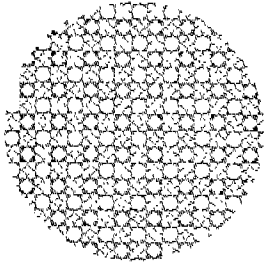


眞空遮断器 核心部品 開發에 對하여

Development of Key Components for Vacuum Circuit Breaker



李 中 七

理事·金星計電株式會社 機器事業部長

1. 序 言

高压遮断技術 (Medium Voltage Switching Technology)은 現代 産業에 있어서 必須技術中の 한 分野로서 꾸준히 發展되어 왔으며 特히 製品의 高遮断能力化, 高信賴性化, 維持·保守의 簡便化 側面에서의 最近의 技術進歩는 눈부신 바 있다.

또한 새로이 紹介된 新技術은 既存技術의 製品市場을 代替하여 現在의 高压遮断器 市場은 一部地域을 除外하고는 全世界的으로 眞空遮断器가 主流를 이루고 있다.

參考로 高压遮断器의 變遷과 技術比較를 表 1에 나타내었다.

우리나라의 경우에도 1970年代 初般의 油入遮断器, 1970年代 中般의 極小油入遮断器를 거쳐 1980年 眞空遮断器가 紹介된 이래 現在까지 主宗을 이루어 오고 있으며 同 技術의 採擇·使用은 向後에도 繼續될 展望이다.

그러나 眞空遮断器의 製造原價上 30%~40%의 構成比를 차지하고 있는 核心部品인 眞空遮断筒 (Vacuum Interrupter)에 對해서는 國內技術開發力의 限界, 先進國의 技術移轉回避, 事業採算性 등의 問題點으로 因하여 開發이 留保되어 왔으며, 現在 까지 國內의 眞空遮断器業體는 眞空遮断筒 (Vacuum Interrupter) 全量을 導入에 依存해 온 實情이었다.

이에 따라 政府는 지난 1986年 “機械類部品 및 素材國産化 計劃”을 通하여 眞空遮断筒을 重點 國産化 對象品目으로 選定·發表한 바 있으며 國內 眞空遮断器 製造業體力의 協調下에 同 部品의 開發推進에 拍車를 加하고 있다.

2. 眞空遮断筒 (Vacuum Interrupter)

技術의 基本構成

眞空遮断筒의 技術은 基本的으로 다음의 3가지로 이루어져 있다.

- i) 眞空技術
- ii) 金屬과 絶緣筒과의 接合을 包含한 絶緣筒에

〈표 - 1〉 고압차단기 기술비교

구 분	BULK OIL	MIN. OIL	AIR BLAST	AIR BREAK	SF 6	VACUUM
정격전압(KV)	3.6 - 36	3.6 - 765	12 - 765	3.6 - 24	3.6 - 765	3.6 - 36
정격전류(A)	400 - 2,500	1,250 - 3,200	- 3,000	- 5,000	- 2,500	600 - 3,200
차단전류(KA)	12.5 - 31.5	8 - 40	- 60	- 50	- 40	- 40
개폐수명(회)	1,000	1,000	3,000	10,000	20,000	10,000-50,000
이상전류차단(회)	3 - 5	3 - 5	5 - 10	5 - 10	10 - 20	100
차단시간(ms)	100	60	40	75	50	40
차단Energy(KJ)	0.4	0.3	0.2	0.5	0.1	0.07
압력(KPa)	10 - 15	10 - 15	3 - 8	1	250 - 600	10 ⁻⁷
동작 Energy	대	대	소	중	중	소
개폐 Surge	무	무	소(개폐저항 장착의 경우) 대(개폐저항 없을 경우)	극 소	극 소	대
파괴 위험성	대	소	무	무	무	무
주요장점	사용자 이해용이	가격저렴, 사용자 이해용이	안전성	안전성	장수명 보수, 유지기간 구조간단	장수명 보수, 유지 기간 구조간단
주요단점	파괴 위험성 대, 체적이 큼.	파괴위험성 무.	고가격	고가격 동작시간 대	고가격	개폐 Surge

關한 技術

iii) 接點에 關한 技術

眞空技術은 소위 眞空遮断筒이 諸特性을 確保하기 爲한 高眞空技術이고, 단지 眞空만을 爲해서는 極히 優秀한 機械裝置에 依하여 비교적 容易하게 達成할 수 있다. 그러나 眞空遮断筒은 長期間 使用될 뿐 아니라, 高眞空 狀態에서 大電流를 遮断하는 한편 高眞空도를 계속 維持해야 하기 때문에 材料管理를 포함한 各種의 處理·管理技術이 必要하게 된다.

一般的으로 眞空遮断筒 製造業체의 경우 絶緣筒 및 接點材料技術에 關해서는 專門Maker에 委任하는 경우가 있으나 眞空遮断筒은 前述한 i) ii) iii)의 技術이 總體的으로 連結되어야만 可能한 것이다.

眞空도에 影響을 미치는 것은 原材料, 部品 製造技術等 基本要素 以外에도 絶緣材料로서의 無機質 絶緣筒과 金屬과의 眞空度維持를 爲한 結合 技術은 特히 重要한 點이고 眞空遮断筒 製造의 基本으로 되어 있다.

眞空遮断筒은 電流를 遮断하는 것이 가장 큰 目

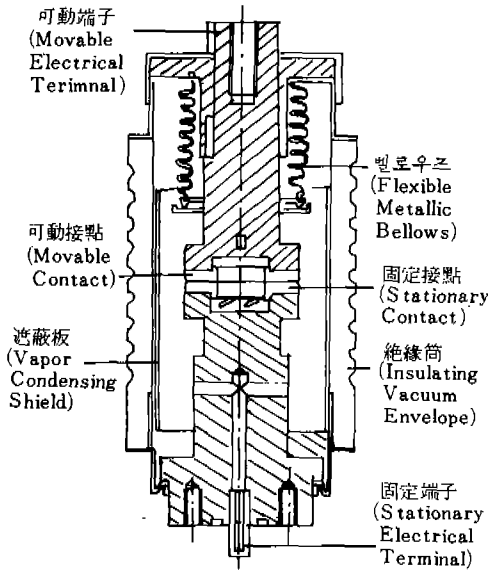
的이므로 接點의 重要性을 最優先으로 볼 수 있다. 따라서 작은 裁断電流值를 가지면서 高眞空도를 維持할 수 있고, 諸般性能을 滿足시킬 수 있는 接點이 필요하다. 이러한 複合的인 基本技術에 依해서만이 眞空遮断筒에 要求되어지는;

- 1) 高耐消耗性能 2) 小裁断性能
- 3) 高短時間電流性能 4) 高遮断性能
- 5) 高耐絶緣性能 6) 高機械의 強度
- 7) 小形·輕量 8) 長壽命 9) 小Arc Energy
- 10) 小操作Energy 11) 小接點Stroke 등의 優秀한 性能을 保障할 수 있게 된다.

3. 眞空遮断筒의 原理와 構造

眞空遮断筒의 製造技術 및 部品構成에 對해서는 各 製造業체 모두 獨特한 Know-How로 取扱하고 있으며, 製造業체別로 製品의 構造 및 性能도 약간씩 相異한 實情이다. 이에 本稿에서는 眞空遮断筒 技術에 普遍的으로 活用되고 있는 基本的인 原理 및 構造를 中心으로 記述코자 한다.

參考로 <그림 1>에 眞空遮斷筒 構造의 一例를 圖示하였다.



3 - 1 消弧原理

電流遮斷時 接點이 開放됨에 따라 接點間에는 高溫, 高傳導性의 Arc 기둥이 發生되고, 이 Arc는 接點을 通過하는 電流에 依하여 發生된 金屬蒸氣에 依하여 持續되게 되는데, 이러한 Arc 消弧의 段階는 크게 셋으로 區分할 수 있다.

3 - 1 - 1 高電流段階 (High Current Phase)

最初の 發生Arc는 密度가 매우 적으며, 超高速, 高溫(約2,500K), 高傳導性을 갖는 Plasma形態로 되어 있으며 高眞空狀態에서는 時間이 經過함에 따라 急速히 消滅된다. 이때 發生된 金屬蒸氣는 바깥쪽으로 擴散되어 그림 1의 金屬蒸氣 遮蔽板(Vapor Condensing Shield) 表面에 附着되고 絶緣筒 自體의 絶緣性能을 良好하게 유지할 수 있도록 한다.

3 - 1 - 2 熱的段階 (Thermal Phase)

電流가 零點에 가까와짐에 따라 電流減少와 함께 Plasma의 크기는 急速히 減少하며 매우 얇은 필라멘트 狀態로 된다.

熱的段階는 殘余Plasma의 冷却과 急速한 再起電

壓에 依한 再加熱의 速度競爭으로 볼 수 있으며 이러한 冷却과 再加熱 現象間의 速度 및 溫度差에 依하여 Arc의 冷却이 이루어지게 되고 이에 依해 熱的 再起點弧 (Thermal Reignition) 또는 遮斷作用이 이루어지게 된다. 따라서 眞空遮斷筒에 있어서 金屬蒸氣의 迅速한 擴散 및 Arc의 冷却은 接點Gap의 絶緣破壞強度를 決定하는 重要한 要素로서 作用하게 된다.

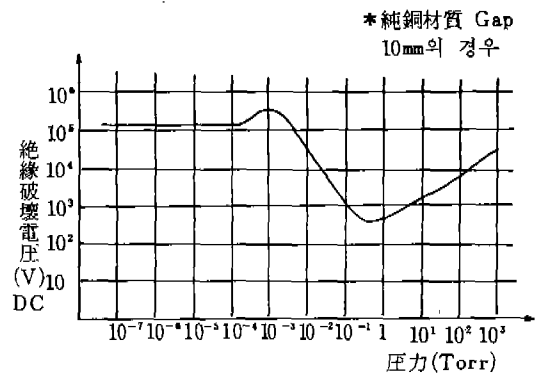
3 - 1 - 3 絶緣段階 (Dielectric Phase)

上記 熱的 遮斷의 成功的인 遂行後 高熱의 Plasma는 非傳導性의 Gas로 代替되지만, 殘余分의 傳導性 Ion에 依하여 接點開放狀態에서도 再起電壓을 誘發시키는 局部的인 電界의 歪形이 發生하게 되는데, 이에 依해 遮斷時의 絶緣破壞強度는 큰 影響을 받게 되므로 高眞空度의 繼續的인 維持, 接點間의 Gap 部品構造等 絶緣遮斷筒의 設計時 細心한 配慮가 必要하다.

3 - 2 眞空度의 維持

一般的으로 眞空과 絶緣破壞의 關係는 그림 2에 圖示한 바와 같이 壓力의 變化에 따라 “파센의 法則”으로 알려진 “V特性”을 나타내며 特別히 高眞空(10^{-3} Torr 以上) 狀態에서는 大端히 높은 絶緣破壞電壓을 갖게 되며 이것이 眞空技術을 遮斷技術에 導入한 基本的인 理由이다.

眞空遮斷器의 消弧原理를 보면 前述한 바와같이 接點과 高眞空의 維持 및 各種部品들 間의 複合的



<그림 - 2> 壓力과 絶緣破壞電壓 (例)

인 相互補完作用에 依해서 이루어지고 있으나 眞空度의 유지側面에서 생각하여 보면 다음과 같다.

電流가 遮断되면 Arc가 發生되어 接點材料로 부터 發生된 蒸發金屬 및 Ion이 接點間의 一定空間에 存在하게 되며 高眞空中에서는 이러한 金屬蒸氣 및 Ion이 급속히 擴散하여 交流電流의 零點에서는 接點間空間에 存在하던 粒子가 急激히 減少하고 높은 絶緣耐力を 確保할 수 있게 된다. 이러한 消弧性能을 保障할 수 있는 眞空度는 一般的으로 10^{-4} Torr 以上으로써 通常 眞空遮断筒의 眞空度는 10^{-6} Torr 以上으로 製造되고 있다. 또한 眞空遮断筒의 接點間Gap은 매우 작은 狀態인 바, 開離狀態의 絶緣破壞에 依하여 本意아니게 負荷側에 充電事故를 誘發할 수 있으므로 高眞空度의 維持는 매우 重要한 事項이다. 眞空度 劣化事故의 가장 큰 原因은 可動接點과 차단통을 連結하는 벨로우즈(Bellows)에 依한 것이다. Bellows는 매우 얇은 스테인레스(Stainless) 鋼板으로 만들어져 있으므로 表面의 損傷뿐 아니라 許容值 以上の 機械的應力, 附着時 可動接點의 運動軌跡이 벨로우즈의 中心軸上에서 正確히 驅動될 수 있도록 細心한 注意가 必要하다.

3-3 接點

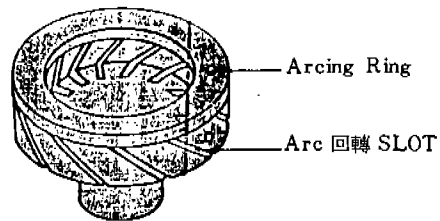
接點은 高眞空技術과 더불어 眞空遮断筒의 諸般特性을 決定하는 가장 核心的인 技術要素의 하나로서 1960年代 美國에서 銅비스무스(Cu-Bi)系統의 材質이 처음 開發·使用된 以後 各 業体別로 眞空遮断筒의 遮断能力 向上 및 高級化 次元에서 꾸준히 研究開發이 이루어져 왔으며, 眞空遮断技術에 있어서 最大弱點으로 指適되어 온 開閉Surge問題의 解決次元에서 向後에도 持續的인 技術進歩가 必要한 實情이다.

最近 眞空遮断筒에의 使用이 普遍化되고 있는 接點技術의 特徵은 크게 다음과 같이 大別할 수 있다.

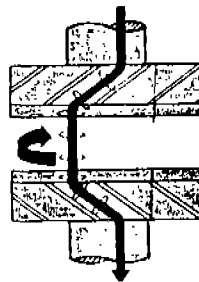
3-3-1 加工技術의 向上

接點의 開放에 따라 發生한 傳導性Plasma는 接點의 表面에 突起 또는 흠이 있을 경우 이에 集中하게 되어 局部的인 過熱을 誘發하고 眞空遮断筒 自體의 絶緣性能 및 遮断性能을 심각하게 劣化시키게

된다. 따라서 이의 防止를 爲해서는 精密한 表面加工뿐만 아니라 特殊한 化學處理를 行하는 것이 要求되고 있다. 또한 그림3 및 그림4에 나타낸 바와 같이 接點의 形狀加工時 비스듬한 方向으로 Slit를 만들어 줌으로써 電流遮断時 發生된 傳導性 Plasma가 一部에 固定되지 않고 磁界에 依하여 円形接點의 周圍를 回轉하게 함으로써 眞空遮断筒 絶緣性能 및 遮断能力의 向上을 圖謀하고 있다.



〈그림-3〉 接點의 形狀(例)



〈그림-4〉 Arc의 移動과 回轉

3-3-2 材質의 改良

接點의 材質은 眞空遮断筒 技術에 있어 가장 重要한 Know-How로서 先進技術保有 業体間에서도 技術的으로 差異가 있으나 最近에 이르러서는 크롬·銅(Cr-Cu) 系統의 燒結合金(Sintered Alloy)이 그 主流를 이루고 있다. 그 理由로는 첫째, 크롬(Cr)의 強力한 Getter效果를 利用하여 遮断後에도 高眞空度를 繼續維持할 수 있도록 하는 것으로써 接點의 크롬(Cr) 金屬蒸氣는 遮断時 眞空中에 남아있는 Gas를 急速히 吸收·中性化하게 한다.

한편 小電流遮断時, 電流가 零點에 到達하기 以前에는 Arc가 不安定한 狀態로서 이를 強制로 裁斷(Chopping)하게 되면 負荷Inductance에 남아있는 Energy에 依하여 裁斷(Chopping) Surge가 發生하

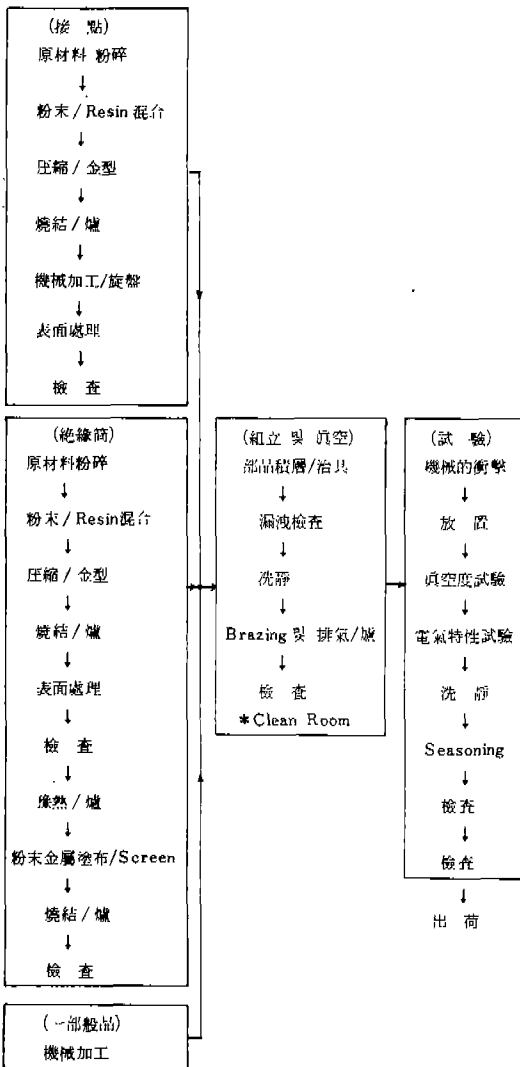
는데 이러한 裁断Surge에 副應하는 Surge 電圧이 隨伴되어 周辺負荷에 害를 끼치는 경우가 있을 수도 있다. 따라서 이에 對한 業体の 集中的인 研究 結果, 同 技術使用初期에는 約20A에 達하던 裁断電 流值가 最近에는 約 3.5A 水準으로 低減되어 있으며 向後로도 더욱 改善이 이루어질 展望이다.

3 - 4 絶緣筒

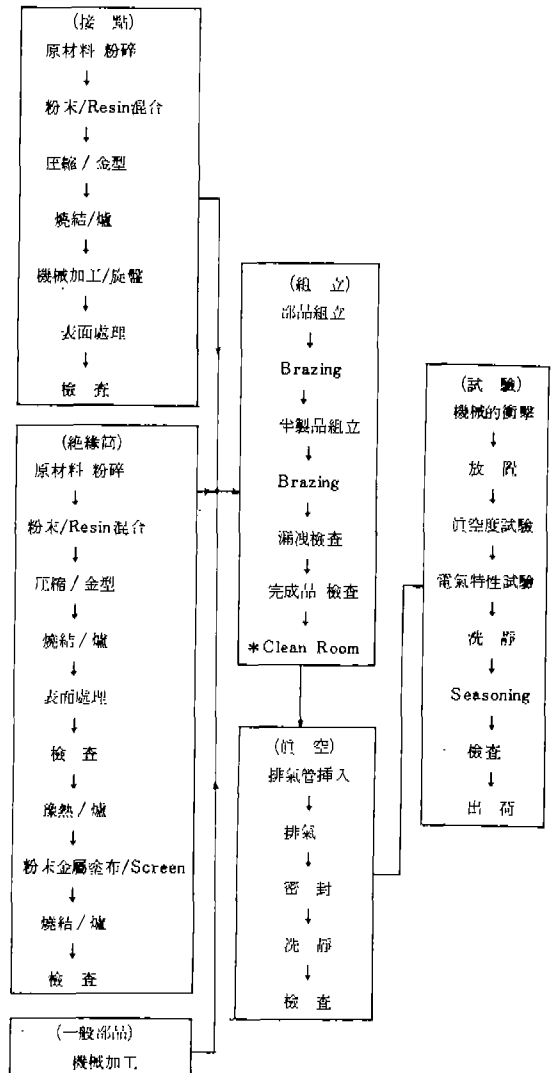
絶緣筒은 周辺 關聯部品과의 組合을 통한 高真空

의 維持, 自体絶緣能力의 確保等 真空遮断筒에 있어서 基本的인 要素技術의 한 分野를 차지해 왔다. 從前에는 絶緣筒의 材質로 Glass를 使用하여 왔으나, 最近 들어서는 絶緣性等 特性向上을 爲하여 알 루미나 (Al₂O₃) 系統의 燒結Ceramic으로 代替되어 가고 있다.

또한 絶緣筒의 設計時에는 絶緣筒自体의 材質뿐만 아니라 接合金屬部品과의 伸張率을 고려한 Metallizing 材質의 選定, 表面處理上的 문제점 周辺部



〈그림-5〉一括處理方式의 製造工程(例)



〈그림-6〉個別處理方式의 製造工程(例)

品과의 關係를 고려하여야 한다.

4. 眞空遮斷筒의 製造工程

前記한 바와 같이 眞空遮斷筒技術은 그部品 및 原料의 構成은 물론 製造工程의 경우에도 固有의 Know-How로써, 各 業體別 技術이 서로 相異하여 詳細한 技術內容은 秘密로 取扱되고 있으나 一般의 으로는 다음의 2가지 方法으로 大別된다.

參考로 그림 5와 그림 6에 各各의 製造工程을 簡略하게 나타내었다.

4-1 一括處理方式 (Batch System)

그림 5에서 알 수 있는 바와같이 一括處理方式에서는 全體工程을 크게 보면

- i) 接點工程
- ii) 絶緣筒工程
- iii) 一般部品加工工程
- iv) 組立 / 眞空工程
- v) 試驗工程의 5개 領域으로 區分할 수 있다.

同 方式의 特徵은 5개의 製造領域別로 各各 獨立인 部品 및 中間製品을 準備한 후 組立治具 및 接合金屬(Braze Washer)을 活用하여 電氣·眞空爐에서 眞空遮斷筒 内部·外部의 모든 接合部를 一括의으로 Brazing함과 同時에 眞空化 시키는 것이며, 爐內에서의 作業은 數十個 Lot單位로 一時에 이루어지게 된다. 따라서 一括處理方式은,

- i) 工程이 單純化되어 小種製品의 大量生産에 依한 製造原價節減
- ii) 接合金屬의 均一性 維持 및 機械의 強度의 向上 等의 長點을 갖고 있는 反面에
 - i) 製造不良 發生率 高
 - ii) 多種小量 機種生産時의 對應力 不足 等의 問題點으로 因하여 製品 Lot管理上에 細心한 注意가 必要하게 된다.

4-2 個別處理方式 (Independent System)

그림 6에서 알 수 있는 바와같이 個別處理方式의 경우에 全體工程은 크게 6個 領域으로 區分할 수

있으며 組立 및 眞空工程을 除外한 工程內容은 一括處理方式과 大同小異하다.

同 方式의 組立 및 眞空工程에 있어서의 作業方法은 組立工程으로 넘어온 各各의 部品 및 中間製品을 定해진 作業順序에 準해서 1個 接合部分적 Brazing 後, 排氣pump를 活用하여 1個製品 單位로 眞空化하는 것이다. 따라서 個別處理 方式은

- i) 製造不良率이 低
- ii) 多種小量機種 生産時 適合等의 長點을 갖고 있는 反面에,
 - i) 工程의 多段階·複雜化로 大量生産에 不適當하며, 製造原價上昇
 - ii) 接合強度의 不均一 및 機械의 被勞에 弱한 等의 問題點을 안게 된다.

따라서 製造工程의 設定에 있어서는 上記 2가지의 方式의 長·短點 및 生産與件等을 考慮하여 慎重하게 選擇할 必要가 있으며, 最近 들어서는 이 2가지 方式을 並行하는 傾向이 增大되고 있다.

5. 結言

지난 20余年間 우리나라의 高壓遮斷器技術은 急成長을 해 왔다고 볼 수 있으나, 그러한 成長은 外形의인 面에 그쳤고, 核心的인 技術의 消化에 對한 努力은 未盡했던 것이 事實이다.

同 技術의 경우에 있어서도 國內開發은 아직 初期段階로서 關聯技術 確保에 未洽한 點이 없지는 않으나 業體의 開發意欲 및 政府의 支援을 감안할 때 빠른 時間內에 開發이 可能할 것으로 생각된다. 그러나 날로 增大되고 있는 先進國의 技術保護政策, 後發開途國의 追擊 等을 考慮하여 볼 때, 同 技術의 早期開發은 勿論, 이번 機會를 契機로 삼아 向後 到來할 革新技術開發에 能動的으로 對處할 수 있도록 自主의인 技術力 確保에 持續的인 努力을 傾注해야 할 것이다. *