

電力用 Gapless避雷器

李 民 濟

<韓國電氣機器 試驗研究所 研究員>

目 次

- 1. 序 論
- 2. 原理와 特徵
- 3. 電力用 ZnO素子の 製造法와 特性의 概要
- 4. 製品化의 現況과 今後의 課題
- 5. 結 論

1. 序 論

최초의 ZnO Varistor는 1968年 Matsushita에 의하여 開發되었고 이것은 Varistor가 避雷器나 電壓 안정기의 素子로 사용될 때 卓越한 特性和 經濟性을 제공하여 주기 때문에 劃期的인 發明이었다.

이에 魅力을 느낀 Meidensha는 Matsushita와 協力하여 電力用避雷器 特性素子の 開發에 착수하였으며 이 特性素子和 ZnO Varistor의 開發의 力點은

- (1) $10^{-3} \sim 10^6$ A의 넓은 電流領域에서 電壓-電流特性의 改善
- (2) 電力用素子の 生産技術의 向上
- (3) 安定度確立과 壽命의 延長이었다.

이 結果 새로운 電力用 Gapless避雷器의 生産이 가능하게 되었으며 이러한 避雷器는 세계최초의 직렬 Gap이 없는 構造로 되어 있고 定格電壓 4.2~280KV이었으며 세계의 關心의 대상이 되었다.

1976년에 公稱放電電流 10kA, 定格電壓 4.2~280kV 避雷器의 開發이 완료되었고 그 이후 77kV~500kV 계통에 사용될 수 있는 避雷器가 開發, 實用化되었으며 곧 HVDC와 UHV 계통에까지 확대될 전망이다.

다음에 ZnO素子和 Gapless避雷器에 대한 일반적인 特性을 알아 보기로 한다.

2. 原理와 特徵

現在 送配電 線路에 있어서 異常電壓이 침입한 경우

이 線路의 電氣機器를 보호 하기 위하여 사용되고 있는 避雷器는 그 대부분이 SiC素子和 直列 gap으로 構成되어 있어, 常時의 電壓은 이 直列 gap에 의하여 絶緣되고, 異常電壓이 침입한 경우에는 直列 gap이 放電하여 電流를 大地로 흘리고, SiC素子の 非直線抵抗特性에 의하여 異常電壓을 制限한 후 곧 本來의 絶緣狀態로 復歸되도록 設計 되어 있다.

그러나 이러한 SiC素子の 非直線抵抗特性은 그림 1에서 보는 바와 같이 좋지 않으며, 直列 gap이 없으면 常規大地電壓에서도 電流가 흘러 이에 의한 溫度上昇으로 인하여 素子が 燒損되기 때문에 直列 gap은 불가결한 要素가 된다.

이에 비해 그 特性素子로써 ZnO素子를 사용할 경우 常規大地電壓에 의한 電流는 그림 1에서와 같이 1mA이하(대부분이 容量分이고 抵抗分은 1 μ A이하)이기 때문에 溫度上昇이 전혀 일어나지 않으며 直列 gap은 필요없게 된다.

그림 2는 SiC 素子, 제너다이오드 및 ZnO 素子の 内部構造 比較說明圖이다. SiC素子는 (a)와 같이 200 μ m 정도의 SiC粒子가 立體的으로 接觸한 것을 粘土와 같은 磁器結合劑로 燒結시킨 것으로, 그 電壓-電流 非直線特性은 SiC粒子가 接觸한 性質에 起因하고 있다.

한편 제너다이오드는 (b)와 같이 P形 Si와 N形 Si 單結晶 接合層의 逆方向 電壓-電流特性을 이용한 것이다.

이것에 대해 ZnO素子는 (c)와 같이 5~10 μ m 정도의 ZnO結晶粒子를 0.1 μ m의 高抵抗薄層이 둘러싸고, 이 薄層을 사이에 두고 ZnO의 燒結粒子가 서로 接觸되어 있다. 이것의 非直線特性은 燒結粒子의 境界에 存在해 있는 積과 그 非直線 境界層이 無數하게 積層되어 있다고 하는 점에서 SiC素子和 유사하다. 그러나 다른 측면에서 보면 電壓-電流 非直線 特性이 接觸抵抗에 의한 것이 아니고 結晶과 結晶의 境界層, 즉 接合層에

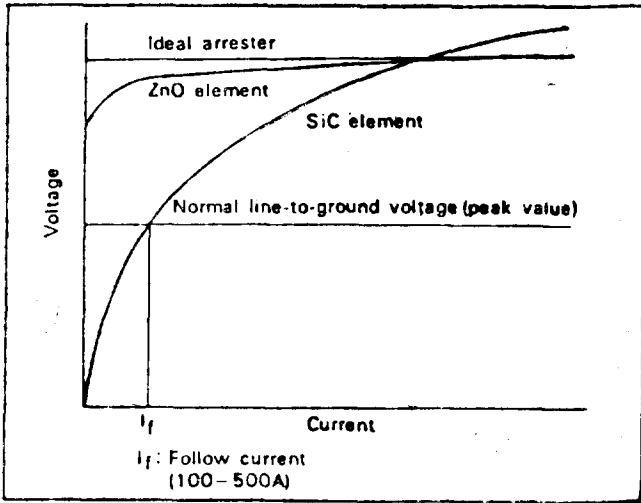


그림 1. SiC素子와 ZnO素子の 電壓—電流特性

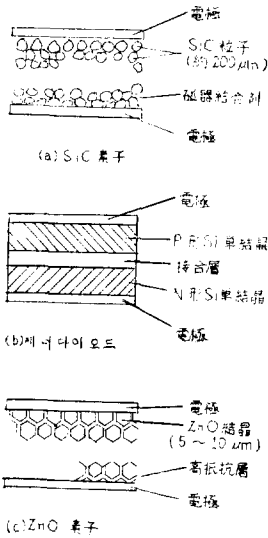


그림 2. 各種素子の 構造

起因한다는 점에서 제너다이오드와 유사하다.

ZnO結晶粒子的 比抵抗은 境界層의 그것에 비해 훨씬 작기 때문에 ($10^{-13} \sim 10^{-15}$ 倍) 燒結體의 兩端面에 高電壓이 印加되면 거의가 境界層에 걸려 제너다이오드와 유사한 電流增倍現象이 일어난다. 그러나 제너다이오드와 다른 점은;

- (1) 電壓—電流 特性이 對稱이다.
- (2) 全體의 두께, 즉 境界層의 數를 調整하여 광범위한 動作開始電壓을 얻을 수 있다.

- (3) 放電耐量이 훨씬 크다.
- (4) 等價인 誘電率이 아주 큰 ($\epsilon \approx 1,000 \sim 2000$) 세라믹 콘덴서 정도의 靜電容量이 얻어지는 것 등이다.

그림 3은 研究의 過程에서 얻어진 結晶構造의 電子顯微鏡 사진이다.

그림 4는 ZnO粒子 內外에서의 Bi原子 分布의 X線 사진의 一例이다.

이상을 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) ZnO素子是 제너다이오드 정도의 良好한 電壓—電流 非直線 特性과 SiC素子 이상의 放電耐量을 가지고 있어, 양쪽의 장점을 살려 갖고 있는 短點을 보완하고 있는데 그 非直線指數는 $I = (V/C)^{\alpha}$ 로 나타내면 $0.1mA \times 1.0mA \approx 50 \sim 80$ 로 된다.

- (2) ZnO素子是 避雷器의 機能을 內藏한 세라믹 콘덴서와 같은 것이다.

- (3) ZnO素子是 $5 \sim 10\mu m$ 정도의 結晶微粒子和 境界



그림 3. 電力用 ZnO素子の 微細構造

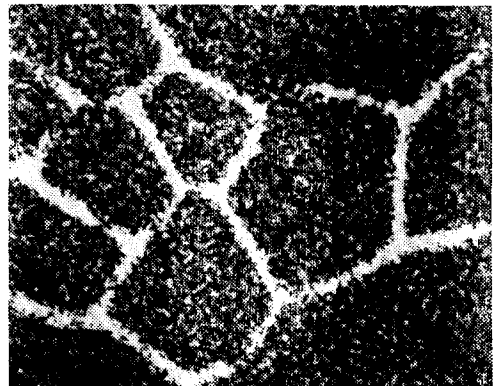
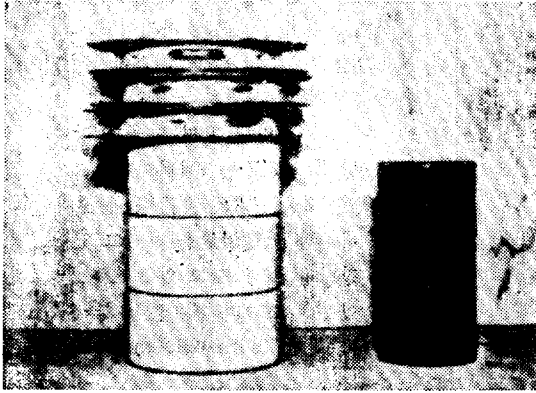
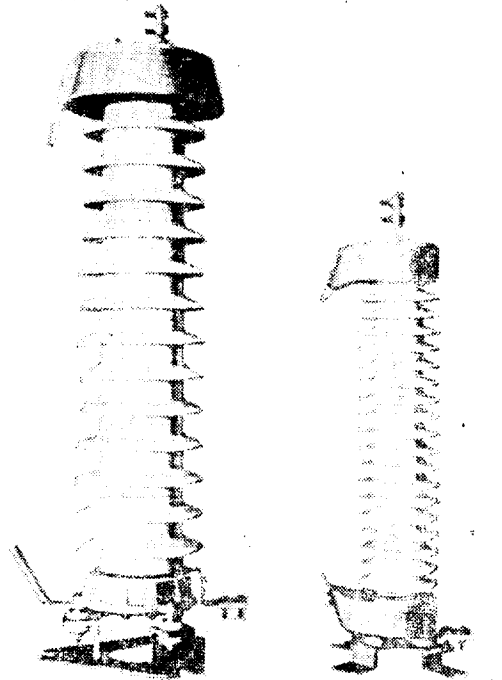


그림 4. 電力用 ZnO素子中の Bi의 X線像



(a) 14kV, 10kA特性素子(左: SiC素子+直列 gap, 右: ZnO素子)



(b) 96kV, 10kA 避雷器 비교(左: 제레형피뢰기, 右: Gapless 피뢰기)

그림 5. 제레형 避雷器와 Gapless 避雷器의 비교

層의 三次元的 積層에 따라 SiC피뢰기의 直列 gap, 並列 콘덴서, 並列抵抗, 特性要素의 4가지 機能을 모두 갖고 있다.

(4) 이러한 素子를 電力用 避雷器에 適用시키면 다음과 같은 特徵과 效果가 期待된다.

- (가) 直列 gap의 제거(急峻波電壓 應答特性的 改善)
- (나) 小形, 輕量化(그림 5참조)
- (다) 無續統에 의한 效果
 - i) 耐多重雷, 耐多重 surge特性的 改善
 - ii) 耐汚損 特性的 改善
 - iii) 動作實務能力의 비약적 向上
- (라) 構造의 簡素化(신뢰성 向上)

(나) 規格의 簡素化

3. 電力用 ZnO素子の 製造法과 特性的 概要

가. 電力用 ZnO素子の 製造法概要

電力用 ZnO素子の 製造法에 대한 工程圖는 그림 6과 같다. ZnO 粉末을 主成分으로 하여 Bi₂O₃, MnO, CoO, Cr₂O₃, Sb₂O₃등을 定量첨가하여 충분히 혼합한다. 혼합물은 물 또는 有機 바인더로 造粒, 成形시킨다. 燒成은 1000°C를 넘는 空氣中에서 이루어지고 電極부착 및 表面處理등 마무리를 하면 製作工程이 완료

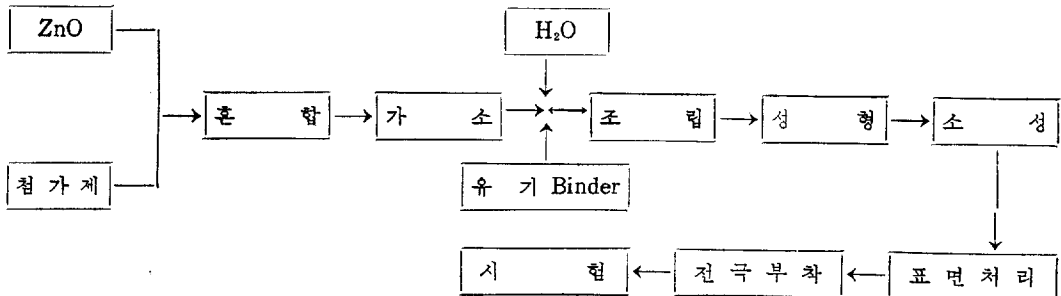


그림 6. ZnO素子の 製造工程圖

된다.

나. 電力用 ZnO素子の 特性

(1) 非直線 電壓—電流 特性

그림 7은 ZnO素子和 SiC素子の 電壓—電流特性을 나타낸다. 전체 電流領域($10^{-3} \sim 10^{-4}A$)을 통하여 SiC素子보다 顯著하게 뛰어난 直線의인 特性을 보여 주고 있다.

많은 素子の 試驗 結果 ZnO素子の 電壓—電流 特性曲線의 分散幅이 SiC素子에 비해 무척 적은 것이 알려졌다.

다른 많은 固體絶緣物과 같이 ZnO素子の 溫度變化에 대한 電壓—電流 特性도 負性이다(그림 8참조). 이러한 溫度特性은 $10^{-3}A$ 이하인 低電流領域에서 더욱 顯著하게 나타난다. $300^{\circ}C$ 에서 V_{1mA} 는 무척 낮지만, 대기온도($20^{\circ}C$)까지 온도가 減少하면 特性이 즉시 本來狀態로 回復된다. 즉 ZnO素子は 自己回復 特性을 갖고 있다.

(2) 放電耐量特性

표 1에 직경 56mm의 電力用 ZnO素子, varistor用 ZnO素子 및 직경 60mm의 SiC素子の 放電耐量 特性比較가 나와 있다. 電力用 ZnO素子は SiC素子에 비해 $4 \times 10\mu s$ 波인 경우 1.5배, 2ms波인 경우 2.5배의 放電耐量을 갖고 있다. 따라서 電力用 ZnO素子は 2ms波에 대한 放電耐量이 특히 요구되는 EHV, UHV, HVDC 및 케이블 系統用 避雷器에 적절한 것이라 할 수 있다.

는 EHV, UHV, HVDC 및 케이블 系統用 避雷器에 적절한 것이라 할 수 있다.

表 1. 電力用 ZnO素子の 放電耐量特性(SiC素子, varistor用 ZnO素子와의 比較)

項目	種別 SiC素子 (60φ)	電力用 ZnO素子 (56φ)	varistor用 ZnO素子 (56φ)
電 impulse 電 流試驗 ($4 \times 10\mu s$ 波×2回)	120kA ($\approx 4kA/cm^2$)	150kA ($\approx 6kA/cm^2$)	100kA ($\approx 4kA/cm^2$)
開閉 impulse 電流試驗 (2ms 波×20回)	250A ($\approx 10A/cm^2$)	600A ($\approx 25A/cm^2$)	400A ($\approx 16A/cm^2$)

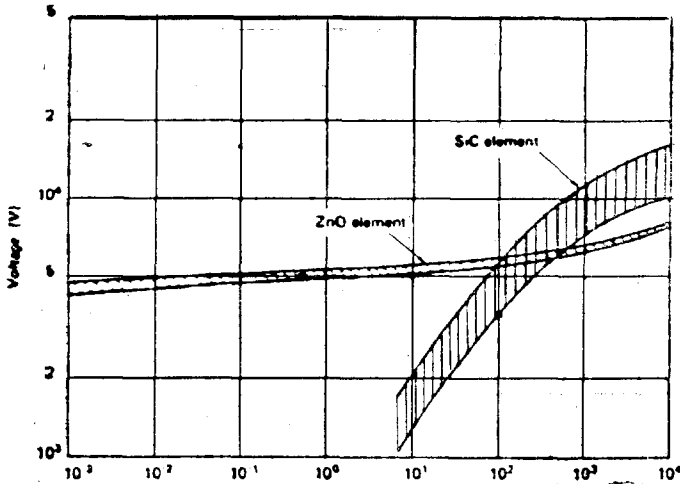


그림 7. ZnO素子和 SiC素子の 電壓—電流特性

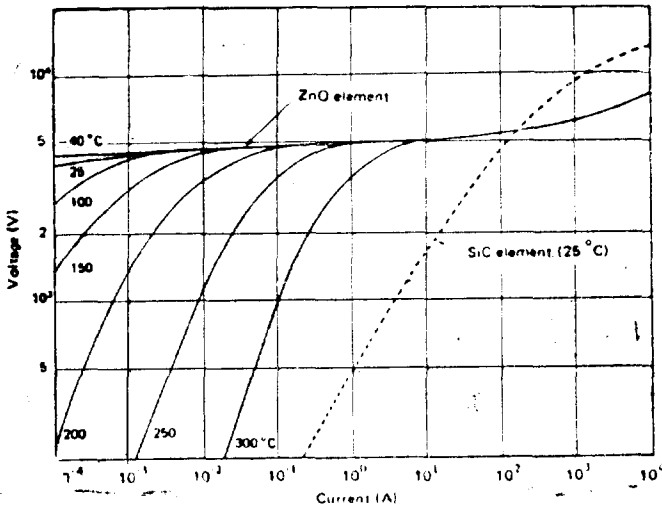


그림 8. ZnO素子和 SiC素子の 溫度特性

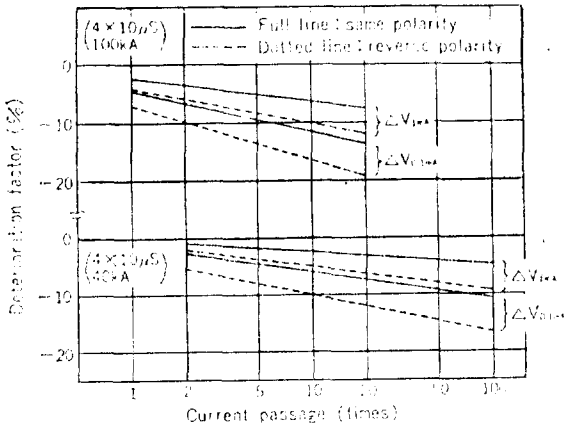


그림 9. 雷 impulse電流에 의한 劣化特性

(3) 耐劣化特性

ZnO素子の劣化에는

1) 雷 impulse와 開閉 impulse 電流에 의한 瞬時的인 劣化

2) 長期課電에 의한 經時的인 劣化的 2 종류가 있고 劣化的 等級을 표시하기 위하여 일반적으로 劣化率이 사용된다. 이 劣化率은 電流通電 또는 電壓課電 前後의 V_{1mA} 의 百分率 變化인 $(\Delta V_{1mA} / V_{1mA}) \times 100\%$ 로써 표시된다.

impulse 電流通電에 의한 劣化特性이 그림 9, 10에 나타나 있고 $4 \times 10\mu s$ 波, $100KA \times 2$ 回, 2ms波 $400A \times 20$ 回 가지고 逆極性으로 다시 가한다. 이때의 劣化率은 각각 10%, 5% 以內였다.

또 10%정도의 劣化率을 갖고 있는 素子도 $150^\circ C \times 3h$ 의 熱處理에 의하여 3% 정도까지 減少되는 特性도 있다.

(4) 動作責務特性

直徑 56mm의 ZnO 素子에 定格電壓 14KV, 投入 impulse電流 10kA로써 JEC-156에 의하여 動作責務試驗을 실시한 結果 續流가 나타나지 않았고 특별한 문제가 없었으며 $25\mu F$ 의 線路容量, 定格電壓 14kV에서 5회 連續의 特別動作責務試驗도 이상없이 완료되었다. 過渡續流는 繼續時間이 약 1ms, 波高值 200~300A

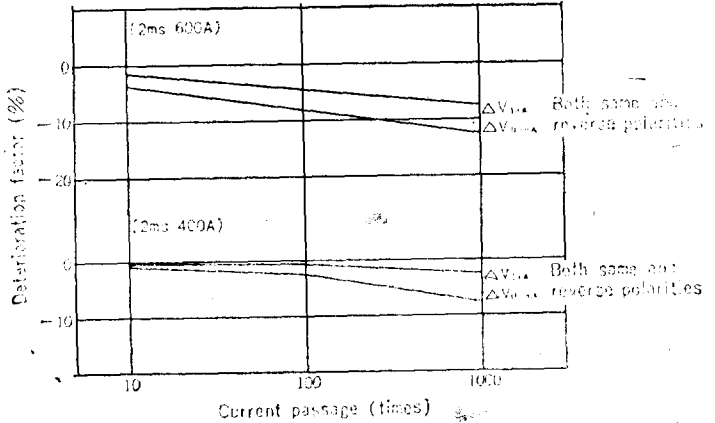


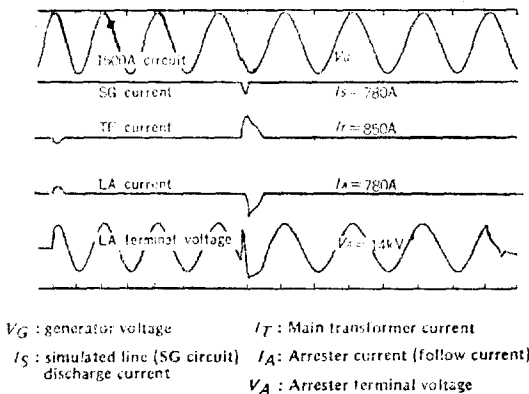
그림 10. 開閉 impulse電流에 의한 劣化特性

의 pulse性 電流였고 消費에너지는 SiC素子 경우의 1/2 이하였다(그림 11참조).

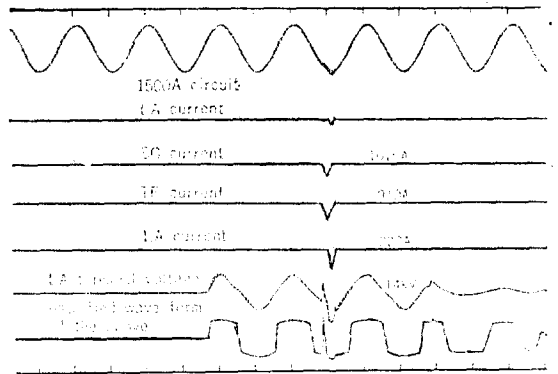
또 試驗電壓을 定格電壓의 1.2倍로 增加시켜 苛酷한 條件의 參考試驗을 實施한 結果 波高值가 400~600A까지 增加한 것 이외에는 電流波形에는 變化가 없었다.

이상의 結果 ZnO素子는 같은 에너지水準(放電耐量)의 SiC素子보다 더 苛酷한 條件에서 견딜 수 있고 2.5 배 정도의 放電耐量을 갖는다.

量 impulse電流에 의한 動作責務試驗에 있어서 電壓一電流의 變化를 在來形 避雷器(限流形, 磁氣吹消形)과 比較하면 그림 12와 같고 Gapless 避雷器의 경우는 雷 impulse電流만을 흘려서 즉시 無續流로 되고 確實히 責務를 수행한다.

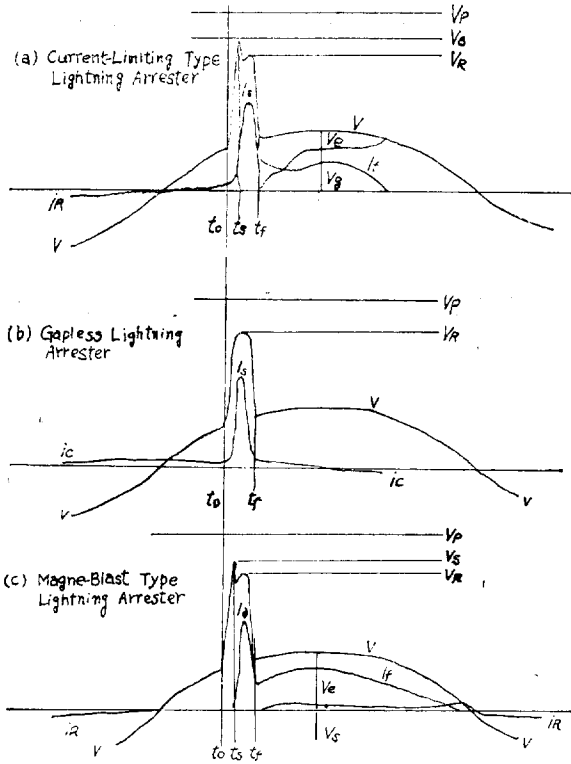


(a) Conventional Lightning Arrester with SiC Element



(b) Gapless Lightning Arrester for Power Systems with ZnO Element (C = 25μF)

그림 11. 特別動作責務試驗의 Oscillograms



- V_p : 避雷器의 保護特性 保證值
- V_r : 雷 impulse電流의 制限電壓
- V_s : 直列 gap의 放電開始電壓
- V_c : 續流中の 特性素子(SiC 素子) 端子電壓
- V_d : 續流中の 直列 gap의 " "
- I_0 : 雷 impulse 放電電流
- I_f : 避雷器 續流
- v : 電源電壓
- i_R : 並列抵抗의 누설전류(在來形)
- i_c : gapless避雷器의 充電電流
- t_0 : 雷 impulse 印加時點
- t_s : 避雷器 直列 gap의 放電時點
- t_f : 雷 impulse放電電流 終了時點(續流開始時點)

그림 12. 動作責務試驗時 電壓—電流 波形比較說明圖

表 2. 汚損試驗結果의 一例

SORESTER rated voltage	(1) Wet pollution test method (in accordance with JIC-203)				(2) Fog withstand test method (warm water fog)		
	Method of pollution	Pollution degree (salt deposit density) (mg/cm ²)	Washing method	Unit of max. temperature rise and measured value	Method of pollution	Pollution degree (salt deposit density) (mg/cm ²)	Unit of max. temperature rise and measured value
84kV/98kV Single porcelain insulation	Uniform pollution	0.06	Uniform pollution	± 0 deg C	Uniform pollution	0.03	± 0 deg C
	Uniform pollution	0.06	Uneven pollution	± 0 deg C	Uniform pollution	0.06	± 0 deg C
	Uniform pollution Uneven pollution	0.03 0.06 for 2/3 only	Jet washing, Uniform pollution	± 0 deg C ± 0 deg C	Uneven pollution	0.06 for 2/3 only	± 0 deg C
196kV in 2-tier	Uniform pollution	0.06	Even pollution	2nd stage 5 deg C	Uniform pollution	0.03	2nd stage 3 deg C
	Uniform pollution	0.06	Uneven pollution	1st stage 7 deg C	Uniform pollution	0.06	1st stage 4 deg C
	Uniform pollution	0.03	Jet washing, Uniform pollution	2nd stage 4 deg C	Uneven pollution	1st stage ... 0.01 2nd stage ... 0.06	1st stage 8 deg C
	Uneven pollution	1st stage ... 0.01 2nd stage ... 0.06	Uniform pollution	1st stage 10 deg C			
266kV in 3-tier	Uniform pollution	0.03	Uniform pollution	2nd stage 7 deg C	Uniform pollution	0.03	3rd stage 4 deg C
	Uniform pollution	0.06	Uneven pollution	1st stage 8 deg C	Uniform pollution	0.06	2nd stage 5 deg C
	Uneven pollution	1st stage ... 0.01 2nd stage ... 0.03	Uniform pollution	1st stage 10 deg C	Uneven pollution	1st stage ... 0.01 2nd & 3rd stage ... 0.03	1st stage 7 deg C
420kV in 5-tier with stay insulator	Uniform pollution	0.03	Uniform pollution	2nd stage 21 deg C	Uniform pollution	0.03	5th stage 15 deg C
	Uniform pollution	0.06	Uniform pollution	5th stage 35 deg C	Uniform pollution	0.06	4th stage 26 deg C
	Uniform pollution	0.03	Uneven pollution	5th stage 25 deg C	Uneven pollution	1st stage ... 0.01 2nd & 3rd stage ... 0.03 4th & 5th stage ... 0.06	1st stage 25 deg C

Note: Each unit is named 1st stage, 2nd stage, etc. from the grounded side.

(a), (b), (c)에서와 같이 時間(t_0-t_f) 사이의 雷 impulse電流值 I_0 를 갖게 하면 Gapless 避雷器는 續流 I_f 를 0으로 制限할 수 있는 理想的인 限流特性을 갖고 있다. 즉 雷 impulse電流의 에너지만을 消費하고 續流의 에너지는 消費할 필요가 없기 때문에 溫度上昇이 적고 긴 壽命을 期待할 수 있다. 그리고 動作責務試驗時的 消費에너지는 限流形 避雷器의 경우 impulse電流 10kA에서 1.3kWs/kV, 20kA에서 1.8kWs/kV로 되어 있지만 Gapless 避雷器의 경우에는 各各 0.3kWs/kV (1/4로 감소), 0.7kWs/kV (2/5로 감소)로 적어서 消費에너지의 면에서 分明히 유리하다.

(5) 急峻波應答特性

ZnO素子를 사용한 Gapless 避雷器는 在來의 直列 gap이 붙어 있는 避雷器와 같이 放電이 늦지 않기 때문에 急峻波電壓에 대한 應答이 빠르고 波頭長 $1\mu s$ 부터 $0.1\mu s$ 까지의 impulse 過電壓을 印加하여도 端子電壓波高値는 거의 一定하다. 그리고 Gapless 避雷器에 있어서는 在來形 避雷器에서 사용하고 있는 “急峻波電壓應答特性”이라는 概念自體의 意味가 희박하고 오히려

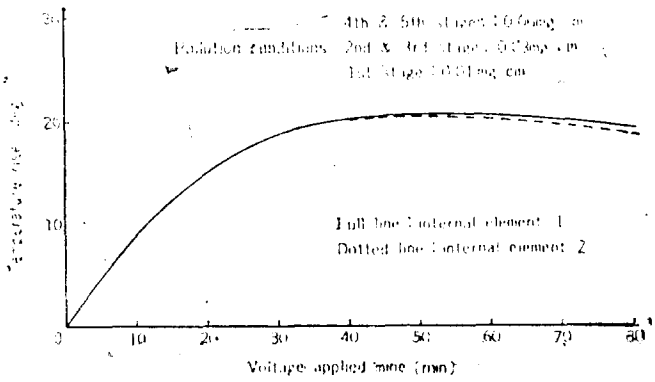


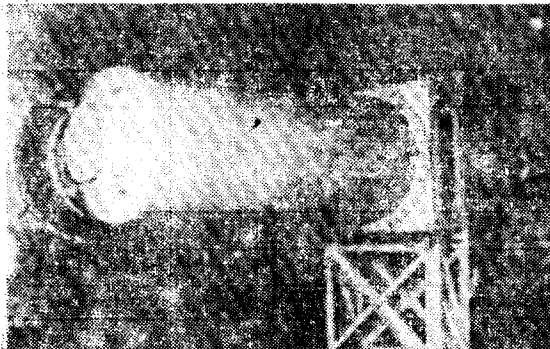
그림 13. 電壓印加時間에 대한 溫度上昇의 變化

“急峻波電流應答特性”을 檢討하여야 한다고 생각된다.

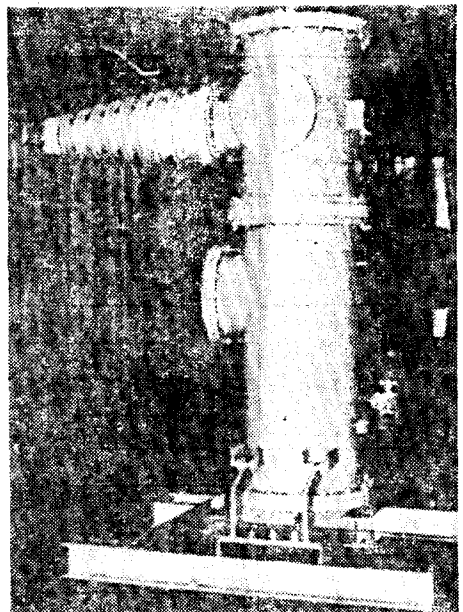
$8 \times 20\mu s$ 1,000A를 標準으로 같은 電流에 대하여 電流波頭長과 制限電壓의 關係를 조사한 結果, 電流波形波頭長 $1\mu s$ 에 대하여 약 5%가 上昇하였다(SiC 素子の 경우에는 7~8%上昇). 따라서 在來의 gap이 있는 避雷器에 比하여 Gapless 避雷器는 急峻波應答特性의 點에서도 우수하다고 할 수 있다.

(6) 耐汚損特性

避雷器의 汚損試驗方法에는 다음의 3가지가 있다.



(a) 420kV用



(b) 95kV用

그림 14. GIS用 Gapless 避雷器

- (가) salt fog method (IEC 99-1)
- (나) pollution-dry method (ANSI C621, JEC-203)
- (다) pollutant-wetting method (IEC 99-1)

이 방법을 gapless 避雷器에 適用하였을 때의 結果가 表 2에 나와 있다. 最高溫度上昇은 (1)의 경우 0.03mg/cm²일 때 25°C, 0.06mg/cm²일 때 35°C이었고 (2)의 경우에는 汚損方法에 따라 25°C, 26°C로써 良好하였다. 또 電壓印加時間에 대한 溫度上昇의 變化가 그림 13에 나와 있다.

4. 製品化의 現況과 今後的 課題

새로운 Gapless 避雷器는 ZnO素子の 많은 長點을 充分히 活用하고 있고 다음의 製品들이 이미 開發, 實用化되고 있다.

- (1) SF₆ GIS用(그림 14참조)
 - 77kV系統用(定格電壓 98kV, 25 μ F)
 - 500kV變電所用(BIL 1,800kV)
- (2) OIS變電所用
 - 66kV系統用(定格電壓 84kV, 25 μ F)
 - 154kV系統用(定格電壓 196kV, 25 μ F)

또 HVDC 및 UHV系統에의 適用을 위하여 다음의 사항들이 檢討되어야 한다.

- (1) ZnO素子の 改善
- (2) 에너지 吸收能力的 확대
- (3) 並列素子數의 選定
- (4) 長期間의 現場經驗

(5) 試驗方法的 確立

5. 結 論

이상과 같이 世界 最初의 Gapless電力用 避雷器의 開發에 따라 理想的인 避雷器에 접근하게 되었다. 즉 ZnO素子の 뛰어난 特性에 의한 gap의 제거, 小形, 輕量化 및 耐汚損形, 活線洗淨形 避雷器의 實用化등이다. 現場에서의 長期試驗에 의한 安定度 및 BIL의 減少등이 해결되면 HVDC 및 UHV系統에의 實用化, 電力系統의 信賴性 向上에 대한 至大한 功勳이 期待된다.

參 考 文 獻

1. M. Kobayashi et al; "Development of Zinc-Oxide non-linear resistors and their application to Gapless surge arresters," IEEE PAS-97, NO.4, 1978
2. M. Kobayashi et al; "Gapless Lightning Arresters for power systems", Meiden Review No.46, 1975
3. Meiden Review No.55, 1979
4. 신대승 외; "Gapless Lightning Arrester用 ZnO素子の 製作", 電試研報 第3卷 第1號.
5. 金能秀; "電力用無空隙避雷器", 新製品, 新技術 Vol.11, No.3

전기자재, 기계부품, 중장비부품, 붕싱, 비철금속 주물일체

동青銅 · 青銅 · 黃銅洋銀 · 鉛青銅 · 高力黃銅 · AL青銅

新 昌 金 屬

공 장 : 서울특별시 영등포구 당산동 3가 555

전화 (63) 8153

사무실 : 서울특별시 중구 을지로 3가 334-3

삼진빌딩 301호

전화 (267) 8317