

## &lt;원저&gt;

## 유방촬영 시 방사선관계종사자의 위치에 따른 공간선량평가

## - Evaluation of the Space Scattered Dose According to the Position of the Radiation Workers in Mammography Room -

<sup>1)</sup>동남권원자력의학원 방사선종양학과 · <sup>2)</sup>인제대학교 해운대백병원 영상의학과이동연<sup>1)</sup> · 이진수<sup>2)</sup>

## — 국문초록 —

본 연구는 유방촬영실 내에서 제어기가 위치하는 공간에 대한 선량평가를 실시하여 방사선관계종사자에 대한 피폭을 저감화 할 수 있는 방안에 대한 연구를 진행하였다. 연구결과 제어기가 위치하는 공간에 차폐문이 없을 경우 6.18 mGy/year의 선량이 측정되었으며, 차폐문을 설치할 경우 2.35E-11 mGy/year의 선량이 측정되었다. 또한 X선관의 양극 방향이 제어기를 향하고 있을 경우, 평균 0.30 mGy/year 정도 낮게 측정되었다. 이를 바탕으로 유방촬영장치 설치 시 양극과 음극 방향을 고려하여야 하며, 촬영공간과 제어공간을 완벽히 분리할 수 있는 차폐문을 설치하는 것이 방사선관계종사자에게 있어서 가장 좋은 방사선 방어 방법으로 판단된다.

**중심 단어:** 유방촬영장치, 방사선관계종사자, 양극경사각효과, 차폐문

## I. 서 론

유방암의 검사법으로는 유방촬영술, 유방초음파, 자기공명영상(MRI), 핵의학 검사 등이 있으며, 그 중에서도 X선을 이용한 유방촬영술이 가장 기본이 되는 검사법으로 시행되고 있다.<sup>1)</sup> 실제 대한민국에서는 국가 암검진에 유방암에 대한 검진이 포함되어 있으며, 검진 방법으로는 유방촬영술을 택하고 있다.

유방촬영술은 일반촬영과는 달리 연부조직으로 이루어진 유방의 해부학적 구조 때문에 저관전압, 고관전류의 특징을 가진다. 이에 따라 유방촬영실의 구조 역시 일반촬영실과는 다른 차이점을 가지고 있다. 유방촬영실 구조에 대한 권고 사항을 보면, 면적은 3×3 m<sup>2</sup> 이상, 촬영기와 제어기 사이에 위치하는 방어벽은 납 당량 0.1 mm 이상을 사용하도록 권고하고 있다.<sup>2)</sup>

이를 일반촬영실과 비교해 보면, 촬영실의 면적이 작고, 촬영거리가 가까우며, 방사선관계종사자가 촬영기를 제어하는 공간이 함께 위치한다.<sup>3)</sup> 또한 촬영기와 제어기가 위치하는 공간의 구분은 이동용 X선 방어칸막이를 사용하고 있으며, 방어칸막이의 경우 완벽하게 격리된 것이 아닌 단순히 가리는 수준 정도의 역할을 하고 있다. 이와 같은 촬영실의 구조는 유방촬영실에서 근무하는 방사선관계종사자에게 방사선피폭을 일으킬 확률이 높을 것으로 생각된다.

실제 유방촬영실에 대한 기존의 연구들을 보면 유방촬영시 환자가 받는 선량에 대한 연구는 상당히 많이 있다.<sup>4-6)</sup> 하지만 상대적으로 유방촬영실에 대한 공간선량을 평가하여 방사선관계종사자가 받을 피폭선량에 대한 연구는 아직 부족한 것이 사실이다.

이에 본 연구에서는 모의실험을 통하여 유방촬영실 내 제어기가 위치하는 공간에 대한 선량을 평가함으로써 방사선

관계종사자가 받는 선량을 평가하고자 하였으며, 연구를 통해 얻은 결과를 바탕으로 방사선관계종사자가 받는 피폭을 저감화 할 수 있는 방안에 대하여 제안하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 유방촬영실 구조

본 연구는 몬테칼로법을 바탕으로 모의실험을 진행하였으며, 입자 수송측면에서 정확한 계산을 할 수 있는 장점을 가진 MCNPX (Ver.2.5.0)을 사용하였다.<sup>7)</sup> 먼저 가상의 공간에서 모사한 촬영실의 구조는 3×3 m<sup>2</sup>의 크기에 촬영기와 제어기 사이의 방벽은 납 재질 1 mm 두께를 모사하였다. 이와 같이 모사한 근거는 질병관리본부(Centers for Disease Control; CDC)<sup>2)</sup>에서 유방촬영실의 크기를 최소 3×3 m<sup>2</sup>, 미국규격협회(American National Standards Institute; ANSI)에서 유방촬영실의 넓이를 최소 9.29 m<sup>2</sup>로 권고하고 있으며, 한국 식약처에서는 촬영기와 제어기 사이에 방벽을 납 당량 1 mm 이상으로 권고하고 있기 때문에 이를 참고하였다.<sup>8)</sup> 권고된 유방촬영실의 모습을 Fig. 1로 나타내었다. 또한 납 두께 1 mm를 선택한 것은 인체에 대한 방사선 방어를 목적으로 하기 때문에 보수적으로 평가하기 위해 최소 두께를 선택하였다. 모사한 촬영실의 구조와 X선관의 모습을 Fig. 2로 나타내었다.

### 2. 광자스펙트럼 분석

타깃의 경우 최근 Digital mammography 장치에서 사용

빈도가 높은 몰리브덴(Molybdenum; Mo, 원자번호: 42, 밀도: 10.28 g/cm<sup>3</sup>)과 텅스텐(Tungsten; W, 원자번호: 74, 밀도: 19.25 g/cm<sup>3</sup>)을 사용하였다.<sup>9)</sup> 사용한 관전압과 관전류는 식약처의 권고사항을 기준으로 하였으며, 관전압 40 kVp, 관전류 100 mA로 설정하였다. 이 역시 방사선으로 인하여 인체가 받는 영향을 보수적으로 평가하기 위하여 최고 관전압과 최대 관전류를 사용하였다.

위와 같이 모사한 X선관을 이용하여 먼저 광자스펙트럼을 측정하였다. 이는 모사한 X선관에 대한 정확성과 신뢰성 확보를 위하여 분석하였으며, 측정에 사용된 tally는 F5번, 상대오차를 3% 이내로 하기 위하여 실험의 반복횟수를 뜻하는 nps 값을 10<sup>8</sup> 번으로 설정하였다. 측정 위치는 X선관 바로 아래 5 cm 위치에 가상의 원형 디텍터를 설치하여 전자 1 개를 타깃에 충돌시켰을 때 초당 생성되는 광자플루언스율(photon number/cm<sup>2</sup>sec-e)과 1 eV 간격으로 에너지 스펙트럼을 측정하여 분석하였다.

### 3. 외부피폭 선량평가 방법

본 연구에서 방사선관계종사자의 피폭을 평가한 방법은 광자의 선속밀도와 에너지 그리고 물질의 질량에너지흡수 계수를 이용하는 방법이다. 먼저 광자의 플루언스율과 스펙트럼을 측정하고, 이 때 특정 에너지에서 물질이 가지는 질량에너지흡수계수를 식(1)에 대입하여, 방사선관계종사자가 받는 선량을 간접적으로 계산하였다.

$$\dot{D} = \frac{\Phi \times E \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV} \times \mu_m}{\rho_m \times 1 \frac{\text{J/kg}}{\text{Gy}}} \quad (1)$$

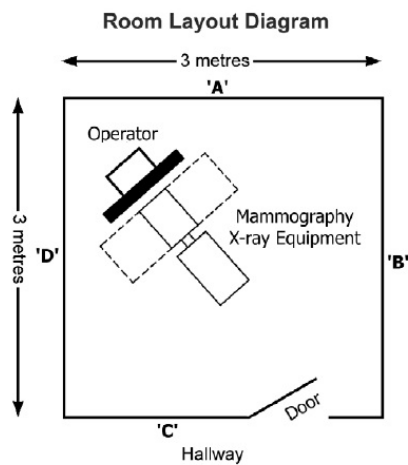


Fig. 1 Mammography room structure that advised from Center for Disease Control

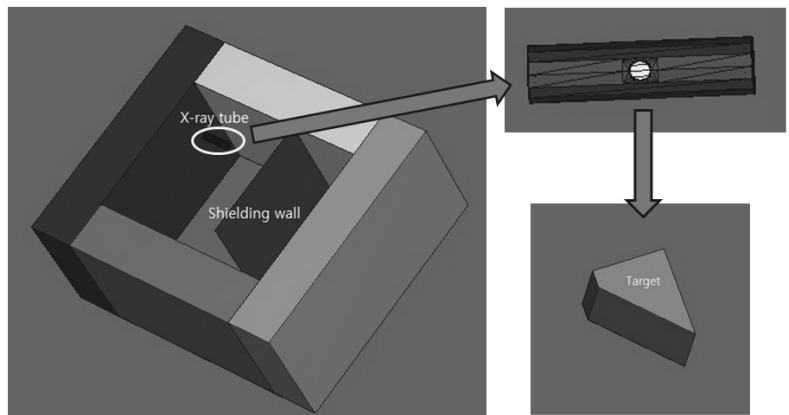


Fig. 2 Design of the mammography room, X-ray tube and target

- $\dot{D}$  : 흡수선량율( Gy 또는 Sv )
- $\mu_m/\rho_m$  : 물질의 질량에너지흡수계수 ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )
- $\Phi$  : 선속밀도 (photon number/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ )
- E : 에너지 (MeV/photon)
- 1 MeV =  $1.6 \times 10^{-13}$  J

이 때 질량에너지흡수계수는 공기, 물, 뼈, 근육으로 평가할 수 있으나 실제 유방촬영에 사용하는 에너지의 경우 심부선량보다는 대부분 인체 표면선량이 높을 것을 고려하여 본 연구에서는 근육을 기준으로 평가하였다. 연산결과 나온 흡수선량을 연간흡수선량(Gy/year)으로 나타내었다.

#### 4. 선량평가

본 연구에서 파악하고자 하는 선량을 Fig. 3으로 나타내었다.

첫째, Fig. 4와 같이 방사선관계종사자가 촬영기를 제어

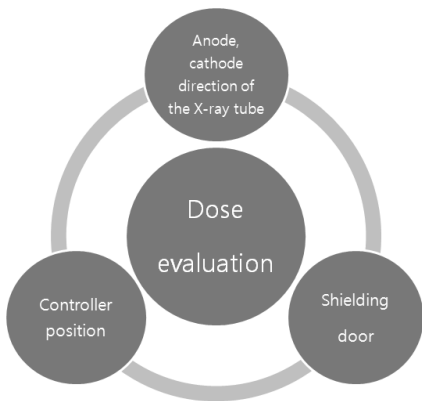


Fig. 3 Dose evaluation performed in this study

하는 공간을 50 cm 간격, 5 구간(A~E)으로 나누어 위치에 따른 광자플루언스율을 측정하였다. 둘째, X선관의 극 방향을 양극이 제어기를 향할 때, 그리고 음극이 제어관을 향할 때로 나누어 A~E 지점의 광자플루언스율을 측정하였다. 마지막으로, 차폐문 유무에 따라 A~E 지점의 광자플루언스율을 측정하였다.

측정된 광자플루언스율을 관전류 100 mAs로 환산하여 식(1)에 대입한 후, 종사자가 받는 선량을 연간흡수선량(mGy/year)으로 산정하였다.

### III. 실험결과

#### 1. 광자스펙트럼

Fig. 5는 40 keV의 전자를 타깃(Mo, W)에 충돌하여 발생한 X선에 대한 스펙트럼 결과이며, 1 eV 간격으로 플럭스(photon number/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{e}$ )를 측정하였다.

생성된 광자의 입자 수는 Mo- $4.08 \times 10^{-6}$  개/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{e}$ , W- $4.69 \times 10^{-6}$  개/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{e}$ 으로 측정되었다. 타깃별 생성된 광자의 특성을 Table 1로 나타내었다.

#### 2. 차폐문이 없는 경우의 연간흡수선량

각 타깃 별 차폐문을 설치하지 않았을 경우 연간 흡수선량(mGy/year)을 Fig. 6으로 나타내었다.

이를 평가하면, 첫째, 타깃의 종류에 관계없이 A~E 방향으로 갈수록 선량이 높게 측정되었으며, 특히 E에서 상대적으로 높은 선량이 측정되었다. 둘째, 제어기를 향하는 X선

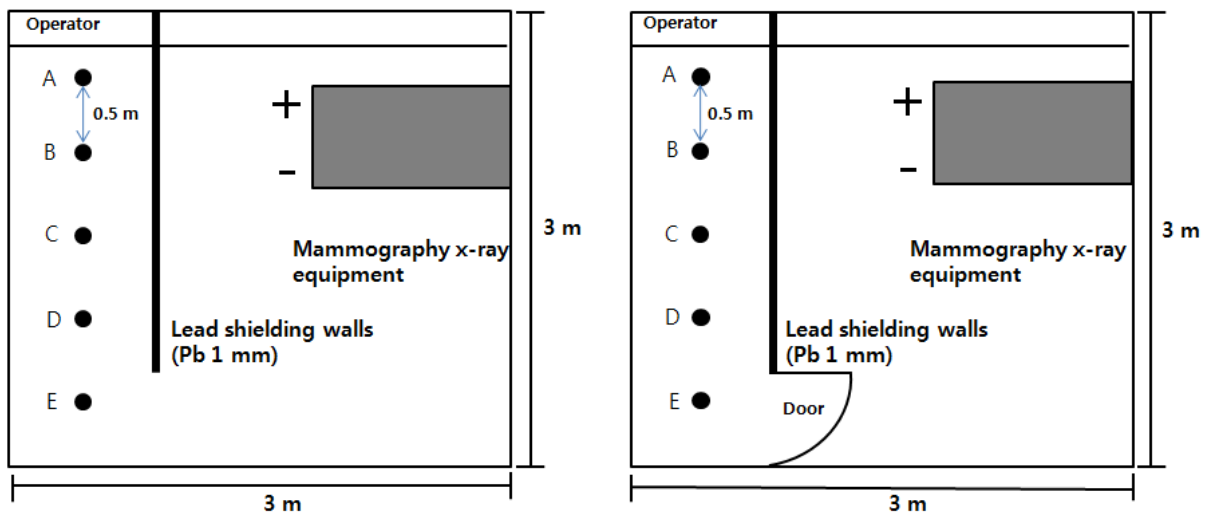


Fig. 4 Radiation measuring location and mammography room floor plan

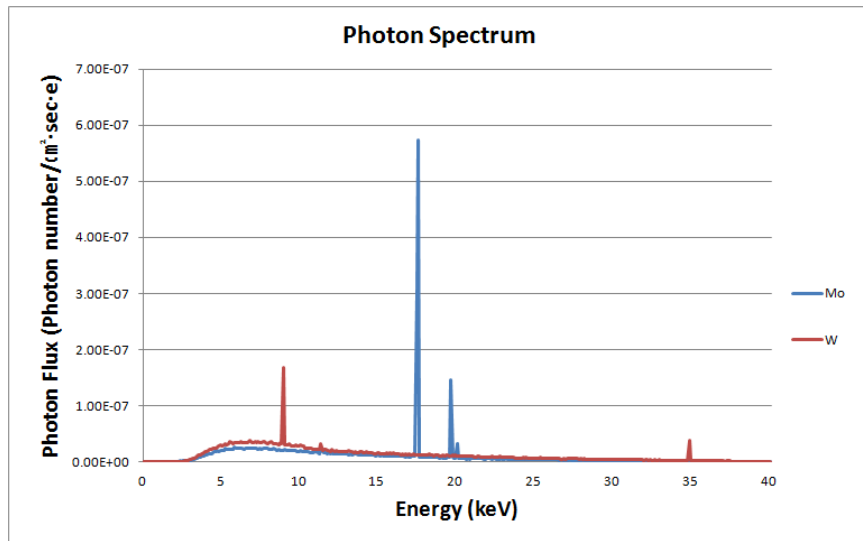


Fig. 5 Photon spectrum measured using MCNPX

Table 1 Photon properties generated for each target

Target	Photon number (photon number/cm <sup>2</sup> · sec · e)	Mean energy (keV)	Characteristic energy (keV)
Mo	$4.08 \times 10^{-6}$	14.1	17.5, 19.6, 20
W	$4.69 \times 10^{-6}$	13.3	8.9, 11.3, 34.8

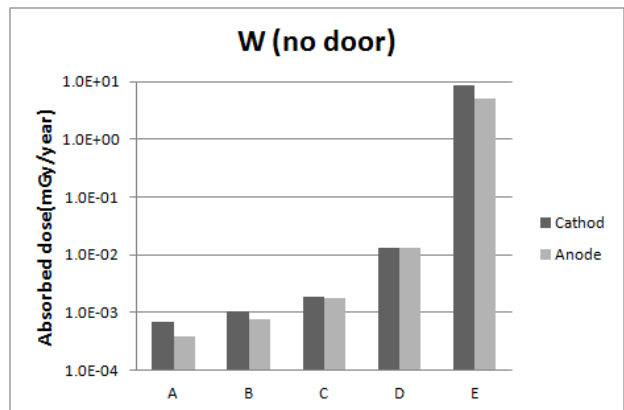
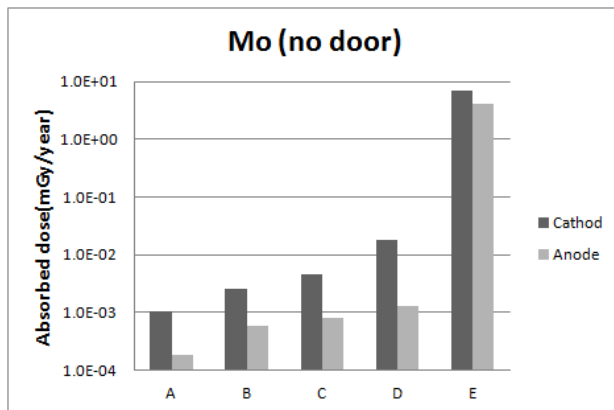


Fig. 6 The absorbed dose measured when not install the shielding door

관의 극이 양극방향일 때 선량이 낮게 분석되었다. 마지막으로 텅스텐 타깃보다 몰리브덴 타깃에서 연간흡수선량이 높게 평가되었다.

이에 대하여 수치를 보면, A~D에서 측정된 흡수선량은 0.0002~0.0180 mGy/year의 값이 측정되었으며, 평균값은 0.0039 mGy/year의 값이 나타났다. 선량이 가장 높게 측정된 E의 경우에는 몰리브덴에서 평균 5.54 mGy/year, 텅스텐에서 평균 6.78 mGy/year로 측정되었으며, 제어기를 향하는 X선관의 방향을 양극과 음극으로 본 결과 음극

방향이 양극방향보다 약 3 mGy/year 정도 높게 평가되었다. 마지막으로 타깃 별 선량차이는 텅스텐 타깃에서 0.23 mGy/year 만큼 높은 결과를 보였다.

### 3. 차폐문을 설치하였을 경우 연간흡수선량

각 타깃 별 차폐문을 설치하였을 경우 연간 흡수선량 (mGy/year)을 Fig. 7로 나타내었다.

이를 분석해 보면, 첫째, 타깃의 종류에 관계없이 연간흡

수선량은 A에서 가장 높았으며, E방향으로 갈수록 선량이 낮게 측정되었다. 둘째, 차폐문을 설치하지 않았을 때와 같이 제어기를 향하는 X선관의 극이 양극방향일 때 선량이 낮게 측정되었다. 마지막으로 타깃별 연간흡수선량은 텅스텐보다 몰리브덴일 때 높은 선량을 보였다.

이에 대하여 수치를 보면, 각 지점별 선량은  $1.64E-13 \sim 1.85E-11$  mGy/year의 연간 흡수선량값이 나타났으며, 평균 연간 흡수선량값은  $4.71E-12$  mGy/year의 값이 분석되었다.

X선관의 방향에 대한 수치를 보면 음극에서 평균  $9.09E-13$  mGy/year만큼 높게 측정되었다. 타깃별 연간흡수선량은 몰리브덴에서 평균 약  $5.22E-12$  mGy/year 만큼 높은 선량이 측정된 것으로 분석되었다.

#### 4. 차폐문 유무에 따른 차폐율

Table 2는 차폐문의 설치 유무에 따른 연간흡수선량과 차폐문 설치에 따른 차폐율을 산정한 값이다. 그 결과, A~

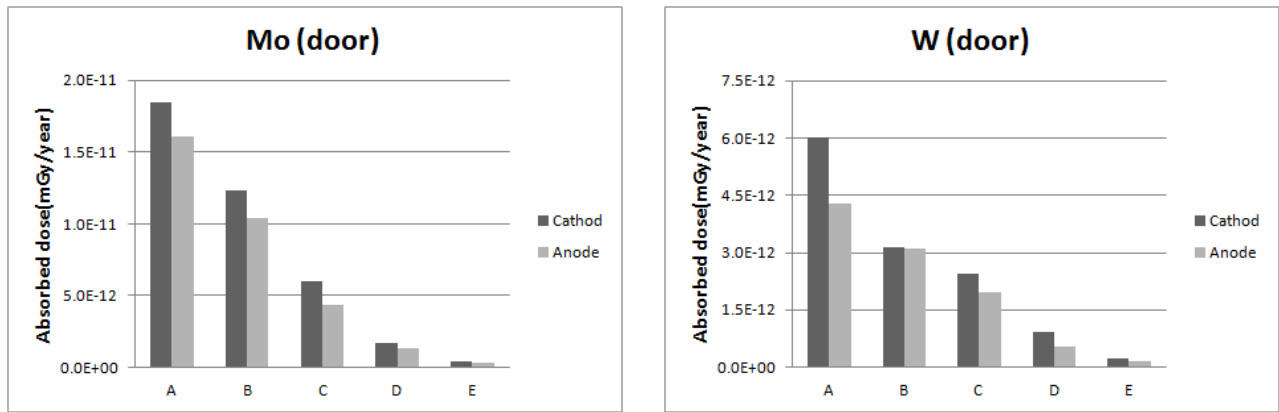


Fig. 7 The absorbed dose measured when install the shielding door

Table 2 Compare shielding door install or not in accordance with the absorbed dose

Target	Direction	point	door(mGy/year)	No door(mGy/year)	Shielding rate(%)
Mo	anode	A	$1.605E-11$	0.0002	99.99
		B	$1.041E-11$	0.0006	99.99
		C	$4.399E-12$	0.0008	99.99
		D	$1.298E-12$	0.0012	99.99
		E	$2.847E-13$	4.1844	100.00
	cathod	A	$1.848E-11$	0.0010	99.99
		B	$1.229E-11$	0.0025	99.99
		C	$6.006E-12$	0.0046	99.99
		D	$1.682E-12$	0.0179	99.99
		E	$3.948E-13$	6.8941	100.00
W	anode	A	$4.289E-12$	0.0004	99.99
		B	$3.104E-12$	0.0008	99.99
		C	$1.974E-12$	0.0018	99.99
		D	$5.458E-13$	0.0132	99.99
		E	$1.637E-13$	5.1679	100.00
	cathod	A	$6.006E-12$	0.0007	99.99
		B	$3.139E-12$	0.0011	99.99
		C	$2.457E-12$	0.0018	99.99
		D	$9.173E-13$	0.0134	99.99
		E	$2.371E-13$	8.3995	100.00

E 지점의 차폐율은 모두 99% 이상을 나타내었다. 세부적으로 살펴보면, A 지점에서 E 지점으로 갈수록 차폐율을 높이는 경향성을 보였으며 그 차이는 매우 미미하였다.

#### IV. 고 찰

본 연구는 유방촬영이 이루어지는 촬영실을 모사하여 방사선관계종사자가 촬영을 시행하는 공간에 대하여 선량분포를 알아보고자 모의실험을 진행하였다.

먼저, 유방촬영기에서 발생한 광자선에 대한 플루언스율은 폴리브덴보다 텅스텐에서 약 15%정도 높게 측정되었다. 이는 제동복사 발생확률은 원자번호에 비례한다는 것에 기인한 것으로 텅스텐의 원자번호가 높기 때문인 것으로 사료된다.

스펙트럼의 경우 기존의 A.A. Mowlavi의 연구<sup>10)</sup>와 비교하였을 때, 그래프의 형태와 특성에너지의 수치가 유사하게 측정된 것을 확인할 수 있었다. 다만 광자플루언스율과 스펙트럼의 저에너지대에서 차이를 보였다. 이는 광자선을 측정할 위치 그리고 X선관의 기하학적 구조의 차이 때문인 것으로 분석되며, 본 연구에서는 부가필터 사용하지 않았기 때문에 상대적으로 저에너지대의 광자량이 높게 측정된 것으로 분석된다.

제어기를 향하는 X선관의 극의 변화에 따른 선량을 보면, 양극이 제어기를 향할 때 연간흡수선량이 약 0.30 mGy/year 낮게 측정되었다. 이는 기존의 이론대로 양극경사각효과(Heel Effect)으로 인한 영향인 것으로 사료된다.

측정위치에 따른 연간흡수선량을 보면 차폐문을 설치하지 않았을 때, A에서 E지점으로 향할수록 선량이 높게 측정되었으며, 특히 A~D지점의 선량보다 E지점의 선량이 약 1000배 이상 높게 측정되었다. 이는 차폐물질의 유무에 따른 선량차이로 설명할 수 있을 것이며, 차폐벽을 미로형으로 설계하였기 때문에 A지점에서의 선량이 가장 낮게 측정된 것으로 생각할 수 있다.

반대로 차폐문을 설치하였을 경우 선량은 A에서 E지점으로 이동할수록 선량이 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 이는 차폐벽의 두께가 동일한 경우 X선관으로부터 거리에 따른 차이로 인한 영향으로 생각할 수 있을 것이며, 기존의 거리역자승법칙과 같은 영향인 것으로 평가된다.<sup>11)</sup>

마지막으로 차폐문의 설치 유무에 따른 영향을 보면, 차폐문을 설치하였을 때 연간흡수선량이 약  $10^{12}$  배 줄어드는 것을 볼 수 있었으며, 차폐율은 약 100%라고 해도 무방할 정도로 높았다. 이는 저에너지 광자선에서는 거리에 따른

선량차이보다는 차폐물질의 유무에 따라 차이가 더 큰 것으로 판단되며, 유방촬영에 사용하는 저에너지에서는 납 두께 1 mm 정도면 충분히 차폐효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

#### V. 결 론

본 연구는 유방촬영실 내의 공간선량분포를 평가한 연구로서 방사선관계종사자의 방어학적인 측면에서 피폭을 저감화 할 수 있는 방안을 제시하고자 연구를 진행하였다.

연구결과, 첫째, 유방촬영기를 설치 시, 가능하면 양극이 촬영기를 제어하는 공간을 향하도록 설치하는 것이 피폭선량을 낮출 수 있는 방법으로 파악되었다.

둘째, 촬영기와 제어기 사이에 차폐문을 설치함으로써 완벽하게 촬영공간과 제어공간을 나누는 것이 피폭선량을 낮출 수 있는 가장 좋은 방법으로 평가되었다.

마지막으로 현재 임상에서와 같이 차폐문을 설치하지 않는다면, 적어도 출입구로부터 50 cm 이상 이격시킨 곳에 제어기를 설치하는 것이 방사선관계종사자의 방사선학적 안전성을 확보하는 방법이라 분석되었다.

#### REFERENCES

1. Seyoung Jang, Wanggyun Oh, Jongbae Park, Gye-hwan Jin : The energy spectrum and phantom image quality according to mammography target-filter combinations, Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 7, No. 1, 51-55, 2013
2. BC Centre for Disease Control : Guideline for Determining the X-ray Shielding Requirements for a Mammographic Facility, 2014
3. Inja Lee, Kyeyeon Park, Sungsoo Kim : Research on the Actual Condition of Mammography and Space Scattered Dose in Mammography Room, Korean Society of Radiological Science, Vol. 29, No. 1, 21-28, 2006
4. Noriah Jamal, Siti Selina Abdul Hamid, Humairah Samad Cheung et al. : A survey on mean glandular dose from full-field digital mammography system, operate using Mo/Mo and W/Rh target/filter combination, IAEA, INIS, Vol. 45, Issue 43, 2013

5. M.B. Tavakoli, N. Kolghi, Z. Shahi, Z. Shaneh : Evaluation of the relation between breast grandular absorbed dose and radiographic quality in mammography, Iran. J. Radiant. Vol. 6, No. 2, 77-82, 2008
6. Su Jeong Yu, Sang Wook Lim, Sun Young Ma, et al. : Invivo dosimetry for mammography with and without lead apron using the glass dosimeters, Progress in Medical Physics, Vol. 26, No. 2, 93-98, 2015
7. Los Alamos National Laboratory : User's manual version 2.5.0, LANL, 2005
8. Korea Food and Drug Administration : A study on guidance for test and method of radiation protection, 2012
9. Jin Young Park, Sung Min Baek : A study on the actual conditions and characteristic of mammographic units in some area, Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 6, No. 2, 121-127, 2012
10. A.A. Mowlavi : X-ray spectra calculation for different target-filter of mammograms using MCNP code, Iran. J. Radiant. Vol. 3, No. 3, 129-133, 2005
11. Seong Kwan Choi : Relationship between the distribution of space doses in the X-ray rooms and the inverse square law of distance, The Korea Contents Association, Vol. 13, No. 8, 301-307, 20

•Abstract

## Evaluation of the Space Scattered Dose According to the Position of the Radiation Workers in Mammography Room

Dong-Yeon Lee<sup>1)</sup>·Jin-Soo Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Department of Radiation Oncology, Dongnam Inst. of Radiological & Medical Science*

<sup>2)</sup>*Department of Radiology, Inje University Heaundae Paik Hospital*

This study was conducted to evaluate the dose of the space to the controller located within the mammography room conducted a research on ways to the reduction exposure to the radiation workers.

Results, the dose of 6.18 mGy/year was measured when there is no difference in the hilar area of the controller position, the dose of 2.35E-11 mGy/year was measured when installing the Shielding door. In addition, when the direction of the X-ray tube anode be heading this direction controller, low average level measured was 0.30 mGy/year.

Based on this study, the mammography should be considered when installing the anode and cathod directions. And, by installing the shielding door, it must be able to completely separate shooting space and control room. This is the best way radiation protection method in radiation workers.

**Key Words :** Mammography, Radiation worker, Heel-effect, Shielding-door