

◇ 解 說 ◇

# 放射線防護에 관한 ICRP 勸告 26

田 載 植

忠南大學校 物理學科

## 요 약

1966년에 ICRP가 Publication 9로 방사선방호에 관한 권고를 내놓은 이후 처음으로, 10여년에 걸친 방사선방호의 실무경험과 방사선생물학의 축적된 지식을 수용한 개정판 권고를 1977년에 새로히 내놓았다.

本稿에서는 새 권고가 발표된 이후에 나온 추가 보완사항을 소개함과 동시에 그 전체적 내용을 Publication 9의 그것과 비교 검토하는 한편 이 새로운 권고의 실제적 적용과 법제화등에 관한 각국의 최신 동향을 소개한다.

제適用과 관계법령에의 도입에 관한 여러 나라에서의 연구 및 논의현황을 알아 보기로 한다.

## 1. 머릿말

방사선방호대책의 기초가 되는 기본원칙을 권고하고 이를 방사선방호 실무에 적용토록 함을 본래의 목적으로 하고 있는 방사선방호에 관한 ICRP의 기본 권고는 1958년에 처음으로 권고 1로 나왔고 이어서 1959년에 수정, 1962년에 개정된 권고 6으로 나왔으며 1966년에 다시 권고 9가 나오게 되었다. 이후 그것은 거의 모든 나라에서 법률에 가까운 효력을 나타내거나 또는 방사선방호에 관한 법률제정의 기초로 널리 활용되어 왔다.

그로부터 10여년이 지난 1977년 8월에는, 그간에 축적된 방사선방호의 경험과 방사선의 생물학적 효과에 관한 최신 지식에 바탕을 둔 새 권고인 ICRP권고 26이 나왔고 이듬해에는 이에 관한 약간의 수정이 가해 지기에 이르렀다. 이에 따라 각국에서는 방사선방호에 관한 새로운 이론과 기준을 어떻게 자국에 적용할 것인가를 모색해 오고 있으며 방사선의 피폭선량해석에 있어서 이 권고에 새로히 등장한 “실효선량당량” 또는 “선량당량에탁” 등의 양이 점차 보편적으로 사용되어 오고 있다.

본 논문에서는 ICRP권고 9와의 차이점과 더불어 새 권고의 내용을 차례로 알아보되 이 권고가 나온 1977년 이후의 ICRP 연례회의와 전문위원회 등에서 논의 되어온 수정·보완사항을 살펴보는 한편 이 권고의 실

## 2. 권고의 내용구성

우선 ICRP권고 26의 구성내용을 개괄적으로 알아보기 위하여 그 주요목차를 권고 9의 그것과 비교하여 보면 표 1과 같다.

표 1에서 살펴본 바와 같이 신·구 권고는 그 내용의 구성에서 많은 차이가 있을 뿐 아니라 前者는 7章 243項, 後者가 서론과 4章 124項으로 되어 있어 새 권고의 項數가 거의 2배 가까이 늘어 났으며 그 대부분이 適用의 章(G)을 구성하고 있음을 알 수 있다.

## 3. 방사선방호의 목표

권고 26에서는 방사선의 영향을 확률적(stochastic) 영향과 비확률적(non-stochastic) 영향으로 나누는데 前者는 영향의 重篤度(severity)보다는 그것이 발생할 확률이 發端值(threshold)없이 선량의 함수로 나타나는 그러한 영향을 말하며, 이와는 반대로 後者는 영향의 증독도가 선량에 따라 변하고 따라서 선량의 발단치가 있을 수 있는 그런 영향을 말한다. 이것을 다시 요약해 보면 표 2와 같다.

이 표에서 보는 바와 같이 선량의 크고 작음에 관계

표 1. ICRP 新, 舊勸告의 내용구성

권 고 26 <sup>1)</sup>			권 고 9 <sup>2)</sup>		
내	용	項	내	용	項
A.	서	론 1~5	서	론	1
B.	방사선방호의 목표	6~14	A.	ICRP권고의 기본원칙	2~51
C.	기본개념	15~26	B.	制禦可能線源에 대한 선량제한	52~95
D.	방사선 생물학적 고찰	27~67		개인의 피폭	
E.	선량제한체계	68~135		직업적 피폭	53~69
	작업자에 대한 선량당량한도	96~116		公衆의 구성원	70~75
	公衆의 구성원에 대한 선량당량한도	117~128		집단의 피폭	
	집단의 피폭	129~132		유전선량	82~94
	사고 및 긴급상태	133~135		신체선량	95
F.	방사선방호실시의 일반원칙	135~159	C.	制禦不可能線源에 대한 대책수준	96~103
G.	相異なる 피폭에의 적용	160~243	D.	방사선방호실시의 일반원칙	108~124
	[직업적피폭, 의료피폭, 기타피폭]				

표 2. 방사선의 영향과 효과

영	향	線量依存因子	發端值	주	요	효	과
확률적 영향 (유전적 영향 또는 신체적 영향)		發生確率	없	음	유전적 異常효과, 악성종양발생 등		
비확률적 영향 (신체적 영향)		重 篤 度	있을 수 있음		白內障, 피부손상, 수태능력감퇴, 혈액실조증 등		

없이 방사선이 인체에 미치는 영향은 있게 마련이다. 이와같은 방사선 영향의 분류에 따라 ICRP는 방사선 방호의 목표를 有害한 비확률적 영향을 방지(prevent detrimental non-stochastic effects)하고, 확률적 영향이 발생될 확률을 容認할 수 있는 수준까지 제한(limit the probability of stochastic effects to levels deemed to be acceptable)하는 한편, 방사선피폭이 게재된 행위가 정당함을 입증(ensure that practices involving radiation exposure are justified)하는데 두고 있다. 따라서 ICRP가 권고하는 선량제한체계는 다음과 같은 이념적 특징을 기조로 하여 이루어지고 있다.

1) 방사선행위는 확실한 이익이 있는 것이 아니면 이를 행하지 않는다(正當化—justification).

2) 모든 방사선피폭은 경제적, 사회적 관점에서 합리적으로 성취할 수 있는 한 低線量(ALARA)으로 한다(最適化—optimization).

3) 개개인에 대한 선량당량은 어떤 경우에도 ICRP가 권고한 한도를 넘지 않도록 한다(線量制限—dose limitation).  
는 것이다.

방사선이 게재된 행위를 행함에 있어서 피폭선량을 되도록 낮게 하기 위한 이상과 같은 3단계의 사고방식은, 다소 막연한 감을 주어진 종전의 ICRP권고에 비하면 進一步한 명쾌한 것이라 하겠다.

더욱이 최초의 ICRP권고에서부터 변천해 온 “성취할 수 있는 低線量”의 개념을 살펴볼 때, 피폭을 “가능한 한 최저수준으로”(to the lowest possible level)에서 “실행 가능한 한 저선량”(as low as practicable-ALAP)과 “용이하게 성취할 수 있는 한 저선량”(as low as readily achievable-ALARA)을 거쳐 “합리적으로 성취할 수 있는 한 저선량”(as low as reasonably achievable-ALARA)으로 바뀌어 온 것은 매우 흥미있

는 진전이라 하겠다.

### 4. 기본개념

권고 26에서는 이례적으로 몇가지 방사선 관제량을 특별히 정의하여 차후의 記述과 설명에 도움을 주고 있는데 그것들은 다음과 같다.

#### 1) 손해(Detriment)

방사선피폭에 의한 건강상의 유해효과는 확률적, 비확률적 영향이 다같이 포함되며 따라서 이것은 유해효과와 발생확률 뿐 아니라 그 효과의 重篤度도 고려가 되는 것이다. 영향  $i$ 를 받을 확률  $P_i$ 가 적다고 하고, 그 영향의 重篤度를 加重值  $g_i$ 로 표시하면,  $P$ 명의 인원으로 구성된 집단의 건강에 대한 손해  $G$ 는

$$G = P \sum_i P_i g_i$$

로 주어진다.

#### 2) 선량당량(Dose equivalent)

이 양은 ICRU Rept. 19<sup>9)</sup> 및 그 supplement<sup>4)</sup>에서 定義한 바를 거의 그대로 옮겨 놓은 것이어서 여기서는 더 이상의 설명을 안하기로 한다.

#### 3) 집단선량당량(Collective dose equivalent)

한 인구집단에 대한 집단선량당량  $S$ 는, 피폭인구집단중 小集團( $i$ )의 구성원  $P_i$ 의 전신 또는, 특정기관 혹은 조직에 대한 한사람당 피폭선량당량을  $H_i$ 라고 할 때

$$S = \sum_i H_i P_i$$

로 定義한다.

한편, 어떤 특정행위 또는 특정선원으로 부터의 피폭( $k$ )에 의한 집단선량당량은

$$S_k = \int_0^\infty HP(H)dH$$

로 정의한다. 단,  $P(H)dH$ 는 전신 또는, 특정기관 혹은 조직에  $H$ 에서  $H+dH$  사이의 선량당량을 받은 인원의 수이다.

여기서 積分上限은 적절한 선량당량한도로 제한되는 것이며,  $G$ 의 定義에 나온  $P_i$ 와  $H$ 가 비례하고  $g_i$ 가  $H$ 에 무관하다면 건강상손해  $G$ 는 집단선량당량  $S_k$ 에 비례하게 되는데, 이것은 결국 선량당량과 위해효과 사이의 발단치 없는 직선성 가정의 타당성 여부에 달려 있는 것이다.

#### 4) 선량당량預託(Dose-equivalent committment)

이것은 시간경과에 따라 피폭이 연장되는 경우에 필요한 양으로서, 어떤 주어진 행위 또는 그 결과로부터 받게 되는 선량당량예탁  $H_e$ 는, 특정 인구집단에 대한 어떤 주어진 기관 혹은 조직내의 한사람당 선량당량을  $\bar{H}(t)$ 의 무한시간적분, 즉,

$$H_e = \int_0^\infty \bar{H}(t)dt$$

로 정의한다. 따라서 집단선량당량예탁은 집단선량당량의 시간적분으로 정의할 수 있다.

#### 5) 預託선량당량(Committed dose-equivalent)

방사성물질의 체내, 단일섭취에 의하여 주어진 기관 또는 조직에 대한 예탁선량당량  $H_{50}$ 은, 앞에 정의한 선량당량예탁의 특수한 경우로, 방사성물질의 체내섭취후, 일생중의 방사선작업기간을 나타내는 50년동안에 축적될 선량당량으로 정의한다. 즉,

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

이며 여기서  $t_0$ 는 방사성물질 섭취시기,  $\dot{H}(t)$ 는 그에 따른 선량당량율이다.

이밖에도 권고 26에서는 危害(Risk) 또는 危害係數(Risk factor) 및 세계인구선량(Population dose) 등의 양이 자주 사용되고 있으므로 이것을 추가로 소개한다.

#### 6) 危害(Risk)<sup>9)</sup>

위해  $R$ 은 어떤 개인이 어떤 선량을 받은 결과로 그에게 악성영향이 일어날 확률을 의미한다.  $i$ 번째의 영향을 일으킬 확률을  $P_i$ 라고 하면

$$R = 1 - \prod_i (1 - P_i)$$

가 된다. 相異한 여러가지 영향이 상호 배타적인 경우 및 모든  $P_i$ 에 대하여  $P_i \ll 1$ 인 경우에는

$$R = \sum_i P_i$$

로 표시할 수 있다.

위해계수는 低線量에서의 위해  $R$ 과 선량당량  $H$  사이의 비례계수, 즉, 단위선량당량당 위해를 말한다.

#### 7) 세계인구선량(Population dose)<sup>9)</sup>

이것은 인간집단의, 전신 혹은 특정기관의 총피폭을 나타내는 하나의 척도인데,  $H$ 에서  $H+dH$  사이의 선량을 받은 인원수를  $P(H)dH$ 라고 하면 세계인구선량은

$$\int HP(H)dH$$

로 주어진다. 이 적분은 세계의 총인구에 대하여, 선량분포 전체에 걸쳐 행하여지는 것이다. 어떤 경우에는 이중 일부분(목적에 따라 一國 혹은 一地域)에 대한, 세계인구선량의 성분을 확실히 알 필요가 있는데, 이런 경우 이 성분을 이 부분집단에 대한 집단선량(collective dose)이라 부른다.

5. 방사선의 생물학적 영향에 관한 고찰

1) 선량-효과 관계

피폭선량과 그것이 미치는 생물학적 영향의 관계에 대하여 ICRP는 확률적 영향에 관련한 방사선작업에서 통상 적면하게 되는 선량수준에서는 발단치가 없는 직선관계 가정을 권고하고 있는데 이점은 종전의 권고와 다를 바 없다.

그러나 그간에 축적된 지식에 의하면 低LET 방사선의 경우 수Gy까지의 흡수선량 범위 안에서, 선량-효과 관계는

$$E = aD + bD^2$$

로 표시됨이 알려져 있다. 但,  $D$ 와  $E$ 는 각각 흡수선량과 그에 따른 생물학적 효과이고  $a, b$ 는 상수이다.

이 표현식에서 저선량과 저선량율일 경우에는 일차

항( $aD$ )이 우세하나, 고선량( $>1Gy$ ), 고선량율( $\geq 1Gy/min$ )인 경우는 이차항( $bD^2$ )이 우세해진다.

高 LET 방사선의 선량-효과관계는 너무 복잡하여 권고 26에서는 다루어지지 않고 있으나 ICRP의 제 1전문위원회(방사선효과)에서는 계속 이를 검토하고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

2) 조직에 대한 위해

과거의 권고에서는 가장 영향이 큰 조직 또는 장기, 즉, 결정조직 또는 결정장기의 피폭에만 주안점을 두는 방법을 택하였으나 새 권고에서는 신체조직 전체의 피폭에 의한 위해의 총합을 토대로 하여 판단하는 방법으로 바뀌었다. 즉, 영향의 크고 작음에 대한 ICRP의 정량적 판단을 위하여 비확률적 영향에 대한 발단치 및 확률적 영향에 대한 위해계수를 사용하고 있는 점이 큰 변화의 하나라고 말할 수 있다.

권고 26에서 취급된 몇 가지 조직에 대한 발단치와 그에 대응되는 비확률적 영향을 정리해 보면 표 3과 같다.

한편 이 권고에서 취급한 여러가지 조직·기관에 대한 확률적 영향의 위해계수를 요약하면 표 4와 같다.

여기서 주목되는 것은 위해계수 산출에 있어서 ICRP

표 3. 인체조직에 대한 非確率的 影響 發端值

인체조직	發端值(Gy)	조 건	영 향
生殖腺	3 0.25	40세여성, 低LET線 一時照射 低LET, 高線量率	수태능력영구정지 精자의 일시적 감소
赤色骨髓	>20	$\gamma$ 선 生涯照射(동물실험)	조혈기능손상
水晶體	>15	遲延照射	視力장해의 混濁
皮膚	>20	限定部位, 수週~수개월 피폭	미용상 容認不可의 변화

표 4. 各組織·器管의 確率的 影響의 危害係數

조직·기관	위해계수( $Sv^{-1}$ )	영 향
생식선	$10^{-2}$	첫 2代(子와 孫)의 유전적 결합
적색골수	$2 \times 10^{-3}$	백혈병에 의한 사망
뼈	$5 \times 10^{-4}$	뼈암     "
폐	$2 \times 10^{-3}$	폐암     "
갑상선	$5 \times 10^{-3}$	갑상선암   "
유방	$2.5 \times 10^{-3}$	유방암     "
기타 조직	$5 \times 10^{-3}$	암         "
기타 단일 조직	$\leq 1 \times 10^{-3}$	"         "
전신 균등 피폭	$10^{-2}$	"         "
"	$4 \times 10^{-3}$	첫 2代의 유전적 영향
"	$8 \times 10^{-3}$	후손 전체에 걸친 유전적 영향

는 위험(risk)로서 발암에 의한 사망과 유전적 영향 중 에서 子와 孫 2代에 나타날 유전적 결함만을 취급한 점이다.

### 6. 선량제한체계

#### 1) ALARA 決定의 기초

원고 26에 의하면 ICRP가 선량제한체계를 권고하는 주목적은 방사선이용의 ① 正當化, ② 最適化 및 ③ 線量制限을 확인·보증하는데 있다. 여기서 정당화란 소위 비용—이익해석(cost-benefit analysis)을 행하여 순이익 有無를 판단하는 것인데, 이익이란 개인, 특정 집단, 또는 사회에 대한 유형무형의 이익 전부를 포함 하는 것이며, 비용이란 금전적 비용, 건강상손해, 환경의 손상등 어떤 활동의 부정적요인의 총합을 이른다. 한편 최적화는 미분비용—이익해석(differential cost-benefit analysis)에 따른 것으로서 일반적으로 어떤 하나의 활동 또는 행위에 대한 단위선량당당량 방 호비용의 증가분이 단위선량당당량 손해의 감소분과 균형을 이루는 그러한 집단선량당량을 찾아내는 것을 말한다.

이제 순이익을 B, 총이익을 V, 기본적생산 또는 활동비용을 P, 既定 방호수준을 성취하기 위한 비용을 X, 이 활동 또는 조업에 개재되는 손해의 비용을 Y라고 하면 순이익은

$$B = V - (P + X + Y)$$

되는데 여기서 B가 正의 값을 가져야 그 활동 또는 조업은 정당화 되는 것이다.

순이익을 극대화 하기 위한 미분비용—이익해석에서 독립변수는 그 활동 또는 조업을 수행하기 위하여 받게 되는 집단선량당량 S이다. 그러므로 최적순이익은

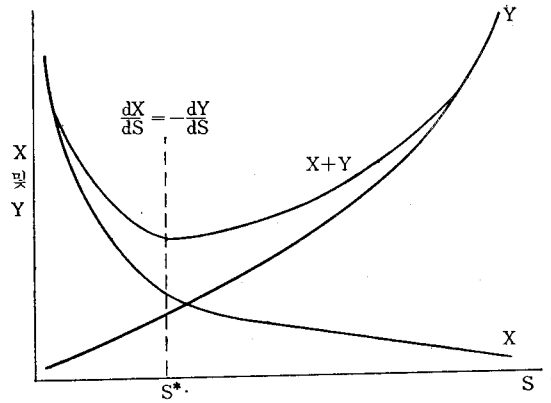
$$\frac{dV}{dS} - \left( \frac{dP}{dS} + \frac{dX}{dS} + \frac{dY}{dS} \right) = 0$$

가 성립될 때 얻어진다. 그런데 V와 P는 어떤 주어진 활동에서 S에 무관한 상수로 볼 수 있으므로 결국 최적조건은 단위선량당당량 방호비용의 증가분과 단위 선량당당량 손해의 감소분이 균형을 이루는 선량당량 S\*에서 얻어지게 된다. 즉,

$$\left( \frac{dX}{dS} \right)_{S^*} = - \left( \frac{dY}{dS} \right)_{S^*}$$

되는 것이다.

이것을 다른 말로 표현하면, 이 조건이 성취되는 것은 그림 1<sup>5)</sup>에 있어서 S를 더이상 감소시키기 위한 비용이 그에 따르는 손해의 감소보다 커지기 시작하는 바로 그 점인 것이다. 이 점은 분명히 ICRP원고 9, 47項의 “위험을 더이상 줄이기 위하여 노력할 필요가



S=a variable reflecting the exposure, possibly in man-Sv.

X=total cost of achieving a value of S.

Y=total cost of detriment associated with a value of S.

그림 1. 微分費用—利益解析<sup>5)</sup>

있다고는 생각되지 않는” 점이며, 만일 경제적 사회적 비용이 모두 X값이나 Y값에 적절히 반영되어 있다면 이 점은 또 원고 26, 12項의 “경제적 및 사회적 고려를 계산에 넣어 합리적으로 성취할 수 있는 한 낮은”이라는 말을 定義하는 점이기도 하다.

왜냐하면 선량을 이상 낮춘다면 방사선에서의 손해의 低減量을 上廻하는 경제적 및 사회적 불이익이 추가되기 때문이다.

#### 2) 선량당량한도

ICRP가 증전에 권고한 선량한도는 20년 이상에 걸쳐 국제적으로 널리 사용되어 왔으며 많은 나라와 지역에서는 법률속에 넣었을 뿐 아니라 더욱이 그 선량 한도가 충분한 수준의 안전을 유지하는데 실패한 증거가 아무것도 없다는 점으로부터 年 5 rem(50mSv)이라는 기본적 한도는 실질적으로 변함없다고 말할 수 있다. 그러나 3개월간의 피폭제한(종래에 年 한도의 半)과 연령에 따라 결정되는 축적선량당량(D=5(N-18))의 제한은 없어지고 새 권고에서는 年 선량당량 한도만 정해져 있는 점이 과거의 권고와 다른 점의 하나가 되고 있다.

또한 신권고에 의하면 방사선작업종사자에 대한 선량당량한도는 1년간 외부 피폭에 따른 선량당량과 그 해에 흡입한 방사성핵종에 의한 에탁선량당량의 총합으로 정하는 것이다. 그러나 이 한도는 制御가능한 선원에서의 피폭에만 적용되는 것으로 보통수준의 자연

방사선과 의료상의 피폭이 제외되는 종전과 같다.

i) 작업종사자에 대한 선량당량한도

비확률적 영향을 방지하기 위한 선량당량한도는 水 晶體를 제외한 전조직에 대하여 1년에 0.5 Sv(50 rem), 수정체는 연간 0.15Sv(15 rem)으로 한다. 이 값은 취업기간을 최대 50년으로 하고 표 3에 제시한 발단치를 감안하여 유도한 값이다. 수정체에 대한 선량당량한도는 원래 0.3 Sv였으나 1980년의 ICRP연례 회의에서 개정된 값이다.<sup>7,8)</sup>

확률적 영향을 제한하기 위한 선량당량한도는 다음과 같다. 즉, 전신균등조사의 경우는 1년에 50mSv (5rem)으로 하고, 불균등조사 또는 부분조사의 경우는 照射에 의한 總危害가 1년에 50mSv의 전신 균등 조사때의 위험을 넘지 않도록 각기관·조직의 선량당량을 제한한다. 後者の 조건은 加重值  $w_T$ 를 사용한 식으로 표현할 수가 있다. 즉, 조직( $T$ )의 연간선량당량을  $H_T$ 라고 할때

$$\sum_T w_T H_T \leq H_{wb,L}$$

가 만족되는  $H_L$ 를 선량당량한도로 한다.

여기서  $H_{wb,L}$ 은 전신균등피폭에 대한 연간선량당량으로 50mSv의 값을 갖는 것이다. ICRP가 권고한 조직별 위험가 중치  $w_T$ 의 값은 표 5와 같다.

표 5. 組織에 대한 危害加重值

조	직	가중치( $w_T$ )
생	식 선	0.25
유	방	0.15
적	색 골 수	0.12
	폐	0.12
뼈	표 면	0.03
갑	상 선	0.03
기	타 조 직	0.30

기타조직에 대하여는 아직 위험계수가 산출되어 있지 않으므로, 가장 높은 선량당량을 받은 다섯 기관이나 조직의 각각에 대하여  $w_T=0.06$ 을 적용하고 그밖의 조직은 무시하기로 권고하고 있다. 그런데 消化器系統이 피폭된 경우는 胃, 小腸, 大腸上部 및 大腸下部를 각각 독립된 기관으로 간주한다.

이렇게 얻어진 선량당량, 즉,

$$H_E = \sum_T w_T H_T$$

를 實効線量當量이라 부르기로 1978년 ICRP의 Stockholm 연례회의에서 결정하였다.<sup>9)</sup>

ii) 體外, 體內 동시피폭의 경우

이 경우에는 다음 조건이 만족되면 확률적 영향에 대하여 ICRP가 권고한 선량한도를 초과하지 않을 것으로 보고 있다. 즉,

$$\frac{H_{i,L}}{H_{E,L}} + \sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1$$

및

$$\frac{H_{i,S}}{H_{S,L}} \leq 1$$

이 성립되어야 하는 것이다. 여기서

$H_{i,d}$ : 年間深部線量當量指數

$H_{i,s}$ : " 表層部 "

$H_{E,L}$ : " 실효선량당량한도

$H_{s,L}$ : " 피부 "

$I_j$ : " 방사성핵종섭취량

$I_{j,L}$ : " " 섭취한도(ALI)

이다. 원래는 선량당량 한가지만 썼었으나 실효선량당량과 피부선량당량으로 구분한 것은 1978년에 수정된 것이다.<sup>9)</sup>

이상에 언급한 바를 종합하여, ICRP가 권고한 비확률적 영향을 방지하기 위한 上限선량을 0.5Sv으로 잡고, 新, 舊勸告에 있어서의 선량한도를 비교하여 보면 표 6과 같이됨을 알 수 있다.<sup>10)</sup>

표 6. 新·舊 線量限度の 比較<sup>10)</sup>

器	管	ICRP 권고 9	ICRP 권고 26
		(결정장기에 대한 최대 허용 연간선량당량) Sv	(연간선량당량 한도) Sv
생	식 선	0.05	0.20
유	방	0.15	0.33
적	색 골 수	0.05	0.42
	폐	0.15	0.42
갑	상 선	0.30	0.50
뼈	표 면	0.15	0.50
손,	팔, 발	0.75	0.50
기	타 기 관	0.15	0.50
	전신균등피폭	0.05	0.05

비 고  $H_T=0.05w_T$ 로 계산-  
上限線量: 0.5Sv

iii) 계획된 특수 피폭

이 경우에는 체외피폭에 의한 선량당량과 예탁선량당량의 합이 단일피폭인 경우 연간선량당량한도의 2배, 일생 동안에 5배를 초과하지 않도록 권고하고 있다.<sup>9)</sup>

iv) 公衆의 構成員

공중의 구성원에 적용되는 선량당량한도는 작업자에 관한 限度의 1/10로 하고 있다. 즉, 비확률적 영향을 방지하기 위하여는, 모든 조직에 대하여 1년에 50mSv (5 rem), 확률적 영향을 제한하기 위한 조건은  $\sum w_T H_T \leq 5mSv (0.5 \text{ rem})$ 을 초과하지 않도록 하고 있다. 公衆의 경우 연령구성이나 성별구성이 작업자群과 同一하다고 볼 수 없으므로  $w_T$ 도 달라져야 할 것이나 其實 이것은 相對的 危害에 대응되는 값이므로 兩群사이의 차이는 무시할 수 있을 것으로 보고  $w_T$ 는 표 5의 값을 그대로 쓰기로 하였다.

v) 집단의 피폭제한

원고 26에서는 앞에 언급한 선량제한체계에 따라 방사선방호를 행하는 한 집단의 평균선량당량은 年間 0.5mSv(50mrem)을 초과하지 않을 것으로 예측하고 따라서 원고 9에 나왔던 遺傳線量限度(30년에 5 rem)에는 도달할 리가 없을 뿐 아니라 과거 약 20년간에 얻어진 지식에 비추어 보면 유전적 영향은 중요한 것이긴 하나 다른 모든 것을 초월하는 중요성을 갖는 것은 아니어서 餘他 모든 영향의 습합에 포함시킬 필요가 있으므로, ICRP는 더이상 집단에 관한 선량당량한도를 원고하지 않기로 하였다.

3) 용인되는 위해수준과 그 한도에 대한 위해추정

“용인되는 위해수준”에 관하여 원고 9에서는 47항에서 定性的으로 記述하고 있으나, 원고 26에서는 사고방식 자체의 記述은 물론, 수치적인 ICRP의 판단도 나타내고 있다.

방사선에 의한 危害가 용인되는가 아닌가의 판단은 방사선작업의 위해를 방사선과 無關한 職業으로, 높은 안전수준에 있다고 인정되는 것의 위해와 비교함으로써 이루어진다고 생각한다. 높은 안전수준의 직업이란 직업상의 위해에 의한 年間平均死亡率이  $10^{-4}$ 을 넘지 않는 직업이라고 결론짓고 있다. 한편 방사선피폭을 수반하는 직업에 대한 調査 결과에 의하면 연간선량당량한도가 50mSv(5 rem)인 현재, 작업자의 평균선량당량은  $5mSv \cdot y^{-1} (0.5 \text{ rem} \cdot y^{-1})$ 을 넘지 않고 있으며 여기에 위해계수를 사용하여 산출되는 암에 의한 사망의 위해는  $10^{-4} y^{-1}$  정도 된다. 따라서 선량당량한도를  $50mSv \cdot y^{-1}$ 로 하는 선량제한체계에 의한 방사선방호가 성취된다면 이 방사선작업은 높은 안전수준에 있다고 말할 수 있게 된다.

公衆의 구성원에 대한 위해의 판단에도 동일한 논리가 적용된다고 보고 이 경우에는 일상생활에 있어서 방사선 이외의 위해를 公衆이 어떻게 容認하고 있는가를 고찰하여, 年平均 사망율이  $10^{-6} \sim 10^{-5}$ 의 범위이면,

누구에게나 용인되는 것으로 생각한다. 이것은 일생을 통하여  $1mSv \cdot y^{-1} (100mrem \cdot y^{-1})$ 의 율로 照射를 받았을 경우에 암에 의한 사망의 위해와 대체로 같다. 따라서 公衆의 구성원에 대한 선량당량한도,  $5mSv \cdot y^{-1} (500mrem \cdot y^{-1})$ 가 지켜진다면 평균선량당량은 그 1/10인  $0.5mSv \cdot y^{-1} (50mrem \cdot y^{-1})$ 을 넘지 않을 것으로 생각하고 있으므로 용인되는 수준의 피폭이라고 말할 수 있게 된다. 이에 관한 보다 자세한 論議는 원고 26에 이어서 나온 ICRP Publ. 27<sup>11)</sup>에 잘 되어 있다.

7. 방사선방호 실시의 일반적원칙

방사선방호를 실제로 실시함에 있어서 여러가지 기준이 사용되고 있는데 이 원고에서는 표 7과 같은 기준을 定義하고 그것들을 확실하게 구별하여 사용할 필요를 강조하고 있다.

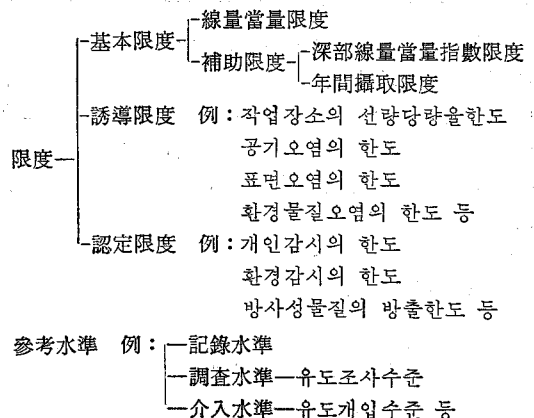
誘導限度란 어떤 정해진 model을 中介로 하여, 基本限度에 대응되는 값으로서 산출되는 여러가지 量의 한도를 말하며 표 7에 記述한 量들에 대하여 定할 수 있는 것이다. 유도한도와 기본한도의 관계의 정확도는 사용한 model이 현실과 합치되는 정도에 의존하게 된다. 유도한도를 지키면 대응되는 기본한도를 넘지 않을 것이 확실한, 그런 유도한도를 정해야 하지만, 逆으로 유도한도를 넘었다고 하여 그것이 바로 기본한도를 넘은 것이라고는 말할 수 없다.

이것은 종래의 유도실용한도(derived working limits DWL)라 불려 온 것과 같은 것이다.

認定限度는 원고 26에서 처음으로 定義된 것으로 감독관청, 또는 시설관리자가 정하는 한도로, 여러 수준의 소위 “規制値”를 나타내는 것으로 볼 수 있다.

한정된 상황에 대하여 최적화의 수법으로 정해지는 한도이므로, 일반적으로는 유도한도 보다 낮으며 따라

표 7. 방사선방호 기준분류



서 유도한도에 우선하여 적용된다.

參考水準은 어떤 量의 수치가 이 수준을 넘거나 넘을 가능성이 있는 경우 어떤 조치를 취하기 위하여 정해지는 것으로, 방사선방호에 관계되는 어떤 量에 대해서도 설정할 수가 있다. 그 예로 記錄水準, 調査水準, 介入水準을 들고 있는데 앞의 두개는 종래 사용해 오던 것과 같은 것이고 개입수준은 종전의 대책수준과 같은 것으로 보면 될 것이다.

### 8. 相異한 여러 피폭에의 적용

이상에서 언급한 내용이외에 이 권고는 職業的 被曝, 醫療被曝, 其他被曝에 대하여 그 각각의 종류, 피폭제한의 수단, 감시방법, 최적화 및 異常상태시의 개입 등에 관하여 구체적으로 記述하고 있는데 여기서는 자세한 설명을 생략하기로 한다. 다만 직업적 피폭의 경우, 방사선작업의 조건을 표 8과 같이 분류함을 참고로 付記한다.

### 9. 맺는 말

앞에서 ICRP 권고 26의 주요 내용을 알아 보았다. 이제 이 권고와 종전의 권고 9와의 차이점, 이 권고가 나온 이후에 ICRP 연례회의 및 전문위원회에서 수정·보완 또는 검토된 사항, 끝으로 이 권고 26의 적용 내지 법적화에 관한 각국의 동향을 살펴 봄으로써 맺는 말로 삼고자 한다.

표 8. 確率的 危害와 관련된 최대 및 평균 年間피폭

작업자 유형	최대연간피폭 (단위: 年線 量當量限度)	평균연간피폭 (단위: 年線 量當量限度)	비 고
조건 A의 작업자	0.3~1.0	0.1	개인피폭감시 要
조건 B의 작업자	0.3	0.01	개인피폭감시 不要
일반 公衆	0.1	0.01	

#### 1) 권고 9와의 차이점

체제 및 권고의 구성내용에 관한 차이점은 이미 앞에서 언급한 바 있거니와 보다 근본적인 차이점으로 꼽을 수 있는 것은,

첫째, 正當化, 最適化, 線量制限이라는 개념을 명백히 한 선량제한체계의 강조를 들 수 있을 것이다. 동시에 새 권고에서는 모든 방사선관계량을 SI단위로 표시하고 있는 점도 들 수 있다.

둘째는 선량-효과관계에 있어서, 과거에는 發端值 없는 직선관계인 단일 假定을 써오던데 반하여 새 권고에서는 발단치가 존재하는 관계를 동시에 並用하면서 방사선의 영향을 확률적 및 비확률적 영향으로 나누어 다룬 점이고,

셋째는 決定器管 또는 組織이라는 종전의 개념을 버리고 全身均等被曝 개념을 기본으로 하여 각기관 또는 조직의 피폭에 적절한 危害加重值를 사용한 점이며,

넷째로 선량당량한도의 값은 年間限度만 권고하고 있을 뿐, 종전의 3개월한도, 畜積線量當量限度(5(N-18)) 및 公衆집단에 대한 遺傳線量限度에 관한 권고는 하고 있지 않으며 종전의 허용선량, 최대허용선량이나 최대허용농도의 개념을 버린 것을 들 수 있다. 최대허용농도 대신 年間攝取限度(annual limit of intake, ALI)가 주어져 있다.

다섯째, 방사선에 의한 危害(risk)를 위해계수라는 수치로 표시하므로써 定量的 개념을 도입하는 한편, 他職業의 위해, 또는 일상생활의 위해와 비교하므로써 容認되는 위해 수준의 구체적 값을 제시하고 있으며, 體內피폭도 예탁선량당량의 개념을 도입하여 보다 구체적으로 정량화한 점 등을 들 수 있다.

#### 2) 1977 이후의 論議

권고 26이 나온 이듬해인 1978년 5월 ICRP Stockholm 의 연례회의에서는 본래의 권고에서 애매하게 해석될 수 있는 조항들에 대하여 추가설명 또는 수정·보완을 한 바 있다.<sup>9)</sup> 이 수정·보완에서는, 논의가 분분한 위해계수의 수정필요성은 아직은 없다는 ICRP의 입장을 분명히 하는 한편 손, 팔, 발, 발목, 피부 및 눈의 수정치는 위해가중치 규정중의 기타 기관에 포함되지 않으며 이들 기관에 대하여는 비확률적 영향을 방지하기 위한 선량한도(권고 26, 103항)를 적용할 것을 지적하고, 軌β線에 의한 집단의 全皮膚表面 피폭의 경우, 위해계수를 10<sup>-4</sup> Sv<sup>-1</sup> 정도로 보고 이에 대응되는 위해가중치 w<sub>T</sub>를 0.01로 본다는 점을 분명히 하였다. 그밖에  $\sum_T w_T H_T$ 로 주어지는 선량당량을 “실효선량당량” H<sub>E</sub>로 규정하였으며 권고의 項別修正은 38, 79, 89, 93, 107, 108, 110, 113, 187 및 238項에 대하여 부분적 또는 대폭적으로 가해졌는데 여기서는 紙面판례로 그에 관한 설명을 생략한다.

1979년 9월, London에서 있었던 ICRP 제 1 전문위원회(방사선영향)에서는 선량한도에 관한 사고방식의 전반적 검토, 高LET 방사선의 선량-효과관계, 방사선 발암의 새로운 危害推定值, 유전적 영향, 胎內피폭, 비확률적 영향등이 광범위하게 토의·검토되었으나 권



고의 수정·보완을 위한 결론은 나온 바 없다.<sup>6)</sup>

영국 Brighton에서 열린 1980년 3월의 ICRP 연례회의에서는 radon에 관한 직업적 피폭의 한도, 눈의 수정체에 관한 선량당량한도 및 현재 얻을 수 있는 방사선의 위해추정치에 관한 知見 등이 토의·제시되었는데,<sup>7,12)</sup> 앞서서도 이미 언급한 바와 마찬가지로 여기서는 水晶體에 관한 연간선량한도를 0.3Sv에서 0.15Sv으로 修正採擇한 바 있다. 또한 Rn-222와 그子核種에 대한 직업적 피폭을 제한하기 위하여서는 1년에 50mSv이라는 실효선량당량의 현행 한도를 기초로 삼아, 연간섭취한도(ALI) 권고치를 흡입한 잠재 α에너지로 표시하여 1년에 0.02J(1J=7×10<sup>12</sup>Mev)로 하였다. 이것에 대응되는 誘導空氣中濃度<sup>13)</sup>를 지금까지 사용되어 온 실용단위로 나타내면 0.4 작업수준(working level, WL)이 되는데 1WL은 1l의 공기중에 포함된 Rn-222의 임의의 短壽命子核種이 완전히 붕괴되어 Pb-210이 될 때까지 방출한 α입자 에너지의 총합(이것을 잠재에너지라 함)이 1.3×10<sup>5</sup> MeV일 때의 농도를 말한다. 그밖에 방사선에 의한 全損害(total detriment)의 산출에 관한 논의도 있었으나 여기서는 설명을 생략한다.

1981년도 ICRP 연례회의는 3월에 Tokyo에서 열렸는데<sup>14)</sup> 여기서는 ICRP 권고 26을 4년후에 개정하기로 하고 이에 대비한 필요한 data의 수집작업을 광범위하게 수행하기로 한 점이 주목을 끈다고 하겠다.

3) 각국의 반응

ICRP 권고 26에 대한 각국 전문가들의 반응은, 이 권고를 몇가지 실제적 사례에 적용하려는 연구, 권고에 대한 비평, 권고를 법령에 도입하는 문제등 몇가지 相異한 유형으로 나타나고 있다.

사례적용에 관한 연구로는 방사성핵종의 흡입과 섭취에 의한 3種의 既存 체내선량해석 compilation을 기초로 한 실효선량당량 비교에 관한 ORNL group의 연구<sup>15)</sup>와 권고 26의 선량제한체계에 기반을 둔 각종 에너지의 증성자 실효선량당량산출에 관한 인도의 BARC group의 연구<sup>16)</sup> 등을 들 수 있다.

한편 권고자체에 대한 반응과 비평으로는 미국원자력학회의 방사선방호 및 차폐부에서 수행한 ICRP 권고 26의 적용에 관한 검토<sup>17)</sup>와 체내피폭제한을 중심으로 한 Healy의 연구<sup>18)</sup> 등을 들 수 있는데 前者의 경우는 원자력발전소 작업조건들에 비추어 볼때 권고 26이 全身線量當量의 관점에서 보면 권고 9보다도 더 制限의 일 수 있으며 미국의 10CFR 20, 101보다는 확실히 더 엄격하다는 반응을 보이고 있다. 한편 체내피폭을

중심으로 ICRP 권고 26의 선량제한체계를 검토한 Healy는, 중진의 최대허용신체부하량이라는 개념이 여전히 쓸모있는 量임에도 불구하고 이를 버리고 예탁선량당량이라는 개념을 도입함으로써 방사선방호 실행의 정책결정과정에서 여러가지 문제를 제기할 여지가 있음을 지적하고 특히 長壽命핵종의 측정과 그에 의한 위해를 보다 적절히 평가하는 등 권고된 선량제한체계를 많이 수정하지 않는 한 미국에 이것을 그대로 받아들이려는 안된다는 否定的 반응을 나타내고 있다.

권고 26을 실제로 적용하거나 법령에 도입하기 위한 논의로는 일본의 경우와 미국환경보호청(US EPA)의 제안을 들 수가 있는데, 일본의 경우는 이미 1978년에 방사선심의회내에 설치된 ICRP작업위원회에서 새로운 ICRP 권고에 따라 법령을 개정할 것인가, 개정한다면 어떻게 할 것인가를 검토하기 시작하였으며<sup>19)</sup> 일본의 방사선방호 및 관리업무의 특징이 법률주도, 행정주도 형임을 지적하고<sup>20)</sup> 법령개정 과정에서는 방사선관리 실무담당자의 의견이 가능한 한 많이 반영되도록 촉구하는 반응이 있는 가운데 법개정작업이 진행중인 것으로 알려져 있다.<sup>21)</sup> 미국의 EPA가 제안한 직업적 피폭에 관한 연방방사선방호지침<sup>22)</sup>은 얼핏 보면 ICRP 권고 26과는 無關한 독립적인 제안같이 보이나 기본개념은 같은 곳에서 출발한 것으로 보여서, 9項의 권고로 되어있는 이 제안의 특징적 개요를 여기에 소개한다.

우선 방사선방호지침(RPG)으로서 연간외부피폭선량당량 및 예탁선량당량의 sum

- 全體, 生殖腺, 水晶體 : 5rem
- 손 : 50rem
- 기타기관 : 30rem

을 초과하지 않도록 하며(여기서는 Sv 아닌 rem 단위를 쓰고 있음) 신체에 대한 不均等피폭의 경우에는

$$\sum_i w_i H_i \leq 5 \text{ rem}$$

을 만족하도록 권고하고 있으나 w<sub>i</sub>값은 다음과 같이 ICRP 권고 26과는 다른 값을 취하고 있다.

- 즉, w<sub>i</sub>는 유 방 : 0.20      뼈 표면 : 0.03
- 폐 : 0.16            피 부 : 0.01
- 적색골수 : 0.16          기타기관 : 0.08
- 갑상선 : 0.04

인테 여기서 기타기관에 관한 것은 가장 높은 선량에 피폭된 다섯기관의 각각에만 적용한다. 또한 이 권고에서는 적절한 관계당국이 “최소방사선방호필요조건”을 설정하여 이를 작업장에 적용토록 하고 있는데, 이것은 방사선지역을 3지역으로 나누어 각 지역마다 반드시 갖추어야 할 필요조건을 권고하고 있다.

3지역이란 0.1RPG 이하인 A지역, 0.1~0.3RPG인

B지역, 0.3~1.0RPG인 C지역을 말한다. 한편 표준인에 대한 예탁선량당량이 앞에 권고한 RPG를 만족하도록 하는 방사성물질의 최대연간체내 흡입량(Ci단위)을 방사능섭취인자(RIF)라는 용어로 定義하여 이것으로 방사성물질의 흡입량을 제한하는 단위로 사용하고 한 점등이 이 제안의 특색이라 하겠다.

이밖에도 ICRP 권고 26의 이론적 배경과 적용에 관한 다각적 검토,<sup>10)</sup> 이 권고에서 제시한 위험가중치  $w_T$ 에 대한 논의<sup>23)</sup> 등이 있어 왔음을 끝으로 添言한다.

### 참 고 문 헌

- 1) ICRP Publ. 26; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Ann. ICRP Vol. 1, No. 3(1977)
- 2) ICRP Publ. 9: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford (1966)
- 3) ICRU Rept. 19: Radiation Quantities and Units, ICRU, Washington, D.C. (1971)
- 4) Supplement to ICRU Rept. 19: Dose Equivalent, ICRU, Washington, D.C. (1973)
- 5) ICRP Publ. 22: Implications of Commission Recommendations that Doses be Kept as Low as Readily Achievable, Pergamon Press, Oxford (1973)
- 6) 松平寬通: 放射線科學 22, 230(1979)
- 7) F.D. Sowby: *ibid* 23, 121(1980)
- 8) Health Physics Society: HPS Newsletter 8(6), 1(1980)
- 9) F.D.Sowby: Phys. Med. Biol. 23, 1209(1978)
- 10) A. Ward and D. Blue: Health Phys. 38, 687(1980)
- 11) ICRP Publ. 27: Problems Involved in Developing an Index of Harm, Ann. ICRP Vol. 1, No. 4 (1977)
- 12) 松平寬通: 放射線科學 23, 101(1980)
- 13) ICRP Publ. 30: Limits for Intake of Radionuclides by Workers, Ann. ICRP Vol. 3, No. 4 (1979)
- 14) S. Takahashi: Isotope News No. 325, p.24(1981)
- 15) D.E. Dunning, Jr. and G.G. Killough: Rad. Prot. Dos. 1, 3(1981)
- 16) P.S. Nagarajan and A. Kumar: Health Phys. 41, 400(1981)
- 17) T.E. Todd: Report of the Radiation Protection and Shielding Division of American Nuclear Society on the Practical Application of ICRP-26 (1978) (unpublished)
- 18) J.W. Healy: Health Phys. 42, 407(1982)
- 19) 伊澤正實: 國際放射線防護委員會의新勸告 ICRP Publ. 26について(1978) (unpublished)
- 20) 吉澤康雄·草間朋子: 原子力工業 24(4), 29(1978)
- 21) 草間朋子: Isotope News No. 235, p.18(1982)
- 22) Health Physics Society: HPS Newsletter 9(4), 2 (1982)
- 23) E. Stoll and S. Chakraborty: Health Phys. 42, 225(1982)

## ICRP-26, The Recommendations on Radiological Protection

Jae-Shik Jun

Department of Physics Chungnam National University

### Abstract

Since the last ICRP recommendations on radiological protection was published in 1966 as its Publication 9, the revised edition of the recommendations had first been published in 1977, accommodating up-to-date knowledge of radiobiology and operational experiences of radiation protection built up for over a decade.

In this article, the new version of the recommendations is reviewed in comparison with those of the Publication 9, while the corrections and modifications made afterward are introduced together with the recent trends and responses of the experts in various countries for the practical adoption or legislation of the recommendations.

## 학 술 발 표 내 용

1. Studies on the Reference Korean 2. Mass of Organ  
김영진, 이강석, 전기정, 김종봉, 김삼량, 정국현\*(한국에너지연구소)
2. S-2-(W-Aminoalkylamino) ethyl Dihydrogen Phosphorothioates들의 합성과 이들의 특성  
김유선, 김석원(한국에너지연구소)
3. ICRP 권고 26과 방사선장해방어  
전재식(충남대학교)
4. 방사선 종사자의 개인피폭선량실태  
이해룡\*, 백덕우(국립보건원)
5. Exposure Dose and Protection during Upper Gastrointestinal Examination  
추성실(연세대학교)
6. 고리원자력발전소 부지를 중심으로 한 환경방사선량율의 결정  
이현덕\*, 노재식(한국에너지연구소)
7. Alpha Particle Energy Resolution of CR-39 Plastic Track Detector  
강영호\*, 김두성, 박장식(경북대학교)
8. 무한평판 조직등가물질에서 광자—전자 연결감속 에너지 스펙트럼의 계산  
정찬영\*, 제원목, 이수용(한양대학교), 하정우(한국에너지연구소)
9. 제 2 회 국제방사선물리학 심포지움 참가보고  
정운혁(부산대학교)
10. 속중성자 스펙트럼의 해석적 표현식  
노성기\*, 민덕기(한국에너지연구소 대덕공학센터)
11. Experimental Study on the Determination of Dose Equivalent Index and Dose Distribution in the Rotational Tissue Equivalent Sphere.  
Soo-Yong Lee\*, Chong-Chul Yook (Hanyang Univ.)  
Chung-Woo Ha (Korea Advanced Energy Research Institute.)