

個人線量모니터링과 필름배지

— 實効線量當量導入에의 対応 —

[特別寄稿] 加藤 朗*, 松本 進**

日本千代田保安(株)

* 計測技術顧問 ** 線量計測本部長

1. 머리말

放射線은 原子力發電을 비롯하여 醫療, 非破壞 檢査 등에 널리 利用되어, 現代社會와 文明에 있어서 放射線의 이용을 減하는 것은 있을 수 없는 일이다. 더욱이 에너지供給問題, 또는 醫療, 科學, 技術 등의 發展으로 放射線의 利用은, 앞으로 더욱더 增大한다는 것은 틀림없는 일이다. 放射線의 利用에 대해서는 必然적으로 放射線에 대한 防禦·安全을 主軸으로한 放射線모니터링이 따른다. 확실한 放射線모니터링이 있음으로서 비로소 放射線의 利用이 可能하다고 말할 수 있다. 放射線모니터링에는 個人과 環境에 대한 모니터링이 있는데, 個人모니터링은 個人線量的 測定, 評價, 또는 個人線量的 記錄, 報告, 또는 個人線量的 低減 등의 總合을 말하며, 個人線量的 測定, 評價가 基礎로 되어 있다.

放射線利用의 發展과 함께, 放射線모니터링에 점점 嚴格性이 要求되고 있다. 1976年 ICRP(國際放射線防禦委員會)-26에 따라 放射線모니터링에 實効線量當量的 도입이 권고되어, 各국에서 도입하고 있고, 또는 그 도입이 검토되고 있다. 일본에서는 이미 實効線量當量 導入에 따른 法律의 規則, 告示가 1988년 5월 18일에 공포되어 89

년 4월 1일부터 시행기로 하였다. 實効線量當量的 導入과 함께 SI(國際單位系)가 採用된다. 여기에서는 個人線量에의 實効線量當量的 도입과 個人線量計로서 가장 널리 使用되고 있는 필름배지에 대하여 소개하고, 個人線量에 관련되는 放射線으로서 X線, γ 線, 中性子線, β 線이 있지만 여기에서는 X, γ 線에 대해서만 記述한다.

2. 1cm線量當量

人體가 放射線에 被曝된 경우, 人體에 영향을 미치는 우려가 있다. 被曝線量이 어느 限度以下이면 確率의影響이 일어난다. 이것은 어떤 확률로 영향을 미치고 이 확률은 被曝線量과 함께 증가한다는 것이다. 線量이 어느 限度以上이면 확실히 영향을 주어 非確率的影響이라 부른다. 確率의影響으로는 發암, 遺傳的 影響 등이 있고, 非確率의影響으로는 白內症, 皮膚紅斑 등이 있다. 放射線의 線量概念에는 여러가지가 있는데, 放射線被曝의 影響에 대응하는 線量으로서 線量當量이 있다.

從來, 放射線管理에 있어서 個人線量모니터링은 線量當量으로 하였고, 確率의影響에 대해서는

全身被曝線量の線量當量으로 평가하였다. 이線量當量은放射線の인체에 의한軟組織의吸收線量에線質係數와 그外 다른修正係數를 곱한 것이다.線質係數는放射線の種類, 에너지에 의하여 결정되는데 X, γ 線의 경우는 1로 잡고 있다. 그외의修正係數도 1로 잡고 있다.線量當量의 단위는吸收線量の 단위를 rad로 하면 rem으로 되고,吸收線量の單位를國際單位系인 Gy(그레이)를 취하면 Sv(시버트)로 된다. 1 Sv는 100 rem이다. X, γ 線의 경우는 에너지에 관계없이數值的으로照射線量の 1R은線量當量의 1 rem과 같으므로, 실제 조사선량으로 측정하여 1R을 1 rem으로 하고 있다.

그러나,人體에는 여러組織이 있고,各組織의線量當量이 확률적영향에 미치는 정도가組織에 따라 다르다. 이程度(荷重)를 고려한線量當量이實効線量當量이다.實効線量當量은放射線被曝에 의한 확률적영향에 잘 대응하고 있고,인체의 일부가被曝한 경우라도全身被曝의線量當量으로 환산하여 평가할 수 있어서實効線量當量으로서加算할 수 있다.

實効線量當量은放射線被曝에 의한인체各조직의線量當量에 대하여, 확률적 영향에 미치는各조직의荷重을 고려한線量當量이며 다음 식으로 나타낸다.

實効線量當量을 H_{eff} 라 하면

$$H_{eff} = H_T w_T \quad (1)$$

여기서 H_T 는各組織의線量當量, w_T 는各組織의荷重係數로서 ICRP-26에表示되어 있고表1과 같다.表1에는荷重係數와 함께 리스크係數를 게재하고 있다. 리스크係數는 사람이被曝되었을 때, 1 Sv 또는 1 rem당의 암 등의 발생확률을 나타낸다.

일부의 조직이 피폭되었을 때, 그 조직의線量當量에荷重係數를 곱하여全身被曝한 경우의線量當量으로換算할 수 있다. 즉全身被曝한 경우의個人被曝으로서 평가할 수 있는 것이다. 또內部被曝 경우의線量과合算할 수도 있다.

그러나實効線量當量을 여러條件으로 엄밀히 결정하는 것은 어려움으로,實効線量當量 대신에 ICRU 球(組織等價物質로 만든直徑 30cm의球phantom, ICRU:國際放射線單位·測定委員會)를 취하여,球에로의放射線入射方向으로球表面에서 깊이 1cm가 되는點의線量當量, 즉 1cm線量當量을 채택한다. 1cm線量當量을 취해서實効線量當量으로 하는 것이다.被曝線量으로서 1cm

線量當量은實効線量當量에 대하여 일반적인 조건에서는 안전한 평가가 된다.

表 1. 確率의影響의荷重係數와 리스크係數

臟器	荷重係數	리스크係數	
		$10^{-4} Sv^{-1}$	$10^{-6} rem^{-1}$
T	W_r		
生殖線	0.25	40	40
乳房	0.15	25	25
赤色骨髓	0.12	20	20
肺	0.12	20	20
甲狀線	0.03	5	5
骨表面	0.03	5	5
나머지組織	0.30	50	50
	合計	165	165

3. 필름배지

放射線作業者の個人線量 측정은個人線量計를인체에 부착시켜서 한다.個人線量計에는 FB(필름배지), TLD(熱螢光線量計), 포켓線量計, 알람미터 등이 있다.個人線量 평가에 대한主個人線量計는 FB, TLD이지만 FB가 대부분을 차지하고 있다. FB는放射線모니터링에 요구되는 성능과 특성을 가지고 있고,大量處理할 수 있으며, 또 에너지나放射線の概略의인入射方向을 추정할 수 있고, 처리후의 필름이 기록으로서 남는다는 특징을 가진다. 기록이 남는다는 것은 필요한 경우에 피폭조건을 판정을 가능케 한다.

FB는寫眞用필름이放射線을 맞으면 점점黑化度(濃度)가 증가한다. 이放射線の線量과濃度와의 관계를線量-濃度曲線이라 한다. 이와 같은 데이터로서의濃度曲線을 가지면 필름의濃度에서 역으로線量を 구할 수 있다. 이것이 FB의 원리이다.

FB原理 그自體는 간단하지만, FB로精度있게線量を 측정하려면 여러가지의 연구와 해결하지 않으면 안되는 문제가 있다. 가장 큰 문제는放射線の 에너지에 따라濃度曲線이 변하는 것이다. 따라서 에너지를 평가할 수 있는 연구가 필요하다. FB의 필름은線量を 올바르게 측정하기 위하여, 또 필름을 보호하고作業從事者가 附着하기에 便利도록 배지 케이스에 넣는다. 이 필름과 케이스를組合한 것이 필름배지이다. 배지케이스에는放射線の 에너지를 평가하기 위하여 알루미늄(Al), 구리(Cu), 주석(Su)등의 필터가 붙어 있는데, 이 필터 밑에 있는 필름의濃度가 다른점에서 에너지를 평가할 수 있다. 이에 대한 데이터로서一定線

량에 대한 에너지에 의한 농도의 변화, 즉 에너지-농도곡선을 취할 필요가 있다. FB에 의한 선량 평가에 대해서는 선량-농도곡선과 에너지-농도곡선이 기초가 된다.

FB에는 두가지 형식을 생각할 수 있다. 하나는 에너지를 구해서 선량을 평가하는 방법. 다른 하나는 각종 필터에 의한 농도에 대하여 적당한 계수를 곱하여 더하기, 빼기의 조합을 만들어, 이들 전체의 합이 일정한 선량에 대하여 에너지가 변하여도 같아지도록 하는 방법이다. 前者는 X線用으로, 後者는 廣範圍에너지용으로 적용되고 있다. 廣範圍用의 경우, 특히 에너지를 평가하지 않더라도 선량을 구할 수 있다. 또 X線用, 廣範圍用 이외에 γ 線用이 있다. γ 線用인 경우에는 에너지가 비교적 높고, 그 특성상 에너지를 일정하고 간주할 수 있기 때문에 에너지를 평가할 필요가 없다.

그림 1에 廣範圍用의 बै지케이스 V型 및 M型和 X, γ 線用의 필름을 볼 수 있다. M型은 中性子用의 NTA필름을 삽입할 수 있어서 中性子線에 의한 個人線량을 측정, 평가할 수 있다. M型의 बै지케이스에는 Al로 팩킹한 中性子用필름을 볼 수 있다.

上述한 바와 같이, FB에 의한 선량평가에 대해서는 선량-농도곡선, 또는 에너지-농도곡선이 필요하다. 이들 데이터를 작성할 때는 FB에 정확한 선량을 조사시켜야 한다. 이 선량은 現時點에서는 X, γ 線의 경우, 照射線量으로 되어 있다. 이 照射線量에 대한 正確性を 보증하기 위해서는, 照射線량이 교정을 통해서 國家標準과 결부되어 있어야 한다는 것이 조건이다. 이 結付를 트레이서빌리티(traceability)라 한다(韓國에는 國家標準이 韓國標準研究所에 設置되어 있다). 이 경우의 트레이서빌리티는, 먼저 기준이 될 測定器(線量計, 線量率計)를 國家標準으로 校正하여, 이 基準測定器로 X線照射裝置 또는 γ 線線量率裝置의 X, γ 線의 照射線량을 측정하여, 이 照射線량이 명확한 X, γ 線을 FB에 照射시켜 基礎데이터를 만든다.

또 FB에 대해서는 標準化되어 있어서 일본에서는 필름, बै지케이스, 取扱方法 등이 日本工業標準(JIS)에 있다.

(그림1)

4. 필름배지에 의한 個人線量測定서어비스

FB에 의한 個人線量測定서어비스의 體系는 다음과 같은 사항으로 구성되어 있다.

1) 使用者에 FB의 發送

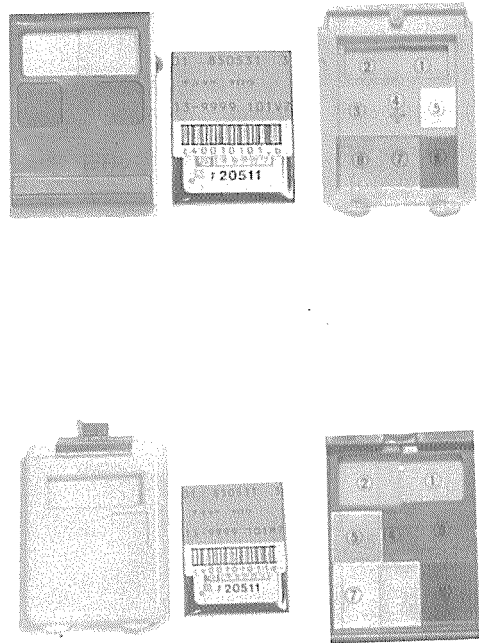


그림 1. 廣範圍型 필름배지의 例

위쪽이 V型, 아래쪽이 M型, 各各 왼쪽으로부터 필름배지 外觀, 케이스 안쪽, 필름의 모양이다. M型에서 필름 아래쪽은 中性子用 필름(防湿用 팩케이지)이다.

- 2) 使用者로부터 FB의 回收
- 3) 現像
- 4) 濃度測定
- 5) 線量評價
- 6) 結果記錄
- 7) 結果報告

이들 현상에서 結果報告까지 컴퓨터制御에 의한 自動化시스템으로 수행되고 있지만 手動도 병행하고 있다. 자동화이거나 手動이거나 基本的인 프로세스는 같다.

그림2에 서어비스體系의 플로우차트를 나타내고 있다.

個人線量測定서어비스에 대해서는 신뢰도의 확보가 절대적인 조건이 된다.

이 신뢰도에는

- 1) FB의 情度確保, 向上
- 2) 現像 등 最適條件의 設定, 維持
- 3) 濃度測定에 대한 正確度の 維持
- 4) 正確한 結果報告
- 5) 迅速한 結果報告

- 6) 結果의 管理
- 7) 트레이서빌리티의 確保
- 8) 트러블이 생겼을 때의 신속한 對應, 解決
- 9) 職員의 技術水準向上
- 10) 個人線量모니터링에 關한 情報收集
- 11) 使用者에의 情報提供

등을 들 수 있으며, 이들에 대해서는 끊임없는 技術水準의 향상이 시도되고 있다.

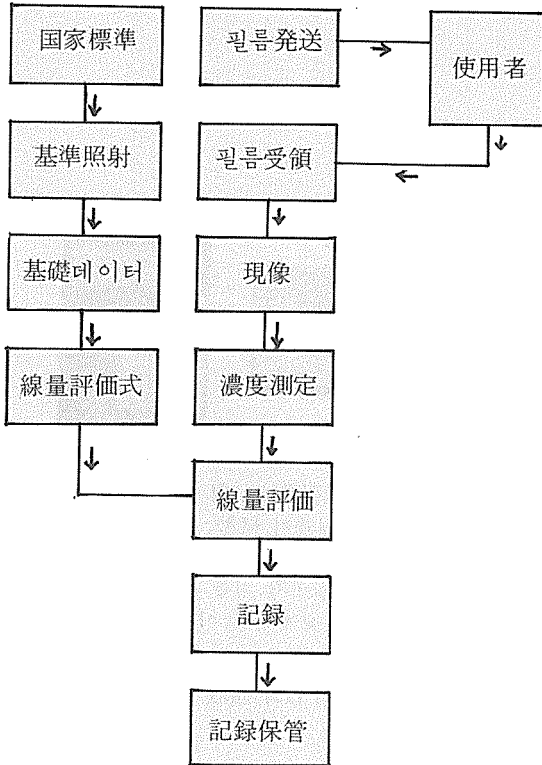


그림 2. 필름배지 서어비스 시스템

그림(2)

5. 實効線量當量導入에의 對應

個人線量에 實効線量當量이 도입되면, 實効線量當量이 측정, 評價의 대상으로 된다. 그러나 實効線量當量을 여러가지 조건에서 절대적으로 결정한다는 것은 쉽지 않으며, 명확한 조건에서 규정된 ICRU球의 1cm線量當量을 實効線量當量으로 취한다. 따라서 實効線量當量이 도입되면 1cm線量當量이 測定, 評價의 對象이 된다. 1cm線量當量은 일반적으로 實効線量當量보다 線量으로서 크게 평가되어 안전하다고 보고 있다(그림 3). ICRU 球는 比重 1의 組織等價物質로 만든 直徑 30cm의 球phantom이다. 1cm線量當量은 그 球의 표면에서 1cm깊이가 되는 곳의 線量當量을 말한다.

放射線의 線量概念에는 여러가지가 있다. 예를 들면 X, γ 線이라면 照射線量으로 표시할 수 있고, 또 實効線量當量, 1cm線量當量으로도 表示할 수 있다. 따라서 照射線量과 1cm線量當量과의 사이에는 에너지에 의하여 결정되는 일정한 관계가 성립하게 된다. 이 일정한 관계는 1cm線量當量과 照射線量의 比로서 나타내고 換算係數라 부른다. 즉, 에너지를 알고 있으면 照射線量에 換算係數를 곱해 주면 1cm線量當量을 구할 수 있게 된다. 에너지와 換算係數와의 관계를 換算曲線이라 부르고 있다. 그림 3에 1cm線量當量-照射線量 換算曲線 및 實効線量-照射線量 換算曲線を 나타내고 있다.

照射線量의 경우와 같이, 1cm線量當量에 대한 線量-濃度曲線, 에너지-濃度曲線을 작성해 주면 1cm線量當量을 評價할 수 있다. 이들 데이터의 作成時에, FB에 照射하는 1cm線量當量은 照射線量에 換算係數를 곱하면 결정할 수 있다. 단, 個人線量計를 인체에 부착해야 하기 때문에, 인체를 模擬한 phantom에 설치하여 데이터를 작성하게 된다. 國家標準과의 트레이서빌리티는 照射線量을 통해서 확보된다.

實効線量當量의 도입에 따라, 1cm線量當量이 대상으로 되기 때문에, 基礎데이터의 작성, 소프트웨어를 중심으로 한 線量評價시스템의 變更, 報告形式의 變更이 있어야 한다.

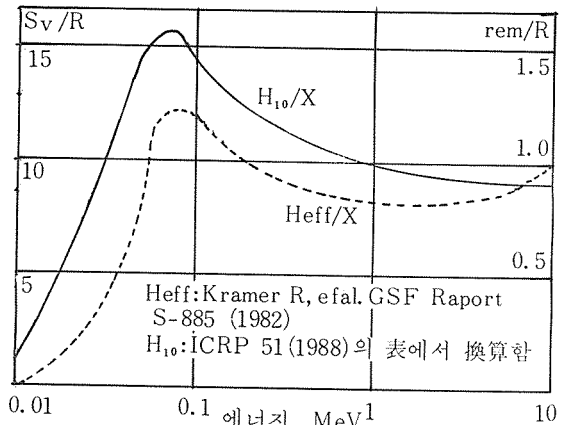


그림 3. 照射線量 X에서 實効線量當量 E_{eff} 으로의 換算係數 E_{eff}/X 및 1cm線量當量 H₁₀ 으로의 換算係數 H₁₀/X

6. 끝 말

이상과 같이, 필름배지의 현상과 實効線量當量을 도입하는데 있어서 그 대응에 대하여 소개하였지만, 原子力, 放射線利用發展의 기초로서 放射線모니터링의 信賴度를 확보하는 것이 가장 중요하다.