

# 放射線 計測의 動向

高 丙 俊 · 金 洛 橋

韓國原子力研究所 制御研究室

## 1. 序 論

19世紀末 가이슬러(geissler)는 陰極線과 陽極線을 發見하였고, 뢰트겐(roentgen)은 X-線을 發見하였다. 그 후 베크렐(becquerel)은 우라늄 化合物로 瀉眞乳劑를 感光시켜 放射線이 放出하는 事實을 確認하였다. 20世紀初에 와서 Wilson은 荷電粒子의 飛跡을 直接 觀測할 수 있는 cloud chamber를 製作하였고, 또 rutherford가  $\alpha$  粒子가 窒素 原子核과 衝突하여 酸素 原子核과 水素 原子核이 生成되는 原子核의 人工 轉換을 發見하게 된 계기로 Bothe와 Becker 그리고 Joliot 등에 의해 강한 透過力과 高 Energy를 갖는 放射線의 放出을 確認하게 되었고, 그 후 chadwick에 의해 中性子의 存在를 發見하게 됨 되었다. 그 이후 20世紀 中葉과 末葉에 와서 우라늄의 核分裂을 發見함과 동시에 原子爐를 完成하여 核에너지의 開發과 더불어 核工學의 劃期的인 發展을 이루어 왔다.

이와 같은 發展過程은 其間 核電子工學의 發達로 인한 高性能의 放射線 計測裝備의 開發로 因하여 放射線計測이 容易하였던 것이다. 그러나 高度로 發達된 電子技術의 利用에 따르는 計測上의 問題와 앞으로의 動向 즉 高速, 自動 그리고 電算化등에 依한 高性能의 放射線計測機器의 system 등을 살피볼 必要가 있어 이에 대하여 簡單히 記述하고자 한다.

## 2. 放射線計測器

### (1) 放射線檢出器의 種類

一般的으로 放射線을 檢出하고 그 特性을 알기 위하여 放射線이 物質속의 原子 또는 原子核과의 相互作用을 利用한다. 따라서 放射線의 種類와 形態에 따라 相互作用하는 것에 의해 放射線을 計測할 수 있으며 표 1과 같이 그 種類가 多樣하다. 그러나 放射線이 物質중에서 그 에너지를 消費하여 觀測이 可能하도록 物理量으로 變換하는 過程은 크게 나누어 2가지로 區分된다. 즉  $\alpha$ 線,  $\beta$ 線, 陽子등의 荷電粒子(charged particle)와 電磁波 및 中性子등의 中性粒子(neutral particle)이다.

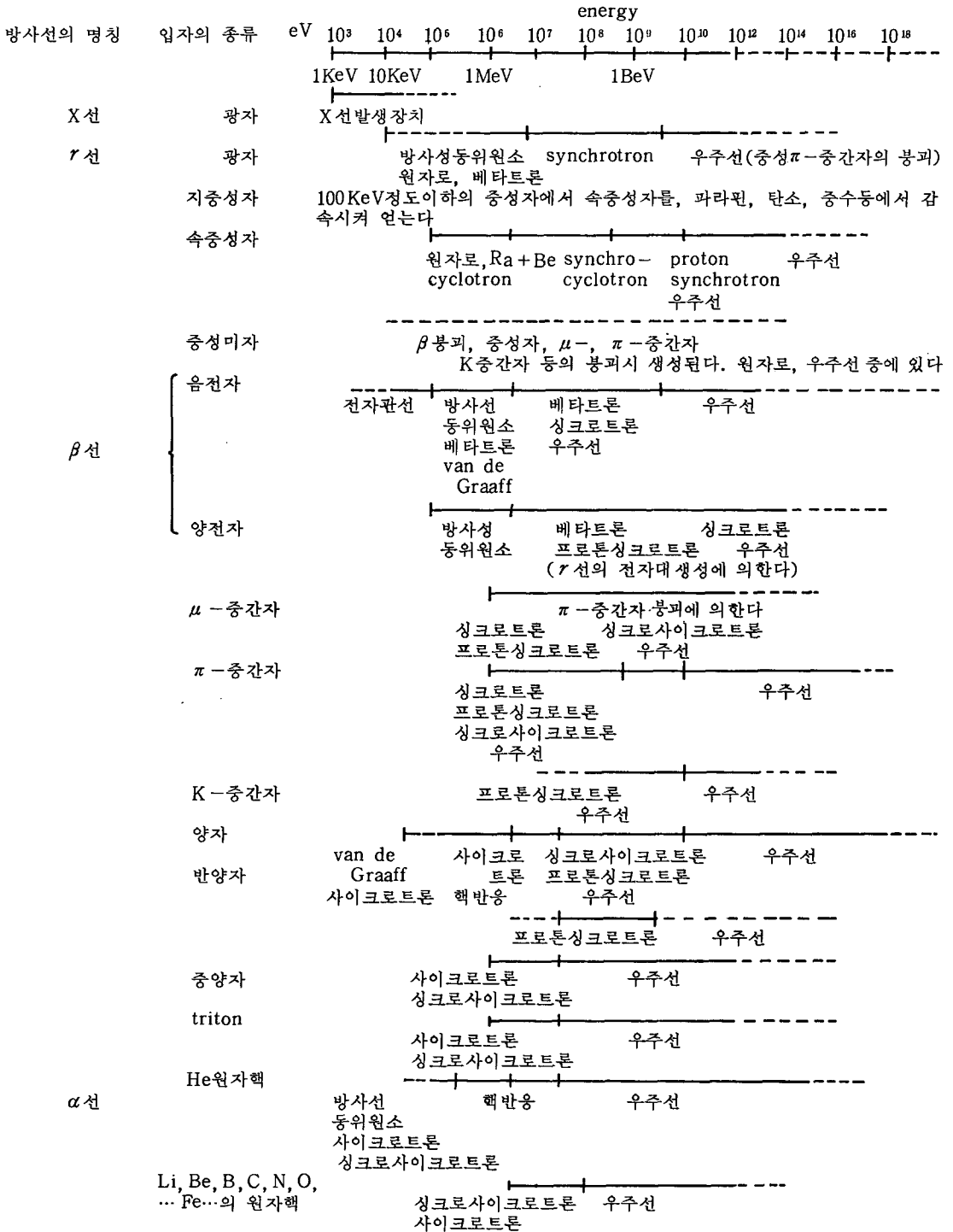
이미 설명한 바와 같이 檢出器로 直接 測定할 수 있는 것은 荷電粒子에 한정된다. 그러나 中性으로 帶電된 粒子는 物質과 충돌하여 相互作用을 일으켜 荷電粒子를 2차적으로 發生시키면 測定이 可能하다. 荷電粒子의 檢出器는

- i) 電氣의 檢出器, ii) 빛을 利用한 檢出器 및
- iii) 飛跡에 의한 檢出器로 大별할 수 있다.

#### i) 電氣의 檢出器

荷電粒子가 氣體 또는 結晶體中을 통과하게 되면 原子, 分子를 電離시켜 正 ion과 電子가 發生하게 되고 다시 電子는 中性의 原子分子에 附着하여 負 ion이 된다. 正負의 電極을 配置하고 적절한 電壓을 印加하면 +, -의 電荷는 氣體 또는 固體中을 움직여 電流가 흐르게 된다. 이 電流의 形成은 檢出器에 따라 2가지로 구분된다. 즉 電流形과 pulse形으로 나누게 된다.

표 1. 放射線 및 粒子的 種類와 에너지



檢出方法은 檢電器(Electrometer), GM計數管(Geiger - Müller Counter), 此例計數管(Proportional Counter), 電離極(Ionization Chamber), 스파크 計數管(Spark Counter) 및 結晶計數器(Crystal Conter) 등이 있다. 다만 結晶計數器는 螢光體에 의해 대치되었으며 현재는 사용하지 않는다. 그러나 最近에 각광을 받고 있는 檢出器는 Germanium과 Silicon등의 半導體와 金屬과의 接合部에  $\alpha$  粒子를 入射시켜 電壓 Pulse의 形態로 각각의  $\alpha$  粒子를 檢出하는 Solid State Counter가 있다. 이들은 여러가지의 우수한 특징을 가지고 있어 그 使用度가 多樣하다.

ii) 빛을 利用한 檢出器

荷電粒子가 氣體, 透明한 液體 또는 固體를 通過하면 原子 또는 分子를 勵起한다. 이 勵起狀態에서 基底狀態로 떨어질때에 勵起에너지를 빛으로 放出한다. 이를 Scintillation이라 한다. 이 빛은 대단히 微弱하지만 이른바 螢光體의 경우에는 아주 강하다. 1개의 放射線이 通過하는 경우에 결코 光電管으로써 檢出할 수 없기 때문에 오래전에 ZnS를 사용하여  $\alpha$ 線을 육안으로 識別한 이래 夜光時計에 사용될 정도로 螢光的 壽命이 길지는 못하였다. 그러므로 約20年前부터 光電管에 電子倍增器를 結合시킨 光電增幅器(Photomultiplier)을 사용하여 螢光效率이 좋고 發光時間이 짧은( $10^{-9} \sim 10^{-6}$  Sec) Scintillator를 개발하였고 거기에다 結晶體 및 Plastic 形態로 만들 수 있어 매우 광범위하게 사용되어지고 있다. 또한 빛을 利用한 檢出器로써 Cerenkov detector가 있는데 이것은 透明한 氣體, 液體 및 固體中을 荷電粒子가 一定速度이상으로 通過할 때에 위에서 설명한 Scintillation과는 전혀 다른 원리로써 빛을 발생하는 현상을 이용한 것이며 이를 Cerenkov輻射라 한다.

iii) 飛跡에 依한 檢出器

放射線檢出의 原理는 i)과 같은 電離 作用을 이용한 것이지만 이를 電氣的으로는 檢出할 수

없으며, 다시 物理的現象을 일으켜 放射線의 飛跡(Track)을 만들게 하여 寫眞으로 檢出한다. 電離 이후에 일어나는 物理現象의 種類에 따라 다음과 같은 여러가지 種類가 있는데 氣體中의 電離에 의해 發生시키는 Cloud Chamber와 液體中의 電離에 依한 ion集團에 따라 거품이 발생하는 것을 이용한 Bubble Chamber, 寫眞乳劑中의 Ag 및 Br 원자를 電離시키는 現象을 이용한 原子核乾板(Nuclear emulsion) 및 氣體中의 ion 또는 電子에 高壓을 印加하여 放電을 일으켜 이 放電에서 나온 빛을 寫眞攝影하는 放電亟등이 있다.

그림 1은 原理와 對照한 放射線測定器의 種類와 順序를 개략적으로 보여준다.

3. 放射線計測技術의 問題點

(1) 測定의 複雜化

初期의 放射線測定은 GM計數管에 의한 全放射能測定이 代表的이었으며 一定 크기 이상의 Pulse를 一定時間 計數하는 것에 의해 目的을 達成하였다. 그러므로 필요한 計測回路로써는 一定크기이상의 pulse波高단을 選擇하는 波高辯別器와 결정된 波形的 pulse를 숫자로 표시하는 計數回路만 있으면 충분하였다.

科學의 進步, 研究對象의 複雜 및 細分化로 放射線 計測에서 取扱하는 情報의 種類도 多樣해지고 增大하게 됨에 따라 單純한 Pulse의 頻度 分布뿐만으로는 正確한 資料를 얻을 수 없었다. 따라서 放射線의 特性分析을 위한 計測裝備를 개발하게 되어 single channel波高分析器가 등장하고 오늘날에 와서는 많은 channel을 가진 多重波高分析器를 개발하게 되었다.

最近에는 에너지 分布 뿐만아니라 現象을 일으키는 時間의 分布(同時計數, 逆同時計數등의 時間分析) 및 混合放射線중에서 放射線의 種類를 區別하는것 또는 放射線의 入射한 위치에 關한 信號 position sensitive detector 등과 같은 각

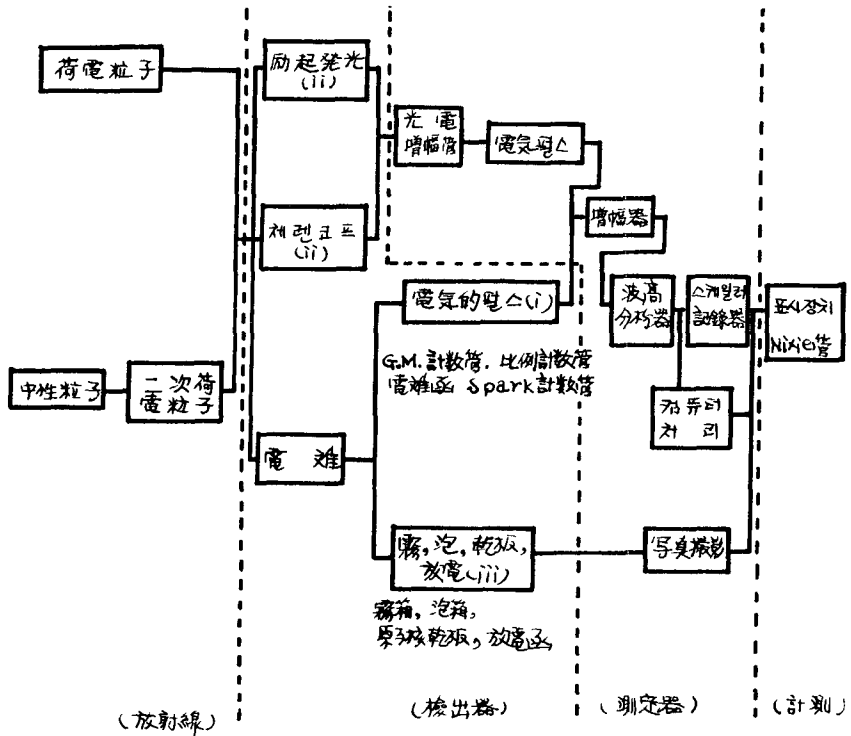


그림 1. 核放射線 計測의 系統圖 (i, ii, iii, 은 檢出器의 分類 표시임)

중의 정보를 동시에 처리할 수 있는 장비도 등장하게 되었다. 그림 2는 이러한 실험 system의 일례를 나타내는 블럭圖인데 3개의 此例計數管을 통하여 신호를 檢出하여 각각의 preamp에서 增幅하여 pulse height adjuster로 넘기는 한편 Si(Li)의 半導體 檢出器에서는 陽子와 重陽子의 混合 beam을 區別하여 測定하는 回路系이다. #1, #2, #3 形數管의 出力 Pulse 中の 最小振幅(ΔE 信號)을 最小振幅值回路(minimum pulse sorter)로써 選別하다. 한편 Si(Li)의 半導體檢出器에서의 펄스(E)와 ΔE 펄스는 加算回路(adder)에서 合하여 지고 乘算回路(multiplier)에서 곱하여져 다음의

$$\Delta E \times (E + \Delta E + k \Delta E + K)$$

(단  $k; 1$ 보다 작은 此例定數,  $K$ ; 常表)로 되는 펄스로 만들어지며, 이것이  $Z^2 M$  ( $Z$ ; 入射粒子的 核電荷數,  $M$ ; 入射粒子的 質量)에 此例하므로 그림 中の 多重波高分析器(TMC 400 PH Analyzer)로 이 펄스의 分布를 測定함으로써 陽子와 重陽子를 分離하여 測定할 수 있다.

(2) 測定의 精密化

$r$ 線에너지分析은 20여년 전부터 시작되었지만 그 當時는 NaI Crystal과 光電增幅管을 組合하여 만든 scintillation counter가 最添端의 測定器이었다. 물론 이 計測器는 crystal과 光電面上的 光學的 結合方法, crystal에서의 빛의 能量을 좋게 하여 光電面に 導入하기 위한 反射材

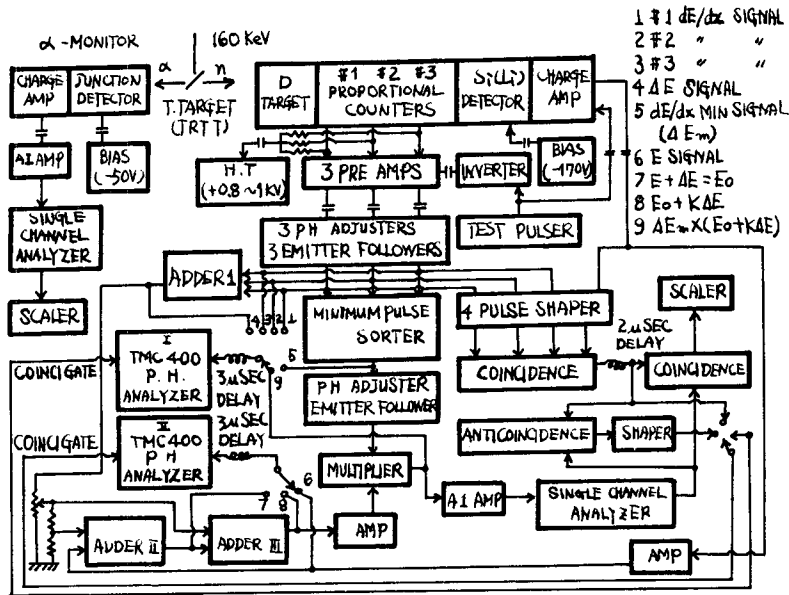


그림 2. 陽子와 重陽子를 區別測定하는 시스템의 block 圖

料 選定上의 問題가 있었으며, 에너지分解能이 약 10% 정도에 불과했지만 最近에는 Ge(Li) 檢出器의 發達로 因해 0.1%에 가까운 分解能을 얻을 수 있다.

그림 3은 Yb-117의  $\gamma$  線스펙트럼을 NaI Crystal 과 Ge(Li) 檢出器로써 각각 同一時間測定한 例로써 兩者의 分解能의 差異點을 명백히 나타내준다. 이와같이 分解能이 良好하고 이長點을 충분히 이용한 測定을 하기 위하여 이 분야에 많은 研究가 필요하다.

多重波高分析器에서 100 채널式일때는 1%의 分解能까지 얻을 수 있으나 數千채널에 달하는 分析器가 要求된다면 위와 같은 分解能을 얻기는 대단히 어렵다.

例를들어 微弱한 信號를 波高分析器로 處理可

能한 程度까지 增幅하는 役活의 Liner Amp 에 대하여 고찰해 보자. 理想的으로는 한개의 뾰족한 Peak를 形成하는 一定에너지의 波高가 어떤 넓이를 나타내는 原因으로는 여러가지가 있지만 各種의 原因을 總合하여 Gauss 的으로 合해지는 넓이를  $\sigma_T$ 라 한다.  $\sigma_T$ 를 구성하는 것으로는 첫째로 各種雜音에 의한 것( $\sigma_n$ ), 過負荷에 의한 일그러짐( $\sigma_o$ ), 高計數率에 의한 증점된 오차( $\sigma_p$ ), 溫度 및 電源 등의 變動에 의한 影響( $\sigma_t$ ) 등이 고려 되어질 수 있다. 其他 放射線 檢出器 自體로 起因한것( $\sigma_d$ ) 즉 生成電荷의 流計의 變動 및 電荷 收集時間의 變化등도 당연히 合算해야 한다. 즉

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_o^2 + \sigma_p^2 + \sigma_t^2 + \sigma_c^2 + \sigma_d^2}$$

으로 나타낼 수 있다. Scintillation Counter의 경

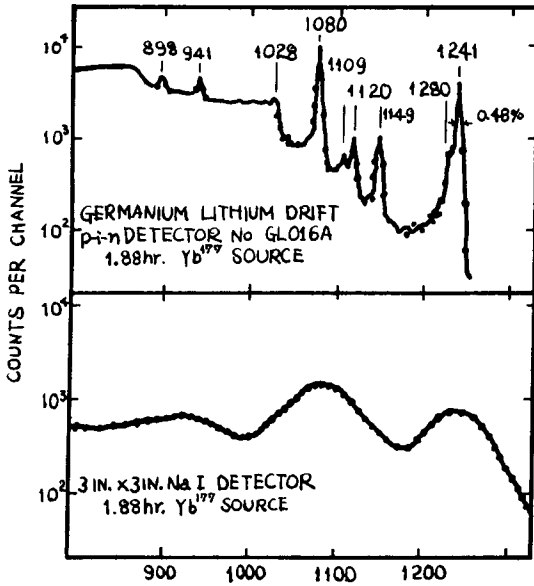


그림 3. NaI Crystal 과 Ge (Li) 檢出器에 의 한  $\gamma$  - 線 spectrum의 例

우에는  $\sigma_d$  가 10%가 되며 光電增倍管의 경우는 利得이 높으면  $\sigma_n$  은 문제시 되지 않는다. 정확한  $\sigma_T$  를 얻고자 할때는 특히 高計數率計의 경우에 한하여  $\sigma_b$  에 대한 方策을 강구한 特殊한 增幅方法을 사용해야 좋을 것이다. 그러나 Ge (Li) 의 檢出器와 같이  $\sigma_d$  가 작고 또한 信號자체가 微弱하면 우선  $\sigma_n$  을 작게 유지하는 것이 問題로 되어 이른바 低雜音 增幅의 問題가 있다.

(3) 測定의 迅速化

放射線의 檢出은 時間的으로 random 한 現象이라는 본질적인 특징으로 인하여 測定의 複雜化, 精密化와 병행하여 迅速化 등의 重要한 問題點이 내포되어있다. 특히 運轉經費가 많이 드는 大型加速器를 이용한 實驗이나 한번 發射되면 回收할 수 없는 로켓, 人工衛星에 대한 測定 등의 경우에는 限定된 時間을 最大한 有效하게 이용하기 위하여 조금은 費用이 들더라도 그때그때의 data를 分析判斷하여 필요한 實驗計劃의 修正없이 약간의 變更을 가하여 system을 정비하는 것이 결국은 經濟的인 方法이다. 즉 real-time 方式의 큰 長點인 data處理의 迅速化가 可

能해질 수 있기 때문이다.

4. 放射線計測의 最新動向

그러면 앞에서 說明한 計測技術上의 問題에 대하여 어떻게 대처해야 할 것인가를 고려해 보자.

(1) Module 化와 Ic 化

複雜한 測定系를 安定하고 精密하게 動作시키는 方法의 첫번째는 그 目的에 最適한 回路系를 경우에 따라 한 가지 한가지씩 신중하게 設計하는 이른바 別味の 料理를 特別注文하는것과 같은 方法이다. 또 다른 한 가지는 各種의 測定系를 機能別로 細分化하고 이미 細分化된 個個의 機能을 가진 unit를 정성들여 제작하여 標準化해가 고 使甲者는 實驗目的에 따라 이 unit들을 적당하게 選擇하고 效率的으로 組合하여 使用하는 方法이다. 前者의 경우가 浪費가 제일 적고 能率도 좋지만 注文設計이기 때문에 製作하는데 많은 時間이 소요되는 것이 普通이다. 後者는 多小 浪費도 생길 수 있고 어떤 경우에는 한개의 unit機能으로서 는 만족스럽지 못한 경우도 있지만은 무엇보다도 大量으로 標準化하고 安定된 性能을 가진 몇개의 unit를 적당히 배치하면 여러 가지의 實驗目的에 迅速하게 對處할 수 있는 長點이 있다.

이에 대한 代表的인 方式이 nuclear instrument module 인데, 현재의 世界的인 趨勢는 實驗室에서 각각의 回路를 組立하는 것은 特殊한 境遇를 除外하고는 行하지 않으며, 綜合 catalog에서 어떤 機種이 合當한가를 選擇하여 注文하는 것이 常例이다. Module 內的 각각의 部品들도 可能한한 接續部를 줄여 信賴度를 向上시키기 위하여 集積回路(IC) 化하는 方向으로 나가고 있다. 波高分析器와 같은 디지털 機器는 大部分이 IC化 되어 있지만 高速化, 低電力化의 進歩에 따라 將來에는 대부분의 回路部品를 LSI化하여 信賴度와 精密度를 한층 增加시키게 될 것이며 microprocessor의 導入으로 더욱 간단하면서도 精

巧한 system으로 바뀌어질 것이다.

## (2) Data 處理方法

많은 量의 情報을 迅速處理하고 分類하여 貯藏해야하는 觀點에서 보면 data 處理에 電子計算機의 導入은 必然的이다. 그 일례로써 AD 變換型的 多重波高分析器는 制限된 性能을 hardware 的으로 내장하고있는 일종의 電子計算機이다.

電子計算機에는 디지털식과 아날로그식이 있으며 각각 그 나름대로 장점을 가지고 있어서 필요한 곳에 그때 그때 디지털식을 적용하거나 아날로그식을 적용한다.

그림 2에서도 加算, 乘算處理는 통틀어 analog 式을 採用하고 있으며 處理時間도 數  $\mu\text{S}$  이내이다. 그러나 analog 處理는 速度가 빠르다는 長점이 있지만 精密度에서는 滿足스럽지 못하다.

왜냐하면 測定值가 넓은 dynamic range 에 걸쳐 있고 0.1% 정도의 높은 精密度를 analog 시스템에 요구하는 것은 지극히 어려운 일이다. 이러한 점에서 digital 處理는 AD 變換시키는데 處理時間이 걸리는 弱點이 있지만, 精密度는 훨씬 上昇시킬 수 있기 때문에 變換以後의 data 處理는 高性能의 電子計算機를 採用하여 높은 信賴度를 얻을 수 있게 된다. 그러나 乘算, 除算의 演算에 걸리는 時間도 적당한 memory를 사용하면 解決할 수 있다. 디지털식의 또하나의 長點은 여러대의 波高辨別器를 겹쳐서 사용할 경우에 不可避한 辨別值의 相互 drift 問題등이 있는데 이를 digital window를 採用하여 解決할 수 있다는 점이다.

初期의 多重波高分析器는 파라메타의 狀態에 따라 番地를 나누고 그내용에 +1 또는 -1을 더해 주는 아주 간단한 機能밖에 없었으며, 따라서 複雜한 파라메타의 測定에는 더욱 記憶容量이 크지 않으면 안되었다. 예를 들어 3개의 파라메타를 百 채널로 分解하려고 한다면 1000 K語를 要하게 되어 非經濟的으로 되며 대부분의 경우 data

는 記憶素子の 일부분에 集中되어 나머지의 素子가 사용되지 않는 狀態의 경우에도 많다. 그러나 현재의 放射線計測시스템은 pulse의 振幅, 頻度數 및 發生時間등을 計數하고 각각의 고유번지수에 記憶시켜 원하는 key를 누르면 digital display와 CRT display를 따로따로 또는 同時에 可能케하는 記憶容量이 큰 經濟的인 시스템으로 개발되어 가고 있는 추세이다.

그림 2의 경우에 特殊아날로그回路를 採用하여 特定條件을 滿足시키는 파라메타의 狀態를 選別하여 波高分析器에 印加한다. 이 경우에는 이들 回路의 精密度, 安定度로써 全體 實驗의 精密度가 결정되어지기 때문에 實驗種類가 달라지면 또 이에 대한 特殊한 回路를 研究하여 파라메타의 變化를 檢出하지 않으면 안된다. 이러한 파라메타의 값을 AD 變換器에 의해 digital化되면 몇대의 AD 變換器와 一般電子計算機에 依해 이상과 같은 조작이 가능하게 된다. 결국 파라메타 값의 범위, 組合, 演算등을 지정하여 内部에 記憶시킨 프로그램에 의해 이루어지기 때문에 測定器로서의 機能이 프로그램에 依해 決定된다.

만일 새로운 測定系를 構成하는 경우에는 測定하려고 하는 파라메타를 디지털化하면 特殊回路와 같은 hardware를 만들지 않아도 프로그램을 적절히 作成하여 所期의 目的을 達成할 수 있다.

또 放射線計測은 測定時間이 數  $\mu\text{S}$  이내인 것이 바람직하기 때문에 相當히 複雜한 測定機能을 가진 프로그램도 이 정도의 時間에 실행할 수 있을 정도일 때, 高性能 電子計算機가 아니면 實用上 問題가 생기게 된다. 또 實驗系의 校正, 制御의 프로그램을 갖고 있다면 필요한 곳의 電壓值등을 디지털計測하여 입력으로 보내면 測定과 同時에 計算機 自體에 의해 較正되어 實驗系가 일정한 精密度를 維持할 수 있도록 制御한다.

이와 같은 computer aided experimental system의 일례로써 여러 分野에서 사용되고 있는 ON-

line 데이터處理方式를 설명하고자 한다.

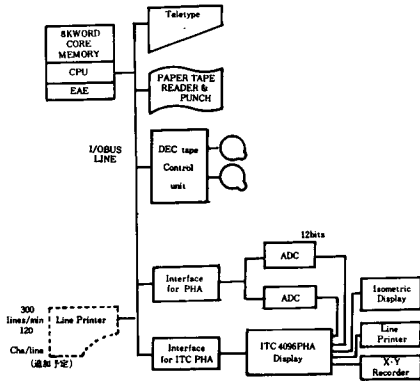


그림 4. PDP-15 와 ITC社 波高分析器에 의한 on-line 시스템의 構成例

그림 4는 PDP-15 電子計算機와 ITC社의 4096 채널波高分析器를 組合하여 만든 放射線計測 시스템인데 두개의 DEC 테이프는 system 프로그램용으로서 波高分析用的 interface에 의해 ITC社의 2대의 ADC와 접속되며 波高分析器的 制御도 可能한 시스템이다. 이 시스템에서 PDP-15와 ITC의 波高分析器는 相互間에 data communication을 행하는 機能을 가지고 있다. 이 PDP시리즈는 자주 波高分析用에 맞도록 製作된 機種으로서 高速處理 機能을 hardware的으로 내장하고 있는 點이 있다. 만일 費用이 허락된다면 點線으로 표시된 line printer를 追加하여 資料判讀을 迅速하게 할 수 있을 뿐만 아니라 使用效率이 더욱 增加된다. 물론 더 한층 大型의 電子計算機를 中心에 固定시키고 時分割 (time sharing)方式으로 여러組의 實驗시스템을 同時에 處理하고 制御하는 것이 더욱 바람직스럽다.

5. 結論

이미 앞에서 說明한 바와 같이 放射線計測시스템의 最近動向은 높은 信賴度와 精密度를 要求하기 때문에 從來의 眞空管이나 트랜지스터를 사용한 回路系로써는 이러한 要求를 충족시킬 수 없었다. 그러나 最近에 들어와서 電子産業과 集

積回路技術의 눈부신 發達로 因하여 system의 대부분을 IC化 내지는 LSI化하여 보다 더 높은 信賴度와 精密度를 얻을 수 있으며 이 data의 處理도 또한 高性能의 電子計算機를 통하여 수 行하게 됨으로써 能率을 더욱 向上시킬 수 있었다. 또한 最近에 각광을 받고 있는 microprocessor를 放射線計測시스템에 採用하여 사용하면 더욱 經濟적이고 信賴度 높은 計測시스템을 構成할 수 있을 것으로 思料된다.

또 한편으로 放射線計測器는 차츰 시스템化 되어가고 있는 추세이다. 그 例로서 放射線管理, 環境放射線의 測定, Tracer의 實驗分析, 醫用計測, r線 spectroscopy, 原子爐計測등이 대부분 시스템化 되어가는 추세이며, 이에 수반된 問題로써는 放射線檢出器의 高性能化, 여기에 接續된 電氣電子의 性能向上, 計算機를 中心으로 한 data처리와 同時에 그 후의 省力化 및 自動化 등이다. 電氣電子와 同時에 計算機가 수행하는 data處理는 hardware와 software의 分担 또는 關與하는 計算機가 複數인 경우 그사이의 分担을 어떻게 할 것인가 하는 問題가 있는데 이는 처리해야 할 data의 性質, 計算機의 性能 및 容量에 依存한다.

參 考 文 獻

1. 三浦功 et al., “放射線計測學” 日本國裳華房發行, 1968.
2. 三輪博秀, “應用放射線計測” 日刊工業新聞社刊, 1961.
3. 個正 “インストルメンテーションの考え方と最近の動向” 原子力工業, PP 15 ~ 18.

