

# 아몰파스 磁性材料의 電力用 變壓器에의 應用

## 1. 머리말

液体의 原子가 再配列할 時間이 없을정도의 속도로 超急冷시키면 内部平衡을 유지할 수 없게 되어 그대로 凍結된다. 이 상태를 글라스 狀態라고 하며 結晶은 形成되어 있지 않다. 이 非晶質 (아몰파스) 材料는 通常의 結晶化된 것과는 여러 가지로 다른 性質을 가지고 있으며 磁性材料, 半導體材料, 高強度材料, 耐蝕材料, 에너지變換材料, 超電導材料 등의 용도로 廣範한 연구가 進行되고 있다.

아몰파스 磁性材料는 強磁性元素인 Fe, Ni, Co 에 非晶質化를 용이하게 하는 元素인 B, C, Si, Ge, P 등을 加하여 熔融후에  $10^5 \sim 10^6$  deg/sec의 속도로 冷却하여 만들어진다. 非晶質化를 도모하는 元素로서는 이밖에도 많은 것이 발견되고 각각 특징이 있는 特性을 가진 合金이 製造되고 있다.

電力變壓器 鐵心用으로서는 高磁束密度, 低鐵損이고 또한 熱的 安定性이나 加工性이 우수한 것이 좋으며 Fe-B系를 主成分으로 하는 材料가 本命視 되고 있다.

아몰파스 磁性材料가 鐵心用으로써 각광을 받고 있는 것은 첫째로 低鐵損特性에 있다. 現在 사용되고 있는 方向性 矽素鋼에 비하여 鐵損은 1/3~1/4이며 配電用 變壓器를 전부 아몰파스 鐵心으로 代置한다면 石油換算으로 약 140萬kℓ의 에너지가 節約되며 또한 이 영향으로 發電所의 新規增設 不必要分에서 130萬kℓ가 節約된다. 다음에 이 材料는 溶湯의 直接急冷方式이기 때문에 矽素鋼에 비하여 材料 1kg당 1ℓ의 石油가 절약된다. 따라서 矽素鋼의 生産量의 見地에서도 에너지節約의 効果는 극히 크다고 하겠다.

이와 같이 아몰파스 磁性材料가 電力變壓器用 鐵心に 사용되는 배경에는 에너지 문제가 부수되므로

變壓器의 開發促進이나 普及時間의 豫測도 에너지 價格의 動向에 의존되고 있다.

여기서는 아몰파스 磁性材料를 사용한 電力用 變壓器의 開發動向에 초점을 맞추어 설명하기로 한다.

## 2. 材料의 特性

### 2·1 矽素鋼과의 比較

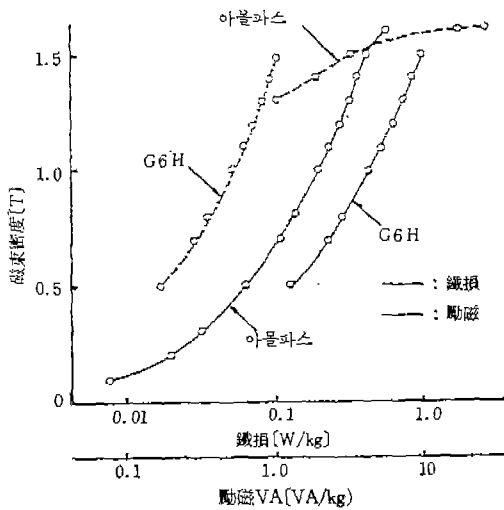
아라이드社가 鐵心用으로써 開發한 아몰파스 磁性材料 Metglas 2605SC와 方向性 矽素鋼의 最高級品인 G-6H의 諸特性을 표 1에 들었다. 아몰파스 磁性材料는 飽和磁束密度가 矽素鋼의 약 80% 밖에 안 되므로 矽素鋼이 통상 사용되는 1.7T 정도로는 作시動될 수가 없다. 여기서 아몰파스 材料의 使用上限 磁束密度에서 볼 때 1.26T에서의 特性을 비교하면 鐵損은 矽素鋼의 약 1/3, 勵磁VA는 거의 같다. Curie溫度가 낮으므로 磁界中 燒鈍은 간단히 할 수 있는데 結晶化 溫度가 480℃이며 이 溫度에 도달하면 磁氣特性이 급격히 변화하며 또한 극히 약해져 사용에 견디지 못하게 된다. 固有抵抗이 크다는 것이라든지 두께가 작기 때문에 渦電流損이 작고 商用周波數의 機器인 경우에는 歪波形下에서 우수한 特性을 발휘한다. 물론 高周波用 機器에 매우 적합하다. 스트립의 두께는 통상 40μm 정도이며 占積率도 작고 機器에 적용할 때의 비크의 하나가 여기에 있다. 占積率과 飽和磁束密度가 모두 작다는 것으로도 알 수 있듯이 同一容量의 機器를 만들 때에 鐵心치수는 矽素鋼보다도 커진다.

### 2·2 加工劣化

아몰파스 磁性材料는 製造할 수 있는 限界 두께가 상당히 얇기 때문에 먼저 捲鐵心 變壓器에의 利用을 고려할 수 있다. 이 變壓器의 경우 內層側의

〈表-1〉 아몰파스材料和 方向性 硅素鋼의 材料特性

		Motglas 2605 SC	G-6H
조성 (wt%)		Fe 94.4 B 1 Si 2 C 0.5	Fe 96.5 Si 3.5
열처리 조건	최대 인장응력 (T)	1.61	2.03
	탄성률 W 12.6/60 (W/kg)	0.22	0.72
	勵磁 VA (VA) 12.6/60 (VA/kg)	0.30	0.28
	Curie 온도 (°C)	370	745
중량 밀도 (g/cm <sup>3</sup> )		7.32	7.65
인장률 (%)		<85	97
회전 저항 (Ω-cm)		125×10 <sup>-4</sup>	45×10 <sup>-4</sup>
리 수 (mm)	최대 폭	150	1000
	두께	<50×10 <sup>-3</sup>	0.28, 0.30, 0.35



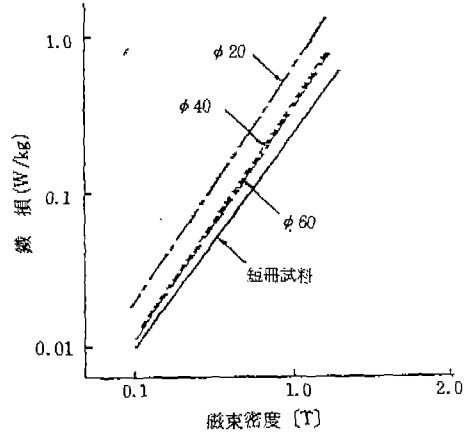
〈그림-2〉 굵힘이 더해지지 않은 경우의  
磁界中 燒鈍의 效果

(60[Hz], 365[°C], 800[A/m] 단G 6은 磁場中 燒鈍이 아니다)

材料에는 小徑의 굵힘應力이 加해진다. 그림1은  $\phi$  20, 40 및 60의 捲鐵心試料의 鐵損과 같은 材料인 에프스타인 試料의 特性을 比較한 것이다. 작은 徑의 굵힘의 경우 鐵損의 增加가 현저하다. 단, 여기서 表示가 되어 있지 않은데 365°C에서 應力除去 燒鈍을 하면 特性은 거의 回復된다.

### 2.3 磁界中 燒鈍

아몰파스 磁性材料는 急冷한 상태로는 큰 殘留 일그러짐으로 인하여 低鐵損特性을 충분히 발휘할 수가 없다. 여기서 반드시 應力除去 燒鈍을 하게 되는데 이때 트립의 長쪽 方向으로 磁界를 加하여



〈그림-1〉 굵힘에 의한 鐵損特性의 變化(60[Hz])

180°C 磁區를 整列시키면 鐵損이나 勵磁 VA가 현저하게 개선된다.

그림 2는 磁界中 燒鈍의 일례이다. 그림1과 비교하면 磁界中 燒鈍의 效果를 알 수 있다. 아몰파스 材料의 熱處理는 硅素鋼에 비하면 條件의 幅이 좁고 어렵다.

가장 적합한 燒鈍條件은 通常溫度와 維持時間의 制御에 의하여 決定되는데 아몰파스 材料의 경우捲鐵心張力도 관계가 된다. 捲經이나 熱處理雰囲気, 印加磁界의 크기에 既述한 바와 같은 要因을 加하여 대규모적인 熱處理實驗도 실시되고 있다.

### 2.4 溫度特性

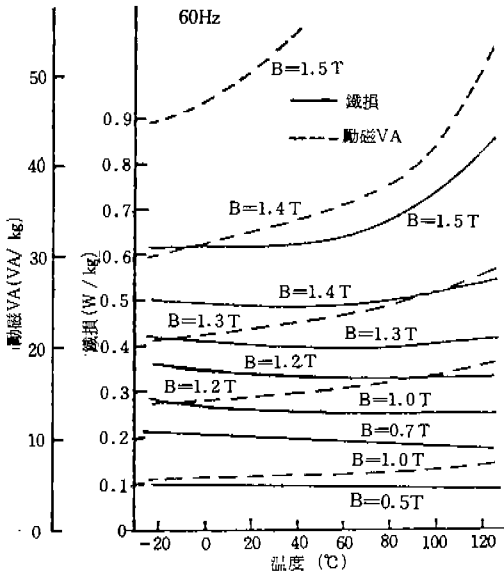
變壓器 鐵心은 鐵損 및 銅損의 影響으로 100°C이상의 온도에서 運轉이 되는 수도 있다. 아몰파스材料는 硅素鋼보다 磁氣特性의 溫度變化가 크므로 이것을 고려하여 機器의 設計를 해야 된다. 그림 3은 鐵損 및 勵磁 VA의 溫度特性의 일례이며 比較的 低磁束密度의 鐵損의 경우를 제외하면 溫度上昇에 따라 特性이 低下된다. 특히 高磁束密度에서의 勵磁VA의 急增에 주목할 필요가 있다.

### 2.5 磁氣 일그러짐

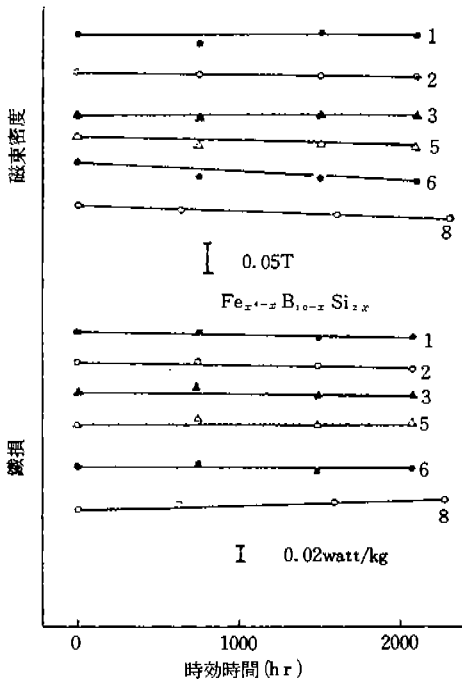
變壓器 鐵心에서의 騒音은 鐵心材料의 磁氣 일그러짐과 관계가 깊다. 그림 4는 아몰파스 材料와 方向性 硅素鋼의 磁氣 일그러짐의 測定結果의 일례이다.

### 2.6 에이징

電力用 變壓器는 통상 30年の 壽命이 要求된다. 아몰파스 材料에 대해서는 이같이 長期間에 걸친

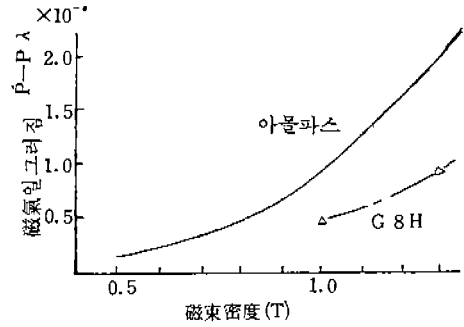


〈그림-3〉鐵損 및 勵磁VA의 溫度變化(Metglas 2605SC)



〈그림-5〉 $5\text{Fe}_{x-2}\text{B}_{1-x}\text{Si}_{2x}$  合金의 大氣中  $150^{\circ}\text{C}$  時効에 의한 磁氣特性的 變化

壽命을 豫測할 수 있는 메이터는 아직 없다(硅素鋼은 약 30年 실제로 사용한 후 變壓器를 解体 調査



〈그림-4〉磁氣 일그러짐 特性

하여 材料特性的 變化가 조사되고 있다) 磁氣特性的 變化가 조사되고 있다) 磁氣特性的 에이징에 대해서도 다른 경우와 마찬가지로 環境溫度를 올리고 加速試驗에 의하여 조사한다. 그림5는 Fe-B-Si系의 아몰파스 材料의 에이징 特性的 일레이며 構成에 따라 에이징量에 差異가 발생하고 있다. 特性的 變化量이 이 정도이면 實用上의 問題는 없다. 그러나 여하간에 아몰파스 材料로서는 에이징 特性은 극히 중요한 課題로서 霧圍氣, 溫度 및 時間을 變化시켜 廣대한 연구가 추진되고 있다.

### 3. 變壓器의 開發動向

#### 3-1 概況

配電用 變壓器의 損失은 總發電量의 1.5%미만으로 본다. 配電用 變壓器의 전부를 아몰파스 材料로 代置하여 損失을 1/3로 減少시키고 또한 總發電량을 7,000億kWh로 가정하면 年間 35億kWh의 電力이 節約된다. 이것은 假定的 數字이기는 해도 에너지 問題의 動向에 따라서는 考慮할만한 數字이다.

電力變壓器用 아몰파스 磁性材料로서는 아라이드社(美國)가 선구자로서 100屯 單位의 製品供給이 可能하다고 하며 스트립 폭도 최대 6인치(150mm)에 도달하고 있다. 日本에서는 新技術開發事業團의 依託으로 新日本製鐵이 月產 50屯 規模의 實證 플랜트를 3年後에는 完成시킬 예정이며 스트립 폭도 150mm 이상이 고려되고 있다.

電力 메이커도 이같은 動向에 대처하기 위해 變壓器 메이커와 共同으로 검토를 개시하고 있다.

#### 3-2 變壓器의 試作狀況

1980年 6月에 아라이드社가 單相 15kVA의 모델

트랜스를 세계에서 최초로 발표하였고 同年 11월에 三菱電機가 單相 500VA의 變壓器의 試作例를 발표했다. 그 후 81~82年 사이에 開發에 拍車가 加해져

- (1) 單相뿐만 아니라 3相變壓器의 開發
- (2) 鐵損解析結果와의 對應檢討
- (3) 多量製作하여 信賴性의 實證에 着手 등 公式의 由로 발표된 例만 보더라도 開發의 進展은 當初의 豫想을 상회하고 있다.

### 3·3 試作器의 特性

試作例를 大別하면 容量이 1kVA 이하의 基礎的인 檢討用과 10kVA 이상의 實用規模를 意圖한 것으로 분류된다.

#### (1) 500VA 單相變壓器

아라이드社의 2605SL材와 方向性 硅素鋼G 6H를 사용하여 單相 500VA의 捲鐵心變壓器를 製作하여 特性을 비교했다. 이 試作器의 경우 아직 磁界中 燒鈍이 되지 않고 있는 상태로 아몰파스 材料의 特性이 충분하지도 발휘되지 못하고 있는데 그래도 그림 6 과 같이 方向性 硅素鋼에 비하여 鐵損이 1/3 ~ 1/4로 감소되고 있다. 단 勵磁VA는 磁束密度가 1T 이상에서는 硅素鋼이 우수하다 (磁階中 燒鈍에 의하여 이 점은 改善된다)

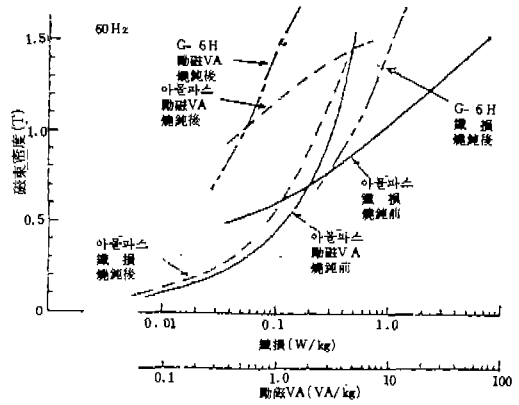
#### (2) 400VA 3相變壓器

아라이드社의 2605SC材와 方向性 硅素鋼G 8H를 사용하여 3相 5脚으로 容量 400VA의 捲鐵心變壓器를 試作하여 實驗 및 解析의 兩面에서 검토가 추진되고 있다.

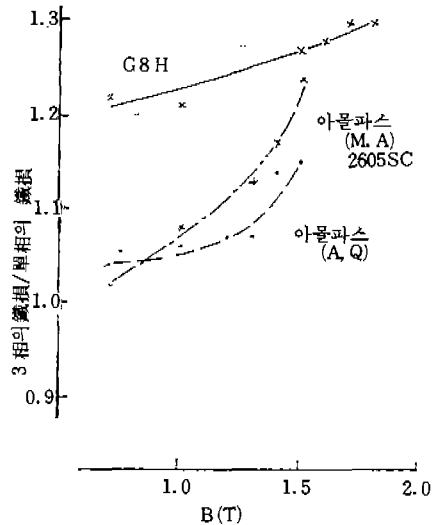
같은 3相變壓器에서 材料를 아몰파스로 했을 때의 鐵損 및 勵磁損의 改善率은 單相變壓器의 경우와 큰 差異가 없다. 그러나 3相變壓器의 경우 波形 일그러짐이 상당히 큰 곳이 있으므로 아몰파스 材料와 같이 渦電流損이 작은 것이 有利하다. 여기서 3相變壓器와 單相變壓器의 損失比를 그림 7에 들었다. 硅素鋼의 경우 3相變壓器로 하면 單相보다도 20~30% 損失이 증가되는데 아몰파스 材料의 경우에는 3~20%의 損失增加에 그치며 有利하다는 것을 알 수 있다.

다음에 捲鐵心의 鐵損解析 프로그램을 사용한 解析結果와 모델기에 의한 實測結果를 그림 8에 들었다. 兩者는 상당히 근사치를 보이고 있다.

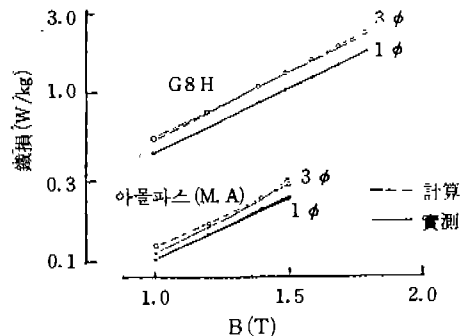
#### (3) 10kVA 單相變壓器



〈그림-6〉 500VA 單相捲鐵心의 特性



〈그림-7〉 損失比



〈그림-8〉 鐵損(計算과 實測)

아라이드社의 2605SC材와 方向性 硅素鋼G 8H를 사용하여 內鐵型의 單相變壓器의 實規模容量의 것이 81年 8월에 발표되었다.

이 변압기는 實用規模인 경우에도 基礎檢査時와 마찬가지로 鐵損이 1/3이라는 結果가 나왔다. 이 변압기의 시방은 油入自冷式, 1次電壓 6,600V, 2次電壓 210/105V이고 鐵心은 1/2", 1" 및 2"의 스트립을 함께 구성하여 円에 가까운 多段構成으로 되어 있다. 염려했던 騒音에 대해서는 現用的 것과 거의 같은 정도라고 보고 되고 있다.

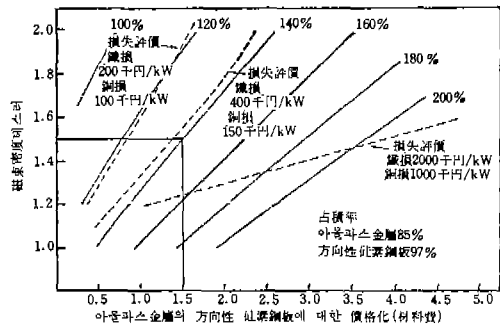
(4) 35kVA 3相變壓器

3相의 實規模容量의 變壓器가 82年 2월에 발표되었다. 材料는 지금까지의 例와 마찬가지로 아라이드社의 것인데 2605S 2가 사용되었고 方向性 硅素鋼G6H와 비교가 되고 있다. 스트립에는 1", 2 및 4를 사용하여 빌딩 내의 配電用 등을 意圖하여 모듈드식을 채용하고 있다.

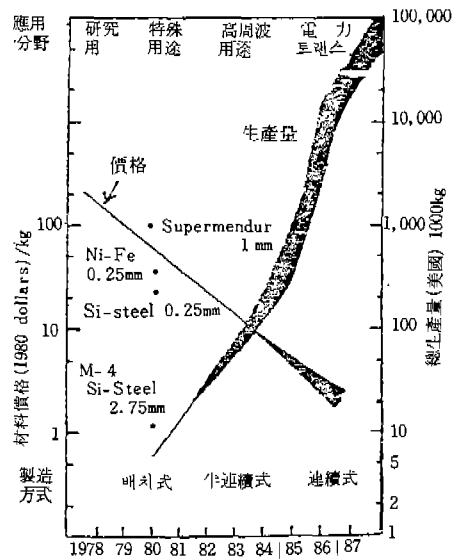
표 3에 시방 및 特性值를 표시했는데 鐵損은 1/5미만이고 無負荷電流는 1/10로 감소되고 있다. 이 변압기는 鐵心の 製作, 磁界中 燒鈍處理 등 전부가 一貫하여 自主技術로 製造된 것이다. 騒音도 10kVA 單相變壓器의 例와 마찬가지로 종래와 같은 정도이고 素材의 磁氣 일그러짐의 差異 정도로는 나타나지 않았다.

〈표-3〉 모듈드식 變壓器의 시방 및 特性值

		아몰파스 鐵心變壓器	方向性 硅素鋼板鐵心變壓器
鐵心材料		아몰파스 磁性材料 METGLAS® 2605S-2	方向性 硅素鋼板 G-6H
仕樣	形制	모듈드식·自冷·F種絶緣	
	波數	三 相	
樣容電	周波數	60Hz	
	容量	35kVA	
特 色	電壓	F6.9-F6.6-R6.3-6.0-5.7kV	1210-105V
	無負荷損	49W	238W
無負荷電流		0.5%	5.0%
	負荷損	980W	954W
임피던스電壓		5.00%	4.55%
	騒音	58dB(A)	60dB(A)
効 率		97.14%	96.71%



〈그림-10〉 아몰파스金屬으로 製作한 變壓器의 方向性 硅素鋼板으로 製作한 變壓器에 대한 價格化



〈그림-11〉 美國에서의 아몰파스 合金의 生産量과 價格과의 推移豫測

4. 앞으로의 動向

아몰파스 材料를 사용한 電力用 變壓器의 개발은 全世界의인 에너지 문제를 배경으로 최근에 加速化되고 있다.

技術面에서는 實用規模의 容量이 개발되어 鐵心構造나 變壓器의 製造技術에 관하여 확실한 축적이 되고 있다. 더구나 같은 시방의 變壓器를 많이 제조하여 量産技術의 개발과 신뢰성의 확인을 하는 움직임이 이미 시작되고 있다. 大容量에 대해서도 85年頃에는 1,000kVA級의 試作品이 出現할 것으로 展望된다.

性 評價의 한 方法을 그림10에 들었다. 여기서 變壓器의 구조나 工作法은 同一하다고 하면 變壓器의 價格은 重量에 比例하는 것을 알 수 있다. 아몰파스 材料의 價格이 方向性 硅素鋼의 1.5배라 하면 設計磁束密度가 1.5T인 경우 變壓器의 코스트는 1.4배가 되므로 이 상태로는 赤字가 된다. 그러나 實用化의 時期에 대해서는 經濟性의 評價에 달려 있다. 美國에서는 벌써부터 損失評價制度가 定着되고 있다. 이것은 (變壓器의 總價格) = (變壓器의 表面價格) + (鐵損의 評價額) + (銅損의 評價額) 으로 算定되며 高效率의 變壓器로 될 수록 높은 價格으로 되는 制度이다. 이 制度를 適用한 경우의 經濟

損失評價制度가 적용되어 鐵損이 120萬원/kW, 銅損이 45萬원/kW보다 상회하면 製造 코스트의 上昇은 吸收할 수 있다. 美國에서는 損失評價額이 해마다 상승하고 있으며 이것이 美國의 研究開發의 促進要因의 하나로 생각된다.

다음에 아몰파스 材料의 價格推移인데 그림11에 美國에서의 豫測例를 들었다. 이것은 80年 時點에서의 豫測이며 開發 스피이드는 그 후에 빨라지고 있다. EPRI Journal에 의하면 아라이드社는 금년에는 2.5萬屯/年の 材料 量産体制을 整備하고 '85 이후에 連續製造方式이 채용되면 材料價格도 300萬원/屯이하가 될 것으로 豫想되고 있다.

## 公 告

本協會 定款第11條 2項과 技師運營委員會規程 및 同 選出要領이 定하는 바에 따라 書面投票에 依하여 選出된 本部管轄地域 技師運營委員 當選者와 支部總會에서 支部長으로 當選된 當然職委員等 任期 1986年 12月31日까지인 第2代 技師運營委員 名單을 다음과 같이 公告함

1983年 12月 日

社團法人 大韓電氣協會

會長 金 榮 俊

1. 本部管轄地域 委員 (22人)

金善慶, 李慶植, 李雲熙, 金龍云, 郭五述, 張雲格, 金重光, 梁徵錫, 權泰夏, 金鳳漢, 慶秀雄, 楊熙斗, 金性吉, 張河麟, 朴任洙, 元應濟, 成喜鎮, 宋柄台, 吳貞烈, 閔雲基, 金世明, 金在九

2. 當然職委員 (支部長 8人)

趙春濟 (京畿), 吳長壽 (忠北), 李栽赫 (忠南), 林龍煥 (全北), 李相學 (全南)  
金承基 (慶北), 李學祚 (慶南), 劉善夫 (釜山)

3. 委員長 및 副委員長 選出 (第10次 技師運營委員會 83. 11. 26)

委員長 李 慶 植  
副委員長 金 善 慶 金 承 基