

技 術 解 說

高壓遮斷器의 試驗技術

辛 大 承*

■ 查 례 ■

- 1. 電力遮斷現象
- 2. 短絡試驗
- 3. 合成試驗
- 4. 빛는달

1. 電力遮斷現象

1973年末頃 英國에서 GEC製의 345kV 遮斷器(ABB) 型式試驗에 立會했으며 1979年 봄에 日本日立製作所에서 曉星重工業의 345kV遮斷器(GCB)型式試驗에 다시 立會할 機會가 있었기 때문에 遮斷器型式試驗技術에 對하여 整理해 보고저 한다.

주지하는 바와 같이 遮斷器의 機能은 다음의 3가지로 要約할 수 있다.

- a. 閉路時에는 理想的인 導電體이어야 한다(即 導電率 $\sigma = \infty$).
- b. 開路時에는 理想的인 絕緣體이어야 한다(即 $\sigma = 0$).
- c. 系統이나 遮斷器自體機能의 損傷없이 閉路和 開路의 狀態變化를 定해진 短時間內에 迅速하게 行해야 한다(即 導電體와 絕緣體의 迅速한 相互變換, $\sigma = \infty \rightarrow \sigma = 0$ 變換)

基本的으로 遮斷器(CB· Circuit Breaker)는 機械的 操作機構에 의해 開放 또는 閉路되는 2個의 接點으로 構成된다. CB가 開放될 때는 電流通路는 적어져서 最終接觸部는 電流密度가 커지고 熱이 發生하여 蒸發되고 必然的으로 Arc가 發生한다. 60Hz 交流에서는 電流零值가 每初當 120個가 생기므로 이 電流零值附近에서 Arc를 遮斷하고 遮斷後의 極間絕緣이 再起電壓(TRV: Transient Recovery Voltage)과 回復電壓(RV: Recovery Voltage)에 對해 充分한 絕緣耐力를 갖도록 함으로서 回路遮斷이 完了된다.

CB實用化의 初期段階에서는 電流遮斷時 必然的으로 Arc가 發生하므로 이것을 消滅시키는 것이 問題이며 Arc放電은 電流遮斷에 有害하므로 어떻게 Arc를 적게

짧게, 빨리 消滅시키는가 하는 問題解決이 곧 遮斷器의 技術의 進步라고 생각하였다. 그러나 導體—絕緣體의 相互變換이란 觀點에서 볼때 Arc Plasma의 特性은 매우 有用한 것이며 Arc가 있음으로서 高電壓 大電流 回路의 開閉가 可能한 것이다. 即 Arc Plasma는 그 溫度變化에 의해 그 導電率이 導體의 것에서 絕緣體의 것으로 變化됨이 알려졌기 때문이다. 그림 1은 大氣壓의 空氣中에서의 Arc Plasma의 導電率—溫度特性이다. Arc溫度를 $\frac{1}{10}$ 로 減少시키면 導電率은 $\frac{1}{10^{14}}$ 로 減少됨을 알 수 있으며 곧 Arc는 導體에서 絕緣體로 變하는 것이다. CB의 Arc消弧는 이렇게 溫度制御(冷却)으로 이루어질 수 있다.

CB의 Arc Plasma의 特性으로 바람직한 것은

- ① 導電率 σ 의 變化範圍 即 $\Delta\sigma$ 가 되도록 클 것
- ② σ 의 變化速度 即 $\left| \frac{d\sigma}{dt} \right|$ 가 되도록 클 것.

이 要求되는 바, ①에 關해서는 그 特性이 本質的으로 Plasma의 材料에 달렸으며 優秀한 媒體를 使用하므로서 優秀한 CB를 얻을 수 있다. ②는 Plasma材料의 固

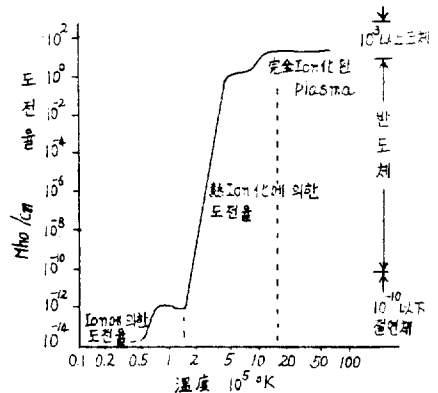


그림 1. 導電率—溫度曲線(大氣壓의 空氣)

* 正會員 : 韓國電氣通信研究所 電力試驗部長

有特性에도 關係되는 Plasma制御方法에 크게 左右되며 CB의 必藏部라 할 消弧室의 役割은 바로 $\left| \frac{d\sigma}{dt} \right|$ 를 크게 하는 것이다.

CB의 電流遮斷이란 될 수 있는 限 導電率이 큰 Arc Plasma를 만들어 大電流를 흐르도록 하고 이것을 有效하게 冷却시켜 導電率을 急速히 減少시키므로써 短時間內에 絶緣性이 높은 Gas 空間으로 變換하여 消弧시키는 것이라 할 수 있다.

〈代表的인 遮斷 Arc特性〉

現在 實用되는 CB의 Arc Plasma特徵은 아래와 같다.

가. 空氣 Arc特性

空氣遮斷器(ABB)는 高速氣流中の Arc를 斷熱膨脹으로 冷却시켜서 消弧한다. 이것은 壓力勾配에 따라 氣體가 膨脹運動을 할 경우에 粒子運動에 의한 內部에너지가 흐름에너지로 變換되어 冷却되는 機構이다. ABB의 경우, 空氣流速은 音速의 10倍程度되는 경우도 있고, Arc中心部(弧心)溫度는 15,000°K, 外炎溫度는

7,000°K程度된다. 한편 磁氣遮斷器(MBB)는 Arc熱을 熱傳導損失로 冷却시키는 방식이다.

나. 油中 Arc特性

油遮斷器(OCB)는 油中 Arc에 의해 分解된 水素를 Arc Plasma의 媒體로 하여 消弧한다. 並切形 OCB의 경우에는 Arc를 熱傳導率이 좋은 水素의 熱傳導로 冷却消弧시키는 水素消弧에 依存하므로 적은 遮斷容量의 CB에 適用된다.

그러나 現在使用되는 消弧室을 가진 OCB는 水素의 斷熱膨脹에 의한 冷却를 利用하며 熱傳導에 의한 冷却보다 훨씬 有效하게 冷却시키므로 큰 遮斷容量의 것까지 適用된다.

다. SF₆ Gas Arc

Gas遮斷器(GCB)는 SF₆ Gas中の Arc特性을 利用하여 消弧하는 것이며 空氣中이나 油中の Arc特性과는 特異하다. SF₆와 같은 Halogen系元素의 氣體分子나 原子는 Arc에 의해 電離된 導電性電子를 強하게 吸着하여 中性分子나 原子로 만들기 때문에 空間의 導電性

表 1. 遮斷器의 種類와 그 特徵

CB 種類	適用 範圍	遮 斷 原 理	性 能
1. MBB	3.6~15kV (20kV以上 不可) ~50kA	Arc를 電磁力으로 Arc chute 內에 붙여넣고 그 안의 좁은 홈에서 Arc를 冷却시켜 單位長當 Arc電壓을 上昇시키므로써 Arc電流를 減少, 遮斷함.	① 回路의 TRV에는 거의 영향받지 않음. ② Arc發生으로 電流를 數分の 1로 限流시킨. ③ Arc電壓은 거의 一定하고 Arc時間은 2 cycle 以內임. (차단시간은 5 cycle 정도) ④ R.V에 따라 차단능력이 영향 받음. ⑤ 溫度에 영향받기 쉬움.
2. OCB	3~300kV ~63kA	OT가 高溫 Arc로 分解하여 發生한, H ₂ Gas의 熱傳導나 斷熱膨脹으로 冷却, 消弧하여 차단함.	① 接觸子の 絶緣距離가 RV의 限度를, 消弧室의 機械的 強度가 차단전류의 限度를 左右하는 因子임. ② CB의 內部絶緣은 Tank形에서는 OT에 依함. ③ Arc時間은 1~1.5cycle
3. ABB	7.2~765kV ~63kA	壓縮空氣를 Arc에 붙여대어 冷却시키고 電流零值에서 接點間의 Ion을 붙여 없애거나 再結合시켜 消弧	① Arc時間 1cycle 以下 ② 75% SLF 차단이 가장 어렵다. ③ 絶緣回復特性이 우수하여 充電電流 차단시 再點弧없음
4. GCB	12~765kV ~63kA	Arc Plasma 空間內에 되도록 많은 SF ₆ Gas分子를 供給하여 SF ₆ Gas分子의 Arc와의 接觸反應을 促進시켜 消弧	① Arc時間 1cycle 以下 ② 開閉 surge電壓이 낮아서 抑制抵抗 挿入은 不必要하고 電流遮斷이 생기지 않음. ③ 接觸子の 消耗가 아주 적고 Arc分解나 Arc反應으로 Gas減量이 없음. ④ 液化하기 쉬우므로 높은 壓力使用時 Heater 必要(大氣壓에서 -62°C, 12氣壓에서 0°C, 5氣壓에서 -26°C, 10氣壓에서 -5°C에 液化) ⑤ Gas中の 水分管理가 重要함.
5. VCB	3.6~36kV 40kA	Arc Plasma의 金屬蒸氣를 周邊으로 急激히 擴散시켜 電極이나 shield에서 捕捉함으로써 消弧	① Arc時間은 1cycle內(電流크기에 無關) ② 進相小電流 차단시 再點弧 없으나 遲相小電流를 截斷하는 경우 있음(低Surge形을 쓰거나 Surge Absorber 附設)

이 아주 急速히 消滅된다. GCB도 Gas의 高速氣流을 Arc에 붙어대어 Arc遮斷을 하는 點은 ABB의 경우와 같지만, ABB는 遮斷膨脹에 의하고 SF₆ CB에서는 Arc와分子와의 接觸反應을 促進시켜 Arc遮斷을 하는 點이 原理적으로 다르다. SF₆ Gas의 絕緣耐力는 空氣의 3배이며, 3氣壓에서는 絕緣油以上이 된다. 또 消弧力이 매우 크며 導電 Arc에서 絕緣體로 變化하는 速度가 空氣의 100倍 以上이므로 遮斷能力도 空氣의 100倍 以上이다. 또 低電流의 截斷을 이르지 않는 理想的인 消弧媒體라고 할 수 있다.

Plasma이다. 이 Plasma는 周圍의 高眞空에 比해 局部的으로 아주 큰 密度勾配를 갖기 때문에 그 Ion, 粒子는 周圍을 向해 急速히 擴散하여 電流零值付近에서 Plasma形成이 弱해짐과 同時에 空間은 高眞空으로 復歸하여 電流는 遮斷되고 Plasma는 消滅된다. 一般으로 小電流에 對해 電流截斷을 일으키기 쉬우나, 電極金屬材料의 選定에 關係되며 熱傳導도가 적고 蒸氣壓이 높은 材料를 쓰면 電流截斷이 일어나지 않는다.

上述한 遮斷器의 種類와 그 特徵을 要約하면 表 1과 같다.

라. 眞空中의 金屬蒸氣 Arc

眞空遮斷器(VCB)에서 眞空中의 金屬蒸氣 Arc消弧는 金屬蒸氣나 荷電粒子를 擴散시키는 方式을 利用한다. 10⁻⁴mmHg 以下の 眞空中에서 電極을 開放한 경우에 生기는 Arc Plasma는 電極에서 放出된 金屬蒸氣의

2. 短絡試驗

遮斷器型式試驗은 많은 項目이 있으나 現在 國內試驗이 不可能한 大電流試驗項目에 對한 國際規格을 比較하면 表 2와 같다. 여기서

表 2. 短絡試驗에 對한 規格比較

項目		規格			JEC-181 (1977)	IEC-56	BS-5311-1977	ANSIC-37		
短時間電流	電 流 值				I (定格遮斷電流)	I	I	I		
	通 電 時 間				2 sec	1 sec	1 sec	3 sec		
	最大波高值				$2.5 \times I$	$2.5 \times I$	$2.5 \times I$	$2.7 \times I$		
端子短絡(BTF)	遮斷電流				I 以上	$I \sim 1.1I$	$I \sim 1.1I$	I 以上		
	再起電壓 (100% I) E: 定格電壓				波高值 $U_c = E / \sqrt{3} \times k \times \sqrt{2} \times 1.4$ k {168kV 以下는 1.5 204kV 以上은 1.3	$U_c = E / \sqrt{3} \times k \times \sqrt{2} \times 1.4$ k 는 1.5와 1.3이 있어 接地方式에 따라 定함.	同 左	波高值 $E_2 = kE$ k {72.5kV 以下 1.88 121kV 以上 1.66 (三相非接地短絡이 原則)		
	直流分含有率				2∞CB: 50% 3∞CB: 40% 5∞CB: 25%	開極時間에 따라 다름	同 左	50% 以上		
近距離線路故障(SLF)	遮斷電流				0.9I, 0.75I, 0.6I	0.9I, 0.75I, 0.6I	同 左	0.8I ~ 0.7I		
	線路의 波動 Imp (Z)와 振幅率(γ)	定格電壓	Z(ohm)	γ	定格電壓에 無關係하게 Z=450(ohm) γ=1.6		同 左	定格電壓	Z(ohm)	γ
		72~204	450~480	1.7 以上				242kV 以下	450	1.8
	240~300	350~375	1.6 "				362kV 以上	360	1.6	
	550	300~330	1.5 "							
脫調遮斷	遮斷電流				0.25 I	0.25 I	同 左	0.25 I		
	再起電壓				$U_c = E / \sqrt{3} \times k \times \sqrt{2} \times 1.25$ k {168kV 以下: 2.5 204kV 以上: 2.0	$U_c = E / \sqrt{3} \times k \times \sqrt{2} \times 1.25$ k {非接地系: 2.5 有效接地系: 2.0	同 左	$U_c = E / \sqrt{3} \times k \times \sqrt{2} \times 1.25$ k {非接地: 2.5 有效接地: 2.0		
充電電流遮斷	遮斷電流				Max 200A	架空線 Max 500A Cable Max 500A	同 左	架空線 Max 500A Cable Max 500A		
	單相試驗電壓 (架空線)				36kV 以下: $1.3E / \sqrt{3}$ 72~168kV: $1.25E / \sqrt{3}$ 204~300kV: $1.1E / \sqrt{3}$	定格電壓에 無關係하게 $1.2E / \sqrt{3}$ 但 3相間 開極時間의 差가 $1/6\omega$ 以上이면 $1.4E / \sqrt{3}$	同 左	架空線: $\frac{1.2E}{\sqrt{3}}$ Condewier Bank: $\frac{1.5E}{\sqrt{3}}$		
連相小電流遮斷	遮斷電流				I 의 1%, Max 20A	制定中	同 左	同 左		
	單相試驗電壓				168kV 以下: $1.5E / \sqrt{3}$ 204kV 以上: $E / \sqrt{3}$					

表 3. BTF Test의 動作責務

Test Duty	試驗電流(許容誤差) (정격 차단전류 I)	定格動作責務에 따른 Test Duty			備 考
		O-3M-CO-3M-CO	CO-15S-CO	O-0.3S-CO-3M-CO	
No. 1	10% I(±20%)	O-3M-O-3M-O	O-15S-O	O-0.3S-O-3M-O	DC 20% 以下
No. 2	30% I(±20%)	"	"	"	"
No. 3	60% I(±10%)	"	"	"	"
No. 4	100% I(+10%)	O-3M-CO-3M-CO	CO-15S-CO	O-0.3S-CO-3M-CO	"
No. 5	100% I(+10%)	O-3M-O-3M-O	O-15S-O	O-0.3S-O-3M-O	開極시간에 따라 定格 DC 분 以上

註 1. TD4는 TD4a(C動作만)와 TD4b(O動作만)으로 나누어 할 수 있다.
2. 回復電壓과 再起電壓이 規定値보다 낮으면 안된다.

JEC(Japanese Electrotechnical Commission) 181
IEC(International Electrotechnical Commission)
56-1, 2, 3, 4, 5, 6

B.S(British Standard) 5311

ANSI(American National Standards Institute)

이며 各試驗項目에 對해 좀 더 자세하게 檢討해 본다.

가. 短時間電流試驗

CB의 定格短時間電流(=短絡電流) 通電能力을 確認하기 위한 試驗이다. 過度한 溫度上昇, 接觸子와 接觸通電部分의 溶着, 發弧電磁力에 의한 變形等の 異常이 없어야 한다. 接觸子 形狀이 不適當하면 電磁力으로 接觸壓力이 相殺되어 甚한 溫度上昇이 생기거나 때로는 接觸子의 一時的 開離에 의하여 發弧해서 接觸面의 劣化나 溶着을 일으킬 수 있다. 短絡電流의 最大波高値는 定格短時間電流(RMS值)의 2.5배이며 投入電流의 값과 同一하다. 短絡初期第一波의 波高値로 表示되며 直流分減衰를 고려하지 않으면 Peak値는 $i_m = 2\sqrt{2}I = 2.82I$ 이나 半波後의 直流分減衰를 20%로 보아 $i_m = 1.8\sqrt{2}I = 2.55I \rightarrow 2.5I$ 即 2.5배를 規格値로 한다. ANSI에서는 直流分減衰를 10%로 보아 $i_m = 1.9\sqrt{2}I = 2.7I$ 로 했다.

通電時間은 1sec 以上인데 이것은 故障時에 後備保護繼電器에 의한 故障除去最大時間을 考慮하여 定했다.

나. 端子短絡試驗(BTF Test: Breaker Terminal Fault Test)

定格電壓과 規定 回路條件下에서, 定格遮斷電流의 遮斷能力 및 故障狀態에서의 投入能力을 檢證하는 試驗이다.

BTF試驗의 試驗動作責務(Test Duty)는 表 3과 같다.

(1) 再起電壓(TRV)

CB의 電流遮斷時 一般의인 電流와 極間電壓波形成은

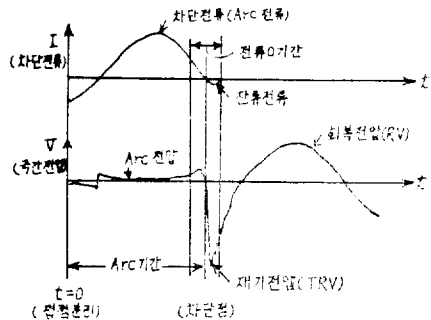


그림 2. CB電流遮斷時 波形

그림 2와 같다.

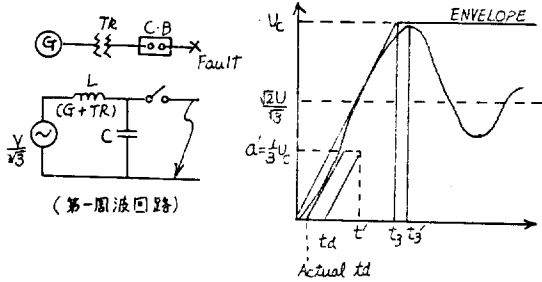
主接點이 分離되면서 故障電流는 Arc電流로 되어 電流零點에서 遮斷되며 極間電壓은 接點分離後 Arc電壓으로 나타나고 電流遮斷後에는 回路條件에 따른 過渡現象에 의해 처음 數百μS까지 再起電壓으로 나타나고 後에 回復電壓으로 安定된다.

再起電壓은 2 Parameter法이나 4 Parameter法으로 그 波形을 規約하는데 100kV 以下의 系統은 主로 變電所의 Feeder用이기 때문에 線路長이 짧고 主變壓器 Impedance 영향으로 再起電壓이 單一周波減衰波形成되는 경우가 많으므로 2 Parameter法으로, 150kV 以上은 線路의 影響으로 多重周波減衰波形成이 되므로 4 Parameter法으로 表示하게 된다. 그림 3과 4에 2 Parameter法과 4 Parameter法表示를 나타냈으며 어느 경우이나

첫째, 試驗波形的 包絡線이 規約波形的 絡線보다 낮아서는 안됨.

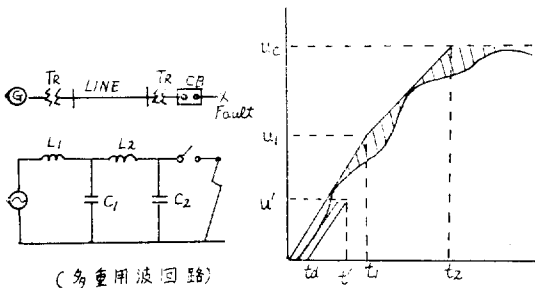
둘째, 試驗波形的 初期部分이 規約遲延線(Delay Live)과 交叉해서는 안됨.

의 2條件을 滿足시켜야 하는 것으로 規制하고 있다.



2 parameter (U_c, t_3)
 波高値: U_c , 規約波高時間: t_3
 規約上昇率: $RRRV = U_c/t_3$
 " 周波數: $10^3/2t_3'$ (KHz)
 $U_c = 1.4 \times \left(\frac{1.5}{1.3}\right) \times \sqrt{2} \times U/\sqrt{3}$

그림 3. 2 Parameter法



4 parameter (u_2, t_2, u_1, t_1)
 規約初期波高値: u_1 , 波高時間: t_1
 波高値: u_2 , " : t_2
 $u_1 = \left(\frac{1.3}{1.5}\right) \times \sqrt{2} \times U/\sqrt{3}$ $RRRV = u_1/t_1$
 $u_2 = 1.4u_1, t_2 = 3t_1$
 $u' = \frac{1}{2}u_1, t_d = 0.02t_1$

그림 4. 4 Parameter法

한편 回復電壓은 3相 CB의 3相試驗에서는 그 값이 $U/\sqrt{3}$ (U : CB定格電壓)이고 單相試驗에서는 $U/\sqrt{3} \times$ [First Pole to Clear Factor] (첫번째로 消弧되는 相의 回復電壓의 相電壓에 對한 倍數로서 有效接地系에서는 1.3, 非有效接地系에서는 1.5)로서 試驗時 規定値의 95% 以上으로 0.1sec 以上 維持해야 한다.

(2) 其他 留意할 點

規格에 따르면 試驗動作責務 No. 4의 CO動作에서 主接點이 閉路된 時點에서 적어도 2개의 半波電流만큼 지난 후에 O動作信號를 보내서 遮斷시켜야 하며 이것은 C動作이 完了되기 前에 O動作을 시키면 正確한 遮斷時間을 낼 수 없기 때문이다. 또 Arc時間이 짧은

CB의 遮斷試驗에서는 同一回路條件下에서도 電流의 어느 位相에서 接點을 開離시키느냐에 따라 試驗의 苛酷度가 크게 달라진다는 點에 留意할 必要가 있다. 따라서 第1相遮斷의 Arc時間이 1 Cycle을 넘지 않는 CB의 單相試驗에서는 試驗順序를 아래와 같이 施行한다.

① Test Duty 4나 4b에서 첫번째 O動作의 接點開離는 電流零에 充分히 가까운 點에서 하도록 하되, 그 電流零에서 Arc消滅이 되지 않도록 한다.

두번째 O動作은 첫번째보다 位相角을 約 60° 앞선 點에서 接點開離시킨다. 그런데 이때 처음의 電流零에서 Arc消滅이 되면, 세번째 O動作은 첫번째 O動作 때와 같은 電流位相에서 施行하고, 만일 두번째 O動作 때 처음 電流零에서 Arc消滅이 안되면 세번째 O動作은 2번째의 경우보다 60°位相이 앞선 點에서 試驗해야 한다.

② Test Duty No. 5에서는 첫번째 O動作은 電流零에 充分히 가까운 電流의 Minor Loop上的 位相에서 接點開離시키며 그 電流零에서 Arc消滅이 생기지 않도록 해야 하며 두번째와 세번째의 O動作은 첫번째의 경우보다 +60°, -60°位相에서 接點開離를 시켜 實施한다.

다. 充電電流遮斷試驗

遲相電流遮斷時的 電壓, 電流는 그림 5와 같다. 電流遮斷後 線路靜電容量은 電源電壓波高値로 充電되어 있으므로 CB極間電壓은 直流偏倚한 回復電壓이 걸리며 그 波高値는 電源電壓波高値(e_{max})의 2배에 達하므로 BTF Test의 경우보다 훨씬 큰 값이 된다.

Line charging current breaking test가 Cable charging current breaking test보다 RV가 크기 때문에 $\left(1.2 \times \frac{U}{\sqrt{3}}\right)$ 더 苛酷하며 Test Duty No. 1, 2, 3가 있으며 SF₆ CB와 같은 Restrike Free인 것에는 Test Duty No. 2만 實施해도 充分히 檢證이 된다.

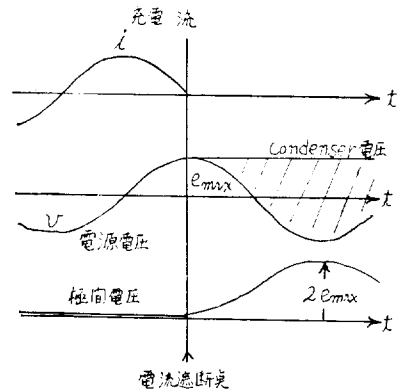


그림 5. 充電電流遮斷

Test Duty No. 2는 定格充電電流의 100~110%로, 3相試驗에서는 10回, 單相試驗에서는 30回遮斷한다. 單位試驗에서 位相角制御가 可能하면 電氣角 30°間隔으로 12回만 實施한다.

라. 脫調遮斷試驗(Out of phase switching test)

CB는 그 兩系統이 同期를 벗어나서 系統電壓 Vector가 最大 180°位相差가 나는 경우에도 이것을 遮斷할 能力이 있어야 한다.

脫調時의 回復電壓은 그림 6(a)와 같이 180°位相差 때 非接地系에서는 最大로 相電壓 E의 3배이며 有效接地系에서는 最大 2.6E이다. 規格上으로서 非接地系는 2.5E, 有效接地系는 2.0E의 回復壓으로 試驗한다.

한편 脫調時橫流는 그림 6(b)와 같이 $I_p = \frac{2E}{x_a + x_b}$ 이고 短絡故障時電流는 그림 6(c)와 같이 $I = \frac{x_a + x_b}{x_a \times x_b} E$ 이고

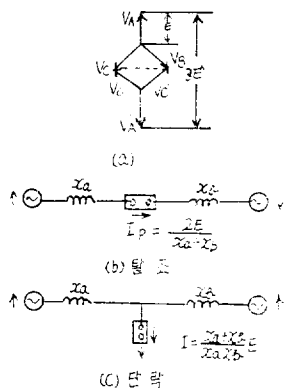


그림 6. 脫調遮斷

로 I_p/I 의 比率은 x_a/x_b 의 값에 左右되고 $x_a=x_b$ 인 경우에 $I_p/I=50\%$ 로 最大이나 實際로는 그런 경우는 거의 없으므로 25% I를 試驗值로 한다. TRV는 振幅率을 1.25(BTF는 1.4)로 하고 時間은 BTF의 경우의 2倍로 한다.

마. 近距離線路故障遮斷試驗(SLF Test: Short Line fault test)

定格電壓 52kV, 定格遮斷電流 12.5kA 以上인 CB에만 適用되는 試驗이며 ABB에서 가장 荷酷한 試驗項目이다. GEC製 345kV ABB도 바로 이 75% SLF試驗에서 不良하였다.

數km 以內的 짧은 距離에서 短絡故障가 생기면 故障電流는 BTF보다 多少 減少되지만 遮斷後에 線路電壓이 進行波로 傳播되어 故障點에서 反射하고 CB端子까지 往服反射하면서 三角波電壓을 發生하므로 이 線路側 TRV와 電源側 TRV의 差電壓이 峻도가 높은 TRV로 CB極間에 印加되므로 매우 荷酷한 試驗條件을 負課한다.

그림 7(a)의 回路에서 電流遮斷前의 實線과 같은 電位分布는 遮斷後에 點線과 같은 電位分布로 急激히 變하게 되므로 이때의 過渡現象으로 複雜한 TRV가 그림 (b)와 같이 發生하여 CB에는 急峻한 RRRV(Rate of Rise of Recover Voltage)가 걸린다. 試驗規格에는 電源側 TRV를 數値로 規制하였고 線路側 TRV는 주어진 線路波動 Impedance에 의해 計算으로 求하도록 規定되었다. Test Duty는 아래의 3가지를 行하여 定格動作責務의 O動作만을 行한다.

(1) Test Duty No L90 : I의 (90±5)%에서 施行

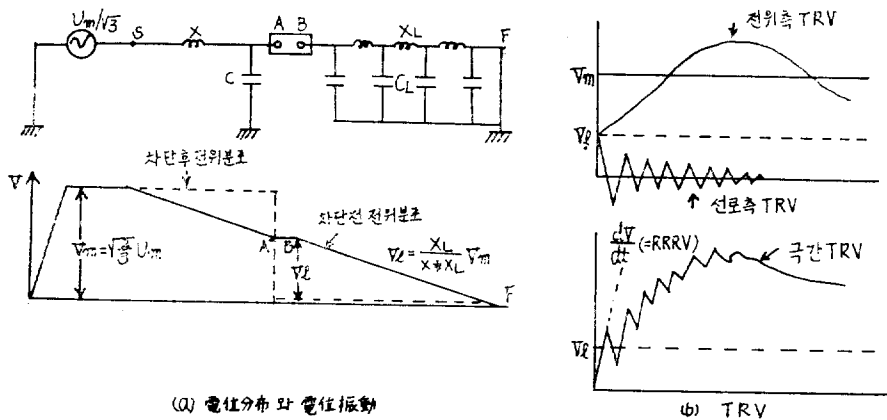


그림 7. SLF 遮斷 TRV

(2) Test Duty No L75 : I 의 (75±5)%에서 施行
 (3) Test Duty No L60 : I 의 (60±5)%에서 施行
 例를 들어 362kV 40kA CB의 TD L75인 경우의 線
 路側 TRV를 計算해 본다.

(例) TRV Calculation for shert line fault test
 (L75) Rated Voltage : $U=362\text{kV}$, L75 current I_L
 $=40 \times 0.75 = 30\text{kA}$

Power frequency voltage crest U_m
 $=\sqrt{2} \times 362 / \sqrt{3} = 295.5\text{kV}$

Initial voltage : $U_i = (1 - I_L/I) \times U_m$
 $= (1 - 0.75) \times 295.5 = 73.9\text{kV}$

1st peak of line side voltage : $U_L^* = kU_i$
 $= 1.6 \times 73.9 = 118.2\text{kV}$

time to U_L^* : $t_L = \frac{U_L^*}{\frac{U_m - U_i}{S_{L}}} = \frac{118.2}{0.24 \times 30} = 16.4\mu\text{S}$

(S : RRRV Factor)

IEC 56-4에서 電源側 TRV . $t_1 = 445\mu\text{S}$,

$t_2 = 1.340\mu\text{S}$, $t_d = 8.9\mu\text{S}$

Source side rate of rise : $\frac{U_m - U_i}{t_1} = \frac{295.5 - 73.9}{445}$
 $= 0.5\text{kV}/\mu\text{S}$

Source side voltage contribution at t_L : U_s^*
 $= (t_L - t_d) \cdot \text{RRRV} = (16.4 - 8.9) \times 0.5 = 3.75\text{kV}$

Peak voltage : $U_m = U_m(1 + 0.4I_L/I)$
 $= 295.5 \times (1 + 0.4 \times 0.75) = 384.2\text{kV}$

1st peak of TRV at t_L : $U_T = U_L^* + U_s^*$
 $= 118.2 + 3.75 = 122\text{kV}$

上述한 바와 같이 ABB에서는 Test duty L75가 가
 장 荷酷하고 SF₆ GCB에서는 Test duty L90이 가장
 荷酷한 것으로 알려져 있다.

3. 合成試驗(Synthetic Test)

CB의 遮斷容量은 電力系統容量의 增大에 따라 날로
 增加一路에 있어서 이것을 檢證하기 위한 短絡發電機

容量을 增加시키는 것은 莫大한 費用이 所要된다. 따
 라서 直接試驗이 아닌 合成試驗法이 開發되어 實用化
 되고 있다.

合成試驗은 遮斷試驗에 必要한 電壓과 電流를 2個의
 電源 即 電流源과 電壓源에서 別途로 供給하여 이를
 合成해서 故障條件과 同一하게 하여 性能을 檢證하는
 方法이며 直接試驗結果와 잘 符合됨이 알려져 있다.

그림 8에 試驗回路를 나타냈으며 直接試驗과 合成試
 驗의 等價性은 아래項目이 重要條件으로 check되어야
 한다.

(1) Arc發生中 Arc에너지가 同一할 것. 電流의 波
 形(振巾과 Loop期間) 및 Arc Voltage(Last loop의 크
 기와 持續時間)을 check할 必要가 있다.

(2) 遮斷電流電點附近의 $\frac{di}{dt}$ 가 同一할 것.

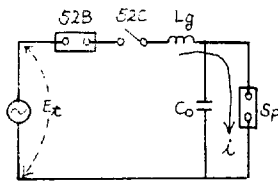
Oscillogram上的 電流의 기울기를 구하여 直接試驗
 때의 $\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \left(\frac{d}{dt} (\sqrt{2} I \sin 2\pi f t) \right)_{t=0} = \sqrt{2} \cdot 2\pi f \cdot I$
 A/ μS)와 비교해서 적으면 안된다.

(3) TRV, Rate of Rise, RV, Time delay 등이 同
 一할 것.

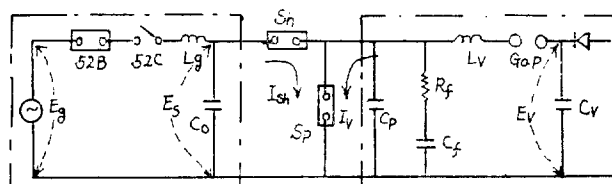
表 4. 直接試驗과 合成試驗比較

項 目	直 接 試 驗	合 成 試 驗
試驗電壓	$\sqrt{2} E_L$	$E_v (= \sqrt{2} E_L)$
遮斷電流	$i = \frac{\sqrt{2} E_L}{w L_L}$	$i_v = \frac{E_v}{Z_v} \left(Z_v = \sqrt{\frac{L_v}{C_v}} \right)$
電源周波數	w	$w_v = 1 / \sqrt{Z_v \cdot C_v}$
電流傾斜	$w \cdot i = \sqrt{2} E_L / L_L$	$w_v \cdot i_v = E_v / L_v$ $= \sqrt{2} E_L / L_v$
Inductance	L_L	$L_v = L_L$
TRV 角波數	$w_n = 1 / \sqrt{L_L \cdot C_v}$	$w_{n_v} = 1 / \sqrt{L_v \cdot C_v'} = w_n$
CB極間 Capatance	C_v	$C_v' = C_f + C_p$
回路 Surge Impedance	$Z_n = \sqrt{L_L / C_v}$	$Z_{n_v} = \sqrt{L_v / C_v'} = Z_n$

(註) 記號는 그림 8 參照



(Direct Test)



(Synthetic Test)

그림 8. 合成試驗回路

(4) Test CB에서 본 回路 Surge Impedance가 同一할 것.

이들을 綜合하면 表 4와 같다.

合成試驗에서 Injection current(I_e)의 周波數 f_e 는 250~1,000Hz 程度이어야 하며 Injection current는 電流零直前に 印加되어 Test CB (S_p)에 電流를 흘릴 수 있어야 한다. Injection current의 印加時點은 그림 9와 같이 S_p 에 Injection current만이 흐르는 時間이 그 周期 $T_e (= \frac{1}{f_e})$ 의 $\frac{1}{4}$ 보다 작고 Arc電壓의 急變 期間보다 길어야 한다.

試驗動作貨務는 Test Duty 4a, 4b만c} 直接試驗보다 다르다. 例커테 動作貨務 O-0.3S-CO-3M-CO인 高速度再開路用 CB의 試驗動作貨務는

$O_e-0.3-C_eO-3M-C_eO-3M-O$ (4b)

$C-3M-C$ (4a)

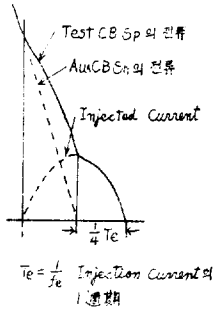


그림 9. Injection Current

이며 여기서

O_e : 低減電壓의 定格遮斷電流遮斷

C_e : " " 投入 " 投入

C : 定格電壓의 電流 또는 低減投入電流投入

O : 定格電壓의 定格遮斷電流遮斷

試驗時에 Oscilloscope(CRO)로 반드시 記錄分析할 測定量은 TRV와 RV(掃引時間 500 μ S程度로 RV, 掃引時間 20 μ S程度로 TRV), 電流零點附近의 Injection current 等이며 其他는 電磁Oscillograph(MO)로 記錄해도 좋겠다.

4. 맺는 말

大電流遮斷現象과 CB의 試驗方法을 若干의 經驗을 土臺로 記述했으며 이것이 遮斷器의 製作이나 試驗業務에 從事하는 本에게 多少나마 도움이 되기를 바랄 뿐이다. 우리 研究所에서 建設中인 昌原의 短絡試驗設備가 82年中盤에 完工되던 遮斷器의 國產化, 開閉器類의 開發이 크게 促進되고 그 試驗技術도 刮目할 進展이 있을 것으로 期待한다.

參 考 文 獻

- [1] IEC-56-1, 2, 3, 4, 5, 6: H.V. A.C. circuit breaker
- [2] IEC 427: Report on synthetic testing of CB
- [3] IEC 726: Out of phase switching test
- [4] Fuji Electric 高壓遮斷器의 試驗法
- [5] 電力用 遮斷器 日本電氣學會

論文揭載料變更案內

當學會에서는 會員여러분의 負擔을 줄이고자 아래와 같이 揭載料를 變更하였으니 諒知하시기 바랍니다.

	現 行	改 定
審 查 料	없 음	12,000원
揭 載 料	전 액 負 擔 (1page當 8,000원)	4 page까지 學會負擔 5 page부터 投稿者負擔 (1 page當 8,000원)
備 考	投稿時揭載料納付	投稿時審査料納付

※ 1981年 4月 15日 施行