

# ZnO Varistor의 利用技術

吳 明 煥\*

### 目 次

1. 序 言
  2. ZnO Varistor의 電氣의 特性
  3. ZnO Varistor의 利用方法
  4. ZnO Varistor의 長點과 問題點
  5. 結 言
- 參考文獻

## I. 序 言

最近 電子技術의 進歩와 함께 各種 電力用 半導體 (Power Transistor, Thyristor, HV Diode等)의 應用分野가 擴大되어 間に 따라 이들 高價의 素子와 制御回路를 衝擊過電壓 Surge로부터 保護하는 問題가 큰 關心事로 臺頭되었다.

지금까지 使用되고 있는 高電壓 回路保護方式으로서 는 雷Surge用 放電空隙(Discharge Airgap) 또는 이와 結合된 실리콘카바이드 非直線抵抗體 避雷器가 大部分이며 이들 保護裝置들은 主로 電源回路의 引込端에 設置하여 外部로부터의 衝擊過電壓을 一次的으로 吸收하도록 되어 있다.

그러나 電力用 半導體 및 各種 電氣機器의 周邊回路로부터 침투하는 瞬時衝擊性 過電壓 Surge들 가운데에서는  $10^{-6}$ 초 以內에 波高值까지 上昇하였다가 數  $\mu s$  이후에 消滅되는 Rapid Impulse Surge도 많이 있으며 이와 같은 Surge들은 R-C 並列回路와 함께 別途의 半導體形 保護素子를 利用하여 除去하는 것이 普通이다.

過電壓 吸收用으로 많이 利用되고 있는 半導體 素子로서는 Selenium과 Silicon Carbide Varistor<sup>1)</sup> 및 Zinc Oxide(ZnO) Varistor 등이 있으며 Power Zener Diode는 耐電壓能力과 放電耐量 및 製作費 問題로 因하여 아직까지는 使用分野가 비교적 制限되어 있다.

上記한 素子들 가운데 1970年代에 實用化되기 始作한 酸化亞鉛 바리스터(ZnO Varistor)는 그 電氣의 特性面에서 볼 때 실리콘카바이드 바리스터(SiC Varistor)

와 전력용 제너다이오우드(Power Zener Diode)의 長點을 겸비한 過電壓 吸收素子(Transient Surge Suppressor)이다.<sup>2)</sup>

ZnO Varistor의 電壓-電流 非直線性에 關한 理論의 根據는 아직까지 完壁한 解析方法이 없고 단지 그 物性的 構造로 보아 主導電體인 ZnO粒子和 粒子間에 存在하는 粒界層(Intergranular Phase)의 物性, 두께 및 Energy Barrier의 特性 等を 調査하면서 여러가지의 導電機構(Conduction Mechanism)를 數學的 Model化 함으로써 近似的으로 非直線特性을 解析하는데 그치고 있다.<sup>3-5)</sup>

素子の 製造方法은 一般 電子窯業材料의 경우와 비슷하며 製造會社別로 Know-how를 開發하여 添加物 成分比, 組粒, 및 燒成技術을 發展시켜 나가고 있다.<sup>6)</sup>

本稿에서는 ZnO Varistor의 電氣의 特性을 紹介하고 그 利用方法을 檢討하므로써 回路保護와 關聯된 技術知識을 보다 發展시키는데 다소라도 도움이 되고자 한다.

## 2. ZnO Varistor의 電氣의 特性

그림 1에는 Kemenade<sup>6)</sup>와 Mahan 이 Varistor 表面에 附着시킨 微小電極을 사용하여 調査測定한 ZnO 粒子-ZnO粒子間의 電壓-電流特性이 나타나 있다. Zener Diode와의 差異點은 그 特性이 對稱의이며 電氣의 Stress를 加하기 전에는 V-I特性이 順方向이나 逆方向이나 間に 거의 同一한 Symmetric 特性을 갖고 있다는 事實이다.

또한 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 電壓-電流 特性을 對數方眼紙에 圖示하므로써 우리는 다음과 같은 電氣의 性質을 밝혀낼 수 있다.

- 1) 微小電壓-電流區間(通常  $10^{-9}$  Amperes 以下)에서는 直線抵抗體의 Ohmic特性을 갖는다.
- 2) 一般 使用電壓(또는 定格電壓으로서 通常  $10^{-6}$  Amperes 附近)下에서는 Pre-breakdown現象을 나타내며 V-I特性은 Non-ohmic하게 된다. 이때의 Varistor

\* 正會員 : 韓國科學技術院 電氣·電子工學部 責任研究員·工博

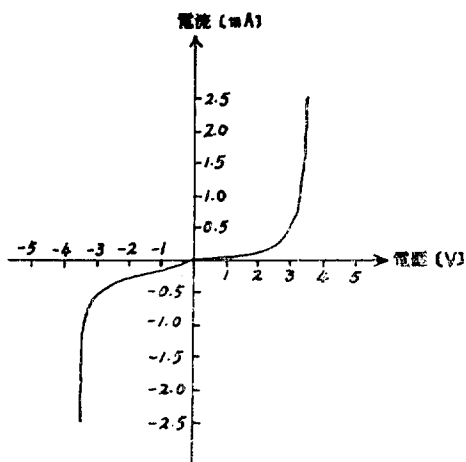


그림 1. ZnO 粒子間의 V-I特性  
Fig. 1. V-I Characteristics Between Sintered ZnO Single Grains

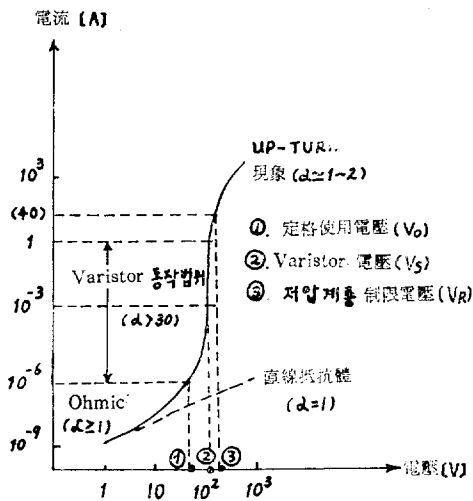


그림 2. Log(V)-Log(I)의 變化特性  
Fig. 2. Log(V)-Log(I) characteristics of ZnO Varistor

消耗電力은 低電壓用의 경우 1[mW]정도로서 100[McΩ] 以上の 絶緣體와 같은 特性을 갖는다.

3) 導電電流가 10<sup>-6</sup>~1[Ampere] 區間에서는 電氣的인 Breakdown現象을 일으키고 抵抗이 急激히 減少하며 電壓-電流 關係式은,

$$I_2/I_1 = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\alpha$$

로 近似하게 表示될 수 있다. 이때 非直線指數 α의 最大值는 Zener Diode의 그것과 비슷한 α=30~50 程度로 된다.<sup>3-4)</sup> 또한 바리스터 兩端子間 Clamping Voltage는,

$$V_2/V_1 = \left( \frac{I_2}{I_1} \right)^{1/\alpha}$$

로 나타낼 수 있으며 放電電流가 크게 增加하여도 端子間의 電壓降下는 별로 增加하지 않게 되는 바, 이와 같은 現象을 바리스터의 制限電壓特性(Voltage Clamping Characteristics)이라고 부른다.<sup>7)</sup>

4) 導電電流가 더욱 增加하여 10~1,000[A]정도로 되면 電壓電流關係는 또다시 Ohmic特性을 나타내며 非直線指數는 α≈1~2정도로 減少하고 ZnO導電粒子 自體의 抵抗率(ρ≈數Ω-cm)을 갖는 直線抵抗體로 動作한다.<sup>8)</sup>

따라서 Varistor는 電壓制限能力을 잃게 되며 電流波高值에 比例하는 電壓이 兩端에 나타나게 된다.

一般的으로 600[V]級 以下の 低壓配電系統에서는 放電電流가 40[A]<sup>9)</sup>정도일 때의 Varistor 兩端子電壓을 殘留電壓(Residual Voltage)이라고 呼稱하며 低壓用 Varistor의 保護能力에 對한 評價要素로서 흔히 製品 仕様書에 明示된다.

그림 3에는 ZnO Varistor의 物性에 따른 電氣的等價回路를 圖示하였다. Varistor를 商用周波數 혹은 그 以上の 交番周波數를 갖는 交流回路에 사용할 때에는 ZnO單位粒子間의 靜電容量으로 인한 素子の 充電電流를 勘案하여 回路를 設計하여야 한다. 現在까지 發表된 實驗結果에 따르면 燒結된 素子の 單位面積當 靜電容量은 1[KHz]의 測定周波數에서 C≈50~100[nF/cm<sup>2</sup>] 정도로 알려져 있다.

또한 ZnO粒子間의 Varistor電壓(導電電流가 1[mA] 程度일 때의 兩端子電壓)은 約 3~4[Volt]로<sup>5-6)</sup> 밝혀져 있으며 燒結된 ZnO導電粒子의 等價直徑을 10[Mi-

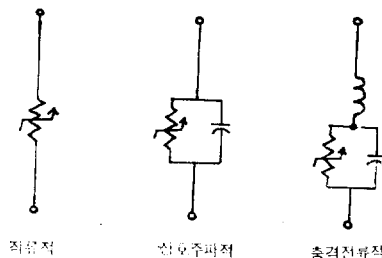


그림 3. 入力信號에 따른 物性的 等價回路  
Fig. 3. Equivalent Circuit Corresponding to Input Signal

表 1. Gapless Arrester用 ZnO Varistor 特性例 (JEC-156, 10,000A級)

項 目	開 發 試 驗 中 值
素子の 크기	56φ × 25tmm
Varistor電壓(V <sub>1mA</sub> )	5KV
電壓非直線指數(I=KV <sup>α</sup> )	α ≥ 30
制限電壓比(V <sub>10KA</sub> /V <sub>1mA</sub> )	1.85以下
放電耐量(*) { 4 × 10 <sup>4</sup> μS, 2回 2mS, 20回	100KA 400A

※ 註: V<sub>1mA</sub>의 變化幅이 ±10% 以內

cron] 程度로 볼 경우 1[mm] 두께의 Varistor電壓은 V(1mA) ≈ 300~400[Volt]로 算出된다.

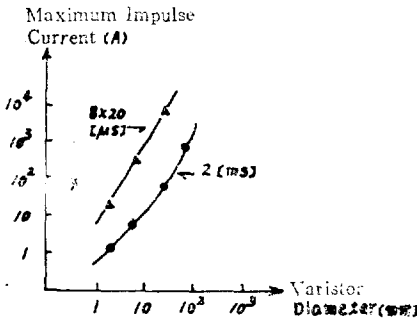


그림 4. 直徑對 最大許用 放電電流의 關係  
Fig. 4. Maximum Permissible Surge Current vs. Varistor Diameter

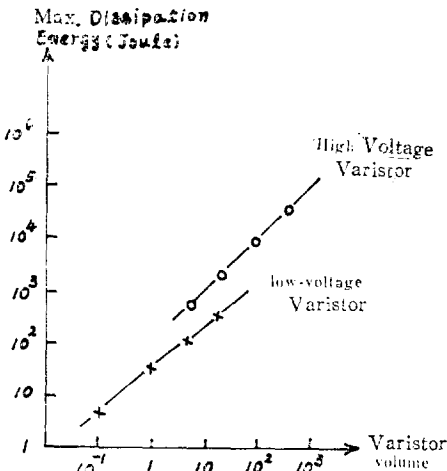


그림 5. Varistor크기와 最大許用衝擊 Energy의 關係  
Fig. 5. Maximum impulse energy vs. varistor volume

最近에는 ZnO Varistor를 大電力用 Gapless Arrester素子로 應用함에 따라<sup>10)</sup> 單位體積當의 電熱吸收容量을 增大시키기 위하여 素子の Varistor電壓을 100~150[Volt/mm] 程度로 낮추기 위한 研究가 進行되고 있으며 그 결과 美國, 日本 等 先進國의 技術陣들은 表 1에서 볼 수 있는 바와 같은 單位體積當 瞬時熱容量 100[Joule/cm<sup>3</sup>] 以上, 10,000[Ampere]級 避雷器 素子の 開發에 成功하였다.”

그림 4와 그림 5에는 각각 ZnO Varistor素子の 直徑-最大許用放電電流 關係特性 및 體積-最大吸收熱 Energy特性이 圖示되어 있다. 이들 實驗結果들은 許用放電電流의 경우 4 × 10<sup>4</sup>[μS] 또는 8 × 20[μS] Switching Surge電流의 波高值로서 그리고 熱Energy 吸收特性의 경우에는 2[mS] 長波形 短形波 Surge電流로 測定한 것들이다.

### 3. ZnO Varistor의 利用方法

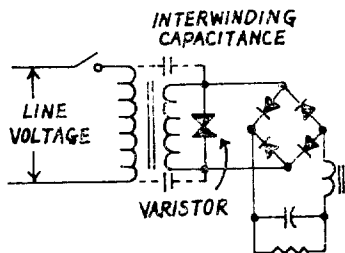
ZnO Varistor의 主要 사용목적을 열거하면

- 1) 落雷나 開閉 Surge로부터 基因하는 回路의 異常 過電壓 吸收用
- 2) 各種 半導體素子の 保護用
- 3) 繼電器 및 遮斷器의 接點保護用
- 4) 機器의 電壓安定化用

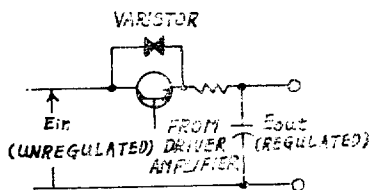
等으로 區分할 수 있으며 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 入力電源側 또는 保護對象素子和 繼電器接點間에 並列로 接續하여 過電壓 侵投時에 스스로 Surge 放電電流를 吸收하므로써 Varistor素子の 規定된 制限電壓 (Clamping Voltage) 以下로 回路의 電壓上昇을 抑制한다.

그림 7에는 10,000[V]급 雷Surge가 小型變壓器의 1次側에 侵入했을 경우의 2次側 回路電壓制限特性을 나타내었으며, 그림 8에는 ZnO Varistor素子の 크기가 10mmφ × 1.5mmt 정도인 Surge Absorber를 電力用 繼電器 接點과 並列로 연결한 후 100[A], 8 × 20[μS] Switching Surge를 30秒 間隔으로 反復引加했을 때 Varistor電壓(普通 導電電流가 1mA일 때의 Varistor兩端子電壓을 말하며 V<sub>1mA</sub> 또는 V<sub>S</sub>로 表記함)의 變化特性이 나타나 있다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 ZnO Varistor는 燒結型 半導體이기 때문에 衝擊性 過電流에 對한 耐久度가 높고 그 保護特性이 매우 安定되어 있다.<sup>11)</sup>

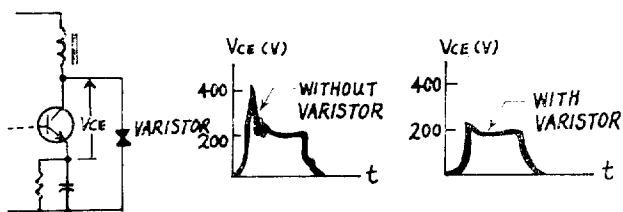
이와 같이 ZnO Varistor를 異常過電壓 吸收素子로 사용할 때에는 다음과 같은 技術的인 사항에 留意하지 않으면 안된다.



(a) Trans Secondary Components protection



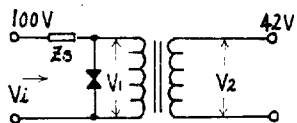
(b) Driver Regulation



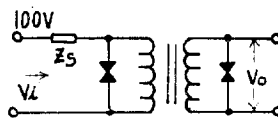
(c) Transistor protection from overvoltage Transients

그림 6. ZnO Varistor의 응용방법

Fig. 6. Application of ZnO Varistor



(a) with primary varistor only



(b) with primary and secondary varistor

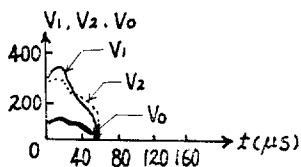
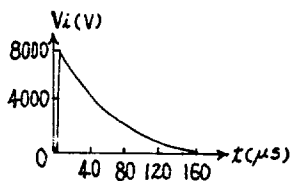


그림 7. 雷 Surge 吸收效果(小型變壓器)

Fig. 7. Secondary Protection from Primary Lightning Surge

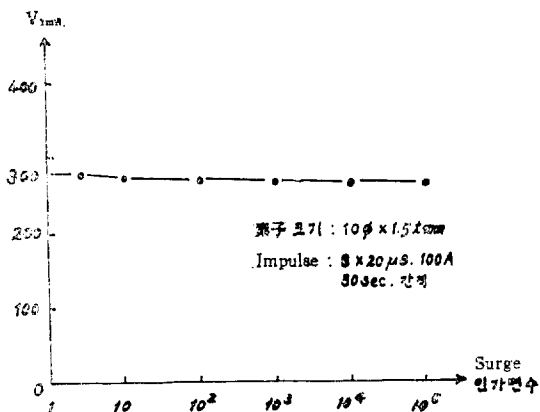


그림 8. Varistor電壓의 經年變化特性(等價試驗)  
 Fig. 8. Variation of Varistor Voltage( $V_{1mA}$ ) Due to Repeated Application of Surge Current

첫째, Varistor의 製造規格別로 表示되어 있는 最大 許用回路電壓 以上の 常時定格電壓(交流用의 경우 半週期振幅電壓)을 갖는 電源에는 사용하지 말 것.

둘째, 保護對象機器나 回路의 絕緣協助에 부합하는 制限電壓(豫想되는 Surge電流值에 相當하는 Varistor 端子電壓)을 計算하여 본 후에 적절한 素子를 選擇할 것.

셋째, 商用周波數 以上の 高周波回路에 사용할 때에는 素子の 靜電容量과 誘電體損失을 고려하여 回路를 설계할 것.

넷째, 回路의 Surge 特性 impedance가 낮고 衝擊 電流의 波高值가 Varistor의 放電耐量(그림 4 參照)보다 클 것으로 豫想될 때에는 보다 큰 素子를 選擇할 것.

다섯째, 持續時間이 1mS 以上の 長波形 Impulse가 많은 경우에는 素子自體의 過熱保護 및 系統保護를 위하여 適切한 速動퓨즈를 併用할 것.

여섯째, 周圍溫度가 定格使用溫度를 超過하지 않도록 環境條件을 마련할 것.

일곱째, Varistor素子の 並列接續時에는 並列係數(Parallel Coefficient)<sup>9)</sup>를 考慮하도록 하고 安全表示 裝置를 부착할 것.

#### 4. ZnO Varistor의 長點과 問題點

지금까지 開發된 金屬酸化物 Ceramic Varistor 가운데 ZnO Varistor가 지니고 있는 特性上的 長點과

技術的 問題點을 檢討하여 보면 다음과 같다.

##### 가. 特性上的 長點

1) 電壓—電流特性의 非直線指數가 매우 크다. 현재 사용되고 있는 SiC Varistor는  $\alpha \approx 3 \sim 7$ 인데 比하여 ZnO Varistor의 경우  $\alpha \geq 30$ 정도로써 Zener Diode( $\alpha \approx 30 \sim 50$ )와 匹敵한다고 볼 수 있다.

2) Surge 耐量特性이 優秀하다. 平均 Surge Current 耐久力이 約  $2,500[A/cm^2]$ 정도에 달할 뿐만 아니라 素子の 面積을 變化시키므로써 보다 큰 Impulse電流를 吸收할 수 있어서 Gapless Arrester素子로 應用될 수 있다.

3) 使用電壓範圍가 넓다. Varistor Voltage( $V_{1mA}$  또는  $V_s$ )는 素子の 두께, 添加物, 混合比 및 燒結溫度에 따라 變化하므로 製造仕樣別로 50V ~ 50,000V 級까지 應用할 수 있다.

4) 電壓—電流特性이 對稱的이다. 따라서 Back-to-Back Zener Diode와 同一한 特性을 나타내므로 正極性 또는 負極性의 Surge를 共히 한개의 素子로서 吸收할 수 있다.

5) 溫度變化에 따른 영향이 비교적 작다. Zener Diode나 SiC Varistor의 경우 外部溫度의 變化에 대한 電氣의 特性의 變化率이 約  $0.1\%/^{\circ}C$  정도인데 反하여 ZnO Varistor는  $0.005\%/^{\circ}C$ 에 不過하므로 매우 安定的이다.

6) Impulse에 對한 應答速度가 빠르다. 一般的인 Air-gap形 避雷裝置들은 放電極間의 Discharge Time-Lagging 現象때문에 지연시간을 갖게 되나 ZnO Varistor 素子の 경우에는 動作速度가  $0.05\mu s$  혹은 그 이하이므로 急峻波(波頭長이  $1\mu s$  以下)의 Surge 吸收가 可能하다.

7) 續流(Follow Current)가 發生하지 않는다. Air-gap形에서는 Surge放電 以後에도 定常系統電壓에 의한 續流遮斷機能이 問題視되고 있으나 Gapless Arrester의 경우에는 ZnO Varistor 素子自體의 非直線抵抗特性으로 因하여 전혀 문제가 발생하지 않는다.

8) 定格電壓狀態에서는 Leakage Current가 거의 없다. 一般的으로 定格電壓狀態에서는 素子の 絕緣性(抵抗值가  $10^{10}$  ohms정도로써 누설전류는  $1\mu A$  以下임)으로 因하여 消耗電力이 無視될 수 있다.

9) 反復 Surge에 對한 特性安定도가 높다. 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 Repeated Impulse에 대해서도 Varistor特性이 매우 安定되어 있다.

10) 生産原價가 低廉하다. ZnO以外에도 NiO, MgO, CaO 등을 主原料로한 燒結型 半導體의 경우에는 一般의 半導體에 比하여 그 製造費가 約 1/10 程度로 切減

될 수 있다.

이상과 같은 長點과 아울러 ZnO Varistor가 當面  
한 문제점들을 列擧하면,

첫째, Ceramic半導體이므로 使用電壓을 10Volts 以  
하로 낮추기가 困難하고

둘째, 導電機構와 破壞特性에 對한 確定된 理論解析  
이 아직까지도 未洽한 實情이며

셋째, 回路系統의 安全性과 保護技術에 對한 認識不  
足으로 製品의 販路가 開拓되어 있지 않아서 아직까지  
는 一般의인 半導體와 같은 多樣性이 없는 點 등이다.

## 5. 結 言

지금까지 紹介된 酸化亞鉛 바리스터는 1974年度부터  
美國의 General Electric社에 依하여 最初로 實用化에  
成功하였으며 日本, 프랑스 等地의 先進國에서는 이  
分野에 對한 持續的인 研究와 技術開發이 이루어 지고  
있는 바, 우리나라에서도 이와 같은 Surge Absorber  
에 對한 電氣·電子工學者들의 必要性 認識과 아울러  
各種 應用方式의 開發 및 特性改良에 關한 研究가 進  
行되어야 할 것으로 생각된다.

## 參 考 文 獻

1. F.R. Stansel; "The Characteristics and Some Application of Varistors." Proc. I.R.E., Vol. 39, No. 4, pp.342~358(1951)
2. J.D. Harnden, F.D. Martzloff, W.G. Morris, and F.D. Golden; "Metal-oxide Varistor: A New Way to Suppress Transients. Electronics, Vol. 45, p.91 (October 9, 1972)
3. M. Matsuoka; "Nonohmic Properties of Zinc Oxide ceramics." Jap. J. Appl. Phys., Vol. 10, No. 6, p.739(1971)
4. L.M. Levinson and H.R. Philipp; "The Physics of Metal Oxide Varistors." J. Appl. Phys., Vol 46, No. 3, p.1332(1975)
5. J. Bernasconi, S. Strassler, B. Knecht, H.P. Klein and A. Menth; "Zinc Oxide Based Varistors: A Possible Mechanism." Solid State Communications, Vol. 21, p.867(1977)
6. J.T.C. van Kemenade and R.K. Eijnthoven; "Direct Determination of Barrier Voltage in ZnO Varistors." Philips Research Report, M S. 10, 245(1978)
7. 松岡·江田; "高壓·高エネルギー用 ZNR サーヂャブソバ" 電子材料, p.57(1977年 2月)
8. L.M. Levinson and H.R. Philipp; "High-frequency and High-current Studies of Metal Oxide Varistor." J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 7, p. 3116 (1976)
9. S. Nozawa and K. Fujioka; "Z-trap and Its Application (part 2)." Fuji Review, Vol. 50, No. 2, p.118 (1977)
10. S. Hieda, M. Kobayashi, N. Furuyama, N. Kondo, K. Mitani and T. Aizawa; "Gapless Lightning Arresters for Power Systems." Meiden Review, Vol. 11, No. 6, p.69 (1974)
- 11) N. Ichinose and Y. Yokomizo; "High-Performance Ceramic Varistor Element "TNR". Toshiba Review, vol. 27, No. 12. pp.1167~1172(1972)

## 會員에게 알리는 말씀

會員 여러분의 健勝하심을 仰祝합니다.

그간 本學會 會員 여러분의 積極的인 協助와 參與로써 많은 發展을 이룩하여 公益學術團  
體로서 確固한 位置를 갖추게 되었습니다.

그러나 會員 여러분 自身의 團體인 學會의 會費를 아직까지 納付치 않으신 會員은 早速한  
時日內에 會費를 納付해 주시기 바랍니다.