

電氣測定標準에 관한 美國 및 濠洲에서의 研究動向

丁

元*

—차 레—

- 1. 머릿말
- 2. 電氣測定標準의 重要性
- 3. 우리나라의 國家標準體系的 變遷
- 4. 美國에서의 電氣測定標準의 研究
- 5. 濠洲에서의 電氣測定標準의 研究
- 6. 맺는말

1. 머릿말

우리의 日常生活과 工業生産에 있어서 에너지活用的 中間形態로서 뿐만 아니라 information傳達이나 sensor 또는 transducer signal의 檢出·增幅과 制御信號手段으로서 電氣가 차지하는 重要的 位置는 再言할 必要가 없다. 이러한 電氣의 量을 正確하게 測定하고 그 精密度를 向上시키기 위한 研究가 世界各國의 標準研究機關에서 꾸준히 繼續되고 있다. 昨年가을 美國 NBS에서의 各種會議과 濠洲에서 열린 IMEKO Colloquium에 參席하고 關聯研究機關들을 訪問하는 機會에 거기에서 얻은 見聞中에서 最近 活潑하게 論議되고 있는 ze/h volt standard, solid state WHM, CCVT, inductive voltage divider와 電氣機器의 QA節次等의 話題를 中心으로 이 두나라에서의 電氣測定標準에 관한 研究現況을 紹介하고자 한다.

2. 電氣測定標準의 重要性

在來式的 水車나 風車방아의 경우나 薪炭·石油를 暖房용으로 燃焼하거나 內·外燃機關이나 軍事武器에서 燃料를 바로 動力으로 轉換시켜서 使用하는 경우를 除外하고는 水力·風力·潮力·石炭·石油·核燃料와 같은 모든 에너지資源을 一旦 電力의 形態로 變換하여 照明이나 暖·冷房, 可視聽信號나 動力등의 最終目的에 活用한다. 그러므로 우리의 日常生活이나 工業生産活用に 있어서 에너지傳達과 活用的 中間狀態로서 電氣가 차지하고 있는 位置는 實로 莫重하다. 우리나라의 1973年度 總發展量은 15×10^6 KWH(3,000억원)에 達했고 같은 年度の 美國에서의 電力量去來額은 30×10^9 dollars(15兆원)에 이르고 1976년에는 50×10^9 dol-

lar에 이르고 있다. 그러므로 電力量計量器의 些少한 誤差도 그 經濟的인 波及效果가 莫大하며 그 消費와 需要趨勢의 變化를 把握하고 豫測하는 데에도 그 測定精密도와 正確도가 重要視되고 있다. 特別 經濟的인 影響은 一般消費者의 경우에도 無視할 수 없겠지만 美國에서의 같이 數十個의 電力會社들의 配電網이 有機的으로 連結되어 局所的인 電力의 過不足을 融通性 있게 相互補完하고 있는 경우에는 大量的 電力量이 去來되므로 그 測定誤差가 매우 重要視된다.

電氣는 또 電話나 radio, TV와 같은 最新通信手段에서 重要的 役割을 하고 있을뿐만 아니라 모든 精密測定에 있어서 그 測定量을 transducer나 sensor로 電氣的인 信號로 바꾸어 檢出·增幅하고 感知·處理하므로 人間の 感覺의 範圍와 感度を 增大시키는데 絕對的인 役割을 하고 있으며 이 信號의 feedback에 의한 自動制御過程에서도 絕對不可缺의 重要的 位置를 차지하고 있다. 이러한 電比信號의 測定에 있어서 從來의 analog式 meter計器에서는 그 精密도가 1% 未達이므로 그 基準單位가 別로 問題가 되지 않았지만 最近의 計數式 digital計器의 경우에는 1%의 不確定도가 셋째자리 數字의 信賴度를 左右하게 된다. 特別 近來 精密度의 digital voltmeter(DVM)이나 digital multimeter(DMM)가 널리 普及되어 6자리 乃至 7자리의 數值가 손쉽게 얻어지고 또 electronic calculator와 computer의 活用으로 老대한 數字를 例事롭게 處理할 수 있게 됨에 따라 이러한 數值化의 基準이 되는 單位量 即 電氣測定標準의 正確도와 信賴도가 重要的 問題로 浮刻되고 있다.

오늘날 computer 使用이 普通化되고 所謂情報産業時代에 들어서게 됨에 따라 모든 情報가 數值化되어 數字로 傳達處理되고 있으므로 이 數值化의 基準이 되는 標準單位의 普遍性에 對한 깊은 認識과 理解가 더욱 促求되고 있다. 가령 經濟的 統計資料의 경우에 아

* 正會員: 韓國標準研究所副所長(工博)
* Korea Standards Research Institute

우리 훌륭한 理論으로 徹底하게 處理되었다라도 어느 年度의 貨幣單位를 基準으로 한 것인지 明示되어 있지 않으면 그 信賴度나 公信力을 保障할 수 없다. 이와 마찬가지로 電氣測定에 있어서도 精密도가 높아지고 有效數字의 個數(significant figure)가 많아질수록 그 標準單位的 正確도와 國際標準單位에의 溯及性(traceability)이 維持되어 있지 않으면 그 測定값의 再現性을 期待할 수 없고 그 實驗 data의 普遍性和 國際의 公信力을 保障할 수 없다. 特別히 電氣測定은 모든 精密測定의 基礎이므로 이 標準單位的 正確도와 世界的인 均一度의 維持 및 體系的인 普及에 關한 研究가 世界各國의 標準研究機關에서 꾸준히 繼續되고 있다. 이러한 研究의 重要性은 美國의 IEEE*에서 Transactions on Instrumentation and Measurement(TIM)를 마련하여 重點의 으로 이 分野를 다루고 있는 것에서도 엿볼 수 있다.

標準單位에 關한 研究成果는 人類的 測定能力의 發達과 더불어 現代自然科學의 理論體系的 確立에 絕對的인 役割을 하고 있다. 모든 自然科學理論이 實驗의 檢證을 거쳐서 確立되었고 假說이나 既存理論에서 計算한 結果와 實驗의 測定結果와의 差異를 追窮함으로써 理論과 實驗方法이 繼續 精密化되고 補完修正되고 革新되어 왔다. 이와 같은 努力의 蓄積으로 人類的 認識範圍가 擴大되고 精密化되어 Newton力學에서 相對性理論으로, 古典物理學에서 量子力學으로 飛躍이 이루어졌으며 可視光線에서 X線을 거쳐 γ 線을 測定할 수 있게 됨에 따라 分子論에서 原子論·原子核理論을 거쳐 素粒子論이 確立되어 왔다. 이러한 一連의 發展過程에서 測定精密도가 높아지는데 따라 그 基準이 되는 標準單位를 더욱 正確하게 再定義해야 되었다. 오늘날 이들 基本單位들(meter, kilogram, second, ampere or volt, kelvin, mole, candela)와 基本物理常數들(光速度 c , 電子質量 m , 單位電荷 e , Boltzmann常數 k , Planck常數 h 등)은 人間과 機械의 測定能力의 極限에 挑戰하면서 最尖端의 精密도로 維持되고 繼續 修正補完되고 있다. 그리고 한편 測定範圍의 擴大에 따라 微小量을 위하여 milli**(10^{-3}), micro(10^{-6}), nano(10^{-9}), pico(10^{-12}) 외에 femto(10^{-15}), atto(10^{-18})의 接頭順가 追加해서 採擇되었고 巨大量을 위해서는 kilo**(10^3), mega(10^6), yiga(10^9) 외에 tera(10^{12}), peta(10^{15}), exa(10^{18})가 追加되고 있다. (가령 He-Ne las-

er光의 波長은 632.8nm이고 그 周波數는 47.41THz이다) 그러나 原子核의 散亂斷面積의 單位인 1 barn= $10^{-24}cm^2=10^{-28}m^2$ 이나 星雲까지의 距離를 基本單位로 나타내기에는 아직도 遼遠하다.

3. 우리나라의 國家標準體系的 變遷

옛날부터 地域別文化圈이나 各나라마다 農耕과 租稅 測量, 航海와 商去來上의 必要性 때문에 自然發生的으로 曆書와 度量衡制度가 制定되고 近代國家體制가 形成됨에 따라 國際標準體系로 發展하였다. 그리고 漸次 文化交流와 交易의 範圍가 地球全域에 擴大됨에 따라 國際的 度量衡制度의 必要性이 認識되어 國際標準機構 BIPM*로 이 設置되고 meter條約이 締結되었다.

우리나라에서는 李朝末期 高宗時代에 平式院이 設置되어(1902年)近代的 度量衡制度가 制定되었고 解放後 商工部의 度量衡局과 中央工業研究所가 國家標準의 管理·維持를 맡아왔다. 이 中央工業研究所가 國家工業研究所, 國立工業標準研究所의 變遷을 거듭하여 商工부에 新設된 工業振興廳에서 推進하고 있는 工業標準化와 工產品生産의 品質管理強化活動에 技術의 支援을 遂行해왔다. 이 國立工業標準研究所의 計量標準試驗部가 核芯이 되어 精密機器센터(FIC)**, 地方試驗檢査機關, 軍檢較正施設, 그리고 電波研究所, 電氣通信研究所, 交通技術研究所, 電氣試驗과 其他 研究機關들이 우리나라의 國家標準體系的 組織要素들을 이루고 있다.

이러한 國家標準體系的 精密度水準은 우리나라 產業 技術의 發展과 密接한 push-pull關係를 維持하면서 繼續 向上되어 왔다. 特別히 1960年代부터 우리나라의 2次 產業이 눈부신 發展을 거듭하여 1970年代에 이르러서는 勞動集約的인 生産體制에서 skilled labor 및 技術集約的인 生産體制로 發展해 나가고 量的膨脹에서 質的革新으로의 轉換期를 맞게 됨에 따라 所謂 精密度障壁에 直面하게 되고 이것을 克服하기 위해서는 우리나라 國家標準體系를 現代化시키고 그 普及體制를 強化하는 한편 輸出產業의 繼續的인 伸長을 支援하기 위해서 國際標準에의 溯及性을 더욱 徹底히 維持해야 되겠다는 必要性이 切實하게 認識되기 시작하였다. 이러한 必要性은 1960年代後半부터 느껴지기 시작하여 1967年과 1972年의 2次에 걸쳐서 美國 NBS***專門家 team으로

* IEEE=Institute of Electrical and Electronic Engineers
** 各名 $m, \mu, n, p, f, a; k, M, G, T, P, E$ 로 略記함.

* BIPM=Bureau International des Poids et Mesures
** FIC=Fine Instrument Center
*** NBS=National Bureau of Standards

하여금 우리나라 標準體系의 現況과 그 改善方案에 對한 調査를 遂行하도록 하였다. 이 調査事業의 建議에 따라 1974年 9月부터 1975年 7月까지 9個月間에 걸쳐서 GE-TEMPO 專門家 team에 의한 더욱 徹底한 妥當性 調査가 遂行되었다.

이와 같은 오랜 準備作業과 計劃段階를 거쳐서 드디어 1975年 12월에 우리나라 國家標準體系의 革新強化를 위하여 韓國標準研究所가 新設되었고 이에 따라 國立工業標準研究所는 國立工業試驗院으로 改編되었다. 韓國標準研究所(K-SRI*)의 發足を 위하여 美國 AID와 500萬弗의 長期借款이 協定되고 內資 35億원이 配定되었으며 建築設計, 人員研修 및 標準研究裝備의 最終選定등의 諮問用役이 美國 NBS와 契約되었다.

1976年 10월에 美國 NBS를 訪問하여 韓國標準研究所發足準備에 關한 實務協議와 NBS/AID Work shop on Standardization and Measurement Services in Industrializing Economics에 參加하는 機會에 關聯標準研究機關들을 見學했고 이어서 11월부터는 濠洲에서 열린 IMEKO* Colloquium on "Nature and Scope of Measurement"와 Institute of Instrumentation and Control of Australia의 年例會議에 參席하고 National Measurement Laboratory(NML), National Association of Testing Authorities(NATA), Standards Association of Australia(SAA) 등의 關聯機關을 巡訪할 機會를 가졌다. 이 旅行에서 收集한 資料들을 中心으로 이 두나라에서의 電氣測定 및 그 標準單位에 關한 研究現況의 一面을 紹介하고자 한다.

4. 美國에서의 電氣測定標準의 研究

美國의 標準研究의 總本山은 NBS이며 여기에서 國家標準을 管理·維持·開發하고 이것을 核芯으로 하여 Hughes Aircraft Company, Hewlett Packard Co. 등 230個의 民間企業體試驗檢査機關과 聯邦政府 및 海軍·陸軍·空軍·NASA 등 40個의 政府研究所 및 35個의 各州政府機關들이 國家標準體系를 形成하고 있다. 이들 研究機關들이 **National Conference of Standards Laboratories(NCSL)**을 組織하여 이 이 分野의 技術情報의 相互交流와 共通의 問題美의 解決協議를 圖謀하고 있다. 이것은 完全히 自發的인 親睦團體이며 NBS가 그 諮問 및 secretariat를 맡고 支援하고 있다. 1976年은 NBS創立 75周年인 同時에 NCSL의 創立 10周年이 되는 해였고 이 年例會議를 NBS에서 열고 있었기에 "The National Measurement System-Today and

Tomorrow-an Anniversary Review of Our National Industrial Measurement System"이라는 主題로 열린 이 會議에도 參觀할 機會를 가졌다. 오늘날 모든 精密測定이 電氣測定을 基盤으로 하고 있기 때문에 電氣測定の 信賴度에 關한 討論이 斷念大多數를 차지했다. 이러한 電氣測定技術과 信賴度에 關한 研究成果는 거의 모두 IEEE의 TIM에 收錄되어 있다.

National Bureau of Standards(NBS)

NBS는 1901년에 創設되고 1965년에 Gaithersberg, Maryland의 233 hectares敷地의 現廳舍에 移轉하여 約 3,100名의 職員이 일하고 있으며 Institute for Basic Standards, Materials Research, Applied Technology, Computer Sciences and Technology의 4個 Institute로 編成되고 있다. 1976年度 總運營豫算은 109M(545億원)이다. 1954年以來 Boulder, Colorado의 83hectares敷地에 分所를 設置하여 Electromagnetics, Cryogenics 및 Time and Frequency의 3Division이 運營되고 있다. NBS에서는 世界最高水準의 精密密度로 길이·質量등의 度量衡標準의 維持·開發은 勿論이고 1954年以來 cesium原子時計의 開發과 改良研究를 繼續하여 1975年에 完成한 第6號機(NBS-6)에서는 7×10^{-15} 의 安定度(1年 = $31.5 \times 10^6 \text{sec}$ 이므로 2×10^9 年에 1sec의 誤差!)의 時間標準의 精密密度를 實現하고 있으며 時間 및 周波數較正基準이 되는 標準周波數放送도 實施하고 있다.

2e/h Volt Standard

電氣測定標準分野에서 가장 劃期的인 研究成果中的 하나인 超電導 junction의 交流 Josephson效果를 利用한 所謂 $2e/h$ volt standard일 것이다. 이것은 두 超電導體 사이에 普通導體나 酸化物絕緣體의 얇은 膜을 끼워서 weak coupling을 形成시키고 直流電流을 흘리면 두 超電導體部分에 量子力學的인 位相差가 誘起되어 그 電位差에 比例하는 周波數를 가진 電磁氣波가 發生하고 거울로 이 接合을 마이크로波 cavity에 넣어 마이크로波를 쏘이면 그 周波數에 比例하는 直流電壓이 誘起된다는 交流 Josephson效果를 利用한 것이다(이效果를 發見한 功績으로 Josephson이 1973年度 Nobel 物理學賞을 받는다). 이때 誘起된 直流電壓 V과 마이크로波周波數 ν 사이에는 $2eV = nh\nu$ 라는 關係가 成立한다(n =任意的 整數이며 高調 mode指數). 그동안의 研究成果의 蓄積으로

$$2e/h = 483\,593.420 \text{GHz/V}_{NBS}$$

* K-SRI=Korea Standards Research Institute

** IMEKO=Internationale Messtechnische Konföderation, International Measurement Confederation

로 有効數字 9個까지 確定되어 있다. 이 精密度限界는 volt單位の 定義의 不確定度에 의해서 制限되고 있다. 周波數의 單位는 10^{-14} 까지 正確하게 定義되어있고 마이크로 波周波數를 10^{-8} 까지 손쉽게 測定할 수 있으므로 거꾸로 이 方法으로 volt單位를 正確하게 再定義할 수 있다. NBS以外에도 濠洲의 NML, 英國의 NPL*, 西獨의 PTB, Canada의 NRC, 日本의 ETL에서 이에 關한 研究와 使用實績이 蓄積되어 그나라의 國家標準 volt로 採擇되고 있다. 다른 나라에서는 이에 關한 研究가 뒤떨어져 있어서 아직 國際標準 volt로 採擇되지 않고 있다. 最近 California의 Superconducting Technology Inc.가 NBS와 協同으로 이 裝置의 商品化에 成功하여 市販을 시작하였으므로 그 普及이 促進되어 머지않아 國際標準 volt로 確立될 것이다. 韓國標準研究所에서도 이 裝置를 導入할 計劃이다.

$2e/h$ volt standard裝置에서 $\nu=10\text{GHz}$ 일때 基本 mode電壓은 $20.7\mu\text{V}$ 밖에 되지 않는다. 50mA 程度의 直流 bias電流를 흘려서 $n=250$ 內외의 高調 mode를 골라 5mV 를 얻고 이것을 voltage divider network를 거쳐서 從來의 cadmium 標準電池(Weston cell)과 比較하여 10nV 까지 正確하게 校正할 수 있다.

元來의 電氣測定の 國際標準單位는 ampere의 定義를 基準으로 하고 있었다. 即 眞空中에서 無限히 긴 두 直線導線을 1m 間隔으로 平行하게 놓고 여기에 흐르는 電流에 의해서 透起된 磁場으로 두 導線 1m 當 2×10^{-7} newton의 힘이 作用하게 되는 電流값을 1ampere로 定義하고 있다. 이렇게 定義한 ampere를 基準으로 하여 力學的量에서 獨立의으로 定義된 에너지單位 joule을 媒介로해서 volt, ohm, henry, farad의 定義가 誘導되었다. 그러나 위와 같이 定義한 ampere를 正確하게 實現하기란 不可能에 가까워서 Weston電池 16個 또는 32個를 $1/1,000^\circ\text{C}$ 까지 溫度가 制御된 箱子속에 保管하고 이들 標準電池群의 起電力의 平均값을 國家標準 volt로 잡고 이것을 6個月마다 한번씩 定期的으로 佛蘭西의 BIPM에 보내어 거기에 保管된 標準電池群의 平均電壓과 比較하여 國際標準 volt와의 差異를 校正해 오고 있다. 이 標準 volt들사이의 差異를 考慮하여 V_{BIPM} , V_{NBS} 등 그 基準을 明示하기도 한다. 이 標準 volt를 基準으로하여 거꾸로 ampere를 定義하고 ohm, henry, farad單位를 誘導해서 使用하고 있다.

$2e/h$ volt standard의 開發로 精密溫度制御된 標準電池群의 平均電壓의 drift가 $-1.3 \times 10^{-7}\text{V/year}$ 라는

것이 確認되었고 여기에서 거꾸로 6個月마다 한번씩의 校正의 妥當성이 再確認된 셈이다. 앞으로 $2e/h$ 裝置가 널리 普及됨에 따라 再波數標準단 正確하게 維持함으로써 標準電池群의 定期的 國際校正과 거기에 따르는 까다로운 輸送節次들이 不必要하게 될것이다. 그리고 또 이러한 研究成果의 蓄積으로 標準電池起電力의 溫度係數도 正確하게 把握되어 특히 2級校正用에는 精密溫度制御없이도 充分히 精密한 溫度補正을 해줄 수 있게 되었다.

Solid State Watt-Hour Meter

美國에서는 75×10^6 個의 積算電力計(WHM)에 의해서 年間 30×10^9 dollars(15兆원 1974年度)의 電力量이 去來되고 있다. 이 在來式 WHM의 正確度を 높이고 또 그 機械的磨耗에 의한 壽命制限이나, 力半補正, 非正弦波誤差나 衝擊電流 또는 瞬間的電壓變動에 의한 誤差特性을 補完하기 위한 研究가 活潑히 推進되고 있다.

이러한 研究成果中的의 하나는 electrodyamometer에 의한 AC-to-DC Power Transfer裝置의 開發이다. 이것은 在來式 WHM에서와 같은 交流電流·電壓에 의한 moving coil의 torque를 直流電流로 相殺하여 null位置를 維持하도록 制御하는 方式이다. 最近에 發表된 것은 operational amplifier를 使用하여 直流와 交流電源과의 decoupling問題를 解決하고 同一 coil에 直流와 交流를 함께 흘림으로서 別個 coil設置에 따르는 不確定度を 없애고 coil deflection을 光線-거울-photo diode로 檢出하여 그 測定誤差를 10^{-6} 以下로 내리고 있다. 機械的廻轉部分이 完全히 除去되고 直流測定回路와 制御回路의 誤差만으로 그 精密度가 決定되며 半永久的이어서 그 實用化가 有望視되고 있다. 이裝置의 周波數特性도 1kHz 에서 10^{-4} , 10kHz 에서 10^{-3} 程度의 誤차를 나타내어 꽤 높은 周波數領域에서도 有用하고 따라서 pulse入力에 對한 應答特性이 매우 優秀하다.

Sampling Method에 의한 Digital Wattmeter의 開發도 進行되고 있다. 이 方式은 一定時間間隔으로 電壓과 電流의 瞬間값을 sample/hold하여 digitalize해서 數值積分하여 電力을 算出한다. 主로 sampling周數와 timing誤差가 電力值에 미치는 影響의 크기를 究明하는데 注力하고 있다. 現在까지 512個의 sampling과 50nsec의 timing誤差의 경우 DC에서 1kHz 까지 0.02%의 精密度가 實現되고 5kHz 까지 有用하다는 것

* NPL=National Physical Laboratory, PTB=Physikalisch-Technische Bundesanstalt NRC=National Research Council, TEL=Electrotechnical Laboratory.

이 確認되고 있다.

Compensated Current Comparator와 AC-DC thermal voltage transfer로 位相差에 無關하게 機械的 廻轉部分없이 100~500ppm(0.01~0.05%)의 精密度로 電力을 測定하는 方法도 開發되고 있다. 이 方式은 現在 WHM製作會社의 master standard較正用으로 活用되고 있으며 一般消費者用과는 距離가 멀다.

75×10^6 個나 되는 WHM의 定期的檢針에 莫大한 人力이 所要되기 때문에 **digital pulse**方式에 의한 自動的 遠隔檢針方法도 큰 關心거리가 되고 있으며 最近 電子技術의 發展과 더불어 電子方式 digital WHM의 實用化에 對한 研究가 活潑히 推進되고 있다.

Capacitor Coupling Voltage Transformer(CCVT)

美國에서는 數十個의 電力會社들의 配電網이 有機的으로 連結되어 局所的인 電力의 過不足을 隨時로 相互 補充할 수 있게 되어있고 이들 電力會社들사이에서 莫大한 量의 電力量이 去來되고 있다(時間當 1萬弗規模이며 0.5%誤差가 年間 40萬弗에 該當). 이러한 電力量의 去來는 大部分 345kV乃至 765kV의 送電電壓에서 이루어지기 때문에 몇段階의 電壓降下를 거쳐서 그 需給量을 測定하게 된다. 從來에는 potential transformer(PT)의 變壓器方法이 使用되고 있었으나 그 精密度維持에 難點이 많고 또 破損되기 쉬워서 그 補修維持가 힘들었다. 最近 NBS의 High Voltage Measurement Section에서 CCVT方式을 開發하여 그 精密度와 耐久度를 改良하였을 뿐 아니라 通信, relaying과 voice circuit signal의 coupling도 兼할 수 있어서 美國全域에 널리 普及活用되고 있다. 그리고 NBS의 CCVT移動較正 truck이 定期的으로 送配電施設現場에 派遣되어 再較正 service를 實施하여 그 精密度를 維持하고 있다.

Multijunction AC-DC Thermal Transfer

從來에 使用되어온 AC-DC thermal converter에 對해서도 電子部品을 活用하여 AC-DC substitution에 FET-switched input amplifier를 使用하고 6-terminal multijunction方式을 開發함으로써 入力電壓 10~200V, 周波數範圍 50Hz~1kHz에서 0.01%의 sensitivity가 實現되고 있다.

Measurement Assurance Program(MAP)

從來에는 NBS의 主要業務中の 하나가 美國内の 300餘個의 檢較正施設에서 使用하는 基準計器나 master standard들을 定期的으로 較正하고 證明書를 發給하여 그 國家標準에의 週及性을 保障하는 일이었다. 그러나 이렇게 較正된 計測器나 測定標準이 輸送途中에 破損

되거나 較正값과 어긋나게 되는수가 있고 그 使用條件이나 測定節次가 달라서 이러한 方法만으로는 實際現場測定の 精密度를 維持하기가 어렵다는 것이 認識되었다.

그리하여 最近 NBS에서는 正確하고 安정한 transfer standard들을 開發하고 이것의 合理的인 測定節次에 關해서 研究해온 結果 MAP方式을 開發해서 活用하고 있다. 이 MAP에서는 各種 transfer standard를 各檢較正機關에 配布하고 그 作業環境에서 指定한 節次에 따라測定 하도록 하여 그 測定값과 NBS에서 事前事後에 測定한 값과 比較하고 統計處理해서 各己作業現場에서의 精密度限界를 決定해주고 있다. 이렇게 함으로써 盲目的인 計測器依存이나 較正標準依存을 脫皮하고 人力, 計器, 環境, 節次등 測定 system全體의 綜合的인 信賴度를 높이는데 이바지하고 있다.

이러한 方法으로 電壓·電流·抵抗 inductance, capacitance등의 모든 電氣測定の 標準單位의 均一度와 信賴度保障이 이루어지고 있다. 그리고 MAP節次를 定期的으로 되풀이하여 各測定 system의 drift나 shift를 再確認하고 그동안에 累積된 offset를 較正시키고 있다. MAP를 全國的으로 施行함으로써 測定精密度를 各己測定目的에 適合한 水準으로 維持하고 또 그 誤差範圍도 推測에 依存하지 않고 正確하게 測定에 의해서 決定하도록 하고 있다.

Quality Assurance(QA)節次

한편 NBS/AID workshop의 一環으로서 Hughes Aircraft Company를 訪問하여 國家標準 service의 user인 個人企業體內에서의 活用現況을 見學했다. 이 會社가 워낙 space technology를 爲主로 한 最新技術集約的인 巨大한 企業體이기 때문에 特異한 例에 屬하겠지만은 NBS를 頂點으로 한 이 會社自體의 標準普及體系가 組織되어 있다. 이 會社의 檢較正施設은 어지간한 國家標準 研究機關보다도 더 內容이 充實하다.

특히 이 會社에서는 NASA를 위하여 人工衛星을 製作供給하고 있어서 各製作段階에서의 試驗檢査와 最終組立品の 實際使用條件에서의 Simulation는 可히 最新技術의 極致라고 말할수 있었다. 모든 部品이 NASA의 QA規格試驗을 거치게 되어있고 이 規格標準을 維持하기 위해서 LSI에서 hybrid에 이르기까지 거의 모든 主要電子回路部品도 自家生産하고 있다. 宇宙軌道環境試驗을 위해서 人工衛星이 들어갈 수 있는 巨大한 vacuum chamber안에 rocket發射時的 衝擊振動을 再現하고 spinning시킬 수 있도록 裝置되어 있고 또 液體窒素로 極低溫度로 冷却시키고 太陽光線의 強度를

가진 照明裝置도 갖추어져 있다. 數 많은 sensor들이 要所要所에 附着되어 時時刻刻의 動作狀態와 strain이나 溫度變化를 專用 on-line로 記錄·分析하게 되어 있다. 이 computer vacuum chamber하나에 約 200萬 弗이 들었다고 한다.

NASA의 徹底한 QA規格中에서 hardware에 對한 嚴格한 高度의 品質水準外에 參考가 된다고 생각된 것은 soldering과 microelectronics에 關한 specification이었다. 當初 NASA에서의 經驗으로 solder joint不良의 頻度가 커서 電氣接點의 hand soldering에 關한 quality requirement를 制定하고 그 作業環境, 清潔도와 道具를 指定하고 具體的인 “how-to”節次를 作成하여 全國의으로 普及시키고 初期에 7,000名의 人員을 特別訓練시켰다고 한다. 이 사람들이 다시 數萬名의 作業者和 檢査要員을 訓練시킨 結果 이 問題가 根絶되어 이 program을 終結시켰다고 한다.

Microelectronics component에 關한 規格은 substrate characterization/surface passivation/patterning/junction formation/metallization/scribing and dicing/die sort inspection/die mounting/inte-connect bonding/preseal visual inspection/sealing 등의 各項目에 對해서 詳細히 規定되어 있다. 그리고 그 동안의 NASA line certification survey에서 humidity나 particlecount, substrate handling에 의한 damage나 substrate의 bulk defect등 一般的인 問題點外에 oxide stability, photoresist의 lumpiness, floor vibration이 bonding이나 inspection에 미치는 影響 등이 指摘되고 있었다.

材料 및 部品の 選擇基準과 Zero Failure의 概念

위에 말한 NASA의 QA規格은 極端인 例이다. 一般 工產品의 品質均一도와 品質保障을 위한 QC·QA節次에서는 “使用目的에 適合한 規格의 限度內에서 가장 낮은 生産原價로(따라서 送說의으로 規格에 겨우 合格할 수 있는 最低質의) 製品을 生産하기 위한 것이므로 原料物質의 選擇이나 生産處理加工段階에 있어서 그用途에 適合한(그리고 必要以上이 아닌)測定精密度的의 維持가 切實히 必要하다. 이것은 不合格品發生을 防止하기 위해서 뿐만아니라 可用物資資源을 最大限有効하게 活用하여 生産原價를 節減하고 生産性을 높인다는 觀點에서도 매우 重要하다. 이러한 觀點에서 NBS의 Institute for Materials Research(IMR)에서는 原料物質의 材質을 characterize하고 使用條件에 따르는 材質劣化過程을 究明하여 모든 部品の ‘信賴度를 正確하게 測定하는 基準을 마련하기 위하여 여러가지 非破壞

試驗(non-destructive testing, NDT)方法과 材料 characterization에 關한 研究가 活潑히 進行되고 있다. 이 劃期인 研究成果의 하나로 ‘送電塔絕緣體의 有用壽命測定에 關한 것이 있다. 주어진 荷重下에서 ceramic 絕緣體의 內部에 microcrack이 생기고 이것이 漸次傳播되어 드디어 破壞가 일어나게 되는데 이 microcrack이 생길때 生하는 소리를 高感度 sensor로 檢出할 수 있다는 것을 알게 되었고 이 雜音發生頻도와 機械強度의 劣化過程과의 相關關係를 調査하여 實際使用條件下에서 非破壞的으로 그 破壞時期를 豫測하는데 成功하였다. 이와 같이 使用途中에 그 有用期間을 正確하게 測定할 수 있게됨에 따라서 그 破壞直前에 이것을 代置하여 事故를 未然에 防止할 수 있을 뿐만아니라 物資를 最大限度로 活用하여 物資資源의 節約保存에도 이바지 하고 있다. 이러한 研究成果가 蓄積됨에 따라 QC에서 많이 쓰이는 zero defect라는 概念에 對應해서 QA에서 **Zero failure**라는 概念이 나오고 있다. 이것은 使用條件에 따르는 劣化過程을 把握하고 모든 部品の 有用壽命을 均一하게 設計함으로써 指定된 期間 동안 100%信賴度를 保障할 수 있도록 하자는 것이다. 여기에는 使用目的에 따르는 合理的性能規格이 確立되어야 하겠고 또 有用壽命이 다 끝나기前에 미리 그것을 豫告하는 適當한 監視方法이 따라야 하겠지마는 모든 主要部品の 有用壽命이 同時에 끝나도록 設計한다는 것은 不均衡的으로 必要以上の 高級材質을 浪費하는 것을 抑制하여 有限한 物資資源을 計劃性있게 適材適所에 活用保存한다는 見地에서 앞으로 더욱 重要視되리라 期待된다.

5. 濠洲에서의 電氣測定標準의 研究

濠洲의 National Measurement Laboratory(NML)은 濠洲內의 國立研究機關總聯合體인 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization(CSIRO)의 Physics Division이며 그 傘下 37個 研究所中의 하나이다. 1930年代以來 Sydney Univ.構內에 設置되어 370名의 職員(그中 140名이 專問科學技術者)이 일하고 있으며 1975~76年度 運營豫算은 5.8M Australian dollars(35億원)이다.

NML의 標準研究分野와 設備水準은 美國 NBS의 Institute for Basic Standards의 規模와 比等하며 그 研究課題와 內容도 大同小異하다. 最近 濠洲의 2次産業의 發展과 더불어 NML의 重要性이 커지고 또 機能과 施設의 擴張이 促求되어 1971년에 現廳舍에서 30km 떨어진 Bradfield Park에 新廳舍建設을 着工하였다.

5個年의 時日과 28MAVD(170億원)의 豫算을 드러서 最新設計概念을 導入한 超現代式研究所建물이 1976年 12월에 完工되었다. 1977年 1月부터 12月까지 1個年에 걸쳐서 現行研究機能을 繼續維持하면서 寸척히 移轉해갈 計劃이라고 한다.

NML에서는 NBS의 IBS에서와 같이 모든 測定標準의 研究開發에 積極的으로 參與해왔고 40餘年의 研究成果가 蓄積되어 國際標準機構의 主要 member로서 指導的인 役割을 하고 있다. 特히, $2e/h$ volt standard의 開發에 獨立的인 寄與를 하였고 superconducting quantum interference devices(SQUID)를 利用한 current comparator의 開發 및 實用化研究에도 크게 앞서있다. 새로운 光度標準開發에도 先導的인 役割을 하고 있으며 다음에 說明하는 inductive voltage divider도 여기에서 發想開發되었다. Minicomputer를 쓴 自動測定裝置를 굉장히 廣範圍하게 活用하고 있는 것이 눈에 띄었다. 特히 電氣測定에 關해서 研究하고 있는 課題들은 아래와 같다.

Absolute Electrometer 電位差에 의해서 靜電氣힘으로 液體表面이 移動하는 것을 精密測定하여 volt의 絕對單位를 確立하는 研究가 進行되고 있다. 液體로서 水銀을 使用하고 이 表面에 酸化膜을 입혀서 水銀의 蒸發에 의한 影響을 없애고 또 모든 微小振動을 隔離하기 위한 獨立的인 裝置가 考案되었으며 水銀面의 微小移動을 laser干涉計로 測定하고 있다.

Inductive Voltage Divider Toroid core를 利用한 交流電壓의 inductive divider를 開發하여 그 電壓比를 1 ppm의 精密度까지 손쉽게 實現하는데 現在 거의 모든 精密抵抗測定裝置와 白金抵抗溫度測定裝置에 널리 活用되고 있다. 交流를 使用함으로써 直流에서처럼 電流方向을 反轉시키거나 chopper增幅節次가 省略되고 resistive divider bridge의 短點을 補完하여 훨씬 높은 安定度와 精密度가 얻어지고 있다.

Electrostatic AC-DC Transfer Standard 靜電氣計器의 電極表面効果의 周波數特性을 究明하여 rhodium鍍金電極으로 높은 安定度와 精密度를 얻고 있으며 또 thermal transfer를 利用한 積算電力計에 對해서도 研究되고 있다. 그리고 thermal element를 使用하여 積算電力計의 力率補正值를 決定하는 일도 推進되고 있다.

Thermal Tests on Voltage Transformer 周邊溫度가 voltage transformer의 電壓比에 미치는 影響을 調査하여 winding impedance, magnetizing admittance와 負荷 admittance, 그리고 winding impedance

및 magnetizing susceptance의 溫度係數의 값들로부터 電壓比의 溫度補正값을 決定하는 方法을 開發하는데 成功하고 있다.

Polarization of Current Transformer Current transformer의 一次端子의 表面狀態 特히 nickel이나 chrome의 光澤鍍金에서 部分的인 整流現象이 일어나 鐵芯의 polarization을 이르고 電流比를 不安定하게 만드는 現象을 究明하고 있다. 交流電流의 1/1,000의 直流 polarizatin이 電流比를 크게 變化시킨다는 것이 指摘되고 있다.

그리고 이밖에 超高電壓의 試驗用 特殊施設이 갖추어져 있고 超高電壓新設의 現場試驗檢査와 校正을 위하여 特殊移動校正車輛이 運行되고 있다.

Univ New South Wales나 Royal Melbourne Institute of Technology와 같은 大學안에도 電氣工學科나 通信工學科에 電氣測定의 2級標準이 相當히 充實하게 備置되어 있고 大學內部뿐아니라 그 地域의 民間會社들의 檢校正需要를 돌보아주는 한편 大學院學生들이 參與하여 non-routine한 特殊精密測定技術開發과 microprocessor를 利用한 instrumentation開發에 關한 研究를 活潑하게 推進하고 있다.

그리고 Univ New England에서는 Dept. of Continuing Education이라는 常設機構를 통해서 測定 및 檢校正技術의 理論과 實習訓練教育課程을 두어 濠洲의 檢校正技術人力의 開發과 底邊擴大에 크게 이바지하고 있다.

Tribophysics Division of CSIRO

이 研究所에서는 物體의 磨耗과 潤滑에 關한 基礎研究과 窯業機料, 鐵鋼機料의 生産技術과 表面工學分野研究를 遂行하고 있다. 最近의 特記할만한 成果中의 하나는 鑄物生産現場에서 쇳물이 鑄型에 흘러들어갈때 鑄型各部分의 瞬間的인 溫度變化和 쇳물의 力壓 및 流速을 測定하여 Computer로 記錄·分析하는 裝置를 開發한 일이다. 이러한 方法으로 各 parameter들사이의 相關關係를 分析해서 最適生産條件을 決定할수 있게 되어 1/10mm 두께의 鑄物도 例事롭게 生産할수 있게 되었다고 한다.

그리고 이 研究所에서 field ion microscopy를 開發하여 金屬表面研究과 觸媒作用의 究明에 크게 이바지하고 있다는것도 特記할만한 일이다.

Chemical Physics Division of CSIRO

이 研究所는 世界最初로 atomic absorption spectrometer를 開發한 것으로 有名하다. 特獨한 設計에 의한 電子銃電極을 만들 수 있는 超精密工作機械施設과

最新電子回路技術 등 電子顯微鏡, 質量分析計와 atomic absorption spectrometer를 完全히 自體製作할 수 있는 施設이 完備되어 있다. Laser 干涉計를 利用한 分光用廻折格子(diffraction grating)의 原型製作裝置도 完全自動化되어 超精密溫度制御인 chamber안에 密封되어 無人稼動되고 있었다. 이러한 分析機器들을 開發하고 그 性能을 改良하여 化學分析의 精密도를 높이면서 固體化學 및 理論化學分野의 研究를 遂行하고 있다

Testing Branch of Sydney County Council

元來 濠洲는 世界他地域과 地理的으로 隔離되어 獨自的으로 發展해 왔기 때문에 여러가지 濠洲特有的 制度가 많다. 當初부터 一般電源用으로 220V가 採擇되었고 濠洲特別의 3線plug이 使用되고 있으며 壁 switch도 아래로 꺼져서 크게 되어 있다. 發電과 配電業務도 完全히 分離되어 있다. Sydney地域의 경우 發電業務는 New South Wales洲政府의 Electricity Council이 管掌하고 配電(distribution and sales of electricity)은 Sydney County Council의 所管이다. 그 機構안에 韓國電力株式會社의 電氣試驗所에 該當하는 Testing Branch가 있다. 여기에서 配電에 使用되는 모든 電氣裝備과 電氣計器의 試驗檢査와 補修를 擔當하고 있다. 이러한 試驗을 surveillance test/investigating test/performance test/safety test/type test의 5部類로 區分하여 電氣 cord의 bend, twist試驗에서부터 耐火安全度試驗 plug의 規格檢査, 電氣計器의 檢較正과 修理, 그리고 變電裝備의 破壞·非破壞試驗에 이르기 까지 廣範圍한 試驗檢査를 遂行하고 있다. 別棟의 超高壓試驗物에서는 過電壓放電에 의해서 瞬間的으로 變壓器가 爆發하는 過程을 高速 camera와 電子裝置로 遠隔測定해서 computer로 記憶分析시키고 있었다.

그리고 實驗室에서는 一般的인 電氣測定用 檢較正裝備가 모두 갖추어져 있고 位相差精密測定裝置를 開發하고 正確한 時間標準과 結合하여 獨自的인 積算電力計檢較正裝置를 만들어서 使用하고 있다. 그리고 오래 전에 各己發電所들의 位相同調를 위하여 發電機의 位相差를 測定하여 無線으로 發信하는 裝置도 開發하여 實用化하고 있다고 한다.

National Association of Testing Authorities (NATA)

濠洲의 國家標準體系의 特異한 點은 政府·大學·民間企業體의 試驗檢査所들을 査定公認(accredit)하는 NATA라는 民間機構가 1947년에 벌써 設置되어 NML을 頂點으로한 標準體系를 計劃性있게 管理하고 있다는 點이다. NATA는 美國에서 1966년에 發足한 NC

SL과 비슷한 性格을 지니고 있으며 美國政府의 Department of Commerce에서 1976년부터 推進하고 있는 Laboratory Accreditation Program이 濠洲에서는 30年前부터 이미 實施되고 있다는 것은 注目할만한 일이다.

NATA에서는 政府研究機關과 學界·產業界와 其他 民間機關의 各分野 專門科學技術者 700餘名의 人力 pool을 隨時로 活用하여 各己 試驗檢査所의 職員能力水準과 保有施設裝備 및 그 檢較正과 補修實態, 實驗室還境, 試驗節次와 記錄, 分析方法과 報告樣式들을 定期的으로 審査·評價하여 그 試類種目과 正確度限界를 指定·公認해주고 證明書를 發給해주고 있으며 어느 면에서는 NBS의 MAP보다 더 徹底하다고 생각된다. 現在 濠洲內에서 이와 같이 公認登錄된 實驗室이 1000개에 際하고 있고 그 取扱分野는 (1) 音響 및 振動 (2) 醫藥의 生物試驗, (3) 化學分析試驗, (4) 電氣試驗, (5) 熱 및 溫度測定, (6) 機械強度試驗, (7) 度量衡 및 時間測定標準, (8) 非破壞試驗, 그리고 (9) 光學試驗 및 光度測定の 9개分野이다.

NATA에의 登錄申請은 完全히 自進的으로 하게 되어 있다. 250AVD(15만 원)의 加入費와 150AVD(9만 원)의 年會費를 納附하게 되어 있고 얼른 보기에 매우 까다로운 定期審査를 自進申請하는 動機는 (1) 權威있는 機關에 의해서 公認·登錄되었다는 prestige와 公定力, (2) 經營 및 技術陣의 試驗·檢査의 水準을 向上시키려는 意慾, (3) 公定力에 의한 間接的 經濟的 利得, 그리고 (4) 政府機關 特히 國防關係 調達物資는 반드시 NATA에서 公認한 機關에서 試驗檢査를 받아야 된다는 制度上的 規制——의 4가지를 들고 있으며 이러한 NATA活動을 통해서 他機關과 接觸이 이루어지고 專問知識과 技術情報의 交流가 促進되어 現場業務遂行에 매우 有益했다는 經驗이 큰 理由가 되고 있다고 한다. 이러한 國家的으로 重要な 機能을 代行하고 있고 또 聯邦政府機關이 가장 큰 物資購買 및 供給機關이므로 NATA를 많이 活用하고 있다는 理由로 NATA의 年間運營豫算 550KAVD(3억 3천만 원)의 3/4이 政府에서 出捐되고 있다.

NATA에는 動員 가능한 專問技術者들의 名單이 分野別·地域別로 詳細히 分類·索引되어 있고 專問技術者 個個人의 參與現況이 仔細히 card로 記錄되어 있어서 同一試驗檢査所의 再評價에 같은 사람이 重複參與하는 일이 없도록 公正을 期하는 事務節次가 routine하게 組織化되어 있다. 濠洲各地의 試驗檢査機關의 分野別·地域別 및 水準別分佈가 一目瞭然하게 把握할 수 있도록 分類되어 있고 登錄機關들의 再評價時期와 그 對策

및 査定進行現況을 곧 알아 볼수 있게 表示해 놓은 事務體制와 資料管理가 完璧에 가까웠다. 그리고 이러한 審査評價에 參與하는 專問技術者들도 現場訪問을 통해서 自身の 施設補完이나 技術的問題解決, 其他專問分野活動에 큰 도움이 되고 있어 매우 積極的으로 呼應하고 있다고 한다.

Standards Association of Australia(SAA)

SAA는 우리나라 規格協會에 該當하는 民間團體이며 美國의 ASTM에서와 비슷한 運營方式으로 Australian Standards(AS)規格을 制定하여 工產品規格의 標準化와 濠洲에서의 QC·QA節次의 開發및 普及의 主體가 되어 있다.

濠洲에는 當初에 大部分의 工產品을 輸入에 依存하고 地理的인 隔離때문에 이들 工產品과 部品の 互換性이 重要視되어 規格標準化에도 濠洲特有的 計劃性이 加味되어 있고 SAA가 1922年以來 50年間の 歷史를 거쳐 여러가지 特異한 運營方式이 開發되어 있어서 좋

은 參考가 되는 點이 많았으나 이것에 對해서는 다른 機會에 言及하기로 한다.

6. 맺는 말

以上으로 2個月間의 美國 및 濠洲의 計測分野會議와 標准研究關聯機關의 訪問放行을 통해서 見聞한 電氣測定研究現況의 一面을 紹介하고 原料材質과 信賴度測定을 통해서 zero failure라는 概念이 發展되고 있는 經過와 NCSL이나 NATA와 같은 活動을 통해서 國家標準이 一般企業體에 傳播普及되는 過程을 說明하였다. 이러한 斷片的인 見聞이 多少나마 同學諸位의 研究活動에 參考가 된다면 千萬多幸으로 생각한다.

끝으로 이러한 貴重한 機會를 마련해 주신 商工部和 工業振興廳 및 科學技術處의 關係官諸位와 AID 및 Australian Development Assistance Agency에게 感謝드리는 바이다.



〈p.41에서 계속〉

Multivibrator에서 $1\mu s \sim 1ms$ 까지 可變되도록 하였다

以上과 같은 實驗裝置를 利用한 電動機의 制御는 滿足할 만한 좋은 特性을 얻었으나 ON, OFF 區間이 좁은 範圍에서는 動作이 不安定하여 10~90% 程度의 範圍에서 만이 直線的으로 制御되었다.

그러나 이러한 現象은 Switching 區間이 좁은 範圍에서 SCR이 채 回復되기 前이거나, 또는 轉流 Energy가 不足한 것으로 생각되며 轉流電壓이 計算結果 1455 [V]인데 比하여 250~300[V]程度로 實測된 것으로 보아 轉流 Diode의 逆回復時間에 依한 影響으로 歸結지어진다.

따라서 보다 向上된 直線制御特性을 얻기 원한다면 Switching 回路내 素子の 特性이 高速度 Switching

이 可能해야 한다.

또한 電動機와 같이 誘導性 Impedance를 갖는 負荷에서는 Surge 電壓 等の 異狀電壓이 發生하여 素子를 破壞하게 되므로 Snubber 回路 等を 使用하는 境遇에는 이 回路에 依해서도 轉流電壓이 減衰를 받게 되므로 素子の 安定範圍內에서 可及的 時定數를 적게 設定하여야 한다.

以上的 制御技術의 實現은 無停電, 電源裝置, Inverter, Cycroconverter 뿐만 아니라 無整流子 電動機의 制御에도 같은 理論으로 適用되며 더욱이 장차 PWM 制御信號를 Digital化한다면 Interface에 依한 Mini-Computer로서의 電動機制御도 成功的으로 行할 수가 있을 것이다.