

트레이서 빌리티와 ICRU의 모니터링 線量(上)

加藤 郎*

1. 머리말

방사선 모니터링은, 体外 방사선 또는 攝取 방사성물질에서의 방사선에 의한 피폭을 관리하기 위해 실시하는, 방사선 내지 방사능의 계측 및 그 평가를 뜻한다. 体外 방사선 모니터링의 경우 측정의 대상인 선량은 현재 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 당량, 70 μ m 선량당량이다. 작업환경 모니터링에 있어서는 서베이미터, 에어리어모니터 등의 작업환경 계측기에 의하며, 개인 모니터링의 경우 필름뱃지, TLD, 포켓 선량계, 전자 선량계 등의 개인 선량계의 의해 실시된다. 이러한 측정기는 실용 측정기라 부르며, 실용 측정기에 의한 측정이 실용측정이다. 실용 측정기는 校正을 필요로 하며, 측정의 대상이 되는 선량에 대한 특성이 양호하다는 것이 기본으로 되어 있다.

校正에 있어서는 트레이서빌리티를 기본으로 하는 JIS Z 4511 照射선량 계정기와 선량당량 계정기의 校正방법이 있다. 또한 計量法이 트레이서빌리티 제도의 創設을 중심으로 하여 改正되게 되었다.

방사선 모니터링에는 품질보증이 요구 된다. 방사선 모니터링의 품질보증은 측정기의 트레이서빌리티와 특성의 양호함이 기본이 된다.

本稿의 내용은 1. 머리말, 2. 모니터링의 선량, 3. 換算係數, 4. 校正, 5. 특성, 6. 線質, 7. 품질보증, 8. 트레이서빌리티, 9. JIS校正法, 10. 計量法, 11. ICRU 39, 43, 47의 모니터링 선량, 12. 校正機關, 13. 맺는말로 되어

있다.

2. 모니터링의 선량

방사선 모니터링에의 ICRP 26에 의한 實効 선량당량의 도입에 대해, 실제상의 모니터링 선량으로서의 ICRU 39, 43에 의한 모니터링 선량(Operatng Quantities)이 도입되었다. 모니터링 선량은 환경 모니터링에는 ICRU의 깊이 10밀리미터의 주변 선량당량과 깊이 0.07밀리미터의 方向性 선량당량이 파악되며, 개인 모니터링에는 인체의 깊이 10밀리미터의 透過性 개인 선량당량과 깊이 0.07밀리미터의 表層部 개인 선량당량이 파악된다. 인체의 透過性 개인 선량당량, 表層部 개인 선량당량은 실제로는 ICRU球의 선량당량으로 대치되어 있다.

일본에서는 콘센서스로서 깊이 10밀리미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70 μ m선량리미터의 방향성 선량당량을 각각 1센티미터 선량당량, 3밀리미터선량당량, 70 μ m 선량당량의 명칭으로, 환경, 개인 모니터링에 대해 모니터링의 선량으로 채용하고 있다. 1센티미터 선량당량이 實効 선량당량에, 3밀리미터 선량당량이 눈의 水晶體의 선량당량에, 70 μ m 선량당량이 피부의 선량당량에 각각 對應한다.

ICRU 39, 43에 이어 모니터링 선량의 실제면에서의 적용을 주목적으로 ICRU 47이 發行되었다. ICRU 47에는 개인 선량당량이 도입되었다. ICRU 39,43,47의 모니터링 선량에 대한 설명은 11에 나타나 있다.

*Akira Katoh 千代田保安用品(주) 계측기술고문

3. 換算係數

방사선의 선량에는 플루엔스, 照射線량, 카마, 흡수선량, 선량당량, 1센티미터 선량당량 등 여러가지가 있다. 이러한 선량은 着目하는 물리적, 생물학적 요인에 따라 결정된다. 이를테면 방사선의 粒子에 주목하면 플루엔스, X, γ 선의 경우 공기 중에 발생하는 電離電荷에 주목하면 照射線량, 방사선에 의해 물질에 흡수된 에너지에 주목하면 흡수선량, X, γ 선, 中性子선 등의 間接電離 방사선에 의해 방출된 二次 荷電離子의 舍에너지에 주목하면 카마가 된다. 이것들은 물리량인 물리적 선량이다. 선량당량은 조직의 흡수선량에다 방사선의 종류나 에너지에 의한 인체에의 영향의 정도를 나타내는 係數, 線質係數를 곱한 선량이다. 선량당량은 조직의 흡수선량을 기초로 하고 있지만, 線質係數를 곱하는 것에 의해 생물학적 요인을 고려한 선량이라는 것이 된다.

이와같이 동일종류, 에너지의 방사선에 대해 여러가지 선량을 입수할 수 있기 때문에 각각의 선량 사이에는 일정한 관계가 있게 된다. 이 관계는 두가지 선량간의 比, 예컨대 1센티미터 선량당량과 照射線량과의 比로서 나타낼 수 있다. 이 比가 換算係數이다. 이 밖에 70질량 감쇠계수 선량당량과 照射線량, 實効 선량당량(일정한 인체 판톰에 대한 實効 선량당량)과 照射線량, 1센티미터 선량당량과 카마, 1센티미터 선량당량과 공기의 흡수선량간 등 여러가지 선량간의 換算係數를 얻을 수 있다. 이 환산계수는 에너지에 의해 변한다. 에너지와 환산계수와의 관계를 나타내는 곡선이 환산곡선이다.

주변 선량당량, 방향성 선량당량에 대한 환산계수는 플루엔스, 공기의 흡수선량, 카마 등에 대해 요구되어 있다. 이러한 환산계수는 ICRP 51 등에 표시되어, X, γ 선, 中性子선, β 선 등에 대해 주어지고 있다.

환산계수의 단위는 이를테면 1센티미터 선량당량-照射線량 환산계수이면, 1센티미터 선량당량의 단위를, mSv 照射線량을 R라 하여, R와 같이 표시한다. 물리적인 선량

에다 환산계수, 이를테면 照射線량에 그 환산계수를 곱하면 1센티미터 선량당량을 구할 수 있다.

4. 校正

방사선 모니터링의 측정, 평가의 대상이 되는 선량은, 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량이다. 이러한 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량이 환경 모니터링이면, 서베이미터, 에어리어모니터 등, 그리고 개인 모니터링이면, TLD, 필름벤티지, 전자 선량계 등의 실용 측정기로 측정, 평가하게 된다.

방사선량의 실용 측정기는 종류, 形式등 각양각색이다. 측정상 실용측정은 모두 상대측정을 원칙으로 하고 있다. 상대측정이란 量을 기준의 量과 비교하여 측정하는 것이다. 선량(선량률을 포함해서 말한다. 이하 같음)으로 말하면, 선량을 기준으로 하는 선량의 몇배라고 하는 식으로 측정하는 것이다. 상대측정에 대한 측정원리로서 절대측정이 있다. 이것은 量을 量의 定義에 따른 物理量을 측정하여 量을 구하는 것이다. 이를테면 照射線량은 X, γ 선에 의해 공기중에서 조성된 일정질량당 電離電荷로서 定義가 내려져 있다. 이 定義에 부응한 電離電荷를 측정하여 照射線량을 구하는 것이 照射線량의 절대측정이다. 국가표준은 절대측정을 바탕으로 하여 설정된다.

실용측정기는 상대측정을 원칙으로 하는 것에서 校正이 필요하게 되며, 특성이 문제가 된다. 선량측정기는 指示눈금에 대한 指示植를 補正 또는 換算하여 선량을 구한다. 따라서 指示植와 선량과의 관계를 알아두는 것이 필요하다. 指示植와 선량과의 관계를 구하는 것을 校正이라 한다. 校正은 指示植에서 올바른 선량을 얻기 위한 係數를 정하는 것이며, 이 係數를 校正定數를 정하는 것이며, 이 係數를 校正定數라 부른다.

校正定數 K는 기준의 선량 X_r 와 指示植 I_r 와의 比로 다음 式으로 얻어진다.

$$X = \frac{X_r}{I_r} \quad (4-1)$$

측정기의 특성(후에 말함)이 양호하다면 실제상으로 측정했을 때의 指示式I에 校正定數 K를 곱하면 올바른 선량 X가 얻어진다.

즉

$$X = IK = I \frac{X_r}{I_r} = Kr \left(\frac{I}{I_r} \right) \quad (4-2)$$

(4-2)式을 보면 선량 X는 기준의 선량 X_r 의 (I/I_r) 배로서 측정되고 있는 것을 알 수 있다. 指示 눈금이 기준의 선량을 올바르게 나타내도록 눈금이 되어 있으면 校正定數는 1이 되며, 눈금이 기준의 선량에서 벗어나 있으면 1 이외의 數值가 된다. 방사선의 선량에는 照射선량, 흡수선량, 1센티미터 선량당량, 實効 선량당량 등 여러가지가 있다. (4-2)式은 기준이 선량을 설정할 수 있고 또한 측정기가 방사선에 대한 感度を 가지고 있으면 측정기로서 특성의 문제가 생기지만, 선량에 係數를 곱하는 것과 같은 가상적인 선량일지라도 상대측정의 의미에서 측정할 수 있다는 것을 뜻하고 있다.

校正의 기준은 국가표준과의 트레이서 빌리티를 바탕으로 하여 설정된다. 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량에 의한 校正에 있어 작업환경 측정기이면 空間 중에서, 개인 선량계이면 판툼 위에 설치하여 校正한다.

1센티미터 선량당량의 측정기 교정의 경우 기준의 선량은 1센티미터 선량당량이다. 이 기준의 1센티미터 선량당량을 $H(10)_r$, 측정기의 指示値를 I_r 라 하면, 校正定數는

$$K = \frac{H(10)_r}{I_r} \quad (4-3)$$

으로 얻어진다. 기준의 1센티미터 선량 당량은 照射선량에 換算係數 f를 곱해 결정된

다.

$$H(10)_r = X_r \times f \quad (4-4)$$

따라서 1센티미터 선량당량 측정기의 校正定數는 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

$$K = \frac{X_r \times f}{I_r} \quad (4-5)$$

개인선량계 교정의 경우, 照射선량은 판툼을 둔 경우의 照射선량이 아니라, 판툼을 주지 않는 경우에 있어서 그점의 照射선량이다. 이것은 환산계수가 공간중의 照射선량에 대해 결정되어 있기 때문이다.

3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량의 경우에도 마찬가지이다.

校正에 있어서의 기준선량은 국가표준을 바탕으로 설정된다. 현재 X, γ 선은 照射선량으로 국가표준이 결정되어 있다.

기준의 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량은 照射선량에 환산계수를 곱하여 결정된다.

따라서 1센티미터 선량당량, 3밀리미터 선량당량, 70질량 감쇠계수 선량당량의 실용측정기는 환산계수를 통해 照射선량의 국가표준과의 트레이서빌리티를 가져 신뢰도가 보증된다.

5. 특 성

실용측정기를 校正하는 것에 의해 선량을 측정할 수 있지만, 실제상의 측정에는 특성의 문제가 발생된다.

실용측정기는 동일한 선량이 주어져도 측정의 조건이 다르면 같은 指示値를 나타내지 않는 것이 보통이다. 이를테면 서베이미터에 ^{60}Co γ 선(에너지 1.25MeV)으로 10mSv 照射했을 때의 指示値와, 實効에너지 30 KeV의 X선으로 10mSv 照射했을 때의 指示値와는 다른 것이 보통이다. 이것을 엄밀하게 말하면 실용측정기는 조건이 다르면 일반적으로 그 반응이 달라진다는 것이 된

다. 반응 Rp는 측정기의 指示値 I와 선량 X와의 比이며, 단위선량당의 指示値를 뜻한다.

$$R_p = \frac{I}{X} (5-1)$$

측정의 조건에 의해 반응이 달라지는 것을 특성이라 한다. 실용측정기의 校正은 특정의 조건에서 행해진다. 이를테면 서베이미터이면 온도는 室溫으로 습도는 통상으로 하여 ^{137}Cs γ 선에 의해 특정한 방향에서 측정기에 기준선량을 照射하여 校正한다. 실제로 실용측정기에 의해 측정하는 경우 방사선의 에너지, 측정기에의 入射방향, 선량, 온도, 습도 등 校正時에 여러가지 조건이 달라진다. 에너지 660keV의 ^{137}Cs γ 선으로 校正한 서베이미터를 가지고 통상 에너지가 낮은 30keV의 X선을 측정한다. 조건이 달라도 선량이 올바르게 측정하기 위해서는 반응이 변하지 않아야 하며, 다시말해 특성이 양호해야 한다.

실제상으로는 통상 다음과 같은 특성이 문제가 된다.

- | | |
|-----------|-------------|
| 1) 에너지 특성 | 2) 直線性 |
| 3) 방향특성 | 4) 온도특성 |
| 5) 습도특성 | 6) 經時 변화특성 |

에너지 특성은 에너지에 따라 반응이 달라진다는 것이며, 에너지에 대한 반응의 의존성이 두드러진다. 直線性은 선량에 대한 비례성이지만, 비례하고 있을 때에는 指示値와 선량의 比, 즉 반응은 일정하게 된다. 방향특성은 측정기에의 入射角度에 대한 반응의 의존성에 좌우된다. 온도특성은 습도에 대한 반응의 의존성이지만, 통상 특성보다 안전성에의 영향이 문제가 된다. 經時 변화특성은 방사선에 照射된 후 信號量(이를테면 熱루미네선스 선량계의 發光量)이 시간의 경과와 더불어 감소하는 것이지만, 일정시간(일정일수)에 대한 신호량의 減少率로서 나타난다.

특성은 통상 조건을 가로의 軸으로, 반응

을 세로의 軸으로 하여 그래프로서 나타난다. 이를테면 에너지 특성이면 가로의 軸에 에너지, 세로의 軸에는 반응이 나타난다. 방향특성이면 丹形그래프의 丹周上에 入射角度가 나타나고 半徑上에 각도에 대한 반응이 나타난다.

특성은 측정기의 성능이지만, 성능으로서의 특성 외에 오차, 편차, 再現性 등이 있다. 특성을 성능과 같은 뜻으로 사용하여 함께 통용하는 경우도 있다.

實効 선량당량의 도입과 더불어 개인 선량계는 인체로부터의 散亂를 模擬하는 판통상으로 교정되어 판통상에서의 특성이 문제가 된다.

6. 線 質

線質은 방사선 에너지에 대한 표시이다. 방사선의 線量, 線量率의 측정에 대해서는 線質이 관계가 있다.

실제상의 線質에는

- (1) 스펙트럼
- (2) 半價層
- (3) 實効에너지
- (4) 均等度
- (5) 線質指標

등이 있다.

스펙트럼에는 單一에너지 스펙트럼, 線에너지 스펙트럼, 連續에너지 스펙트럼이 있다. 단일 에너지 스펙트럼은 단일의 에너지 방사선의 경우이며, 線에너지 스펙트럼은 몇 개의 에너지 방사선의 경우이다. 연속에너지 스펙트럼은 高低의 에너지 방사선이 간단없이 混在한 경우이다. 스펙트럼은, 단일에너지 스펙트럼이나 線에너지 스펙트럼의 경우에는 각각의 에너지에 대한 선량과 선량률을, 그리고 연속에너지 스펙트럼의 경우에는 에너지에 대한 단위 에너지當의 선량과 선량률을 나타낸다. ^{137}Cs γ 선은 단일에너지 스펙트럼이며, ^{60}Co , ^{226}Ra γ 선은 線에너지 스펙트럼이고, X線管에서 발생하는 X선은 연속 스펙트럼이다.

방사선은 필터에 의해 減衰된다. 半價層은

선량을 1/2로 하는 필터의 두께이다. 實効에너지는 단일에너지가 아닌 X, γ 선과 동일한 半價層을 가진 단일에너지 X, γ 선의 에너지이다. 均等度는 제일 半價層(선량을 1/2로 하는 필터의 두께)과 제2 半價層(선량을 1/2로 한 후에 다시 1/2로 하는 필터의 두께)과의 比이다. 線質指標는 實効에너지와 X선 발생장치 X선 線質전압에 대응하는 에너지와의 比이다. 均等度, 線質指標가 1에 가까울수록 단일에너지에 가까워진다.

半價層, 實効에너지는 어느 정도의 불확실성을 지니고 있다. 예컨대 두개의 X선 발생장치에 대해 동일 半價層, 동일 實効에너지 일지라도 스펙트럼이 동일 하지 않는 것이 일반적이다. 이것이 선량과 선량을 측정함에 영향을 미치는 경우가 있다. 불확실성을 적게 하기 위해 均等도와 線質指標를 첨가하여 표시한다.

단일에너지가 아닌 경우 1센티미터 선량당량에 대한 환산계수는 實効에너지에 대한 환산계수가 적용된다.

7. 품질보증

방사선 모니터링은 모니터링에 품질보증이 있는 것이 기본이다.

품질보증이란 JIS(JIS Z 9900 품질관리 및 품질보증의 規格—선택 및 사용의 지침)에 의하면 다음과 같다.

품질 : 제품 또는 서비스가 명시되어 있는, 또는 暗黙의 요망을 충족시키는 능력을 가지고 있는 특성의 전체.

품질보증 : 제품 또는 서비스가 주어진 품질요구를 충족시키는 것에 타당한 신뢰감을 주기위한 필요한 모든 계획적내지 체계적 활동.

이라 되어 있다.

따라서 방사선 모니터링에 있어서 품질보증이란, 방사선 모니터링에게 요구되는 精度와 恒常性이 보증되는 체계적 활동이다. 그러므로 방사선 모니터링의 품질보증에는 관리, 데이터 처리, 스태프, 트레이닝 등이 관계되지만, 측정기의 면에서 말하면

측정기의 성능

校正

트레이서빌리티

특성

측정기의 신뢰성

보전

등이 관계되며, 이것들이 품질보증의 기초가 된다.

8. 트레이서 빌리티

校正은 기준이 선량을 바탕으로 校正定數를 결정한다. 따라서 기준의 선량에 보증이 있는 것이 필요하다. 이 기준의 선량은 국가표준과 연관시켜 설정된다. 국가표준은 사회, 과학, 산업상의 중요한 量에 대해 설정되어 있지만, 방사선 관계에 있어서 X, γ 선은 照射선량, β 선은 조직 흡수선량(실제로는 선량당량이다). 中性子는 플루엔스, 중성자 放出率, 및 방사선 동위원소의 방사능에 대해 각각 설정되어 있다. 또한 X, γ 선의 경우 照射선량은 국제적으로 카마에 옮겨가는 추세에 있다.

X, γ 선의 경우 校正의 기준은 다음과 같이 설정된다. 기준측정기를 조사선량의 국가표준에 따라 校正한다. 이 기준측정기에 의해 X, γ 선 교정장치의 조사선량을 평가한다. 이 평가된 조사선량이 기준의 조사선량이 된다. 조사선량의 실용측정기이면 이 기준의 조사선량에 의해 교정된다. 1센티미터 선량당량 측정기는 조사선량에 환산계수(조사선량에서 1센티미터 선량당량에의 환산계수)를 곱하여 기준의 1센티미터 선량당량으로 하여, 1센티미터 선량당량의 실용 측정기를 교정한다. 따라서 교정된 실용 측정기는 교정을 통해 국가표준과 연관을 가지게 된다. 이와같이 실용측정기가 교정을 통해 국가표준과 연관을 갖는 것을 트레이서빌리티라고 한다.

실용측정기에 의한 측정의 결과가 보증되기 위해서는 트레이서빌리티의 확실성이 전제가 된다.

(「필름넷지 뉴스」 1994. 1 No 205)