



# 외부피폭에 관한 실용량의 고찰과 해설

## 1. 머리말

방사선 방호의 실무에서는 작업전에 선량률계(서베이미터)를 사용하여 작업환경의 선량률 준위를 측정하여 방사선 업무 종사자의 선량률을 예측하여 작업공정에 반영시켜 피폭의 저감화에 노력하고 있다. 더하여 작업자는 개인 선량계를 가슴 또는 복부에 장착하여 피폭선량을 측정하고 관리자는 그 측정결과를 법령에 의거하여 작업자에게 통지하고 있다. 이와 같은 관리실무에서의 선량측정은 측정 불가능한 실효선량은 아니고 실효선량에 관련된 측정가능한 선량으로 실시하지 않으면 안되는 동시에, 계측의 기준이 되는 국가표준으로 이 선량률계의 교정이 가능해야 한다. 또 공간의 한점에 측정한 작업장의 선량률 측정결과에서 작업자의 피폭을 예측하는 데는, 선량의 정의 및 방사선장과 작업자의 피폭선량과의 관계를 합리적으로 설명할 수 있는 사고방식이 필요하다.

이상의 것을 염두에 두고 국제방사선단위측정위원회(ICRU)는 선량률계의 방향특성이 무방향성으로 얻어지는 경우와 필연적으로 방향특성이 생기는 경우를 고려하여 주변선량당량과 방향성 선량당량의 사고방식을 도입하였으며 또 방사선의 종류나 에너지가 달라도 선량을 가산할 수 있도록 선량관리의 단순화 및 계측에 맞는 실용량의 도입을 꾀하여 1985년 ICRU Report39, 1988년 ICRU Report47을 정리 보고하였다.

본 보고는 국제방사선방호위원회(ICRU)가 권고한 실효선량을 실용량으로 안전하게 합리적으로 측정·평가하기 위하여 실용량의 고찰과 해설을 한 것이다.

## 2. 방사선 방호에 대한 기준선량의 변천

방사선 방호의 기준선량으로 권고되는 선량은 초기의 물리적인 선량에서 인체에 대한 확률적 영향이나 건강상태에 대한 악영향을 고려한 방호선



량(protection dose)에 이르기까지 시대와 함께 변천하였다. 이것에 대응하여 방사선 방호의 실무에 사용하는 관리 계측량도 물리적 특성을 보전하면서 실용량(operational quantity)으로 변천하였다. 이하에 방호선량의 변천에 대한 개요 및 3장에서 실용량의 변천에 대하여 기술한다.

### 2.1 조사선량의 시대

선량계측에 사용되는 렌트겐 단위(R)는 1928년에 정의가 확립되었다. 당초에는 통상적인 에너지의 X선을 쬐었을 때의 양적 척도를 주는 방사선장의 단위로서 사용되었다. 이 단위는 전리표준물질로서 공기를 선택하여 공기 중에 발생하는 전하로 정의되었기 때문에 측정·재현성 등에 매우 유리하였다. 여기에 더하여 공기의 실효원자 번호가 인체연조직의 그것과 그다지 다르지 않기 때문에 X선의 생물학적 효과에 관련된 물리학적인 양으로서 상용하게 되었다. 이 때문에 초기 무렵부터 1954년에 ICRU(Report7)가 흡수선량(rad)을 정의할 때까지 ICRU는 규제를 위하여 렌트겐 단위를 방사선 방호 기준선량의 권고(내용선량, 최대허용선량)로 사용하여 왔다. 그러나 렌트겐 단위의 사용은 이 권고치가 방사선장의 규제인지 작업자의 피폭선량의 규제인지(명칭으로 exposure dose를 사용하고 있었기 때문에)에 대하여 혼란을 가져 왔다.

### 2.2 RBE선량, 선량당량의 시대

ICRP는 1954년 권고에서 방사선 방호에 적절한 양은 인체 연조직의 흡수선량이라고 하고 이것에 방사선의 종류에 따라 영향이 다른 값을 나타내는 RBE(생물학적 효과비)를 곱하여 구하는 RBE 선량을 정의하였으며 rem(reontgenequivalent men)의 단위를 주어 최대허용선량을 결정장기별

(깊은 곳에 있는 조혈장기, 생식선 등)로 300 mrem/주를 권고하였다. 단, 에너지가 3MeV 이하의 X· $\gamma$ 선에 대해서는 조사선량으로 측정하여 300mR/주를 채용함으로써 상기 심부선량의 규제를 충족시키는 것으로 하였다.

RBE는 문제시하는 생물학적 영향의 종류나 생물재료의 종류 등으로 달라지기 때문에 RBE 선량은 단위로서의 안정성에 문제가 생겼다. ICRP 1958년 권고 및 ICRU 1962년의 Report 10a에서는 단위로 RBE를 사용하지 않고 방사선의 수중에 대한 선에너지 전달(LET)과 RBE의 실험치를 참고로 만들어지는 선질 계수Q를 정의하여 장기의 평균흡수선량과 선질 계수 및 그 외의 수정계수를 곱한 것을 선량당량(DE, dose equivalent, 단위는 rem)이라 부르고 이것을 사용할 것을 권고하였다. 이 시대는 결정장기별로 rem단위의 최대허용선량을 규제하고 있었지만 구체적으로 측정할 수 없었기 때문에 방사선 장애 방지법이 제정된 이래 상기와 같이 3MeV이하의 X· $\gamma$ 선의 측정은 측정하기 쉬운 조사선량이 계속 사용되었다.

### 2.3 실효선량당량, 실효선량의 시대

ICRP의 1977년 권고는 매우 참신하게 방사선 리스크(확률적 영향, 건강영향)에 관련한 선량개념을 가진 실효선량당량  $H_E$ 를 정의 사용하여 선량당량 한도를 권고하였다. 단, 실효선량당량은 각 장기·조직의 평균선량당량에 그 장기의 하중계수를 곱하여 합계를 구하는 선량으로 이 선량에 관련한 실용량을 현장의 관리계측에 도입할 필요성이 생겼다.

또, ICRP 1990년 권고의 선량에 대한 개념은 지금까지 얻은 지식을 가미하여 조직·장기의 평균 흡수선량에 적용하기 위하여 방사선 하중계수를



새로 정의하였으며 (선질계수에 대신한 것) 장기의 평균흡수계수와 방사선 하중계수의 곱을 그 장기의 등가선량이라 부르고 각 장기의 등가선량과 그 장기의 조직하중계수의 곱을 모든 장기에 대하여 합산한 것을 실효선량 E(실효선량당량  $H_E$ 에 대신한 것)로 하는 것으로서 1977년 권고와 기본적으로는 바뀐 것은 아니다.

### 3. 선량측정의 변천과 실용량의 도입

ICRP 1954년 이전의 권고는 단순히 물리량인 렌트겐 단위를 사용하고 있었다. 국가표준도 렌트겐 단위로 보급되고 관리를 위한 측정기도 모두 렌트겐 단위로 교정되고 있었다. ICRP 1954년 및 1958년 권고는 새로운 단위 rem으로 하고 개정은 대폭적으로 조혈장기·생식선 등의 체간부의 장기 조직 및 인체의 국부별로 최대 허용선량을 결정하였다. 이것을 반영하여 일본의 방사선 장애방지법이 제정되었다. 그러나 실용량으로서의 X· $\gamma$ 선 측정은 측정하기 쉬운 조사선량 단위로 하였다. 그 이유는 조사선량 X(R)과 그곳에 놓인 미소한 인체 연조직의 선량당량 H(rem)의 비  $f(f=H/X)$ 는 약1이기 때문에 실무적으로 조사선량을 rem으로 읽을 수 있기 때문이다.

방사선 장애방지법의 제정 후에도 본 법률은 ICRP의 권고를 받아드려 다소의 개정도 있었지만 ICRP 1977년 권고를 받아 1989년에 대폭적으로 개정·시행하였다. 그러나 실용량으로서의 조사선량 측정은 이번 개정까지 실로 30년 동안이나 계속 사용되었다.

법령개정으로 측정 불가능한 실효선량당량  $H_E$  및 눈의 수정체와 피부의 선량당량이 도입되었기 때문에 이들 선량에 관한 측정 가능한 실용량인 10cm선량당량, 3mm선량당량 70 $\mu$ m선량당량의 도

입이 도모되었다. 이들 실용량에는 명확한 정의는 주어지고 있지 않지만 ICRP의 실용량에 상당하는 것이다. 또한 개정법령에는 1980년에 ICRU Report33에서 채용된 SI 단위가 사용되어 rad는 Gy로 rem은 Sv로 변경되었다.

#### 3.1 최대선량당량

2.2절에서 기술한 바와 같이 ICRP의 1954년 권고는 매우 복잡하여 인체를 장기, 조직 및 국부로 나누어 rem단위로 최대허용선량을 정하고 있다. 이 때문에 조사선량에 의한 측정결과를 각 장기의 선량에 결부시키려고 시도하였다. 그러나 각 장기 선량으로의 결부는 매우 곤란하기 때문에 각 장기의 선량당량을 안전쪽으로 평가하는 것을 목적으로 피폭선량을 체간부의 최대선량당량(maximum dose equivalent, 이하 MADE로 호칭)으로 대표하여 이 MADE를 선량계로 직접 측정·평가(측정단위는 rem)하는 것을 시도하였다. 예를 들면 중성자 선량당량의 측정은 곤란하지만 계산에 의하여 MADE로 구한 단위 플루언스당의 선량당량에 측정기의 에너지 특성을 일치시켜 중성자 에너지에 주관하게 선량당량을 직접 측정할 수 있는 중성자 램카운터가 1964년에 고안되었다. 또 MADE에 의한 개인선량의 측정이 1974년부터 일본의 연구·개발기관에서도 할수 있게 되었다. 이와같은 측정방법의 채용으로 선량 측정상 설명이 곤란한 1R=1 rem의 문제는 대략 해결된다.

#### 3.2 리셉터로서의 ICRU 구 팬텀(phantom)

1971년의 ICRU Report19에 ICRU는 처음으로 인체 대신에 방사선장에 놓고 선량기준을 결정하기 위한 리셉터의 사고방식을 제시하였다. (체간부 대신에 MADE의 계산 등에 사용한



다). 이것은 지름 30cm 등근 물체 (그 원소조성은 O:76.2%, C:11.1%, H:10.1%, N:2.6%, 밀도1)로서 ICRU가 정한 수학 팬텀이다(통칭 ICRU 구 팬텀이라 부르고 있다). 이 팬텀을 방사선장에 놓았을 때 ICRU구의 표면 어느 깊이에서 발생하는 최대 선량당량을 선량당량지표라 부르고 이것을 사용하여 인체의 장기, 조직별로 복잡하게 정해진 방호선량을 안전측면에서 측정·평가하기 위한 측정선량으로 하는 것을 제시하였다. 또 이 ICRU구를 사용하여 관리계측에 대한 현장계측의 사고 방식, 측정기의 특성 등 실용량 구축의 기초로 하였다.

#### 4. 실용량

공간에 있는 1점의 방사선을 표현하기 위한 단위로 플루언스가 사용된다. 플루언스는 단위 단면적의 큰 원을 가진 구를 통과하는 방사선의 수로 정의되며, 무방향성의 구강도이다. 따라서 방사선을 측정하는 선량률계의 방향특성은 모든 방향에 대하여 무지향성이어야 한다. 이와 같은 특성을 가진 측정기로 작업환경의 1점 P

를 측정하여 (그림1 참조) 작업자의 피폭선량을 예측 할 경우 방사선 관리원은 [측정기는 무방향성이기 때문에 방사선은 한 방향으로 정렬화되어 있다고 상정하여 이 정렬화된 방사선을 확장시켜 작업자의 체간부가 어느 특정 방향으로 부터 (통상은 인체전면에서) 면평행범으로 쬐여 피폭하고 있다]고 생각한다. 당연한 일이지만 이 피폭선량 예측치는 피폭의 최대치를 평가하고 있다.

인체 대신에 방사선장에 놓은 리셉터는 방호선량을 안전측면에서 평가하기 위하여 실용량의 선량기준 및 선량계 특성의 기준을 결정하는 것이다. 이것에 더하여 리셉터는 실용량의 선량단위로서 무지향성의 구강도에 대한 정의를 만족시키고 현장의 선량측정과 피폭선량 예측방법을 단순히 모의할 수 있는 것이라야 한다. 이 때문에 리셉터의 형상은 무방향 특성을 가진 등근 구 모양으로 되어 있다. ICRU구를 사용하고 있는 실용량으로서의 주변선량당량 및 방향성 선량 당량은 아래와 같이 정의 되고 있다.

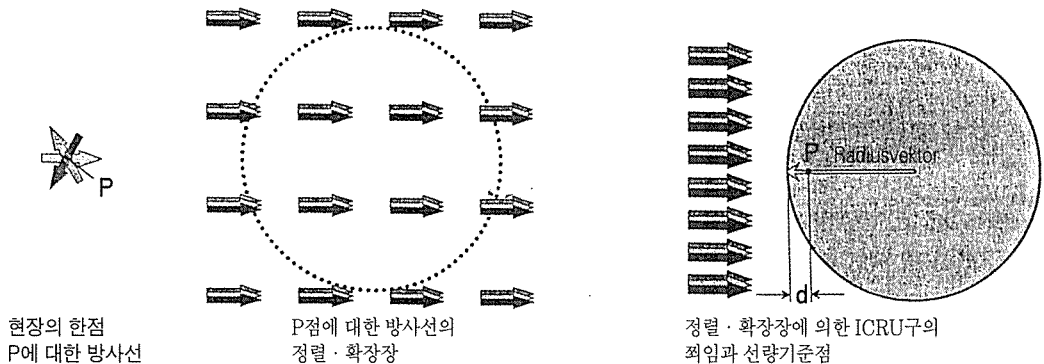


그림1. 주변선량당량의 설명도

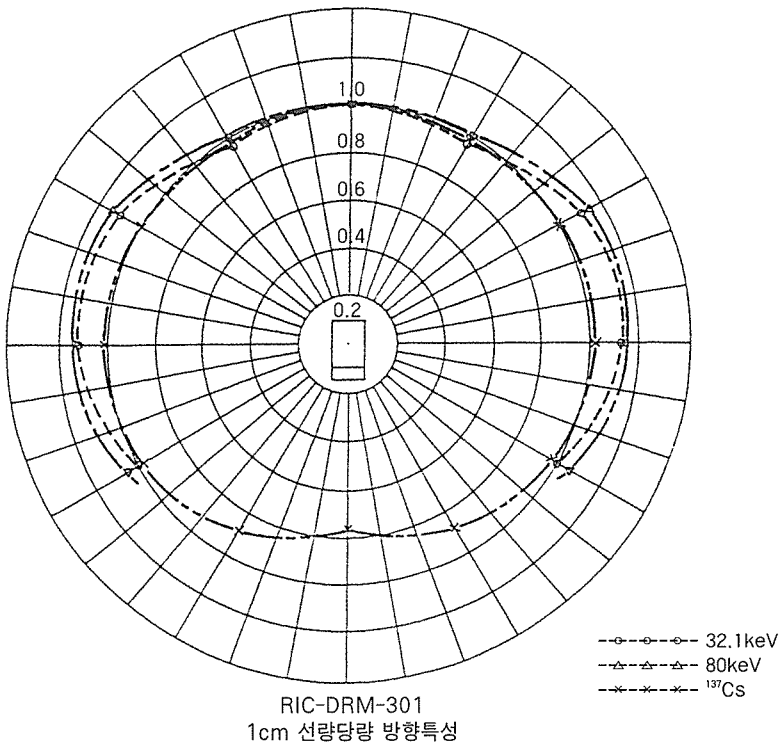


그림2. 1cm 선량당량 측정용 전리함식 선량률계의 방향특성

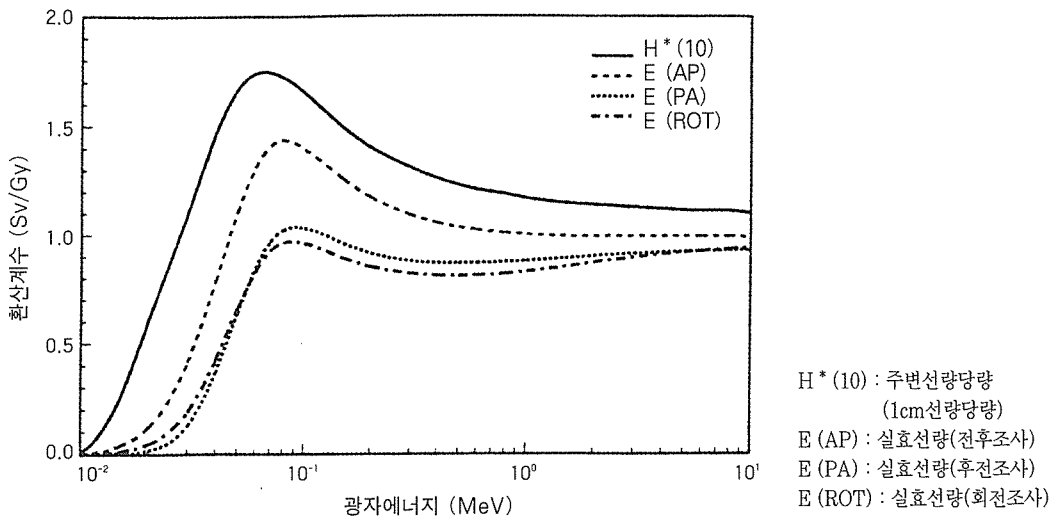


그림3. 광자에너지의 함수로 나타낸 여러 조사 지오메트리에 의한 실효선량과 주변선량당량



#### 4.1 주변선량당량

[주변선량당량  $H^*(d)$ ]란 방사선장의 어느 1점 P에 모든 방향에서 오는 방사선을 정렬·확장한 장에 ICRU구를 놓았을 때 정렬장의 방향에 대항하는 구의 반경선상 깊이 dmm(P' 점)에서 생기는 선량당량이라고 정의되고 있다(그림1 참조, 이 정의는 4장의 방사선 관리위원이 피폭선량을 예측하는 수법과 같다). 이 정의에 부가하여 이하의 것을 주의 하지 않으면 안된다.

주변선량당량 측정기의 방향특성은 상기의 이유로 그림2와 같이 등방적(무지향성)이라야 한다. 또 측정기의 에너지특성은 그림3과 같이 광자에너지의 함수로 나타낸 실효선량(전후방향조사)을 안전측면에서 평가할 수 있는 ICRU구 깊이(10mm)의 선량당량 환산계수에 일치되지 않으면 안된다.

측정기의 성능이 상기 조건을 만족시키고 있는 경우 주변선량당량의 측정이 가능하며 현장의 측정치를 정렬·확장시켜 예측피폭선량을 평가할 수 있다. 또한 이로서 10mm(일본의 호칭은 1cm 선량당량)가 권장되어 있지만 측정기가 상기 성능을 만족시키면 3mm선량당량 측정기와 70 $\mu$ m선량당량 측정기를 제작, 주변선량당량 측정하여 작업자의 눈수정체나 피부의 예측피폭조직 선량당량을 상기와 마찬가지로 측정·평가할 수 있다. 또한 ICRU는 Report39 및 43에서 강투과성 방사선장에 대한 주변선량당량의 개념을 적용하고 있었는데 Report47에서는 적용범위를 약투과성 방사선장으로 까지 확장시켜 ICRU구의 깊이 3mm와 0.07mm의 선량당량 측정을 추가하였다.

주변선량당량은 교정용어로서 사용하는 것은 부적당하다.

교정은 단일에너지(X선이라도 좋다) 면평행빔으로 검출기 전체를 쬐는 동시에 공기 흡수선량

(광자의 에너지가 약 2MeV이하라면 공기 커마와 대략 같다)으로 교정장의 선량을 결정하여 이 선량에 계산으로 구한 광자에너지에 대응하는 ICRU구의 각 깊이에 대한 선량당량 환산계수를 곱한 선량당량으로 교정한다. 또한 선량당량 환산계수는 ICRU구를 단일 에너지 면평행빔으로 쬐여 구하고 있다. 이상과 같이 교정 절차는 명확하게 기술 할 필요가 있다.

#### 4.2 방향성 선량당량

ICRU Report39 및 방향성선량당량의 정의는 약투과성 방사선장(저 에너지 X선이나  $\beta$ 선에 의한 방사선장)에 대한 작업자의 피폭실태와 선량률계의 방향특성을 상정하여 만들었다. 방사선장은 무 방향성의 구강도로 정의되며 무 지향성의 선량률계로 선량을 측정하는 것이 원칙이다. 그런데 저 에너지 X선용 선량률계나  $\beta$ 선용선량률계는 박창·박형 평판 전리함 검출기를 사용하기 때문에 이선량률계의 검출부를 지지하는 구조물(측정 지시부를 포함)에 기인하여 무 지향성의 선량률계를 제작한다는 것은 기술적으로 매우 곤란하다. 일반적으로 제작되고 있는 이들 선량률계의 방향특성은 입체각으로  $2\pi$ 이거나 2 이하이다. 박형 평판전리함 선량률계의 검출면이 특정한 방향  $\Omega$ 에서 오는 방사선(그림 4참조, 그림의 P' 점으로 입사하는 방사선)에 수직이고 검출면에 방사선이 균등하게 입사하고 있으면 약투과성 방사선의 선량을 측정할 수 있다. 그러나 모든 방향에서 오는 방사선은 측정 할 수 없다. 즉, 이 선량률계에 의한 측정치는 P점(그림4의 왼쪽)에 대한 선량률의 최대치를 나타내고 있지 않다. 이와 같은 문제가 발생하기 때문에 피폭선량 예측의 관점에서 P 점에 대한 측정은 선량률계의 방향을 전후좌우

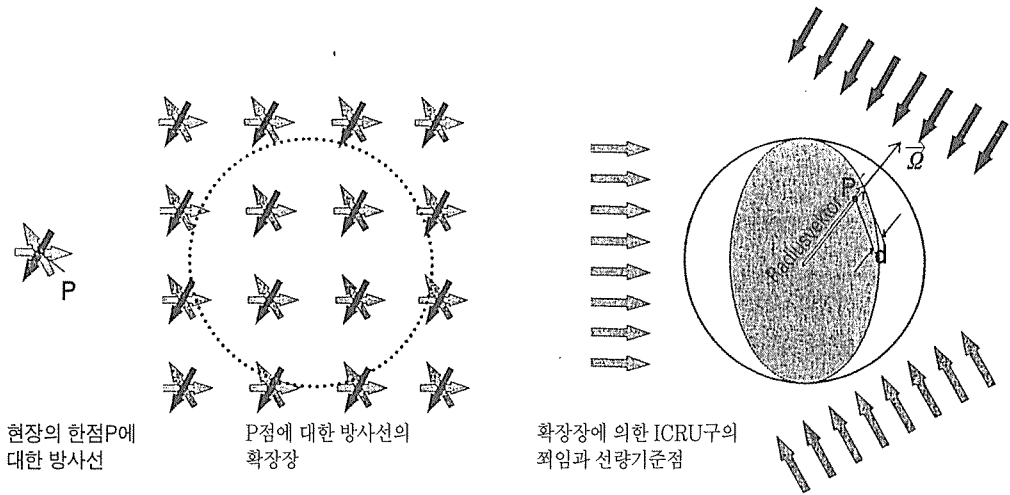


그림4. 방향성 선량당량의 설명도

로 움직여 최대 선량을 찾아서 피폭선량을 예측하지 않으면 안된다.

따라서, 지향성을 가진 측정기를 사용하여 피폭선량을 예측하는 경우 방사선 관리원은 [측정기가 지향성을 갖고 있기 때문에 선량계의 측정치를 정렬화 하지 않고 확장만 시켜 작업자의 체간부가 어느 특정방향  $\Omega$ 에서 면평행빔으로 쬐지고 피폭하고 있다]고 생각하여 피폭선량을 예측한다. 여기서 약투과성방사선장에 관계되는 방향성 선량당량은 그림4와 같이 정의 된다.

(1) 방향성 선량당량의 정의

[방향성 선량당량  $H'(d, \Omega)$ ]란, 방사선장의 어느 한점 P에 모든 방향에서 오는 방사선을 확장시킨 장에 ICRU구를 놓았을 때 ICRU구의 어느 특정 방향  $\Omega$ 에 있는 반경선상의 깊이 d에서 생기는 선량당량이다. d의 권장 깊이는 0.07mm이다. (그림 4참조, 이 정의는 상기의 방사선 관리원이 피폭선량을 예측하는 수법과 같은 것이다).

ICRU Report47은 지금까지 간행된 Report39 및 43에 기재된 방향성 선량당량의 사고방식을, 약투과성 방사선장의 선량특정 뿐만 아니라 강투과성 방사선장의 측정으로 까지 확장하여 d의 깊이를 0.07mm, 3mm, 10mm로 하였다. 그리고 지향성을 가진 모든 선량률계에 적용할 수 있도록 하는 동시에 선량률계의 방향특성을 방향성 선량당량으로 평가할 수 있게 하는 정의를 추가하였다. 또 개인선량계에 대해서도 방향성 선량당량의 사고 방식을 적용할 수 있도록 확장하였다.

(2) 방향성 선량당량의 보조정의

[방향성 선량당량의 보조정의]란 단일 방향 방사선장(면평행빔)에서 ICRU구를 쬐었을 때 구로의 방사선 입사방향과 구의 어느 특정방향과 이루는 각도  $\alpha$ 의 반경선상의 깊이 d mm에 생기는 선량을 방사성 선량당량이라고 규정한 것이다. 이 방향성 선량당량을  $H'(d, \alpha)$ 로 기술한다. 여기서  $\alpha$

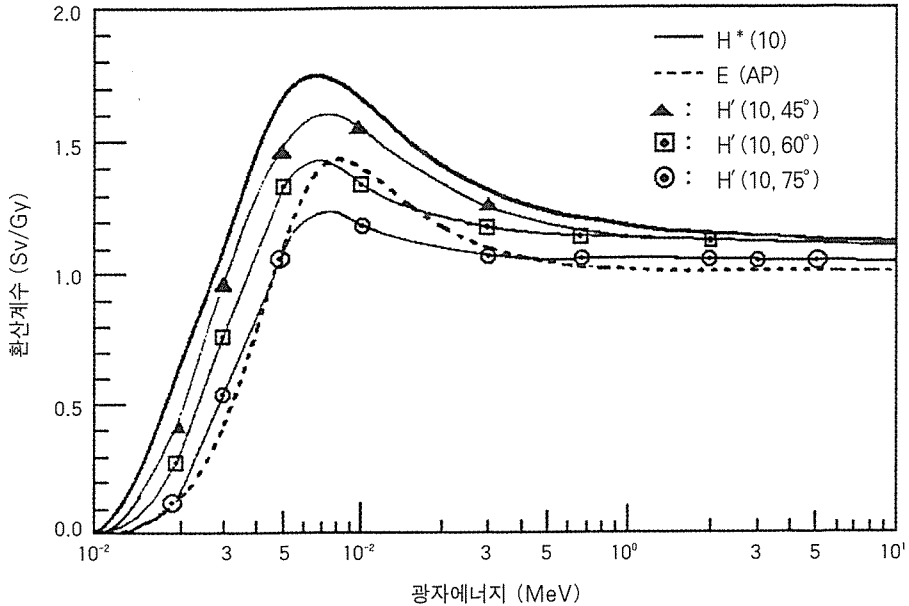


그림5. 광자 에너지를 함수로 표시한 주변선량당량 H'(10), 각도 45°, 60°, 75°에 대한 방향성선량당량 H'(10)과 실효선량 E(AP)의관계

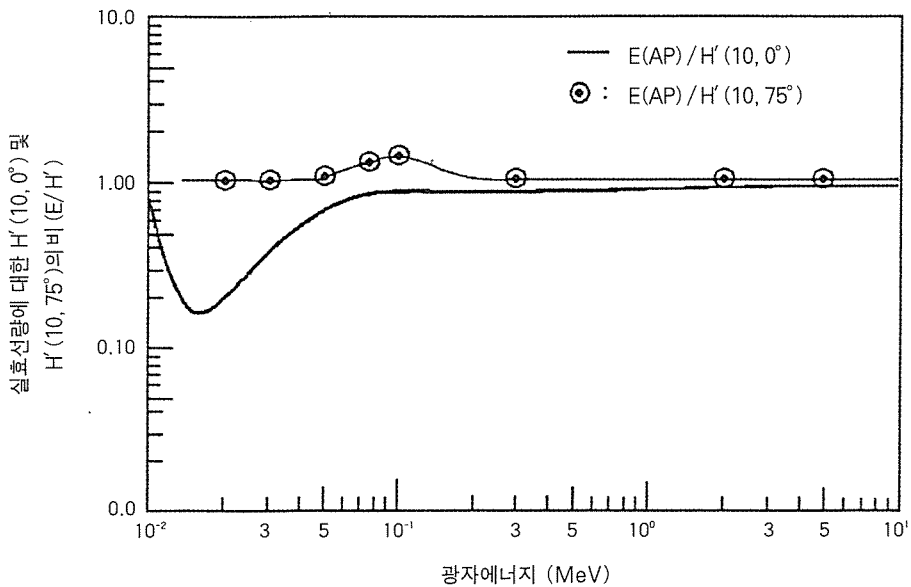


그림6. 실효선량 E(AP)와 주변선량당량 H'(10, 0°) 및 H'(10, 75°)의 각각의비





=0일 때 방향성 선량당량  $H'(d, 0^\circ)$ 는 주변 선량당량  $H^*(d)$ 와 같다.  $H'(d, 0^\circ)$ 는  $H'(d)$ 로 쓸 때도 있다.

방향성 선량당량  $H'(d, \alpha)$ 는, 방사선방호의 현장에서 직접 이용하는 일은 없지만 이하의 4·2·1에서 기술할 각도의존계수로서 선량계 방향특성의 판단에 이용된다.

#### 4·2·1 방향성 선량당량의 각도의존계수

ICRP Pub. 74 및 ICRU Report 57은, 방향성 선량당량의 보조 정의에서 구할 수 있는 방향성 선량당량  $H'(d, \alpha)$ 과  $H'(d, 0^\circ)$ 의 비를 각도의존계수  $R(R=H'(d, \alpha)/H'(d, 0^\circ))$ 로 정의하였다. ICRU구에서 구할 수 있는 각도의존계수는 작업 환경 측정용 선량률계의 방향 특성을 판단하는 기준으로 사용된다. 또한 선량률계의 방향특성은 제조자가 지정하는 선량률계도 사각도(교정방향)의 감도로 규격화하여 각도의존계수와 비교 될 수 있도록 원그래프로 표시하고 있다.

4·2·2 선량률계 방향특성의 감도저하각도는 몇도까지 허용되는가

방사선 입사각에 의한 선량률계 방향특성의 감도저하는 주변 선량당량  $H^*(d)$ 와 방향성 선량당량  $H'(d, \alpha)$ 를 사용하여 감도 저하의 하한을 고찰 할 수가 있다.

그림5에 광자에너지를 함수로 한 주변 선량당량  $H^*(10)$ , 전후 방향조사에 의한 실효 선량  $E(AP)$ 의 선량당량 환산계수 (Sv/Gy)를 나타낸다. 마찬가지로 주변선량당량  $H^*(10)$ 에 각도의존계수  $R$ 을 곱하여 구한 방향성 선량당량  $H'(10, 45^\circ)$ ,  $H'(10, 60^\circ)$  및  $H'(10, 75^\circ)$ 를 각각 나타낸다. 이들의 각도에 의한 방향성 선량당량이 실효선량  $E(AP)$ 의 폭선이하로 낮아지지 않으면 실효선량을 안전하게 평가 할 수 있게 된다. 이것을 더욱 명확하게 설명하기 위하여 그림6에

실효선량  $E(AP)$ 와 방향성선량당량  $H'(10, 0^\circ)$ (주변선량당량  $H^*(10)$ 과 등가)의 비, 및 방향성 선량당량  $H'(10, 75^\circ)$ 의 비를 광자에너지의 함수로서 나타낸다. 이 그림의 각 광자에너지로 그 비가 1이하라면 실효선량을 안전하게 평가 할 수 있음을 뜻한다.

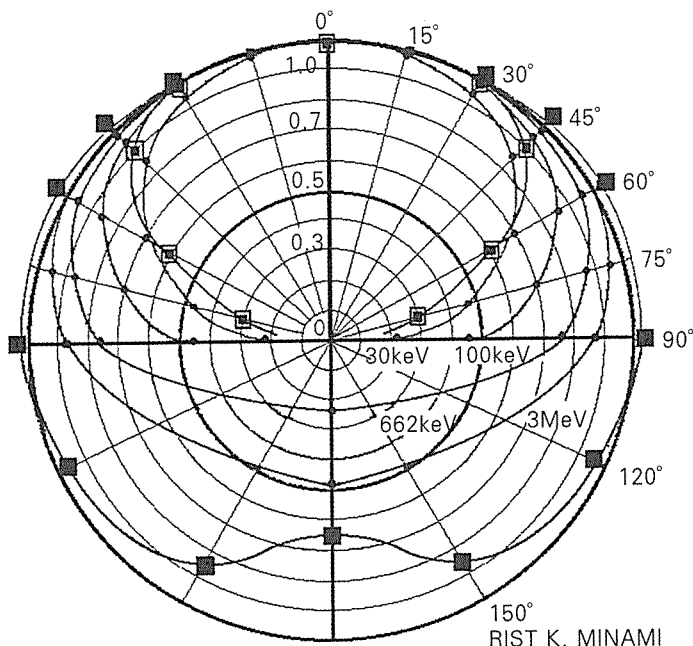
그림5 및 그림6에서 방향성 선량당량  $H'(10, \alpha)$ 으로 실효선량을 안전하게 평가할 수 있는 각도  $\alpha$ 은 대략 75도 임을 알 수 있다(바꿔 말하면, 실용량의 방향성 선량당량으로 방호량의 실효선량을 안전하게 평가할 수 있는 각도의존계수는 약 75도 까지로 된다).

4·2·3 X·γ선 측정용 휴대형 선량률계의 방향특성과 사용상의 주의

그림2에 표시한 선량률계는 전리함 검출기가 독립적으로 제작되어 있고 검출기와 측정 지시부는 케이블로 접속되어 있다. 이와 같이 검출기부가 독립하고 있는 선량률계의 방향특성은 일반적으로 양호(무 지향성)하기 때문에 주변 선량당량을 만족하게 측정할 수 있다. 그러나 이 선량률계를 현장에서 사용하는 것은 매우 불편하여 실무적이지 않다. 검출부와 측정지시부가 분리된 선량률계는 표준선량측정기 또는 표준선량이행용 측정기로서 주로 사용한다.

현장에서 사용하는 선량률계는 검출부와 측정 지시부 및 전원부(전리)가 일체로 된 값이싼 선량률계이다(통칭 서베이미터라 부른다). 또 방사선 방호의 실무에 사용하는 선량률계는 주변선량당량의 측정을 목적으로 하고 있기 때문에 무 지향성을 가진 선량률계여야 한다. 그러나 이와같은 휴대형 선량률계는 구조상의 문제로 방향특성이 좋은 것을 제작하는 것은 곤란하다.

그림 7에 휴대형 선량률계(전리함서베이미터)의 입사γ선 에너지에 의한 방향특성의 변화



- : NE TECHNOLOGY LIMITED  
PRM510 33keV(방향성선량당량 응답)
- : ALOKA ICS-313 622keV(주변선량당량 응답)
- △ : 각도 의존계수



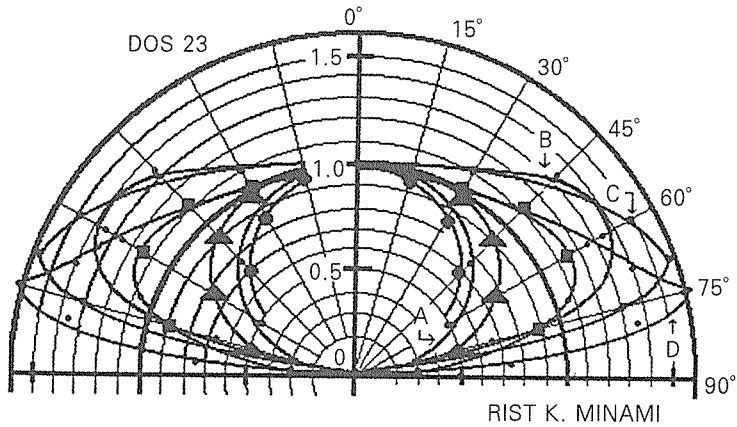
← 전리함 등의 검출기

일반적인 전리함 서베이미터  
(ICRU sphere  $R = H'(10, \alpha) / H'(10, 0^\circ)$ )

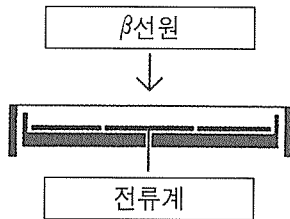
그림7.  $\gamma$ 선 서베이미터의 입사 에너지에 의한 방향특성의 변화와 방향성 선량당량의 각도 의존계수  $H'(10, \alpha) / H'(10, 0^\circ)$ 의 관계

와 각도 의존계수  $R(R = H'(d, \alpha) / H'(d, 0^\circ))$ 의 관계를 나타낸다. 그림속의 작은 흑점은 방향성 선량당량의 각도 의존계수를 나타내고 있다. 전리함 서베이미터 ISC-313의 662KeV에 대한 방향특성은 662KeV의 각도 의존계수를 충분히 만족시킨 무지향성을 나타내고 있다. 따라서 이 전리함서베이미터는 강투과성 방사선( $^{137}\text{Cs}$ 등의  $\gamma$ 선)에 대해서는 주변선량당량의 측정기로 된다. 30KeV정도의 X선에 대해서는

PRM 510 서베이미터와 같은 방향특성을 나타낸다. 방향특성은 대략 60~75도까지 각도 의존계수 곡선을 만족시킨다. 즉 이 서베이미터는 약투과성 방사선(저 에너지X선)에 대해서는 방향성 선량당량의 측정기로 된다. 그래서 서베이미터의 검출기 중심에 대하여 입체각으로 표현하면  $1.3\pi \sim 1.7\pi$ 공간의 방사선을 측정하고 있는 것으로 된다. 이것은 전공간( $4\pi$ )의 약 33~49%이며 피폭선량예측의 관점에서 현장측정에



• : 각도의존계수  
 A:0.15MeV, B:0.4MeV, C:1.0MeV, D:3.0MeV  
 ● :  $^{147}\text{Pm}$     ▲ :  $^{204}\text{Tl}$     ■ :  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$



외삽전리함  
 (ICRU slab or sphere  $R = H_p(0.07, \alpha) / H_p(0.07, 0^\circ)$ )

그림8. PTB의 2차 β선 표준선원과 ISO 6980에 표시될 빔보정필터를 조사시켜, 외삽전리함의 방향특성을 조사한 결과와 방향성 선량당량의 각도의존계수 R의 관계를 나타낸다.

서는 선량률계의 방향을 전후좌우로 움직여 최대선량률을 찾지 않으면 안된다.

이와같이 현장에서 사용하는 서베이미터는 측정대상으로 하는 방사선의 에너지에 의하여 측정 목적의 선량이 변함으로 [1cm 선량당량은 주변선량당량의 측정기로 측정한다]등의 표현은 서베이미터의 유효한 활용을 저해할 우려가 있어서 주의해야 한다. 또 [방향성 선량당량으로 측정기를 교정한다]등은, 교정용어로서의 사용은 부적당하다. 방향성 선량당량으로 측정기를 교정하는 것과 같

은 번장한 일은 할 수 없다.

### 4.3 β선용선량률계의 방향특성에 대한 예

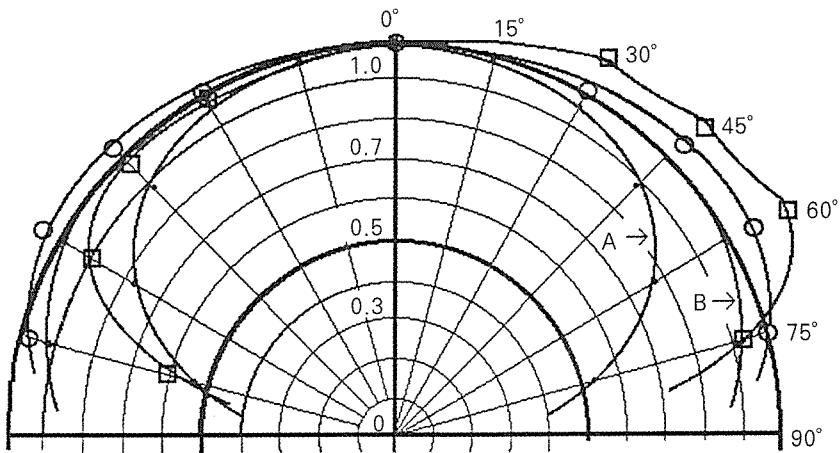
그림8에 방향성선량당량 측정기의 대표적인 예로서 β선량측정용 박창, 박형 평판전리함 선량률계(외삽전리함)의 방향특성을 나타낸다. 그림속의 작은 흑점의 A, B, C, D 곡선은 ICRU Report74 표 A-45에 제시된 전자선에 대한 방향성 선량당량의 각도의존계수를 원그래프로 작성



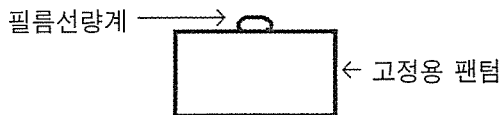
한 것이다. 실험데이터는 PTB-Dose-23e에 있는 표 5. 6의  $\beta$ 선원을 이용하여 측정된 실험치를 동그림에 플로트한 것이다. 그림내의  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$  및  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ 의 곡선은 각 핵종의  $E\beta_{\text{max}}$ 의 1/3을 평균 $\beta$ 선의 에너지로 잡으면 각도의존계수를 대략 만족시킨다. 이 방향특성에서 알 수 있는 것과 같이 고 에너지  $\beta$ 선은 검출면(피부면)에 대한 입사각이 커지면 선량은 매우 증가한다. 고 에너지  $\beta$ 선에서는 75도까지 각도의존계수는 대략 만족시키고 있으며 이 각도는 선량율계의 중심에 대한 입체각으로 약  $1.7\pi$ 방향으로부터의 선량을 측정할 수 있다.

$\beta$ 선용 선량율계는 검출기 전방  $2\pi$ 공간에만 감도를 가진 측정기이다. 따라서 피폭선량예측의 관점에서 현장에 대한 측정은 선량율계의 방향을 전후좌우로 움직여 최대선량율을 찾아 피폭선량을 예측하지 않으면 안된다.

전자선의 방향성 선량당량에 대한 각도의존계수는 ICRU Report 74에 의하면 장의 선량당량 기준의 ICRU구와 5장에서 기술할 개인 선량당량 기준의 ICRU 슬래브와는 실질적으로 상위는 없고 방향성 선량당량은  $H'(d,\gamma) = H_{\text{slab}}(d,\alpha)$ 로 된다.



• : 각도의존계수 A: 50keV, B: 1MeV  
□: 45keV(X선)    ○ : 1.25MeV( $^{60}\text{Co}$ )



$$(\text{ICRU slab. } R = H_p(10, \alpha) / H_p(10, 0^\circ))$$

그림9. 필름 선량계의 입사 $\gamma$ 선 에너지에 의한 방향특성의 변화와 방향성 선량당량의 각도의존계수  $R = H_p(10, \gamma) / H_p(10, 0^\circ)$  관계



## 5. 개인선량당량

ICRU Report 47에는 개인의 피폭선량측정에 대해서 측정해야 할 [개인선량당량 (personal dose equivalent  $H_p(d)$ )]을 인체상의 어느 특정 점에 대한 연조직의 깊이  $d$ 속에 대한 선량당량이라고 정의하고 있다. 이 정의에서 명백한 것처럼 개인선량당량은 현실의 방사선장에 대한 인체연조직 그 자체의 선량당량으로 결정하고 있다. 깊이  $d$ 의 값으로 심부조직에 대한 선량은 10mm, 눈수정체에는 3mm, 표층부조직에는 0.07mm이 장려되고 있다.

개인선량계를 교정하는 경우에는 상기의 상황을 모의하여 인체의 체간부를 대표하도록 조직등가 물질의 슬래브팬텀( $30 \times 30 \times 15$ cm)에 개인선량계를 장착시켜 선량계와 팬텀이 일체가 된 측정기로서 조사시켜 교정한다. 여기서 실용량으로서의 개인선량당량은 이 팬텀(ICRU구에 대신하는 것)의 각 깊이에 대한(인체에 대신한 각 깊이)선량을 계산으로 구하고 이것을 측정 할 개인선량당량의 기준량으로 하고 있다. (ICRP Pub74에서는 눈에 대한 선량당량 환산계수는 주지 않고 있다)

개인선량측정시스템은 상기한 바와 같이 선량계와 팬텀이 한체로 된 측정기이며 측정기로서의 방향특성은 매우 나쁘다. 이와 같은 개인선량측정시스템의 방향특성은 슬래브팬텀의 방향성 선량당량에 대한 각도의존계수로 성능을 평가한다.

### 5.1 개인선량당량의 정의

개인선량당량  $H_p(d)$ 는 슬래브팬텀 중앙면을 면평행빔으로 수직으로 쬐여 팬텀중앙면하의 각

깊이에 생기는 선량을 계산으로 구한 것이다. 팬텀 중앙면의 법선을 기준으로 팬텀측면을 향하여 방사선의 입사각  $\alpha$ 를 취하여  $\alpha$ 를 변화시켰을 때 생기는 선량을 방향성 선량당량  $H_p(d, \gamma)$ 이라 부른다. 개인선량당량에 관계되는 선량당량 환산계수 및 각도의존계수는 ICRP Pub 74의 표 A-24 및 A-25에 제시되어 있다.

### 5.2 개인선량계의 방향특성에 대한 예

그림9에 일본에서 사용되고 있는 필름선량계의 방향특성과 슬래브팬텀의 각도의존계수의 관계를 나타내고 있다. 필름선량계는 45keV(X선)에서도 1.25MeV( $\gamma$ 선)에서도 75도에서의 각도의존계수를 충분히 만족시키고 있으며 (30~60도에서 감도는 너무 높다) 이 각도는 선량계를 중심으로 입체각으로 표현하면 약  $1.7\pi$ 로 된다. 이것은 선량계로부터 본 전방  $2\pi$ 공간중의 선원을 85% 포착할 수 있음을 의미한다. 그러나 인체의 매면·측면에서 입사하는 방사선은 포착할 수 없다. 그 때문에 개인선량측정·평가에서는 작업자와 선원의 기하학적인 위치관계에 주의하지 않으면 안된다.

## 6. 맺는 말

방호선량의 개념 및 실용량의 개념은 과거부터 많은 연구자, 기술자 및 방사선 방호실무 경험자의 연구결과를 토대로 구축된 것이다. 그러기 때문에 과거를 배우면 주변선량당량, 방향성선량당량, 각도의존계수 등의 관계를 이해하고 설명할 수 있다는 생각에서 실용량을 고찰하고 해설을 시도하였다. (南賢太郎, (제)고도정보과학기술연구기구)

KRIA