

電氣機器의 異常 過電壓 吸收對策

Transient Surge Suppression
in Electric Facilities

吳 明 煥

韓國科學技術院 責任研究員

1. 序 言

一般的으로 써어지 電壓 (Surge Voltage)이라고 하는 것은 送配電系統 또는 電氣回路에서 瞬間的으로 定常電壓을 넘어 발생하는 電壓을 말한다.

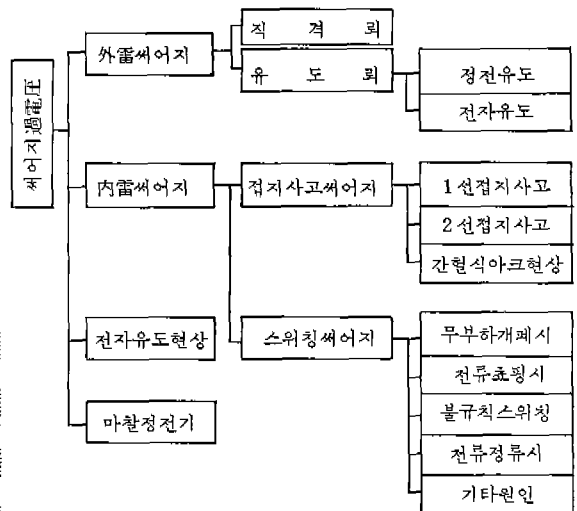
여러가지의 原因에 의하여 발생한 써어지電壓은 電源線 또는 信號線을 傳播하며 減衰와 反射를 되풀이 하면서 電力機器나 通信設備, 家庭用 電氣·電子機器 등으로 侵入하여 絶緣破壞 및 半導體 機能劣化와 같은 危害를 미친다.

이와같은 써어지過電壓을 吸收하고 各種 電氣設備을 保護하기 위해서 지금까지 많은 學問的·技術的 研究가 이루어져 왔으며 새로운 劃期的 素材開發과 아울러 그 利用技術의 進歩가 活潑히 展開되고 있다.

本稿에서는 異常過電壓의 發生機構와 그 特性을 調査하고 過電壓써어지의 吸收 및 抑制方法을 檢討하였으며, 回路保護 素子로서의 바리스터 (Varistor)의 特徵과 應用技術을 紹介하고자 한다.

2. 異常過電壓의 發生機構와 그 被害

써어지過電壓의 特性과 發生原因은 一定하지 않기 때문에 흔히 統計的인 調査結果를 土臺로 하여 그 類型을 分析하고 共通意見에 따라 模型化시키며 線形 또는 非線形 回路解析方法에 의하여 近似的으로 그 特性을 等價化시킬 수 있다.



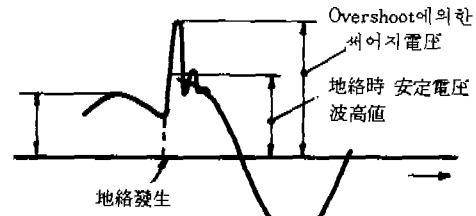
〈그림-1〉 써어지過電壓의 發生種類 및 分類

그림 1은 썬어지電壓을 發生要因別로 分類한 것으로서 一般的으로는 自然現象에 따르는 外雷썬어지와 電氣回路系統의 過渡現象으로 인한 內雷썬어지의 두가지로 大分하기도 한다.

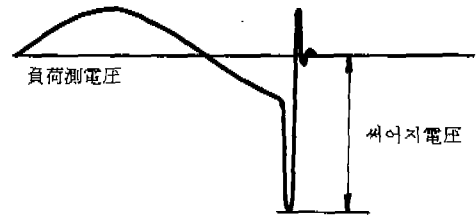
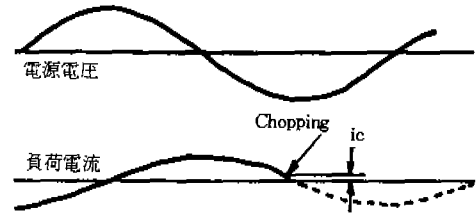
外雷썬어지에서도 雷放電 또는 大地間放電의 放電經路에 電氣設備가 直接 놓이게 되면 直擊雷의 被害를 입는데 이때에는 巨大한 雷放電效果로 인하여 碍子, 絶緣物 등이 破壞되고 閃絡現象이 일어나게 되므로 現在까지는 주로 避雷針 또는 架空地線을 利用하여 雷에너지를 大地로 直接放電시키는 것이 보통이다. 한편 雷擊과의 電磁結合으로 誘導되는 異常過電壓이 送配電線, 通信線, 各種 制御信號線 등에 發生되면 進行波形態로 減衰하다가 絶緣度가 낮은 地點 또는 半導體回路를 通하여 放電되는데 비록 그 波高值는 낮더라도 發生頻도가 높기 때문에 반드시 避雷器나 適當한 썬어지 吸收器를 利用하여 受電部의 電氣機器를 保護하여야 한다. 表 1에는 外雷썬어지의 諸性質을 比較하였다.

電力系統의 事故時 또는 回路의 開閉 등의 原因으로 發生되는 內雷썬어지는 주로 三相送配電線의 一線地絡時와 回路의 誘導性負荷遮斷時에 나타나는 過電壓으로서 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 썬어지電壓의 波高值가 正常狀態의 그것보다 數倍 이상이나 되므로 頻도가 잦아지면 機器의 絶緣을 劣化시키고 低圧用 半導體들을 破壞시킨다.

雷썬어지와 같은 波폭한 波形的 電壓이 傳播할 때에는 進行波理論에 의하여 線路傳播中에 減衰와 歪歪를 일으키며 線路途中 또는 終端 등에서 線路定數가 變化하면 反射現象도 있게 된다.



a) 1線地絡時



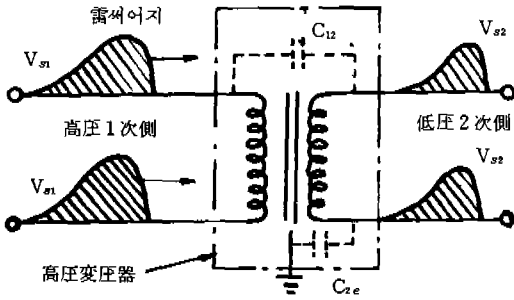
b) 誘導性 負荷의 遮斷時

(그림-2) 內雷썬어지의 波形

한편 썬어지電壓의 移行現象을 살펴보면 썬어지의 發生點으로 부터 흔히 變壓器를 通하여 低壓線으로 移行해 가는데 그 移行形態에 따라 靜電移行과 電磁移行의 두가지로 分類될 수 있다. 前者는 특히 썬어지電壓의 成分이 Common-mode인 경우이고 後者는 Normal-mode인 경우이며 그림 3에는 變壓器의 썬어지電壓靜電移行現象이 圖示되어 있다.

〈表-1〉 外雷썬어지의 諸性質

項 目	直 擊 雷	誘 導 雷
電壓·電流波高值	5000kV×數萬 Amp 以上	50kV×1000 Amp 以下
썬어지電壓波形	波頭長: 1~7 μs 波尾長: 約 40 μs 波頭變度: 270kV/μs 程度 線路傳播時에 歪歪減衰함	1~30 μs(특히 20~30 μs) 40~200 μs 5 kV/μs 程度 線路傳播時에 歪歪減衰함
極 性	負極性(單一極性)이 一般的	正極性(單一極性)이 一般的
썬어지에너지	대단히 크므로 電氣設備의 絶緣은 전부 閃絡된다. 保護方式: 避雷針, 架空地線(썬어지 吸收器로는 吸收不能)	그다지 크지 않으며 閃絡現象도 적음 保護方式: 썬어지吸收器로도 吸收가 可能함.
發 生 頻 度	적 음	많 음



$$V_{s2} = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2e}} \cdot V_{s1}$$

(그림-3) 變壓器의 써어지電壓 靜電移行

그림 3에서 알 수 있듯이 變壓器 1次~2次間 및 2次~大地間の 靜電容量을 각각 C_{12} 및 C_{2e} 라고 하면 變壓器 2次側과 大地間에 移行하는 써어지電壓은

$$V_{s2} \cong \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2e}} \cdot V_{s1}$$

으로 나타낼 수 있으며, 1次側 線間써어지電壓은 變壓器 卷線比에 따라 2次側 線間써어지電壓으로 電磁移行된다.

또한 低壓回路에서의 써어지電壓移行은 다음과 같은 種類로 나누어 볼 수 있다.

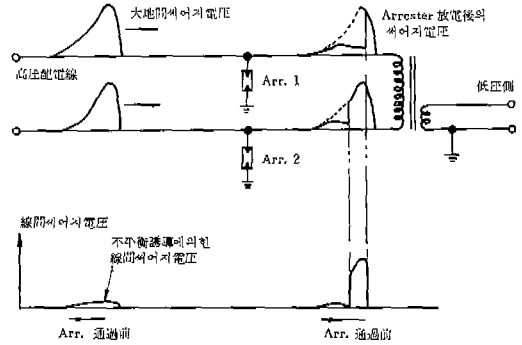
첫째, 靜電的 結合에 의한 써어지電壓 移行: 回路內를 돌고 있는 配線間의 浮遊容量(Stray Capacitance)에 의하여 1線으로 부터 他線으로 移行하는 경우

둘째, 電磁的 結合에 의한 써어지電壓 移行: 回路內 또는 回路에 近接해서 大電流를 흘리는 導體, 例컨대 써어지大電流放電用 導體가 있는 경우 導體間의 相互인덕턴스(Mutual Inductance)에 의한 電磁的 結合으로 써어지電壓이 移行하는 경우

셋째, 接地인피던스에 의한 2次的 써어지電壓의 發生: 瞬間적으로 큰 콘덴서 充放電電流가 흐르는 配線을 共通線으로 사용하는 경우나 共通接地線에 接地電流가 흐르는 경우에는 線의 인피던스에 의하여 電位差가 생겨 써어지電壓이 2次地點에 發生되는 경우

一般的으로 外雷써어지電壓은 大地에 대하여 發生하지만 다음과 같은 原因으로 線間에 나타나는 경우가 있는데 그림 4에 그 實例를 도시하였다.

1) 電線路에 誘導된 써어지電壓間의 不均衡으로



(그림-4) 線間 써어지電壓의 發生機構

인한 相對的 電壓差異

2) 高壓(또는 特高壓)系統의 避雷器 放電開始電壓의 不均衡으로 인한 線間써어지電壓의 差異

3) 柱上變壓器에서 靜電移行된 써어지電壓이 2次側 低壓線路의 接地-非接地線間 써어지電壓으로 變하는 現象

4) 誘導된 써어지電壓이 상당히 높던가 線路의 絕緣度가 낮아서 1線側으로 부터 閃絡이 發生할 경우 大地間에 不平衡電壓差를 誘發시키는 現象

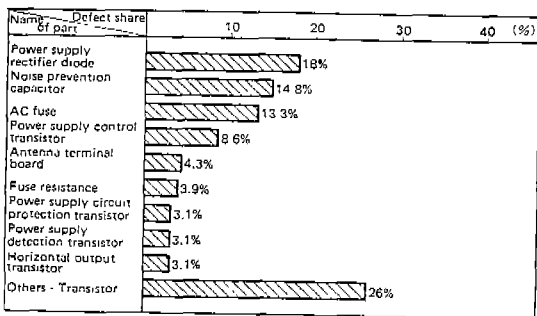
配電線이나 通信線에 나타나는 써어지過電壓의 實態를 보면 AC110 Volt 低壓系統의 경우 6kV 以下級 高電壓써어지가 約 90% 정도이고 特高壓써어지는 10% 정도로서 大地間 落雷放電 電流는 約 10% 정도가 700A 以上으로 記錄되고 있다.

線間써어지電壓은 대부분 6 kV 以下이며 發生頻度는 年間 約 300회로서 상당히 높은 편이다.

한편 通信線(主로 屋外電話線)의 경우 波高值가 50kV級에 달하는 特高壓써어지도 發生되는데 써어지吸收器를 통한 放電電流는 150A 以下가 90% 정도로서 電力系統에 비하면 線路의 特性인피던스($\cong \sqrt{\frac{L}{C}}$)가 큰 편이다. 그러나 通信機器類가 漸次 半導體化되어감에 따라 最近에는 $<1 \mu s(10^{-6})$

Name of circuit	Defect share (%)
Power supply circuit	72%
High frequency circuit	8.6%
Horizontal deflection circuit	3.9%
B voltage circuit	3.9%
Vertical circuit	2.4%
VIF circuit	2.4%
Sound circuit	0.8%
Others Unknown	6.0%

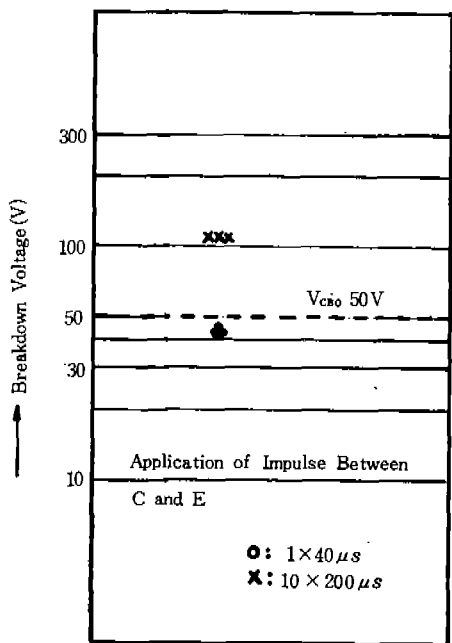
(그림-5) 家庭用 TV의 써어지被害(回路別)



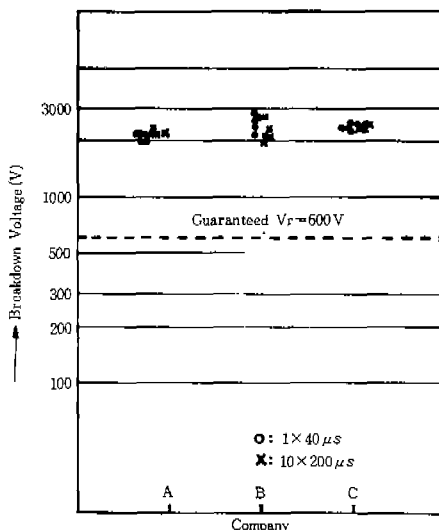
〈그림-6〉 家庭用 TV 의 써어지被害(部品別)

初)의 짧은 過電壓써어지도 問題視되고 있다.

그림 5 와 그림 6 에는 家庭用 TV 受像機 部品들의 써어지避害에 대한 統計資料가 나타나 있다. 落雷써어지와 長波形써어지에 의한 過電壓으로 인하여 그 特性이 劣化되거나 壽命이 끝나는 電子部品 가운데 트랜지스터와 다이오드는 定格 許容送電壓의 2~3 倍 정도되는 써어지에도 敏感하다는 사실이 그림 7 과 그림 8 에 나타나 있으며, IC 나 LSI 등과 같은 集積型 半導體들은 더욱 外來써어지에 弱하기 때문에 이들 高價의 部品特性을 維持하기 위해서는 보다 향상된 써어지吸收對策에 대한 研究와 技術開發이 要求된다고 하겠다.



〈그림-7〉 트랜지스터의 충격전압파괴특성



〈그림-8〉 다이오드의 충격전압파괴특성

3. 過電壓 써어지의 吸收方法

電力系統 또는 電氣機器 및 各種 回路에 侵入하는 過電壓써어지를 吸收하고 抑制하는 技術은 크게 나누어 다음과 같은 形態로 分類된다.

첫째, 被保護對象物 또는 機器의 近處에 設置되어 써어지의 原因 및 發生을 除去하거나 抑制하는 方式. 이와 같은 것으로서는 흔히 避雷針이나 架空地線을 생각할 수 있으며 直擊雷과 같은 써어지原因을 吸收하는데 유리하다.

둘째, 放電空隙 (Discharge Gap-Air 또는 Gas)을 內藏하고 있는 避雷器. 이와 같은 것으로서는 簡單한 構造의 空隙形과 Gas 發電管으로부터 直線 또는 非直線 抵抗체를 벨브형 特性素子로 利用하는 複合形들이 있다. 1930 年代 以前까지는 벨브형 特性素子로서 非直線성이 낮은 재료 (Aluminum Cell, PbO₂ 等)들이 주로 사용되었으나, 美國의 GE 社에 의하여 炭化珪素 (Siliconcarbide, SiC)의 燒結體인 카아보런덤 (Carborundum)을 이용한 싸이라이트벨브素子 (Thyrte Valve Element)가 實用化되면서부터 大電流放電能力이 優秀한 兩極性 避雷器가 送配電系統에 適用되어 오고 있다.

셋째, 放電空隙이 없는 避雷器 또는 써어지吸收器. 一般電力系統은 물론 被保護對象機器나 回路의 前端에 並列로 接續되어 過電壓써어지를 自体放電에 의해 大地 또는 線向으로 바이패스시키는 非線形 裝置로서, R-C 直並列形 스너버회로 (Snubber

Circuit)와 바리스터 (Varistor) 및 무공극피뢰기 (Gapless Arrester) 등이 여기에 屬한다. R-C 直並列形 스너버피뢰기는 電子回路와 電力用 半導体の 端子電圧上昇率을 抑制하는 외에도 高周波雜音 및 펄스形 싸어지의 吸收器로 널리 利用되는데 밸브 機能이 없는데다가 制限電壓特性이 不良하여 그 用途가 漸次 縮小되고 있다. 非直線抵抗體 만으로 動作되는 바리스터와 無空際 避雷器는 1970年代 以前까지 셀렌바리스터 (Se Varistor), 炭化珪素바리스터 (SiC Varistor), 제너다이오우드 (Zener Diode)

등의 形態로 利用되어 왔으나 耐電壓特性, 非直線 特性 및 電壓 - 電流容量의 制限性 등 固有의 問題 點들로 인하여 1970年代 以後부터는 低電壓 - 小容 量的의 電子回路設備나 電話器 等に 실리콘바리스터 (10 Volt 未滿)와 제너다이오우드 (200 Volt, 20 A 未滿)가 開閉싸어지 吸收用으로 사용될 뿐, 現在는 漸次 酸化亞鉛바리스터 (ZnO Varistor)로 代替되고 있다.

특히 1974年 부터 實用化되기 시작한 無空際 避雷器 (Gapless Arrester)는 酸化亞鉛을 特性素子로

〈表- 2〉 各種싸어지 吸收器의 特性

種類	項目	構造 材 質	長 點	短 點	一 般 的 用 途
空 隙 式	캡뮌	적당한간격으로금속 판을맞보게설치 (유리관, 가스봉입)	<ul style="list-style-type: none"> • 싸어지내량이크다 • 평상시누설전류없음 • 정전용량이작음 	<ul style="list-style-type: none"> • 응답지연 • 방전개시전압의편차 • 속류의발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체부품을쓰지 않는기기의피뢰용 • 반도체부품을쓰지 않는통신기기
	캡+ 특성요소	캡에직선또는비직선 저항체를직렬로접속시킨것	• 캡뮌의경우와같음	<ul style="list-style-type: none"> • 속류는덜발생하나 제한전압이상승 • 응답지연 • 방전개시전압의편차 	
半 導 體 式	SiC 바리스터	탄화규소분말을소결 처리후양면에전극처리	<ul style="list-style-type: none"> • 넓은동작범위의제한가능 • 응답지연없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 전압비직선성의불량으로제한전압상승 • 누설전류가크다 	• 접점간의불꽃소거용
	셀렌 바리스터	금속판에셀렌을열처리부착시킨것	상 동	<ul style="list-style-type: none"> • 제한전압특성이불량 • 누설전류가크다 • 온도·습도변화에취약 	• 대형기기용
體 式	제너 다이오우드	실리콘 PN 접합	<ul style="list-style-type: none"> • 제한전압이낮음 • 응답지연이없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 싸어지내량이약함 • 제너전압범위의제한 	<ul style="list-style-type: none"> • 회로내부의정전압용 • DC소전류계전기의개폐싸어지흡수용
	ZnO	산화아연및첨가제의 소결처리후양면에전극처리	<ul style="list-style-type: none"> • 제한전압이낮음 • 응답지연없음 • 소형으로싸어지내량큼 	<ul style="list-style-type: none"> • 고장시에는단락됨 (대용량급에는보호퓨우즈이용가능) 	• 일반기기및반도체 회로의싸어지대체용
필 터 式	CR 직병렬	콘덴서와저항의직병렬연결	• 불꽃소거효과가크다	• 제한전압특성이불량	• 접점간불꽃소거용
	CL 필 터		• 잡음제거효과가크다	• 싸어지흡수능력이작다	• 노이즈필터용

利用한 劃期的 써어지 吸收器로서, 過去에 空隙式 避雷器가 갖고 있던 몇가지 큰 短點을 除去하였기 때문에 1980年代에는 그 用途가 크게 擴大될 것으로 展望된다.

表 2에는 지금까지 列擧된 各種 써어지 吸收器에 대한 特性을 要約하였다. 써어지 吸收器로서 要求되는 性能을 綜合해 보면,

1) 써어지 吸收器에 의해서 抑制維持되는 制限電壓은 被保護機器部品の 耐壓保證值 以下일 것 (非直線性).

2) 써어지 応答에 時間遲延이 없을 것 (放電時間 遲延特性).

3) 써어지 吸收器 自身이 放電電流에 의해 쉽게 破壞되지 않을 것 (放電耐量).

4) 信賴性이 충분히 높을 것 (劣化特性).

5) 動作開始電壓의 不均等이 적고 安定되어 있을 것.

6) 續流 (Follow Current)의 遮斷能力이 優秀할 것.

7) 小型이고 價格이 낮을 것.

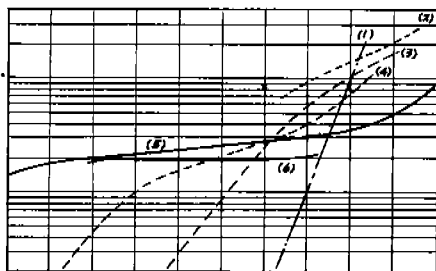
등이며 使用處와 許用規格에 따라 適切히 選擇된다.

4. Varistor의 特性 및 應用技術

바리스터 (Varistor)는 印加電壓에 따라 그 抵抗值가 變化하는 非直線抵抗체로서 導電電流-印加電壓(또는 兩端子電壓)의 關係式은 動作區間 내에서,

$$I \approx K \cdot V^\alpha (\alpha > 1)$$

로 表示할 수 있다. 그림 9에는 바리스터의 電壓-



- (1) CR (0.1μF, 10Ω) (4) Selenium
 (2) SiC+ Airgap (5) ZnO Varistor
 (3) SiC Varistor (6) Zener Diode

〈그림-9〉 各種 바리스터의 電壓-電流特性

〈表-3〉 各種 Varistor의 電氣的 特性

Varistor 種類	動作電壓範圍	非直線指數의 값 (I=kV ^α)
Cu ₂ O	0.3V Approx	5~20
Si	0.6~1V	12~20
Se	1V Approx	5~10
SiC	8V 이상	3~10
Zener Diode	5~200V	>50
ZnO	50V 이상	>30

電流 非直線性이 例示되어 있는데 非直線指數 α의 값이 크면 클수록 制限電壓特性이 優秀해 짐을 알 수 있다.

表 3에는 各種 바리스터의 電氣的 特性을 比較하였는 바 酸化亞鉛의 燒結體인 ZnO Varistor가 SiC Varistor와 Zener Diode의 長點을 兼고루 갖춘 새로운 素子로 크게 脚光을 받고 있다.

써어지 吸收器로서 바리스터를 線路나 被保護對象物의 前端에 大地間接續을 시키면 그 回路機構는 그림 10과 같이 되고 바리스터의 保護制限電壓-放電電流 特性은 그림 11과 같이 된다.

또한 等價回路方程式으로 부터

$$V_s + v' = v_z = v''$$

$$i - i' = i_z + i''$$

$$V_s = Z_{s1} \cdot i$$

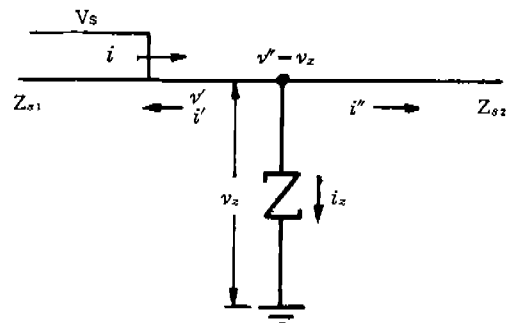
$$v' = Z_{s1} \cdot i'$$

$$v'' = Z_{s2} \cdot i''$$

로 되며 이때의 바리스터 端子電壓은,

$$v_z = \frac{Z_{s2}}{Z_{s1} + Z_{s2}} (2V_s - Z_{s1} \cdot i_z)$$

가 된다. 결국 回路系統의 써어지 임피던스가 결정되면 確率의 發生頻度를 考慮한 써어지 電壓 V_s



〈그림-10〉 Varistor 接續後의 回路機構

〈42p에 계속〉

그것은 1950년 부터 1970년 까지 築造한 324개 댐의 規模가 너무 작았다는 뜻이 되며 그와같은 小規模 貯水池中에는 土砂가 堆積하여 壽命을 다하고 있는 것도 많다.

中共도 1949년에 執權한 후 30년間에 13,000 개 以上の 댐을 建設하였는데 貯水池內에 土砂가 流入하여 그 壽命이 悲觀的이다.

1950년 부터 1970년 까지 建設한 韓國과 中共댐은 小規模인 點과 農業立國 政策에 偏重하였다는 點, 그리고 貯水池의 壽命이 짧다는 點에서 共通된다. 그것은 1960년대 까지 中共과 韓國이 落後하였었다는 뜻이 된다. 그러나 우리는 70년대에 들어서 4000년間的 落後에서 벗어나 처음으로 工業國으로 탈바꿈하여 春窮期가 사라지고 그代身 多目的 댐이 誕生하였다. 그리고 우리의 經濟社會가 工業化를 向한 社會間接資本의 大規模 投資를 계속하는데에서 最善의 國土利用 效果를 얻었다는 것을 배웠다.

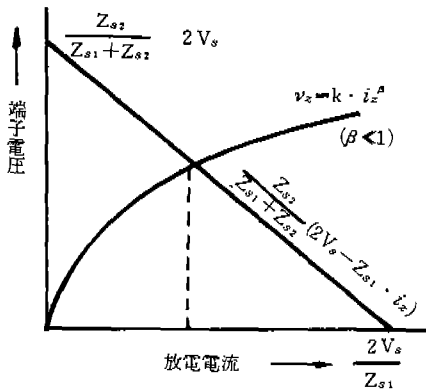
貯水池가 작으면 繁榮하기 前에 枯死하고 國家百年大計의 댐建設은 經濟成長을 위한 着根作業을 뜻한다.

우리나라에서는 多目的 댐 建設이 不過 10年の 年輪밖에 안되어 아직 그 事業을 活性化시키는데 法的인 뒷받침이 없다.

따라서 建設後에는 受惠者는 많으나 그 投資回收가 不振한 기현상 때문에 建設못지 않게 管理와 運營에 困難을 겪고 있다. 따라서 財源을 回收하여 再投資한다는 平凡한 事業推進 原則에 障害가 되고 있다. 그러나 지난 10年間에 우리國民이 受惠者가 되고 있다는 事實을 國民 모두가 體驗하고 있는 點은 매우 鼓舞的이다.

그것은 水資源開發에도 受惠者 負擔原則에 따라야 한다는 國民의 認識이 높아져 그 事業推進에 曙光이 비치고 있기 때문이다. 反面에 우리는 앞으로 남은 80%의 河川水를 貯溜하는데 必要한 技術的인 研究도 많이 남아 있기 때문이다.

(19 p에서 계속)



(그림-11) Varistor 回路의 保護制限電壓 - 放電電流特性

와 相応하는 規格의 i_z 를 흘릴 수 있는 바리스터를 適切히 選擇接續시킬 경우 被保護對象物(半導體, 通信機器 및 家電裝置等)의 耐電壓 보다 낮은 크기의 制限電壓으로 바리스터 端子電壓을 設計할 수가 있다.

5. 結 言

지금까지 檢討된 主要內容을 綜合하여 보면 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

첫째, 電力系統이나 電氣回路에는 恒常 耐電壓 值를 超過하는 過電壓써어지가 侵入 또는 發生되고 있으며 써어지에 依한 被害를 極小化 시키기 위해서는 適切한 形態와 規格을 갖는 써어지吸取器를 반드시 使用하여야 한다.

둘째, 써어지吸取器로서 갖추어야 할 條件 가운데 가장 重要한 것은 放電応答時間과 制限電壓特性 및 放電耐量特性이며 이와 같은 要件을 거의 滿足시킬 수 있도록 實用化된 것으로서는 高溫燒結形 ZnO Varistor를 꼽을 수 있다.

셋째, 被保護對象物의 耐電壓值와 線路定數 및 確率의 써어지發生電壓值 등이 計算되면 바리스터의 非直線指數와 諸特性因子들로부터 保護制限電壓 및 保護範圍 등을 算出設計할 수 있다.