

Cs-137 감마선에 대한 생물학 연구용 시료의 흡수선량 결정에 관한 연구

동남권원자력의학원 연구센터, *방사선종양학과

정동혁 · 김정기 · 양광모 · 주민수 · 김민영 · 이창열* · 김진호*

본 연구에서는 생물학 연구용 방사선 조사기(Gamma Irradiator, Chiyoda Technol Co., Japan)에서 방출되는 Cs-137 감마선에 대하여 선량자료 구축을 위한 선량평가를 수행하였다. 대상 시료는 직경 3 cm인 구형의 물로 가정하였으며 공기커마로부터 선량계산 체계에 따라 흡수선량을 결정하였다. 측정값의 평가를 위하여 이론적 계산 및 몬테칼로 계산(MCNPX)을 이용하여 상호 비교하였다. 측정된 공기커마는 선원과 200 cm 이내에서 이론적 계산과 3.1% 이내로 일치하였다. 최종 결정된 흡수선량은 몬테칼로 계산과 100 cm와 200 cm에서 각각 1.9% 및 3.7%의 차이를 보였다. 본 결과는 비록 단편적이지만 생물 실험용 자료구축을 위한 기초 결과로서 타당하며 추후 다양한 형태의 시료 조건에 대해서 연구를 진행해야 할 것이다.

중심단어: 저선량조사기, 선량평가, 몬테칼로 계산

서 론

본 연구에서는 방사선생물학 연구용 저선량 감마선 조사장치(저선량조사기)의 사용을 위한 선량자료 구축의 일환으로 흡수선량 결정체계에 기반한 기초적 선량평가를 수행하였다. 저선량조사기는 쥐(mouse)와 같은 소동물이나 세포 배양액, 생화학적 용액 또는 혈액 등을 조사할 수 있는 연구용 방사선 조사기이다.¹⁾ 물리학적 측면에서 흡수선량은 선원과의 거리와 시료의 크기와 형태에 의존하기 때문에 실제 실험조건에 적용하기 위해서는 다양한 조건에 대한 흡수선량 자료의 구축이 필요하며 또한 시료 전체에 균등한 선량을 조사해야 하기 위한 방법도 고안해야 할 것이다. 그렇지만 선량학적 측면에서 이러한 다양한 조건들에 대한 흡수선량의 결정이나 평가는 단순하지 않다.²⁾

저선량조사기에 사용되는 Cs-137 선원의 경우에 방출되

는 광자의 에너지가 0.662 MeV로서 진단방사선이나 치료 방사선분야에서 사용되지 않는 영역인 점도 선량평가가 어려운 이유 중의 하나이다. 선량 평가체계가 거의 정립된 방사선치료 분야에 있어서도 Co-60 감마선이나 메가볼트(MV)급 엑스선에 대한 자료만을 다루며 또한 선량측정이 인체에 상당하는 대형 물탱크에서 수행되기 때문에 생물 실험용 쥐(mouse)와 같은 작은 물체에 대한 자료는 다루지 않는다. 그렇지만 최근 방사선치료의 전임상 단계로서 방사선생물학 분야에서 다양한 연구들이 진행되고 있으며 이 분야의 연구결과가 추후 방사선 영향 연구에 기여할 수 있기 때문에 연구의 질적 향상 및 생물 시료용 방사선 조사의 표준화를 위해서 생물 실험용 선량평가 체계가 서둘러 마련되어야 할 것으로 생각한다.

이러한 배경과 함께 본 연구에서는 저선량조사기의 방사선 조사를 받는 생물 시료에 대한 선량평가를 위한 기초적 접근으로서 선량학적 측면에서 가상의 시료 모형에 대한 선량평가를 수행하였다. 일반적으로 물질 속 흡수선량의 결정은 열형광소자, 유리선량계 또는 소형 전리함 같은 검출기를 직접 시료에 삽입하여 환산하는 방법, 측정 공기커마로부터 유도하는 방법 등이 있다.^{3,4)} 이 때 열형광선량계나 유리선량계와 같은 검출기를 시료에 직접 삽입하는 방법은 시료의 오염이나 훼손을 유발할 수 있으며 선량계의 특성상 측정값의 불확정성도 비교적 높다. 공기커마에 기

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 동남권원자력의학원의 지원을 받아 수행된 연구임(동남권원자력의학원 과제번호: 50592-2011).

이 논문은 2011년 4월 18일 접수, 2011년 6월 13일 수정, 2011년 7월 4일 채택되었음.

책임저자 : 김정기, (619-953) 부산시 기장군 장안읍 좌동길
동남권원자력의학원 연구센터
Tel: 051)720-5070, Fax: 051)720-5979
E-mail: physics7@empal.com

반한 방법은 공기중 시료의 위치에서 측정된 공기커마를 이용하여 선량계산 체계에 따라 흡수선량을 결정하는 절차를 가지는데, 이 방법은 비교적 편리하지만 흡수선량 환산에 필요한 각종 보정 인자들을 결정해야 하는 어려움이 있다. 본 연구에서는 선량계산 체계를 정립하는 측면에서 공

기커마에 기반한 방법으로 흡수선량을 측정하였다. 아울러 측정값의 평가를 위하여 근사적 계산으로 구한 공기커마와 몬테칼로 계산을 이용하여 비교하는 방법으로 측정결과 타당성을 검사하였다. 다음의 재료 및 방법에서는 저선량 조사기의 특성, 공기커마의 평가, 흡수선량 결정 체계 그리고 몬테칼로 계산에 대하여 기술하였으며, 다음 결과에서는 측정된 공기커마와 흡수선량을 계산 결과와 함께 제시하고 최종적으로 결론을 제시하였다.

재료 및 방법

1. 저선량조사기

저선량조사기(Gamma Irradiator, Chiyoda Technol Co., Japan)는 Fig. 1과 같은 형태를 가지는 동위원소 내장형 방사선기기이다. 이 장치는 선원으로서는 세슘(Cs-137) 또는 코발트(Co-60)를 사용할 수 있으며, 선원의 방사능 세기와 선원과의 거리에 따라 실험용 시료에 수 $\mu\text{Gy/h}$ 에서 최대 수십 mGy/h 까지의 선량을 조사할 수 있도록 제작되어 있다. 또한 Fig. 1에 보인바와 같이 넓은 조사각을 지원하므로 조사실에는 다량의 세포 배양 용기나 소동물 우리(Cage)를 배치할 수 있다. 저선량조사기 내장 동위원소는 주로



Fig. 1. Photograph of Cs-137 irradiator.

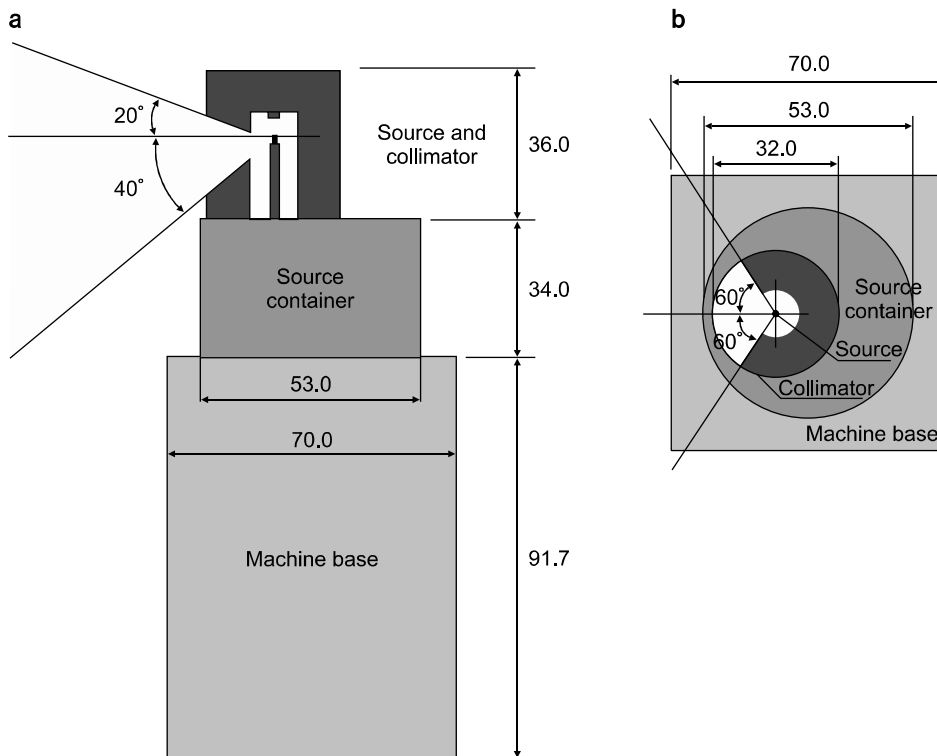


Fig. 2. Geometry of low dose irradiator used in Monte Carlo calculations. (a) Side view and (b) planar view in cm unit.

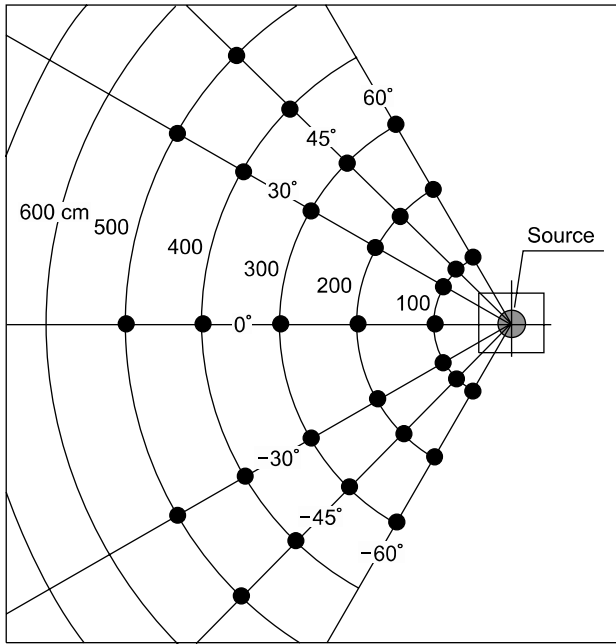


Fig. 3. Planar view of measurement positions (black dots) in irradiation room.

Cs-137을 사용하지만 필요에 따라 Co-60 등 다른 선원도 사용할 수 있다. 선원 컨테이너에는 3개의 선원을 보관할 수 있으며 조사시 하나를 선택하여 조사 위치에 장전할 수 있도록 되어 있다. 장치는 700×900×300 cm³ 크기의 전용 조사실에 설치되어 있으며 모든 작동은 사용자 피폭을 최소화할 수 있도록 차폐된 별도 조정실에서 원격 제어를 통하여 수행된다. Fig. 2는 저선량조사기의 기하학적 구조를 보여준다. 본 연구에 적용한 선원은 370 GBq (10 Ci)의 Cs-137 선원이며 이 때 선원은 원통형으로서 직경은 1.27 cm, 높이는 1.91 cm이다.

2. 선량평가

선원과 일정거리에서 시료의 흡수선량을 결정하기 위하여 본 연구에서는 선원과 일정거리 및 조사각에 따라 공기커마율을 측정하고 이를 선량계산 체계에 적용하여 물에 대한 흡수선량율로 환산하였다. 측정에 사용된 전리함은 모델 23361 (PTW, Germany)이며 전기계는 UNIDOS (PTW, Germany)이었다. PTW-23361 전리함은 전리체적 30 cm³인 저선량용 검출기로서 광자선 30 keV에서 Co-60 감마선까지 에너지특성이 4% 이내로 알려져 있으며 PTW-UNIDOS 전기계는 1 pA의 분해능으로 전리전류를 측정할 수 있다. 저선량조사기 선원에 노출된 공기중 전리함 위치에서 공기

커마는 다음과 같다.

$$K_{air} = M k_{TP} N_K \tag{1}$$

여기서 M 은 전기계로 측정된 전하, k_{TP} 는 대기온도와 압력의 보정인자, N_K 는 전리함의 공기커마교정정수로서 본 연구에서는 한국표준과학연구원에서 Cs-137 표준선원에 대하여 결정한 값을 적용하였다. 저선량조사실에서 조사영역은 선원과 거리 100 cm부터 600 cm까지이며 조사각 ±60도 이내에서 가능하다. 본 측정에 적용한 선량 측정점은 Fig. 3에 나타낸바와 같으며 바닥에서 높이는 150 cm로서 조사기속 선원의 위치와 동일하다.

Cs-137 선원의 공기커마는 방사능 세기와 상호작용 자료들을 적용하여 근사적으로 결정할 수 있다. 점선원으로부터 모든 방향으로 광자가 방출되는 것으로 가정할 때 선원의 방사능이 A (Ci)로 주어지면 선원과 거리 d 에서 매초당 공기커마(Gy/s)는 다음과 같다.⁵⁾

$$K_{air} = 3.7 \times 10^{10} \frac{A}{4\pi d^2} \times \sum_{i=1}^N \left[f E \left(\frac{\overline{\mu_{tr}}}{\rho} \right)_{air,i} \right] \tag{2}$$

여기서 f 는 선원 핵의 매 붕괴당 에너지 E 인 광자의 방출확률이며, $\left(\frac{\overline{\mu_{tr}}}{\rho} \right)_{air}$ 는 공기에서 평균질량에너지전달계수(Mean mass energy transfer coefficient)이다. 우변의 합은 핵의 단위 붕괴당 방출 가능한 모든 광자 에너지에 대하여 수행된다. (2)식은 문헌 5에 제시된 식을 일반화한 것이다.

Cs-137 선원은 매 붕괴당 85%의 확률로 0.662 MeV의 광자 1개를 방출하며 다른 광자들의 기여를 무시할 수 있다. 위 식에 인자들을 대입하고 단위 시간당 공기커마로 정리하면 다음과 같다.

$$K_{air} \approx 954.3 \times \frac{A}{d^2} \left(\frac{\overline{\mu_{tr}}}{\rho} \right)_{air} \tag{3}$$

여기서 K_{air} 는 Gy/h 단위이며 이 때 d 은 cm 단위이다. 또한 에너지전달계수는 문헌의 수치표²⁾로부터 0.6 MeV와 0.8 MeV에 대한 값을 내삽하여 결정하였으며 그 값은 $\left(\frac{\overline{\mu_{tr}}}{\rho} \right)_{air} = 0.0293 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이다. 이 식을 이용하여 Cs-137 점선원에 대하여 거리 d 에서 근사적으로 공기커마율을 계산할 수 있다.

관심점에서 공기커마가 결정되면 선량계산 체계에 따라 흡수선량을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 공기중 한 점에서 시료의 흡수선량을 다음과 같이 놓았다.

$$D_{med}(d) \approx K_{air}(1-g) \left(\frac{\overline{\mu_{en}}}{\rho} \right)_{air}^{med} \psi_{air}^{med} \quad (4)$$

여기서 g 는 하전입자의 제동복사 손실이며 $\left(\frac{\overline{\mu_{en}}}{\rho} \right)_{air}^{med}$ 는 물질과 공기에 대한 평균 질량에너지흡수계수(Mass energy absorption coefficient)이다. 또한 인자 ψ_{air}^{med} 는 공기가 물질로 대체 되었을 때 에너지플루언스의 차이를 보정한다. 본 연구에서는 공기커마를 결정하고 (4)식을 사용하여 가상의 시료로서 직경 3 cm 구형 물(spherical water)에 대한 흡수선량을 결정하였다. 가상 시료의 형태를 이와 같이 정한 이유는 우선 실험용 쥐의 크기를 고려한 것이며 또한 선량계산 체계의 적용시 검출기의 방향 의존성을 고려하지 않기 위해서이다.

이 계산에서 g 는 Borg 등⁶⁾의 연구로부터 $g=0.0016$ 로 취하였으며, 에너지흡수계수의 비는 에너지전달계수와 동일한 방법으로 구하여, $\left(\frac{\overline{\mu_{en}}}{\rho} \right)_{air}^{water} = 1.1122 \text{ cm}^2/\text{g}$ 을 적용하였다²⁾. 그리고 ψ_{air}^{med} 는 광자선 에너지와 물질 크기에 의존하는데, 일반적 측정 프로토콜에서 Cs-137 감마선에 대하여 다루지 않기 때문에 정확한 값의 결정이 어렵다. 만약 $\psi_{air}^{med} \approx 1$ 로 취한다면 무한히 작은 시료의 흡수선량과 같다. 그렇지만 실제 생물학 실험에서 직경 2~3 cm 정도인 실험용 쥐나 시험관을 사용하기 때문에 이를 고려해야 한다. 물속 특정 깊이의 선량을 평가하는 경우에 이 보정은 전리함 반경의 함수로서 변위보정(Displacement correction)으로 알려져 있다.⁷⁾ 비록 본 연구의 기하학적 형태가 물속의 흡수선량을 결정하는 것과 다르지만 본 연구에서는 근사적으로 Cunningham과 Sontag⁸⁾의 연구로부터 얻어진 Cs-137 선원에 대한 $p_{dis} = 0.945$ 을 적용하였다. 한편, Cunningham과 Sontag⁸⁾의 연구에서는 직경 3 cm 이상에 대한 결과가 없으므로 다양한 크기에 대한 정확한 선량평가를 위해서는 추후 연구의 확장이 요구된다.

이와 같이 측정 공기커마를 기반으로 결정한 흡수선량은 몬테칼로 계산을 통하여 객관적으로 확인할 수 있다. 본 연구에서는 몬테칼로 계산코드(MCNPX ver. 2.4.0)를 사용하여⁹⁾ Fig. 2의 형태를 모델화하고 Fig. 3에 나타난 측정점들에 검출기를 배치하여 계산을 수행하였다.

선원에서 생성된 광자는 모든 방향으로 방출되기 때문에 선원과 검출기(시료) 거리가 증가할수록 거리 제곱에 반비례하는 선속(Flux)의 급격한 감소가 있으며 이러한 경우 적절한 결과를 얻기 위해서는 많은 계산량이 요구된다. 그렇지만 본 계산의 목적상 측정값의 확인 차원인 점을 고려하여 선원과 모든 거리에 대한 계산보다 100 cm와 200 cm에 대한 흡수선량을 구하였다. 또한 선원에서 방출된 광자들 중 상당수는 조사영역과 무관한 조사기 내부의 기하학적 구조와 상호작용하므로 불필요한 이차전자의 수송으로 인하여 계산 효율이 감소할 수 있다. 따라서 본 계산에서는 조사실내 모든 영역에 대하여 광자의 상호작용을 고려하였지만 조사장비 내부에서 전자의 상호작용은 고려하지 않았다. 이 때 몬테칼로 계산의 최소 에너지(Cutoff energy)는 광자와 전자에 대해 각각 10 keV를 적용하였다. MCNPX 실행 결과의 출력은 검출기와 상호작용하는 광자에 대한 흡수선량을 구하는 것이 목적이기 때문에 각 검출기에 대해 F6+ Tally (출력연산자)를 적용하였다. 이러한 조건에 대해 검출기가 100 cm에 위치할 경우에 4억개의 광자 그리고 200 cm에 위치할 경우에 16억개의 광자에 대하여 계산을 수행하였으며 이를 통하여 통계적 불확정성이 2% 이내인 결과를 얻었다.

결 과

Table 1에 조사실내 각 측정점에서 측정한 공기커마율과 (3)식을 써서 계산한 공기커마율 그리고 상호 차이를 나타

Table 1. Air kerma rate (mGy/h) measured by an ionization chamber as a function of distance for a Cs-137 source of 370 GBq (10 Ci) at the seven angular positions.

SDD (cm)	Measured (mGy/h)							Calculated/ %Diff.*
	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°	
100	27.539	29.055	29.102	28.872	28.730	28.453	27.072	28.010/ -3.1%
200	6.489	7.228	7.228	7.167	7.174	7.079	6.782	7.000/ -2.4%
300	3.097	3.274	3.289	3.262	3.294	3.257	3.040	3.118/ -4.6%
400		1.953	1.932	1.909	1.913	1.957		1.750/ -9.1%
500			1.300	1.277	1.291			1.120/ -14.0%

*Percentage difference between measured at 0° and calculated dose.

Table 2. Absorbed dose rate (mGy/h) as a function of distance from the source for a spherical water with a diameter of 3 cm.

SDD (cm)	Measured (mGy/h)						
	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°
100	28.944	30.538	30.587	30.345	30.196	29.905	28.458
200	6.820	7.597	7.597	7.533	7.540	7.440	7.128
300	3.255	3.441	3.457	3.428	3.462	3.423	3.195
400		2.053	2.031	2.006	2.011	2.057	
500			1.366	1.342	1.357		

Table 3. Percentage difference between measured and calculated dose.

SDD (cm)	-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°
100	-49.6%	-3.1%	1.1%	1.9%	2.3%	1.4%	-52.0%
200	-44.5%	1.9%	2.7%	3.7%	4.3%	-0.3%	-48.7%

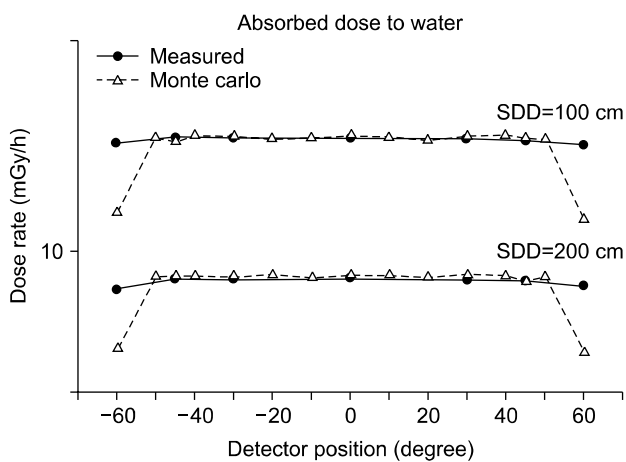


Fig. 4. Absorbed dose to spherical water of 3 cm diameter at SDD=100 cm and 200 cm in air.

났다. 여기서 측정점의 기하학적 위치는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 측정된 공기커마는 선원과 거리 100 cm와 200 cm에서 3.1% 이내의 차이를 보이고 있지만 거리가 증가함에 따라 큰 차이를 보였다. 이는 계산의 경우에 공기중 광자의 산란과 조사기 실의 바닥과 천정 그리고 내벽으로부터 산란된 광자의 기여가 고려되지 않은 반면 측정값에는 모든 영향이 포함되어 있기 때문으로 생각한다. 근거리의 경우에 일차선의 기여가 산란선보다 상대적으로 높기 때문에 측정과 계산이 잘 일치한 것으로 해석할 수 있다.

Table 2는 측정된 공기커마율을 기반으로 결정한 시료의 흡수선량을 나타낸다. 이 때 시료는 구형 물이며 직경은 3

cm이다. 그리고 Fig. 4은 측정된 공기커마를 기반으로 결정한 흡수선량과 몬테칼로 계산결과를 함께 보여주고 있다. 이 결과에서 두 값의 차이를 Table 3에 나타냈다. 이 Table에 나타낸 바와 같이 몬테칼로 계산은 측정보다 대체로 약간 높은 값을 보이고 있는데, 조사면의 중심(0도)에 대하여 비교하면 선원과 100 cm에서 1.9% 200 cm에서 3.7%의 차이를 보이고 있다. 또한 축으로부터 각도 영역에 대하여 비교하면 ±60도 지점을 제외할 때 선원과 거리 100 cm에서 ±3.1% 이내 그리고 200 cm에서 ±4.3% 이내로 일치하고 있다. ±60도 지점의 경우에 측정점이 빔의 경계면에 위치함으로써 약간의 기하학적 오차에서도 선량이 급격하게 변화할 수 있는 영역이다. 몬테칼로 계산의 경우에는 이상적인 기하학적 구조에서 수행되기 때문에 ±60 위치에 놓인 시료는 기하학적으로 체적의 절반만이 일차선에 노출되었고 이로 인하여 흡수선량이 낮게 나타난 것으로 해석된다. 만약, 실제 실험시 ±60도 지점에 시료를 배치하지 않는다면 이 문제는 그다지 중요하지 않다. 이 때 몬테칼로 계산 결과의 통계적 불확정성은 약 1.9%로서 측정값과의 비교에 큰 문제는 없다.

일정 거리에서 임의 각도 지점에 대한 선량 균일성도 중요한데 ±60도 지점을 제외하고 상대표준편차를 평가한 결과, 선원과 거리 100 cm와 200 cm에 대하여 측정값은 각각 약 0.9%와 0.8%로 나타났으며, 이 때 몬테칼로 계산값은 각각 1.7%와 1.6%로 나타났다. 이는 선원과 거리가 동일한 경우에 빔의 가장 자리를 제외하고 흡수선량이 거의 일정한 함을 보여주는 결과이다.

결 론

본 연구에서는 저선량조사기를 이용하는 생물학 실험에 필요한 선량 자료를 확보하기 위한 기초적 연구로서 Cs-137 선원에 대한 가상 시료의 흡수선량을 평가하였다. 작은 시료에 대한 흡수선량의 직접 측정이 어려운 관계로 본 연구에서는 실용적 방법으로서 공기커마를 측정하고 이로부터 시료의 흡수선량을 계산하였다. 먼저 측정한 공기커마를 근사적 계산으로 평가한 결과 선원과 거리 200 cm 까지 좋은 일치율을 보였으며(최대 3.1%), 원거리의 경우에는 비교적 큰 차이를 보였다(5~14%). 이는 선원과 거리가 멀어질수록 일차선 보다 산란선의 기여가 증가하기 때문으로 생각한다(본문 참조). 따라서 일차선의 기여가 높은 근거리 에 대한 측정과 계산이 일치하는 결과로부터 다른 거리의 측정값을 신뢰하는데 큰 무리는 없다고 생각한다. 이와 같이 평가된 공기커마를 기반으로 흡수선량을 결정하였으며 몬테칼로 계산과도 비교적 잘 일치하는 결과를 얻었다. 두 방법으로 결정한 흡수선량의 비교에 있어서, 몬테칼로 계산의 경우에 계산결과의 통계적 불확정성의 기여가 크다고 생각하며 이 외에 조사기 내부 부품들의 근사화 그리고 광자 및 전자수송 알고리즘 등에 의한 영향을 고려할 수 있으며, 측정의 경우에는 측정한 공기커마의 불확정도와 선량 환산에 적용된 인자들의 영향을 고려할 수 있다. 이러한 영향들도 불구하고 최종 결과의 비교에서 상호 2% 이내의 차이를 보인 것은 본 선량계산 체계에 큰 문제가 없다는 것을 나타낸다.

이러한 결과들을 토대로 생물학 실험시 시료의 흡수선량을 비교적 정확하게 결정할 수 있을 것으로 생각한다. 그렇지만 앞서 언급한 바와 같이 실제 실험에서 시료의 크기와 형태가 다양한 점 그리고 여러 개의 시료를 동시에 조사할 수 있다는 점 등을 고려하여 후속 연구를 수행해야 할 것으로 생각한다. 또한 현재의 측정에서는 선원의 높이와 평

행한 상태에서 좌우측의 선량에 대해서만 평가하였는데 추후 상하 방향에 대한 평가도 고려해야 할 것이다.

이러한 측면에서 다음의 연구에서는 본 연구에서 다루지 않은 시료의 두께가 다를 경우에 변위에 대한 보정, 다른 시료나 기구들로부터 산란선 보정 등이 주요 연구 주제가 될 것이다. 또한 적절한 팬텀을 고안하여 열형광선량계나 유리선량계 또는 전리함을 팬텀에 삽입하는 방법을 병행함으로써 흡수선량을 직접 또는 간접적으로 측정하여 상호 일치를 확인하는 절차를 통하여 생물 실험에 필요한 선량학적 자료를 확보해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 서울방사선서비스(주): 동물조사장치설치보고서. Report No. E-RD-D02-2010-0010 (2010)
2. Attix FH: *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. John Wiley & Sons, USA (1986) pp. 304-331
3. Johns HE, Cunningham JR: *The Physics of Radiology*. 4th ed. Springfield, US (1983), pp. 239-240
4. Yuko H, Tkaharu N, Takeshi O, et al: Application of a Newly Developed Photoluminescence GlassDosimeter for Measuring the Absorbed Dose in Individual Mice Exposed to Low-dose Rate Cs-137 γ -rays. *J Radiat Res* 129-137 (2000)
5. Khan FM: *The Physics of Radiation Therapy*. 3rd ed. Williams & Wilkins, Philadelphia, Lippincott (2003), pp. 140-141
6. Borg J, Kawrakow I, Rogers DWO, Seuntjens JP: Monte Carlo study of correction factors for Spencer-Attix cavity theory at photon energies at or above 100 keV. *Med Phys* 27:1804-1813 (2000)
7. AAPM TG-21: A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 10:741-771 (1983)
8. Cunningham JR, Sontag MR: Displacement corrections used in absorbed dose determination. *Med Phys* 7:672-676 (1980)
9. Los Alamos National Laboratory: MCNPX (Monte Carlo N-Particle Code System) user's Manual V2.4.0, LANL (2002)

Absorbed Dose Determination for a Biological Sample Irradiated by Gamma Rays from a Cs-137 Source

Dong Hyeok Jeong, Jeung Kee Kim, Kwang Mo Yang,
Min Su Ju, Min Young Kim, Chang Yeol Lee*, Jin Ho Kim*

Research Center, *Department of Radiation Oncology,
Dongnam Inst. of Radiological & Medical Sciences, Busan, Korea

In this study the dosimetric evaluation for a biological sample irradiated by gamma rays from Cs-137 irradiator (Gamma Irradiator, Chiyoda Technol Co., Japan) was performed for radiobiological experiment. A spherical water with a diameter of 3 cm was assumed as a biological sample. The absorbed dose were determined by the air kerma based dosimetric calculation system. The theoretical and Monte Carlo calculations (MCNPX) were performed and compared to evaluate measured air kerma and determined absorbed dose respectively. As a result of comparison with theoretical calculation, the measured air kerma was in good agreement within 3.1% at the distance of 100 and 200 cm from the source. In comparison with Monte Carlo results the determined absorbed dose along the central axis was in good agreement within 1.9% and 3.7% at 100 cm and 200 cm respectively. Although the preliminary results were obtained in this study these results were used as a basis of dosimetric evaluation for radiobiological experiment. Extended study will be performed to evaluate the dose in various conditions of biological samples.

Key Words: Gamma Irradiator, Dosimetry, Monte Carlo Calculation