

원자력 이론

제1장 핵물리

1.0 기본 물리량 및 단위

1.1 에너지와의 관계

1. 질량과 에너지와의 관계식

: 아인슈타인의 질량과 에너지의 등가성 원리

$$E = mc^2$$

※ 질량과 에너지는 서로 변환된다.

※ 질량과 에너지의 환산 응용

- 1> 원자핵의 질량 결손
- 2> 방사성 붕괴의 Q치
- 3> 원자핵 반응의 Q치
- 4> 전자, 양자의 정지질량 에너지

2. Electron Volt (eV) : E 의 단위

① 1 eV의 정의 : 전자 1개가 1V의 전위차를 움직여서 얻은 운동 E

즉 1C의 전기량을 갖는 입자가 1V의 전위차를 움직여서 얻은 E가 1J이므로

$$\begin{aligned} 1eV &= 1.602 \times 10^{-19} [C \cdot V] \\ &= 1.602 \times 10^{-19} [C \cdot N \cdot C^{-1} \cdot m] \\ &= 1.602 \times 10^{-19} [N \cdot m] \\ &= 1.602 \times 10^{-19} [J] \\ &= 1.602 \times 10^{-12} [erg] \end{aligned}$$

② 전자 1개를 E로 환산

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \text{에서} \\ &= 9.10955 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 8.198595 \times 10^{-14} [J] \\ &= \frac{8.198595 \times 10^{-14} [J]}{1.602 \times 10^{-19} [J]} \\ &= 5.11 \times 10^5 [eV] \\ &= 0.511 [MeV] \end{aligned}$$

3. 에너지와 진동수와의 관계식

: 양자역학의 기본 공식

$$E = h \nu$$

4. 에너지와 파장의 관계식

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad \begin{array}{l} \text{플랑크상수} \\ h : \quad = 6.626 \times 10^{-34} [J \cdot S] \\ \quad \quad = 4.15 \times 10^{-15} [eV \cdot S] \end{array}$$

※ 드브로이 파장 : $\lambda = \frac{h}{mv}$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{6.626 \times 10^{-34} [J \cdot s] \times 3 \times 10^8 [m/s]}{\lambda [\text{\AA}]} \\
 &= \frac{6.626 \times 10^{-34} [J \cdot s] \times 3 \times 10^8 [m/s] \times 10^{10} [m]}{\lambda [\text{\AA}]} \\
 &= \frac{1.984 \times 10^{-15} [J]}{\lambda [\text{\AA}]} \\
 &= \frac{1.984 \times 10^{-15} [J]}{\lambda [\text{\AA}] \cdot 1.602 \times 10^{-19} [J/eV]} \\
 &= \frac{12.42 \times 10^3}{\lambda} = \frac{12.42}{\lambda} [KeV] \\
 \therefore \lambda &= \frac{12.42}{E(KeV)} [\text{\AA}]
 \end{aligned}$$

5. 에너지와 온도와의 관계식

$$E = k T = \frac{1}{2} m v^2 \quad T : \text{절대 온도}$$

$$\begin{aligned}
 k (\text{볼츠만 상수}) &= 8.61 \times 10^{-5} [eV] \\
 &= 1.4 \times 10^{-23} [J]
 \end{aligned}$$

1.2 전자파의 입자와 파동의 이중성

1. 파동의 입자적 성질 근거 : 광전효과 컴프턴 효과
2. 입자의 파동적 성질 근거 : 전자의 간섭 및 회절 현상, α선 산란

※ Photon 의 정의

: 파동-입자의 이중성에 따라 전자파를 입자의 흐름이라 보고 이것을 Photon이라 한다
광자는 정지질량은 갖지 않으나 E (E = hν)는 갖는다.

2.0 원자 와 원자핵

2.1 Atom

1. Bohr's model of atom

① 양자조건 : 제 1 가정

: 원자 구조에 있어서 전자의 각 운동량을 mvr이라 하면 $mvr = n \cdot \frac{h}{2\pi}$

(n : 양자수 = 1, 2, 3,) 의 조건을 만족시킬때 즉 전자의 각운동량이 h/2π의 정수배가 되는것을 양자조건이라 한다.

궤도전자는 양자의 조건을 만족시킬때만 정상상태를 유지한다.

$$mvr = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

$$2\pi r = n \cdot \frac{h}{mv}$$

※ $\therefore 2\pi r = n\lambda$
여기서

$$r = 1.2 \times 10^{-15} A^{\frac{1}{3}} [m] : \text{핵의 크기}$$

② 진동수 조건 : 제 2 가정

: 전자가 한궤도에서 다른 궤도로 이동할때 두 E차에 해당하는 E(빛)을 방출하거나 흡수하는 관계

$$h\nu = E_n - E_m$$

$$E_n > E_m : \text{빛 방출}$$

$$E_n < E_m : \text{빛 흡수}$$

2. 전자의 궤도 반경

: 전자가 등속도 운동을 하기 위해서 힘의 균형에 따라 원심력과 쿨롱력이 같아야 한다.

① 보어의 반경 : $n = 1$ 일때 최소 반경으로 $0.53 \times 10^{-10} [m]$

$$\therefore r_n = 0.53 \times 10^{-10} \cdot n^2 [m]$$

즉 전자의 궤도반경은 n^2 비례하고 전자수와 무관하다.

3. 전자의 에너지 준위 (궤도전자의 E)

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} [eV] \quad n : 1, 2, 3 \dots (K, L, M \dots \text{궤도})$$

4. 각 궤도에 들어갈 수 있는 전자수 : $2n^2$ $n : 1, 2, 3 \dots$

★5. 양 자 수 : 수소 원자 궤도 상태를 결정하는 4가지 양자수

① 주 양자수 (n) : 궤도의 크기를 나타냄.

② 방위 양자수 (ℓ) : 궤도의 모양을 나타냄 . ($n - 1$) 상태
 $\ell : 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ 일때 s, p, d, f 상태

③ 자기 양자수 (m) : 궤도의 기울기 결정. ($2\ell + 1$) 상태
 $-\ell \leq m \leq \ell$

④ Spin 양자수 (S) : 전자의 자전 결정
 $m = \pm 1/2$

6. 여기 와 전리

① 여기 (원자핵에 구속된 상태)

: 전자가 외부로부터 E를 얻어 보다 높은 E준위로 옮겨가는 현상
여기상태는 불안정하고 수명이 짧아 곧 전자파를 방출하고 기저상태로 돌아간다.

② 전 리 (원자핵의 구속에서 이탈된 상태)

: 기저상태 또는 정상상태의 전자가 외부의 E를 얻어 원자핵의 구속에서 이탈하여 이온쌍을 만드는 현상,

7. 연속 Spectrum 과 특성선

① 연속 Spectrum (연속선, 제동복사선, 저지선, 백색선)

: 고속전자가 원자핵 근처를 지날때 핵력에 의해 강하게 편향되고 E는 감소된다.
이 감소된 만큼의 운동에너지를 전자파로 방출하는 현상.

② 특성선 (고유선 , 시성선)

: Target내에서 고속전자와 원자의 내각 궤도전자와 충돌하여 전자를 축출하고 불안정상태가 되는데 보다 외각의 전자가 천이되어 안정상태를 만들면서 궤도전자의 E차에 의해 전자파를 발생하는 현상

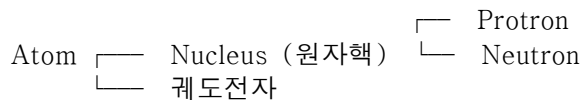
8. Auger effect

: 여기상태의 원자가 특성 X선을 외부로 방출하는 대신 궤도전자를 방출시켜 보다 낮은 E 상태로 되는것.

이때 방출전자를 Auger electron 이라 함.

2.2 원 자 핵

1. 원자의 구성



1. Atomic Number : Z

2. Neutron Number : N

3. Atomic Weight : A

※ 원자량의 정의

: $^{12}_6C$ 원자무게를 12.00이라 정할때 다른 원자의 상대적 무게.

※ 핵구성의 표시법 : A_ZX_N

2. 전자의 크기 및 원자핵의 크기

① 전자의 크기 (Bohr 반경) : $r_n = 0.53 \times 10^{-10} \cdot n^2 [m]$

② 원자핵의 크기 : $R = r_0 \cdot A^{\frac{1}{3}}$
 $= 1.2 \times 10^{-15} \cdot A^{\frac{1}{3}} [m]$

A = Z + N 으로 원자핵은 질량수에 비례한다.

③ 원자와 원자핵의 비교

	Atom	Nucleus
구 조	원 자 핵 , 전 자	양 자 , 중 성 자
중심유무	핵이라는 중심	×
크기(반경)	$r = 0.53 \times 10^{-n} \text{ [m]}$ n(주양자수)에 비례	$R = 1.2 \times 10^{-A} \text{ [m]}$ A(질량수)에 비례
무 계	100	99.97
작 용 힘	Coulomb 력 (전기력)	강한 핵력
방출입자	빛 , X 선	α , β , γ , n , p

- ④ 원자핵의 크기를 구하는 방법
 (a) 경상핵 (b) α 붕괴
 (c) 중성자 산란 (d) 전자의 산란

3. 핵종의 분류

- ① 동위원소 (Isotope) : Z 가 같은 핵종
 예) ${}^{20}_{10}\text{Ne}$, ${}^{21}_{10}\text{Ne}$
 ② 동중핵 (Isobar) : A가 같은 핵종
 예) ${}^3_1\text{H}$, ${}^3_2\text{He}$
 ③ 동중성자핵 (Isotone) : N이 같은 핵종
 예) ${}^{15}_7\text{N}$, ${}^{16}_8\text{O}$
 ④ 경상핵 : Z 와 N 이 서로 바뀐 한쌍의 핵종
 예) ${}^{13}_6\text{C}$, ${}^{13}_7\text{N}$

4. 원자 질량 단위 (Atomic Mass Unit , amu)

- ① 정의 : ${}^{12}_6\text{C}$ 원자 하나의 질량에 대한 1/12로 정의

※ 원소 1g속에 원자는 아보가드로수 만큼 존재

$$\therefore 1g = 6.02 \times 10^{23} \text{ 개}$$

$$\text{※ 탄소 원자 하나의 무게} = \frac{12g}{6.02 \times 10^{23}}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ amu} &= \frac{12g}{6.02 \times 10^{23}} \times \frac{1}{12} = \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} [g] \\ &= 1.66053 \times 10^{-27} [Kg] \end{aligned}$$

- ② 1 amu 를 J 및 MeV로 환산

$$\begin{aligned} E &= (1.66053 \times 10^{-27} \text{ Kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 \\ &= 1.4924 \times 10^{-10} [J] \\ &= 1.4924 \times 10^{-10} \text{ OVER } 1.602 \times 10^{-19} \\ &= 931.5 [MeV] \end{aligned}$$

- ③ 각 입자의 질량 및 에너지 비교

입 자	정지질량(Kg)	a . m . u	MeV
전 자	9.10955×10^{-31}	0.0005489	0.511
양 자	1.67251×10^{-27}	1.0072766	938.259
중성자	1.67492×10^{-27}	1.0086652	939.553
α 입자	6.646×10^{-27}	4.002603	3728.35
1원자질량	1.66053×10^{-27}	1	931.481

★ u 단위인 질량은 931.5 MeV를 곱해주면 E로 환산 된다.

5. 질량 결손 (Mass defect)

① 정의 : 원자핵의 질량은 양성자와 중성자의 질량을 합한것보다 작다. 이차이를 질량결손이라 한다.

$$P + N > PN$$

② 질량 결손 ΔM

$$\begin{aligned}\Delta M &= Z \cdot M_p + N \cdot M_n - M \\ &= Z \cdot M_p + (A - Z) \cdot M_n - M\end{aligned}$$

Z : 원자번호 N : 중성자수 M : u단위의 원자핵 질량
 M_p : 양성자의 질량수 M_n : 중성자의 질량수

6. 결합 에너지 (Binding Energy)

: 질량결손을 E로 환산 한것.

$$\begin{aligned}E_B &= \Delta MC^2 = \Delta M \cdot 931.5 [MeV] \\ &= (Z \cdot M_p + N \cdot M_n - M)C^2\end{aligned}$$

7. 평균 결합 에너지 (비 결합 에너지 : f_B)

정 의 : 원자핵의 결합 E를 그 핵의 질량수로 나눈것을 핵자 한개당 평균 결합E라 한다.

$$f_B = \frac{E_B}{A}$$

※ A가 12~200 일때 f_B 는 7~8 MeV이고.

A $\div$ 60 부근에서 f_B 는 최대치를 갖는다.

★8. 핵 력 (Nuclear force)의 특징

- ① Coulomb 력 보다 강한 인력
- ② 단거리 도달력 : $10^{-13} [cm]$
- ③ 하전의 독립성 : p-p, p-n, n-p 간 핵력은 같다
- ④ 포화성을 갖는다. : 핵자당 평균 결합 E 거의 일정 (~8 MeV)
- ⑤ 교환력을 갖는다. : π 중간자가 매개하여 p $\rightarrow$ n, n $\rightarrow$ p로 변환

9. 원자핵이 기저상태로 돌아갈때 일어나는 현상

- ① 양자, 중성자, α입자, 기타 입자의 방출
- ② α붕괴, β붕괴
- ③ γ선, 내부전환전자 방출

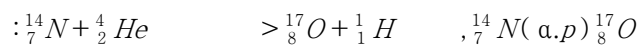
2.3 원자 핵반응

1. 핵 반응 (Nuclear reaction)

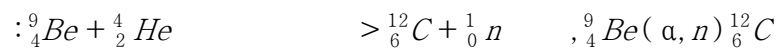
: 원자핵이 X인 표적물질에 입사입자 a를 조사 해서 원자핵 Y와 방출입자 b를 생성 하는것.
표 시 : $X + a \longrightarrow Y + b$, $X(a, b)Y$

★ ※ 반응 예

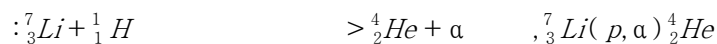
- ① Rutherford(1919) 가 처음 발견한 핵반응



- ② Chadwick (1932) 이 최초로 중성자를 발견한 핵반응



- ③ Cockroft - Walton (1932) 의 가속기에 의한 최초의 인공핵반응



※ 여 기

: $X + a \longrightarrow Y + b$ 에서 $X = Y$, $a = b$ 일때 왼쪽의 입사방향이 일정하다 해도
오른쪽의 a의 방출입자의 방향은 일정치 않은것을 a의 X에 의한 산란이라 한다.

- ① 탄성산란 : 양쪽 X가 같은 기저상태의 E준위에 있을 경우
- ② 비탄성 산란 : Y 가 여기 되었을 경우

2. 핵반응 에너지

① Q 치

: 핵반응, 방사성 붕괴시 발열 또는 흡열 E의 크기는 반응 전후에 대한 계의 정지 E차.

$$Q = [(M_X + M_a) - (M_Y + M_b)] \cdot C^2 \\ = \Delta MC^2$$

발열반응 : $Q > 0$

M_X : 표적핵의 원자질량 (a.m.u)

흡열반응 : $Q < 0$

M_a : 입사입자의 원자질량 (a.m.u)

M_Y : 생성입자의 원자질량 (a.m.u)

M_b : 방출입자의 원자질량 (a.m.u)

② 핵반응 여기 최대 에너지

$$Q_{\max} = E_i \times \frac{M_X}{M_X + M_a} \quad E_i : \text{입사 에너지}$$

: 핵반응은 입사입자의 E에 의해 표적원자핵이 여기상태이상이어야만 한다
즉, 흡열반응 ($Q < 0$)에서는 $E_i = -Q$ 만으로 반응이 일어나지 않으며 흡열반응이
일어나기 위한 E_i 의 최소 E를 Threshold E (문턱값, 발단값) 이상 이어야 한다.

: 원자핵이 α 를 방출하여 $Z-2$, $A-4$ 만큼 적은 원자핵으로 변하는 현상
 즉 α 선의 본질은 He 원자핵이다
 2개의 양자와 중성자가 모여 α 입자를 형성하고 터널효과에 따라 핵력과 쿨롱력에 의한
 벽을 관통하고 나온다.

※ Tunnel effect : 입자가 Potential 장벽을 타고 넘기에 충분한 E를 갖고 있지 않더라도
 장벽을 지날수 있는 효과.

① 붕괴 형식

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He, {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y$$

② β 붕괴 형식 (Fermi 의 β 붕괴 형식)

: A가 일정한 동중핵에서 (N , Z)가 변하여 보다 안정한 핵종으로 변하는 경우
 즉 원자핵이 β 선을 방출하여 원자번호 1개만 변화시키고 질량수는 변하지 않는 현상.

① β^- 붕괴

: 양자가 부족한 원자핵에서 n가 p로 변하고 β^- 를 방출하고 다른핵종으로 변하는 현상

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}, {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY$$

$$\text{예) } {}_{11}^{24}Na \rightarrow {}_{12}^{24}Mg, {}_{35}^{80}Br \rightarrow {}_{36}^{80}Kr, {}_{15}^{32}P \rightarrow {}_{16}^{32}S$$

② β^+ 붕괴

: 중성자가 부족한 핵에서 p가 n으로 변하여 β^+ 를 방출하고 다른 핵종으로 변하는 현상

$$p \rightarrow n + e + \nu, {}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY$$

$$\text{예) } {}_{30}^{65}Zn \rightarrow {}_{29}^{65}Cu, {}_{35}^{80}Br \rightarrow {}_{34}^{80}Se$$

③ 전자 포획 (Electron capture, EC)

: 원자핵속의 궤의 양전자(p)가 p를 방출하기에 충분한 E를 갖지못할때
 내부궤도전자를 포획하여 n으로 변하고 특성 X선을 방출하는 현상.

$$p + e \rightarrow n + \nu, {}_Z^AX + e^- \rightarrow {}_{Z-1}^AY$$

$$\text{예) } {}_{30}^{65}Zn + e^- \rightarrow {}_{29}^{65}Cu, {}_{35}^{80}Br + e^- \rightarrow {}_{34}^{80}Se$$

③ γ 선 방출

: α 붕괴 또는 β 붕괴후, 원자핵이 여기상태이면 γ 선이 방출되어 기저상태로 되는 현상.

① 내부전환 (Internal conversion, IC)

: 여기상태의 원자핵이 γ 선을 방출하는 대신 궤도전자를 방출시켜 보다 낮은 E상태로
 되는 현상. 이때 방출전자 : 전환전자

$$E_e = E_\gamma - I_B \quad E_e : \text{내부전환전자 E}$$

$$E_\gamma : \gamma\text{선의 E}$$

$$I_B : \text{전자의 결합 E}$$

② 핵이성체 전이 (IT)

: 여기상태의 원자핵이 γ 선을 방출하거나 IC 에 의해 낮은 E준위로 떨어질때 E준위가 다른
 두종이상의 핵종이 존재하는 현상.

2. 붕괴시 원자번호와 질량수와의 관계

- ① α 붕괴 : $Z \rightarrow Z-2$, $A \rightarrow A-4$
- ② β^- 붕괴 : $Z \rightarrow Z+1$, $A \rightarrow A$
- ③ β^+ 붕괴 : $Z \rightarrow Z-1$, $A \rightarrow A$
- ④ EC : $Z \rightarrow Z-1$, $A \rightarrow A$

3. 붕괴 E (Q 치)

- ① $Q_\alpha = [M_X - (M_Y + M_\alpha)] \cdot C^2$
- ② $Q_{\beta^-} = (M_X - M_Y) \cdot C^2$
- ③ $Q_{\beta^+} = (M_X - M_Y - 2me(1.02MeV)) \cdot C^2$
- ④ $Q_{EC} = (M_X - M_Y) \cdot C^2 - B_K$ B_K : 전자의 결합 E
- ⑤ $Q_\gamma = E_X(1) - E_X(2) \doteq E_\gamma$ $E_X(1)$: 여기준위 , $E_X(2)$: 기저준위

4. 붕괴의 가부 판단

- ① α 붕괴 : $M_X - (M_Y + M_\alpha) > 0$
- ② β^- 붕괴 : $M_X - M_Y > 0$
- ③ β^+ 붕괴 : $M_X - (M_Y + 2me) > 0$
- ④ EC : $M_X - M_Y > 0$

5. Energy Spectrum

- ① 선 Spectrum을 갖는 방사선 : α선, γ선 특성 X선 ,
- ② 연속 Spectrum을 갖는 방사선 : β선 (제동방사선) , 중성자 , 중성미자

2.5 사성 붕괴식 및 관련 사항

1. 방사성 붕괴

① 방사능 (Activity)

: 원자핵(원자)가 스스로 방사선을 방출하여 다른 원자핵(원자)로 변하는 성질
이때 변환과정을 방사성 붕괴라 한다.

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0.693 \cdot N}{T}$$

$$= \frac{0.693}{T} \cdot \frac{N_a \cdot W}{M} \cdot e^{\lambda t}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{에서}$$

$$N_0 = \frac{N_a \cdot W}{M} \cdot e^{\lambda t}$$

$$\ast \quad A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{\frac{-0.693}{T} t} = A_0 2^{\frac{-t}{T}} = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

참 고

※ 방사화학과 관련된 원자수 및 방사능

㉑ 1Sec 간에 생성하는 원자수

$$N = n \delta \Phi$$

Φ : 열중성자속 밀도

δ : 반응 단면적

n : 표적 원자수

N : 생성핵 원자수

㉒ t_0 간 조사직후 생성된 방사성핵종의 방사능

$$dN = n \delta \Phi dt - \lambda N dt$$

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = n \delta \Phi$$

미분방정식을 풀면

$$A = \lambda N = n \delta \Phi (1 - e^{-\lambda t})$$

단 위 : S^{-}

- 특수명칭 : Bq

- 특수단위 : Ci

※ 1Ci : 방사성 핵종이 핵변환시 단위 시간당 3.7×10^{10} 개의 원자가 붕괴할때 방사능의 세기로 Ra 1g에 해당한다.

② 방사성 붕괴식

㉑ 붕괴상수 (Decay constant , λ)

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\textcircled{㉑} \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} = e^{\frac{1}{\lambda t}} \text{ 양변에 } \log \text{ 취하면 } \log \frac{N_0}{N} = \log e^{\lambda t}$$

$$\log N_0 - \log N = \lambda t \cdot \log e$$

$$\therefore \lambda = \frac{\log N_0 - \log N}{t} \approx 0.4343 \cdot \frac{1}{t}$$

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \text{ 양변에 } \log e \text{ 를 취하면}$$

$$\textcircled{㉒} \quad \log e 0.5 = -\lambda T \log_e e$$

$$-0.693 = -\lambda T$$

$$\therefore \lambda = \frac{0.693}{T}$$

㉞ 반 감 기

$$\textcircled{㉞} \quad T = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = \frac{N_0}{e^{\lambda t}}$$

여기에 $\lambda = \frac{0.693}{T}$ 를 대입하면

$$\textcircled{㉞} \quad e^{0.693 \cdot \frac{t}{T}} = 2$$

$$\therefore N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\text{즉, } \frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}} = 2^n$$

㉟ 평균수명 (Average Life , T_a)

: 처음의 있었던 원자수로 그들 원자가 붕괴하기까지의 시간의 합으로 나누어 준 값,
즉, 붕괴상수의 역수

$$T_a = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} = 1.44 \cdot T$$

㊱ 방사능 핵수

$$N = \frac{A}{\lambda}$$

: $A = \lambda N$ 에서 여기서 $\frac{1}{\lambda} = T_a$ 이므로

$$N = T_a \cdot A = 1.44 T \cdot A$$

㊲ 방사능의 중량 (W)

$$W = \frac{M}{N_a} \cdot N$$

$$= \frac{M}{N_a} \cdot T_a \cdot A$$

$$= \frac{M}{N_a} \cdot 1.44 T \cdot A$$

$$\text{여기서 } A \text{는 방사능으로 } 3.7 \times 10^{10} [dps]$$

$$= 8.854 \times 10^{-14} \cdot M \cdot T [gram]$$

$$N_a = 6.02 \times 10^{23}$$

③ 비 방사능 (Specific activity)

<< 정 의 >>

㉠ 단위 질량당 방사능

: 어떤원소 또는 그원소에 함유하는 화합물의 단위 무게당 함유하는 RI의 농도
단위 : Ci / g

- ② 표지화합물인 경우 mole 당 방사능
단 위 : Ci / mole

④ 담 체 와 무담체

- ① 담 체 (Carrier)

: 미량의 방사성 RI에 상용량의 원소와 동일 또는 거의 같은 행동을 하도록 첨가하는 물질

- ② 무담체 (Carrier free)

: 담체가 가해지거나 포함되지 않은 방사성 동위원소

즉, 비방사성 핵종 (안정동위원소) 가 전혀 없는 상태

예) 어떤 방사성 핵종을 포함하는 시료에 비방사성 동위원소 (안정 RI) 를 가하면
비방사능은 낮아진다.

즉, ^{125}I 에 ^{127}I 을 가하면 I-125의 비방사능은 낮아진다.

이때 I는 전부 I-125 로만 되어있고 비방사성 I-127는 전혀 없는 상태를 무담체인
상태로 이때 비방사능은 최대가 된다.

예) 비방사성 NaCl 을 NaCl에 가하면 NaCl의 비방사능은 감소하며 모든 Na 원자각
(모든 NaCl 분자가 NaCl 분자로 된 경우), 즉 Carrier 가 없는 경우에 비방사능은
최대 이다.

★③ 무담체의 비방사능과 시간과의 관계

: 시간에 따라 무담체는 방사성 붕괴하여 줄고 방사능농도도 줄게 되어
시간 경과에 불변 (무관)
즉, 비방사능은 Ci/g 로 Ci도 줄고 g도 줄므로 일정하다.

④ 방사능과 비방사능의 시간의 관계

: 방사능은 1/2로 줄고 비방사능은 일정하다.

★⑤ 방사평형 (Radioactive Equilibrium)

- ① 영속 방사 평형 (Secular Equilibrium)

㉠ 성립 조건 : 모핵종의 반감기가 매우 길고 딸핵종의 반감기 매우짧을때
즉, $T_1 \gg T_2$, $\lambda_2 \gg \lambda_1$ 인 경우

㉡ 영속 방사 평형 식 : $N_2 \cdot \lambda_2 = N_1 \cdot \lambda_1$

㉢ 원자수 비 : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1 \cdot A_2}{\lambda_2 \cdot A_1} = 1$

㉣ 방사능 비 : $A_2 = A_1$, $A_2 = N_1 \cdot \lambda_1$

※ 영속방사평형에 있는 딸핵종의 방사능은 어미핵종의 반감기에 따라 붕괴한다.

㉤ 예 : $^{90}_{38}\text{Sr} \xrightarrow[28.8\text{년}]{\beta^-} ^{90}_{39}\text{Y} \xrightarrow[64\text{시간}]{\beta^-} ^{90}_{40}\text{Zr}$

: $^{137}_{55}\text{Cs} \xrightarrow[30\text{년}]{\beta^-} ^{137m}_{56}\text{Ba} \xrightarrow[2.6\text{분}]{IT} ^{137}_{56}\text{Ba}$

- ② 일시 방사 평형 (Transient Equilibrium)

㉠ 성립조건 : 친핵종의 반감기가 딸핵종의 반감기보다 길지만 관측하는 동안
알아보기 힘들만큼 길지 않은 경우

즉, $T_1 > T_2$, $\lambda_1 < \lambda_2$ 인 경우

㉡ 일시 방사 평형 식 : $N_1\lambda_1 = N_2(\lambda_2 - \lambda_1)$

③ 원자수 비 : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$

㉢ 방사능 비 : $\frac{A_2}{A_1} = \frac{\lambda_2 \cdot N_2}{\lambda_1 \cdot N_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$, $A_1 \neq A_2$

$$= \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

㉣ 예 : ${}^{99}_{42}\text{Mo} \xrightarrow[66\text{시간}]{\beta^-} {}^{99m}_{43}\text{Tc} \xrightarrow[6\text{시간}]{IT} {}^{99}_{43}\text{Tc}$
 ${}^{140}_{56}\text{Ba} \xrightarrow[13\text{일}]{\beta^-} {}^{140}_{57}\text{La} \xrightarrow[40\text{시간}]{\beta^-} {}^{140}_{58}\text{Ce}$

㉤ 방사 불평형

: $T_1 < T_2$, $\lambda_1 > \lambda_2$

㉥ 방사평형 현상의 이용 이유

: 친핵종의 긴반감기와 딸핵종의 강한 방사선을 상호보완하여 이용 할수 있기 때문

※ T_C Generator

: ${}^{99}\text{Mo}$ 를 Alumina 칼럼에 흡착시켜 두었다가 T_C 와 방사평형이 이루어지게
한 다음 0.9 % 소금물로 흘려내려 T_C 만 흘러 나오게 하는 방법.

2.6 방사선 과 물질과의 상호작용

1. 하전 입자와 물질과의 상호작용

① 저지능 (Stopping power)

: 하전 입자가 물질속을 통과할때 단위 길이당 잃은 E .

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dl}$$

② 비정 (Range)

: 방사선이 물질속을 그 입사방향으로 진행한 거리.

단 위 : cm (α 입자) , g/cm^2 (β 입자)

㉠ α 입자의 비정

㉡ 공기 : $R = 0.318 \cdot E^{\frac{3}{2}} [cm]$

㉢ 물질 : $R = 0.56 \cdot R_{air} \cdot A^{\frac{1}{3}} [mg/cm^2]$

⑥ β 선의 비정

$$\textcircled{㉠} R = 0.542 \cdot E - 0.133 [g/cm^2] \quad (0.8 < E < 3 \text{ MeV})$$

$$\textcircled{㉡} R = 0.407 \cdot E^{1.38} [g/cm^2] \quad (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV})$$

⑦ 비정과 밀도와의 관계 (air , Al)

$$R_{Al} = R_{air} \cdot \frac{\rho_{air}}{\rho_{Al}}$$

⑧ W 치 : 방사선이 기체를 전리할때 1쌍의 이온쌍을 만드는데 필요한 E

$$\text{Ionization Pair (I P)} = \frac{E(eV)}{34eV}$$

⑨ 비전리 (Specific Ionization , S I)

: 중하전입자가 기체속을 단위길이당 진행할때 생기는 이온쌍의 수

⑩ 선에너지 천이 (Linear Energy Transfer , L E T)

: 하전 입자가 물질을 통과시 단위길이당 국부적으로 물질에 주는 E . 단위 : KeV/cm

⑪ Spur : 방사선이 물질을 통과시 최초분자가 이온화된 부위에서 2차전자에 의해 이온화 및 여기를 일으킨다

이때 2차 전자 E가 100 eV 이하인경우 10 nm의 짧은 영역안에서 활성종 (이온, 유리기 집단) 이 생기는데 이 활성종의 집단을 Spur라 한다.

※ δ 선 : 2차전자 E가 100 eV 이상인 경우 입사전자와 마찬가지로 넓은 작용영역을 갖는것.

⑫ 제동방사선의 E 손실을

: 하전입자가 물질속에서 쿨롱장에 의해 속도의 변화를 받으면 전자파가 방사되는 현상.

⑬ 양전자 소멸 현상

: 양전자가 원자핵 근처에서 음전자와 결합하여 소멸하면서 2개의 0.511 MeV의 γ선을 180 방향으로 방출하는 현상.

⑭ 체렌코프 효과

: 하전입자가 물질을 통과시 그 속도가 광속도 ($v > \frac{c}{n}$)보다 클때 진행방향에 대해

θ의 경사를 가진 전자파를 방출하는 현상.

⑮ 전리, 여기

2. γ선과 물질과의 상호작용

① 광전효과 (Photoelectric effect)

: γ 선이 원자에 충돌하여 그 궤도전자에 전에너지를 주어 전자를 방출시키고 자신은 소멸되는 현상 .

$$\textcircled{㉠} \text{ 광전자의 운동 에너지 : } E_e = E_\gamma - I_B \quad E_e : \text{광전자의 운동에너지}$$

$$E_\gamma : \gamma \text{선의 에너지}$$

I_B : 전자의 결합에너지

⑥ 광전효과가 일어날 확률 : $P_{ph} = \propto \frac{Z^5}{E_\gamma^{3.5}} = Z^5 \cdot E_\gamma^{-3.5}$

확률은 K궤도전자에서 가장크고 물질의 원자번호가 클수록 , 저E의 γ 선 일수록 크다

- ⑦ 광전효과가 잘 일어나는 영역 : $0 \sim 0.5 \text{ MeV}$
 ⑧ 특성 X선 발생

② 컴프턴 산란 (Compton Scattering)

: γ 이 물질속 전자와 충돌하여 전자에 E 일부를 주어 방출시키는 동시에 γ 선 자신은 E가 감소되어 처음과 다른 방향으로 산란되는 현상.

※ 컴프턴 산란은 탄성산란이며 E, 운동량 보존법칙이 성립.

① Compton 파장

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda' - \lambda \\ &= \frac{h}{m_e \cdot c} (1 - \cos\theta) \\ &= 0.0242 (1 - \cos\theta) [\text{\AA}]\end{aligned}$$

λ' : 산란선 파장

λ_0 : 입사 E 파장

② 입사 γ 선과 산란 γ 선 사이의 관계식 유도 ($\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$ 에서)

$$E_\gamma = h\nu, \quad E' = h\nu' \quad c = \lambda\nu \text{에서}$$

$$\begin{aligned}\frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} &= \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \\ \frac{1}{h\nu'} - \frac{1}{h\nu} &= \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos\theta) \\ \frac{1}{h\nu'} &= \frac{1}{h\nu} + \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos\theta) \\ h\nu' &= \frac{1}{\frac{1}{h\nu} + \frac{1}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)} \\ \therefore h\nu' &= \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)}\end{aligned}$$

③ 반도전자 (Recoil) 의 최대 에너지

$$: E_R = h\nu - h\nu'$$

㉔ Compton 산란이 일어날 확률 : $P_C = \frac{Z}{E_\gamma} = Z \cdot E_\gamma^{-1}$

㉕ Compton 산란이 잘 일어나는 E 영역 : 1 MeV 근처

③ 전자쌍 생성 (Pair Production)

: 1.02 MeV 이상의 γ 선이 물질을 통과시 원자핵 근방에서 강한 전장의 영향으로 음, 양 한쌍의 전자를 만드는 현상.

㉖ 반응식 : $E_{e+} + E_{e-} = E_\gamma - 1.02 MeV$

㉗ 발생 확률 : $P_{pair} \propto E_\gamma \cdot Z^2$

㉘ 전자쌍 생성이 일어나는 E 영역 : 1.02 MeV 이상

④ γ 선의 흡수 계수

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\mu = \log I_0 - \log I \text{ OVER } 0.4343 \cdot x$$

$$\mu = \frac{0.693}{x(HVL)}$$

3. 중성자와 물질과의 상호작용

: 중성자는 단독으로 불안정하여 반감기가 11.7m 으로 붕괴하여 β 선을 방출하고 양자로 된다

<< 물질의 여기 전리 과정 >>

① 속 중성자 (1MeV 이상) : 주로 원자핵과 탄성산란

$$E_p = \frac{4A}{(A+1)^2} E_n \cos^2 \theta$$

E_p : 반도 양자의 에너지

E_n : 입사 중성자의 에너지

A : 산란핵의 질량

② 저속 중성자 (eV ~ KeV)

: 원자핵의 공명 흡수

③ 열중성자 (0.025 eV) : 물질과 열평형에 있는 중성자

: 원자핵에 포획 된다 , (n , γ) 반응

제2장 방사성 화학

1.0 방사성 동위원소

1.1 동위원소와 방사성 동위원소

: 원자번호가 같으나 질량수가 다른 원소들을 동위원소라 하고 동위원소중 핵이 불안정하여 방사선을 방출하는 원소를 방사성 동위원소라 한다.

예) 1. H , H , H 등 수소의 동위원소중 H, H는 안정동위원소 H는 방사성 동위원소 이다
2. C , C , C , C 등 탄소의 동위원소중 C , C는 안정동위원소 C , C는 방사성동위원소

1.2 핵종의 분류

1. 안정 핵종

: N/P비가 1 ~ 1.6 이면 안정되고 안정핵종중에는 양자수와 중성자수가 모두 짝수인경우가 많다.

1> 짝-짝 : 157종

2> 짝-홀 , 홀-짝 : 103 종

3> 홀-홀 : 4종 (2_1H , 6_3Li , ${}^{10}_5B$, ${}^{14}_7N$)

※ 안정동위원소수가 제일 많은 것 : Sn(10 종) Xe(9종) Cd , Te (8 종)

2. 자연 방사성 핵종

- 1> 붕괴계열에 속하는 것
- 2> 붕괴계열에 속하지 않는 것
- 3> 우주선에 의해 유도된 것

1> 붕 괴 계 열 (AUNT)

계 열	친핵종(반감기)	최종산물	질 량 수
Actinium	U (7.04×10 년)	Pb	$4n + 3$
Uranium	U (4.47×10 년)	Pb	$4n + 2$
Neptunium	Np (2.16×10 년)	Bi	$4n + 1$
Thorium	Th (1.4×10 년)	Pb	$4n$

<< A, U T 의 공통적 특징 >>

- ① 반감기가 지구연령에 비해 매우 길다 .
- ② 계열도중 기체 (Rn) 가 있다 .

③ 마지막 산물은 Pb 이다.

※ 천연방사성 동위원소의 붕괴 : $4n + 3$ 계열

2> 붕괴계열을 만들지 않는것

$^{115}_{49}In$, $^{128}_{57}La$, $^{142}_{58}Ce$, $^{40}_{19}K$, $^{190}_{78}Pt$, $^{144}_{50}Nd$, $^{87}_{37}Rb$, $^{50}_{23}V$

3> 우주선에 의해 유도된것

3. 인공 방사성 핵종 : 거의 모든 핵종

※ Neptunium 계열 ($4n + 1$) 이 자연에 존재하지 않는 이유

$^{237}_{93}Np$ 의 반감기가 지구연령에 비해 극히 짧기 때문.

4. 방사성 핵종 식별법

1> 원자번호 결정 (즉, 화학성 결정)

2> 방사선 종류를 결정한다.

3> 방사선 에너지 결정한다.

4> 붕괴곡선에서 반감기를 결정한다.

5> 위의 자료로 방사성 핵종의 질량수를 결정한다.

3) 방사성 동위 원소의 이용

1. 밀봉선원의 이용 : 100 μ Ci 이하

1> 밀봉선원의 Capsule로서 조건

- ① 정상사용시 개봉 및 파괴 되지 않을 것.
- ② 누설, 침투에 의한 내용물이 흘러서 오염될 우려가 없을 것.
- ③ β 선 흡수가 적을 것.
- ④ 사용에 적합한 구조, 모양, 크기를 가지며 방사능 마아크, 핵종, 수량, 제조번호등 , 필요한 표시가 붙어 있을것.
- ⑤ 기계적, 화학적 열적으로 충분한 강도를 가질것.

2> α 선의 이용

가) 전리작용 이용

① 연기 탐지기

: 화재경보기 일종으로서 연기를 검출하기 위해 α 선에 의한 전리전류의 변화 이용

이용선원 : ^{241}Am

② 진공도 측정기

이용선원 : ^{226}Ra

나) 여기작용 이용

① 형광 X선 분석

: 물질에 X(γ)선 조사시 원자가 여기되어 기저상태로 돌아갈때 원소의 고유E를 갖는 X선을 방출하는데 이형광X선의 E와 강도를 측정하여 분석하는 방법

이용선원 : ^{210}Po

② 정전제거용 장치

: 정전기를 제거하기 위하여 방사선 조사에 의해 생기는 이온으로 중화시키는 장치

이용선원 : ^{226}Ra , ^{210}Po

2. β 선의 이용

1> 저 Energy β 선의 이용

가) Gas Chromatography

: 방사선의 전리작용, 전자포획을 이용한 공해분석장치로 할로겐 유기화합물 유기수는 화합물등의 검출에 유리하므로 PCB나 잔류농약 분석에 이용.

이용선원 : ^3H , ^{14}C , ^{63}Ni

2> 고 E β 선의 이용

가) β 선 두께계

: 물질내의 방사선 흡수나 산란에 의한 선량의 변화를 측정하여 물체의 두께를 측정하는 장치

※ β 선 두께용 선원으로서의 필요조건

- ① 측정물질의 종류와 두께에 따라 적당한 E의 β 선을 방출하는 핵종 일것.
- ② 측정시 방사선 방어 관점에서 Background 및 γ 선을 방출하지 않는 핵종 일것.
- ③ β^+ 선원은 양전자 소멸 방사선을 방출하므로 좋지 않다.
- ④ 물리적, 화학적으로 충분히 안정된 형태를 가질것.
- ⑤ 반감기가 긴것이 좋다,
- ⑥ 선원의 강도는 약 10 ~ 100 mCi 정도 이다.

나) 비중 측정기, 정전 제거용 장치

3> 저 Energy X, γ 선의 이용

가) 형광 X선 분석

이용선원 : ^{55}Fe , ^{57}Co , ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{109}Cd

나) 두께 측정용 : ^{241}Am

다) 비파괴 검사용 : ^{170}Tm

라) 유허계

: 중유나 석유제품에 함유되어 있는 유허을 방사선의 흡수선량을 측정하므로써 분석하는 장치

이용선원 : ^{55}Fe (EC)가 방출하는 Mn의 K-X선
, ^{241}Am 의 Np의 L-X선 , ^{137}Cs

4> 고 E γ 선원의 이용

가) 밀도계 (농도계)

: 파이프속에 흐르는 물질의 밀도, 콘크리트, 토사의 밀도 및 담배의 충전도등을 측정하는데 사용

이용선원 : ^{60}Co , ^{137}Cs

나) Radiography 이용 (N D T)

※ Radiography 이용선원으로서 필요조건

- ① 소형이며 방사선이 강한 γ 선원 일것.
- ② 피사체의 종류나 두께에 따라 적당한 E를 갖는 γ 선 일것.

- ③ 반감기가 충분히 길것.
- ④ 제조방법이 쉽고 값이 싼것.
- ⑤ 선원의 강도는 수 ~ 수10 Ci정도가 좋다.

이용선원 : ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{170}Tm

다) (γ , n) 반응에 의한 방사화 분석 : ^{124}Sb

5> 중성자 선원 이용

가) (α , n) 반응에 의한 중성자 선원

: 초우라늄원소의 방사성 핵종 화합물과 Be 분말을 균일하게 혼합한것을 금속

Capsule에 넣어 , $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$ 과 같은 (α , n)반응로 속중성자 방

출.

나) (γ , n) 중성자 선원

: 비교적 E가 큰 방출 방사성 핵종과 Be 금속을 조합하여 , $^9_4\text{Be} + \gamma \rightarrow ^8_4\text{Be} + ^1_0\text{n}$ 과

같은 (γ , n) 반응에 의한 속중성자 방출.

다) 자발핵분열에 의한 중성자 선원 : ^{252}Cf

2. 비밀봉동위원소 이용

1> 추적자 (Tracer)

: RI 가 들어있는 물질 (표지화합물) 이 지나는 경로, 행동, 상태의 변화등을 방사선으로 추적검사시 쓰이는 방사성 물질.

※ Tracer 로서 필요 조건

- ① 추적자는 검사 대상물질에 영향을 주지 말아야 한다.
- ② 추적자는 검사 대상물질과 물리적, 화학적, 생물학적 성질이 같아야 한다.
- ③ 검사도중 방사선조사에 의한 피폭이 없어야 한다.
- ④ 추적자로서 표지화합물 사용시 표지는 모분자에 남아있거나 분자중 일부분에 부착되어 있어야 한다.
- ⑤ 표지는 쉽고 정확하게 검출할 수 있어야 한다,

※ 1 μCi 당 RI의 gram 수 구하는 식

$$8.854 \times 10^{-20} \cdot M \cdot T [\mu\text{g}]$$

2> 의학적 이용

- ① Invitro 검사 : 인체에서 검사시료를 채취하여 체외에서 측정하는 법
- ② Invivo 검사 : 방사성의약품을 환자에게 투여하여 검사하는 방법

3. 에너지 이용

: 열출력 밀도측면에서는 반감기가 짧을수록 높지만 100일 이하 인것과 100년 이상으로 길어지면 0.1 W/g 로 되어 실용성이 떨어진다.

또한 γ 선이 많으면 차폐가 커져 불리하므로 E측면에서 α 방출체가 좋다.

이용 : 원자력 전지 (Pu-238) , Isotope 발전기

※ Heart Pace Maker

: RI로서 Pulse 전압을 발생시켜 심근에 전기자극을 주므로써 올바르게 박동시키는 장치로서 Pu-238을 약 3~4 Ci의 열원으로한 300mW의 RI가 발전기로 사용되고 있다. 수명은 10년이상으로 환자체내에 사용한다,

4. 조사이용

가) 방사선 치료

나) 방사선 화학에 이용되는 반응

- 1> 저분자 화합물의 분해
- 2> 고분자 화합물의 주쇄절단에 의한 분해
- 3> 두종류 단위체의 그래프트 공중합
- 4> 고분자 화합물의 측쇄절단에 의한 가교
- 5> 방사선을 촉매로한 저분자 화합물의 합성

다) 식품조사

- 1> 저선량 조사에 의한 발아방지 및 살충
- 2> 중선량 조사에 의한 생선, 식료품의 저장기간 연장
- 3> 고선량 조사에 의한 완전 살균

라) 품종개량

※ 방사선 조사의 두분야 비교

	γ선 조사 공업	전자선 조사
특 징	촉매적 작용 균 일 조 사 무 인 운 전	단시간 처리 고선량을 조사 ON-OFF가 자유롭다
프로세스	목재 플라스틱 복합제 방사선 살균, 합성 식품조사 전지의 격막	고분자의 개질 방사선 그래프트 공중합 방사선 큐어링 (경화)

2] 방사성 동위원소의 제조법

1) 천연 방사성 광물에서 분리

: Pb의 동위원소로 RaD를 분리하는 방법

2) 가속기에 의한 제조

: 핵속에 양자가 과다하게 포함된 방사성 핵종 제조

종 류 : ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{43}K , ^{52}Fe , ^{67}Ga , ^{113}In , ^{123}I , ^{201}Tl

암기법 : Ga Na CON In FI Tl K Fe (가나콘 인피틀 카페)

3) 원자로에 의한 RI 제조

: 핵속에 중성자가 과다하게 포함된 핵종 제조

1. 원자 핵반응

- 1> (n , γ) 반응

: 열중성자를 이용하며 거의 모든 원소에 적용
<< 예 외 >>

He, Li, O, N, B, F, Ne 등 가벼운 원소

- ① 생성핵이 β^- 붕괴 인경우 원자번호가 하나 증가한 방사성 핵종이 되기 때문에, 무담체 분리가 가능하다 (밀킹의 원리)
- ② 질라드 찰머반응에 의해 높은 비방사능의 RI를 얻을수 있다.
- ③ (n , γ) 반응이 반응수율이 높고 , RI핵종이 다양한 이유
: 중성자가 포획된 직후 γ 선 방출이 다른 하전입자나 중성자를 방출하는 것보다 쉽기 때문.
- ④ 존재비를 증가시키기 위한 농축 표적법
ㄱ. 전자기적 방법
ㄴ. 초원심 분리법
ㄷ. 열 확산법
- ⑤ 표적핵과 생성핵의 원자번호가 다른경우 높은 비방사능의 RI를 제조 할수 있다.
- ⑥ (n , γ) 반응 생성물은 표적핵에 희석되므로 비방사능은 낮다

2> (n . p) , (n , α) 반응

2. 방사화 양

$$\frac{dN}{dt} = n \cdot \delta \cdot \Phi - \lambda N$$

$$n : \text{표적 원자 수 (개)} = \frac{Na \cdot W}{M}$$

$$N : \text{생성핵 원자 수 (개)}$$

$$\delta : \text{반응 단면적 (barn } = 10^{-24} \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\Phi : \text{중성자 다발 밀도 (개/cm}^2\text{/sec)}$$

$$\lambda : \text{생성핵의 붕괴 정수 (sec}^{-1} \text{)}$$

1> t시간 중성자 조사시 생성방사능

$$\begin{aligned} A = \lambda N &= n\delta\Phi(1 - e^{-\lambda t}) \\ &= n\delta\Phi\left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}\right) \end{aligned}$$

2> 반감기 척도와 포화 계수 ($1 - e^{-\lambda t}$)

① 중성자 조사시간이 매우 짧아 ($T \gg t$) $t \approx 0$ 인 경우의 방사능

Mac Laurin 의 정리

포화 계수 $1 - e^{-\lambda t}$ 에서 $x = \lambda t$ 라 할때

$$\lim_{x \rightarrow 0} e^{-x} = 1 - x + x^2 - x^3 + x^4 - x^5 + \dots$$

$$\therefore e^{-x} = 1 - x \text{ (} x^2 \text{ 이항이하 무시 (너무적기 때문))}$$

$x = \lambda t$ 이므로

$$e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t$$

$$1 - e^{-\lambda t} = 1 - (1 - \lambda t)$$

$$\text{즉, } 1 - e^{-\lambda t} = \lambda t$$

$$\therefore A_0 = n\delta\Phi \cdot \lambda t$$

② 중성자 조사시간이 무한대인경우의 방사능 (포화 방사능)

: $T \ll t$ 인 경우 $e^{-\lambda t}$ 는 0에 접근하므로 포화계수는

$$(1 - e^{-\lambda t}) \approx 1$$

$$\therefore A_\infty = n\delta\Phi$$

t	≈ 0	T	2T	3T	4T	∞
$1 - e^{-\lambda t}$	λt	$\frac{1}{2}$	$3/4$	$7/8$	$15/16$	1

※ 조사수율을 높이려면 반감기의 4~5배 또는 그이상을 조사해야 한다.

③ 반감기 척도로 나타낸 생성최대 방사성 원자수와 생성 최대 방사능

: 조사수율

$$N = N_{\max} (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= N_{\max} (1 - e^{-0.693 \frac{t}{T}})$$

$$= N_{\max} (1 - 2^{-\frac{t}{T}})$$

$$a = \frac{t}{T} \text{ 라 하면}$$

$$\therefore N = N_{\max} (1 - 2^{-a}) = N_{\max} (1 - (\frac{1}{2})^a)$$

$$A = A_{\max} (1 - 2^{-a})$$

3. RI의 원자로 및 가속기의 생산시 차이점

	원 자 로	가 속 기
생 산 방 법	용이한 편	어 려 움
생 산 경 비	저 렬	고 가
표 적 조 사	동시 조사 가능	동시 조사 불가
핵 자	중성자 과다	양자 과다
붕 괴 형 식	$n \rightarrow p + \beta + \bar{\nu}$	$p \rightarrow n + \beta + \nu$
비 방사능	낮다 (단 (n,f)반응은 높다)	높 다

4. RI의 원자로로 생산시 필요조건

- 1> 중성자속 밀도 (Φ)가 높을것.
- 2> 표적물질 구입이 쉽고 경제적이며 핵반응 단면적(σ)이 클것.
- 3> 생성 RI의 반감기 , 에너지 , 이용장소까지의 거리 , 수송시간등이 적합할것.
- 4> 방사선 차폐 , 계측장치 , 분리조작 등의 제반 장비 요구 .
- 5> 훈련된 인력과 경험이 있을것.

5. 여기 곡선

: 중성자의 에너지에 따라 핵반응의 반응 단면적의 변화곡선

6. 핵반응과 생성핵의 Z , A 의 관계

Z \ A	A - 3	A - 2	A - 1	A	A + 1	A + 2	A + 3
Z + 2					(α , 3n)	(α , 2n)(He, n)	(α , n)
Z + 1				(p , n)	(He ,np) (p, γ) (d , n)	(α , np) (H, n) (He , p)	(α , p)
A			(γ , n) (n , 2n)	표적핵	(n , γ) (d, p)		
Z - 1	(p , α)	(d , α) (γ , pn)	(γ , p)	(n , p)			
Z - 2	(n , α)	(n , He)					

7. 되튐 효과 (Hot atom) -> 반도 E를 받은 원자

: 중성자 조사 등에 의한 핵반응으로 생성된 원자가 스스로 방사선을 방출 , 반도하여 높은 운동 E를 가지며 주위의 정상적 원자나 분자와는 다른 이상한 화학적 행동이 나타나는 효과

$$E_R = \frac{537E^2}{M}$$

※ (n , γ)반응의 Carrir free RI 제조 : 질라드 챔머 반응 이용

3] 방사화 분석

1) 방사화 분석의 정의

: 분석시료를 방사선 조사 또는 충돌시켜 핵반응 결과 생성된 인공방사선 핵종의 특성(방사선 종류, E , 반감기) 및 방사능 강도를 측정하여 정성, 정량 분석하는 방법.

$$\begin{aligned}
 A = \lambda N &= n\delta\Phi(1 - e^{-\lambda t}) \\
 &= \frac{N_a \cdot W}{M} \delta\Phi(1 - e^{-0.693 \frac{t}{T}})
 \end{aligned}$$

2) 비교 분석법

$$\frac{A}{A_s} = \frac{W}{W_s}$$

A : 생성원소의 방사능

W : 생성원소의 질량

A_s : 표준선원의 방사능

W_s : 표준시료의 질량

※ 적 용

- 1> 생체시료중 미량원소나 병태 분석
- 2> 고고학적 시료의 분석
- 3> 고미술품 감정

3) 방사화 분석법의 장, 단점

1. 장 점

- 1> 검출 감도가 높다.
- 2> 많은 종류의 원소를 동시에 분석할 수 있다.
- 3> 비파괴 분석법으로 분석이 가능하다.
- 4> 시료의 모양이나 화학형태에 거의 무관 하다.

2. 단 점

- 1> 측정의 재현성이 항상 좋지는 않다.
- 2> 원자로등 특수 설비가 필요하다.
- 3> 부반응에 의한 방해가 있다.
- 4> 자기차폐에 의한 오차가 있다.

4) RI 의 분석화학적 이용

1. 방사 분석 (Radiometric Analysis)

: 대상 원소 A , B가 정량적으로 조성이 일정한 침전을 만들때 RI로 표지한 B를 써서 생성한 침전물의 방사능을 측정하여 A의 양을 구하는 방법.

2. 동위 원소 희석 분석법 (Isotope Dilution Analysis)

: 혼합물중 특정 성분만 정량시 그 성분만 추출하여 정량하려 할때 유사한 화합물의 상호분리 , 손실없이 정량분석하기 어렵다.

이경우 대상화합물을 RI로 표지하여 혼합하여 방사화학적으로 순수 분리하고 비방사능을 측정하여 정량하는 방법

혼합전	질 량	비방사능
시 료 :	W_0	—
표지화합물 :	W_1	S_1
혼합후 측정시료 :	$W_0 + W_1$	S_2

전체 방사능은 혼합전후가 동일 하므로

$$W_1 S_1 = (W_0 + W_1) \cdot S_2$$

$$\therefore W_0 = W_1 \left(\frac{S_1}{S_2} - 1 \right)$$

W_0 : 구하고자 하는 양

W_1 : 표지화합물의 질량

S_1 : 희석전 비방사능

S_2 : 희석후 비방사능

3. 동위원소 역희석 분석법 (Reverse Isotope Dilution Analysis)

: RI를 써서 표지화합물을 합성한 경우 또는 생체에 투여해 얻은 표지화합물을 구할 경우 비상사성 화합물을 가해 혼합한 다음 그 일부를 방사화학적 순수 분리해 그 방사능을 구하는 방법.

혼합전

	질 량	비방사능
표지화합물 :	W_0	S_0
비방사성 화합물 :	W_1	—

혼합후	측정시료 :	$W_0 + W_1$	S_2
-----	--------	-------------	-------

혼합전후의 전체의 방사능은 같으므로

$$\begin{aligned} W_0 S_0 &= (W_0 + W_1) \cdot S_2 \\ &= W_0 S_2 + W_1 S_2 \end{aligned}$$

$$W_0 S_0 - W_0 S_2 = W_1 S_2$$

$$\therefore W_0 = \frac{S_2}{S_0 - S_2} \times W_1$$

W_0 : 구하고자하는 질량 (표지화합물 질량)

W_1 : 비방사성 화합물의 질량

S_0 : 표지화합물의 비방사능

S_2 : 희석후 비방사능

4] 방사화학적 분리

1) Tracer 양 (무담체 RI)

: 보통 10^{-10} mole 이하의 양을 말하며 Tracer 농도라 한다.
또는 수 mCi의 Carrier free 방사성 동위원소 양

1. RI를 Tracer로 사용시 고려 사항

- | | |
|---------------|--------------------|
| 1> RI의 반감기 | 2> 방사선 Energy |
| 3> 비방사능 | 4> 동위원소 효과 |
| 5> 동위원소 교환 반응 | 6> Radiocolloid 여부 |
| 7> 방사선 효과 | 8> Tracer 의 화학 형태 |

★ 2. Tracer 양이 나타내는 화학적 행동의 이상현상의 특이 현상

1> 공 침

: 미량의 무담체 RI에 공침제를 가할때 담체로 작용하는 것이 있으면 담체와 함께 침전하는 현상

※ 공침 메카니즘 (기작) : 혼정생성과 흡착

가) 혼 정

① 혼정 생성

: 마이크로 양으로 존재시 혼정을 만드는 경우 한쪽이 Tracer 양이 되더라도 혼정을 만들어 공침하는 경우

② 이상 혼정 생성 -> 비동위원소 담체

: 마이크로 양으로 존재시 혼정을 만들지 않고 Tracer 양으로 있을때만 혼정을 만드는 경우

※ Tracer 양으로 존재시 흔히 그 용해도적 보다 훨씬 낮아 침전되기 어려우나 Carrier를 가하면 같이 침전된다.

나) 흡 착

※ 흡착이 효과적으로 일어나기 위한 조건

① 표면적이 큰 침전물을 만들것.

예) 수산화 제2철 ($Fe(OH)_3$), 수산화 알루미늄 ($Al(OH)_3$)
이산화 망간 (MnO_2)

② RI 이온과 침전물 사이에 용해도적이 작은 화합물을 만들것.

③ RI 이온과 침전물이 용액중 과잉으로 존재한다는 사실을 고려한다.

2> Radiocolloid 생성

: Carrier를 포함하지 않은 Carrier free 방사성 핵종은 용액중 규산콜로이드나 먼지등에 흡착되어 colloid 처럼 행동하는데, 이와같이 방사능을 띤 colloid 입자를 말한다

※ 생성 조건 : 마이크로 양으로 존재시 침전을 만들수 있는 조건에서 생성.

★2) 담 체 (Carrier)

: Tracer 양이 나타내는 이상현상을 없애기 위해 가하는 물질 .

또는 측정시료를 만들기 위해서나 분리시 눈에 띄는 화학형태로 하기위해 비방사성 RI를 가하는 것을 동위원소 담체라 한다.

※ 비동위원소 담체

: 화학반응때 유사한 화학 행동을 하도록 비방사성 동위원소를 가하는것.

-> Carrier free RI를 만들수 있다.

★3) Scavenger

: 공존가능성이 있는 핵종을 제거하고 대상 RI를 용액중에 남게할 목적으로 가하는 물질.

예) 수산화 제2철 ($Fe(OH)_3$), 수산화 알루미늄 ($Al(OH)_3$), 이산화 망간 (MnO_2)
불화 란탄 (LaF_3) 등

★4) Holdback Carrier

: Scavenger 하거나 분리시 무담체 RI가 따라 묻어나가지 못하게 가하는 Carrier
또는 공존 핵종을 용액중 남기기 위해 가는 물질.

★5) Collector

: 대상 RI를 농축, 분리 목적으로 가하는 Carrier

★6) Milking

: 친핵종과 방사평형에 있는 딸핵종을 친핵종으로 부터 분리해 얻는 조작.
이 분리 조작 장치를 Generator 또는 Caw system 이라 한다.

1. $^{99}Mo - ^{99m}Tc$ Generator

: ^{99}Mo (67h) 와 ^{99m}Tc (6h) 는 방사평형에 있으며 이온교환수지인 Alumina Column (Al_2O_3)

Mo를 흡착시키고 0.9%의 NaCl을 흘려주면 Tc ($Na^{99m}Tc$)는 흘러나오나 Mo는 Alumina Column에 흡착되는 원리

※ 최고 용출은 23h후 , 즉 매일 1회 용출 가능

2. $^{113}Sn - ^{113m}In$ Generator

: ^{113}Sn (118일) 과 ^{113m}In (1.7h) 는 방사평형에 있으며 Zirconium Oxide Column에 Sn을 흡착 시켜 0.04 N 염산을 주입하여 용출

※ 최고 용출은 6h후 즉 매일 2~3회 용출 가능

3. $^{132}Te - ^{132}I$ Generator

: ^{132}Te (77.7h) 와 ^{132}I (2.26h) 는 방사평형에 있으며 Te를 Alumina Column에 흡착시키

고

0.1 mole의 수산화 암모늄 (NH_4OH)를 주입하여 용출.

7) 화학적 공식

1. 방사화학적 수율

$$\text{방사화학적수율} = \frac{\text{조작후방사능}}{\text{조작전방사능}} \times 100 [\%]$$

2. 방사성 핵종 순도 와 방사 화학적 순도

: 시료의 전체 방사능중 특정한 방사성 핵종(화합물)의 방사능이 차지하는 비율

$$\text{방사성핵종 순도} = \frac{\text{특정방사성핵종방사능}}{\text{전체방사성핵종방사능}} \times 100 [\%]$$

$$\text{방사화학적 순도} = \frac{\text{특정방사성화합물방사능}}{\text{전체방사성화합물방사능}} \times 100 \quad [\%]$$

★8) 방사화학적 분리법의 선택

1. 침전법

- 1> 동위원소 담체를 가해 침전시킬 경우 : 보통 분석화학적 지식만으로 충분
- 2> 비동위원소 담체를 가해 침전시킬 경우 : 시약 첨가순서나 용액의 액성에 예민하게 영향을 받으므로 실험조건에 충분히 주의

※ 용액속에 다른 방사성 핵종이 있을때 그 핵종이 공침하지 않으면서도 침전에 둘러싸이게 될수 있으므로 반드시 Holdback Carrier를 가한다.

3> 장, 단점

- ① 간단하고 소요시간이 짧다.
- ② 많은 양의 시료용액으로 부터 RI를 모으는데 편리 하나 분리선택성이 떨어진다.
- ③ 정제를 하기전 대략분리에 많이 이용한다.

예) $^{140}\text{Ba} - ^{140}\text{La}$ 분리

: 묶은 염산의 산성용액에 $\text{Ba}^{2+}, \text{Fe}^{3+}$ (Scavenger)를 담체로 가하고 NH_4OH 를 써

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 형태로 침전 시킨다,

이때 La는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 공침되며 Ba^{2+} 담체는 Holdback Carrier 로 작용한다.

2. 용매 추출법 -> 많이 이용

: 몇종류의 RI를 포함하는 수용액에 섞이지 않는 유기용매와 섞어 유기용매중 특정 RI를 추출 분리하는 방법

1> 추출 메카니즘

① 이온 추출법

가) 이온화합, 착화물을 만드는 경우로 할로겐 화합물, 치오시안염, 질산염 등이 에텔, 케톤, 알콜등에 추출되는 경우.

나) 우라늄-질산염이 O, N을 함유한 용매화된 형태로 추출되는 경우.

② 비이온화 추출

: Chelate 화합물을 만드는 경우이며 Cuperon, Dithizone, TTA, Oxine, 등은 전하를 띠지 않으며 비극성 용매에 잘 녹는 특성을 이용하는 방법.

2> 장 점

- ① 핵분열 생성물의 계통적 분리가 매우 유효하다.
- ② 신속 간편하다.
- ③ 원격조작이 가능하다.
- ④ 무담체로 분리 정제 가능하다

예1) Fe^{3+} 을 6N 염산 산성에 에텔(Ethyle Ether, Isopropyl Ether, Isobutyle Ether

로 추출,

이 방법은 공침목적으로 가한 비동위원소 담체의 Fe^{3+} 를 빼냄으로서 무담체

RI를 얻는데 사용한다

예2) ^{234}Th 의 U로 부터 분리

: 질산우라닐($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) 에서 Carrier free의 Th를 추출하기 위해 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (탄산암모늄) 포화용액을 가하여 U을 탄화착염으로 만든다음 PH 8 ~ 8.5에서 Cuperon염을 만들고 그것을 CHCl_3 (클로로포름)으로 추출.

예3) Br_2, I_2 의 CCl_4 에 의한 추출

: $^{82}\text{Se}(d, 2n)^{82}\text{Br}$ 반응으로 생긴 Br을 분리하기 위해 금속세렌 표적을 진한 질산에 녹이고 6N이 되게 희석한뒤 증류해서 Br_2 를 쫓아낸다, 이때 쫓아내는 Br_2 를 CCl_4 로 붙잡는다.

※ 분액깔대기 안에 Br이 녹아있는 CCl_4 층과 물층이 있는데 Br을 물층으로 옮겨가기 위해 환원제인 NaHSO_3 를 넣고 흔들어 Br^- 로 만든다.

예4) Dithizone - CCl_4 에 의한 Cu , Zn 분리 (Zn은 PH> 6 에서만 디티존에 추출된다

)

: Cu는 PH < 6 에서도 추출되므로 수용액의 PH를 6이하로 하여 Cu 만 추출하고 Zn은 물층에 남게 되는 방법.

3. 이온 교환 수지법

: $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, HN , $\equiv\text{N}$, $\equiv\text{N}-\text{OH}$ 등의 기능기가 있는 유기 고분자 중합체를 사용하여 RI를 분리 추출하는 방법.

1> 선택사용시 주의점

- ① 크로스 링킹(가교) 정도
- ② 교환 용량
- ③ 화학적 성질 및 방사선에 의한 안정성

2> 장 ,단 점

<< 장 점 >>

- ① 핵분열 생성물의 계통적분리가 유효
- ② 원격조작 가능

<< 단 점 >>

- ① 분리정제 소요시간이 길다
- ② 수지가 방사선에 약하다

4. 전기화학적 방법

종류 : 치환법 , 내부전해법 , 전해 전착법

5. 증 류 법

: 유기화합물에 대해 Carrier gas를 통해주면서(bubbling) 증류해 무담체의 RI 분리

※ Tracer의 RI는 예상외로 잘 휘발하여 주변을 오염시킬 우려가 있다

예1) $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ 로 생기는 C 무담체의 분리

: $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$ (질산암모늄)의 수용액을 n 조사하면 Co , $^{14}\text{Co}_2$ 등이 생기는데 Co_2 를 함유하지 않은 air를 시료용액속에 통해주면서 발생기체를 CUO지나게 하여 Co를 Co_2 로 산화시켜 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (수산화 바륨) 수용액에 들어가게하여 $\text{Ba}^{14}\text{Co}_3$ 형태로 분리.

예2) Tc 무담체 분리

: $^{99}\text{Mo}(d,n)^{99m}\text{Tc}$ 나 , $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99m}\text{Tc}$ 로 생성하는 Tc의 증류

예3) ^{131}I 의 증류

: Te (d , n) , Te (d , 2n) 반응등으로 생긴 I 를 분리하기 위해 먼저 금속 Te를 $\text{CrO}_3 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 용액에 용해하면 요오드는 $^{131}\text{IO}_3^-$ 형으로 되므로 이것을 수산으로 환원하여 I_2 형으로 하고 증류해서 NaOH 수용액속에 넣는다.

※ I , Br은 I_2 나 Br_2 만 증류 (휘발) 된다.

6. 분배 크로마토 그래피

<< 장 점 >>

- ① 유사성물질간 분리 및 무담체 분리 가능
- ② 방사성물질의 위치나 양을 알수 있다.

<< 단 점 >>

: 시료의 사용량이 적다.

※ Column 이나 종이 크로마토 그래피의 이동률 (Rf)

$$Rf = \frac{\text{원점에서물질이머문중심까지의거리}}{\text{원점에서용매이동끝까지의거리}}$$

7. Radiocolloid 법

: Tracer 양의 RI는 용액속에서 실리카, 이온교환수지분말, 먼지 등에 흡착되어 진용액이 되지 못하고 화학적 행동에 이상성을 보이는 Radiocolloid 로 되는데 이는 이온교환, 용매추출 , 여과흡착등에서 특이한 행동을 하므로 이특이성을 이용하여 분리한다.

예1) 질산우라닐 ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$)로 부터 Th 분리

: 용액의 PH를 높여주고 여과종이를 써서 여과 한다.

이때 UO_2^{2+} 이온은 종이에 여과되자 Th는 종이에 흡착된다.

예2) ^{111}Ag 의 무담체 분리

: 용액을 NaOH로 PH가 10~12로 해서 여과하면 Ag는 종이에 흡착된다.

8. 반 도 법

: α붕괴의 딸핵종이나 초우라늄 원소의 핵반응때 반도효과로 인해 운동 E를 갖고 있어 화학결합을 끊고 튀어나오는 현상 이용.

이때 전위차를 걸어주어 분리를 용이하게 한다.

< Reference > 일어나는 현상 설명

- 예1) 중성자를 조사한 NaCl을 물에 녹여 황산을 가해 증류시
 기에 : NaCl 은 n에 의한 방사화 즉 , $^{23}\text{Na}(n, \gamma)^{24}\text{Na}$, $^{37}\text{Cl}(n, \gamma)^{38}\text{Cl}$ 이 생긴다. 여
 황산을 가하면 Na^+ , Cl^- , H^+ , SO_4^{2-} 이온이 가열되면 HCl은 100 C 이상에서
 기화되나 H_2SO_4 는 휘발성이 아니므로 HCl은 증류되고 Na^+ , SO_4^{2-} 가 남는다.
 즉 , ^{38}Cl 은 H^{38}Cl 로 증류된다.
- 예2) 무담체의 $\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 을 약염산 용액에 암모니아를 가해 약알칼리성으로 하고 여과시
 : ^{90}Y 는 거름종이에 흡착되어 남고 Sr은 여과.
- 예3) U함량이 높은 방사성광물을 유리병에 넣고 물을 채워 밀봉방치시
 : Uranium 계열에서 Rn은 친핵종으로 부터 성장하여 수면상 공기층에 남는다.
- 예4) α선원이 들어있는 유리로 만든 장치에 Cl 과 H의 혼합기체를 서서히 통과시.
 : α선의 방사선 작용에 의해 염소, 수소 이온화나 라디칼이 생겨 HCl이 생김을 이용
- 예5) 염화아연에 (n , p) 반응으로 Cu를 생성한 다음 물에 녹여 금속아연 한알을 가할때
 : 이온화 경향이 $\text{Zn} > \text{Cu}$ 이므로 Cu가 환원되어 석출.
- 예6) 짧은 시간 중성자 조사로 Cl이 생기게 한 사염화탄소를 분액깔대기에 넣고 물을
 가해 흔들때
 : 질라드 챔버 반응으로 Cl이 물층으로 나온다.
- 예7) ^{35}S 를 함유하는 H_2SO_4 와 ^{32}P 를 함유하는 인산의 혼합용액에 염화제2철을 가하고
 여기에 암모니아수를 가해 약알칼리성으로 할때
 : 침전법에 의한 분리로 P는 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 함께 공침하고 S는 용액에 남는다.
- 예8) ^{38}Cl 을 함유한 NaCl 과 ^{140}Ba 를 함유한 질산바륨 ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)의 혼합용액에
 H_2SO_4
 를 가할 때
 : ^{38}Cl 은 HCl로 휘발하고 Ba 는 BaSO_4 로 침전 된다.
- 예9) ^{59}Fe 를 함유하는 황산제1철과 Zn를 함유하는 황산아연의 약산성용액에 Cu
 판을 넣을때.
 : 이온화 경향이 $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$ 이므로 Cu가 이온화 될수 없다.
- 예10) ^{131}I 로 표지한 요오드 (I_2)를 사염화탄소에 용행시켜 이것을
 KI (요오드 칼륨) 수용액과 섞어 흔들때.
 : KI 는 해리하여 K^+ 와 I^- 로 되며 $\text{I}^- + ^{131}\text{I}_2 \rightleftharpoons ^{131}\text{I}_2^-$ 의 동위원소 교환반응이
 일어나
 사염화탄소층의 방사능이 물층으로 일부 옮겨가고 사염화탄소층에도 방사능이
 남는다.

예 11) 금속철을 묽은산에 녹이고 충분히 공기를 통해준 다음 많은 선량의 γ 선 조사시
: 황산제1철 (Fe^{2+}) 이 산화하여 황산제2철 (Fe^{3+})의 반응이 일어난다.
-> Fricke 선량계의 원리

예 12) 크롬산 암모늄에 중성자를 조사한 다음 물에 녹여 양이온 교환수지를 채운
Column을 통과 할 때.
: Hot atom 효과 (질라드 챔버 반응) 에 의해 Cr의 산화 상태는 CrO_4^{2-} , Cr^{3+} 로
생성된다, CrO_4^{2-} 는 양이온 교환수지를 통과하고, $^{51}Cr^{3+}$ 는 수지에 흡착된다.

5] 방사성 핵종의 정성적 확인 및 정량

1) 원자번호 확인

1. 추정원소에 Carrier를 가하고 비방사능을 구한다
2. 화학변화에 의한 비방사능이 불변함을 확인하고 방사능 특정조사를 한다.

※ Carrier 첨가 -> 비방사능 구함 -> 화학변화에 의한 비방사능 불변확인 -> 방사능 특정조사

2) 방사능 특정조사

1. α , β 선 유무 : 가스유입형 비례계수기
2. β , γ 선 유무 : Al 흡수판 사용에 의한 계측
3. β 선 Energy : Feather 법
4. γ 선 Energy : 반가층법, γ 선 분광분석법
5. 붕괴곡선 및 반감기를 구한다.

3) 계측기의 계수효율

1. 같은핵종의 표준선원이 있는 경우나 같은 핵종의 양을 상대적으로 측정시 무한층으로 한다.
2. 같은 핵종의 표준선원이 없는 경우 대상 β 선 E와는 다른 표준선원을 써서 계수효율을 구하는데 가능하면 두종류의 표준선원을 써 내삽법에 의해 계수효율을 구해야만 효율이 높다.

4) 정량 : 방사화 분석 참조

6] 측정 시료의 제조

1) 측정시료제조에 영향을 주는 인자

1. 방사선의 종류
2. 방사선 Energy
3. 계측기의 종류

2) 시료의 종류

1. Energy 측정용 시료

★ 1> 무담체 및 얇고 고른 시료를 만드는 방법 : α , β 시료
: 전착법, 증착법, 분무법 (Spray 법)

2> β 시료인경우 받히는 물질은 유기물질의 박막을 사용
이 유 : 후방산란에 의한 E 스펙트럼을 적게 하기 위함

※ γ 시료 : 비정이 길므로 두꺼운 시료가 아닌 이상 문제 없다.

- 3> 저 E β 선 측정 : 액체섬광기 사용
: Quenching (빛이 약해져서 계수효율 저하 현상)의 영향 고려

2. 방사능 측정

1> 절대 측정

: 방사성 표준시료를 이용하지 않고 측정시간과 얻어진 계수율로 부터 측정 조건을 고려하여 정의에 입각해서 방사능을 구하는 방법

- ※ 절대측정시 전리함이나 비례계수관속에 시료를 gas상태로 봉입하면 효과적이며,
4 π β 선 측정법에서는 시료의 방사화학적 순도가 높아야 하고 문제점은 E측정때와 마찬가지로 시료의 두께 , 시료의 지지물의 두께 및 종류이다.

2> 상대 측정

: 표준시료와의 비교에 의해 시료의 방사능을 구하는 방법

1> β 선 상대 측정시 고려 사항

- ① 입체각의 재현성
- ② β 선의 Energy
- ③ 원자번호
- ④ 화학형

3) 시료의 제조법

1. 고체시료 제조법 : 전착법 , 증착법 사용

- α 선 측정용 : 시료를 얇고 고르게 한다.
 β 선 측정용 : 균일한 두께와 일정면적이 되게 한다.
 γ 선 측정용 : 시료 면적을 일정하게 유지

- ※ 어떤 경우라도 화학적 안정성이 좋고 흡수성이 없어야 한다.
※ 시료가 트거나 떨어짐을 막기 위한 점착제 : 콜로디온 , 라카 등

★ 1> 분말시료를 일정하게 만드는 방법

- ① 시료접시에 분말을 넣고 묽은 점착제 용액으로 고착시킨다음 용매를 날려 보낸다.
- ② 용액을 증발 건조 하는 방법
: 시료용액을 시료접시에 넣고 열판이나 수욕에서 건조시키거나 적외선 전구를 사용해 건조
※ 거품이나 방울이 튀지 않게 주의
- ③ 침전 여과법
: 여과봉의 내경에 따라 일정면적을 만들수 있어 편리하나 균일성이 저하

2. 액체시료 제조법

1> 장 점

- ① 용액 그대로 방사능을 측정하므로 간편하고 시료형태를 바꿀때 생기는 손실이 없다.
- ② 화학분리나 정제의 각단계에서 각각의 방사능 확인이 편함
- ③ 액체 섬광 계측기 사용시 α , β 선 방출 시료의 측정에 적합
- ④ 자기흡수의 영향이 적고 계측효율이 매우 높아 H-3, C-14, S-35 등 저 E의 β 선 방출시료의 측정에 적합하다.

2> 단 점

: Quencher(발광 억제제)의 영향을 받는다.

- ※ Quencher : 케톤 , 알데히드, 할로겐화합물 , 착색용액 , 물 등
※ Quencher 가 시료에 들어가 계수효율 저하시 계수효율을 알기위해 적용하는 방법

: 내부 표준법, 외부 표준법, 채널비법 등

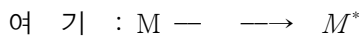
3. 기체 시료 제조 : 비방사능이 낮은 경우 효과적이다

※ 저 E 이면서 쉽게 기체로 만들수 있는 β 선 방출체 : H-3, C-14, S-35 등

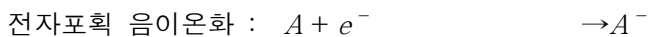
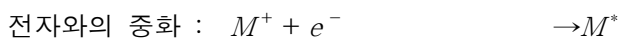
7] 방사선 화학작용과 화학선량계

1) 방사선 화학반응의 기본 반응

1. 1 차 반응



2. 2 차 반응



2) G 값

정의 : 물질이 흡수한 방사선 E 100eV 당 분해 또는 생성되는 분자수 또는 화학종의수

$$G = \text{MOVER} \frac{E}{100} = \frac{M}{E} \times 100 \quad E : \text{흡수 E}$$

M : 생성분자수

※ W 와 E 의 관계

$$N(\text{ion pair}) = \frac{E}{W(34\text{eV})}$$

이온쌍 수율 : 생성 이온 한쌍당 만들어지는 반응 생성물의 분자수.

$$\text{이온쌍 수율} = \frac{M}{N} = \frac{M \cdot W}{E} = \frac{W}{100} \times G$$

3) 수화 전자

: 방사선에 의한 물이 이온화시 방출전자는 물속에서 E를 잃어 열운동에너지를 갖는 열화전자로 되는데 이 열화전자 주위에 물, 알콜등의 극성이 큰 분자가 존재시 이들 분자는 열전자 주위에 배향해서 전자가 용매화한 형태로 된것.

수화전자의 반응

1. 전자 포획 반응
2. 해리형 전자 포착 반응
3. 금속이온 환원 반응

4) 화학 선량계

1. 원리 : 방사선 조사시 화학 변화량 측정
2. 용도 : 대흡수 선량 측정용
3. 화학 변화의 기준 : G치

4. 종류

1> 철 선량계 (Fricke 선량계 . 황산 제1철 선량계)

: 방사선에 의해 Fe^{2+} 가 Fe^{3+} 로 산화되는것을 이용

G 값 : 15.5

2> 세륨 선량계 (황산 제 2 세륨 선량계)

: 황산 제 2 세륨의 환원반응 ($Ce^{4+} \rightarrow Ce^{3+}$) 을 이용한 선량계

3> 메틸렌 블루 선량계

: 방사선에 의한 메틸렌 블루의 퇴색이 방사선량에 비례하는 것을 이용

8] RI 표지 유기 화합물

1) 표지 화합물의 순도

: 표지 화합물은 화학적 , 방사화학적 으로 순수해야 한다.

1> 표지화합물의 순도는 제정과정을 반복해서 비방사능이 변하지 않을 때까지 계속 순도를 높인다.

2> 오랜기간 보관시 순도가 떨어지므로 사용전 정제를 한다.

3> 표지에 쓰이는 선원

: 3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{125}I , ^{131}I , ^{99m}Tc 등

★ 2) 표지화합물의 합성법

1. 화학적 합성법

: 순도가 높고 표지 위치가 확실한 표지화합물을 만들수 있으나 복잡한 화합물을 합성하기 어렵고 조작이 복잡하다.

예 : H-3 , C-14 , S-35

2. 생 합성법

: 화학적 합성법으로 합성하기 어려운 복잡한 생체 구성물질의 합성을 만들수 있다.

단 점 : 수율이나 비방사능이 낮다.

예1) $^{14}Co_2$ 로 클로렐라 배양시 , ^{14}C 를 함유한 단백질로 부터 이를 분 해 ^{14}C 로 표지된 아미노산을 얻는다.

예2) $^{14}Co_2$ 로 담배를 재배해 . ^{14}C 표지 당류, 전분을 얻는다.

3. 반도 표지법

: 반도를 받는 핵반응 생성핵종은 화학결합을 끊고 분자로부터 떨어져 나와 주변 다른 분자의 자유기와 반응하여 표지화합물을 만드는 방법

장 점 : 화학적 방법으로 표지하기 어려운 물질을 표지 가능.

단 점 : 표지 위치가 일정치 않고 정제 곤란.

4. 동위원소 교환법

예) 방전에 의한 H-3 표지 방법.

5. 빌즈 바하법

: 트리튬 gas 와 유기 화합물을 용기 안에 밀봉하여 수일간 방치하면 트리튬 표지 화합물이 생기는 원리 이용

장, 단점 : 반도 표지법과 동일

★ 3) 표지 화합물의 보존법

1. 어둡고 차게 보관 (보통 -40°C)
2. 비방사능을 낮출것 (Carrier 첨가)
3. 활성종의 포착제(안정제)를 가할것,

★ 4) 표지화합물의 분해 요인

1. 1차 내부효과 : 방사성 붕괴로 인해 화학결합이 달라져 분해하는 현상.
2. 1차 외부효과 : 표지화합물 분자가 방출하는 방사선에 의해 표지화합물 자신이 분해하는 현상
3. 2차 방사선 효과 : 1차 효과로 생긴 활성종이 2차적으로 다른 표지화합물을 공격하여 분해시키는 효과.
4. 화학적 분해 : 표지화합물 자신이 포함하고 있는 화학적 불순물에 의해 분해하는 효과.

제 3 장 방사선 생물학

1) 직접 작용과 간접 작용

1. 직접 작용

: 방사선이 표적에 명중하여 표적자체의 원자가 전리하거나 여기되어 생물학적 변화로 이끄는 작용
주로 n , α 입자와 같은 LET가 높은 방사선의 반응

2. 간접 작용

: 방사선 조사시 방사선 E는 세포내 물분자에 흡수되어 유리가 생성되고 이물의 유리기와 표적세포와의 반응이 생물학적 변화로 이끄는 작용.

3. 간접 작용에 영향을 주는 인자

- 1> 희석 효과 : 희석했을때 방사선에 의한 용질분자 변화 비율이 커지는 현상
- 2> 산소 효과 : 생물학적 작용이 산소가 있으면 증가하는 현상.

※ OER (산소효과비)

$$OER = \frac{\text{산소포화시방사선효과}}{\text{무산소상태의방사선효과}}$$

3> 보호 효과

: 물 분해 생성물이나 방사선에 의한 유리기 및 활성종과 반응하기 쉬운 물질을 가하면 방사선 분해의 2차 작용(간접작용)을 줄이는 효과.

※ 저 LET방사선에서는 효과가 크지만 고LET방사선에서는 효과가 거의 없다.

※ 급성에서는 효과가 있지만 만성에서는 효과가 없다.

★ 방사선 보호 물질 (유리기 제거제)

: Cystain, Cystin, Cystamine, AET, Glutathion 등 $-\text{SH}$, $-\text{S}-\text{S}-$ 기를 가진 혼합물로 방사선 분해로 생긴 OH , HO_2 , H_2O_2 등 산화성 유리기와 반응하여 세포의 손상을 막아주는 역할을 하는 물질.

4> 동결 효과 (저온 효과)

: 시료를 동결하면 Radical의 확산이 방지되어 방사선 효과가 감소하는 현상.

2) 방사선 감수성

1. 생존 곡선 : 생물의 종류에 따른 방사선 감수성을 비교하는 지표
2. 반치사 선량(LD_{50}) : 30일 전신조사후 생물 집단의 50 %를 사멸시키는데 필요한 선량
 - 1> 인체 : 400 rad
 - 2> 일반적 포유동물 : 200 ~ 800 rad
 - 3> 거북 : 1500 rad
3. 평균 치사선량 (LD_{37}) : 단세포 생물의 생존율을 37% 이하로 하는데 필요한 선량.
50 ~ 150 rad (100 rad)

4. 방사선 감수성에 대한 Bergonie-Tribondeau 법칙

- | | | |
|--------------------|-------------|--------------|
| 1> 조직의 재생능력이 클수록 | ┌

└ | 방사선 감수성은 높다. |
| 2> 세포분열 과정이 길면 길수록 | | |
| 3> 유약세포 일수록 | | |

5. 방사선 감수성 순서

- 1> 임파구
- 2> 호중구 및 호산구
- 3> 상피세포
- 4> 혈관의 내피세포 , 근막, 복막
- 5> 결합조직 세포
- 6> 근육세포
- 7> 신경세포

3) 확률적 영향과 결정론적 영향

1. 확률적 영향

- 1> 영향이 발생하는 최저선량이 존재하지 않는다 (발단치가 없다)
- 2> 선량증가에 따라 발생 확률도 증가
- 3> 증상의 심각성은 선량과 무관

장해의 종류 : 백혈병 , 악성종양 , 백내장 , 수명단축 , 배 및 태아이상등

2. 결정론적 영향 (비확률적 영향)

- 1> 발단선량 존재
- 2> 발단선량 이상의 선량을 받았을 경우 영향이 나타난다.
- 3> 증상의 심각성은 선량증가에 따라 증상이 중하게 된다.

장해의 종류 : 피부손상 , 혈액변화 등 급성 장해

4) 방사선 장해의 영향을 주는 인자

1. 물리적 요인

- | | |
|---------|------------------|
| 1> 선량 | 2> 선량률 |
| 3> 선질 | 4> 시간분포 (분할조사) |
| 5> 피폭범위 | 6> 피폭부위 |
| 7> 피폭방식 | |

2. 생물학적 요인
 - 1> 생물의 종류 2> 연령 , 성별
 - 3> 건강상태
3. 환경 요인
 - 1> 산소 2> 온도 3> 약물 등

5) 방사선 장해 발현 시간

1. 방사선 생물학적 장해 발현 시간

: 방사선이 체내에 조사되면 세포내의 분자에 E를 주고 10^{-16} 초 정도의 단시간 내에 전리 또는 여기 된다.
 이 전리, 여기 분자는 유리기를 형성하여 다른분자와 반응하여 세포내에서 화학적 결합을 절단하고 생물학적 장해가 일어난다.
 즉 10^{-5} 초 이내에 직,간접작용으로 분자변화를 초래한다.

2. 세포 , 장기의 장해 : 수시간 ~ 수일
3. 개체의 죽음 : 수일 ~ 수년

6) 단시간 전신조사시 신체 장해 현상

1. 100 rad 피폭시
 - 1> 피폭후 제 1일에 1/7의 사람이 방사선 숙취 경험.
 - 2> 그후 10일후 잠복기를 거쳐 3~4주에 탈모, 피하출혈, 설사를 일으키나 대부분 회복
 - 3> 100 rad 는 위험한계 선량이다.
2. 400 rad 피폭시

: 전원 숙취 경험이 있고 약 1주일간 잠복기를 거쳐 식욕부진 설사, 출혈, 발열, 전신권태등이 나타나고 반수정도가 2~3 개월 이내에 사망
3. 800 rad 피폭시

: 숙취가 심하고 잠복기도 수일정도로 설사, 하혈 ,빈혈 ,발열 ,감염등으로 생존불가능

7) 피부의 방사선 장해

1. 제 1 도 피부염 : 탈모

: 100~300 rad 조사후 약 3주의 잠복기를 거쳐 생기는 것
2. 제 2 도 피부염 : 홍반
 - 1> 조기홍반 : 600 rad조사후 수시간내에 가벼운 홍반이 생기는 것
24h후 최강이 되고 3~4일 후 정상으로 회복
 - 2> 주 홍반 : 7~10일 부터 다시 홍반이 생겨 14일 경 최강이 되는것
 - 3> 후기 홍반 : 조사후 5~7주에 걸쳐 3차홍반이 나타나는 것

※ 홍반량의 정의

: 조사후 8일째 가벼운 발적을 초래하고 3주후에 색소침착, 6주에 뚜렷한 색소 침착이 나타나는 것
 홍반량 : 600 rad

3. 제 3 도 피부염 : 수포

: 800~900 rad 조사후 1주일의 잠복기를 걸쳐 수포가 형성되고 이것이 터져 미란을 형성

4. 제 4 도 피부염 : 괴양

: 1000 rad 이상 피폭시 3~5일의 잠복기를 거쳐 심홍색의 홍반, 수포, 미란의 염증이 나타나고 피하조직의 괴양 형성

8) 조혈장기의 장애

※ 1회 전신조사시 혈액의 변화

선 량	변 화
5 ~ 25 rad	초기 백혈구(호중구) 증가
25 ~ 50 rad	임파구 감소, 호중구 증가
50 ~ 100 rad	임파구 감소
100 ~ 200 rad	백혈구, 혈소판 감소
200 ~ 400 rad	백혈구, 혈소판, 적혈구 감소
400 ~ 1000 rad	백혈구의 급속한 감소, 적혈구, 혈색소, 혈소판 감소

9) 내부피폭

-> 방어 참조

★ 1. 내부피폭이 특징

- 1> 비정기 짧은 α , β 방출체가 γ 방출체보다 위험하다.
- 2> 체내조직과 결합, 장기간 체류하여 피폭량이 크다 (예 S-90 : bone seeker)
- 3> 체내의 Radiobioassay의 곤란성
- 4> 핵종의 물리적 반감기
- 5> 핵종의 체내로부터 배설 비율

2. 결정 장기

: 주어진 피폭조건하에서 인체에 가장 큰 장애를 가져오는 장기

※ 결정장기 결정 인자

- 1> 방사성 핵종이 가장 많이 축적하는 장기.
- 2> 전신의 건강 유지에 절대 필요한 장기
- 3> 방사선 감수성이 높은 장기

3. 생물학적 반감기와 유효 반감기

유효반감기 : 신체에서 방사성 핵종이 생물학적 배설, 물리적 붕괴에 의해 감소되는 비율

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_p} = \frac{T_b + T_p}{T_b \cdot T_p}$$

$$\therefore T_{eff} = \frac{T_b \cdot T_p}{T_b + T_p}$$

$$\therefore \lambda_{eff} = \lambda_b + \lambda_p$$

10) 자살 효과

: 내부침착 방사성원소의 변화에 의한 치사 효과

11) 유전적 장애

1. 인간의 유전적 질환

- 1> 유전자 돌연변이
- 2> 염색체 이상
- 3> 다인자 유전

2. 방사선에 의한 유전적 영향 리스크 평가

- 1> 직접법 : 단위선량당 유전성 질병의 유발율을 직접 구하는 방법
- 2> 간접법 (배가 선량법)

: 방사선에 의한 인공돌연변이율을 자연돌연변이율의 2배까지 높이는데
필요한 선량으로 유전적 영향의 리스크를 추정하는 방법

※ 급성 피폭 : 15 ~ 30 rad ⊏
장기 미량 피폭 : 100 rad ⊏ 30 ~ 100 rad

3. 유전유의 선량

: 집단속에서 몇사람이 실제로 받은 선량에서 만들어지는 전체의 유전적 장애와 같은
장애를 기대할수 있는 집단 개인의 평균적 선량

$$\text{연간 유전유의 선량} = \frac{\text{한집단이1년간받은생식선량의총계} \times \text{그후생산된어린이수}}{\text{전인구가생산한어린이수}}$$

4. 유전선량

: 집단의 개인이 수태로 부터 자녀를 갖는 연령에 이르기까지 유전 유의선량을
받았다고 가정시 실제 각각 개인이 받은 선량에 의해서 생기는 것과 같은 유전적부담을
전집단에 일으키는 선량.

$$\text{유전선량} = (\text{연간 유전유의 선량}) \times (\text{자녀를 갖는 평균 연령})$$

※ **잠복기** : 생물이 방사선 조사후 즉시 생물학적 효과가 나타나지 않고 일정시간 경과후
효과가 나타나는 이무증상 시기
즉, 방사선 조사를 받고 일정한 생물학적 반응이 나타날때까지의 시기

잠복기 관계 인자

- 1> 조사량이 크면 클수록 ⊏
- 2> 대상 세포의 감수성이 클수록 | 잠복기는 짧다.
- 3> 방사선 E가 작을수록 (파장이 길수록) ⊏

방사선 취급기술

제 1 장 방사선 검출기의 원리

1] 검출원리에 따른 분류

1) 전리작용을 이용한 검출기

1. 기체 전리작용 : 전리함, GM 계수관, 비례계수관, 안개함, 방전함 등
2. 고체 전리작용 : 반도체 검출기

2) 여기작용을 이용한 검출기 : 신틸레이션 계수관, TLD 등

3) 사진작용을 이용한 검출기 : 필름배지, 건판

4) 2차 전자 방사를 이용한 검출기 : 체렌코프 계수관

5) 화학반응을 이용한 검출기 : 화학선량계

6) 방사선 흡수에 관한 열량 측정 : 열량계

2] 출력 형태에 따른 분류

1) 직접 출력형

1. 전리작용을 이용한 검출기
2. 신틸레이션 계수기
3. 체렌코프 계수관

2) 축적형 : 열형광 선량계, 필름배지, 화학선량계

3) Pulse 형 (계수형) 검출기 : Counter

4) 평균직형 (직류형, 적분형) : 직류전리함 , 필름배지

제 2 장 방사선 검출기의 종류

1] 기체 전리 작용을 이용한 검출기

I] 전 리 함

1) 인가전압에 따른 동작특성의 변화

1. 재결합 영역 (Recombination Region)

: 전위차가 낮아 방사선 조사시 전리된 “+”, “-”이온이 중성으로 되는 부위

2. 전리함 영역 (Ionization Region)

: 방사선 조사시 전리작용에 의해 일정한 값의 전하가 생기는 영역

1> 원리 : 포화전리 특성 이용

-> 인가전압이 조금 증가해도 전류의 측정치는 거의 변하지 않는 전압.
이때 흐르는 전류를 포화전류라 한다.

2> 포화전류에 관계 인자

- ① 전리함 치수
- ② 가스의 종류
- ③ 가스의 압력

3> 전리함 영역의 특성

- ① 1차 이온의 전리전류 측정
- ② 비교적 에너지 의존성이 적다.
- ③ α , β , γ 선에 대한 선질 특성이 좋다.(방사능 측정에 이용)
- ④ 감도는 나쁘다.
- ⑤ 펄스파고는 작다

3. 비례계수관 영역 (Proportional Counter Region)

: 전극에 수집되는 이온쌍의 총수는 1차 이온쌍의 수에 비례 하는 영역

4. G-M 계수관 영역 (Geiger - Muller Counter Region)

: 전리작용으로 생긴 이온수에 무관하고, 전자눈사태 현상으로 일정한 전리전류가 생기는 영역.

5. 방전 영역 (Discharge Region)

2) 방사선 에너지와 출력전하와의 관계

$$Q = Nq = \frac{Eq}{WC} \quad \therefore N = \frac{E}{W}$$

W : 하나의 이온쌍을 만드는데 필요한 에너지

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{Eq}{WC}$$

N : 전자의 이온쌍수

$$q(e) : 1.602 \times 10^{-19} C$$

3) 전리전류와 입사 방사선과의 관계

: 전리영역에서 동작시키는 검출기가 매초당 n개의 이온쌍이 생길때 전리전류 I는

$$\begin{aligned} I &= nQ = 1.602 \times 10^{-19} \cdot n [A] \\ &= n \frac{Eq}{W} = 1.602 \times 10^{-19} n \cdot \frac{E}{W} \\ &= 1.602 \times 10^{-19} n \cdot N [A] \end{aligned}$$

n : 입사 하전 입자수 (S^{-1})

4) 전리함의 종류

1. 자유공기 전리함

1> 특 징

- ① 방사선의 절대 측정
- ② 방사선의 표준 측정
- ③ 0 전위법 사용

2> 보호전극의 역할

- ① 유효체적 결정
- ② 전장의 왜곡 (Distortion) 방지
- ③ 전계의 분포 균등화
- ④ 누설전류가 집전극으로 흐르는것 방지
- ⑤ 2차 전자 평형 유지

2. 공기 등가벽 전리함

1> 공기등가 물질 : 벽의 물질의 방사선 흡수능력이 공기와 같은 재료
예) Bakelite , Aluminm , Plastic , Lucite , Nylon 등

2> 특 징

- ① 반드시 2차 전리조는 하전입자 평형
- ② 벽의 두께는 전자의 비정보다 크게 한다

※ g/cm^2 이용 : 방사선 비정, 방사선 투과력 , 전리조 벽 두께

3. Pulse 전리함

- 1> 무거운 하전입자의 에너지 측정 (α)
- 2> 위치나 방향에 따른 의존성
- 3> 파고치(PHA)에서 입자의 에너지 측정

4. 밀봉형 전리함

5. 조직 등가벽 전리함

6. 지두형 전리함

7. Pocket Dosimeter

<< 콘덴서 형 전리함 >>
: Dosimeter

1. 직독형 Pocket Dosimeter (PD형)

- 1> 등가벽 물질 : Aluminum
- 2> 자체에 Reader 를 가지고 있으므로 Charger 필요 : 충전시 0조준한다
- 3> Reader 의 원리 : Electroscope (검전기) 이용

2. Pocket Chamber (PC 형) : 간접형

- 1> 등가벽 물질 : Bakelite
- 2> Reader , Charger 필요
- 3> Reader 의 원리 : Electrometer (전위계)

$$Q(I) = 3.33 \times 10^{-10} X \cdot V \left(\frac{273}{T+t} \cdot \frac{P}{760} \right)$$

3. 장 , 단점

장 점

- 1> 측정조작이 간단
- 2> 에너지 의존성이 비교적 적다
- 3> 일정 단일기간동안 축적피폭선량 측정
- 4> 개인 피폭선량 측정

단 점

- 1> 장기간 피폭선량 측정 곤란
- 2> 선량의 결과 보관이 불가능
- 3> 기계적 충격에 지시치 변화

<< Non Condenser Type >>

Surveymeter = Rate meter

: 일정시간 동안 전리함에 조사되는 총선량을 선량률로 측정
용도 : 산란선 (2차선) 측정

II] 비례 계수관 (Proportional Counter)

1) 기본 원리

: 1차 전리작용에 의해 생긴 전하에 비례하는 출력 펄스가 발생.

2) Gas 증폭 작용

1. 전자눈사태 현상

: 전자가 전기장에 의해 에너지를 얻어 다른 원자 또는 분자와 충돌하여 전리작용으로 다시 차례차례 전자가 생기는 현상
※ 비례계수관, GM 계수관의 전자 증식 원리

2. 개스 증폭율 (M)

$$M = \frac{n}{1 - \delta n}$$

n : 전가 1개가 가속되어 만든 자유전자 개수

δ : 눈사태에 있는 자유전자 1개가 만드는 광자의 평균 개수

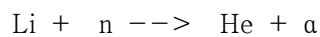
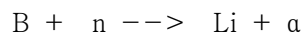
3) 대표적 계수용 Gas

1. PR Gas (Proportional Range Gas)

: 90 % Ar + 10 % CH₄ (메탄)

2. BF₃ Gas (BF₃ 비례계수관) : 중성자 검출용 개스

※ 중성자 검출 원리



※ B, Li 이 있으면 무조건 중성자 검출용이다

3. Xe Gas : 밀봉형 계수관에 이용 (저에너지 X, γ 선에 이용)

4) 특 징

1. 방사선의 에너지 분석

2. 방사선의 종류를 선별 측정

3. 분해시간이 짧아 회복이 빠르다

4. 펄스 파고는 중정도

5. 에너지 분해능은 떨어진다

※ 비례계수관의 플래토우 장소는 검출기 종류에 의존

: 두종류의 입자를 방출하는 선원에 대해 두가지 다른 플래토우가 얻어지고
전리량이 큰입자가 첫번째 플래토우 이다

5) 비례계수관의 종류

1. 2 π 비례계수관

: 계수 효율 50 % , 가장 Low Activity 측정 . 방사능 절대측정에 이용

2. 4π 비례계수관

: 계수효율 100 % , 방사능의 절대측정에 이용

3. BF_3 비례계수관 : 중성자 검출용

III] G- M 계수관 (Geiger - Muller Counter)

1) 기본 원리

: 전리작용으로 생긴 이온수에 무관하고, 전자눈사태현상으로 일정한 전리전류가 생기는 원리.

2) 방전소멸작용 (Quenching)

: 전자눈사태에 의한 방전을 중단시켜 지속방전을 억제. 즉 Anode의 지속적 전류 흐름 방지

★ 1.방전소거법

- 1> 전자회로를 이용한 외부 소멸법
- 2> Gas 를 이용한 내부 소멸법
- 3> 채널 비법

2. Quenching Gas 의 종류

: 소멸목적으로 계수개스에 혼합하는 가스

1> 다원자 유기 가스

: Ethle Alcohle , Xylene , Isobutane , 개미산 에틸

2> Halogen Gas : Br , Cl 등

<< 특 징 >>

- ① High Recombination Mechanism 으로 수명에 제한이 없다.
- ② 동작전압이 낮고 펄스파고가 크다 (1 ~ 10V)

단 점 : Plateau가 짧고 Slope 이 크다.

3> Quenching Gas 의 구비 조건

- ① Count Gas 보다 일함수가 낮을것.
- ② 에너지 흡수능력이 크고 범위가 넓을것.
- ③ 여기상태일때 에너지를 방출하지 말고 해리 할것.

3. Counting Gas : Inert(Noble) Gas

: He , Ne , Ar , Kr , Xe

※ Counting Gas 와 Quenching Gas 의 비율 9 : 1

3) 동작특성

1. 불감시간

: 후속 Pulse를 계수할수 없는 시간. 100 μ sec

2. 분해시간 (Resolving Time)

: Pulse가 계수될때까지의 시간 . 10 μ sec

3. 회복시간 (Recovery Time)

:Pulse 모양이 처음과 같이 될때까지의 시간. 1msec

※ 이들의 관계

불감시간 < 분해시간 < 회복시간

4) 분해시간 과 계수손실의 관계

1. 참계수율

$$n_0 = n_{OVER} 1 - n \cdot \tau$$

n_0 : 참계수율

n : 실계수율

τ : 분해시간

2. 계수 손실 : $n_0 - n$ [cps]

3. 계수 손실을 : $n\tau$ [%]

4. Resolving time 구하는 방법 : Dual source method (2 선원법)

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{1,2} - n_b}{n_{1,2}^2 - n_1^2 - n_2^2} \quad [\text{sec}]$$

5 계수 효율 (count yield η)

$$\eta = \frac{\text{cps}}{\text{dps}}$$

※ 계수효율의 목적은 붕괴율을 알기 위함이다.

5) 계수 영역 (Plateau)

: GM 계수관의 동작전압을 결정

1. Plateau 특성

- 1> Plateau 영역이 길것
- 2> Plateau 경사가 작고 거의 수평
- 3> 개시전압이 일정

※ 일반적 특징

- ① Plateau 의 영역 : 200 ~ 300V
- ② 시동전압 : 유기가스 1000V 전후 , Halogen gas 600V전후
- ③ 사용전압(동작전압) : 시동전압 Plateau의 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 높은 전압
- ④ 이상적인 Plateau 경사 : 5% per 100V
- ⑤ GM 계수관의 특성을 좌우 하는 인자
 - 가. Plateau 의 길이
 - 나. Plateau 의 경사(slope)

2. Plateau 의 길이 : 상한전압 (V_1) - 시동전압 (V_2)

3. Plateau 의 경사

: 인가전압 100V에 대한 계수율의 변화율을 %로 표시.

$$\%per100V = 100(R_2 - R_1)/R_1 \text{ OVER } V_2 - V_1 \times 100$$

4. Plateau의 길이와 경사에 영향을 주는 인자

- ① Counting gas 의 종류와 압력
- ② Anode 의 직경
- ③ Cathode

6) GM 계수관의 특징

1. 에너지 분석이 불가능
2. 분해시간이 길다 (단점)
3. 펄스파고가 크다
4. β 선 검출효율이 100%로 β 선 검출용으로 쓰인다

7) GM -Surveymeter로 고선량률의 γ 선 측정시 주의 사항

1. 소멸현상 (분해시간이 길어서 나타나는 현상)
2. 직사광선

8) GM 계수관의 종류

1. 2π GM Counter
용도 : 동위원소 시료 분석
목적 : 선원의 방사능 측정 (β 선)
2. 4π GM Counter
: Portable surveymeter, 반드시 2차선을 측정하고 계수율 단위는 cpm으로 나타내는 Rate meter 이다.
3. 유기소멸가스 GM관
4. 할로겐 GM관
5. Flow 형 GM 계수관 (가스유입형 GM 계수관)
: Counting gas가 흐를때만 검출되며 창이 없다

※ GM 계수관의 7가지 보정계수를 무시하는 이유

: Sample을 Counter속에 넣어 측정하기 때문

2] 고체 전리작용을 이용한 검출기 : 반도체 검출기

1) 검출원리

: 출력 Pulse 의 크기는 생성된 전자,양공쌍의 수가 유효부분 내에서 흡수된 방사선 에너지에 비례
즉 하전입자가 반도체속에서 많은 전자,양공 쌍을 생성시키는 것을 이용

2) 반도체의 종류

1. P형 반도체 (Acceptor 불순물 사용)
: Ge, Si + 3족원소 (In, Ga, Al 등) $\rightarrow$ Electron Acceptor
※ 다수 carrier : 정공, 소수 carrier : 전자
2. N 형 반도체 (Doner 불순물 사용)
: Ge, Si + 5족원소 (P, As, Sb 등)
※ 다수 carrier : 전자, 소수 carrier : 정공

3) 반도체 검출기의 특징

1. 한쌍의 운반자를 만드는데 필요한 평균에너지는 Ge : 2.8eV, Si : 3.6eV 정도
2. 신틸레이션 검출기보다 에너지 분해능이 좋다.
3. 공핍층내에서 carrier의 이동속도가 빠르므로 분해시간이 짧다.

4. 표면장벽형은 저 E 하전입자 (α)측정에 적합하다.

4) 반도체 검출기의 종류

1. Si 반도체 검출기 : 주로 α 선 E 측정

1> P-N 접합형 검출기

① 원리

: P→N으로 정공이 확산하고 N→P로 전자가 확산 될때 P형에 “-”이온이 N형에 “+”이온이 잔존하여 P-N접합부위에 전계가 생겨 확산하려는 carrier의 흐름을 방해 한다. 이때 역전압을 걸어주어 공핍층(공간전하영역)을 형성시켜 공핍층내에 발생된 carrier 쌍을 제거하여 전리함에서의 전리영역과 같은 동작을 한다

② 공핍층의 두께 : $10 \sim 500 \mu\text{m}$

③ 용 도 : α 선 측정

2> 표면장벽형 (Surface Barrier Type)

: N형 Si표면에 금과 같은 얇은 금속($100\mu\text{g}/\text{cm}^2$)을 얇게 증착시켜 표면에 P-N형과 같은 공핍층을 형성 시킨것.

① 공핍층의 두께 : $50 \sim 500 \mu\text{m}$

② 용 도 : α 선 측정

3> Si(Li) 검출기

: β 선의 E 측정, (저E X, γ 선 측정) 분해능이 좋다.

※ Li Drift Detector (P I N 형)

: P형의 Si 또는 Ge에 Li를 확산시켜 넓은 고저항영역(공핍층)을 형성 시킨것.

, Li이온의 이동을 막기 위해 항상 액체질소온도 (77 K) 로 냉각시켜 보존, 사용한

다.

★ 검출부를 항상 액체질소온도로 냉각시키는 이유

: 상온에 방치하면 Li 의 열확산에 의해 공핍층이 없어지기 때문

즉 실온에서 Li의 이동도가 커지고 Li이 연속적으로 확산하여 석출되어 검출기 특성이 저하된다.

2. Ge 반도체 검출기 : X , γ 선의 E 측정용

1> Ge(Li) 검출기

: X , γ 선 의 E 측정

2> 고순도 Ge 검출기 (High Pure Ge Detector)

: 저온에서도 고정항을 갖기 때문에 사용시만 저온으로 해주면 된다.

① 용 도 : X, γ 선의 에너지 측정

② Ge(Li) , Si(Li)형과 차이점

가. 상온에서도 보존 가능

나. 측정시만 액체질소온도로 냉각시켜 사용하므로 유지가 편함

다. 에너지 분해능이 우수하다

★ 5) 반도체 검출기의 장, 단점

1. 장 점

- 1> 소형이며 견고하다.
- 2> 에너지 분해능이 좋다.(기체전리함의 3배)
- 3> 분해시간이 짧고 에너지의 직선성이 좋다.
- 4> 자계의 영향을 받지 않는다.
- 5> 고전압이 필요없다.(전기회로 간다)
- 6> α 입자 측정에 적합하고 계수효율은 100%이다. 그외 β, γ 선, 양자, 중성자도 검출 가능

2. 단 점

- 1> 유효 계수면적이 적다.
- 2> 방사선 손상이 다른 검출기 보다 크다.
- 3> Ge(Li) , Si(Li) 형은 진공속에서 저온(액체질소온도)로 냉각

3] 여기작용을 이용한 검출기 : Scintillation Detector

1)검출원리

: 방사선이 Scintillator의 구성원자와 상호작용으로 원자, 분자가 여기되고 여기된 원자, 분자가 원래의 상태로 돌아갈때 그 에너지를 빛(섬광)으로 방출한다
즉, 이 빛에너지를 전기신호로 변환하여 검출한다.

2) Scintillator 의 종류

1. Scintillator의 특성

- 1> 방사선 E의 발광변화 효율이 높을것.
- 2> 빛의 투과성(투명도)가 좋을것.
- 3> 발광감쇠시간이 짧을것.
- 4> 발광 Spectrum이 PM tube의 분광감도에 맞을것.
- 5> 만들기 쉽고 기계적, 화학적 내성이 강할것.
- 6> 고 에너지 γ 선용으로 원자번호나 밀도가 높고 부피가 클것.

2. 무기 Scintillator

1> NaI(Tl)

: 불순물인 활성화제로서 미량의 Tl를 함유하여 발광효율이 높아 γ 선 측정에 적합
단, 조해성이 있으므로 하전입자나 저 E의 X, γ 선의 검출을 할수 없다

※ 조해성 (Hydroscopic)

: 습기를 흡수하면 녹아버리는 현상. 그러므로 용기는 밀봉되고 뒷면은 유리, 석영의 광학창을 갖는다.

2> CsI(Tl)

: NaI(Tl)보다 원자번호나 밀도가 높아 γ 선에 대한 효율이 좋고 조해성은 없다
단점 : 발광도가 작고 E분해능이 떨어진다

3> LiI(Eu)

: 중성자 측정용. $Li(n, \alpha)H$ 반응 이용

4> ZnS(Ag)

: 분말결정으로 투과력이 나쁘다

α선 검출용

3. 유기 Scintillator : 방향성 탄화수소

1> Anthracene , Stilbene 현재 별로 사용치 않음.

2> Plastic Scintillator

: 만들기 쉽고 값이 싸다. 빠른 출력펄스를 얻을수 있어 시간관계측정에 이용

속중성자 검출에 이용

3> Liquid Scintillator

: Toluene , Xylene의 유기용매(Solvent)에 형광물질 (PPO, P-Terphenyl, PBD)
을 첨가 한것.

① Solute (용질, 유기형광물질)

가. 1차 용질 : PPO , P-Terphenyl, PBD

나. 2차 용질(파장 변화체, Wave Length Shifter) : POPOP

※ 목 적 : 발광효율 증진

② 시료를 녹여 사용하므로 자기흡수가 없고 4π계수를 할수 있다

③ 용 도 : **저 에너지 β선 측정용 (H-3 , C-14)**

3) Scintillation Detector의 구조

1. Detector의 3대 구조

1> Scintillator : 방사선 에너지를 빛에너지로 변환

- 외부층 : Al 층 -> 외부의 기계적 손상으로 부터 보호

- 내부층 : Al_2O_3 (MgO) -> 빛 반사율 증가

2> Light Pipe : 빛을 흡수하지 않는 물질 (Lucite , Glass, Quartz)

역 할 : 빛 분산

3> PM Tube (Photo-Multiplier tube)

: 광음극(광전면)에서 발생한 광전자를 여러개의 Dynode를 통해 전자증폭을 시켜
집전극(양극)에 도달

※ PM Tube 의 3대 구성 요소

① Photocathode : Scintillator에 의한 빛을 광전자로 방출

원리 : 광전효과

② Dynode : 여러개의 Dynode를 거쳐 광전자를 증폭

③ Anode : 증폭전자를 수집하여 전류신호로 변환

2. Probe 의 구성 요소

1> Detector

2> Light Pipe

3> P-M Tube

4> Preamplifier

4) 광전자 증배관 사용시 주의 사항

1. 규정이상의 고전압을 가하지 말것.

2. 고전압 전원 안정화 회로를 사용 할것.

3. 자계의 영향을 방지하기위해 μ metal의 자성재료로 PM Tube를 싸것.

4. 측정전 동작이 안정 될 때까지 충분한 시간을 가질것.

5) γ 선이 NaI(Tl) Scintillation 계수관에 검출되는 과정

1. γ 선이 Scintillator에 입사하면 에너지의 전부 또는 일부가 NaI와 상호작용을 하여 운동에너지를 가진 전자를 발생.
2. 운동E를 얻은 전자는 NaI를 여기, 전리하고 미량의 활성화제인 Tl에 전자가 포착되는 과정에서 필요 이상의 E를 형광으로 방출 (1광량당 30eV)
3. 이 빛은 광증배관의 광전면(광음극 : Cs-Sb , Bi-Ag-Cs , Ag-O-Cs)에 유도되어 광전자 방출.
4. 광전자는 PM Tube의 Dynode에 의해 증배(10^6)되어 양극에서 수집하여 Pulse전하를 형성
※ 이전하의 총량은 Scintillator속에서 소비된 방사선E에 비례한다.

6) Scintillation Counter 의 특징

1. GM 계수관과 같은 수명은 없다.
2. 방사선 종류에 따라 선택성이 있다.
3. 분해시간이 짧다.
4. γ 선 계수효율이 높다.
5. 방사선 에너지 측정이 가능하다.

7) NaI(Tl) γ 선 검출기의 장,단점 (Ge(Li) γ 선 검출기에 비해)

<< 장 점 >>

1. 계수효율이 높다.
2. 보수관리가 쉽다.
3. 가격, 유지비가 싸다.
4. 피이크계수와 전계수와의 비가 좋다.
5. 여러가지 모양으로 쉽게 만들수 있다

<< 단 점 >>

1. 에너지 분해능이 나쁘다.
2. 안정도가 나쁘다.

4] 그 외의 검출기

1) 여기작용 이용

★ 1. 형광유리 선량계

1> 원 리

: 미량의 Ag를 첨가한 인산유리(RPL , PL)에 자외선을 조사하면 흡수한 방사선량에 비례해서 형광을 발생하는 현상 -> PM Tube로 판독

2> 피폭선량의 집적선량 측정

3> 개인 피폭선량기로 이용

2. 열형광 선량기 (TLD Thermo-Luminescent Dosimeter)

★ 1> 원 리

: 격자결함을 갖는 결정체에 방사선 조사후 적외선을 비추어 주면 형광이 발생하는 현상 이용

2> TLD Reader의 E원 : Infra Red

※ Reading : 방사선이 조사된 후 전자가 금지대 trap에 잡힌 상태

3> Fading (퇴 색)

: 열을 가하기전 오랜시간 방치하면 포획전자가 방출되는 현상. 즉 지시치 저하

4> Annealing (예 열)

: 외부자극이나 자연방사선에 의한 전자포획을 제거하는것

5> TLD 물질의 종류

① 개인 피폭선량용 : LiF , $Li_2B_4O_7(Mn)$, BeO

② 대소 흡수선량 측정용 : CaF_2 , $CaF_2(Mn)$, $CaF_2(Dy)$

③ 환경 방사선량 측정용 : $CaSO_4(Mn)$, $CaSO_4(Tm)$, $CaSO_4(Dy)$

6> TLD 의 장, 단점

<< 장 점 >>

- ① 작고 형태가 다양하다.
- ② 감도가 좋다.
- ③ 광범위한 흡수 범위
- ④ 반복사용이 가능
- ⑤ 개인피폭선량계로 적당

<< 단 점 >>

- ① 특별한 가열작용이 필요하다.
- ② 오래방치하면 지시치가 저하된다(Fading 현상)

2) 화학작용을 이용한 검출기

1. 원 리 : 방사선 조사시 화학변화량을 측정 (산화, 환원)

2. 용 도 : **대 흡수선량 측정**

3. 화학변화의 기준 : G 치

※ **G 치** : 화학변화시 방사선 흡수 에너지 100eV 당 반응(분해,생성)하는 분자수(원자수)

$$G = \frac{M}{E} \times 100$$

E : 흡수 에너지

M : 생성 분자수

※ **이온쌍 수율** : 생성한 이온쌍 한쌍당 만들어지는 반응생성물의 분자수 (M/N)

이온쌍 수율과 G 값과의 관계

$$\text{이온쌍수율} = \frac{M}{N} = \frac{M \cdot W}{E} = \frac{W}{100} \times G$$

$$\begin{aligned} \text{※ 1l 의 분자수(원자수 , N)} &= 6.02 \times 10^{23} \times \frac{100}{G} [eV] \\ &= 6.02 \times 10^{23} \times \frac{100}{G} \times 1.6 \times 10^{-12} [erg] \end{aligned}$$

★ 4. 화학선량계의 종류

1> 철 선량계 (Fricke 선량계)

: 황산제 1 철의 산화 반응을 이용한 선량계 ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$)

※ G 값은 15.5

2> 세륨(Ce)선량계 (황산 제2철 선량계)

: 황산제 2세륨의 환원반응을 이용한 선량계 ($Ce^{4+} \rightarrow Ce^{3+}$)

3> 메틸렌 블루 선량계

3) 사진작용을 이용한 선량계 : Film Badge

1. 원 리 : 사진유제의 흑화도
2. 감 도 : 10mR ~ 2000mR
3. 단 점 : 1> 현상처리 과정이 길다.
2> 오차가 심하다.
3> 에저지 및 방향의존성이 크다

4) Cerenkov 검출기

: 하전입자가 물질을 통과할때 그속도가 광속도 ($v > \frac{c}{n}$) 보다 클때 진행방향에 대해 θ 각사를 가진 전자파를 방출하는 현상.

제 3 장 방 사 선 측 정 법

1] 방사선 측정시 고려 해야할 공통 기술 :6가지

1) 방사선 측정 대상

1. 방사능 및 RI에 관한것

- 1> 방사선 측정 : 선원의 방사능 결정
- 2> 반감기, 붕괴의 측정 : 선원의 핵종 결정

2. 방사선 차폐

- 1> 방사선 E 및 Spectrum : 선질 측정
- 2> 조사선량 측정

3. 방사선과 물질과의 상호작용

- 1> 흡수선량 측정 및 선량당량 측정
- 2> 차폐, 산란 등의 측정

4. 측정기, 측정법

: 검출기의 동작특성 , 성능 , 효율 , 방향성 , 선질의존성 측정

2) Background (BG)

<< Background의 원인 >>

1. 자연방사선 : 우주선 , 천연방사선
2. 주변 방사선원
3. 방사선이외의 효과 : 전기적 잡음

3) 계 수 효 율 (η)

$$\eta = \frac{\text{계수율 (cps)}}{\text{표준선원의붕괴율 (dps)}}$$

1. 측정시 고려해야할 계수 효율

1> 선원과 검출기 사이의 기하학적 효율 (G)

$$G = \frac{1}{2} (1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{r^2 + d^2}} \right)$$

※ 검출기창의 크기에 비해 충분히 멀리 떨어진 경우 ($d \gg r$)

$$G = \frac{r^2}{4d^2}$$

※ 기하학적 효율에 영향을 미치는 인자

- ① 선원과 검출기사이의 거리 (d)
- ② 검출기 입사창의 직경 (2r)
- ③ 선원의 크기

2> 고유검출 효율

3> 선원의 자기 흡수 , 선원의 후방산란 계수

4> 선원과 검출기 사이의 보정계수

5> 출력신호, 계수손실 , 얻어진 자료의 처리 등

4) 측정치의 보정

1. 분해시간에 따른 계수손실 보정식

$$n_0 = \frac{n}{1 - n\tau} \quad \text{또는} \quad n = \frac{n_0}{1 - n_0\tau}$$

n_0 : 참계수율 , n : 실계수율 , τ : 분해시간

※ 분해시간 구하는 식 (2 선원법)

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_b}{n_{12}^2 - n_1^2 - n_2^2}$$

2. 흡수와 산란의 보정

3. 2차 방사선의 보정

- 1> β 선 측정 : 제동 X선
- 2> γ 선 측정 : 2차전자 및 형광 X선
- 3> 중성자 측정 : 포획 γ 선

5) 계수치의 통계 처리

1. 계수치의 통계 오차

- 1> 표준 편차 (Standard Diviation : δ)
 : Sample(관측치)의 신뢰도를 나타내는 것.

$$\delta = \sqrt{N} = \frac{\sqrt{N}}{t} \quad N : \text{계수치} \quad t : \text{측정시간(측정횟수)}$$

※ 표준편차의 표시 방법

- N이 ($\bar{N} \pm \delta$) 에 들어갈 확률 : 68%
 N이 ($\bar{N} \pm 2\delta$) 에 들어갈 확률 : 95%
 N이 ($\bar{N} \pm 3\delta$) 에 들어갈 확률 : 99.7%

- 2> 상대 표준편차 (δ')

$$\delta' = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

※ 1% 의 상대표준편차를 기대하려면 적어도 10,000 Counts의 계수치가 되어야 한다.

2. 계수율의 통계 오차

BG를 t_b 초간 계수하여 N_b Counts를 얻고 (시료 + BG)를 t_s 를 계수하여 N_s Counts를 얻었을때. n_b : BG의 계수율 n_s : (시료 + BG)의 계수율
 이라 하면

- 1> Background 의 계수율 (B)

$$\begin{aligned} B &= \frac{N_b}{t_b} \pm \frac{\sqrt{N_b}}{t_b} \\ &= n_b \pm \sqrt{n_b/t_b} \end{aligned}$$

- 2> (시료 + BG) 의 계수율 (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{N_s}{t_s} \pm \frac{\sqrt{N_s}}{t_s} \\ &= n_s \pm \sqrt{n_s/t_s} \end{aligned}$$

- 3> 참 계수율 (시료만의 계수율)

$$\begin{aligned} \text{참계수율} &= n_s - n_b \pm \sqrt{\frac{n_s}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}} \\ &= n_s - n_b \pm \sqrt{\delta_s^2 + \delta_b^2} \end{aligned}$$

★3. 미량의 방사능을 정확하게 측정하기 위한 조치 사항

- ① 차폐하여 Background 계수율(n_b)을 낮춘다.

- ② 계수시간 t_s 와 t_b 를 될수 있는한 길게 잡는다.
- ③ 기하학적 효율을 크게하여 시료에 대한 계수효율을 올린다.
- ④ E를 선별하여 시료로부터 방사선의 계수효율을 유의하면서 Background 계수율을 낮춘다.

4. 계수율계 (Rate meter)의 상대 표준편차

$$\dot{\sigma} = \frac{100}{\sqrt{2n\tau}} [\%]$$

n : 평균 계수율 (S^{-1}) τ : 회로의 시정수

6) 방사선 측정장치의 선정

1. 검출기

2. 증폭기

1> 전치 증폭기 (Preamplifier)

: PM tube 의 Anode에 접속된 Pulse E 및 Distortion 을 방지하여 Pulse를 증폭하고 Amplifier에 보낸다.

2> Amplifier

: Preamplifier에 의한 Pulse를 일정한 형태를 갖도록 한다. (Pulse Shaping)
즉, 입력 Pulse E를 PHA, 계수기등에 맞는 E로 증폭한다.

3. 파고분석기 (에너지를 측정하기 위한 회로)

: Amplifier의 gain factor에 의한 Pulse 중 일정 범위의 Pulse E만 Counting하고 그밖의 Pulse는 제거 하는 장치.

※ 목적 : 산란선 및 Background 방지

<< PHA 의 종류 >>

1> SCA (Single Channel Analyzer)

Window폭은 LLD와 ULD 사이로 Window내의 Peak E만 Counting 한다.

* 구 성

- LLD (Lower Level Discriminator , 하한 파고 선별기)
- ULD (Upper Level Discriminator , 상한 파고 선별기)
- 역동시 계수회로

2> MCA (Multi Channel Analyzer)

: 다중 에너지를 Window로 계수 측정하여 분석할수 있는 파고 선별기.

4. 시간관계를 측정하는 장치 (Timer)

1> 동시회로 (Coincidence Circuit)

: 2개 이상의 Pulse 신호가 회로의 분해시간내에 동시에 입력될때만 출력된다.

예) β - γ 동시계수법 : 절대측정

2> 역동시 회로 (Anticoincidence Circuit)

: 2개의 신호가 동시에 입력될때 출력이 없고 동시 입력이 아닐때 한쪽신호를 출력.

※ 특 징

- ① 입력이 동시에 들어갔을때 출력이 되지 않는다.
- ② 입력 Pulse가 들어오지 않을때 출력이 되지 않는다.
- ③ 입력 Pulse가 어느 한쪽에서 들어오면 출력된다.

5. 계수회로

: 10진 계수회로 , 계수율

2] 방사능 측정

: 절대측정 과 상대측정

1) 측정 방사선 물질량의 고려사항

1. 검출기, 계수장치의 계수효율, 감도 및 입사방사선에 대한 포화량
2. 통계적 현상을 나타내는 붕괴량의 변동 오차
3. $10^{-4} \sim 10^{-5} \mu Ci$ 가 적당.

2) 시료의 구비조건

1. 재현성이 있을것.
2. 조제가 쉬울것.
3. 장기간 그상태로 유지할것.
4. 계수율이 클것.
5. 물리적, 화학적으로 같을것.

3) 측 정

1. α 선에 의한 측정

- 1> 투과력이 약하여 선원의 자기흡수가 크다.
- 2> 측정시료를 매우 얇게 만들어 주어야 한다.
- 3> 검출기와 거리도 영향을 주며 창을 얇게 하거나 창없는 형이 적당하다.
- 4> 사용 검출기
: 전리함, 2π 비례계수관, 액체신틸레이션 검출기, ZnS(Ag) Scintillation 검출기

2. β 선에 의한 측정

- 1> 200KeV 이하에서는 β 선 측정이 어려우므로 이핵종에서 다른 방사선 방출이 있으면 β 선 측정을 삼가한다.
- 2> 저 E β 선 방출체 (H-3, C-14, S-35, Ni-63 등)는 창없는 검출기가 적당.
- 3> 사용 검출기
: 액체 신틸레이션 검출기, 직류전리함, 비례계수관 GM 계수관

3. γ 선에 의한 측정

- 1> γ 선 검출기로서는 원자번호와 밀도가 크고 용적이 큰것이 검출효율이 높다
 - 2> 자기흡수가 적고 시료의 양을 많이 사용할수 있다.
 - 3> 사용 검출기
 - ① 대표적 검출기 : NaI(Tl) Scintillation 검출기
 - ② 저 에너지 γ , X선 : 비례계수관, 신틸레이션 검출기 , Si 반도체 검출기등으로 전자포획 핵종의 검출이 용이
- ※ 궤도전자 포획 핵종**
: Fe-55, Co-57 , Sr-85 , Cd-109 , I-125 등
- ③ 약한 방사선원 : 우물형 4π 전리함 및 신틸레이션 검출기
 - ④ Ge 반도체 검출기
: 전검출효율이 NaI 신틸레이션 검출기보다 적지만 E분해능이 우수하므로 광전흡수 계수법에 의한 측정이 쉽다.

4) 절 대 측 정 (Absolute Mesurement)

: 표준 방사성 시료를 이용하지 않고 측정시간과 얻어진 계수율로 부터 측정조건을 고려하여

정의에 입각하여 방사능을 결정하는 방법.(Standard Source 불필요)

<< 방사능 절대측정법의 종류 >>

1. 단창형 G-M 계수관을 이용한 정입체각법

★ 1> 방사능과 계수율 관계식

$$n = D \cdot \eta \cdot G \cdot F [cps]$$

$$\therefore D = \frac{n}{\eta \cdot G \cdot F} [dps]$$

n : 계수율 (cps)

D : 선원의 방사능 (dps) , η : 검출기 효율 , G : 기하학적 효율 , F : 각종보정계수

2> 보정해야할 보정 계수

① 기하학적 효율 (Geometric factor)

$$G = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}} \right)$$

※ 기하학적 효율 결정 인자

- ㄱ. 입사창과 선원과의 거리
- ㄴ. 검출기 입사창의 직경
- ㄷ. 선원의 직경

② 계수효율

$$\eta = \frac{cps}{dps}$$

③ 그외의 보정 인자 (5 가지)

$$F = f_a \cdot f_b \cdot f_c \cdot f_d \cdot f_s$$

(ㄱ) f_a : Absorbtion(검출기 입사창의 β 선 흡수 , 공기층의 β 선 흡수및 산란)

$$f_a = e^{-\mu m \cdot dt}$$

$$\therefore \mu m = \frac{0.017}{E^{1.43}} [cm^2/mg]$$

$$dt = \text{window 두께} + \text{공기층 두께}$$

$$= dw + da [mg/cm^2]$$

$$da = 1.293 \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{p}{760} \cdot d$$

t : 온도 , P : 기압 , d: 선원과 창 의 거리

(ㄴ) f_b : 선원으로 부터의 후방산란 (Background)

(ㄷ) f_c : 분해시간에 의한 계수손실 (Counting loss)

$$n = \frac{n_0}{1 - n_0 \tau} \text{ 또는 } n_0 = \frac{n}{1 - n \tau}$$

에서

$$f_c = 1 - n_0 \cdot \tau$$

(ㄹ) f_d : Detector의 고유효율 (감도)

(ㄺ) f_s : Source 의 자기흡수

$$f_s = \frac{1}{\mu m} \cdot (1 - e^{-\mu m \cdot t})$$

2. 4π 계수법

: 선원을 얇은 유기박막에 조제하여 이것을 4π 계수관에 넣고 측정하는 방법

- 1> 입체각이 4π 가 되어 계수율이 거의 붕괴율이 되고 Sample을 Counter속에 넣고 계수하므로 보정계수는 거의 무시되지만 Counting loss , 자기흡수 , 박막흡수가 있다.
- 2> 적용핵종 : α , β 선

3. β - γ 동시 계수법

: Co-60 , Au-198 과 같이 β 선과 γ 선이 동시에 방출하는 핵종에 적용되고 β 선은 GM 계수관 또는 비례계수관으로 계수하고 γ 선은 NaI(Tl)섬광계수관으로 계수한다. 이때 β 선과 γ 선이 동시입사시 계수하도록 동시회로를 설치한다.

※ 동시계수 회로의 계수율

$$n_0 = \frac{n_\beta \cdot n_\gamma}{n_{\beta - \gamma}} [dps]$$

n_β : β 선용 검출기의 계수율 (cps)

n_γ : γ 선용 검출기의 계수율 (cps)

$n_{\beta - \gamma}$: β - γ 선 동시 계수율 (cps)

$$n_\beta = \frac{N_\beta}{t_\beta}$$

N_β : β 선의 계수 (Counts)

$$n_\gamma = \frac{N_\gamma}{t_\gamma}$$

N_γ : γ 선의 계수 (Counts)

$$n_{\beta-\gamma} = \frac{N_{\beta-\gamma}}{t_{\beta-\gamma}} \quad N_{\beta-\gamma} : \beta-\gamma \text{선의 계수 (Counts)}$$

이때 $n_{\beta-\gamma}$ 는 진정한 계수율이 아니고 우발동시계수(n_{ch}) 값이 포함되어 있으므로 $\beta-\gamma$ 동시계수율에서 우발동시 계수를 빼주어야 한다

즉, $n_{ch} = \tau \cdot n_{\beta} \cdot n_{\gamma}$ 그러므로

$$n_0 = \frac{n_{\beta} \cdot n_{\gamma}}{n_{\beta-\gamma} - \tau \cdot n_{\beta} \cdot n_{\gamma}} [dps]$$

$$D = \frac{n_0}{3.7 \times 10^{10}} [Ci] \text{ 또는 } D = \frac{n_0}{3.7 \times 10^4} [\mu Ci]$$

4. 액체 신틸레이션 계수법

1> 입체각은 4π 로 기하학적 효율이 1에 가까와 자기흡수가 없고 계수율은 붕괴율에 가깝지만 E가 낮으면 Quenching 효과가 있어 저 E β 선의 경우 효율이 떨어진다

2> 적용핵종 : α 선 , 중고에너지 β 선의 절대측정

5. 기체 계수법

: H-3 , C-14 , S-35 등 기체시료의 절대측정

5) 상대 측정 (Relative Mesurment)

: 표준시료와의 비교에 의해 시료의 방사능을 구하는 방법

$$A = \frac{N_A - N_b}{N_s - N_b} \cdot S \text{ 또는 } A = \frac{n_{\gamma}}{n_s} \cdot n$$

A : 구하고자 하는 시료의 방사능

N_A : 시료의 계수율 (cps)

N_b : Background 의 계수율 (cps)

N_s : 표준선원의 계수율 (cps)

S : 표준선원의 방사능 (Ci)

n : 표준선원의 계수 (dps)

n_s : 표준선원의 계수율 (cps)

n_{γ} : 상대선원의 가계수율 (cps)

6) 저준위 방사능 측정

1. 측정 요점

: Background를 적게하고 시료로 부터 계수율을 올린다

2. Background 를 낮게 하기위한 대책

1> 납 또는 철로 검출기를 차폐

2> 역동시 계수회로 사용

3> 파고분석으로 불필요한 신호 제거

4> 계수관이나 차폐체의 재료를 잘 선택

3] 방사선 에너지 측정

1) α 선 에너지 측정

: 플라스틱(액체 , 유기)신틸레이션 검출기 , 비례계수관 , 그리드 부착형 펄스 전리함

2) β 선 에너지 측정

★ 1. 흡수곡선을 이용한 β 선의 최대 에너지를 구하는 방법

- 1> Feather 법 : 표준시료 및 미지시료의 흡수곡선과의 비교법
- 2> Harley 법 : 표준시료 및 미지시료의 투과율에서 흡수체 두께에 따른 계수율비를 구하여 β 선의 에너지를 구하는 방법
- 3> 간 이 법 : β 선의 최대비정과 최대에너지와의 관계식에서 β 선의 에너지를 구하는 방법

$$R = 0.542 E - 0.133 \quad (0.8 \text{ MeV} < E)$$

$$R = 0.407 \cdot E^{1.38} \quad (0.15 \text{ MeV} < E < 0.8 \text{ MeV})$$

- 2. β 선 에너지 측정 검출기
- : 플라스틱(유기, 액체) 신틸레이션 검출기, 비례계수관

3) γ 선의 에너지 측정법

- 1. 측정 검출기
- : NaI(Tl) 신틸레이션 검출기, Ge (Si) 반도체 검출기, 비례계수관

- 2. 파고분석법에 의한 γ 선 에너지 측정 원리
- : 1.02 MeV 이상의 γ 선 에너지가 Scintillator에 입사시 γ 선 에너지의 잃는 과정 설명

- 1> 광전효과에서 전E(광전피크, 전 E Peak) E_γ 가 흡수 된다.

$$E_\gamma (\text{광전피크}) = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_t} \quad \varepsilon_p : \text{광전 흡수 검출효율}$$

$$\varepsilon_t : \text{전 검출효율}$$

※ 광전 피크 : 1회 광전효과에 의한 E 흡수로 생기는 예리한 Pulse

- 2> Compton effect 에서는 E_γ 에서 산란 γ 선이 갖고 사라지는 에너지 E_s 를 제외한 나머지가 흡수된다.

즉, γ 선의 Escape Peak 는

$$E_a = E_\gamma - E_s$$

※ Escape Peak

- ① 저 에너지 γ 선 인 경우
- : 광전 Peak 보다 28 KeV 낮은곳에서 요오드의 X선이 Scintillator 밖으로 소실되기 때문에 생기는 Peak.
- ② 고 에너지 γ 선 인 경우
- : 전자쌍생성을 수반하는 양전자의 소멸방사선이 Scintillator 밖으로 방출소실하므로 γ 선 광전 Peak 보다 0.511 MeV 및 1.02 MeV 낮은곳에서 Peak가 나타난다.

$$\text{Single Escape Peak} : E_\gamma - mc^2$$

$$\text{Double Escape Peak} : E_\gamma - 2mc^2$$

$$mc^2 = 0.511 \text{ MeV} \quad \text{임}$$

3> 컴프턴 흡수단 (Compton edge E)

: γ선 Spectrum 이 나타나는 컴프턴 산란 영역중 Pulse 파고 최대치보다 E가 큰 부분에서 강도가 갑자기 떨어지는 부분

$$E_c = E_0 - E_{\min} = 2E_\gamma \text{ OVER } mc^2 + 2E_\gamma$$

$$= \frac{E_\gamma}{1 + \frac{mc^2}{2E_\gamma}}$$

※ Compton 산란을 받은 반조전자의 최대 에너지

$$E_e = h\nu_\gamma - h\nu = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{mc^2} (1 - \cos\theta)}$$

θ 가 °0 일때 최대가 된다

4) 반 치 폭 (FWHM , Full Width at Half Maxium)

: 검출기의 분해능을 나타내는 척도로서 Pulse의 Peak의 높이가 반이되는 곳의 폭

$$\text{분해능} = \frac{\Delta E}{E} \times 100 [\%] \quad \Delta E : \text{FWHM}$$

E : 선원의 에너지

4] 선 량 측 정

1) 조 사 선 량

: 공기에 대한 전리능력의 지표로 평가한 것으로 X, γ선이 물질에 주는 효과 예측량

1 1R 의 정의

: 표준상태의 공기 0.001293g에 X, γ선의 조사에 의해 발생한 이온쌍의 “+” 또는 “-” 어느한쪽의 총전하량이 1esu가 되는 조사선량.

$$1R = \frac{1esu}{0.001293g} = \frac{2.083 \times 10^9 \cdot e}{0.001293g}$$

$$1> = \frac{1.61 \times 10^{12} \cdot e}{g} = \frac{1.61 \times 10^{12} \times 1.602 \times 10^{-19} C}{g}$$

$$\therefore 1R = 2.58 \times 10^{-4} C/Kg$$

$$1R = \frac{1.61 \times 10^{12} \cdot e}{g} \text{ 에서 } e = 34eV$$

$$2> = \frac{1.61 \times 10^{12} \times 34eV}{g} \text{ 에서 } eV = 1.602 \times 10^{-12} erg$$

$$= \frac{1.61 \times 10^{12} \times 34 \times 1.602 \times 10^{-12} erg}{g}$$

$$\therefore 1R = 87 \frac{erg}{g} = 0.87 rad$$

※ 공기중에 1R 조사시 1g당 0.87rad의 흡수선량과 동일 하다

2. 조사선량률과 방사능과의 관계

★ 1> Rhm (Γ) 의 정의

: 방사능 Q가 1Ci인 점선원에서 1m 떨어진 점의 선량률 R/hr

단 위 : $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$

2> 방사능 Q(1Ci)인 점선원으로 부터 d(m)떨어진곳의 조사선량률 (X)

$$X = \Gamma \cdot \frac{Q}{d^2} [R/h]$$

※ Co-60 Rhm : 1.3
 Ra-226 Rhm : 0.825
 Ir-192 Rhm : 0.48
 Cs-137 Rhm : 0.34
 I-131 Rhm : 0.23

3. 조사선량과 발생전류와의 관계

$$i = nQ = 1.602 \times 10^{-19} \cdot \frac{nE}{W} [A \text{ 또는 } C/S]$$

$$Q = Ne = \frac{Ee}{W}$$

$$\begin{aligned} \text{참 고 : } Q &= i \cdot t \text{ 이므로 } V = \frac{Q}{C} \\ &= CV \end{aligned}$$

4. W 치 : 방사선이 기체를 전리할때 1쌍의 이온쌍을 만드는데 필요한 에너지

$$IonizationPair = \frac{E(eV)}{34eV}$$

5. 조사선량의 절대 측정법

: 공기등가벽 공동전리함, 자유공기 전리함

2) 흡 수 선 량

: 어떤물질에 전리방사선이 조사되었을때 물질의 단위 질량당 흡수된 에너지

1. 1 Rad 의 정의

: 전리방사선이 어느물질과 상호작용과정에서 그 물질 1g에 100erg의 E가 흡수된 양

$$1rad = \frac{100erg}{g} = 10^{-2} J/Kg$$

$$\therefore 1Gy = 1J/Kg = 100rad$$

$$\text{참 고 : } 1J = 10^7 erg, 1Cal = 4.2J = 4.2 \times 10^7 erg$$

2. 흡수선량의 절대 측정 : Bragg - Gray 공동 원리 이용

대선량 일 경우 : 열량계, Fricke 선량계 이용

3. Bragg - Gray 공동 원리 : 물질내의 흡수선량을 측정하는 기본 원리

: 물질속에 미소한 공동을 만들고 그 속에 다른 물질을 채웠을때 별물질의

흡수선량(D_W)과 공동물질의 흡수선량 (D_G)과의 비 ($\frac{D_W}{D_G}$)는

벽물질의 평균저지능 (S_W)과 공동물질의 평균저지능 (S_G)와의 비 ($\frac{S_W}{S_G}$)는

같다

S_m 을 평균 질량 저지능 이라 하면

$$S_m = \frac{D_W}{D_G} = \frac{S_W}{S_G} \text{ 이다.}$$

4. 조사선량과 흡수선량과의 관계

$$\begin{aligned} D &= 0.87 \frac{\mu_m}{\mu_{air}} \cdot X \\ &= 0.87 \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} \cdot \Gamma \frac{Q}{d^2} [rad] \end{aligned}$$

※ 공기중 흡수선량율과 물질의 흡수선량율

$$D = D_a \frac{\mu/\rho}{\mu_a/\rho_a} = D_a \frac{\mu}{\mu_a} \cdot \frac{\rho_a}{\rho}$$

ρ 및 ρ_a : 물질 및 공기 의 밀도

μ 및 μ_a : 물질 및 공기 선에너지 흡수계수

3) 선 량 당 량

: 방사선 방어목적으로 사용되며 피폭에 의한 객관적 평가의 척도로서 흡수선량 (D)에 선질계수 (QF), 피폭장기의 생물학적 중요성등의 인자를 보정하는 양

$$H = D Q N$$

단 위 : JKg^{-1}

명 칭 : Sv

특수단위 : rem

1. rem (Roentgen Equivalent Man) 의 정의

: 1R의 방사선을 인체에 조사시 인체에 생기는 생물학적 기준으로 측정한 방사선 조사선량

2. Quality Factor

: 방사선의 E와 종류에 따라 방사선의 상대적 위험도를 나타내는 인자 (LET에의해 결정)

X, γ , β 선의 QF : 1

열중성자, 저속중성자의 QF : 5

고속중성자, α 선의 QF : 10

핵분열 파편의 QF : 20

5] 중 성 자 의 측 정

: 중성자 자신은 전하를 갖고 있지 않으므로 이것을 검출하기 위해 적당한 물질과 원자핵반응으로 생기는 하전입자, 가벼운 수소핵과의 탄성산란에의한 반도양자를 이용, 핵반응결과 생긴 생성물의 방사능을 이용하여 검출

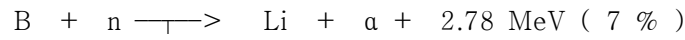
1) 중성자 검출법

1. 핵반응 (핵분열) 을 이용 방법

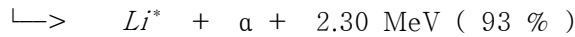
1> BF_3 계수관 : 열중성자선 측정용

: B-10 를 농축한 BF_3 gas를 비례계수관의 충전가스로 사용한 것으로

다음 반응을 이용



|



① 중성자 에너지가 높으면 중성자에너지의 평방근에 반비례하여 감도는 감소한다.($1/V$ 법칙)

② BF_3 계수관을 이용하여 Am-Be 선원에서 중성자 측정시 두께를 3cm이상 파라핀을 덮어 지시치를 판독하는 이유

: BF_3 계수관이 고감도를 갖는 영역까지 중성자를 감속시키기 위함.

즉, BF_3 계수관은 열중성자에 대해 고감도를 갖는데 비해 Am-Be 선원은

고속중성자를 방출하므로 Paraffin을 사용하여 고속중성자를 감속시켜 열중성자를 증가시키기 위함.

2> He 계수관 : 고속중성자의 스펙트럼 측정용

3> Li 샌드위치 계수관

: Li 박막에 두개의 표면장벽형 반도체 검출기로 샌드위치하여 양쪽출력을 합하는 방식

4> 핵분열 계수관 : 열중성자와 고속중성자의 분리 측정

2. 반도체 양자를 이용하는 방법 : 고속중성자 검출용

3. 방사화를 이용하는 방법

1> (n, γ) 반응을 이용한 열중성자 측정

2> 공명흡수에 의한 저속중성자 측정

3> ($n, 2n$), (n, p) 반응에 의한 고속중성자 측정

★2) 중성자의 에너지를 알기 위한 방법

1. 비행시간 측정법 (Time of Flight 법)

: 중성자가 진공속에서 일정거리를 비행하는데 소요되는 시간을 측정하는 방법

2. 파고분포 분석법

: He계수관, Li샌드위치 계수관, 반도체 양자 비례계수관, 플라스틱 신틸레이션 계수관 등의 계수관으로 부터 출력 Pulse를 분석하는 방법

3. 문턱 검출기에 의한 방법

: 유도방사능에 의한 중성자 검출에서 문턱값이 다른 몇가지의 박(foil)을 이용하여 각각의 방사화 정도와 단면적으로 부터 대략적인 중성자 스펙트럼을 구하는 방법

제 4 장 방사선 안전관리

1) 내부피폭의 방어 원칙 : 3C원칙

1. Contain : 방사선 선원을 한정된 공간에 밀폐

2. Confine : 필요최소량을 사용

3. Control : 충분한 관리하에 피폭을 최소로 할것

2) 관리 구역 설정 조건

1. 체외피폭선량이 30 mrem/w 이상
2. 공기중 또는 수중 방사성 물질의 허용농도의 3/10 이상
3. 표면오염도가 최대허용표면오염도의 1/10 이상

3) 체외피폭의 방어

1. 거리 (Distance)

: 선원에서 방사된 방사선의 강도는 거리제곱에 반비례하여 감소하므로 거리를 크게 두는 것이 피폭을 경감시키는 가장 쉬운 수단이다
따라서 핀셋, 통 등 원격조작기구를 사용하여 방사성물질을 취급한다.

2. 시간 (Time)

: 선원에서 멀리떨어지거나 차폐하여 작업 할수 없을때 작업시간을 신속히 한다.
이를 위하여 작업절차를 면밀히 검토하고 작업내용을 면밀히 검토해 작업시간을 단축한다

3. 차폐 (Shielding)

: 방사선의 종류에 따라 선원과 작업자사이에 차폐물질을 놓으므로 피폭을 크게 경감시킬수 있다.
보통 수 mCi정도의 방사성물질은 납차폐설비속에서 또는 납블럭을 임시로 만든 차폐장치 내에서 취급한다.

4) 체내피폭에 대한 방어

1. 체내피폭의 특징

: 방사성물질이 체내에 들어오면 체외에서의 γ 선 보다 비정기 짧은 α , β 선의 피해가 크다.
체내방사성물질은 인위적으로 배설은 어렵고 생리적 배설과 물리적감쇠를 기다릴수 밖에 없다. 따라서 체내의 방사능이 없어질때까지 비교적 오랜시간 동안 피해를 받는다

2. 체내 침입 경로

- 1> 경구 섭취
- 2> 호흡기 섭취
- 3> 경피 섭취

3. α 선이 체내에 들어오면 위험도가 가장 큰 이유

: α 선은 짧은 거리내에서 전 에너지를 방출하기 때문에 발생하는 이온쌍 밀도가 크다.
따라서 방사선장해가 크다.

4. 내부피폭의 방어 원리 (수단)

- 1> 선원의 격납
- 2> 농도의 희석
- 3> 경로의 차단

5. 방사성물질이 체내로 들어오지 않도록 하기위한 구체적인 방안

- 1> 작업상 필요핵종은 위험성이 낮은 것을 선정하고 필요최소량을 사용한다.
- 2> 오염방지를 위해 모든작업은 밀폐장치 내에서 한다.
- 3> 취급방법은 오염을 최소로 하는 습식조작법을 선택한다.
- 4> 모니터링하여 오염이 발견되면 즉시 제거한다
- 5> 배기, 배수를 통해 일반환경에 오염이 확대되지 않도록 주의한다.

제 5 장 방사선 계측기의 조작 및 보수

1) 고장과 진단

1. 고장 발생을

- 1> 초기 고장영역 : 고장발생빈도가 높고 서서히 감소하는 영역
- 2> 중간 영역 : 기기본래의 고장율이 생기는 영역
- 3> 마모고장영역 : 장기간 사용해서 차차 증가하는 영역

2) 계측기 보수 및 교정에 필요한 측정기

- 1. Oscilloscope
- 2. Pulse 발진기
- 3. 전압계, 전류계, 정향측정기
- 4. 감쇄기, 지연회로

3) 직류전원 Trouble

- 1. 발진 이상 : 정전압전원과 측정장치사이가 30cm 이상 인경우
- 2. 전압강하 : 전류가 큰 저전류 인경우
- 3. 해결책 : 측정회로 기판 입구 또는 IC의 전원단자에 Condencer 를 달아준다.

4) Scintillation 검출기의 Trouble

1] 신틸레이션의 손상과 증상

1. 균 열

- 1> 원 인 : 온도와 기계적 충격
- 2> 증 상 : 분해능 저하, Peak의 대칭성 저하
- 3> 대 책 : 기계적, 열적 충격을 가하지 말것

2. 수화작용

- 1> 원 인 : 밀봉부위 파손으로 결정체에 수분이 들어가 누렇게 착색
- 2> 증 상 : 분해능 저하, 비대칭성

2] Spectrum에 나타나는 잡음과 이상

1. Noise

: Spectrum의 낮은쪽에 Noise는 PM tube에서 불가피하며 25 C에서 15~20KeV의 X선

을

측정하는데 별지장이 없으면 된다.

2. 이상

- 1> 원 인 : 전기적 및 방사선
- 2> 개선책 : 검출기앞에 Collimator로 산란원이 재료를 멀리한다

3] 외부자계의 영향

: 비도자율이 높은 μ metal로 차폐

5) Ge(Li) 검출기의 취급방법

1. 파손 방지책

- 1> 액체질소를 계속 공급
- 2> 충격을 가하지 말것
- 3> Bios용 고전압전원을 주의할것

2. 냉각장치와 액체 질소
 - 1> 냉각장치는 밀봉하지 말것
 - 2> 옷, 수갑에 주의 할것
 - 3> 온도가 높은곳에 두지 말것
 - 4> 취급은 신중히 할것

제 6 장 방사성동위원소와 방사선의 이용

1] 밀봉선원의 이용

1) 밀봉선원의 Capsule로서의 필요조건

1. 정상적인 사용시 개봉 및 파괴의 우려가 없을것.
2. 누설, 침투에 의한 내용물이 흘러져 오염될 우려가 없을것.
3. β 선 흡수가 되도록 적을것.
4. 사용에 적합한 구조, 모양, 크기를 가지며 방사능 마크, 핵종, 수량, 제조번호등 필요한 표시가 있을것.
5. 기계적, 화학적, 열적으로 충분한 강도를 가질것.

2) 교정용 선원 : $3.7 \times 10^6 Bq$ (100 μCi)이하의 선원

3) α 선원의 이용

1. 전리작용 이용

1> 연기 탐지기

: 화재경보기 일종으로 연기를 검출하기 위하여 α 선원에 의한 전리전류의 변화를 이용

※ 이용선원 : Am-241

2> 진공도 측정기 : α 선에 의한 전리전류가 기체압력에 의존됨을 이용.

※ 이용선원 : Ra-226

2. 여기작용 이용

1> 형광 X선 분석

: 물질에 X(γ)선 조사시 원자가 여기되어 기저상태로 돌아갈때 원소의 고유 에너지를 갖는 특성선(X)을 방출하는데 이 형광X선의 E와 강도를 측정하여 분석하는 방법.

※ 이용선원 : Po-210

2> 정전 제거용 장치

: 정전기를 제거하기 위하여 방사선조사에 의해 생기는 이온으로 중화시키는 장치

※ 이용선원 : Ra-226 , Po-210

3. 중요 α 방사선원

핵 종	반 감 기	α 선의 E (MeV)
Am-241	458 년	5.44 , 5.49
Po-210	138.4 일	5.305
Ra-226	1602 년	4.589 , 4.777
Pu-238	86.4 년	5.35 , 5.45 , 5.49
Pb-210	20.4 년	5.305
Cm-242	162.5 일	6.07 , 6.12

4) β 선의 이용

1. Gas Chromatography : 저 E β 선원 이용

: 방사선의 전리작용, 전자포획을 이용한 공해분석장치로 할로겐 유기화합물, 유기수은등의 검출에 유리하므로 PCB 나 잔류농약분석에 이용.

※ 이용선원 : H-3 , C-14, Ni-63

2, β 선 두께계

: 물질내에서 방사선 흡수나 산란에 의한 선량변화를 측정하여 물체의 두께를 측정하는 장치

※ β 선 두께용 선원으로서의 필요조건

- 1> 측정물질의 종류와 두께에 따라 적당한 E를 갖는 β 선을 방출하는 핵종 일것.
- 2> 방사선 방어 관점에서 Background 및 γ 선을 방출하지 않는 핵종 일것.
- 3> 위의 이유로 β^+ 선원은 양전자 소멸방사선을 방출하므로 좋지 않다.
- 4> 물리적, 화학적으로 충분히 안정된 형태를 가질것.
- 5> 반감기가 긴것이 좋다.
- 6> 선원의 강도는 약 10 ~ 100mCi 정도이다.

3. 자발광 도료

: β 방사선원과 형광물질을 배합하여 시계의 수자판 및 계기판에 이용

※ 이용선원 : Pm-147 , H-3

5) X, γ 선의 이용

1. 저 Energy X , γ 선원 이용

- 1> 형광 X선 분석 : Fe-55 , Co-60 , Am-241 , Pu-238 , Cd-109
- 2> 두께 측정용 : Am-241
- 3> 비파괴 검사용 : Tm-170
- 4> 유황계 : 증유나 석유제품에 함유한 유황을 방사선의 흡수량을 측정, 분석하는 장치.

※ 이용선원 : Fe-55, Am-241 , Cs-137

※ 중요 저 Energy γ 선원

핵 종	반감기	붕괴형식	γ 선 Energy(MeV)
Fe-55	2.6 년	EC	0.0059 (Mn K-X선)
Co-57	270 일	β	0.122 , 0.136
Am-241	458 년	α	0.0595
I-131	60.2 일	EC	0.027(Te K-X선), 0.035
Pu-238	86.4 년	α	0.012 ~ 0.017 (UL X선)
Cd-109	453 일	EC	0.022(Ag K-X선), 0.088
Gd-153	242 일	β	0.097 , 0.103
Pb-210	22 년	β	0.047(Bi-210의 제동방사선)
Tm-170	134 일	β	0.052 , 0.084(β 선의 제동방사선)

2. 고 Energy γ 선 이용

1> 밀도계 : 파이프속에 흐르는 물질의 밀도, 콘크리트, 토사의 밀도 및 담배의 충전도등을 측정하는데 사용

※ 이용선원 : Co-60 , Cs-137

2> Radiography 이용 (Non distruction Test)

※ Radiography 이용선원으로서 필요조건

- ① 소형이며 방사선이 강한 γ 선원 일것.
- ② 피사체의 종류와 두께에 따라 적당한 E를 갖는 γ 선원 일것.
- ③ 반감기가 충분히 길어야 한다.
- ④ 제조방법이 쉽고 값이 싸야한다.
- ⑤ 선원의 강도는 수 ~ 수십 Ci정도가 좋다.

※ Radiography 이용선원

: Co-60 , Cs-137 , Ir-192 , Tm-170

3> (n , γ)반응에 의한 방사화 분석

: Sb-124 이용

4> 주요 γ 선원

핵 종	반 감 기	붕괴양식	γ 선의 E (MeV)
Sb-124	60.4 일	β	0.603 ~ 2.088
Ra-226	1602 년	α	0.186 ~ 2.43
Th-228	1.91 년	α	0.084 ~ 2.62
Co-60	5.3 년	β	1.17 , 1.33
Cs-137	30 년	β	0.662 (Ba 에 의함)
Cs-134	2.04 년	β	0.57 ~ 1.365
Ir-192	74.2 일	β , EC	0.296 ~ 0.612

6) 중성자 선원의 이용

1. (α , n) 반응에 의한 중성자 선원

: 초우라늄원소의 방사성핵종 화합물과 Be 분말을 균일하게 혼합한 것을 금속제 Capsule에 넣어 $\text{Be} + \text{He} \longrightarrow \text{C} + \text{n}$ 과 같은 (α , n) 반응으로 속중성자 방출.

※ 이용선원

: Ac-Be , Am-Be , Cm-Be , Po-Be , Ra-Be , Th-Be

2. (γ , n) 중성자 선원

: 비교적 에너지가 큰 γ 선 방출핵종과 Be금속을 조합하여 $\text{Be} + \gamma \longrightarrow \text{Be} + \text{n}$ 과 같은 (γ , n) 반응에 의한 속중성자 방출.

※ 이용선원 : Sb-Be , Ra-Be , Th-Be

3. 자발핵분열에 의한 중성자 선원 : Cf-252

2] 비 밀봉선원의 이용

★1) Tracer (추적자) 이용

: RI 가 들어있는 물질(표지화합물)이 자나는 경로, 행동, 상태의 변화등을 방사선으로 추적 검사에 쓰이는 방사성물질을 말한다.

※ Tracer로서의 필요조건

- 1> 검사대상물질에 영향을 주지 않아야 한다.
- 2> 검사대상물질과 물리적, 화학적 및 생물학적 성질이 동일 할것.
- 3> 검사도중 방사선조사에 의한 피폭이 없을것.
- 4> 추적자로서 표지화합물을 사용시 표지는 모분자에 남거나 분자중 일부에 부착되어있어야 한다.
- 5> 표지는 쉽고 정확하게 검출할수 있을것.

2) 의학적 이용

1. Invitro 검사 : 인체에서 검사용 시료를 채취하여 체외에서 측정하는 방법
2. Invivo 검사 : 방사성의약품을 인체에 투여하여 검사하는 방법.

3] 방사선 Energy 이용

: 열출력 밀도 측면에서 보면 반감기가 짧을수록 높지만 100일 이하 및 100년 이상으로 길어지면 0.1 W/g로 되어 실용성이 떨어진다.

또한 γ 선이 많으면 차폐가 커져 불리하므로 E측면에서 α 방출체가 좋다.

※ 이용 : 원자력 전지 (Pu-238), Isotope 발전기

※ Heart Pace Maker

: RI로서 Pulse 전압을 발생시켜 심근에 전기자극을 주므로써 올바르게 박동시키는 장치로 Pu-238 3~4 Ci의 열원으로 300 mW의 RI 발전기가 사용되고 있다.

수명은 10년 이상이며 환자체내에 사용한다.

4] 방사능 측정에 의한 이용법

1) 방사화 분석

: 분석시료를 방사선으로 조사 또는 충돌시켜 핵반응 결과 생성된 인공방사성핵종의 특성 (방사선 종류, E, 반감기) 및 방사능의 강도를 측정하여 정성,정량 분석하는 방법.

1. 방사화된 핵종의 방사능 구하는 식

$$\begin{aligned} \text{생성방사능} (A) &= \Phi \delta N (1 - e^{-\lambda t}) \\ &= \Phi \delta \cdot \frac{N_a \cdot W}{M} \theta (1 - e^{-0.693 \frac{t}{T}}) \end{aligned}$$

Φ : 중성자 밀도
 δ : 핵반응 단면적

W : 무게, 중량
T : 생성핵종의 반감기

θ : 존재비

N_a : 아보가드로 수 (6.02×10^{23})

M : 원자량

2. 방사화 분석법의 장단점

<< 장 점 >>

- 1> 검출감도가 높다.
- 2> 많은종류의 원소를 동시분석 할수 있다.
- 3> 비파괴 분석법으로 분석이 가능하다.
- 4> 시료의 모양, 화학형태에 거의 무관하다

<< 단 점 >>

- 1> 측정의 재현성이 항상 좋지는 않다.
- 2> 원자로등 특수설비가 필요하다.
- 3> 부반응에 의한 방해가 있다.
- 4> 자기차폐에 의한 오차가 있다.

2) 비교 분석법

$$: W = \frac{W_s \cdot A}{A_s}$$

W : 미지량

W_s : 표준시료의 질량

A : 생성원소의 방사능

A_s : 표준선원의 방사능

※ 적 용

1. 생체시료중 미량원소나 병태의 분석
2. 고고학적 기원
3. 고미술품의 감정

3) 연대 결정법

: 방사성 핵종의 감쇄, 또는 친핵종과 그 붕괴생성물의 비율변화를 이용하여 연대를 구하는 법.

1. H-3를 이용한 물의 연대
2. C-14를 이용한 생물체의 연대
3. U-238 (Pb-Pb법) , Rb- Sr 법 : 암석이나 운석의 연대

5] 방사선 조사 이용

1) 이용 분야

1. 방사선 치료
2. 방사선 화학
3. 식품조사
4. 품종개량

2) 방사선 화학에 이용되는 화학반응

1. 저분자 화합물 분해
2. 고분자 화합물의 주쇄절단에 의한 분해
3. 두종류의 단위체의 그래프트 중공합
4. 고분자 화합물의 측쇄절단에 의한 분해
5. 방사선 촉매에 의한 저분자화합물의 합성

3) 방사선 이용 두분야

구 분	γ 선 조사	전 자 선 조 사
특 징	촉 매 작 용 균 일 조 사 무 인 운 전	단시간 처리 고선량률 조사 On - Off 의 자유
처리 목적	목재, 플라스틱 복합재 전지의 격막의 합성 방사선 살균 식품조사 방사선 불임화	고분자 개질 (방사선 가교) 방사선 큐어링 방사선 그래프트 중공합 방사선 살균

4) 식품, 의약품의 방사선 처리

1. 저선량 조사 : 발아방지 및 살충
2. 중선량 : 생선, 육류등의 식품의 장기간 연장
3. 고선량 : 완전살균

방사선 장애방어

제 1 장 일반적인 양 및 단위

1) 현재 사용중인 단위와 SI 방사선량 단위의 관계

1. 조사선량 : R - C/Kg
2. 흡수선량 : rad - Gy
3. 선량당량 : rem - Sv
4. 방 사 능 : Ci - Bq

2) 방사선장의 특성을 나타내는 양 및 단위

1. 입자플루언스 (Particle Fluence) Φ
: dN을 da 로 나눈 몫. dN은 단면적 크기가 da인 구체에 입사한 입자수

$$\Phi = \frac{dN}{da} [m^{-2}]$$

2. 입자플루언스율 (Particle Fluence Rate) ϕ
: d ϕ 를 dt로 나눈 몫. d ϕ 는 dt시간동안 입자플루언스의 증가량

$$\phi = \frac{d\Phi}{dt} = d^2 \frac{N}{dadt} = \frac{S}{4\pi r^2} [m^{-2} S^{-1}]$$

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} dps (s^{-1}) = S$$

3. 에너지플루언스 (Energy Fluence) Ψ
: dR을 da로 나눈 몫. dR은 단면적의 크기가 da인 구체에 입사한 라디언트 에너지

$$\Psi = \frac{dR}{da} [Jm^{-2}]$$

4. 에너지플루언스율 (Energy Fluence Rate) ψ
: d ψ 를 dt로 나눈 몫. d ψ 는 시간 dt동안에 에너지플루언스의 증가량

$$\psi = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{d^2 R}{dadt} = \frac{SE}{4\pi r^2} [MeV/Sec \cdot m^2] \quad E : \text{에너지}$$

S : 선원의 방사능

3) 방사선과 물질과의 상호작용 확률을 나타내는 양

1. Mass Attenuation Coefficient (질량 감쇠 계수 : μ/ρ)
: 방사선과 물질과의 상호작용을 일으킬 수 있는 확률을 나타내는 계수
방사선 차폐계산에 이용

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} [m^2/Kg]$$

2. 질량에너지 전달 계수
: 방사선과 물질과의 상호작용 과정에서 입사 선의 에너지를 물질에 전달할 확률
- 전달된 에너지가 제동복사선으로 손실되는 것을 불고려

3. 질량 에너지 흡수 계수 : μ_{en}/ρ
: 질량에너지 전달계수에서 제동복사선으로 손실된 에너지를 뺀 양
- 흡수선량, 조사선량 계산에 이용

$$\frac{\mu_{en}}{\rho} = \frac{\mu_{tr}}{\rho} (1 - G) [m^2/Kg]$$

4. 하전입자가 물질에서 dl 만큼 이동하면서 잃은 에너지와의 관계를 나타내는 양
: 방사선 생물학적 효과의 크기를 나타내는 인

1> 질량 저지능 (S/ρ)

: 하전입자가 물질속을 통과할때 단위 길이당 잃은 에너지
, 어느물질의 하전입자에 대한 질량 저지능은 dE를 ρdl로 나눈 몫
dE는 하전입자 밀도가 ρ인 물질내를 dl 만큼 횡단시 잃은 에너지

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dl} [Jm^2/Kg 또는 eVm^2/Kg]$$

2> 선에너지 전달 (LET)

: 하전입자가 물질속을 통과시 단위 길이당 국부적으로 물질에 주는 에너지
, dE는 하전입자가 거리 dl만큼 횡단하면서 전자들과 충돌하여 잃은 에너지

$$L\Delta = \left(\frac{dE}{dl} \right) \Delta [Jm^{-1} 또는 eVm^{-1}]$$

4) 방사선량과 관련된 양

1. 흡수선량 (Absorbed Dose) : D

: 어떤 조직장기의 평균선량
- 어떤 확률적 영향의 발생확률에 대한 지표로서 평균선량 사용

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

$d\bar{\epsilon}$: 어느체적소내물질에전리방사선에의하여부여된평균에너지

dm : 체적소내 물질의 양

특수명칭 : J/Kg , rad

SI 단위 : Gy 1Gy = 1 J/Kg = 100 rad

1 rad 의 정의

: 전리방사선이 어느물질과 상호작용과정에서 그물질 1g에 100erg의 에너지가 흡수된 양

$$1rad = \frac{100erg \times 10^{-7} J/erg}{1g \times 10^{-3} Kg/g} = 10^{-2} J/Kg$$

$$\therefore 1Gy = 100rad$$

2. 커 마 (Kerma) : K

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} [J/Kg]$$

dE_{tr} : 질량이 dm인 물질에서 비하전입자에 의하여 자유롭게 된 모든 하전입자의

초기 운동에너지 합

3. 조사선량 (Exposure) : X

$$X = \frac{dQ}{dm} [C/kg]$$

dQ : 질량 dm의 공기에서 광자에 의해 자유롭게된 모든 전자가 공기중에서 완전 정지되었을때
공기중에 생성된 어느 한 부호의 이온들의 총 전하량

SI 단위 : C/Kg 특수단위 : R

1R 의 정의

: 표준상태의 공기 0.001293g에 X , y 조사에 의해 발생한 이온쌍의 “+” 또는 “-”

어느한쪽의 충전하량이 1esu가 되는 조사선량

$$1> \quad 1R = \frac{1esu}{0.001293g} = \frac{2.083 \times 10^9 \cdot e}{0.001293g} = \frac{1.61 \times 10^{12} \cdot e}{g} = \frac{1.61 \times 10^{12} \cdot 1.6 \times 10^{-19}}{g}$$

$$\therefore 1R = 2.58 \times 10^{-4} [C/Kg]$$

$$\begin{aligned} 1R &= \frac{1.61 \times 10^{12} \cdot e}{g} \text{ 에서 } e = 34ev \\ 2> &= \frac{1.6 \times 10^{12} \cdot 34ev}{g} \text{ 에서 } \therefore ev = 1.6 \times 10^{-12} erg \\ &= 1.61 \times 10^{12} \cdot 34 \cdot 1.6 \times 10^{-12} \frac{erg}{g} \\ &\therefore 1R = 87 \frac{erg}{g} = 0.87 rad \end{aligned}$$

4. 방사능 (Radioactivity) : A

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0.693 \cdot N}{T} = \frac{0.693}{T} \cdot \frac{Na \cdot W}{M} \cdot e^{-0.693 \frac{t}{T}} [S^{-1}]$$

dN : 어느 특정 에너지 상태의 방사성 핵종이 그 에너지 상태로 부터 dt 시간동안 자발핵전이수의 기대치

SI 단위 : Bq 특수단위 : Ci

1Ci 의 정의

: 방사성핵종이 핵변환시 단위시간당 3.7×10^{10} 의 원자가 붕괴할때 방사능의 세기로 Ra 1g

에

해당

$$\begin{aligned} 1Ci &= 3.7 \times 10^{10} dps \\ &= 3.7 \times 10^{10} Bq = 37 GBq \\ &\therefore 1Bq = 27 PCi \end{aligned}$$

$$\text{Reference : } 1\text{Cal} = 4.186 \text{ J} \quad \therefore 1J = 10^{-7} erg$$

제 2 장 방사선 방어용 양 및 단위

1) 선량당량 (Dos Equivalent) : H

: 방사선 방어 목적으로 사용하는 양으로 피폭으로 인한 **위험의 객관적 평가척도**로 흡수선량에 방사선의 선질, 흡수선량누적율, 피폭장기의 생물학적 중요성등의 인자를 보정하는 양

$$H = D Q N [J/Kg]$$

SI 단위 : J/Kg 특수명칭 : Sv 특수단위 : rem

* 1rem 의 정의

: 1R의 방사선을 인체에 조사시 인체에 생기는 생물학적 기준으로 측정한 방사선 조사선량

$$1rem = 100erg/g = 10^{-2} J/Kg$$

$$1Sv = 1J/Kg = 100rem$$

* 선질계수 (Quality Factor)

: 선질이 서로 다른 방사선의 상대적 위험도를 나타내는 인자로서 LET값의 함수

X, β , γ : 1
 열중성자, 저속중성자 : 5
 에너지불명의 중성자, 양자선 : 10
 에너지불명의 γ 선, 반발핵, 핵분열조각 : 20

2) 실효선량당량 : H_E

: 각장기의 선량당량에 해당장기의 보건상 차지하는 비중을 고려한 가중치를 가중한 합을 위험평가의 척도로 도입된 양

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

3) 집단선량당량 (Collective Dos Equivalent) : S

: 피폭집단의 위험을 판단하는데 유용한 양으로 집단중 선량당량분포의 적분치

$$S \equiv \int_0^\infty HP(H) \cdot dH[man-sievert]$$

4) 선량당량예탁 (Dos Equivalent Commitment) : H_C

: 피폭이 장기간 계속될때 특정집단의 조직이나 장기에 대한 선량당량률 $\overline{H}(t)$ 의 무한시간 적분치

$$H_C = \int_0^\infty \overline{H}(t) dt$$

5) 예탁선량당량 (Committed Dos Equivalent) : H_{50}

: RI가 체내에 섭취시 물리적붕괴, 신진대사에 의해 배설 소멸될때까지 내부피폭을 받는 데 시간 t_0 에 섭취된 RI로 인해 그후 50년간 어떤조직이나 장기에 피폭받게될 총선량 당량

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50} \overline{H}(t) \cdot dt$$

6) 환경 및 개인 모니터링용 양

1. 환경 Monitoring 목적으로 도입된 보조선량측정용 양

1> 주변선량당량 : 투과력이 강한 방사선 모니터링에 적합 $d = 10mm$ $H^*(10)$

2> 방향선량당량 : 투과력이 약한 방사선 모니터링에 적합 $d = 0.07mm$ $H'(0.07)$

2. 개인 Monitoring의 3가지 2차 선량당량

1> 심부선량당량 ($H(d)$) : 투과력이 강한 방사선에 대한 개인 모니터링에 적합. $d = 10mm$, $H(10)$

2> 표층선량당량 ($H_S(d)$) : 투과력이 약한 방사선에 대한 개인 모니터링에 적합.

① 피부선량 : $d = 0.07mm$, $H_S(0.07)$

② 눈의 수정체 : $d = 0.3 mm$, $H_S(0.3)$

제 3 장 방사선 방어 기초

1] 방사선이 인체에 미치는 영향

1) 세포차원에서의 방사선 영향

★ 1.인체세포에 방사선 조사된 경우 생물학적 영향이 일어나는 과정

- 1> 물리적 작용 : 방사선이 세포중 원자와 상호작용하여 전리 또는 여기를 일으켜 세포내의 원자를 불안정 상태로 변화
- 2> 화학적 단계 : 전자 또는 전리된 원자가 에너지전이에 의해 손상분자 즉 free radical의 반응성 분자를 형성
- 3> 생물학적 작용 : free radical이 세포기능에 따라 생물학적으로 중요한 DNA등에 작용하여 세포사, 유전자 돌연변이등을 일으킨다

2. 증식중 세포가 방사선을 받았을 경우 생물학적 영향

- 1> 세포분열 지연
- 2> DNA 합성 저해
- 3> 세포치사

3. 장해에 영향을 미치는 인자

- 1> 흡수선량률
- 2> 선량률
- 3> 선량분포
- 4> 피폭범위
- 5> 피폭조직의 방사성 감수성
- 6> 방사선질
- 7> 방사성핵종의 장기내 침착부위
- 8> 인체내에서의 반감기
- 9> 핵종의 물리적, 화학적 성질

★ 4.방사선 장해의 4가지 특성

- 1> 증상의 비특이성
- 2> 증상의 지발성 (잠복기)
- 3> 임상경과의 복잡성
- 4> 피폭의 무지각성

★ 5. 세포의 방사성 감수성 순서

- 1> 임파구
- 2> 호중구 (호산구)
- 3> 상피세포 (분비선의 기저상피, 생식선, 피부,점막층,위장의 기저상피, 폐포상피,담관상피, 신장의 관상피)
- 4> 혈관의 내피세포, 근막,복막
- 5> 결합조직
- 6> 근육세포

7> 신경세포

6. 세포치사에 대한 인자

- 1> 세포주기 : S기(DNA합성기)의 끝이 방사성 감수성이 낮고, M기(분열기) 및 G_1 기 (DNA 합성전기) - S기의 경계에는 방사성 감수성이 높다
- 2> 회복 : Elkind 회복 , PLD(잠재적 치사 손상) 회복
- 3> 선량을 효과
- 4> 산소효과 : 세포주위에 산소분압이 높으면 방사성 감수성이 높다
- 5> 온도효과 : 온도가 저하됨에 따라 방사성감수성이 낮다

2] 개체차원에서의 방사선 영향

★ 1) 확률적 영향과 결정론적 영향(비확률적 영향)

1. 확률적 영향 (Stochastic effect)

- 1> 영향이 발생하는 최저선량(발단선량)이 존재하지 않는다
- 2> 선량증가에 따라 발생확률도 증가(발생 확률이 피폭선량과 함수관계 형성)
- 3> 확률적영향 증상의 심각성은 선량에 무관하다
- 4> 선량이 낮은 경우도 발단선량없이 영향발생확률이 존재한다
예 : 암, 유전적 장애

2. 결정론적 영향 (비확률적 영향 , Deterministic effect)

- 1> 영향발생 최저선량 (발단선량)이 존재
- 2> 영향증상의 심각성은 선량증가에 따라 증상이 중하게 된다
*. 발단선량 : 방사선방어에서 임상적인 기질적,기능적 장애를 수반하는 영향에 착안한 것으로 방사선을 받은사람의 1 ~ 5% 의 장애가 나타나는 선량

2) 결정론적 영향의 증상 (비확률적 영향)

1. 급성장해 진전 3단계

- 1> 오심과 구토가 나타나는 전초기
- 2> 별다른 증상이 없는 잠복기
- 3> 증상이 현저하게 나타나는 발병기

2. 급성 방사선 장애

- 1> 단시간 대량의 방사선을 받았을때 나타나는 일련의 증후군
- 2> 선량에 따라 나타나는 증상이 다르다
 - 수 Gy 이하 : 조혈장기 증상 (적색골수)
 - 10Gy 정도 : 소화기관 증상
 - 고 선 량 : 중추신경 계통 증상

*** 전신 급성조사 경우 증상**

선 량	증 상
0.1 Gy (10 rad)	염색체 검사시 변화가 검출
0.5 Gy (50 rad)	말초혈액중 임파구 감소
1.0 Gy (100 rad)	피폭받은 사람의 10% 정도가 오심, 구토
1.5 Gy (150 rad)	사망 발단선량 (100 ~ 150 rad)
2.5 ~ 5 Gy (250 ~ 500 rad)	LD (반치사선량) : 조혈장기사
7 ~ 10 Gy (700 ~ 1000 rad)	LD (치사선량) : 조혈장기사

3. 피부에 대한 방사선장해

: 표피의 기저세포는 항상 세포분열하므로 방사선 감수성이 높다

*. 방사선피폭과 피부장해

선 량(Gy)	조 기 영 향	만 성 영 향
0.5	염색체의 변화	변화 없다.
5	일시적 탈모와 홍반	보통 변화를 모른다. 기능장해의 위험이 증대
25	일시적 괴양	위축, 혈관확장, 색소침착
50	영구적 괴양	만성괴양, 발암의 위험 증대
500	괴사	영구적 조직 파괴

4. 생식선에 대한 방사선 장해

- 1> 생식선에 대한 결정론적 영향은 불임과 홀몬분비 이상
- 2> 방사선의 감수성은 세포성숙단계에 따라 다르다
 - 남성: 후기정원세포가 가장 감수성이 높다
 - 여성: 제 2 차 난모세포가 가장 감수성이 높다

*. 불임 발단선량

남 성	일시적 불임	0.15 Gy
	영구 불임	3 ~ 5 Gy
여 성	일시적 불임	0.65 ~ 1.5 Gy
	영구 불임 (20 ~ 30 세)	7 ~ 8 Gy
	영구 불임 (40 세)	3 Gy

5. 눈의 수정체에 대한 방사선 장해

*. 수정체 혼탁 및 백내장의 발단선량

수정체 혼탁	급 성 피 폭	2 Gy
	만 성 피 폭	5 Gy
백 내 장	급 성 피 폭	5 Gy
	만 성 피 폭	8 Gy

3) 확 률 적 영 향 의 증 상

1. 인간의 유전적 질환

- 1> 유전자 돌연변이
- 2> 염색체 이상
- 3> 다인자 유전

2. 유전적 영향의 리스크 평가 산정 방법

- 1> 직 접 법 : 단위선량당 유전성질환의 유발율을 직접 구하는 방법
- 2> 간 접 법 (배가선량법)
 - : 인공적 유전영향을 자연발생 유전영향의 2배로 하는 선량으로 단위선량당 유전적 영향의 리스크를 추정하는 방법
 - *. 배가선량 : 30 ~ 100rad
 - *. 배가선량법으로 산정시 필요한 정보
 - ㄱ. 배가선량
 - ㄴ. 유전병의 자연발생율
 - ㄷ. 돌연변이율과 유전병의 발생관계
 - ㄹ. 유전자에 생긴 돌연변이의 제 1세대 및 그이후 세대의 발생 비율

3. 태아의 방사선 영향

1> 태생기의 방사선 영향

착 상 시 기	수정 ~ 9일	배사망	발 암 유전적 장애
기관 형성기	수정 후 2주 ~ 8주	기형 발생	
태 아 기	수정 후 8주 ~ 출생	정신발달 지체 , 발육 지체	

2> 태아의 방사선 방어 (피폭)

- 모체의 직업적 피폭
- 모체의 의료피폭 및 태아의 의료피폭
- 일반공중으로서의 피폭

A) 모체의 직업피폭시 태아의 방사선 방어 : 2개의 기준

- 가> 임신을 알아차리지 못하는 시기의 태아 방사선 방어 기준
 - : 생식능력이 있는 여성의 복부피폭 제한
- 나> 임신이 판명된 이후의 태아 방사선 방어 기준
 - : 임부의 복부피폭 제한

B) 모체의 의료피폭시 태아의 방사선 방어

- * 태아의 방사선 방어 관점에서 고려해야 할 기준
- 가> 임신가능 여성의 하복부를 포함한 방사선진단에서 긴급을 필요로 하지 않는한 월경개시 부터 10이내에 한다 (10일 규정)

나> 태아의 X선 진단은 방사선피폭을 수반하므로 정당화 판단 즉 적용판단을 신중히 한후 최적화에 충분한 배려를 한다

★ C) 일반공중에서의 피폭

: 방사선 방어는 결정그룹 (Critical Group)

*. 결정그룹 : 집단중에서 최고의 선량을 받았다고 예상되는 개인을 대표하는 집단

*. 결정그룹의 요건

가> 연령, 식생활,기타선량에 영향을 주는 여러가지 환경요인이 비교적 균일한 소그룹

나> 집단중에서 최고의 선량을 받았다고 예상되는 개인을 대표하는 집단

3] 방사선방어의 선량한도 체계

1) 방사선 방어의 목표

1. 방사선 피폭을 수반하는 행위는 확실히 정당화 한다
2. 비확률적 영향을 방지
3. 확률적영향 발생을 용인하는 Level 까지 제한한다

* ALARA (As Low As Reasonably Achieable)

2) 목표 달성을 위한 선량제한 체계

1. 행위의 정당화 (Justification Of a Practice)

: 어떠한 행위도 그 도입이 순플러스의 편익이 생기는 것이 아니면 채용해선 안 된다.

2. 방사선방어의 최적화 (Optimization Of Radiological Protection)

: 방사선 피폭을 수반하는 행위가 정당화 되었을 경우 그 행위로 부터 모든방사선 피폭을 경제적 및 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지한다(ALARA)

*. 방사선방어의 최적 Level의 정량적 판단시 고려사항

- 1> 방사선방어 수단에 요구되는 비용
- 2> 집단선량
- 3> 개인선량 분포
- 4> 방사선방어 수단의 쾌적

3. 개인선량 한도 (Individual Dos Limits)

: 정당화,최적화가 된 경우 어떤 개인의 실효선량당량도를 결코 초과 할 수 없다.

3) 개인 및 선원(집단)에 주목한 방사선 방어

구 분	선량평가의 목적	방사선 방어체계와의 관계	평 가 선 량
개인에 주목한 방사선 방어	개인 Risk	선 량 한 도	개 인 선 량
선원에 주목한 방사선 방어	집단의 위험	정 당 화 최 적 화	집 단 선 량

4) 방사선 방어의 기준

1. 일반적인 방사선 피폭원

1> 자연 방사선 (Natural Radiation)

- ① 방사선 방어에서 자연 방사선을 피폭대상으로 삼지 않는 이유
: 자연방사선에 의한 피폭은 본질적 제어가 곤란 하기 때문
- ★ ② 자연방사선이라도 인위적 행위에 의한 피폭증가가 방사선 방어 대상이 되는 것
 - 가. 고공비행에 의한 우주선
 - 나. 지하갱도에서 천연동위원소에 의한 피폭
 - 다. 열효율 증대를 위한 주거환경 개선에 따른 Rn, Tn의 내부피폭선량 증가
- ③ 인공방사선중 자연방사선 피폭에 준해 취급하는 예
: 대기권내 핵실험에 의한 방사능

2> 직업상 피폭

- ★ *. 직업상 피폭을 3가지로 구분하는 이유
 - ① 피폭이 방사선방어 조직에 의해 관리
 - ② 피폭집단이 비교적 소규모
 - ③ 피폭을 수반하는 행위나 절차로부터 발생하는 이득의 일부를 직,간접으로 돌려 받는다는점

3> 의료상 피폭

- ★ *. 의료상피폭을 선량한도의 적용대상에서 제외 시키는 이유
: 의료상피폭이 정당화되고 피폭에 의한 이득이 환자 자신에게 돌아오기 때문

5) 선 량 한 도

한 도	기본한도 (실효선량 한도 및 보조한도) 유도한도 인정한도
참고준위	기 록 준 위 조 사 준 위 개 재 준 위

* 연 간 선 량 한 도

(단위 : mSv)

구 분	직업상 피폭	일반인의 피폭
실효선량 당량 한도 (확률적 영향의 관리 목적)	50 (5 rem)	5 (0.5 rem)
선량 당량 한도 (비확률적 영향의 방지 목적)		
수 정 체	150 (15 rem)	50 (5 rem)
기타 단일장기 또는 조직	500 (50 rem)	50 (5 rem)

1. 한 도

1> 기본한도 (Base Limit)

: 방사선방어 목표를 달성하기 위한 기본이 되는 한도, 개인의 방사선 영향 리스크와 관련된 양

① 실효선량 한도

② 2차 한도

가. 연간 섭취한도 (Annual Limit of Intake , ALI)

: 방사성물질의 체내섭취로 인해 선량당량한도 초과피폭을 받지 않도록 연간섭취가 허용되는 최대선량으로 **내부피폭의 2차한도** 이다

나. 선량당량 지수 : 외부피폭의 2차 한도

2> 유도한도 (Derived Limit)

: 공기중의 방사능, 공간선량과 같이 환경모니터링에서 실제로 측정된 양으로 기본한도를 직접반영하는 것

예; - 공기흡수선량 한도

- 공기농도 한도

- 배기,배수중 농도 한도

- 표면오염밀도 한도

3> 인정한도 (Authorized Limit)

: 감독관청 또는 시설책임자에 따라 최적화 과정을 거쳐 결정되는 한도이며, 특정상황에 적용하는 것으로 국가 또는 규제기관의 요청에 의해 결정되는 것

예 : - 개인 모니터링 한도

- 환경 모니터링 한도

- 방사성물질의 방출 한도

2. 참 고 준 위

: 방사선 관리 실무를 효율적으로 실행하기 위해 설정된 관리상 기준

1> 기록준위 (Recording Level)

: 측정 결과의 기록 기준

2> 조사준위 (Investigation Level)

: 상세한 원인 조사 기준

3> 개입준위 (Intervention Level)

: 필요한 개입조치 기준 (일반적으로 도달하지 않을것으로 판단되는 비교적 높은 준위)

3. 선량한도 적용시 고려해야 할 사항

1> 일반인은 방사선원, 피폭원에 동시에 노출되고 있음을 감안하여 단일피폭원 또는 행위로부터 받은 선량당량은 한도량보다 훨씬 낮을 것

2> 직업상피폭도 선량당량 한도 보다 훨씬 낮을 것

3> 내부피폭과 외부피폭을 같이 받을때 각각 한도 분율의 합이 1 이하 일것

4> 교육이나 훈련목적의 18세 이하 학생이 방사선 취급시 직업상 피폭에 포함

5> 여성의 직업상피폭은 단순히 생식능력이 있는 경우와 임신이 확인된 경우로 구분하여 적용

* 생식능력이 있는 여성 : 일반적 직업상 피폭 적용

임신중 피폭 : 직업상피폭 선량한도의 3/10 이하

6) 방사선방어 관리 대상

┌ 1. 방사선원의 관리 : 적극적 관리 개념

| 2. 환경의 관리 ┐

3. 사회(개인,집단)의 관리 — : 소극적 관리 개념

1. 방사선원의 관리

- 1> 자연방사선원 : 인간이 Control 불가능하므로 관리대상에서 제외
- 2> 인공방사선원 : 방사선방어 대상으로 선량제한체계를 준수

2. 환경 관리

- 1> 작업환경관리의 목적
 - ① 방사선원이 Control 되고 있는 것을 확인
 - ② 작업환경의 공간선량 및 방사성물질의 표면오염도,공기중농도등이 기준치 이하인것을 확인
- 2> 일반환경 관리의 목적
 - ① 방사선원이 Control 되고 있는 것을 확인
 - ② 일반공중이 선량당량한도를 이하로 피폭하고 있는지 확인

*. 일반 모니터링의 분류

- ① 선원중심의 환경모니터링 : 정당화,최적화 -> 집단선량
- ② 사람중심의 환경모니터링 : 선량한도 -> 개인선량

3. 사람(개인,집단)을 대상으로 한 관리

- 1> 작업자의 방사선방어 관리 목적
 - ① 작업자의 피폭선량을 파악하고 선량당량한도를 초과하는 피폭이 없을 것을 확인
 - ② 방사선원이 Control 되고 있는 것을 확인
 - ③ 작업환경이 계속된 작업에 적합하다는 것을 확인

2> 일반공중의 방사선 방어

: 결정그룹 (Critical Group)의한 관리

- ① 사고등 특수한 경우를 제외하고는 개인대상의 관리를 한다는 것은 불가능
- ② 선원관리 또는 환경관리가 중심이 된다

*. 결정그룹의 요건

- ① 연령, 식생활,기타 선량에 영향을 주는 여러가지 환경요인이 비교적 균일한 소그룹
- ② 집단중에서 최고의 선량을 받았다고 예상되는 개인을 대표하는 집단

제 4 장 방사선 방어의 원칙

1) 일반적인 방사선방어 원칙 : 3C 원칙

- 1. Contain : 방사선원을 한정된 공간에 밀폐
- 2. Confine : 효과적으로 이용하고 필요최소양만 사용
- 3. Control : 제어상태에서 사용

2) 외부피폭의 방어 원리

1. 선원과의 거리 유지 : Distance

: 선원에서 방사된 방사선의 강도는 거리제곱에 반비례하여 감쇠하므로 거리를 크게 두는것이 피폭을 경감시키는 가장 손쉬운 방법이다.

- 1> 거리 역자승의 법칙 이용 : $\frac{1}{r^2}$

$$2> \text{입자 플루언스율} (\phi) = \frac{S}{4\pi r^2} [s^{-1} \cdot cm^{-2}] \quad S : \text{선원의 강도}$$

3> 선원 - 거리 두기 기구 : 핀셋, Tong, 막대기

2. 피폭시간의 단축 : Time

: 선원에서 멀리 떨어지거나 차폐하여 작업할수 없을때 작업시간을 신속히 한다

방 법 : Cold run, 취급기술의 숙달

3. 차폐체의 활용 : Shielding

: 방사선종류에 따라 선원과작업자 사이에 차폐물을 놓으므로써 피폭을 크게 경감 시킬수 있다
일반적으로 mCi 이상의 방사성물질은 납차폐시설 속 또는 납블럭을 임시로 만든 차폐장치 내에서 취급한다.

1> α선 차폐

: 투과력이 매우 작아 피부표층을 투과 못하므로 최외피폭의 경우 방사선 관리 문제가 되지 않는다.

① 차폐방법 : 고무, 플라스틱 장갑 사용

② α선의 비정

$$\star \text{가. 공기중 : } R = 0.318E^{\frac{3}{2}} [cm] (4 < E < 8Mev)$$

$$\text{나. 물 질 : } R = 0.56 \cdot R_{air} \cdot A^{\frac{1}{3}} [mg/cm^2]$$

2> β선의 차폐

: 피부피폭이 문제 된다 (최대 에너지 5 ~ 6 Mev)

즉, β선이 중요장기에 도달하기 위한 선의 최대 에너지 : 5 ~ 6 Mev

① β선의 비정

$$R = 0.542E - 0.133 [g/cm^2] (0.8 < E < 3Mev)$$

$$R = 0.407E^{1.38} [g/cm^2] (0.15 < E < 0.8Mev)$$

② β선 차폐체 : Alumininum, Plastic판, 유리

③ 원자번호가 큰물질로 β선 차폐시 제동방사선 발생 주의한다

④ 양전자선은 비정의 끝에서 소멸γ선을 생성하고 K전자포획으로 붕괴핵종은 특성X선을 방출하므로 차폐시 고려한다

3> X, γ선의 차폐

① 비충돌 선속 (ϕ_u 또는 I) : Narrow beam

$$: \phi_u = \phi_o \cdot e^{-\mu x} (I = I_o \cdot e^{-\mu x})$$

ϕ_o :차폐체가없을때입자플루언스율

② 참선속 (ϕ) : Broad beam

$$\phi = B\phi_o \cdot e^{-\mu x}$$

B (축적인자) : Build up factor

$$B = \frac{\text{참선속}(\phi)}{\text{지수감쇠선속}(\phi_o)}$$

③ 반가층 (Half Value Layer . HVL)

: 투과선의 강도를 입사선의 강도의 1/2로 하는 차폐물의 두께

$$HVL = \frac{0.693}{\mu}$$

*. n층의 HVL로 차폐되었을 경우

$$\Phi = \Phi_0 \left(\frac{1}{2} \right)^n$$

$$n = \frac{x}{HVL}$$

$$\frac{\Phi_0}{\Phi} = 2^n$$

④ 10 가층 (Ten Value Layer , TVL)

: 투과선의 강도를 입사선의 강도의 1/10로 감소시키는 차폐물의 두께

$$TVL = \frac{2.303}{\mu}$$

* TVL 과 HVL 의 관계

$$TVL = 3.32 HVL$$

4> 중성자선의 차폐

: 원자번호가 큰물질로 에너지를 감소시킨후 수소를 많이 함유한 물, paraffin 등으로 다시 에너지를 감소시켜 열중성자를 만들고 B-10 이나 Cd등과 핵반을 시켜 정지
반응과정에서 γ선이 방출되므로 마지막으로 이것에 대한 차폐를 한다

3) 내부 피폭의 방어

1. 내부피폭의 특징

- 1> 장기내 방사성물질이 up-take 되어 침착기간중 계속해서 방사선피폭을 받는다
- 2> 비정이 짧은 α선이나β선이 문제가 된다.
- 3> 체내 up-take, 침착 방사성물질의 양과분포는 복잡하여 정량적으로 정확한 선량평가가 곤란

*. α선이 체내에 들어오면 위험도가 제일 큰 이유

: α선은 짧은 거리에서 전 에너지를 방출하여 발생 이온쌍의 밀도가 크기 때문

★ 2. 내부피폭의 방어 원리

- 1> 선원의 격납 : 방사성물질을 격납하여 외부누출을 방지
- 2> 농도의 희석 : 사람이 접촉하는 환경의 방사성물질의 농도를 낮게 유지
- 3> 경로 차단 : 방사성물질의 침입경로를 차단

3. 침입 경로

- 1> 호흡기 섭취
- 2> 경구 섭취
- 3> 경피 섭취

4. 방사성 오염방어의 일반적 수칙

- 1> 방사성 오염관리구역내에서 금연, 식사행위 및 음료수를 마시는 행위 금지
- 2> 적당한 호흡기구 착용
- 3> 적당한 방어복 착용
- 4> 항상 오염여부를 모니터링
- 5> 오염구역내에서 작업한다는 사실을 잊지 말것

5. 배설 속도에 영향을 미치는 인자

- 1> 방사성물질 및 체내 침입 경로
- 2> 방사성물질의 화학적 성질 (가용성, 불용성)
- 3> 입자의 크기

6. 생물학적 및 유효 반감기

: 체내의 up-take 된 방사성물질은 생물학적과정 과 물리적과정에 따라 지수함수에 가깝게 system밖으로 나간다

1> 생물학적 반감기 (biological half life , T_b)

: 생물학적 과정에 의해 초기의 존재하고 있던 물질의 반이 배출될 때까지의 시간

2> 유효 반감기 (effective half life , T_{eff})

: 2개의 과정에 의해 처음에 존재하였던 방사성 물질이 반으로 감소되는데 소요되는 시간

$$T_{eff} = \frac{T_b \times T_p}{T_b + T_p} \text{ 또는 } \frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_p}$$

4) 방사선량의 평가

1. 외부선량 평가

1> 1R에 기인한 공기중 에너지 흡수

$$\begin{aligned} \text{공기 } 1\text{cm}^3 \text{ 중 이온쌍의 수} &= \frac{\text{생성된 이온쌍 중 한쪽 봉호의 총 전하량} \times \text{공기 밀도}}{\text{전자의 전하량}} \\ &= \frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C/Kg} \times 1.293 \times 10^{-6} \text{ Kg/cm}^3}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} \\ &= 2.083 \times 10^9 [\text{이온쌍/cm}^3] \rightarrow 1 \text{ esu} \end{aligned}$$

2> 1R 조사에 의한 공기 1g에 흡수된 에너지

$$\begin{aligned} &2.083 \times 10^9 \times 33.8 \text{ eV} \times 1.602 \times 10^{-12} \text{ erg/eV OVER } 0.001293 \text{ g} \\ &= 86.9 \text{ erg/g} \approx 0.87 \text{ rad} \end{aligned}$$

2. 방사선의 강도와 조사선량

1> 1R의 조사선량에 의한 흡수체 1g당 흡수에너지 E

$$\begin{aligned} E &= \frac{S}{4\pi r^2} \cdot h\nu \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho} \times 1.602 \times 10^{-6} \text{ erg [Mev]} \\ &= \Psi \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho}, \left(\Psi = \frac{S}{4\pi r^2} \cdot h\nu \times 1.602 \times 10^{-6} \right) \end{aligned}$$

흡수체가 공기인 경우 $E = 87 \text{ erg}$ 이므로

$$\Psi = \frac{87}{(\mu_{en}/\rho)_{air}}$$

공기 이외의 물질이 1R 의 x선을 조사받았을 경우 , 그 물질 1g당 흡수에너지는 $(\mu_{en}/\rho)_{air}$ 대신에 그 물질의 질량에너지 흡수계수 $(\mu_{en}/\rho)_m$ 을 대입

$$\begin{aligned} E &= \Psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_m \\ &= 87 \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} [\text{erg/g} - R] \end{aligned}$$

흡수선량 단위로 바꾸면 D 는

$$D = 0.87 \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} \cdot X [rad/R]$$

$$= 0.87 \frac{(\mu_{en}/\rho)}{(\mu_{en}/\rho)} \cdot \Gamma \frac{Q}{d^2} \cdot t$$

3. γ방출 방사성 동위원소로부터의 방사선 피폭선량 평가 (방사능과 조선량률과의 관계)

Rhm (Γ) 의 정의 : 방사능 Q가 1Ci인 점선원에서 1m 떨어진 점의 선량률

단위 : $R \cdot m^2 \cdot h^{-1} \cdot Ci^{-1}$

***. 점선원에서 d [m] 떨어진곳의 조사선량률**

$$X [R/h] = \Gamma \frac{Q}{d^2} \quad \Gamma : \text{비감마 상수}$$

Q : 방사능 (mCi)

d : 선원과 p 점 사이의 거리

Co-60 의 Rhm	: 1.3
Ra-226 의 Rhm	: 0.825
Cs-137 의 Rhm	: 0.34
Ir-192 의 Rhm	: 0.48
I-131 의 Rhm	: 0.23

제 5 장 방사선 모니터링 (Monitoring)

1] 일반 사항

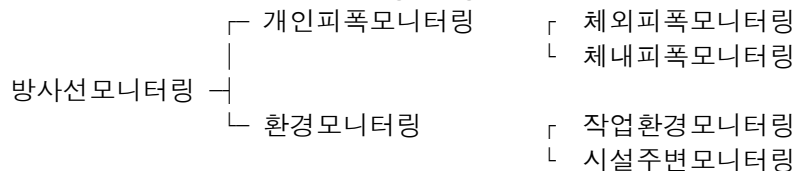
1) 방사선 모니터링의 정의

: 방사선 관리에서 방사선이나 방사선물질에 의한 피폭의 추정 또는 피폭제어에 관계되는 방사선 또는 방사능의 측정을 말한다

2) 모니터링 프로그램 (Monitoring Program)

: 측정대상, 시료채취방법, 측정방법, 측정빈도 및 모니터의 배치등을 선택하여 목적에 알맞도록 조합하고 모니터링을 적용시켜 실제로 수행하기 위해 하나의 체계로 구성한것.

1> 방사선 모니터링을 Monitoring Program에 따라 분류



2> 방사선모니터링의 각종 측정내용과 사용되는 주요 측정기

분 류	측 정 내 용	사용되는 주요 측정기
개인피폭 모니터링	외부피폭선량 체내의 방사성 물질량	필름배지, TLD , 형광유리선량계 , 포켓선량계 경보계 전신 카운터 , 폐모니터 , 배설물의 분석, 측정 장치
작업환경 모니터링	피부오염 공기 선량을 방사성 표면 오염도 방사성 먼지, 가스 농도	손, 발 오염 모니터 , 표면 오염 검사기 세베이 메터, 에어리어모니터(airia monitor), 선량계 표면 오염검사계 , 마루오염 모니터 , 스메어법 먼지, 가스 모니터 , 샘플러 + 방사능 측정기
시설주변환경 모니터링	공간 선량 (율) 방사성 먼지,가스 농도 물, 농수산물, 토양 등 환경시료내의 방사능	에어리어 모니터 , 선량계 먼지, 가스 모니터, 샘플러 + 방사능 측정기 방사능 측정장치 , γ선 스펙트로메터

3) 모니터링 프로그램 실시시 적용방법에 따른 분류

1> 평상 모니터링

: 일상적으로 실시하고 있는 정해진 방사선작업에 대해 적용되고 진행작업 각단계에
관계없이 독립적계획에 따라 정기적으로 하는 모니터링

2> 작업 모니터링 (수시 모니터링)

: 특정방사선 작업종사자의 피폭상황이나 작업환경상황을 체크, 작업환경이나 작업방법을
개선 또는 작업계속의 유무를 검토할 목적으로 단기간 실시하는 모니터링

3> 특수모니터링

: 이상발생 또는 발생여부가 의심스러울때 이상상황을 해명하고 피폭선량을 확정하기
위한 목적으로 실시하는 모니터링

2] 작업 환경 모니터링

1) 관리 구역 설정 기준

1. 체외피폭선량이 1주간 30 mrem 이상
2. 공기중 또는 수중의 방사성물질의 농도의 3/10 이상
3. 표면오염도가 최대허용표면오염도의 1/10 이상

1> 관리구역 출입구에 설치한 게시판에서 출입자가 얻을수 있는 관리구역에 대한 3가지 정보

- ① 관리구역내의 방사선 준위
- ② 관리구역내의 오염 준위
- ③ 주의 사항

2> 관리구역 경계에 취해야 할 안전조치 사항

- ① 법률로 정한 표지 부착
- ② 주의사항 게시
- ③ 경 계 표 시

2) 모니터링 방법 과 기준

1. 관리기준 : 최대허용선량 , 선량한도

★ 2. 관리방법

① 전신선량 : γ 선 과 중성자선의 선량당량 합

② 피부선량 : β 선 , γ 선 , 중성자선의 선량당량 합

1> 표면오염 모니터링

① 관리기준

가. α 선 방출 방사성물질 : $3.7KBq/m^2 (10^{-5}\mu Ci/cm^2)$

나. α 선을 방출하지 않는 방사성물질 : $37KBq/m^2 (10^{-4}\mu Ci/cm^2)$

② 관리방법

가. 유리성 표면오염 : 스메어법 (Smear method)

***. 스메어법**

: 유리성(제거성)오염의 측정평가에 사용하는 방법으로 대상표면의 일정면적($100cm^2$)을

여과지로 흡착내 여과지면에 묻은 방사능의 α 선, β 선, γ 선을 방사선측정기로 측정하는 방법.

나. 고착성 표면오염 : 서베이법 (Probing method)

***. 서베이법**

: 오염된 물체 표면을 서베이미터로 scanning하면서 측정하는 방법으로 고착성(비제거성)오염과 비전이 오염의 전오염량을 측정하는데 적당

2> 공기 오염 모니터링

① 관리기준

: 공기중 최대허용농도 (MPC)_a , 연간섭취한도 (ALI) , 유도공기중농도 (DAC)

② 관리방법

가. 공기모니터 사용

나. air sampler로 시료를 채집하여 방사능 측정

3) 오염제거에서 일반적 주의사항

1. 오염위치 및 오염원 핵종 확인
2. 제거방법의 검토
3. 조기제염
4. 오염확대 방지

5. 습식조작
6. 적절한 제염제 선택
7. 감쇄
8. 방사성 폐기물 처리

3] 작업 환경 모니터링 기술

1) 공간선량률 측정

1. G-M Surveymeter

: X, γ , β 선의 선량률 측정

※ G-M Surveymeter 로 고선량률 γ 선 측정시 주의사항

- 1> 분해시간이 길기 때문에 일어나는 소멸현상
- 2> 직사광선

2. 전리함 Surveymeter

: 선량률이 높은 경우나 정확한 선량률 측정시 사용

※ β 선 측정은 γ 선 전리함 서베이메터의 입사창을 열었을때 측정 가능

3. Rem Counter

: 중성자의 선량률 측정

4. BF_3 비례계수관

: 열중성자 측정

※ 공간선량을 측정용 서베이메터의 종류와 특징

방 사 선	검 출 기	측 정 범 위	에너지 의존성	비 고
x, γ(β) 선	전 리 함	0.1 ~ 250 m R/h 0.001 ~ 2 R/h 0.01 ~ 25 R/h	소	전리함의 창을 열어 주면 β선을 측정할수 있다.
	GM 계수관	0.02 ~ 10 mR/h	중	단창형인 경우 프로브끝의 Al 캡을 벗기면 β선을 측정할수 있다.
	신틸레이션 계수관	0.01 ~ 2.5 mR/H	대	
	고선량 측정용 특수 GM 계수관	0.001 ~ 2 R/h	중	고 및 저준위용의 소형 GM 계수관을 두개 사용 4m까지 갈수 있는 원격 프로브가 달려 있음. β선 측정용 창의 두께 25 mg/cm
열 중성자선	BF 계수관	1 ~ 10000 n/cm /s		γ선에 대한 식별번호 (수 R/h 까지)
속 중성자선	Hurst 비례 계수관	5 ~ 500 mrad/h	가	0.2 MeV 이상의 중성자 선량당량을 측정에 적당
	신틸레이션 계수관	5 ~ 50000 nrad.h 또는 100 ~ 100000 cpm	불량	0.5 ~ 수 MeV의 중성자 선량당량의 측정 가능
	Cd + 파라핀 감속 재착용 BF 계수관	1 ~ 10000 h/cm /s	불량	써베이용에는 3cm 정도의 파라핀 사용 선속밀도 측정 가능

2) 표면 오염 측정

1. 스메어법에 의한 측정

: 유리성(제거성) 오염의 측정평가에 사용되는 방법으로 일정대상표면을 여과지로 훑쳐내어 여과지에 묻은 방사능의 α, β, γ선을 방사능 측정기로 측정하는 방법

2. 서베이법에 의한 측정

: 오염된 물체 표면을 서베이메터로 scanning 하면서 측정하는 방법으로 고착성(비제거성) 오염 과 전이가 안되는 오염의 전오염을 측정하는데 적당

3) 공기 오염 측정

★ 1. 공기중 방사성 물질의 포집 방법

- 1> 입자형태의 방사성 물질 : 여과지를 이용한 여과 포집법
- 2> 기체상 (I-131, S-35, Hg-203) : 활성탄 카트리지를 이용한 고체 포집법
- 3> 기체상 (H-3, C-14) : gas 포집용 전리함 또는 용기를 이용한 직접 포집법
- 4> 수증기 (H-3) : Cold trap을 이용한 냉각 응축 포집법
- 5> 수증기, 안개 (H-3, C-14) : Bubbler를 이용한 액체 포집법

★ 2. 각 시료의 채취방법과 방사성물질의 성상 및 정량방법 의 조합

시료채취 방 법	포집제, 포집기구(예)	대상방사성 물질의 성상	주요핵종	방사성 물질의 정량 방법
여과포집 방 법	여과지	입자상	Co-60, U, Pu	전 α,β,γ 방사능 계측 방법 α, β, γ 스펙트럼 분석 방법 형광 광도 분석 방법
고체포집 방 법	활성탄함침 여과지	기체상 (휘발 성 물질)	I-131, S-35 Hg-203	전 β, γ 방사능 계측 방법 γ 선 스펙트럼 분석 방법
	활성탄 카트리지	기체상 (휘발성 물질)	I-131, Hg-203	전 γ 방사능 계측 방법 γ 선 스펙트럼 분석 방법
	실리카 겔	수증기	H-3	액체 신틸레이션 계측 방법
직접포집 방 법	가스 포집용 전리함	기체상	방사성 희가스 H-3, C-14	전 β, γ 방사능 계측방법 (어느것이나 전리전류 계측 방법)
	포집용 가스용기	기체상	방사성 희가스	전 β, γ 방사능 계측방법 α선 스펙트럼 분석 방법
냉각응축 포집방법	코올드 트랩	수 증 기	H-3	액체 신틸레이션 계측방법
액체포집 방 법	버 블 러	수증기, 안개	H-3 , C-14	액체 신틸레이션 계측방법

※ 전 방사능 계측

: 시료에서 방출되는 특정 종류의 방사선을 에너지에 관계없이 전체로 계측하는 방법

※ 스펙트럼 분석 방법

: α, β, γ선의 방사선중 특정한 에너지 범위만을 선택적으로 계측하는 방법

3. 방사능 측정 방법 과 주요검출기의 종류

대상핵종	계 측 방 법	계 측 기	비 고
	전 α방사능	개수유입식 비례계수관	검출기가 입사창을 가질때 창두께와
	계 측	ZnS(Ag) 신틸레이션 검출기	공기층합이 $2mg/cm^2$ 이하 일것
α선			
	α선 스펙트럼	Grid 부착 전리함	분해능 : ~ 50 Kev (FWHM)
	분 석	Si 반도체 검출기	분해능 : ~ 30 Kev (FWHM)
	전 β방사능	단창형 GM 계수관	검출기가 입사창을 가질때 창두께와
	계 측	개수 유입식 계수관	공기층의 합이 β선 최대 비정에 비해
		플라스틱 신틸레이션 계수관	충분히 작을것

β선	개스 포집용 전리함		
	β선 스펙트럼 분석	액체신틸레이션 검출기 플라스틱 신틸레이션 검출기 CsI(Tl) 신틸레이션 검출기	저 에너지 β선 계측에 적합
	전 γ선 방사능 계측	NaI(Tl) 신틸레이션 검출기	50 Kev 이상의 γ선 에너지에 상당하는 파고 pulse를 선별하여 계수할 수 있도록 한다
γ선	γ선 스펙트럼	NaI(Tl) 신틸레이션 검출기	분해능 : ~ 2 Kev(FWHM)
	분 석	Ge(Li) 반도체 검출기	(1.33 MeV)
		Si(Li) 반도체 검출기	분해능 : ~ 8 % (0.66 MeV)

4) 방사성 먼지 농도 측정

1. Dust Sampler

1> 여과 집전기 사용

★ 2> 공기 오염 측정시 측정값에 영향을 미칠수 있는 천연발생 방사성 핵종

: 라돈(Rn), 토론(Tn) 붕괴 생성물

※ Rn, Tn 붕괴생성물의 영향을 제거 또는 보정하는 방법

- ① 집진후 72 시간 이상 경과후 집진시료측정
- ② 집진후 4~6 hr 뒤, 24~30시간뒤 여과시료를 측정하여 계산에 의해 ThB(Pb-212, 10.64hr)의 영향을 보정

2. Dust Monitor

: 부유 옥소(Iodine) 측정

- 1> 활성탄 필터 : 무기 I
- 2> 활성탄 카트리지 : 유기 I

3. 방사성 개스 농도 측정

- 1> 시료공기를 전리함에 직접 도입하여 전리전류를 측정하여 농도를 구하는 방법
: H-3, C-14, Ar-41, Kr-85, Rn-222
- 2> 시료를 포집용 가스용기에 포집 또는 유통시켜 방사선 검출기를 용기내에 넣어 방사선 가스가 방출하는 방사선을 계수하여 농도를 구하는 방법
: Ar-41, Kr-85 (불활성 개스)

5) 배기 , 배수의 방사능 농도 측정

1. 배기중 방사능 농도 측정

: 공기오염 측정과 동일

2. 배수중 방사능 농도 측정

: 폐액 저장조에서 약 1l 의 폐액 시료를 채취하여 휘저은 후 일정량을 Al 또는 스테인레스 접시에 옮겨 증발,건고후 방사능 측정장치로 측정

3. 배수중 방사능 농도 측정

- 1> 액침형 : NaI 신틸레이션 검출기가 저장탱크 또는 폰드안에 고정된 방식
- 2> 샘플러형 : 측정 폐액을 Sampler에 인도하거나 배수관 도중에 Sampler를 설치하여 측정폐액을 흘리면서 측정하는 방식

4] 개인 방사선 모니터링 프로그램

개인 모니터링 프로그램의 목적

- : 1. 개인피폭선량을 당사자 개인에 대해 측정, 추정평가하여 작업 및 작업환경에서 받는 피폭을 감시, 선량당량한도와 비교해 개인피폭을 제한 한다
2. 추정된 개인피폭을 토대로 작업 및 작업환경 개선에 이용

1) 체 외 피 폭

1. 체외피폭 모니터링 프로그램의 목적

- 1> 개인의 장기 및 단기간 피폭선량에 대한 측정평가로 개인의 피폭관리
- 2> 개인 피폭선량의 경향을 알아 작업환경 모니터링 프로그램을 체크
- 3> 사고시 피폭 정보를 얻는다

2. 체외피폭의 구분 평가

: 전신피폭선량(D), 피부피폭선량(D_s), 국부피폭선(D_L)으로 구분 평가

※ 이 유

: 방사선 종류에 따라 신체내부까지 투과하는 X, γ선 및 중성자선 과 투과력이 약한 β선과는 신체내부에 주는 영향이 다르기 때문.

$$D = D_\gamma + D_n, D_s = D + D_\beta$$

D_γ : γ(X)선에 의한 피폭선량

D_n : 열중성자와 속중성자에 의한 피폭선량

D_β : β선에 의한 피폭선량

※ 국부피폭인 경우 손끝의 피폭이 문제되므로 $D_L = D + D_\beta$ 이지만 현실적으로 β선을 취급하는 것이 대부분이므로 $D_L = D_\beta + D_\gamma$ 이다.

2) 개인 체외피폭선량의 측정

1. 측정기

- 1> 기준 측정기
- 2> 보조 측정기
- 3> 사고피폭 측정기

2. 개인 모니터링용 측정기의 종류 : 5가지

: 필름배지, TLD, 형광유리선량계, 포켓선량계, 포켓전리함, 개인경보기

A> 필름배지 (기준 측정기)

1> 측정원리

: 사진유제의 방사선에 의한 잠상현상(사진작용)

★2> 특 징

- ① 에너지의존성과 방향의존성이 크다.
- ② 방사선의 종류를 구분하여 측정 가능
- ③ 전신선량, 피부선량, 장기선량 측정 가능

- ④ 온도, 습도의 영향이 크다 (잠상퇴행 현상)
- ⑤ 인체조직 등가물질이 아니므로 보정이 필요
- ⑥ 기록의 영구 보존
- ⑦ 현상처리에 영향을 받는다
- ⑧ 집적선량 측정에 적합

★3> 필름배지 취급시 주의사항

- ① 습도, 산, 알칼리 분위기에서 사용시 비닐로 밀봉
- ② H-3 가스분위기에서 H-3에 의한 흑화 주의
- ③ 오염방지
- ④ 사용하지 않는 필름은 냉암소에 보관
- ⑤ 빛에 노출 방지

B> TLD 및 형광유리선량계(기준 측정기)

1> 측정원리

가. 열형광 선량계(TLD)

: 격자 결함을 갖는 결정체에 방사선 조사후 **적외선**을 비추어 주면 형광이 발생하는 현상 이용

나. 형광 유리선량계(RPL , PL)

: 미량의 Ag를 첨가한 인산유리 (RPL, PL)에 **자외선**을 조사하면 흡수방사선에 비례한 형광이 발생하는 현상 이용

2> 특 징

- ① 저선량에서 고선량까지 측정 가능 (필름배지에 비교해)
- ② 에너지 및 방향의존성이 필름배지보다 적다,
- ③ 방사선 종류의 구분 측정 가능
- ④ 인체조직 등가 물질 (보정이 필요 없다)
- ⑤ 온도, 습도의 영향이 비교적 적다.
- ⑥ 소형,견고, 판단이 간단.
- ⑦ 기록의 영구보존이 불가능하나, 재사용이 가능

C> 손끝 피폭 측정기 (Film ring) : 기준 측정기

: 핵연료 물질이나 $\beta(\gamma)$ 방사체 취급시 손끝의 국부피폭측정에 적당

D> 직독식 포켓선량계 및 포켓 전리함 (보조측정기)

E> 경보기

3) 체 내 피 폭

1. 방사성물질의 인체내 침입 경로

- 1> 흡입섭취
- 2> 경구섭취
- 3> 경피섭취

★2. 체내오염 측정법

1> Bioassay 법

: 방사성물질이 체내로 섭취되어 장기 와 조직에 침착한후 신진대사에 의해 대,소변으로 배출되는 방사성물질의 양을 화학적 분석조작으로 방사능을 측정하여 체내량 측정하는 방법

*. 체내오염량 측정 과정

- ① 시료가 되는 배설물 채취

- ② 시료의 화학적 처리
- ③ 방사능 측정
- ④ 계측치에서 체내량 추정

2> 전신 계측법 (Wholebody Counter 법)

: 체내에 들어간 방사성물질이 어느장기(기관)에 침착되었는지 측정하는 것으로 γ 선(연X선) 직접 NaI(Tl)신틸레이션 검출기로 측정하여 체내량을 추정하는 방법.

※ Human Counter의 Background를 억제하기 위해 차폐를 두껍게 하는 이유

- ① 체내의 미량의 방사성물질의 측정
- ② 방출되는 γ 선이 미약하다.
- ③ 시료가 인체이므로 측정시간에 제한이 있다.
- ④ 기하학적 효율이 작으므로 측정검출감도를 높이기 위함

3> Bioassay 법 과 holebody Counter 법의 비교

	체외 계측법	Bioassay 법
비 용	비싸다	싸 다
체내침착 방사능 측정법	직접적으로 방사능 측정	배설물을 통한 간접적 측정
침 착 부 위	안 다	모 른 다
검 출 가능 핵종	X , γ 선	전 핵 종
가용성, 불용성 판정	모 른 다	안 다
처 리 수	적 다	많 다

제 6 장 방사선 안전 취급 기술

1] 밀봉 동위원소의 취급

1)밀봉 동위원소의 정의

: 기계적 강도가 충분하여 파손 우려가 없고 부식되기 어려운 재료로 된 용기에 넣은 방사성 동위원소로 사용시 방사선은 용기 외부로 방출하지만 방사성동위원소는 누출하지 못하도록 되어 있는것.

2) 밀봉선원의 조건

1. 사용목적에 따라 이용하고자 하는 방사선이 잘 방출
2. 사용조건(기계적 힘, 온도, 화학적현상)에 대한 내구성
3. 내용물 변화(부식, 방사선손상,압력증가) 에 대한 내구성

3) 밀봉선원의 Capsule 로서 필요 조건

1. 정상적 상용시 개봉 또는 파괴 우려가 없을것
2. 누설, 침투로 내용물이 흘러져 오염될 우려가 없을것
3. β 선 흡수가 적을 것
4. 사용에 적합한 구조, 모양, 크기, 를 가지며, 방사능 마크, 핵종,수량, 제조번호등 필요한 표시가 붙어 있을 것
5. 기계적, 화학적, 열적으로 충분한 강도르 가질것

4) 밀봉선원의 사용목적에 따른 분류 : 취급기술에 상세히 설명

1. 교정용 선원 : 주로 $3.7 \times 10^6 Bq$ ($100 \mu Ci$) 이하의 선원 이 쓰임

2. 방사선 이용 계측기용 선원

: 두께, 밀도 측정기, 유황분석기, 개스 크로마토그래피 등

3. 비파괴 검사용 선원

※ 비파괴 검사용 선원의 필요 조건

- 1> 소형이며 방사선이 강한 γ 선원 일것
- 2> 피사체의 종류나 두께에 따라 적당한 에너지를 갖는 γ 선 일것
- 3> 반감기가 충분히 길어야 한다.
- 4> 제조방법이 쉽고 저렴 할것
- 5> 선원의 강도는 수 ~ 수10 Ci 정도가 좋다

4. 조사용 선원

- 1> 방사선 화학
- 2> 방사선 치료
- 3> 식품조사
- 4> 의료용 선원

5) 밀봉선원 취급방법 및 취급시 주의 사항

- 1> 선원의 소재가 분명하고 선원목록도 철저히 유지 관리한다
- 2> 선원의 소재가 불분명 또는 분실한 경우 안전관리 책임자에게 즉시 통보하고 분실이 확실하면 규제당국에 보고 한다
- 3> 선원취급시 방사선 방어의원칙의 모든 수단을 동원하여 방사선 피폭이 최소가 되도록 한다
- 4> 안전수칙이나 주의사항을 출입구나 시설경계에 게시하고 고준위방사선을 분명히 표시하여 방사선 피폭을 방지, 필요시 끈이나 철책으로 불필요한 사람의 출입을 막는다
- 5> 밀봉선원 사용은 사람이 없는 시설내에서 사용
- 6> 선원은 손으로 취급해서는 안되며 원격조작기구를 이용하여 취급
- 7> 작업전 철저한 계획을 세워 가능한 짧은 시간내에 작업을 끝낸다
- 8> 방사선 피폭을 줄이기 위해 작업시간, 차폐체 설치로 최선의 방안 강구

★6) 밀봉선원 취급시 선원을 직접 취급하는자의 주의 사항

1. 선원의 파손이나 분실시 안전관리 책임자에게 통보
2. 방사선 방어 원칙에 따라 가능한 수단을 동원하여 방사선 피폭이 최소가 되도록 할것
3. 선원을 직접취급해서는 안되고 원격 조작기구로 취급
4. 가능한 짧은 시간내에 작업을 끝낸다

7) 밀봉선원의 오염 대책

1. 취급시 주의를 요하는 선원

: α 선원, 저에너지 β 선원, Ra 선원, H-3 선원

※ 이 유

: 창면의 두께가 얇아 기계적강도가 약하므로 방사능 누설 가능성

※ 방사선 치료용 Ra 침을 20~30년 사용시 주의 사항

- 1> α 붕괴로 인한 헬륨생성으로 용기내 압력상승에 의한 누설 가능성
- 2> Ra염의 탈수가 완전치 않아 수분이 방사선에 의해 분해되어 산소와 수소의 발생으로 용기내압증가로 인한 누설 가능성

2. 밀봉선원의 오염검사법 : Smear 법

8) 밀봉선원의 안정성 시험

1. 누설시험 (Leak Test)

- 1> 기포시험
- 2> 헬륨 누출 시험
- 3> 침적시험
- 4> 문지름 시험
- 5> Ra, Kr 시험

2. 오염시험

- 1> 침적 시험
- 2> 문지름 시험

3. 수송을 위한 시험

- 1> 충격시험
- 2> 타격시험
- 3> 가열시험
- 4> 침적시험

4. 특수시험

- 1> 가열시험
- 2> 외압시험
- 3> 충격시험
- 4> 진동시험

9) 밀봉선원 또는 방사선발생장치 사용시 주의사항 : 9 가지

- 1. 사용전 위험구역안에 사람이 없는가 확인
- 2. 사용중(조사중)이라는 경고표시등을 잘보이는 곳에 부착
- 3. 한사람의 운전책임자를 선정하고 책임자의 지시,감독하에 조작
- 4. 위험구역 출입시는 운전책임자의 지시에 따르고 서베이미터로 안정성 유무 확인
- 5. 사용중이나 비사용시 공간선량분포의 측정결과를 취급자에게 주지 시킬것.
- 6. 위험장소는 취급자 이외의 접근 금지
- 7. 사용개시, 종료시 반드시 서베이미터로 방사선 누출 여부 확인
- 8. 부근에 가연성 물질 방치를 방지하고 화재시 대비조치 강구
- 9. 조사장치의 기능등을 수시점검하여 사고발생을 미연에 방지 한다

2] 비밀봉 선원의 취급

1) 비밀봉선원 취급시 일반적 고려사항

- 1. 외부피폭 이외에 오염확산과 인체 내부피폭 우려
- 2. 비밀봉선원 취급 지역이나 시설은 특별히 설계. 감시 및 표시 부착
- 3. 비밀봉선원을 취급하기 위한 장비, 초자기구, 공구등은 제한구역 이외의 장소에 이전이나 사용치 않도록 표시 및 특별한 주의 필요하다
- 4. 비오염지역의 사용장비는 오염구역안으로 가져가지 말고 오염구역에서 반출되는 모든 물품은 오염준위가 기준치 이하일것
- 5. 선원의 조작상태, 총취급량, 비방사능, 독성 물리적 및 화학적 특성에 따라 특별주의가 필요

★2) 작업실 이나 실험실의 배치를 방사능준위에 따라 배치하는 이유

- 1. 표면오염 발생요인을 감소
- 2. 효과적 환기 대책 마련
- 3. 사고시 신속한 대피

※ 표면처리 재료의 선택시 유의사항

- 1> 표면이 평활 할것
- 2> 기체 또는 액체의 침투가 어려울것
- 3> 이음(눈금)이 있는 재료는 피한다
- 4> 교환이 용이 할것
- 5> 표면재료는 흙이 생기지 않아야하고 열에 비교적 강할것
- 6> 차폐체 설치시 차폐체 중량을 견딜수 있는 재료일것

3) 비밀봉선원의 안전 취급

1. 오염방지의 수단

1> 체내섭취방지

- ① 오염물질 섭취방지
 - 가. 오염구역내에서 피펫트조작, 유리세공 금지
 - 나. 오염구역내에서 식사,흡연, 화장의 금지
- ② Gas 및 증기 흡입 금지
 - 가. 개스 및 증기가 발생할 가능성이 있는 방사성핵종은 기밀용기에 보관하고 용기내 압력은 대기압보다 약간 낮게 한다
 - 나. 파손우려 용기는 후드내에 보관
 - 다. 저농도의 방사성액체의 증발농축시 후드내에서 행한다
- ③ 먼지 흡입 방지
 - 가. 분말상 방사성핵종의 취급은 Glove Box 내에서 취급
 - 나. Glove Box 내에서 방사성물질을 밖으로 꺼낼때 용기에 넣어서 꺼낸다
 - 다. 먼지 방지용 마스크 사용

2> 인체 표면 오염 방지

- ① 손등의 방사성오염 제가가 용이하도록 적당한 크림을 바른다
- ② 손이 거칠어지지 않도록 양질의 비누나 크림으로 손을 씻는다
- ③ 손톱을 짧게 깎는다
- ④ 피부에 외상이 있을때는 방사성핵종 취급을 삼가한다
- ⑤ 고무장갑이나 적당한 도구를 사용하여 취급
- ⑥ 종이수건이나 1회용 수건을 사용한다
- ⑦ 오염된 손이나 장갑을 끈채로 개스, 수도꼭지, 전기스위치를 조작하지 말것
- ⑧ 특별한경우 방어복이나 방어안경을 착용
- ⑨ 관리구역을 떠날때는 반드시 손을 씻거나 샤워를 한다

3> 시설의 오염 방지

- ① 방사성핵종 취급시 폴리에틸렌 필름을 깔고 그위에 스테인레스 나 플라스틱 접시를 준비해 취급
- ② 작업실에는 전용 신발이나 작업복을 비치하여 사용
- ③ 작업에 사용된 기구,공구는 작업완료후 제염 및 폐기 조치
- ④ 오염물건과 비오염물건은 구분하여 별도 보관
- ⑤ 방사성핵종의 증발, 농축작용은 후드내에서 행하고 응축기가 있는 폐쇄회로 장치를 사용하여 비등시 주위의 오염을 방지
- ⑥ 작업실내의 청소는 건식법 및 습식법을 상황에 따라 적절히 사용

★ 2. a 방사성 핵종의 취급상 주의 사항

- 1> 체내 섭취 방지
- 2> 취급은 후드나 Glove Box 내에서 취급
- 3> 서베이미터로 오염상태의 수시점검
- 4> 철저한 배기 및 배수 감시
- 5> 핵반응에 의한 중성자 방출

★ 3. H-3 취급상 주의사항

- 1> 초기에 표면오염탐지가 어려우므로, 수시 및 주기적으로 스메어법이나 서베이법으로 오염검사
- 2> 최소량을 선택하여 실험
- 3> 작업시 적절한 산소호흡기 및 방호복을 착용하여 피부노출 방지
- 4> 표면오염이나 사용한 찌꺼기 방치를 방지하여 화학반응을 미연에 방지
- 5> 오염물질이 C-H결합 형태의 경우 이특성에 적합한 제염법 선택

★ 4. 동물과 의료에서의 주의사항

- 1> 동물사육구역은 관리구역으로 설정하고 배설물 처리에 신중을 기한다
- 2> 동물에 기생하는 기생충도 폐기물로 간주해 처리해야 한다.
- 3> 동물의 시체도 폐기물로 간주해 처리 한다.
- 4> 동물에 물리거나 할키지 않도록 적절한 방호복 및 장갑을 사용한다.
- 5> 환자의 배설물은 폐기물로 처리한다.
- 6> 환자가 사용한 의복,시트등은 오염물로 간주하여 처리 한다.
- 7> 방사성핵종을 투여한 환자는 방사선원으로 간주해 이동등에 유의 한다.

★ 5. 고에너지 가속기 취급시 유의사항

- 1> 표적(Target), 가속기등에서 발생하는 방사선
- 2> 시설에서 발생되는 공기오염
- 3> 잔류방사선

제 7 장 방사성폐기물 관리

1] 방사성 폐기물의 분류

- 1. 방사성 기체 폐기물
- 2. 방사성 액체 폐기물
- 3. 방사성 고체 폐기물
- 4. 동물성 폐기물
- 5. Slury 상 폐기물

2] 방사성 기체 폐기물 처리

1) 불활성 기체 처리

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. 동 흡착법 | 2. 저온 흡착법 |
| 3. 저온 증류법 | 4. 흡수법 |
| 5. 격막법 | |

2) 방사성 옥소 제거

- 1. 화성탄 필터
- 2. 질산은법

3] 방사성 액체폐기물 처리

1) 응집 침전법

1. 대량의 저준위 방사성 폐액 처리에 적당.
2. 제염계수 : 10 정도
3. 응집제 : 인산나트륨, 염화제 1 철 , 염화제 2철, 점토 등

2) 이온 교환처리법

1. 최종 정제용으로 사용
2. 제염계수 : $10^3 \sim 10^4$ 정도
3. 이온 교환제 : 합성이온교환수지 , 천연무기교환수지, 이온교환막 등

3) 증발 처리법

1. 폐액중 수분을 증발하고 농축액에 방사성물질을 잔류시켜 고형화 처리하는 방법
2. 제염계수 : $10^2 \sim 10^6$, 액체폐기물 처리법중 가장 높다.

※ 농축법 : 방사능 농도가 높고 저장, 감쇄가 어려운 반감기가 긴 폐액을 농축 처리하는 방법

$$\text{제염계수}(DF) = \frac{\text{처리후의액(기)체상의방사성핵종농도}}{\text{처리전의액(기)체상의방사성핵종농도}}$$

4] 고체 폐기물 처리

- | | |
|----------|----------|
| 1. 소각 처리 | 2. 압축 처리 |
| 3. 해체 처리 | 4. 해양투기 |

★ 1) 방사성 폐기물의 고화 처리 방법

- | | |
|-----------|------------|
| 1. 시멘트 고화 | 2. 아스팔트 고화 |
| 3. 유리화 | 4. 폴리머 고화 |

5] 방사성 폐기물의 처분

★1) 중, 저준위 방사성 폐기물의 처분

- | | |
|---------|---------------|
| 1. 천층처분 | 2. 공학적 시설내 처분 |
| 3. 동굴처분 | 4. 해양투기 |

★2) 고준위 폐기물 처분

1. 지층저분 : 압염, 점토층, 경암층
2. 심해저 퇴적층 처분

<< ※ 사업소내의 운반 >>

1. 용기는 한번이 10cm이상으로 취급이 용이 할것
2. 용기, 차량 표면에서 200 mrem/h이하, 표면에서 1m떨어진 지점에서 10 mrem/h 이하
3. 표면오염이 규정치 이하 일것

4. 적재주의 (이동, 전도, 전략에 의한 안정성)
5. 위험물과 운반물의 혼재금지
6. 운반경로에 대한 조치
7. 운반차량의 서행
8. 전문가와 동승
9. 눈에 띄기 쉬운곳에 표지 부착
10. 운반종사자의 피폭선량 제한

제 8 장 사고 대책

★1) 긴급시 조치 : 법령 내용

1. 사전 준비 사항
: 취급방법, 주의사항, 사고의 조치사항이 기재된 서류 휴대
2. 통보(보고) 내용
 - 1> 사태발생 일시, 장소, 원인
 - 2> 방사선장해 상황
 - 3> 응급조치 내용
 - 4> 기타 필요한 사항
3. 응급조치 내용
 - 1> 화재시 소화, 연소의 방지, 소방서에 통보
 - 2> 부근에 있는자에게 경고 및 대피
 - 3> 방사선 장해를 받은자의 구급
 - 4> 오염방지 및 제염
 - 5> 이동이 가능한 경우 안전한 장소로 방사성동위원소의 이동

★2) 일괄적인 사고 대책 원칙

1. 인명안전보호 원칙 : 인체의 안전보호
2. 통보의 원칙 : 관계자에게 통보
3. 확대방지의 원칙 : 오염확대방지

★3) 방사선 및 RI의 일반적 사고 사항

1. 시설의 화재
2. RI의 분실 및 도난
3. 방사선 피폭
4. RI에 의한 오염

★4) 화재에 대한 평상시 점검 사항

1. 방사성 핵종의 보관장소, 그종류, 수량, 형상 등
2. 화재에 의한 확산의 위험성
3. 소화시 물을 사용해서는 곤란한 구역
4. 방사선관리담당자, 소방서 등에 연락 방법

★5) 방사성핵종이 었질렀졌을 경우 일반적 처리법

1. 동료직원 및 관계자(책임자)에게 알린다
2. 오염이 확대되지 않도록 한다.

3. 관계자 이외의 출입을 금한다.
4. 사고현장에 있던 직원의 신체 오염을 검사 한다.
5. 제염한다.(제염중 제염작업자에 대한 방사선방어를 고려)
6. 제염이 완전히 되었는지 확인 측정 한다.
7. 사고원인을 규명하고 기록하여 사고재발방지의 자료로 활용한다.

★6) 방사성핵종 취급중 상처를 입었을 경우 응급 처치법

1. 15초 이내에 대량의 흐르는 물에 상처를 벌려 씻는다.
2. 15초 이내에 의사의 지원을 받지못할 경우 또는 위험도가 낮은 방사성핵종에 오염되었을 때 정맥만 지혈이 되는 경우에 한해 지혈 한다.
3. 대단히 위험한 핵종에 오염되었을 경우 지혈하고 의사에게 간다.
4. 가능한 빨리 의사에게 연락 한다. 상처의 오염을 측정하여 오염이 남았으면 처치한다