

# Best Practice Award

## 양산부산대학교병원 길상형

### 제목: 방사선의약품 자동 분주기(RIID)의 방사선 피폭 안전성 평가

- 업무지식 공유 기획안: 기존 수작업 분주의 위험성과 자동화 장비의 피폭 저감 원리를 수치화하여 명확하게 이해할 수 있도록 구성하였습니다.
- 내용의 독창성 및 가치: 공인 소프트웨어(Radpro Calculator)와 ANSI/ANS-6.4.3(1991) 기준 축적계수(Build-up Factor; BF)를 적용한 정밀한 선량 산출 방법론을 제시하여 평가의 신뢰성을 높였습니다.
- 적용 가능성: 산출된 방사선 안전성 평가 모델은 타 병원 핵의학과 및 PET 센터의 방사선안전보고서 작성 및 설비 도입 시 즉시 적용 가능한 표준 자료로 활용 가능합니다.
- 지속성: 본 지식 공유를 통해 각 병원 회원들의 설비 관리 역량을 함께 발전시키고, 궁극적으로 전체 핵의학 분야의 환자 및 종사자 안전 문화 정착에 기여할 것입니다.

### 배경 및 필요성

PET/CT 영상 검사를 위해 환자에게 투여되는 방사성동위원소 F-18(약 10mCi)은 최고 0.511MeV 의 에너지를 갖는 감마선을 방출합니다. 종전에는 제조사로부터 공급된 고선량(500mCi)의 선원을 수작업으로 분배하였기에 방사선 작업종사자의 피폭 위험이 매우 컸습니다. 이를 해결하기 위해 도입된 방사선의약품 자동 분주기(RIID)의 객관적인 방사선 안전성 입증이 필수적으로 요구됩니다.

### 방사선 피폭량 산출 방법론

#### 가. 피폭량 산출의 기본 원리

방사선 피폭량(H)은 피폭 위치에서의 선량율( $\dot{H}$ )과 선원 노출 시간(t)의 곱으로 산출된다.

$$H = \dot{H} \times t \quad [\text{단위: mSv} = \text{mSv/h} \times \text{h}]$$

#### 나. 차폐 후 선량율 산출 공식

차폐 후 방사선량율 I는 다음 식으로 산출한다.

$$I = B(ut) \times I_0 \times \exp[-(\mu_W \cdot t_W + \mu_{Pb} \cdot t_{Pb} + \mu_{Fe} \cdot t_{Fe})]$$

#### 다. 주요 물리 상수 및 산출 결과

표 1. 차폐 재료별 감쇠 계수 및 평균자유경로(Mean Free Path; mfp)

재료	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	mfp (cm)
텅스텐(W)	0.122	19.25	2.35	0.426
납(Pb)	0.142	11.3	1.60	0.625
스테인리스강(Fe)	0.0828	7.85	0.65	1.538

\*  $mfp = 1/\mu$  (평균자유행정, 입사 감마선의 세기가 1/e로 감소하는 두께)

라. Build-up Factor 산출

일반적으로 차폐 두께  $t > 3mfp$  이상인 경우에는 산란 방사선에 의한 Build-up Factor(BF)를 반드시 고려하여야 한다. ANSI/ANS-6.4.3(1991) 적용하여 각 재료의 BF를 산출하였다.

표 2. 납(Pb)의 Build-up Factor

납 두께 (cm)	2	2.5	3	3.3	4	5 ~ 6
ut (평균자유경로)	3.2	4.0	4.8	5.28	6.4	8.0 ~ 9.6
Build-up Factor (BF)	2.11	2.14	2.37	2.43	2.57	2.75

마. 계산에 의한 선량을 및 피폭량 산출

피폭량 산출 시 적용한 실제 병원 사용 경험 기반의 작업 조건은 다음과 같다 (하루 최대 40회 작업 기준).

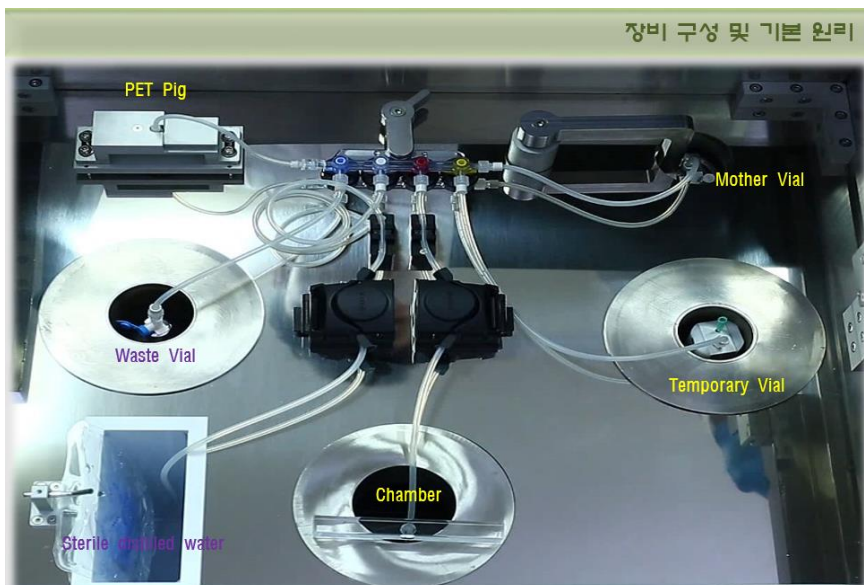


그림1 RIID입면도 및 위치표시

표 3. RIID 표면(+10cm)에서의 선량을 및 피폭량 계산 결과

No.	부품명	위 치	W (cm)	Pb (cm)	Fe (cm)	ut	EXP (-ut)	BF	선량율 (mSv/h)	주간 (μSv/10h)	연간 (mSv/500h)
1	Vial Shield 보관부위	전 면	3.0	2.0	0.4	10.51	2.73 E-05	3.24	5.93E-03	5.93	2.96
		후 면	3.0	2.0	0.4	10.51	2.73 E-05	3.24	5.04E-04	0.504	0.252
		표 면 1	3.0	2.0	0.4	10.51	2.73 E-05	3.24	4.10E-03	4.10	2.05
		표 면 2	4.6	2.0	0.4	14.27	6.35 E-07	3.24	9.52E-06	0.009	0.005
		윗 면	0	4.0	0.6	6.79	1.12 E-03	2.14	2.97E-02	29.7	<b>14.9</b>
2	Syringe Shield 보관부위	전 면	1.6	1.5	0.4	6.42	1.63 E-03	2.03	8.89E-03	8.89	4.45
		후 면	1.6	1.5	0.4	6.42	1.63 E-03	2.57	9.63E-04	0.963	0.481
		표 면 1	4.6	1.5	0.4	13.47	1.41 E-06	3.24	9.61E-07	0.001	< 0.01
		표 면 2	1.6	1.5	0.4	6.42	1.63 E-03	2.03	4.17E-03	4.17	2.08
3	Dose Calibrator 보관부위	전 면	0	5.0	0.6	8.39	2.27 E-04	2.75	1.56E-03	1.56	0.781
		후 면	0	5.0	0.6	8.39	2.27 E-04	2.75	1.27E-02	12.7	6.34

		면 1	0	5.0	0.6	8.39	2.27 E-04	2.75	2.67E-03	2.67	1.34
		면 2	0	5.0	0.6	8.39	2.27 E-04	2.75	2.67E-03	2.67	1.34

## 바. 평가 결과 및 안전성 분석

**보수적인 조건으로 계산한 결과**, 산출 결과 중 가장 높은 피폭선량은 Vial Shield 보관부위 윗면에서 연간 최대 14.9mSv/y로 산출되었다. 이는 원자력안전법이 방사선 작업종사자에게 규정한 연간 선량 한도인 20 mSv/y를 초과하지 않는 수준이다. 단, Vial Shield 보관부위 윗면에서 산출된 14.9mSv/y는 다소 높은 수치로 주의가 필요하다.

그러나 다음과 같은 이유로 실제 피폭 가능성은 극히 낮은 것으로 판단된다.

- **RIID 작동 중 방사선 작업종사자가 Vial Shield 보관부위 바로 위에 위치하는 경우는 매우 드물다.**
- 본 계산은 최악의 조건(보수적 가정)을 전제로 산출한 결과이므로 실제 피폭선량은 이보다 현저히 낮다.

따라서 RIID는 방사선안전 관련 법령이 정한 기준을 충족하며, 적절한 작업 절차 준수를 전제로 방사선 안전성이 확보된 장비로 판단된다.

## 추후 활용 방안 및 지식 공유 가치

- 본 평가 사례는 사이클로트론 시설, 타 의료기관의 PET 센터 및 제약사 등에서 자동화 분주 장비를 도입하거나 **방사선안전보고서를 작성할 때 신뢰할 수 있는 가이드라인으로 활용.**
- 지속 가능한 유지 관리 체계 확립: 본 지식 공유를 통해 각 병원 회원들의 설비 관리 역량을 함께 발전시키고, 궁극적으로 전체 핵의학 분야의 **환자 및 종사자 안전 문화 정착에 기여.**