

일본의 최근 외부피폭 선량평가법

— 특히 계측 실용량에 대하여 —

福本 善己(Yoshimi Fukumoto)

(주)千代田테크놀 선량계측 통할부

개발기술부 측정기술과 과장

제2회 「일본의 최근 외부피폭 선량평가법에 관한 워크숍」-계측실용량에 대해 생각한다-라는 표제의 워크숍이 지난 3월 14일 일본 원자력연구소·東海연구소에서 개최(보건물리부 주최)되었다. 보고 후의 토론회에서는 계측실용량의 필요성, 정의 또는 개인선량계의 교정방법 등에 대해 활발한 토론이 있었다.

본사에서는 이 워크숍에서 「계측실용량 구체화의 현황-개인모니터링에 관하여」라는 제목의 보고를 하였다. 본 워크숍의 보고서인 JAERI-Conf-96-011에 게재된 본사의 보고 내용을 여기에 재수록한다.

1. 머리말

방사선의 관리 또는 장애방지에 관한 법령이 ICRP 1977년 권고⁽¹⁾의 취지를 받아들여 1988년에 개정되어 1989년부터 시행되었다. 이 개정에 의해 새로이 실효 선량당량의 개념이 도입되어 개인모니터링 분야에서는 측

정할 방사선의 양의 개념이 크게 달라졌다. 종전에는 사람이 장착한 개인선량계의 지시치에서 공기중에서의 선량을 구하는 방법이었는데, 보다 적절한 선량으로 인체 표면에서 어떤 깊이 에 있는 선량당량을 측정하는 것이 필요하게 되었다.

실효선량당량에 대치되는 실용적인 양으로 ICRU球의 표면에서 깊이 1cm, 3mm 및 70 μ m에 대응하는 1cm 선량당량(H_{1cm}), 3mm 선량당량(H_{3mm}) 및 70 μ m 선량당량($H_{70\mu m}$)이 채용되었다. 여기서 H_{1cm} 는 ICRU Report 39⁽²⁾에서 채용된 주변 선량당량($H^*(10)$)에 대응하는 것으로 하고, H_{3mm} 및 $H_{70\mu m}$ 는 광자 입사가 0°에 있어서의 방향성 선량당량($H'(3)$ 및 $H'(0.07)$)에 대응한다고 하는 합의가 이루어졌다. ICRU 39에는 개인선량계로 측정하는 양을 방향성 선량당량으로 하고 있지만 사용 가능한 환산계수가 단일방향 수집입사에 대한 것이며, 따라서 이 조건하에 방향성 선량당량은 주변 선량당량과 일치한다고 하는 인식을 바탕으로 채용되고 있다. 또한 이 단계에서

ICRU Report 43⁽³⁾, 47⁽⁴⁾은 발행되고 있지 않았다.

이러한 ICRU球에 관한 H_{1cm} , H_{3mm} 및 $H_{70\mu m}$ 의 선량당량의 총칭을 JIS Z 4332⁽⁵⁾에서는 ICRU球 선량당량이라 정의를 내렸다. 또한 이 후에 발행된 ICRU Report 43에는 ICRU球에 관한 선량당량을 Operational Quantities 또는 Monitoring Quantities라 불렀다.

이 글의 제목이 되어 있는 개인모니터링에 관한 계측실용량(Operational Quantities)의 구체화, 즉 우리의 개인선량 측정기관이 현재

실시하고 있는 선량당량의 산출방법에 대해 논한다.

2. 계측실용량의 산출방법

Fig. 1에 나타난 바와 같이 개인선량계는 항상 인체에 장착한 상태에서 선량당량을 산출하는 것이 필요하다. 따라서 개인선량계의 교정을 위해서는 인체를 대신하는 것으로 팬텀을 사용할 필요가 있으며 개인선량계를 팬텀 위에 설치한 상태에서 교정하는 것이 된다.

1989年 이후의 현행법령에 따른 선량당량 산출방법

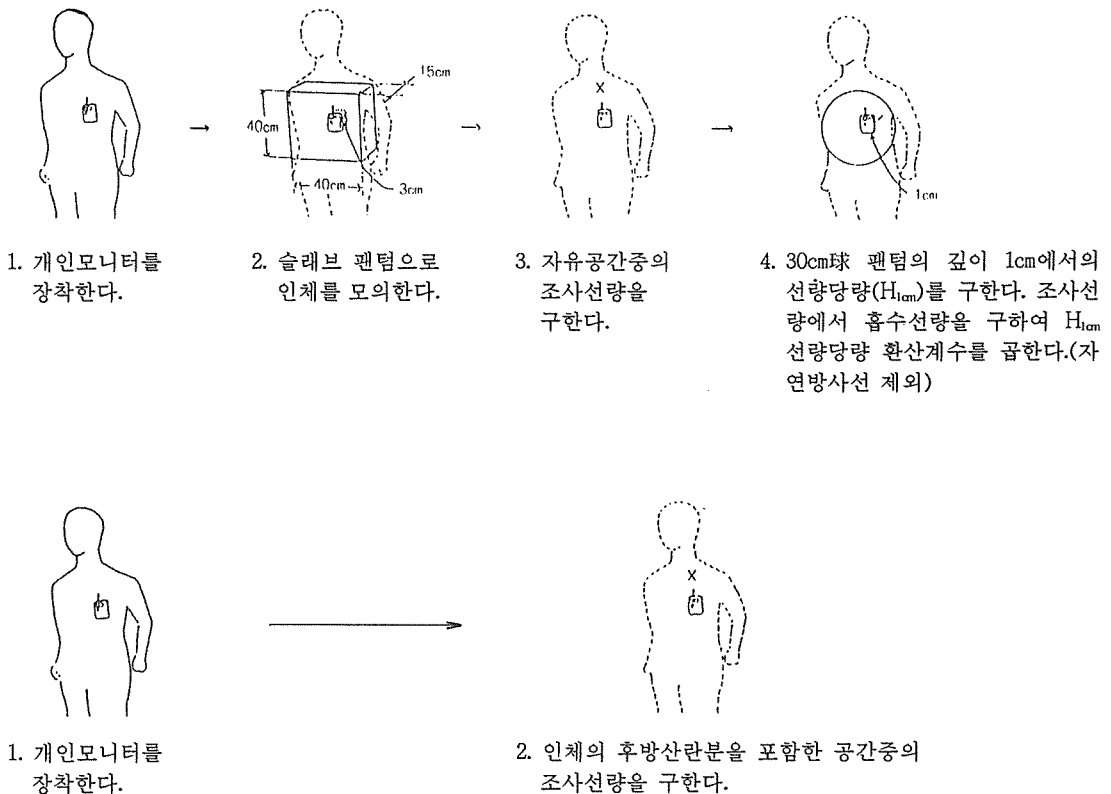


Fig. 1 선량당량의 산출과정

개인선량계에 의해 선량당량을 산출하는 수순은 인체에 장착한 상태에서 얻은 개인선량계의 지시치에서 그 위치에서의 조사선량, 흡수선량 또는 카마 등의 기본적인 물리량을 구하여 다음으로 ICRP 51⁽⁶⁾을 바탕으로 법령에 받아들여진 환산계수를 곱하여 선량당량을 구한다.

X·γ선의 H_{1cm}를 산출하는 예를 들면 다음과 같은 과정으로 구할 수 있다.

H_{1cm}와 자유공간중의 조사선량, 즉 방사선이 입사하는 신체표면과 신체를 제거한 그 위치에서의 조사선량과의 사이에는,

$$H_{1cm} = X_{fa} \cdot f_{xr}(E) \dots\dots\dots(1)$$

여기서, X_{fa}: 자유공간중의 조사선량
 f_{xr}(E): (조사선량-1cm 선량당량)
 환산계수

의 관계가 있다.

한편 인체 팬텀에 장착한 상태에서 교정한 개인선량계의 지시치와 기준선량이 되는 조사선량 사이에는,

$$X_{fa} = I \cdot K(E) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 X_{fa}: 교정시의 기준선량
 (자유공간중의 조사선량)

I: 개인선량계의 지시치

K(E): 교정정수

의 관계가 있다.

따라서 실제로 인체에 장착한 개인선량계의 지시치에서 1cm 선량당량을 다음식에 의해 산출할 수가 있다.

$$H_{1cm} = I \cdot K(E) \cdot f_{xr}(E) \dots\dots\dots(3)$$

(3)식에서는 교정정수 및 환산계수의 값이 광자 에너지의 関數가 된다. 따라서 일반적인 방법으로 X·γ선에 대해 반응이 다른 두 종류의 검출부를 설정하여, 이러한 지시치의 비를 구한 다음 미리 취득해 놓은 기초 데이터(지시치의 비-에너지의 관계)에서 에너지를 추정하여 에너지에 대응하는 교정정수 및 환산계수를 계산하는 방법을 얻는다.

또한 다른 방법으로는 교정정수의 역수가 환산계수와 일치하도록 검출자의 종류나 필터의 재질을 조정하여, 직접 선량당량을 구하는 수법도 취하고 있다. 개인선량당량의 종류의 차이에 따라 선량산출의 알고리즘은 다르지만 기본적으로는 크게 변하지 않는다. H_{3mm} 및 H_{70μm}에 대해서도 H_{3mm} 및 H_{7μm}에 대응하는 환산계수를 사용하여 같은 수법으로 계산할 수 있다.

이러한 수법에 의해 산출된 선량당량의 에너지 특성을 Fig. 2에 표시한다. 필름벳지⁽⁷⁾, 열루미네스스 선량계⁽⁷⁾ 및 유리 선량계⁽⁸⁾는 모두 기준으로 하는 선량당량에 대해 ±15%

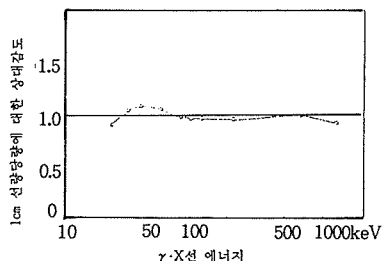
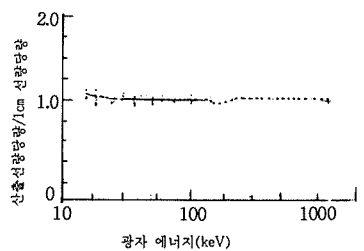
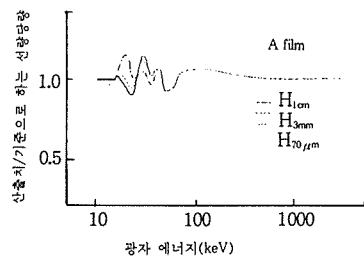


Fig 2. 각 개인 선량계의 에너지 특성

의 범위에 들어가 있어 Operational Quantities를 잘 재현하고 있다. 또한 방향특성에 대해서는 Fig. 3에 나타나는 바와 같이 ^{60}Co γ 선에 대해 큰 방향의존성을 갖지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 X선(45keV, 80keV에 대해)에 대해 입사각도가 크게 됨에 따라 반응이 저

하되고 있다. 주변 선량당량, 방향성 선량당량 또는 개인 선량당량 중 어느것으로 Operational Quantities를 정의를 내리는가에 따라 개인선량계의 방향특성에 대한 성능평가가 달라진다.

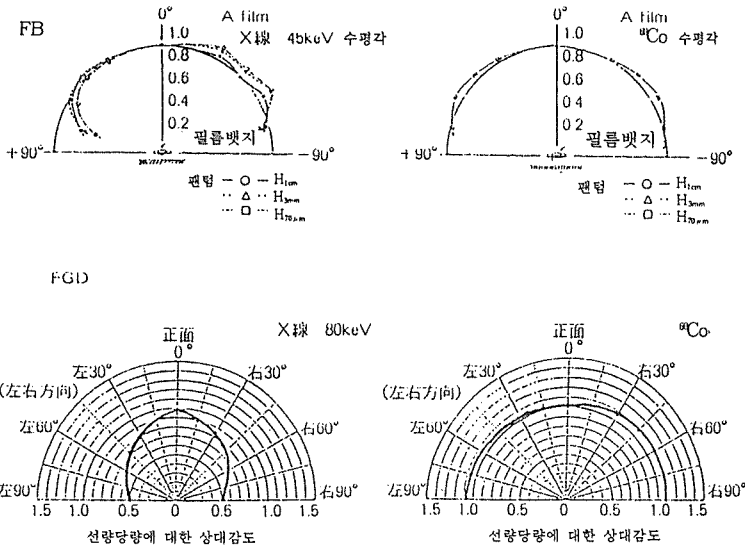


Fig. 3 각 개인 선량계의 방향특성

중성자에 대한 선량당량의 산출은 기준선량의 입자 플루언스를 사용하여 중성자의 H_{100} , H_{300} 및 H_{700} 에 대응하는 환산계수를 사용하여 계산할 수 있다. β 선의 경우에는 공기중의 흡수선량을 사용하여 앞의 (1)~(3)식에 따라 계산할 수 있다. 그러나 현행법령으로는 β 선에 대한 환산계수는 게재되어 있지 않다. 본사에서는 조직중($7\text{mg}/\text{cm}^2$)의 흡수선량으로 평가된 양을 H_{700} 로 바꿔 교정하고 있다. H_{300} 에 대해서는 필름배지의 각 필터 위치에서 얻은 반응의 감약곡선에서 3mm의 깊이로 상당하는 반응을 관독하여 선량당량으로 하고 있다.

3. 교정방법

개인선량계의 교정에 사용하는 팬텀은 국내에서는 JIS Z 4331⁽⁹⁾로 「X· γ 선 및 β 선 개인선량계 교정용 팬텀」으로서 제정되어 있다. 종전은 $40 \times 40 \times 15\text{cm}$ 의 PMMA제의 슬라브형 팬텀만을 채용하였지만 1994년도의 재평가에 의해 IEC에서 사용되고 있는 $30 \times 30 \times 15\text{cm}$ 의 PMMA제 슬라브 팬텀에 대해서도 채용하였다.

교정에 임했을 때에 대하여 JIS Z 4511⁽¹⁰⁾에서는 조사장치와 팬텀의 기하학적인 배치에 대해 다음과 같이 규정하고 있다.

- (1) 개인선량계를 설치한 팬텀 전체를 조사한다.

- (2) 선원과 팬텀 설치 개인선량계의 거리는 2m 이상으로 한다.
- (3) 교정거리의 계측은 선원의 중심과 팬텀 조사표면으로 한다.
- (4) 팬텀은 그 조사표면의 중심에 있어서의 垂線이 조사 빔의 중심과 일치되도록 설치한다.
- (5) 팬텀은 木樺 또는 저밀도 材製의 틀을 사용하여 교정 테이블 표면에서 20cm 이상 떨어져서 설치한다.

이러한 내용은 대체로 국내에서 사용하고 있는 개인선량계의 교정조건으로도 공통인식이 되어 있다.

개개의 개인선량계 교정에 있어 다른 견해를 가지고 실시되고 있는 교정조건에 ① 교정 기준점(개인선량계를 교정하는 경우에 기준으로 하는 선량당량이 결정되어 있는 공간의 1점)의 설정위치, ② 팬텀 표면에서 개인선량계까지의 거리측정이 있다. 국내에서 JIS로 제정되어 있는 개인선량계에는 몇 종류가 있지만 교정 기준점에 대해서 “팬텀 표면”이나 “검출기 중심”이 되어 있는 개인선량계 또는 팬텀 표면에서 개인선량계까지의 거리에 있어서 “가능한 한 접근시킨 위치에 배치”하거나 “팬텀 표면에서 일정한 거리를 두고 배치”하는 등의 공통의 인식이 이루어지지 않은 교정조건이 있다.

교정의 기준점에 있어서는 X· γ 선에 대하여 선원에서 개인선량계까지의 거리를 JIS에는 2m 이상이라 규정하고 있으므로 실제상은 큰 차이가 없다. 또한 팬텀에서의 거리에 대해서는 개인선량계의 형상 차이에 따라 팬텀에 설치하는 위치가 자연히 제약을 받기 때문에 고정하기가 어려운 면도 있다. 이러한 차이는 본워크숍의 테마가 되어 있는 계측

실용량 해석의 차이 때문일지도 모른다. 이러한 차이에 의한 오차는 실용 측정기로서의 허용오차 범위내에 있다고 하는 견해도 있지만 충분한 토론 끝에 공통을 인식을 가져 합리성 있는 교정조건을 구하는 것이 요망된다. 특히 각종 개인선량계에 대해 획일적인 교정조건으로 실시되는 상호 비교시험 등의 경우 이러한 교정조건 차이에 의한 오차가 측정기 고유의 오차로 혼동되는 경우도 있다.

ICRU에는 환산계수에 대해 새로이 30×30×15cm 조직 슬라브 팬텀에서의 환산계수도 도입하였고 교정에 사용하는 팬텀에 대해서도 같은 크기의 PMMA 팬텀을 권장하고 있다. 또한 최근에는 30×30×15cm 슬라브형 물팬텀을 사용한 교정·시험 예가 있다. ICRP 90년 권고를 받아들인데 있어 환산계수는 물론 교정에 사용하는 팬텀의 종류 기타의 교정조건에 대해 신중한 논의가 필요하다고 생각된다.

【참 고 문 헌】

- (1) ICRP 26(1977)
- (2) ICRU Report 39(1985)
- (3) ICRU Report 43(1988)
- (4) ICRU Report 47(1992)
- (5) JIS Z 4332(1992)
- (6) ICRP 51(1987)
- (7) 「개인선량계 기술 설명서」, 千代田 보안용품 주식회사(1993)
- (8) 「東芝 유리선량계 GD-400시리즈 취급설명서 및 기술자료」, 東芝硝子 주식회사
- (9) JIS Z 4331(1995)
- (10) JIS Z 4511(1991)