

1. 용어 정의

■ 조사선량

X선이나 γ 선에 대하여 공기중의 흡수된 방사선량을 나타냄
즉 공기의 단위 질량(dm)에 광자(γ , X)가 조사되어 공기를 전
리하여 거기에서 만드는 전하의 양(Q)을 조사선량이라 한다.

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad [SI : C/Kg]$$

○ 조사선량의 정의는 다음을 만족해야 한다.

- ① 조사선량은 X선이나 γ 선과 같은 광자(photon)에만 적용된다.
- ② 광자가 통과하는 매질은 반드시 공기이어야 함
- ③ 공기중에서 생성된 모든 전자는 일정 부피의 공기중에서 완전히 흡수되어야 한다.
- ④ 위의 조건을 만족하는 광자의 에너지는 약 3MeV미만이다.

○ 1R의 정의

방사선(X, γ)이 표준 상태(0°C, 1기압)하의 건조한 공기 1cm³인 0.001293g을 전리해서 1esu의 전하를 발생시키는 방사선의 양

$$\begin{aligned} 1R &= \frac{1esu \text{의 전하량}}{1cc \text{의 공기 질량}} \\ &= \frac{3.33 \times 10^{-10} C}{0.001293g} \times \frac{1000g}{1kg} = 2.58 \times 10^{-4} C/Kg \\ &= \frac{1e.s.u}{1cc(air)} \times \frac{1i.p}{4.8 \times 10^{-10} e.s.u} \\ &\quad \times \frac{34eV}{1i.p} \times \frac{1.6 \times 10^{-12} erg}{1eV} \times \frac{1cc}{1.293 \times 10^{-3} g} \\ &= 87.65 erg/g \end{aligned}$$

(1R는 공기중에서 87.65erg/g의 에너지를 전달하는 것과 同하다.)

참고) $1ip = 1.6 \times 10^{-19} C = 4.8 \times 10^{-10} esu$

■ 흡수선량(Absorbed Dose, D)

전리방사선이 조사되는 매질내의 임의의 측정지점에서 단위 질량당 방사선에 의해 흡수된 에너지이다. 흡수선량은 모든 방사선에 적용된다.

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (J/kg, Gy, rad)$$

- dm : 매질의 질량
- dE : 전리방사선에 의해 dm의 질량을 갖는 매질에 흡수된 에너지
- 1Gy = 1J/kg = 100rad
- 1rad : 어떤 물질 1g당 100erg의 에너지를 흡수하는 방사선량

○ 흡수선량과 조사선량이 다른 점

- 조사선량 : 피폭의 대상이 공기이다.
- 흡수선량 : 피폭의 대상이 임의의 물질이다.
- 흡수선량은 방사선과 물질간의 상호작용과 그 영향을 정량적으로 나타내는데 가장 중요한 수단이다.

■ 선질계수, 생물학적효과비, 방사선가중치

가. 선질계수(Quality Factor) : Q

서로 다른 전리방사선에 의한 동일한 값의 흡수선량이 생물학적 장해효과의 측면에서 서로 다르게 평가되는 것을 나타내는 값으로서 인체조직의 대부분을 차지하고 있는 물 속에서의 충돌자지능(LET) 값에 관계된다.
방사선 종류 및 에너지 종류에 따른 신체적 피해정도를 보상해 주는 계수

- $Q.F = 0.8 + 0.16LET$
- 선형에너지 전달계수 : LET
 - 특정 에너지를 가진 하전입자가 단위길이(d)당을 통과할 때 흡수물질에 전달된 평균 에너지
 - $LET = dE / dx \quad [KeV/\mu m]$

LET(keV/μm)	Q	Q.F(0.8+0.16LET)
≤ 35	1	≤ 1.36
7	2	1.92
23	5	4.48
53	10	9.28
≥ 175	20	≥ 28.8

나. 상대적 생물학적 효과비

(Relative Biological Effectiveness) : RBE

LET 값이 125 keV/μm 인 X선 선량에 대한 동일한 생물학적효과를 나타내는 여타 방사선의 비의 역수

※ 선질계수는 ICRP에서 방사선방어 목적으로만 사용하도록 권고하고 있으며
상대적생물학적효과는 의학적 및 연구용으로 사용한다.

다. 방사선 가중치 (W_R)

확률론적 영향을 일으키는데 있어서 여러 종류와 에너지의 방사선에 의한 생물학적 효과비(RBE)를 반영하기 위해 선정되어진 값이다.

1 보다 큰 방사선 가중치를 갖는 방사선에 있어서

결정론적 영향에 대한 RBE는

확률론적 영향에 대한 RBE보다 작다.

예를 들면 중성자와 같은 고 LET의 방사선에 의한 결정론적 영향을 예측하기 위해 등가선량을 사용하게 되면 가중치 값이 과대 평가된다.

방사선 및 에너지 범위 ¹⁾	W_R (ICRP-60)	Q (ICRP-26)
광자(전에너지 범위)	1	1
전자, 뮤온(전에너지 범위) ²⁾	1	1
중성자 ³⁾ : $E < 10keV$	5	—
$10keV < E < 100keV$	10	—
$100keV < E < 2MeV$	20	—
$2MeV < E < 20MeV$	10	—
$E > 20MeV$	5	—
양자(반양자 제외) : $E > 2MeV$	5	—
알파입자, 핵분열생성물, 중원자핵	20	—
중성자, 양성자 : 미지의 에너지	—	10
열중성자 : 0.025eV	—	23

<주>

1) 이 표에 제시하지 않은 방사선과 에너지에 대한 W_R 값은 ICRU의 10mm 깊이에서 유효선량인자 Q를 계산하여 구함

2) DNA 결합핵에서 방출되는 Auger 전자는 제외
(DNA에 결합된 핵으로부터 방출되는 오제전자들에 대한 등가선량을 구할 때는 등가선량의 정의에서 보논비와 같이 DNA 총질량에 대한 흡수선량을 평균하는 것은 현실성이 없기 때문에 특별한 문제가 있다. 오제전자의 영향을 미시방사선측정기술을 이용하여 평가해야 한다.)

3) 에너지의 함수로 W_R 값의 이론적 근사계산식

$$(W_R = 5 + 17 \exp[-\ln(2E)^2/6])$$

■ 등가선량

여러 종류의 방사선과 에너지로 구성된 방사선장내 인체의 총 등가선량 (H_T)은 각 방사선의 방사선가중치 (W_R)로 가중된 각 조직흡수선량 ($D_{T,R}$)의 합이다.

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (Sv, rem)$$

○ 방사선 가중치 (W_R)

확률론적 영향을 일으키는데 있어서 여러 종류와 에너지의 방사선에 의한 생물학적 효과비(RBE)를 반영하기 위해 선정되어진 값이다.

1 보다 큰 방사선 가중치를 갖는 방사선에 있어서

결정론적 영향에 대한 RBE는

확률론적 영향에 대한 RBE보다 작다.

예를 들면 중성자와 같은 고 LET의 방사선에 의한 결정론적 영향을 예측하기 위해 등가선량을 사용하게 되면 가중치 값이 과대 평가된다.

방사선 및 에너지 범위 ¹⁾	W_R (ICRP-60)	Q (ICRP-26)
광자(전에너지 범위)	1	1
전자, 뮤온(전에너지 범위) ²⁾	1	1
중성자 ³⁾ : $E < 10keV$	5	—
$10keV < E < 100keV$	10	—
$100keV < E < 2MeV$	20	—
$2MeV < E < 20MeV$	10	—
$E > 20MeV$	5	—
양자(반양자 제외) : $E > 2MeV$	5	—
알파입자, 핵분열생성물, 중원자핵	20	—
중성자, 양성자 : 미지의 에너지	—	10
열중성자 : $0.025eV$	—	23

<주>

1) 이 표에 제시하지 않은 방사선과 에너지에 대한 W_R 값은 ICRU의 10mm 깊이에서 유효선질인자 Q 를 계산하여 구함

2) DNA 결합핵에서 방출되는 Auger 전자는 제외
(DNA에 결합된 핵으로부터 방출되는 오제전자들에 대한 등가선량을 구할 때는 등가선량의 정의에서 보논비와 같이 DNA 총질량에 대한 흡수선량을 평균하는 것은 현실성이 없기 때문에 특별한 문제가 있다. 오제전자의 영향을 미시방사선측정기술을 이용하여 평가해야 한다.)

3) 에너지의 함수로 W_R 값의 이론적 근사계산식

$$(W_R = 5 + 17 \exp[-\ln(2E)^2/6])$$

■ 실효선량

같은 등가선량에 피폭되었을 경우에도

피폭조직과 장기의 방사선에 대한 감수성에 따라 여러 조직 및 장기에서 확률적 영향의 발생정도와 이로 인한 위험도는 서로 다르게 나타나는데

방사선이 균등 조사되었을 경우의 위험도를 10으로 나타냈을 때 실제로 비 균등하게 조사되는 인체의 각 장기 및 조직 T의 등가선량(H_T)에 각 장기의 전신에 대한 위험의 상대적 가중치(조직가중인자(tissue weighting factor W_T))로 보정되는 등가선량을 실효선량이라고 정의한다.

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (Sv, rem)$$

○ 실효선량은 방사선 피폭시 확률적 영향으로 나타나는 인체

의 위험을 사회에서 용인할 수 있는 수준까지 제한하는데 활용하기 위하여 도입된 개념이다.

○ 조직가중인자(W_T)

- 전신에 대한 균일한 방사선 조사로 발생하는 확률론적 영향에 의한 총 피해중 기관이나 조직의 상대적인 기여도를 나타낸다.
- 조직별 방사선 피폭에 의한 발암 위해에 근거를 두고 도출된 양

조 직 장 기	확률적 영향	W_T	
		ICRP-60	ICRP-26
생식기(gonads)	유 전 장 해	0.20	0.25
적색골수(red bone marrow)	백혈병 발생	0.12	0.12
폐(lung)	암 발 생	0.12	0.12
직장(결장)(colon)	암 발 생	0.12	-
위(stomach)	암 발 생	0.12	-
갑상선(thyroid)	암 발 생	0.05	0.03
유방(breast)	유방암발생	0.05	0.15
방광(bladder)	암 발 생	0.05	-
간(liver)	암 발 생	0.05	-
기타조직	암 발 생	0.05 ¹⁾	0.30 ²⁾
식도(oesophagus)	암 발 생	0.01	-
뼈표면(bone surface)	암 발 생	0.01	0.03

<주>

- 1) 신장계통, 뇌, 상부대장, 하부대장, 근육, 비장, 흉선, 자궁 및 기타 분류기능장기. 위의 기타장기중 하나가 최대선량 이상으로 피폭되었을 경우 동장기에는 W_T 값으로 0.05, 나머지 기타장기는 0.05를 적용
- 2) 식도, 위, 소장, 대장상부, 대장하부, 각 장기에 대하여 0.05를 적용

■ 집단(주민)선량(collective(population) dose)

방사선원에 의하여 피폭 받은 집단의 선량은 각 개인이 받은 피폭선량의 합으로 간단히 나타낼 수 있는데 이를 집단선량이라 한다.

$$S_c = \sum H_i P_i \text{ (man} \cdot \text{Sv, man} \cdot \text{rem)}$$

- H_i : 전신 또는 특정 장기/조직의 주민개인당(per caput) 선량
- P_i : 피폭인구집단중 특정집단 i 의 인구수
- i : 대개 연령별로 표현

- ① 방사선 피폭에 의하여 인구집단에게 나타날 수 있는 확률적 영향 또는 위험을 평가할 때 유용하게 활용
- ② 피폭결과가 피폭선량과 피폭자의 수와 직접 비례할 경우와

적절한 확률계수가 구해질 수 있는 경우에만 제한적으로 사용해야 함

- ③ 주로 방호의 정당화 및 최적화 판단의 수단으로서 사용하며 또한 시설운영과 판단의 지표가 되기도 함
- ④ 집단선량을 적용할 경우 아주 낮은 피폭선량으로 아주 낮은 인구집단 또는 먼 미래의 선량에 적용하는 것은 부적절 (즉 자연방사선 이하의 피폭선량을 가지고 일반공중의 집단선량을 평가하는 것은 의미가 없다)
- ⑤ 집단선량으로 안전성여부를 판단해서는 안됨 (개인선량한도를 초과하는 사람이 있더라도 집단선량을 만족한다면 그것은 안전하다고 판단할 수 없다)

참고) 집단선량의 정의와 적용시의 문제점

집단선량은 주어진 하나의 행위로 관련된 모든 사람들의 선량의 총합이며 개인선량과 단위의 구분을 위해 man-Sv 또는 person-Sv 등을 사용한다.

집단선량은 주로 방호의 정당화 또는 최적화 판단의 수단으로서 사용하며 또 시설운영성과 판단의 간단한 지표가 되기도 한다.

그러나 집단선량을 적용할 경우에는

지극히 낮은 선량을 피폭하는 대단히 많은 인구집단 또는 먼 미래의 선량에까지 적용하는 것은 적절하지 않다. 즉 자연방사선 이하의 피폭선량을 가지고 일반공중의 집단선량을 평가하는 것은 의미가 없기 때문이다.

또한 집단선량으로 안전성 여부를 판단하는 것은 집단선량의 목적에 부합되지 않는다.

이 보다는 집단선량을 구성하는 구성원 개인의 선량 분포가 중요하다.

모든 중사자의 개인선량이 2mSv 이하이면서 집단선량이 1man-Sv라면 문제가 없겠지만 만약 그 구성원 개인이 선량한도(5년간 100 mSv)를 초과하는 사람이 있더라도 집단선량을 만족한다면 그것을 안전하다고 판단하는 것은 잘못되었다는 것이다. 즉 집단선량은 만족하더라도 개인의 선량은 선량한도를 넘을 수도 있다는 것이다.

문제)

체르노빌에서 원전사고가 발생하였다. 그 후 어떤 나라에서 사고 첫 해에 0.1 mSv 피폭이 있었고 지금은 피폭이 없다. 인구 2 억인 이 나라에선 지난 15 년간 매년 평균 0.05 mSv 피폭이 있

어왔고 총 집단선량이 $1.5 \times 10^5 \text{ man-Sv}$ 이다. 이로부터 암 사망인원을 추정하는 식으로 다음을 사용하고 유추하였다.

$1.5 \times 10^5 \text{ man-Sv} \times 5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1} = 7.5 \times 10^3 \text{명} = 7500 \text{명}$ 이 계산의 합리성에 대하여 기술하라.(SRI2001)

풀이)

최초 1년간 피폭이 0.1 mSv 의 피폭이 있었고 다음 해부터는 피폭선량이 점점 줄어들어 갔을 것이고 15년간의 평균이 0.05 mSv였다는 의미이다.

방사선방호를 위해서 방사선에 의한 암사망확률의 평가에서 남녀 구분 없이 광범위한 연령을 포함할 수 있는 단일수치를 명목 치사확률계수라 하는데 그 값은 작업자 집단의 경우 8%/Sv, 일반인에 대해서는 10%/Sv를 적용한다. 여기에 DDREF의 값 2를 적용하는 데 일반공중에 대해 10%/Sv의 1/2인 5%를 적용한다. 따라서 이 추정식의 계산은 맞다고 판단된다.

그러나 매우 작은 개인선량과 대단히 많은 인구집단을 곱한 집단선량으로 위험도를 계산하는 것은 적절하지 않다. 계산은 맞지만 0.05mSv이라는 선량 자체가 평균적으로 1년에 피폭하는 자연방사선의 2% 정도되는 무의미한 것인데 무의미한 것에 매우 큰 수를 곱해 위험도를 산출하는 것도 무의미하다.

■ (등가)선량예탁(dose committment, H_c)

방사성물질의 호흡, 섭취 등 체내피폭과 관련한 방사선피폭이 장기간 계속될 때, 특정 인구집단에서 개인당 조직 또는 장기의 선량을 $H(t)$ 의 무한시간 적분 값으로 주어지는 선량이다.

$$H(t) = \int_0^{\infty} H(t) dt \text{ (Sv, rem)}$$

- $H(t)$: 어떤 판단이나 행위로 인한 특정집단의 조직이나 장기에 대한 개인당 선량당량을
(피폭이 장기간 계속될 때의 시간의 적분치의 선량당량)

- 이 양은 방사선방어 관점에서 자주 사용되지 않으며 단지 참고적인 계산 또는 평가에 이용된다.

■ 예탁(등가)선량

(committed dose equivalent, H_{50})

어떠한 경로에 의해서 체내로 들어온 방사성물질은 물리적 붕괴 과정과 인체의 신진대사과정에 의한 체외배설(땀, 대·소변 등)에 의하여 소멸될 때까지 체내의 조직 또는 장기에 방사선 피폭을 주는데, 이 경우 방사성물질의 단일 섭취로 인하여 향후 50년 동안 어떤 조직이나 장기가 피폭받게 될 총선량을 예탁선량이라 한다.

$$H_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50} H(t) dt \text{ (Sv, rem)}$$

- H_0 : 시간 t_0 에 섭취한 RI로 인하여 그후 50년간 어떤 조직이나 장기가 피폭받게 될 총등가선량
- $H(t)$: 섭취 후 시간 t 에서 그 섭취로 인한 내부피폭률
- 적분기간을 50년으로 한정하는 것은 50년을 통상의 작업수명으로 보기 때문이다.
- 예탁선량당량의 개념은 RI를 체내로 섭취하였을 경우에 그것이 물리적 붕괴 또는 신진대사에 의해 배설되어 소멸될 때까지 내부피폭량을 계산하는 것이다.

■ 예탁유효선량

(committed effective dose, $H_{E,50}$)

방사성물질의 체내섭취 후 조직 또는 장기가 받는 예탁선량에 의한 조직 또는 장기의 방사선 감수성에 따라 확률적 영향이 발생할 위험은 각각 달라지므로 조직가중치를 도입하면 각 장기의 예탁선량당량($H_{50,T}$)에 의한 전신의 예탁유효선량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{E,50} = \sum_T W_T H_{T,50} \text{ (Sv, rem)}$$

■ 모니터링을 위한 양

외부피폭관리에 있어서 유효선량당량 또는 피부선량당량과 관련되는 모니터링양은

- **방사선의 투과성에 착안하여** 2개(강투과성, 약투과성)로 구분되고
 - 강투과성의 방사선이란 **피부의 임의의 면적이 받는 선량당량이 균일한 단일방향의 장에 놓인 신체의 어떤 방향에 대한 유효선량당량의 10배 이하가 되는 방사선**을 가리킨다.
 - 약투과성 방사선이란 **피부선량당량이 유효선량당량의 10배 이상**이 되는 방사선을 가리킨다.
- **모니터링의 목적에 착안하여** 환경모니터링양과 개인모니터링양으로 구분된다.

가. 환경모니터링을 위한 양

- 1) **주변선량당량[ambient dose equivalent, $H^*(d)$]**
 강투과성의 방사선에 대하여 방사선장의 임의의 점에 있어서의 주변선량당량 $H^*(d)$ 은 정렬확장방사선장에 놓은 ICRU 구의 깊이 $d(cm)$ 에 생기는 선량당량이다.
 모니터링에는 $1cm$ 가 ICRU에서 권고되어 있고 $H^*(10)$ 으로 기술한다.

참고 ICRU 구

직경이 $30cm$ 인 구로서 원소의 중량조성이

- O : 76.2%
- C : 11.2%
- H : 10.1%
- N : 2.6%

의 조직등가물질 밀도 : $1g/cm^3$ 을 말한다.

- 2) **방향성선량당량[directional dose equivalent, $H'(d)$]**

약투과성인 방사선에 대하여 방사선장의 임의의 점에 있어서 방향성선량당량 $H'(d)$ 은 확장장에 놓인 ICRU 구의 깊이 $d(cm)$ 에 생기는 선량당량이다.
 모니터링은 $0.07mm$ 가 ICRU에서 권고되어 있고 $H'(0.07)$ 로 기술한다.

나. 개인모니터링을 위한 양

외부피폭관리에 있어서 유효선량당량 또는 피부선량당량과 관련되는 개인모니터링양은 ICRU에 의하여 투과성개인선량당량(individual dose equivalent, penetrating)과 표층개인선량당량(individual dose equivalent, superficial)

- 1) **투과성개인선량당량 : $H_p(d)$**

강투과성의 방사선에 대하여 신체상 특정점의 깊이 d 에 있는 연조직(ICRU 구의 조직등가물질과 동일)에서의 선량이며, 모니터링에서는 깊이 d 는 $10mm$ 가 ICRU에서 권고되어 있다.

- 2) **표층개인선량당량 : $H_s(d)$**

약투과성의 방사선에 대하여 신체상 특정점의 깊이 d 에 있는 연조직에서의 선량으로 모니터링을 위하여서는 $0.07mm$ 가 ICRU에서 권고되어 있다.

■ 플루언스(fluence)

방사성 동위원소에서 방출된 입자의 수 또는 입자의 에너지는 구형 공간내에서 등방형(isotropic)으로 진행한다. 이때 **구표면의 미소단면적(da)를 지나는 입자의 수(dN) 또는 입자의 에너지(dE)를 각각 입자플루언스 및 에너지플루언스라 하며 이 미소단면적을 단위시간(dt) 에 흐르는 입자의 수 또는 입자의 에너지를 각각 입자 또는 에너지플루언스율(또는 입자 또는 에너지선속밀도)이라 한다.**

○ 입자플루언스 $\Phi = \frac{dN}{da}$ 단위[#/ cm^2]

○ 입자플루언스율(입자선속밀도) $\phi = \frac{d\Phi}{dadt}$ 단위 [#/ cm^2 -sec]

○ 에너지플루언스 $\Psi = \frac{dE}{da}$ 단위[MeV/ cm^2]

○ 에너지플루언스율(에너지선속밀도) $\psi = \frac{d\Psi}{dadt}$ 단위[MeV/ cm^2 -sec]

■ 공기 커마(air kerma)

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} = \frac{dE_{tr}}{\rho A dx} = \Phi \frac{dE_{tr}/N}{\rho dx} \quad [J/kg]$$

$$= \sum E_{in} + \sum Q - \sum E_{out}$$

- dE_{tr} : 공기질량 dm 중에서 전하를 갖지 않는 방사선(X-선, 중성자선)에 의하여 생성된 에너지를 공기중으로 전달 할 수 있는 모든 하전입자의 초기 운동에너지의 합

- ρ : 공기의 밀도

- A : 방사선이 지나는 단면적

- dx : 공기의 두께

- Φ : 입사방사선의 플루언스 $= N/A$ N : 입사방사선수

- E_{in} : 단위 공기체적내로 전달된 에너지

- Q : 단위 공기체적내에서 방사선이 공기원자와 반응시 방출되는 에너지

- E_{out} : 단위 공기체적을 떠나는 방사선의 에너지

참고) 에너지가 E(MeV)인 비전하 방사선의 경우 에너지 플루언스 Ψ (MeV/ cm^2)와 공기커마 K(J/kg)와의 관계는

$$K = \Psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) = \Phi E \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right) \quad [J/kg][rad]$$

- $\frac{\mu_{tr}}{\rho}$: 질량에너지 전달계수 [cm^2/g]

- $E \frac{\mu_{tr}}{\rho}$: 커마 인자

확률적 영향과 결정적 영향

가. 확률적 영향(stochastic effect)

- ① 방사선 피폭으로 인한 영향의 발생확률이 피폭받은 선량과 함수관계를 형성하며 그 효과의 심각성은 선량에 무관한 경우를 말한다.

따라서 확률적 영향은 선량이 낮은 경우에도 어떠한 발단 선량 없이 영향발생 확률이 존재한다.

즉 방사선 피폭으로 인한 암의 발생위험은 그 선량이 저준위 일지라도 거기에 해당하는 만큼의 확률을 가지며 일단 영향이 발생하였다고 하면 선량의 크고 작음에 따라 암의 심각성이 차이가 나지 않는다.

- ② 확률적 영향에 의한 장해는 모두 **지발성 장해**라는 점과 이들 장해는 **자연적으로 발생하는 동종의 장해와 구분이 되지 않는다는 점**이다.

이러한 특성 때문에 선량-장해의 상관관계에 대한 명확한 규명이 어렵다.

특히 아직 0.1-0.2Gy 이하의 저선량피폭에 의한 발암관측 관련자료는 거의 없기 때문에 대개 고선량 준위에서의 결과를 외삽하여 저선량준위에서의 상관성을 도출한다.

- ③ 폐암, 갑상선암, 위암등 각종 암이나 백혈병 또는 유전병등이 있다.
- ④ 방사선 피폭의 확률적 영향의 위해계수(저선량의 방사선피폭에 의한 피폭후 수십년간의 나타날 확률)

피폭조직 또는 장기	장 해	위 해 계 수 ($10^{-2}/Sv$)	
		일반대중(0-99세)	작업자(20-64세)
골 수	백 혈 병	1.04	1.04
골표면	골 암	0.07	0.06
갑상선	갑상선암	0.15	0.12
유 방	유 방 암	0.35	0.29
폐	폐 암	0.80	0.64
간	간 암	0.16	0.13
위	위 암	1.00	0.80
직 장	직 장 암	1.03	0.82
식 도	식 도 암	0.24	0.19
방 광	방 광 암	0.29	0.24
난 소	난 소 암	0.15	0.12
피 부	피 부 암	0.04	0.03
기타조직	암	0.59	0.47
小 計		5.92	4.74
생식선	유전장해	1.33	0.80
총 위 해		$7.30 \times 10^{-2}/Sv$	$5.60 \times 10^{-2}/Sv$

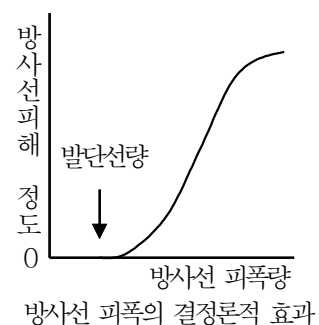
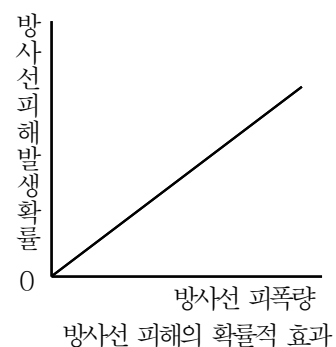
위 값은 동수의 남성 및 여성과 광범위한 연령으로 구성된 인구집단에 대한 것임.

나. 결정적 영향

- ① 효과의 심각성이 선량에 따라 변하며, 어떤 발단치가 존재하는 경우를 말한다.
- ② 결정적 영향은 어떤 발단선량 이하의 저선량 피폭으로는 야기되지 않는 것으로 믿고 있으며 발단선량은 조직에 따라 차이가 있다.
- ③ 눈의 백내장, 피부질환 및 불임등이 있다.
- ④ 각종(조직)의 발단선량

장기(조직)	영향	발단선량	수혜결여연장선량	비고
생식선	알서열불임	0.1Gy	0Gy/h	-
	영양불임	남성 35-6Gy 여성 25-6Gy	2Gy/h 0.2Gy/h	- 나쁜경우에는더더욱만감
수정체	서열불임	급성 2-10Gy	-	°저LET일경우임 °고LET일경우는발단선량의2배정도적음
	수정체변형	만성 -	>0.1Gy/h	
적색골수	조혈기능저하	0.5Gy	0.4Gy/h	급성피폭일경우골수질환에의한11.1%은높은수준의위험차이가없는상태에서3-5%이다

다. 선량과 영향의 상관성에 관한 개념도



■ 장해에 영향을 미치는 인자

① 흡수선량 : 선량이 장해발생을 지배한다.

② 흡수선량율(선량의 시간 분포)

인체피폭의 경우 손상 받은 조직의 세포가 대사작용에 의하여 회복능력이 있으므로 단시간에 받을 경우 치명적인 선량준위도 장기간에 걸쳐 나누어 받게 되면 중대한 장해를 받지 않을 수도 있다.

③ 선량의 분포

장해 발생측면에서 볼 때 선량분포가 집중될수록 악영향을 미친다. 즉 동일한 흡수선량을 특정장기가 균등 분배한 상태의 피폭보다 그 장기의 일부가 집중 피폭 받는 경우가 장해 발생 가능성이 커진다.

④ 피폭범위

인체의 전신이 피폭받는 경우가 부분적으로 피폭받는 경우보다 장해 발생확률이 높다. 즉 위험에 처한 조직의 양이 전신 피폭의 경우가 많기 때문이다.

여기서 전신이 받은 선량은 국부선량의 평균치가 아니라 전신이 국부선량과 동등한 준위의 피폭을 받은 경우이다.

⑤ 피폭조직의 방사선 감수성

방사선 감수성은 세포나 조직의 종류에 따라 다르다. 일반적으로 세포 분열중에 피폭받은 경우 그 감수성이 높으므로 세포분열 빈도가 높은 조직일수록 감수성이 크다.

인체 조직중 급성장해의 발생의 가능성이 높은 것으로는 조혈 장기, 위 및 소화기관, 생식선 및 피부를 들 수 있다.

⑥ 방사선질(방사선의 종류 및 에너지)

방사선의 종류 및 에너지 즉 방사선질이 다른 경우 흡수선량에 따른 선량당량이 달라지므로 장해발생위험이 달라진다.

⑦ 방사성핵종의 장기내 침착부위

인체의 내부피폭시 고려되는 인자이다. 방사성 핵종은 화학적 활성에 따라 장기 또는 조직에 침착하는 정도가 달라지므로 핵종에 따라 방사선 장해가 다르게 나타난다.

⑧ 인체 내에서의 반감기

방사성 핵종의 물리적 반감기와 동핵종의 인체 내에서의 생물학적 반감기의 길고 짧음에 따라 피폭이 영향을 받는다.

⑨ 핵종의 물리적 화학적 성질

섭취 또는 호흡하는 방사성핵종의 물리적 화학적 특성(입자의 화학형, 크기 및 수용성)에 따라 그것이 체내조직에 침착하는 특성 및 부위가 달라질 경우도 있다.

⑩ '⑦','⑧','⑨'는 내부피폭에 의한 인자이다.

■ 이온화 방사선과 인체세포의 반응결과 나타나는 영향(ICRP60권고)

① 변화(change)

이온화 방사선의 여기 및 이온화(전리)작용에 의하여 세포를 구성하고 있는 DNA의 구조변화가 생기나 생물학적으로 해롭지 않을 수도 있으며 세포는 회복된다.

② 손상(damage)

세포자체가 변화하여 세포수준에서 어느 정도의 해로운 변화가 나타나지만 이로 인한 영향이 반드시 나타나는 것은 아니다.

③ 장애(harm) 또는 손해

세포의 심한 손상과 장애로 피폭개인 또는 개인의 자손에서 임상학적으로 관찰이 가능한 신체장애효과 또는 유전적 장애효과가 나타난다.(결정적 영향 및 확률적 영향)

④ 위해(detriment)

장애의 확률, 장애의 심각도 및 장애의 출현시간등이 복합적으로 고려되는 영향이다. 장애영향의 발단선량이하의 범위에 서만 사용하는 개념이며 결정적 영향에는 이용하지 않는다.

방사선 방어의 목표에 대하여 기술하시오 (ICRP26 및 ICRP60)

- ① 이득을 가져오는 방사선피폭을 수반하는 행위를 부당하게 제한하지 않으면서 인체의 안전을 확보하며
- ② 전리방사선 피폭의 유해한 결정적 영향(deterministic effects)의 발생을 방지(prevent)하고
- ③ 전리 방사선 피폭의 확률적 영향을 사회에서 용인 가능한 수준까지 제한(limit) 한다.

참고) 방사선 방어의 최종목표

방사선피폭이 수반되는 행위가 선량한도이내에서 정당하게 수행된다 하더라도

동행위로부터 얻어지는 순이득이 동행위로 인하여 부득히 발생될 수 있는 개인의 방사선 위험보다 커야하며, 이 위험은 사회에서 용인 될 수 있어야 한다는 것이다.

방사선 방어의 원칙 및 체계

가. 행위에 대한 방사선 방어체계

(ICRP26의 선량제한체계)

방사선의 피폭이 새롭게 부가되거나 증가될 가능성이 있는 인간의 활동(어떤 행위로 인한 피폭의 증가를 불러올 수 있는 활동)

즉 행위(practice)에 대한 방어체계이며, 이에 대한 방사선 방어개념은 사전대응형이다.

① 행위의 정당화(justification)

방사선 피폭은 이를 수반하는 어떤 행위/작업으로 인한 손해 또는 위험보다 이로부터 얻어지는 이득이 클 경우에만 정당화 될 수 있다.

② 방어의 최적화(optimization)

정당화의 원칙과 관련하여 개인의 방사선 피폭, 피폭자의 수, 개인 및 집단의 잠재피폭가능성은 경제적, 사회적인자들을 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게(ALARA) 유지 되어야한다.

이러한 절차는 개인에 대한 선량과 관련된 제한들(선량제한)이나 잠재적 피폭의 경우에는 개인에 대한 위험도와 관련된 제한들(위험도 제한)을 이용하여 잠재적인 경제 및 사회적 판단으로부터 초래될지 모르는 불공평성을 제한해야 한다.

③ 개인선량의 한도화(dose limitation)

방사선 취급행위로부터 야기되는 개인의 피폭을 위원회에서 권고한 선량한도 이하로 제한되어야 하며 잠재적 피폭과 관련된 개인의 위험을 사회에서 용인하는 수준이하로 제한되어야 한다.

방사선피폭제한 체계를 적용함에 있어서 가장 유의해야 할 항목이 상기 두 번째 조건이다.

즉 방사선 피폭제한 관련법령이 상기 세 번째 항목에 의거 작업자에 대한 방사선 피폭제한치를 구체적으로 설정하였다 할지라도 상기 두 번째 항목에 의거 실제 작업자에 대한 방사선 피폭량은 더욱 더 엄격하게 제한되어야 한다.

예를 들어 A라고 하는 방사선 작업자의 방사선 피폭량이 연간 제한치인 5렘을 넘지 않는 4렘이라 하더라도 경제적, 사회적 여건에 의해 A의 방사선 피폭량을 3렘 이하로 줄일 수 있었다면 작업자 A에 대한 방사선 피폭제한치는 3렘이 되어야 한다는 말이다.

상기 두 번째의 개념을 ALARA라고 하는데 이는 합리적으로 성취할 수 있는 한 가장 낮은 방사선 피폭이 되어야 한다는 것을 의미한다.

여기에서 “합리적”이란 방사선 피폭량을 줄이기 위해서는 방사선 차폐, 방사선 방어장비 및 방사선 방어기술 교육등이 필요한데 이에 소요되는 경비(Cost)가 피폭량을 감소시킴으로써 얻는 이득(Benefit)보다 작아야 한다는 것([피폭저감을 위해 소요되는 경비 - 피폭저감으로 얻는 이득] < 0)이다. 이와 같은 분석평가를 비용-이득분석이라 하는데 이러한 분석결과 가능한 한 낮은 방사선 피폭량을 제한치로 취하라는 개념이다.

행위에 대한 방사선 방어 체계에 대한 ICRP 60은 ICRP 26과 큰 차이가 없지만 행위의 정당화와 방어의 최적화를 판단할 경우에는 방사선 방어요인과 직접 관계되는 선택 범위 내에서 선택하는 단계와 사회적 또는 정책적 요인이 크게 관계되는 의사 결정단계로 나누어 방사선 방어면에서는 먼저 단계만을 다룰 것을 명확히 한 점이 다르다.

ALARA개념을 실제 방사선 작업에 적용하는데는 많은 가변적 요소가 있다.

특히 피폭량 감소로 인한 이득을 정량분석하기는 쉬운 일이 아니다. 방사선 피폭이 작업자의 건강 또는 인류의 보건에 미치는 영향을 경제적, 사회적 가치로 환산하는 기준 설정이 경우에 따라 크게 달라질 수 있기 때문이다.

나. 개입에 대한 방사선 방어체계(ICRP60)

방사선 방어계획을 수립할 때 이미 피폭의 경로(선원-환경-사람)가 존재할 경우에는 **개입**, 즉 **피폭을 전체적으로 감소시키는 인간의 활동**에 의하여 방사선 방어가 이루어진다. **개입의 구체적인 조치는 사고시의 실내대피, 파난 또는 라돈농도가 높은 건물에 대한 대책등**이 있으며 개념상 **사후대응형**이다.

① 개입의 정당화

개입의 도입은 손해(harm)보다는 이익이 커야한다. 즉 선량의 감소에 의한 위해(detriment)의 감소가 손해 및 개입의 사회적 비용을 정당화 할 수 있을 정도로 충분해야한다.

② 개입의 최적화

개입의 형태, 규모 및 기간은 방사선 위해의 감소에 의한 **이익**에서 개입으로 인한 **위해**를 뺀 **선량감소의 순이익을 최대화 하도록 최적화**되어야 한다.

③ 개입의 경우는 선량한도를 적용하지 않는다.

선량한도를 개입에 관한 결정의 근거로 사용하는 것은 얻어진 이익과 전혀 균형이 맞지 않고 정당화의 원리에도 상치될지 모르는 수단들을 포함할 수 있다. 따라서 ICRP는 개입의 필요성과 그 범위에 대한 결정을 위해 선량한도를 적용하지 말도록 권고하고 있다.

개입에 선량한도를 권고하지 않은 이유

대부분의 상황에서 개입은 선원에 대해 적용할 수 없고 개인의 행동의 자유와 환경에 대하여 적용하여야 한다. 항상 몇 가지의 단점을 안고 있는 개입계획의 대책은 손해보다 이익이 발생하여야 한다는 관점에서 정당화되어야 한다. 선량한도를 개입에 관한 결정의 근거로 사용하는 것은 얻어진 이득과 전혀 균형이 맞지 않고 정당화의 원리에도 위배될 수 있는 수단을 포함하고 있기 때문이다.

선 량 제 약 치

선량제약치는 선량한도와 같이 개인의 선량에 대한 기준치이지만 하나의 행위·선원에만 착안한다는 점이 다르다.

선량제약치는 착안하고 있는 하나의 선원에 대한 적당한 방사선방호방책을 검토하는 경우에 그 선원으로 부터 방사선을 받는 개인의 선량이 부당하게 높게 되지 않도록 하기 위하여 설정된 상한치이다.

즉, 선량제약치는 “선원에 관련된 개인의 피폭제한치”이고 선원관리와 개인관리의 다리역할을 하는 것이다.

○ 피폭의 관리와 피폭방사선방호의 체계

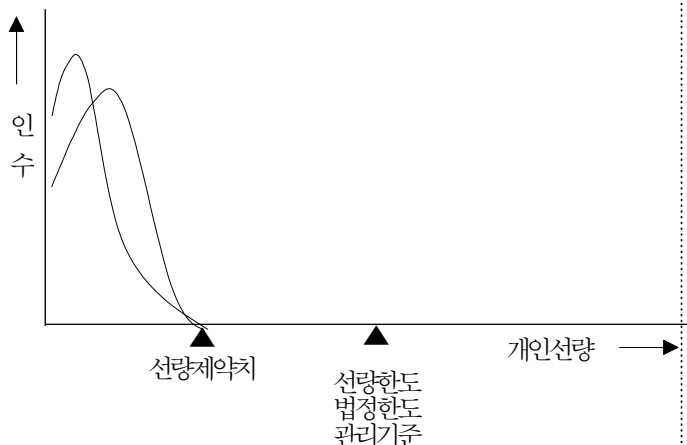
선원에 주목한 방호	행위의 정당화 방호의 최적화 선량제약치
개인에 주목한 방호	개인의 선량제한

가. 선량제약치와 방호의 최적화와의 관계

“방호의 최적화”란 어떤 특정의 선원·행위로부터 피폭되는 사람들의 선량, 피폭되는 사람 수 및 피폭의 가능성(잠재피폭) 등을 경제적, 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 하도록 방호방책을 선택하는 것이다.

“선량제약치”란 방호의 최적화를 판단할 때 개인선량의 상한치이다.

따라서 방호의 최적화를 판단할 때에는 개인의 선량이 아래 그림에서 제시하는 바와 같이 선량제약치를 넘지 않도록 0에서부터 선량제약치 사이에 분포하도록 계획되어야 한다.



<그림> 방호의 최적화시 개인선량의 분포
(선량한도와 선량제약치가 같은 경우도 있음)

나. 선량제약치와 선량한도와와의 관계

“선량한도”는 개인 즉 직업인 및 공중(임계그룹)에 대하여 설정된 피폭의 상한치이며,

제어되고 있는 모든 행위 또는 선원으로부터 개인이 실제로 받는 선량의 합계에 대하여 적용되는 기준치이다. 이에 대하여

“선량제약치”는 하나의 선원에 착안하여 최적화의 판단을 할 때에는 이용되는 개인의 상한치이다.

따라서 한사람의 작업자가 복수의 작중에 종사할 가능성이 있는 경우나 공중의 개인(임계그룹)이 복수의 행위 또는 선원으로부터 피폭될 가능성이 있는 경우에는 개인의 선량한도 값을 직중 또는 행위(선원)에 대하여 적절하게 할당할 필요가 있다.

이런 이유로 선량제약치가 개인의 선량한도를 넘는 것은 있을 수 없고 선량한도와 같은 값 또는 낮은 값이 된다.

다. 피폭구분과 선량제약치

1) 직업상피폭에 대한 선량제약치

직업상피폭에 대한 선량제약치는 직종(occupation)마다 설정된다.

- ① 원자로의 운전
- ② 원자로의 보수
- ③ X선 진단 등

2) 의료상피폭에 대한 선량제약치

개개의 환자에 대한 방사선진료의 정당화 및 최적화의 판단은 환자의 특징을 고려하여 개개의 사례마다 이루어진다. 따라서 환자의 피폭선량에 대하여 확실적인 기준을 제시하는 것은 필요한 의료행위를 제한하는 것이 되므로 선량한도는 제시하지 않는다. 그러나 1990년 권고에서는 일상적으로 이루어지고 있는 전형적인 진료행위 및 의학·생물연구에 대하여는 전문가 집단 또는 규제당국이 선량제약치를 설정할 필요성을 시사하고 있다.

- ① 진료의 과정에서 환자 또는 피검자로서의 방사선피폭
- ② 환자의 보호시의 피폭
- ③ 의학연구를 위한 자원자로서의 피폭

3) 공중피폭에 대한 선량제약치

공중의 방사선방호에 대하여는 선원관리가 특히 중요하게 된다. 따라서 선량제약치가 방사선방호상 매우 중요하다.

잠재적 피폭(Potential Exposure)

모든 피폭은 예상대로 일어나지는 않는다. **계획된 운전과정으로** 부터의 **우발적인 이탈**이 발생하거나 **장비가 고장날 수도** 있고 **방사성폐기물의 처분**이후에 **환경의 변화**가 일어나거나 혹은 **이용되는 방식에 변화**가 일어날 수 있다. 그러한 사건들은 예상할 수 없으며, 그 발생확률은 예측할 수 있지만 상세하게 예측하는 것이 불가능한 피폭을 **잠재적 피폭**이라 한다. 사고 등이 실제로 일어난 경우에는 잠재피폭은 이미 아니며 **개입조치에 의하여 피폭이 제어**되게 된다.

가. 리스크제약치가 필요로 되는 상황

신규 또는 계속된 행위에 대한 방호의 최적화 판단을 하는 경우에 그 행위에 수반하는 잠재피폭도 고려해야 한다. **잠재피폭에 대한 개인의 제한조건은 선량제약치가 아닌 리스크제약치가 적용**된다. 리스크제약치는 피폭의 가능성과 피폭에 의하여 일어나는 영향의 정도를 고려하여 결정되지만 구체적인 적용에 대하여는 다시 검토가 필요하게 된다.

나. 리스크제약치

선량제약치에 대하여는 과거의 방사선방호실적을 근거로 하여 구체적인 수치를 행정기관 또는 전문가집단의 조직 등에서 **설정**할 것을 **권고**하고 있다. 그러나 리스크제약치의 구체적인 수치의 선택은 어렵다. 잠재피폭의 리스크 그 자체가 확률적인 확률사상으로서 구해지는 것이 아니기 때문이다. 1990년 권고에서는 리스크한도, 리스크제약치의 구체적인 수치는 열거되어 있다.

다. 잠재피폭에 대한 리스크한도

잠재피폭에 대한 **개인 암사망확률**은

피폭을 유발하는 사상의 발생확률과 그 선량이 유발하는 생애암사망확률과의 곱으로 나타낸다.

잠재피폭 리스크한도의 설정은

선량한도의 설정과 똑같이 유추하여 결정될 수 있지만 양자의 성격이 다른 것에 주의할 필요가 있다. 잠재피폭을 유발하는 사상의 발생확률은 통상 통계에 의하여 구할 수 없고, **확률적 안전성평가의 방법**에 의하여 구한다. 이와 같은 이유 때문에 ICRP는 잠재피폭의 리스크한도를 권고하는데는 이르지 않았다.

라. 잠재피폭에 대한 방사선방호의 체계

ICRP Pub. 26의 단계에서는 선원에서 실제적 피폭(actual exposure)을 대상으로 하여 방사선방호를 생각하여 왔으며, 피폭이 실제로 일어날까 어떤가를 모르는 잠재피폭은 방사선

방호의 대상으로 하지 않는다. 그러나 원자로사고, 방사성폐기물의 처분이 현실적으로 문제가 된 것 등을 계기로 방사선방호방책을 생각하는 경우에 잠재피폭이 대상으로 하게 되었다. 잠재피폭에 대한 ICRP의 개념은 Pub. 46 “방사성고체폐기물 처분에 관한 방사선방호의 제원칙”에 제시되어 있다. 신규 또는 계속된 행위에 대한 “행위의 정당화”, “방호의 최적화”, “개인선량의 제한”의 판단을 하는 경우에는 잠재피폭에 대해서도 고려하지 않으면 안된다.

마. 잠재피폭이 현실로 발생되면 개입은 반드시 실시된다. 이때 개입의 2가지 목적은 무엇인가?

개입의 목적에는 방지(Prevention)와 완화(Mitigation)가 있다.

- ① **방지는 방사선피폭을 유발하거나 증가시킬지 모를 연속사건의 발생확률을 감소**시키는 것이며
- ② **완화는 사고발생시 피폭을 제한하고 감소**시키는 것이다.

참고) 리스크 (Risk)

ICRP는 이전에 유해한 영향의 발생확률을 리스크라 불러 왔다. 그러나 1990년 권고에서는 장량적인 의미에서의 “리스크”는 잠재피폭의 경우 피폭확률과 그 피폭에 따르는 영향파를 고려한 것이고 이외의 경우에는 리스크를 양적인 개념으로서 이용하는 것을 피하고 “리스크추정치”, “초과상대리스크” 등의 관용적인 용어로서만 사용하는 것으로 하고 있다.

ICRP26와 ICRP60의 차이점

① 방사선 방어의 기본체계

- ICRP 26 : 선량 제한 체계(system of dose limitation)

단지 선원의 제어 가능성에만 초점을 맞추었기 때문에 실제적인 편익이 있는 행위에 대해서만 선량제한체계를 권고

- ICRP 60 : 방사선 방어 체계(system of radiological protection)

선원의 제어가능성과 방사선 피폭의 제어 가능성에 초점을 맞추어 방사선방어체계 구축

② ICRP60은 최적화의 제한조건으로 개인의 선량제한치를 도입

③ ICRP60은 기술발전에 따라 높아진 자연방사선과 사고시피폭 등에 대해서도 방사선 방어의 체계를 수립

④ ICRP60은 방사선 유발암에 대한 역학조사결과를 근거로 조작가중인자의 값을 변경, 조작가중인자에는 비치사성 암에 대한 손해(detriment)도 고려

⑤ ICRP60은 방사선 손해의 용인수준에 근거하여 선량한도의 값을 설정

⑥ ICRP60은 ICRP26보다 대량 미제어 피폭선원(uncontrolled source of exposure) 및 잠재피폭의 경우까지 확대하여 고려

- 미제어 피폭 선원

대규모 시설의 사고, 실내의 라돈 등에 의한 피폭, 라돈의 딸핵종에 의한 실내 피폭에 수반되는 폐암의 Risk에 대하여도 고려

- 잠재피폭

대규모 사고의 가능성 또는 방사성폐기물처분에 관계되는 피폭의 가능성에 대해서도 방사선방호계획의 입안시에 고려한다

⑦ ICRP60은 방사선 방어실무를 위한 참고준위(작업구역의 구분, 작업조건의 분류 및 조사준위등)의 수치를 구체적으로 제시하지 않았다.

⑧ 주요 개념에 대한 용어상의 차이점

개 념	용 어	
	ICRP 60	ICRP 26
선량환계	등가선량(equivalent dose)	선량당량
	실효선량(effective dose)	실효선량당량
	방사선 가중 계수 W_R (RBE를 고려)	선질계수 Q
	조직 가중 계수 W_T (Detriment 고려)	조직가중계수 W_T

개 념	용 어	
	ICRP 60	ICRP 26
영향관계	결정적 영향	비확률적 영향
	확률계수(Probability Coefficient)	위험계수
	Detriment (비치사성 포함)	Detriment
방사선 방어체계	방사선 방어 체계	선량제한체계
	행위와 개입	-
	잠재 피폭	-
	선량제한치	-
	선량한도의 설정근거 (Detriment에서)	-
	규제 면제	-
	여성직업자의 선량한도까지	여성직업자의 선량한도
방사선 실무관리	임신부의 선량한도	-
	작업장소의 구분(수치없음)	-
	작업조건구분(수치없음)	작업 조건 A, B

방사선방호의 기본적 틀을 이해하기 위한 기본 개념

1) 선원-환경-사람

방사선방호를 계획, 입안하여 실행할 때에는 선원을 기점으로 한 환경의 경로, 사람이라는 일련의 피폭 네트워크를 생각하고 있다.

2) 선원중심평가와 개인중심평가

방사선방호는 피폭을 가져오는 하나의 **특정한 행위나 선원에 착안**하여 행해지는 것과, 피폭이 되는 **개인에 착안**하여 행해지는 것이 있다.

구 분	선원중심의 평가	개인중심의 평가
특 징	하나의 선원에 판단	한사람의 개인에 착안 (공중의 경우 임계그룹)
산정에 필요한 상황	행위의 정당화 판단	선량한도가 담보되어 있는 시설의 확인
관련되는 양	집단선량 평균선량 일인당 선량 선량당량 예측	개인의 선량
관련되는 기준	선량제약치	선량한도

3) 직업상피폭, 의료상피폭, 공중피폭

가) 직업상피폭

사업자의 책임이라고 합리적으로 볼 수 있는 상황하에서 행해지는 작업시의 피폭이 직업상피폭으로 다음과 같이 대별된다.

- ① 규제당국에 의하여 **라돈에 주의하도록 정해진 장소**에서의 작업
- ② **자연방사선물질을 유의한 양을 포함하고 있는 물질로 규제 당국에 의하여 특별히 정해진 물질의 취급 및 저장**
- ③ **제트항공기의 승무원**(동승원에 대하여도 주의를 기울여야 한다)
- ④ **우주비행**(지극히 특수한 경우로 1990년 권고에서는 구체적으로 취급하지 않았다)

나) 의료상피폭

치료 또는 의학적 연구 등의 과정에서 받는 방사선으로 다음과 같이 대별된다.

- ① 진단 치료
- ② 의학연구(자원자)
- ③ 환자의 보호, 간병

다) 공중피폭

상기 가) 및 나) 이외의 피폭은 공중피폭이다. 자연방사선에 의한 피폭을 방호의 대상으로 하는 것은 정당화되지 않는다. 그러나 공중피폭의 관점에서 방호의 대상이 되는 것은 인공방사선원 및 TENR에서의 피폭이다.

주) TENR(Technologically Enhanced Natural Radiation)
인간의 기술개발 활동 등에 의하여 수준이 높아진 자연방사선 제트기승무원 우주비행 등

ICRP권고의 주요 방사선 방호 기준 변화

권고년	작 업 자	일반대중	의료 피 폭
ICRP-1 ('58)	방사선 작업자의 MPAD D=5(N-18)rem MPD : 3 rem/13w 기타 작업자의 MPD : 15 rem/w 임산가능 여성 작업자의 피폭 제한 권고('59)	MPD : 0.5rem/y	생식선의 피폭 선량을 의료상 요구와 양립하는 최소값으로 유지
ICRP-6 ('62)	上 同	上 同	上 同
ICRP-9 ('65)	MPD : 5rem/y	선량한도 작업자의 1/10	의료상 이익과 양립하는 최소 선량으로 제한
ICRP-26 ('77)	선량당량한도 : 50 mSv/y	5 mSv/y	행위의 정당화 방호의 최적화
ICRP-60 ('90)	선량한도 20mSv/y	1 mSv/y	행위의 정당화 방호의 최적화

구분	ICRP9	ICRP26	ICRP60
기본 원칙	방사선방호 목적은 급성효과를 방지하고 만성효과 위험을 용인할 수 있는 수준까지 제한 하는 데 있다	방사선으로 생길 수 있는 유해한 비확률적 효과의 발생을 방지 하고 확률적 효과의 발생 확률을 용인된 수준 이하로 제한 하는 것	피폭을 가져오는 방사선원을 수반하는 행위를 부당하게 제한 하는 알지 않기 안전을 확고하고 개인의 결정 영향 을 방지하고 확률적 영향의 발생을 감소 시킬 것
선량 한도 설정 배경	기본원칙을 근거로 한 최저용량선량제정 (장해의 용인선량)	타 산업의 차질과 비교를 근거로 하여 선량한도를 설정 하였다	위험의 사회적 용인 수준에 근거하여 선량한도를 설정하였다
CN CPT	Critical Risk Concept (결정장기 개념)	Total Risk Concept (차량론)	Total Risk Concept (차량론비차량론)
선량 한도 명칭	최저용량선량	선량량량 실현선량당량	등가선량 실현선량

선 량 한 도

가. 선량한도의 역할

- ① 선량한도는 행위에 대한 방사선방호체계의 3가지 요소중 하나로써의 역할을 담당하고 있다.
- ② 선량한도는 행위가 규제되어 있는 상황에만 적용되는 것이다.
- ③ 개별의 선원으로부터의 피폭에 적용하는 것이 아닌 개인의 누적선량을 제한하기 위한 것이며, 시설의 설계나 작업에 관한 제한의 역할도 하고 있다.
- ④ ICRP 60 권고에서는 선량한도보다도 실무적으로 선량제 약치를 중시하고 있다.

선량한도는 경제적, 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮은 선량준위를 유지하는데 목표를 둔 방어체계의 일부에 불과하다.

따라서 그 자체가 목표라고는 볼 수 없다. ICRP 견해로는 선량 한도가 규칙적이고 광범위하여 계획적인 직업상 피폭에 단지 견 달만 하다고 여겨질 수 있는 상태를 말한다.

나. 연간선량한도

구 분	작 업 자		일반대중	
	ICRP-26	ICRP-60	ICRP-26	ICRP-60
○ 확률적영향 유효선량당량(E)	50	20 ⁰	5	1
○ 결정적영향 조직등가선량(H _T)				
- 눈의 수정체 ⁰	150	150	50	15
- 단일 장기 또는 조직 ⁰	500	-	50	-
- 피부 ⁰	-	500	-	50
- 손 발	-	500	-	50

- 1) 조건부로 연간 50mSv까지 허용되나 연속된 5년간의 평균 선량이 20mSv를 넘을 수 없음
(단서이유 : 선량한도를 평생선량 1Sv 만을 설정하는 경우 단 기간내에 한도치에 가까운 피폭을 해도 허용될 수 있다는 오 해의 가능성을 배제하기 위해서이다)

2) 방사선이 눈에 피폭되었을 경우

관심이 있는 비확률적 효과는 수정체 혼탁이다. 수정체 혼탁 을 유발할 수 있는 민감한 세포는 수정체 전방 상피로부터 약 3mm의 깊이에 있다. 따라서 피부 선량당량은 70μm의 깊이 에서, 또 눈의 선량당량은 3mm의 깊이에서 평가할 것을 권고 하고 있다.

- 3) 유효선량만으로 장기/조직에 대한 결정적 영향을 방지할 수 있다고 판단하였기 때문에 ICRP 60에서는 권고하지 않음

4) 피부의 경우

그 두께는 신체의 어느 부위이나에 따라 크게 좌우된다. 대 체로 인체의 피부는 외부가 사멸된 세포층(Dead Skin Layer) 으로 덮여있어 보호를 받고 있는데, 사멸된 세포층의 두께는 보통 50~100μm정도이며 방사선 피폭으로 인한 선량당량 평가에 적당한 평균 두께는 약 70μm로 알려져 있다. 눈의 수정체와 피부에 대해서는 등가선량을 권고한 것은 유효선 량만으로 결정적 영향을 방지할 수 없다고 보았기 때문이다.

다. ICRP의 선량한도의 기본 개념

- ① 확률적 영향을 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하 며 비확률적 영향을 예방
- ② 결정적 영향의 방지는 선량당량한도를 충분히 낮게 설정하여 생애에 걸친 또는 전 취업기간에 걸친 피폭의 결정적 효과 의 발단선량에 미달하도록 함으로서 달성
- ③ 확률적 영향의 제한은 정당화와 최적화의 과정을 거침으 로서 ALARA를 지향하고 선량한도를 초과하지 않도록 함 으로서 달성
- ④ 확률적 영향에 관한 한도는 과거에는 결정장기(조직)의 개념에 의거하였으나, 이제 피폭받는 조직의 위험도의 총 합 의 개념에 의해 설정한다.
- ⑤ 선량당량한도는 1년간의 체외피폭에 의한 등가선량의 값을 적용
- ⑥ 선량당량한도에는 정상적인 자연 방사선에 의한 피폭이나 의료상의 피폭은 계산하지 않는다.
- ⑦ 선량당량한도는 제어가 가능한 피폭에 대하여 적용하며 사고의 경우와 같이 제어가 불가능한 경우의 피폭은 별도 로 다룬다.

라. 선량한도를 결정하기 위한 양적인 기초

1) 확률적 영향의 선량한도

결정적 영향에 대하여는 그 발생을 방지하기 위하여 발단치를 넘지 않도록 선량한도를 설정함으로써 방사선방호의 목표가 달 성된다. 따라서 생물학적 지식만에 의하여 한도의 설정을 논의 할 수 있으나, 확률적 영향은 발단치가 없는 선량반응관계를 방사선방호상의 전제로 하고 있기 때문에 한도의 설정에는 사 회적인 판단이 요구된다.

2) 선량한도 변경의 배경

1977년 권고부터 1990년 권고까지 사이에 선량한도의 검토에 영향을 주게된 다음과 같은 과학적인 활동이 있다.

- ① 히로시마, 나가사키의 원폭피폭선량재평가에 의하여 원 폭피폭데이터의 암사명확률의 수정이 있다.
(UNSCEAR 1988, BEIR-V 등)

- ② 리스크용인성에 대하여 사회적인 조사가 진행되고 리스크용인성이나 해의 지표에 관한 분석이 이루어 졌다.(ICRP Pub. 45 Risk Assessment by the Royal Society 등)

3) 공중피폭의 선량한도

ICRP는 선량제약치를 설정하기 위한 제한치의 역할을 하는 것으로 공중피폭의 선량한도를 권고하고 있다. ICRP는 라돈피폭을 제외한 자연방사선 피폭의 평균유효선량이 약 $1mSv/y$ 인 것을 고려하여 유효선량 $1mSv/y$ 를 공중피폭의 선량한도로서 권고하였다.

선량한도의 설정에는 다음의 두 가지 방법이 있다.

- ① 직업상피폭과 똑같이 리스크의 용인성으로부터 결정하는 방법
- ② 자연방사선 피폭의 변동에 근거하여 결정하는 방법

ICRP26에서 권고하고 있는 선량당량, 유효선량당량과 ICRP60에서 권고하고 있는 등가선량, 유효선량의 차이점은

ICRP26에서 권고하고 있는 선량당량, 유효선량당량과 ICRP60에서 권고하고 있는 등가선량, 유효선량은 별다른 개념상의 차이는 없다.

다만 선량한도와 관련하여 주요한 차이점은 최신역학조사정보를 도입하여 조직가중치를 변경하였으며, 선질계수를 방사선가중치로 그 명칭을 변경하고 방사선가중치 수치를 변경하였다. 그 결과 연간선량한도를 $20 mSv/년$ 으로 낮추어졌다.

ICRP-26은 종사자에 대한 연간선량한도를 설정한 배경에 대하여 기술하시오.

방사선 작업으로 야기되는 위험준위의 허용 가능성 여부를 판단하는 방법이 여러 가지 있을 수 있겠으나, 가장 보편 타당한 방법으로서

- 방사선 작업으로 발생 가능한 위험의 크기와
- 일반 산업분야에 종사하는 종사자의 산업재해로 인한 위험의 크기를

비교해 보는 비교법을 들 수 있겠다.

이를 위해 먼저 일반 산업분야중 고도의 안전표준을 갖춘 직종의 직업상 재해로 인한 연평균 사망률을 조사한 문헌을 보면 직업상 손상으로 인한 연평균 사망률이 약 10^{-4} 정도인 것으로 나타났다. 개인의 작업종류, 작업일수, 작업환경 및 개인의 나이나 건강상태에 따라 개개인의 사망률은 평균치 주변에 일정하게 분포하게 된다.

방사선 피폭으로 인한 확률적 효과의 총 위험계수는

1. $65 \times 10^{-4}/\text{rem}$ 이다. 따라서 방사선 작업자에 대해 방사선 피폭으로 인한 평균 위험계수가 고도의 안전표준을 갖춘 직종의 산업재해로 인한 연평균 사망률과 같은 수준으로 하기 위해서는 방사선 작업자에 대한 연간 평균 피폭량을 다음과 같이 정하면 된다.

$$\frac{10^{-4}/\text{년}}{1.65 \times 10^{-4}/\text{렘}} = 0.606 \text{렘/년}$$

즉 방사선 작업자들의 연평균 방사선 피폭량이 0.6rem 정도이면 방사선 피폭으로 인한 확률적 효과 발생위험이 안전한 산업직장에서 매년 산업재해로 인한 사망자의 평균 발생 가능성보다 적다는 결론이다.

방사선 작업자들의 방사선 피폭량 분포에 대한 통계치를 살펴보면 거의 모두가 대수 정규분포(Log-Normal Distribution)를 가지며 그 평균치는 제한치의 1/10정도인 것으로 알려지고 있다. 따라서 방사선 작업자들의 연평균 방사선 피폭량을 0.6rem 정도의 수준으로 유지하기 위해서는 방사선 피폭 제한치를 연 6rem으로 설정하면 된다. ICRP는 이 값을 약간 보수적으로 하여 연간 방사선 피폭 제한치 5rem을 권고하고 있다.

방사선방어의 한도 및 유도방법

가. 방사선방어의 한도

① 기본한도(1차한도) : 선량한도

② 2차한도

기본한도를 적용함에 있어서 용이하도록 도출된 한도

- 내부피폭방어를 위한 **연간섭취한도(ALI)**,
- 공기중 및 수중의 **최대허용농도(MPC)**
- 외부피폭관리를 위한 **개인선량한도(H_d)**
- **선량당량자수**

③ 유도한도(derived limit)

방사선 방어 실무에 편리하도록 **1차한도 또는 2차한도로 부터 유도된 한도**

- **유도공기중 농도(DAC)**
- **표면오염한도**
- **선량율한도**
- **유도방출농도** 등이 있다.

④ 인정한도(authorized limit)

정부, 감독관청 또는 규제기관에 의하여 상위한도량의 범위 내에서 자체적으로 재설정되는 한도

우리나라에서는 현행법령에 **기본한도, 보조한도, 유도한도**의 대부분이 법적 인정한도로 적용되고 있다.

⑤ 운영한도(operational limit)

시설 운영의 원활한 방사선 관리와 정부, 규제당국에서 정한 인정한도를 준수할 목적으로 시설운영자가 동 한도이하로 재설정하는 실무의 한도

- 방사선안전관리 관련 규정

나. 유도 방법

1) 연간섭취한도(ALI : Annual Limit of Intake)

가) 정의

방사성핵종의 섭취에 의한 인체의 실효예탁선량(H_{E,50})이 연간한도인 50mSv를, 단일조직에 대한 조직등가선량(H_T)이 연간한도인 500mSv를 초과하지 않도록 제한되는 방사성핵종의 연간섭취한도량 (Bq/y)

나) 개념적인 유도방식

- ① 방사성핵종의 체 내에서의 대사 및 평형상태, 조직내의 분포 등에 대한 자료를 확인
- ② 결정적 영향에 대한 인체조직의 선량한도량 (500mSv)와 조직의 50년 예탁선량(H_{ET})으로 부터 결정적영향에 대한 섭취한도 ALI_D를 결정

$$ALI_D = \frac{500 [mSv]}{(H_{50,T})_{MAX} [Sv/Bq]} [Bq]$$

- (H_{50,T})_{max} : 단위량(Bq)의 방사성핵종의 섭취후 피폭되는 여러조직 또는 장기T 중 최대 피폭되는 조직의 50년 예탁등가선량

③ 확률적 영향에 개인 실효선량한도량(50mSv)과 인체의 50년 예탁실효선량(H_{ET})으로 부터 확률적 영향에 대한 연간섭취한도 ALI_S를 결정

$$ALI_S = \frac{50 [mSv]}{H_{50,T} [Sv/Bq]} [Bq]$$

또는

$$H_{E,50} = \sum_T \cdot W_T \cdot H_{50,T}$$

④ ALI_S와 ALI_D값중 낮은 값을 선택하면 이 값이 동핵종의 ALI로 결정

2) 유도공기중농도(DAC : Derived Air Concentration)

공기중 방사성 오염이 상존하는 곳에서는 오염공기의 호흡 섭취로 인한 체내피폭의 가능성이 높기 때문에 선량한도나 ALI만으로는 방사선 안전관리를 수행하는 것이 곤란하다. 따라서 이러한 문제점을 해소하기 위하여 ALI값을 만족하는 유도공기중농도(DAC)를 설정함으로써 오염공기에 의한 인체의 피폭을 제한
작업자의 연간 정상작업시간을 2000시간/년(40시간/주×50주/년)

$$DAC_i = \frac{ALI_i [Bq]}{2000 [h] \times B [m^3/h]} [Bq/m^3]$$

- B : 시간당 호흡량 [m³/h] (보통 정상작업중의 표준호흡량은 12 m³/h)

- DAC : IDAC로 오염된 공기중에서 연속 체류하면 연간섭취량이 ALI에 이르는 양

3) 표면 오염도

방사성 표면오염도는 방사선 방어의 한도라기 보다는 **방사선 관리목적상의 한도**를 이 한도이하로 유지되면 ALI, DAC가 관련한도를 넘지 않을 것으로 고려된다.

참고) 국내 관계법령에 규정된 허용표면오염도

허용표면오염도는 그 오염을 제거할 수 있는 경우로서 다음과 같다.

- α선 방출체 : 4 kBq/m² (2400 dpm/100cm²)
- α선외 방출체 : 40 kBq/m² (24000 dpm/100cm²)

다. 방사선 방어의 참고준위(Reference Level)

참고준위는 한도량은 아니나 방사선 방어 활동에서 어떤 양이 일정한 준위를 초과하느냐 않느냐를 감시하여 초과하는 경우에는 그 준위에 따라 사전에 계획된 일정한 절차를 취하기 위하여 설정하는 기준이다. 취하는 절차의 정도에 따라 기록준위, 조사준위, 개재준위로 구분한다.

① 기록준위(recording level)

방사선 관리를 수행하는데 있어서 발생하는 감시 결과중에서 그 값이 충분히 낮은 준위여서 기록을 남길 가치가 없는 경우에는 어떤 일정한 값을 설정하고 그 설정치를 초과한 경우에만 기록한다. 이러한 목적으로 설정되는 준위가 기록준위이다.

- 기록준위 보다 낮은 값은 “기록준위 이하”라는 말로 대신한다

② 조사준위(investigation level)

감시결과가 그 값을 초과하였을 경우에는 그 원인의 규명등 필요한 조사를 할 충분한 이유가 있다고 판단되는 정도의 준위에 설정한다.

조사준위의 설정근거로 삼는 것은 주로 정상준위이다.

③ 개재준위(간섭, 개입준위:intervention level)

개재준위는 일반적으로는 도달하지 않을 것으로 판단되는 비교적 높은 준위에 설정한다.

즉 개재준위에의 도달은 시설이나 행위가 비정상적임을 시사하는 것이 된다. 개재준위는 대개 기본한도치에 상응하는 값이 된다.

감시결과가 동준위를 초과하였을 경우에는 어떤 복구작업이 고려되어야 함

기 타

저선량·저선량율에 대한 인체에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직도 이들 보고를 채택하지 않고 있는 데 이를 채택하지 않는 이유를 써라.

ICRP 는 아래와 같은 이유로 방사선방어의 원칙 및 실무에 고려하지 않고 있다.

- ① 실험결과가 연구자마다 다르고 **객관적 입증이 안되고 있다.**
- ② 표본의 크기가 작고 **통계적인 검증력에 문제가 있다.**
- ③ 적절한 통제방법의 부재와 실험결과가 **하등동물실험에 한정되어 있다.**
- ④ 방사선방어에 문제가 되고 있는 암, 유전적 영향 이외의 생물학적 현상에 주목하여 이루어진 것으로 **인체에 대한 입증자료가 거의 없다.**
- ⑤ 방사선외의 다른 **외부요인**이 내재할 가능성을 배제할 수 없다.

ICRP 에서는 임신후 첫 3주간에 발생한 배 (Embryo)에 대한 피폭은 출생아에게서 결정적 및 확률적 영향이 발생하지 않을 것이라고 판단하였다. 따라서 임신후 3주부터 임신말기까지에 걸쳐 받은 방사선피폭에 의해 영향이 발생한다고 보고 히로시마 & 나가사키에서 8-15 주의 태아기에 피폭을 받은 적 있는 어린이를 조사해 본 결과 지능저하와 지능발달지연이 관찰되었다. 이 영향이 확률적 영향인지 결정론적 영향인지를 판단하고 그 이유를 쓰시오.

결정적 영향이다. 왜냐하면 0.1 Sv 정도의 선량에서는 지능의 일반적인 분포에 있어 아무런 영향이 관찰될 수 없었으나 좀 더 큰 선량에서는 지능저하나 심각한 지능발달지연이 관찰되었기 때문이다. 이는 임상적으로 인지될 수 있는 지능의 최소치를 결정할 수 있는 문턱값이 존재하기 때문으로 보인다.

잠재피폭을 다룰 경우를 제외하고 개인에 대한 위해의 지시치로서 유효선량을 사용하는 것이 바람직한데 그 이유는 무엇인가?

유효선량을 계산하는 데 사용한 가중치에는 치명적인 위해뿐만 아니라 개인이나 그 후손의 건강에 미치는 전체 위해가 고려되었기 때문이다.

본 권고에서는 유효선량을 정의하는 데 사용되는 조직가중치는 방사선작업종사자, 일반대중 또는 남녀를 불문하고 사용할 수 있다. 그 이유는 무엇인가?

조직가중치는 남녀 동등한 숫자의 광범위한 연령분포를 가진 표준인구집단에 대하여 만들어졌기 때문이다.

ICRP26에 비해 ICRP60에서 피폭제한치를 강화 시키게 된 이론적(근본) 배경 및 확률적 영향의 Risk Factor가 3배정도 증가하게 된 이유를 설명 하시오.

ICRP는 최근 방사선피폭의 인체영향에 관한 연구자료, 일본의 원폭피해생존자들에 대한 방사선역학조사에 근거를 기초로 하여 방사선량 및 위험의 재평가연구, 방사선생물학의 연구성과와 발전에 근거하여 1977년 ICRP 26보다 선량한도를 낮추고 여러 원칙과 개념을 재정립하여 1991년 ICRP 60을 발간하였다.

그 결과 연간선량한도를 20 mSv/년으로 낮추고 확률적 영향의 Risk Factor가 3배정도 증가하였다. 그 근본적인 배경은 다음과 같다.

- ① 히로시마, 나가사키의 원폭피해자의 피폭선량의 재평가에 의하여 원폭피폭자데이터의 암사망율 확률의 수정이 있었다.
- ② 원폭피해자에 대한 역학조사 기간이 11년간 증가함에 따라, 특히 고형암(백혈병이외의 암)의 초발생수가 과거 예측치보다 증가하였다.
 - 방사선역학 데이터 베이스 수정
 - ICRP 26 : 1970년대 초까지 자료
 - ICRP 60 : 1980년대 중반까지 자료(원폭 피해생존자의 고령화로 암사망자 증가)
- ③ 리스크 용인성에 대한 사회적인 조사가 진행되고 용인성이나 해의 지표에 대한 분석이 있었다.
- ④ DS 86 (Dosimetric System 86)에 의한 선량의 재평가가 이루어졌다. TDS는 미국 네바다 사막에서 시행한 핵폭발실험에 적용된 방사선량평가방식 이었는데 네바다는 건조한 사막지역이고 히로시마-나가사키의 8월은 습한 지역이라는 차이점 때문에 선량의 재평가가 이루어졌다.
 - 원폭피해생존자 선량평가의 수정 : TDS → DS86
 - 원폭 위력 재평가
 - 방사선 수송 재평가: 전산능력 향상 **피폭시 환경조건 반영** (속증성자의 피폭평가시 히로시마, 나가사키 원폭피해자에 대해 과대평가되었기 때문이다.

즉 원폭 폭발당시의 습도가 높아 공기중 수소원자의 증가 현상이 있었는데도 수소원자에 의한 피폭감소효과는 고려하지 못했기 때문이다)
- ⑤ 생애리스크예측모델을 종전의 리스크예측 가산모델에서 승산모델로 사용하였다.
- ⑥ 비치명적 위험의 반영
- ⑦ 선량한도 설정개념의 수정
 - ICRP 26 : 비교적 안전한 타산업체 수준유지(치명적 위험)
 - ICRP 60 : 용인가능한 위험개념

방사선장해현상중 확률적 효과가 실제로 발생했는지에 대한 판정을 내리기는 어렵다. 정확한 판정을 내리기 위하여 여러가지 방법을 사용할 수 있으나 가장 보편적으로 이용되는 역학조사에 대하여 설명하고 역학조사의 수행시 유의하여야 할 점을 2가지만 열거하시오.

가. 역학조사방법

방사선의 확률적 효과에 대한 판정을 위해 보편적으로 사용하는 방법이 **역학조사**이다. 역학조사의 방법에는 코트연구(추적조사)와 환자대조연구(기왕조사)의 2가지 방법으로 대별할 수 있다.

① 코트연구(추적조사)

피폭집단과 비피폭된 집단으로 구성된 조사집단(Code)을 선정하고 이 집단을 일정기간 추적하여 피폭집단과 비피폭집단에서 몇 명의 암이 발생하는가를 관찰하는 방법

② 환자대조연구(기왕조사)

조사대상을 암발생여부에 따라 분류하고 각각의 조사집단에 대하여 방사선피폭에 관한 정보를 비교하고 방사선과 암발생의 인과관계를 관찰하는 방법

나. 역학조사 수행시 유의사항

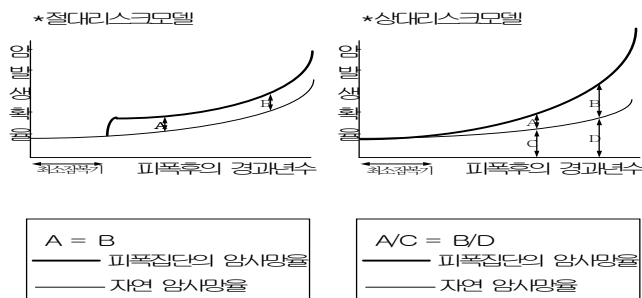
- ① 통계적 분석에 충분한 크기의 집단이어야 한다.
- ② 피폭집단과 비피폭집단의 방사선피폭이외의 요인(생활습관, 연령등)은 가능한 한 동일하여야 한다.
- ③ 피폭상황, 선량에 관한 정확한 정보의 입수가 가능하여야 하며 사망진단서와 같은 기초정보가 정확하여야 한다.
- ④ 방사선유발암의 잠복기를 고려하여 장기간 관찰기간이 요구된다.

저선량의 저 LET 의 방사선이 인체에 미치는 만발성 영향은 현대 보건물리학자들이 분명히 밝혀 내어야 할 중요한 과제이다. 이러한 만발성효과증 발암의 위험성을 평가하는 모델은 절대리스크모델과 상대리스크모델로 구분하고 있다.

가. 이 2가지 모델을 그래프를 이용하여 설명

방사선에 의해 유발되는 백혈병이외의 암은 10년 이상의 잠복기가 존재하고 생애에 걸쳐 발생한다는 것이 예측되기 때문에 피폭후 생애동안 발생하는 암사망확율을 평가할 필요가 있다.

역학데이터의 관찰기간보다 훨씬 긴 생애동안 생기는 암사망확율을 추정하는 방법에는 절대리스크모델 리스크예측가산모델과 상대리스크모델 리스크예측승산모델이 이용되는 데 이들을 설명하면 아래와 같다.



- ① **절대리스크모델(리스크예측가산모델)** → BEIR-III보고서
방사선 피폭후 시간이 경과하더라도(나이가 들어가더라도)
초과 암발생확율은 일정하다.
- ② **상대리스크모델(리스크예측승산모델)** → BEIR-V보고서
방사선 피폭후 시간이 경과함에 따라(나이가 들어감에 따라)
초과 암발생확율이 증가한다.

나. 이 2가지 모델이 BEIR 보고서 III와 V에 어떻게 반영되었는 지 설명하시오.

방사선에 의한 영향평가보고서인 BEIR-III보고서에서는 절대리스크모델을 채택하였으며 이는 ICRP-26의 방사선에 의한 암발생확율을 평가의 기초가 되었다. 또한 BEIR-V보고서에서는 방사선 위험평가시 절대리스크모델을 사용하지 않고 상대리스크모델을 근간으로 하는 수정모델을 사용하였다. 이 BEIR-V보고서는 ICRP 60권고의 방사선에 의한 암발생확율 평가의 기초로 이용되었다. ICRP 60권고에서 방사선피폭제한치가 50mSv에서 20mSv로 낮아지게 된 배경에는 방사선리스크평가모델을 변경한 것이 큰 이유중의 하나이다.

ICRP 26의 Detriment와 ICRP 60의 Detriment를 비교, 설명하시오.

가. ICRP 26의 위해 (Detriment)

방사선피폭으로 인한 보건상 또는 재산상의 해로운 영향을 말한다. 일반적으로 집단에 대한 위해는 방사선에 의한 모든 형태의 해로운 효과가 발생할 확율뿐 아니라 그 심각성까지 고려한 수학적 기대치로 정의된다.

나. ICRP 60의 손해 (Detriment)

확율적 영향의 정도를 해가 발생될 확율이나 해의 정도, 피폭후의 시간적 발현분포를 고려하여 다각적으로 나타내는 개념을 말한다. 결정적 영향의 발단선량이하의 범위에서만 허용되는 개념이므로 결정적 영향에는 적용하지 않는다.

Deminimis 선량의 개념과 일반대중 (General public) 의 구성원에 대한 Deminimis 선량을 정의하는 방법을 구체적으로 설명하시오.

가. Deminimis 선량의 개념

환경중에는 천연방사성물질이나 방사성낙진과 같은 인공방사성물질이 미량의 양으로 존재하고 있으며 이것은 일반적으로 규제가 불가능하다. 또한 건강상 영향을 거의 무시할 수 있는 선량을 방사선방호의 규제 대상으로 하는 것은 시간적으로나 경제적인 면에서나 실용적이지 않다. 따라서 방사선장해의 발생이 거의 희박한 선량에 대해 규제면제의 개념을 도입하여 규제대상에서 제외시킬 수 있는 방사선준위를 설정할 필요성이 있다. 이러한 선원이나 행위에 대하여 규제를 면제하여 개인이나 집단의 리스크 및 건강상의 손해를 무시할 수 있는 선량을 Deminimis 선량이라고 한다.

나. 공중에 대한 Deminimis 선량

원전 및 병원에서 발생하는 대부분의 방사성폐기물이 극저준위이고 잠재위험이 지극히 낮은데도 방사성폐기물로 간주되어 많은 재정의 낭비를 하고 있다. 따라서 각 방사성핵종별로 일정한 수량과 농도이하인 것은 방사성동위원소로 분류하지 않는다. ICRP 60에서는 정상시 뿐만 아니라 사고시에도 작은 개인선량이나 집단선량을 야기시킬 수 있는 경우에도 규제의 관점에서 볼 때 전혀 염려하지 않아도 될 만큼 낮은 경우를 규제의 기준으로 삼고있지 않고 있다.

장량적으로

- 개인에 대한 유효선량이 연간 $10 \mu\text{Sv}$ 이하이며,
- 집단유효예탁선량이 1man Sv 이하를 기준으로 삼고 있다.

이 선량의 기준이하로 규제면제를 설정하면 피폭개인이나 집단중에 장해가 1건도 발생하지 않을 확률이 95%이다. 또한 집단을 구성하는 사람의 수가 대단히 많기 때문에 장해에 영향을 미치지 않는 값이다.

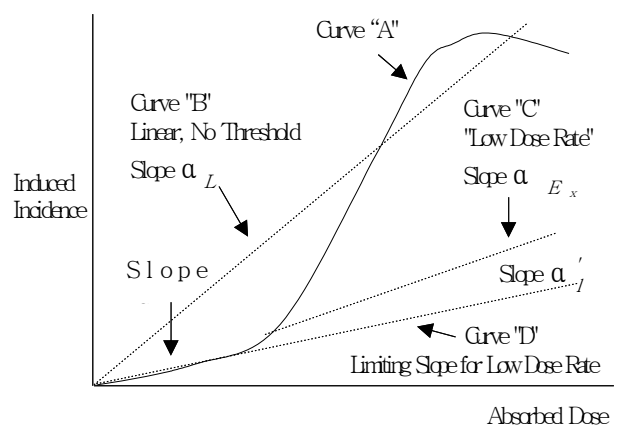
아직 확정된 값은 없으나

- 단기적으로 $50\mu\text{Sv}/\text{년}$
- 장기적으로 평균 $10\mu\text{Sv}/\text{년}$ 을 권고하고 있다.

선량-선량률 효과 인자(DDREF)

선량 및 선량률영향 인자(Dose and Dose Rate Effectiveness Factor, DDREF)로 ICRP는 방사선방어 목적에 사용하는 리스크인자 즉, 저선량/저선량률에 관해 결정할 때 DDREF를 사용하여 보정하였다. DDREF의 경우 그 값은 일본 원폭생존자에 영향을 준 선형구적 선량반응(linear quadrature dose response)함수 $F(D) = \alpha_1 D + \beta D^2$ 의 이론적인 고려에 관계되는 것에서 채택되었다.

이것은 ICRP Pub. 26의 경우 S_V 당 11.5%인데 비해서 ICRP Pub. 60의 경우는 노동인구에 대해서 S_V 당 4%이고 모든 연령에 대해서 S_V 당 5%이다.



① 그래프 A

- 실제로 예상되는 그래프(실제의 고선량 피폭자료)
- 선형-2차곡선형 상관관계, $F(D) = \alpha_1 D + \beta D^2$

② 그래프 B

- 4개의 실험자료를 선형으로 fitting한 그래프(고선량을 저선량으로 외삽)
- 선형 무발단형 상관관계, $F(D) = \alpha_L D$

③ 기울기 α_L

그래프 A의 저선량 지역의 선형부분 기울기 ($= \alpha'_L$)

④ 기울기 α'_L

그래프 A의 저선량률 부분에서 얻은 실험적 고선량 자료의 기울기(아주 낮은 선량률에서는 원칙적으로 α_{E_x} 는 α_L 과 같아질 것임)

$$DDREF = \frac{\alpha_L}{\alpha'_L} = 1 + \frac{\beta}{\alpha'_L} D > 1.0$$

체 외 피 폭 평 가

■ 선형감쇠계수

의미 : 어떤 방사선 입자가 물질내에서 단위길이를 지나는 동안 어떤 상호작용을 일으킬 확률

- ① 물질고유의 상수로서 방사선의 종류 및 에너지의 함수이다.
- ② γ 선(X선)에 대해서는 잘 정의되어 있으나 중성자와 하전입자 방사선에 대해서는 지수감쇠법칙이 정확히 적용되지 않는다.
- ③ μ 가 0.1cm^{-1} 이라는 것은 방사선이 어떤 물질에서 1cm 진행하는 동안 이 매질과 상호작용하여 에너지를 잃을 확률이 0.1이라는 의미이다.
- ④ μ 는 감마선의 에너지 E와 차폐의 종류에 따라 다르다.
- ⑤ $e^{-\mu x}$ 의 의미 : 방사선이 두께 $x\text{ cm}$ 내에서 차폐물질과 반응하지 않고 투과할 확률을 나타낸다.
- ⑥ μ 는 밀도에 따라 다르기 때문에 질량감쇠계수(μ/ρ)를 도입 즉 질량감쇠계수는 단위질량당의 전 거시적 단면적의 의미를 갖는다.
- ⑦ 화합물의 질량감쇠계수 구하는 법
각 구성원소의 질량감쇠계수에 중량비를 곱하고 합하면 된다.

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{cum} = \sum W_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$$

- W_i : 원소 i의 중량비 (예를들면 화합물이 H_2O 라면 산소의중량비는 16/18이다)

- $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$: 원소 i의 질량감쇠계수

- ⑧ 서로 다른 차폐체가 겹쳐있을 경우

$$\mu_x = \sum \mu_i x_i$$

■ 축적인자(build-up factor)

$$B = \frac{\text{참선속}(\Phi)}{\text{지수감쇠선속}(\Phi_0)} \text{ 또는}$$

$$= \frac{\text{광역법에 의한 감마선속(본래의 } \gamma \text{선 + 산란 } \gamma \text{선)}}{\text{일정지점에서의 협역법에 의한 } \gamma \text{선(본래의 } \gamma \text{선)}}$$

$$\Phi = B \Phi_0 e^{-\mu x}$$

- 차폐체가 두꺼울수록 산란할 기회가 많아지므로 산란선의 기여 즉 축적인자가 증가한다.

다시 말해 축적인자는 μx 의 함수가 된다.

- 축적인자를 엄밀하게 평가하는 것은 복잡한 수송방정식으로 계산해야하나, 통상적인 방법으로는 사전에 정밀 계산된 결과와 지수감쇠법칙에 의해 계산된 결과를 비교한다.

■ 조직 등가 물질이 갖추어야 할 요건

- ① 방사선이 인체조직과 반응하는 방법과 똑같은 방법으로 조직등가 물질과도 반응 할 것
- ② 질량 에너지 흡수계수가 감마선의 모든 에너지 범위에 대해서 인체조직과 똑같은 것
- ③ 재질 : Polymethacrylate(Tissue Equivalent)
- ④ 규격 : X, γ ($30 \times 30 \times 15$), β ($30 \times 30 \times 5$), n ($40 \times 40 \times 15$)

주)

- 1 방사선원과 개인 선량계 거리는
⇒ X, γ (1m 이상), β (35cm 이상), n (50cm 이상)
- 2 Phantom모서리로 부터 10 cm 이상 이격

■ 하전 입자의 평형 (Charged Particle Equilibrium)

V라는 체적을 가진 어떤 물질내의 일정한 점 P에서 보아 일정한 에너지를 가진 하전입자들이 체적 V를 이탈하지만 이와 동등한 에너지를 가진 다른 하전입자들이 체적 V내로 유입될 때 에너지 평형상태가 V내에서 이루어지게 되는 현상을 말한다. 이때 체적 V로 유입, 유출되는 하전입자의 수가 반드시 같아야 되는 것은 아니고, **체적 V로 유입, 유출되는 하전입자들이 갖는 에너지의 총합이 같으면 된다.** 즉 하전입자의 평형이란 **하전입자들이 에너지의 평형상태를 의미한다.**

하전입자의 평형을 이루는 지역은 어떤 물질의 표면으로부터 광자에 의해 생성된 **일차 전자의 최대 비정만큼 떨어진 곳부터이다.**

■ 밀도두께

방사선물리학에서 종종 **길이**의 단위로 **밀도두께(Density Thickness)**를 자주 사용한다.

왜냐하면 베타선이나 감마선등이 물질과 작용하는 것은 그 물질을 이루고 있는 **원자의 주변을 돌고 있는 전자**이므로 **방사선이 통과하는 물질의 단위 면적당 전자밀도가 물리적으로 큰 의미를 가진다.**

단위 면적당 전자밀도는 대체로 그 물질의 밀도에 선형두께 (Linear Thickness)를 곱한 값에 비례한다.

그러므로 밀도두께를 다음과 같이 정의한다.

$$t_d = \rho \times t_1$$

여기서 t_d : 밀도두께, g/cm^2

ρ : 물질의 밀도, g/cm^3

t_1 : 선형거리, cm

■ 비정 스트래글링 (Range Straggling)

알파입자의 비정은 모두 조금씩 다른데

이와 같은 현상은

하전입자가 매질내에서 에너지를 잃는 과정이 통계적이고 확률적인 반응에 의한 것이므로

같은 초기 에너지를 가진 입자라 하더라도 **반응 횟수나 1회 반응에서 잃는 에너지의 양이 다르기 때문에** 일어난다.

이처럼 같은 에너지의 하전입자라 하더라도 매질내에서 비정이 조금씩 달라지는 현상을 **비정 스트래글링(Range Straggling)** 이라고 한다.

■ 베타선의 평균 에너지

방사선 피폭평가기 가장 중요하게 고려해야 할 베타선의 성질은 **베타스펙트럼의 평균에너지**이다. 베타선의 평균에너지는 다음과 같이 정의된다.

$$E_p = \frac{\int_0^{E_{max}} E \cdot N(E) dE}{\int_0^{E_{max}} N(E) dE}$$

- E_p : 베타 스펙트럼의 평균에너지(MeV)
- E_{max} : 베타선의 최대에너지(MeV)
- E : 베타입자의 에너지 (MeV)
- $N(E)$: 베타 스펙트럼중 E 와 $E + dE$ 사이의 에너지를 가진 베타입자의 상대수

베타선의 평균에너지가 중요한 이유는

베타방출체의 모원소에서 방출된 베타스펙트럼이 인체에 흡수될 때 인체가 흡수한 에너지는 평균적으로 베타입자 한 개로부터 베타선의 평균에너지에 해당하는 에너지와 같기 때문이다.

일정 흡수체 내에서는 베타선의 에너지가 증가함에 따라 비정도 비례해서 증가함을 알 수 있고, 흡수체의 밀도가 클수록 일정에너지를 가진 베타선의 최대비정이 작아짐을 알 수 있다. 엄격히 말해서

베타선의 비정에 영향을 미치는 것은 흡수체의 밀도라기보다는 흡수체의 단위면적당 전자의 수와 관련되어 있다. 흡수체의 단위면적당 전자밀도는 흡수체의 밀도와 두께를 곱한 값인 밀도두께에 비례한다.

베타선의 비정을 밀도두께를 나타내면 베타선의 흡수체의 종류에 관계없이 베타선의 에너지와 비정의 관계는 흡수체의 원자번호가 아주 높은 물질에는 해당되지 않으며 다음 식으로 표현될 수 있다.

○ $0.01 \leq E \leq 2.5 \text{ MeV}$ 일 때

$$R = 412 E_{\beta}^{(1.265 - 0.0954 \ln E_{\beta})} [mg/cm^2]$$

○ $E \geq 2.5 \text{ MeV}$ 일 때

$$R = 530 E_{\beta} - 106 [mg/cm^2]$$

- E : 베타선의 최대에너지(MeV)

■ 비전리와 LET

전자의 비전리도는 대체로 전자의 에너지가 낮을 때 매우 크고 전자의 에너지가 증가함에 따라 급격히 작아져 전자의 에너지가 1 MeV 정도가 되면 최소치에 도달했다가 서서히 증가한다.

비전리도가

베타선의 입장에서 손실된 에너지에 초점을 맞추어 정의되었다면 **선형에너지전달(LET)**은

매질 측면에서 흡수되는 에너지의 분포를 말해주는 척도이며, 방사선의 효과를 연구하는 분야에서 많이 사용되고 있다.

■ 상대질량저지능

서로 다른 매질들이 베타선으로부터 에너지를 흡수하는 능력을 비교하기 위해서 **상대질량저지능**이 정의되었다. 즉 여러 가지 매질들에 대한 질량저지능을 공기중의 질량저지능과 비교하여 상대질량저지능을 다음과 같이 정의한다.

$$\rho_m = \frac{S_m}{S_a}$$

- ρ_m : 상대 질량 저지능
- S_a : 공기중 질량 저지능
- S_m : 매질 m에서의 질량 저지능

■ 선량평가

ICRP-26에서는 신체 각 기관에 대한 구체적인 선량당량 분포를 확실히 알 수 없을 때에는

○ 전신에 대한 선량당량을

인체 표피로부터 $1,000\text{mg/cm}^2$ (조직의 밀도를 1g/cm^3 으로 가정했을 때 1cm 의 깊이) 되는 지점에서 평가하도록 하고 있다.

○ 눈의 경우는

수정체 전면에 300mg/cm^2 의 두께를 가진 조직이 있는 것으로 간주하도록 하였으며,

○ 피부의 두께는

부위에 따라 다르나, 평균적으로 $5\sim 10\text{mg/cm}^2$ 정도이며, 방사선 방어상 7mg/cm^2 깊이에 상피조직이 있는 것으로 간주($70\mu\text{m}$)된다고 하였다.

■ 흡수선량지수와 선량당량지수

인체 내부의 각 장기에 대한 선량당량 측정은 매우 어려운 일이다. 그리하여 대개의 경우 여러 장기에 대한 선량당량을 각기 평가하는 대신에 여러 장기중 방사선 에너지를 가장 많이 흡수하는 장기를 결정해서 이때 흡수되는 최대 흡수선량만을 평가하고 나머지 장기는 이 최대 흡수선량보다 적은 양의 방사선을 흡수하므로 보수적인 평가를 하는 것이다.

이러한 목적으로 흡수선량지수(D_1 : Absorbed Dose Index)와 선량당량지수(H_1 : Dose Equivalent Index)가 정의되었다. 즉

흡수선량지수란

어는 일정 지점에 아래 표의 연조직 성분으로 구성된 반경 15cm 의 구(Sphere)가 놓여 있을 때 구 내부에서 받을 수 있는 최대의 흡수선량을 말한다.

성분	구성비(%)
산소	76.2
탄소	11.1
수소	10.1
질소	2.6

표) 인체 연조직의 성분

위 표의 연조직 성분으로 구성된 밀도 1g/cm^3 인 물질을 조직등가물질이라고 하고 이러한 물질로 만들어진 반경 15cm 의 구를 구형 팬텀이라고 한다.

구형 팬텀내에서의 최대 흡수선량이나 선량당량은 똑같은 위치에 놓여 있는 인체내에서의 흡수선량 또는 선량당량과 거의 같다.

또 선량당량 지수는

어는 지점에서 조직 등가물질로 구성된 반경 15cm 의 구 내부에서의 최대 선량당량을 말한다.

반경 15cm 의 구형팬텀은 아래 그림에서와 같이 세부부분으로 나누어진다.

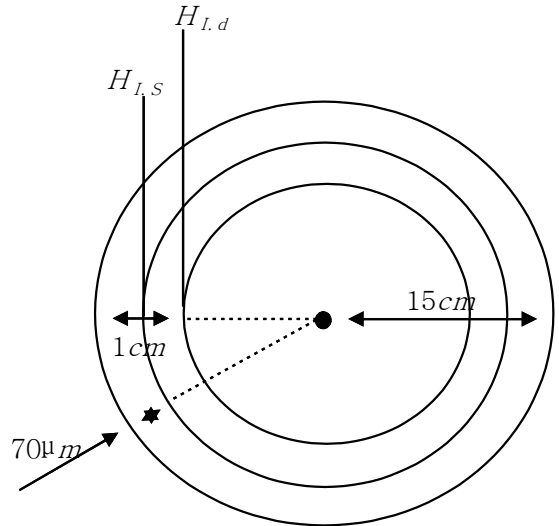


그림) 구형 팬텀과 선량당량 지수

위 그림에서

최외각의 $70\mu\text{m}$ 두께는

인체 피부의 외부를 둘러싸고 있는 사멸 세포층(Dead Skin Layer)을 나타내고

최외각으로부터 1cm 의 깊이까지가 피부의 두께를 나타내며

인쪽으로부터 반경 14cm 의 구가 인체내부의 장기를 대표한다.

위 그림의 구형 팬텀에서 최외각으로부터 0.3cm 의 깊이에 있는 지점을 정하여 눈의 수정체를 대신하기도 한다. 따라서 구형 팬텀의 최외각으로부터

○ $70\mu\text{m}$ 깊이에서의 선량당량지수를 피부선량당량지수 $H_{L,S}$ 와

○ 1cm 깊이에서의 선량당량지수를 전신 선량당량지수 $H_{L,d}$ 라고 부른다.

이때에 $H_{L,S}$ 는 구형 팬텀 최외각으로부터 $70\mu\text{m}$ 및 1cm 의 깊이 사이에서 최대의 선량당량을 가지며 $H_{L,d}$ 는 구형 팬텀 중심으로부터 반경 14cm 이내에서 최대의 선량당량을 가진다.

■ 방사선으로부터 에너지를 받은 인체조직에 대한 여러 가지 변화에 대한 기술

선량당량을 평가하는 목적은 방사선이 인체에 미치는 영향을 평가하여 적절한 보호대책을 수립하는데 있다. 따라서 방사선 피폭시에 방사선의 에너지가 어떠한 과정을 거쳐서 인체에 전달되고 인체는 어떠한 반응을 일으키는지를 살펴보는 일도 중요하다.

먼저 방사선이 인체를 조사하게 되면 방사선과 인체를 이루고 있는 여러 가지 물질들이 상호작용을 한다. 그 결과 에너지는 인체에 흡수되든지 아니면 또 다시 흡수된 에너지의 일부가 인체밖으로 방출되기도 한다. 방사선으로부터 에너지를 받은 인체조직은 여러 가지 변화를 일으킨다.

○ 물리적 과정

가장 많이 일어나는 변화는 인체를 이루고 있는 물질의 각종 원자나 분자들이 여기되거나 전리되는 현상이다.

이와 같은 과정을 방사선이 생체에 일으키는 물리적인 과정이라고 하며

이는 아주 짧은 시간 즉 약 10^{-11} 초 이내에 일어난다.

○ 화학적 과정

전리 또는 여기의 결과 자유전자, 이온 또는 여러 가지 유라기가 발생되고 이들은 산속하게 주위의 물, 아미노산, 단백질, 핵산등을 이루고 있는 분자들과 반응하여 생물분자의 불활성화를 초래하는데 이러한 현상을 화학적 과정이라고 한다.

방사선에 의한 생체의 화학적 과정은 물리적 과정이 끝난 다음에 약 10^{-3} 초 이내에 일어난다.

○ 생물학적 과정

단백질, 핵산등 생물체 분자에 이상이 생기면 생체를 이루고 있는 세포의 기능이 변화하거나 세포의 사멸을 초래하여 돌연변이, 암발생 또는 생물체의 죽음을 유발한다. 이러한 과정을 생물학적 과정이라고 하는데 이 현상은 방사선 피폭을 받은지 수초에서 수년에 걸쳐 일어난다.

앞에서 언급한 방사선 조사를 받아 인체가 일으키는 3단계 현상, 즉 물리적 과정, 화학적 과정 및 생물학적 과정을 선량당량 평가과정과 연결시키면 선량당량은 흡수선량, 방사선 선질계수 및 수정계수의 곱으로 평가되는데

○ 방사선의 흡수선량은 방사선과 인체가 작용하는 물리적 과정의 결과를 평가하는 셈이되고

○ 화학적 작용 및 생물학적 작용은 여건에 따라 변화가 심하므로 최대한으로 표준화하여 방사선의 선질계수와 수

정계수로 그 결과가 대표하고자 하였다.

■ 감마상수 (Γ : Specific Gamma Ray Constant)

1Ci의 점선원으로부터 1m 떨어진 곳에서의 조사선량율을 (R/hr)의 단위로 나타낸 것을 감마상수라 한다.

전제조건

- 감마선원은 반드시 점선원이어야 함
- 점선원으로부터 감마선이 공간적으로 균일하게 방출
- 점선원과 피사체 사이는 진공이어야 함(단 공기처럼 밀도가 희박한 매질은 진공으로 간주 가능함)
- 선원이 붕괴 때마다 광자 1개씩 방출한다.

유도과정

매방과당 E MeV의 에너지를 가진 γ 선 n 개를 방출하는 점선원의 방사능이 C Ci라 하고 이 점선원으로부터 r cm 떨어진 곳의 조사선량율을 구한다면 이 때 점선원으로부터 r cm 떨어진 곳의 공기단위면적당 입사하는 γ 선의 에너지를 ψ 는 다음과 같이 계산

$$\phi = \frac{C(Ci) \times \frac{3.7 \times 10^{10} d/sec}{1 Ci} \times n(\gamma/d) \times E(MeV/\gamma) \times \frac{3600 sec}{1 hr}}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{1.06 \times 10^{13} nCE}{r^2} (MeV/cm^2 \cdot hr)$$

따라서 점선원으로부터 r cm 떨어진 곳의 공기 cm^3 당 흡수되는 에너지를 K 는 공기중 에너지 흡수계수 μ_{en} 과 관련시키면

$$K = \frac{1.06 \times 10^{13} nCE}{r^2} \mu_{en} (MeV/cm^3 \cdot hr)$$

참고: ψ 와 K 의 차이점

- ψ 는 공기 단위면적당 입사하는 γ 선의 에너지를
- K 는 공기 단위체적당 흡수되는 에너지를
- 또한 γ 선이 입사하였다고 전부 흡수되는 것이 아니기 때문에 에너지흡수계수(μ_{en}) 관련시킴

$$K = \frac{1.06 \times 10^{13} nCE}{r^2} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right) \times \frac{1.293 \times 10^{-3} (g/cm^3)}{7.018 \times (MeV/cm^3 \cdot R)}$$

$$= 1.95 \times 10^5 \frac{nCE}{r^2} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right) (R/hr)$$

여기서 $C = 1Ci$ 이고 $r = 100cm$ 라 하면 K 는 Γ 상수와 같다

$$\Gamma = 19.5 nE \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)$$

참고: $1R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg \times \frac{1.293 \times 10^{-6} kg}{1 cm^3_{air}} \times$

$$\frac{1 \text{이온쌍}}{1.6 \times 10^{-19} C} \times \frac{34 eV}{1 \text{이온쌍}} = 7.018 \times 10^4 MeV/cm^3$$

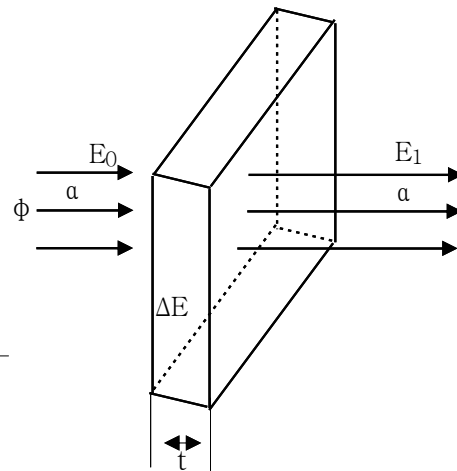
■ 알파선에 의한 피폭평가

가. 피폭평가방법

- ① 계측기를 이용하여 평가하는 방법
- ② 이론적으로 도출된 에너지 전달방식을 이용한 피폭량 예측 계산방법

나. 평가

알파선에 의한 피폭량을 일반적으로 공기중의 알파선에 의한 흡수선량을 평가해서 신체 연조직에 대한 피폭량을 예측하는 방법이 많이 사용된다.



얇은 판막에 의한 알파선에너지 흡수

알파선에 의해 판막에 흡수된 흡수선량을 $\dot{D}$

$$\dot{D} = \frac{\Phi \Delta E}{t} (MeV/g \cdot sec)$$

- E_0 : 알파선이 얇은 판막에 입사하기 직전의 에너지
- $\Delta E(E_0 - E_1)$: 알파선이 얇은 판막에 전달한 에너지
- E_1 : 알파선이 얇은 판막을 통과하고 나올때의 에너지
- Φ : 알파선의 선속 ($\alpha/cm^2 \cdot sec$)
- t : 판막의 밀도두께 (g/cm^2)

■ 중성자선의 차폐

중성자선의 감소, 혹은 에너지 흡수는 아주 복잡한 과정을 거치므로 이에 대한 차폐는 간단한 차폐공식에 의존할 수 없다. 중성자의 차폐는 대체적으로 속중성자의 감속원리와 열중성자의 흡수원리를 이용한다. 최근에 들어서는 중성자 하나 하나의 이동경로 및 에너지 전달과정을 컴퓨터로 모의하는 계산방식인 몬테칼로 계산법을 이용하여 중성자 차폐를 하는 방법이 많이 사용된다.

특히 원자로에서 사용되는 중성자는 에너지 스펙트럼이 다양하고 중성자원 주변의 구조물이 복잡하여 몬테칼로 계산법에 의한 차폐계산을 하는 쪽이 훨씬 정확하고 경제적이다. 그러나 계측기 교정용 중성자 선원이나 간단히 실험실에서 사용하는 소량의 중성자선원에 대한 차폐를 전자계산기를 이용한 몬테칼로 계산법을 채택하기에는 너무 과정이 복잡하고 경제성이 없다. 이때는 **중성자 총반응단면적의 약 3/4 정도가 중성자 제거 단면적에 해당한다는 개략적인 사실을 이용하여 중성자 차폐두께를 손쉽게 계산할 수 있다.**

이때 주의할 점은 중성자 조사에 의해서 차폐물질 자체가 여기되어 감마선이 추가로 발생되지 않도록 하거나 발생된 감마선에 대한 차폐도 고려하도록 하여야 한다는 점이다.

● 점선원 형태의 중성자선에 대한 구형 차폐문제

초당 5×10^6 개의 중성자를 방출하는 5Ci 의 Pu-Be 중성자 선원이 있다고 하자. 이 중성자들의 평균에너지가 4MeV 라 한다. 이때 구형 차폐체의 표면에서 방사선 피폭선량율이 1.5mrem/hr 를 넘지 않도록 주어진 자료를 이용하여 물로 차폐를 하라.

- 주어진 자료 -

수소는 중성자 포획시에 2.26MeV 의 감마선을 방출
수소 및 산소의 총반응단면적은 각각 1.9barn 및 1.7barn 이다.

풀이)

먼저 차폐두께가 계산이 되어야 수소에 의한 중성자 포획결과 발생하는 2.26MeV 의 감마선에 의한 선량율이 계산되고 다시 감마선에 의한 방사선량 차폐를 고려하여 차폐두께가 재조정되는 등의 시행착오적인 계산이 몇 차례 반복되어야 하는바 이러한 번거로움을 피하기 위하여 중성자에 의한 피폭선량율이 1.5mrem/hr 대신에 1.0mrem/hr 이하가 되도록 차폐두께를 계산하자. 그러면 수소 중성자 포획에 의한 감마선량율이 0.5mrem/hr 가 넘지 않으면 차폐두께 산정이 적절히 되는 셈

이다.

① 우선 4MeV 의 속중성자선에 대한 피폭선량율이 1.0mrem/hr 를 넘지 않기 위해서는 표(3-9)에서 중성자선속이 $6n/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 를 넘지 말아야 함을 계산으로 알 수 있다.

② 중성자 제거단면적은

$$\text{- 수소: } 1.9 \times 3/4 = 1.43(\text{barn})$$

$$\text{- 산소: } 1.7 \times 3/4 = 1.28(\text{barn})$$

③ 물 1cm^3 당 수소와 산소의 원자수

$$\text{- 수소} \quad :$$

$$6.023 \times 10^{23} \times 1/18 \times 2 = 6.77 \times 10^{22} (\text{원자} / \text{cm}^3)$$

$$\text{- 산소} \quad :$$

$$6.023 \times 10^{23} \times 1/18 \times 1 = 3.35 \times 10^{22} (\text{원자} / \text{cm}^3)$$

④ 물의 4MeV 중성자에 대한 제거 단면적을 이용하여 선형 흡수계수, Σ 를 계산

$$\begin{aligned} \Sigma &= 1.43 \times 10^{-24} \times 6.77 \times 10^{22} + 1.28 \times 10^{-24} \times 3.35 \times 10^{22} \\ &= 0.139(\text{cm}^{-1}) \end{aligned}$$

⑤ 물의 반기층 계산

$$HVL = \frac{0.693}{0.139} = 4.99(\text{cm}^{-1})$$

⑥ 점선원인 중성자를 차폐할 때도 축적인자가 고려되어야 한다. 이 축적인자를 B 라 하고 선원의 강도를 S 라고 하며 차폐두께를 $n \cdot HVL(\text{cm})$ 이라고 하면 차폐물의 중성자선속 ϕ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\phi = \frac{B S}{4\pi(n \cdot HVL)^2} \cdot \frac{1}{2^n} (n/\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$$

앞에서 차폐후의 중성자 피폭선량율을 1.0mrem/hr 이하로 하기 위해서는 중성자속을 $6n/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 이하로 하여야 한다고 하였다.

HVL 의 값은 약 5cm 이고

S 의 값은 $1.85 \times 10^5 \text{MBq}$ 이므로 B 의 값만 알면 된다. B 의 값을 정확히 구하기는 곤란하지만 수소 화합물의 두께가 20cm 정도일 때 B 는 약 5이다.

이러한 모든 값을 이용해서 n 을 계산하면 n 의 값이 약 7.8로 계산된다.

즉 약 39cm 의 물로 중성자 선원을 차폐하면 차폐체 표면에서의 중성자 피폭선량율이 1.0mrem/hr 이하로 유지된다.

⑦ 다음에 속중성자가 물에 의해 감속되어 열중성자로 된 후 물에 포획되어 발생하는 감마선에 의한 선량율을 계산하여 보자

먼저 속중성자는 모두 물에 의해 감속되어 열중성자로 변한다고 가정하고 생성된 열중성자는 중성자 선원에서 차폐체 밖으로 향한다고 할 때 차폐체 표면에서의 열중성자속, ϕ_{th} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\phi_{th} = \frac{n_o}{\pi R \cdot D} e^{-R/L}$$

윗 식에서

- n_o 는 속중성자속으로 $5 \times 10^6 n/sec$ 이고
- 차폐체의 반경 R 은 $39cm$ 로 계산되었으며,
- D 는 확산계수로서 물속에서는 $0.16cm$ 이다.
- 한편 물의 열중성자 확산거리 L 는 $2.8cm$ 이다.

이 모든 값을 이용하면 구형물 차폐체 표면에서의 열중성자속 ϕ_{th} 는 0.08 열중성자/ $cm^2 \cdot sec$ 로 계산된다.

한편 표3-9를 이용하면 열중성자속이 0.08 열중성자/ $cm^2 \cdot sec$ 일때의 방사선 피폭선량율은 약 $0.003mrem/hr$ 로 계산되어 열중성자에 의한 피폭량은 속중성자에 의한 피폭량 $1.0mrem/hr$ 에 비해 무시할 정도라는 것을 알 수 있다.

다음에 반경 $39cm$ 의 물차폐체안에서 밖으로 유출되는 중성자 수는 속중성자 $6n/cm^2 \cdot sec$ 와 열중성자 0.08 열중성자/ $cm^2 \cdot sec$ 등 모두 6.08 개/ $cm^2 \cdot sec$ 이므로 반경이 $39cm$ 의 구의 표면적이 $19,104cm^2$ 임을 감안한다면 모두 1.2×10^5 개/ sec 가 된다. 따라서 총 중성자 방출을 5×10^6 개/ sec 에서 약 1.2×10^5 개/ sec 는 구형 차폐체 밖으로 유출되고 4.88×10^5 개/ sec 는 물 차폐체 안에 흡수된다. 흡수되는 모든 중성자가 $2.26MeV$ 의 감마선을 방출시킨다고 가정하면 문제는 감마 방출체가 반경 $39cm$ 인 구 내부에 균일하게 분포되어 있는 것으로 생각할 수 있고 감마선 방출체의 농도, A 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$A = \frac{4.88 \times 10^6 \text{ 감마선/sec}}{3/4\pi (39cm)^3} = 19.6 \left(\frac{\text{감마선/sec}}{cm^3} \right)$$

한편 감마선원이 균일하게 분포되어 있는 구형선원 표면에서의 선량율은 다음과 같이 표시된다.

$$\dot{D} = 1/2 A \Gamma \times \frac{4\pi}{\mu} (1 - e^{-\mu R})$$

위에서

- $R = 39cm$ 이고
- 물속에서 $2.26MeV$ 의 감마선에 대한 감쇠계수는 $0.046cm^{-1}$ 이다.
- 또 $2.26MeV$ 의 감마선에 대한 Γ 상수는 $1cm$ 떨어진 곳에서 감마선원 $1mCi$ 당 $10rad/h$ ($270mrad/MBq$)이고
- A 는 감마선 방출체의 농도로 앞에서 $19.6(Bq/cm^3)$ 으로 계산되었다.

따라서 구형 차폐체 표면에서의 $2.26MeV$ 감마선원에 의한 선량율은

$$\begin{aligned} \dot{D} &= 1/2 \times 19.6 \times 270 \times 10^{-6} \times \frac{4\pi}{0.046} (1 - e^{-0.046 \times 39}) \\ &= 0.6(mrad/hr) \end{aligned}$$

이다.

결론적으로 중성자 선원을 $39cm$ 의 물로 차폐를 하면 차폐체 표면에서 속중성자에 의한 피폭선량율이 $1.0mrem/hr$, 열중성자에 의한 피폭선량율이 $0.003mrem/hr$ 이며, 감마선에 의한 선량율은 $0.6mrem/hr$ 이어서 총 $1.6mrem/hr$ 가 된다. 따라서 당초 의도한 대로 $1.5mrem/hr$ 에는 미치지 못하지만 이에 매우 근접하다. 여기에서 $1.0mrem/hr$ 정도는 약간의 차폐체를 더하든지 아니면 물속에 보론을 녹여 열중성자를 포획함으로써 감마선원 자체를 감소시키는 방법이 있다. 만약에 보론을 녹여 열중성자속을 감소시키면 $2.26MeV$ 의 감마선원이 감소되어 차폐체 표면에서의 선량율은 $1.2mrem/hr$ 이하로 줄어들게 된다.

체 내 · 외 피 폭 방 어

■ 외부피폭과 내부피폭의 방어방법

방사선피폭은 외부피폭과 내부피폭으로 구분할 수 있는데

- **외부피폭**은 선원이 존재하는 장소에서 체류하는 사람이 받는 피폭이고
 - **내부피폭**은 방사성핵종을 인체내에 섭취, 흡입하여 체내장기체류하는 방사성물질로부터 받는 피폭을 말한다.
 - 외부피폭에서 문제가 되는 방사선은 γ , X선과 중성자이며
 - 내부피폭에서는 α, β 선이나 기타 중하전입자에 의한 위험이 크다.
- 체내피폭에서 이들 하전입자가 문제시 되는 이유는 비전리능이 크고 인체 보호조작이 없는 체내조직층에 집중적으로 그 에너지를 소비하기 때문이다.

가. 외부피폭의 방어방법

외부피폭의 방어는거리, 시간, 차폐의 원칙에 따라 수행한다.

① 거리

방사선원으로 부터 거리를 멀게 유지할수록 그 피폭량은 거리의 역자승법칙에 따라 감소하게 된다. 이것을 거리의 역자승법칙이라 한다. 그러므로 방사선원으로 취급할때에는 Tongs, Manipulator, 핀셋, 작대기를 사용하면 피폭량을 저감시킬 수 있다. 또한 Hot Spot부위를 표시하여 관계자의 접근을 막는 것도 피폭량 저감의 한 방법이다.

② 시간

방사선피폭량은 방사선량을 $\times$ 작업시간이다. 따라서 작업시간을 단축시킴으로서 방사선피폭량을 줄일 수 있다. 작업시간을 단축시킬 수 있는 방법으로는 작업전에 계획을 수립하고 그 계획에 따라 Mock-up Training과 Cold-run Training을 실시한 후 실작업에 투입한다. 또한 한사람에게 집중적인 피폭을 방지하기 위하여 작업시간을 여러 명에게 분배시킨다. 이 경우 작업대기장소는 선량이 낮은 곳이어야 한다.

③ 차폐

방사선은 물질내에서 $I = I_0 e^{-\mu x}$ 의 감쇠법칙에 따라 줄어든다. 따라서 적절한 차폐체를 사용하여 방사선작업을 수행한다면 방사선피폭량을 줄일 수 있을 것이다.

나. 내부피폭의 방어방법

내부피폭의 방어는 격납, 희석, 차단, 3원칙과 Blocking의 방법을 적용할 수 있다.

① 선원의 격납

비밀봉선원의 취급은 격납실내에서 또는 후드나 글로브박스에서 함으로서 체내섭취를 줄일 수 있다. 중요한 것은 격납실비의 경계에서 선원의 누설을 최소화하는 것이다.

② 농도의 희석

이는 작업환경을 개선하는 방법으로서 선원의 완벽한 격납은 불가능하므로 작업장 내에서의 공기오염이나 표면오염이 발생하여 방사성물질이 인체에 섭취될 수도 있다. 이의 방지를 위하여 배기설비를 설치하고 제염작업을 통하여 공기오염과 표면오염을 지속적으로 관리해 주어야 한다. 또한 외부로 방출되는 유출물은 정화설비를 거치게 함으로서 환경중 방사성오염을 방지하여야 한다.

③ 섭취경로의 차단

작업환경의 안전한 준위의 유지가 어려울때에는 방사성물질의 섭취경로를 차단하는 방법을 쓸 수 있다. 방사성물질의 인체내 섭취경로는 호흡기, 소화기, 피부·상처이다. 따라서 방사선작업장내에서 공기오염도가 높은 작업장에서 작업을 할 경우 방독면, 마스크를 착용하고 작업하며, 작업장내에서 음식물 및 음료수의 섭취, 흡연의 행위를 해서는 안된다. 또한 방호복, 장갑 등을 착용하여 피부나 상처로 방사성물질이 체내로 유입되는 것을 막아야 한다. 상처가 있는 경우 원칙적으로 작업을 해서는 안되지만 부득이한 경우 상처부위를 밀봉한 후 작업을 수행한다.

④ Blocking

대규모 원전사고시 방사성옥소가 대량으로 누출되었을 경우에는 안정옥소(KI)의 120mg (요오드함유량 : 100 mg)을 투여한다면 갑상선에 대한 방사성옥소의 섭취를 99 % 차단시킬 수 있다. 이는 안정옥소를 과도하게 체내에 섭취시킴으로서 방사성옥소의 섭취를 막는 방법이다. 이것을 Blocking이라 한다. 삼중수소의 분위기에서 작업하는 작업자에게 다량의 물을 섭취하게 하는 것도 이 방법의 일종이다.

■ 방사성물질이 체내에 섭취되었다. 내부오염된 핵종의 제거 및 처치방법을 설명하시오.

일단 방사성핵종의 내부피폭이 의심되는 경우 핵종의 종류, 섭취경로, 체내섭취량을 결정하여 내부피폭의 정도와 치료의 필요성 여부를 빨리 결정하여야 한다. 인체로부터의 방사성핵종의 제거는 얼마나 빨리 치료가 시작되었는가에 따라 그 방법과 효과가 달라진다.

가. 경구섭취로 인한 내부오염핵종의 제거

- ① 구도를 유발시키거나 위장펌프를 이용하여 위로 부터의 오염핵종을 제거하고
- ② 제산제를 투여하여 불용성 화합물로 만들어서 장관내의 흡수를 억제한다.

위를 떠나거나 흡수되기전에 제거하고 chelating agent를 투여한다면 가장 효과적 일 것이다. 그러나 흡수단계에서 chelating agent의 사용은 오히려 흡수를 촉진시킬 수 있으므로 피하는 것이 좋다. 위를 떠나 장관내에 있는 오염핵종은 장관세척을 하여 제거를 촉진함으로써 복부 각 장기의 방사선 피폭량을 줄일 수 있다.

나. 공기흡입에 의한 내부피폭의 제거

- ① 생리적 식염수로 코와 입등을 씻어내고
- ② 거담제를 투여하여 기관지내 섬모운동을 촉진시켜 제거를 돕는다.

용해성이 높은 물질은 빨리 흡수되므로 전신적인 치료법이 빨리 이루어져야 한다.

다. 피부 혹은 상처를 통한 흡수핵종의 제거

- ① 방사성물질에 오염된 피부 혹은 상처는
 - 세척을 하거나
 - 피부에 스며든 오염물질의 외과적 제거술이 요망된다.
- ② 방사성핵종이 얼질러 지거나 공기중으로 누출된 경우 피부 표면이 오염될 수 있으며 특히 β 선 방출핵종의 경우 빨리 제거하지 않으면 노출된 피부주위에 다량의 방사선피폭을 줄 수 있다.
 피부오염을 제거하는 방법으로는 먼저 유화제로 가볍게 씻어낸다. 이때 피부를 탈피시키지 않도록 한다. 상처가 없을 경우 피부를 탈피시키면 오히려 체내흡수를 촉진시킬 수 있다. 손, 발, 손톱, 발톱 등을 가벼운 솔질로 오염물질을 제거하고 약한 삼푸를 써서 모발을 완전히 세척한다. 어떤 경우든 깨끗한 물로 충분히 씻어내며 이때 씻겨진 물이 다른 신체부분에 묻지 않도록 주의하여야 한다.

라. 일단 체내 흡수된 오염핵종의 제거

오염물질이 일단 혈액순환계로 흡수되면 더욱 제거하기 힘들며, 이 경우 오염물질 제거촉진제의 투여를 고려하게 된다. 일부 오염물질의 배출을 촉진시킬 수 있는 chelating agent로는 Ca-DTPA가 사용되고 최근에는 Zn-DTPA가 더 적은 부작용으로 동등한 효과를 얻을 수 있어 많이 사용된다.

이뇨제, 다량의 수액제의 투여, 맥주를 마시는 등의 다량의 수분섭취는 삼중수소(H)의 배출을 촉진시킬 수 있다. 오염된 방사성핵종의 안정형핵종을 투여하면 대사과정에서 경쟁적으로 작용하여 결정장기에 오염핵종의 집적을 막아 빨리 체외로 배출시킬 수 있다. 예를 들면 안정형의 옥소(I)를 빨리 충분한 양을 투여한다면 방사성옥소(I)의 갑상선섭취를 차단할 수 있고 삼중수소(H)가 많은 곳에서의 작업시 충분한 양을 물을 섭취한다면 삼중수소(H)의 체내섭취를 차단할 수 있다.

마. 방사성옥소로 부터 갑상선피폭의 차단

휘발성이 있는 I-125, I-131은 불의에 흡수될 수 있으므로 안정형의 옥소를 투여하여 예방할 수 있다. 만일 핵연료가 녹는 대형원전사고의 경우 안정형의 옥소를 투여하면 방사성옥소의 갑상선 섭취를 99% 차단시킬 수 있다.

NCRP의 권고에 의하면 10-30rad의 피폭가능성이 있을 때 부작용이 적은 potassium iodine (KI) 130mg (I : 100 mg)을 하루 1번씩 투여하면 갑상선섭취율을 1%이하로 줄일 수 있다.

■ 체내피폭량을 산정하기 위한 방법 3가지를 비교, 설명하시오.

가. ICRP-2 방법

체내 피폭량을 산정하기 위하여 방사성핵종을 2가지로 구분하여 결정장기 개념을 도입하였다.

결정장기	Bone seeker (항골성핵종) Sr-90, Ac-227, Th-232, Pa-231, Np-237, Pu-239, Ra-226
	기타결정장기

따라서 방사선피폭량은 방사성핵종이 선별적으로 침착되는 결정장기에 따라 평가하여야 하며, 결정장기에 대한 체내 방사선피폭량이 아래표에 의한 방사선피폭제한치를 넘지 않도록 체내섭취를 막아야 한다는 것이다. 이 방법에 의해 정의되는 용어로는 MPBB, MPC가 있다.

장기구분	주당 최대허용치	비고
전신, 생식선	0.1 rem/w	
뼈	0.6 rem/w	Ra-226 1μCi 등가
피부, 갑상선, 기타 단일장기	0.3 rem/w	

나. ICRP-30 방법 & MIRD 방법

MIRD 방법은 ICRP-30방법과 그 근간을 같이 하고 있으며 미국핵의학협회의 위원회에서 개발한 방법으로 가장 객관성이 있다고 평가되어지는 방법이다. 방사성 물질이 체내에 들어가게 되면 결정장기 뿐만 아니라 다른 장기에도 침착하게 되는데, 모든 방사성 물질이 침착된 장기를 고려하여 이들로 부터 받는 모든 피폭을 합산하여야 한다는 개념이다. 따라서 체내 피폭의 평가를 위해서는 방대한 자료를 필요로 하고 계산과정도 복잡하다. 또한 MPBB이나 MPC의 개념이 필요없다. 그

대신 ALI(년간섭취한도) 및 DAC(유도공기중 농도)를 도입하였다.

ALI란 방사성 물질의 체내 섭취로 인하여 연간 선량한도를 초과하지 않도록 권고된 섭취 허용 최대량이다.

ALI는 방사성핵종이 한꺼번에 섭취되든지, 아니면 연간 균일한 비율로 계속 섭취되든지 상관없다. ALI는 단지 방사성 핵종의 섭취한도를 말할뿐 환경중의 방사능농도에 대해서는 전혀 관련되지 않는다. 그러나 실제로 방사선관리에 있어서 환경에 존재하는 방사성핵종의 농도를 규제함으로써 체내 방사선피폭량의 통제가 용이할 수가 있다. 이러한 목적으로 설정된 양이 DAC이다. DAC는 단순히 ALI를 넘지 않도록 하는 공기중 방사성핵종의 평균농도이다. DAC 계산시 방사선작업자의 연간 작업시간을 2000시간으로 가정하였으며, 호흡을

은 표준인의 자료에 의거, 0.02 m³/min의 공기를 흡입한 것으로 가정하여 아래와 같이 계산하였다.

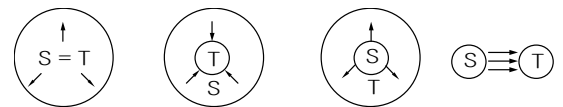
$$DAC = \frac{ALI}{2,400} (Bq/m^3)$$

새로운 개념의 체내 피폭량의 계산은

인체내부에서 방사성물질이 침착되는 장기들을 선원장기(Source Organs)라 하고

선원장기로부터 방사선피폭을 받는 장기를 표적장기(Target Organs)라 한다.

따라서 먼저 선원장기와 표적장기가 구분되어야 하며 다음에 선원장기에서 방출되는 각종방사선의 에너지가 표적장기에 얼마만큼 흡수되는가를 계산하여야 한다. 이때 다음의 4가지 모델을 가상할 수 있다.



Specific Effective Energy(비유효에너지)란

방사성물질의 체내섭취시 장기/조직의 단위질량당 방사성붕괴시마다 흡수되는 에너지의 양을 말하며 단위는 MeV/t · kg으로 표시되어지며

Specific Absorbed Fraction(비흡수율)이란

체내섭취 또는 흡입된 방사성물질이 선원장기(S)에 축적되어 표적장기(T)에 피폭을 준다고 할 때 표적장기(T)의 단위질량당 흡수되는 에너지의 비율을 말한다.

■ 내부 방사선피폭의 관리방법을 설명하시오.

내부피폭관리를 하기 위해서는 예탁유효선량당량과 예탁조직선량당량을 사용해서 H_T 및 H_{TI}를 계산하려면 핵종섭취량 I를 알아야 하는데 이 섭취량을 구하기 위한 측정수단은 전신계수법, Bioassay법, 계산법이 있다.

가. 전신계수법(whole body counting)

체내에 침착한 방사성 핵종이 방출하는 γ(X)선을 체외에서 NaI(Tl)검광체, 플라스틱검광체, 혹은 반도체 검출기를 사용하여 측정하며 α선을 검출할 수 없으며 β선에 대해서는 ⁹⁰Sr-⁹⁰Y나 ¹³²P와 같이 베타선에너지가 높고 비교적 효율이 좋은 제동방사로 변환되는 경우에 한해 검출이 가능하다.

■ 측정시 주의사항

- 피검자의 체외오염과 체내오염을 구별해야 하기 때문에 측정 전에 샤워를 하여 체외오염을 제거하는 것이 필요하다

- 계측실 출입시는 의복이나 이물질의 교환, 공기의 정화 등 방사성오염에 의한 백그라운드 증가를 방지하기 위해 주의를 요한다.

나. Bioassay법

체내에 섭취된 방사성핵종이 **뇨(소변)**, **분(대변)**, **호흡등으로 배출된 것을 채취**하여 이들의 방사능을 측정해서 섭취량을 추정하는 방법

① 시료채취 - 전처리 - 화학적분리 - 방사능 측정

② 특징

- 방사성 핵종이 방출하는 **α 선 β 선 γ 선의 어느 것도 측정 가능**
- 설비경비는 비교적 낮지만 복잡한 핵종분석의 절차를 필요로 하는 것이 많고 정확한 침착장소를 아는 것이 곤란하다.
- 방사성핵종이 명확하고 체내에서 행동도 알고 있는 경우에는 bioassay법이 매우 유용

다. 계산법

공기중의 방사성핵종의 농도를 **개인시료채집기(personal air sampler)** 및 **공기감시기(air monitor, dust monitor)**로 측정하여 그 값으로 흡입섭취량을 산출한다.

이 방법에 의한 섭취량 평가에는 관련된 변수가 많고 정확도는 나쁘다. 그러므로 **년간섭취한도의 1/10을 넘는 경우 체외 계측법 또는 bioassay법을 이용**해야 한다.

다. 내부방사선 피폭관리 방법의 장단점

비교항목	전신 계수법	Bioassay법	계산법
측정 대상항목	γ (X)선 방출핵종 (Co-60, Cs-137, I-131, Mn-54등) 고에너지 β 선방출 핵종도 어느정도 측정가능	α, β, γ 선방출핵종 (U-238, U-235, Pu-239, Sr-90, H-3등)	방사능측정기가 준비되어 있으면 측정대상 핵종에 제한없다
측정장치	전신계수기 (폐모니터)	분석설비 및 가구 방사능측정장치	공기시료채집장치, 방사능측정장치, 먼지감시기
측정평가	방사성물질의 체내량을 직접측정하는 것이 가능하다	H-3인 경우를 제외한 일반적으로는 화학분석시 시간을 요하며 신장대사 지식이 필요	공기중방사능농도 측정은 비교적 용이하지만 섭취량을 평가하는 경우에 불확정요소가 많다
피검자의 협력	단시간 측정등으로 피검자의 협력을 얻기 쉽지만 피검자는 작업과 떨어져야함	배설물 시료의 채취에는 피검자의 협력이 필요	특별한 것 없음
설비	고 설비비	통상의 설비로 족함	통상의 설비로 족함
선량평가상의 특징	방사성물질의 체내 분포나 시간적인 추적조사도 가능	체내오염이 있다는 확실한 정보를 제공	측정된 공기중 방사능농도와 섭취량의 관계에 불분명한 것이 많고 노력이 적다
측정평가요하는 사람	중간	중간	적음
평가정도	높음	중간	낮음

방사선안전관리

- 보건물리계획(방사선 방어활동을 위한 제반사항에 대한 프로그램)에 포함되어야 할 사항에 대하여 개조식으로 기술하시오.

방사선안전관리 프로그램의 수립 목적은 방사선감시 및 관리를 원활히 수행하고 방사선방어목표를 적절하게 달성하기 위함이며 이를 위하여 방사선관리규정이나 절차서에 의해 수행되어야 한다. 보건물리계획에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 방사선방어 책임 및 권한
- ② 방사선관리조직 및 인력구성
- ③ 방사선 감시 및 관리계획
- ④ 방사선 감시장비
- ⑤ 방사선 방어장비
- ⑥ 방사선 방어 교육·훈련 계획
- ⑦ 기타 필요한 각종절차

- 방사선작업구역에 일반적으로 지켜야 할 수칙

- ① 방사성오염구역에서 화장, 흡연, 식사행위, 음료수섭취 등의 행위를 해서는 안된다.
- ② 마스크, 방독면, 방호복, 방사선방호장비(개인선량계, SM) 등을 착용한다.
- ③ 항상 오염여부를 모니터링한다.
- ④ 방사성오염구역에서 작업하고 있다는 사실을 잊어서는 안되며, 2인이상 짝을 지어서 작업한다.
- ⑤ 작업실안에서는 작업복, 신발, 보호구등을 착용하되, 이를 착용한 채 작업실을 나가지 아니하도록 한다.
- ⑥ 작업실을 나갈 때에는 인체 및 작업복, 신발, 보호구등 인체에 착용하고 있는 물건표면에 대하여 방사성동위원소에 의한 오염상태를 검査하고 그 오염을 제거하여야 한다.
- ⑦ 방사선작업구역에서 사용되는 장비가 오염되지 않도록 유의하고 오염되었을 경우 오염도가 법적 허용오염도를 초과하는 것은 방사선구역으로부터 가지고 나가지 아니하도록 한다.
- ⑧ 방사선장해방지에 필요한 주의사항을 준수한다.

- 공기시료의 채취방법과 공기중 방사성오염을 관리하는 방법을 설명하시오. 또 수중 방사성오염의 관리방법에 대하여도 설명하시오.

가. 공기시료의 채취방법

- ① 사람이 호흡하는 위치를 기준으로 하여 약 1.5 m^{높이}에서 채취한다.
- ② 유량율계의 유량율(L/min)은 여과지의 효율에 고려하여 책정할 것
- ③ Air sampler의 동작시간 및 총유량율을 알기위하여 가동시간과 흡입량을 기록할 것
- ④ Air sampler의 유량율계는 반드시 주기적으로 교정하여 사용할 것
- ⑤ 사용할 때 주변환경에 따른 영향을 제거하기 위하여 장치의 보호책을 마련할 것

나. 공기중 방사성오염을 관리하는 방법

- ① Air sampler에 의한 시료수집 및 측정
포집된 시료의 방사능을 측정한 후 채취시간, 채취량 등을 고려하여 농도를 계산하는 방법
- ② 연속 방사성오염 감시기에 의한 방법
시료채집기를 연속적으로 가동하여 여과지의 방사능을 연속적으로 계측, 기록하며 경보장치가 설치되어 있어서 설정치 이상시 알려주어 조치하도록 하는 방법

다. 수중 방사성오염의 관리방법

방사선작업중 수중오염이 발생할 수 있다. 이 때의 수중오염을 관리하기 위한 방법으로는 일반적으로 2가지 방법에 의하여 관리할 수 있다.

- ① 연속 물 모니터링
방사선관리구역내 수중오염이 연속적으로 발생하는 장소 또는 그의 우려가 있는 곳에 Water Monitor를 설치하여 연속적으로 감시하는 방법으로서 일정치이상(이상발생시)일 경우 경보음(Aram)이 발생되도록 되어 있다.
- ② 주기적으로 시료를 채취하는 방법
수중오염이 일시적으로 또는 간헐적으로 발생할 경우에는 주기적으로 액체시료를 채취하여 농축건고후 계측을 실시하는 방법이다.

■ 공기가 오염된 작업장에서 작업자의 체내방사능 섭취량에 영향을 미치는 요인을 개조식으로 기술

- ① 방사성오염농도 및 핵종입자의 물리·화학적 성질
- ② 방사선작업시간
- ③ 방호용구착용여부
- ④ 방사성핵종의 인체의 친화성여부
- ⑤ 핵종의 유효반감기
- ⑥ 작업자의 생리적 요인 (가수, 탈수상태 및 호흡량)

■ 작업조건의 구분

가. 작업조건 A

- ① 연간피폭선량이 선량한도의 3/10을 초과할 것으로 판단되는 조건
- ② 이 조건하에 종사하는 작업인은 특별건강검사를 실시해야 하며 피폭선량을 개별적으로 평가해야 한다. 즉 개인 방사선관리가 수행되어야함
- ③ 연령이 18세이하인 학생, 훈련생 및 작업자는 작업조건 A의 방사선작업은 허용되지 않는다.

나. 작업조건 B

- ① 연간 피폭선량이 연간 선량한도의 3/10을 초과할 가능성이 희박한 조건
- ② 작업 환경이 작업조건 B에 해당하는가를 충실히 검사해야함
- ③ 반드시 개인 검사와 특수건강검사를 할 필요는 없다.

방사선 작업종사자의 고용주가 작업자의 방사선 방어를 위하여 사전에 준비하여야 할 사항

- ① 방사선안전관리프로그램, 방사선관리조직, 방사선방어의 한도, 검사 및 보고등에 관한 사항을 정하는 규정
- ② 방사선관리담당자가 방사선관리활동을 원활히 수행할 수 있는 기술적, 행정적 지원 제공
- ③ 작업자의 교육 및 훈련
- ④ 작업자의 주기적인 의학적 검사
- ⑤ 방사선방어 및 관리활동에 필요한 기록유지
- ⑥ 적절한 방사선관리 및 방어장비와 용구의 제공

■ 방사선 방어의 기본사항

방사선 방어조건을 만족키 위해 다음의 기본적 사항을 준수

- ① 방사선 작업을 위해 적절한 시설, 기구, 방사선 측정기 등을 정비할 것
- ② 방사선 작업종사자가 방사선 작업에 숙달될 수 있도록 방사선 안전관리규정등을 충실히 수행하는 좋은 태도로 몸을 보호하도록 할 것
- ③ 적절한 방사선 안전관리가 행해질 것

■ 개인 방사선 피폭관리의 기본방침

- ① **contain** : 방사선원을 할 수 있는한 좁은 공간에서 폐쇄하여 둘 것
- ② **confine** : 효과적인 이용을 위해 취급, 방사선을 필요한 최소로 할 것
- ③ **control** : 방사선을 충분히 제어하여 관리할 수 있도록 할 것

■ 방사선 안전관리의 제 단계

조사 - 검사 - 측정 - 평가 및 개선권고 - 측정기록 및 보고

가. 조사(investigation)

현존 방사선원과 그 용도, 이미 존재하거나 계획된 물리적 안전조치, 그리고 적용되는 문서로 된 절차관리에 관한 **정보를 수집하고 검토하는 단계**

① 시설에서 수행되는 작업의 목적과 성격

② 방사선원의 위치, 수량 및 형태

- 사용되는 선원의 형태 및 수(개봉, 밀봉선원, 방사선 발생장치)
- 방사능 및 등급
- 방출되는 방사선의 종류와 에너지 흡수재나 감속재를 쓸 경우에는 처음 에너지 spectrum의 변화
- 방사선장의 크기 및 기하학적 구조와 방사선의 방향
- 방사성물질의 방출 및 확산 위험성(유도방사능의 가능성 포함)
- 방사성물질의 화학적 구조 및 물리적 형태

③ 방사선원과 주변 작업지역과의 공간적 분포관계

④ 물리적 안전조치의 형태, 위치, 특성 및 적용범위

- 방어장벽의 위치, 크기 및 구조와 이러한 방어장벽을 통과하거나 산란되어 나오는 방사선 준위
- 방사선원의 저장 취급 운반 및 폐기에 대한 시설의 성격
- 개봉방사성물질의 수용(containment)에 대한 시설구조 및 설계(후드 또는 글로브 박스)
- 환기 및 배기계의 위치와 설계, 이와 관련한 여과 및 방사능 측정장치의 위치와 설계
- 연동장치 경보 및 비상 작동정지 계통의 위치 및 설계
- 설치된 모니터링설비의 위치 및 설계

⑤ 절차관리 및 적용범위

- 방사선관리구역의 설정
- 시설운전중 작업자의 시설 내 및 외부점유정도 및 방사선작업종사자 및 비종사자의 분류
- 방사선원의 사용부하량 및 사용인자
- 각 방사선원 근처에서 작업자가 소비하는 시간
- 운전절차
- 방사선원의 저장, 취급, 운반 및 폐기에 대한 절차
- 이전의 지역 survey기록
- 기존 방사선 방어규칙 및 비상조치계획
- 경험이 없는 작업자들을 위한 안전절차상의 교육형태
- 방사선 안전관리 책임자의 임명

나. 검사(inspection)

측정자는 **개인이 직접적으로 선원의 존재를 입증하고 선원의 상태, 용도, 작동성, 물리적 안전조치의 동작상태 및 건전성, 그리고 작업자의 절차숙지 및 준수여부를 조사한다.**

① 검사단계

- 방사선 방어에 관련된 시설, 작업자, 설비 주변환경 및 시행에 관한 직접적인 지식의 습득
- 방사선 측정에 이루어져야 할 위치결정
- 방사선 방어에 사용되는 모든 물리적 안전조치의 존재와 그 성능을 결정
- 방사선 방어를 위해 확립된 절차관리와의 부합성 정도를 결정

② 방사선원의 검사사항

선원의 존재위치, 확인수단, 건전성, 누설검사

③ 물리적 안전조치의 검사사항

차폐의 적합성, 이동확인, 선원위치변화, 안전장치 및 조치, 공기흐름, 경보장치

④ 절차관리의 검사사항

선원표지, 저장용기표지, 피폭관리절차, 정기측정, 교정, 측정절차, 긴급시 행동, 교육

다. 측정(measurement)

시설의 성격에 따라 방사선장, 표면오염 및 공기오염도를 측정

① 방사선장 측정

지역 서베이에 있어서 방사선장의 측정은 작업자가 받을 수 있는 선량당량을 예측하는 근거가 된다.

서베이는 지역의 작업자의 예상선량당량이 적용 가능한 허용한도 이하이면 다음과 같이 환산할 수 있다.

- X-γ선에 대해 R/h로 측정된 조사선량율은 수학적으로 rad/h의 흡수선량율과 동일하다고 할 수 있으며 신체의 모든 장기에 유효한 rem/h단위의 선량당량율과 같다고 할 수 있다.
- 에너지가 3MeV이하인 β선의 경우, 신체표면에서의 흡수선량율 rad/h는 피부에 대해 유효한 선량당량율 rem/h와 같다고 할 수 있다.
- 중성자의 경우 $4 \times 10^4 \text{ n/cm}^2$ 의 선속밀도는 신체의 모든 부위에서 1rad/h의 흡수선량율과 등가하며 모든 신체 장기(기관)에 대해 선량당량율이 10rem/h와 같다.

② 표면오염 측정

유리성 오염(smear조사법), 고착성 오염(직접법 사용)

③ 공기오염도 측정

라. 평가 및 개선권고

측정결과는 운영인재(operational factor)에 의해 적용가능한 선량한도 또는 DAC와 바로 비교될 수 있는 형태로 환산된다. 이러한 비교결과를 검사중에 얻어진 정보와 함께 시설의 방사선 안정성상태의 평가를 위한 검사중에 얻어진 정보와 함께 시설의 방사선 안정성상태의 평가를 위한 기초자료가 되며 또한 잘못에 대한 보완조치가 취해진 다음 시정조치와 재서베이에 관한 권고를 위한 기초자료가 되기도 한다.

마. 측정기록 및 보고

기록 및 보고결과는 장래의 참고를 위하여 기록되며 책임자에게 보고된다.

- 일반지역 방사선 측정기록 : 5년이상 기록
- 개인 방사선 피폭관리기록 : 영구보존

■ 측정 관리 위치

- ① 작업자가 출입하는 구역으로 선량율이 최대인 위치
- ② 작업자가 항시 작업하는 장소
- ③ 각종 방사선구역의 경계
- ④ 측정점은 작업장 말바닥으로부터 약 1m의 높이인 곳
- ⑤ 전회 측정장소와 동일한 장소동일한 장소로 측정 곤란시 계산하여 산출)
- ⑥ 관리기준치 초과시 작업제한, 차폐체 설치시 측정

오염 제거 및 화재 관련

■ 원자력관계시설에서 화재예방을 위해 조치해두어야 할 사항을 개조식을 기술하시오.

- ① 시설의 설계시에 방사성물질의 저장시설은 **내화구조**로 하여야 한다.
- ② 화재의 발생원이 될 수 있는 **전기나 가스**와 **인화성, 발화성물질**에 대한 관리를 철저히 하여야 한다.
- ③ 주기적으로 **소방훈련**을 실시하며 **교육**을 실시한다.
- ④ 평상시 **방사성물질**의 보관장소, 종류, 수량, 형상을 파악하고 있어야 한다.
- ⑤ 화재에 의한 **비산의 위험성여부**를 파악하고 있어야 하며 소화시 물을 사용해서는 곤란한 지역등 화재시에 대비하여 소방서에 사용 **방사성물질의 특성에 관련된 안내서**를 배포한다.
- ⑥ 방사선관리자 및 소방서 **연락체계**의 수립하여야 한다.
- ⑦ **소화기**, **구급함**, **대피용장비**를 적절한 위치에 비치시킨다.

참고) 화재대책(평상시 점검사항)

- ① 방사성핵종의 보관장소, 그 종류, 수량, 형상 등을 명확히 파악
- ② 화재에 의한 비산의 위험성
- ③ 소화시 물을 사용해서는 곤란한 지역
- ④ 방사선 관리 담당자, 소방서등과의 연락방법

■ 방사선작업중 사고가 발생하였을 때 조치하여야 할 기본원칙과 방사선사고가 발생하였을 경우의 조치 사항에 대해 개조식으로 기술하시오.

가. 방사선 사고의 종류

- ① 방사선피폭 사고
- ② 방사능오염 사고
- ③ 선원의 누설 및 일탈사고
- ④ 차량 또는 시설의 화재사고
- ⑤ 방사성물질의 도난·분실사고

나. 방사선사고시 기본원칙

- ① 인체안전보호의 원칙
- ② 관계자에게 통보의 원칙
- ③ 오염확대 방지의 원칙
- ④ 과대평가의 원칙

다. 사고시의 응급조치

① 사람의 안전확보

피폭자의 안전의 확보가 가장 우선적으로 수행되어야 한다.

② 통보

○ 통보의 우선순위

사고 근방에 있는 자→사업소의 안전관리 담당자 혹은 책임자

○ 통보사항 : **사고의 발생장소, 사고의 개요(화재, 폭발, 파손등), 피해자의 유무**

③ 사고확대방지

사고 등의 긴급시 신속히 적절한 수단을 취하기 위해서는 긴급시 계획을 수립하여 철저히 지켜주어야 한다.

긴급시 계획의 사항 : 긴급시 조치의 구체적인 순서 절차화, 각 조치의 책임소재, 방사선 방어팀의 설치, 교육·훈련실시

라. 방사선 사고가 발생하였을 때 조치사항

- ① 방사선장해를 받은 자 또는 방사선장해를 받은 것으로 보이는 자에 대하여 원자력관계시설에의 **출입시간 단축, 출입금지 또는 방사선피폭우려가 적은 업무로의 전환등 필요한 조치**를 하여야 하며, **지체없이 의사에 의한 진단등 필요한 보건상의 조치**를 하여야 한다.
- ② 지진, 기타 재해에 의하여 원자력관계시설이나 방사성물질 등에 위험이 발생하거나 발생할 우려가 있을 때 및 원자력 관계시설의 고장 및 사고가 발생한 때에는 **그원인을 제거하고 정상상태로 복구**하여야 하며 정상복구가 불가능할 때에는 **피해의 확대방지를 위한 조치**를 취하여야 한다.
- ③ 방사성물질등이 비정상적으로 누출되어 제한구역경계에서 공기중 및 수중 허용농도가 법적 허용농도를 초과하거나, 작업 종사자의 안전이 위협받을 때에는 **파단정고, 구출 등의 긴급 조치**를 하고 **오염확대방지 및 오염제거조치**를 한다.
- ④ 긴급작업에 종사하는 작업자는 **법적허용기준치를 초과하지 않도록 방호대책**을 수립하여야 한다.
- ⑤ 방사성물질등을 다른 장소로 옮길 여유가 있을 경우에는 안전한 장소로 이전하고 그 장소의 주위에 방사능표지를 설치하고 관계자외에는 출입 또는 접근을 금지시킨다.
- ⑥ 아래의 사항에 대해 규제기관에 보고한다.
 - 상황발생 일시 및 장소와 그 원인
 - 발생하였거나 발생할 우려가 있는 방사선장해의 상황
 - 안전조치의 내용 및 계획
- ⑦ 방사성물질의 누설 일탈로 인하여 환경이나 종사자, 일반공중의 위험이 예상되거나 도난·분실한 때 및 방사성물질이 누설되어 인근주민의 긴급대피가 필요한 때에는 그 지역을 관할하는 경찰관서에 이를 지체없이 신고하여야 한다.

마. 사고에 대한 예방조치

- ① 방사선 작업종사자에 대한 **안전취급기술을 숙지**
- ② 장치나 방사성핵종의 정기점검, 정비, **공간선량을 등을 측정하고 누설선량과 오염을 항상 check**한다.
- ③ 방사성핵종의 **엄중한 관리로 분실과 도난 방지**에 노력
- ④ 화재시 피해를 줄이기 위해 **사용하지 않는 방사선은 반드시 저장고에 보관**
- ⑤ 평소에 사고발생시의 조치와 대책을 검토하고 사고처리 절차서의 작성, 작업반의 편성 및 **훈련**을 행해야 한다.

■ α-방사성핵종의 취급상 주의사항과 H-3 취급상의 주의사항에 대해 써시오.

가. α-방사성핵종의 취급상 주의사항

- ① 체내섭취를 방지하기 위하여 인체, 의복, 기구, 작업대, 바닥 등의 표면에 오염이 되지 않도록 한다.(**표면오염방지**)
- ② α방사성핵종의 취급은 반드시 hood나 glove box내에서 취급하고 이들 외부로 α핵종을 꺼낼 때에는 오염이 확산되지 않도록 용기를 사용한다.(**오염경로 차단**)
- ③ α선용 서베이미터로서 오염상태를 수시로 점검한다.(**측정**)
- ④ 철저한 배기 및 배수감시를 한다.(**환경배출감시**)
- ⑤ α선 용액을 얇은 유리병에 넣어두면 α선의 조사로 유리의 재질을 약화되어 파손될 우려가 있으므로 주의해야 한다.
- ⑥ α선을 다른 원소와 다음과 같은 반응으로 중성자를 방출할 수 있으므로 α선을 취급하는 재질의 선택에 주의가 필요하다.(필요시 중성자 서베이미터도 필요하다)



나. ^3H 취급상주의

- ① 에너지(0018 MeV)가 낮아 일반적인 서베이미터로 초기에 표면오염탐지가 어려우므로 수시 및 주기적으로 스머어방 법이나 저에너지β선에 민감함 서베이미터를 이용하여 오염검사를 실시한다.(**표면오염측정**)
- ② 실험에 이용할 경우에는 최소량을 선택하여 실험(**confine**)
- ③ 가스나 먼지상태로 흡입, 섭취되거나 피부를 통해서도 침투될 수 있으므로 산소호흡기를 착용하고 적절한 방호복을 선택하여 피부노출을 방지한다.(**방호장구 착용**)
- ④ H-3에 의한 표면오염이나 사용한 찌꺼기를 바치해두면 H_2O 와 동위체교환반응이 일어나기 쉬우므로 신속히 세염하여 화학반응 미연에 방지한다.(**화학반응 미연에 방지**)
- ⑤ 오염물질이 C-H결합형태일 때에는 일반적인 유기화합물에 의한 오염으로 간주할 수 있고 이 특성에 적합한 제염법을 선택하여야 한다.(**제염방법 선택**)

■ 동물실험과 의료용으로 방사성물질을 사용하였다. 이때 주의하여야 할 사항은 무엇인가?

- ① 동물사육구역은 방사선관리구역으로 설정하고 배설물의 처리에 신중을 기하여야 한다.
- ② 동물에 기생하는 기생충도 배설물로 간주하여 처리
- ③ 동물에 물리거나 할퀴지 않도록 적절한 방호복 및 장갑을 사용한다.
- ④ 동물의 사체도 폐기물로 간주하여 처리한다.
- ⑤ 환자가 사용한 의복, 시트, 환자의 배설물은 오염물로 간주하여 처리한다.
- ⑥ 방사성 핵종이 투여된 환자는 방사선원으로 간주하여 이동에 유의를 하여야 한다.

■ 방사성 오염이 발생하였을 때 오염제거의 원칙과 제염작업을 실시할 때 고려하여야 할 사항에 대해 설명하시오.

비밀봉선원으로 방사선작업이나 실험을 수행하는 경우 벽, 바닥, 실험대(작업대)에서는 항상 방사성오염이 발생할 가능성이 있으며 실험 또는 작업에 이용된 기기나 기구는 더 더욱 방사성물질에 의한 오염의 가능성이 높다. 따라서 작업이나 실험중 방사성오염이 발생되지 않도록 최대한의 주의를 기울여야 하며 만일 오염이 발생한다면 다음의 방법에 따라 제염을 실시하여야 한다.

- ① 계측기로 **방사성오염을 측정하여 오염의 규모(위치, 오염정도, 범위)를 확인**한다.
- ② **조기제염을 실시**한다. 제염을 빨리 할수록 제염 자체가 쉬울 뿐 아니라 오염의 확대도 방지할 수 있다. 따라서 방사성물질에 의한 오염의 여부를 수시로 검사하여 조기에 방사성오염을 발견하도록 하여야 하며 발견시에는 즉시 제염을 실시할 수 있는 준비태세를 갖추고 있어야 한다.
- ③ **오염의 확대를 방지**한다. 오염제거에 있어서 오염면적이나 인체오염부위가 확대되지 않도록 하는 것이 중요하다.
- ④ **방사성폐기물의 처리방안을 강구**한다.
- ⑤ **가능한 한 습식법을 선택**한다. 건식법의 경우 오염의 확산이나 공기오염을 유발하여 내부피폭을 야기시킬 수 있으므로 가급적 습식법으로 제염을 실시한다.
- ⑥ 불의의 사고에 대비하여 평상시 **적절한 제염제 및 장비를 준비**해 두어야 하며 **제염작업에 투입되는 작업종사자의 방사선방어를 위하여 방독면, 방호복, 장호장갑, 방호화를 착용**하도록 한다.
- ⑦ **경제성을 고려**하여야 한다. 제염대상물의 제염비용이나 폐기비용을 고려하여 제염여부를 판단하여야 한다.
- ⑧ 제염후 **제염이 완전하게 되었는 지 확인**한다.
- ⑨ **오염발생원인을 파악**하고 **재발방지대책수립**한 후 교육을 실시

■ 원자로의 배기중에 함유되어 있는 ^{41}Ar 은 방사선 장애방어관점에서 문제시 되고 있다. 다음 물음에 답하여라.

가. ^{41}Ar 의 생성원인

공기중의 안정원소인 ^{40}Ar 이 원자로 압력용기 주변의 중성자에 의해 방사화되어 생성된다. 통상 PWR 1000MW급에서 25 G/년 정도가 환경으로 방출되고 있다.



나. 장애방지상의 방사선측정방법

^{41}Ar 은 불활성가스로 여과지나 활성탄에 의한 방법으로 는 측정할 수 없다.

따라서 전리함이나 포집용기에 일정량을 샘플링하여 그 전리량을 측정하여 검출하는 직접포집법을 사용한다.

다. 허용농도의 산출방법

H-3나 불활성기체는 화학적으로 안정하기 때문에 체내섭취가 잘 안되므로 오염된 공기중에 체류함으로써 외부피폭을 받는다. 따라서 허용농도는 ALI에 의하지 않고 연간 선량한도를 이용하여 산출한다.

■ 고농도의 트리튬(^3H)물이 들어있는 용기가 안전후드 밖에서 파손되었다.

가. 방사선관리기술사로서 취해야 할 사후처리를 3가지 열거하시오.

- ① 종사자의 실험복이나 피부면의 오염상황을 검사하여 오염이 발견되면 제염한다.
- ② 오염확대방지조치를 취하고, 출입을 제한한다.
- ③ 조기에 계획적인 시설의 제염을 실시한다.

나. 당사자의 체내로 섭취된 ^3H 양을 평가하기 위해서는 어떠한 측정을 해야하며, 어떻게 산정해야 하는지 간결하게 기술하시오.

바이오아세이법으로 당사자의 뇨중 ^3H 농도를 측정한 후, 과기부 고시의 식을 이용하여 섭취량을 산출한다.

다. “나”의 측정결과 체내로 섭취된 ^3H 이

$6.9 \times 10^7 \text{Bq}$ 임이 판명되었다. 이것을 근거로 피폭선량을 구하시오. 단, 체중은 60kg , ^3H 물은 온몸에 균등하게 분포하고 있는 것으로 한다. 또 ^3H 의 물리적 반감기는 12년, ^3H 의 생물학적 반감기는 10일, ^3H 의 β 선의 평균에너지는 5.7keV 이다.
(해답) 1.3mSv

라. 사고후 피폭선량을 저감시키기 위하여 취할 수 있는 조치에 대하여 논하시오.

^3H 물은 체내로 흡수되기 쉽지만 생물학적 반감기가 10일이므로 수분을 많이 취하여 빨리 체외로 배출토록 한다.

■ 방사성동위원소를 취급하는 작업실에서 ^{60}Co

용액(1MBq)을 사용중인 실험자로부터 작업실에 인접한 오염검사실의 손발크로스모니터에 의해 신발에 백그라운드의 5배가 되는 오염이 검출되었다는 보고를 받았다.

방사선관리기술사로서 현장에서 취해야 할 조치에 대해 그 내용·방법(사용하는 측정기 종류 포함)을 상세하게 기술하라. 다만 결과적으로 오염은 마루에만 발생하고 실험자의 신발 이외의 의복·신체에는 오염이 없었던 것으로 한다.

① 오염개소의 탐사와 명시

서베이메타(GM계수관식 또는 NaI(Tl)신타레이션)를 사용하여 마루나 실험대 등의 오염개소의 탐사를 실시한다.

오염개소를 발견하면 확인될 수 있도록 분필 등으로 표시를 하여 명시한다.

② 오염확대 방지

작업실에서 오염검사실까지 필요에 따라 출입금지 조치를 내린다. 오염된 신발을 교환하고, 오염된 신발은 불연물로써 폐기한다.

③ 오염의 제거

실험자로부터 사용약제(^{60}Co 용액)의 물리형, 화학형을 청취하여 거기에 부응한 제염방법을 취한다. 통상 물에서 시작하며, 제염 불가능할 때에는 중성세제, 킬레이트 형성제 등의 순서로 제염한다.

④ 오염의 확인과 출입금지 조치의 해제

오염이 제거된 것을 서베이메타로 확인한다. 오염이 없는 것이 확인되면 출입금지를 해제한다.

⑤ 사후조치

재발 방지책을 강구하기 위해 오염발생의 원인을 뚜렷이 밝힌다. 실험자의 조작 등에 문제가 있을 시에는 오염이 재발하지 않도록 교육훈련을 실시한다.

■ 방사성물질을 엮질었을 경우 (일반적인 처리법)

- ① 같은 실의 직원에게 곧 알린다. 그리고 부근에 있는 사람, 설비담당자에게 알린다.(부근에 있는 자 알림)
- ② 오염이 확대되지 않도록 조치한다.(오염확대방지조치)
- ③ 책임자에게 알린다.(통보)
- ④ 오염구역 울타리를 세운다든가, 줄을 친다든가, 표지와 주의사항을 게시하고, 제염관계자 이외의 출입을 금지시킨다.(출입금지와 관련한 재발조치)
- ⑤ 사고현장에 있었던 직원의 신체오염을 검사(신체오염검사)
- ⑥ 제염을 실시한다. 제염중에는 제염작업자 자신에 대한 방사선 방어를 고려한다.(제염실시)
- ⑦ 제염이 완전하게 되었는지를 서베이한다.(오염검사)
- ⑧ 사고발생 원인을 규명하고, 기록하여, 사고재발 방지의 자료로 활용한다.(원인분석 및 재발방지대책 수립)

■ 방사성물질 취급중 상처를 입었을 경우 응급처치법

- ① 15초 이내에 대량의 흐르는 물로 상처를 벌려서 씻는다. 상처를 벌리면서 씻은 가제로 부드럽게 문지른다. 상처에 더러운 것이 끼어 있으면 젖은가제에 액상식염을 묻혀서 씻어낸다.
- ② 15초 이내에 의사의 도움을 받지 못할 경우라도, 상처가 위험도가 낮은 방사성핵종에 오염되었을 경우에는, 정맥관의 지혈이 되는 경우에 한해 지혈을 한다. 그렇지 않을 경우에는 적어도 5분간 씻는 것을 계속한다.
- ③ 대단히 위험한 핵종으로 오염되었을 경우에는 지혈하고, 의사한테로 간다. 지혈은 정맥만을 하는 것이 좋다.
- ④ 가능한 한 빨리 의사에게 연락한다. 상처의 오염을 측정하여, 오염이 남아있으면 처치를 한다.

밀 봉 및 비 밀 봉 R I

■ 밀봉방사성동위원소의 취급방법 및 주의사항에 대하여 기술하시오.

X-ray 발생장치의 취급 및 주의사항은 아래 사항을 준용한다.

밀봉선원이란 기계적 강도가 충분하여 파손될 우려가 없고 부식되기 어려운 용기에 넣은 방사성물질로서 사용할 때 방사선은 외부로 방출되지만 방사성물질은 누출되지 못하도록 되어 있는 것을 말한다. 이들을 사용목적에 따라 분류하면 교정용선원, 방사선원이용 계측기용선원, 비파괴검사용선원, 공업용 대규모 조사선원, 의료용선원으로 분류할 수 있다.

밀봉선원의 취급방법 및 주의사항

- ① 선원의 소재가 분명하여야 하고 선원목록도 철저히 유지 관리되어야 한다.(선원의 소재 파악 및 관리)
- ② 만약 선원의 소재가 분명치 않거나 분실한 경우에는 안전관리 책임자에게 즉시 연락하여야 할 것이고, 분실한 사실이 확실하면 규제당국에 보고(분실시 당국에 보고)
- ③ 선원의 취급시에는 가능한 수단을 동원하여 피폭선량을 최소가 되도록 할 것(취급시 피폭선량 최소화)
- ④ 선원사용으로 인한 방사선 장애를 줄이기 위하여 안전수칙이나 주의사항 등이 시설출입구나 시설의 경계에 게시되어야 하고 필요시 끈이나 철책 등을 이용 불필요한 사람의 출입을 막는다.
(출입제한방안 강구)
- ⑤ 일반적으로 밀봉선원은 사람이 없는 시설내에서 사용해야 한다.
(무인 시설내에 취급)
- ⑥ 선원은 손으로 취급해서는 안되며 손잡이가 달린 적절한 도구(tong, forcep)로 취급해야 한다.(거리 이격)
- ⑦ 밀봉선원 사용할 때에는 작업장내에 사람이 있는 지 확인을 하고 조사중, 비조사중이라는 표시판을 설치하여야 하며, 3000 Ci 이상의 방사성물질을 사용할 때에는 자동표시판이나 인터록장치를 하여야 한다. (사용여부 명시)
- ⑧ 취급작업 전에 철저한 작업계획을 세워 제한된(가능한 짧은 시간)시간내에 작업을 끝내도록 하여야 한다.(필요시 모형실험(Mock-up training)이나 반복실험(dry-run training)실시)
(작업시간 단축)
- ⑨ 방사선 피폭을 줄이기 위하여 차폐체를 설치시 작업시간이 길어지므로 작업시간-차폐체 설치의 상관관계에서 최선의 방안을 강구한다.(차폐)

참고) 밀봉선원 또는 방사선 발생장치 사용할 때의 주의 사항

- ① 사용전 위험구역내에 사람이 없는지를 확인할 것
- ② “조사중”, “비조사중”이라는 표시판을 사람이 잘 볼 수 있는 장소에 부착하여야 하고 일정한도를 초과하는 방사성 핵종이나 방사선 발생장치에 대해서는 자동표시판이나 연동(interlock)장치를 설치할 것
- ③ 한사람의 운전책임자를 선정하고 모든 조작은 책임자의 지시 감독하에 이루어 지도록 할 것
- ④ 위험구역 출입시 반드시 운전책임자의 지시에 따라야 하고 survey meter를 이용하여 방사선의 누출여부 확인
- ⑤ 조사중이나 비조사중일 때의 공간선량률 분포의 측정결과를 취급자에게 주지시켜 놓을 것
- ⑥ 위험한 장소에는 철책등을 설치하여 취급자 이외의 자가 접근하지 못하도록 할 것
- ⑦ 사용개시 및 종료시에는 반드시 survey meter를 이용하여 방사선의 누출여부 확인
- ⑧ 부근에 가연성물질은 가능한 한 방치하면 안되고 화재시를 대비한 조치를 강구할 것
- ⑨ 기타 주의사항
 - 개인방사선 피폭선량측정기를 소지
 - 운전일지에 사용기록을 기록
 - 수시로 조사장치의 기능 등을 점검하고 사고발생방지를 위한 노력

■ 비밀봉선원에 의한 오염의 관리방법에 대해 설명

비밀봉선원은 밀봉선원에 비해 그 방사능은 작으나 선원이 직접 외부에 누출되어 있으므로 체외피폭 외에 오염의 확산에 의한 환경오염 및 체내오염을 유발할 수 있어 그 취급에 각별히 유의하여야 한다.

비밀봉선원의 오염관리방법은 **체내섭취의 방지, 인체표면오염의 방지, 시설오염의 방지**의 수단을 강구하여야 한다.

가. 체내섭취의 방지

① 방사성물질 섭취에 주의

방사선관리구역에서 흡연, 음료수 섭취, 음식물 섭취금지

② 가스 및 증기 흡입방지

가스 및 증기가 발생할 가능성이 있는 방사성핵종은 완전한 기밀한 용기(유리등으로 된 용기)에 보관하고, **용기내의 압력은 대기압보다 약간 낮게 하는 것이 좋다.**

- 파손의 우려가 있는 용기는 후드 등에 보관하는 것이 좋다.
- 저농도의 방사성 액체를 증발 농축하는 경우에도 후드 내에서 행한다.

③ 먼지의 흡입방지

분말상의 방사성핵종을 취급할 경우에는 반드시 glove box 내에서 행하고, glove box내의 압력은 약간 부압이 되게 한다. 특히, α핵종을 취급할 때는 특별히 신중한 주의가 필요하다.

나. 인체표면오염의 방지

- ① 오염가능성이 있는 작업전에 적당한 barrier cream을 바른다.
- ② 손이 거칠어 지면 오염시 제염이 어려우므로 손이 거칠어 지지 않도록 한다.
- ③ 손톱을 짧게 깎는 것이 좋다.
- ④ 피부에 외상이 있을 경우 방사성핵종을 취급하지말 것
- ⑤ 방사성핵종은 손으로 직접 만지지 말고 고무장갑이나 적당한 도구 사용
- ⑥ 경우에 따라 특별한 방어복이나 방어안경을 착용하는 것이 좋다.
- ⑦ 오염된 손이나 장갑을 끈채로 가스 및 수도꼭지, 전기스위치 등을 조작하지 않아야 하고, 부득이한 경우에는 종이 수건 등을 사용하여 직접 접촉하지 않도록 한다.
- ⑧ 방사선관리구역을 떠날 때에는 반드시 손을 씻어야 하고 필요시 샤워를 한다.

다. 시설오염의 방지

- ① 작업실에는 전용의 신발이나 작업복을 비치하여 사용하고 이것을 착용하고 비관리구역으로 나가지 않아야 하며, 이때 오염정도에 따라 색으로 구분하여 두면 효과적이다.
- ② 오염된 기기나 공구 등을 허가 없이 밖으로 반출금지
- ③ 방사성 핵종을 취급할 때에는 취급장소에 폴리에틸렌필름 등을 깔고 그 위에서 스테인레스나 플라스틱등으로 된 적당한 크기의 접시를 준비하여 취급한다.
- ④ 작업에 사용된 기기 및 공구등은 작업완료후 제염하거나 폐기 등의 조치를 취한다.
- ⑤ 오염된 물건과 비오염된 물건을 보관하는 장소에는 명확하게 구분하여 표시하여 놓는다.

■ 비밀봉 선원취급시의 일반적인 고려사항

- ① 외부방사선 피폭 외에 오염의 확산과 인체내부오염 발생가능성
- ② 취급시설을 특별히 설계되어야 하고 감시되어야 함
- ③ 취급을 위한 장비나 공구의 이동을 제한구역이외의 장소로 이전되지 않도록 주의
- ④ 오염되지 않는 지역에서 사용된 장비는 오염구역으로 가져가지 않아야 하고 오염구역에서 반출되는 모든 물품의 오염준위는 제한치 이하이어야 함
- ⑤ 선원의 조작상태, 총 취급량, 비방사능, 독성, 물리적, 화학적 특성에 따른 주의 요망

■ 비밀봉선원을 취급하는 시설설계상의 일반적인 고려사항

1) 부지의 선정

- ① 지반이 견고하고
- ② 화재 또는 침수의 우려가 없어야 하고
- ③ 배기가스가 잘 희석되는 지역이어야 하며
- ④ 수도, 전기 등의 사용이 편리한 지역이어야 한다.
- ⑤ 인구 밀집지역을 피하는 것이 좋으나 어려우면 충분한 안전설계가 되어야 한다.

2) 중앙집중화

- ① 경제적이거나 방사선관리측면에서 볼 때 부지내 시설은 집중 관리할 수 있도록 설계하여야 한다.
- ② 그리고 가능한 독립적인 구조로 설계하여 민일의 사고시 다른 시설에 영향이 없도록 하여야 한다.

3) 부지 내에서의 위치

- ① 부지경계선으로 부터 되도록 멀리 떨어진 곳에 위치하는 것이 좋고
- ② 사고사나 화재시를 대비하여 위치를 선정하여야 한다.

4) 상호오염의 방지

- ① 밀봉선원 및 방사선발생장치를 이용하는 시설과 비밀봉선원을 취급하는 시설과는 출입구를 분리하는 것이 좋으며
- ② 저준위 방사성핵종과 고준위 방사성핵종을 취급하는 시설의 출입구도 분리하는 것이 좋다.

5) 방사선 차폐

방사성핵종을 생성하는 가속기시설이나 대용량의 방사성핵종을 취급하는 시설에서는 건물설계시 차폐가 고려되어야 하지만 저용량의 방사성동위원소를 취급하는 방사화학실험실에서는 보통 납벽돌이나 콘크리트벽돌 등의 이동형 차폐체가 이용된다.

6) 작업실의 배치 : 방사능 준위에 따라 배치하여야 한다.

7) 오염방지

건물의 구조나 표면의 오염이 쉽게 되지 않도록 되어 있어야 한다.

8) 배수설비 및 배기설비

적절한 배수설비 및 배기설비를 갖추고 있어야 한다.

9) 폐기물처리

적절한 폐기물처리시설이나 일시적인 폐기물 보관시설이 되어 있어야 한다.

10) 방화대책

주요 구조물은 내화구조로 하든가 불연재로 되어 있어야 하며, 방화문의 설치가 필요하다.

원 자 력 발 전 소 관 련

■ 원자력발전소의 안정성에 대해 설명하시오.

가. 다중방어방식

원자력발전소는 어떠한 경우에도 방사성물질로 부터 주변 사람들의 안전을 확보하는 것을 필수조건으로 하고 있다. 이를 위해 필요한 안전기능으로는

- ① 원자로를 정지시킨다.
- ② 연료의 열을 제거하기 위해 냉각시킨다.
- ③ 방사성물질을 밀폐시킨다

고 하는 3가지가 있다.

원자력발전소는 안전확보의 기본이라 할 수 있는 다중방어방식을 도입하여 다음과 같은 안전대책을 수립하고 있다.

1) 운전중 이상방지

- ① 기기, 기계, 장치를 고성능 고품질의 재료를 사용한다.
- ② 정기적으로 보수, 점검을 실시한다.
- ③ Interlock System & Fail Safe System을 여러 곳에 설치한다.
 - Interlock System : 운전원의 잘못된 조작이나 인위적인 과실이 있을 경우 그 잘못된 조작이나 과실이 더 이상 진행되지 못하도록 방어하는 장치
 - Fail Safe System : 기기, 기계, 장치가 고장났을 경우 안전한 방향으로 움직이도록 하여 안전을 확보하는 장치

2) 이상시 사고로의 확대방지

원자로는 그 자체의 압력, 온도, 출력 등의 상태를 항상 감시하면서 그것을 조금이나마 정상상태를 벗어나면 스스로 그것을 찾아내어 자동적으로 원상복구시킨다. 원상복구가 되지 않으면 원자로는 자동으로 정지하게 된다. 이러한 동작 기능을 가진 설비를 2대 이상 설치하여 한쪽이 작동하지 않더라도 다른 한쪽이 그 기능을 수행하도록 설계되어 있다.

3) 사고시 주변에의 영향의 방지

상기와 같은 안전대책에 만전을 기하고 있으므로 대량의 방사성물질의 누출은 있을 수 없다. 그러나 만약의 경우 가장 사고의 발생에 대비하여 여러 대의 비상용 노심냉각장치(ECCS)가 설치되어 있다.

나. 5중 방호벽

만약의 사태에 대비하여 사고가 나더라도 방사성물질은 원자로 격납용기내에 밀폐되도록 5중의 방호벽에 둘러싸여 있다.

- ① 제1방벽 : 지르칼로이 합금으로된 핵연료피복관
- ② 제2방벽 : 원전연료와 원자로냉각재를 담고있는 두께 20mm 이상의 강철로 된 용기
- ③ 제3방벽 : 원자로주변을 싸고 있는 콘크리트벽
- ④ 제4방벽 : 원자로 내부계통을 싸고 있는 내부철판
- ⑤ 제5방벽 : 동형태의 두께 76-120 cm의 콘크리트로 된 원자로건물

다. 원자로의 고유의 안정성

원자로는 어떤 원인에 의해 출력이 변하여 냉각재와 연료의 온도가 상승하게 되면 원전연료의 핵분열횟수가 감소되어 처음출력상태로 되돌아 가려는 특성을 가지고 있다. 즉, 어떤 이유로 중성자수가 갑자기 증가하면 핵분열횟수가 증가하게 되어 출력이 상승하게 된다. 이렇게 되면 원자로의 냉각재의 온도가 급격히 증가하고 이에 따라 냉각재인 물의 부피가 팽창하면서 물의 밀도가 내려가서 중성자의 감속능력을 떨어뜨리게 되어 핵분열에 필요한 열중성자의 수가 줄어들게 된다. **(보이드효과)**

또 원전연료에 97%를 차지하는 핵분열을 일으키지 않는 U-238은 온도가 올라갈수록 중성자를 더욱 많이 흡수하는 성질을 가지고 있으므로 핵분열을 일으키는 중성자수가 줄어들게 된다. **(도플러효과)**

결국 이 두가지 현상으로 핵분열횟수가 줄어들게 되고 이에 따라 다시 원자로 냉각재의 온도가 내려가게 된다. 이와 같이 원자로에 어떤 변화가 생기면 그 변화에 대한 영향을 억제하여 처음의 출력상태로 되돌리는 특성을 **원자로의 고유안전성**이라고 한다.

■ 원자력발전소의 방사선비상의 종류를 들고 비상시 방사선방호활동에 대하여 기술하시오. 또 방사선비상계획서작성의 기준이 되는 내용을 쓰시오.

이 문제는 방사성낙진이 예상되는 지역에서 취하여야 할 조치에 준용할 수 있다.

가. 원자력발전소의 비상의 종류

원자력발전소에서는 사고발생에 대비하여 비상발령기준을 정하여 비상상황에 따라 다음의 3종류로 분류하여 비상조치를 취하도록 하고 있다.

구 분	상	황	부지경계(반경 700 m)에서 예상피폭 선량율 (mrem/hr)
백색비상 (Alert)	완전의 안전도를 저해하거나 저해시킬 우려가 발생하거나 진행중인 경우	전 신	10-50
		갑상선	50-250
청색비상 (Site area emergency)	주민보호를 위한 심각한 사태가 발생했거나 진행중인 경우	전 신	50-1000
		갑상선	250-5000
적색비상 (General emergency)	격납용기의 건전성 상실가능성과 함께 노심손상 또는 노심용융의 사고가 발생했거나 진행중인 경우	전 신	1000이상
		갑상선	5000이상
	비상조작발족 및 주민대피		

나. 방사선방호활동

방사선방호활동이란 사고로 인한 원자력발전소의 종사자와 주민의 방사선해해를 최소화를 위해 비상발령시 부터 해체후에 취하는 후속조치를 포함한 전반적인 활동을 말한다. 방사선방호활동은 소내 방사선방호활동과 소외방사선방호활동으로 나눌수 있다.

1) 소내 방사선방호활동

- ① 비상발령 및 사고상황을 단시간(10분정도) 이내에 전파하여 비상체제를 갖추고 비상대책반을 운영한다.
- ② 방호복 및 방사선방호장비를 이용하여 피폭과 오염을 방지한다.
- ③ 비상작업에 종사하는 자는 피폭제한치(간접작업 : 10 rem)을 초과하지 않도록 한다.
- ④ 소내출입을 통제하고 사고진입에 관련이 없는 직원 및 출입자를 대피시킨다.
- ⑤ 사고발생구역에 대한 방사선진입활동을 비상계획서에 따라 실시한다.

2) 소외 방사선방호활동

주민에 대한 소외방사선방호활동은 주민예상피폭선량평가, 주민보호대책 수립, 피폭최소화대책수립으로 요약 할 수 있다.

- ① 소외의 비상지역 범위를 선정하고 주민에 대하여 사고 발생 및 대피요령, 안내사항에 대하여 홍보(자체스피크(방송), 가두방송, 마스크)를 계속적으로 실시한다.
- ② 방사선감시를 계속적으로 시행하여 관련기관에 보고 및 통보하고 주민들을 안전한 지역으로 소개시킨다. 이때 피폭을 최소화 할 수 있는 경로를 이용하여야 한다.
- ③ 누출방사성핵종을 예측 및 파악, 예상주민피폭선량을 평가하여 주민방호대책지침(PAG)을 수립하고 주택중이 불활성기체나 I-131인지를 파악하고 I-131이라면 안정옥소제를 투여하여 갑상선장해를 예방한다.
- ④ 주민의 피폭을 최소화할 수 있는 대책을 수립하여 옥내로 대피시키고 창문을 단도록 조치한다.
- ⑤ 안전성이 확인될때까지 오염된 음료수나 음식물의 섭취를 제한시킨다.
- ⑥ 오염된 토양이나 해양에 대한 제염대책 및 오염최소화방안을 수립하여 활용한다.

다. 방사선비상 계획서 작성의 기준

- ① 비상조직 및 조직별 임무와 책임에 관한 사항
- ② 비상관련 시설 확보현황
- ③ 비상시 환경 및 원자로주변 모니터링 지침
- ④ 보고 및 조치사항
- ⑤ 비상활동 및 비상복구활동
- ⑥ 비상조건 식별 및 분류를 위한 지침 및 적절한 대응책
- ⑦ 비상사고시 주민보호대책지침(PAG)에 관한 사항
- ⑧ 비상시 방사선방호활동 지침에 관한 사항
- ⑨ 비상대책팀 및 원자력발전소 종사자의 훈련지침
- ⑩ 피폭선량평가 지침

■ 원자력발전소의 유도핵반응의 종류를 들고 간략하게 설명하시오.

- ① (n, n) : 기본적인 산란반응
- ② (α, n) , (γ, n) : 중성자생성반응
- ③ (n, p) : 비등수형원자로(BWR)의 N-16생성반응
- ④ (n, γ) : 방사화반응(방사성물질생성반응)
- ⑤ (n, f) : 출력운전에 이용한다 (방사성물질 생성반응)
- ⑥ (n, α) , (n, β) , (n, f) , (n, p) : 중성자검출반응

■ 원자력발전소에서 발생하는 방사성핵종중 방사선관리측면에서 볼 때 주요한 핵종을 열거하고 그 발생원인을 설명하시오.

원자력발전소에서 발생하는 핵종은 크게 핵분열생성물, 방사화 생성물로 나눌 수 있다. 그 중 방사선관리 관점에서 주요한 핵종을 설명하면 다음과 같다.

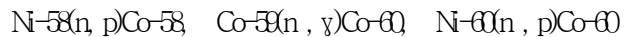
가. 핵분열생성물

원자력발전소의 핵연료로 사용되는 U-235가 열중성자에 의해 핵분열할 때 질량수 72 - 160 정도의 핵분열생성물이 생기며 95 및 140부근의 질량수를 가진 핵종이 가장 많이 생성되며 118부근의 핵종을 가장 작게 생성한다. 발생하는 생성물로서 방사선관리관점에서 중요한 핵종은 Xe-133, Kr-85이며 이들은 기체방사성폐기물의 대부분을 차지한다. 또한 Xe-135는 중성자를 잘 흡수하면서 분열을 일으키지 않기 때문에 분열을 일으킬 수 있는 중성자수를 감소시키는 역할을 하며 Br-87은 지발중성자를 내는 핵분열생성물로 중요하다. Cs-133, Cs-137의 핵분열생성물 또한 방사선방호 측면에서 중요하다.

나. 방사화생성물

원자로내에서 중성자의 조사를 받아서 생성되는 N-16은 O-16 (n, p) N-16의 반응에 의해 생기며 에너지가 매우 높고 반감기가 매우 짧다. 이는 원자로 가동중에만 영향을 미친다. 또한 외부로 부터 유입된 공기중의 Ar-40은 중성자조사에 의해 Ar-40 (n, γ) Ar-41 반응을 일으켜 불활성기체를 생성한다. H-2 (n, γ) H-3반응에 의해 생성된 H-3는 저에너지β선 방출체지만 측정이 어렵고 반감기가 길기 때문에 문제시되며 특히 CANDU형 원자로에서는 중요하다.

한편, 원자로계통의 합금들이 부식되고 방사화되어 계통내를 순환하면서 특정한 부분에 침적하게되는 핵종이 있다. 이 핵종에는 Co-58, Co-60이 대부분이며 원자력발전소에서 체외피폭의 대부분은 이들 핵종에 기인한다.



- 가압 경수로형 원자로(PWR) 냉각재 중에 존재하는 N^{16} 의 생성경로(생성원, 반감기, 붕괴 형식 등)를 설명하고 이 동위원소가 문제시 되고있는 이유와 대책을 기술

가. 생성 경로

원자로 계통수(물)는 산소와 수소로 되어 있으며 이중 산소는 자연계에서 주로 O^{16} (99.8%)과 O^{17} (0.037%)의 동위원소로 구성된다. 이들 산소 원자가 원자로 내에서 고 에너지의 중성자에 조사되면서 고 에너지 방사성 물질인 N^{16} 으로 전환된다.

- 생성반응 : $^{16}_8O + n \rightarrow ^{16}_7N + p$
- 붕괴형식 :

$$^{16}_7N \xrightarrow{7.1\text{초}} ^{16}_8O + \beta^- + \gamma(6\text{MeV})$$

나. 문제시 되는 이유

이 반응에서 고 에너지의 감마선(N^{16} 의 경우 613 MeV)을 수반하므로 원자로 냉각재가 자나는 기기 주위에는 차폐를 요한다. (전형적인 4-유로 발전소의 경우 전출력 운전중 노심 출구에 서의 N^{16} 방사능은 약 90G/cc 정도이다.)

다. 대책 (제거방법)

핵종은 매우 빨리 붕괴(반감기 7.1초)하기 때문에 1분 정도의 붕괴시간이면 충분히 제거될 수 있다. 따라서 원자로 출구측 시료 채취관에 붕괴코일(Decay Coil)을 설치하는데, 일반적으로 붕괴코일에서 자연되는 시간이 40~60초 정도이며 나머지 시료관에서의 자연시간을 20초정도로 설계한다.

기 타

■ 자연방사선원중 방사선방어의 대상으로 하는 예와 인공방사선원중 방사선방어 대상에서 제외시키는 예를 들고 그 이유를 설명하시오.

자연방사선의 준위가 인간의 제활동에 따른 인공적인 경우에 기술적으로 높아진 자연방사선(Technologically Modified Natural Radiation)이라고 부른다. 이들은 인간의 힘으로 제어가 가능하기 때문에 방사선방어의 대상이 된다.

ICRP 60에서는 다음의 행위에 따르는 자연방사선의 피폭은 직업피폭에 포함하도록 하고 있다.

- ① 규제기관에 의하여 라돈의 주의가 필요한 작업장에서의 작업시
- ② 규제기관이 인정한 양의 천연방사성물질을 포함한 물질의 사용·저장
- ③ 제트여객기 운항 승무원이 우주선의 강도가 높은 고공비행을 함으로서 얻는 피폭
- ④ 우주비행

인공방사선원중 방사선방어의 대상으로 하지 않는 예 (본질적인 제어가 불가능하다)

대기관내의 핵실험에 의한 방사성낙진에 의한 피폭

■ 주거내에서 라돈에 의한 대중피폭의 리스크를 계산함에 있어서 우라늄광산의 데이터를 사용하였다면 어떤 문제점이 있겠는가 설명하시오.

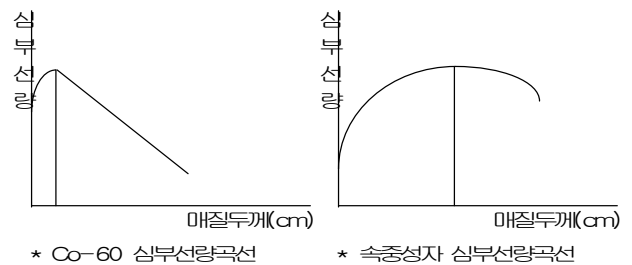
우라늄광산의 U-238이 α 붕괴하여 중간생성물인 Ra-226이 되고 다시 α 붕괴하여 Rn이 된다. 따라서 주거지보다는 훨씬 많은 라돈가스가 존재하는 지역이므로 우라늄광산의 데이터를 사용하였다면 일반대중의 라돈에 의한 리스크를 과대평가하게 된다. 또한 광산에 근무하는 작업자는 라돈가스외에 폐질환을 유발하는 많은 인자에 노출되어있다. 즉 라돈가스에 의한 리스크와 일 반재해에 의한 리스크의 구별이 어려우며 경우에 따라서는 라돈에 의한 리스크로 간주해버릴 수도 있다. 이렇게 되면 라돈가스에 의한 위험을 과대평가하게 될 가능성이 높다.

■ 방사선치료에 쓰이는 Co-60 γ 선원과 속중성자선의 심부선량곡선을 도시하고 각각의 생물학적 작용을 비교, 설명하시오.

Co-60 γ 선은 그 방출에너지가 1.17 MeV, 1.33 MeV로써 심부 조직에 조사되었을 때 아래 그림과 같이 하전입자평형 상태를 이루는 두께에서 최대가 된 후 감소한다. 하전입자 평형을 이루는 두께는 γ 선의 에너지와 관련되는 데 에너지가 낮으면 그 두께가 작아지고 에너지가 높아지면 그 두께도 두꺼워진다. 보통 Co-60은 0.5 cm내외에서 최대를 이룬 후 급격히 감소한다.

반면에 속중성자는 비하전입자로서 피부조직에 침투할수록 서서히 증가되어 일정한 값에 도달한 후 서서히 감소하며 그 최대가 되는 두께도 γ 선보다 훨씬 깊다.

따라서 생물학적 작용도 Co-60은 1 cm이하의 두께에 있는 세포가 손상을 받는다. 속중성자의 경우에는 인체 깊숙한 조직에서 최대를 나타내며 서서히 감소하기 때문에 중성자가 통과하는 데 위치하는 거의 모든 세포가 손상을 받게 된다.



■ 전리방사선에 의한 생물학적 효과의 특징을 쓰고 방사선의 확률적 영향과 결정적 영향의 분자수준의 장애가 임상적장애로 발전하는 과정을 설명

가. 전리방사선에 의한 생물학적 효과의 특징

- ① 매우 작은 양의 흡수에너지가 큰 생물학적 효과를 나타낸다
- ② 선량-효과 관계곡선이 특이하다.

나. 분자수준의 장애가 임상적장애로 발전하는 과정

분자수준의 손상	세포수준손상	임상적 장애	방사선의 영향
DNA 이중고리 절단	돌연 변이	생식세포	유전적 손상
		체 세포	암
	세포 치사	생식세포	불임
		체 세포	장기/조직 장애
			확률적 영향
			결정적 영향

■ 방사선작업종사자의 건강진단을 시행하는 목적

방사선작업종사자의 개인관리의 일환으로 의학적 감사가 시행되나 방사선장해의 조기발견이라는 의미에서는 별로 도움이 되지 않는다. 왜냐하면 방사선에 의한 임상적 징후는 0.25 Gy 이상에서 발생되기 때문이다. 따라서 건강진단은 다음의 목적으로 행한다.

- ① 작업자의 건강상태를 종합적으로 평가하여 간접적으로 작업환경 및 상황을 평가한다.
- ② 작업자의 건강상태를 파악하여 계속적으로 작업을 수행할 수 있는지의 여부를 판단한다.
- ③ 사고시의 피폭 또는 직업병이 발생하였을 경우에 도움을 주기위한 기초적 정보를 제공한다.

■ 개인선량계를 2개 또는 2종이상 착용하는 경우의 예를 들어라.

- ① 개인선량계의 감도, 방향의존성, 에너지의존성이 문제가 되는 경우
- ② 혼합방사선장에서 방사선의 종류를 구분하여 측정하고 자하는 경우
- ③ 정확하고 신속한 측정이 문제가 되는 경우
- ④ 문제가 되는 선량범위를 1개의 선량계로 전부 측정하고자하는 경우

■ 임신중 태아의 방사선 피폭에 대하여 기술하고 모체의 의료피폭시 태아의 방사선방어를 위하여 고려하여야 할 사항을 설명하시오.

임신중에 피폭된 태아에게서 발생할 수 있는 장해는 크게 4가지로 분류할 수 있다.

- 1) 배아 또는 태아사망
- 2) 기형 또는 불구 발생
- 3) 지능장애
- 4) 유전형질의 변화

임신 3주 이내	착상실패로 인하여 배아 또는 태아의 사망이 발생한다. 1 mSv 이하에서는 발생하지 않는다.
4주 ~ 출산기	장기의 기형이 발생(결정적 영향 : 발단선량 0.1 Sv)되며 출생후 암발생확율이 증가된다(확률적 영향) 히로시마 & 나가사키의 원폭피폭자자료에 의하면 임신 8 - 15주 사이에 피폭된 사람에게서 지능장애가 관찰되는데 30 IQ point/Sv이며 0.1 Sv 이하일 경우에는 IQ분포가 변화없으므로 결정적 영향이다. 지능장애확율계수는 0.4/Sv이다.

모체의 의료피폭시 방사선방어상 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 임신가능한 연령의 여성하복부를 포함한 방사선진단에서 긴급을 필요로 하지 않는 한 Ten Day Rule을 적용하여 월경개시 10일 이내에 실시한다. 이는 임신가능성이 월경개시 10일 이내에는 희박하기 때문이다.
- ② 태아의 X 선진단은 정당화판단을 신중히 한 다음 최적화를 지향하여야 한다.
- ③ 임신이 확인된 여성에 대해서는 여성의 하복부표면에 대한 보조유효한도로서 2mSv를 적용하고 방사성핵종의 섭취를 ALI의 1/20로 제한하여 태아를 보호하여야 한다.

■ 세포에 방사선이 조사되었을 때 방사선에 의한 염색체이상에 대하여 설명하시오.

세포의 휴지기에 방사선이 조사되었을 때 발생하는 염색체이상으로는 크게 결실, 역위, 중복, 전좌의 4가지가 있다.

- ① 결실 : 염색체의 일부가 절단되어 세포분열과정에서 일부 염색체가 없어지는 현상
- ② 역위 : 절단된 염색체가 결실되지는 않으나 위치가 바뀌는 현상
- ③ 중복 : 한 상동염색체내에서 절단된 염색체의 한부분이 다른 절단된 부분에 부착되는 현상
- ④ 전좌 : 염색체의 일부가 절단되어 다른 염색체에 부착되는 것으로 한 상동염색체에서 다른 상동염색체로 이동한다.

■ 환경방사선(능)의 측정자료를 이용한 주민피폭선량 평가방식의 실제적용에서의 문제점을 지적하고 이의 극복을 위한 피폭선량평가방법을 설명하시오.

환경방사선(능)의 측정자료를 이용하여 주민피폭선량을 평가하는 것은 환경방사선(능)의 준위가 너무 낮아 방사선계측기로 측정할 수 없는 경우가 많을 뿐만 아니라 자연방사선핵종과 원자력시설에서 방출된 방사성핵종의 정확한 구분이 어렵기 때문에 실제적용시에는 어려움이 많다.

따라서 원자력시설 주변의 주민피폭선량평가는 실제 환경방사선(능) 측정자료를 이용하기 보다는 이론적 평가법이 많이 이용되고 있다.

이 평가방식은 방사성물질이 방출되어 사람에게 도달하는 복잡한 과정을 수학적 모형으로 모델링한 전산코드를 이용하여 환경중 방사성 농도를 계산하고 결정집단, 결정핵종, 결정경로를 규정하여 주민피폭선량을 계산한다.

피폭평가모델은 크게 방사성물질이 인체에 도달하는 경로를 설명하는 Food-Chain/Inhalation Pathway Model 과 인체내 방사성물질의 분포를 평가하는 Physiological Model로 구분된다.

■ 방사성물질이 환경에서 인간에게 영향을 주는 경로를 설명하시오.

원자력시설에서 방출된 방사성물질에 의해 주변주민이 받는 피폭은 크게 체내피폭과 체외피폭으로 나눌 수 있다.

체외피폭은 불활성가스 구름에 의해 직접피폭을 받거나 침적된 방사성물질에 의해 방사선을 받는 것을 말하며 체내피폭은 호흡이나 물, 음식물, 농산물, 수산물, 축산물의 섭취에 의해 피폭받는 것을 말한다. 이들의 피폭경로를 알아보면 다음과 같다.

가. 체외피폭경로

Source → Man
 Source → Water → Man
 Source → Water → Deposition → Man
 Source → Air → Man
 Source → Air → Soil → Man

나. 체내피폭경로

Source → Water → Man
 Source → Water → Aquatic Plants & Animals → Man
 Source → Water → Soil → Land Plants & Animals → Man
 Source → Air → Man
 Source → Air → Land Plants & Animals → Man