

# Analysis of Photon Characteristics and Absorbed Dose with Cone Beam Computed Tomography (CBCT) using Monte Carlo Method

Jong-Bo Kim,<sup>1</sup> Jung-Hoon Kim,<sup>2</sup> Eun-Tae Park<sup>3,\*</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Radiological science, college of health sciences, Catholic University of Pusan

<sup>3</sup>Department of Radiation Oncology, Inje University Busan Paik Hospital

Received: May 31, 2017. Revised: June 15, 2017. Accepted: June 30, 2017

## ABSTRACT

The cone beam computed tomography(CBCT) which can acquire 3-dimensions images is widely used for confirmation of patient position before radiation therapy. In this study, through the simulation using the Monte Carlo technique, we will analyze the exposure dose by cone beam computed tomography and present the standardized data. For the experiment, MCNPX(ver. 2.5.0) was used and the photon beam spectrum was analyzed after Cone beam was simulated. As a result of analyzing the photon beam spectrum, the average energy ranged from 25.7 to 37.6 keV at the tube voltage of 80 ~ 120 kVp and the characteristic X-ray energy was 9, 60, 68 and 70 keV. As a result of using the water phantom, the percentage depth dose was measured, and the maximum dose appeared on the surface and decreased with depth. The absorbed dose also decreased as the depth increased. The absorbed dose of the whole phantom was 9.7 ~ 18.7 mGy. This is a dose which accounts for 0.2% of about 10 Gy, which is generally used for radiation therapy per week, which is not expected to have a significant effect on the treatment effect. However, it should not be overlooked even if it is small compared with prescription dose.

Keywords: Cone-Beam Computed Tomography, MCNPX, Spectrum, Percentage Depth Dose, Absorbed Dose

## I. INTRODUCTION

방사선치료에 사용되는 선형가속기가 발전함에 따라 기존의 2D, 3D 치료와 같은 고식적인 방법은 물론 세기 조절 방사선 치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT), 입체적 세기 조절 방사선 치료(Volumetric Modulated Arc Therapy; VMAT), 영상 유도 방사선 치료(Image Guided Radiation Therapy; IGRT) 등과 같은 더 정밀하고 복잡한 치료가 가능해졌으며, 이를 이용한 방사선 치료가 많이 시행되고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 IMRT, VMAT, IGRT와 같은 복잡한 치료방법은 다엽 콜리메이터(Multi Leaf Collimator; MLC) 및 3차원 영상을 바탕으로 한 치료계획수립의 발전으로 인해 가능하게 되었다.<sup>[2]</sup> 또한 선형가속기 장비에 3차원적으로

치료 자세를 확인 할 수 있는 콘빔씨티(Cone Beam Computed Tomography; CBCT)가 적용되어 있으며 현재 임상에서 사용하고 있는 선형가속기의 경우 대부분 CBCT가 적용되어 있어 사용빈도 역시 높아지고 있는 추세이다.<sup>[3]</sup>

CBCT는 방사선 치료 전 환자의 자세 및 치료 부위를 확인하기 위해 사용되는 일반 촬영 장비로써 3차원적인 영상 획득이 가능하기 때문에 2차원 영상 보다 더욱 정확한 자세 확인이 가능하다는 장점이 있다.<sup>[4]</sup> 그러나 방사선 치료분야에야 이용하는 CBCT의 피폭선량 관리에 있어서 진단용 촬영 장비인 일반 X-ray 촬영 장치나 CT와 같은 장비에 비해 명확한 기준이 없는 실정이다.<sup>[5]</sup>

식품의약품안전처의 방사선치료 관련 영상촬영에서

\* Corresponding Author: Eun-Tae Park

E-mail: linacpet@hanmail.net

Tel: +82-51-890-6677

의 선량 저감화 지침<sup>[6]</sup>에 따르면 CBCT는 주 1 회 촬영을 권고하고 있다. 또한 체부 정위적 방사선 치료(Stereotatic Body Radiation Therapy; SBRT), IGRT 등 고 선량 치료의 경우 매회 시행하고 있으며, 환자자세의 유지 또는 재확인이 필요할 시 추가 촬영을 진행하고 있다.

일반적으로 사용하고 있는 진단용 CT 촬영으로 인한 피폭선량은 약 10 ~ 20 mSv 정도 되는 것으로 보고되어 있다.<sup>[7]</sup> 이를 감안한다면, CBCT 촬영으로 인한 피폭선량 또한 무시할 수 없을 것으로 생각된다.

이에 본 연구에서는 몬테칼로 기법을 이용한 모의실험을 통해 CBCT에 의한 피폭선량을 정량적으로 분석하고, 이에 대한 표준화 된 데이터를 제시하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. 몬테칼로 기법

몬테칼로 기법은 방사선의 수송과 해석에 있어서 가장 널리 쓰이는 전산모사 시스템으로써 광자, 전자, 중성자, 양성자 등 방사선과 물질과의 상호작용을 모의실험을 통해 결과를 얻을 수 있는 신뢰도가 높은 기법으로 이용되어오고 있다.<sup>[8]</sup> 몬테칼로 기법을 기반으로 한 프로그램으로는 Monte Carlo N-Particle Extended(MCNPX), Electron Gamma Shower(EGS), GEometry ANd Tracking(GEANT), FLUktuierende KAskade(FLUKA) 등이 널리 이용되고 있으며 동시에 프로그램의 개발도 함께 이루어지고 있다.<sup>[9]</sup>

MCNPX는 windows 운영체제에서 여러 종류 입자의 수송이 가능하고 다양한 기하학적 구조를 모사할 수 있다. 그리고 tally를 사용하여 방사선량에 대한 결과값을 사용자가 원하는 형태로 계산할 수 있다는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 MCNPX Ver.2.5.0(Los Alamos National Laboratory)을 사용하여 모의실험을 진행하였다.<sup>[10,11]</sup>

### 2. CBCT, Water phantom 모의모사

MCNPX를 이용해 모사한 CBCT는 현재 방사선 치료용 선형가속기로서 현재 국내에서 가장 많이 운영되고 있는 Varian사의 On-Board CBCT imager(OBI system, V 1.4)와 Elekta사의 X-ray Volumetric Imager(XVI, V R4.5)를 대상으로 하였다.<sup>[12]</sup>

Fig. 1과 같이 CBCT를 모사하였다. 이 때, 타겟 재질은 OBI의 경우 텅스텐(원자번호 74, 밀도 19.25 g/cm<sup>3</sup>, tungsten; W) 95%, 로듐(원자번호 45, 밀도 12.41 g/cm<sup>3</sup>, Rhodium; Rh) 5%, XVI의 경우 W 95%, 레늄(원자번호 75, 밀도 21.02 g/cm<sup>3</sup>, Rhenium; Re) 5% 합금을 사용하였으며, 타겟 각도는 모두 14° 를 사용하였다.<sup>[13,14]</sup> 마지막으로 부가 필터는 알루미늄(원자번호 13, 밀도 2.7 g/cm<sup>3</sup>, Aluminium; Al) 두께 2 mm를 적용하였다.<sup>[15]</sup>

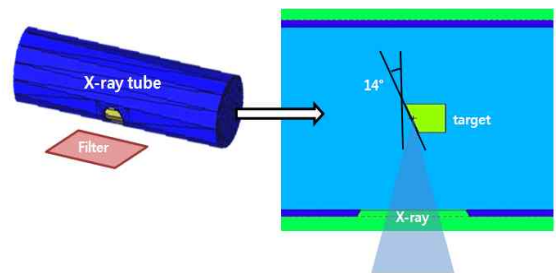


Fig. 1. X-ray tube & target in CBCT system.

인체선량을 평가하기 위해 water phantom을 사용하여 간접적으로 흡수선량을 평가하였으며, 모사한 형태를 Fig. 2로 나타내었다.

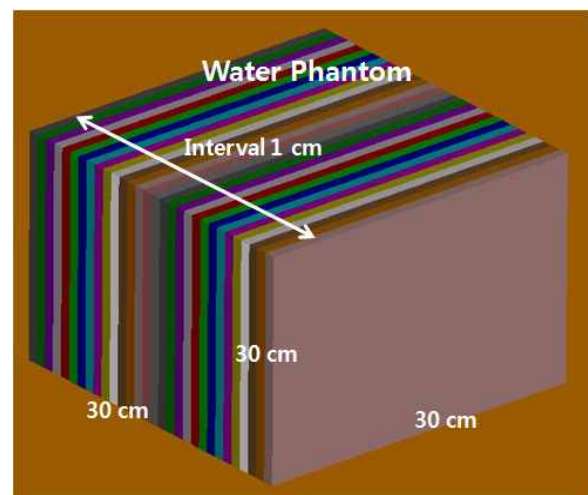


Fig. 2. Water phantom produced by MCNPX.

Water phantom은 유효원자번호(7.51)와 밀도(1 g/cm<sup>3</sup>)가 인체와 유사하며, 형태를 쉽게 제어할 수 있기 때문에 선량측정에 있어서 대표적으로 사용되고 있는 팬텀 중 하나이다.<sup>[16]</sup> CBCT에서 발생하는 광자선에 대한 선량을 깊이로 따라 평가하기 위해 미국의학물리학

자협회(American Association of Physicists in Medicine; AAPM)에서 권고하는  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$  크기로 water phantom을 모사하였다.

### 3. X선 스펙트럼 분석

모의실험에 사용되는 MCNPX 코드로 모사한 CBCT에 대한 신뢰도를 평가하는 절차가 선행되어야만 한다. 이에 본 연구에서는 MCNPX와 SRS-78 프로그램을 이용하여 광자선 스펙트럼을 획득하였으며 필터를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 조건으로 실험을 진행하였다. 각각의 조건으로 실험한 결과를 비교, 분석하여 모사한 CBCT에 대한 신뢰성 여부를 평가하였으며, 보다 정량적인 광자선 스펙트럼을 계산하였다.

먼저, MCNPX를 이용하여 모사한 CBCT에서 발생하는 광자선의 특성을 계산하였다. 이 때, 스펙트럼을 측정할 위치는 선원과 표면사이의 거리(Source to surface distance; SSD) 100 cm에서 측정하였으며, F5번 tally를 사용하여 가상의 구형 디텍터에 입사하는 플럭스(photon number/cm<sup>2</sup>/e)를 계산하였다. 스펙트럼은 에너지 간격을 0.1 keV로 설정하여 형태를 나타냈으며, 특성에너지와 평균에너지를 계산하였다.

다음으로 MCNPX에서 획득한 결과 값의 신뢰도를 확보하기 위해 SRS-78 프로그램을 사용하여 광자선의 특성을 비교, 분석하였다. SRS-78 프로그램은 의료물리공학협회(Institute of Physics and Engineering in Medicine; IPEM)에서 제공하는 프로그램으로써 X선관에서 발생하는 광자 스펙트럼 분석에 특화된 프로그램이며, 기존의 연구에서 많이 활용하고 있다.<sup>[17]</sup> 본 연구에서는 양극의 재질은 텅스텐, 14°, 2 mm 알루미늄 재질의 부가필터를 사용하여 스펙트럼, 평균에너지, 특성에너지를 계산하였다.<sup>[18]</sup>

### 4. Water phantom을 이용한 PDD 측정

본 연구에서는 water phantom을 대상으로 깊이에 따른 심부선량백분율(Percentage Depth Dose; PDD)과 흡수선량을 측정하였다. PDD는 물질에 조사된 광자선이 깊이에 따라 감약되는 정도를 나타내는 것이며, 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서 이를 측정할 이유는 첫째, PDD를 분석함으로써 MCNPX에서 모사한 CBCT의 신뢰성을 재차 확보하기 위함이며, 둘째,

깊이에 따른 선량을 분석하여 인체에 대한 영향을 간접적으로 평가하기 위함이다. 이 때, 인체에 대한 영향은 흡수선량으로 평가하였으며, 한 단면에서 계산한 PDD 값을 이용해 팬텀 깊이 별 흡수선량을 계산하였다.

$$PDD = \frac{D_d}{D_s} \times 100(\%) \quad (1)$$

$D_d$  : 임의의 지점에서의 흡수선량

$D_s$  : 표면에서의 흡수선량

### 5. 실험 방법

CBCT에 인가한 관전압은 80, 100, 120 kVp로 설정하여 모의실험을 진행하였다. 이는 일반적으로 진단영역에서 두경부, 흉부, 복부, 골반부를 대상으로 촬영 시 사용하고 있는 관전압이며, CBCT 촬영 시에도 사용된다. 필터는 두께 2 mm의 알루미늄 재질을 사용하였으며 필터를 사용할 때와 사용하지 않았을 때의 조건으로 실험을 진행하였다. 이를 바탕으로 각각의 에너지에 따른 광자 플루언스, 평균 에너지, 특성 X선 에너지를 측정하여 광자선 스펙트럼을 분석하였다.

## III. RESULT

### 1. X-ray spectrum

#### 1.1 non-filter spectrum

필터를 사용하지 않았을 때 OBI를 모사한 CBCT의 광자선 스펙트럼 분석 결과 Fig. 3과 같이 나타났다. 관전압이 80, 100, 120 kVp 일 때 평균 에너지는 각각 25.7, 31.8, 37.6 keV로 계산되었다. 특성 X선 피크가 발생하는 에너지 대역은 80 kVp에서 9 keV, 100 kVp와 120 kVp 에서는 9, 60, 68, 70 keV로 나타났다.

XVI의 광자선 스펙트럼은 Fig. 4와 같이 나타났다. 관전압의 변화에 따른 평균 에너지는 각각 25.8, 32.1, 38.2 keV로 계산되었으며 특성 X선 에너지는 OBI와 마찬가지로 80 kVp에서 9 keV, 100 kVp와 120 kVp 에서는 9, 60, 68, 70 keV로 나타났다. OBI와 XVI의 평균 에너지를 비교하였을 때 오차는 약 0.1 ~ 1%로 거의 유사하게 나타났으며 특성 X선 에너지 대역은 동일하게 나타났다.

모사한 CBCT의 신뢰성 여부를 확인하기 위해 SRS-78을 통해 얻은 스펙트럼과 비교하였다. SRS-78의 스펙트럼은 Fig. 5와 같이 나타났다. 평균 에너지는 관전압의 변화에 따라 각각 22.3, 29.7, 37.5 keV로 계산되었으며 특성 X선 에너지는 80 kVp, 8.5, 9.5, 11.5 keV, 100, 120 kVp, 8.5, 9.5, 11.5, 58, 59.5, 67, 69 keV로 나타났다.

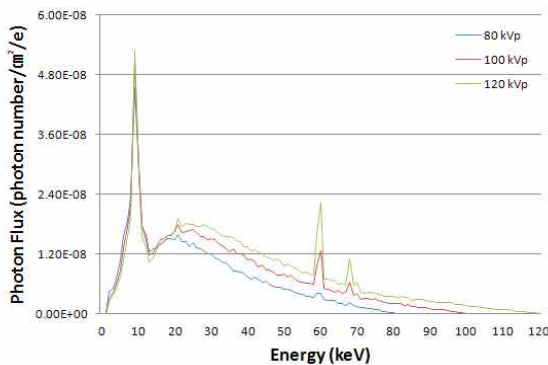


Fig. 3. Photon spectrum without filter in OBI.

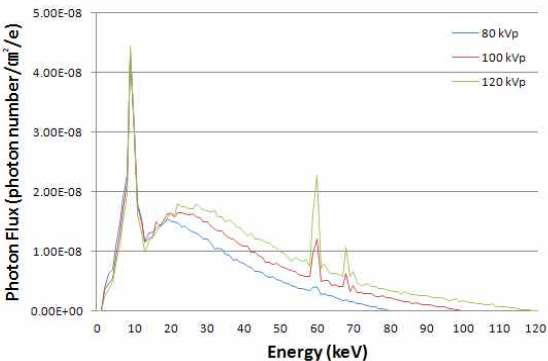


Fig. 4. Photon spectrum without filter in XVI.

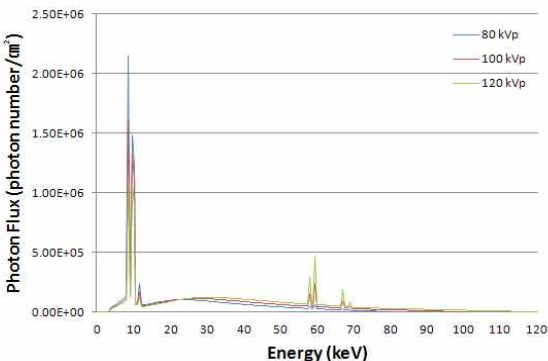


Fig. 5. Photon spectrum without filter in SRS-78.

SRS-78와 비교하였을 때 OBI와 XVI의 평균 에너지는 관전압에 따라 0.3 ~ 15.2%의 차이를 보였으며 특성 X선 에너지는 거의 유사한 영역에서 방출하는 것으로 나타났다. 각 장비의 관전압 별 스펙트럼 비교 결과는 Table 1과 같이 나타났다.

Table 1. Numerical value according to tube voltage without filter

Equipment	Voltage [kVp]	Mean energy [keV]	Characteristic ray energy [keV]
OBI	80	25.7	9
	100	31.8	9, 60, 68, 70
	120	37.6	9, 60, 68, 70
XVI	80	25.8	9
	100	32.1	9, 60, 68, 70
	120	38.2	9, 60, 68, 70
SRS-78	80	22.3	8.5, 9.5, 11.5
	100	29.7	8.5, 9.5, 11.5, 58, 59.5, 67, 69
	120	37.5	8.5, 9.5, 11.5, 58, 59.5, 67, 69

1.2 Use-filter spectrum

필터를 사용하였을 때 OBI를 모사한 CBCT의 광자선 스펙트럼 분석 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 관전압의 변화에 따른 평균 에너지는 각각 41.6, 47.3, 52.5 keV로 계산되었다. 특성 X선 피크가 발생하는 에너지 대역은 모든 에너지에서 60, 68, 70 keV로 나타났다.

XVI의 경우 광자선 스펙트럼은 Fig. 7과 같이 나타났다. 관전압의 변화에 따른 평균 에너지는 각각 41.5, 47.5, 52.6 keV 계산되었으며 특성 X선 에너지는 OBI와 동일하게 60, 68, 70 keV로 나타났다.

필터를 사용하였을 때 광자선 스펙트럼 결과 역시 신뢰도를 확보하기 위해 SRS-78의 광자선 스펙트럼과 비교하였으며 Fig. 8과 같이 나타났다. 평균 에너지는 관전압의 변화에 따라 각각 42.0, 48.4, 53.8 keV로 계산되었으며 특성 X선 에너지는 모든 에너지 영역에서 58, 59.5, 67, 69로 나타났다.

SRS-78와 비교하였을 때 OBI와 XVI의 평균 에너지는 관전압에 따라 1.0 ~ 2.4%로 거의 유사하게 나타났으며 특성 X선 에너지 또한 거의 유사한 영역에서 방출되는 것으로 나타났다. 각 장비의 관전압 별 스펙트럼 비교 결과는 Table 2와 같이 나타났다.

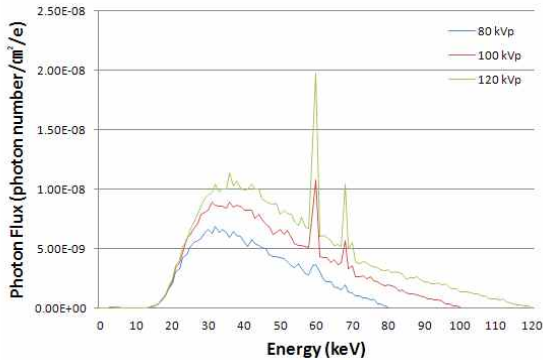


Fig. 6. Photon spectrum with filter in OBI.

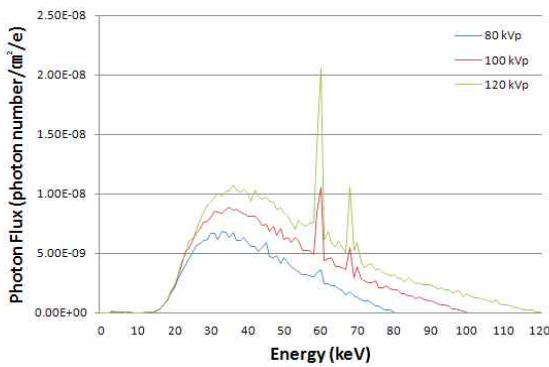


Fig. 7. Photon spectrum with filter in XVI.

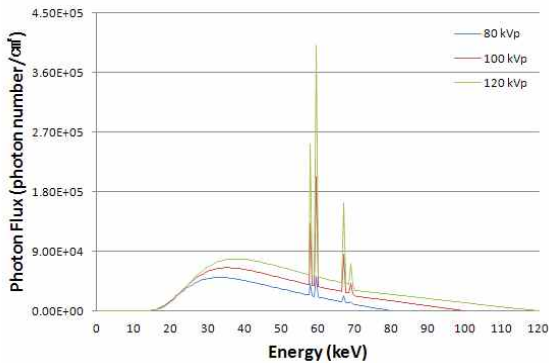


Fig. 8. Photon spectrum with filter in SRS-78.

Table 2. Numerical value according to tube voltage with filter

Equipment	Voltage [kVp]	Mean energy [keV]	Characteristic ray energy [keV]
OBI	80	41.6	60, 68, 70
	100	47.3	60, 68, 70
	120	52.5	60, 68, 70
XVI	80	41.5	60, 68, 70
	100	47.5	60, 68, 70
	120	52.6	60, 68, 70
SRS-78	80	42.0	58, 59.5, 67, 69
	100	48.4	58, 59.5, 67, 69
	120	53.8	58, 59.5, 67, 69

## 2. water phantom을 이용한 PDD 측정

### 2.1 OBI system

깊이에 따른 선량 분포를 측정하기 위해 water phantom을 이용해 PDD를 측정하였다. 이 때 CBCT는 filter를 사용하였을 때의 조건으로 모의실험을 진행하였다. 표면에서 최대선량 지점이 형성되었으며 깊이가 증가할수록 PDD가 감소하였다. 모의실험 결과, Fig. 9와 같이 나타났다.

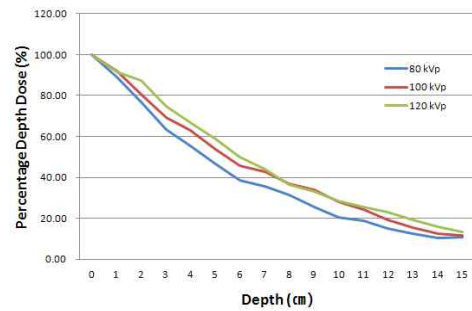


Fig. 9. PDD with filter in OBI.

Table 3은 깊이에 따른 PDD 수치이다. PDD와 함께 흡수선량 또한 측정하였다. 측정은 water phantom 전체가 받는 평균 흡수선량과 15 cm깊이 까지 1 cm 간격으로 흡수선량을 측정하였다. 단, mAs는 OBI의 standard head mode에서 사용되는 150 mAs의 조건으로 모의실험을 진행하였다.<sup>[19]</sup> 모의실험 결과 팬텀 전체가 받는 평균 흡수선량은 관전압에 따라 각각 9.7, 14.1, 18.7 mGy로 계산되었으며 깊이에 따른 흡수선량은 Table 4와 같이 나타났다.

Table 3. PDD according to depth with filter in OBI

Depth [cm]	PDD [%]		
	80 kVp	100 kVp	120 kVp
0	100.00	100.00	100.00
1	89.16	91.85	91.65
2	76.79	80.44	87.22
3	63.37	69.47	74.95
4	55.21	63.00	66.66
5	46.37	53.51	58.69
6	38.78	45.58	50.14
7	35.75	42.76	44.19
8	31.43	37.11	36.30
9	25.47	33.88	33.29
10	20.52	28.17	28.45
11	18.76	24.46	25.39
12	15.03	19.25	23.07
13	12.35	15.52	19.38
14	10.59	12.44	15.94
15	10.87	11.48	13.45

Table 4. Absorbed dose according to depth with filter in OBI

Depth [cm]	Absorbed dose [mGy]		
	80 kVp	100 kVp	120 kVp
0 ~ 1	112	135	154
1 ~ 2	41.7	59.7	73.1
2 ~ 3	28.2	42.8	56.0
3 ~ 4	21.9	32.7	44.4
4 ~ 5	16.8	25.6	36.3
5 ~ 6	13.2	20.4	30.4
6 ~ 7	9.8	16.9	24.9
7 ~ 8	8.4	14.1	20.8
8 ~ 9	6.6	11.5	17.0
9 ~ 10	5.3	9.8	14.8
10 ~ 11	4.2	8.0	12.5
11 ~ 12	3.5	6.9	10.4
12 ~ 13	2.9	5.7	9.3
13 ~ 14	2.6	4.9	7.8
14 ~ 15	2.0	4.2	6.6

Table 5. PDD according to depth with filter in XVI

Depth [cm]	PDD [%]		
	80 kVp	100 kVp	120 kVp
0	100.00	100.00	100.00
1	91.28	90.99	91.72
2	74.60	81.30	87.74
3	63.58	69.87	75.48
4	55.22	63.46	66.93
5	46.20	53.74	58.93
6	38.85	45.60	50.84
7	35.33	43.06	44.34
8	31.04	39.89	41.89
9	25.14	31.30	36.38
10	20.44	28.58	28.50
11	17.57	24.26	25.92
12	14.81	19.36	22.53
13	12.18	15.62	19.97
14	10.63	13.18	15.85
15	9.71	11.97	13.44

## 2.2 XVI system

XVI에서 사용되는 CBCT 또한 OBI와 동일한 조건으로 PDD와 흡수선량을 측정하였다. OBI와 마찬가지로 표면에서 최대선량 지점이 형성되었으며 깊이가 증가 할수록 PDD는 낮아지는 것으로 나타났다. Fig. 10은 깊이에 따른 PDD 결과이다.

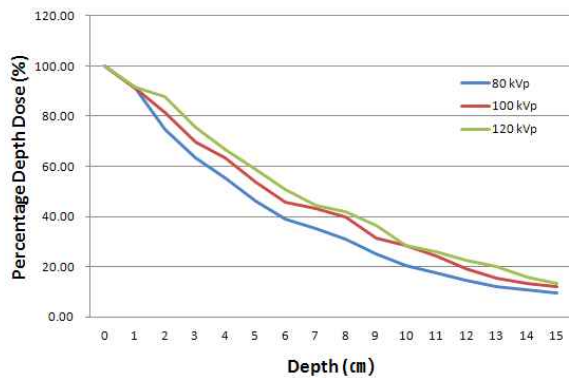


Fig. 10. PDD with filter in XVI.

깊이에 따른 PDD 수치는 아래의 Table 5와 같이 나타났다.

XVI의 흡수선량은 OBI와 같은 조건인 150 mAs로 측정하였으며 팬텀 전체가 받는 평균 흡수선량은 관전압에 따라 각각 9.5, 14, 18.5 mGy로 나타났다. 이러한 결과는 OBI와 비교하였을 때 약 1 ~ 2%로 거의 유사한 것으로 나타났다. Table 6은 깊이에 따른 흡수선량 결과이다.

Table 6. Absorbed dose according to depth with filter in XVI

Depth [cm]	Absorbed dose [mGy]		
	80 kVp	100 kVp	120 kVp
0 ~ 1	110	133.9	152.9
1 ~ 2	41.8	59.5	72.9
2 ~ 3	29.3	42.7	54.8
3 ~ 4	21.8	32.3	44.8
4 ~ 5	16.3	25.8	37.8
5 ~ 6	12.4	20.8	30.2
6 ~ 7	9.6	16.8	24.6
7 ~ 8	7.6	13.5	20.5
8 ~ 9	6.2	11.7	17.3
9 ~ 10	5.2	9.6	14.8
10 ~ 11	4.1	7.8	12.5
11 ~ 12	3.1	6.8	10.9
12 ~ 13	2.6	5.9	9.1
13 ~ 14	2.0	4.9	7.8
14 ~ 15	1.9	3.6	6.1

#### IV. DISCUSSION

본 연구에서는 몬테칼로 기법 중 하나인 MCNPX를 사용해 CBCT를 모사한 후 모의실험을 통해 피폭선량을 정량적으로 분석하고자 하였다.

먼저 모사한 CBCT에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서 스펙트럼을 분석 한 후 이를 SRS-78로부터 얻은 스펙트럼과 비교, 분석하였다.

스펙트럼의 형태를 보면, MCNPX와 SRS-78에서 계산된 스펙트럼의 형태 그리고 특성 X선에서 유사한 경향성을 보이는 것으로 분석되었다. 또한 이를 타 연구들과<sup>18,19)</sup> 비교 시 스펙트럼 형태와 에너지 분포영역대가 유사하게 나타났다. 따라서 본 연구에 모사한 CBCT에 대한 신뢰도를 확보한 것으로 판단된다.

MCNPX와 SRS-78의 광자선 특성을 자세히 분석해 보면, SRS-78의 특성 X선 플럭스가 상대적으로 높게 계산되었다. 이와 같은 이유는 MCNPX와 SRS-78의 계산방법에 의한 차이로서 전자 1 개를 가속하는 MCNPX와는 달리 SRS-78에서는 관전류를 고려한 전자 다발 형태로 가속하기 때문인 것으로 판단된다. 가속하는 전자의 개수는 제동복사의 발생확률에 영향을 주며, 제동복사로 인해 발생하는 특성 X선의 발생확률에도 영향을 미친다. 따라서 전자 다발 형태로 가속한 SRS-78에서 전체 플럭스가 높게 계산되었으며, 이에 따라 특성 X선의 발생확률이 높아져 MCNPX 결과값 보다 플럭스가 상대적으로 높게 계산된 것으로 판단된다. 이와 같은 이유로 필터를 사용하지 않았을 때는 특성에너지가 저에너지 영역에서 발생하기 때문에 SRS-78에서 평균에너지 값이 낮게 계산되었고, 필터를 사용하였을 때는 특성 X선이 고에너지 영역에서 발생하기 때문에 SRS-78의 평균에너지가 높게 계산되었다.

다음으로 water phantom을 이용한 PDD와 흡수선량 평가 결과, 표면에서 최대로 나타났으며 깊이가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 400 kV 이하의 에너지에서는 표면에서 최대선량지점이 나타난다는 이론과도 부합하는 결과이다.<sup>16)</sup>

본 연구에서 모사한 OBI와 XVI를 비교해보면 평균 에너지는 약 0.2%, photon flux는 약 1 ~ 2%, PDD 및 흡수선량은 약 2% 로 매우 유사한 결과임을 확인할 수 있었다. 이는 각각 타겟 재질로 사용된 Rh와 Re 합금

이 5%의 소량으로는 큰 차이가 나지 않기 때문인 것으로 보인다.

기존의 유리선량계를 사용해 Rando phantom으로 피폭선량을 실측한 연구<sup>20,21)</sup> 결과에서는 촬영 부위에 따라 약 12.4 ~ 22.5 mGy로 나타났다. 이를 본 연구와 비교 시 약 2.9 ~ 3.8 mGy의 차이를 보였으나, 이는 실측과 모의실험 간의 환경적인 영향, 실험에 사용된 팬텀의 종류, 인체의 측정 부위 그리고 측정 선량계의 오차율 등의 차이로 인한 영향으로 판단된다. 하지만, 전체 평균 선량에서는 유사한 선량을 보인 것을 확인하였다. 따라서 본 연구의 결과값에 대한 신뢰도는 확보한 것으로 판단된다.

#### V. CONCLUSION

본 연구에서는 방사선 치료에 이용되는 CBCT를 몬테칼로 기법을 이용하여 흡수선량을 정량적으로 평가하였다.

본 연구결과 CBCT로 인한 선량은 주당 0.01~0.02 Gy, 종양이 받는 선량은 0 ~ 1 cm 깊이에서 최대 0.1 ~ 0.15 Gy로 계산되었다. 이 수치는 처방선량의 0.1 ~ 0.2% 수준으로 미미하지만, 실제 CBCT 사용은 주 1회를 초과하는 경우도 있다. 이를 감안하면, 실제 환자가 받는 선량은 더욱 높을 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 CBCT 촬영 시 환자의 피폭선량에 대한 정량적이면서도 표준화 된 데이터를 제공할 수 있었으며, 임상에서는 CBCT로 인해 환자가 받는 선량을 인지하고 시행해야 할 것으로 사료된다.

#### Reference

- [1] D. Y. Kim, J. W. Choi, J. G. Yoon, "Comparison of using CBCT with ST Simulator for Radiation dose of Treatment Planning," The journal of the Korea contents associations, Vol. 9, No. 12, pp. 1159-1166, 2009.
- [2] Y. J. Kim, J. S. Lee, S. Y. Hong, H. J. Ko, "A Comparison between Three Dimensional Radiation Therapy and Intensity Modulated Radiation Therapy on Prostate Cancer," Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 7, No 6, pp. 409-414, 2013.
- [3] S. J. Bang, Y. Y. Kim, I. S. Jeong, J. S. Kim, Y.

- G. Kim, "A Study of Image Quality and Exposed Dose by Field Size Changing on CBCT," The journal of the Korean Society for Radiotherapeutic Technology, Vol. 25, No. 2, pp. 175-180, 2013.
- [4] C. J. Park, S. H. Park, J. S. Kim, Y. Y. Han, S. G. Ju, E. H. Shin, J. S. Shin, H. C. Park, Y. C. Ahn, "Digital Tomosynthesis for Patient Alignment System Using Half-fan Mode CBCT Projection Images," Korean Journal of Medical Physics, Vol. 21, No. 4, 2010.
- [5] S. B. Hwang, K. H. Kim, I. H. Kim, W. Kim, H. S. Im, S. C. Han, J. M. Kang, J. H. Kim, "Imaging dose evaluations on Image Guided Radiation Therapy," The journal of the Korean Society for Radiotherapeutic Technology, Vol. 27, No. 1, pp. 1-11, 2015.
- [6] J. H. Wang, "Guidelines for dose reduction in radiological imaging," Ministry of Food and Drug Safety, Chung-ju, Choong-buk, pp. 20-28, 2014.
- [7] Semelka.R.C, Armao.D. M, Elias. J, Huda. W, "Imaging strategies to reduce the risk of radiation in CT studies, including selective substitution with MRI", Journal of magnetic resonance imaging, Vol. 25, No. 5, pp. 1053-1807, 2007.
- [8] B. H. Won, "Numerical modeling of a density log and a spectral gamma-ray log using MCNP," Geological science major, Division of earth environmental system, The graduate school of Pusan National University, 2014.
- [9] J. K. Lee, "The study of radiation dose estimates for computed tomography using Monte Carlo method," Department of nuclear engineering, The graduate school of Kyung Hee University, 2011.
- [10] J. R. Briesmeister, "A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C, Manual LA-13790-M", Los Alamos Nat'l Lab. 2000.
- [11] Denise B. Pelowitz, "MCNPX<sup>TM</sup> USER'S MANUAL, Version 2.5.0," The Regents of the University of California at Los Alamos National Laboratory, California, 2005.
- [12] H. J. Lim, "Status of Domestic Linear Accelerator," Health Insurance Review & Assessment Service, Won-ju, Kang-won, 2015.
- [13] Abuhaimeed, Abdullah Abdulaziz, "Dosimetric Investigations of Kilovoltage Cone Beam Computed Tomography (kV-CBCT) Utilized in Image Guided Radiation Therapy (IGRT) using Monte Carlo Simulations," PhD thesis, University of Glasgow, 2015.
- [14] P. Downes, R. Jarvis, E. Radu, I. Kawrakow, E. Spezi, "Monte Carlo simulation and patient dosimetry for a kilovoltage cone-beam," Medical Physics, Vol. 36, No. 9, pp. 4156-4223, 2009.
- [15] 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 systems," Medical Physics, Vol. 35, No. 2, pp. 0094-2405, 2008.
- [16] S. S. Kang, I. H. Ko, et al., "Radiation Therapeutics," Chung Koo Publishing Co., pp. 138-139, 2007.
- [17] C. H. Lim, M. K. Cho, J. C. Han, H. B. Yoon, S. M. Yoon, M. H. Cheong, H. K. Kim, "Development of an MCNP-Based Cone-Beam CT Simulator," Journal of The Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 29, No. 4, pp. 351-359, 2009.
- [18] Ding, G. X. , Duggan, D. M. , Coffey, C. W., "Characteristics of kilovoltage x-ray beams used for cone-beam computed tomography in radiation therapy," Physics in Medicine and Biology, Volume 52, No. 6, pp. 0031-9155, 2007.
- [19] Fouad Abdulaziz Abolaban "On Board Cone Beam CT for Treatment Planning in Image Guided Radiotherapy," Faculty of Engineering, The graduate school of King Abdulaziz University, Saudi Arabia. 2011.
- [20] Asa Palm, Elisabeth Nilsson, Lars Herrnsdorf "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. S93-S93, 2009.
- [21] Y. M. Moon, "A study on the effective dose measurement for cone beam computed tomography using glass dosimeter," Department of Physics, The graduate school of Dong-A University, 2012.



## 몬테칼로 기법을 이용한 CBCT의 광자선 특성 및 선량 분석

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

<sup>1</sup>동남권원자력의학원 방사선종양학과

<sup>2</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

<sup>3</sup>인제대학교 부산백병원 방사선종양학과

### 요 약

방사선 치료 시 자세 확인 촬영을 목적으로 3차원 영상 획득이 가능한 콘빔씨티 촬영이 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 몬테칼로 기법을 이용한 모의실험을 통해 콘빔씨티 촬영 시 피폭선량을 정량적으로 분석하고 표준화된 데이터를 제시하고자 한다. 실험은 MCNPX(ver. 2.5.0)를 이용하였으며, 먼저 콘빔씨티를 모사한 후 광자선 스펙트럼을 분석하였다. 그리고 물 팬텀을 모사하여 깊이별 심부선량 백분율과 흡수선량을 측정하였다. 광자선 스펙트럼을 분석한 결과, 관전압 80 ~ 120 kVp 에서 평균 에너지는 조건에 따라 25.7 ~ 52.6 keV로 나타났으며 특성X선 에너지는 9, 60, 68, 70 keV로 나타났다. 물 팬텀을 사용하여 심부선량 백분율을 측정한 결과 표면에서 최대선량이 나타났으며 깊이가 깊어질수록 감소하는 것으로 나타났다. 흡수선량 또한 깊이가 증가할수록 감소하였으며 팬텀 전체가 받는 흡수선량은 9.7 ~ 18.7 mGy로 나타났다. 이는 일반적으로 방사선 치료에 사용되는 주당 처방선량인 약 10Gy의 0.2%를 차지하는 선량이며 이는 치료효과에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 그러나 처방선량에 비해 미미한 수준일지라도 이를 간과해서는 안 될 것이다.

중심단어: 콘빔씨티, MCNPX, 스펙트럼, 심부선량 백분율, 흡수선량