ICRP Publication 42

ICRP가 사용하고 있는 중요한 概念과 量의 用語解說

徐 斗 煥 (韓國에너지研究所 原子炉管理室長)

1. 머리말

(1) ICRP가 작성한 최근의 간행물 중 여러 곳에 많은 새로운 概念과 量이 도입되어, 특정한 目的으로 사용되어 왔다. 이들의 대부분은 해당 간행물 내에서 定義되고 說明되어 있지만, 定義되어 있는 곳을 쉽게 찾아내는 것, 그리고 특히 그 意圖 또는 使用方法이 그 후의 간행물 또는 解說聲明에서 변경된 경우, 그것을 아는 것이 언제나 가능하다고는 할 수 없다. 이 用語解說이 의도하고 있는 것은, 이들 중에서 중요한 概念과 量의 定義 및 說明을 일괄해서 기술하는데 있다. 이 보고서에서는 새로운 概念 또는 量의 도입은 하지 않고, 定義에 대하여 어떤 변경도 하지 않지만, 최초의 설명에 대한 擴張 또는 明確化, 어떤 경우에는 追加하였다. 주요한 出典은 ICRP Pub. 26[1]이며, 몇 가지의 基本量에 대한 定義는 최근의 ICRP간행물[2 3]에 따랐다. 이들에 대한 중요한 出典은 ICRP의 聲明, Annals에 발표된 그 외의 간행물, 그리고 文獻에 있는 論文이다.

(2) 構成을 갖추기 위하여 內容은 크게 두 章으로 나눠, 첫 장에는 線量算定에 관한 量을, 다음 장에는 ICRP의 線量制限體系[1]의 적용에 관한 概念과 量을 취급하였다. 線量算定에 관한 量은 다시 구분하여 第1節에는 特定人이든 假定人이든 個人의 放射線被曝을 定量的으로 나타내기 위하여 사용되는 모든 量을, 第2節에는 어떤 결정된 被曝源에 유래하는 集團의 放射線被曝을 나타내기 위하여 사용되는 量을 취급하고 있다. 이와 같이 구분하는 것은 이들 量을 線量制限體系의 일부로서 적용하는데 이것이 가장 좋기 때문이다.

2. 線量算定에 관한 量

2.1 個人에 관계되는 量

吸收線量(absorbed dose)

(3) 放射線과 物質과의 相互作用을 定量的으로 기술할 때 가장 基本的인 假定은, 單位質量當의 沈着에너지가 이 상호작용을 나타내는데 적절한 尺度이다. 이 에너지 沈着, 즉 **吸收線量**D는 모든 종류의 放射線으로 부터 생기는 것으로서 다음 관계식으로 定義된다[2]:

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

여기서 $d\bar{\varepsilon}$는 電離放射線에 의하여 물질의 體積要素에 주어진 평균에너지, dm은 체적요소내의 물질질량이다. 吸收線量의 SI單位는 킬로그램당 주울(Jkg^{-1})이며, 특별명칭은 그레이(gray, Gy)이다. 흡수선량의 종전 단위는 래드(rad, 1rad=0.01 Jkg^{-1})였다.

(4) 주어진 에너지가 미소한 질량에 대하여 결정되는 것이라면, 에너지沈着의 랜덤한 병동이 중요시 된다. 질량 m의 물질에 주어진 에너지를 ε라 하면, ICRP[2]에 의하여 $Z=\varepsilon/m$로 정의된 **比에너지**(또는 **附與된 比에너지**)〔specific energy (imparted)〕Z는 確率的인 量이다. D는 m가 제로로 접근할 때의 평균비에너지의 極限値이다. 이 觀點은 마이크로도시미트리에서 중요하지만, 현장의 放射線防禦에는 별로 관계가 없음으로, 여

기에서는 그 이상 고찰하지 않는다. 다른 몇가지 量도 이 종류에 속하므로 確率量의 期待値를 나타내는 것이다.

(5) **照射線量**(exposure)이라는 量이 X線과 γ線의 測定에서 종전에 사용되어 왔다. 지금은 參考標準用量 이외에는 사용하지 않으며, 다음의 관계식으로 정의[2] 되는 **空氣커마**(air kerma) K로 바뀌고 있다:

$$K=\frac{dE_{tr}}{dm}$$

여기서 dE_{tr}은 電荷를 갖지 않는 電離放射線에 의하여 어떤 물질의 질량m 내에서 遊離된 모든 荷電電離粒子의 初期運動에너지의 합이다.

(6) 人體組織의 단위질량당의 에너지침착과 그 결과 생기는 生物影響과의 관계를 연구해 보면, 생물영향은 단위질량당의 에너지침착, 즉 吸收線量 만에 依存하는 것이 아니고, 다른 諸因子 특히 방사선의 종류에도 의존한다는 것을, 곧 알 수 있다. 또 이 相關關係는 문제삼는 생물영향의 종류에도 吸收線量率의 時間分布에도 의존한다.

(7) 照射와 조사받은 특정한 개인에 관찰되는 영향과의 사이에 직접적인 또는 확실한 상관관계가 나타나는 것은, 그 값 이하에서는 이들의 결과가 생기지 않는 문턱값을 갖는 高吸收線量일 때의 영향에 대한 것 뿐이다. 이와 같은 종류의 영향에는 紅斑이 있다.

이와 같은 영향을 委員會는 **非確率的**(non-stochastic) 影響이라 부르고 있다. 암유발처럼 문턱선량이 존재한다는 증거가 없는 종류의 영향에 대해서는, 어떤 集團人이 조사받으면 그 일부에 이 영향이 나타난다는 것이 알려져 있지만, 현재로서는 그것이 개인에게도 나타날 것인가를 豫知할 수단은 없다. 따라서 어느 개인에 대해서도 조사가 증가되면 이 영향이 생기는 확률이 증가할 것이라고만 생각할 수 있다. 이런 영향을 위원회는 **確率的**(stochastic)影響이라고 부르고 있다. 어떤 주어진 實驗條件에서의 특정한 영향에 대해서는, 直線 이외의 여러 형태의 **線量·効果關係**(dose-response relationships)가 관찰되고 있지만, 防禦目的으로는 어떤 조직의 조사에 의하여 생기는 확률적 영향의 리스크는 그 조직에 대한 흡수선량에 正比例한다고 가정한다.

線量當量(dose equivalent)

(8) 放射線防禦에서는 放射線被曝을 기술하기 위하여 算定된 量과, 그것으로 인한 생물학적영향과의 사이에 명확히 규정된 數値關係가 필요하다. 그래서 위원회는 통상의 방사선방어에서 만나는 흡수선량준위에서의 방사선피폭의 생물학적인 뜻을 충분히 잘 나타내는線量當量H라는 量을 사용하여 왔다. H는 다음 식으로 정의된다:

$$H=DQN$$

여기서 Q는 線質係數, N는 선질계수 이외의 모든 修正係數를 곱한 것으로서 위원회가 규정한 것이다. 현재 위원회는 N에 대하여 1이라는 값을 적용시키고 있다. Q, N는 디멘션을 갖지 않은 量이기 때문에, 線量當量의 SI單位는 吸收線量과 같이 Jkg^{-1}이지만, 혼란을 피하기 위하여 시버트(sievert, Sv)라는 특별명칭을 쓰고 있다. 선량당량을 나타내는 종전의 단위는 렘(rem, $1rem=0.01Jkg^{-1}$)이다.

(9) 線質係數는 방사선의 종류가 다르면 그 효과가 다르다는 것을 고려하기 위한 것으로서, 주어진 방사선에 따라 여러가지 생물학적 결과에 관하여 다른 값의 生物効果比를 신중히 판단한 결과 결정하고 있다. 이것은 문제삼는 조직 속에서의 平均飛程길이당 주어진 에너지에 의존하고 영향 또는 결과에는 의존하지 않는 것으로 가정한다. 따라서 Q의 값은 문제가 되는 지점에서의 水中에 대한 **衝突沮止能**(collision stopping power) $L\infty$의 함수로서 위원회에 의하여 정확히 정의되고 있다. 위원회는 이 관계를 표 1과 같이 몇가지의 $L\infty$値에 대하여 규정하고 있다. 다른 값은 직선적 補正에 의하여 얻을 수 있다.

표 1 ICRP가 지정한 Q와 $L\infty$와의 관계

水中의 $L\infty$ (KeV μm^{-1})	Q
≤ 3.5	1
7	2
23	5
53	10
≥ 175	20

(10) 만약 흡수선량이 어떤 범위에 분포하는 $L\infty$値를 갖는 粒子에 의하여 주어졌다면, 문제삼는

표 2 ICRP가 권고한 각종 방사선의 $\bar{Q}$에 대하여 허용되는 개략치*

방사선의 종류	$\bar{Q}$의 개략치
X선, γ선 및 電子	1
熱中性子	2.3
에너지불명의 中性子 陽子 및 靜止質量이 1amu보다 큰 電荷1의 粒子	10
에너지불명의 α粒子의 多重電荷의 粒子(및 電荷不明의 粒子)	20

*中性子의 質量係數는 1985年 파리의 성명에서 지금까지의 값 2배로 변경하였음.

지점에 대한 實効値 $\overline{Q}$를 산출할 수 있다.[2] L∞의 분포가 불명한 경우에는 $\overline{Q}$의 概略値를 사용하는 것이 허용되고 있다. 위원회는 보통 종류의 電離放射線의 모든 것에 이와 같은 概略値를 권고하고 있으며 그것은 표 2와 같다.

(11) 線質係數는 低線量에서의 악영향의 발생에 관한 각종 전리방사선의 효과성을 표현할 수 있도록 선정되어 있다.

따라서 중요한 것은 線量當量은 重篤한 非確率的 影響을 수반할지도 모르는 人的事故被曝에 의하여 일어날 수 있는 모든 영향중의 어느 것을 산정하기 위해서는 사용해서는 안된다는 것이다. 이 목적으로는 各種 방사선의 高線量에 대한 영향에 관한 **生物効果比**(relative biological effectiveness) RBE를 적용한 흡수선량이 적절한 量이다.

(12) Q와 RBE와의 관계는, 가끔 잘못 이해되고 있다. RBE는 吸收線量 이외의 條件은 같고 同範圍, 同種類 또는 同範圍에서 同種類의, 同準位의 생물영향을 가져오는데 필요한 標準放射線의 흡수선량과, 현재 생각하고 있는 방사선의 흡수선량에 대한 比로 정의된다. RBE는 특정한 선량범위내에서 주어진 흡수선량에 의하여 생기는 주어진 영향에 관한 生物學的反應을 알기 위하여 사용할 수 있다. Q는 어느 특정한 生物學的結果도 인용하지 않고 정의되고 있기 때문에, 어느 특정한 RBE 値와도 對應하고 있지 않는 것이다.

實効線量當量(effective dose equivalent)

(13) 전술한 바와 같이, 하나의 臟器 또는 組織에 확률적영향이 발생하는 확률은, 방사선방어의 목적으로는 그 장기 또는 조직에 대한 선량당량에 비례한다고 가정하고 있다. 이 比例常數는 여러가지 신체조직에 따라 다르지만, 健康損害를 산정하기 위해서는 통상은 全리스크가 필요하다. 만약 照射가 신체의 모든 조직에 대하여 균등하다면, 全身에 대하여 單一리스크 係數를 사용할 수 있고, 全身에 대한 선량당량만을 기준으로 한 산정과 비교할 수 있다. 그러나 만약 다른 조직의 照射가, 특히 많은 體內沈着放射性機種에 의한 조사의 경우처럼, 불균등이면 全리스크를 표현하기 위해서는 하나의 量이 더 필요하다.

(14) 위원회는 다른 장기에 따른 죽음의 리스크를 遺傳的影響의 일부도 고려하기 위하여 하나의 量을 권고하고 있다. 이 量은 다음과 같은 합으로 정의된다.

$$\sum_T W_T H_T$$

여기서 W_T는 組織T의 照射에서 기인하는 확률적영향의 리스크가, 全身이 균등하게 조사되었을 때의 全리스크에 대한 比를 나타내기 위하여 위원회가 규정한 荷重係數이고, H_T는 조직T에 대한 平均線量當量이다. 위원회는 처음에는 이 합에 대한 명칭을 권고하지 않았지만, 解說聲明[4]에서 이것을 **實効線量當量** H_E로 부르기로 시사하였다.

(15) 實効線量當量을 산정하는데는, 원칙적으로는 任意의 특정조직의 선량당량의 體內照射에 의한 것인지, 體外照射에 의한 것인지는 문제삼지 않는다. 모든 線源으로 부터의 各組織의 선량당량을 산정하여, 적절한 荷重係數를 곱하고 그 결과를 合計하는 것이 필요한 순서이다. 만약, 身體의 모든 조직이 균등하게 조사된다면 그 결과는 全身의 선량당량과 數値的으로 같게 될 것이다 그러나 實際的으로는 體內放射線으로 부터의 寄與와 體外放射線으로 부터의 기여를 별도로 산정하는 쪽이 容易하다.

(16) 위원회가 권고한 W_T의 값을 표 3[1]에 게재한다. 이것들은 위원회가 모든 年令의 男性과 女性의 個人, 즉 作業者와 公衆構成員의 방어로서 적절하다고 생각한 값이다. 生殖腺에 대한 값으로는 최초의 二世代(즉, 조사받은 개인의 아들과 손자)에 나타나는 重篤한 遺傳的 영향이 고려되어 있다. 實行上으로는 "나머지 장기 또는 조직"이라는 것은 표 3에는 명칭이 주어지지 않았지만, 선량당량이 높은 쪽부터 다섯개로 한다.

그리고 그 각각에 0.06의 W_T値를 적용시키는데, 그것에는 胃腸管의 네부분을 별도의 장기라고 생각하여 포함시킨다. 이 방법은 표 3에 게재되어 있지 않는 장기 또는 조직의 모든 것에 대하여 同一한 리스크係數를 적용시킨다. 이 簡單化는 實効線量當量을 계산하는 방법에 영향을 줄 뿐이고, 實効線量當量 그 自體의 定義로서는 모든 조직을 포함한다.

표 3 實効線量當量을 계산하기 위하여 ICRP가 권고한 荷重係數

臟器 또는 組織	荷重係數 : W_T
生殖器	0.25
乳 房	0.15
赤色 골수	0.12
肺	0.12
甲狀腺	0.03
骨表面	0.03
나머지의 장기 · 조직	0.30

(17) 피부를 "나머지의 조직"으로 취급할 것인지에 대해서는 지금까지 약간의 混亂이 있었다. 위원회는 解說聲明에서[4] "나머지의 조직"에는 손, 앞팔, 발, 복사뼈, 피부 및 눈의 수정체를 포함시

키는 것은 意圖하고 있지 않다는 것, 따라서 이들 조직은 實效線量當量의 계산에는 제외하여야 한다고 기술하였다. 그 제와는 個人의 방어관점에서의 實效線量當量의 산정에 적용하는 것이라고 생각해도 된다. 실효선량당량의 정의는 모든 조직을 포함하고 있고, 위원회의 이 성명은 몇 가지의 조직을 계산절차에서 제외한다는 것이다. 住民集團의 피폭이라는 관점에서의 피부照射의 취급법은 27項에서 다룬다.

(18) 實效線量當量도 선량산정에 관한 量의 하나이지만, 照射가 均等하든 不均等하든, 또 體外線源 및 體內線源의 양쪽으로 부터의 任意의 照射에 의하여 생긴다고 假定된 身體的 영향에 의한 죽음의 리스크와 최초의 二世代에 대한 遺傳的 영향의 리스크의 指標이다. 이것에는 第三世代 이후에 나타나는 유전적 영향은 포함하지 않으며, 또 甲狀腺암 또는 피부암의 많은 예와 같이 非致死性身體的 영향에 대해서는 고려하고 있지 않다.

預託線量當量(committed dose equivalent)

(19) 體外照射에 의한 吸收線量은 조직이 放射線場에 쬐이는 동시에 주어진다. 그러나 집어삼킨 放射性核種으로 부터의 體內照射인 경우에는 全吸收線量은 時間的인 폭을 갖게 되어 방사성핵종이 붕괴함에 따라 서서히 주어진다. 吸收線量率의 이 時間的 分布는 방사성핵종의 種類, 그 形態, 섭취方式 및 核種이 들어간 組織에 의존한다. 이 時間的分布를 考慮하기 위하여 위원회는 **預託線量當量**을 정의하였다. 이것은 放射性 物質을 體內에 섭취한 후에 個人이 받는 특정한 조직에 대한 線量當量率의 時間積分이다. 위원회는 이 적분기간을 一生동안 작업에 종사한 期間에 대응하는 값으로서 섭취후 50년으로 정하였다. 預託線量當量의 數式에 의한 정의는 時間 t_0에 대한 방사능의 單一攝取마다

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

이며, 여기서 H(t)는 어떤 장기 또는 조직에 적용되는 시간 t에 대한 線量當量率이다.

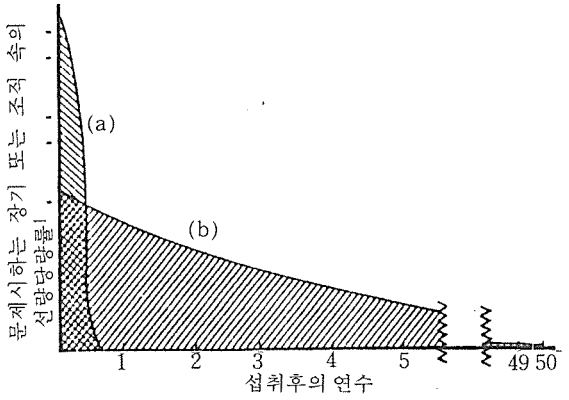

그림 1. 실효반감기가 긴 방사성핵종(a)와 짧은 방사성핵종(b)를 섭취한 후의 어떤 장기 또는 조직 속의 선량당량률

(20) 방사성핵종을 섭취한 후의 時間函數로서 한 조직 중의 線量當量率은 實效半減期가 짧은 것과 긴 것을 그림 1에 例示하고 있다. 이 그림은 조직 중의 線量當量率과 斜線으로 표시한 部分의 全面積인 預託線量當量과의 관계를 나타낸다.

預託實效線量當量

(21) 어떤 섭취에 기인하는 개개의 조직에 대한 預託線量當量에 적절한 荷重係數 W_T를 곱하여 合計하면, 그 結果値가 **預託實效線量當量**이다. "나머지의 조직"을 정할 때, 모호함을 피하기 위하여 합계해야 할 조직을 선정하기 전에 時間積分을 實行해야 한다. 이 量은 어떤 방사성물질의 섭취에 의한 평균적인 個人과 그 자손에 대한 특정한 신체적 및 유전적영향의 全리스크를 나타내는 尺度가 된다. 이 리스크는 그 섭취에 유래하는 將來의 해마다의 照射에 의한 리스크도 포함된다.

線量當量指標(dose-equivalent index)

(22) 문제시하는 地點에 대한 **線量當量指標**H_I라는 것은 그 點을 中心으로 하여 比重이 1 g cm^{-3}의 組織等價物質로 만든 직경 30cm의 救體內部에 대한 最大線量當量으로 정의한다. 이 量은 **非限定線量當量指標**(unrestricted dose-equivalent index)라 부른다. 이 정의의 중요한 하나의 歸結은 線源의 表面으로 부터 15cm보다 가까운 點에서는 H_I는 정의되지 않는다는 뜻이다. 最大線量當量이 되는 點은 救內의 任意의 點이지, 救의 中心인 경우는 드물다.

(23) 線量當量指標의 정의는 透過力이 낮은 방사선에도 사용할 수 있도록 수정할 수 있다. 그러기 위해서 반경 14cm인 中心核中의 最大線量當量과 그 바깥쪽 두께 1cm인 殼속에서의 最大線量當量과를 별도로 취급하면 편리하다.

이들 둘의 最大値는 각각 **深部線量當量指標**(deep dose-equivalent index) 및 **表層部線量當量指標**(shallow dose-equivalent index)라 부르고 $H_{I,S}$로 표시한다. 이들은 **限定線量當量指標**(restricted dose- equivalent index)라 부른다. 이 값의 큰 쪽은 非限定선량당량 지표와 동일하다. 表層部선량당량지표에는 두께 1cm 殼의 바깥쪽 0.07mm 두께내의 선량당량은 포함해서는 않된다고 권고하고

있다. 그 이유는 0.07㎜이라는 값이 피부가 얇은 신체부위에 대한 眞皮의 基底層 깊이의 代表値이며, 이 바깥쪽 0.07㎜ 두께 내의 어떤 방사선 영향도 무시할 수 있다고 假定하기 때문이다.

2.2 集團에 관계되는 量

(24) 이 節에서는 직접 또는 간접으로 集團의 放射線被曝源에 관계하고, 전술한 個人에 量을 근거로한 集團에 관한 量의 거의 모든 것에 대하여 기술하고 있다.

集團線量當量(collective dose equivalent)

(25) 영향은 선량당량에 비례한다고 가정하면 개인의 그룹에 대한 全방사선피폭을 측정하기 위한 하나의 간단한 量을 정의하는 것이 유용하다. 이 量은 위원회에 의하여 다음 식으로 주어지는 **集團線量當量**으로 정의된다:

$$S = \int_0^\infty HN(H)dH$$

여기서 N(H)dH는 H와 H+dH 사이에 선량당량을 받는 個人의 수이다. 또는 다음 식으로도 정의되다:

$$S = \sum_i H_i N(H)_i$$

여기서 $N(H)_i$는 H_i라는 평균선량당량을 받는 집단의 subgroup i에 속하는 개인의 수이다. 집단선량당량은 개인선량이 특정한 범위 내에 있는 것처럼 몇개 부분으로 분할 할 수 있다.

集團實効線量當量(collective effective dose equivalent) (26) 위의 정의식 중 선량당량의 항을 실효선량당량으로 바꿔놓으면 **集團實効線量當量** S_E를 주는 식으로 된다.

(27) 전술한바와 같이 H_E를 계산하기 위한 식은, 피부 또는 손발의 照射에 의하여 유발되는 致死암을 고려하고 있지 않다. 그러나 위원회는 集團住民에 대한 피폭에 기인하는 損害를 산정할 때는 피부의 表面全體에 관한 평균선량에 대하여 $10^{-4}Sv^{-1}$ 정도의 리스크係數를 使用하여 피부에 대한 치사암의 리스크를 고려해야 한다고 권고하였다[4]. 이 리스크係數는 약 0.01의 W_T에 상당하는 값이다. 실효선량당량이라는 量은 표 3에 표시한 荷重係數를 사용하며 一義的으로 정의되므로, 荷重係數를 하나 더 도입하면, 엄밀하게 말하면 合計가 1이 되도록 다른 係數를 변경해야할 必要性도 생길 것이다. 그러나 實際上은 피부에 대하여 0.01이라는 係數를 가해도 그와 같은 변경은 아무런 필요가 없다. 만약 피부의 照射를 고려해야할 狀況이라면 집단실효선량당량에 평균피부선량과 피부에 관한 荷重係數를 곱한 값을 **集團實効線量當量**(피부를 포함한)〔collective effective dose equivalent (including skin)〕이라 부르고, 이것을 사용하는 하나하나의 경우에 特記하면 된다.

(28) 집단선량당량의 정의에도 집단실효선량당량의 정의에도 이 線量이 주어지는 期間, 즉 이 線量은 나이를 먹어 마침내는 사망하는 單一集團에 대한 것인지, 또는 이것과 等價의 數世代에 걸친 集團에 대한 것인지를 明確히 規定하고 있지 않다. 그래서 예를 들면 集團線量當量의 사용과 후술 집단선량당량預託의 사용과의 사이에 약간의 混亂을 초래하고 있다. 실제로 일어나는 많은 狀況에서 집단선량당량은 어떤 特定期間, 때로는 1年間에 걸쳐서 받은 선량을 합계하여 구하고 있다. 이것들이 自明하지 않을 경우에는 집단선량당량으로서 합계하는 또는 적분해야 할 기간과 집단을 확실하게 규정해 주면 混亂은 피할 수 있을 것이다.

(29) 집단 선량당량을 계산하기 위한 기간을 1年으로 잡더라도, 그 年內의 放射性核種의 섭취에 의한 集團預託實効線量當量은 이 섭취에 기인하는 해당 臟器에 대한 線量當量率의 50年積分値이다.

1人當의 線量當量(per caput dose equivalent)

(30) 만약 하나의 集團이 均等하게 照射되어 그 集團의 크기가 커지면 집단선량당량은 크기에 비례하여 增大한다.

따라서 假定的인 平均的個人에 대한 선량당량으로 결과를 나타낼 수 있을 때는 유용하다. 이 量을 "平均" 線量當量이라고 불러도 좋지만 **1人當의 線量當量**으로 종래부터 알려져 있다. 이것은 후자쪽이 人員數로 평균한 것을 확실히 나타내고 있기 때문이다. 이 量은 個人에 대한 것처럼 보이지만 實在의 개인에 대한 선량당량을 이따금 나타내고 있는 데 지나지 않으므로 集團관련의 量에 포함시킨다. 즉 이 量은 폭을 갖는 실제의 선량당량의 平均値인 것이다. 실효선량당량의 節과의 類推에서 **1人當의 實効線量當量**(per caput effective dose equivalent)도 정의할 수 있다.

(31) 1人當의 선량당량은, 어느 특정한 집단에 대하여 주어진 기간동안의 집단선량을, 그 時點에서 그 집단에 속하는 개인의 수로 나누므로서, 또는 직접적으로는 그 線源에 기인하는 平均吸收線量率 또는 방사성핵종의 섭취량을 계산하여 그 다음에 평균선량당량 또는 평균예탁선량당량을 계산하므로서 구할 수 있다. 후자의 계산 예의 하나는 지구상에 분포하는 大氣中에 주어진 ^{85}Kr量에 의한 體外線量當量을, 空氣中의 平均Kr濃度의

계산을 仲介로 하여 직접으로 산출하는 것이다.

(32) 어떤 주어진 행위에 대한 장래의 형편과 被曝集團의 特性을 豫知할 수 있다면 1人當의 선량당량의 時間變動을 찾아낼 수 있다. 이것은 특정한 집단내의 平均値의 시간변동으로서, 어느 특정한 개인의 실제적인 선량당량의 시간변동은 아니다. 예를 들면, 문제시하는 집단을 평균년령 1살의 아이로 특정하여, 어떤 방사성핵종의 방출에 의한 1人당의 선량당량률을 방출후 100年 동안 계산한다면, 얻어진 결과는 時間的으로 계속되어 있는 一連의 평균년령 1살인 아이의 집단에 적용할 수 있다.

線量當量預託(dose-equivalent commitment)

(33) 주어진 행위에 의한 1人當의 線量變動을 시간의 함수로서 계산할 수 있다면, 그 함수를 적분하는 것도 가능하다. 그 결과를 **線量當量預託** H_c라 하고, 다음 식으로 주어진다:

$$H_c = \int_0^\infty \dot{H}(t)dt$$

여기서 $\dot{H}(t)$는 시간의 함수로서 나타낸 1人當의 선량당량률이다. 積分期間의 上限이 무한대이면 적분해서 얻어지는 量은 限定을 두지않고 線量當量預託이라 부르고, 만약 적분을 어느 시간T에서 끝내면 얻어진 量을 **截頭線量當量預託** 또는 **不完全線量當量預託**(truncated or incomplete dose-equivalent commitment)라 부른다. 이 때는 시간 T를 지정해야 한다.

(34) 線量當量預託은 假想의 평균적인 實體에 관계하고 있으므로 正當化 또는 最適化시킬 때 직접으로 도움되는 量은 아니기 때문에, 건강영향의 全數에 따라 費用의 豫想値를 얻기 위해서는 集團의 크기를 알 必要가 있다. 그러나 單位量行爲當의 장래의 最大 1人當 선량당량률은 만약 그 행위가 같은 율로 계속되고 관련되는 모든 다른 因子가 그대로 一定하다고 假定하면, 平衡狀態에서는 單位量 行爲量의 선량당량예탁과 數直的으로 같다. 이와 같은 事實은 계속되는 行爲에 유래하는 年間 1人當 선량당량의 장래의 最大値를 推定할 수 있는 간단한 수단이 된다.

(35) 마찬가지로, T年間 같은 율로 계속되고 T年후에 끝나는 행위의 單位量當의 장래의 最大 1人當 선량당량율은, 대개의 狀況下에서 單位量行爲當의 截頭선량당량예탁에 같다. 이와 같은 思考는 선량당량예탁을 **實效線量當量預託**(effective dose-equivalent commitment)에도 적용할 수 있다.

集團實效線量當量預託(collective effective dose-equivalent commitment)

(36) 어떤 주어진 線源 또는 行爲는 시간의 함수로서 변하는 集團實效線量當量率의 原因이 된다. 그 행위로 부터의 全集團실효선량당량은 이것을 적분하면 얻을 수 있다. 따라서 **集團實效線量當量預託**의 정의는:

$$S_{EC} = \int_0^\infty S_E(t)dt$$

로 주어진다. 어느 1年間의 집단실효선량당량이 正當化 또는 最適化할 때 사용될 경우도 있지만, 더욱 유용한 量, 특히 全健康損害를 고려한 유용한 量은, 어떤 주어진 決定 또는 한 행위의 전체에 수반하는 집단실효선당량예탁이다. 그러나 실효선량당량을 논의하였을 때 留意한 여러 假定을 염두에 두어야 하다.

(37) 장래의 집단실효선량당량률을 산정하는데 있어서, 原理的으로 환경상황에 대한 장래 변화의 豫測을 고려에 넣을 수 있다. 그러나 그 豫測은 어렵기 대문에 環境移行率 및 사람의 習慣등의 파라미터에 대해서는 현재의 상황이 무한으로 계속되는 것으로 가정하는 것이 通例이다. 단기간에 대해서는 이 가정은 合理的이지만, 어떤 종류의 長壽命放射性核種에 대해서는 무한시간의 예탁을 계산한다는 것은, 현재의 여러 조건을 수 1000년 아니면 수 100만년의 장래까지도 사용한다는 것이므로, 이것은 批判 받기 쉬운 가정이다.

(38) 集團實效線量當量預託을 수학적으로 산출한다는 것은 매우 수명이 긴 방사성핵종에 대해서 조차도 간단하게 보일지도 모르겠지만, 기초로 되어있는 가정을 유의하지 않으면 안된다. 개인의 실효선량당량의 연간레벨과 집단실효선량당량률의 시간적변화와의 動向을 決定의 기초로 삼은 자료로서 추가적으로 보존하는 것이 때로는 도움이 된다.

(39) 이 積分을 이 행위의 開始 후의 시간T로서 그치게 하는 것도 가능하며, 이것에 의하여 **不安全** 또는 **截頭實效線量當量預託**을 얻을 수 있다. 無限積分이 아니고 이 量을 正當化 또는 最適化에 사용한다는 決定은 이 행위가 계속된다고 가정되는 기간과 관련되는데, 언제나 正當化된다고는 할 수 없다.

그 이유는 행위의 계속 기간과 기간T와의 사이에는 아무런 관계가 없어도 되기 때문이다. 그러나 대개의 경우, 요구되는 것은 예를 든다면 廢棄物處理의 選擇肢처럼 몇가지 選擇肢의 短期間의 영향에 대한 비교이며, 이것은 截頭量을 사용하므로서 두드러지게 나타나겠지만, 無限積分으로는 가려버린다. (다음호에 계속)