

Correction for loss of collected charge in the cavity ionization chamber

Sang-hoon Seo*, Ha-Seok Chai, Hoon Son, Chan-Soo Moon, Young-Keun Jeong

ILJINRAD Co. Ltd., 36, Seonleung-ro 111-gil, Gangnam-gu, Seoul, Korea

ILJINRAD

I. 이론적 배경

• 방사선량을 정확하게 측정하기 위하여 정밀도를 가진 이온챔버를 사용하고 있다. 이온 챔버 내에 방사선에 의해 생성된 이온 전하는 수집 과정에서 이온쌍의 재결합에 의해 전하의 손실이 발생하게 된다. 이 수집전하의 손실은 초기 재결합, 공간 재결합 그리고 전극으로의 후방 확산에 의한 손실 등으로 구분된다. J. Böhm, N. Takata 등의 연구에 의하면 초기 재결합 손실과 후방확산 손실은 이온챔버에 인가된 전압에 역비례하고 에어커마에 무관하며, 공간 재결합 손실은 이온챔버의 인가전압의 제곱에 역비례하고 에어커마에 비례하는 것으로 알려져 있다.

II. 연구의 필요성 및 목적

• 방사선이 이온챔버에 입사하면 이온쌍을 생성하게 되고 생성된 이온쌍은 양 전극에 인가전압을 가해주면 포집된다. 포집된 이온쌍 정보로 조사선량을 산출하지만 이온쌍의 재결합은 수집전하의 손실로 이어져 조사선량 측정의 오차를 생기게 한다.

III. 연구방법

• 측정을 위하여 사용한 장비는 표준과학연구원의 ^{60}Co 조사장치와 ^{137}Cs 조사장치, 그리고 (주)일진라드의 ^{137}Cs 조사장치로 환경조건은 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 상대습도 $(50 \pm 20)\%$ 로 유지되고 있는 고정표준실의 조사장치를 사용하였다.

1. 신호전류 산출 식

재결합과 확산에 의한 신호전류 손실이 작을 때

$$I_S/I_V = 1 + A/V + m^2(g/V^2)I_S \quad (1)$$

$$m^2 = \alpha/(eK_+K_-)$$

- V : 인가전압
- I_S : 측정 신호전류
- I_V : 포화전류
- A : 사용된 챔버 의존상수
- g : 재결합 계수
- e : 기본전하
- K_+ : 양이온 전도도
- K_- : 음이온 전도도

$$\frac{gI_V}{I_V/n} = 1 + (n-1)\frac{A}{V} + (n^2-1)m^2\left(\frac{g}{V^2}\right)I_V \quad (2)$$

• 측정장비

(1) 본 연구에서 사용한 이온챔버는 구형 공기등가물질(플라스틱재질) 이고 ^{137}Cs 조사장치와 ^{60}Co 조사장치에서 형성된 감마선장의 에어커마를 측정하는데 사용하였다.

(2) 감마선장의 커마에 따라 다음과 같은 챔버를 사용하였다.

조사장치 커마율	공동크기(챔버용적)	챔버모델
~10 Gy/h	3.6 cm ³	Exradin A3
~2 Gy/h	30 cm ³	Exradin A4
~30 mGy/h	1000 cm ³	PTW(1L)

(3) 그리고 각각의 감마선장에서 다양한 커마율(선량율)을 얻기 위하여 이온챔버를 거리별로 4개 이상의 지점에서 선량율을 측정하였다.

(4) 챔버에 수집된 전하를 측정하기 위하여 Keithly 617과 6517B의 전류계를 external feedback mode로 하여 수집전류를 측정하였다.

3. 측정방법

(1) 본 연구에서 이온 재결합에 의한 수집전하의 손실을 보정하기 위하여 식(2)의 n 을 $n = 2$ 로하고 다음과 같이 수정하여 사용하였다.

$$I_V/I_{V/2} = 1 + A/V + 3m^2(g/V^2)I_V \quad (3)$$

(2) 이온챔버 A3 와 A4의 인가전압은 300 V, PTW 1L 의 인가전압은 400 V 로 하였고 V/2 는 각각 150 V와 200 V 로 하였다. 식(3)을 다음과 같이 변형하여

$$k_S = I_S/I_V \cong I_V/I_{V/2} = 1 + A/V + 3m^2(g/V^2)I_V \quad (4)$$

로 I_V 에 대한 1차식으로 표현하였다.

IV. 연구결과

• 연구는 A3 챔버 3개와 A4 챔버 4개 그리고 PTW(1L) 챔버 1개에 대하여 실험을 진행하였고 수집전류 범위는 다음과 같다.

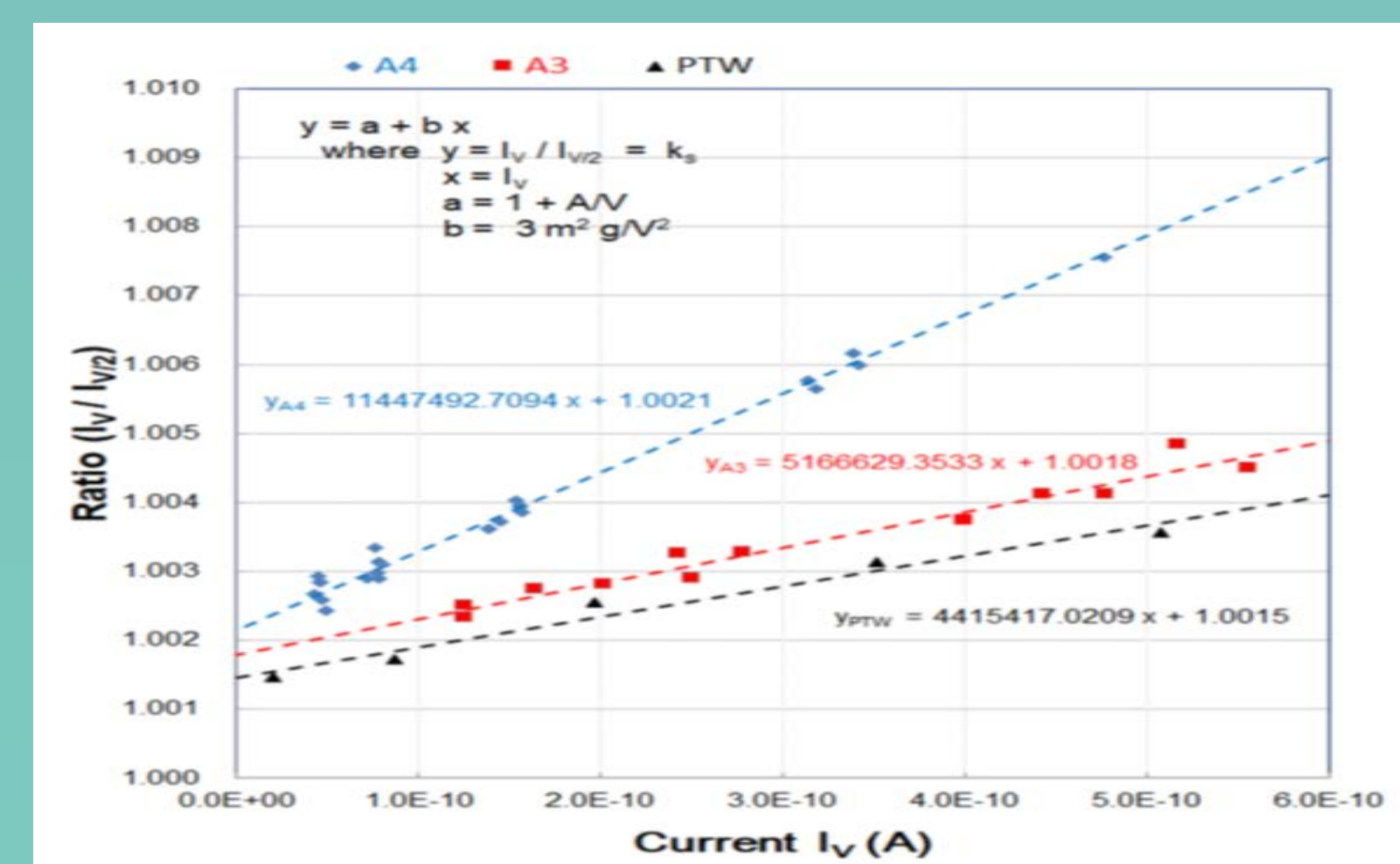
장비	수집전류 범위
A3	126 pA ~ 560 pA 범위의 4개 지점
A4	40 pA ~ 480 pA 범위의 4개 지점
PTW(1 L)	20 pA ~ 500 pA 범위의 5개 지점

1. 결과

The initial loss and volume loss by ion pair recombination for ion chamber A3, A4 and PTW(1 L) type.

Type	Applied Voltage (V)	1 + A/V	initial loss		volume loss
			A/V (%)	A	3m ² (g/V ²)
A3	300	1.00168	0.168 ± 0.0081	0.504 ± 0.024	(5.6 ± 0.37) × 10 ⁶
A4	300	1.00222	0.222 ± 0.0183	0.666 ± 0.055	(11.2 ± 0.44) × 10 ⁶
PTW(1L)	400	1.00141	0.141	0.565	4.5 × 10 ⁶

- (1) 이온챔버로 감마선의 선량율에 따라 수집한 전류와 식(4)의 두 번째항(초기 재결합손실)과 세 번째항(공간 재결합 손실)을 나타내었다.
- (2) A3 는 초기 재결합 손실 부분이 평균 1.00168로 (0.168 ± 0.0081) %이고 공간 재결합 손실에 기여하는 항이 평균 5.6 × 10⁶ 이었다.
- (3) A4 는 초기 재결합 손실 부분이 평균 1.00222로 (0.222 ± 0.0183) % 이고 공간 재결합 손실에 기여하는 항이 평균 1.1 × 10⁷ 이었다.
- (4) PTW 는 초기 재결합 손실 부분이 1.00141로 0.141 % 이고 공간 재결합 손실에 기여하는 항이 4.5 × 10⁶ 로 산출되었다.
- (5) 아래 그래프는 수집전류에 따른 이온 재결합 손실을 나타내고 있는데 A3 는 수집전류를 600 pA 이하로 유지할 경우에 이온 재결합에 의한 손실을 0.5% 이내로 줄일 수 있고 A4 는 수집전류를 500 pA 로 유지할 경우 재결합 손실은 0.8 % 정도로 측정되었다. PTW 는 수집전류가 600 pA 이하일 경우 이온 재결합에 의한 손실을 0.4 % 이내로 유지할 수 있다.



V. 결론

• 기준장치의 방사선장을 정확하게 측정하기 위하여 구형 이온 챔버를 사용할 때 이온쌍의 재결합에 의한 수집전하의 손실을 보정하였다. 수집전하의 손실율을 1% 이하로 유지하기 위해 이온챔버의 수집전류를 600 pA 이하가 되도록 측정을 하고 이온챔버의 크기에 따른 공간 재결합에 의한 수집전하의 손실은 추가 연구가 필요할 것이다.