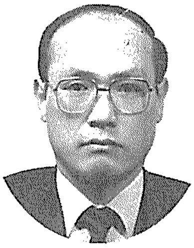
외부방사선방어용 실용량의 측정과 교정



하 정 우
한국원자력안전기술원 방사선환경부장

I. 서 론

방사선방어에서 방사선의 연조직에의 영향정도를 나타내는 양으로서 「선량당량(Dose Equivalent, H)[1]」이 사용되고 있다.

$$H = DQN \text{ (단위 : Sv = J/kg)} \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

여기에서 D : 조직흡수선량
Q : 선질계수
N : 기타 수정계수 (통상은 = 1)

1977년 국제방사선방어위원회(ICRP)는 인체의 피폭에 대한 선량한도를 설정하고 각기관(조직)의 선량당량 값 (H_T)에 그 기관의 확율적 영향 (발암 또는 유전적영향에서 처럼, 그 영향이 일어날 확율의 문턱값(threshold dose)이 없고, 선량의 함수로 보아지는 영향)의 리스크(risk)의 인체 전체에 대한 비율(가중계수 W_T)을 곱하여 가산한 양, 즉 「실효선량당량 (H_E)」을 도입하여 이 양으로 선량한도값을 정하였다.[2]

$$H_E = \Sigma W_T H_T \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

이와 같은 실효선량당량(H_E)과 이 양을 준거로 한 선량한도의 도입에 따라 방사선방어 분야에서는 이 양과의 비교를 기본으로 한 피폭선량 관리가 요구되게 되었다. 그렇지만 실효선량당량은 물리적으로 직접 측정이 불가능한 양이다. 일상의 방사선관리에서 측정되는 "방사선량"이 직접실효선량당량에 관계지어져 있지 않은 경우 그 측정량으로부터 다시 복잡한 계산절차등에 의하여 실효선량당량을 추정하여야 하는 등의 불편한 상황이 일어난다. 그러므로 실효선량당량에 직접관련된 방사선방어를 위한-「선량당량」을 단위로 한것-새로운 계측선량이 필요하게 되었다.

1985년 국제 방사선단위. 측정위원회(ICRU)는 환경모니터링용으로 주변선량당량(ambient dose equivalent) 및 방향성 선량당량(directional dose equivalent), 개인모니터링용으로서 개인선량당량(individual dose equivalent)이라는 3개*의 방사선방어를 위한 실용량(operational quantity)**을 도입하였다[3]. 이 논문은 이들 양의 실제적 측정과 교정에 대하여 기술하였으며 실용량의 기본구성은 그림 1과 같다.

II. 방사선방어용 실용량의 조건

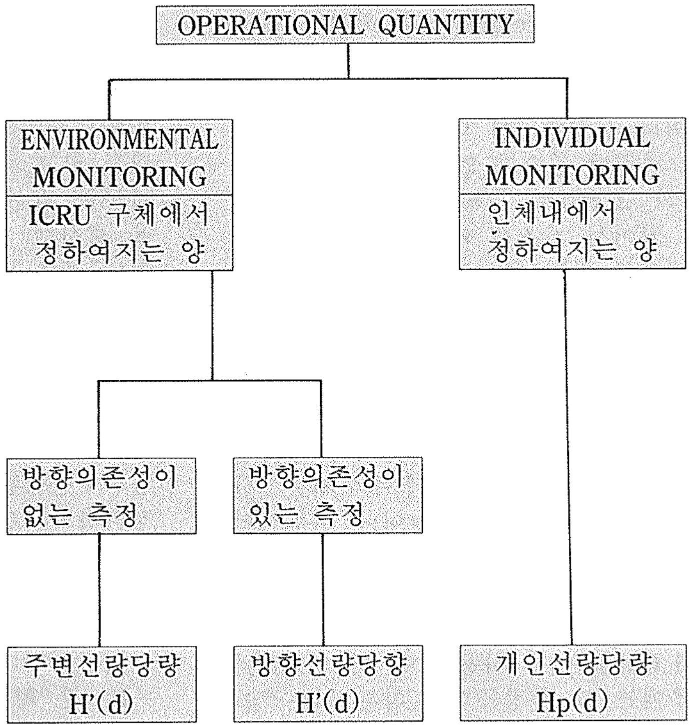
방사선방어를 위한 새로운 실용량의 도입은 이 양이 만족해야 하는 몇개의 조건이 고려되어야 한다. 이들 조건[4]은 다음의 8개 항목으로 정리된다.

(1) 광자, 전자(β선 포함), 중성자선등 방사선방어의 대상이 되는 모든 종류의 방사선에 대하여 동일한 정의에 의해 공통으로 적용가능한것.

(2) 어떤 1점에서 규정된 명확한 양일것.

(3) 다른 에너지나 방사선종에 대하여도 가산성이 있을것

(4) 현재 사용중인 측정기에 적용 가능할 것(측정가능할것). 현재의 측정기의 측정방식에 충분히 합치하는 양일 것.

<table>
<tr><td>방사선방어의 기본양
(ICRP)</td><td colspan="3">실 효 선 량 당 량
(조직선량당량)</td></tr>
<tr><td>방사선방어용 실용량</td><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td>측 정 기</td><td>투과성 방사선 (X, γ, 중성자)용 측정기
[예]
· Survey meter
· rem counter</td><td>투과성이 약한 방사선(β, 낮은에너지 X)용 측정기
[예]
· β선용 Survey meter
· 단창형 전리함 Survey meter</td><td>개인선량계
(인 체)

[예]
· Film badge
· TLD
· Pocket dosimeter</td></tr>
</table>

그림 1. OPERATIONAL QUANTITY의 기본구성도

* ICRU−39 에서는 개인 선량당량을 2 종류로 나누었으며 이에 대하여는 "IV 개인모니터링용 실용량"에서 설명하였다.

** 공식적으로 인정된 용어가 없고, 저자가 양의 의미에 근거하여 임의 번역한 용어임을 밝혀둔다.

(5) 실효선량당량에 관련되어진 양일것.

(6) 계산가능한 양일것. 몬테칼로(Monte Carlo) 계산등으로 충분한 수치가 결정가능하고 이를 교정시의 기준으로서 사용가능할것.

(7) 각 시설에서 독자적으로 실현가능한 양일것. 소급성(tracerability)이 확보된 연구시설등에서 용이하게 공급 가능한 양일 것.

(8) 영속성이 있을것. 장래 실효선량당량의 정의나 선량한도에 다소의 변경이 있다 하여도 변경할 필요가 없는 양일것.

상기의 조건들이 「Operational Quantity」 도입에 있어서 기초가 되었다. 그런데 상기의 조건으로 부터 밝혀진바와 같이 어디까지나 「Operational Quantity」는 방사선방어를 위한—즉 「선량당량」을 측정단위로 한다. —보통의 방사선관리용 측정기에 의한 측정량이라는 것이다. 따라서 사고시의 방사선장해 추정의 지표가 되는 「선량」이나 방사선조사 치료에서 환자의 환부에 주어지는 「선량」 혹은 역으로 자연방사선이나 우주선의 양의 변동조사를 목적으로 하여 이용되는 「선량」이라든가 마이크로도시메트리(microdosimetry)에 대한 방사선의 양등에 「Operational Quantity」는 사용할 수 가 없다. 이들 경우에는 그 측정목적에 따른 기본적인 물리량이 사용되어야 하며, 그 양은 조직흡수선량, 공기커마(airkerma), 플루언스(fluence)등이 적당할 것이다. 또한 방사선 표준의 공급을 위한 「선량」도 이 범주에 들어가고 상기의 「Operational Quantity」는 사용되지 않는다[5].

III. 환경모니터링용 실용량(Operational Quantity for Environmental Monitoring)

III-1. 기본사고 방식(Basic Consideration)

ICRU는 환경모니터링에서 방사선방어에 관계된 선량측정을 하기 위하여 다음과 같은 사고방식을 제시하였다. 즉 "방사선장에 인체 대신에 ICRU구 (ICRU sphere)*를 리셉터(receptor)로서 놓았을때 이 구내의 어떤 점에서의 선량당량과 이 방사선장에 실제로 사람이 있었을 때의 실효선량당량(또는 피부등의 조직선량당량)과를 비교하여 ICRU 구내의 선량당량이 실효선량당량 보다도 크고, 이를 안전 여유도를 가진 평가가 가능한 값이라면 이 ICRU구내의 선량당량을 방사선 방어 계획의 기본량으로 할 수 있다"라는 접근 개념이다. 종래의 「선량당량」 지수[6] (dose equivalent index)」는 이와 같은 사고 방식의 한 예이었지만 이것은 가산성의 점에서 앞에서 기술한 조건을 만족하지 못하였다. 그래서 ICRU는 이 사고방식을 다시 발전시키어 새롭게 2 종류의 실용량—주변선량당량 및 방향성 선량당량—을 정의하고, 환경모니터링용의 실용량으로서 방사선방어 계측에 도입하였다.[3] 이들의 양은 전장에서 기술한 8개 조건에서 밝혔듯이 현장에서 실제의 측정에 관계되는 양이다.

III-2. 확장(Expanded)과 정렬(Aligned)

실제의 방사선장에 인체와 같은 어떤 크기를 가진 물체를 놓았을 경우 선량률이나 방사선의 방향분포는 실제로는 그 물체의 각 부분마다 다르다. 따라서 서베이(survey)등의 실측에 의해 실효선량당량을 추정하려고 하면 엄밀하게는 인체의 각부에 상당하는 공간위치에서의 측정을 각각 실시하고 이 측정값으로 부터 실효선량당량을 산출하여야 하는 번거로운 수순이 필요하게 된다.

그래서 ICRU는 실효선량당량에서 처럼 인체내의 선량분포를 고려*하지 않고 어떤

---

* 연조직등가의 성분으로서 밀도 1g/cm^{3}인 직경 30cm의 구(球)

* 실효선량당량은 각 조직, 장기가 받은선량당량(H_T)에 그 조직, 장기의 가중계수를 곱한 것이므로, 인체내의 선량분포 특성을 알아야만 조직, 장기가 받은 선량당량을 구할 수 있다.

** 본래의 정의는 플루언스 및 에너지 분포이지만, 간단히 여기서는 선량률로 하였다.

1점의 측정치가 인체가 받은 선량당량을 대표한다는 종래의 방사선관리에서의 측정방법을 정당화하기 위해 「확장(expanded)」이라는 개념을 도입하였다. 「확장」이란 어떤 1점에 대한 선량률* 및 방향분포가 인체등이 점유하는 유한 크기의 영역 전체에 걸쳐 동일하다고 해석하는 것을 의미하고 있다. 이와 같은 개념상의 방사선장에 놓인 ICRU 구내의 1점에 대한 선량당량으로서 실용량을 정의함으로써 현실의 측정과 대응시킬 수 있게 된다.

다음은 현실의 방사선 측정기에 대하여 생각하여 보자. 종래, 방사선 관계의 양은 무방향성(無方向性)의 구강도(spherical intensity)로서 결정되어 왔다.[7] 그러므로 방사선 현장관리에 사용되는 서베이미터등 측정기는, 검출기의 기하학적 형상을 연구하고, 구강도가 측정가능한 방향의존성의 개량에 노력을 경주하여 왔다. 이 결과 대다수의 측정기들은 모든 방향에서 입사된 방사선에 대하여 동등하게 응답(등방성 response)하고 이들의 총합을 하나의 측정치로서 지시하고 있다. 따라서 결과적으로 이들의 측정치에는 방향 의존성이 없고 방사선은 모두 1 방향으로 조사된 것이라고, 즉 "정렬화된 방사선장" 이라고 생각할 수 있다. 방향 의존성이 없는 현실의 측정에 대응되는 무방향성의 선량당량을 리셉터(receptor)인 ICRU 구내의 어떤 1점에서 얻기 위하여는, 그 점을 포함하는 ICRU 구내의 반경에 마주보는 방향(반대방향)으로 「정렬(aligned)」화된 방사선장이라는 개념이 필요하게 된다.

지금까지 논의한 「확장」과 「정렬」의 개념을 도입함으로써, 현장에서의 서베이에 대응되느 ICRU 구내의 선량당량, 실용량의 결정이 가능하게 되었다. 그러나, 「정렬」은 앞에서 논의한바와 같이, 측정기의 응답(response)의 등방성이 성립조건이 되므로 방향의존성이 현저한 측정에 대하여는 그 개념은 적용되지 않는다.

III-3. 주변선량당량(Ambient Dose Equivalent $H^*(d)$)과 방향성 선량당량 (Directional Dose Equivalent $H'(d)$)

등방적 응답특성을 갖고 있는 측정기에 의한 측정에 대응하는 실용량으로서 「주변선량당량*, ($H^*(d)$)」, 측정이 방향 의존성을 나타낼 경우에는 「방향성선량당량**($H'(d)$)」이라는 명칭이 붙여졌다. 이들의 양은 모두 ICRU 구의 표면에서 깊이 d의 위치의 점의 선량당량으로 정의되며, 각각 $H^*(d)$, $H(d)$로 표기된다. 주변선량당량과 방향성선량당량의 개념도를 그림 2에 나타내었다.

(1) 주변선량당량

주변선량당량은 본래 모든 방사선에 대하여 공통으로 적용할 수 있는 양이다. 그러나 현실문제로서 검출기의 강도와 재질의 점에서, β선 측정기를 등방성을 갖는 형상으로 제작하는 것은 아직 불가능하다. 따라서 통상 β선과 같은 약투과성 방사선은 주변선량당량의 측정대상이 되지 못한다.

광자, 중성자의 주변선량당량의 각각의 조사선량, 플루언스에 대한 에너지 특성을 그림 3과 4[9]에 보였다. ICRU구내의 깊이 d는 임의로 선택 결정되지만 광자, 중성자등의 강투과성 방사선에 대하여는 ICRU 구내의 깊이마다 선량분포와 인체내 주요장기의 표면에서의 깊이를 고려하여 ICRU에서는 d=10mm를 권고하고 있다. $H^*(10)$과 실효선량당량 H_E의 관계를 그림 5[10]에 보였다. 이 그림에 의하면, $H^*(10) > H_E$이 항상 성립하므로, 주변선량당량으로 측정하는 방사선관리 방식은 실효선량당량으로 주어지는 선량한

---

* 현실의 장의 어떤 1점을 통과하는 방사선을 그림 2에서 처럼 정렬화되고 확장화가된 가상적인 장에 ICRU 구를 놓았을때 입사방향에 마주보는 방향으로 반경상 깊이 d의 위치에서 생성된 선량당량

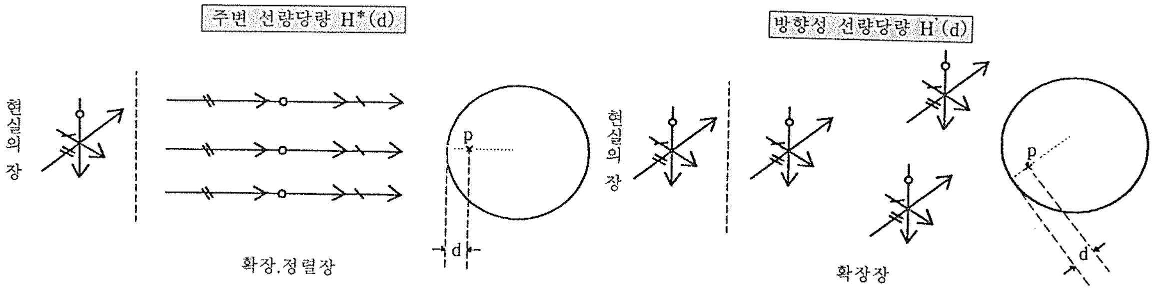


그림 2. 주변선량당량 및 방향성선량당량의 개념도[8]

도와 비교하여 안전여유 측면에서 방사선방어의 목적을 따르고 있다고 말할 수 있다.

(2) 주변선량당량의 측정과 교정

주변선량당량 측정용의 측정기는 이미 논의한바와 같이 등방성 응답을 갖을 필요가 있음과 동시에 광자에 대하여는 그림 3에서 보여주는 바와 같이 주변선량당량 대 조사선량의 에너지 특성을 갖을 필요가 있다. 현재 개발되고 있는 측정기들은 그 에너지 특성을 주변선량당량의 것에 거의 일치 시키기 위하여 벽물질(wall material)이나 집전극의 재질 및 형상을 연구개발하고 있다.

한편, 종래의 사용하고 있는 측정기는 오히려 주변선량당량을 과대평가하는 주변선량당량 대 조사선량의 에너지 특성을 갖고 있는 것이 대다수이며, 보편적으로 많이 사용하는 방사선 준위의 측정범위에서는 구단위의 측정값 (R 또는 rad)을 그대로 SI 단위 (=10^{-2} Sv)로 치환하는 방식으로도 충분하다. 각종 서베이미터의 에너지 특성에 대하여는 참고문헌 [11]-[13]을 참조하기 바란다. 그러나 중성자에 대하여는 전에너지 범위를 광자와 같이 양호한 근사특성을 갖는 측정기를 제작하는 것은 연구개발 과제로 남아있다.

주변선량당량 측정기의 교정은 그 측정기의 방향 의존성이 양호한것을 확인하고 나서, 평행빔 조사에 의해 실시되어야 한다. 측정기의 응답, R(주변선량당량 response)은 측정기의 지시치, I와 교정점에 대한 주변선량당량의 비로 표시된다. 즉,

$$R = I/H^{*}(d) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

주변선량당량의 기준은 국가표준에 대하여 소급성이 확보된 조사선량(또는 플루언스) 기준으로 부터 환산계수 (그림 3,4에서 각 에너지에 대응한 환산계수)를 곱하여 구한다.

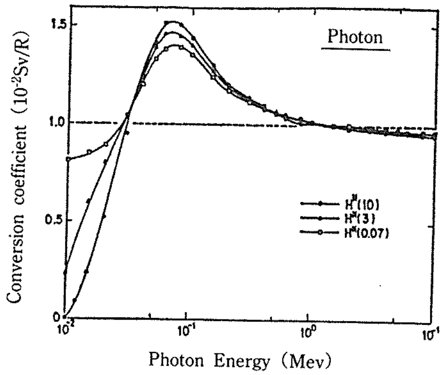


그림 3. 광자에너지 함수로서 조사선량으로부터 주변 선량당량에로의 환산계수(ICRP-51에서 인용)

* 현실의 장의 어떤 1점을 통과하는 방사선을 그림 2에서와 같이 확장화된 가상적인 장에 ICRU구를 놓았을 때 구내의 깊이 d의 점에서 생성된 선량당량

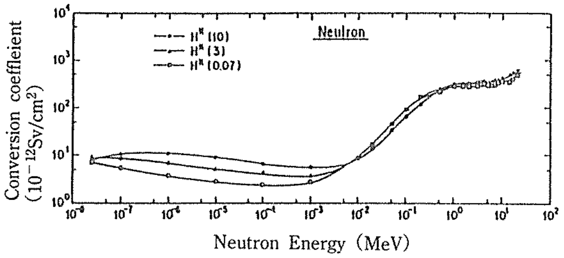


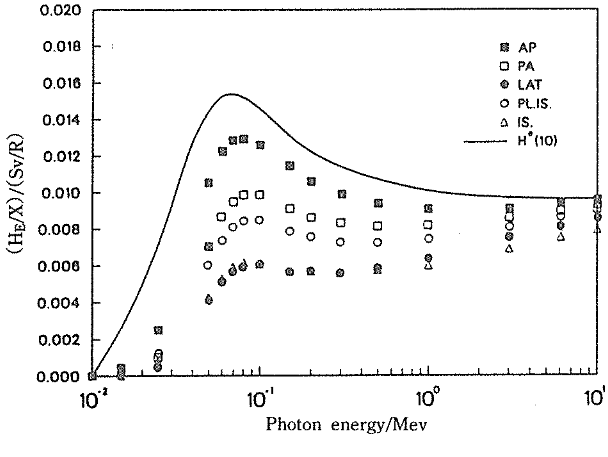
그림 4. 중성자 에너지 함수로서 중성자 플루언스로 부터 주변선량당량에로의 환산계수(ICRP-51에서 인용)

(3) 방향성선량당량

원통형의 밑바닥이 얇은 창 (단창형)으로 되어 있는 β선 측정기를 생각하여 보자. 이 β선이 축방향으로 조사되는 경우와 축에 수직으로 조사되는 경우에서 그 응답특성은 방향의존성 때문에 확실히 크게 다르다. 그래서 이 예에서 처럼 방향 의존성을 갖는 측정기로 현장에서 측정되는 선량에 대응시키기 위하여 방향성선량당량, $H'(d)$가 도입되었다. 기본적으로 ICRU 구를 확장장내에 놓으면 ICRU 구내의 임의의 점의 선량당량은 방향 의존성을 보이게되고 주변선량당량의 경우와 같이 특별한 조건(정렬화)을 붙이지 않는한 「방향성 선량당량」으로 된다.

방향성선량당량에서는 β선이나 극저에너지의 X선등에 의한 비확율적 영향의 방어대상 조직인 피부나 눈의 수정체의 표면으로부터의 깊이를 고려하여 d=0.07mm, 3mm 위치가 권고되고 있다. 또 이 방향성선량당량은 β선이나 극저에너지 X선등 약투과성 방사선에 한정된 것은 아니고 강투과성 방사선도 측정대상이 된다. 그러나 환경모니터링에서 방향성선량 당량이라고 말하는 경우 보통은 주로 투과성이 약한 방사선을 대상으로한 $H'(0.07)$과 $H'(3)$ 이라고 생각하여도 좋다. 단 실제로 측정된 $H'(0.07)$과 $H'(3)$에는 강투과성 방사선의 기여분이 포함되어 있다는 것을 잊지 않도록 주의할 필요가 있다.

방향성선량당량은 방사선의 방향분포를 어디에 한정하지 않는 계측선량이다. 따라서 주변선량당량은 동일하여도 방향성선량당량은 방향분포에 따라 같이 변화한다. 그러므로 기준이 되어야 하는 수치의 결정은 복잡한 방향분포에 대하여는 일반적으로 곤란하고 통상 기준량은 1 방향조사 조건에 대하여만 구해지고 있다. 이때 대상점(평가점)을 포함하는 ICRU구 내의 반경에 마주보는 방향의 조사(대향조사)에 대하여는 주변선량당량과 일치한다. 대향조사 (對向照射)이외



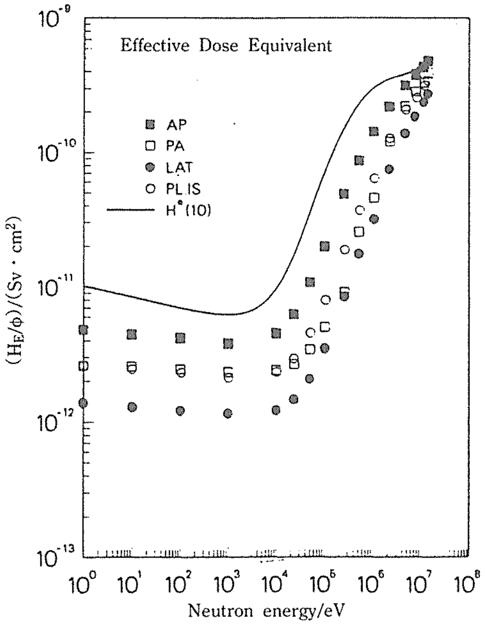


그림 5. 주변선량당량 H＊(10)과 실효선량당량 HE의 관계(ICRP-43에서 인용)

에 대하여는 대상점을 포함하는 반경에 대한 입사각도 α를 파라메터로한 $H'(d, \alpha)$와 같이 표현한다. 광자에 대하여 구해진 $H'(d, \alpha)$의 예 (d=10mm의 경우)를 그림 6[13]에 보였다.

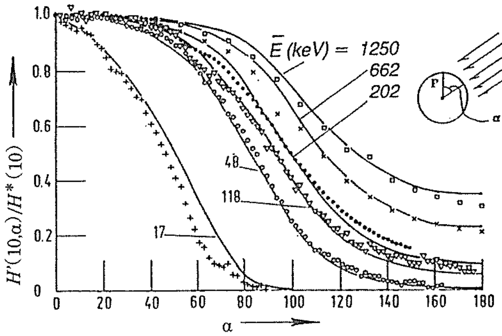


그림 6. 광자의 방향성선량당량의 입사방향 의존성(13)

실제의 교정에서 얻어진 측정기의 방향성 선량당량 응답, R은 지시치를, I, 평행빔의 입사각도를 α로 하면 주변선량당량의 경우에서와 마찬가지로

$$R = I/H'(d, \alpha) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다.

방향성선량당량의 측정에서 측정기의 방향을 자주바꾸는 경우 이것은 "ICRU 구내의 반경"의 선택을 변화한 것이고, 측정값은 각각 독립된 것으로 된다. 이와같이 방향성 선량당량에 의한 방사선관리상의 측정에 있어서는 그 「특정방향」의 결정이 실은 측정자의 판단에 달려있다는 것에 유의하여야 하고 특히 방사선장의 서베이등에 있어서는 검출기의 방향을 변화하여 최대로 되는 방향을 찾는 것이 대단히 중요하다.

Ⅳ. 개인 모니터링용 실용량(Operational Quantity for Individual Monitoring)

Ⅳ-1. 정의와 의미

개인 모니터링용의 실용량 「개인선량당량(Individual Dose Equivalent, $H_p(d)$」은 인체상의 어떤 특정점 아래 깊이 d의 연조직중의 선량당량으로서 정의 된다. 이 정의에서 밝힌바와 같이 개인선량당량은 ICRU 구가 아닌 현장의 방사선장에 대한 인체조직 그 자체의 선량당량이다. d의 값으로서는 심부조직(深部組織)에 대하여는 10mm, 표층부조직(表層部組織)에 대하여 0.07mm, 3mm가 권고 되었다. 종래 ICRU 39[3] 및 43[9]에서는 투과성 개인선량당량(Individual Dose Equinvalent, Penetrating : $H_p(d)$), 표층부개인선량당량(Individual Dose Equivalent, Superficial : $Hs(d)$)으로 표현되고 있지만, 정의는 동일하므로 여기에서는 개인선량당량 $Hs(d)$만으로 표기하였다. 앞장에서 논의한 바와 같이, $H_p(10)$은 투과성 방사선에 대하여만 측정대상으로 되지만 다른한편 $H_p(0.07)$과 $H_p(3)$은 강 및 약투과성 방사선 모두가 측정대상이 된다.

개인선량당량에서는 앞장에서 설명한 주변선량당량이나 방향성선량당량의 경우와는 달리 방사선장에 관한 개념이 희박하다. 최소한 확장장이라는 개념보다는 개인선량을 대표하는 위치를 선택결정하는 것이 보다 중요한 의미가 있다. 한 예를 들면 흉부(胸部)를 선택한 경우와 복부(腹部)를 선택한 경우에는 후방산란의 차이로 $H_p(d)$는 두 경우에서 상당히 다르다. 또한 1점에서의 선량으로 그 인체의 선량을 대표(확장장의 개념) 시킨다는 것은 현실의 방사선관리의 합리화라는 관점에서 중요하지만 「국부피폭」 또는 「부분피폭」 이라는 용어로 표현되고 있는 바와 같이 개인모니터링에서는 환경모니터링의 경우에서와 같이 확장장의 개념도입을 그대로 답습하지 않고 방사선장이 복잡한 경우는 여러 부위에서 측정이 이루어지어야 한다. 측정위치가 다르면 정의에 의하여 각각 독립된 양으로 되고 이들의 $H_p(d)$의 측정 값에는 가산성은 없게 된다.

다음은 개인선량당량의 방향성에 대하여 생각하여 보겠다. 예를들면 눈의 수정체의 선량당량 $H_p(3)$은 후방(등쪽) 조사에 대하

여는 머리부가 차폐물의 역할을 하기 때문에 측정대상으로 할 필요가 없을지도 모른다. 또한 $H_p(10)$에서도 흉부등의 인체전면의 위치를 선택한 경우 후방조사와 전면 조사에서 그 값은 크게 다를게 틀림없을 것이다. 더욱이 이 흉부의 $H_p(d)$와 등(背)에서의 $H_p(d)$는 앞에서 논의한 것처럼 각각 독립된 양이다. 이와같이 개인선량당량은 현실의 인체내의 점으로 정의되는 양이므로 독립성, 방향 의존성이 매우 강한 양이라고 말할수 있다.

Ⅳ-2. 개인선량당량의 측정방법

등방성 응답특성 그리고 연조직과 동등한 에너지 특성을 갖은 미소 검출기를 인체표면의 특정점 아래의 깊이 d의 위치에 삽입하여 측정하며 $H_p(d)$가 직접 측정된다. 현실적으로도 충분히 작은 측정기를 인체표면에 밀착시켜 그 위에 두께 d의 필터를 부착하면 $H_p(d)$ 측정이 가능하다. 실제로 유효원자번호가 인체의 유효원자번호에 가까운 열형광선량계(TLD)를 이용하여 이와같은 측정을 시행하고 있는 예가 많다[14]. 그러나 일반적으로는 측정기의 위치와 인체내의 측정해야하는 점과는 다르다.

개인선량당량은 통상, 인체전면의 몸통부에 장착된 개인선량계로 측정한다. 그러나 배면조사(背面照射)가 주된 경우에는 방사선관리자의 판단에 따라 배면부에 장착하는 것이 필요하다.

Ⅳ-3. 개인선량계의 교정

(1) 개인선량계 교정의 기준량

개인선량측정의 경우 교정기준량은 기본적으로 개인선량당량 $H_p(d)$이지만 이양은 개인마다 다르고 또 측정점(가슴, 배 등) 이나 조사를 받는 방향에 다라 그 값이 변하고, 계산도 번거로운등 교정기준량으로서 이용하는데는 부적합하다. 그래서 ICRU는 개인선량당량에 대신하여 방향성선량당량 $H'(d)$를 기준량으로서 채용하였다.[7],[9] 방향성선랸당량과 개인선량당량의 비교의 한 예를 그림7[9]에 보였다.

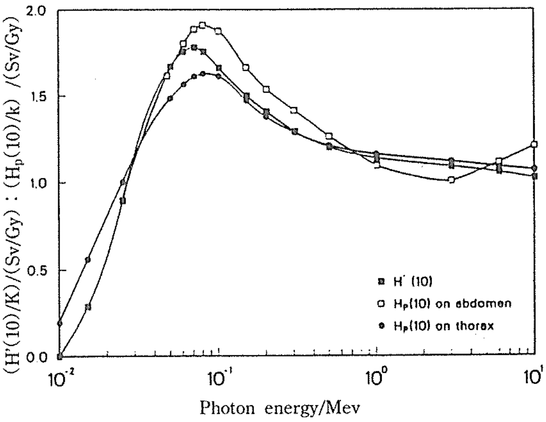
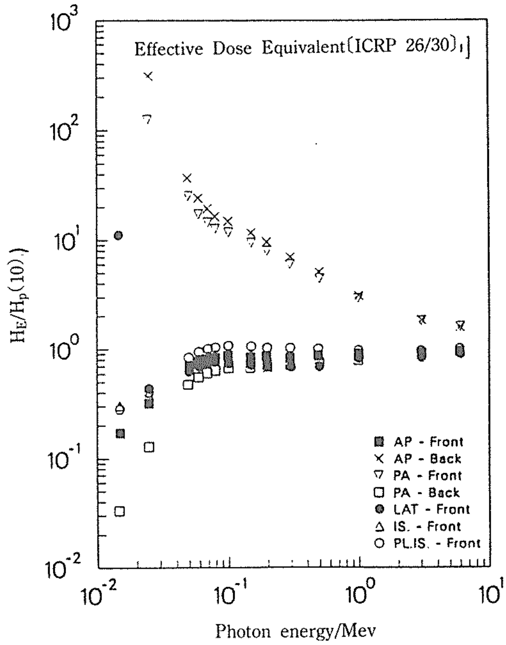


그림 7. 개인선량당량 Hp(10)과 방향성 선량당량과의 비교(ICRU-43에서 인용)

이렇게하여 개인선량계를 방향성선량당량으로 교정하여 두면 근사적으로 개인선량당량을 얻게 되는 것이다. 이것이 ICRU의 개인선량계 교정의 기본적 사고방식이다. 방향성선량당량을 기준량으로서 선택한 경우 평



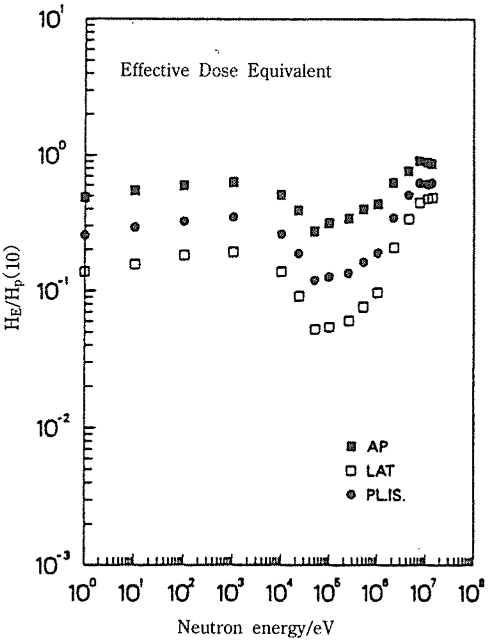


그림 8. 개인선량당량 Hp(10)과 실효선량당량 H_E와의 비교(ICRU-43)에서 인용)

행빔에 의한 대향조사 조건하에서는 당연히 이양은 주변선량당량과 일치하고 환경 모니터링용의 측정기와 동일의 기준량에 의한 교정이 가능하게 된다. 방향성 조사에 관한 교정의 경우에는 H'(d, a)가 기준량으로 되고 이 경우 개인선량계의 응답 R은 〔4〕식으로 표현된다. 그림 8[9]은 여러 조사조건에 대한 개인선량당량(실제로는 방향성선량당량 $H'(10)$이다)과 실효선량당량의 비교를 보여주는 것이다. 이 그림으로 부터 반대방향조사의 경우를 제외하고 근사적으로 개인선량당량은 실효선량당량을 안전 보수적으로 평가한다고 말할 수 있다.

(2) 교정기법

개인선량당량의 측정방식은 측정점을 포함하는 대형차폐물(인체)의 표면근처에 부착된 것은 유효검출체적(선량계)으로 부터 얻어진 응답(response)에 의해, 측정점의 선량을 구하는 방법이라고 말할 수 있다. 교정을 실시하는 경우도 그 측정방식을 그대로 실현시킬 필요가 있다.

개인선량계의 교정은 팬톰에 개인선량계를 부착시키고, 여기에 평행빔으로 조사하여 실시한다. 이 교정방법은 세계공통의 인식으로 되여 있지만 팬텀의 선택이나 교정점의 위치등에 관하여는 다른 의견이 있어서 통일시켜야 할 과제로 남아 있다. 기타 상세한 것은 참고문헌(15) (16)을 참조하기 바란다.

Ⅳ-4. 측정값의 해석

개인선량측정에서 개인선량계의 패용상태에 관계없이 어떤 결정된 인체내의 점에서는 동일선량값이 얻어지도록 측정되어야만 할 것이다. 그렇지만 현실문제로서 이것은 대단히 어렵다. 측정값의 방향의존성은 어느 1 방향 조사조건하에서 팬텀과 선량계의 계(系)전체를 교정점을 기점으로 하여 회전시켜 조사하여 얻어질 수 있지만 이것도 복잡한 방사선장에 대한 개인선량당량의 참값과 관련 지우는 것은 대부분의 경우 곤란하다.

이와같이 개인선량측정에는 교정의 체계와 현실의 모니터링 사이에 큰 격차가 있고, 현재와 같은 단 1개의 개인선량계를 이용한 모니터링 수법을 정당화하기 위하여는 어느 정도 논리적으로 명백한 결론을 이끌어 낼 필요가 있다. 이와 같은 관점에서 "어떤 표준화된 교정체계에 대하여 적합한 성능을 갖고 있다고 검증된 개인선량계를 이용하여 측정한 측정치를 무조건 그 패용자의 피폭선량으로 채용할 것을 제안"한 것에 대하여 현재 고려되고 있으며 이 측정치에 「기록용 개인선량 당량 (Individual Dose Equivalent for Recording)」, 이라는 명칭이 붙여졌다.[9][16] 방사선장의 서베이를 상세히 실시하고 작업자의 개인선량계 패용 위치를 적절하게 선정하는 것등도 물론 중요하지만 그 이상의 불확정 요소에 관하여 현실의 개인모니터링에 책임을 부과하는 것은 적당하지 않다.

이러한 의미에서 「기록용 개인선량당량」의 사고방식은 매우 합리적이고, 더하여 개

인모니터링 발생이래의 묵시적인 이해 사항이었다고 말할 수 있을 것이다.

V. 실용량(Operational Quanity) 관련 기타 과제

V-1. 평가선량과 실용량

실효선량당량은 현실적으로 평가가 불가능한 양이지만 만일 충분한 정밀, 정확도로 평가하는 것이 가능하다면 그 값(가령 이것을 「평가선량」이라 부르기로 하자)을 현실의 방사선방어의 실무에서 실용량으로 대체 이용하는 것이 가능할까? 라는 문제가 종종 논의되고 있다. 방사선 방어에 대한 양의 일원화라는 의미에서는 새삼스럽게 여기서 다시 「실효선량당량」으로 되돌아가는 것은 합리적이라고 하기 어렵고, 또 방사선관리의 실무를 혼란시킬 원인이될 가능성도 있으므로 바람직스러운 것은 아니다. 그렇지만 현장의 측정이 요구되지 않는 설계단계에서의 선량평가나 주변선량당량은 실효선량 당량보다도 다소 과대평가되는 것이 안전측면에서 요구되므로, 완전부정할 만큼의 과학적 논리가 성립되지 않기 때문에 결국은 관리자나 규제당국의 판단에 맡겨야 될 문제인 것이다.

실효선량당량을 직접평가 할 수 있는 조건으로 다음 2가지의 경우를 들 수 있다.

(1) 피폭조건이 계산의 조건과 거의 동일한 상황에 있는 경우

(2) 인체내(주요장기)의 선량분포가 판명된 경우

예를 들면 일반환경중의 공중의 선량평가에서 충분히 큰 방사성 구름중의 1점에서의 실효선량당량평가는 상기조건(1)에 상당하고 그림 5에서 보여주는 등방적 조건에서의 계산치가 근사할지도 모른다.[8] 그리고 방호복을 입은 경우의 개인선량계의 복수사용시[18]에 대한 선량평가의 문제는 불충분하므로 상기조건(2)에 상당할 것이다. 또한 차폐체의 설계와 산란선에 관계된 피폭선량평가에 있어서도 주변선량당량을 이용하는가, 실효선량당량을 이용하는가에 따라 적지 않은 차이가 생긴다. 그렇지만 이와같은 「평가선량」의 사용은 양의 통일의 의미에서 안이하게 대처하여서는 안되고 조건이나 범위의 한정화가 바람직하다. 그리고 「실용량」과 명확하게 구분하는 것이 방사선관리자에게는 중요할 것이다.

2. 개인선량측정의 품질보증

개인선량측정결과는 「기록용개인선량당량」으로서 합리적으로 해석되지만 어떠한 선량계로 측정하여도 좋다고 말하는 것은 아니다. 기록용 개인선량당량의 채용에는 "어떤 정하여진 교정체계에서 그에 적합한 성능을 갖고 있는 것이 확인된 개인선량계를 사용하여 측정한 경우"라는 조건이 붙어있다는 것을 잊으면 안된다. 이러한 의미에서 교정방법과 성능기준을 설정하고 각종 형태의 선량계를 동일규준(同一規準)에 따라 검사하고 공적으로 보증을 하여주는 것이 필요하다. 이와같은 품질보증의 프로그램은 구미에서는 방사선표준 공급기관이나 학회등을 중심으로하여 실시되고 있다.[19]-[21] 이들의 품질보증프로그램의 내용은 지면관계상 생략하지만 이 프로그램에 따라 검사되고 성능기준을 만족하는 것이 확인되는 것은 선량계 뿐만이 아니고 해당기관의 기술자를 포함한 측정기술 전체인 것이 중요한 점이다.

우리나라는 현재 품질을 보증하는 순단으로서 원자력법령과 과기처 장관 고시 제92-5호가 있다. 그러나 이 규정들은 개인선량측정에 있어서 구체적으로 품질보증을 요구하는 것이 아니라 시설, 전문인력, 절차를 장관이 정하도록 되어 있어 불필요하게 행위의 범위를 속박하고 있으며, 운용상의 성능기준으소서는 반드시 충분하다고 말하기는 어렵다. 그러므로 앞으로 세계적 규모에서의 실용량의 개념의 통일화와 측정치의 품질보증에 있어서는 지금까지 논의된 구미적 사고 방식의 도입이 필요로 하게 될 것이 예측된다.

VI. 맺는 말

ICRU의 신권고(23)에서 실효선량당량은 「실효선량(Effective Dose)」으로 용어 명칭을 바꾸고 선량한도로 실질적으로 년 20 mSv로 하향조정되였다. 방사선장의 1점에서 정의된 실용량의 역활이 저감된 것은 아니지만 앞으로는 정확도면의 요구가 강하게 될 가능성이 있다. 특히 방향성 선량당량의 데이타의 정비, 중성자선에 대한 고정확도 측정기의 개발등 앞으로도 방사선방어 분야에서 선량측정상의 해결하여야 만 될 과제는 많다.

다른 한편 개인모니터링에 있어서는 ICRP가 지금까지 제창한 측정에서 부정확도의 기준 (10mSv 이상에서는 계수 1.5, 10 mSv 미만에서는 계수 2.0[18])도 장래 신선량한도에 대응하여 수정될지 모른다.

실효선량당량의 도입으로 부터 그에 대응한 방사선방어 계측개념의 확립까지 8년의 시간이 요구되었지만 ICRP 1990년 권고는 이미 확립된 계측개념에 따른 것이고 그 운용까지에는 그정도로 긴 시간을 필요로 하지는 않을 것이다.

이 논고가 방사선관리 관계자들에게 다소나마 도움이 되기를 희망하는 바이다.

참 고 문 헌

1. ICRU : ICRU Rep.33 (1980)
2. ICRP : ICRP－26 (1977)
3. ICRU : ICRU Rep.39(1985)
4. Burlin, T.E., : Radiat, Prot. Dosim., 12, p.83－87(1985)
5. ICRU : ICRU Rep.25, (1976)
6. 南賢太郎, 等 : Radioisotopes, 26, p.126－138(1977)
7. Kraus, W. : IAEA－RC－408(1989)
8. ICRU : ICRP－51 (1988)
9. ICRU : ICRU Rep.43(1988)
10. 南賢太郎, 等 : Isotope News. No.413, p. 49－57(1988)
11. 상동 : 상동, No.414, p.37－41(1988)
12. 상동 : 상동, No.415, p.39－44(1988)
13. Selbach, H.J., et al. : Radiat. Prot. Dosim, 12, p.129－133(1985)
14. 石黑秀治, 等 : 保健物理 16, p.305－316 (1981)
15. Jahr, R., et al., : Radiat Prot, Dosim, 28, p.33－36(1989)
16. Bartlett, D.T., et al., : ibid, 34 p.119－121(1990)
17. Wagner, S.R., : ibid, 12, p.89－94(1985)
18. ICRP : ICRP－35(1982)
19. USDOE : DOE/EH－0026(1986)
20. Gladhill, R.L., et al. : NBSIR86－3350(1986)
21. Bohm, J., et al., : Radiat. Prot. Dosim, 34, P.123－126(1990)
22. ICRP : ICRP－60(1991)