

《解 說》

放 射 線 의 SI 單 位

田 載 植

韓 國 原 子 力 研 究 所

(접수일자: 76. 5. 10)

I. 머 리 말

現在 사용되고 있는 放射線과 放射能의 單位는 國際 放射線單位 및 測定委員會(International Commission on Radiation Units and Measurements, 略稱 ICRU)가 制定, 勸告한 바에 그 根源을 두고 있는데 最初의 放射線量 單位인 roentgen(R)이 1928年 Stockholm의 第 2次 ICRU 總會에서 公認된 이래 1962年의 ICRU Report 10a<sup>1)</sup>에서 放射線의 量에 關한 用語와 單位가 처음으로 體系化되었고 그 후 1968年의 ICRU Report 11<sup>2)</sup>을 지나 1971年의 ICRU Report 19<sup>3)</sup> 및 그 Supplement<sup>4)</sup>와 같은 變遷과 改定을 거쳐 오늘에 이르고 있다.

ICRU Report 19에서는 단순히 用語와 單位의 定義에 그치지 않고 放射線關係量들을 그 特性에 따라 統計的인 量(stochastic quantity)과 非統計的인 量(nonstochastic quantity)으로 區分하여 energy imparted (付與 에너지\*) 외에 새로 定義한 放射線關係量인 specific energy imparted (比付與에너지\*) 및 lineal energy (線狀에너지\*\*) 등 microdosimetry 關係量을 統計的인 量, 그밖의 量들은 非統計的인 量으로 分類하였으며 이것을 다시 機能的 特性에 따라 基本放射線關係量과 放射線防護關係量으로 나누었다. 筆者는 이와 같은 모든 量들에 關하여 일차 檢討·解說한바 있다<sup>5)</sup>.

II. SI 單位採擇趨勢

그런데 吸收線量(absorbed dose)의 單位 rad, 照射線量(exposure)의 單位 R, 및 放射能(activity)의 單位 Ci 등의 確固한 概念과 定義가 定立된 것은 1953年~1962年 사이였으며 이 때는 國際單位系(Le Système

International d'Unités, 略稱 SI 單位系)가 널리 쓰이고 있지 않을 때였다.

미터國際協約이 17個國에 依하여 調印된 것은 100年前인 1875年의 일이었다<sup>7)</sup> 이 協約에 따라 國際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures, 略稱 BIPM)과 그 理事會格인 國際度量衡委員會(Comité International des Poids et Mesures, 略稱 CIPM)가 設置되었으나 SI 單位系가 正式으로 採擇된 것은 1960年 第11回 國際度量衡總會(Conférence Générale des Poids et Mesures, 略稱 GPM)에서의 일이었다<sup>8, 9)</sup>. 따라서 위에 言及한 세가지 ICRU Report中 그 첫번째 것인 Report 10a (1962)에서는 SI 單位系에 關한 言及 없이 特殊單位로서 rad, R 및 Ci를 定義하였으나 Report 11 (1968)과 Report 19 (1971)에서는 그 序頭에서 ICRU가 勸告하는 單位系는 SI 單位系이고 放射線量測定分野에 있어서 特殊單位의 追加는 바람직하지 않다고 생각하지만 rad, roentgen, curie 및 rem (線量當量의 單位—Report 19) 등의 放射線關係 特殊單位의 계속 사용만은 認定한다고 明記하고 있다.

그러나 1971年 10月 歐州共同體(EEC) 評議會에서 1978年 1月 1日까지 全面的으로 SI 單位를 使用토록 하는 指針을 採擇하였고 뒤이어 英國에서도 1972年 미터法에 關한 政府白書를 通하여 몇가지 單位를 除外하고는 原則적으로 이 指針에 따를 것을 밝히는 등<sup>10)</sup> EEC 會員國과 소련을 포함하여 대부분의 나라에서는 SI 單位를 公式으로 採擇하고 있는 것이 現實이다<sup>9)</sup>. 이와 같은 趨勢에 따라 EEC 會員國들에서는 放射線測定分野에 있어서도 rad, R, Ci 등 特殊單位의 使用를 漸次 排除할 方針을 取하고 있으며 實際로 독일과 벨지움에서는 放射線測定分野에서도 SI 單位를 導入하도록 法律로 規定하여 rad, R, Ci 등의 特殊單位는 1977年 12月 31日까지는 併用되 以後, 立法目的에서는 이들 單位의 使用를 停止할 것을 規定하고 있다<sup>10)</sup>, 이들 特殊單位는

\* 번역은 筆者의 試案임.

\*\* O. Yura의 번역임<sup>5)</sup>.

Table 1. Radiological SI Unit

Quantity	Derived SI unit	Symbol	Present equivalent
Activity	reciprocal second	s <sup>-1</sup>	≈2.703×10 <sup>-11</sup> Ci
Absorbed dose	joule per kilogram	J·kg <sup>-1</sup>	100 rad
Absorbed dose rate	watt per kilogram or joule per kilogram second	W·kg <sup>-1</sup> or J·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup>	100rad·s <sup>-1</sup>
Exposure	coulomb per kilogram	C·kg <sup>-1</sup>	≈3876 R
Exposure rate	ampere per kilogram or coulomb per kilogram second	A·kg <sup>-1</sup> or C·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup>	≈3876 R·s <sup>-1</sup>
Dose equivalent	joule per kilogram	J·kg <sup>-1</sup>	100 rem

1 Ci=3.7×10<sup>10</sup> s<sup>-1</sup>

1 R=2.58×10<sup>-4</sup> C·kg<sup>-1</sup>

1 rad=0.01 J·kg<sup>-1</sup>

로 SI 單位를 써서 表現할 수 있으며 이를 다시 整理해 보면 Table 1과 같다.

그러나 이 表에 記載된 바와 같이 그 數值因子들로 말미암아 原理의인 意味에서 SI 誘導單位로 表現되었다고는 할 수 없다.

아무튼 現在 大部分의 나라에서 SI 單位를 公的으로 採擇하고 있는 것이 事實이며 이에 따라 放射線量測定 分野에서의 SI 單位 採擇의 必要性도 높아져 가고 있었다. 이러한 時代的 要求에 賦應하여 ICRU 는 放射線關

係 特殊單位의 SI單位로의 轉換에 關한 可能性과 問題點을 提示하여<sup>8, 11)</sup> 이 分野의 專門家들과 關係機關의 公式的인 意見 내지 見解를 求하였던바 國際保健機構 (WHO), 國際放射線防護委員會(ICRP) 등, 國際 및 國家機關을 包含하여 個人 또는 機關의 60餘 公式意思表明을 받기에 이르렀다<sup>7, 12, 13)</sup>.

III. SI 單位의 基本原理

SI 單位系는 하나의 物理量에 對하여 오직 하나의 SI 單位만을 가져야 한다는 原理에 基礎하고 있다. 즉, 例를 들면 機械的 energy 든, 電氣 energy 든, 또는 吸收된 放射線의 energy 든간에 energy 라고 하면 同一한 單位가 使用되어야 한다는 것이다.

SI 單位는 또한 誘導單位를 形成할 때 轉換係數가 必要치 않도록 統一성과 一貫성을 가져야 한다.

SI 單位系는 Table 2에 나타낸 바와 같이 7개의 “基本單位”에 基礎하고 있으며 이들 基礎單位로 形成되는 “誘導單位”(現在 15個)와 그밖에 2개의 “補助單位”로 이루어져 있는데 表에서 보는 바와 같이 補助單位는 순전히 幾何學的 單位이다.

CGPM 에서는 또한 10<sup>-18</sup>에서 10<sup>12</sup>까지의 10의 累乘을 나타내는 14개의 接頭語에 대한 名稱과 記號를 採擇하고 있는데 그것은 Table 3과 같다.

CIPM 은 SI 單位 以外에도 一般적으로 널리 사용되고 있는 몇몇 單位들을 認定하고 있는데 例컨데 分(min), 時(h) 등의 時間單位나 電子볼트(ev) 등의 單位가 이에 屬한다.

IV. 放射線의 SI 單位에 關한 ICRU 提案

放射線單位의 SI單位 轉換에 關한 ICRU 의 見解에 對하여 나타내진 反應의 大體的인 傾向을 보면 標準化

Table 2. SI Unit

Class	Unit	Symbol	Remarks
Base units	metre	m	
	kilogram	kg	
	second	s	
	ampere	A	
	kelvin	K	
	candela	cd	
	mole	mol	
Derived units (products of base units)	coulomb	C=A·s	electric charge
	joule	J=m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-1</sup>	work
	watt	W=J·s <sup>-1</sup> or =m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup>	power
	.	.	.
	etc		
Supplementary units	radian	r	
	steradian	sr	

Table 3. Submultiple Prefixes

Submultiple factor	Prefixes	
	Name	Symbol
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p
$10^{-15}$	femto	f
$10^{-18}$	atto	a

기관이나 물리학자들의 반응은 SI 단위로의轉換을賛成하는 反面 放射線醫學分野에서는 診療 및 治療上的 誤謬를 犯할 危險이 있다는 疑拘를 나타내고 있다.

反應의 內容을 要約해 보면 放射能의 SI 單位로 hertz ( $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ )를 採擇하는 것에는 反對가 强하였고 大部分의 關係者들은  $1 \text{ s}^{-1}$ 와 同一한 放射能單位를 擇하되 새로운 名稱을 定할 것을 提案하고 있었다.

吸收線量의 SI 單位,  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 에 對하여서도 大部分의 關係者들은 새로운 名稱을 定할 것을 勸하였는데 Hektorad (Hrad)<sup>14)</sup>도 그 中の 하나이다.

照射線量의 特殊單位 R에 對한 關心은 減少되고 있는데 照射線量은 그 SI 單位인  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 바꾸어 나타내되 이 量의 必要性은 漸次 減少될 것으로 보고 있으며 照射線量 自體를 空氣에 對한 X,  $\gamma$  線의 吸收線量으로 바꾸어 쓸 수도 있으므로 結局 이 量의 存在意義가 거의 없어질 것으로 보는 趨도 있어<sup>15)</sup> 여기에 새로운 名稱을 부여할 必要는 안느끼는 傾向을 나타내었다.

한편 線量當量의 特殊單位 ( $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )에 對한 ICRU의 公式見解<sup>16)</sup>는 全적으로 받아들여지지 않고 있으며 좀더 論議의 餘地가 있다는 傾向으로 나타났다.

以上과 같은 關係專門家와 機關의 公式見解들을 綜合·檢討한 1974年 6月の ICRU, Seattle 總會에서는 CI-PM으로 하여금 다음과 같은 事項을 檢討하여 主도록 하는 提案을 採擇하였다<sup>17)</sup>.

### 1) 放射能의 單位

放射能을 나타내는 SI 單位에는 두가지 考慮하여야 할 問題가 있다. 첫째는  $1 \text{ s}^{-1}$ 보다 큰 10의 累乘을 나타내는 接頭語를 使用할 때 混沌을 일으킬 可能性이 있다는 點이다. 例컨대  $10^6 \text{ s}^{-1} (\approx 27 \mu\text{Ci})$ 는  $1 \mu\text{s}^{-1} (\mu\text{s} \text{ 當 } 1)$ 로 쓰여질 수도 있는 反面  $1 \text{ M s}^{-1}$ 로는 쓸 수 없다는 點이다. 왜냐하면 SI 單位則에 따르면 이것은  $1(\text{Ms})^{-1}$  또는  $1/\text{Ms}$ 를 뜻하며 이것은 곧  $10^{-6} \text{ s}^{-1} (\approx 27 \text{ aCi})$ 과 같기 때문이다.

둘째 問題는 放射能의 時間的 變化率을 나타낼 때 부닥치게 되는데 例컨대  $10 \mu\text{s}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  등의 表現問題이다. 이 경우에는 放射能單位의 特殊名稱을 使用하는 것이 매우 바람직하다.

이와 같은 諸般事情을 考慮하여 秒의 逆數로 表現되는 放射能의 單位로서 becquerel(記號 Bq)을 檢討하여 主도록 提案하였다.

### 2) 吸收線量의 單位

吸收線量이라는 量은 放射線醫學이나 放射線防護分野에서 特히 重要な 量인바 그것은  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 쉽게 SI 單位로 表現할 수가 있다. 그런데 放射線治療의 경우나 放射線防護의 경우(作業時間의 設定 等)를 莫論하고 吸收線量率을 나타내려고 할 때에는 곤란한 問題가 하나 제기된다. 왜냐하면 이런 경우 吸收線量率은  $\text{rad}/\text{min}$ 나  $\text{rad}/\text{h}$  대신  $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1} (= \text{J} \cdot (\text{s} \cdot \text{kg})^{-1})$ 로 쓰여지게 되는데 여기에는 시간단위가 明白하게 나타나 있지 않고 더우기 그 시간단위가 分이나 時가 아닌 秒라는 事實이 隱蔽되어 있기 때문이다. 이러한 事情을 考察할 때 吸收線量의 SI 單位  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 에는 特殊名稱이 주어져야 하고 그 名稱은 gray(記號 Gy)로 할 것을 提案하였다.

### 3) 照射線量의 單位

照射線量의 特殊單位가 폐기될 경우 ICRU는 照射線量의 SI 單位인  $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ 를 擇하되 이에 特殊한 名稱을 부여할 것을 提案하지는 않았다.

### 4) 線量當量의 單位

ICRU는 線量當量과 그 單位 rem에 關하여 綿密한 檢討을 進行中이지만 이 問題에 關한 擔置는 아직 完結되지 않았다. 線量當量대신 線量이라는 말을 誤用하는 일이 너무 많으므로 用語變化의 可能性도 討議되어야 할 것으로 본다.

### 5) 接頭語

放射能을 나타내는 單位로 秒의 逆數,  $\text{s}^{-1}$ 을 採擇할

경우 現實的으로 이 量이 너무 작음을 勘案하여 ICRU 는  $10^{15}$ 과  $10^{18}$ 을 나타내는 두개의 接頭語를 追加할 것을 提案하였다.

V. 放射線의 SI 單位에 關한 CGPM 決議

CIPM 에서는 이상과 같은 ICRU 의 提案을 받아드려 이를 신중히 檢討한 후 第15次 度量衡總會(CGPM, 1975年 5~6月)에 회부하였던바, 미터國際協約 100周年을 記念하는 이 總會에서는

- 1) SI 單位의 使用을 研究 및 放射線醫學에로 擴張해 야 하는 일의 緊急性,
- 2) 非專門分野사람들로 하여금 單位의 使用이 簡便하도록 하는 일 및
- 3) 放射線治療에 있어서 誤謬의 危險이 重大함을 充分히 考慮한 然後 다음과 같은 決議를 採擇하였다<sup>9, 10</sup>.

決議 H 1

放射能의 SI 單位  $s^{-1}$ (抄當 1個)에 特殊名稱 becquerel 을 採用하며 그 記號는 Bq 로 한다.

決議 H 2

吸收線量의 SI 單位  $J \cdot kg^{-1}$ 에 特殊名稱 gray 를 採用하며 그 記號는 Gy 로 한다.

Gy 는 吸收線量 外에도 kerma, energy imparted 등  $J \cdot kg^{-1}$ 로 表示되는 放射線關係量에는 모두 쓸 수 있으며 이들 量의 既存 特殊單位와의 關係는 Table 4에 나타낸 바와 같다.

한편 Bq 을 放射能의 單位로 쓸 경우 300 kCi 등의 大線源은  $1.11 \times 10^{16}$  Bq 되어 現在 사용하고 있는 接頭語만으로는 表現하기 不便하므로(Table 3 參照) 第15次 CGPM 에서는 Table 4에 나타낸 두개의 接頭語를 追加할 것도 決定하였다.

잘 아는 바와 같이 Antonine Henri Becquerel (1852~1908)은 1896年 放射能을 發見한 攻勞로 1903年 Curie 夫婦와 함께 노벨物理學賞을 受賞한 사람이며, Louis Harold Gray (1905~1965)는 Bragg-Gray 原理로 알려진 空洞理論을 定立하므로써 放射線量測定分野에서 가장 重要한 業績을 남긴 사람 중의 한 사람이다.

VI. 맺 는 말

放射線의 特殊單位를 점차 排除하면서 SI 單位로 轉換코져하는 ICRU 의 意圖가 CGPM 의 決議로 그 一端이 成就된 셈이지만 ICRU 는 이것을 全面的으로 使用케 하는데 1975年 5月을 起하여 10年의 過渡期間을 設定하

Table 4. SI Radiation Units and Submultiple Prefixes adopted by the 15th CGPM (May 1975)

Quantity	SI Unit	Name	Symbol	Conversion
Activity	$s^{-1}$	becquerel	Bq	$1\text{Bq} \approx 27.03\text{pCi}$ $1\text{Ci} = 37\text{GBq}$
Absorbed dose, kerma etc.	$J \cdot kg^{-1}$	gray	Gy	$1\text{Gy} = 100\text{rad}$ $1\text{rad} = 10\text{mGy}$
		Prefixes		
Submultiple factor		Name		Symbol
$10^{15}$		peta		P
$10^{18}$		exa		E

고 있는바 그 初半期에는 從來의 特殊單位와 併記하여 使用하되 (例: 2.10 Gy (210 rad), 0.7 Gy/min (70 rad/min) 또는 200 MBq (5.4 mCi) 등) 後半期에 가서는 漸次 特殊單位의 使用을 全面 排除하자는 것이며 放射線單位使用의 이와 같은 轉換에는 教育, 訓練分野에서의 努力이 促求되고 있음을 ICRU 는 또한 強調하고 있다.

그러나 吸收線量의 測定과 標準化가 技術的으로 어려운점, 照射線量을 基準으로 한 既存 放射線標準施設 및 測定機器들의 使用範圍가 매우 넓은點, 아직 많은 나라의 放射線關係 法規가 放射線의 特殊單位로 表示되어 있는點等, 放射線單位를 全面的으로 SI 單位로 轉換하는데는 現實的인 問題點이 그대로 남아 있는 셈이다.

REFERENCES

1. ICRU Report 10 a: Radiation Quantities and Units, NBS Handbook 84, NBS, Washington, D. C. (1962)
2. ICRU Report 11: Radiation Quantities and Units, ICRU, Washington, D.C. (1968)
3. ICRU Report 19: Radiation Quantities and Units, ICRU, Washington, D. C. (1971)
4. Supplement to ICRU Report 19: Dose Equivalent, ICRU, Washington, D. C. (1973)
5. O. Yura: Radioisotopes 22, 466 (1973) (in Japanese)
6. Jae Shik Jun: New Physics 12, 60 (1972) (in Korean)
7. K. Lidéen: Biomedical Dosimetry, p. 451, IAEA, Vienna (1975)

8. K. Lidén: Health Phys. **25**, 199 (1973)
9. H. Iida: Isotope News No. 11, p. 8 (1975) (in Japanese)
10. W. A. Jennings: Brit. J. Radiol. **45**, 784 (1972)
11. K. Lidén: Phys. Med. Biol. **19**, 225 (1974) and Health Phys. **26**, 583 (1974)
12. W. A. Jennings: Phys. Med. Biol. **18**, 730 (1973)
13. R. Loenger: *ibid* **19**, 735 (1974)
14. D. L. Dewey: Brit. J. Radiol. **46**, 320 (1973)
15. K. Lidén: Phys. Med. Biol. **20**, 1029 (1975) and Atom. Ener. Rev. **13** (3), 583 (1975)