

# 電力用遮斷器의 國産化와 短絡試驗



辛 大 承

(韓國電氣機器試驗研究所 試驗部長)

## 1. 遮斷器의 機能과 그 原理

電力用遮斷器는 여러가지 回路條件에서 短時間內에 電氣回路를 開閉하는, 一種의 스위치作用을 하는 것이며 우리가 흔히 볼 수 있는 스위치類와 本質的으로는 같은 機能을 갖는 回路要素라 할 수 있다. 單只 그 處理할 電流나 回路電壓이 電力輸送을 對象으로 하기 때문에 매우 크며 또 스위치動作時間이 아주 짧다는 것이 다를 뿐이다.

遮斷器가 갖추어야 할 機能은 여러가지 있으나 3가지의 重要機能은,

- ① 閉路時에는 良好한 導體일 것
- ② 開路時에는 理想的 絕緣體일 것
- ③ 開路에서 閉路 또는 그 反對狀態로 어느 때나 迅速히 移行可能하고 遮斷器 自體나 電力系統의 機能을 損傷시키지 않을 것 等이다.

要컨데 導體(理想的으로는 抵抗이 零)와 絕緣體(理想的으로는 抵抗이 無限大)의 迅速한 相互變換을 行하는 것이다.

交流에서는 電流는 商用周波의 半사이클(60 Hz 때는 1/120秒)마다 零이 되므로 電流遮斷 때에는 이 電流零 근처에서 아-크 遮斷現象을 거치게 되며 그 後의 遮斷器의 極間絕緣이 極間에 걸리는 再起電壓과 回復電壓에 對해 充分한 絕緣耐力를 갖도록 하면 回路遮斷이 完了되는 것이다.

回路電流를 끊을 때, 必然的으로 아-크가 생기며 電流를 끊는 것은 이 아-크를 끊는 것이 되며 어떻게 이 有害한 아-크를 빨리, 有效하게 消滅시키는가 하는 問題의 解決이 곧 遮斷器의 技術進步라 생각되어 왔다. 그러나 이 아-크플라즈마(Arc plasma)는 그 導電率(抵抗率의 逆數)이 溫度에 따라 크게 變化되며, 예컨데 溫度를 1/10로 낮추면 導電率은 1/10<sup>14</sup>程度(空氣中の 경우)가 되어 良好한 導體에서 絕緣體로 變化시킬 수가 있다. 이러한 觀點에서 보면 아-크는 有望한 特性을 갖고 있으며 아-크가 있음으로써 高電壓大電流의 遮斷이 可能하다는 새로운 理論의 見地가 나타났다.

아-크플라즈마의 導電率  $\delta$ 에 對해 생각해볼

때 電流遮斷을 容易하게 하려면,

①  $\delta$ 의 變化範圍 즉  $\Delta\delta$ 는 되도록 클 것

②  $\delta$ 의 變化速度 즉  $\left|\frac{d\delta}{dt}\right|$ 를 크게 할 것

等이 要求되며 ①에 關해서는 本質적으로 프라즈마의 材料가 問題되며  $SF_6$  개스 등 새로운 媒體의 導入으로 더 優秀한 遮斷器를 만들 수 있다. ②는 프라즈마材料의 固有特性外에 이의 制御方法이 問題가 되며 消弧室의 役割은 바로  $\frac{d\delta}{dt}$ 를 크게 하는 것이다.

電流遮斷時 되도록 導電率이 큰 아-크프라즈마를 만들어 이것을 短時間內에 有効하게 冷却시켜 導電率이 적은 絶緣개스로 變換시켜서 回路電流를 遮斷시키는 것이 遮斷器의 技術的 基礎가 된다.

아-크프라즈마의 冷却方式에는,

첫째, 膨脹冷却(熱力學的 冷却)

이것은 斷熱膨脹에 의한 冷却이며 氣體가 膨脹運動時에 粒子運動에 의한 內部에너지 즉 엔탈피(Enthalpy)가 흐름에너지로 變換되어 이것으로 冷却되는 機構이다. OCB, ABB 등은 이것을 利用했다.

둘째: 熱傳導冷却

이것은 溫度勾配에 따른 熱流에 의한 冷却이며 MBB는 이것을 利用했다. 消弧媒體에 따라서 即 空氣中, 油中, 眞空中  $SF_6$  개스 中에서의 아-크遮斷特性은 各各 달라 空氣遮斷器(ABB), 油遮斷器(OCB), 眞空遮斷器(VCB),  $SF_6$  개스 遮斷器( $SF_6$  GCB)는 이런 消弧特性을 利用한 것이며, 여기서는 우리 周邊에 흔히 있는 油遮斷器(Oil Circuit Breaker)에 對해 좀더 詳細한 點들을 알아보기로 한다.

現在의 OCB가 最初로 나타난 것은 1893年 美國에서였으며 이것은 칼날 모양의 開閉器를 木製 또는 鐵製탱크內에 넣고 絶緣油를 채운 單단한 것이었으며 1910년에는 110kV用이 나타

났지만 絶緣油中에서 開閉器를 開放하는 形式의 並切形 OCB였으며 性能面에서 아주 떨어지는 것이었다.

1915년에는 獨逸의 AEG社에 短絡試驗設備가 建設되고, 1920年代에는 美國에서 實系統의 短絡遮斷試驗을 자주 行하는 등, 遮斷器 研究가 熱心히 進行되었고 1916년에는 AEG社, 1922년에는 美國 GE社가 消弧室을 實用化시켰다. 이때의 消弧室은 接觸子 둘레를 접모양의 絶緣物로 둘러싸서 그 안에서 아-크가 생기도록 한 것뿐이었으나 이것만으로 遮斷能力을 한층 높일 수 있었다. 그 後로는 研究에 따라 그 效果는 높아졌고 消弧現象에 對해 各製作所마다 獨自의 理論을 세워서 新型消弧室이 많이 開發되었으며 1930年代에는 220kV, 2500MVA의 OCB가 美國에 나타났다.

이렇게 消弧室의 發達에 따라 OCB는 탱크形과 少油量形으로 나뉘어서 別途로 發達하게 되었다. 탱크形은 鐵製탱크內의 絶緣油中에서 消弧시키는 것이며 少油量形(Minimum Oil Type)은 鐵製탱크 代身에 磁器碍管을 쓴 것이다. 少油量形은 1925년에 60~150kV用이 佛蘭西에서 製作되었으며 탱크形에 비해 油량이 約 1/30이 되었고, 1950年代에는 380kV, 12,000MVA의 것까지 歐州에서는 實用化되었다. 1960年代에는 消弧室을 에폭시樹脂로 改良하였고 70kV級以上은 多重切부력시스템構造의 것으로 하였다. 또 屋內用 36kV 以下도 少油量形인 것이 나타났다. 한편 탱크形 OCB는 主로 美國에서 發達했으며 1954년에는 330kV, 25,000MVA인 것이 製作되었다. 이들에서는 탱크形狀을 在來의 圓筒形이 아닌 렌즈形이나 손목시계케이스形으로 하여 絶緣油량을 되도록 적게 하도록 했다.

油遮斷器에 쓰이는 絶緣油는 여러가지 炭化水素를 包含하는 石油系 鑛油이며 高温의 아-

크에 닿으면 水素, 아세치렌, 메탄, 에탄 등 分解개스를 만든다. 이中의 約 70%는 水素개스이므로 油中에서 아크가 發生한 경우에 主로 水素개스가 아크프라즈마의 形成媒體가 된다. 水素는 다이는 바와 같이 熱傳導率이 매우 크고 따라서 靜止한 水素中에 發生한 아크는 熱傳導에 의해 強한 冷却을 받는다. 이런 水素消弧에 의한 遮斷을 利用한 것이 並切形 OCB 이며 아크時間이 比較의 길고 아크에너지 蓄積이 커서 油分解量도 많으며, 消弧力을 아크에 의한 分解개스에만 依存하기 때문에 遮斷電流가 적으면 消弧力도 적어져서 아크時間이 길어진다. 그러나 現在는 거의 모두가 消弧室을 設置하여 消弧室內에서 아크를 發生시켜 消弧室內의 壓力上昇을 利用하여 水素개스프라즈마의 壓力勾配에 의한 斷熱膨脹冷却을 利用하고 있으며 熱傳導冷却보다 훨씬 有効한 熱損失을 주어 遮斷性能을 높이고 있다.

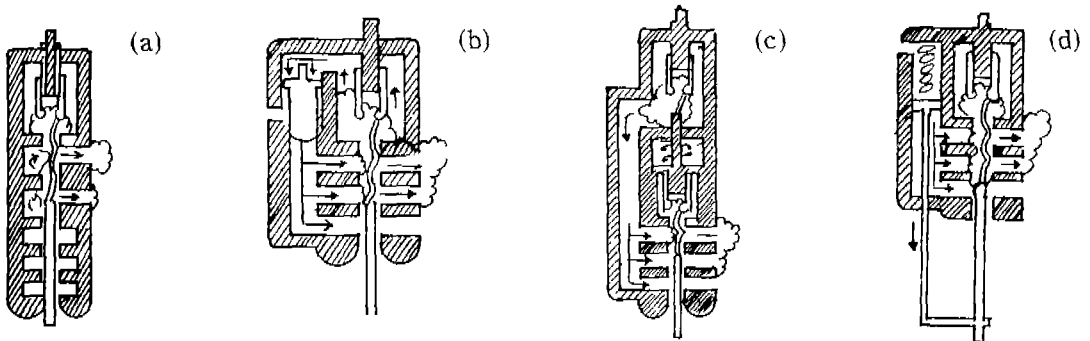
消弧室에는 여러가지 構造의 것이 있으나 要求되는 條件은,

- (1) 遮斷時의 內部壓力上昇에 充分히 견딜 수 있는 機械의 強度를 가질 것.
- (2) 消弧室內의 油量이 適當할 것.
- (3) 遮斷動作後에 되도록 빨리 油가 充滿될 것.
- (4) 反復遮斷에 의한 磨耗損失이 적을 것 등이

다.

(그림 1)은 여러가지 消弧室의 斷面을 나타낸 例로서 絶緣物을 圓筒形으로 만들어 側面에 數個의 噴出口를 내고 있다. (그림 1(a))에서는 可動接觸子가 아래 方向으로 움직임에 의해 생긴 아크에 의해서 消弧室內의 기름의 일부가 分解하지만 消弧室內의 壓力上昇으로 아크는 噴出口쪽으로 밀어 붙여져서 強한 冷却作用을 받게 된다. (그림(b))에서는 上部의 固定接觸子 周邊의 油室壓力이上昇하여 側面의 피스톤을 밀어내려서 아크에 對해 橫方向에서 기름을 吹付하는 것이며 差動 피스톤形이라 한다. (그림(c))는 中間接觸子를 두어 遮斷動作 때 우선 固定接觸子和 中間接觸子間에서 1次아크, 이어서 中間接觸子和 可動接觸子間에 2次아크가 發生하도록 한 것이며 1次아크에 의한 壓力上昇으로 2次아크에 기름을 吹付하는 것이다. (그림(d))는 側面に 있는 피스톤을 스프링의 힘으로 밀어 내려서 吹付油流를 만드는 것으로서 自力消弧와 他力消弧를 組合시킨 方式이다.

아크에너지에 의한 分解개스량은 大氣壓, 20°C에서 아크에너지 1 KJ當 50~500 cm<sup>3</sup> 程度되므로 이를 考慮해서 消弧室의 크기 등을 決定해야 할 것으로 생각된다.



[그림 1] 여러가지 消弧室의 原理

## 2. 遮斷器試驗

遮斷器의 性能은 規格에 定해진 試驗을 함에 의해서 비로소 確認될 수 있다. 새로 開發된 遮斷器에 對해서는 이것이 規格에 定해진 모든 規格을 滿足시키는지, 또 實用上의 特殊 條件도 包含해서 耐久性 있게 그 性能을 維持하여 使用할 수 있는지를 檢證하는 型式試驗(Type test, Design test)을 하게 되며 한 型式에 對해서는 最初의 한臺만 實施하며, 購買에 따른 檢收試驗에서는 實施하지 않는 것이 通例이다. 檢收試驗은 個個의 製品이 型式試驗에 合格한 型의 庶斷器와 同一 性能을 갖고 있는지 또는 製作時의 欠陥이 없는지를 確認하는 것이므로 型式試驗項目中 一部分을 덜 苛酷한 條件에서 全製品에 對하여 行하게 된다.

型式試驗의 重要 項目을 들면 아래와 같다.

① 開閉試驗：이것은 CB의 機械의 能力과 操作能力을 確認하는 것이며 開極時間, 投入時間 開閉速度 등을 確認하고 連續開閉試驗은 1,000回 開閉하여 各部分의 磨耗, 變形, 損傷, 나사 조임의 헐거워짐 等の 有無를 確認한다.

② 溫度試驗：이 試驗은 定格電流를 흘렸을 때 各部가 規定된 溫度上昇限度를 넘지 않는지를 確認하는 것이다. 溫度上昇은 大略 通電電流의 1.7~1.8乘에 比例한다.

③ 短時間電流試驗：定格短時間電流를 規定時間(1秒 또는 2秒) 흘렸을 때 過度한 溫度上昇, 接觸子 등 接觸通電部分의 溶着, 發弧, 電磁力에 의한 變形 등의 異常이 생기지 않는 것을 確認하는 것이다.

④ 耐電壓試驗：一般電力機器와 마찬가지로 高電壓試驗法에 의해 商用周波耐電壓試驗과 衝擊波耐電壓試驗을 實施한다.

⑤ 短絡試驗：CB의 目的이 短絡故障을 除去하는 것이므로 그 性能의 確認인 短絡試驗은 가장 重要하다. 動作條件으로는 短絡電流의 遮斷뿐 아니라 故障狀態에서 投入할 수 있는 能力, 即 定格投入容量의 檢證도 包含된다. 規格에 의하면 試驗動作責務 1號에서 5號까지 있어서 100% 定格遮斷容量까지를 數段階의 遮斷電流로 檢證토록 되어 있고 回復電壓, 再起電壓值도 規定되어 있다.

短絡試驗을 實施하는 大電力試驗所(High power laboratory)는 根本적으로 電力系統의 故障을 模擬하는 곳으로서, 實電力系統에서 試驗하기 위해 短絡故障을 만들면 系統運用上 問題가 되어서 電力會社는 좋아하지 않으며 따라서 大電力試驗所에서는 이러한 短絡故障을 만들어 여러 現象을 正確히 測定記錄할 수 있도록 한 것이다. 2 가지形態의 大電力試驗所가 있으며,

첫째：特別한 變壓器를 通하여 電力系統의 電力을 받아서 이것을 試驗電源으로 하는 곳.

둘째：特別히 設計한 短絡發電機를 가지고 試驗電源으로 하는 곳.

各己의 長點을 보면 電力系統을 이용하는 경우에는 比較的 設備費가 적게 들고 系統容量이 增加함에 따라 試驗能力도 增加하는 點이고, 短絡發電機를 쓰는 경우에는 試驗時의 融通性이 크고 電力系統에 不必要한 動搖를 주지 않는 點이다.

그런데 系統容量의 增大에 따라 CB의 遮斷容量도 急激히 커지기 때문에 이에 맞추어 充分한 容量의 短絡發電機를 增設하는 것은 經濟性 때문에 不可能하며, 多幸히 새로운 試驗技術이 發展되었으며 이것을 合成試驗(Synthetic Test)이라 한다.

短絡故障 時의 力率은 0에 가까워서 電流와

電壓은 90°位相差가 있어 短絡中의 아-크電壓 降下는 아주 적으므로 短絡電流는 比較的 낮은 電壓으로도 供給이 可能하며 또 電流遮斷後에야 回復電壓과 再起電壓이 나타나므로 이 時間差에 따른 非同時性 때문에 電流는 電流源에서 電壓은 다른 電壓源에서 供給할 수 있고 이것이 合成試驗이다. 電力系統이나 短絡發電機는 電流源이며, 充電된 Capacitor를 利用한 電壓 供給設備는 電壓源이 될 수 있다.

遮斷器의 苛酷한 試驗中 또 하나는 上記 短絡 試驗外에 近距離線路短絡試驗(Short Line Fault Test)이라 할 수 있다. 이것은 數 km 內의 가까운 距離에서 送電線短絡이 생긴 경우로서 電流遮斷後 線路側電位는 進行波往復反射에 의해 過渡振動波로 되므로 再起電壓은 初期電壓上昇率이 커져서 CB에 苛酷한 條件을 負課하게 된다.

CB에는 2 가지 形態의 遮斷失敗가 있으며,

첫째는, 熱的再點弧로서 電流零 直後의 再起電壓 上昇率이 너무 커서 消滅되던 아-크通路가 溫熱로 다시 생겨서 電流가 다시 흐르게 되는 경우이며 이것은 에너지平衡으로 定해진다.

둘째는, 불꽃再點弧로서 電流遮斷後의 絶緣 耐力回復特性에 의한 것이며, 接點間融이 再起電壓을 維持하지 못할 경우, 다시 電流가 흐르게 되는 것이다.

一般的으로 熱的再點弧는 近距離線路短絡試驗이 가장 苛酷하고 불꽃再點弧는 短絡試驗이 가장 苛酷한 것으로 알려져 있다.

### 3. 國內遮斷器 開發現況

國內에서 生産되는 遮斷器는 7.2kV 級에서

362kV 級까지 多樣하다. 362kV 級은 遮斷容量 25,000 MVA의 SF<sub>6</sub> Gas CB로서 曉星社, 金星計電社에서 各各 日本의 Hitachi社, Fuji社와 技術提携로 製作하고 있다. 170kV 級은 遮斷容量 10,000 MVA, 15,000 MVA 2種으로서 曉星은 Hitachi社의 SF<sub>6</sub> GCB와 美國 Westing House社의 OCB, 金星計電은 Fuji社의 SF<sub>6</sub> GCB의 技術提携品이다. 또 72kV 級은 曉星이 Westing House社의 OCB技術 導入으로 製作 中에 있다.

25.8kV 級과 7.2kV 級은 製作業體가 30餘個나 되며 모두가 OCB인데, 25.8kV 級에서 型式試驗을 畢한 곳은 曉星, 東一電機, 南洋電業이고, 外國과 技術提携된 곳은 金星計電, 雙龍電機, 利川電機 등이며, 또 7.2kV 級에 對해서는 上記 3社外에 東一電機가 技術提携品을 生産하고 있다. 上記 技術提携品, 型式試驗畢品 以外的 製品은 遮斷性能 試驗을 畢하지 않았기 때문에 遮斷能力을 認定할 根據가 없고, 또 遮斷器는 電氣安全上 重要品인 點을 堪案하여 政府當局의 措置에 따라 79. 12. 1 부터는 市販을 禁止토록 되어 있다.

技術提携品이나 型式試驗畢品을 보더라도 遮斷器의 重要部品, 卽 接點部, 消弧室, 72kV 以上の 분싱, 重要 Mechenism 등은 輸入品을 組立한데 지나지 않아 100% 國産化는 아직도 隙遠한다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 基本部品の 開發, 材質의 性能向上 등이 國家的으로 時急한 課題가 아닐 수 없으며 지금 建設中인 短絡試驗設備가 完工되면 여러가지 試驗過程을 겪어 봄으로써 이들의 開發에 追車를 加할 수 있을 것으로 期待된다.

