

방사선관리학

4강 방사선 방호에 적용된 이론



책임을 다하면 위대함으로 돌아온다

Kim kee bog

학습목표

1. 방사선방어 측면시 RBE, OER, LET에 대해 학습한다.
2. 방사선방호에 적용된 이론에 대해 학습한다.

등가선량의 방사선가중치, 유효선량의 조직가중치

1977년 권고(ICRP 1977): ICRP는 확률론적 영향을 관리하기 인체의 다양한 조직 및 장기 선량당량의 **가중 합**으로 정의하며, 가중치를 '조직가중치'로 명명되었다.

1978년 스톡홀름 회의에서 ICRP는 이 새로운 가중선량을 '유효선량당량'으로 명명했다.(ICRP 1978)

동시에 선량의 SI단위가 채택되어 rad는 gray_(Gy)로, rem은 sievert_(Sv)로 대체되었다.

1990년 권고(ICRP 1990): 방호 목적을 위해 조직이나 장기 전체에 평균한 흡수선량을 기본선량으로 정의했으며, 생물학적 영향이 에너지전달선밀도_(LET)에만 지배되지 않는다는 사실을 감안해, 선량당량 계산에 사용하는 선질계수 대신 낮은 선량에서 확률론적 영향 유발과 관련한 RBE에 기초한 '방사선가중치'를 사용하기로 결정했다. 이렇게 도출된 양을 선량당량과 구별하기 위해 ICRP는 이 새로운 선량을 '**등가선량**'으로 명명했다. 그에 따라 유효선량당량은 '**유효선량**'으로 개명되었다.



방사선방어의 주요용어의 차이

ICRP Pub. 26(1977)

선량당량(dose equivalent)

연간선량한도

유효선량당량(effective dose equivalent)

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

예탁선량당량

선량당량예탁

예탁실효선량당량

집단선량당량

집단유효선량당량

선질계수(Q): LET 고려

조직가중치(tissue weighing factor)

ICRP Pub. 60(1990)

등가선량(equivalent dose)

연간(등가)선량한도

유효선량(effective dose)

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R \cdot D_{T \cdot R}$$

예탁(등가)선량

(등가)선량예탁

예탁유효선량

집단선량

집단유효선량

방사선가중치(WR) : RBE 고려

조직가중치(WR) : 손실(detriment) 고려

선량당량(dose equivalent)

- ① 비확률적 영향 제한 목적
- ② 방사선 방호목적으로 사용되는 양
- ③ 흡수선량에 생물학적 효과에 관계되는 선질계수와 기타 필요한 보정계수를 곱한 방사선량

$$H = D \times Q \times N \text{ (Sv)} \text{ (LET고려)}$$

H: 선량당량, D: 흡수선량, Q: 선질계수,

N: 수정계수(ICRP가 권고치 = 1)

<별해 1> 선질계수(QF, - LET함수)

유효선량당량(effective dose equivalent)

- ① 확률적 영향 방지 목적
- ② 선량당량에 해당 장기의 가중치를 가중한 합

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

H_E: 유효선량당량, W_T: 그 조직의 가중치

H_T: 어떤 조직 T가 받은 선량당량

<별해 4> 조직의 가중치(W_T)와 위험계수(RF)

등가선량(equivalent dose)

- ① 결정적 영향 발생 방지 목적
- ② 인체의 피폭선량을 나타낼 때 흡수선량에 해당 방사선의 방사선가중치를 곱한 양

$$H_T = \sum_R W_R D_{T \cdot R} \text{ (Sv)}$$

H_T: 등가선량, W_R: 방사선하중계수(RBE

고려), D_{T·R}: 하중된 흡수선량

<별해 2> 생물학적 효과비(RBE)

<별해 3> 방사선 하중계수(W_R)

유효선량(effective dose)

- ① 확률적 영향 발생 제한(감소) 목적
- ② 인체 내 조직 간 선량분포에 따른 위험 정도를 하나의 양으로 나타내기 위함
- ③ 각 조직의 등가선량에 해당조직의 조직가중치를 곱하여 피폭한 모든 조직에 대해 합산한 양

$$E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T \cdot R} = \sum_T$$

$$W_T H_T$$

E: 유효선량, W_T: 조직, 장기의 하중계수,

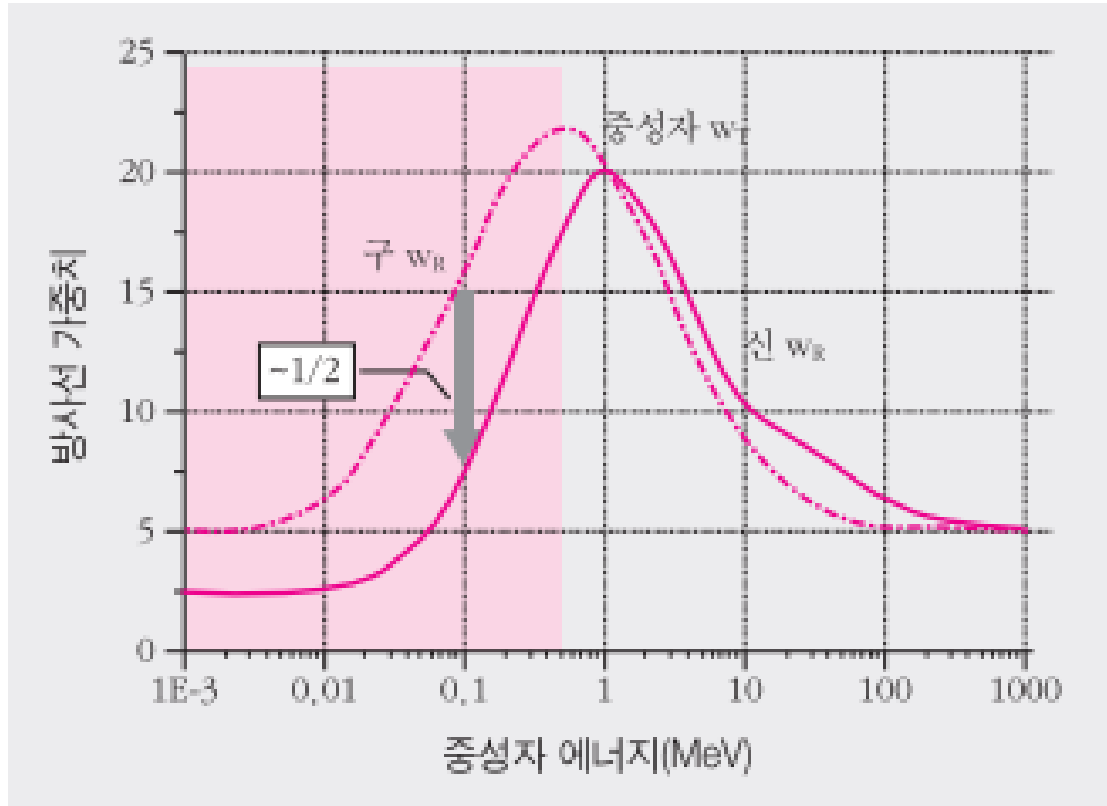
H_T: 조직, 장기의 등가선량

조직, 장기의 하중계수(W_T)

방사선가중치

방사선 종류	에너지범위	60	103
광자	전범위	1	1
전자 및 뮤온	전범위	1	1
중성자	< 10keV	5	연속 함수
	10keV~100keV	10	
	100keV~2MeV	20	
	2MeV~20MeV	10	
	> 20MeV	5	
양자(반도양자제외)	> 2MeV	5	2
알파입자, 핵분열파편, 무거운 원자핵(중이온)		20	(20)

중성자 에너지에 대한 중성자 방사선가중치(WR)



CRP60(ICRP 1991 b) 에서 정한
 계단함수와 연속함수
 2007년 권고에 채택한 함수

ICRP 60

ICRP 103

조직/ 장기	가중치
생식샘	0.20
적색골수(뼈속질)	0.12
결장(잘록창자)	0.12
폐(허파)	0.12
위	0.12
방광	0.05
유방	0.05
간	0.05
식도	0.05
갑상샘	0.05
피부	0.01
뼈(표면)	0.01
기타	0.05
합계	1

조직/ 장기	가중치
골수(뼈속질)	0.12
결장(잘록창자)	0.12
폐(허파)	0.12
위	0.12
유방	0.12
잔여조직	0.12
생식샘	0.08
방광	0.04
식도	0.04
간	0.04
갑상샘	0.04
뼈(표면)	0.01
뇌	0.01
침샘	0.01
피부	0.01
합계	1

* ICRP 103의 잔여조직:

부신, 흉외기도(ET), 쓸개, 심장, 신장, 림프절, 근육, 구강점막, 췌장,
전립선(♂), 소장, 비장, 흉선, 자궁/자궁경부(♀).



선질계수(QF : quality factor, ICRP-26) : LET 값에 관계

① LET가 분명한 경우:

LET는 linear energy transfer의 약자로 선형에너지전달계수라 하며, 특정에너지를 가진 하전입자가 물질의 단위길이(μm)를 통과할 때 흡수물질에 전달되는 평균에너지(keV)를 말함

$$\text{LET} = dE/dx (\text{K eV}/\mu\text{m})$$

LET가 분명한 경우의 선질계수

물 속에서의 총돌 저지능값(keV/ μm)	선질계수(QF)
3.5 이하	1
7	2
23	5
53	10
175 이상	20

② LET가 불분명한 경우 선질계수

LET분포가 불분명한 방사선에 대해서는 선질계수의 근사값을 사용한다.

LET가 불분명한 경우 선질계수

방사선	QF
X선, 감마선, 베타입자	1
에너지를 알 수 없는 중성자, 양성자 또는 정지질량이 1amu 이하인 단일하전입자	10
에너지를 알 수 없는 알파입자 또는 다중하전입자	20

상대적 생물학적 효과비(relative biological effectiveness : RBE)

방사선의 생물학적 효과를 나타내는 것으로 어떤 특정한 생물학적 영향을 유발하는 기준방사선(200-250kVp의 X-선이 주로 사용됨)의 방사선량과 평가방사선의 방사선량의 비를 말한다. 평가방사선의 선량이 작을수록 RBE는 큰 값을 갖는다.

$$RBE = \frac{\text{어떤 생물학적 효과를 내기 위한 기준방사선(250KVp X선)의 흡수선량}}{\text{같은 생물학적 효과를 내기 위한 시험방사선의 흡수선량}}$$




문제) ICRP - 26에서 사용된 용어가 ICRP - 60에서는 다른 용어로 변경되었다. 이에 대한 설명으로 틀린 것은?

① 선량당량 \Rightarrow 등가선량

② 유효선량당량 \Rightarrow 유효선량

③ 예탁실효선량당량 \Rightarrow 예탁유효선량

④ 비확률적 영향 \Rightarrow 결정적 영향


⑤ 조직가중치에 RBE 고려 \Rightarrow 선질 계수에 LET 고려 

문제) LET란 linear energy transfer의 약자로 선형에너지전달계수라 하며, 저지능과 같은 단위로 사용하는 LET의 단위는 무엇인가?

① $1/cm$

② cm_2/g

③ g/cm_2

④ $keV/\mu m$ 


⑤ MeV/cm_2

문제) 상대적 생물학적효과비(RBE) 정의처럼 이때 사용되는 기준방사선의 선질은 무엇인가?

① 100KV_p X 선

② 100KV_p γ 선

③ 100KV_p전자선

④ 250KV_p X 선 

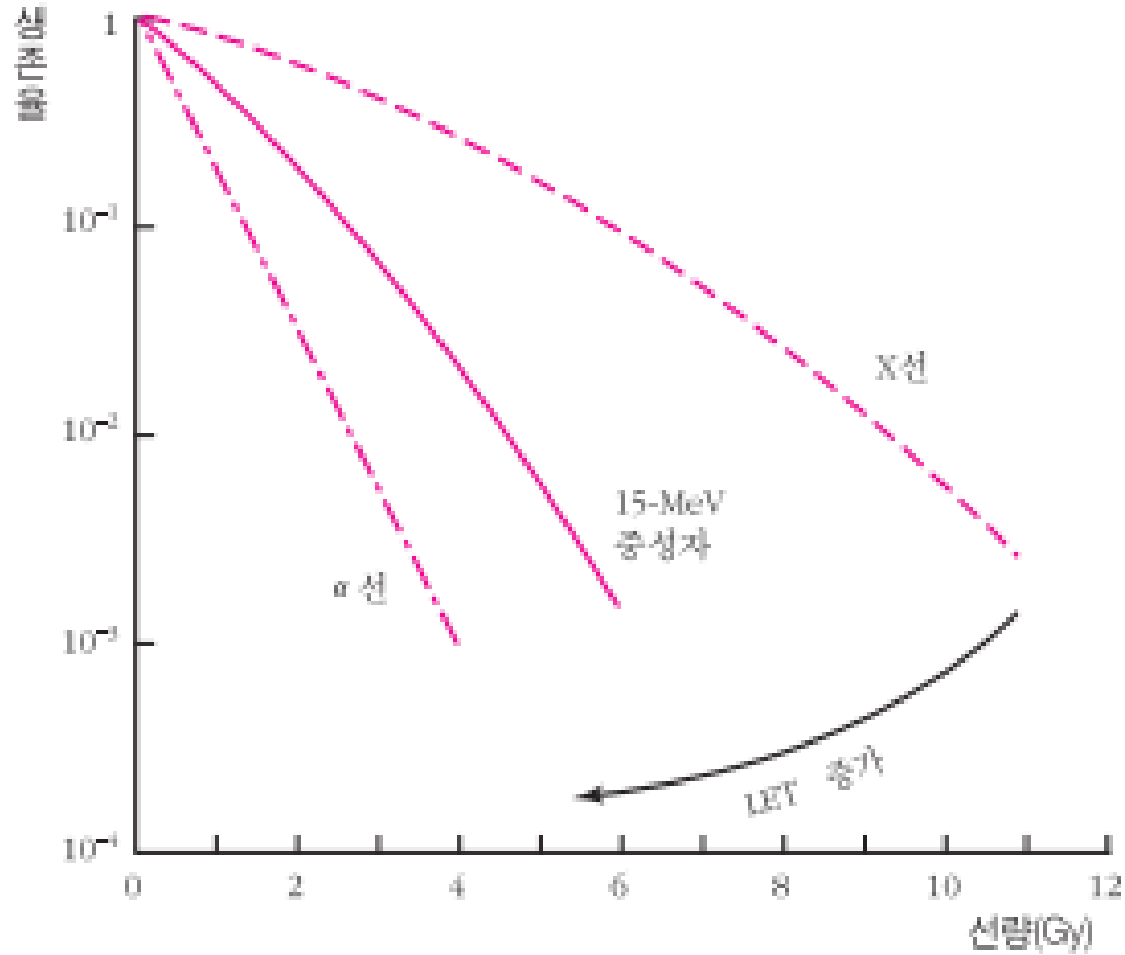
⑤ 250KV_p γ 선



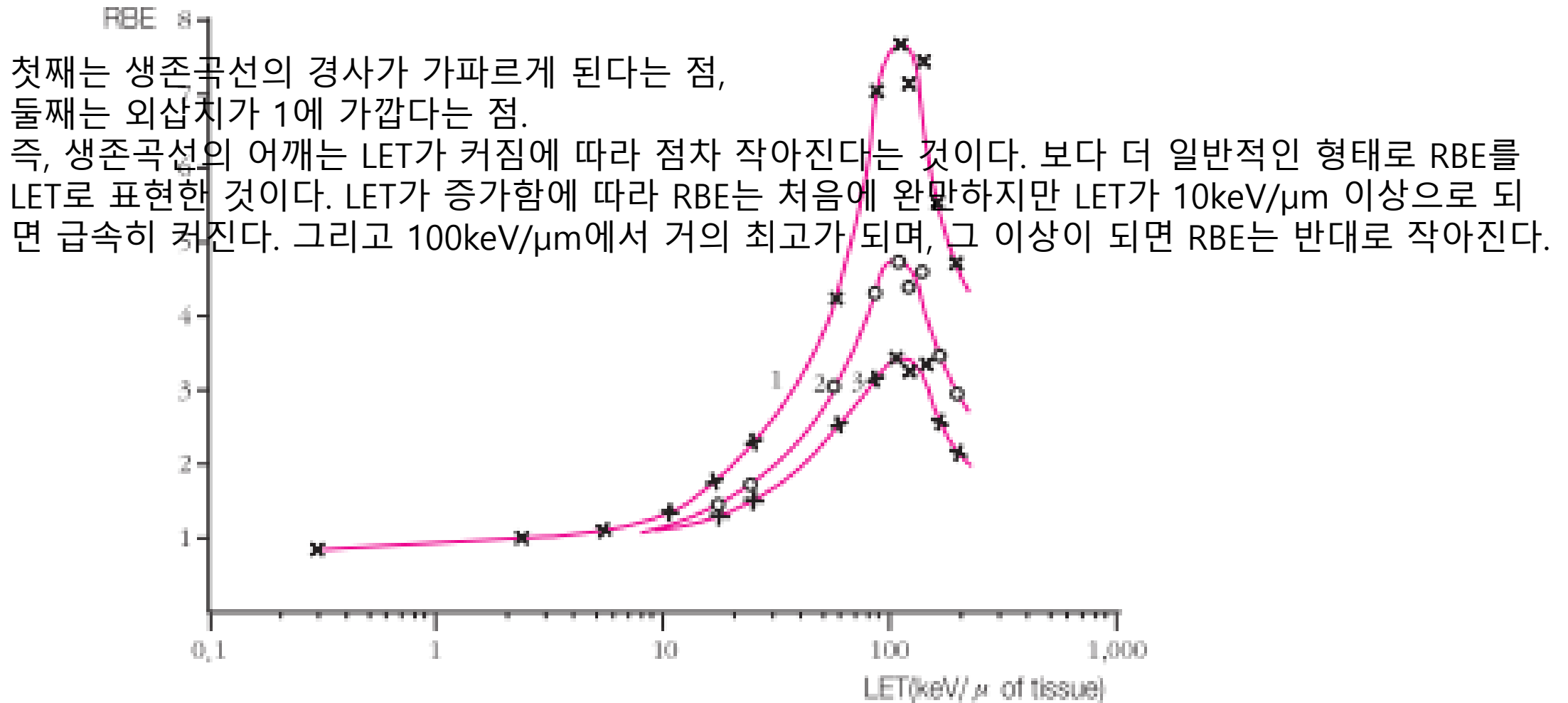
문제) 다음 중 유효선량과 전혀 관련이 없는 것은?

- ① LET ←
- ② RBE
- ③ 등가선량
- ④ 방사선가중치
- ⑤ 조직가중치

RBE와 LET의 관계



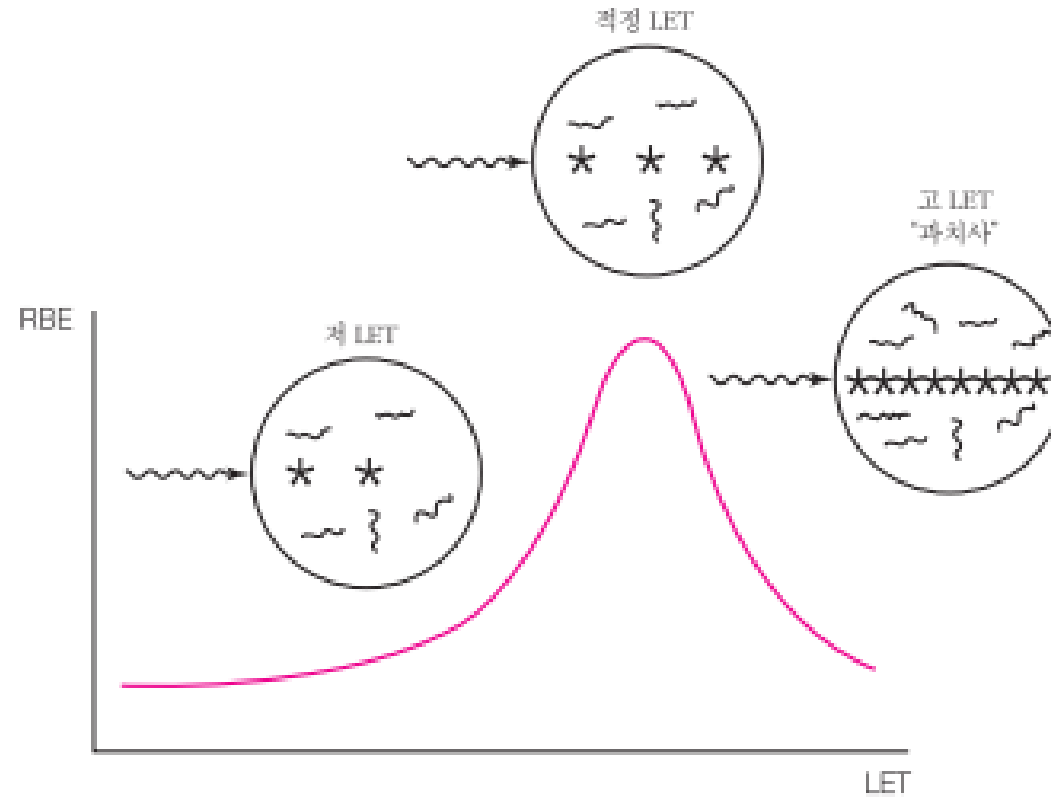
사람의 배양세포를 250 kVp X선, 15 MeV 중성자 및 4 MeV로 피폭시켰을 때의 생존곡선



인체 배양세포 RBE가 LET에 따라서 변화하는 다른 생존확률로서 나타낸 것

곡선 1, 2, 3은 각각 **생존확률이 0.8, 0.1, 0.01**의 관계를 나타낸 것인데, RBE의 절대치는 일정하지 않고 생물학적 장해 수준에 따라서 선량 수준에 의존하고 있다는 것을 알 수 있다.

Overkill 효과(과치사 효과)



LET가 $10\text{keV}/\mu\text{m}$ 를 초과하면 급속히 RBE 값이 높아지며, $100\sim 200\text{keV}/\mu\text{m}$ 로서 최대치를 나타낸다. LET가 더욱 높아지면 RBE 값은 저하하기 시작한다. RBE 값이 LET에 의존하여 이처럼 변화하는 이유는 방사선의 이온화 밀도가 관계하고 있기 때문이다. 저 LET 영역에서는 이온화는 드물게 일어나므로 DNA 근방에서 이온화가 일어날 확률은 적으며, 방사선의 생물작용은 작다.

RBE를 좌우하는 인자

방사선의 선질(radiation quality)
방사선의 선량(radiation dose)
선량분할의 횟수(number of dose fraction)
선량률(dose rate)
생물계(biological system) 또는 관찰지표에 의존한다.

-방사선의 선질: 방사선의 종류와 그 에너지가 전자파인지 입자인지 또는 입자라면 전하를 가지고 있는지 없는지를 의미한다.

첫째, RBE는 LET에 따라 변화하며 하전입자에서는 입자가 가진 전하를 Q , 속도를 V 로 할 때 Q^2/V^2 에 비례한다.

-선량 및 분할횟수 또는 분할피폭 때마다의 선량에 의존한다.

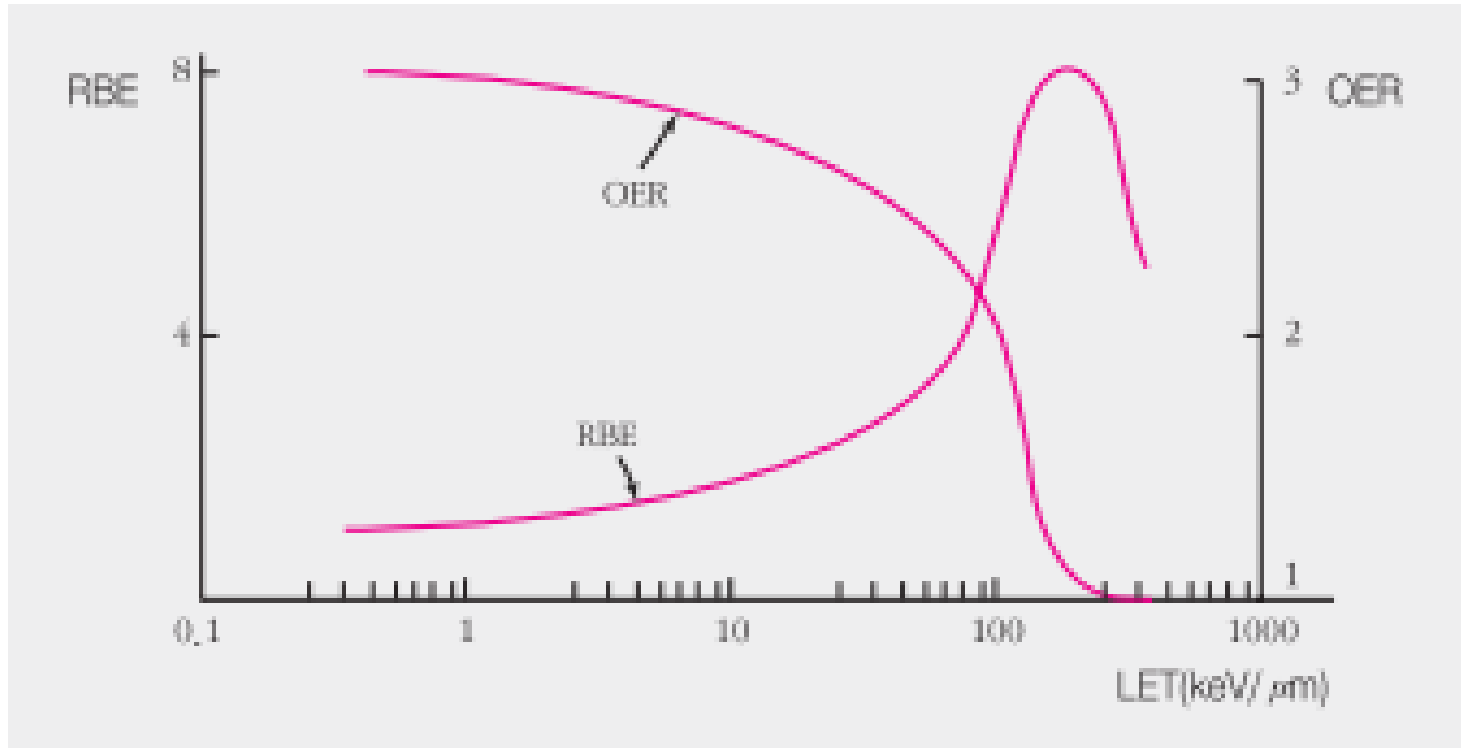
X선이나 γ 선과 같이 전리를 더디게 일으키는 방사선의 선량-반응곡선 형태는 선량률에 따라 크게 변하지만, 반대로 전리를 조밀하게 일으키는 방사선에 대한 생물반응은 피폭 시의 선량률에 거의 의존하지 않는다. 따라서 RBE도 선량률에 의해 달라진다.

-생물계 또는 관찰지표를 사용하느냐에 따라 RBE는 현저하게 영향을 받는다.

일반적으로 RBE은 아치사장해를 축적하고 회복할 수 있는 조직에서는 높고, 그렇지 않은 조직에서는 낮다.

LET와 산소효과

최적의 LET 값은 RBE가 높고 OER이 낮은 **100 keV/μm** 전후



저 LET(X선, γ선)은 OER은 2.5~3
 고 LET가 커짐에 따라 OER은 처음에는 완만하지만 LET가 60keV/μm 이상이 되면 급속히 작아지고, LET가 200keV/μm에서 1.0으로 된다.
 RBE가 급속히 커지는 점과 OER이 급속히 작아지는 점이 같으며 LET가 약 **100keV/μm**인 곳이다.

문제) 다음은 유효선량을 구하는 식이다. () 안에 알맞은 것은?


$$\text{유효선량}(E) = \text{등가선량}(H_T) \times ()$$

① 선질계수(QF)

② LET

③ RBE

④ 방사선가중계수(W_R)

⑤ 조직가중계수(W_T) 

문제) 다음 중 방사선의 질을 좌우하는 인자가 아닌 것은?

- ① 방사선의 종류
- ② 방사선의 에너지
- ③ 반감기 ←
- ④ 관전압
- ⑤ 필터의 종류

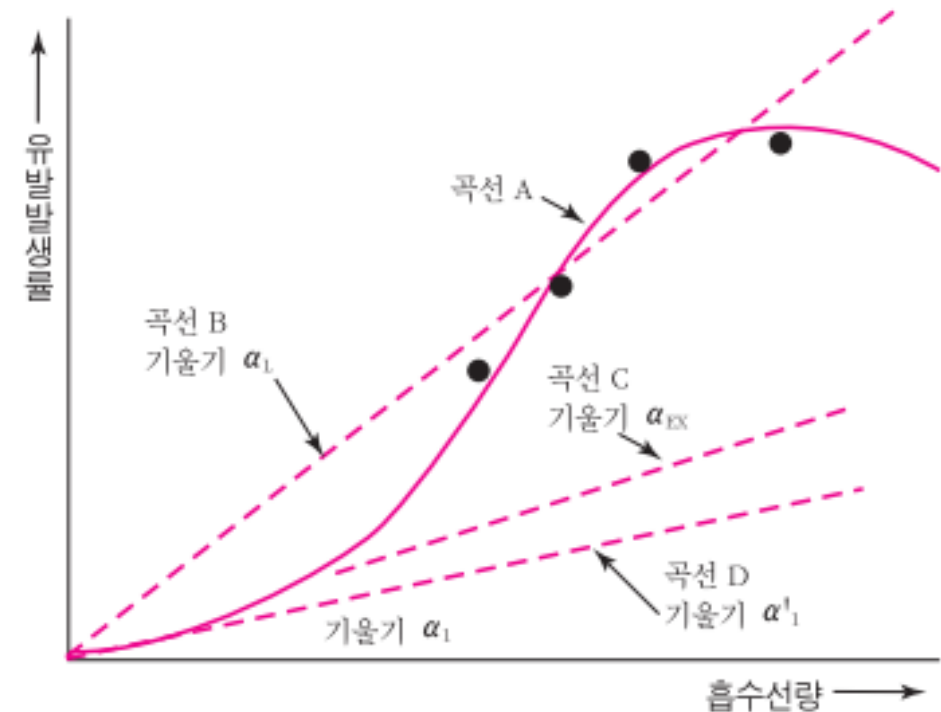
방사선 방호체계에 적용된 이론

역치선량값 없는 선형비례가설인 LNT(Linear no threshold) 가설을 적용하며, 방사선 방호의 목적은 낮은 선량의 방사선 피폭에 대한 인체 유해성의 불확실성을 근거로 설정되어 있기 때문에 질병의 진단이나 치료에 사용되는 의료방사선 취급과정에서 받는 저선량-저선량률 방사선 피폭을 간과해서는 안 될 것이다.

선량 및 선량률 영향인자로 ICRP는 방사선 방호 목적에 사용하는 리스크 인자,

즉 저선량-저선량률에 관해 결정할 때 DDREF를 사용하여 보정하였다

$$DDREF = \frac{\alpha_L}{\alpha_1} = 1 + \frac{\beta}{\alpha_1} D > 1.0$$



* 선량-선량률 효과인자(Dose and Dose Rate Effectiveness Fator, DDREF)

선량 및 선량률 영향 인자인 ICRP는 방사선 방호 목적에 사용하는 리스크 인자,
즉 저선량/저선량률에 관해 결정할 때 DDREF를 사용하여 보정하였으며,
고선량 및 고선량률로 피폭한 경우에는 저선량 및 저선량률로 피폭된 경우에 비해
선량-반응관계에서 그 영향이 **약 2배 정도 높게** 나타난다.



ICRP 60의 선량한도 중 작업자에 대한 선량과 방사선위험도가 ICRP 26에 비해 3배정도로 증가했음에도 불구하고 그만큼 강화되지 않은 이유는?

→ ICRP 60에서는 **선량-선량률 효과계수**(dose and dose rate effect factor, DDREF)가 **2**로 채택되었기 때문이다.

방사선발암에 관한 선량률 효과를 인간의 역학자료만으로는 추정이 어렵기 때문에 DDREF(dose and dose rate effect factor)를 도입한 것으로 방사선발암의 위험을 추정할 때 고선량·고선량률에서의 위험으로부터 저선량·저선량률의 위험을 추정할 필요가 있어 도입된 계수이다.

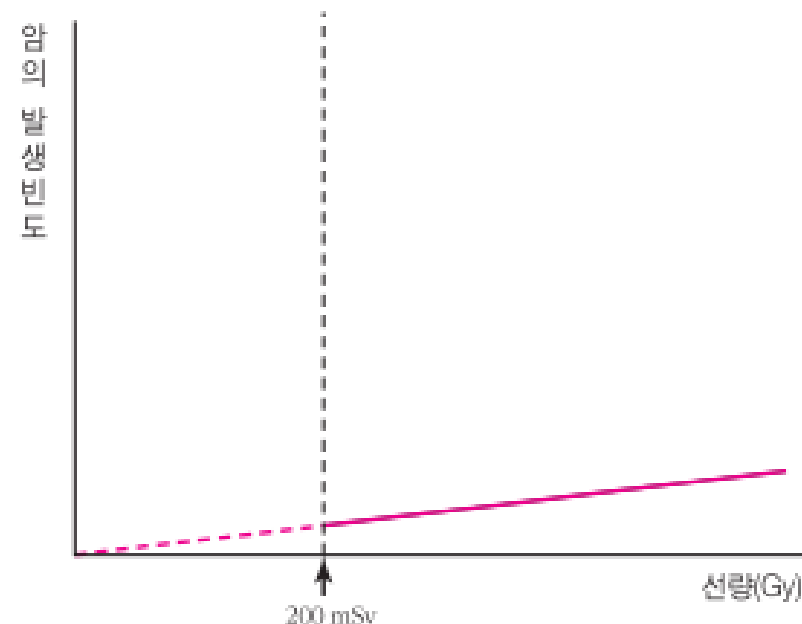
높은 선량률에서의 효과를 기준으로 하면 낮은 선량률에서 효과가 감소하는 것은 세포사와 발암도 같다. 낮은 선량률에서 효과가 감소하는 비율의 역수가 DDREF이다.

따라서 DDREF가 2라는 것은 저선량률에서의 효과가 고선량률의 1/2 이 된다는 의미이다

비교적 소선량 피폭 시의 위험률

선량-선량률 효과계수(dose and dose rate effectiveness; DDREF, 추정치: 2-10 추정)

:고선량률, 고선량에서의 선량효과 관계의 경사와 저선량률, 저선량에서의 그것과의 비(比)로서
0.1Gy/hr 이하의 저선량률, 0.2Gy 이하의 저선량 피폭에 의한 risk를 추정하고 있다.



방사선 피폭과 백혈병 발생의 선량반응 관계의 가정



방사선 위험도에 따른 방사선 방호체계

1) ICRP Pub. 26과 ICRP Pub. 60의 확률적 영향에 대한 방사선 위험도 비교

① ICRP Pub. 60의 경우 일반대중에 대한 위험도($7.3 \times 10^{-2}/\text{Sv}$)가 방사선 작업종사자에 대한 위험도보다($5.6 \times 10^{-2}/\text{Sv}$) **더 높은** 이유

→ 방사선 작업종사자는 18~64세까지의 선별된 층으로 방사선에 예민한 **어린이층 또는 미숙한 가임여성 등이 제외**되었기 때문이다.

② ICRP Pub. 60의 선량한도 중 작업자에 대한 선량과 방사선 위험도가 ICRP Pub. 26에 비해 3배 정도로 커졌음에도 불구하고 그만큼 강화되지 않는 이유

→ ICRP Pub. 60에서는 선량 및 선량률 효과계수 DDREF로 **2**가 채택되었기 때문이다.

③ ICRP Pub. 60에서는 확률적 영향에 대해 ICRP Pub. 26에서 사용되는 위험도보다 3배나 높은 방사선 위험도를 도입하였는데, 그 주된 3가지 이유로는

●원폭 생존자에 대한 관찰기간을 연장하였음.

●방사선량 평가방식을 수정하였음.

→ 종래의 T65D에서 DS86으로 변경함. 즉 T65D는 미국의 네바다 사막에서 시행한 핵폭발 시험에 적용되던 방사선량 평가방식이었으나 네바다는 건조한 사막지역이고, 일본의 히로시마, 나가사키의 8월은 습한 지역이라는 차이점이 방사선량 평가방식의 수정을 필요로 함(원폭 폭발 당시 히로시마, 나가사키는 습도가 높아 공기 중 수소 원자의 증가현상이 있었는데도 수소 원자에 의한 중성자 피폭감소 효과를 고려하지 못했음. 따라서 암의발생빈도는 일정하므로 위험도가 높아지게 되었다).

●위험도 예측모델의 변경

→ 종전 ICRP Pub. 26에서는 절대위험 모델(더하기 모델)이 사용되었지만, ICRP Pub. 60에서는 상대위험 모델(곱하기 모델)이 적합하다고 판명되어 변경되었다.



조직, 장기의 하중계수(W_T)

ICRP 60에서는 위해(detriment)라는 개념을 도입하였다.

- ① 방사선으로 인한 보건상 또는 재산상의 해로운 영향을 말한다.
- ② 일반적으로 집단에 대한 위해는 방사선에 의한 모든 형태의 해로운 효과가 발생할 확률뿐만 아니라 그 효과의 심각성까지 수학적 기대치로 정의된다.

또한 ICRP 60에 비해 ICRP 103은 생식선의 경우 0.20에서 0.08로 하향 조정되었으며 유방의 경우 0.05에서 0.12로 상향 조정되었다. 그리고 뇌와 침샘이 추가되었다.

- 기타조직 : 부신, 흉외기도(ET), 쓸개, **심장**, 신장, 림프절, 근육, 구강점막, 췌장, 전립선(♂), 소장, 비장, 흉선, 자궁/자궁경부(♀)

* ICRP-60과 비교한 ICRP-103의 조직가중치의 변화는 생식선은 감소하고 유방은 증가하였으며, 기타조직은 10개에서 14개로 늘어났다.



문제) ICRP – 60에서 사용되는 방사선가중계수 중 가장 큰 값을 가지는 것은?


- ① 전자 및 뮤온
- ② 광자
- ③ 양성자
- ④ 20M eV 이상 중성자
- ⑤ 알파입자 ←

문제) 다음 중 ICRP - 60에서 제시한 방사선가중계수의 연결이 틀린 것은?

① γ 선 - 1


② 전자선 - 1

③ 뮤온 - 1

④ 양성자(반도양자 제외) - 2 

⑤ 핵분열조각 - 20

문제) ICRP - 60에서 조직가중계수가 가장 높은 조직이나 장기는?

① 생식선 

② 방광

③ 간장

④ 뼈표면

⑤ 적색골수



문제) 다음 중 ICRP - 103에서 유방의 조직가중계수는 얼마인가?

① 0.20

② 0.12 

③ 0.08


④ 0.05

⑤ 0.04

문제) ICRP - 60에 비해 ICRP - 103에서 조직가중계수가 하향된 장기 또는 조직은?

① 적색골수

② 유방

③ 생식선 

④ 갑상선

⑤ 뼈표면

문제) ICRP - 60에 비해 ICRP - 103의 조직가중계수가 0.01로 추가된 장기 또는 조직이 있다. 무엇인가?

① 심장, 신장

② 뇌, 침샘 ←

③ 비장, 자궁

④ 근육, 소장

⑤ 쓸개, 자궁

ICRU 구

방사선장에 있는 밀도 1 g/cm^3 인 등가연조직(phantom)($O : 76.2\%$, $C : 11.1\%$, $H : 10.1\%$, $N : 2.6\%$)으로 된 직경 30 cm의 구형 물질을 ICRU 구라고 한다.

ICRU 구내에서 선량분포 중의 최대 선량당량을 선량당량지수라 한다.

(1) Deep dose equivalent(H_d) : 심부선량당량지수

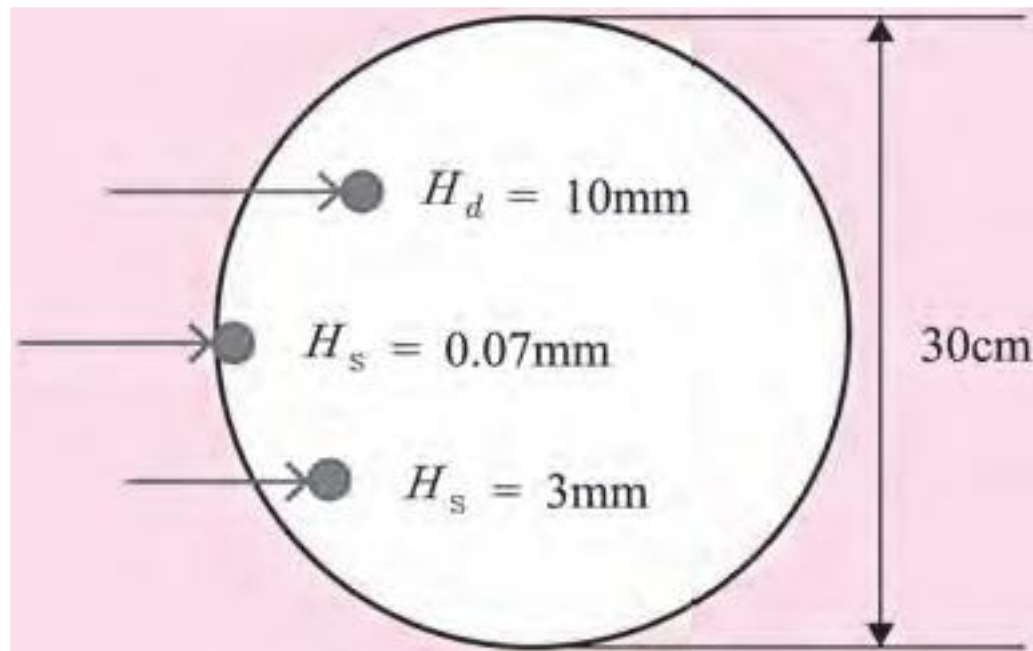
- 조직이 받은 선량을 대표 : $d = 10 \text{ mm}$

(2) Shallow dose equivalent(H_s) : 표층선량당량지수

① 눈의 수정체가 받은 선량을 대표 : $d = 3 \text{ mm}$

② 피부가 받은 선량을 대표 : $d = 0.07 \text{ mm}$

ICRU 구 선량당량지수



문제) 다음 용어에서 Sv단위를 사용하지 않는 것은?

① 커마 ←

② 등가선량

③ 유효선량

④ 예탁선량

⑤ 집단선량

문제) 방사성동위원소를 체내에 섭취하였을 경우, 섭취한 시점부터 그 후 50년간 어떤 조직이나 장기가 피폭받는 선량은 무엇인가?

① 흡수선량

② 등가선량

③ 유효선량

④ 집단선량

⑤ 예탁선량 ←

문제) 예탁선량의 경우 방사성물질 섭취부터 적분기간 50년으로 한정된 이유는 성인의 작업수명을 50년으로 본 것이다. 그렇다면 소아의 경우는 몇 년으로 평가하는가?

① 50년

② 60년

③ 70년 

④ 80년

⑤ 90년



문제) 주민선량이란 방사선에 피폭된 집단의 평균등가선량에 그 집단의 사람 수를 곱한 선량을 말한다. 주민선량의 단위는?

① C / kg

② Gy

③ Sv

④ $person \times mrem$ 

⑤ $g \times cGy$

문제) 다음 괄호 안의 내용이 적합하지 않은 것은?

선량당량지수는 심부선량당량과 표층선량당량으로 구분한다. 이를 구하기 위해서는 방사선장에 있는 밀도 (①)g/cm³인 등가연부조직으로 된 직경(②)cm의 구형 물질내에서 선량분포 중의 최대 선량당량을 선량당량지수라 한다.

- Deep dose equivalent(H_d) : 심부선량당량지수
- 조직이 받는 선량을 대표 : $d = (③)$ mm
- Shallow dose equivalent(H_s) : 표층선량당량지수
- 눈의 수정체가 받는 선량을 대표 : $d = (④)$ mm
- 피부가 받는 선량을 대표 : $d = (⑤)$ mm

① 1

② 30

③ 10

④ 5 

⑤ 0.07

피부의 등가선량은 ICRU 구내 얼마 깊이에서 측정하는가?

- ① 30cm
- ② 3cm
- ③ 1cm
- ④ 3mm
- ⑤ 70 μ m



O(76.2%), C(11.1%), H (10.1%), N (2.6%)로 구성된 ICRU 구의 밀도(g/cm^3)와 반경(cm)은 각각 얼마인가?

- ① 1, 15
- ② 1, 30
- ③ 5, 15
- ④ 5, 30
- ⑤ 10, 30



1) 인체 영향(위험)의 구분

(1) 인체 영향의 발생 시기에 따라

① 급성 영향(Acute effect)-결정적 영향

*종류 :

방사선 숙취 현상(오심, 구토, 설사), 조혈기능 저하, 눈의 장애(결막염 등), 피부 장애(염색체 변화, 탈모, 홍반, 수포, 궤양), 생식샘 장애(일시 불임), 급성 방사선증후군 등

* 급성 장애 진전의 4단계 : 전초기 → 잠복기 → 발현기 → 사망(또는 회복기)

- 전초기 : 오심 및 구토(수일)
- 잠복기 : 별다른 증상이 나타나지 않음(수 일~수 주일).
- 발현기 : 각종 증상이 현저히 나타남.

② 만성 영향(Chronic effect): 저선량의 방사선을 장기간 동안 피폭 시 수 개월 내지 수십 년 후 나타날 수 있는 인체 장애

- 종류 : 발암(백혈병), 유전결함, 태아 장애, 수명단축(노화촉진), 백내장 등
- 특징 : 효과에 방사선 특이성이 없으며 잠복기가 길다. 그리고 오랜 기간 동안 저선량. 저선량을 피폭 시 일어난다.

* 10day rule(방사선 10일 규칙, ICRP. Publ. 6.에서 제안):

임신이 가능한 여성의 복부가 포함되는 방사선 검사를 시행하는 경우에는 월경 개시 후 10일 이내에 실시한다.

* ICRP Publ. 84(임신과 의료방사선, 1999.)에서는 임신으로부터 출산까지의 적산선량이 100mGy 미만이면 태아의 영향은 무시된다고 보고하고 있다. 이것은「10일 규칙」은 기본이지만 임신을 모르고 방사선 치료를 받아도 그 선량이 100mGy 미만이면 문제가 없다는 것을 시사하고 있다.

(2) 인체 영향이 나타나는 **개체에** 따라

- ① 신체적 영향(Somatic effect): 신체적 영향을 나타내는 가장 적당한 선량 개념은 **유효선량**이다.
- ② 유전적 영향(Genetic effect): 유전적 영향을 나타내는 지표로서 유전유의선량과 **배가선량**을 이용한다.

*유전유의선량(Genetically significant dose; GSD)

- 유전선량 = 연간 유전유의선량 × 자녀를 갖는 평균 연령
- 유전유의선량은 피폭된 집단에 대한 유전적 영향의 지표이며, 단위는 Sv이고 이는 유기된 돌연변이의 수를 의미하는 것은 아니다.

*배가선량(Doubling dose):
$$= \frac{\text{자연돌연변이율}}{\text{방사선돌연변이상수}}$$

- 자연돌연변이 발생확률을 **2배로 끌어올리는 데 필요한 선량**을 말함.
- **배가선량이 크다는** 것은 방사선의 영향이 **적다**는 것을 의미한다.
- 고선량 조사하 0.15~0.3Gy, **저선량 조사하 0.2~2Gy**

(3) 증상의 발현 메커니즘에 따라

① 결정적 영향(Deterministic effects):

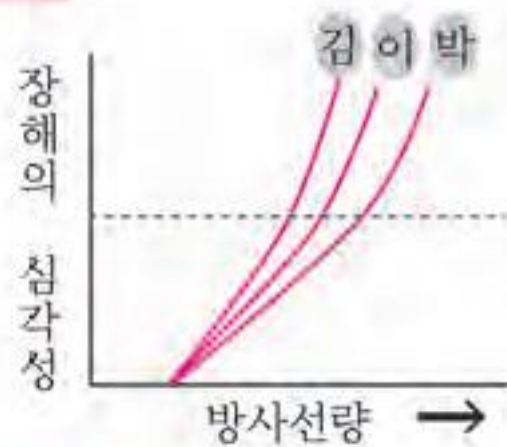
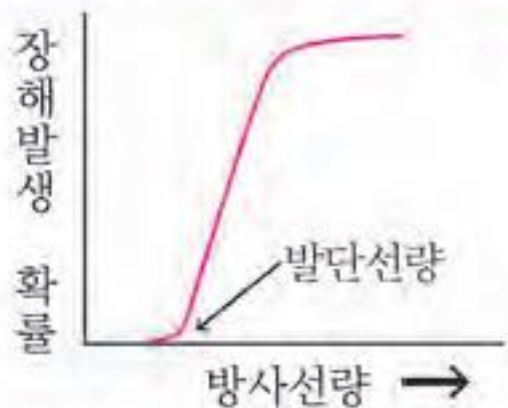
- 발단선량이 존재한다. : 약 0.5Gy 이상
- 선량이 증가함에 따라 장애발생률과 장애의 심각성이 증가한다.
- 세포기능 상실, 급성 대량 피폭 시 사망, 백내장, 불임, 피부 장애 등

② 확률적 영향(Stochastic effects)

- 장애 발생확률이 선량에 비례한다(선형관계, 선형-2차 곡선 관계).
- 장애 심각성은 선량과 무관하다.
- 발암(백혈병), 유전 결함 등

결정적 영향	확률적 영향
세포사멸 또는 기능마비 기인	돌연변이 기인
발단선량(threshold dose) 존재	발단선량(threshold dose) 없음
급성 대량 피폭으로 발생	저선량에서도 발생 가능
영향의 특이성이 있음	특이성 없음
대체로 급성	지발성
개인 선량을 발단치 이하로 관리하여 방지	ALARA

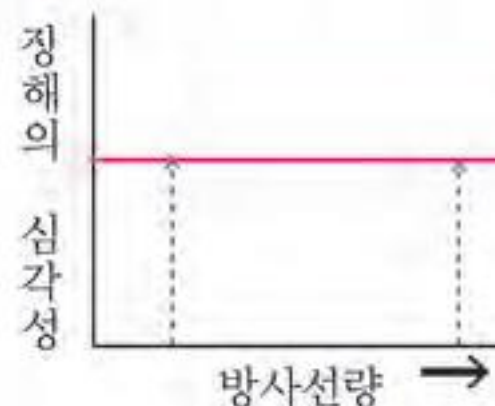
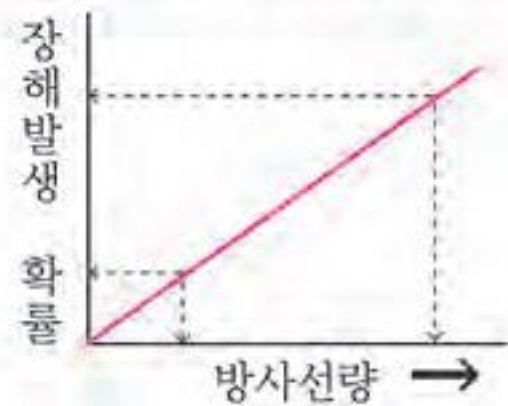
결정적 영향이란?



다수세포에 일어난 변화

불임
백내장
피부·홍반

확률적 영향이란?



생식세포 또는 체세포 발생
돌연변이

유전장해
발암
백혈병



결정론적 영향의 발단선량

생식선	남 : 0.15Gy, 여 : 0.65~1.5Gy	일시적 불임	1회 급성조사
적색골수	백혈구 : 0.5Gy, 혈소판, 적혈구 : 1Gy	정상수치 감소	전신조사
수정체	수정체혼탁 : 0.5~2Gy, 백내장 : 5Gy	시력에장해를 초래하는 눈의 장애 등	1회 급성조사
피부	염색체변화 : 0.5Gy, 일시탈모, 홍반 : 5Gy	급 · 만성 피부장해	한정부위 수 주 ~ 수개월 피폭

방사선관리학

5강 방사선용어의 정의



책임을 다하면 위대함으로 돌아온다

Kim kee bog

