

---

# 액체섬광계수기의 원리



# 목 차

---

- I. 기초
- II. 원리
- III. 기기의 구성
- IV. Component of BKG in LSC
- V. Quenching
- VI. Quenching **보정 (효율교정)**
- VII. PSA
- VIII. Application
- IX. 끝

# I. LSC 원리

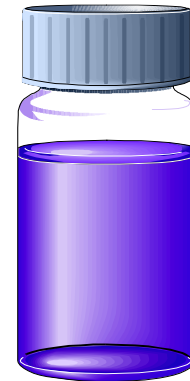
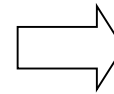
## □ Liquid Scintillation Process

Scintillation : 섬광현상



+

Cocktail



**Dark adapt before counting**

# I. 기초

---

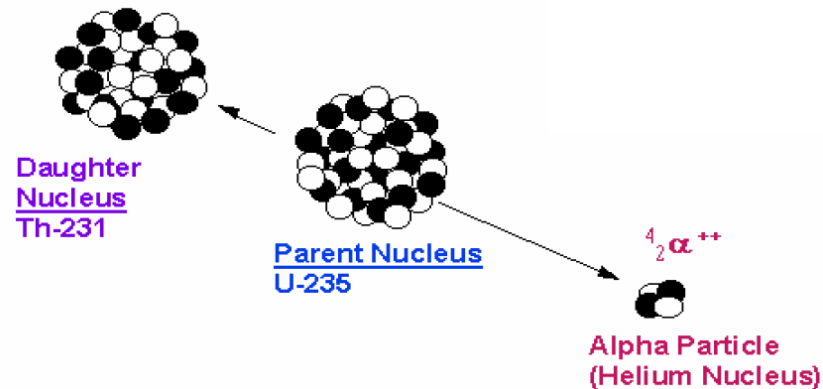
## □ LSC 특징

- 액체 시료를 cocktail과 섞어 측정
- 섬광현상에서 나온 가시광선을 감지하여 계수
- $\alpha$ -Spectrometry나  $\alpha/\beta$  counter에 비하여 bkg가 높다
- 알파선과 베타선 구분 가능
- H-3, Ni-63, C-14 분석에 사용

# I. 기초

## □ 섬광 현상을 일으키는 방사선

- $\alpha$  입자 : + 전기를 띤 하전입자 (He 원자핵), 단일의 특성 에너지, 낮은 투과력, 느린 비행속도



# I. 기초

## □ 섬광 현상을 일으키는 방사선

- $\beta$  입자 :  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , 반중성미자(anti-neutrino), 연속에너지

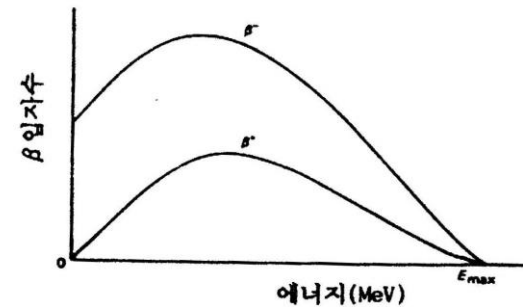
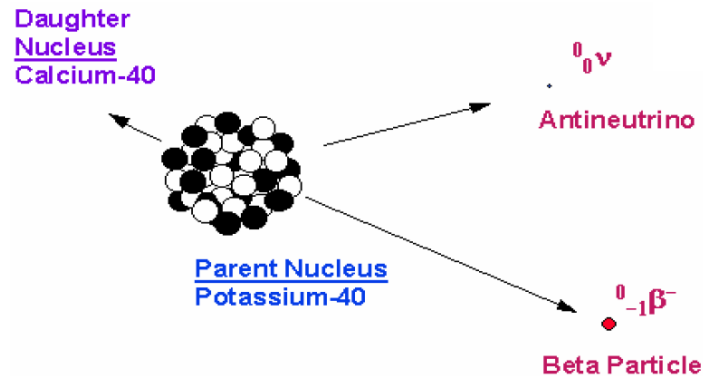


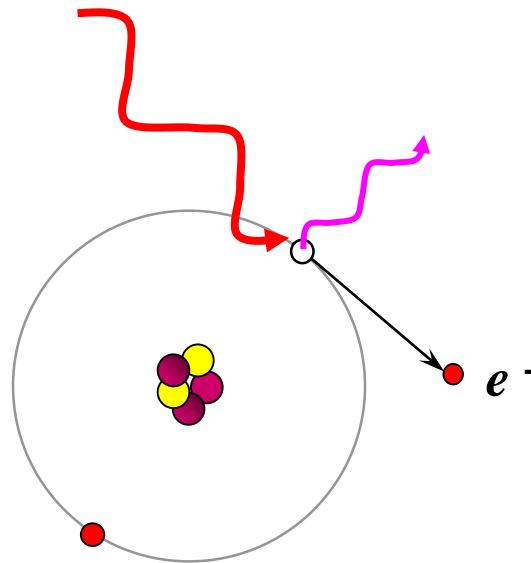
그림  $\beta$  선의 에너지스펙트럼

- 우주선 : 외계서 생성된 매우 에너지가 큰 방사선.  
대부분 지표 도달전 소멸  
Muons 은 해수면까지 도달, 큰 에너지, 큰 투과력,  
알파선이나 베타선과 같은 방법으로 매질과 반응

# I. 기초

## □ 섬광 현상을 일으키는 방사선

- Compton 효과 (산란) : 감마선이 물질속의 전자와 충돌하여 전자를 튕겨내고, 입자 감마선 자신은 에너지가 감소하는 현상

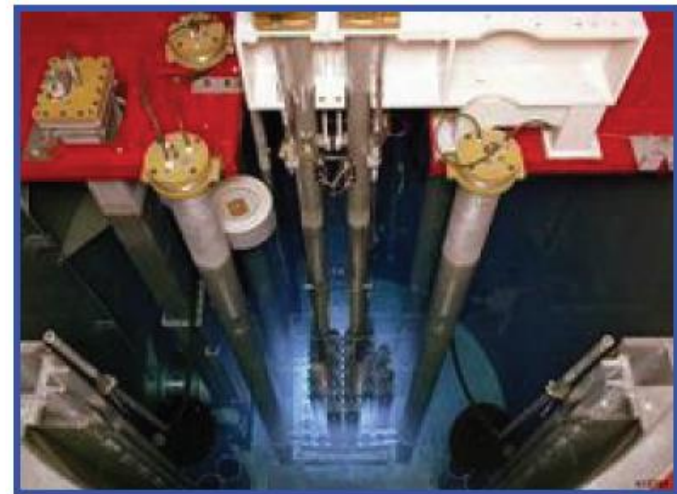
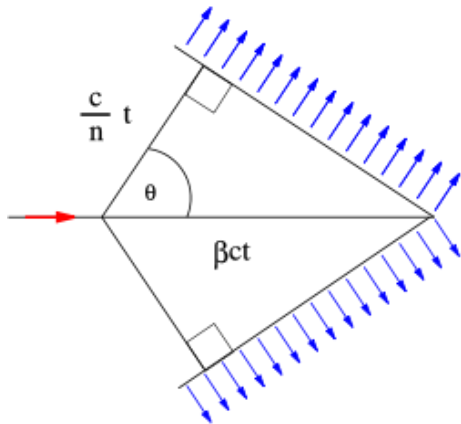


# I. 기초

## □ 기타

### ➤ 체렌코프 효과

- 고속의 하전입자가 투광성 매질 (굴절율  $n$ )을 통과할 때 그 매질 속의 빛 속도 ( $C/n$ ) 보다 큰 속도로 움직이게 되면 전자기적인 충격파 발생
- LSC 직/간접적으로 관여

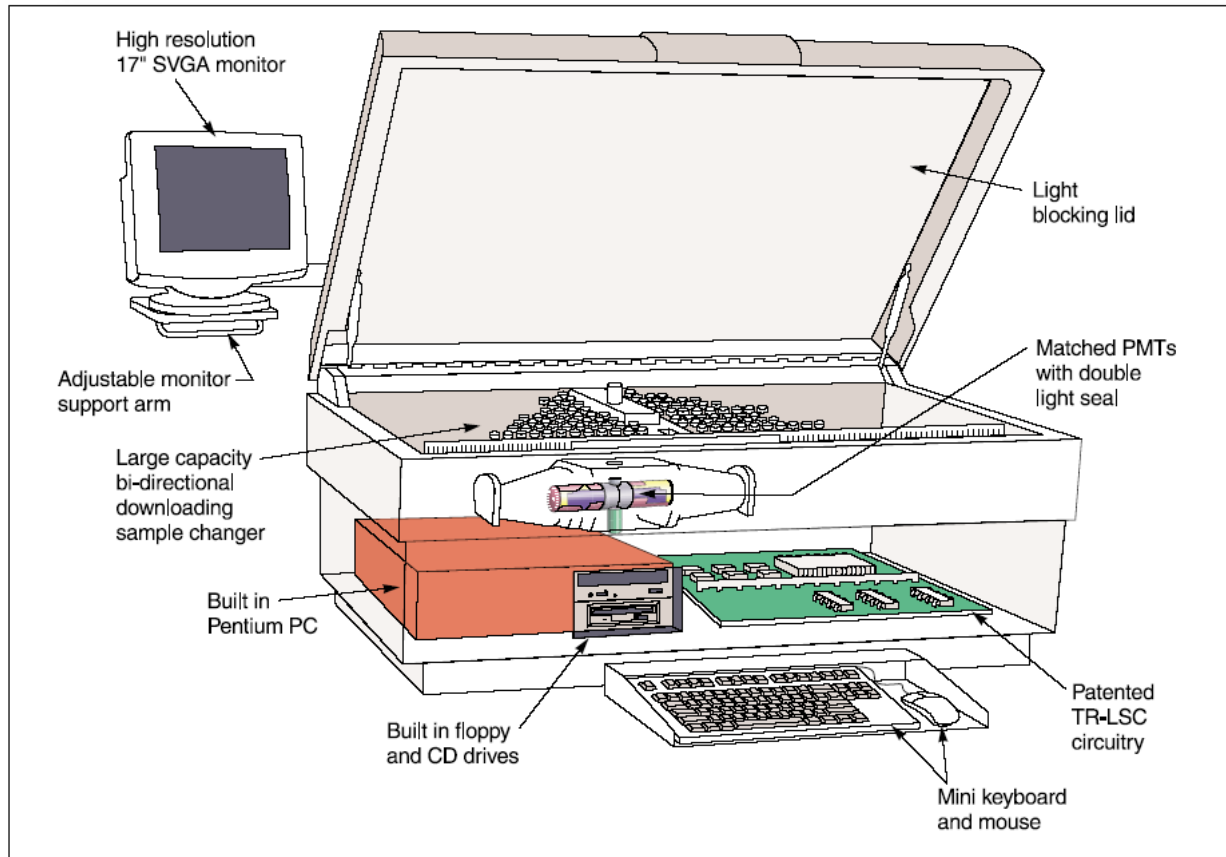


Cherenkov radiation glowing in the core of a [TRIGA reactor](#)



## II. LSC 원리

### □ Liquid Scintillation Counter (Tri-Carb series)

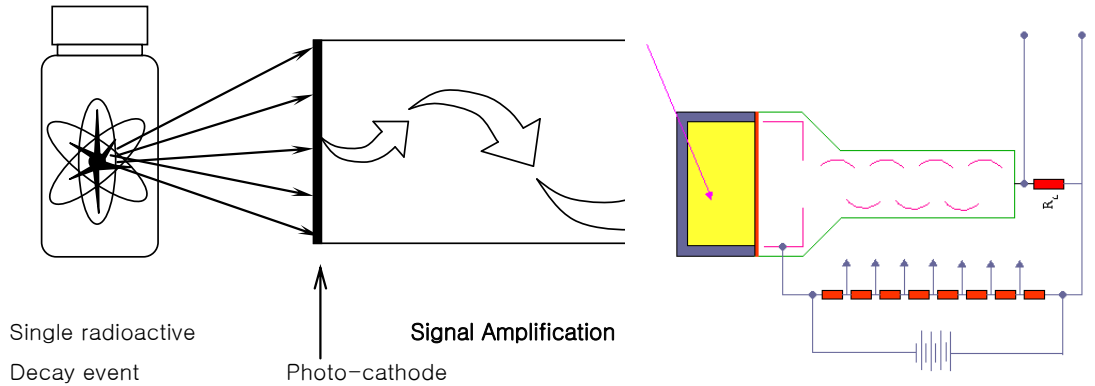
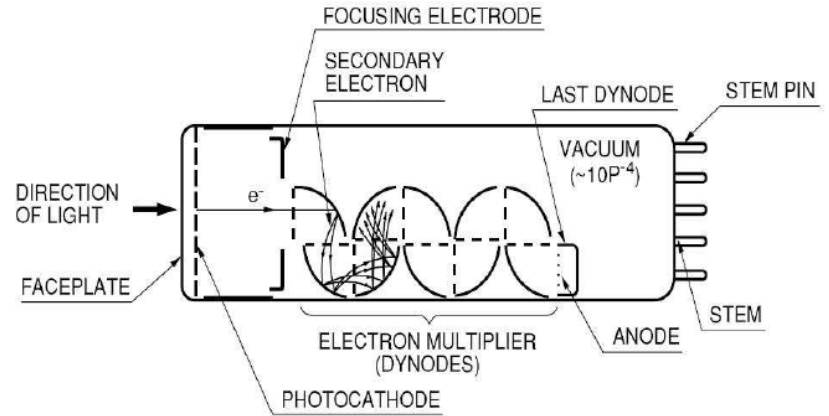
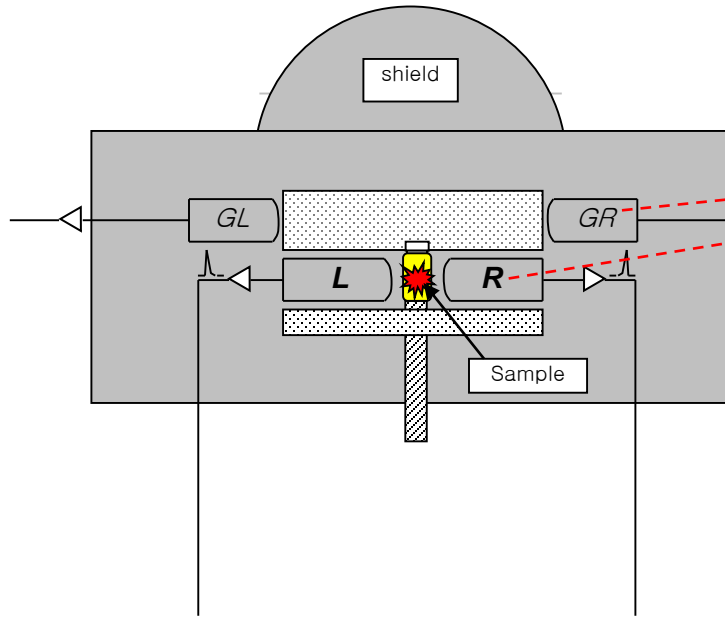
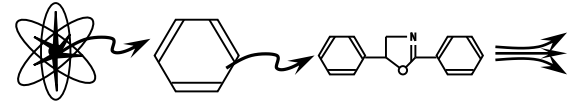


## II. LSC 원리

### □ Liquid Scintillation Counter (Quantulus 1220)



# II. LSC 원리



Liquid Scintillation Detection

## II. LSC 원리

---

### □ Liquid Scintillation Process

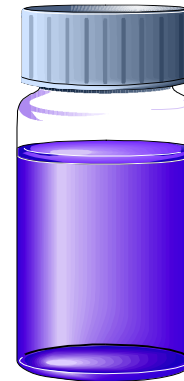
Scintillation : 섬광현상



+

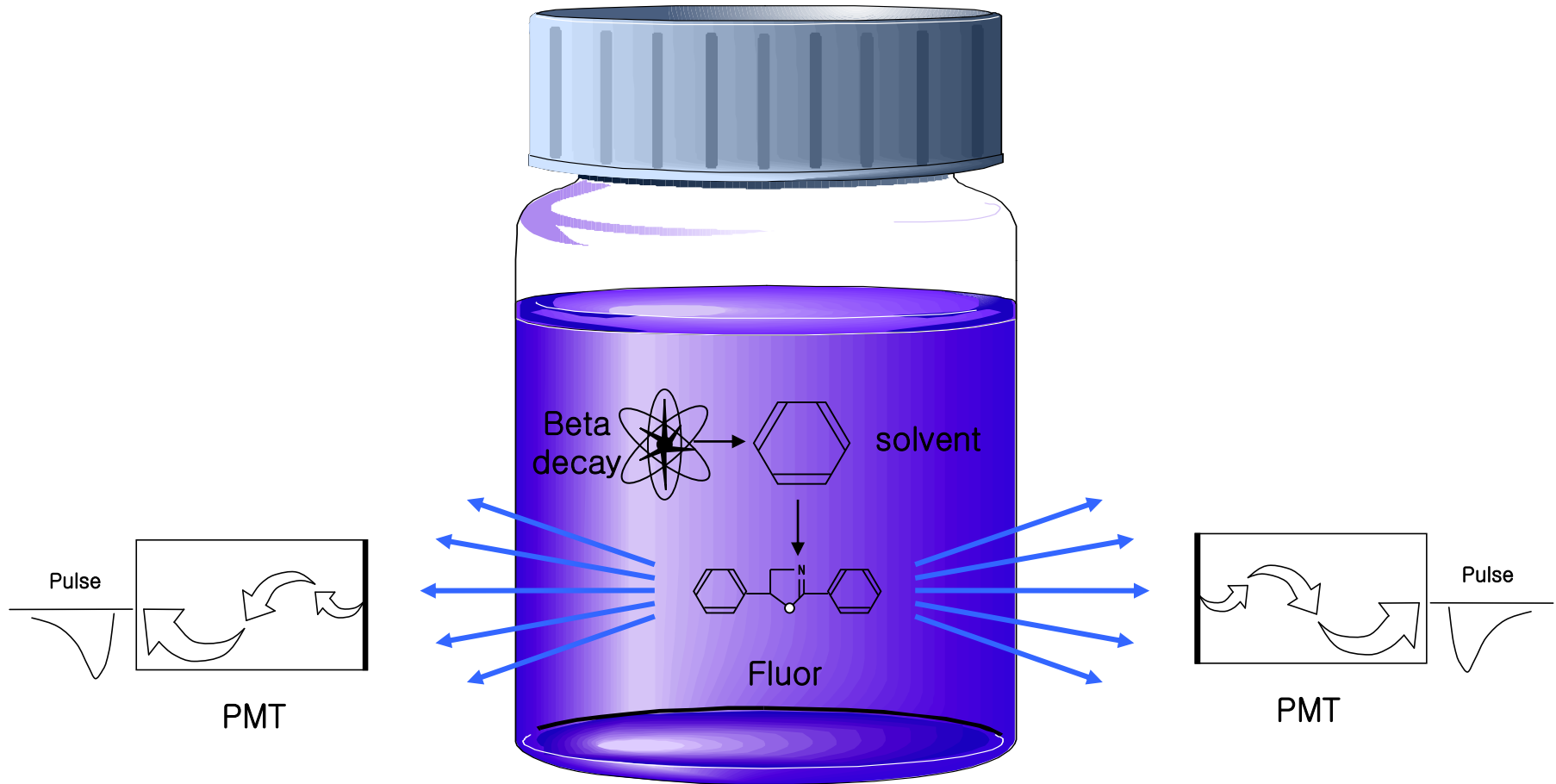
Cocktail

→



## II. LSC 원리

### □ Liquid Scintillation Process



## II. LSC 원리

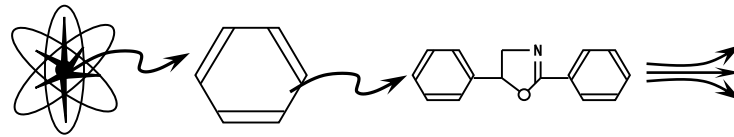
---

### □ Cocktail의 구성성분

- Primary Solvent
- Secondary Solvent
- Primary Scintillator
- Secondary Scintillator
- 기타



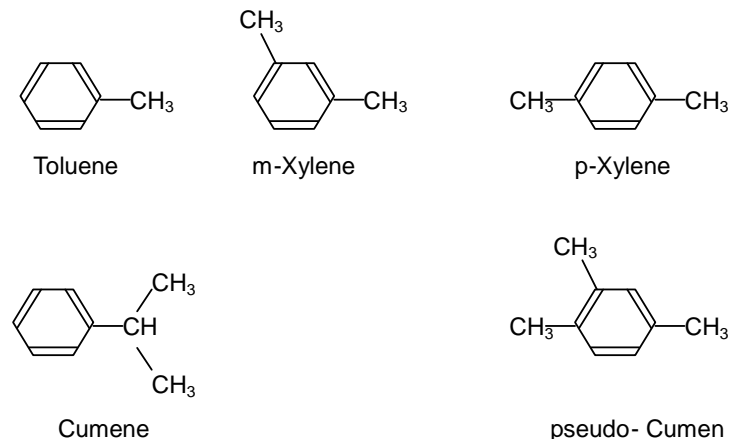
# II. LSC 원리



## □ Cocktail의 구성성분

- **Primary Solvent**      역할 : 방사선 입자의 운동에너지를 여기 에너지로 전환
- Secondary Solvent      ex) Xylene, toluene, etc.
- Primary Scintillator
- Secondary Scintillator
- 기타

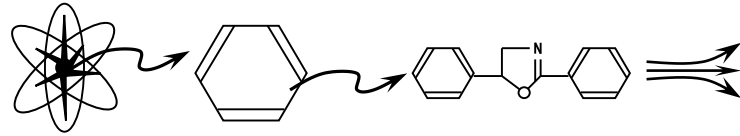
Solvent	RPH*	Melting point	Flash point
Pseudocumene	1.12		120
p-Xylene	1.10	12 – 13	86
m-Xylene	1.07		77
Xylene (mixed isomers)	1.05		77 – 90
Toluene	1.00		40
o-Xylene	0.98		90
Benzene	0.85	5.5	12
1,4 Dioxnane/naphthalene	0.65	11.8	54



**Solvent**

\* relative pulse height compared to toluene; the solvent contain 3.8 g/L PPO.

## II. LSC 원리

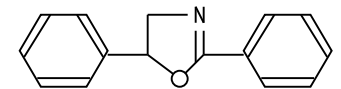


### □ Cocktail의 구성성분

- Primary Solvent
- Secondary Solvent
- **Primary Scintillator**
- Secondary Scintillator
- 기타

역할 : 여기된 에너지를 빛으로 전환  
ex) PPO (2,5-diphenyl oxazole)

**PPO** : 높은 섬광효율, 적절한 용해도, 낮은 단가, 비반응성,  
15 g/L 이상이면 quencher로 작용



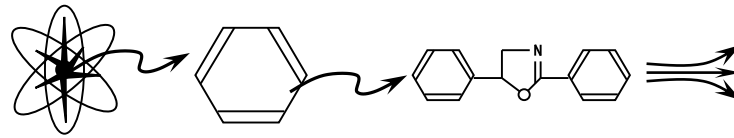
**PPO (357 nm)**

**Butyl-PBS** : 가장 효과적인 primary scintillator,  
가격이 PPO의 두배  
산, 염기, 아민 등과 반응함. (알카리 조건에서 갈색)

**BBOT** : 가시광선 영역의 빛 방출, optical quenching의 영향 적음.  
산과 반응하여 노란색 또는 녹색의 띠



## II. LSC 원리



### □ Cocktail의 구성성분

- Primary Solvent
- Secondary Solvent
- Primary Scintillator
- Secondary Scintillator
- 기타

역할 : 시료와 Primary solvent를 서로 섞이게 도와줌  
ex) Triton X-100, ethoxyethanol, methoxyethanol, 등

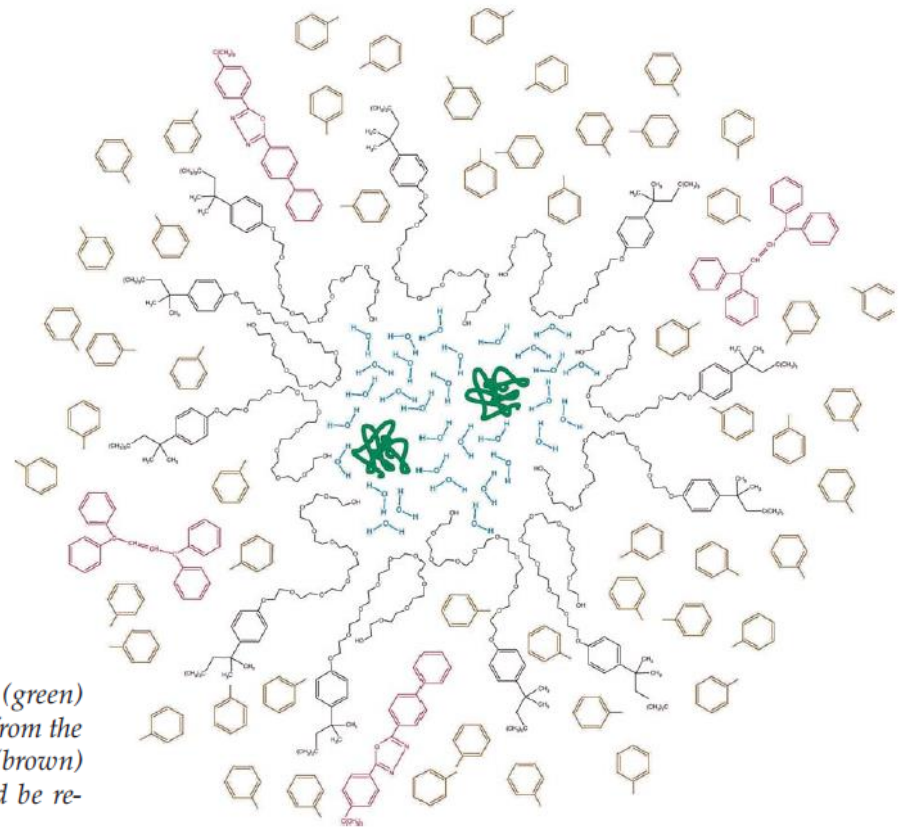


Figure 1.5a Micellar structure in a scintillation cocktail. Hydrophilic proteins (green) and water (blue) are emulsified by Triton X-100 (black). Radioactive emissions from the labeled protein must pass through the micelle to encounter the toluene solvent (brown) before energy can be passed to the primary and secondary phosphors (red) and be re-emitted as light.

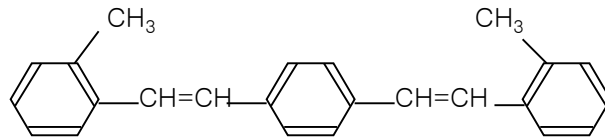
# II. LSC 원리

## □ Cocktail의 구성성분

- Primary Solvent
- Secondary Solvent
- Primary Scintillator
- **Secondary Scintillator**

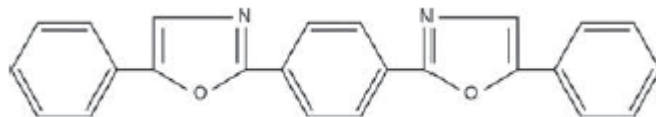
➤ 역할 : 빛의 파장을 shift. ex) POPOP

**Bis-MSB** : 잘 녹음, 비반응성,  
대부분의 상업용 cocktail 제조에 사용



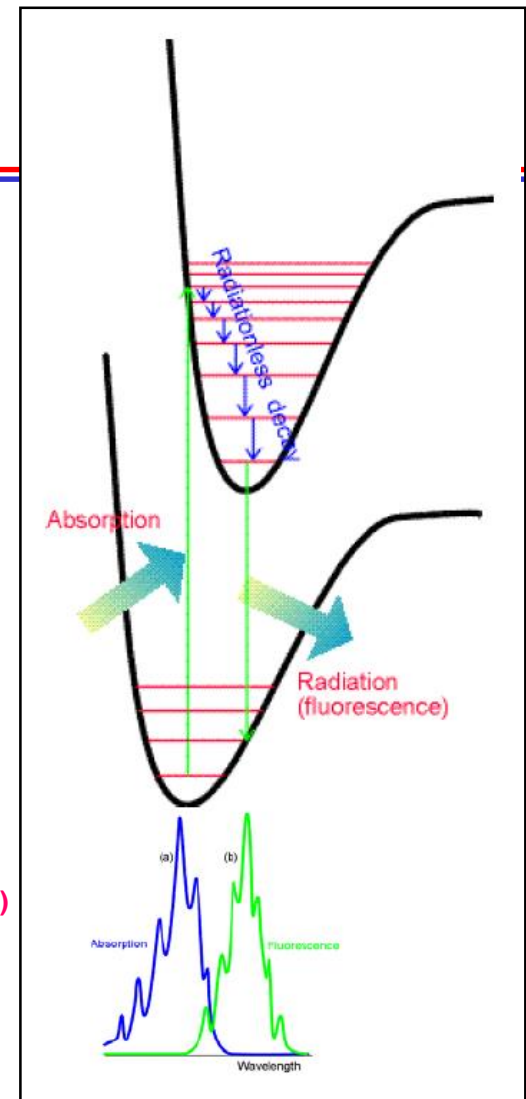
**Bis-MSB (420 nm)**

**POPOP** : 가장 먼저 사용되었음.  
비반응성, 용해도 낮아 녹이는데 시간 소요.

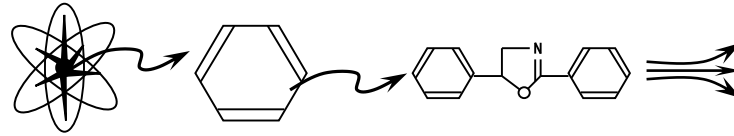


**POPOP (410 nm)**

**Methy POPOP** : POPOP의 유도체, 용해도 높음, 산과  
반응하여 노란색



## II. LSC 원리



### □ Cocktail의 구성성분

- Primary Solvent
- Secondary Solvent
- Primary Scintillator
- Secondary Scintillator
- 기타

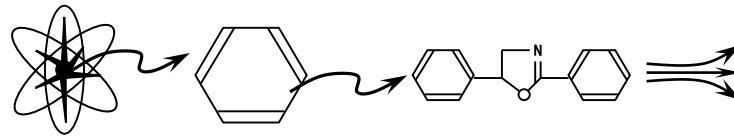
역할 : cocktail의 성질 변화 또는 특수 목적

**Cab-O-Sil** : 3-4% (w/v) 의 농도에서 안정한 gel 형성

1-2% (w/v) 의 농도에서 표면적 증가하여 시료가 vial 벽에 흡착 최소화

**Ethylene glycol** : antifreeze

## II. LSC 원리



### □ Vials

➤ 필수 조건 : 빛 투과, 유기용매의 휘발 방지

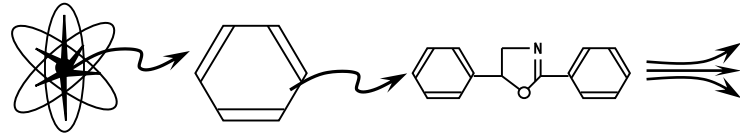
**Low-potassium borosilicate** : 비반응성, 좋은 빛 투과성,  
많이 사용됨  
bkg 높음 (이유 : K-40)



**Polyethylene vial** : 저렴한 가격,  
낮은 bkg (이유 : 석유화학 제품),  
낮은 밀봉성으로 유기 용매 휘발 가능



## II. LSC 원리



### □ Vials

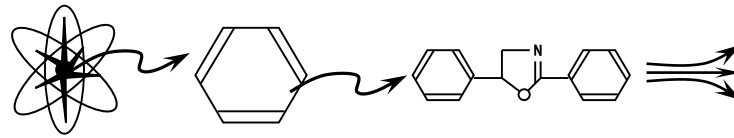
➤ 필수 조건 : 빛 투과, 유기용매의 휘발 방지

**Teflon vial** : 빛 투과성 좋음, 밀봉성 좋음, 비싼 가격

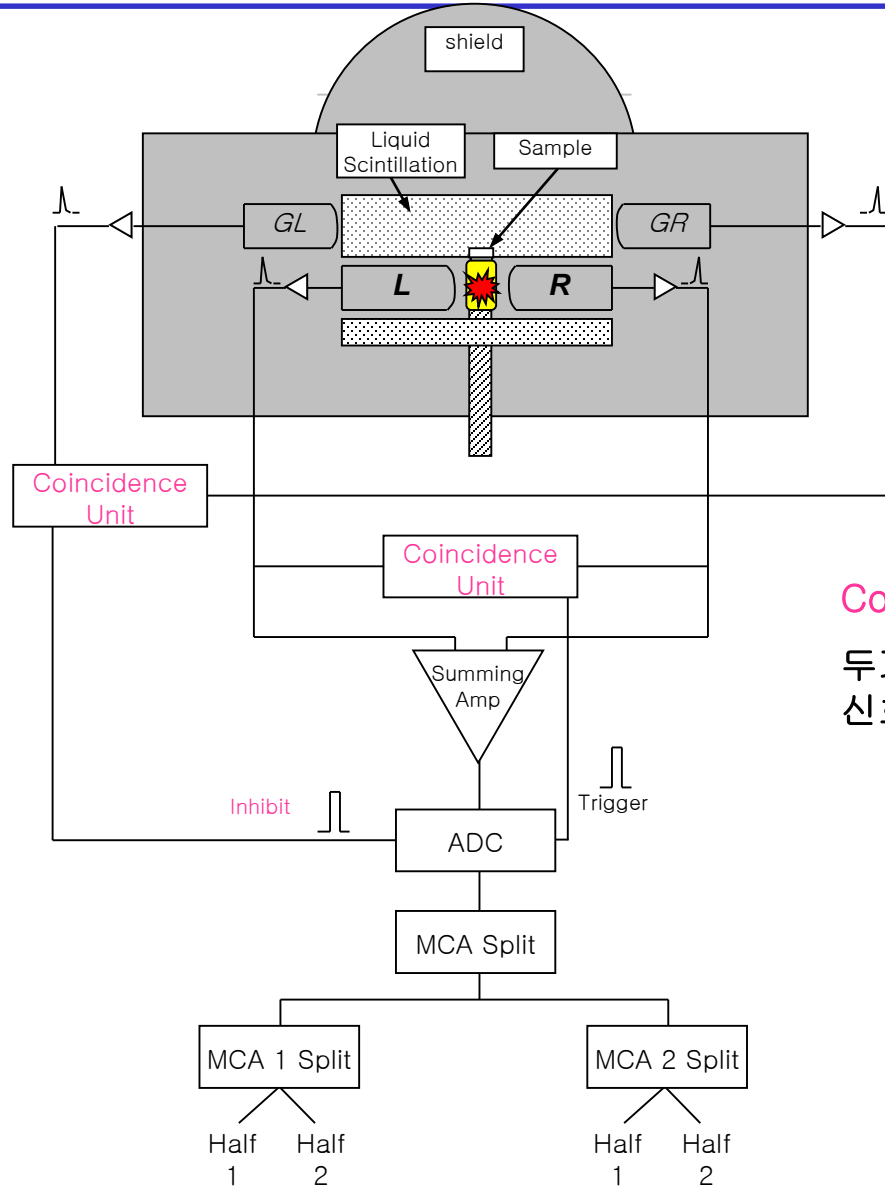
**Teflon-coated vial** : polyethylene vial의 단점 개선,  
낮은 bkg, 저렴한 가격,  
밀봉성 개선



# III. LSC 기기의 구성



## □ 구성



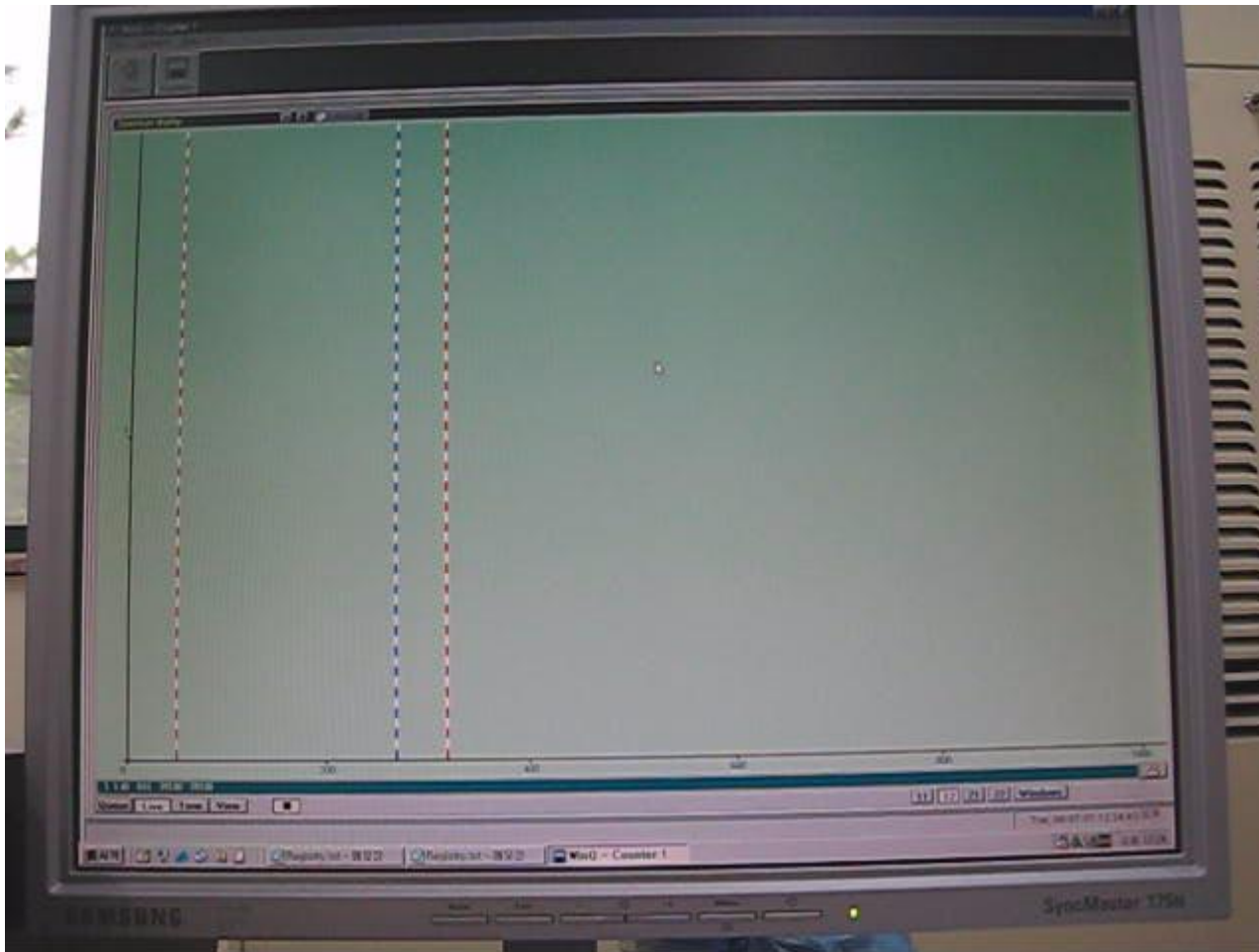
Guard PMT 역할 :

Guard PMT에서 신호는 sample PMT의 신호 통과를 저지 (anti-coincident)

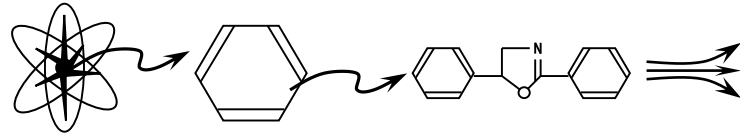
Coincidence unit :

두개의 PMT에서 동시에 신호가 왔을때만 통과시킴

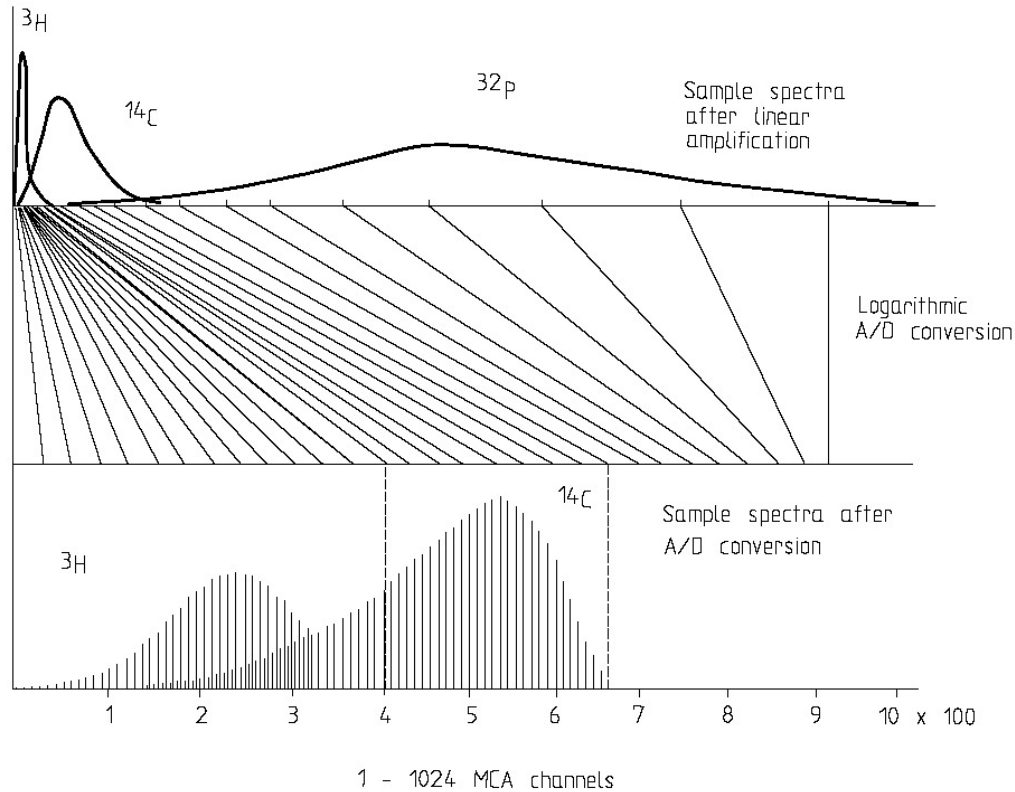
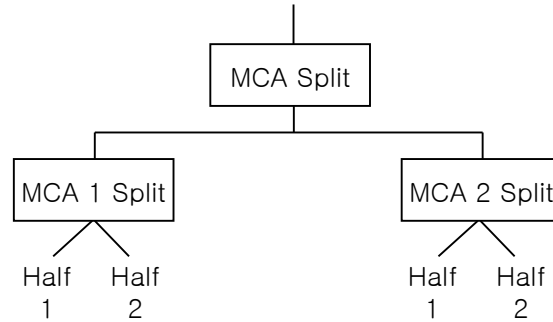
## □ 측정 - H-3 측정 예 (동영상)



# III. LSC 기기의 구성

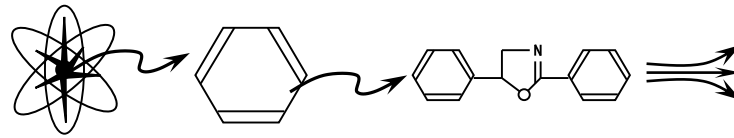


## □ MCA (log 함수)

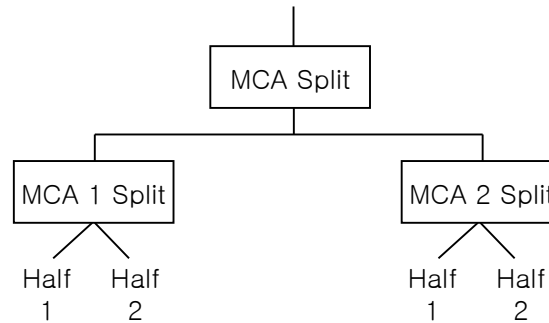




# III. LSC 기기의 구성



## □ Counting mode



WinQ - Counter 1

File System Help (F1)

Users Counters

General Parameters **MCA & Window Settings** Sample Parameters

OK Configuration Alpha / Beta

Send spectra 11,12 PAC N/A

Cancel Number of channels 1024 PSA 100

Coincidence bias Low

Window	MCA	Half	Channels	Window	MCA	Half	Channels
1	1	1	600-800	5	1	1	400-900
2	1	2	600-800	6	1	2	400-900
3	1	1	500-850	7	2	1	100-700
4	1	2	500-850	8	2	1	701-1024

Parameters **MCA & Window Settings**

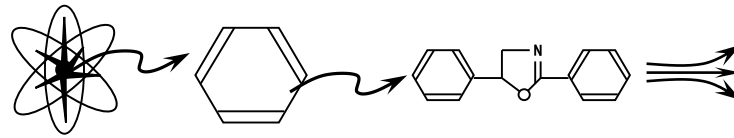
Configuration Alpha / Beta

Send spectra 14C (high energy beta)  
3H (low energy beta)  
Alpha / Beta

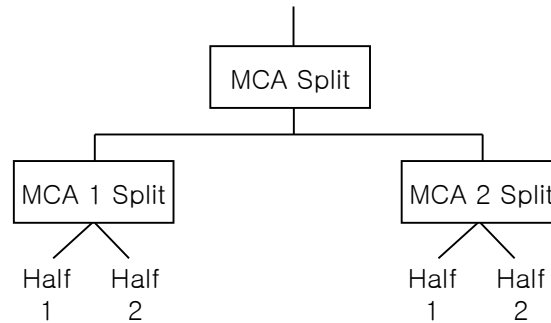
Number of channels Special setup

MCA	Half	Spectrum	Half	Contents
1	1	Beta type events		
1	2	Alpha type events		
2	1	Guard anticoinc. events		
2	2	Guard coincidence events		

# III. LSC 기기의 구성



## □ Counting mode



H-3 counting mode : MCA 11 (random event)

MCA 12 (H-3 spectrum + random event)

C-14 counting mode : MCA 11 (C-14 spectrum),

high bias (low channel의 counts를 기계적으로 제거 → low bkg)

high energy beta선 핵종 계측시 사용

Alpha/beta counting mode : MCA 11 (beta spectrum)

MCA 12 (alpha spectrum)

MCA 21, MCA 22 : guard detector 용, 일반적 분석에는 사용 안함.

# IV. Components of Background in LSC

---

- ❑ Random coincidence
- ❑ Crosstalk
- ❑ 계수기 재질 자체, vial 및 cocktail에서 오는 bkg
- ❑ Cosmic Radiation
- ❑ 지각 및 건축물의 환경 감마선
- ❑ Radio frequency noise
- ❑ 정전기

# IV. Components of Background in LSC

---

## □ bkg의 정의 및 원인

**Bkg의 정의** : 검출기 앞에 어떠한 radiation source도 없을 때 검출기에서 관찰되는 radiation을 bkg라고 함.

**자연 방사선** : 우주선, 천연 방사성 물질에 기인, 검출기 구성 재료중 방사성 물질  
bkg의 대부분은 천연 방사성 물질

**주위의 방사선원** : 기기 주변에 존재하는 다른 선원,  
검출기 및 차폐체 등의 방사능 오염 등

**방사선 이외의 효과** : 전기적 노이즈

# IV. Components of Background in LSC

## □ Random coincidence

PMT 자체의 noise에 의해 유래됨

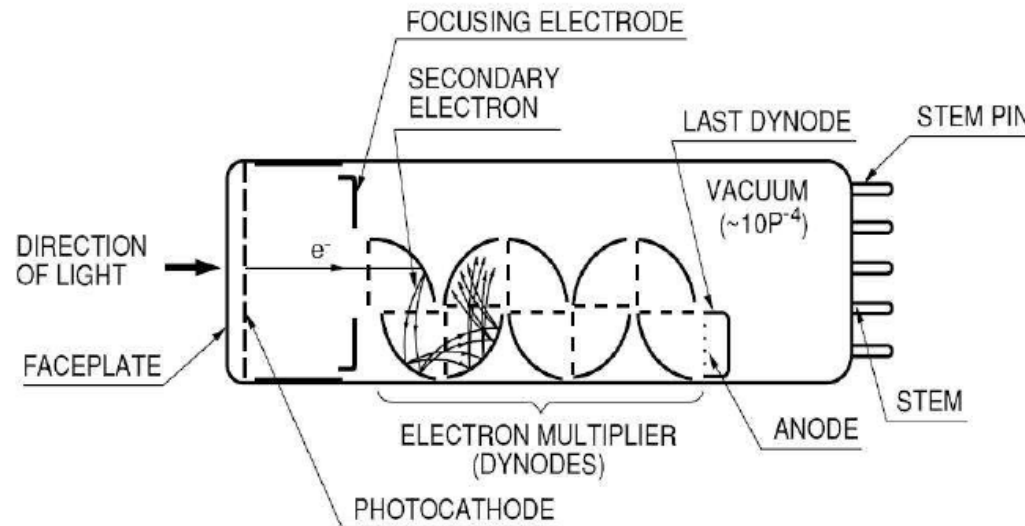
$$N = 2 N_1 \times N_2 \times T \quad (T : \text{PMT의 분해능})$$

ex)  $T = 20 \text{ ns}$ ,  $N_1 = N_2 = 40,000 \text{ cpm}$  이라면,  $N = 1.1 \text{ cpm}$

일반적으로 LSC에 사용되는 PMT noise는 4,000 cpm 이하, 이경우  $N=0.01 \text{ cpm}$

## □ Radio frequency noise

## □ 정전기



# IV. Components of Background in LSC

---

❑ Random coincidence

❑ Crosstalk

- PMT 표면에서의 체렌코프 현상이나 electron discharge의 결과로 생긴 빛을 감지
- 체렌코프 유발 요인 : 우주선, 우라늄과 토륨의 decay series에 있는 핵종,  $^{40}\text{K}$ 에서 방출되는 high energy beta 선
- 양쪽 PMT에서 동시 감시되거나 신호의 크기가 다름
- PAC (Pulse Amplitude Comparison) 회로에 의해서 제거 됨.

# IV. Components of Background in LSC

---

□ Random coincidence

□ Crosstalk

□ **계수기 재질 자체, vial 및 cocktail에서 오는 bkg**

- 기기 자체에 포함된 방사능 물질에 의한 bkg → 저준위 납과 전도도 높은 구리 사용
- 유리 vial의  $^{40}\text{K}$ 이 체렌코프 광 발생 하여 H-3 분석시 bkg 상승  
 $^{40}\text{K}$ 이 cocktail과 반응하여 spectrum의 high channel쪽에 noise 유발
- bkg : 유리 > quartz > polyethylene > Teflon  
인광 : nylon > polyethylene > glass

# IV. Components of Background in LSC

---

❑ Random coincidence

❑ Crosstalk

❑ 계수기 재질 자체, vial 및 cocktail에서 오는 bkg

❑ **Cosmic Radiation**

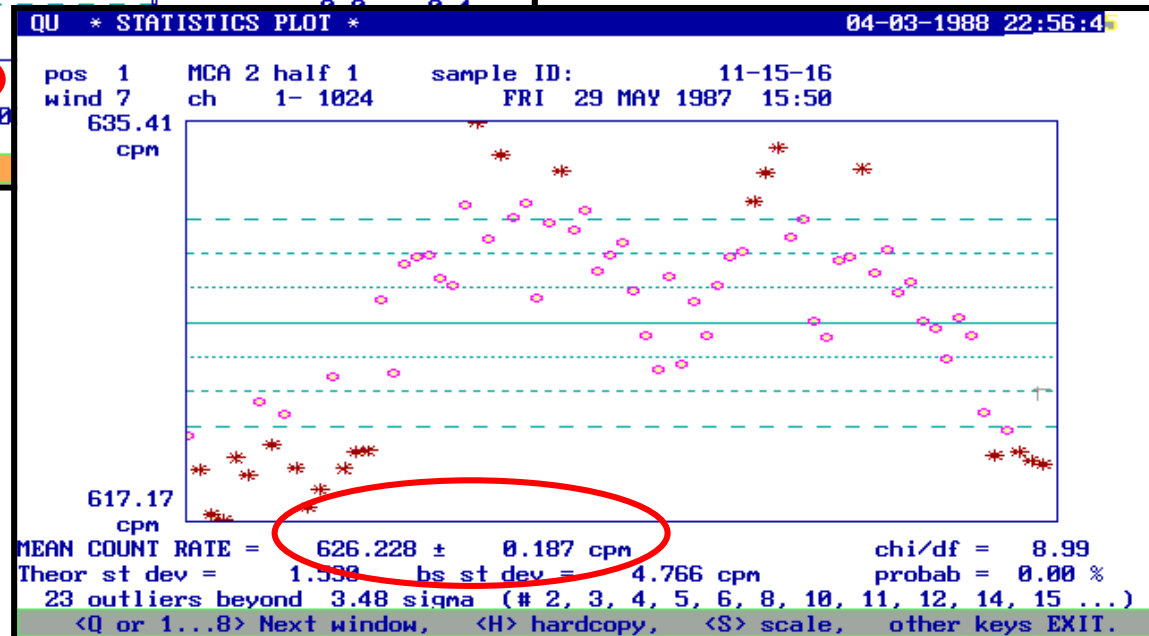
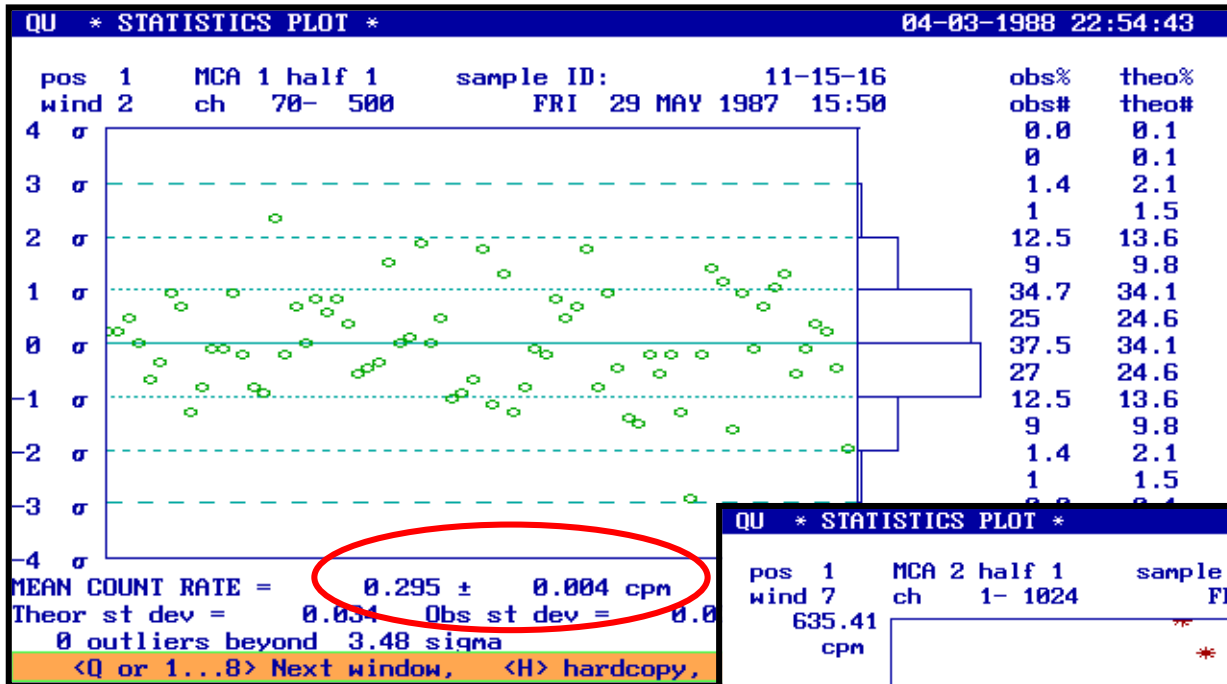
➤ High energy muon, proton, electron ( $170 \text{ particles/s/m}^2$ )

➤ Passive shield와 anti-coincidence guard counter에 의해서 제거

❑ 정전기



# IV. Components of Background in LSC



# IV. Components of Background in LSC

---

- Random coincidence
- Crosstalk
- 계수기 재질 자체, vial 및 cocktail에서 오는 bkg
- Cosmic Radiation
- **지각 및 건축물의 환경 감마선**

- 환경에서 오는 감마선에 의한 compton 효과 → passive shielding으로 제거
- 가능한한 환경 준위가 낮은 실험실이 최적

# IV. Components of Background in LSC

---

- ❑ Random coincidence
- ❑ Crosstalk
- ❑ 계수기 재질 자체, vial 및 cocktail에서 오는 bkg
- ❑ Cosmic Radiation
- ❑ 지각 및 건축물의 환경 감마선
- ❑ **Radio frequency noise**
- ❑ **정전기**

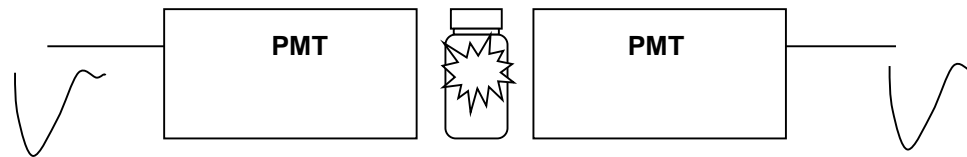
- Radio frequency noise를 제거하기 위해 안테나 설치하기도 함.
- 정전기 제거를 위해 deioniser를 사용하기도 함, 정전기 방지 스프레이 사용

# IV. Components of Background in LSC

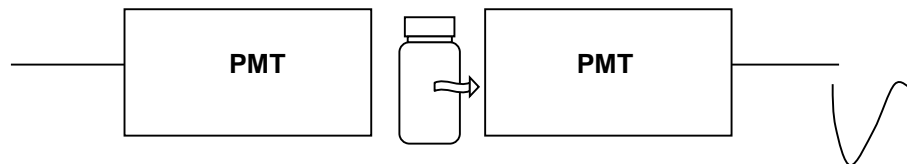
## □ Chemiluminescence (화학 발광)

- Chemical energy에 의해 생성되는 빛
- 환경시료중 H-3 분석에 매우 중요함
- Single photon event
- 그러나 coincident gate의 분해능 시간보다 짧게 동시에 일어나면 beta event로 간주
- 낮추는 법
  - 시료의 pH를 7 이하로 만든다
  - 35 °C 이상 증탕 (burning-off)
  - 저온에서 계측 (화학반응 속도 저하)

Beta event

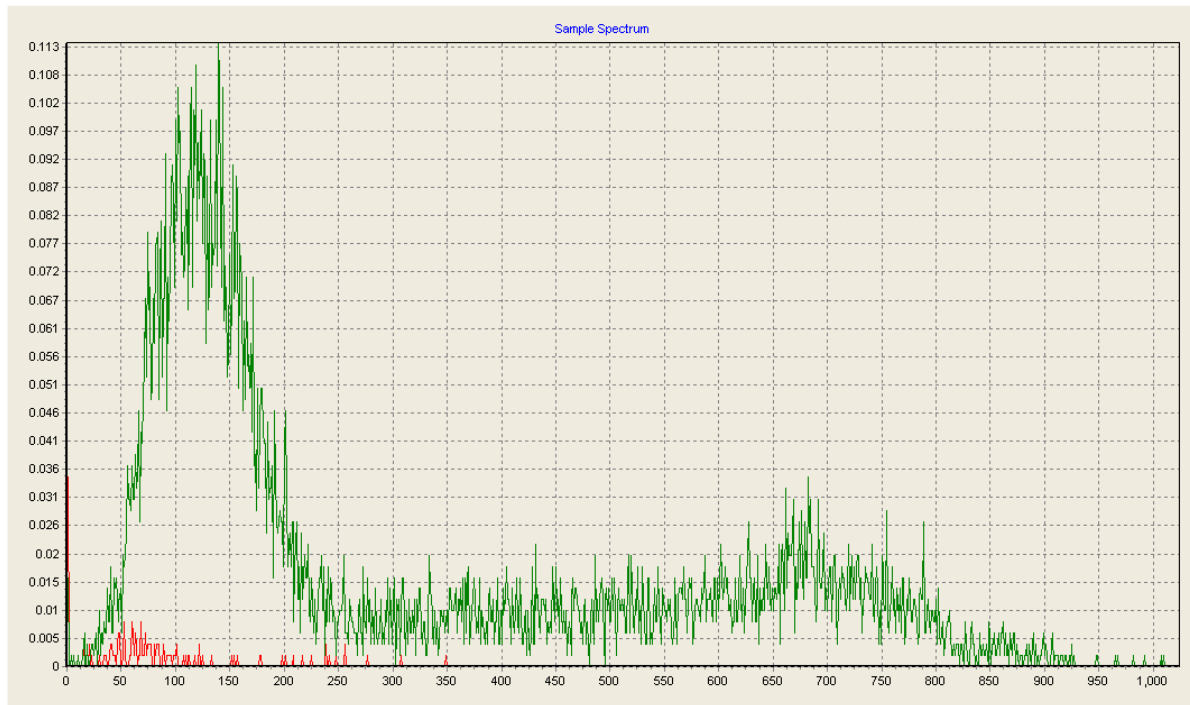


Chemiluminescence event



# IV. Components of Background in LSC

## □ Chemiluminescence (화학 발광)



➤ 보정 : sp12 - sp11

# V. Quenching

---

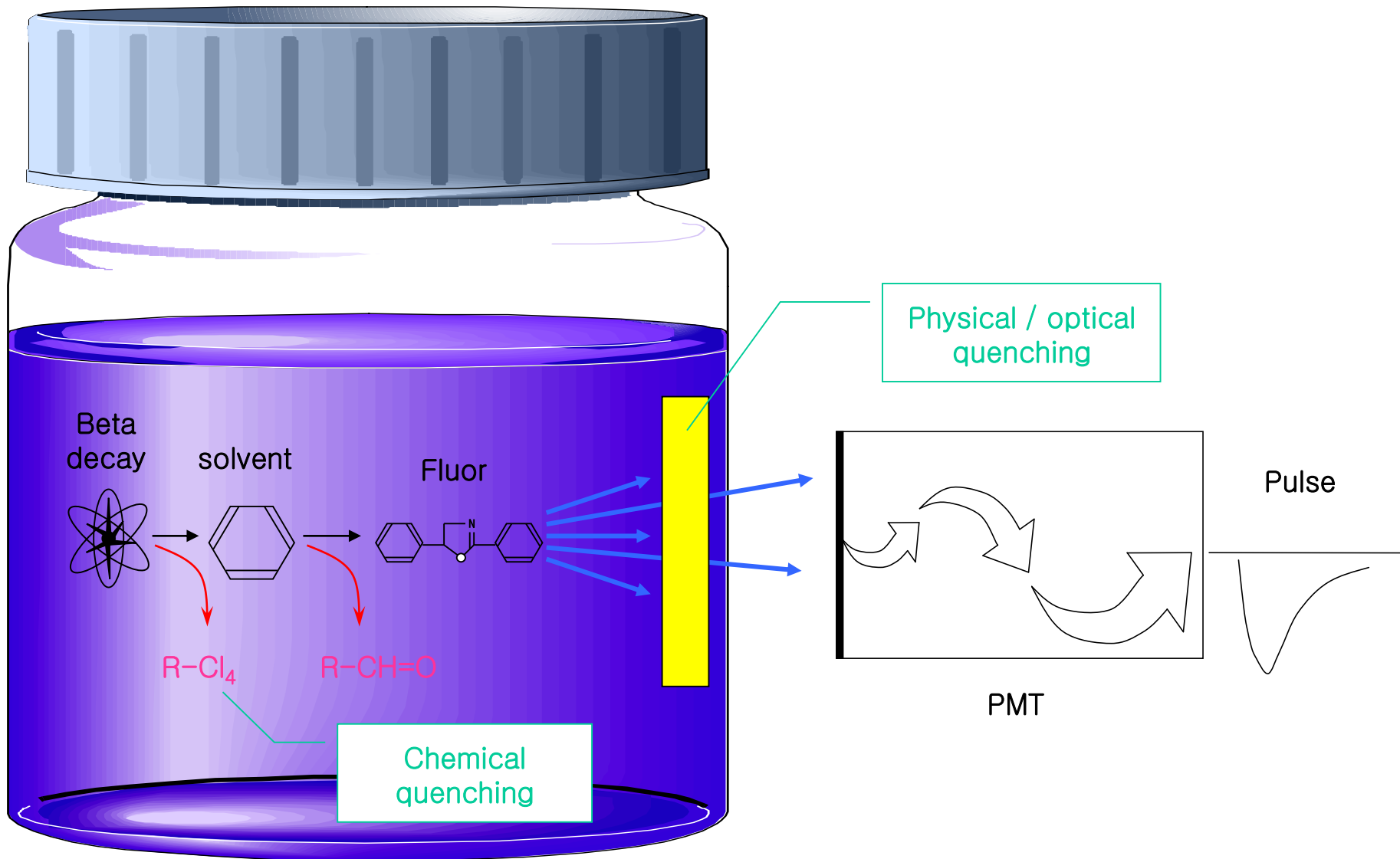
- Quenching (消光현상) : Beta event에서 부터 생성된 빛이 PMT까지 가는 경로에서 빛의 세기, 즉 photon의 개수가 감소하는 현상
  - 결과적으로 PMT의 전기적 pulse의 크기를 감소 시킨다.
  - spectrum의 peak를 낮은 에너지쪽으로 shift 시킴

**Chemical quenching**

**Optical quenching (color quenching)**

**Physical quenching**

# VI. Quenching의 원인



# V. Quenching

---

## □ Chemical quenching

## □ Optical quenching (color quenching)

## □ Physical quenching

- 여러가지 기작으로 Fluor의 excitation을 방해함
- **Dilution quenching** : 시료의 혼합으로 primary solvent의 희석 효과
- **Halogen 원소** (Cl, Br, I, etc) : 베타선(전자)를 끌어당김
- **Inhibition quenching** : excitation된 solvent의 energy가 fluor로 전달되지 못 함  
이중결합이나 삼중결합이 많은 원소
- 계측시료 조제시 신중히 고려해야함.



# V. Quenching

## ☐ Chemical quenching

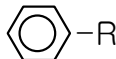
## ☐ Optical quenching (color quenching)

## ☐ Physical quenching

---

Structure as quenching agents

---

Aromatic hydrocarbon	 -R	None
Other hydrocarbons	R-H	↓
Ethers	R1-O-R2	dilution
Alcohols	R-OH	↓
Water	H-O-H	↓
Esters	R1-C=O-O-R2	inhibition quenching (mild)
Organic acid	R-C=O-O-H	↓
Aldehyde	R-CH=O	↓
Ketone	R1-C=O	↓
Amine	R-NH <sub>2</sub>	inhibition quenching (strong)
Poly-Chloride	R-Cl <sub>3</sub> , R-Cl <sub>4</sub>	↓
Heavy halide	R-Br, R-I	↓
Nitrogroups	R-NO <sub>2</sub>	↓

---

# V. Quenching

---

## □ Chemical quenching

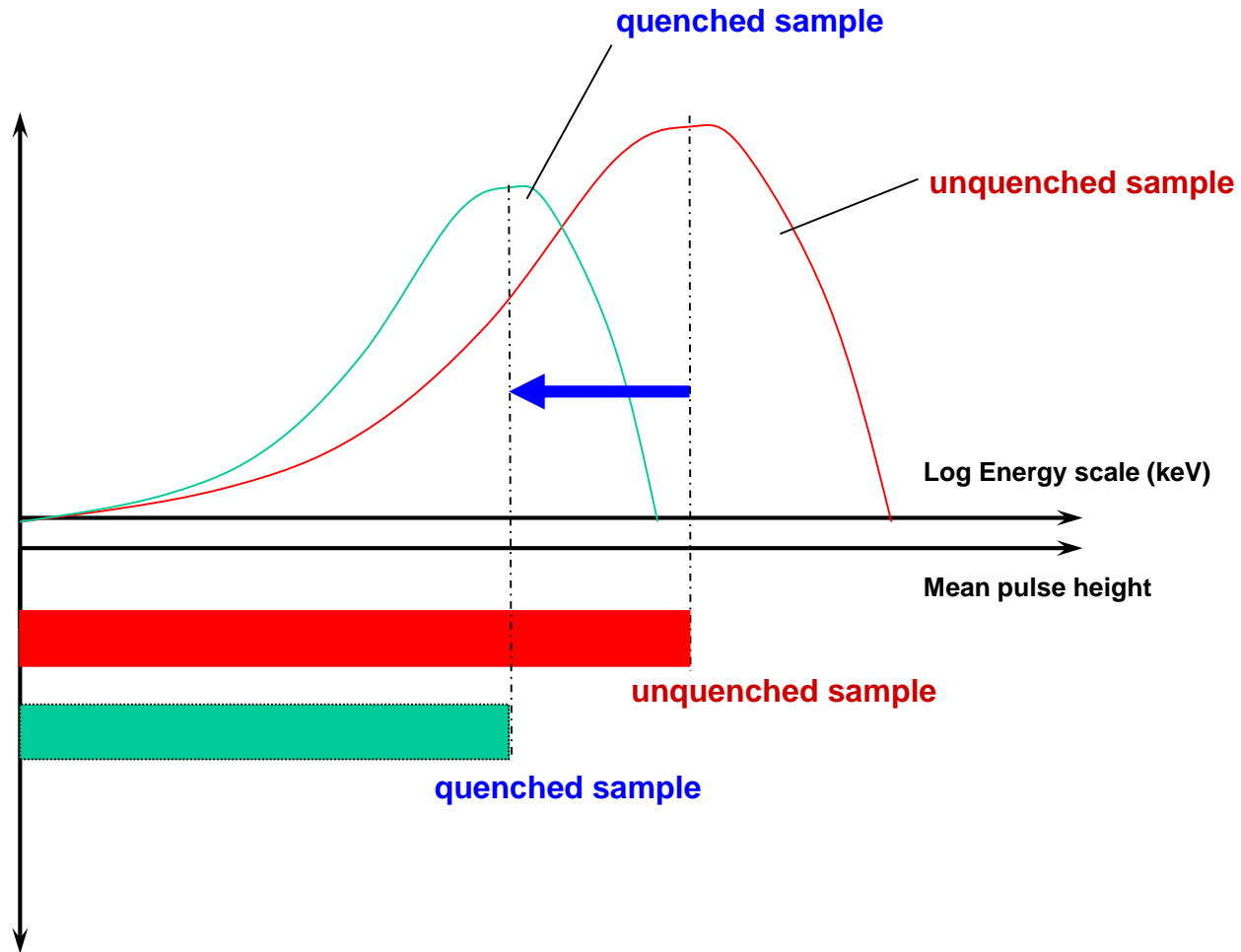
## □ Optical quenching (color quenching)

- Fluor (scintillator) 부터 생성된 빛이 색소물질 등에 의해 흡수 되는 현상

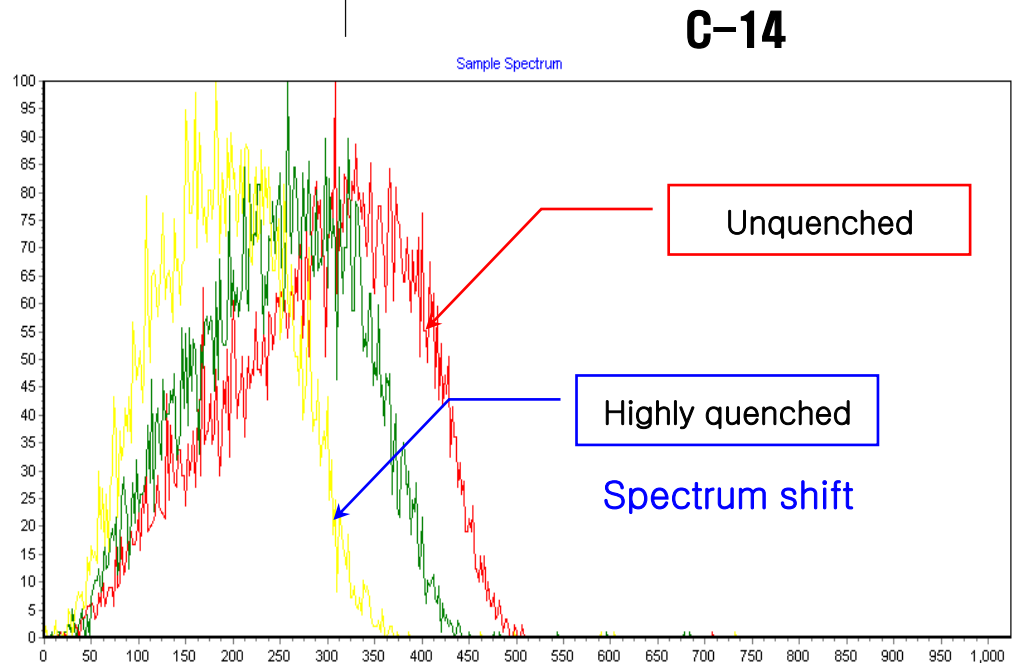
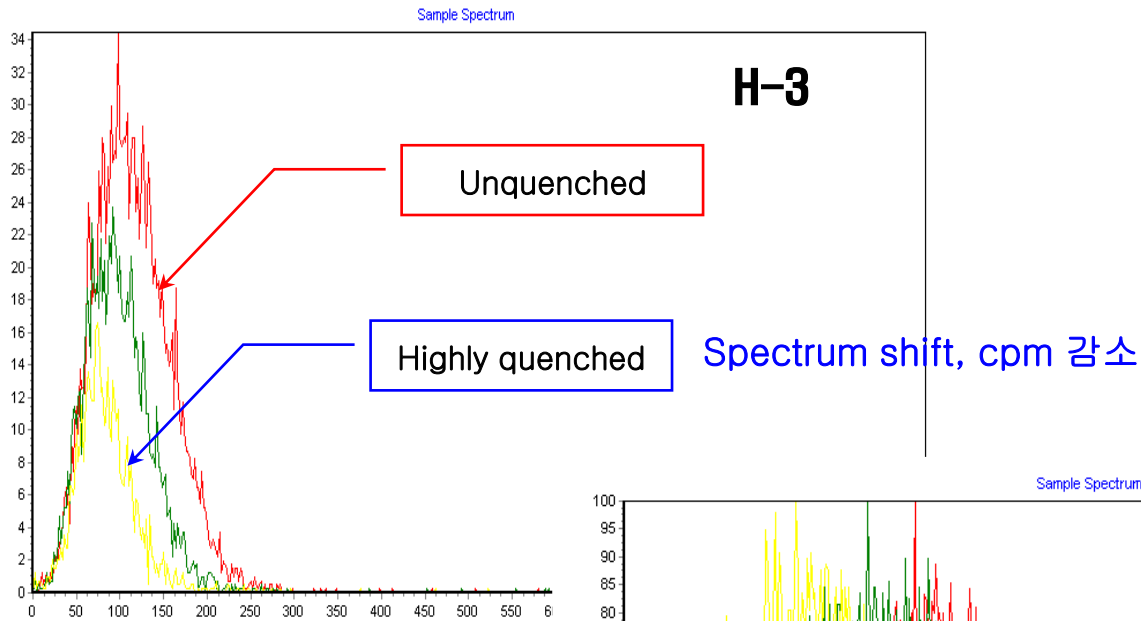
## □ Physical quenching

- 빛의 산란 때문에 PMT로 가는 빛의 양이 줄어 드는 현상  
시료중의 침전물, 부유물, vial 재질에 의한 굴절 등

# V. Quenching



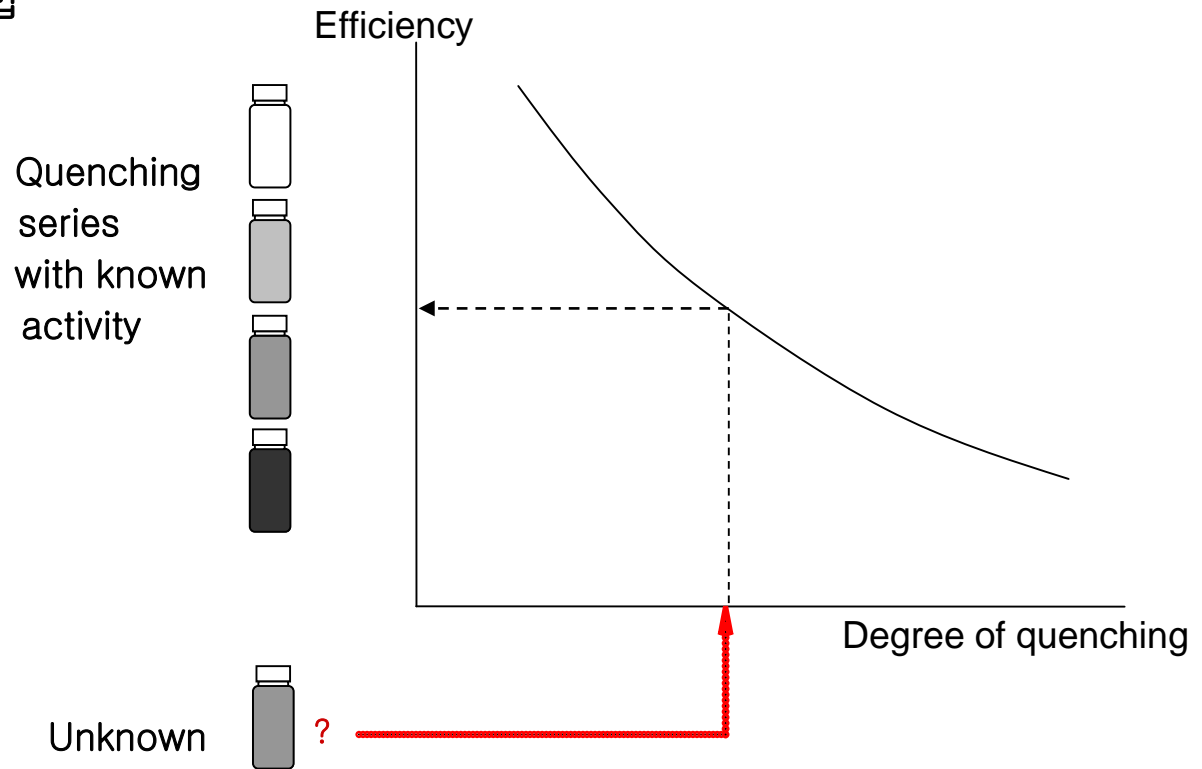
# V. Quenching



# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Principle of Quenching Correction

- 표준시료 대비법 : 동일한 방법으로 blank, std, sample 을 만들어 계측
- 소광보정곡선법

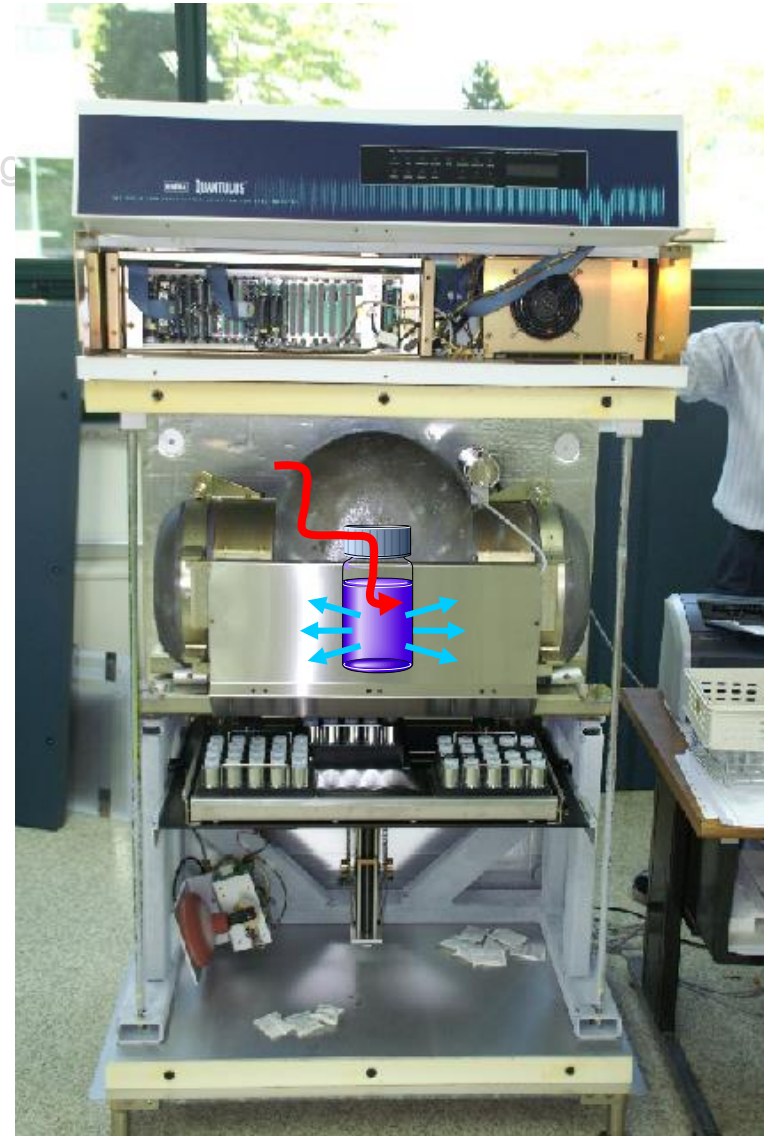
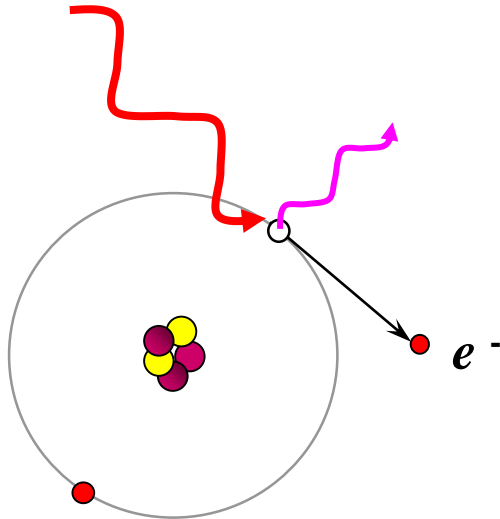


$$\text{Activity (DPM)} = \text{CPM} / \text{efficiency}$$

# VII. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Parameter의 측정

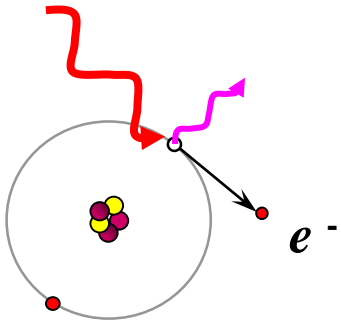
- Standard Quenching Parameter : quenching
- SQP(i)
- SQP(e) : 시료 계측 직전에 외부 감마선을 수 십초 조사하여 얻은 Compton spectrum을 이용



# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Parameter의 측정

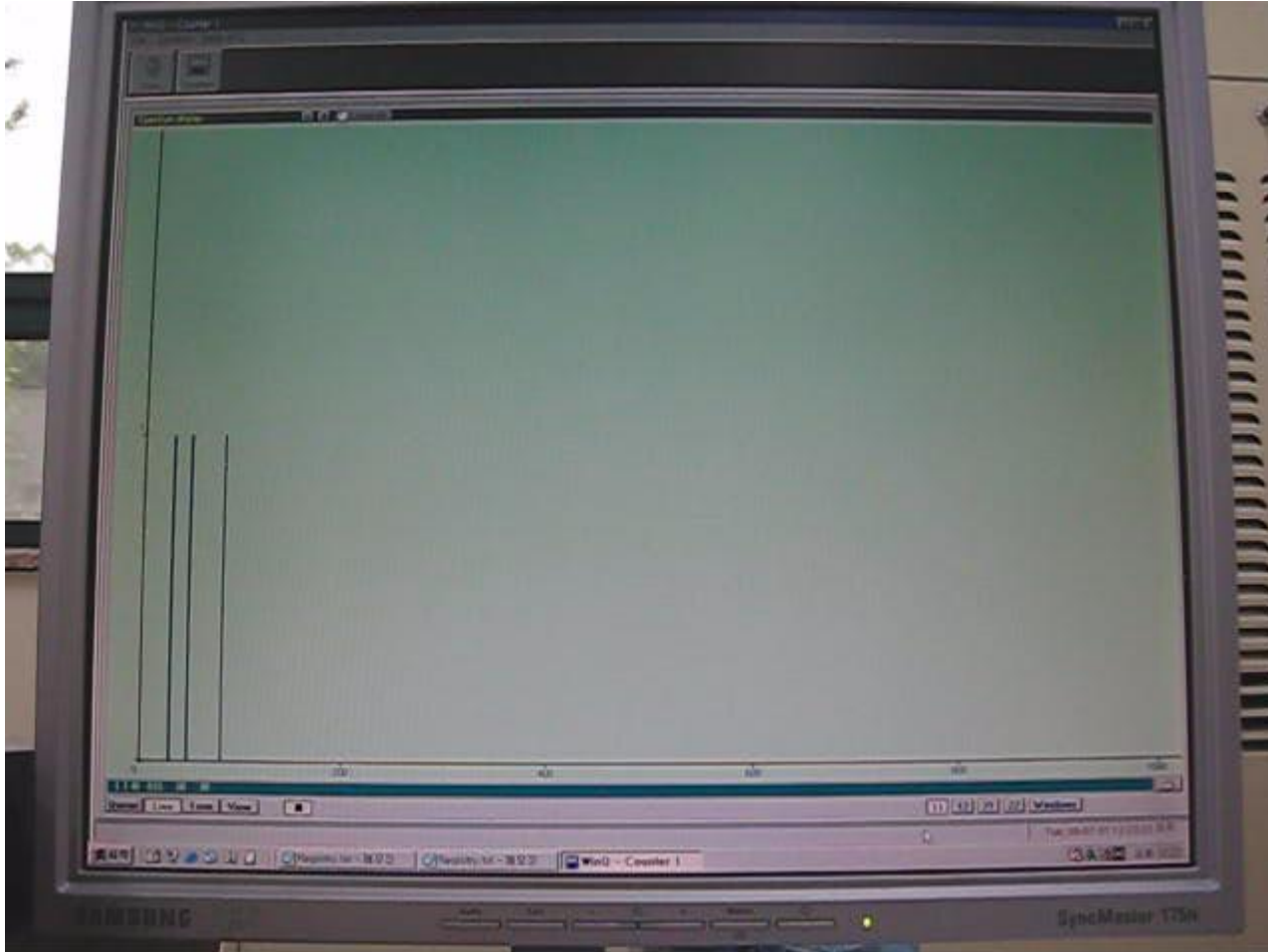
- Standard Quenching Parameter : quenching의 정도를 표준화
- SQP(i)
- **SQP(e)** : 시료 계측전에 외부 감마선을 일정 시간 조사하여 얻은 **Compton spectrum**의 1% 끝 지점에 해당하는 채널 번호
- Quenching이 일어나면 왼쪽으로 shift



SQP(E) based on Ra-226 external standard  
(unquenched sample)

# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

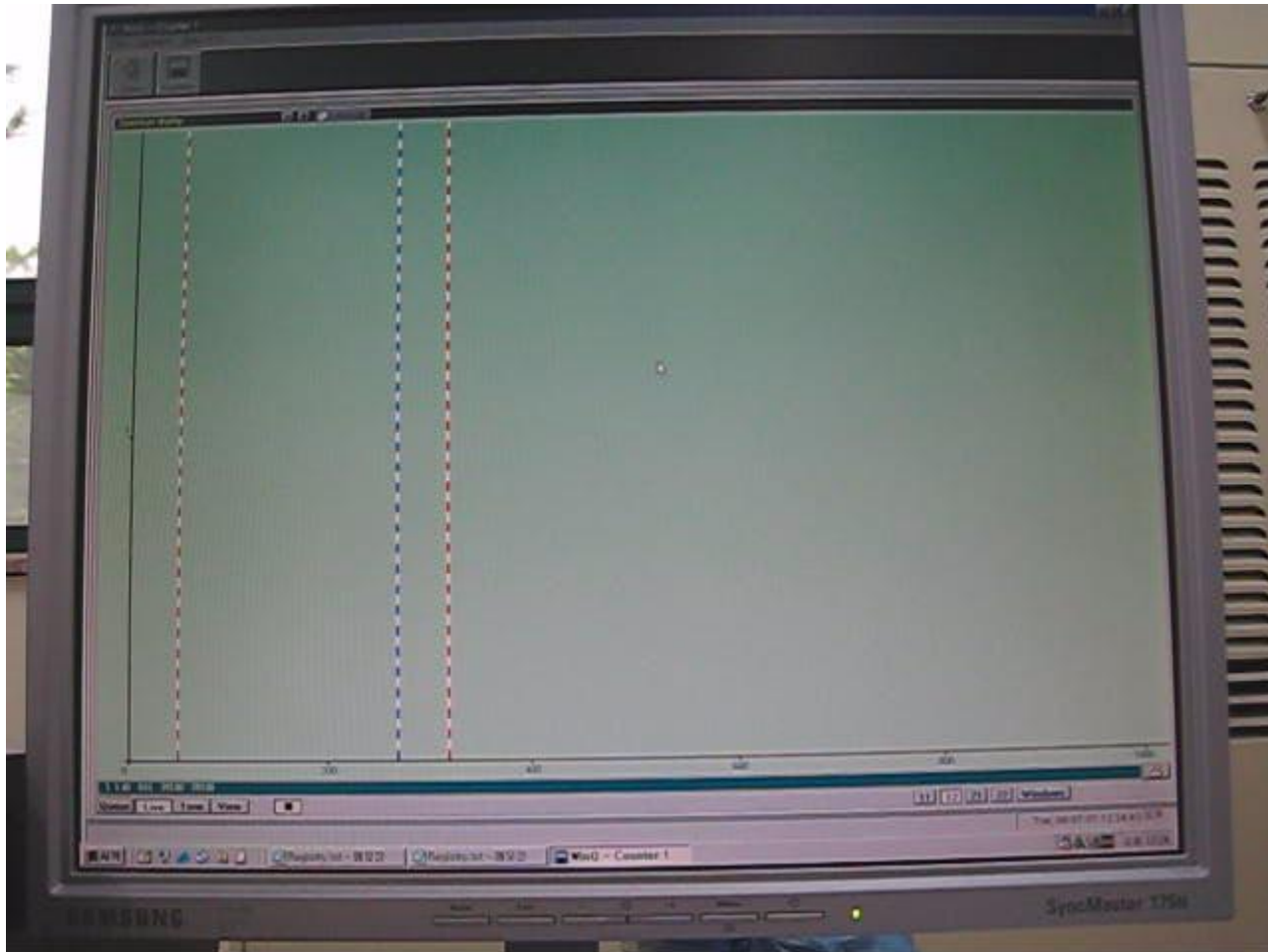
## □ 측정 - SQP(e) 측정 예 (동영상)





---

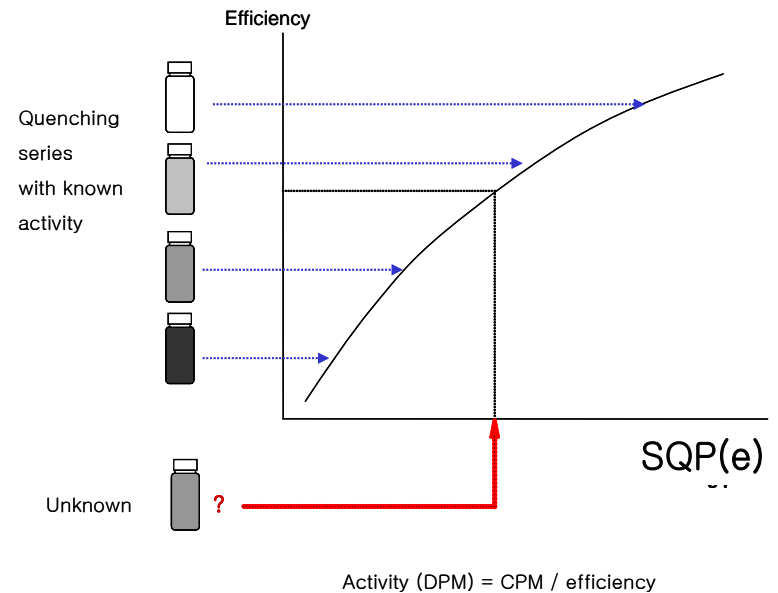
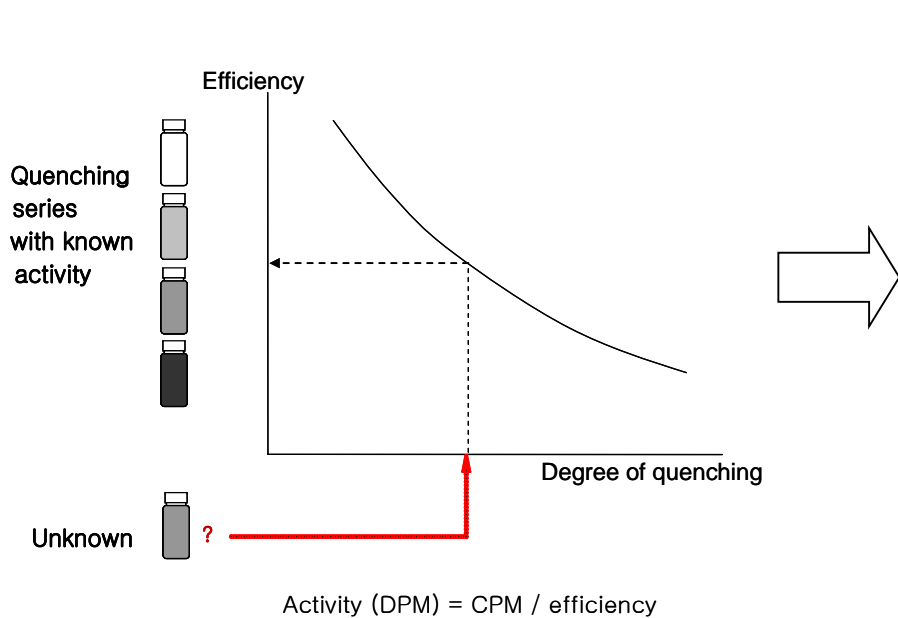
## □ 측정 - H-3 측정 예 (동영상)



# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

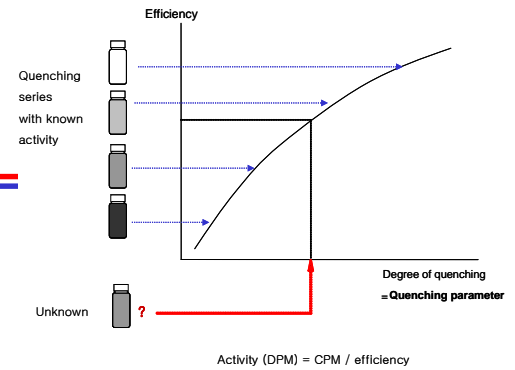
## □ Quenching Parameter의 측정

➤ Quenching ↑, SQP(e) ↓



# VII. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Correction (예, 삼중수소)



### Quenching 보정용 표준선원 조제방법



시료번호	<sup>3</sup> H standard vol.(ml)	Trtium free water vol.(ml)	Scintillator vol. (ml)	합계(ml)
STD(5+15)	1	4	15	20
STD(6+14)	1	5	14	20
STD(7+13)	1	6	13	20
STD(8+12)	1	7	12	20
STD(9+11)	1	8	11	20
STD(10+10)	1	9	10	20
STD(11+9)	1	10	9	20
STD(12+8)	1	11	8	20

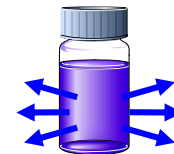
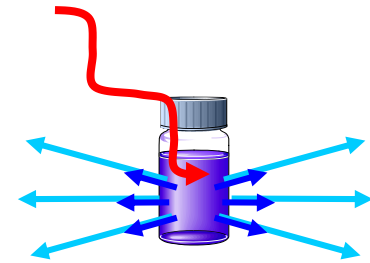
# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Correction (예, 삼중수소)

제조한 8개의 표준 시료 set를 계측









<계측되는 순서>

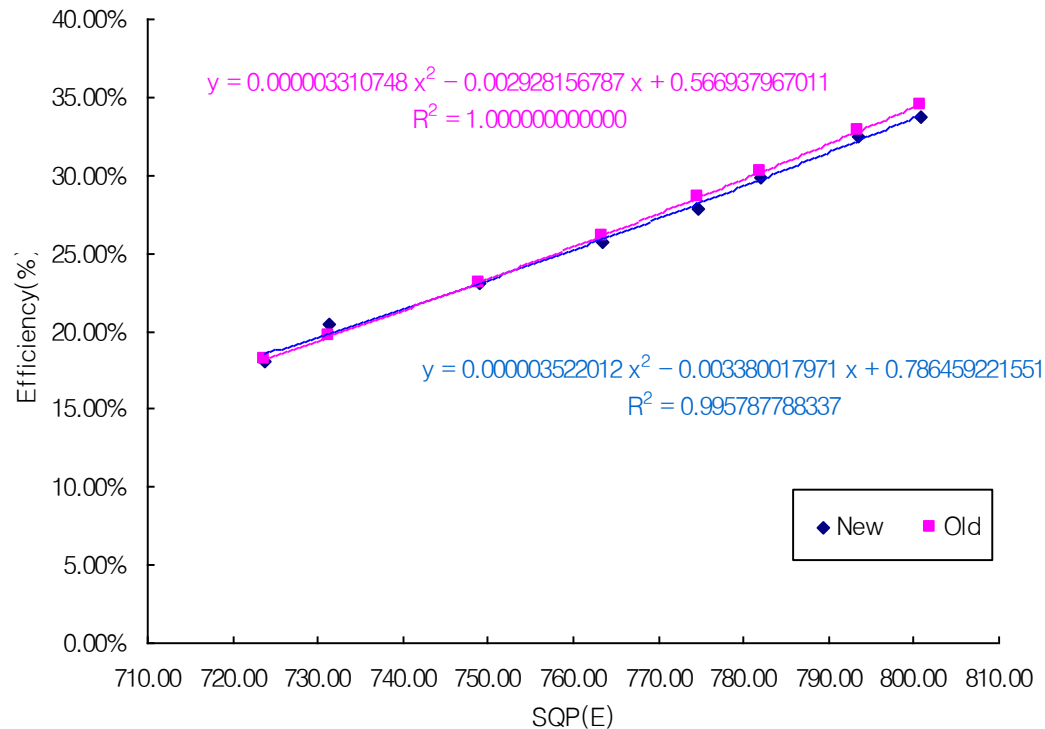
1. 시료 장착
2. Ra-226 밀봉선원 load
3. Compton scattering 측정 → SQP(e)
4. Ra-226 밀봉선원 unload
5. 시료에서 방출되는 베타선 측정 → H-3 cpm



# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Correction (예, 삼중수소)


								
	std 5+15	std 6+14	std 7+13	std 8+12	std 9+11	std 10+10	std 11+9	std 12+8
평균 cpm	519.9	499.5	460.6	428.7	395.4	356.6	316.1	278.1
SQP(e)	800.8	793.6	782.0	774.6	763.4	748.9	731.4	723.8
효율 (%)	33.70	32.48	29.89	27.85	25.65	23.12	20.49	18.03



# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ Quenching Correction (사염화탄소, CCl<sub>4</sub>)

Quenching 보정용 표준선원 조제방법 (계측시료 : 20 ml)

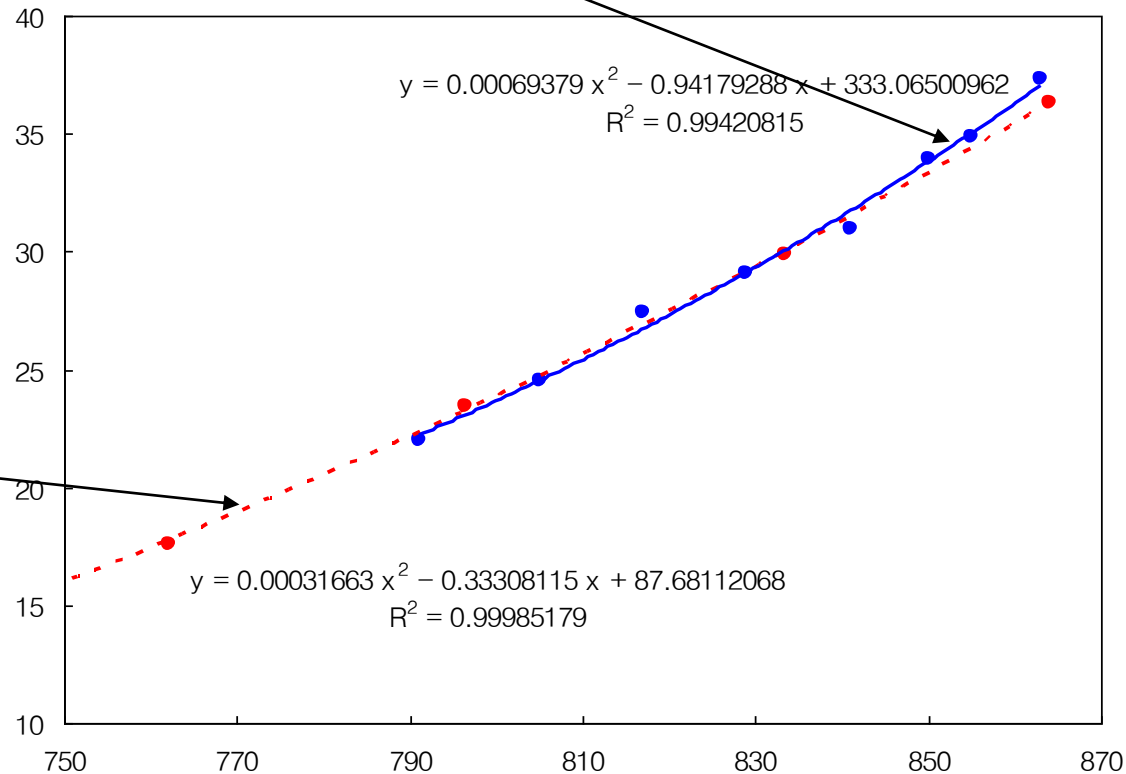


시료번호	Standard source vol.(ml)	Scintillator vol. (ml)	H <sub>2</sub> O (ml)	CCl <sub>4</sub> vol.(μl)
1	1	18	1	0
2	1	18	0.99	10
3	1	18	0.98	20
4	1	18	0.97	30
5	1	18	0.96	40
6	1	18	0.95	50
7	1	18	0.94	60
8	1	18	0.93	70

# VI. Quenching 보정 (효율 교정)

## □ $^3\text{H}$ UltimaGold Low level Quenched Standard set (PerkinElmer)

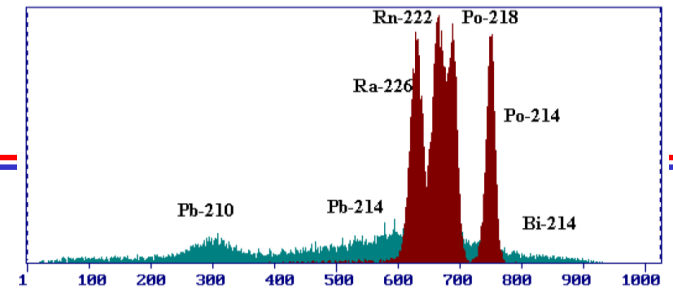
- Amersham 액체 H3 표준선원
- Perkin Elmer quenched std set



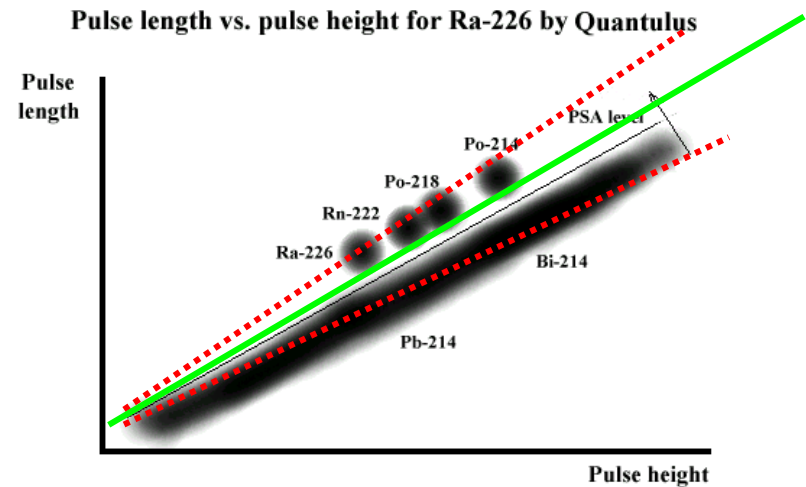
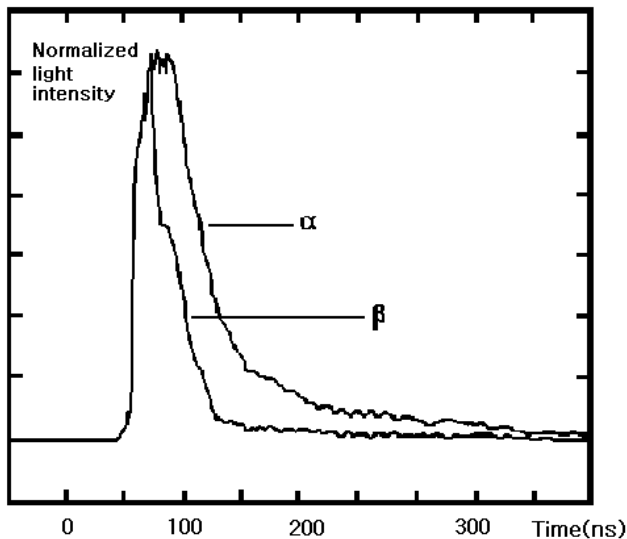
# VII. PSA

## □ PSA (Pulse Shape Analysis)

- Pulse의 모양을 비교하여 알파선과 베타선을 구별
- 베타선, 감마선, X-선 : 즉발형광 (prompt fluorescence), 수  $10^{-9}$  초
- 알파선 : 지발형광 (delayed fluorescence), 수백  $10^{-9}$  초



$$PSA = \text{펄스길이} / \text{펄스높이} \times 100$$

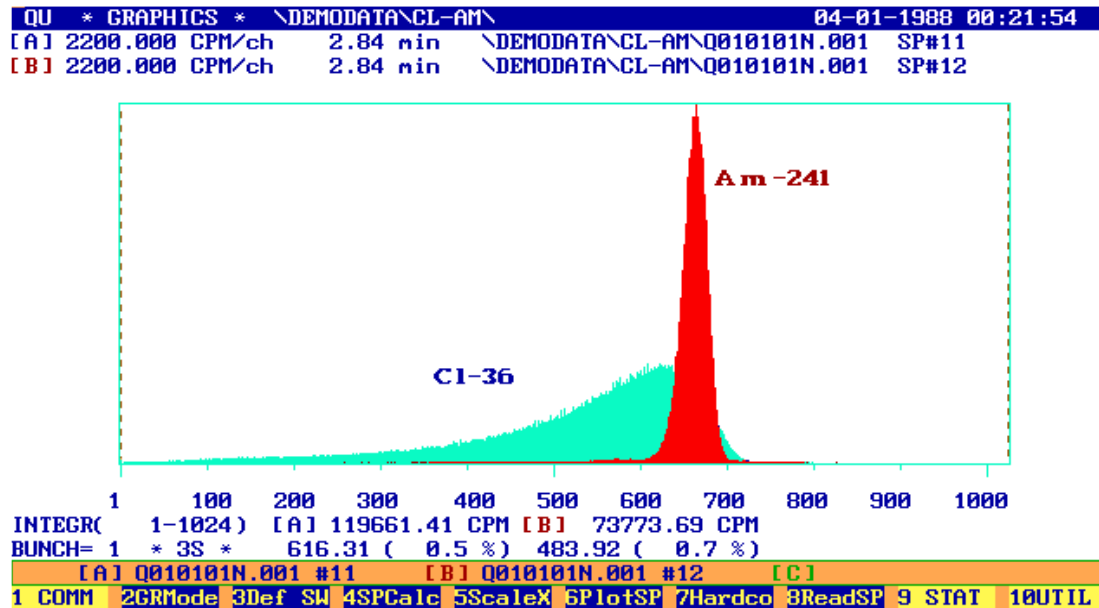




# VII. PSA

## □ 최적 PSA (Pulse Shape Analysis) 준위 설정

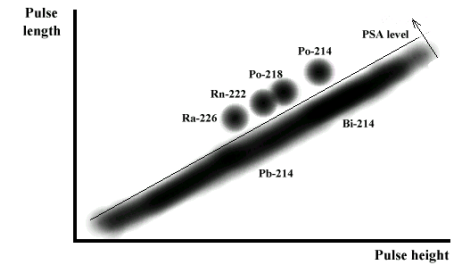
- $^{241}\text{Am}$  (순수 알파선 핵종),  $^{36}\text{Cl}$  (순수 베타선 핵종)



# VIII. PSA

## □ 최적 PSA (Pulse Shape Analysis) 준위 설정

Pulse length vs. pulse height for Ra-226 by Quantulus

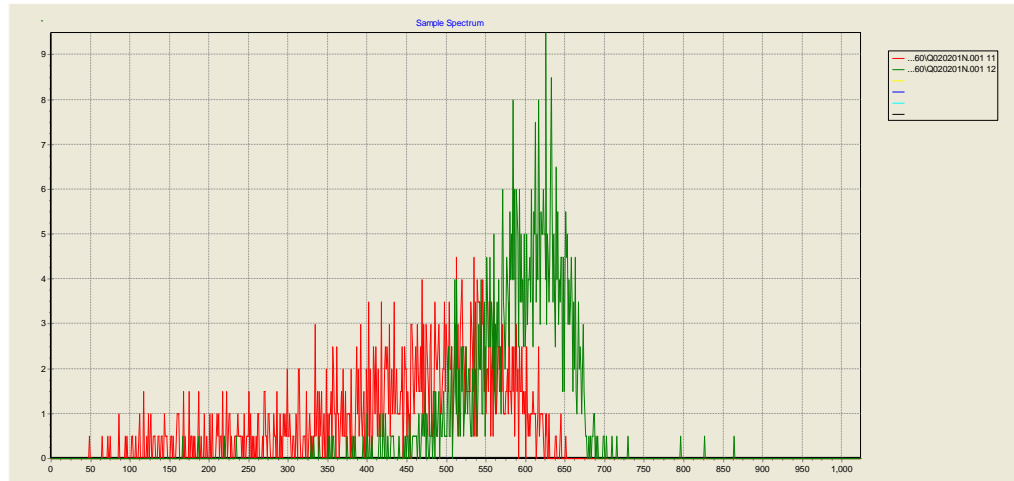


$^{241}\text{Am}$



PSA = 60

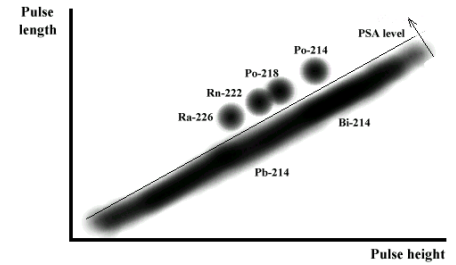
$^{36}\text{Cl}$



PSA = 60

# VIII. PSA

Pulse length vs. pulse height for Ra-226 by Quantulus



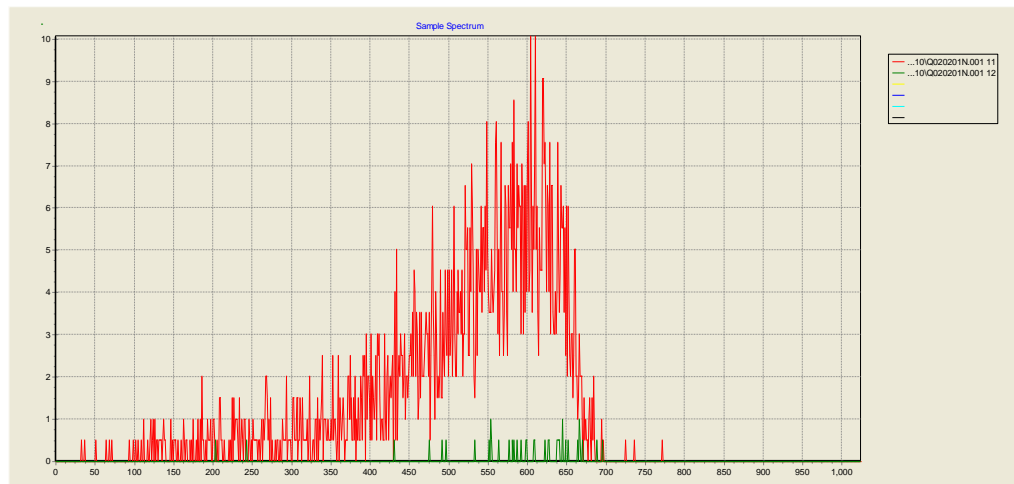
## □ 최적 PSA (Pulse Shape Analysis) 준위 설정

$^{241}\text{Am}$



PSA = 140

$^{36}\text{Cl}$



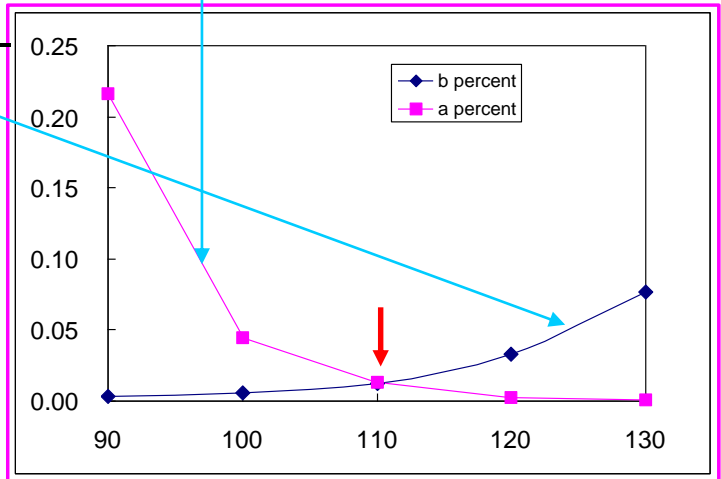
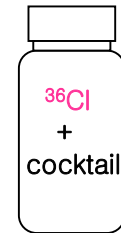
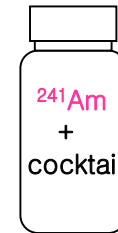
PSA = 140

# VII. PSA

## □ 최적 PSA (Pulse Shape Analysis) 준위 설정

Table. Percentage alphas in Am-241 and Cl-36 standard samples observed in the alpha window as a function of PSA level setting in a Quantulus 1220™

PSA	Am-241			Cl-36		
	cpm in $\beta$ window	cpm in $\alpha$ window	$\beta$ percent*	cpm in $\beta$ window	cpm in $\alpha$ window	$\alpha$ percent**
90	4.2	1333	0.003	919	254	0.217
100	7.46	1337	0.006	1111	52.3	0.045
110	16.7	1321	0.012	1154	15.5	0.013
120	44	1286	0.033	1169	2.9	0.002
130	103	1246	0.076	1169	0.64	0.001



\*  $\beta$  percent = (cpm in  $\beta$  window / total cpm in  $\alpha$  and  $\beta$  windows)  $\times$  100

\*\*  $\alpha$  percent = (cpm in  $\alpha$  window / total cpm in  $\alpha$  and  $\beta$  windows)  $\times$  100

# VIII. Application

---

## □ LSC의 특징

- 용액형태의 시료를 계측할 수 있다 (계측용 시료 조제가 간단)
- Self-absorption이 거의 없음
- 계측 효율이 높으나( $4\pi$ ) bkg 계수율이 높음
- 다수의 시료를 자동으로 처리할 수 있음
- 동시에 알파선과 베타선 핵종을 분석할 수 있음
- $^3\text{H}$  분석에 거의 유일하게 사용된다.

# VIII. Application

---

- $^3\text{H}$  분석
- $^{14}\text{C}$  분석
- $^{226}\text{Ra}$  분석
- $^{222}\text{Rn}$  분석

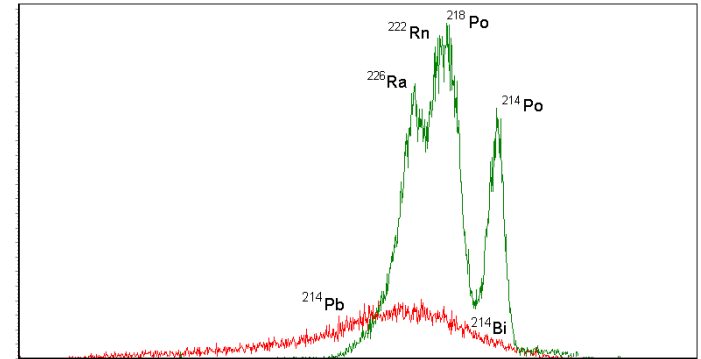


# VIII. Application – $^{226}\text{Ra}$

## □ $^{226}\text{Ra}$

- 토양, 건축자재, 지하수 등
- $\text{BaSO}_4$  로 공침 후 EDTA로 정제
- 계측 :  $\text{BaSO}_4$  + InstaGel XF  
또는  $\text{BaSO}_4 \rightarrow$  인산 용융  $\rightarrow$  Toluene 계 cocktail

Counts



Channel number

## □ $^{222}\text{Rn}$

- 공기, 지하수 등에 존재하는  $^{222}\text{Rn}$
- 지하수 : 지하수 + Hisafe III  $\rightarrow$  3 시간후 계측
- 공기중 라돈 : Charcoal로 공기중 라돈 흡착 후  
Toluene계 cocktail로 추출후 계측



감사합니다.