

# Reduced Effect of kV-CBCT Dose by Use of Shielding Materials in Radiation Therapy

Hyeonjong Jo,<sup>1</sup> Euntae Park,<sup>2</sup> Junghoon Kim<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiation Oncology, Haeundae Paik Hospital, Inje University, Korea

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, BuSan Paik Hospital, Inje University, Korea

<sup>3</sup>Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Korea

Received: June 26, 2018. Revised: August 25, 2018. Accepted: August 31, 2018

## ABSTRACT

CBCT is useful for improving the accuracy of the treatment site, but Repeated use increases the exposure dose. In this study, we aimed to provide basic data for dose reduction in CBCT implementation by dataization the simulating and dose reduction effect using shielding substance.

Material in this study, Analyzation the photon beam by simulate the CBCT Through MCNPX and then calculate the absorption dose of body organ at shooting moment of thoracic abdominal position as target UF-Revise simulated body. At this time. Dose reduction effects at this time were evaluated according to the texture of materials and presence of shielding materials( lead, antimony, barium, sulfate, tungsten, bismuth).

When CBCT was taken without shielding, the dose was calculated to be high in the breast and spine, and the dose in the esophagus and lung was calculated to be low. The doses according to the shield material were calculated as barium sulfate, antimony, bismuth, lead, and tungsten. The shielding rate was the highest in the thymus (73.6%) and the breast (59.9%) compared with the dose reduction according to presence or absence of the shield. However, it showed the lowest shielding rate in lung (2.1%) and spine (12.6%).

Keyword: CBCT, Shielding, Absorbed dose, Dose reduction, Radiation therapy

## I. INTRODUCTION

방사선 치료의 궁극적인 목적은 정상조직을 보호하고 종양조직만을 선택적으로 사멸하는 것이며, 이를 위해 치료법과 장비의 기술적 부분이 상호 보완적으로 발전해 오고 있다.<sup>[1]</sup> 대표적으로 세기변조 방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT), 정위적체부방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT), 입체적세기조절방사선치료(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT) 등이 개발되었다. 이는 정상조직에 대한 선량을 최소화 할 수 있어 1회에 높은 선량이 처방가능하게

되면서 치료법의 효과를 극대화 할 수 있게 되었다.<sup>[2,3]</sup>

영상유도 방사선치료에 유용하게 이용되는 CBCT(Cone Beam Computed Tomography)는 360° 회전을 통해 3차원 영상 획득이 가능하고 필터를 사용함으로써 고품질의 영상을 획득할 수 있기 때문에 치료 부위의 정확도를 향상시키는데 획기적인 방안이 되었다. 그러나 인체에 대한 피폭선량이 높은 단점이 있으며 치료 특성 상 매회 시행하는 것을 감안한다면 잠재적인 위험은 무시할 수 없다.<sup>[4]</sup>

이와 관련하여 선행연구의 결과를 보면, KAN은 CBCT를 사용하여 환자 위치를 검정한 결과 (총35

\* Corresponding Author: Jung-hoon Kim

E-mail: donald@cup.ac.kr

Tel: +82-51-510-0583

회) 중요한 일부 장기에서 1.5 Gy~2.0 Gy의 추가 용량을 유발할 수 있어 2차성 암의 전반적인 위험이 3~4% 증가 할 수 있다고 보고하였다.<sup>[5]</sup> 이러한 내용을 바탕으로 AAPM Task Group 75 보고서에서는 감수성 장기를 보호하기 위해 CBCT 사용 시 피부선량 및 장기선량 평가를 하여야 한다고 권고하였으며,<sup>[6]</sup> Song은 두경부 1~17 mGy, 흉부 11~18 mGy, 골반 24~54 mGy로 CBCT 선량 값의 범위를 제시하였다.<sup>[7]</sup> 이에 본 연구에서는 몬테카를로 모의실험을 통해 CBCT 영상장치를 전산모사하고 차폐체 사용 유·무에 따른 장기 피폭선량을 분석하여 선량 저감화를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 몬테카를로 기법

본 연구에서 모의모사에 사용된 프로그램은 MCNPX (Monte Carlo N-Particle Extended version 2.5.0, USA)-code로써 다른 프로그램에 비해 여러 가지 목적에 적용할 수 있으며, 비교적 정확하고, 많은 입자의 종류를 모의실험을 할 수 있는 장점이 있다. MCNPX 코드는 1977년 로스알라모스 연구소 (Los Alamos National Laboratory)에서 최초로 공개한 범용 방사선 수송 코드로써 광자, 중성자, 전자, 양성자 등 34개의 입자의 수송 및 해석이 가능한 프로그램으로 방사선을 이용한 모의실험에 널리 이용되고 있다. 그리고 tally를 사용하여 방사선량에 대한 결과 값을 사용자가 원하는 형태로 계산할 수 있다는 장점이 있다. 또한 Windows 운영 체제에서

구동이 가능함으로써 이용자의 접근이 용이하다는 장점이 있다.

### 2. 모의모사

#### 2.1 X-선관 모사

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 운용되고 있는 Varian사의 On-Board Imager System (OBI system version 1.4, Varian, USA) 조건을 기준으로 설정하였으며, 구성은 Fig. 1과 같이 하였다.

Target 재질은 텅스텐 95%와 로듐 5%의 합금을 사용하였으며, Target 각도는 14°를 사용하였다. 부가 필터는 half, full 필터를 모사하였다. 필터의 재질은 알루미늄으로 2 mm 두께를 적용하였으며, 사용된 재질의 물성은 Table 1에 나타내었다. OBI의 경우 재구성하는 환자 부위의 FOV(Field of View) 크기에 따라 full fan mode와 half fan mode를 사용하는데, 본 연구에서는 방사선에 민감성 장기가 많이 포함되어 있는 흉복부를 대상으로 실험을 진행하였기 때문에 half-bowtie 필터를 사용하여 인체 내 장기의 평균 흡수선량을 평가하고자 하였다.

Table 1. Material specification of X-ray tube

	Target material		Filter material
	Tungsten	Rhodium	Aluminium
Atomic number	74	45	13
Density (g/cm <sup>3</sup> )	19.25	12.41	2.7

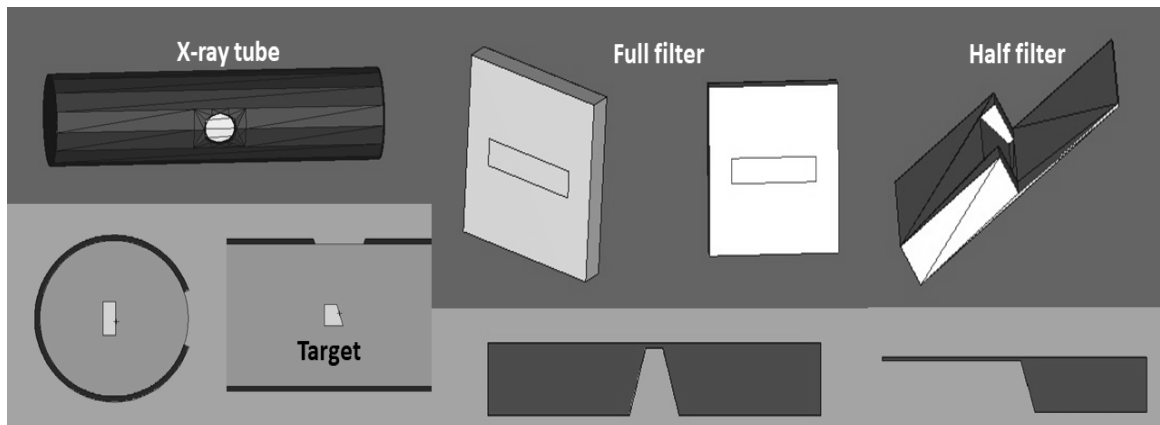


Fig. 1. Structure of kV-CBCT tube in MCNPX.

2.2 인체 피폭체 전산모사

인체 내부 피폭을 실제 인체를 대상으로 평가하는 것은 불가능하다. 이에 컴퓨터를 이용한 가상의 공간에 인체 모의 피폭체를 이용하여 인체 선량을 평가하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 UF-revised 모의 피폭체를 사용하여 인체 선량 평가를 진행하였으며, 모의 피폭체의 구성은 Fig. 2와 같다.

UF-Rivised 모의 피폭체는 인체 장기를 총 95개로 세분화하여 인체와 유사하게 표현하였으며, 장기를 구성하는 물질은 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP) 89와 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units&Measurements, ICRU) 46을 근거로 총 22개의 물질로 표현하였다.

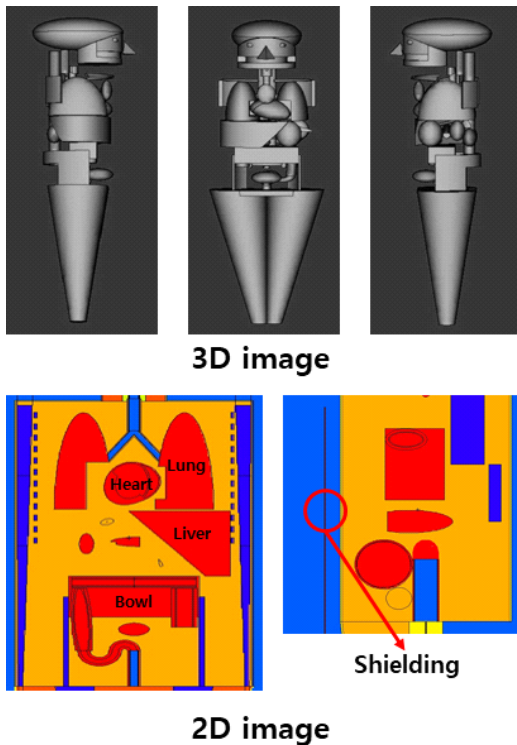


Fig. 2. UF-revised phantom and UF-revised phantom with a shield.

2.3 차폐체 모사

CBCT 촬영 시 피폭 저감화를 위해 차폐체를 비스무스, 텅스텐, 황산바륨, 안티몬, 납으로 구성하였으며, 물성정보는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Specification of shielding material

	Atomic number	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Symbol of element
Bismuth	83	9.747	Bi
Tungsten	74	19.24	W
Barium Sulfate	45.5	4.50	BaSO4
Antimony	51	6.70	Sb
Lead	82	11.34	Pb

차폐 물질은 가장 일반적으로 사용하고 있는 납을 기준으로 이를 대체할 수 있는 물질을 선택하고자 하였으며, 기존의 연구들을 참고하였다. 각 차폐물의 특성을 간략하게 서술하면, 비스무스의 경우 목적 장기에 알맞게 제작이 용이한 장점이 있으며, 텅스텐은 차폐율은 우수하나 가격이 높은 단점이 있다. 황산바륨과 안티몬은 독성을 가지지 않는 장점이 있다.

본 연구에서는 장기흡수선량을 평가하기 위해서 차폐 물질은 두께 1 mm 로 설정하였다. 그 이유는 차폐 물질이 환자 체표면에 적용하였을 때 무게로 인한 환자 Set-Up의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 차폐물질 무게에 따른 오차발생 확률을 줄이고, 또한 차폐물질의 두께에 따른 피부선량을 최소화시키기 위해서 위와 같은 두께를 선정하였다.

3. 실험방법

3.1 광자선 특성 분석

모의실험에 있어서 가장 중요한 것은 실제 기하학적 구조와 유사하게 모사하였는지 여부와 이에 대한 신뢰도 확보이다. 이에 본 연구에서는 모사한 CBCT에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 광자선의 특성을 평가하고자 하였다.

모의실험 대상으로 한 관전압은 100 kVp, 120 kVp, 125 kVp로 설정하였고 이때 Tally 5번을 사용하여 전자(e) 1 개를 가속하였을 때, 발생하는 광자선에 대한 플루언스 (photon number/cm<sup>2</sup>/e)를 계산하고, 에너지 분포를 1 keV 간격으로 광자 스펙트럼을 분석하였다.

이를 바탕으로 타 연구와 비교 분석하여 신뢰성을 확보하고자 하였다.

### 3.2 인체 선량 평가

본 연구는 흉복부 방사선 치료 시 시행하는 CBCT로 인해 인체가 받는 피폭선량을 평가하고 차폐체를 이용 시 피폭 감소에 대한 자료를 확보하고자 한다.

이에 본 연구에서는 앞서 평가한 광자 스펙트럼을 선원으로 지정하여 CBCT 촬영 시 UF-revised 모의 피폭체가 받은 피폭선량을 계산하였다. 이어서 각 부위별로 차폐 물질을 사용하였을 때와의 비교를 통해 차폐물질의 선량 저감 특성을 평가하였다. 선량 평가를 시행한 장기는 유방, 폐, 위, 흉선, 식도, 심장, 척추, 간, 소장 이며 주로 방사선치료에서 처방 선량 결정 시 고려해야 될 민감성 흉복부의 장기이기 때문에 이와 같은 장기를 선택하였다.

Fig. 2은 UF-revised 모의 피폭체에 차폐체를 적용한 모습이다. 차폐체의 두께는 에너지 영역이 kV 인 것을 고려하여 1 mm로 설정하여 흉복부에 위치한 장기의 흡수선량을 계산 하였으며, 이 때, 사용한 Tally는 F6을 사용하여 결과 값을 MeV/g으로 계산한 후 mGy로 환산하였다.

본 모의실험에서 계산한 모든 결과 값의 상대 오차를 3% 이내로 하기 위해 반복실험에 해당하는 nps 값을 107으로 설정하여 결과 값에 대한 신뢰도를 확보하였다.

## III. RESULT

### 1. 광자선 특성 분석

모의모사한 CBCT에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 발생한 광자선을 분석하였다.

분석한 결과, 계산된 광자 스펙트럼을 Fig. 3으로 나타내었으며, 이 때, 광자 Flux, 평균에너지, 특성 X선 에너지 영역을 Table 3으로 나타내었다.

이를 자세히 분석하면, 관전압이 증가할수록 광자 플럭스와 평균에너지가 높아지는 것으로 확인되었다. 특성X선의 경우 에너지에 관계없이 60, 69 keV에서 나타났다.

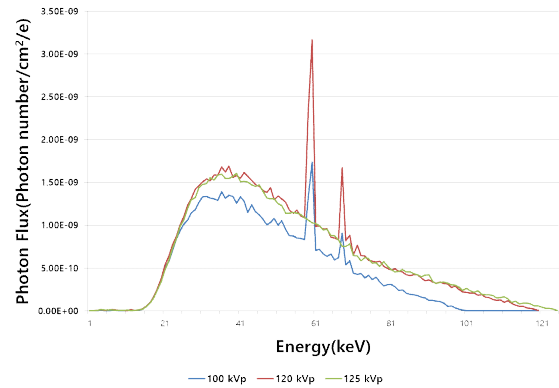


Fig. 3. Spectrum of photon when using filter.

Table 3. Numerical value according to tube voltage with filter

Tube voltage(kVp)	Characteristic x-ray energy (kVp)	Photon Flux (#/cm <sup>2</sup> )	Average energy (keV)
100	60, 69	5.86E-08	48
120	60, 69	8.26E-08	53
125	60, 69	8.67E-08	54

### 2. 인체 장기 흡수선량

#### 2.1 차폐를 사용하지 않았을 때 장기 흡수선량 평가

차폐를 하지 않고 CBCT 촬영을 진행하였을 때, 인체 장기 선량을 Fig. 4로 나타내었다. 이를 세부적으로 분석해보면, 선량은 유방, 척추에서 선량이 높게 계산되었으며, 식도, 폐에서 선량이 낮게 계산되었다. 수치를 보면, 1.96~5.78 mGy의 분포를 보였으며, 전체 장기에 대한 평균 흡수선량은 3.35 mGy로 계산되었다.

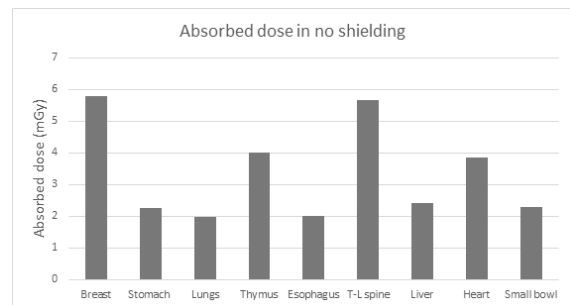


Fig. 4. Adsorbed dose of organ by type of non shielding. [Unit : mGy]

## 2.2 차폐체 재질에 따른 감소율 평가

안티몬, 황산바륨, 비스무스, 납, 텅스텐으로 차폐를 하여 CBCT 촬영을 시행하였을 경우 인체 장기 흡수선량을 Table 4로 나타내었다.

Table 4. Adsorbed dose of organ by type of shielding  
[Unit : mGy]

	Sb	BaSO <sub>4</sub>	Bi	Pb	W
Breast	2.4	2.59	2.16	2.14	2.14
Stomach	1.74	1.77	1.72	1.69	1.71
Lungs	1.93	1.93	1.92	1.92	1.92
Thymus	1.11	1.29	0.97	0.97	0.96
Esophagus	1.54	1.58	1.52	1.52	1.52
T-L Spine	4.94	5.01	4.92	4.92	4.90
Liver	1.75	1.81	1.72	1.72	1.71
Heart(R)	1.89	2.05	1.81	1.80	1.79
Small bowl	1.54	1.58	1.51	1.50	1.50

결과를 분석해 보면, 차폐체 종류에 관계없이 척추에서 가장 높은 선량이 계산되었으며, 흉선에서 가장 낮은 선량을 보였다.

차폐체 재질에 따른 선량을 보면, 황산바륨, 안티몬, 비스무스, 납, 텅스텐 순으로 선량이 높게 계산되었으며, 각 재질별 흡수선량 차이는 약 5~17% 정도로 산정되었다.

차폐체 사용에 유·무에 따른 평균 선량 감소율을 평가해보면, 유방 5.78 mGy 에서 2.29 mGy 로 59.9%, 위장 2.25 mGy 에서 1.72 mGy 로 23.3%, 폐 1.96 mGy에서 1.92 mGy 로 2.1%, 흉선 4.01 mGy 에서 1.06 mGy 로 73.6%, 식도 2.0 mGy 에서 1.53 mGy 로 23.2%, 척추 6.23 mGy 에서 4.96 mGy 로 12.6%, 간 2.40 mGy 에서 1.74 mGy 로 27.3%, 심장 3.86 mGy 에서 1.86 mGy 로 51.6%, 소장 2.28 mGy 에서 1.52 mGy 로 33.2%로 산정되어 흉선과 유방에서 가장 차폐율이 높고 폐와 척추에서 가장 낮은

차폐율을 보였다.

## IV. DISCUSSION

본 연구에는 CBCT를 모의모사하여 차폐 물질의 사용에 따른 흉복부의 장기 흡수선량을 평가하였다.

먼저, 모의실험에 있어서 가장 중요한 것은 모사하고자 하는 대상이 실제와 유사한 지 여부이다. 이에 본 연구에서는 모사한 CBCT에 대한 신뢰도를 확보하기 위하여 CBCT에서 발생하는 광자에 대한 분석을 우선적으로 진행하였다. 그 결과 본 연구에서 획득한 광자 플루언스, 스펙트럼, 특성선 및 평균 에너지를 기존의 연구<sup>[8,9]</sup>와 비교한 결과 스펙트럼 모양이 유사하였고, 특성선과 평균 에너지는 오차 범위 내에서 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 모사한 CBCT에 대한 신뢰도는 확보한 것으로 판단된다.

다음으로 CBCT 촬영 시 장기 흡수선량을 보면, 유방, 척추와 같이 표면에 근접한 장기의 선량이 높고 폐, 식도와 같이 심부에 위치한 장기의 선량이 낮게 나타났다. 이는 CBCT의 kV 에너지 에서 360° 회전을 하며 영상을 획득하기 때문에 빔 방향에 따른 광자선의 감쇠로 인해서 상대적으로 심부에 위치한 장기 선량이 적게 계산된 것으로 판단된다. 기존의 연구<sup>[10]</sup>를 보면, 방사선 방향에 따라 심부와 표면에 위치한 장기 선량이 약 7배 정도 차이가 나는 것으로 보고하였다. 이를 본 연구와 비교 시 유사한 경향성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

세 번째, 차폐체 종류에 따른 흡수선량을 분석하면, 황산바륨이 차폐율이 가장 낮았고 이어서 안티몬, 비스무스, 납, 텅스텐 순으로 차폐율이 높아짐을 확인할 수 있었다. 이는 안티몬, 비스무스, 납, 텅스텐은 황산바륨보다 원자번호가 높아 진단용 X선에 대한 광전 효과가 발생할 확률이 훨씬 크기 때문이며, 또한 물성에 따른 질량감약계수가 다르기 때문인 것으로 사료된다. 특히 텅스텐의 경우 kV-CBCT 에너지 영역에 따른 높은 흡수 확률로 인해 차폐 효과가 훨씬 큰 것으로 판단된다. 이와 같은 결과를 기존의 연구<sup>[11]</sup>와 비교하면, 텅스텐과 납이 동일한 두께일 때, 텅스텐에서 차폐율이 높은 것으로 분석되어 본 연구와 같은 결과로 해석되었다.

마지막으로, 장기별 차폐율을 평가해보면 흉선과 유방에서 가장 차폐율이 높고 폐와 척추에서 가장 차폐율이 낮게 계산되었다. 이는 유방과 흉선의 경우 차폐물이 직접적으로 근접해 있기 때문에 차폐율이 가장 높은 것으로 사료되며, 척추가 피폭되는 주된 원인은 180도 방향에서 입사하는 방사선이기 때문에 차폐체로 인한 선량의 감소 효과는 거의 없는 것으로 평가되었다. Palm et. al.<sup>[12]</sup>은 OBI system에서 실측을 통하여 장기의 흡수선량 데이터를 비교 및 분석하였다. 이를 본 연구와 비교하면, 유방·척추·소장 등에서 본 연구와 유사한 경향성을 보였다.

이러한 결과를 종합적으로 분석하였을 때, 본 연구 결과에 대한 신뢰도는 확보한 것으로 판단되며, 차폐물을 이용한 직접적인 선량 감소 방안과 함께 인체 선량에 대한 체계적인 데이터를 확보한 것으로 사료된다.

## V. CONCLUSION

본 연구에서는 kV-CBCT 사용 시 차폐물질 유무에 따른 흉복부 장기선량을 평가 하였다.

그 결과, 유방과 흉선에서의 차폐 효과가 높은 것으로 분석되었으며, 폐와 뼈의 경우 차폐 효과가 미미한 것으로 평가되었다. 따라서 차폐물을 사용하는 것이 환자의 방사선 방어학적인 관점에서 이득을 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 차폐물의 영향을 거의 받지 않는 척추와 폐에 대해서는 kV-CBCT 촬영 시 추가적인 누적선량에 특별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구에서 획득한 데이터를 통해 CBCT 촬영 시 환자 피폭 선량에 대한 기초자료 확보와 함께 차폐물 사용에 따른 선량 감소에 대한 데이터를 획득할 수 있었다.

## Reference

[1] L. S. Lee, "A Study on Mechanical Error in Cone Beam Computed Tomography (CBCT) System," Department of Radiology, The Graduate School of Hanseo University, 2013.

- [2] B. S. Park, "Analysis of dose distribution versus patient exposed dose according to the frequency of cone beam computerized tomography for prostate intensity modulated radiation therapy," Department of Medical Physics. The Graduate School of Korea University
- [3] Y. S. Yoo, H. J. Lee, D. Y. Kim, "Implementation of kV Cone Beam CT for Image Guided Radiation Therapy", Korean Society of Radiation Therapy, Vol. 19, No. 7, pp. 43-49, 2007.
- [4] B. S. Park, J. H. An, J. S. Kim, K. W. Song, "Evaluation of Every Other Day- Cone Beam Computed Tomography in Image Guided Radiation Therapy for Prostate Cancer," Korean Society of Radiation Therapy, Vol. 26, No. 2, pp. 289-295, 2014.
- [5] D. W. Kim, W. K. Chung, M. G. Yoon, "Imaging doses and secondary cancer risk from kilovoltage cone-beam CT in radiation therapy," Health physics, Vol. 104, No. 5, pp. 499-503, 2013.
- [6] K. Tsiklakis, C. Donta, S. Gavala, K. Karayianni, V. Kamenopoulou, C. Jhourdakis, "Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT," European Journal of Radiology, Vol. 56, No. 3, pp. 413-417, 2005.
- [7] W. Y. Song, S. Kamath, S. Ozawa, S. A. Ani, A. Chvetsov, N. Bhandare, J. R. Palta, C. Liu, J. G. Li, "A dose comparison study between XVI and OBI CBCT System," Medical Physics, Vol. 35, No. 2, pp. 480-486, 2008.
- [8] J. K. Park, S. H. Lee, S. Y. Cha, S. Y. Lee, "Study of Radiation dose Evaluation using Monte Carlo Simulation while Treating Extra hepatic Bile Duct Cancer with High Dose Rate Intra luminal Brachytherapy," Korea Contents Association, Vol. 14, No. 2, pp. 467-474, 2014.
- [9] G. X. Ding, D. M. Duggan, C. W. Coffey, "Characteristics of kilovoltage x-ray beams used for cone-beam computed tomography in radiation therapy," Physics in Medicine and Biology, Vol. 52, No. 6, pp. 0031-9155, 2007.
- [10] G. X. Ding, P. Munro, "Radiation exposure to patients from image guidance procedures and techniques to reduce the imaging dose," Radiotherapy and Oncology, Vol. 108, No. 1, pp. 91

-98, 2013.

- [11] G. T. Kim, S. S. Kang, S. C. No, B. J. Jeong, C. H. Jo, J. Y. Heo, J. G. Park, "Absorbed Spectrum Comparison of Lead and Tungsten in Continuous X-ray Energy Using Monte Carlo Simulation," Korean Society of Radiology, Vol. 6, No. 6, pp. 483-487, 2012.
  
- [12] A. Palm, E. Nilsson, L. Hermsdorf, "Absorbed dose and dose rate using the Varian OBI 1.3 and 1.4 CBCT system," Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 11, No. 1, pp. 229-240, 2010.

## 방사선 치료 시 차폐물질 사용에 따른 kV-CBCT 선량감소 효과

조현중,<sup>1</sup> 박은태,<sup>2</sup> 김정훈<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>해운대백병원 방사선종양학과

<sup>2</sup>부산백병원 방사선종양학과

<sup>3</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

### 요약

CBCT는 치료부위의 정확도 향상에 유용하지만, 반복적인 사용으로 피폭선량이 높아지는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 차폐체를 사용한 모의실험과 선량감소 효과를 데이터화하여 CBCT 시행 시 선량 저감화를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 MCNPX를 통해 CBCT를 모사하여 광자선을 분석한 후, UF-revised 인체 모의 피폭체를 대상으로 흉복부 촬영 시 장기의 흡수선량을 계산하였다. 이 때, 차폐체(납, 안티몬, 황산바륨, 텅스텐, 비스무스) 유무와 차폐 재질에 따른 장기선량을 평가하였다.

차폐를 하지 않고 CBCT 촬영을 하였을 경우 유방 과 척추에서 선량이 높게 계산되었으며, 식도와 폐에서 선량이 낮게 계산되었다. 차폐체 재질에 따른 선량 은 황산바륨, 안티몬, 비스무스, 납, 텅스텐 순으로 선량이 높게 계산되었다. 차폐체 유무에 따른 선량 감소율을 평가해 보면 흉선(73.6%), 유방(59.9%)에서 가장 차폐율이 높고, 폐(2.1%), 척추(12.6%)에서 가장 낮은 차폐율을 보였다.

중심단어: CBCT, 차폐, 흡수선량, 선량감소, 방사선치료