을 附加시켰을 경우의 SF₆과 公기의 混合比에 대

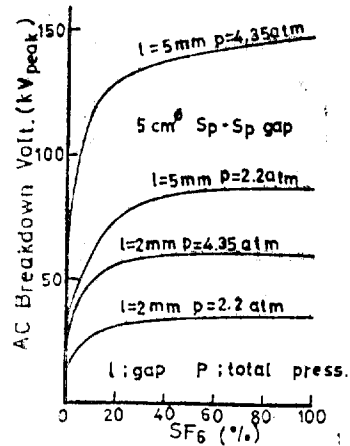


그림 4. SF₆와 N₂混合比에 대하여 AC 파괴電壓

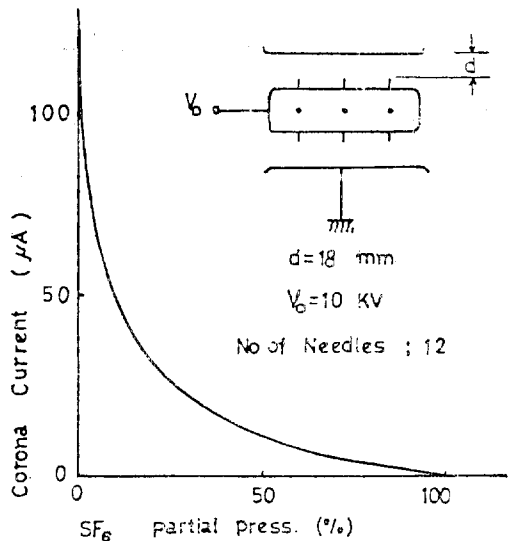


그림 5. SF₆와 水分混合比에 대한 針電極의 코로나 電流

하여 코로나電流의 變化를 표시한 것이다. 일반적으로 가스絶緣機器에서는 이와같은 코로나放電이 일어나지 않도록 電界緩和 對策이 취하여져 있어서 實用上 문제는 없지만 이 特性은 불순물 공기의 檢出에 이용되기도 한다⁽⁹⁾.

(2) 水分

수분은 상당히 많은量 포함되어 있어도 SF₆의 破壞 特性에는 직접 檢出될만한 영향을 주지 않는다. 그러나 SF₆가스中에서 아아크가 발생할 경우 수분이 존재하면 活性인 弗化水素가 생겨 絶緣物 表面을 부식 시키거나 또는 機器內의 溫度變化에 의해서 固體絶緣物 表面에 이슬을 맺게 하여 閃絡電壓을 대단히 저하시키는 경우가 생기므로 실제의 機器使用에 있어서는 충분한 水分管理가 필요하다. 但 가스絶緣機器에 있어서는 固體絶緣物이나 器壁에서 수분이 나와, 일반적으로 이 水分量이, 오히려 새로운 가스에 포함되어 있는 수분보다 훨씬 많으므로 封入前가스의 수분측정은 그다지 의미가 없고, 封入後 적당한 시간이 경과한 후에 機器內가스의 수분을 측정하지 않으면 안된다. 그림 6은 金屬容器內에 固體絶緣物을 封入하였을 때의 時間과 內部水分의 放出量變化를 예들 들어 표시한 것이다. 플랜지(flange)部の 保護材料를 透과해서 침입되는 수분량도 무시 못할 경우가 있다.

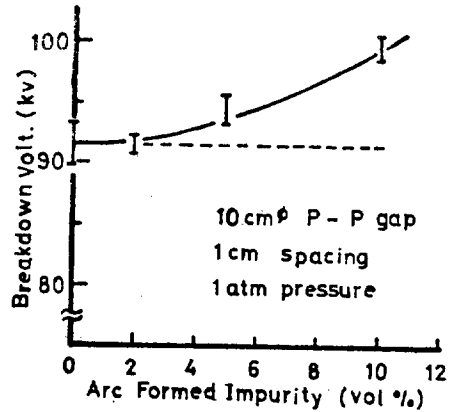


그림 7. 아아크分解生成物과 파괴電壓과의 關係

한 分解生成物의 量과 破壞電壓의 關係를 측정한 예를 표시한 것이다. SF₆차단기 등에서 생각되는 것 보다 월등히 많은 數% 정도의 分解生成物이 들어가면 破壞電壓은 오히려 약간 증가한다. 그러나 分解生成物이 있으면 固體絶緣物을 부식시키고 閃絡電壓을 대단히 저하시키는 경우가 있으므로 가스絶緣에 사용하는 材料選擇에 주의를 요한다.

5. 水分의 對策

상술한 바와같이 SF₆가스中에 수분이 들어 있으면 SF₆의 放電 또는 分解가 촉진될 뿐 아니라 分解가스와 化合하여 弗化水素 등이 되어 絶緣物이나 금속을 부식시킬 우려가 생긴다. 따라서 SF₆가스를 封入한 機器는 吸着劑를 넣어서 수분을 最小限度로 억제시키고 있다. 그런데 最近 美國에서 운전중에 일어난 事故로 500kV SF₆가스 차단기가 계속해서 수분으로 인하여 絶緣破壞 事故를 이르킨 問題가 있었다. 그래서 그점에 대하여 見解와 對策을 기술하고 參考로 하려 한다. 이 事故는 SF₆分解가스에 관련된 문제가 아니고 차단기內의 가스가 두 壓力系로 된 것에 관련이 있다. 이 차단기의 高壓側 가스탱크는 上部와 下部에 있는데, 付溫時의 가스의 液化를 방지하기 위하여 下部가스탱크의 溫度를 히이타로 一定值以上으로 유지시키고 있다. 그러나 嚴冬期에는 上部 가스탱크의 온도가 내려가서 SF₆가스는 液化되어 給氣管 內壁을 타고 내려와 떨어졌고 同時에 下部 가스탱크에서 더워진 가스는 위로 補給되었다. 이 사이클에서는 液化된 SF₆中에 보통, 습기는 포함되지 않았지만, 가스狀 SF₆는 습기를 수반하여 위로 올라 가므로 드러이는 高壓系統內의 SF₆가스中의 습기는

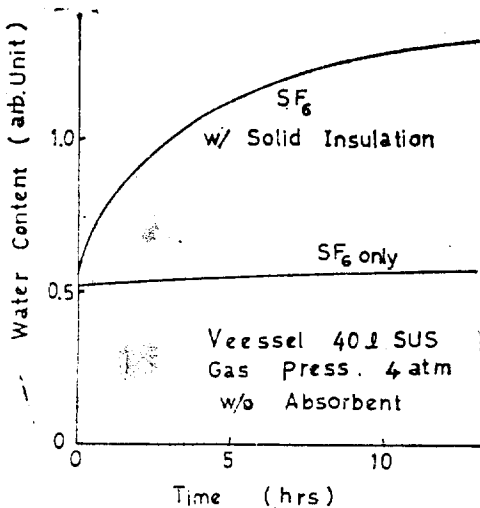


그림 6. 固體絶緣物表面에서의 時間과 물의 放出變化

(3) 分解生成物

SF₆가스中에서 아아크가 발생하면 각종 分解生成物을 발생시킨다. 그림 7은 等價인 SF₆의 量으로 換算

전부 上部 가스탱크에 모여 습도가 높아졌다고 생각된다. 예를 들면 上部 가스탱크의 온도가 12°C이하가 되지 않도록 조절되어 있다고 하면 그속의 水蒸氣壓이 10.5 Torr를 넘으면 습기도 液化하기 시작하여 이것이 給氣管 內壁을 타고 떨어지므로 그 表面에 Tracking이 생겨 드디어는 閃絡破壞까지 發展하게 된다. 그 對策으로써 美國에서는 活性 알루미늄 吸着劑를 넣어 가스中の 許容水分량을 줄이고 있다.

機器內에 수분이 들어가는 經路로써는 配線部를 통하는 것과, 습기를 갖인 機器內 絕緣物에서 나오는 것 두가지가 생각된다. 이 두가지를 最大限으로 줄이기 위해서 예를들면 될 수 있는한 絕緣物에 吸濕性의 材料를 쓰지 않는 것은 물론이고, 單位期間當의 수분 侵入量을 推定하여 다음 定期 點檢까지 飽和되지 않을만한 충분한 吸着劑를 封入시키는 것이다. 吸濕성이 거의 없고 分解가스에도 침식되지 않고 또한 耐 Tracking性에 우수한 폴리에스테르(polyester) 纖維基材 에폭시(epoxy)樹脂 積層管을 사용하는 것도 이에 대한 對策의 하나라고 생각된다.

6. 結 言

以上 SF₆가스의 特性試驗을 할 때 問題가 되는 電氣의 性質과 對策에 대하여 略述하였다. 그런데 SF₆가스를 사용 應用하는데 있어서 아직도 위험한 感을 갖는 경향이 있는 것도 事實이다. 그것의 가장 큰 것이 SF₆의 分解가스의 有害性이라고 생각된다. 그러나 이 問題에 대해서는 이미 많은 연구가 進行되고 있고 간단하지만 그 概要를 紹介하려 한다. 여기서 특히 注目하여 들 것의 하나는 有機合成材料가 耐分解가스性의 強하다는 것이다. 따라서 에폭시樹脂와 같이 各種特性에 우수하고 또한 任意의 形으로 注形이 쉽게 만들어진다

는 것이 高電壓設備의 縮小化의 要求에 應하여 今後 SF₆가스의 더불어 널리 사용될 것으로 생각된다. 들쭉는 SF₆가스의 코로나에 의한 分解 및 재료의 코로나 劣化가 豫想外로 격다는 점이다. 아직까지는 平等에 가까운 電界에서만 사용된다는 생각에서, 固體와의 複合 絕緣에서 큰 安全率이 취해져 왔지만 今후 이 점은 다시 생각할 가치가 있다고 생각된다. 다만 現단계로서는 不平等電界에서의 현상이 아직도 잘 究明되어 있지 않지만 그點이 究明되면 經濟設計도 발전되고 SF₆가스의 用途는 보다 擴大될 것으로 기대된다.

최근 SF₆가스中の 水分을 대단히 우려하고 있다. SF₆가스중에 수분이 들어있으면 여러가지 나쁜 영향을 끼치는 것도 事實인데 이것은 비록 SF₆에 限한 것이 아니고 오히려 固體中の 侵入한 수분보다도 기체中の 수분쪽이 處理가 간단 하다고 하겠다. 특히 前述한 미국에서 이러한 차단의 事故는 SF₆가스와 수분과의 직접적인 作用에서 온 것이 아니고 다른 觀點에서 비교적 간단히 對策을 세울 수 있었다는 것을 말하고 싶다.

끝으로 SF₆가스의 品質檢査는 화학적 또는 물리적인 방법이 主體가 되는데 그 實施上の 問題點에 대해서는 다음 기회에 다루기로 한다.

參 考 文 獻

1. IEC pub. 376 (1971)
2. IEC TC10 10C (Secretariat) 4
3. M.L. Manning; AIEE PAS (1969)
4. M.L. Manning; Symp. on Ins. Gases (1964)
5. T. Nitta 外; IEEE PAS-90 (1971)
6. T. Nitta 外; IEEE T33 449-6 (1973)
7. P.R. Howard; IEEE 104 (1967)
8. Miyamoto 外; 日本電氣學會連合大會 922 (1965)

夏季行事 延期案内

會員 여러분의 建勝하심을 仰祝합니다.

既 알려드린 바와 같이 當初 7月 25日~26日 兩日間에 걸쳐 全北大(全州)에서 開催키로 한 夏季學術會議 및 產學協同심포지움이 여러가지 사정으로 延期되었음을 알려드리며 日程이 確定(9月 以後 豫定)되는 대로 追後 알려드릴 것입니다.

大韓電氣學會
會長 梁 興 錫