

비스무스 차폐체의 유방 차폐율 분석

김재석*

Analysis of breast shielding rate of bismuth shield

Jae Seok Kim*

*Chief radiotechnologist, Department of Radiology, Ajou University Hospital, Suwon, 16499 Korea

요 약

유방 X선 촬영 장치를 이용한 유방 촬영을 실시할 때 발생하는 불필요한 피폭 선량을 경감시키기 위해 비스무스로 제작한 차폐체를 촬영 부위의 반대 측 유방에 적용했을 때 차폐율 분석을 실시하였다. 오른쪽, 왼쪽을 압박하였을 때 CC와 MLO 검사 시 압박되지 않는 유방의 산란 선량을 알아보기 위하여 비스무스를 차폐하지 않았을 때(Not used: NU그룹)와 차폐했을 때(Used: U그룹)로 구분하여 실험을 진행하였다. NU 그룹의 평균선량은 $9.568\mu\text{Sv}$ 이었고, U 그룹의 평균 선량은 $1.038\mu\text{Sv}$ 이었다. 비스무스 차폐체 사용 전후의 평균 측정 선량은 89.15% 감소되었다. 유방 촬영용 비스무스 차폐체를 사용하면 산란 방사선을 차폐하여 방사선에 의한 노출을 최소한으로 유지할 수 있다.

ABSTRACT

In order to reduce unnecessary exposure doses generated when mammography is performed using a mammography device, a shielding ratio analysis was performed when a self-made shielding body made of bismuth was applied to the breast opposite to the imaging site. In order to determine the scattering dose of uncompressed breasts during CC and MLO tests when the right and left are compressed, the experiment is divided into when bismuth is not shielded (Not used: NU group) and when shielded (Used: U group). Proceeded. The average dose of the NU group was $9.568\mu\text{Sv}$, and the average dose of the U group was $1.038\mu\text{Sv}$. The average measured dose before and after the use of the bismuth shield was reduced by 89.15%. The use of a bismuth shield for mammography can shield scattered radiation and keep exposure to radiation to a minimum.

키워드: 방사선 방어, 비스무트 차폐체, 유방 촬영술, 유방암

Keywords: Bismuth shield, Radiation protection, Mammography, Breast cancer

Received 22 August 2020, Revised 28 August 2020, Accepted 30 August 2020

* Corresponding Author Jae-Seok Kim(E-mail:m4f5r@naver.com, Tel:+82-31-219-5872)

Chief radiotechnologist, Department of Radiology, Ajou University Hospital, Suwon, 16499 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.9.1132>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

유방암이 여성 암 발생률이 1위를 차지하게 된 2001년부터 2017년까지의 통계에 따르면 유방암의 발병률이 해가 바뀔 때마다 늘어나고 있다는 것으로 밝혀졌다. 유방암의 연간 발생률은 약 6%대로 꾸준히 증가하고 있는 추세이며 주 발병 원인의 큰 축을 담당하고 있는 위험인자로는 여성 호르몬(에스트로겐) 과다 분비, 빠른 초경 및 늦은 초경, 스트레스, 흡연, 비만 등이 있다.[1]

또 다른 위험인자로는 치밀 유방이 있는데, 치밀 유방과 유방암 발생 빈도와 연관이 있는 것으로 알려져 있는데 여러 위험인자 중 유방암으로 이어질 위험이 가장 큰 것이 치밀 유방이다. 치밀 유방의 가장 큰 위험으로는 유방조직의 밀도가 높아질수록 유관과 주변 조직을 둘러싸고 있는 세포가 밀집 되고, 밀집될수록 유방 촬영영상에서 유선 조직과 암세포가 흰색으로 나타나기 때문에 유방암의 초기 증상인 유방 종괴와 석회화 병변을 식별하기가 어렵다는 단점이 있다.[1]

따라서 위와 같은 단점을 보완하기 위해 유방 촬영술과 유방 초음파를 동시에 병행하여 관련 병소들을 찾고 진단을 하는 추세이다. 유방 초음파는 유방의 종괴나 낭종을 찾는데 탁월한 성능을 가지고 있지만 유방암의 중요한 초기 증상인 석회화 병변을 찾을 수 없어 석회화 병변을 찾는 데에는 유방 촬영술을 이용해 식별해 내는 상호보완적 관계를 유지하고 있다.

그러나 아직까지 인체에 해로운 영향을 끼친다는 연구 결과가 밝혀지지 않은 의료용 초음파와는 다르게 유방 촬영술의 경우 유방 조직의 대부분은 지방으로 이루어져 있어 저관전압(25~30kVp)을 사용하고, 고관전류로 설정하고 촬영하기 때문에 피폭의 우려가 있어 검사를 받는 여성 중 불안감을 느끼는 여성들이 다수이다. 20kVp대의 저에너지 X선을 사용함으로써 광전흡수(Photoelectric absorption)와 콤프턴 산란(Compton scattering)으로 인해 유방조직에 흡수되는 선량이 증가하여 환자의 피폭선량 또한 증가하게 된다.[2] 저에너지 방사선 피폭으로 인한 생물학적 영향으로 확률적 영향에 관련된 선형 무 문턱(Linear-Non-Threshold ; LNT) 모델을 적용하여 가능한 방사선에 의한 피폭을 최소화하여 유지하는 것이 필요하다.[3] 의료행위로 인한 피폭은 환자가 진료목적에 의한 수혜자로 정당화되기 때문에 선량한도를 정하지 않았지만, 방사선에 의한 피폭을

줄이기 위해 국제 방사선 방어위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)에서는 가능한 한 낮게(As Low As Reasonable Achievable; ALARA) 최소화하는 것을 권고했고 외부피폭을 줄이기 위한 원칙으로 시간, 거리, 차폐를 제안하였다.[4] 그러나 유방 촬영 장치의 X선관과 유방의 거리는 일정하게 고정되어 있으므로 거리에 대한 효과를 기대할 수 없고, 임상에서 유방 촬영 시 일반적으로 사용되는 노출 시간은 약 0.4~1sec으로 메뉴얼화되어 시간 단축에 의한 효과 또한 매우 제한적이다. 따라서 실제로 유방 촬영 시 피폭을 줄이기 위해 환자와 선원 간 차폐체를 적용하여 피폭을 줄이는 것을 고려할 수 있다. 유방 촬영 시 상하 방향으로 1회 촬영할 경우 3mGy (human breast composed of adipose tissue 50% & glandular tissue 50%, Mo target & Mo filter, 4.2cm compress, CC view) 이하로 제한하는 선량 기준이 있지만 이것은 한쪽 유방 촬영 시 다른 쪽 유방의 간접 피폭은 계산되지 않은 선량이다.[5] 한쪽 유방에 상하 방향 1회 촬영과 내외방향 1회 촬영 시 촬영하지 않은 유방은 간접 피폭이 2회 발생하기 때문에 각각의 유방은 직접 피폭되는 2회와 간접 피폭되는 2회가 발생하게 되어 직접 피폭에 의해 계산된 선량보다 실제 피폭이 증가할 것으로 예상된다.

Bismuth 차폐체는 방사선으로부터 눈, 갑상선, 유방과 같은 표면 장기를 보호하는 수단으로 하나로 CT 검사 중에 주로 사용하고 있다. CT 검사하는 동안 Bismuth 차폐체는 장기 또는 관심 영역(Region of Interest)의 표면 위에 배치되어 1차 엑스레이 빔이 환자에 도달하기 전에 30~50% 감쇠하는 효과를 나타낸다.[6]

본 논문에서는 유방 X선 촬영 장치를 이용한 유방 촬영을 실시할 때 발생하는 불필요한 피폭 선량을 경감시키기 위해 비스무스로 인체공학적으로 자체 제작한 차폐체를 촬영 부위의 반대 측 유방에 적용했을 때 유의미한 차폐율을 분석하고자 한다.

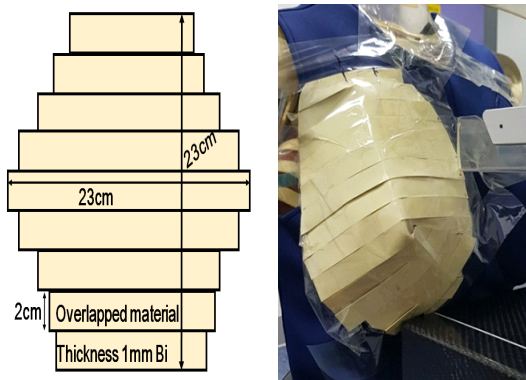
II. 본 론

2.1. 유방 촬영 차폐체 제작

일반적인 유방 촬영 시 사용되는 30kVp 이하 관전압으로 인해 산란되는 방사선을 차폐 대상으로 하였고, CT 검사하는 동안 갑상선과 유방, 수정체를 보호하는

데 쓰이는 비스무스 차폐체를 이용하여 유방촬영용 차폐를 제작하였다. 비스무스 차폐체 재질은 라텍스가 함유되지 않은 비스무스 합침 합성고무이며, 두께는 1mm, 크기는 인체공학적인 설계에 의하여 유방용 23cm Width × 23cm Height로 방추형이며, 그림 1(a)와 같이 자체 제작하였다. 또한 유방촬영 시 편리하고 신속하게 환자 유방을 감싸기 위해 Velcro (찍찍이)를 양쪽 끝에 부착한 후 등 뒤로 감싸는 탈부착이 가능하게 제작하여 실험하였다.

유방 촬영 시 촬영 부위의 반대쪽 유방은 노출되어 있음으로 불필요한 피폭 선량을 받을 확률이 높다. 그러므로 본 실험에서는 피폭 선량을 경감시키는 것에 주안점을 두고 유방 모양에 맞추어 비스무스를 세로 2cm 간격으로 재단하여 차폐체를 제작하였다. 그 후 유방 모형에 맞추어 그림 1(b)와 같이 추가적으로 재단을 하였다. 높이 23cm 가로 길이 23cm로 타원형으로 재단하여 실험하였다.



(a) Bismuth Shield Drawing (b) Manufactured bismuth shield
Fig. 1 Bismuth Shield Drawing & Manufactured bismuth shield

2.2. 실험 장치 및 측정기

유방 촬영용 X선 발생 장치 (모델 : SOUL Digital Mammography 제조사 : MEDI - FUTURE, 제조국 : KOREA.) 인체 흉부 상반신 팬텀 Chest Phantom: R.S.D RS-111TRadiology Support Devices Inc. 제조국: USA) 을 사용하였다.

그림 2(a)의 흉부 팬텀 위에 유방을 대신하여 실습 전용 실리콘 조끼를 착용하여 그림 2(b)를 적용하였으며, 방사선 계측기 OSLD (Optically Stimulated Luminescence

dosimeter) nanoDot® dosimeter (courtesy of landauer, Inc.) 교정일: 2020, 2, OSLD에 남아있는 배후 방사선 (Back ground)을 제거하기 위한 소거기는 OSL ANNEALING (Serial NO: HA-ONH001, Hanil Nuclear co., Korea)을 사용하였다.



(a) Thoracic Phantom (b) Practice Silicone Breast Vest

Fig. 2 Thoracic Phantom & Practice Silicone Breast Vest

측정된 조직 흡수 선량 (mGy)은 식 (1)의 방정식에 따라 방사선에 대한 가중 인자 (WR=1)를 사용하여 조직 등가 선량 (μSv)으로 변환하였다.

$$\text{Organ-Equivalent Dose} = \text{Organ Absorbed Dose} \times \text{Weighting Factor of Radiation (WR=1)} \quad (1)$$

방사선 출력(Radiation output)은 28kVp (관전압 변동계수 = 0.002) 63mAs를 사용하였고 Mo Target / Rh Filter로 manual로 조사하였다. 산란 방사선 측정 시 방향에 따른 오차를 줄이기 위해 OSLD는 팬텀의 실리콘 유방의 옷에 정면을 향하도록 하여 표면 흡수선량을 측정하였다. 유방 Thickness는 127.0mm로 설정하였고, 압력은 5.8 lbf로 측정을 하였다.

2.3. 유용성 평가

유방의 정중앙(Nipple)을 중심으로 5개의 광 유도 발광 선량계 (Optically Stimulated Luminescent Dosimeter, OSLD, nanoDot)를 원형으로 5cm 주위의 원형으로 그림 3(a,b)와 같이 부착하여 실험하였다.

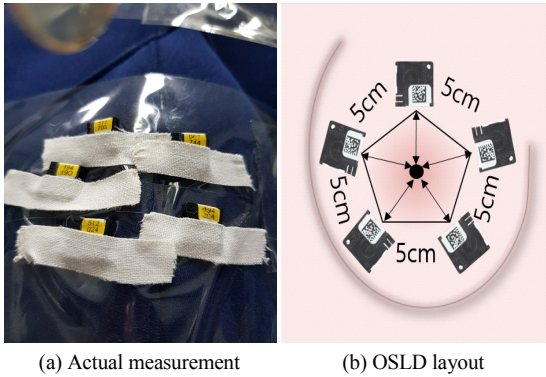


Fig. 3 OSLD measurement photos and layout

실험 방법은 오른쪽을 압박하였을 때 상하 방향 촬영 Cranio caudal projection (CC)와 내외 방향 촬영 Medio lateral oblique (MLO) 검사 시 압박되지 않는 왼쪽 유방의 선량을 알아보기 위하여 비스무스를 차폐하지 않았을 때 (NU그룹)와 차폐했을 때 (U그룹)로 구분하여 실험을 진행하였다. 이와 동일한 방법으로 왼쪽을 압박하였을 때 CC, MLO 검사 시 압박하지 않는 오른쪽 유방의 선량을 알아보기 위하여 비스무스를 차폐하지 않았을 때 (NU그룹)와 차폐했을 때 (U그룹)로 구분하여 실험하였다. 유방 엑스레이는 일반적으로 오른쪽 상하 방향 촬영 (RCC), 왼쪽 상하 방향 촬영 (LCC), 오른쪽 내외 사 방향 촬영 (RMLO), 왼쪽 내외 사 방향 촬영 (LMLO)을 Routine series로 사용하며, Routine 검사의 경우 4회 촬영한다. 4회 촬영 중 한쪽씩 검사를 하며, 반대쪽은 자연스럽게 산란 방사선의 누출이 이루어지는 상황이다. 측정은 Breast routine series를 총5회 촬영하여 CC 및 MLO 유방 촬영 시 촬영하지 않는 반대측 유방에서 측정된 산란선에 의한 피폭선량 측정값을 Nipple을 중심선으로 5cm로 측정하였으며, A 그룹 (RT CC 미차폐 왼쪽측정), B 그룹 (LT CC 미차폐 오른쪽측정), C그룹 (RT MLO 미차폐 왼쪽측정), D 그룹 (LT MLO 미차폐 오른쪽측정)로 구분하였고, 비스무스 차폐체 사용은 E그룹 (RT CC 차폐 왼쪽측정), F그룹 LT CC 차폐 오른쪽측정), G그룹 (RT MLO 차폐 왼쪽측정), H그룹 (LT MLO 차폐 오른쪽측정)으로 구분하여 측정하였고, 상위 그룹으로는 비스무스 미사용 (NU)그룹과 비스무스 사용 (U)그룹으로 구분하여 평균 비교와 통계 조사를 하였고, 결과 분석은 통계 프로그램 SPSS ver 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 통해 두 그룹 간에 표

면 흡수선량을 비교 분석하였다.

95% 신뢰구간 (CI)에 해당하는 수준에서 유의한 차이를 검증하기 위해 Paired t-test를 사용되었다. 유의 수준은 $p < 0.05$ (양측)로 설정되었다.

III. 결 과

비스무스를 차폐하지 않은 그룹의 측정 선량 평균값은 (NU그룹) 표 1과 같이 A그룹의 측정 선량 평균은 $9.175\mu\text{Sv}$ 이었고, B그룹의 측정 선량 평균은 $8.618\mu\text{Sv}$, C그룹의 측정 선량 평균은 $10.327\mu\text{Sv}$, D그룹의 측정 선량 평균은 $10.153\mu\text{Sv}$ 였다.

Table. 1 Average value of each group when the bismuth shield is not used (μSv)

	A group	B group	C group	D group
Inspection location	RT CC	LT CC	RT MLO	LT MLO
Measurement site	LT	RT	LT	RT
Deep dose (μSv)	9.175	8.618	10.327	10.153

비스무스를 차폐한 그룹(U그룹)의 측정 선량 평균값은 표 2와 같이 E그룹의 측정 선량 평균은 $1.440\mu\text{Sv}$ 이었고, F그룹의 측정 선량 평균은 $0.741\mu\text{Sv}$, G그룹의 측정 선량 평균은 $0.977\mu\text{Sv}$, H그룹의 측정 선량 평균은 $0.993\mu\text{Sv}$ 였다.

NU 그룹의 평균 선량은 표 3과 그림 4에서 보듯이 $9.568\mu\text{Sv}$ 이었고, U그룹의 평균선량은 $1.038\mu\text{Sv}$ 이었다. 비스무스 차폐체 사용 전후의 평균 측정선량은 89.15% 감소하였다.

비스무스 차폐체 사용 전후의 평균값을 대응 표본 t-test를 실시한 결과 표 4와 같이 NU그룹에 비해 U그룹이 표면 흡수선량이 낮은 것으로 나타났으며 t 값 44.1, 표준편차 2.737, $p < 0.001^{***}$ 로 유의한 차이를 보였다.

Table. 2 Average value measured by group when using bismuth shield (μSv)

	E group	F group	G group	H group
Inspection location	RT CC	LT CC	RT MLO	LT MLO
Measurement site	LT	RT	LT	RT
Deep dose (μSv)	1.440	0.741	0.977	0.993

Table. 3 Average comparison of UN group U group by group test method (μ Sv)

	UN group	U group
CC (average)	8.897	1.091
MLO (average)	10.2404	0.9851

Table. 4 Paired sample t test of UN group and U group

Group	t - test equality of the means				
	p	Std	Std.err d	t	Sum
UN - U	<0.000	2.737	.193	-44.1	-8.53

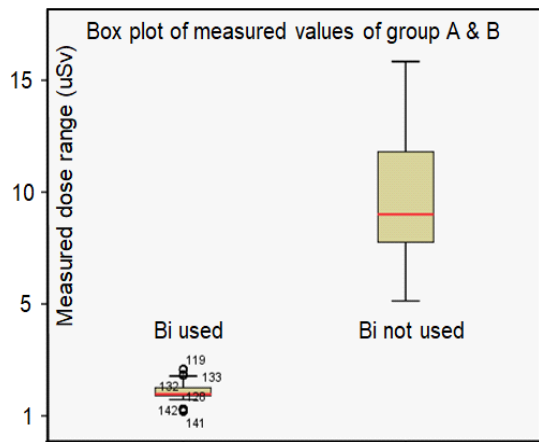


Fig. 4 Graph of measured values before and after bismuth use

IV. 토 의

여성의 나이가 증가하면서 다양한 원인으로 인해 유방암의 발병률이 높아지는 것은 전 세계적인 추세이다. 이러한 유방암의 조기발견을 위한 유방 X선 촬영은 유방암으로 인한 사망률을 감소시키지만 반복되는 방사선 노출은 방사선에 의한 확률적 영향을 높이게 된다. 미국 국립보건원 연구에서 35세부터 평생 유방 촬영 검진 시 1,000,000명 중 143명이 유방암 사망자가 발생할 것으로 보고하였고, 100,000명의 55~74세 여성을 대상으로 2년마다 양측 유방에 각각 3.7 mGy 선량을 받았을 때 86건의 암 발생과 11건의 사망이 발생하였다.[7] 따라서 유방암의 조기발견을 위한 정기적인 유방 촬영은 암으로 인한 사망률을 줄이는 동시에 암 발생의 한 원인

이 된다. 방사선의 위해와 관련하여 인체의 다양한 장기와 조직의 상이한 방사선 감수성을 고려하여 ICRP 에서 12개의 조직과 장기 및 잔여조직 가중치의 합은 1이고 그중 유방의 조직 가중치는 0.05에서 0.12로 높아졌다. 또한 방사선이 조사되었을 때 가장 민감하게 반응하는 정도를 나타내는 방사선 감수성이 높은 장기 중 하나인 임파선의 일부는 유방 주위의 겨드랑이 부위에 위치하므로 방사선 노출에 의한 피폭을 줄일 필요가 있다. 국제원자력기구 (International Atomic Energy Agency ; IAEA)에서 제시한 성인 환자의 방사선량 guidance level 에서 Mammography는 3mGy 이하를 권고하였다.[8]

구 등의 연구[9]에 의하면 피폭선량이 높았던 내측의 경우는 256 μ Gy이었고 양측 유방이 받는 간접피폭선량은 278 μ Gy이고, 내측은 경우는 512 μ Gy이었다고 보고된 바 있다. 본 논문과 선량차이가 나타나는 이유는 OSLD는 피부 표면선량을 분석하였고, 측정 선량에 면적을 곱해서 결괏값을 구하면 비슷한 선량이 나올 것으로 판단되며, 유방의 지름을 23cm로 계산하여 원 둘레를 구하면 415.2 μ Sv로 계산값이 나오며, 이전 논문과 유사한 값을 얻을 수 있었다.

납 Apron을 사용해서 실험했을 경우와 비슷하게 본 연구에서도 9배 가량 산란 선량이 감소한다는 것을 실험을 통해 확인했으며, 납 Apron은 재질의 유연성이 없고 코로나 시대에 감염관리의 중요성에 따라 보관 및 감염의 문제가 있고, 납의 위해성이라는 좋지 않은 편견으로 인해 환자에게 적용하기에 부담스러운 면이 있다. 또한 비스무스는 라텍스 재질과 유사하며, 유방에 접촉할 수 있도록 유연성과 밀착성이 우수하고 차폐율 또한 CT에서는 1차 선량의 감쇠로 인해 30~40%가 감쇠되지만 유방 촬영술에서는 산란 방사선이므로 감쇠율이 90% 정도가 되는 것으로 판단된다. 그러므로 납의 위험성으로 인한 부담보다는 비스무스로 대체하여 사용하면 환자에게 불안감이 해소 될 것으로 판단한다. 또한 비스무스는 환자 검사 후 소독제로 간편히 소독할 수 있고, 손실과 찢어짐이 적으며, 환자의 유방 크기에 따라 대 중 소로 제작이 가능하고, 검사실에 별도의 보관장치가 필요하지 않으며, Velcro를 이용하여 손쉽게 탈부착이 가능함으로 탈의 하는 식의 의복 형식으로 제작된 제품은 유방이 크거나 체중이 많은 환자의 크기별 제작이 용이하지 않다. Routine 유방촬영 시 양측 유방에서 받게 되는 산란선량은 IAEA[4]에서 제시한 성인 환자의 Chest

PA 방사선량의 Guidance level이 0.4 mGy 인 것과 비교하면 충분히 높은 선량으로 볼 수 있고, 정 등의 연구[10]에 의하면 유방촬영장치의 공간 선량률 평가에서 촬영장비를 기준으로 수평방향으로의 선량이 높게 나타났으며, 촬영자의 방사선에 의한 피폭을 줄이기 위해 차폐의 보완이 필요하다고 하였다. 본 연구에서도 촬영 측 유방의 수평방향에서 가까운 반대 측 유방의 방사선에 의한 피폭이 상하방향과 내외방향 촬영 모두 높게 나타났으며, 유방촬영 시 주변으로 산란되는 방사선으로 인한 가장 큰 피폭의 대상자는 환자 자신으로 볼 수 있고, 검사 측 유방에서 가장 가까이 위치하는 반대 측 유방에 방사선 피폭을 줄이기 위해 비스무스 차폐체의 두께를 1mm와 2mm, 3mm로 부분별로 내측방향에 보강하여 차폐가 필요하다고 사료된다. 본 연구는 유방 엑스레이 검사 시 기존의 촬영방법과 달리 유방 검사용 비스무스 차폐체를 적용한 상태에서 촬영 측 유방의 조사야에 포함되지 않는 신체부위를 차폐하여 유방촬영과 관계없이 산란되는 방사선에 의한 피폭을 효과적으로 차폐하는 것을 확인할 수 있었다. 연구의 제한점으로는 유방의 크기, 환자의 키, 환자의 체중, 나이, 등의 다양한 변수가 있으므로 실제 환자에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서 비스무스 차폐체 적용시 한쪽 유방의 상하방향과 내외방향 X선 촬영 시 반대 측 유방에 피폭된 선량은 상하 방향은 87.7%감소를 보이고 내외방향은 90.3% 감소를 보인다. 유방 엑스레이 검사 시 자체 개발된 유방 보호 비스무스 차폐체를 사용 할 경우 모든 방향에서 산란 방사선이 89.15% 감소했다. 여성들의 유방암 예방을 위해 유방촬영을 실시할 경우 자체 개발된 유방촬영용 비스무스 차폐체를 사용하면 산란 방사선을 차폐하여 방사선에 의한 노출을 최소한으로 유지할 수 있다.

REFERENCES

- [1] A. Jemal, R. Siegel, Ward. E., T. Murray, J. Xu, and M. J. Thun, "A Cancer Journal for Clinicians," *American cancer society*, vol. 57, no. 1, pp. 43-66. Feb. 2007.
- [2] R. R. Calton, A. M. Adler, and V. Balac, "Principles of Radiographic Imaging: An Art and A Science," *6th Edition. 3rd ed. Delmar, CA:Delmar Thomson Learning*, 2001.
- [3] L. S. Béatrice, L. Dana, S. Kurt, and S. Chiara, "Breast-cancer screening-viewpoint of the IARC working group," *New England Journal of Medicine*, vol. 372, no. 24, pp. 2353-2358, Jun. 2015.
- [4] International Commission on Radiological Protection. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Elsevier: ICRP Publication 103; Ann ICRP 37(2-4); 2007.
- [5] Korean Institute for Accreditation of Medical Image. Inspection standard Specification [Internet]. 2002 [cited 2018 November 19]. Available: <http://www.ikiami.or.kr/info/KMI418QD.aspx>.
- [6] J. S. Kim, Y. K. Kim, and J. H. Choi, "Effects of self-made bismuth shield installation on entrance surface dose reduction during endovascular treatment of cerebral aneurysms", *Journal of Korean Society of Radiology*, vol. 13, no. 2, pp. 175-183, Apr. 2019.
- [7] S. F. Hurlley, and J. M. Kaldor "The benefits and risks of mammographic screening for breast cancer," *Epidemiol Rev.* vol. 14, pp. 101-103, 1992. DOI: 10.1093/ oxford journals. epiрев. a036082.
- [8] International Atomic Energy Agency, Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation. Safety Standards Series No. RS-G-1.5 [Internet]. 2002 [cited 2018 October 2. Available: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1117_scr.pdf.
- [9] B. Y. Koo, and J. W. Kim, "A Study on the Usefulness of Breast Shielding Apron for Reducing Exposure Dose," *Journal of Radiological Science and Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 99-104. Mar. 2019.
- [10] H. M. Jung, H. M. Jung, H. J. Hyun, and D. Y. Won, "The Evaluation of Space Dose Distribution for Digital Mammography Equipment," *Journal fo the Korean Society of Radiology*, vol. 9, no.1, pp. 59-63, Jan. 2015.



김재석(Jae-Seok Kim)

2006년 대전보건대학교 방사선과(학사)
2016년 경기대학교 의학물리학과(이학석사)
2020년 아주대학교 의용공학과(공학박사)
※관심분야: MRI Safety, Radiation protection,
Big data