

## 技術報告—2

# 美國 計測研究室의 動向

虛 弘 晁

(韓國科學技術研究所 電子裝置研究室)

## I. 머리말

急激한 成長을 거듭하고 있는 科學的 調查 및 實驗 그리고 이와 關聯된 各種技術分野는 오늘 의 測定作業에 限없이 多様하고 複雜한 技巧와 새로운 計測器의 使用을 強要하고 있다. 研究에 있어서나 品質管理 그리고 해야 할 수 없는 製造品의 品質管理에서 人間의 判斷은 大幅 測定器의 指示値에 依存하고 있으므로 測定이 차지하는 位置는 過去 어느때 보다도 重要한 意味를 갖는다. 卽 어떤 事業을 成功으로 이끄는 責任은 人間의 判斷으로 부터 測定器에 轉移되고 이를 뒷받침 하는 것은 바로 使用한 測定方法과 測定道具의 確度に 左右된다고 볼 수 있다. 이에 따라 오늘 의 計測技術은 必要에 따라 더욱 더 높은 確度を 위한 꾸준한 研究와 많은 改善을 찾아왔다.

지난 4月初부터 約 6個月間 美國의 非營利研究機關中의 하나인 Battelle Memorial Institute 傘下 Columbus 研究所(I)를 中心으로 NBS(美國 立標準局)를 위시해서 綜合工業研究所, 大規模 重機工場 및 計測器專門 Maker等의 標準 또는 計測研究室을 찾아 볼 機會를 獲었다.

渡美한 目的은 工業計測과 密接한 電氣의 諸量을 비롯해서 溫度, 壓力, 眞空, 流量, 스트레인, 度量衡 및 時間等의 標準設定에 必要한 精密測定과 計測器應用을 主眼으로 하고 있으나 여기에 紹介하고자 하는 것은 前記한 研究所들을 뒷받침하고 있는 標準室 또는 計測室의 位置와 活動을 살펴 풍부한 研究資金을 獲이고 있는 美國이면서도 計測管理의 效率化로서 測定確度上으로나 經濟的으로 着實한 實利를 얻고 있는 그들

을 거울삼고 한편 Battelle에서 다루고 있는 原器와 精密測定器의 現況 및 測定方法에 對하여 略述해 보고자 한다.

다음에 本文에서 수시로 言及하게 될 原器의 種類에 對하여 混同이 없도록 우선 便宜上 몇가지 定義해 두고자 한다.

標準原器(Primary Standards) : 原則적으로 絶對測定에 依하여 設定된 原器들로서 國家 또는 國際的 標準으로 볼 수 있는 原器(群)을 말한다.

基準原器(Reference Standards) : 標準原器에 依하여 較正된 原器들로서 該 機關內의 保有 原器中 가장 높은 確도와 安定度を 갖고 原器間의 比較測定 및 實用原器의 較正時에만 使用하는 原器(群)을 말한다.

實用原器(Working Standards) : 基準原器에 依하여 較正된 原器로서 常用測定器의 較正을 위하여 隨時로 利用할 수 있는 原器(群)을 말한다.

## II. 電氣計測과 計測그들의 專門化

有名한 Kelvin卿의 “改善을 위하여 우선 測定 해야 된다”는 말이 있듯이 어떤 分野에 있어서나 研究成果와 技術向上의 評價는 測定方法과 使用한 計測器의 確도로 左右된다. 및 研究者들은 自身の 實驗에 必要한 測定方法을 考究하고 確度を 가름하는 基準을 수수로 設定하지 않으면 안되었으나 오늘의 電子計算機時代에서 在來의 態度를 固守한다는 것은 곧 後退를 意味하는 것이며 더욱이 아주 높은 確도가 要求되는 作業

에서 이를 追求하기 위한 努力이 때로는 研究主體에 쏟아야 할 精力을 헛되게 한다.

一般적으로 하나의 測定系를 生覺할 때 被試驗體에서 일어나는 現象에 感應하고 픽·업하는 感觸素子(Sensing Element)가 있고 그 다음 이 感觸素子로 얻어진 情報를 變換 또는 增幅하는 中間部를 거쳐 끝으로 可視形態로 情報를 나타내는 端局部로 形成된다고 생각할 수 있다.

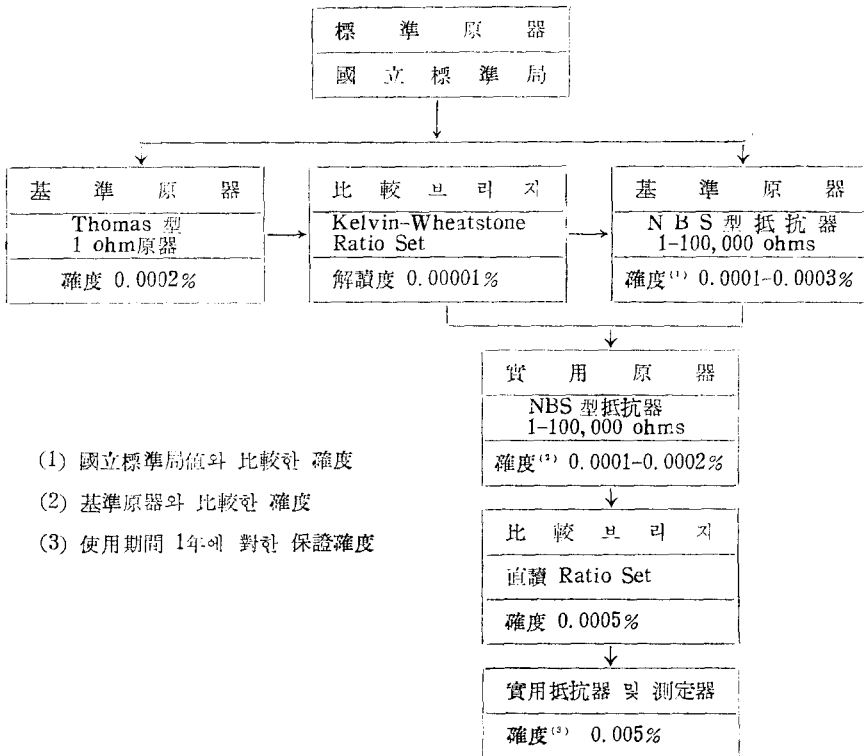
지금 한 例로 Strain Gauge를 든다면 外部에서 어떤 物體에 힘을 加하고 그 變形狀況을 分析할 때 고무의 경우라면 肉眼으로도 觀察할 수 있겠지만 汽車가 지나가는 鐵橋의 경우는 判異하므로 鋼材에 附着한 抵抗線의 伸張 또는 收縮으로 일어나는 抵抗値의 變化를 即 電氣的으로 轉換함으로써 그 變形狀況을 分析하게 되지만 이것은 어디까지나 原子의 디멘존에 屬하는 크기이므로 測定系의 誤差要因을 규명하기 위하여 關聯된 機械와 電氣分野에 걸친 專門知識의 協同없이 是 解決하기 어려운 問題들이다. 더욱이

電氣的方法에 依한 測定은 肉眼으로 볼 수 있는 指示値, 신속한 感應, 원거리조정, 증폭등 여러 가지 특징으로 요즈음 各種現象을 電氣的信號로 轉換하는 새로운 轉換器(Transducer)들이 續續開發됨에 따라 電氣計測은 비단 電氣現象뿐만 아니라 거의 모든 分野의 測定方法으로 賞用되고 工業計測의 核을 이룸으로써 他分野와 電氣計測應用의 다리를 잇는 計測그룹의 專門化는 必然化하고 있다.

### Ⅲ. 標準原器

正確한 原器는 마차 航行에서 正確한 時間源을 要하듯이 科學者나 技術者에 必要不可缺한 存在임은 두말할것도 없거니와 美國의 各種研究所 및 工業分野를 돌아 보면 그들이 保有하는 基準原器들은 모두가 國立標準局(NBS)에서 檢證된 確度가 있음을 明示하고 있다. 即 NBS의 標準原器로부터 較正 받았다는 것이다.

일지기 電氣測定에 從事한 先驅者들은 適當한



- (1) 國立標準局值와 比較한 確度
- (2) 基準原器와 比較한 確度
- (3) 使用期間 1年에 對한 保證確度

그림 1 確度源의 保證體系

抵抗標準으로 特定한 物質의 金屬線에 對하여 길이 및 斷面積(또는 重量)을 明示하고 起電力의 標準으로는 Daniell(Zinc-Copper) 電池를 利用하였으나 Gauss(1833)와 Weber(1851)가 電磁氣單位를 力學的單位로부터 誘導할 수 있음을 提示함으로써 絶對測定에 依한 標準原器를 確立하였다. 그러나 이와 같은 標準原器를 設定하기 위해서는 많은 努力과 複雜한 節次를 要하며 實相 特別한 경우를 除外하고 標準原器를 수시로 必要로 하는 것이 많으므로 大學研究室, 工業研究所 또는 工業分野에서 日常 利用하기 위한 原器로는 不適合한 것이다. 다시 말해서 이들이 갖어야 할 原器의 程度는 한 機關內에서 使用되는 測定器群과 測定系에서 일어나는 不均衡을 없애고 許容範圍를 벗어나지 않는 確度を 維持하는 基準原器로서 足한 것이다. 勿論 이들 基準原器들은 定期的으로 보다 確度の 次元이 높은 國家 또는 國際의인 標準原器에 依하여 較正받음으로써 모든 測定系에 하나의 體系화된 確度源의 供給을 保障받고 있다.

第1圖는 抵抗에 對한 確度源의 保證體系를 나타낸 一例로서 이러한 確度保證體系는 모든 基準原器마다 研究團體와 計測器 Maker에서 確立하고 있다.

通例의으로 正確한 較正과 基準原器의 確度を 保存하기 위하여 한 機關이 保有하는 種類別 基準原器의 最小數는 3個가 가장 普遍的이었다. 即 2個原器는 基準原器로서 남어지 한個는 實用原器로서 使用하고 이 實用原器는 實際 常用計測器에 對한 較正作業에 利用하는 한편 基準原器中 하나는 較正作業에 着手하기 前의 實用原器를 點檢하고 이들 間에 差異가 없으면 다른 基準原器는 使用하지 않으나 이들 原器間에 差異를 나타내면 이들을 審判하는 基準이 된다.

따라서 모든 測定器들을 보면 基準原器, 實用 및 常用測定器의 세가지로 그 區分이 明確하고 同時에 各計測器에는 較正時効가 明示되어 있다.

原器의 種類 및 要求되는 確度は 分野에 따라 다르지만 이들 原器들은 確度の 變動要因을 最小로 하기 위하여 恒時 最適溫度 및 濕도를 갖춘 매우 精巧한 環境下에 保管하고 있다. 어떤

計測器 Maker는 標準室이 溫度 25°C에서 溫度 漂動이 0.05°C以內로 室內의 모든 部分이 均一하고 相對濕度 역시 50%以下에 30~40%內에 있도록 設計하는 한편 特別히 安定한 環境을 要하는 原器들은 恒溫油槽內에 保管하고 있었다. 또한 室內壓力을 外部壓力보다 높게 하여 空氣 필터, 空氣 차단出入門 등으로 室內空氣의 淨化를 期하고 振動에 對하여도 大理石 또는 콘크리트 柱子 或은 바닥自體를 콘크리트부속으로 基礎하여 建物基礎와는 全然 分離하는 등 建物振動의 影響을 받지 않는 最善의 方法을 採擇하고 있었다.

#### IV. 標準原器室의 任務

이들의 任務를 좁게 一律的으로 定義할 수 없으나 通用되고 있는 名稱만 보더라도 Standards Lab., Instrument Lab., Quality Assurance Lab. 또는 Test Instrument Center 등으로 機能上 크게 다음 두가지로 區分하고 이 機能을 分離한 곳과 合同運用하는 곳이 있었다.

첫째 任務로는 두말할 것도 없이 한 機關에서 利用하는 모든 分野의 基準原器를 維持하는 것이며 各原器가 가지는 漂動率과 散發的인 變動에 對한 長期資料를 수집하여 그 變動要因을 分析함으로써 原器의 長期安定度を 確立하고 研究事業, 技術論文, 其他 등을 위한 所要資料의 檢證과 他機關이 實施한 實驗方法의 正確한 再現을 뒷받침한다. 한편 이들 基準原器들은 定期的으로 確도에 對한 保證을 얻기 위하여 絶對測定에 依하여 確立된 國家 또는 國際의 標準原器들과 比較하고 있으며 그 時期는 原器의 使用頻度와 經歷 그리고 種類에 따라 적어도 2년에 한번은 施行하고 있다. 또한 이 原器의 確도를 2次的인 實用原器로 옮기고 이들 原器로 하여금 實用計測器의 較正에 利用할 수 있도록 維持한다. 이에 따라 基準原器의 確도를 簡便하고 實用性 있게 置換할 수 있는 測定方法과 置換用測定器의 開發도 擔當하게 된다.

둘째 任務는 첫任務에서 派生하는 附帶事業으로서 測定系의 支援과 適合한 計測器購入에 對한 諮問, 運用機器系의 點檢에 所要되는 較正基

準, 特殊測定系에 附合하는 計測器의 設計와 加工, 測定器에 對한 校正係數의 提供과 要求하는 測定精度에 附合하는 校正, 他分野의 活動을 支援할 수 있는 새로운 測定方法의 研究와 適合한 轉換器(Transducer)의 開發, 精密計測器의 精度再生에 必要한 修理, 其他 測定作業의 從事要員에 對한 訓練等으로 볼 수 있다. 이와같은 任務을 効果的으로 遂行하기 위하여 한 機關內의 모든 計測器들은 單一 또는 集中管理下에 놓음으로써 現實化하고 있다.

#### V. 計測器의 集中管理

한 機關內의 모든 計測器를 集中管理한다는 것은 運營形態의 하나지만 이로 인한 利點은 매우 많으므로 특히 美國에서는 研究機關이 事業競爭에서 恒常 뒤떨어지지 않고 先導의位置를 계속하기 위한 必然的인 體系로 發展하고 있다. 卽 한 機關의 모든 研究 및 開發作業에 所要되는 計測器의 需要와 測定條件을 充足하면서도 高價의 計測器에 投入되는 資金을 最小限으로 抑制해 보자는 데서 發展한 것이다. 뿐만 아니라 定期的인 校正計劃에 依하여 全計測器의 精度와 性能管理가 制度化되고 必要한 計測器의 保管場所(第2圖 參照)와 언제든지 特別한 校正 및 修理를 要할 때 依賴할 수 있는 곳(第3圖 參照)을 마련하고 나아가서 計測專門家에 依하여 計測器의 需要와 所要特性을 계속적으로 檢討할 수 있

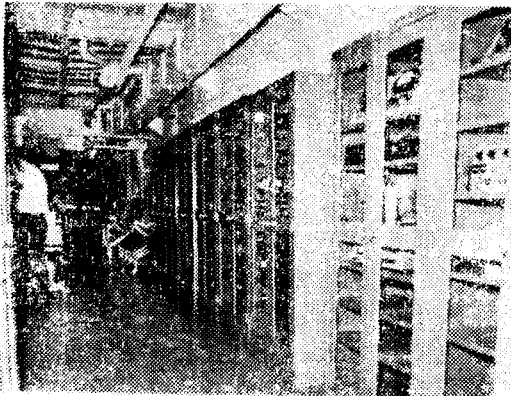


그림 2 現用하고 있지 않는 大部分의 測定器들은 選擇이 容易하도록 유리窓 캐비닛에 保管陳列된다.



그림 3 精密測定에 앞서 音響 및 振動分析器의 校正을 依賴받아 點檢하고 있는 計測技能工

게 한다. 따라서 計測室은 한 機關內의 모든 計測器에 對하여 購入에서부터 폐품이 될 때 까지 一貫된 責任을 지게 된다.

Battelle의 경우를 본다면 必要한 計測器가 어떤 特定事業計劃에만 適用되는 獨特한 것이면 그 購入은 그 事業을 擔當하는 計劃責任者에 依하여 提案되고 그 研究室 資金으로 購入하지만 그 計測器가 融通性있고 他分野에도 利用할 수 있는 것이면 이것은 計測室에 依하여 購入하고 貸與計測器(現保有數2450種)로서 必要한 研究室에 提供된다. 이러한 決定은 計測그룹과 計劃責任者間에 隨時로 있는 一適의 會合에서 協議된다. 이 외에도 計測研究室은 測定에 關한 日常問題뿐만 아니라 새로 着手할 研究事業을 위한 測定系의 構成과 測定條件 그리고 測定方法에 對하여 各研究室을 諮問한다.

한편 이와같이 貸與한 計測器는 適切한 使用料를 부과하고 있으며 企業會計에 따른 減價償却에 바탕을 두고 있으나 利用者立場에서 본다면 새로운 研究計劃에 따라 高價의 測定器를 購入함이 없이 必要한 期間 또는 時間中에만 適合한 測定器의 貸與를 받아 利用함으로써 研究資金의 節約을 期할 수 있고 機器管理面에서 본다면 機器利用率의 向上으로 遊休測定器를 最低로 抑制할 수 있으므로 投資의 效率化를 期하게 된다. Battelle과 重工業의 하나인 North American Aviation Corp의 計測器利用率을 본다면 70~

80%의 高率을 나타내고 있었다.

흔히 우리 周邊에서 同種의 機能을 갖인 測定器를 各研究室마다 別個로 갖춘다던가 1년에 한 두번 使用하는 高價의 測定器가 實驗室의 한구석을 차지하고 있는 例를 볼 수 있음을 생각할 때 깊히 反省해 볼 問題들이다.

## VI. Battelle記念研究所의 基準原器

以下 本人이 Battelle에서 測定과 實驗해 보았던 各種 基準原器와 精密測定器中 몇가지에 對하여 略述해 보고자 한다.

原則적으로 모든 電氣의 諸量의 基準은 標準電池와 標準抵抗에서 派生하고 있다.

電壓基準으로서 5個의 Eppley製 不飽和型 標準電池群을 利用하고 있다.

標準電池의 種類로는 두가지가 있고 하나는 電池內 溶液이 普通 溫度에서 飽和되는 型과 不飽和되는 型으로 이들이 갖이는 特性和 用途는 다르다.

飽和型標準電池는 電壓維持를 위해서 基本的인 原器이며 잘 純화된 物質은 使用한다면 아주 滿足스러운 再現特性和 持續性을 갖고 있으나 約  $-40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 의 比較的 높은 溫度係數를 갖기 때문에 매우 精密한 溫度調整을 要한다. 普通 周圍溫度  $20^\circ\text{C}$ 에서  $0.01^\circ\text{C}$ 內의 一定溫度를 갖는 油槽에 保管해야 된다는 點과 基準原器에 對한 較正時마다 前述한 溫度를 維持하면서 사람의 손으로 일일이 輸送해야 되다는 까다로운 點이 있어 N. B. S. 와 같은 國立標準局이나 精密計測器 Maker를 除하고는 利用하고 있지 않다.

한편 不飽和型은 飽和型과는 달리 約  $-10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 라는 낮은 溫度係數를 갖기 때문에 較正時의 溫度에서  $2, 3^\circ\text{C}$ 를 벗어나지 않는 限 溫度補正 없이도 使用할 수 있으므로 大部分의 工業研究所와 大學研究室에서 賞用하고 있었다. 한가지 留意할 點은 各電池마다 若干씩 다른 起電力을 갖기 때문에 반드시 基準原器에 依하여 較正받아야 하며 正常 電壓範圍는  $1.0190 \sim 1.0194$  絕對볼트 內이다. 不飽和型標準電池의 保守에 注意할 點들은 急激한 溫度變化를 避하고  $4 \sim 40^\circ\text{C}$

를 벗어나지 않도록 하는 同時에 絕對로  $0.1\text{mA}$  以上の 電流를 흘려서는 안된다는 것이다.

飽和型과 比較한 經年安定度는 若干 멀어지지만 그런대로 優秀한 實用性이 있으며 5年間에 걸친 Battelle의 記錄을 調査해 본 結果 年間平均  $0.003\%$ 의 傾度를 나타내고 이를 中心으로 若干의 偏差를 觀察할 수 있었다. 또한 5個電池中 2個는 10年以上의 使用經歷을 갖고 있었으며 이들 電池도 每年 한번씩 公稱確度  $0.01\%$ 의 Leeds & Northrup (以下 L & N으로略) 製 K 3 포텐쇼미터로 點檢하고 있다.

最近 前記한 標準電池外에 실리콘 Zener Diode에 依한 基準電壓源이 登場하고 있으며 標準電池와 匹敵하는  $0.01\%$ 의 確度로 計測應用分野에서 새로운 可能性을 提示하고 있다. 實相 요즘에 나오는 새로운 測定器를 보면 電壓基準으로 大部分 Zener Diode를 採擇하고 있다. Zener diode에 依한 電壓源을 原器로서 代替할 수 있는나는 아직 問題點이 있으며 N. B. S. 에서는 市販되고 있는 Hewlett Packard製 電壓源을 檢討하고 있었으나 現在까지의 觀察結果로는 매우 優秀한 特性을 나타내고 있지만 經年特性에 對하여는 아직 研究해 볼 問題라고 말하면서 原器로서의 採擇可能性은 생각해본 일이 없다고 말하고 있다. 그러나 Zener Diode의 가장 特記할 특징은 過負荷와 短絡에 對하여도 支障이 없다는 點일 것이다.

直流 및 交流의 電壓基準을 위한 原器와 關係 精密測定器는 표 1과 같다. 이 중 Volttox는 포텐쇼미터의 測定範圍를  $0 \sim 15 \sim 150 \sim 300 \sim 750 \sim 1500\text{V}$ 로 擴大하기 위하여 精密抵抗比를 利用한 것이지만  $750\ \Omega/\text{V}$ 인 電壓源의 負荷效果가 큰 것이 缺陷이다. 이에 比해 靜電型電壓計는 確度は 낮지만 負荷效果는 매우 작다. 또한 電流計型電壓計는 交流  $125\text{Hz}$ 까지 適用되나 實際로는 周波數  $0 \sim 15\text{Hz}$ 에서 많은 電流를 消費하기 때문에 ( $100\ \Omega/\text{V}$ ) 不適合하다.

抵抗標準으로는 L & N製의 Thomas型과 NBS型을 利用하고 있으며 Thomas型  $1\ \Omega$ 原器가 確度  $0.0001\%$ 로 가장 높고  $0.002\%$ 의 確度를 갖는 一連의 NBS型原器들이  $0.001\ \Omega$ 에서  $1000\ \Omega$ 를

種 類	電 壓 範 圍 [V]	確 度 [%]	備 考
標 準 電 池	DC 1.0199--1.0194	0.01	Eppley 不飽和型
포 텐 쇼 미 터	DC 0-1.611	0.015	L&N K3型
Voltbox	DC 0-1500	0.002	포텐쇼미터로測定 750 Ω/V
靜 電 型 電 壓 計	DC 1,000-3,000 最大 눈금	1	負荷效果極小
電 流 力 計 型 電 壓 計	AC 0-75-150-300 450-750-1400	0.1	周波數 125Hz까지 100 Ω/V
AC-DC 變 換 器	AC 0.001-1000	0.25(1mV-250V)	포텐쇼미터로測定 周波數 50 Hz-10 kHz

표 1 電壓基準을 위한 原器와 精密測定器

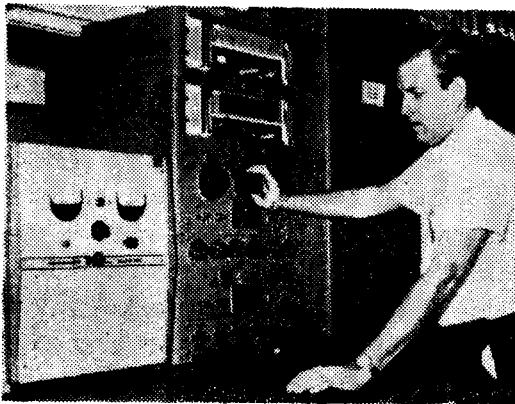


그림 4 電流電壓用 指示計器를 위한 校正裝置

커버한다. Battelle의 경우를 보면 溫度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  相對濕度  $40 \pm 5\%$ 의 標準室에 保管하고 있으나 空氣 차단門이 없기 때문에 急激한 外部影響을 막기 위하여 抵抗原器는 密閉된 캐비넬內에 保管하고 있다. 抵抗原器의 長期安定度를 觀察해 보면 濕度로 인한 季節的變動, 溫度, 銅線과의 熱起電力, 過渡磁界內에서의 誘導結合 등으로 抵抗值의 變化를 招來하므로 다른 研究所의 標準室에서는 이들 原器를  $25^\circ\text{C}$ 의 恒溫油槽內에 保管하고 있는 것이 通例였다.

표 2는 抵抗測定에 利用하는 原器와 精密測定器들이다.

電流測定에 利用하는 精密測定器는 표 3과 같다.

種 類	範 圍 [Ω]	確 度 [%]	備 考
Thomas 型 抵抗器	1	0.0001	基 準 原 器
NBS型 抵抗器	0.001-1000	0.002	實 用 原 器
L&N Ratio Set	原器에 依한 比較測定	0.002	解讀度 0.5 ppm
L&N Kelvin Bridge	$0.01\mu-1$	0.0001 Ω까지 0.04	
L&N Wheatstone Bridge	100 meg까지	0.04	
G. R. Megohm Bridge	高 抵 抗	3-12	被試驗體에 125 or 500V 印加

표 2 抵抗測定原器와 精密測定器

種 類	範 圍 [A]	確 度 [%]	備 考
L&N K3 포텐쇼미터	DC $1\mu-300$	0.025	精密抵抗器에 依한 電壓 降下利用
分 流 器	DC 最大 1000	0.05	
電 流 力 計 型	AC, DC 最大 5	0.1	
變 流 器	AC 1200	0.2	NBS檢證
熱電對 AC-DC 變換器	AC 0-75m	0.1(10 MHz까지)	DC로 校正

표 3 交流 및 直流電流測定用 精密測定器



그림 5 Ratio Set에 의하여 NBS檢證 標準抵抗器와 比較 測定하는 光景

容量測定에는 GR製 716C 브리지에 의하여 내장한 0.1 pF 標準容量과의 比較測定으로 100 pF ~ 1.1  $\mu$ F까지 0.1%의 確度로 測定할 수 있고, 500 pF까지의 基準容量으로 可變空氣容量도 갖 추고 있다.

인덕턴스測定에는 GR製 667A 인덕턴스·브리지를 使用하고 基準인덕턴스로 確度 0.1%의 100 mH와 1 H 固定인덕턴스가 있고 可變基準인덕턴스로는 確度 0.3%의 1.5~12 mH, 12~100 mH 및 100~800 mH들이 있다.

이외에 紙面關係로 度量衡을 除外한 各種 物理諸量의 基準原器와 精密測定器들은 표 4와 같이 綜合했다.

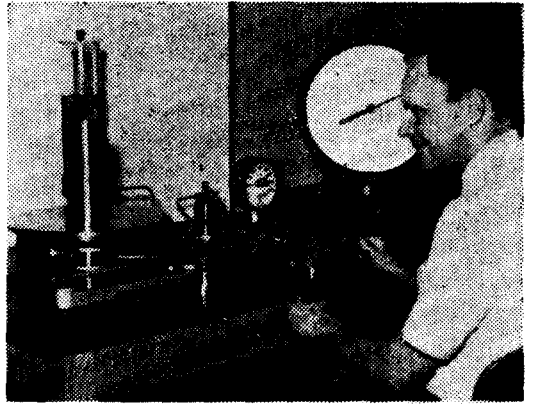


그림 6 Dead-Weight Tester에 의한 精密壓力計의 較正光景

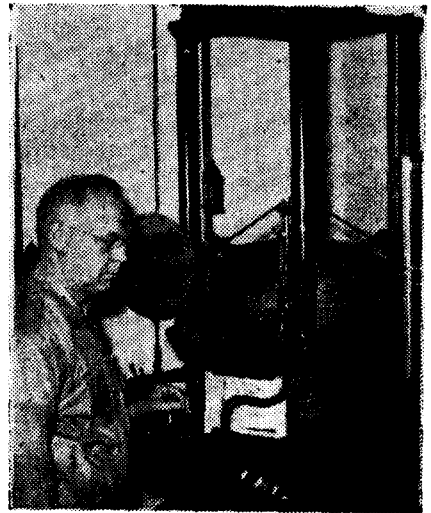


그림 7 Gas Holder(5 cu/ft)를 利用한 流量計의 較正光景

표 4 物理的諸量을 위한 原器와 精密測定器

種	類	範	圍	確	度	備	考
溫度: 溫度基準點檢用							
Nitrogen 點		-195.8°C		白金抵抗溫度計 및 Pt-Pt10%Rh 熱電對溫度計를 較正		液 相 基準原器 Transonic 製 要大氣壓較正 NBS 供給 " "	
물의 三重點		0.01°C					
수증기點		100°C					
錫冷却點		231.9°C					
鉛冷却點		327.3°C					
亞鉛冷却點		419.5°C					
金溶解點		1063.0°C			純 金		
抵抗溫度計		-253.9°C ~ +426.6°C		0.3°C		實用原器	
熱電對溫度計		0°C ~ 1450°C		0.3°C (0~1100°C) 2°C (1450°C)		Pt-Pt10%Rh	