



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학석사학위논문

Monte-Carlo method에서  
선량결정인자들의 입력값 변화에  
따른 파노라마방사선 검사의  
유효선량의 변화에 대한 연구

2016년 2월

서울대학교 치의학대학원  
치 의 학 과  
이 세 영

Monte-Carlo method에서  
선량결정인자들의 입력값 변화에  
따른 파노라마방사선 검사의  
유효선량의 변화에 대한 연구

지도교수 이 삼 선

이 논문을 치의학석사학위논문으로 제출함

2015년 10월

서울대학교 대학원

치 의 학 과

이 세 영

이세영의 석사학위논문을 인준함

2015년 11월

위 원 장           최 순 철           (인)

부 위 원 장           이 삼 선           (인)

위       원           허 경 회           (인)

## 논문 초록

### 국문 요약(국문 초록)

#### 요약(국문 초록)

**연구목적:** 이 연구의 목적은 Monte-Carlo method에서 선량결정인자들의 입력값 변화에 따른 파노라마방사선 검사의 유효선량의 변화를 연구하는 데 있다.

**연구방법:** Dosimetric method를 이용하여 파노라마방사선 검사의 유효선량을 측정한다. Monte-Carlo method를 기반으로 한 PCXMC(PC-Based Monte-Carlo program)를 이용하여 파노라마방사선 검사의 유효선량을 측정한다. PCXMC의 선량결정인자 입력값 중 projection, oblique angle, X-ray tube voltage, filtration, Xref, Yref, Zref, FRD(Focus-Reference point distance), X-ray beam width을 변화 시켜보고 그에 따른 유효선량을 측정한다.

**결과:** Dosimetric method 로 구한 총유효선량은 4.5605mSv 로 나왔고, Monte-Carlo method로 구한 총유효선량은 4.5640mSv 로 나타났다. Projection, x-ray tube voltage, filtration 값이 커질수록 유효선량이 커졌으며, Oblique angle 은 절대값이 작아질수록 유효선량이 작아지는 경향을 보였다.

**결론:** PCXMC 입력조건 중에 projection, x-ray tube voltage, filtration 은 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였고, oblique angle 은 통계적으로 유의미한 음의 상관관계를 보였다.

**주요어:** Monte-Carlo method, PCXMC(PC-Based Monte-Carlo method program), Dosimetric method, 유효선량

학 번: 2012-22189

## 목 차

국문초록

I. 서론	5
II. 문헌고찰	5
III. 연구범위 및 내용	6
IV. 연구방법	8
V. 결과	12
VI. 고찰	25
VII. 결론	27
VIII. 표	28
참고문헌	32

영문초록

## I. 서론

다양한 의료적 목적으로 사용되는 방사선에 대하여 이것이 인체에 미치는 영향을 측정하려는 노력은 계속되어왔다. 방사선을 측정하는 단위는 여러 가지가 있다. 선량은 관심위치에서 단위 부피당 흡수되는 방사선의 양을 의미한다. 그 중에서도 인체의 각 조직마다 서로 다른 방사선감수성을 반영하여 나타낸 값을 유효선량이라고 한다. 유효선량은 등가선량에 조직가중계수를 곱하여 구할 수 있다. 유효선량은 사람에 미치는 방사선의 위험도를 평가하기 위한 단위로 쓰인다.<sup>1)</sup>

이번 연구에서는 성인에서 파노라마방사선 촬영 시 조사되는 유효선량을 두 가지 방법으로 측정하여 비교하고자 한다. 첫 번째 방법은 전통적인 방법인 Dosimetric method 로 실험용 팬텀에 Thermoluminescent dosimeter (TLD) chip 을 위치시켜 방사선 노출 후 선량을 계산한다. 두 번째 방법은 Monte-Carlo method 로 컴퓨터 프로그램(PCXMC)을 이용하여 시뮬레이션을 통해 설정한 조건에서 인체에 노출되는 유효선량을 계산하는 방법이다.

Monte-Carlo method 에서 사용하는 PCXMC 프로그램에는 13가지의 입력 값이 있어 다양한 조건을 사용자 임의로 설정할 수 있다. 이번 연구에서는 그 중 projection, oblique angle, X-ray tube voltage, filtration, Xref, Yref, Zref, FRD(Focus-reference point distance), X-ray beam width 9가지 항목을 각각 변화 시켜보고, 결과 값을 비교하여 PCXMC 프로그램이 어떤 항목에 더욱 큰 영향을 받는지 알아보하고자 한다.

## II. 문헌고찰

유효선량을 측정하는 방법은 여러 가지가 있다. 전통적인 방식인 Dosimetric method 는 Thermoluminescent dosimeter (TLD) chip 을 사용하는 방법이다. TLD는 LiF 결정으로 구성된 작은 chip으로 그 속에는 수많은 격자구조가 존재한다. 이것이 방사선에 노출되면 자유전자들이 격자구조에 갇히게 되고, 여기에 열을 가하면 갇혀있던 전자가 빠져나오며 빛을 방출한다. 열을 가했을 때 방출되는 빛은 결정체가 흡수한 에너지와 비례한다는 원리를 이용하여 방사선량을 측정한다.<sup>2)</sup> TLD 는 크기 조절이 가능하고 넓은 부위의 조사량 측정이 가능하며 취급이 간단하다는 장점을 지니나 비교적 오차가 크다는 단점이 있다.

PC-Based Monte Carlo Program (PCXMC) 은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 유효선량을 산출하는 방법이다.<sup>3)</sup> 키, 몸무게, 연령, 성별 등의 정보를 포함하여 가상으로 설정된 팬텀에 시뮬레이션을 돌려 방사선 영상 촬영 시 팬텀에 조사되는 방사선량을 구하는 방법이다. 2007년도에 발표된 ICRP 103 보고서에서 제시하는 조직가중계수를 고려하여 골수, 뇌, 침샘, 구강점막 등 파노라마방사선 검사 시 조사되는 인체 부위의 기관별 선량을 계산할 수 있다. PCXMC 프로그램에는 회전각, X선원의 수평각, 환자 키, 환자 연령, 전압 등 여러 가지 입력 항목이 있으며 이 값을 변화시켜줌에 따라 측정되는 유효선량 값도 달라진다.

### III. 연구 범위 및 내용

#### 1. Dosimetric method 의 원리

Thermoluminescent dosimeter(TLD) 는 LiF 결정으로 구성된 열형광물질이다. 열형광 물질이 상온에서 방사선에 피폭되면 수많은 자

유전자들이 발생하게 되고, 자유전자들은 LiF 결정체의 격자 결합에 갇히게 된다. 이것을 적당히 가열하면 전자가 격자구조에서 방출되어 안정 준위로 돌아오면서 빛을 방출하게 된다. 이 때 방출되는 빛의 세기가 앞서 피폭된 방사선량에 비례하기 때문에 가열시 방출된 빛의 세기를 측정하여 피폭된 방사선량을 구할 수 있다.<sup>4)</sup>

## 2. Monte-Carlo method 의 원리

인체에 노출된 방사선량을 직접 측정하거나 팬텀을 사용하여 실험적으로 측정하는 것은 한계가 있고 시간이 오래 걸린다. 하지만 방사선 조사 시에 사용한 장비와 기술에 대한 충분한 자료가 있다면 합리적인 근사치를 얻을 수 있는 방법이 있다. 그 중 한 가지로 Monte-Carlo method 는 광자와 매질 사이의 추계적 시뮬레이션에 근거하여 계산하는 방식으로 이를 응용하여 만든 컴퓨터 프로그램이 PCXMC(PC-Based Monte Carlo Program) 이다.

### 2.1. PCXMC 프로그램에 존재하는 입력값

- (1) Projection: 팬텀에 조사되는 x-ray beam의 방향(°)
- (2) Oblique angle: X-ray beam을 비추는 각도(°)
- (3) Patient height: 신장 (0은 입력한 연령에서의 표준 신장,cm)
- (4) Patient weight: 체중 (0은 입력한 연령에서의 표준 체중,kg)
- (5) Patient age: 0, 1, 5, 10, 15, 30 중에 입력. 성인은 30
- (6) X-ray tube voltage: 실험에서 사용한 장비의 voltage 값 (kV)
- (7) Filtration: 장비에 사용된 필터의 두께 (mm Al)
- (8) FRD: Focus-Reference point Distance 측정값(cm)
- (9) X-ray beam width: 초점에서 FRD거리에 이르는 x-ray beam의 너비 (cm)



- (10) X-ray beam height: 초점에서 FRD거리에 이르는 x-ray beam의 높이 (cm)
- (11) Xref: 팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 왼쪽)
- (12) Yref: 팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 등쪽)
- (13) Zref: 팬텀 내부의 임의의 기준점 (+: 팬텀의 위쪽)
- (14) Input dose value: DAP를 사용함 (mGycm<sup>2</sup>)

#### IV. 연구방법

##### 1. Dosimetric method 를 이용한 유효선량 측정

(1) 열형광선량계로는 가로 1/8인치 세로 1/8인치, 두께 0.035인치의 LiF TLD-100 chip(Harshaw Co., USA)을 사용하였다.(그림 1) 실험 전 TLD chip calibration 을 통해 오차범위를 측정하였다. 각각의 TLD chip 은 임의로 ID를 부여하였다.

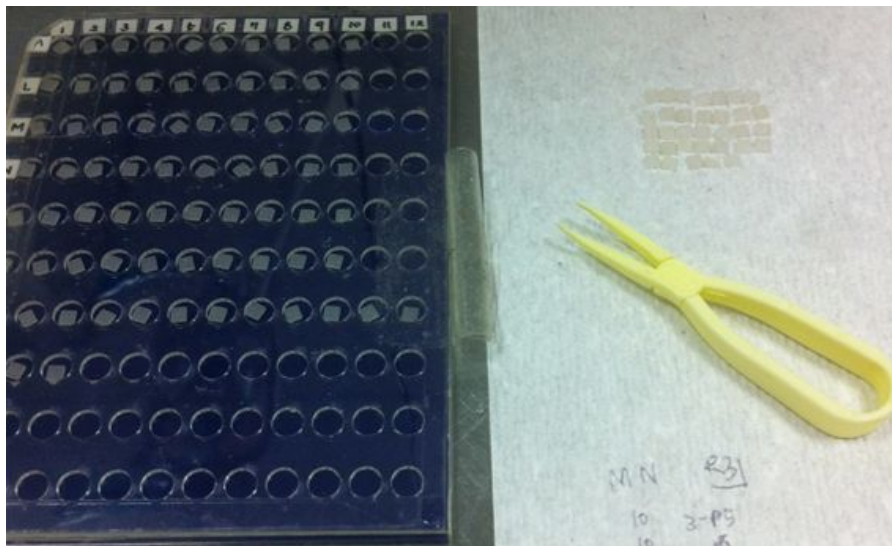


그림 1 TLD chip (Harshaw Co., USA)

(2) TLD 결정 내에 잔존 에너지를 모두 방출하기 위해 소성 (annealing)을 실시하였다.(그림 2)



그림 2 TLD reader에 TLD chip을 넣고 annealing 하는 모습

(3) 성인 팬텀(The head and neck of a RANDO phantom, Nuclear Associates, Hicksville, NY) 에서 두경부영역에 해당하는 slice 1 에서 slice 9 까지 아홉 개의 슬라이스를 사용하였다. 각각의 슬라이스에 관찰하고자 하는 장기를 임의로 설정하였다.(그림 3) 슬라이스에는 TLD chip 을 위치시킬 수 있는 구멍이 있다.(그림 4) 오차의 영향을 줄이기 위해 하나의 구멍에 3개의 chip을 넣었다. 각각의 chip은 서로 접촉되지 않도록 따로 비닐에 담아 넣었다.(그림 5) 관찰하고자 하는 장기가 위치하는 슬라이스 번호 및 해당 위치에 넣은 TLD chip ID를 정리하였다.(표 1)



그림 4 Phantom slice 단면



그림 5 비닐봉지에 넣은 TLD chip

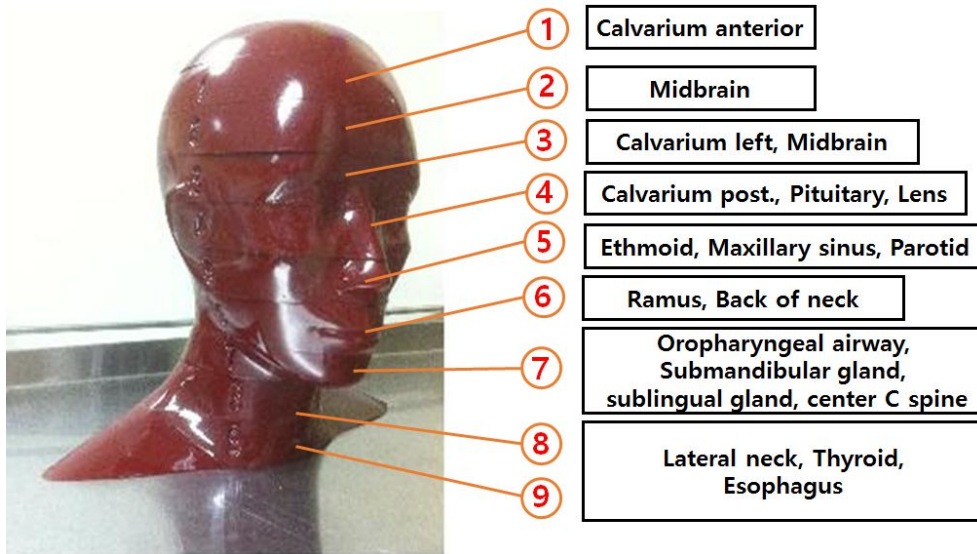


그림 3 Phantom slice 별 장기의 위치

(4) 7.3 kV, 8.0 mA, 17.6 s 의 조건으로 파노라마방사선 사진을 촬영한다.(그림 6)



그림 6 파노라마 촬영하는 모습

- (5) 오차를 최소화하기 위해 같은 조건으로 3회 반복 촬영한다.
- (6) TLD chip을 reader(Harshaw Co., USA) 로 측정한다.(표 2)
- (7) 측정값을 바탕으로 유효선량을 계산한다.(표 3)

## 2. Monte-Carlo method 를 이용한 기본값 설정 및 유효선량 측정

(1) PCXMC 의 조건을 입력한다. 각각의 수치는 다음과 같은 기준으로 설정하였다.

i. Projection, FRD, X-ray beam width, X-ray beam height 는 직접 측정하였다. 단, FRD는 Focus-reference point distance 를 의미하는데 파노라마에서는 이 값이 연속적으로 변하므로 이번 실험에서는 bite block 까지의 거리를 측정하여 사용하였다.

ii. Oblique angle, filtration 은 사용된 파노라마 장비의 설정값을 이용하였다.

iii. X-ray tube voltage 는 성인의 파노라마 촬영 시 기준치인 73kV 를 사용하였다.

iv. Patient height, patient weight, patient age 는 각각 0, 0, 30 으로 입력하여 성인의 표준신장, 표준체중을 사용하였다.

v. Input dose value 는 파노라마 촬영 시 측정한 DAP 값을 바탕으로 Boyle-Charle 의 법칙에 따라 당시의 기온과 기압을 보정하여 사용했다.

vi. Xref, Yref 는 0, -5 로 설정하였다.

(2) Zref 값을 변화시켜가며 앞서 구한 TLD 측정값과 비슷한 값을 가질 때를 기본 조건으로 설정한다. (표 4)

(3) 설정한 기본값에서 구한 장기별 유효선량과 총유효선량을 1.에서 얻은 결과와 비교한다.

### 2-1. PCXMC 조건에 따른 노출량의 영향 측정

(1) 다음의 9가지 조건에 대하여 기본값을 중심으로 약 -25% 에서 +25% 범위로 변화시켜 총 5가지 값에 대하여 유효선량을 측정하였다.

(2) Projection 200°, 220°, 245°, 270°, 290°에 대하여 측정한다.

(3) Oblique angle -10°, -9°, -8°, -7°, -6° 에 대하여 측정한다.

(4) X-ray tube voltage 55kV, 65kV, 73kV, 80kV, 90kV 에 대하여 측

정한다.

(5) Filtration 1.9mmAl, 2.2mmAl, 2.5mmAl, 2.8mmAl, 3.1mmAl 에 대하여 측정한다.

(6) Xref - 5, -3, 0, 3, 5 에 대하여 측정한다.

(7) Yref - 10, -7, -5, -3, 0 에 대하여 측정한다.

(8) Zref 50, 55, 63, 65, 70 에 대하여 측정한다.

(9) X-ray beam width 0.15cm, 0.17cm, 0.20cm, 0.23cm, 0.25cm 에 대하여 측정한다.

(10) 각각의 조건에서 장기별 유효선량과 총유효선량을 구하고, 입력값 변화에 따른 유효선량 변화를 알아본다.

## V. 결과

### 1. Dosimetric method로 측정한 유효선량

Dosimetric method 로 측정한 결과 총유효선량은 4.5605mSv 로 나왔다. 장기별 유효선량을 봤을 때 기타조직 (림프절, 근육, 기도, 구강 점막)이 1.2857mSv 로 가장 높게 나왔고 타액선이 1.2808mSv 로 두 번째로 높은 값을 보였다. 그 다음으로는 갑상선(0.9741mSv), 적색골수 (0.3921mSv), 뇌(0.2390mSv), 골표면(0.1285mSv), 피부(0.1148mSv) 순서 였고, 식도가 0.0973mSv로 가장 낮은 값을 보였다.(표 5)

### 2. Monte-Carlo method 를 이용한 기본값 설정 및 유효선량 측정

Monte-Carlo method 로 측정 시 팬텀의 수직축에 해당하는 Zref 값에 따라 유효선량이 크게 변하는 것을 확인하였다. 다른 조건들은 고정한 상태로 Zref 값을 변화시키며 총유효선량을 측정하였다. 50에

서 70 까지 8가지 값에 대하여 측정하였고 이중 Dosimetric method 로 구한 유효선량과 비슷한 값을 가질 때를 기본값으로 설정하였다.(표 6) Zref 가 62일 때 총유효선량이 4.5640mSv 로 dosimetric method 로 측정한 4.5605mSv 와 가장 유사하여 이때를 기본값으로 설정하였다. Monte-Carlo method 로 측정한 장기별 유효선량을 보면 적색골수에서 0.9593mSv 로 가장 높게 나타났다. 그 다음으로 골표면이 0.3144mSv 였고, 갑상선(0.1568mSv), 식도(0.0362mSv), 타액선(0.0046mSv), 피부(0.0025mSv) 순서로 나타났으며 뇌에서 0.0005mSv로 가장 낮은 값을 보였다.

	등가선량(mGy)	조직가중계수	유효선량(mSv)
뇌	23.9025	0.01	0.2390
적색골수	3.2674	0.12	0.3921
타액선	128.0772	0.01	1.2808
식도	2.4330	0.04	0.0973
갑상선	24.3517	0.04	0.9741
피부	11.4772	0.01	0.1148
골표면	12.8508	0.01	0.1285
기타조직	10.7144	0.12	1.2857
총유효선량			4.5605

표 5 Dosimetric method로 측정한 장기별 유효선량 및 총유효선량

Zref 값	50	55	60	61	62	63	65	70
유효선량(mSv)	10.49 6	12.75 6	5.798	5.013	4.564	4.383	3.799	10.43 3

표 6 Zref 에 따른 유효선량

2-1. Monte-Carlo method로 구한 유효선량과 Dosimetric method로 구한 유효선량의 비교

Dosimetric method로 측정한 총유효선량은 4.5605mSv, Monte-Carlo method로 측정한 총유효선량은 4.5640mSv 로 나타났다. Dosimetric method 는 기타조직이 가장 높은 유효선량을 보였고, 식도에서 가장 낮은 값을 보인 반면, Monte-Carlo method 에서는 적색골수가 가장 높은 값을 보였고, 뇌에서 가장 작은 값을 나타냈다.(표 7) 기타조직을 제외한 나머지 조직들을 비교했을 때, Dosimetric method 에서는 타액선, 갑상선, 적색골수, 뇌, 골표면, 피부, 식도 순서로 유효선량이 작아진 반면 Monte-Carlo method 에서는 적색골수, 골표면, 갑상선, 식도, 타액선, 피부, 뇌 순서로 감소하여 장기별 유효선량의 뚜렷한 경향성을 볼 수는 없었다.(표 8)

	유효선량(mSv)	
	Dosimetric method	Monte-Carlo method
뇌	0.2390	0.0005
적색골수	0.3921	0.9593
타액선	1.2808	0.0046
식도	0.0973	0.0362
갑상선	0.9741	0.1568
피부	0.1148	0.0025
골표면	0.1285	0.3144
총유효선량	4.5605	4.5640

표 7 Dosimetric method 와 Monte-Carlo method 로 측정한 장기별 유효선량 비교

Dosimetric method		Monte-Carlo method	
장기	유효선량(mSv)	장기	유효선량(mSv)
타액선	1.2808	적색골수	0.9593
갑상선	0.9741	골표면	0.3144
적색골수	0.3921	갑상선	0.1568
뇌	0.2390	식도	0.0005
골표면	0.1285	타액선	0.0046
피부	0.1148	피부	0.0025
식도	0.0973	뇌	0.0005

표 8 Dosimetric method 와 Monte-Carlo method 로 측정된 장기별 유효선량 비교2

## 2-2. PCXMC 조건에 따른 유효선량의 영향

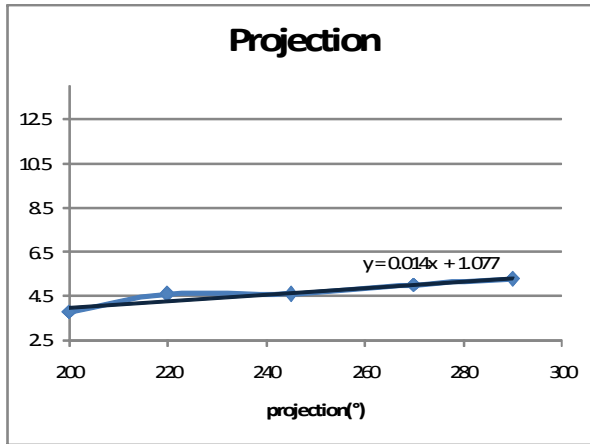
### (1) Projection

Projection을 200° 에서 290° 까지 변화시키며 측정된 결과, projection 이 증가할수록 유효선량이 증가하는 것을 확인하였다. 200° 일 때 3.777mSv 로 가장 작은 값을 보였으며 220°에서 4.538mSv, 245°에서 4.564mSv, 270°에서 4.981mSv, 290°에서 5.233mSv 로 측정되었다. 계수는 0.014 였고, P-value 가 0.013 으로 통계적으로 유의미하였다. 장기별 유효선량을 보면 projection 값이 커짐에 따라 갑상선의 유효선량이 크게 증가하였고, 식도의 유효선량도 비교적 크게 증가하였다. 반면 피부와 림프절에서는 큰 차이가 나타나지 않았고, 적색골수와 골표면에서는 projection 이 커질수록 유효선량이 작아지는 결과가 관찰되었다.

### (2) Oblique angle

Oblique angle 은 -10°에서 -6° 까지 1° 씩 바뀌가며 측정하였다. 각도의 절대값이 클수록 즉 X-ray beam 을 비추는 각도가 비스듬할수록 유효선량이 크게 나타났다. P-value 는 4.77E-06 으로 통계적으로 유의미한 결과를 보였다.





Projection(°)	유효선량(mSv)
200	3.777
220	4.538
245	4.564
270	4.981
290	5.233

그림 7 Projection 과 유효선량의 그래프

표 9 Projection 에 따른 유효선량 변화

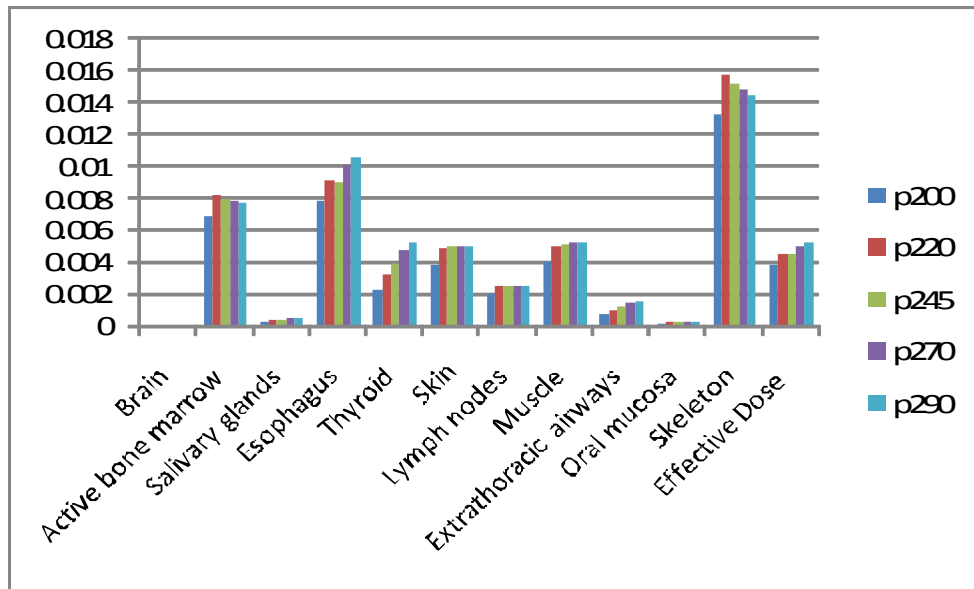


그림 8 Projection 에 따른 장기별 유효선량

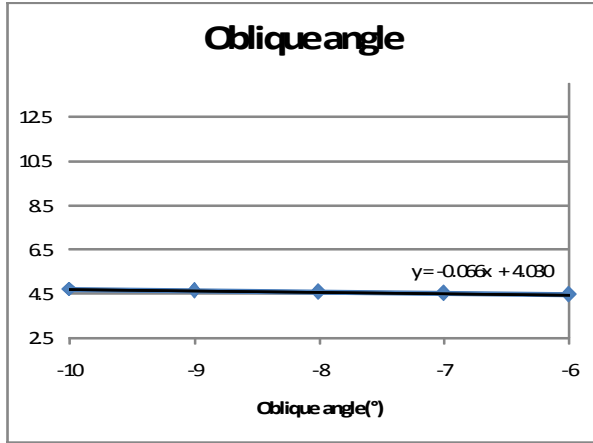


그림 9 Oblique angle 과 유효선량의 그래프

Oblique angle(°)	유효선량(mSv)
-10	4.701
-9	4.629
-8	4.564
-7	4.501
-6	4.431

표 10 Oblique angle 에 따른 유효선량 변화

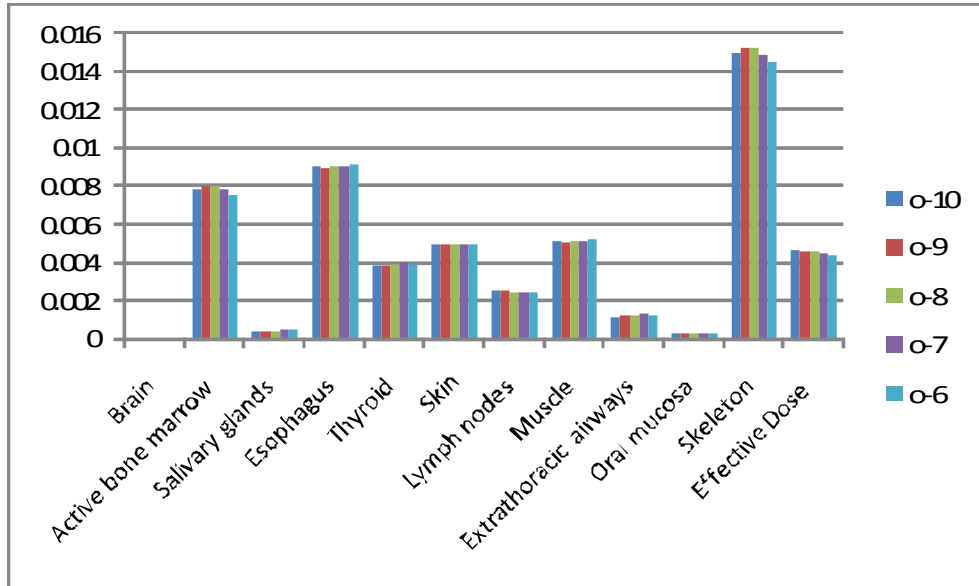


그림 10 Oblique angle 에 따른 장기별 유효선량

### (3) X-ray tube voltage

X-ray tube voltage를 55kV 에서 90kV 까지 변화시켜 본 결과, voltage가 증가할수록 유효선량이 커지는 것을 관찰하였다. 55kV 일 때 2.951mSv 로 가장 작은 값을 보였고, 90kV 일 때 6.045mSv 로 가장 큰 값을 보였다. P-value 는 1.16E-06 으로 통계적으로 유의미하게 나타났다. 계수는 0.088 로 아홉 가지 조건 중 두 번째로 큰 값을 보였다.

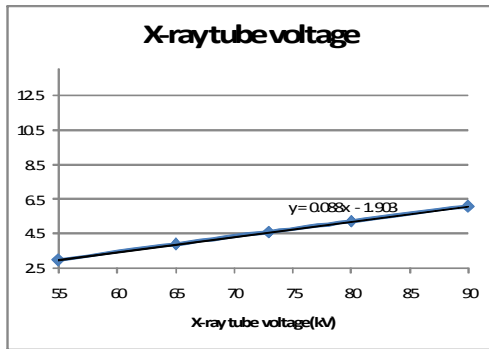


그림 11 X-ray tube voltage 와 유효선량의 그래프

X-ray tube voltage(kV)	유효선량(mSv)
55	2.951
65	3.861
73	4.564
80	5.199
90	6.045

표 11 X-ray tube voltage 에 따른 유효선량 변화

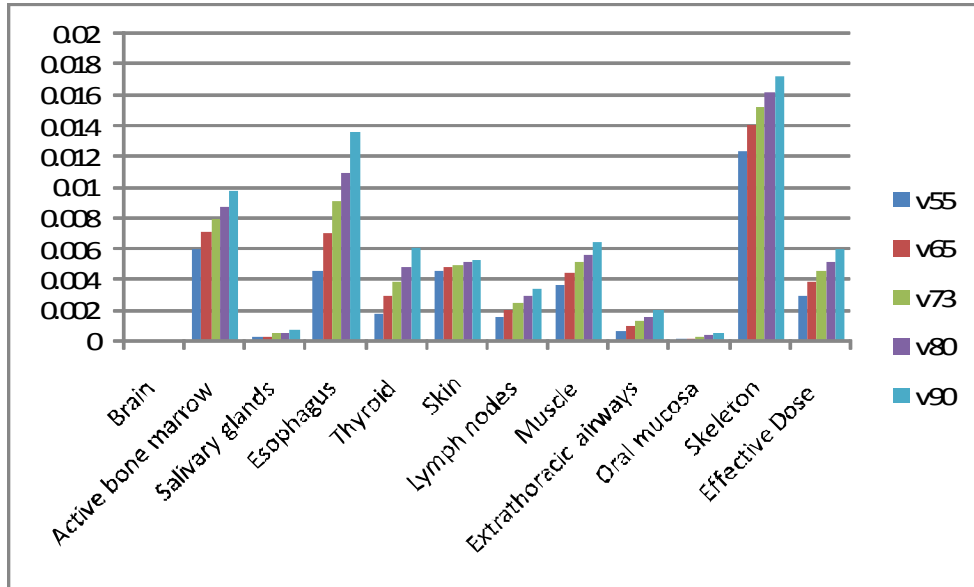
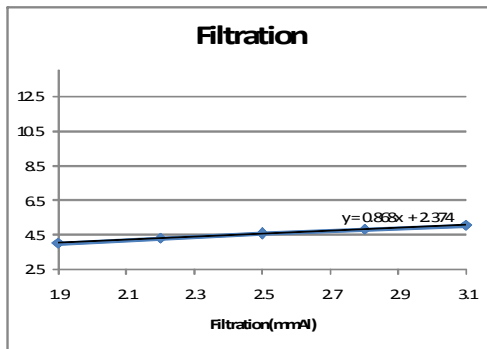


그림 12 X-ray tube voltage 에 따른 장기별 유효선량

#### (4) Filtration

Filtration을 1.9mm에서 3.1mm 까지 0.3mm 씩 변화시키며 유효 선량을 측정하였다. Filtration 이 두꺼울수록 유효선량이 커지는 경향을 보였고, P-value 는 3.26E-05 로 통계적으로 유의미한 것을 확인하였다. Filtration 에 따른 장기별 유효선량을 보면 filtration이 증가할수록 장기 별 유효선량도 증가하는 것을 확인할 수 있다.



Filtration(mm Al)	유효선량(mSv)
1.9	4.004
2.2	4.298
2.5	4.564
2.8	4.811
3.1	5.05

그림 13 Filtration 과 유효선량의 그래프

표 12 Filtraion 에 따른 유효선량 변화

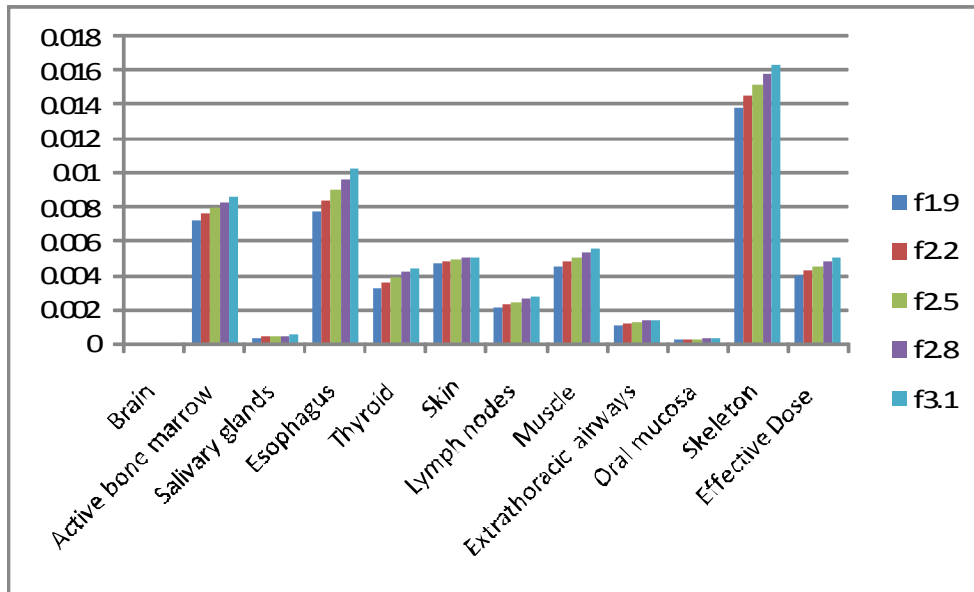
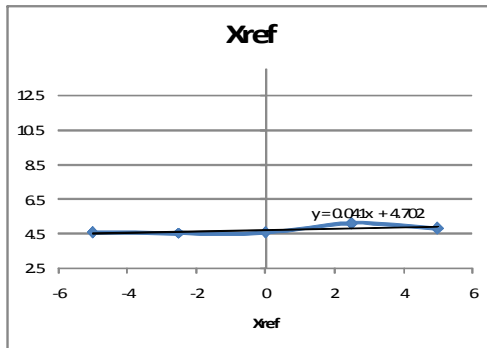


그림 14 Filtration 에 따른 장기별 유효선량

(5) Xref

팬텀의 왼쪽과 오른쪽을 의미하는 x축 좌표는 0을 기본값으로 하였다. 기준을 중심으로 -5에서 5까지 2.5씩 변화시켜가며 유효선량을 측정하였다. -5에서 -2.5로 갈 때와 +2.5에서 +5로 갈 때는 유효선량이 감소하였고, -2.5에서 +2.5로 증가할 때는 유효선량이 증가하는 것을 관찰하였다. -2.5일 때와 +2.5일 때를 비교해보면 왼쪽을 의미하는 +2.5에서 5.076mSv로 오른쪽인 -2.5에서 4.522mSv인 것 보다 큰 값을 보였다. 마찬가지로 +5일 때 4.797mSv이고, -5일 때 4.555mSv로 기준에서 같은 거리를 비교했을 때 역시 왼쪽에서 더 높은 값을 보였다. 통계적으로 유의미한 경향성은 찾을 수 없었다.



Xref	유효선량(mSv)
-5	4.555
-2.5	4.522
0	4.564
2.5	5.076
5	4.797

그림 15 Xref 와 유효선량의 그래프

표 13 Xref 에 따른 유효선량 변화

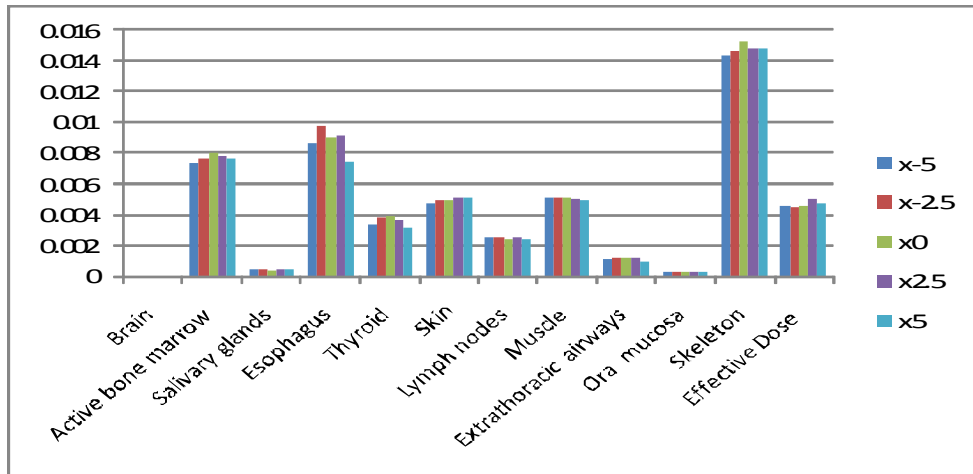


그림 16 Xref 에 따른 장기별 유효선량

(6) Yref

팬텀의 후방과 전방을 의미하는 y축 좌표는 -5를 기본값으로 하였다. -9에서 -1까지 2씩 변화시켜가며 유효선량을 측정하였다. -7에서 5.290mSv 로 가장 큰 값을 보였고, -9에서 4.540mSv 로 가장 작은 값을 보였다. 장기별 유효선량을 보면 y값이 변함에 따라 식도의 유효선량이 가장 크게 변화하였다. Y가 전방으로 갈수록 식도의 유효선량이 크게 증가하였다. 반면 피부와 골표면은 조사한 영역 안에서 y값이 커질수록 즉 후방으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. P-value 는 0.652154로 통계적으로 유의미성을 보이지 않았다.

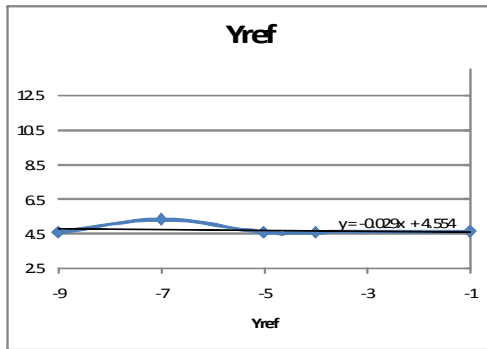


그림 17 Yref 와 유효선량의 그래프

Yref	유효선량(mSv)
-9	4.54
-7	5.29
-5	4.564
-4	4.554
-1	4.596

표 14 Yref 에 따른 유효선량 변화

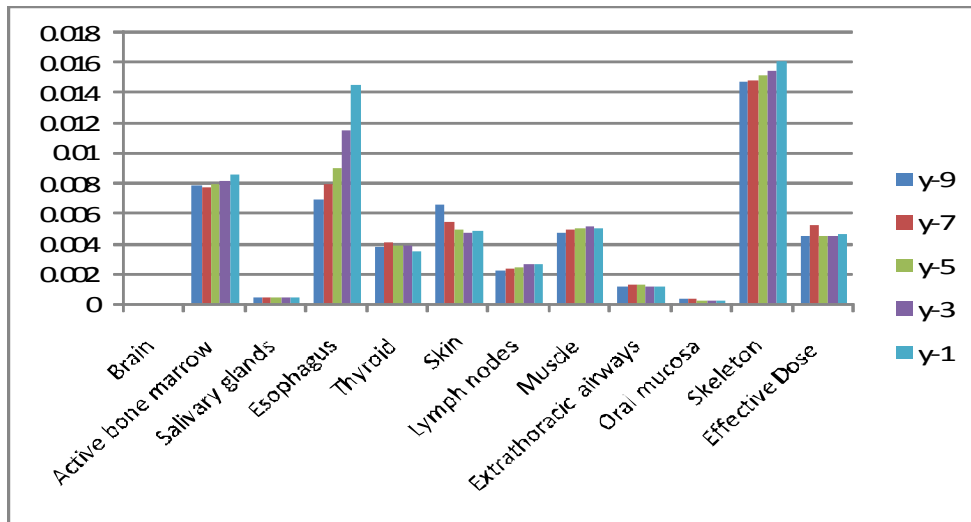


그림 18 Yref 에 따른 장기별 유효선량

(7) Zref

팬텀의 위쪽과 아래쪽을 의미하는 z축 좌표는 62를 기본값으로 하였다. 50에서 70까지 측정한 결과 55일 때 12.756mSv 로 가장 큰 값을 보였고, 65일 때 3.596으로 가장 작은 값을 보였다. Z축에 따라서 유효선량의 변화가 큰 것을 확인하여 60부터 63까지 1씩 변화시키며 측정해보았다. Zref가 60에서 63까지 1씩 증가함에 따라 유효선량은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 60이하와 65이상에서는 그 값이 크게 증가하는 것을 확인하였다.(표 6) 장기별 유효선량을 보면 갑상선은 z가 증가함에 따라 다시 말해 위로 올라갈수록 증가하였고 특히 z가 70일 때 눈에 띄게 큰 값을 보였다.

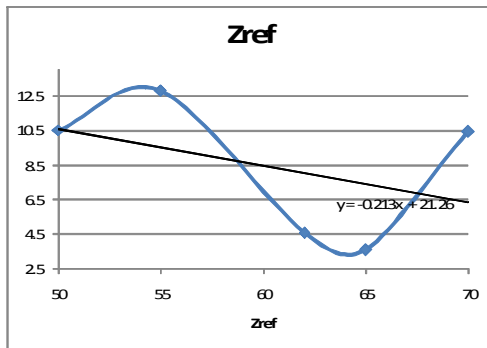


그림 19 Zref 와 유효선량의 그래프

Zref	유효선량(mSv)
50	10.496
55	12.756
62	4.564
65	3.596
70	10.433

표 15 Zref 에 따른 유효선량 변화

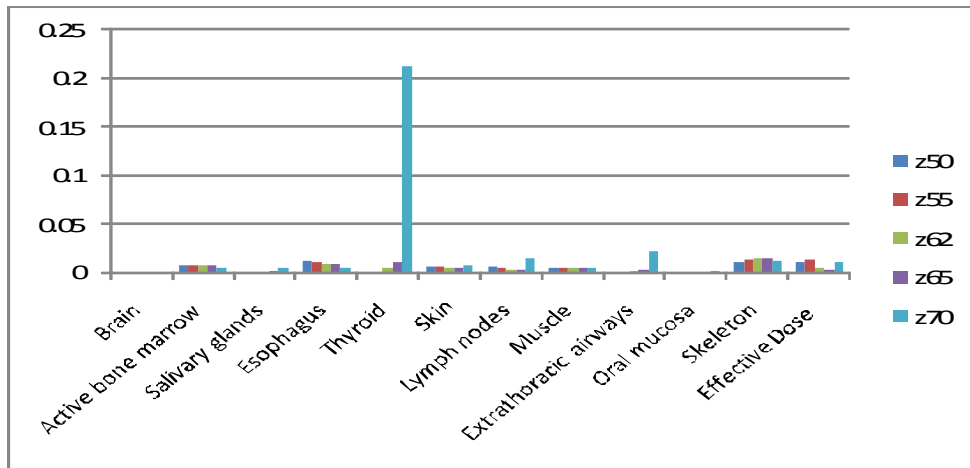


그림 20 Zref 에 따른 장기별 유효선량

(8) FRD

FRD 는 31cm를 기준으로 27cm에서 35cm까지 측정하였다. 유효선량의 변화는 소수점 세 자리 수준으로 미미했다. FRD 가 35cm 일 때 4.568mSv 로 가장 큰 값을 보였고, 29cm 일 때 4.563mSv 로 가장 작은 값을 보였다. P-Value는 0.052 로 통계적 유의미함은 없었다.

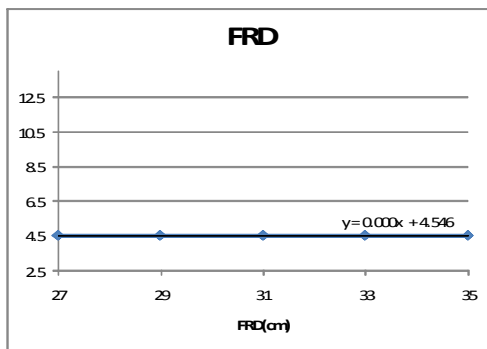


그림 21 FRD 와 유효선량의 그래프

FRD(cm)	유효선량(mSv)
27	4.564
29	4.563
31	4.564
33	4.567
35	4.568

표 16 FRD 에 따른 유효선량 변화

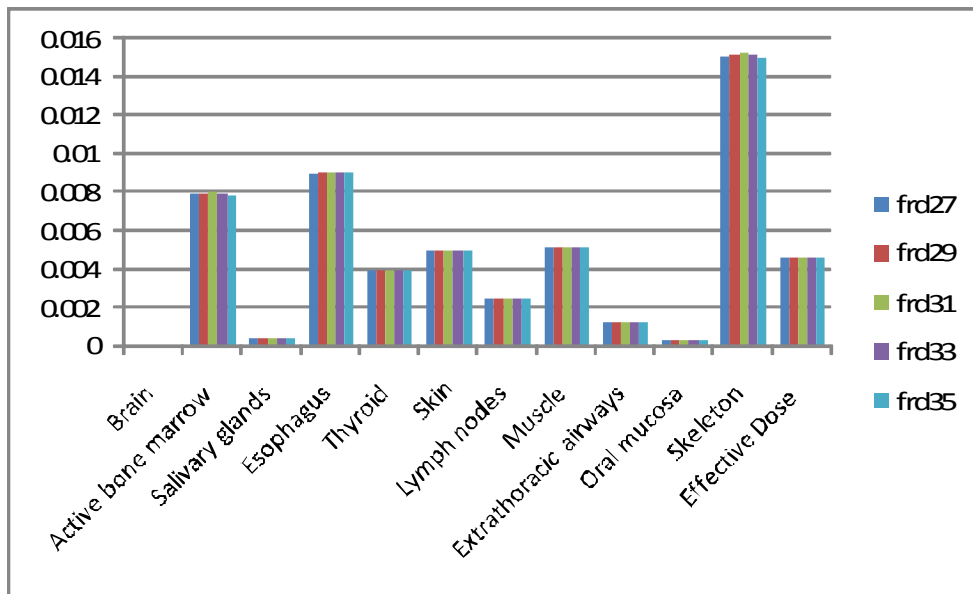
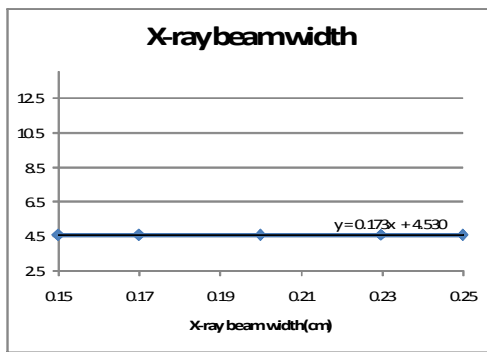


그림 22 FRD에 따른 장기별 유효선량



(9) X-ray beam width

X-ray beam width 는 0.20cm 를 기준으로 0.15cm 에서 0.25cm 까지 측정하였다. 최대값은 beam width가 0.23cm 일 때 4.577mSv 였고, 최소값은 0.17cm 일 때 4.556mSv 로 나타났다. P-value는 0.069 로 통계적 유의미함은 없었다.



X-ray beam width(cm)	유효선량(mSv)
0.15	4.56
0.17	4.556
0.2	4.564
0.23	4.577
0.25	4.571

그림 23 X-ray beam width 와 유효선량의 그래프

표 17 X-ray beam width 에 따른 유효선량 변화

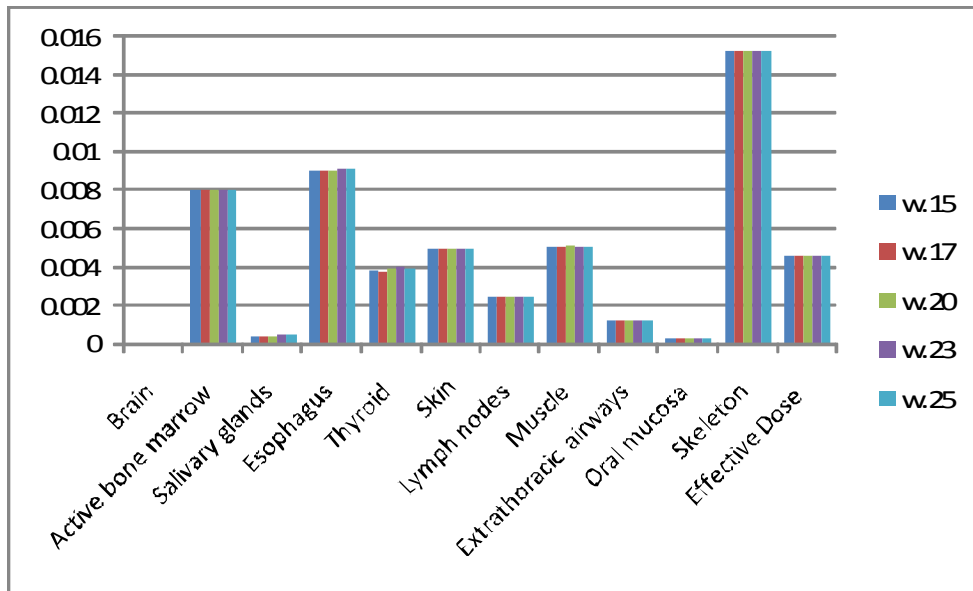


그림 24 X-ray beam width에 따른 장기별 유효선량

## VI. 고찰

Dosimetric method 를 이용한 유효선량 측정 실험에서 TLD chip 은 Harshaw사의 TLD-100 chip 으로 calibration 을 통하여 오차범위 5~10% 인 것을 사용하였다. 각각의 TLD chip 은 서로 접촉하지 않도록 비닐에 따로 담아 팬텀 슬라이스에 위치시켰다. 이번 연구에서는 파노라마방사선 촬영 시 두정부 영역에서 선량에 노출될 수 있는 장기 23개를 선별하였고, 1번부터 9번 슬라이스 상에 해당되는 위치에 chip 을 위치시켰다. 팬텀상의 한계로 인하여 몇 개의 장기는 서로 같은 위치에 적용하였다. 그 예로 좌측상악동과 좌측이하선, 구강인두관과 좌측악하선, 우측갑상선과 식도는 같은 위치를 사용하였다. 오차를 줄이기 위해 파노라마 촬영을 3회 반복 시행하였으며, 결과 계산 시 평균값을 사용하였다. TLD chip reader 로 측정한 등가선량 수치로부터 Ludlow J.(2013) 의 논문에 의거하여 유효선량을 계산하였다. 유효선량을 측정한 결과 Dosimetric method 로 측정한 총유효선량은 4.5605mSv 였다. 장기별로는 기타조직 (림프절, 근육, 기도, 구강점막)이 1.2857mSv 로 가장 높은 값을 나타냈고, 타액선이 1.2808mSv 로 두 번째로 높은 값을 보였다. 그 다음으로는 갑상선(0.9741mSv), 적색골수(0.3921mSv), 뇌(0.2390mSv), 골표면(0.1285mSv), 피부(0.1148mSv) 순서였고, 식도가 0.0973mSv로 가장 낮은 값을 보였다.

Monte-Carlo method 로 측정시 팬텀의 수직축에 해당하는 Zref 값에 따라 유효선량이 크게 변하는 것을 확인하였다. 다른 조건들은 고정된 상태로 Zref 값을 변화시키며 앞서 Dosimetric method 로 구한 유효선량과 비슷한 값을 가질 때를 기본값으로 설정하였다. Zref 가 62일 때 총유효선량이 4.564mSv 로 측정되었고 이때를 기본값으로 설정하였다. 장기별 유효선량은 적색골수에서 0.9593mSv 로 가장 높게 나타났다. 그 다음으로 골표면이 0.3144mSv 였고, 갑상선(0.1568mSv), 식도(0.0362mSv), 타액선(0.0046mSv), 피부(0.0025mSv) 순서로 높았으며 뇌

에서 0.0005mSv로 가장 낮게 나타났다.

Dosimetric method 로 측정한 유효선량은 4.5605mSv, Monte-Carlo method 로 측정한 유효선량은 4.5640mSv 로 나타났다. Dosimetric method의 경우 기타조직이 가장 높은 유효선량을 보였고, 식도에서 가장 낮은 값을 보인 반면 Monte-Carlo method에서는 적색골수가 가장 높은 값을 보였고, 뇌에서 가장 작은 값을 나타냈다. Dosimetric method 에서는 기타조직, 갑상선, 적색골수, 뇌, 골표면, 피부, 식도 순서로 유효선량이 작아진 반면 Monte-Carlo method에서는 적색골수, 골표면, 갑상선, 식도, 타액선, 피부, 뇌 순서로 감소하여 장기별 유효선량의 뚜렷한 경향성을 볼 수는 없었다.

PCXMC 에 존재하는 13가지 입력조건들 중에 총 9가지의 입력조건에 대하여 유효선량을 측정하였다. 기준값을 중심으로 -25%에서 +25% 범위로 조건을 변화시켜 각각 5개의 값에 대하여 장기별 유효선량 및 총유효선량을 산출하였다. 회귀분석결과 projection, oblique angle, X-ray tube voltage, filter 4개의 조건에 대하여 통계적으로 유의미한 경향을 발견하였다. 첫째로 projection 이 증가할수록 유효선량이 증가하였다. Skeleton 을 제외한 모든 장기에서 projection 이 증가할수록 유효선량이 증가하는 것을 관찰하였다. Projection 은 수평으로 파노라마방사선원이 조사되는 각도를 의미하는데 이 값이 커질수록 조사되는 범위가 넓어지므로 노출량이 많아지는 것으로 생각할 수 있다. 둘째로 Oblique angle 은 절대값이 커질수록 유효선량이 커지는 경향을 보였다. Oblique angle 이 커질수록 팬텀에 조사되는 수직각이 더욱 커지는 것을 의미한다. 즉 팬텀에 대하여 방사선이 비스듬하게 조사되어 더 넓은 영역을 통과하므로 노출량이 커지는 것으로 보인다. 셋째로 X-ray tube voltage 가 커질수록 유효선량도 커지는 경향을 보였고, 계수는 0.0885로 유의미한 결과를 보인 4가지 항목 중 가장 큰 값을 나타냈다. 관전압이 커질수록 노출량이 커지는 것을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 넷째로 Filter의 두께가 두꺼워질수록 유효선량이 크게 측정되었고, 계수는 0.8683이었다. FRD와 X-ray beam width에 대하여는 큰 차이를 보이지

않았다.

그 밖의 5가지 항목에 대해서는 통계적으로 유의미한 경향을 보이지 않았다. 한 가지 흥미로운 점은 Xref 에 대하여 중심부인 0점을 기준으로 같은 거리에 떨어진 부위에서의 유효선량을 비교해보면 왼쪽에서의 유효선량 값이 오른쪽에서보다 크게 나타났다는 것이다. Yref 에 대해서는 y값이 작아질수록 식도의 유효선량이 크게 증가한 것을 볼 수 있었다. 이것은 체내에서 식도가 비교적으로 전방에 위치한 것을 생각했을 때 타당한 결과로 보인다. 반면 골표면은 조사한 영역 안에서 y값이 커질수록 즉 후방으로 갈수록 증가하는 경향을 보였는데 이것은 골격에서 큰 부분을 차지하는 척추 및 두개골 등이 체내에서 후방에 위치한다는 것이 반영된 결과로 보인다. Zref 는 60에서 63까지의 범위에서는 z 값이 감소할수록 유효선량이 증가하는 경향을 보였다. 60이하와 63이상의 값에서는 유효선량이 크게 증가하였는데 이것은 우리가 조사하고자 하는 두경부 영역을 벗어났기 때문으로 생각된다. FRD와 x-ray beam width는 유효선량에 거의 영향을 미치지 못하였는데 이는 input dose 인 DAP 값을 고정해놓고 FRD와 width만 변화시켰기 때문인 것으로 보인다.

## VII. 결론

성인의 파노라마방사선 조사시 Dosimetric method 로 측정된 총 유효선량은 4.5605mSv 이고, Monte-Carlo method 로 측정된 총유효선량은 4.5640mSv 이다. 장기별 유효선량값은 두 방법에서 서로 다른 양상을 보였다. PCXMC 입력조건 중에 projection, x-ray tube voltage, filtration 은 통계적으로 유의미한 양의 상관관계를 보였고, oblique angle 은 통계적으로 유의미한 음의 상관관계를 보였다.

## VIII. 표

	Organ	Phantom slice number	TLD chip ID
1	Calvarium anterior	1	M9, M5, I1
2	Midbrain	2	I11, KS2, KS3
3	Calvarium left	3	KS8, KS9, KS11
4	Midbrain	3	A10, B1, B6
5	Calvarium posterior	4	B8, B10, C3
6	Pituitary	4	C9, D1, D4
7	Lens-right	4	D5, D6, D7
8	Lens-left	4	E7, E8, E10
9	Right ethmoid	5	E12, F1, F8
10	Left maxillary sinus	5	F9, F11, G1
11	Oropharyngeal airway	7	G5, G6, G8
12	Right parotid	5	H1, H6, H11
13	Left parotid	5	F9, F11, G1
14	Right ramus	6	H12, I4, I6
15	Left back of neck	6	I8, I10, J1
16	Right submandibular gland	7	J7, J9, J10
17	Left submandibular gland	7	G5, G6, G8
18	Center sublingual gland	7	K1, K2, K5
19	Center C spine	7	K7, K9, K10
20	Lateral neck-left	9	K11, L1, L4
21	Thyroid-left	9	L5, L7, L8
22	Thyroid-right	9	L9, L10, M10
23	Esophagus	9	L9, L10, M10

※ Phantom 상의 한계로 아래의 장기는 서로 같은 위치에 적용함.

- 1) Left maxillary sinus = Left parotid
- 2) Oropharyngeal airway = Left submandibular gland
- 3) Thyroid-right = Esophagus

표 1 성인 팬텀상에서 TLD chip의 위치

Organ	1차(uGy)	2차(uGy)	3차(uGy)	평균(uGy)	sd
Midbrain	50.15	48.87	40.71	15.52556	1.706944
Midbrain	25.72	56.47	60.18	15.81889	6.305227
Pituitary	557.7	674.6	421.7	183.7778	42.19005
Calvarium anterior	88.5	34.42	144.1	29.66889	18.28059
Calvarium left	50.15	48.87	40.71	15.52556	1.706944
Calvarium posterior	96.28	64.81	101.3	29.15444	6.592759
Right ramus	NULL	169.1	193.3	60.4	5.703995
Center C spine	82.18	48.78	78.28	23.24889	6.087358
Right parotid	140	171.7	162.3	52.66667	5.427195
Left parotid	200.8	150.1	191.8	60.3	9.016836
Right submandibular gland	277.9	312.8	357.9	105.4	13.36941
Left submandibular gland	256.2	247.3	315.6	91.01111	12.37714
Center sublingual gland	379.2	725.7	961	229.5444	97.55526
Esophagus	68	71.54	79.43	24.33	1.950444
Thyroid-left	70.36	60.1	88.91	24.37444	4.867477
Thyroid-right	68	71.54	79.43	24.33	1.950444
Left back of neck	181.6	159.7	215.2	61.83333	9.318262
Oropharyngeal airway	256.2	247.3	315.6	91.01111	12.37714
Lateral neck-left	51.16	54.86	54.36	17.82	0.669162
Lens-right	96.99	132.5	99.68	36.57444	6.590325
Lens-left	100.5	98.42	118.3	35.24667	3.642295

표 2 TLD reader 로 측정된 선량

	Fraction(%)	측정값	조직가중계수	유효선량(mSv)
뇌	100	71.70741	0.04	0.717074
적색골수	12.2		0.12	1.17627
하악	0.8	181.2		
두개관	7.7	74.35		
경추	3.8	69.15		
타액선	100		0.01	3.842317
이하선	100	169.45		
악하선	100	294.615		
설하선	100	688.63		
식도	10	72.99	0.04	0.29196
갑상선	100	73.055	0.04	2.9222
피부	5	688.63	0.01	0.344315
골표면	16.5		0.01	0.530168
하악	1.3	181.2		
두개관	11.8	74.35		
경추	3.4	69.15		
기타조직			0.12	3.857169
림프절	5	165.1296		
근육	5	165.1296		
기도	100	154.6936		
구강점막	100	246.6533		
총유효선량				13.68147/3 = 4.560491
※ Bone surface dose = bone marrow dose x bone/muscle mass energy absorption coefficient ration = $-0.0618 \times 2/3 \text{ kV(p)} + 6.9406$ (NBS Handbook 85). ※ 조직가중계수는 2007년도에 발표된 ICRP 103 보고서에서 제시한 값을 사 용함.				

표 3 Dosimetric method 로 얻은 유효선량값 계산

PCXMC 성인 기본조건	
Projection: 245	Patient weight: 0
Oblique angle: -8	X-ray beam width: 0.203475
Filtration: 2.5mmAl	X-ray beam height: 9.048649
X-ray tube voltage: 73kV	Xref: 0
Patient age: 30	Yref: -5
Patient height: 0	Zref: 62

표 4 PCXMC 성인 기본조건

	R square	Adjusted R square	F value	P value	계수
Projection	0.9024555 81	0.8699407 74	0.0133293 07	0.0133293 07**	0.0144518 87
Oblique angle	0.999498	0.999331	4.77E-06	4.77E-06* *	-0.0668
X-ray tube voltage	0.999805	0.999739	1.16E-06	3.26E-05* *	0.088527
Filtration	0.998193	0.99759	3.26E-05	3.26E-05* *	0.868333
Xref	0.485443	0.313924	0.191094	0.191094	0.04152
Yref	0.076603	-0.2312	0.652154	0.652154	-0.02971
Zref	0.176654	-0.09779	0.481057	0.481057	-0.21343
FRD	0.765957	0.687943	0.051929	0.051929	0.0006
X-ray beam width	0.717969	0.623958	0.069945	0.069945	0.173529

표 19 각 조건별 회귀분석 결과



## 참고문헌

- 1) Williams J R. Measurement of dose in panoramic dental radiology, *The British Journal Radiology*, 2000: 1002-6.
- 2) 전재식, 오희필, 최철규, 오현진, 감마선분광분석 및 열형광검출법에 의한 자연방사선의 선량측정연구, 방사선방어학회지, 1985, 제 10권, 제 2호: 96-108.
- 3) Khelassi-Toutaui N, Berkani Y, Tsapaki V, Toutaoui A. E. K, Merad A, Frahi-Amroun A, and Brahimi Z, Experimental evaluation of PCXMC and prepare codes used in conventional radiology, *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, Vol. 131, No. 3: 374-8.
- 4) Pradhan A S, Lee J I, Kim J L, Recent developments of optically stimulated luminescence materials and techniques for radiation dosimetry and clinical applications, *Journal of Medical Physics*, 2008, Vol. 33, No. 3: 85-99.
- 5) Ludlow J, Walker C, Assessment of phantom dosimetry and image quality of I-CAT FLX cone-beam computed tomography, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2013:802-17.
- 6) Koivisto J, PhLic, Kiljunen T, Tapiovaara M, Wolff J and Kortensniemi M, Assessment of radiation exposure in dental cone-beam computerized tomography with the use of metal-oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET) dosimeters and Monte Carlo simulations, *Oral and maxillofacial radiology*, 2012, Vol. 114, No. 3: 393-400.
- 7) Tapiovaara M, Lakkisto M, Servomaa A, A PC-Based Monte Carlo Program for calculating Patient Doses in Medical X-Ray

Examinations, STUK-A139, Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Agency, 1997, Vol. 28, No. 16: 3-55.

8) Andreo P, Monte Carlo techniques in medical radiation physics, Physics in Medicine and Biology, 1991, Vol. 36, No. 861: 861-920.

9) 최순철, 파노라마방사선촬영기종에 따른 흡수선량 차이, 대한구강악안면방사선학회지, 2000 ; 30 : 11-15.

10) International Commission on Radiological Protection(ICRP). The 2007 Recommendations of the international commission on radiological protection. Publication 103, Ann. ICRP, 2007.

11) Thilander-Klang A, Helmrot E, Methods of determining the effective dose in dental radiology. Radiat. Prot. Dosim 2010; 139 : 306-309.

12) Khelassi-Toutaoui N, Berkani Y, Tsapaki V, Touta oui A.E.K, Merad A, Frahi Amroun A, Experimental evaluation of PCXMC and prepare codes used in conventional radiology. Radiat. Prot. Dosim 2008; 131 : 374-378.

13) Lulow J. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. Dentomaxillofacial Radiology 2003; 32 : 229-234.

14) Williams JR, Montgomery A, Measurement of dose in panoramic dental radiology. The British Journal of Radiology, 2000; 73 : 1002-1006.

15) 보건복지부, 식품의약품안전청. 환자선량 측정 가이드라인. 2007; 12.

## 외국어초록(Abstract)

### Abstract

A study of the effects of dose determining factors on the effective dose measured by Monte-Carlo methods in panoramic images

Lee, Seyoung  
Department of Dentistry  
School of Dentistry  
Seoul National University

**Purpose:** Purpose of this study is to determine the effect of dose determining factors to the effective dose which is measured by using Monte-Carlo method when taking a panoramic radiology image.

**Materials and method:** Measure effective dose by using dosimetric method. Measure effective dose by using PCXMC(PC-Based Monte-Carlo program). Measure effective dose by using PCXMC while changing some dose determining factors such as projection, oblique angle, X-ray tube voltage, filtration, Xref, Yref, Zref, FRD(Focus-Reference point distance), X-ray beam width.

**Results:** The effective dose measured by dosimetric method was 4.5606mSv. The effective dose measured by Monte-Carlo method was 4.5640mSv. As projection, x-ray tube voltage, filtration increase, the effective dose increases. As oblique angle increases, the effective dose decreases.

**Conclusion:** Among the factors which have been tested,

projection, x-ray tube voltage, filtration show positive relationship with the effective dose. Whereas for the oblique angle, the effective dose decreases as the oblique angle increases.

**Keywords:** Monte-Carlo method, PCXMC(PC-Based Monte-Carlo method program), Dosimetric method, Effective dose

**Student number:** 2012-22189