

放射線 測定의 動向 및 問題點

韓國原子力研究所

高 丙 俊 · 鄭 鍾 澱

I. 序 論

1895년 Roentgen은 X-선을 발견하였고, 1896년 Becquerel은 우라늄염으로부터 방사선이 방출되는 것을 발견하였다. 2년 후에 Curies는 polonium과 radium에서 방사선이 방출되는 것을 확인하였다. 그 후 1903년, Wilson은 하전입자의 비적을 직접 관측할 수 있는 cloud chamber를 제작하였고, Geiger-Mueller counter의 원리가 1908년에 Rutherford와 Geiger에 의해서 처음으로 방사선의 측정에 이용되었다. 또한 scintillation counter는 1908년부터 1935년까지 여러 분야에서 사용되었으나, 이 때는 암실에서만 실험을 해야하는 문제점이 있었다. 그러나 1947년 이후 우수한 성능의 光電增幅管의 개발과, β 선, α 선에 민감한 phosphorus의 발견으로 재래식과 다른 성능의 scintillation counter를 개발하게 되어 고성능의 방사선 분석을 할 수 있게 된 것이다. 이러한 방사선 측정 기술의 발전은 전자공학의 발달로 더욱 가속되었고, 최근

에는 반도체기술의 눈부신 발전으로 대형 컴퓨터의 CPU(중앙처리부)의 기능을 수행할 수 있는 micro-processor가 개발되어 방사선을 이용한 산업용, 의학용, 그리고 연구용 전자장비들의 소형전산화의 신기술이 도입되고 있는 실정이다.

본 해설에서는 위에서와 같이 방사선 측정기의 발달에 따라 그 측정규모의 정밀성과 신속한 분석처리등, 측정기술에 대한 동향과 몇가지 문제점들을 간단히 기술하고자 한다.

• II. 방사선 측정장치와 문제점

방사선 측정장치는 그 측정대상에 따라 표 1과 같이 측정법이 다르며, 동시에 측정의 정밀성, 신속성, 그리고 복잡성에 따라 그 장치의 성능이 다르게 평가된다.

1. 측정의 정밀성

방사선의 측정은 통계학적이기 때문에 측정할 때마

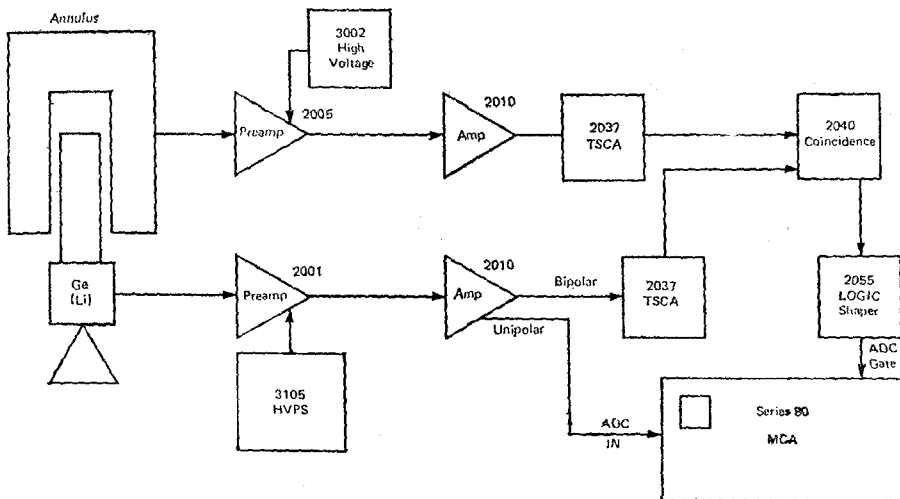


Fig. 1. Compton Suppression System

表 1. 방사선 측정장치와 측정법

측정의 목적 및 대상	검출기	계수 장치	측정 조건	측정하는 시료량	보정 사항	표준시료의 필요성과 그 종류	차역계수 (CPM)	
1. 방사능 비교적 측정	End-window type GM tube	counter or ratemeter	측정대 사용, 시료용기 사용	$1 \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 기하학적 효율, 시료의 양에 따라 보정 · 기본적 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 핵종이 동일한 경우에 적용 · 측정기 교정용線源이 필요 · 點線源과 面線源이 필요 	20~30	
	Thin-wall type GM tube	"	시료에 근접시켜 사용	$10 \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 기본적인 보정의에 plateau 곡선의 변화에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 비교교정용線源이 필요. · 표준線源의 自己吸收에 주의 	30~50	
	gas-flow type GM tube	GM counter	검출기에 시료를 넣어 측정	$10^{-2} \sim 10^{-6} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 혼합가스의 성분, plateau 곡선에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 기하학적 효율, 시료의 양, 산란에 따라 보정 plateau 곡선 사용전압에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 표준시료를 사용시 에너지 교정이 필요. 	측정방법에 따라 차이가 있음
	· NaI (TI) scintillation detector	scin-counter or ratemeter	7-source만 측정대에 서 측정	$1 \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · detector의 효율, 사용 전압에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 증류에 따라 比較線源이 필요 	channel에 따라 차이가 있음	
2. 放射能 絶对測定	· 定立體角 end-window type GM tube	counter	측정대 사용 시료용기 사용	$10^{-1} \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · detector의 window, 시료의 자기 흡수, 시료용기의 산란에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 꼭 필요치는 않다 	20	
	· NaI (TI) scintillation detector	single channel analyzer	<ul style="list-style-type: none"> · 일정거리를 유지하고 散亂線을 자기하하여 計測수를 측정하여 7선이나 특정 영역의 에너지만을 측정 	<ul style="list-style-type: none"> · mCi $\sim 10^{-3} \mu\text{Ci}$ 	<ul style="list-style-type: none"> · 기하학적 효율, 螢光체의 효율에 따라 보정 · detector의 효율, 7선, X선의 에너지에 따라 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 7선을 사용할 때는 검출효율의 정확한 값이 필요 	NaI (TI)의 크기에 따라 차이가 있음	
	· Ge (Li) detector	multi-channel analyzer (4K)	광電에너지영역의 측정 (7선)	mCi $\sim 10^{-6} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 시료의 자기 흡수, 에너지별점출효율, 기하학적 조건에 따라 補正 · 線源, 검출체간의 흡수율 고려 	<ul style="list-style-type: none"> · 시료와 동일조건인 시료의 자기 흡수, 시료용기의 산란이 필요 	보통무시함	
	Si (Li) detector	multi-channel analyzer (1K)	특성 X선영역의 측정	mCi $\sim 10^{-3} \mu\text{Ci}$	Ge (Li) detector의 경우와 동일	<ul style="list-style-type: none"> · 시료와 동일조건인 표준線源이 필요 	特性 X선에 주의	
Liquid scintillation detector	Liquid scintillation detector	single-channel analyzer	scintillation detector와 같이 사용	$10^{-1} \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 방사선의 에너지에 따른 효과 보정, 화학적 quenching, 着色 quenching의 보정 	<ul style="list-style-type: none"> · 표준선원으로 β선원의 溶液, 외부선원 	channel에 따라 다름	
	End-window type GM tube	同時계수장치와 NaI counter	β 선에 따라 7선이 동시에 방출시킴	$10^{-2} \sim 10^{-1} \mu\text{Ci}$	<ul style="list-style-type: none"> · 보정 사항은 붕괴형식에 따라 다름 	<ul style="list-style-type: none"> · 반드시 필요치 않음 	대개 무시하던가 또는 우발적인 동시계수를 고려	
	(TI) scintillation detector	"	X-선에 따라 7선이 동시에 방출시킴	$10^{-1} \sim 10^{-4} \mu\text{Ci}$	"	"	"	

scintillation detector	counter 또는 survey meter, ratemeter	7선용으로 사용될 수 있다.	10 ⁻² mR/hr	에너지 의존성에 따라 보정	에너지별로 校正, 선원 사용	30
3. 放射線量 測定	GM tube 電離函	counter 또는 survey meter, ratemeter 진동용량전위계 또는 소전류 측정 장치	10 ⁻² mR/hr 이상, 10 ⁻³ mR/hr 이상	에너지 의존성에 따라 보정	"	10 ⁻² mR/hr 10 ⁻³ mR/hr
	NaI(Tl) scintillation detector Organic scintillation detector	計數방식, NaI (TI) 사용 · 지류방식, 유기형광체 사용 · 체산에 따라 행함	10 ⁻³ mR/hr 이상, 10 ⁻² mR/hr	에너지 의존성에 따라 보정	"	10 ⁻³ mR/hr
4. α-線測定	ZnS (Ag) scintillation detector 電離函 比例計數管	· 시료를 detector에 넣는다 · 측정대를 사용 · 진동용량전위계 또는 미소전류 측정장치 counter	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶ μCi μCi~nCi (전류) nCi~pCi(펄스) 10 ⁻¹ ~10 ⁻⁵ μCiplateau	· 시료입자의 크기, 기하학적 조건, 시료의 자기 흡수에 따라 보정 · 기압, 온도, γ-선에너지에 따라 전리전류에 관계 · 數를 읽는 데 문제점이 있음 · 계수관의 유효체적의 보정, plateau 곡선의 결정	표준시료는 계수효율결정 에 필요 · 같은 모양의 표준시료가 필요 · α-선검출의 확인의에는 특히 필요치 않음	10cph 10cph 50~100
5. α-線에너지의 測定	grid부착 電離函 반도체검출기 (Si surface type)	電離函內에 시료를 넣을 수 있는 진공용기內에 시료와 detector를 넣어 측정, 시료는 가능한한 얇게 만든다	10 ⁻² ~10 ⁻⁶ μCi 10 ⁻² ~10 ⁻⁵ μCi	시료의 두께에 따라 보정, 에너지 校正	"	10cph이하 "
6. β-線에너지의 測定	end-window type GM tube gas-flow 計數管 Organic scintillation detector Liquid scintillation detector	흡수板에 따른 흡수곡선을 측정해서 최대에너지를 구한다. " detector에 밀착시켜 측정 multi-channel analyzer Log amplifier · 2~3 channel analyzer multi-channel analyzer	1~10 ⁻⁴ μCi 10 ⁻¹ ~10 ⁻⁵ μCi 10 ⁻¹ ~10 ⁻⁶ μCi 10 ⁻¹ ~10 ⁻⁵ μCi	기본적인 보정을 하고, 이 에너지를 알고 있는 β-선의 흡수곡선과 비교해서 에너지를 결정한다. " · 波高分析회로를 사용하여 spectrum을 측정하고, 에너지 校正을 한다 · γ-선計數를 이용해 자기 흡수에 대한 보정을 한다 · 과분쇄회로를 사용하여 spectrum을 측정하고 에너지 校正을 한다 · 자기 흡수에 대한 보정은	에너지를 알고 있는 여러종 β-선의 β-선원이 필요함 (RAD, P-32, CI-36) " 여러종류의 표준시료가 필요 정광체의 크기에 따라 차이가 있다 "	20~30 " "

Si (Li) 반도체검출기	multi-channel analyzer Log amplifier	散亂을 작게하거나散亂에 따른 영향을 고려함	1~10 ⁻⁴ μCi	불필요 · 에너지 校正 · 산란선 보정	에너지 校正	크기에 따라 결정됨
7. α-線의 X-線의 에너지 測定	multi-channel analyzer	측정대 또는 7-선에서 7-선 측정	mCi~10 ⁻⁴ μCi	복소회로를 사용해서 스펙트럼을 측정하고 校正을 한다. Compton 분포나 분포를 분별한다.	수준표가 필요	회광체의 크기에 따라 차이가 있음
Ge (Li) 반도체검출기 (γ-선 측정)	"	"	"	정확한 에너지로 검출 효율을 보정한다. 시료의 자기율을 고려한다.	알고있	크기에 따라 결정됨.
Si (Li), Ge(Li) 반도체검출기 (X-선 측정)	multi-channel analyzer	7-선 X-선 측정 펄스폭과 검출체간의 홀수에 주의	mCi~10 ⁻⁴ μCi	에너지별 보정대 검출 효율을 구하고, 정는 표준선원을 이용. 대검출 효율을 data에 의존한다.	에너지를 알고있	차폐의 방법에 따라 다르다
X-線比例計數管	"	X-선 측정 線源간의 홀수에 관한 線源간의 홀수에 관한 정보 불필요	mCi~10 ⁻³ μCi	특정 X-선, X-선 검출 효율을 보정. 에너지 보정. 에너지 보정의 경우 shift에 주의	알고있	channel의 방법에 따라 결정됨

다 통계적 오차가 생기게 마련이며, 計數時間, 회로의 분해시간, 불필요한 잡음등 여러가지 면에서 보상을 해주어야 정확한 값을 얻을 수 있다. 20년 전의 scintillation counter는 NaI crystal과 光電增幅管을 광학적으로 효율 좋게 조합하여 사용하였는데, 이 때의 에너지 분해능은 약 10%정도에 불과했다. 최근에는 Ge (Li)검출기의 개발로 인해 0.1%에 가까운 분해능을 얻고 있다.

그렇지만 Ge (Li) detector는 background radiation의 문제가 있다. 즉 γ스펙트럼에 있어서의 background는 측정될 sample 또는 주위환경의 영향을 받는다. 그럼 1은 이러한 경우에 효율적으로 사용될 수 있는 고도의 전자기술로 개발된 측정장치이다.

이 측정장치의 원리는 두 검출기로 부터의 신호가 同期일때만 MCA (multi-channel analyzer)의 gate가 열리게 되어 있어서 Ge (Li)검출기에서 발생된 신호만 계수되게 되며, Compton 효과에 의해 발생된 photon에 의한 신호는 非同期가 되어 MCA의 入力이 되지 못한다. 이렇게 해서 방사선의 에너지만에 의한 정확한 정보가 얻게 되는 것이다. 그림 2는 위의 system에 의해 compton suppression의 경우와 그렇지 않은 경우에 있어서의 Cs-137을 측정할 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 background에 대한 보상을 해주어야 에리하고 정확한 data를 얻을 수 있다.

위에서 설명한 바와같이 방사선을 측정하는데는 정밀성이 문제가 되고있으며 방사선의 종류 및 에너지의 크기에 따라 적당한 장비와 검출기를 선택하는 것도 매우 중요하다.

2. 측정의 신속화

일반적으로 계수율이 높은 γ-線을 측정할 때는 측정의 신속화가 문제시되고 있다. 즉 단위시간에 많은 신호가 연속적으로 들어 오므로, 각각의 신호를 구분 처리할 수 있도록 해야하는 문제점이 있다. 이러한 문제는 반도체기술의 발달로 해결되고 있으며, 분해능이 우수한 Ge (Li) detector같은 것이 개발되고 있다.

또한 신호가 연속적으로 들어오기 때문에 먼저 신호에 대한 decay 시간동안에 다음 신호가 들어오면 신호전압이 계속 증가하여 preamp를 saturation시키는 문제점이 있다. 최근에는 큰 전압범위에서 동작할 수 있는 preamp가 새로 개발되어 이러한 문제는 해결되고 있는 실정이다.

그 밖에 높은 계수율의 방사선을 측정하는데 문제점으로 나타나고 있는 것은 스펙트럼의 왜곡현상을 발생시키는 신호의 pileup현상이며, 이 문제는 최근에 개발된 Live Time Corrector/Pileup Rejector (MDL

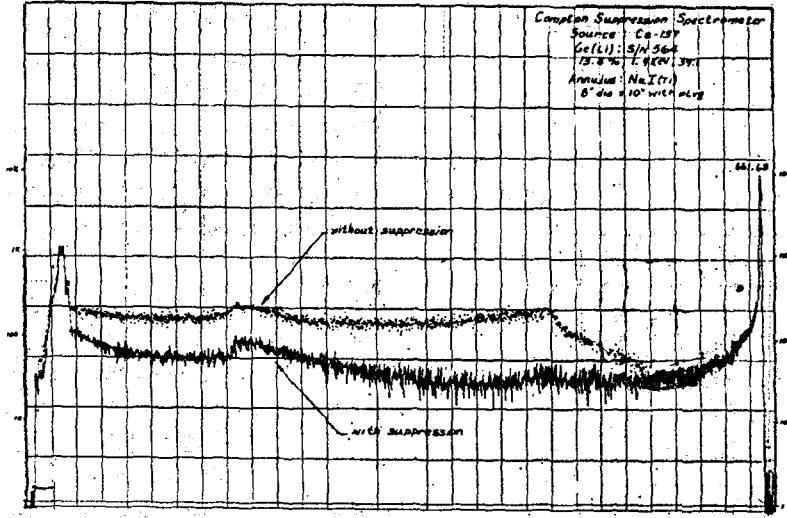


Fig. 2

1468A, Canberra)와 같은 장치를 사용함으로써 해결될 수 있게 되었다.

이와같이 방사선 측정상에 있어서 신속화가 요구되므로, 대부분의 방사선 측정장비는 digital化 또는 전산화되고 있다. 그런데 초기에는 ADC (analog-to-digital Converter)가 신호를 처리하는 시간인 dead time 동안에는 다음 신호가 들어와도 처리가 안되므로 정확한 분석을 할 수가 없었다. 그러나 최근에는 반도체 기술의 발달로 dead time이 9.5 μ sec 정도의 Fast ADC같은 장치가 개발되어 비교적 정확한 data를 얻을 수 있게 되었다.

3. 측정의 복잡화

초기의 방사선 측정은 ZnS등의 형광 물질을 사용하여 방사선의 발생을 육안으로 확인하거나 일정크기 이상의 펄스를 일정시간 측정하는 것에 만족하였다. 그러나 과학의 진보, 응용분야의 확대 등으로 방사선을 계수하고 에너지도 분석해야 할 필요가 생기게 되었다 그래서 초기에는 single channel analyzer가 개발되어 사용되었고, 그 후에 multi channel analyzer가 개발되어 사용되었다. 그런데 channel수를 증가시키면 시킬수록 ADC (analog-to-Digital Converter)의 dead time이 증가되므로 정확한 data를 얻을 수 없는 문제점이 있었다. 그러나 최근에는 dead time과 channel수가 서로 관계가 없는 전자기술이 개발되어 현재에는 8,000 channel을 갖고있는 장비도 등장하게 되었다.

이와같이 방사선의 측정과 장비가 복잡해짐에 따라

data처리도 문제시되었다. 그래서 computer 기술이 방사선 측정기에 도입되었고, 최근의 microprocessor의 개발로 대부분의 장비는 소형전산화되고 있다.

III. 放射線 計測의 最近動向

방사선의 이용범위가 넓어지고, 신속하고 정확한 정보가 요구됨에 따라 장비도 이에 적합하게 개발되고 있다. 다음은 방사선 측정의 최근동향에 대해 살펴보기로 한다.

1. 장비의 모듈화

방사선의 측정을 위한 시스템을 구성하는데 있어서 안정하고 정밀하게 동작시키기 위해서, 방사선 측정계의 각 기능별로 구분설계하여 module식으로 하고 있다. 세분된 각 module은 표준화하여 사용자로 하여금 용도에 따라 취사선택케하고 효율적으로 조합하여 사용함으로써 시간과 비용을 절약하고 있다. 또한 고장이 발생했을 경우 고장난 모듈만을 교체함으로써 보수 시간을 절약할 수가 있다.

2. 장비의 집적회로(IC)화

구형의 장비들은 진공관이나 트랜지스터식이어서 장비의 전력소모는 물론 많은 부품에 의한 부피가 커지는 문제점이 있다. 특히 접합부도 상당히 많아져 신뢰도 및 정밀도가 결여되어 있다. 그러나 1960년대 이후 반도체 기술의 발달로 측정장비들은 IC화함과 동시에 장비 system도 마이크로프로세서등의 LSI(대규모 집

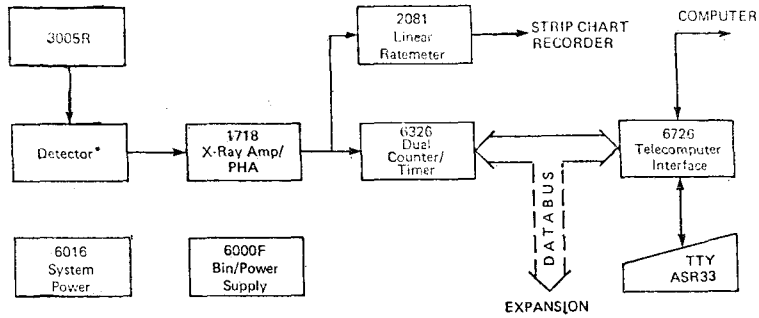


Fig. 3

접회로)의 이용으로 장비의 기능을 조직화하여 다양하고, 정밀하고 또 신뢰성 있게 사용할 수 있는 장비를 개발하고 있다.

3. 장비의 전산화

방사선으로 부터의 많은 data를 신속하고 정확하게 처리하기 위해서 최근에는 계측장비에도 컴퓨터 시스템이 도입되고 있다. 이러한 시스템을 사용함으로써 신뢰도 및 정밀도를 높일 수 있으며, 원격조정과 기능의 다양성을 얻을 수 있다. 계측시스템의 기능을 다양화하거나 변화가 요구될 경우에는 programmed logic인 ROM을 교환하거나 PROM (programmable ROM)을 사용하여 새로운 program으로 교체하여 요구하는 시스템을 구성할 수 있다. 또한 부가적인 hardware의 확장은 기존 시스템의 bus선에 필요한 소자나 주변장치를 연결시킴으로써 이루어 질 수 있다.

다음 그림 3은 PDP-11 전자계산기와 Canberra社의 PHA (Pulse Height Analyzer)를 조합하여 사용되는 on-line 처리방식의 예이다. 이 시스템은 Teletype keyboard나 천공카드에 의해서 analyzer의 제어가 가능하도록 되어 있으며, 고속처리 기능을 갖추고 있다. 또한 data bus의 expansion 부분에 line printer나

X-Y plotter를 추가하여 system의 사용효율을 높일 수 있고 data의 분석을 용이하게 할 수가 있다.

IV. 結 論

위에서 설명한 바와 같이 방사선검출기의 고성능화와 여기에 따르는 전자기술의 발달로 방사선의 이용 및 응용분야가 확대되고 있으며, 컴퓨터기술의 도입으로 대부분의 장비는 system化 및 module化 되고 있다.

그러나 최근의 computer를 중심으로한 계측 system에서의 data처리, I/O 장비의 성능개발등이 아직도 연구과제로 되있는 실정이다.

參 考 文 獻

1. “放射線測定器に 用いられる 新技術” 岡村勉夫 Vol. 24, No. 9, 1978. 日本原子力工業.
2. “放射線計測의 動向” 高丙俊 金洛橋 Vol. 6, No. 3, 1979 韓國電子工學會雜誌
3. “核醫學機器의 現狀と 將來의 展望” 龍池敏雄 橋詰信行 Vol. 26, No. 6, 1980. 日本原子力工業