

□ 特輯：電氣機器의 技術動向 □

# 開閉裝置의 技術開發動向

辛大承·姜英植  
(韓國電氣研究所)

## ■ 차 례 ■

- ① 序論
- ② 外國의 技術開發動向
  - 2.1 消弧室의 大容量化(Unit電壓과 遮斷電流)
  - 2.2 小形化(三相-括化)
  - 2.3 絶緣 Level의 合理化(GIS인 경우)
  - 2.4 操作裝置의 改良(Air Less化)
  - 2.5 異常診斷 技術의 開發(GIS인 경우)
  - 2.6 基礎技術·解析技術의 向上
  - 2.7 研究開發中인 開閉裝置
- ③ 國內技術開發 現況
- ④ 結論
  - 參考文獻

### ① 序言

産業發展에 따라 電力需要도 增加하게되고, 이에 副應하여 電力系統은 漸次로 擴張되었으며, 따라서 系統의 短絡容量이 增大됨으로써 大容量 遮斷器의 開發이 要求되었고, 또 大都市에서는 變電所用地取得의 難點과 周圍環境과의 調和問題等으로 裝置의 compact化和 無公害의 開閉裝置에 대한 必要性이 抬頭되었다.

電力系統을 構成하는 變電設備中에서 遮斷器, 開閉器등 開閉裝置의 技術開發은, 1916年 獨逸 AEG社에서 처음으로 消弧室이 있는 油入遮斷器(O.C.B)를 開發한 以來, 1956年 美國WH社의 SF<sub>6</sub> Gas遮斷器(G·C·B), 1961年 美國GE社의 眞空遮斷器(V·C·B)의 開發로 本格的인 發展을 보게 되었다.

最近의 開閉裝置 開發技術은 社會的인 要請에 따라

- 小形化, 高性能化
- 保守의 省力化
- 停止期間의 極小化

• 自動化, 無人化  
등을 主眼點으로 研究開發이 進行되어 왔으며, 특히 GCB, VCB 및 GIS(Gas Insulated Switchgear)에 있어서의 最近의 技術進歩는 括目할만 하다.

- 이러한 技術開發은
- 各分野 基礎技術의 進歩
  - 數值解析技術의 發展
  - 實用性能 檢證技術의 高度化
  - 製作經驗의 蓄積

등을 背景으로 이루어졌다고 볼 수 있다.

開閉裝置中 技術開發의 中心이 되는 CGB VCB 및 GIS에 관한 外國의 技術開發動向과 國內現況에 대해서 簡略하게 記述코져 한다.

### ② 外國의 技術開發 動向

最近의 技術開發動向은 다음과 같다.

2.1 消弧室의 大容量化(Unit電壓과 遮斷電流)  
高眞空에서의 絶緣性能을 利用한 VCB를 開發한 後, 주로 3~30KV級에서 遮斷性能의 優

秀함과 無保守란 點에서 VCB는 脚光을 받아들였다. 그후에도 使用電壓의 擴大와 遮斷電流의 增大化에 관한 技術開發이 꾸준히 進行되었으며 1975年 所謂 “Axial Magnetic Field Electrode” 를 使用하여 遮斷動作時에 極間에 軸方向의 磁界를 加해줌으로서 大幅 遮斷容量의 增加를 보았다. 最近에는 84KV-25KA 一點切VCB가 開發되었으며 遮斷電流는 100KA (13.8KV)까지의 實用化 開發이 되어있다.

또 接點材質은 遮斷現象에 密接한 關係를 갖

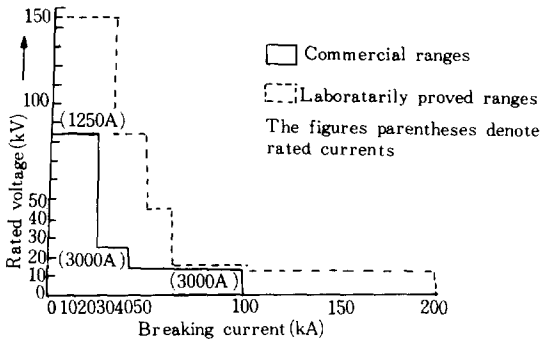


그림 1. VCB의 차단용량 한계

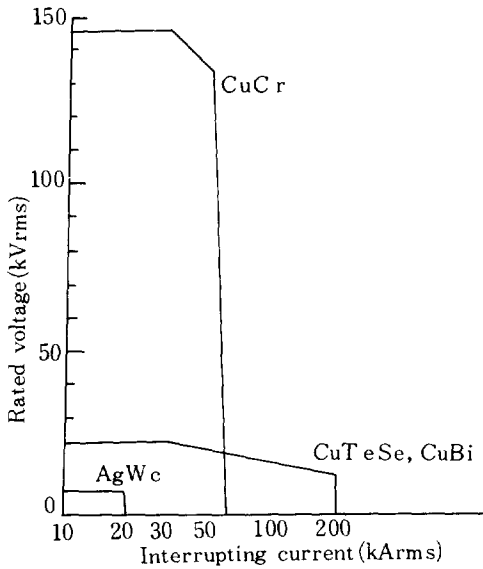


그림 2. VCB의 접점재질별 차단전류 한계

고있어 各用途에 適合한 材質의 接點이 開發되었다. 예를 들면 高電壓 遮斷器用으로는 CuCr 接點, 大電流用으로는 CuTeSe 및 CuBi接點, 低Surge用으로는 AgWC接點이 開發되었다. 그림 1, 2는 接點材質에 따른 適用限界와 Axial Magnetic Field Electrode를 使用한 VCB의 遮斷容量을 나타내고 있다.

SF<sub>6</sub>Gas의 뛰어난 絶緣, 消弧性能을 利用하여 이를 消弧媒質로 한 GCB를 開發한 것은 美國의 W·H社이었다 (1956).

初期品은 15氣壓의 高壓SF<sub>6</sub>Gas를 3氣壓의 接觸子部에 遮斷動作時 吹付하여 消弧하는 二重 壓力式이었으며 大容量遮斷器에는 아직도 適用하고 있다 (그림 3 참조).

그후 遮斷部에 5氣壓程度의 低壓SF<sub>6</sub>Gas를 充填하고, 遮斷動作時 Puffer室에서 機械力의

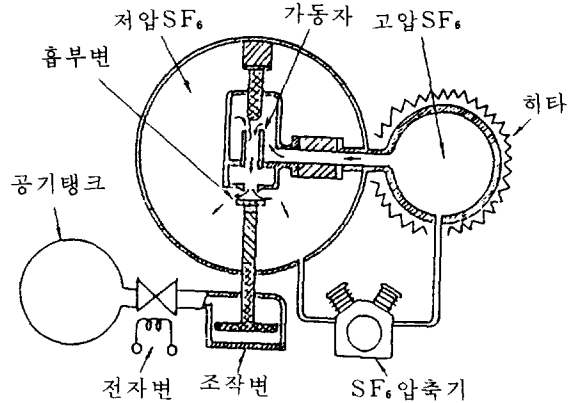


그림 3. 2압식 GCB의 구조와 원리

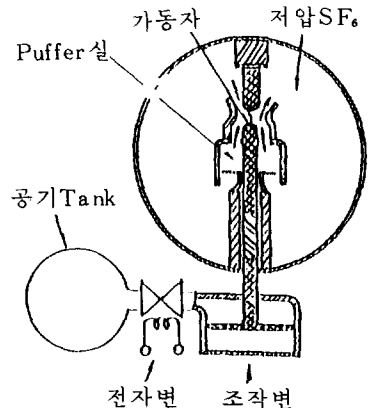


그림 4. Duffer식 GCB의 구조와 원리

로 壓縮하여 接觸子間에 Gas를 吹付하여 Arc를 消弧하는 Puffer式으로 改良되어 現在 GCB의 主種을 이루고 있다. (그림 4 참조)

遮斷器 消弧室의 一接點當의 Unit電壓은 初期에 84KV이었으나 1979년에는 800KV-50KA 四接點切 2Cycle遮斷器가 獨逸 Siemens社에서 開發되었으며 日本은 1981년에 300KV-63KA 一點切, 1982년에 550KV~63KA 2點切, 1984년에는 362KV-40KA 1點切 GCB가 開發되었다.

遮斷電流는 Puffer形으로는 初期에 20~25KA의 것이 開發되었으나, Puffer室의 改良으로 日本에서는 1974년에 50KA, 1977년에는 63KA의 遮斷電流를 갖는 것이 開發되었으며 西獨Siemens社에서는 1980년에 100KA의 것까지 開發됨으로서 二重壓力式보다 優越함을 보여주었다. 日本의 遮斷容量增加趨移를 보면 그림5와 같다.

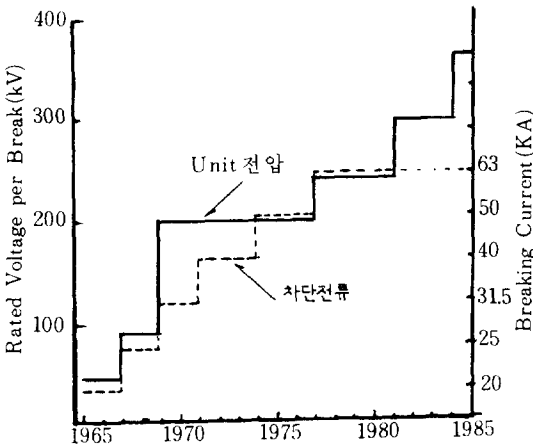


그림 5. Puffer형 GCB의 소호실 진보

이와 같은 遮斷性能의 向上은 解析技術의 發達에 의한 것이며 Arc動特性的 研究를 基礎로 Arc와 Gas流의 相互作用을 Model化하여 Computer Simulation이 可能하게 되었고, 機構部를 包含한 運動解析과 回路條件을 組合한 電界解析 및 應力解析으로 消弧室內 各部의 操作機構特性을 決定할 수 있는 解析技術의 開發에 의한 것이다.

앞으로도 800KV-2點切, 1,100KV-4點切 遮斷器의 開發을 위한 Unit電壓을 높이는 研究

가 계속될 것이다.

### 2.2 小形化(三相-括化)

遮斷Unit電壓의 上昇은 遮斷點數를 減小시켜서 小形化에 큰 效果를 가져왔다. Gas遮斷器의 重量面으로 보면, 1965年頃은 遮斷容量 1MVA 當 1kg(二重壓力式)이었으나 最近에는 碁子形 GCB일 경우  $\frac{1}{3}$ (200g), 變流器와 Bushing을 包含해서 Tank形GCB일 경우  $\frac{1}{2}$ (500g)로 減少되었다.

變電所의 小形化를 目的으로한 開閉裝置로 처음에 相分離形 GIS가 開發되었으며, 이것은 電力機器들을 SF<sub>6</sub>Gas로 絶緣시켜 compact化한 것이다. 3相-括形GIS用 遮斷器는 氣中の 碍子絶緣部가 없고, 相間絶緣도 SF<sub>6</sub>Gas로 確保하며 3相-括하여 同一 Tank內에 收納 함으로써 小形化하려는 것이며 從來의 相分離形에 비해 設置面積이 約 60%로 縮少化 될 수 있다.

1985년에는 300KV級의 3相-括遮斷器가 開發되었고, 이를 利用한 3相-括GIS의 開發이 推進中이며 主母線인 경우에는 550KV級까지 3相-括化가 이루어졌다. 3相-括化를 위해 특히 考慮되어야할 點은 相間絶緣設計로서, 電流의 開閉動作直後의 動的絶緣設計와 靜止狀態에서 電界가 安定되어 있을 경우의 靜的絶緣設計로 나누어 檢討되어야하며, 遮斷器의 경우에는 動的絶緣設計에 左右된다. 즉 3相-括遮斷器에서 3相分의 消弧室이 同一 Tank內에서 排出하는 熱Gas는 單相時의  $\sqrt{3}$ 倍가 되어 遮斷直後에 極間의 性能外에 相間絶緣性能을 確保하는 것이 重要하다.

3相-括化에는 所要 Tank直徑이 單相의 경우보다 크게 되므로, Tank의 製造, 輸送, 設置 作業性上의 限界가 있으며 通常 1,200~1,500mm가 上限이 되어 작은 크기內에서 相間干涉을 줄일 수 있는 技術開發이 重要課題가 되고 있다.

### 2.3 絶緣Level의 合理化(GIS의 경우)

絶緣Level의 合理化가 再檢討된 技術的 背景으로는, Epoxy注型品等 絶緣物의 信賴性向上과 避雷器의 進歩, 絶緣協調解析技術의 高度化,

高信賴化에 있다.

絶緣物の 信賴性에 관해서는, 充電部를 支持하는 Epoxy絶緣物에서 Epoxy와 金屬, Epoxy와 Gas空間等の 界面現象解明이 電氣的 機械的인 面에서 밝혀진때문이다.

그結果 絶緣強度를 均等케 할 수 있는 注型技術의 開發, 評價技術의 向上等을 가져왔고, 또 絶緣物の 壽命推定도 可能케 되었다.

한편 最近에 急速히 發達된 酸化亞鉛(ZnO) 避雷器는 그 優秀한 V-I非直線特性에 의해 保護Level의 低減을 可能케 하였으며 UHV級에서는 絶緣Level 低減效果를 期待할 수 있게 되었다.

또한 大形Computer를 使用한 絶緣解析技術의 向上으로 GIS 各部位의 雷Surge, 開閉Surge의 分布가 計算되어 避雷器의 適切한 配置로 絶緣協調를 이룰 수 있게 되었으며 機器의 小形化開發이 進行되고 있다.

## 2.4 操作裝置의 改良(Air Less化)

空氣操作裝置는 널리 遮斷器에 使用되어 왔으나 이에 따른 壓縮空氣發生裝置와 配管의 空氣漏洩, 凍結防止等에 配慮가 있어야하고, 保守와 信賴性的의 觀點에서 不利함이 있다.

消弧에 壓縮空氣를 使用하지않는 GCB에서는 空氣를 使用하지 않는 操作裝置를 要望해왔으며, 實現되고 있다.

Spring操作裝置는 從來 低中壓遮斷器에 많이 쓰였으며 出力增加와 效果的인 Gas吹付에 의한 消弧室의 改良으로 最近에는 120KV-31.5KA까지의 高速度再閉路用 3 Cycle遮斷器가 開發되었다. 또 大容量의 高速度GCB에는 처음부터 油壓操作裝置를 使用하여 왔으며 弁 및 主要部品이 金屬이어서 油中에서는 潤滑, 防錆面에서 有利하므로 信賴性이 높은 裝置로 앞으로 널리 쓰일 것으로 期待된다. 특히 送電容量의 增大에 따른 安定度向上面에서 2Cycle, 1Cycle遮斷器가 要求될 것이므로 高速動作에 適合한 油壓操作裝置와 Puffer形 消弧室의 改良等이 考慮된다.

## 2.5 異常診斷技術의 開發(GIS인 경우)

GIS는 密閉構造이므로 内部事故時 外部에서는 事故把握이 어렵고 事故復舊時間이 長時間所要되는 欠點이 있다. 따라서 事故發生을 事전에 豫知하여 對處할 수 있게하는 異常診斷技術의 開發이 꾸준히 進行되어 왔으며 最近에 實用化 段階에 있다. 그 方法들을 보면

1) 部分放電檢出法: GIS는 内部에 部分放電이 發生하지 않는 設計이므로 部分放電이 檢出된다면 内部異常이 있는 것으로 診斷된다. 部分放電의 檢出은 使用器具에 따라 아래의方式이 있다.

- 外被電極法: 部分放電發生時에 생기는 Tank의 微小電位振動을, Tank에 絶緣處理된 電極을 取付하여 檢出함.

- 絶緣Spacer法: 絶緣Spacer內에 埋込한 電極으로 部分放電pulse를 檢出함.

- 接地線電流測定法: Tank의 接地線에 흐르는 部分放電Pulse를 檢出함.

- 振動檢出法: 部分放電에 의한 微小振動을 Tank外壁에서 加速度Senser나 超音波Senser로 檢出함.

- 化學的檢出法: 部分放電에 의해 發生하는 微量의 分解Gas를 檢出함.

### 2) Gas中の 混入導電粒子檢出法

Gas中の 微小 金屬片이나 그밖의 絶緣性能을 低下시키는 粒子를, 加速度Senser나 超音波Senser로 檢出하는 技術이 開發되었다.

### 3) 赤外線Camera에 의한 溫度上昇測定法

内部異常에 의한 發熱을 Tank나 碍子表面의 溫度測定으로 檢出한다.

이러한 異常診斷法은 光과 Electronics 技術의 進歩에 의해 改良되어 壓力, 溫度等 從來의 運轉者點檢뿐이 아닌 常時自動監視裝置를 設置한 GIS가 開發되었으며 今後의 發展이 期待된다.

## 2.6 基礎技術, 解析技術의 向上

GIS의 開發 設計段階에서는 電氣的 機械的 化學的現象等에 대한 Paramater特性을 把握하고 動作特性을 調査할 必要가 있으며 이러한 諸特性의 把握위에 基礎하여 信賴性에 대한 實驗

檢証이 뒤따라야 하는바 이에는 限界가 있으므로 解析技術에 依存하는 것이 大部分이다. 現在는 大形Computer을 利用한 精度높은 解析이 可能하게되어 強度, 振動, Gas의 흐름, 熱, 電磁界過渡現象, Arc에 관한 解析技法이 開發되므로 設計段階에서 容易하게 性能評價가 可能하게 되었다. 그 밖에 耐環境性의 向上, 耐震性 向上 등에 관한 研究도 進行되고 있으며, 日本에서의 GIS技術開發動向은 그림 6 과 같다.

2.7 研究開發中인 開閉裝置

次期 電力輸送으로서 現在 1,000KV級의 UHV 交流送電 및 直流送電의 技術開發이 進行中이며, 設備의 compact化, 高信賴度化의 利點이 있는 GIS採用이 檢討되고 있다.

1) UHV 交流 GIS

UHV級 GIS開發을 위해 다음의 技術開發이 進行되고 있다.

• 開閉Surge의 抑制

UHV級에서는 BIL의 低減이 效率的 設備構成의 重要Factor가 되므로 開閉Surge의 對地 電壓波高值를 1.6p.u.로 抑制하기위해 高性能의

ZnO避雷器開發을 包含한 여러方案이 檢討되고 있다.

• 高速度自動接地方式의 開發

UHV送電線路의 事故時 高速度 多相再閉路로 瞬間事故를 除去하는 것이 不可避하게 되지만 UHV送電線은 相間 및 回線間의 靜電結合이 크므로 事故遮斷後의 2次Arc가 數Sec동안 消滅하지 않을 것으로 豫想된다. 그 解決策으로 高速自動接地方式이 考慮되고있으며 이 方式은 事故遮斷後의 開放相만을 高速으로 自動接地하고 消弧後에 接地를 開放한 다음 再閉路해야 하므로 充分히 信賴性이 높은 System인 것이 要求된다.

2) 直流GIS

直流送電은 他系統과의 連系나 長距離送電을 위해 開發되었으나 現在의 氣中絶緣方式을 高信賴化, compact化하기 위해서는 GIS로의 轉換이 不可避하다. 直流의 Gas絶緣은 ① 直流課電에 의해 固體絶緣物表面에 帶電現象이 생기며, ② 極性反轉時에 嵩積電荷가 耐電壓特性에 영향을 주며, ③ 直流印加時에 固體絶緣物의 電位分布는 抵抗分壓으로 決定되는 등의 特徵이

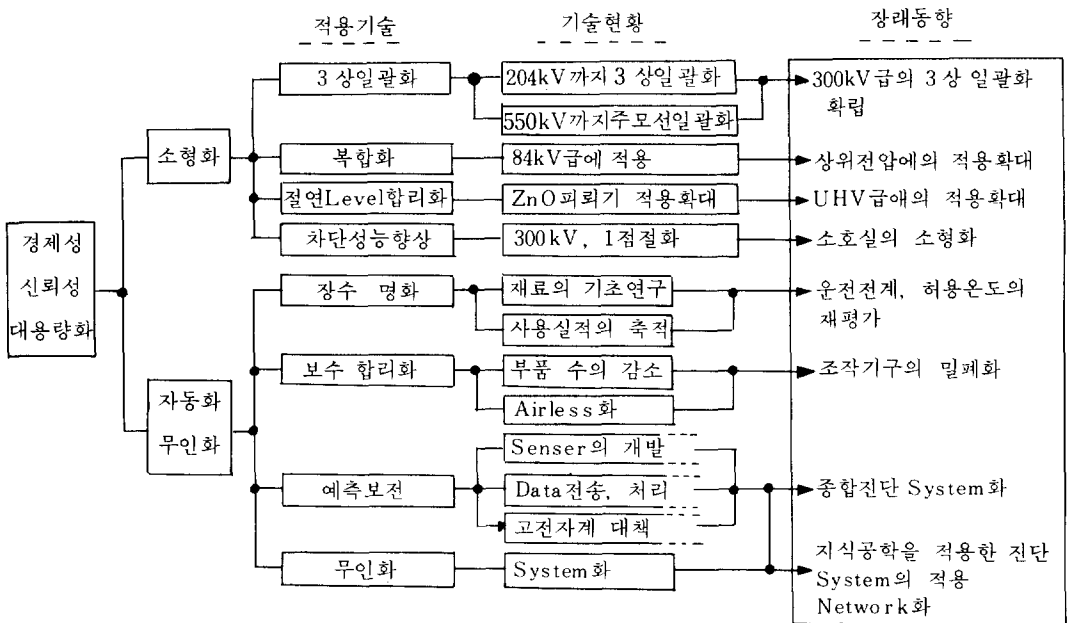


그림 6. GIS의 기술 개발 동향

있어 GIS開發에서는 充分한 考慮가 必要하다.

• 直流 高性能 ZnO避雷器 開發

交流의 경우와 같이 絶緣Level의 低減은 Thyristor, 開閉裝置等의 小型化와 經濟性에 密接한 關係가 있으므로 動作特性이 安定되고 課電率이 높은 ZnO避雷器의 開發이 要請된다.

• 直流遮斷器의 開發

直流遮斷器는 多端子送電인 경우 必要하며 直流大規模送電에 對備하여 반드시 開發되어야 할 것이다. 直流遮斷器는 遮斷時 強制的으로 電流零點을 만들기 위해 逆電流插入方式을 採用하며 250KV, 8KV級이 開發된 것으로 報告되고 있으나 長期的인 信賴性檢證과 實系統에서의 經驗을 쌓을 必要가 있다.

③ 國內 技術開發現況

우리나라의 開閉器類 開發은 1970年代 中盤

에 配電用인 25KV級 COS와 Interruper Switch등을 外國과의 技術提携로 組立生産한 것이 처음이었다. 뒤이어 24KV級 OCB가 生産되었고 1977년에 170KV-31.5KA OCB, 1978년에 170KV-50KA GCB, 1979년에 362KV-40KA 등이 技術 제휴로 生産되었으나 技術蓄積의 貧弱과 國內의 試驗設備不足으로 主要部品을 導入하여 組立生産하는 段階로서 國産化率은 微弱하였다.

1982年10月 韓國電氣研究所의 短絡試驗設備가 稼動된 以來 많은 開發試驗을 通해 機器開發이 이루어졌고 國産化率도 向上되어 COS, Interrupter등은 完全國産化되었다. 한편 遮斷器 GIS等도 國內需要는 國內生産品으로 充當하고 있으나 技術的인 成長은 그다지 눈에 띄지않아 아직도 主要部品을 導入 生産하는 實情으로서 國産化率은 50%以下 이다.

그 主要原因을 分析하면

표 1. 개폐장치 개발시험 실적

(단위: 건)

| 품 명 \ 년 도 |          | '81이전 | '82 | '83 | '84 | '85 | '86 |
|-----------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| V C B     |          | 4     | 6   | 13  | 5   | 7   | 2   |
| OCB       | 24KV 이하  | 12    |     | 1   |     |     |     |
|           | 72KV 이상  | 1     |     |     |     |     |     |
| GCB       | 170KV 이하 | 7     |     |     | 2   |     |     |
|           | 362KV급   | 5     |     |     |     |     |     |
| GIS       | 170KV급   | 3     |     |     | 4   |     |     |
|           | 362KV급   |       |     |     | 1   |     |     |
| MCSG      |          | 8     |     | 5   | 1   | 1   | 2   |
| COS       |          | 4     |     | 4   |     | 2   | 1   |
| 개폐기류      |          | 2     | 1   | 5   | 6   | 1   | 2   |
| 계         |          | 46    | 7   | 28  | 19  | 11  | 7   |

표 2. 170KV급 이상 차단기류 국내 생산 실적

(단위: 대)

| 품명 \ 년도 |     | '77 | '78 | '79 | '80 | '81 | '82 | '83 | '84 | '85 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 170KV   | OCB | 4   | 40  | 98  | 38  | 27  | 35  | 2   | 2   |     |
|         | GCB |     | 4   | 4   | 37  | 20  | 12  | 39  | 109 | 106 |
|         | GIS |     |     |     | 8   | 22  | 34  | 32  | 10  | 49  |
|         | 계   | 4   | 44  | 102 | 83  | 69  | 81  | 74  | 121 | 155 |
| 362KV   | GCB |     |     | 6   | 24  | 17  | 6   | 12  | 14  | 7   |
|         | GIS |     |     |     |     |     |     | 5   | 20  | 12  |
|         | 계   |     |     | 6   | 24  | 17  | 6   | 17  | 34  | 19  |

- 基礎素材技術의 脆弱: 接點, 絶緣物, ฟู싱, Vaccum Interrupter 등.
- 設計技術不足: 技術導入先의 圖面에 의한 製作組立, 遮斷現象, 電磁界解析技術의 脆弱 등.
- 國內需要不足: 國內市場狹少로 開發投資費 回收에 難點이 있어 業體의 開發忌避 등을 들 수 있다.

그러나 最近 政府의 技術自立政策과 日本 Yen貨의 上昇으로 國內 開發의 經濟性이 好轉되므로서 Vaccum Interrupter 및 GCB, GIS의 接點 消弧室, 絶緣物等 國産化가 進行되고 있어 技術開發이 期待된다. 韓國電氣研究所에서 施行한 國內開發試驗實績과 170KV級以上の 遮斷器, GIS의 生産實績을 參考로 보이면 표 1, 표 2와 같다.

#### 4 結言

以上으로 開閉裝置에 관한 外國의 技術開發動向과 國內開發現況을 紹介하였다.

開閉裝置의 開發技術自立으로, 全量 國産化를 達成하며, 나아가 새로운 機種의 開發能力을 키우기 위해서는

- 基礎素材의 國産化技術 向上.

- 設計를 위한 基本解析技術의 確立.
- 性能評價技術의 向上.
- 異常診斷技術의 開發

等 多方面에 걸친 研究開發이 必要하며 이를 위해서 企業, 研究所, 學界가 서로 協力하여 力量을 結束해야 할 것으로 믿으며, 이것이 現在 우리 電氣人이 짊어진 使命이라 생각한다.

#### 參考文獻

- 1) S·Yanabu, Y·Satoh, "Ten Years Experience in Axial Magnetic Field-Type Vaccum Mterrupters", IEEE 86WM-140-8.
- 2) Beier, Lührmann, Marin, "Development of SF6 Gas Circuit Breakers at Siemens," Siemens Power Engineering Vol. III (1981).
- 3) 桑原宏, 松田節之, "遮斷器의 現況과 諸問題," 電氣評論 86. 6.
- 4) 前田忠就, "密閉形開閉裝置의 現況과 諸問題", 電氣評論 86. 6.
- 5) 大山敏, 大桑博, 高山晴行, "開閉器技術의 現況과 動向", OHM誌 86. 3.
- 6) 有松啓治, 徳山俊二, 木光二, 遠藤全將 "250KV, 8KA 直流遮斷器의 開發", 日立評論 85. 6
- 7) 電氣協同研究 第41卷 第1號.