

# 高壓 Fuse의 遮斷試驗

辛 大 承\*

차

레

- 1. 高壓 Fuse의 種類
- 2. 高壓 Fuse의 遮斷現象

- 3. 高壓 Fuse의 遮斷試驗
- 4. 맺는말

## 1. 高壓 Fuse의 種類

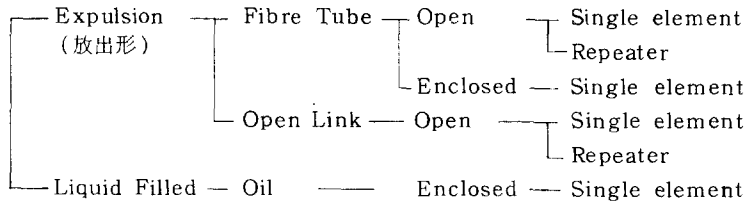
Fuse는 電線路나 電氣機器의 過電流保護를 目的으로 하는 것이며 Fuse의 一部를 構成하는 可熔體 (Fuse 要素라 함)에 短絡電流 또는 過電流가 흘렀을 때 그 自身の 發生熱( $I^2R$ 熱)로 溶斷하여 回路를 遮

斷하는 것이다.

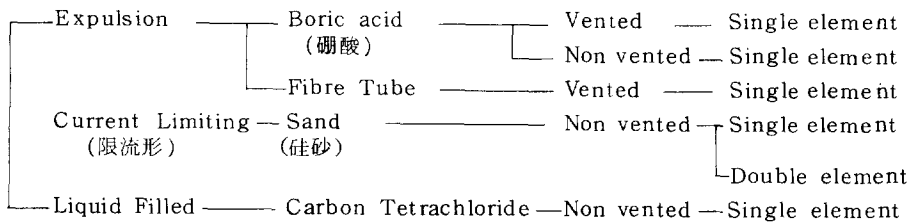
高壓 Fuse의 種類는 아래와 같이 分類할 수 있다. 여기서 電力 Fuse (Power Fuse)와 配電用 Cutout (Distribution Cutout)는 明確히 區分하기는 어려우나 電力 Fuse는 주로 發變電所에 設置되고 그 BIL이 發變電所 Level이며, 配電用 Cutout는 配電線에 使用되고 그 BIL이 配電線 Level인 것을 말하는 것으로 區

### < H · V Fuse의 種類 >

#### ○ Distribution Cutout



#### ○ Power Fuse



\* 正會員 : 韓國電氣通信研究所 電力試驗部長

別될 뿐이다.

高壓 Fuse 를 그 消弧方式으로 區分하면 限流 Fuse 와 非限流 Fuse 로 크게 나눌 수 있으며 Expulsion Type (放出形)은 非限流 Fuse 의 代表的 例이다.

限流 Fuse 는 Arc 를 冷却하여 Arc 電壓을 높임에 의해 短絡電流가 그 波高值에 達하기 前에 限流遮斷하는 Fuse 이며, 한편 非限流 Fuse 는 Fuse 要素 溶斷後 構成物質의 氣化等에 의한 消弧性放出 Gas 의 放出에 의해 電流零點에서의 極間 絶緣耐力을 높여, Arc 遮斷作用을 하는 方式의 Fuse 이다. 限流形과 달라 短絡電流가 半 cycle 以上 持續하여 遮斷된다.

## 2. 高壓 Fuse 의 遮斷現象

### 가. 限流 Fuse (Current Limiting Fuse)

限流 Fuse 는 Fuse 素子가 氣化한 後 좁은 모래(石英粒) Tunnel 中에 생긴 Arc 를 周圍의 모래로 強하게 冷却하여 Arc 電壓을 電源電壓以上으로 높임으로서 消弧하는 方式의 Fuse 이다(그림 1(a)). 이런 類의 Fuse 遮斷現象은 回路論의으로 보면 그림 1(b)의 model 回路에서 Arc 抵抗에 相當하는 高抵抗 R 을 回路에 急히 挿入하는 것에 相當한다. 그 結果로 電流는 이 瞬間부터 波高值는 더 커지지 않고 所謂限流作用이 생긴다. 이 때문에 限流 Fuse 라고 하며, 限流 Fuse 는 典型的인 抵抗遮斷器이다.

即 交流遮斷에 있어서는 그림 1(a)와 같이 發弧에 의해 短絡力率은 1.0 가까이로 改善되고 電源電壓波形과 電流波形은 거의 同相이 된다. 이때문에 電流零

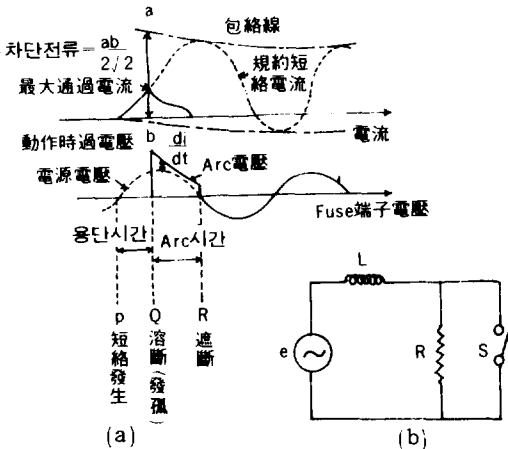


그림 1. (a) 限流 Fuse 의 動作 Oscillogram  
(b) 限流 Fuse 의 動作等價回路

값을 通過한 後의 再起電壓(TRV)은 낮아지고 遮斷도 容易해진다.

限流 Fuse 의 Arc 電壓이 Arc 期間中을 通해 높은 값을 維持하기 위해서는 Arc 는 이 期間中 一貫해서 모래로 強한 冷却을 받아야 한다. 이때문에 限流 Fuse 의 素子材料은 銀이나 銅과 같은 高導電率이고 融點이 比較的 높은 金屬(銀의 熔融溫度는 960 °C)을 쓰고 Arc Tunnel 의 斷面積을 되도록 작게 한다. 또 Fuse 素子는 가는 線이나 얇은 Ribbon 形으로하여 이것을 必要한 數만큼 並列로 함에 의해 Arc 表面積을 되도록 크게 한다(그림 2). 이것은 同時에 常規電流에 의한 素子の 發熱을 有效하게 冷却시키는 結果가 되어 素子の 總斷面積을 低下시키고 遮斷性能을 한층 向上시키는 것이 된다.

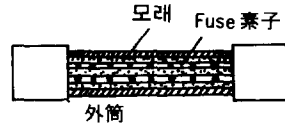


그림 2. 限流 Fuse

限流 Fuse 는 高電流密度의 말하자면 "뜨거운 Fuse"이며 熱慣性이 적고 速動性이다.

Arc Tunnel 의 모래壁은 時間이 經過함에 따라 Arc 熱로 溶融하여 Tunnel 斷面積은 增大하여 모래의 冷却作用은 低下된다.

Arc 熱은 그림 1(b)에서  $e^2/R$ 로 表示된다. 따라서 모래의 溶融을 늦게 하기 위해서는 前述한 手段으로 되도록 Arc 抵抗 R 을 增大시킴과 同時에 모래 1 粒子當의 吸收熱 Energy를 低下시키면 된다.

그림 1(b)에서 抵抗 R 을 回路에 挿入한 瞬間에는 R 의 粒子間에 그 直前의 電流值과 R 과의 積에 相當하는 波高值를 갖는 過渡電壓이 나타난다. 이것이 限

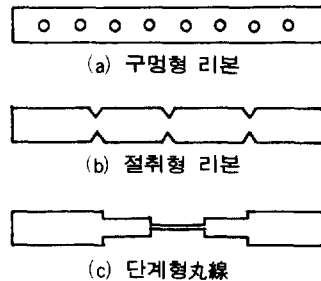


그림 3. 過電壓 抑制形 Fuse 素子

流 Fuse의 發弧瞬時에 나타나는 過電壓이 電壓이 一定值 以下로 抑制하기 위해서는 R가 段階的으로 回路에 挿入되도록 Fuse要素를 設計한다.(그림 3)

나. 非限流 Fuse (Non Current Limiting Fuse)

非限流 Fuse, 例컨데 放出形 Fuse(Expulsion Fuse)의 消弧는 絶緣 Gas Jet에 의한 消弧方式이다.

이것은 Fuse素子가 溶斷하여 發生한 Arc의 熱에 依해 消弧筒內壁에서 消弧性 Gas를 蒸發시켜서 筒下 端의 開口部로 Jet氣流를 噴出시켜 消弧遮斷하는 方式이다. Gas流에 의한 Arc 冷却效果는 限流 Fuse의 경우에 比해 현저하게 적어서 Arc 電壓은 낮다. 그러나 強力한 Jet氣流가 電流零點 通過時의 筒內殘留 Ion을 一掃하기 때문에 遮斷이 行해진다. 이런 類의 Fuse는, 大電流遮斷에 견디도록 筒內徑을 크게 設計하면 小電流遮斷時에 發生 Gas가 不足하게 되고, 그것이 充分하도록 筒內徑을 작게 設計하면 大電流遮斷時에 Arc 閉塞이 일어나는 矛盾이 생긴다.

이것을 避하기 위해 그림 4와 같이 大口徑의 구멍과 小口徑의 구멍을 並列로 設置하여 前者에는 Fuse 主要素를, 後者에는 補助 Fuse를 通하게 하는 設計라던가, 또는 Arc가 안으로 끌어들여짐에 따라 孔徑을 적게하는 設計를 하고 있다.

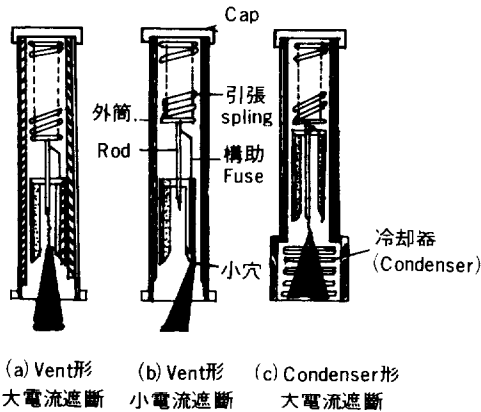


그림 4. 硼酸 Fuse

이런 類의 Fuse는 Jet가 直接 大氣中으로 放出되는 構造를 가진 것이 많으며 放出 Fuse라고 부른다. 硼酸 Fuse는 放出形으로서 筒內壁에 붙친 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ·

3 H<sub>2</sub>O가 Arc에 依해 結晶水를 水蒸氣로 放出하는 것을 利用한 것이며 開口部에 Condenser (冷却器의 一種)을 두어서 消ion 및 消音作用도 하도록 하는 것도 있다(그림 4). 한편 配電用 Cutout는 Fibre tube 內壁에 硬質 Cellulose Fibre가 內被로 附着되어 있어 이것이 Arc에 의해 部分的으로 分解하여 Gas를 發生함으로써 電流零點에서 Arc를 消弧한다. 放出 Fuse의 主要素는 露出形이고 普通 한개의 얇고 굵은 金屬片이다. 따라서 이런 Fuse는 低電流密度, 말 하자면 “찬 Fuse”로서 熱慣性이 크며 運動性이다. 또 消弧原理에서 推測할 수 있드시 回路의 固有振動數의 影響을 크게 받는다.

3. 高壓 Fuse의 遮斷試驗

가. 試驗規格

Fuse의 遮斷試驗은 溶斷試驗인 同時에 破壞試驗이 므로 拔萃試驗(Sampling Test)과 같은 性質을 띠고 있다. 이것은 같은 遮斷試驗이라도 遮斷器의 경우와는 아주 다른 點이다.

母集團을 有效하게 Check하기 위해서는 Sample數가 많을수록 좋지만 여기에 經濟的 制約이 뒤따른다. 그 하나는 試驗費이다. Fuse의 遮斷試驗費도 遮斷器의 것과 本質的으로는 同額이다. 따라서 試驗의 種類와 Sample數가 많아지면 Fuse쪽이 高額이 된다. 또 單價가 높은 高電壓, 大電流 Fuse인 경우에는 溶斷試驗에 消費되는 Sample費를 無視할 수 없게 된다. Fuse는 單價가 比較的 낮은 器具인데 따라서 製品 Cost 中에서 總試驗費用의 比率는 相當히 높아진다. 따라서 Fuse 試驗法을 制定하려면 經濟的 合理性을 恒時 考慮해야 한다. 即 最小의 試驗種類와 Sample數로서 母集團의 性能이 最大로 Check되어야 하며, 이런 試驗法을 確立하기 위해서는 Fuse의 動作 그 自體를 明確하게 把握할 必要가 있다.

高壓 Fuse는 原則的으로 3 相器具로 생각된다. 即 3 相의 各相에는 반드시 1 臺씩 Fuse를 넣어야 한다. 單相의 경우에도 마찬가지이다. 그러나 低壓의 경우는 單相器具로 생각된다. 이것은 法規에 의해 接地相에는 Fuse를 넣지 않기 때문이다.

Fuse의 遮斷試驗은 高壓의 경우에도 單相으로 行하며 그 理由는 上述한 經濟性때문이지만, 單相試驗이 思考가 單純化되어 分析이 容易하여 合理的으로 試驗을 行할 수 있기 때문이다.

高圧 Fuse에 對한 國內規格은 아직 없으며 널리 國際的으로 通用되는 規格을 보면,

○ IEC Publication 282(1974): High Voltage Fuses.

IEC 282-1: Current Limiting Fuses.

IEC 282-2: Expulsion and Similar Fuses.

○ ANSI/IEEE C37.41(1981): Design Tests for high voltage fuses, Distribution enclosed single-pole air switches, fuse

表 1. 非限流 Fuse (IEC 288 - 2)

Test Series 試驗條件	class	Series 1	Series 2	Series 3	Series 4	Series 5			
回復電壓	1 및 2	定格電壓 $+5\%$ $0$							
再起電壓規約周波數	1	表 2 의 Column (B)			未制定	不適用			
	2	表 2 의 Column (A)							
再起電壓規約振幅率	1	1.4 ~ 1.5			上同	上同			
	2	1.3 ~ 1.4							
規約短絡電流 (rms.sym)	1 및 2	$I +5\%$ $0$ (定格遮斷電流 I)	$0.7I \sim 0.8 I$	$0.2 I \sim 0.3 I$	400~500A (1) (2)	(1) $2.7I_n \sim 3.3I_n$ (最小 15 A) ( $I_n$ : 定格電流)			
力 率	1	$< 0.10$ ( $\frac{X}{R} > 10$ )			0.3 ~ 0.5	0.6 ~ 0.8			
	2	$< 0.15$ ( $\frac{X}{R} > 6.6$ )							
投入位相角 (度)	1 및 2	第1試驗: -5~+15 第2試驗: 85~105 第3試驗: 130~150	第1: -5~+15 第2: 85~105	85 ~ 105	Random timing				
Fuse Link의 電流定格	1 및 2	Min	Max	Min	Max	Min	Min		
試驗回數	1 및 2	3	3	2	2	1	1	2	2
所要 Fuse Link 數	1 및 2	3	3	4		2		4	
回復電壓持續時間 (秒)	Dyopout		0.5						
	Non dropout		15						

Note : (1) 試驗時間이 約 2 秒를 超過하면 約 2 秒가 되는 더 큰 電流로 試驗할 것

: (2) 電流가 Series 5 의 값보다 적으면 Series 5 의 試驗은 不要

表 2. 再起電壓規約周波數 (IEC 288 - 2)

定 格 電 壓 (KV)	固有周波數 (KH <sub>z</sub> )		定 格 電 壓 (KV)	固有周波數 (KH <sub>z</sub> )	
	A	B		A	B
2.75 ~ 3.6	7.0	8.5	36 ~ 38 - 40.5	1.5	1.6
5.2 ~ 5.5	4.8	6.0	48.5 ~ 52	-	1.3
7.2 ~ 7.8 - 8.25	3.8	4.7	72.5	-	1.0
12 ~ 15 - 15.5	2.8	3.2	100 ~ 123	-	0.8
17.5 ~ 18	2.3	2.7	145	-	0.7
24 - 25.8 - 27	1.8	2.1	170	-	0.6

disconnecting switches, and accessories.

○ JEC-175 (1968) : 電力 Fuse.

IEC規格은 電力 Fuse와 配電用 Cutout의 區別없이 限流 Fuse와 放出形 Fuse의 2種으로 區分하여 規格을 定하였고 日本 JEC規格은 電力 Fuse에 對해서만 限流, 非限流 Fuse로 나누어 規程하였다. 한편 美國의 ANSI規格은 電力 Fuse의 限流形, 非限流形 및 配電用 Cutout 등에 對해 規格을 定하였다.

여기서는 IEC規格과 같이 限流形과 非限流形(放出形)으로 나누어 國際規格을 比較한다.

(1) 高壓非限流 Fuse의 遮斷試驗

IEC規格은 表 1, 2와 같다. 여기서 Class 1은 重要系統에 쓰이는 것으로 電力 Fuse類이고, Class 2는 配電系統에 쓰이는 Cutout 등이다.

非限流 Fuse 1臺에 對해 表 1과 같이 Test Series 1에서 Series 5까지 Fuse Link를 갈아끼우면서 所定の 試驗을 畢해야 한다.

ANSI規格은 表 3~6과 같다.

日本 JEC規格은 表 7, 8과 같다.

非限流 Fuse는 運動性이므로 定格電流가 큰 Fuse

表 3. 配電用 Cutout (Oil cutout, Open Link Cutout 除外, ANSI C37.41)

試驗條件	Test Series		Series 1	Series 2	Series 3	Series 4	Series 5
	回復電壓	定格電壓 +5% -0%					
再起電壓	未 制 定						
規約短絡電流 (rms. sym)	I	+5% -0%	0.7I ~ 0.8I	0.2I ~ 0.3I(3)	400A~500A (1)	2.7I <sub>N</sub> ~3.3I <sub>N</sub> (2)	
X/R 比 (力率)	表 4에 따름						1.3~0.75 (0.6~0.8)
投入位相角 (度)	第1回: -5~+15 第2回: 85~105 第3回: 130~150		左 同		85~105		Random Timing
Fuse Link의 定格	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
試驗回數	3	3	3	3	1	1	2
所要 Fuse Link 數	3	3	3	3	2		2
回復電壓持 續時間(秒)	Dropout 形	0.5 以上					
	Non dropout	0.5 以上					

Note: (1) 定格 200 A Cutout는 Series 4 試驗은 不要

(2) 試驗時間이 約 2秒를 넘으면 2秒가 되는 더 큰 電流로 試驗할 것

(3) 定格遮斷電流가 2800 A 以下인 것은 Series 3 試驗은 不要

表 4. 配電用 Cutout 試驗回路的 R/X 比 (ANSI C37.41)

定格最高 電壓 (KV)	定格遮斷電流 (rms. sym. A)	最小 X/R 比		定格最高 電壓 (KV)	定格遮斷電流 (rms. sym. A)	最小 X/R 比	
		Series 1. 2. 3	Series 4			Series 1. 2. 3	Series 4
2.6	1,000 ~ 16,000	5	2.3	15.0	10,600 ~ 13,200	12	2.3
5.2	1,000 ~ 12,500	5	2.3	27.0	1,000 ~ 2,500	8	6
7.8	1,000 ~ 10,000	8	2.3	27.0	4,000 ~ 8,000	12	6
7.8	11,200 ~ 16,000	12	2.3	38.0	1,300 ~ 5,000	15	7
15.0	1,000 ~ 7,100	8	2.3				

表 5. 非限流形 電力 Fuse (ANSI C 37.41)

試驗條件 / Test Series	Series 1	Series 2 <sub>(3)</sub>	Series 3	Series 4	Series 5	Series 6				
回復電壓	定格電壓의 87% + 5% - 0%	定格電壓 + 5% - 0%								
再起電壓	未 制 定									
規約短絡電流 (rms, sym)	I + 5% - 0%	0.87~0.91 I	0.6~0.7 I	0.2~0.3 I	400~500 A (1) (2)	2.7I <sub>N</sub> ~ 3.3I <sub>N</sub> (2)				
X/R 比 (力率)	X/R = 15 以上 (力率)			6.7% 以下		表 6 1.3~0.75 (0.6~0.8)				
投入位相角 (度)	第 1 回: -5~+15 第 2 回: 85~105 第 3 回: 130~150			85~105		Random Timing				
Fuse Unit 또는 Fuse Link의 電流定格	Min	Max	Min	Max	Min	Man	Min	Man	Min	Min
試驗回數	3	3	3	3	3	3	1	1	2	2
Refill Unit 나 fuse link를 가진 Fuse의 試驗回數	3	3	3	3	3	3	2		4	
非再用形 Fuse의 試驗回數	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
回復電壓持續時間	Dropout 形	Dropout 時間 以上 또는 0.1 秒 以上 (큰값으로)								
	Non dropout	10 分 以上							1 分 以上	

Note : (1) 값이 Series 6의 값보다 적으면 Series 5 試驗은 不要  
 (2) 용융시간이 2秒를 넘으면 約 2秒되는 電流로 증가해서 할 것  
 (3) Series 1 試驗을 100% 電壓에서 하면 Series 2 試驗은 不要

表 6. 非限流電力 Fuse의 Test Series 5에서의 最小 X/R 比(ANSI C37.41)

試驗電壓 (KV)	最小 X/R 比	試驗電壓 (KV)	最小 X/R 比
2.75	2.3	48.3	8.0
5.5	2.3	72.5	10.0
8.25	2.3	121.0	13.0
15.5	2.3	145.0	14.0
25.8	6.0	169.0	15.0
38.0	7.0		

의 경우에는 3相短絡의 경우에도 遮斷時間이 2~3 Cycle이나 되는수가 있다. 한편 3相短絡時 3相電壓은 120°씩 相差角이 있어 投入位相角이 다르므로 그매의 直流分도 各相이 달라서 한相의 Fuse가 끊기지 않고 남는 경우는 꽤 많은 편이다. 이 경우 2번째에 遮斷되는 Fuse에는 線間電壓 E가 걸린다. (그림

5) 따라서 非限流 Fuse는 單相電壓 E로 規約短絡電流를 遮斷할 수 있는지 確認하면 된다. 一般으로 非限流 Fuse는,

- ① 定格三相遮斷容量에 가까운 大電流域
- ② Arc 時間이 걸어지는 電流域
- ③ 溶斷時間이 긴 小電流域

表 7. 非限流電力 Fuse (JEC 175)

試驗條件	試驗系列		1		1 <sub>B</sub> (2)		2		3 <sub>A</sub>		3 <sub>B</sub>			
給 與 電 壓			定格電壓以上		定格 3 相遮斷容量을 保證하는 最小 電壓 以上 (1)		定格電壓以上		定格電壓以上					
回 復 電 壓			0.95×定格電壓以上		0.95×3 相遮斷容量을 保證하는 最小電壓 以上 (1)		0.95×定格電壓以上		定格電壓以上					
固 有 再 起 電 壓			表 8 과 같음									-		
短 絡 力 率			0.15 以下						0.3~0.5		0.6~0.8			
規 約 遮 斷 電 流			定格遮斷電流 I <sub>1</sub> 以上		最大遮斷電流 I <sub>1B</sub> 以上		(0.2~0.3) I <sub>1</sub>		400~500A		15~20A			
投 入 位 相 角 ( 度 )			1 回 : - 5 ~ 15 1 回 : 85 ~ 150 1 回 : 130 ~ 150		左 同		1 回 : - 5 ~ 15 1 回 : 85 ~ 105		-					
Fuse Link의 定格電流			Min		Max		Min		Max		Min		Min	
試 驗 回 數			3		3		3		3		2		2	
Fuse 外筒試料數			1		1		1		1		1		1	
回復電壓 持續時間			15 秒											

Note : (1) 實際回路使用電壓은 定格電壓보다 낮은 경우가 많다. ( $\frac{66}{72} = 0.9167$ ) 이 경우에도 定格遮斷容量은 같아야 하므로 遮斷電流는 좀 커져야 한다. ( $\frac{72}{66} = 1.091$ )

(2) 系列 1의 試驗에서 規格遮斷電流를 I<sub>1B</sub>로 行하면 系列 1B 試驗은 不要

表 8. 固有再起電壓 (JEC 175)

定格電壓 (KV)	再起電壓		規格周波數 (KHz)	規格振幅率	定格電壓 (KV)	再起電壓		規格周波數 (KHz)	規格振幅率
	規格周波數 (KHz)	規格振幅率				規格周波數 (KHz)	規格振幅率		
3.6	20		1.3		36	7	1.3		
7.2	20				72	4.5			
12	15				84	4			
24	9								

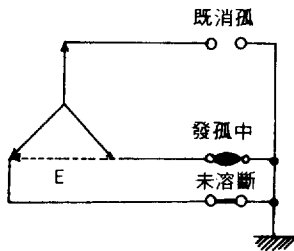


그림 5. 非限流 Fuse의 3φ 遮斷

에서 各各 現象의으로 相異한 苛酷함이 있어서 各各의 電流域에서 가장 苛酷하다고 생각되는 遮斷電流로 試驗檢證할 必要가 있다. 따라서 試驗電流로 定格遮斷電流(I), Arc 時間이 길어지는 것으로 알려져진 30% I 및 小電流를 規格에서 定하고 있으며 400 A 電流의 試驗은 大部分의 非限流 Fuse의 臨界電流가 400 A 附近에 있음이 認定되어 있기 때문이다.

非限流 Fuse의 消弧에 미치는 直流分의 影響은 複雜하다. 一般으로 直流分 含有率이 增加하면 消弧筒은 Arc 閉塞을 하기 쉬우나 그 反面에 電流零值에서

의 再起電壓이 低下하므로 遮斷은 容易해지는 傾向이 있다. 따라서 投入瞬時의 電源電壓波位相(投入位相)은 3種을 골라서 直流分의 크기와 發弧位相을 變하여 試驗한다. 一般으로 非限流 Fuse의 遮斷性能은 再起電壓의 影響을 크게 받는다. 再起電壓의 固有周波數는 遮斷器의 경우의 約  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 로 規定되었으며(IEC), 이것이 크면 再起電壓의 기울기 即 再起電壓 上昇率( $r \cdot r \cdot r \cdot v$ : Rate of Rise of Recovery Voltage)이 커져서 苛酷한 試驗이 된다. 再起電壓의 振幅率은 peak值를 決定한다. 가령 27 kv電壓用 Cutout의 振幅率이 1.4 라면 再起電壓波高值(peak)는  $27 \text{ kv} \times \sqrt{2} \times 1.4 = 53.5 \text{ kv}$ 가 된다.

定格電流 50 A, 100 A, 150 A, 200 A인 Fuse 素子が 定格電流 200 A인 筒에 取付되는 設計인 경우에는 最大인 200 A, 最小인 50 A Fuse 素子로 遮斷試驗을 하며 中間인 100 A, 150 A Fuse 素子의 試驗은 省略할 수 있다.

非限流 Fuse의 國際規格은 表 1~8과 같으나, IEC規格과 ANSI規格은 大同小異함을 알 수 있고 JEC規格은 Fuse 遮斷容量을 MVA表示를 하기 때문에  $I_B$  試驗을 行하고 그 代身에 IEC 등의 0.7~0.8 I 試驗을 省略한 것이 主要한 差異點이며 再起電壓周波數가 IEC規格值보다 큰 便이다.

(2) 高壓限流 Fuse의 遮斷試驗

IEC規格에 의한 試驗은 表 9~11과 같고 ANSI規格에 의한 試驗條件은 表 12, JEC規格에 의한 試驗은 表 13과 같다.

限流 Fuse의 Arc 抵抗은 높기 때문에 發弧때마다 回路에는 過渡現象이 發生하고, 三相間에, 서로 干涉하기 때문에 遮斷現象은 아주 複雜하다. 또 限流 Fuse의 경우에는 遮斷의 成敗가 Arc 期間中의 電源電壓波形에 크게 支配된다. 即 非限流 Fuse와 같이 電流零인 때의 再起電壓值만에 의해 決定되는 것이 아니다. 따라서 限流 Fuse의 경우에는 3相等價單相試驗電壓을 理論的으로 求하기는 相當히 困難하다.

表 9. 限流 Fuse (IEC 288-1)

試驗條件 \ 試驗責務	1	2	3
回復電壓	$(0.87 \times \text{定格電壓}) \begin{matrix} +5\% \\ 0 \end{matrix}$	左 同	定格電壓 $\begin{matrix} +5\% \\ 0\% \end{matrix}$
規約再起電壓力	表 10에 따름		規制值 없음
率	0.07 ~ 0.15		0.4 ~ 0.6
規約短絡電流 (rms, sym)	定格遮斷電流 $I_1 \begin{matrix} +5\% \\ 0\% \end{matrix}$	$I_2$ (2)	$I_3 - \begin{matrix} 0 \\ 10 \end{matrix} \%$ (3)
發弧時 瞬時 電流	不 適用	$0.85 I_2 \sim 1.06 I_2$	不 適用
投入位相角	電壓零 以後	$0^\circ \sim 20^\circ$	Randon Timing
發弧位相角	$40^\circ \sim 65^\circ$ : 1回 $65^\circ \sim 90^\circ$ : 2回	適 用  많 음	
回復電壓 持續時間 (1)	15秒 以上	60秒 以上	
試驗回數	3	3	2

Note: (1) 回復電壓이 1秒未滿으로 運轉되는 Fuse는 持續時間을 1秒로 한다.

(2) 試驗電流  $I_2$ 의 概略值는 다음 2方法中 하나로 定한다.

(a) 溶斷時間이 0.5 cycle인 溶斷電流 (rms)의 3~4倍인 規約遮斷電流

(b) 責務 1의 試驗에서 150倍以上의 電流定格로 한 試驗結果를 써서 다음 式으로 求한다.

$$I_2 = i_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_1}}$$

$I_2$ : 責務 2의 試驗電流 (rms)  
 $I_1$ : 責務 1의 規約遮斷電流 (rms)  
 $i_1$ : 責務 1의 試驗의 發弧時電流 (peak)

(3) 試驗電流  $I_3$ 는 一般 Fuse에서는 1時間에 熔融되는 電流이고, 後備保護 Fuse에서는 最小遮斷電流임.

(4) 同一系列의 Fuse Link中에서 試驗에 適用할 Fuse Link는 表 11에 의해 決定한다.



表 10. 再起電壓 (IEC 288-1 中 拔萃分)

定格電壓 $u_1$ (kv)	最高電壓	最高電壓時間	上 昇 率	定格電壓 $u_1$ (kv)	最高電壓	最高電壓時間	上 昇 率
	$u_c$ (kv)	$t_3$ ( $\mu$ s)	$u_c/t_3$ (kv/ $\mu$ s)		$u_c$ (kv)	$t_3$ ( $\mu$ s)	$u_c/t_3$ (kv/ $\mu$ s)
3.6	6.6	120~160	0.055~0.041	25.8	47	273~364	0.172~0.129
7.2	13.2	156~208	0.084~0.063	72.5	133	504~672	0.265~0.199
24	44	264~352	0.167~0.125				

$$u_c = 1.5 \times 1.5 \times \sqrt{2/3} u_1$$

Note : (1) 責務 1 : 適當한 TRV로 60°~90°에서 發弧되도록 試驗하여 Arc 電壓의 peak值가  $2t_3$  時間內에 peak에 到達하지 않으면 그 TRV로 나머지 試驗을 行한다. 그렇지 않으면, 回路를 變更하여 IEC 288-1의 表 10, 11의 TRV에 適合하도록 試驗한다.

(2) 責務 2 : 表 10의 값으로 試驗한다.

表 11. 試驗할 Fuse Link 選定 (IEC 288-1)

同 系 列 的 Fuse	試驗 責 務	試驗해야할 Fuse-Link (×표)		
		A(最小電流定格)	B(中 間)	C(最大電流定格)
定格電流 增大에 比例해서 Fuse 素子의 數 $n$ 및 斷面積 $S$ 를 增加시키는 形의 Fuse, 即 $n_A < n_B < n_C$ $S_A < S_B < S_C$	1	×		×
	2 (1)	×		×
	3	×	× (2)	×
電流增大에, 素子數 $n$ 은 一定하고 斷面積 $S$ 를 增加시키는 形 $S_A < S_B < S_C$	1	×		×
	2 (1)	×		×
	3			×
電流增加에, 斷面積은 一定斷面積의 素子 數 $n$ 만을 增加시키는 形 $n_A < n_B < n_C$	1	×		×
	2 (1)			×
	3	×		×

Note : (1) Fuse Link A,C의 試驗電流는 Fuse Link A,C의 定格電流로 한다.

(2) 모든 定格電流의 Fuse마다 試驗하지는 않으며 要素의 數기 줄어 들 수 있는 電流定格에서 한 回 試驗한다.

表 12. 限流形 電力 Fuse 및 配電 Fuse (ANSI C 37.41)

試驗 條 件	Fuse 種 類	Test series		
		1	2	3
回 復 電 壓	電力 Fuse	定格最高電壓의 87% $\begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	定格最高電壓 $\begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	定格最高電壓 $\begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$
	配電 Fuse	定格最高電壓 $\begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	不 要	
再 起 電 壓	電力 및 配電	未 制 定		
規約短絡電流 (rms, sym)	電 力	$I_1 \begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	$87\% I_1 \begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	$I_2$ (1)
	配 電	$I_1 \begin{matrix} +5\% \\ -0\% \end{matrix}$	不 要	

X/R 比 (力 率)	電 力	X/R ≥ 15 (6.7 % 以下)		左 同	X/R = 2.29 ~ 1.33 (40 ~ 60 %)	
	配 電	X/R ≥ 10 (10 % 以下)		左 同		
投入位相角 (度)	電力·配電	不 適 用		0 ~ 20	Random	
發弧位相角 (度)	電力·配電	1 回 : 40 ~ 65 2 回 : 65 ~ 90		不 適 用		
發弧時 瞬時電流	電力·配電	不 適 用		0.85I <sub>2</sub> ~ 1.06I <sub>2</sub>	不 適 用	
回復電壓持續時間	Drop out	電力·配電				Drop out 時間以上이거나 1秒(큰쪽)
	Non drop out					
試 驗 回 數	電 力	3	3	3	2	
	配 電	3	0	3	2	

Note : (1) I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>의 값은 IEC 288 (表 9의 Note)와 同一하게 決定한다.  
 (2) 試驗에 適用할 Fuse Link는 IEC 288 方式 (表 11)과 同一하다.

表 13. 限流 Fuse 의 遮斷試驗條件 (JEC 175)

試驗條件	1		1B	2	3
回 復 電 壓	0.87×定格電壓 以上		0.87×定格 3 相遮斷容量을 保證하는 最小電壓 以上	0.87×定格電壓 以上	1.0×定格電壓 以上
固有再起電壓	表 8 과 同 一				-
短 絡 力 率	0.15 以下				0.5 以下
規約遮斷電流(rms, sym)	定格遮斷電流 I <sub>1</sub> 以上		最大遮斷電流 I <sub>1B</sub> 以上	I <sub>2</sub> (1)	最小遮斷電流 I <sub>3</sub> 以下
發弧時 電流波高值	-		-	0.7√2 I <sub>2</sub> ± 20 %	-
投入位相角 (度)	-		-	0 ~ 20	-
發弧位相角 (度)	40 ~ 65	65 ~ 90	65 ~ 90	-	-
試 驗 回 數	1	2	2	3	3
回復電壓持續時間	15 秒 以上		15 秒 以上	60 秒 以上	60 秒 以上

(註) (1) 試驗電流 I<sub>2</sub>는 IEC 288의 方法 (表 9)와 同一하게 決定한다.

限流 Fuse 는 그 速動性 때문에 3 相回路에서 直流 分含有率의 不同에도 不拘하고 一相만이 안끊어져서 남는 일은 거의 없다. 남는 경우는 電流值가 比較的 적어서 發弧時間이 좀 길어지는 경우 뿐이다. 따라서 單相試驗電壓은 線間電壓 E의  $\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.87$  倍로 할 수 있다. 3 相의 경우와 그 苛酷度를 比較하면 單相試驗時가 항상 더 苛酷함이 試驗結果로 밝혀져 있다.

經驗에 의하면 3 相回路에 쓰이는 高壓限流 Fuse 의 苛酷度는 그림 6 과 같이 생각되고 있다. 그림 6 의 I<sub>1</sub>은 Fuse 의 定格遮斷電流이며 그 苛酷度는 Fuse 筒에 作用하는 發弧瞬時的 金屬 Gas 의 衝擊的 壓力 과 Arc 熱에 依해 定해진다. I<sub>2</sub> 付近에 나타나는 極大

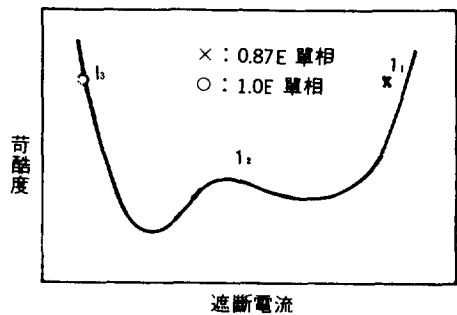


그림 6. 3 相遮斷時의 苛酷度 曲線

値는 全的으로 Arc 熱에 의한 것이다.  $I_3$  는 最小遮斷電流이며 小電流에 對해서는 Fuse 素子가 狹隘部에서 溶融한 後 Arc 가 번지는 速度가 느려서 이 部分에 面한 모래는 녹아 Arc 冷却作用이 低下하기 때문에 遮斷이 困難해진다. 그림 6 에서 遮斷電流  $I_1$  이 減少함에 따라 苛酷度가 低下하는 것은 發弧瞬時的 Fuse 筒內 衝擊 Gas 壓力이 低下하기 때문이다. 그러나 한편 Fuse Link 內에 消費되는 Arc 에너지가 增大하여 그 때문에 苛酷度가 다시 增大하여 極大值를 가지므로 第 2 의 Check point  $I_2$  를 設定한다. 上述한 바와 같이 限流 Fuse 의 遮斷은,

- ① 定格三相遮斷容量에 가까운 大電流域
- ② Fuse Link 內에 發生하는 Arc 에너지가 最大로 되는 電流域
- ③ 溶斷時間이 긴 小電流域

에서 各各 現象의으로 相異한 苛酷함이 있어서 各各의 電流域에서 가장 苛酷하다고 생각되는 遮斷電流로 試驗檢證할 必要가 있다. 따라서 試驗電流로 定格遮斷電流  $I_1$ , Arc 에너지가 最大가 되는 電流  $I_2$  (規約遮斷電流(交流分)波高值의 約 70%) 및 最小遮斷電流  $I_3$  를, 規格에서 定하고 있다.

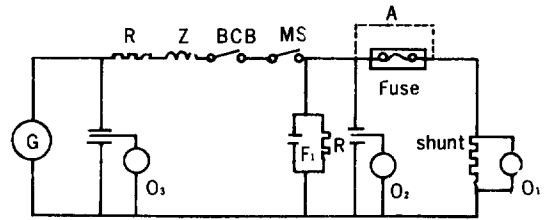
單相試驗에서 電壓과 電流가 指定되었을 때 試驗의 苛酷度는 發弧瞬時的 電源電壓波位相角(發弧角)의 函數이다. 經驗에 의하면 그 값은  $90^\circ$  보다 약간 적다. 따라서 試驗條件에는 發弧角을  $65 \sim 90$  度로 하도록 規定하고 있다.

限流 Fuse 는 前述한 바와 같이 發弧時力率이 1.0 가 가까이로 改善되는 抵抗遮斷器와 같기 때문에 再起電壓은 낮아진다.  $I_1$  과  $I_3$  에 對해서는 再起電壓이 實際로 發生하지 않으며  $I_2$  에 對해서는 低周波數의 過渡振動이 發生하므로 再起電壓值를 規定하고 있다.

非限流 Fuse 의 國際規格은 表 9 ~ 表 13 과 같이 規格值는 大同小異함을 알 수 있다.

試驗은 그림 7 과 같은 回路(試驗種類에 따라 多少 不同)에서 被試品인 Fuse 를 Impedance 가 거의 없는 接續片 A 로 代替하고 規約短絡電流를 흘려 電流較正을 우선 行한다. 다음에 接續片 A 는 除去시키고 被試品을 設置한 後 投入 Switch (MS) 를 規定位相角에서 넣어서 Fuse 電流, 回復電壓, 再起電壓等을 Oscillo 記錄으로 測定한다. Fuse 動作後 Fuse 端子間 回復電壓을 規定時間 以上 持續시켜야 하며 再起電壓도 規定值 以上이 되어야 한다.

그림 8, 그림 9 에 非限流 Fuse 및 限流 Fuse 의 遮斷 Oscillogram 의 例를 나타냈다. 規約短絡電流는 非



- A : Removable Link for calibration test
- BCB : Back up C.B
- MS : Making scotch
- F<sub>1</sub> : TRV control
- O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> : Oscillograph or scope

그림 7. 非限流 Fuse 大電流 試驗回路

限流形에서는 發弧瞬時的 電流值, 限流形에서는 短絡後 0.5 Cycle 時點의 電流值가 된다. 또 回復電壓은 Fuse 遮斷後  $\frac{1}{2f} \sim \frac{1}{f}$  秒 ( $f$  는 周波數)에서 求한 電壓值이다. 再起電壓은 CRT로 測定하며 規約振幅率과 規約周波數(또는 最高電壓과 그 時間) 以上이 되어야 한다.

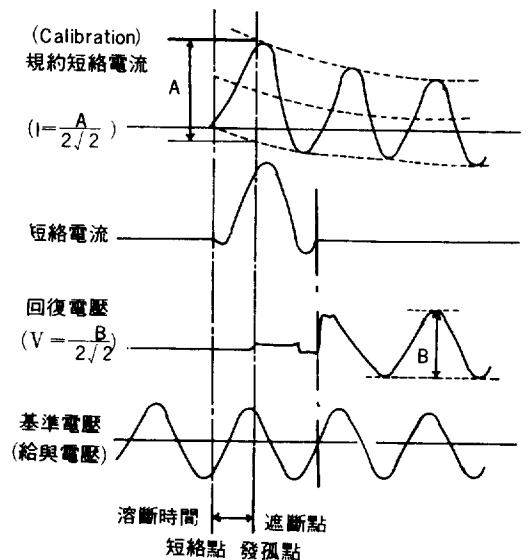
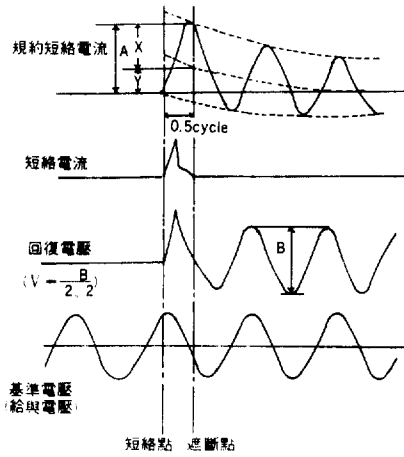


그림 8. 非限流 Fuse 遮斷 Oscillogram



$$\text{規約對稱遮斷電流} = \frac{A}{2\sqrt{2}} = \frac{X}{\sqrt{2}}$$

$$\text{規約非對稱遮斷電流} = \sqrt{\left(\frac{X}{\sqrt{2}}\right)^2 + Y^2}$$

그림 9. 限流 Fuse 遮斷 Oscillogram

#### 4. 맺는 말

高圧 Fuse 의 電流遮斷現象과 그 試驗法을 若干의 實務經驗을 土臺로 記述했으며, 이것이 製作業體와 試驗業務從事者에게 多少나마 도움이 되길 바란다.

#### 참 고 문 헌

- [1] IEC 288-1, 2. (1974); H.V. Fuses.
- [2] ANSI/IEEE C37.41 (1981); Design tests for H.V. Fuses, Distribution enclosed single-pole air switches, Fuse disconnecting Switches, and Accessories.
- [3] JEC 175 (1968); 電力 Fuse.
- [4] Ohm 誌: 電力 Fuse 의 種類와 遮斷試驗
- [5] Distribution Systems Westing House.