

● 技術報告

韓國電氣機器試驗研究所 高電壓試驗設備設計

邊 勝 鳳 · 孫 弼 榮
(同建設事務所長) (韓國電力外資部長)

目 次

- 1. 序 論
- 2. 設計의 基本方向
- 3. 試驗設備의 定格과 研究棟의 크기에 대한 I.E.C.會議
- 4. 研究棟의 電磁遮蔽
- 5. 接地設備
- 6. 結 論
- 參考文獻

1. 序 論

우리나라 電氣工學界와 電力 및 重電接産業界等 모든 電氣業界의 오랜 宿願이던 綜合電力研究機關인 當研究所(Korea Electric Research & Testing Institute = K.E.R.T.I.)가 드디어 今年 超高壓試驗設備와 大電力 短絡試驗設備를 完工하게 된다.

1977년부터 5個年에 걸쳐 内外資總工事費 314億餘원을 投入한 이 事業은 亞細亞地域에서는 日本다음으로 計劃된 것으로 規模는 先進國水準이며, 우리나라의 次期超高壓인 765KV級 系統設計와 機器國産開發을 完全 支援할 수 있게 設計하였다. 本文은 위의 設備中에서 今年上半期中에 먼저 完工되는 高電壓試驗設備와 研究棟(建物)의 設計에 對하여 記述하는 것이다.

表 1. 總工事費明細 (100萬원)

內 譯	事業規模	金 額
1. 土木工事(埜地包含)	50,000坪	1,659
2. 研究棟工事	5,670	5,712
3. 內資設備 및 設置費	一式	6,272
4. 技術用役 및 訓練費	一式	739
5. 建設運營費	一式	1,403
內 資 合 計		15,795
6. 外資借款(\$)		18,700
7. 借款利息	2年半거치 10年分割 償換 年利 7.75%	4,436
總 計		31,451

2. 設計의 基本方向

다음과 같은 高電壓試驗이 遂行되도록 신중히 設計하였다.

- 1) 800KV級까지의 送電系統設計와 機器開發試驗時 各種 耐電壓試驗 flash over試驗.
- 2) 注水試驗·霧中試驗 等 汚損試驗
- 3) 大型 Bushing 油中試驗
- 4) Corono, Radio Influence Voltage, Partial Discharge測定을 위한 研究棟遮蔽
- 5) 電力變壓器 誘導試驗(3φ 600MVA, 1φ 200MVA 級까지).

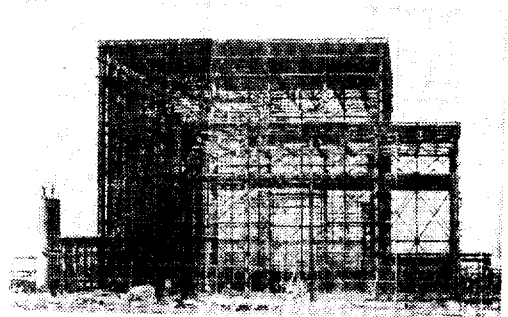


사진 1. 鐵骨組立을 完了한 高電壓研究棟 (左側建物は 組立室)

- 6) 交流試驗電壓과 Impulse電壓의 重量試驗
- 7) 其他 誘電體損失 靜電容量測定 等

3. 試驗設備의 定格과 研究棟의 크기에 대한 I.E.C. 會議

電力需要가 급증하고 送電電壓이 높아짐에 따라 試驗設備의 定格도 높아지고 이 設備를 收容하는 研究棟의 Clearance도 커지게 마련이다. 그러나 너무 급히

증가하고 變化하였기 때문에 技術的으로 完全히 解明되지 않은 狀態에서 여러나라 學者들의 見解가 분분하였다. 이러한 問題들을 가지고 1967年 10月 3日 Italy의 Milano에서 IEC Technical Committee 42의 Working Group 19인이 모여 高電壓研究棟의 設計에 對한 Symposium을 열어 相互見解를 討議하였는데 그 內容은 大略 다음과 같다¹⁾.

가. 試驗設備의 定格電壓에 對하여

研究所 試驗設備의 定格電壓은 Type Test나 檢收試驗時 보다 몇가지 Factor를 考慮해서 높게 定하였는데 表 2에서 보면 첫째 Research Factor로써, Lightning Impulse와 Switching Impulse에만 1.3을 適用한 것은 Power Frequency에서는 장차 耐電壓值를 實際로 機器에 印加되는 最高電壓보다 크게 높이지 않고, 現在보다도 多少 낮추려고 하는 傾向과 한편 部分放電測定으로 Power Frequency 耐壓試驗을 代替할지도 모른다는 可能性때문에 Research Factor를 適用하지 않아도 充分한 여유가 있으리라고 보았다. 다음의 Impulse Generator는 通常 無負荷最高充電電壓으로 定格을 表示하기 때문에 當然히 Load Factor를 고려했는데, 負荷 Capacitance 6~10nF, Impulse Generator의 容量 20~30nF이고 波形 (1.2×50μs)와 (300×4,000μs)인 경우에 對하여 計算한 것이다. 마지막의 安全係數는 設計者의 裁량에 달린것인데, 一律的으로 1.1을 適用하였다. 이상의 檢討結果 추천한 定格이 表 2의 3項値와 같다.

表 2. 試驗電壓과 試驗設備의 完格電壓

最大電壓 區分 [KV]	試驗種別	Lightning Impulse	Switching Impulse	Power Fre- quency	pollu- tion Test
耐電壓值 [KV]	525	1,800	1,100	670	350
	765	2,300	1,350	960	500
	1,100	2,800	1,800	1,410	700
試驗設備 係數	Research factor	1.3	1.3	1.0	1.1
	load factor	1.4	1.8	1.0	1.0
	safety factor	1.1	1.1	1.1	1.1
	綜合 factor	2.0	2.6	1.1	1.2
試驗設備 定格電壓 [KV]	525	3,600	2,900	800	400
	765	4,600	3,500	1,100	600
	1,100	5,600	4,700	1,600	900

以上の IEC Recommend와 當所試驗設備 (表 3)中 Impulse Generator와 Power Frequency Source定格을 比較하여 보면

1) Impulse Generator

當所의 Impulse Generator 定格은 Max. Charging Voltage가 4,000KV로써 I.E.C. Recommend 値보다

600KV 낮으나 load의 Capacitance 6nF에서 80%의 效率를 낼수 있음으로 標準波形 1.2×50[μs], 3,200KV 시험에는 支障이 없다. Switching Impulse도 同 負荷에 對하여 250×2,500[μs], 2,400KV까지 시험됨으로 765級 試驗에는 아무 支障이 없다. 또 이 Impulse Generator를 Air Cusion Base에 올려놓아 屋內外를 自由로 可搬할 수 있게 하였음으로 장차 더 높은 試驗電壓이 必要할 때에는 2~3段을 더 增設시켜 4,400KV~4,600KV로 시험할 수 있다. 이때에는 天井과의 Clearance 때문에 屋外에서 試驗해야 한다(1段의 높이, 70cm).

2) Power Frequency Source

한段이 550KV, 連續 2A式인 Transformer 2臺를 直列 또는 並列로 連結하여 使用한다. 또 30分 短時間容量을 3A(並列時 550KV, 6A)로 하여 電力 Cable, 또는 碼子類汚損試驗時의 重負荷에 견디도록 하였다. 當所 高電壓試驗設備의 主要內容은 表 3과 같다.

表 3. 高電壓試驗設備 仕様

主要設備名 및 數量	仕様 또는 規模
1. 交流高電壓發生裝置 ○ Step up Voltage Regulator × 1臺	1φ, 6.6KV/0~7.2KV, 2,200KVA 연속 3,300KVA 30分
○ Power line filter × 1臺	1φ, 6.6KV 2,200KVA 연속 高調波 減쇄 係數; 300KHz까지 50dB, 1.0MHz까지 60dB, 30.0MHz까지 70dB 1차 2차 3차
○ 試驗用 變壓器 × 2臺	1φ, 6.6KV/550KV 2,200/1,100/ /1,100KVA 연속 3,300/1,650/ 1,650KVA 30분
2. 衝擊電壓發生裝置	Max. Charging Voltage 4,000KV Max. Charging Energy 300KWS
3. 180Hz Motor-Generator Set	3φ 2,500KVA, 試驗電壓 6.6/12.7/22/30.8KV 1φ 1,300KVA
4. 注水試驗裝置	注水面積 7.8×7.4[m] 注水量 3~5mm/min Nozzie: IEC Type 1,800個 純水裝置; Ion 交換法지수 20ton
5. 計測裝置 ○ Partial Discharge Detector ○ RIV Meter ○ Compressed Gas Standard Capacitor ○ Shering Bridge ○ Capacity Voltage Divider ○ A.C. Peak Voltmeter	Model 5, Type 700, Robinson Electric Inst. EMC-25RM, Electrometric S.C. 900, Rated Vtg 900KV, 500PF Haefely, Type2801 and accessories, Tettex. 1,100KV, 1,000PF Ratio 1 : 8,000 550KV 2,000PF Ratio 1 : 800 Type 51, Haefely

나. 高電壓研究棟의 Dimension에 대하여

이들은 계속하여 研究棟의 Dimension에 대하여 論議하였는데 Canada의 I.R.E.Q EHV HALL을 設計하기 위한 G. Carrara와 L. Zaffanolla의 Italy CESI 研究所에서의 實驗結果를 채택하였다. 이에 따르면 研究棟의 Dimension을 決定하는 factor는 Switching Impulse로써 $V=0.5\sqrt{d}$ 의 實驗式을 만들어졌다.

여기서 V =Switching Impulse Withstand Voltage

[MV] d =棒電極과 平面電極間的 距離[m]

이식에 따라 765KV級에 대하여 計算하면, 表 4와 같은 研究棟의 Dimension이 된다.

그러나 特別 研究棟의 높이를 1m 더 올리는대 약 10萬弗의 建設費가 所要되는 點을 생각해서 當所에서는 765KV Switch는 屋內에서는 close 한 狀態에서만 試驗하고 open狀態의 시험은 屋外에서 하기로 하고 屋內의 有效高를 25.4[m]로 하였다.

表 4. 研究棟의 Dimension

Highest voltage for the equipment (KV)	Maximum testing voltage for switching impulse (°) (KV)	Minimum clearance to ground $d=(2V)^2$ (V in MV) (m)	Clearance between generator and test object $c=7V$ (V in MV) (m)	Overall dimensions of the laboratory (°)				
				rectangular		square		eightt (rectangular and square) h (m)
				W_r (m)	l_r (m)	W_s (m)	l_s (m)	
525	1,430	8.2	10.0	21.4	39.4	24.4	33.4	22.2(19.2)
AC 765	1,760	12.4	12.3	29.8	53.1	35.8	44.1	30.4(25.4)
1,100	2,340	21.9	16.4	48.8	82.2	60.8	67.2	45.9(38.9)
1,500	2,850	32.5	20.0	70.0	118.0	93.0	92.0	70.5(54.5)

4. 研究棟의 電磁遮蔽

가. 概 要

高電壓研究棟을 電氣의으로 遮蔽하는 것은 Corona 測定 RIV測定, 部分放電測定等을 精密히 測定하기 爲해서다. 오늘날 高電壓技術中에서도 이와같은 Corona 分析技術에 依하여 超高壓機器의 質과 絕緣壽命을 判定하는 技術이 대단히 重要視되고 있는點은 더 強調할 必要가 없을 것이다. 試料以外的 外部에서 測定回路에 침입하는 干渉을 차단하는 方法은 金屬遮蔽幕을 構成하는 方法밖에 없다.

나. 外部干渉의 主要原因

高電壓研究棟內의 空間에서 靜電 및 電磁變位를 發生시키는 것은 주로

- 1) 주위의 電氣回路가 Switching할때
- 2) 가까운 放送局의 出力에 依해서
- 3) 研究棟內의 浮動金屬體와 接地間의 放電現象等이다. 특히 Corona RIV等의 測完이 諸試驗設備를 길게 配置하여 結線해서 測定하기 때문에, 이 導體에 外部에서 發生한 干渉이 민감하게 誘導되어 計測器에 傳達되는 것이다. 事前에 充分한 對策을 세워져 防止하지 않으면, Corona, R.I.V試驗은 거의 不可能하다.

다. Back Noise Level의 限界와 現場電界強度實測

NEMA方法²⁾에 依하면 RIV 試驗時의 Back Noise는 供試品의 RIV許容值의 1/2以下라야 한다고 規定하고 있는나, 이 許容值는 供試品에 따라 數 μV 에서 數 10 μV 까지 있으며, 아직도 規定되지 않는 것도 많다. 이

許容值를 10 μV 로 假定할 때 Back Noise Level은 $10 \times 1/2 = 5[\mu V] \dots \dots 14[db]$ 보다 작아야 한다.

한편 高電壓研究棟이 세워지고 있는 昌原現場에서 1978年 5月 14日~15日 兩日間에 0.3MHz~1.6MHz 帶의 各周波數에서의 電界強度를 實測한바 0.9MHz에서 表 9와 같은 最大値가 계속되었다. 따라서 83.5-14=69.5[db] 以上の 遮蔽效果가 나도록 設計되어야

表 5. 昌原現場 電界強度 實測值(0.9MHz)

日 時	8. 5. 15				5. 15	
	10시	14시	19시	23시	6시	10시
實 測 值 [dB]	83.5	78	74.5	69	74	83

했다. 이에따라 當研究所에서는 電磁遮蔽에 對한 先進國의 實驗例를 參考하고 計算式으로 精密計算檢討하여, 國內生産現況等도 考慮하여 外部 1次遮蔽物로 0.8mm P.V.C.鐵板을, 內部的 2次遮蔽物로 0.5mm亞鉛渡鐵板을 施工하기로 決定하였다.

라. Model Room의 實驗例

日本의 有名 碍子 Maker인 N.G.K.에서 1968年名古屋에 超高壓研究棟을 建設하면서 鐵板과 鐵網等을 使用하여 表 6과³⁾같은 여러 Model을 만들어서 그 遮蔽效果를 實測分析한 結果가 매우 有益하여 當所의 設計時에 다음의 세가지를 適用하였다.

- 1) 鐵網보다 鐵板으로 遮蔽하는 것이 가장 좋다.
- 2) 2重遮蔽는 單一遮蔽보다 1.5倍가량의 效果가 있다.
- 3) 2重遮蔽時 天井의 一部를 短絡시키면 遮蔽效果가 약간 低下한다. 따라서 接地部分을 除去하고는 1次, 2次 遮蔽幕은 相互絕緣할 必要가 있다.

表 6. N.G.K Model Room 實驗

遮蔽室의 種類	遮蔽方式	遮蔽室의 크	遮蔽效果 (dB)
實驗用 Model Room		2m³	21
		2m³	40
		2m³	60
		2m³	58.5
		2m³	55.5
實際의 鐵筋 Concrete 建物		10.6m × 11.6m × 4m [H]	28.0
		10m × 15m × 13m [H]	42.0

마. 鐵板遮蔽幕의 遮蔽效果計算式

1970년에 I.E.E.E.에 發表⁴⁾한 “Electro-magnetic shielding of High Voltage Laboratory”에 依하면 그림 1과 같이 여러장의 金屬板을 熔接하여 遮蔽幕을 構成하여 大型建物을 덮었을때 그 遮蔽效果는 다음略式으로 表示하였다.

$$X(\text{dB}) = 20 \log \frac{\omega L}{R} - 20 \log \sqrt{2} \frac{t}{\delta} + (8,668 \frac{t}{\delta} - 6.02).$$

위의 方程式의 1項은 研究棟의 dimension과 遮蔽物의 材質의 function이고, 2項은 skin effect, 3項은 吸收損失이다.

여기서 Inductance L 은

$L = 0.004\pi N^2 \frac{ab}{d} F' [\mu\text{H}]$ 로써 研究棟의 Dimension만 決定되면 確定되는 數值로써 材質에는 關係가 없다. 그러나 抵抗 R 은

$R = R_0 - \frac{2S}{\pi V} \ln \frac{2V}{W} [\Omega]$ 로써 材質의 導電率과 接續方法에 따라 變化한다. 銅이 가장 좋은 遮蔽材이나 建設費 때문에 거의 쓰지 못하고 대부분 鐵板을 쓰고 있으며, 西部 Berlin에 있는 Siemens電機의 高電壓研究

棟은 銅板으로 차폐되어 있어, 이것이 唯一한 銅遮蔽 研究棟으로 생각된다.

上記式의 係數와 當所의 實際數値는 다음과 같다.

$$\omega = 2\pi f [\text{Hz}] \dots\dots 2\pi \times 0.9 \times 10^6 [\text{Hz}]$$

$$S = \text{接點間의 間격} \dots\dots 0.3 [\text{m}]$$

$$V = \text{鐵板의 幅} \dots\dots 0.68 [\text{m}]$$

$$W = \text{接點의 直徑} \dots\dots 5 \times 10^{-3} [\text{m}]$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \dots\dots 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\mu_r = \text{relative permeability} \dots\dots \text{鐵} 100$$

$$\delta = \text{Conductivity} \dots\dots \text{鐵} 10^7 / \Omega\text{-m}$$

$$t = \text{鐵板의 두께} \dots\dots (\text{外部} 0.8 \times 10^{-3}, \text{内部} 0.5 \times 10^{-3} [\text{m}])$$

$$a = \text{研究棟의 길이} \dots\dots 54.9 [\text{M}]$$

$$b = \text{研究棟의 幅} \dots\dots 33.0 [\text{M}]$$

$$d = \text{研究棟의 高} \dots\dots (\text{外部} 30 [\text{M}], \text{内部} 25.4 [\text{M}])$$

$$F' = \beta_1 \gamma + \beta_1' \gamma \ln \frac{1}{\gamma} + \beta_2 \gamma^2 + \beta_3 \gamma^3 - \beta_3 \gamma^5 + \dots\dots$$

여기서 $\gamma = d/a$ 即 長方形의 比에 따라 定해지는 常數 이들을 代入하여 計算한 結果는

外部遮蔽效果 $\approx 90 [\text{dB}]$

内部遮蔽效果 $\approx 78.8 [\text{dB}]$ 이다. 그러나 이 計算은 창문, 出入口等 開放된 部分을 고려치 않은 數值이기는 하나, 外部 電波障害을 遮蔽하는데는 單一 遮蔽幕으로도 充分하다는 判斷이 나온다. ($90 \text{dB} > 69.5 \text{dB}$) 그러.

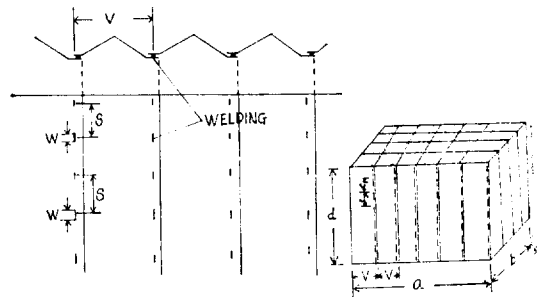


그림 1. Intermittent welding of the panel

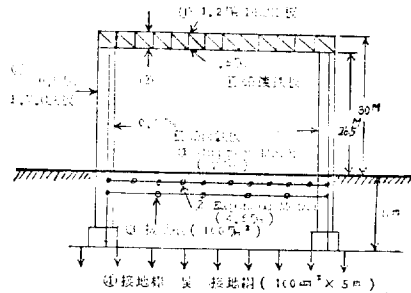


그림 2. 高電壓研究棟構造

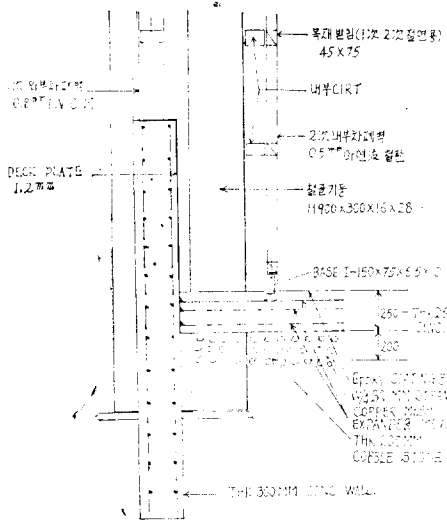


그림 3. 內外遮蔽壁明細圖(立面圖)

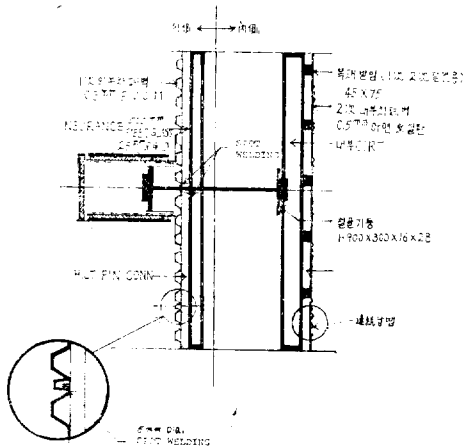


그림 4. 內外遮蔽壁明細圖(平面圖)

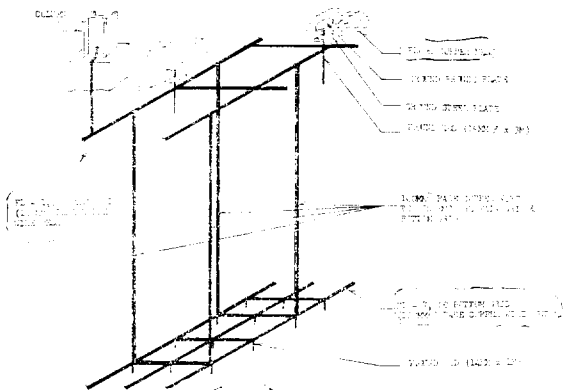


그림 5. 接地設備配置圖(概略圖)

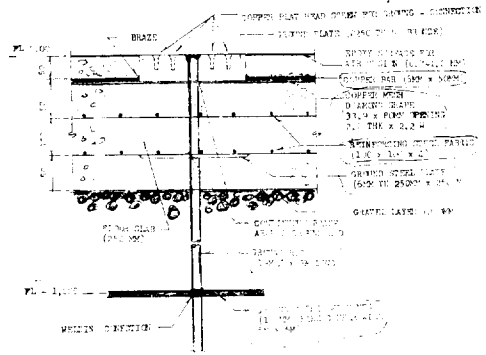


그림 6. 接地設備詳細圖

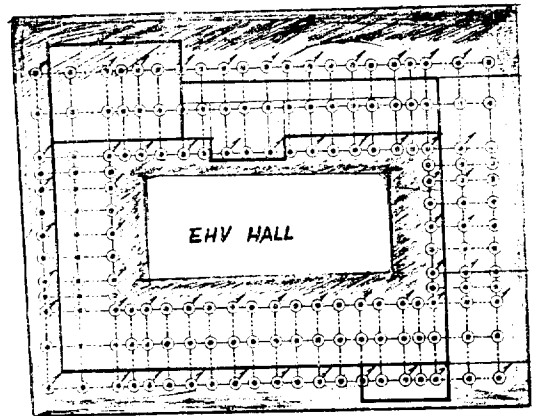


그림 7. 地下 7m 接地細構成詳細圖

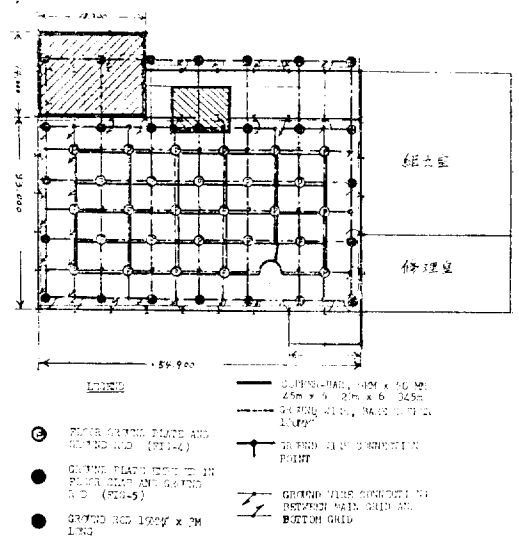


그림 8. FL-0 平面接地細構成詳細圖

나 單一遮蔽幕으로 할 경우는 研究棟벽面에 附着된 電源 Cable, 測定·制御 Cable, 照明灯等 電氣回路와 Compressed Air pipe, heating pipe, 等이 內部로 노출됨으로 이것들에서 發生하는 障害를 막을길이 없다. 그래서 通常 이것들을 가려주는 2次遮蔽를 Hall 內部에 施工하며 오히려 2次遮蔽幕에 더 力點을 두어 設計한다. 當所에서도 그림 2에서 보는바와 같이 0.5mm 亞鉛渡鐵板을 使用하였다. 海外研究所의 實例⁵⁾로 보아 當所의 實遮蔽效果는 65~75[dB]가 豫想된다. 그림 3, 그림 4에서 內外遮蔽壁을 詳細히 表示하였다.

5. 接地設備

그림 5 接地設備配置圖에서 보는바와 같이 本研究棟의 接地는 基礎굴착시에 施工한 FL-700(그림 7 地下 7m 接地鋼構成詳細圖)에서 부터 Floor面의 2.0mm Copper MESH까지 5重으로 重復施工하였다. 여기에 投入된 物量이 100mm² 나동연선 約 3,500[m], 14φ×1[m] 接地棒 168個 19φ×3M 接地棒 52個, 6×50MM 銅帶 350M, 2MM Copper MESH, 25Ton이나 된다. 아직 Floor마감 工事が 施工中인고로 綜合接地抵抗値는 未詳이나, 10의 Minus 2乘 order 일것이며, Impulse Current의 等價歸路抵抗値도 約 10×10⁻⁵(Ω)로 計算되어 1,000KA Impulse Current에도 100[V] 程度誘起됨으로 良好한 測定이 될 것이다. 그림 6 接地設備詳細圖 그림 7 地下 7m, 接地鋼構成詳細圖 그림 8, FL-O

平面接地鋼構成詳細圖 等を 追加하여 參考에 補코자 한다.

6. 結 論

Columbus의 달갈과 같이 처음하는 일이 그렇게도 어려운 것인 줄을 새삼 痛感하였다. 高電壓研究棟 內壁에 熔接된 3萬餘個의 작은 黃銅나사못 하나 하나에 投與된 靜電이나 遮蔽壁 한장 한장에 쏟아진 젊은 研究員들의 熱意와 努苦가 우리나라 工業發展의 原動力이 될 것을 確信하면서 이 글을 끝맺는다.

參 考 文 獻

1. "Report and Comments on a Symposium on UHV Laboratory Planning" G. Carrara, A. Colombo, M. Tellarini
2. NEMA Publication 107(1964), "Method of Measuring of Radio Influence Voltage of High Voltage Apparatus"
3. N.G.K. Review No. 27, Jan. 1969
4. IEEE Transaction paper No. T.P. 604-PWR "Electro Magnetic Shielding of High Voltage Laboratory" G. Karady, N. Hylden-Cavallius.
5. N.G.K. 小牧研究棟 75[dB], 日新電機(株) 80[dB] Westinghouse Trafford EHV Hall 68[dB].

會員에게 알림

會員여러분의 健勝하심을 仰祝합니다. 1981年度 會費가 아래와 같이 引上되었으니 착오 없으시기 바랍니다.

아 래

	入 會 費	年 會 費
正 會 員	3,000원	8,000원
准 會 員	2,000원	6,000원
學 生 會 員	1,000원	4,000원

※ 終身會費 80,000원

1年 以上 會費를 滯納한 會員에게는 學會活動에 自進參與토록 促進시키는 見地에서 會費를 納付時까지 不得已 會誌의 配付를 中止하겠으니 諒知하시기 바라며 未納會費를 早速히 納付해 주시기 바랍니다.

아울러 職場移動이나 住所變更 등 變動事項이 있는 會員께서는 電話 또는 書信으로 되도록 學會事務局으로 連絡하시어 會誌發送, 기타 學會行事的 通知에 蹉跎없도록 하여 주시기 바랍니다.