

◆ 원 저 ◆

치과방사선검사에서 방사선방어용구 사용 전, 후의 유효선량에 대한 평가

김재인 · 최원근 · 이소라 · 이정화 · 이관섭

서울아산병원 영상의학팀

– Evaluation of effective dose in panorama, cone beam CT and the usefulness of x-ray protective –

Jae In Kim · Won Keun Choi · So La Lee · Hwa Jung Lee · Kwan Sub Lee

Department of Radiology, Asan Medical Center

Abstract

The purpose of this study was to measure the absorbed dose and calculate the effective dose for cone beam computed tomography (CBCT) and panorama units and to estimate usefulness of x-ray protective. Rando phantom and glass dosimeters were used for dosimetry. The absorbed doses were measured at 15 organs and 14 remainder from correspond to ICRP 2007 recommendations.

The absorbed dose was highest in salivary glands as measured CBCT 2.420mGy, panorama 0.307mGy. Absorbed dose in another organs were high in order of thyroid, brain, skin, esophagus. The effective dose was CBCT 0.100mSv, panorama 0.011mSv and effective dose of panorama was higher than that of CBCT by 10 times. In case of wearing x-ray protective, reducing effective dose of CBCT by 0.066mSv (66%) and panorama by 0.008mSv (72%).

Effective dose were reduced by radiological shielding but it needs further optimization studies, where dosimetric data are analyzed in combination with image quality with keep the patients' exposure as low as possible.

Key word : Panorama radiography, CBCT, Absorbed dose, Effective dose

Received: September 14, 2012, 1st Revised: September 28, 2012, /
2nd Revised: October 19, 2012./ Accepted for Publication: October
26, 2012.

Corresponding Author: 김재인
(138-736) 서울시 송파구 서울아산병원길 86 영상의학팀
Tel: 02) 3010-4307 CP: 010-2747-2094
E-mail: radioasan@naver.com

I. 서론

파노라마 촬영은 치아와 악골의 전반적인 구조를 평가하는데 매우 유용한 촬영법으로, 1회의 촬영으로 모든 치아와 악골의 상을 얻을 수 있어 정기 검진이나 일차적인 검사 시에 자주 이용되고 있으며,¹ Cone Beam Computed Tomography(이하; CBCT)는 교정학 영역이나 일반치료에서 한계가 있는 이차원적인 영상을 기존 전산화단층촬영(Computed Tomography(이하; CT)에 비해 저선량으로 삼차원적 영상을 구현함으로써 보완할 수 있기 때문에 사용빈도가 점차 증가하고 있는 추세에 있다. 실제로 구강 검진의 효과 증진을 위한 방사선사진의 필요성에 관한 연구에 따르면 설문 조사 대상자의 70.6%가 필요하다고 응답하였고 83.2%는 실제 도움이 됐다는 평가를 내렸다.² 하지만 의료방사선에 노출되는 횟수도 그 만큼 증가하기 때문에 환자가 받는 방사선량의 평가와 피폭선량 감소를 위한 저감화 대책이 필요한 실정이지만³ 치과방사선 검사는 가시적인 신체 변화를 유발시키는 경우가 거의 없으며, 신체적 장애가 발생되더라도 회복 가능한 변화이므로 방사선 방어에 대한 고려를 소홀히 하는 경향이 많다.⁴ 비록 진단목적의 저선량의 방사선 노출이라도 암 발생, 유전에 의한 돌연변이 발현 등에 대한 확률적 효과가 나타날 수 있으므로 환자에 대한 방사선 방어가 반드시 이루어져야 한다.⁵ 이미 파노라마 또는 CBCT촬영 시 여러 가지 기관이나 조직에 노출되는 선량에 대한 선행 연구^{5~10}는 많이 보고되었고 또 진행되고 있다. 이에 본 연구에서도 본원에서 사용하고 있는 치과 파노라마 장치와 CBCT장치의 흡수선량과 유효선량을 측정하여 본원의 선량 수준을 다른 선행 연구들과 비교해 확인해보고 방사선 방어용구(Pb apron, thyroid protector, Pb goggle)착용에 따른 선량 감소효과를 측정하여 그 유용성 여부를 알아보고자 하였다.

II. 실험기기 및 방법

1. 실험기기

- 1) X선 발생장치: Sirona Orthophos XG 5/Ceph (Panorama)
Sirona Galileos (CBCT)
- 2) Glass Dosimeter: DoseAce FGD-1000 (ASAHI

TECHNO GLASS)

- 3) Element: GD352M (ASAHI TECHNO GLASS)
12mm, with marking, Dose Range 0.01mGy-10Gy, Measurement range 15KeV-20Mev
- 4) Element Holder: Inserted Sn(ASAHI TECHNO GLASS)
- 5) Unfors Xi meter: Multi function meter (Unfors)
- 6) RANDO Phantom: ART-200X (Flukebiomecal)
Following ICRU report No. 44, 175cm and 73.5kg With 5mm hole for Glass dosimeter element, 3×3cm interval Thickness 2.5cm, 36slice
- 7) Pb Apron, Thyroid protector, Pb goggle

2. 실험방법

1) 측정준비

유리선량계 소자 GD352M(이하; 소자)를 방사선에 노출시키기 전 잔존하는 에너지를 방출시키기 위해 annealing oven에 넣어 섭씨 400°C에서 1시간 소성시켜 실온에서 식힌 후 reader기를 통해 소자에 남아있는 에너지(background dose)를 측정하였다. 측정된 소자는 ICRP 103에서 제시하는 장기/조직 가중인자¹¹를 토대로해 부하적으로장기의중심부분에해당되는 phantom의 slice에 삽입하였다(Table 1).

2) 공기 중에서의 흡수선량 측정

소자가 삽입된 RANDO 팬텀을 파노라마 장비와 CBCT장비의 측정위치에 놓고 실제 본원에서 시행하고 있는 촬영 protocol에 따라 노출을 시행하였다. 파노라마 장치의 protocol은 68kVp, 8mA, 14.1s, P1C 프로그램 모드였고, CBCT장치는 85kVp, 42mAs(5-7mA, pulsed mode 10ms - 30ms), Volume 2 standard 프로그램 모드로 설정하였다. 노출이 완료되면 소자를 수거하여 섭씨 70°C에서 30분간 전 처리가열을 시키고 실온에서 식힌 후 reader기에서 10회 측정하여 그 평균값을 구하고 소자에 남아있던 background does를 감산하여 장기/조직에 대한 공기 중에서의 흡수선량(D_{air})을 구하였다.

3) 질량에너지흡수계수를 이용한 조직의 흡수선량

측정된 D_{air}의 값은 공기 중에서의 흡수선량(mGy)이기 때문에 실제 조직에서의 흡수선량 값으로 바꾸어 주어야 하는데 여기에 질량에너지흡수계수가 사용된다.

Table 1. Glass dosimeter location

ORGAN			Remainder	
		Slice No.		Slice No.
Bone marrow	R/L calvarium *2	1	*Extrathoracic airways	-
	Anterior calvarium	2	Lymphatic nodes	-
	Posterior calvarium	2	Oral mucosa	-
	R/L mandibular ramus *2	6	Muscle	-
	R/L mandibular body *2	7	Thymus	13
	Central cervical spine *2	6	Heart	17
	Brain	Mid brain *2	2	Adrenals *2
	Pituitary fossa *2	3	Spleen	20
Eyes	R/L orbit *2	3	Pancreas	21
	R/L lens of eye *2	3	Gall bladder	23
Skin	R/L cheek *2	5	Kidney *2	23
	Back of neck	7	Small intestine *2	26
Salivary gland	R/L parotid gland *2	5	Uterus(female)	32
	R/L sublingual gland *2	7	Prostate(male)	34
	R/L submandibular gland *2	7		
	Thyroid *2	9		
	Esophagus *2	9,10		
	Bone surface	-		
	R/L lung *4	14,15		
	Breast *2	17		
	Stomach *2	19,20		
	Liver *3	20,21,22		
	Colon *3	24,25,27		
	Ovaries(female gonads) *2	31		
	Bladder	33		
	Testicles(male gonads)	35		

두경부 FOV에 해당되는 Organ & Remainder

* Extrathoracic airways: Trachea, Pharynx, Nasal sinuses

질량에너지 흡수계수를 알기 위해 장비의 검출기에서 Unfors Xi meter를 이용하여 반가층을 측정하여 유효 에너지를 산출하였고 유효에너지로부터 X선 에너지와 물질 종류에 따른 물질에너지흡수계수 표를 이용하여 각각의 물질에너지흡수계수 값을 보정하여 장기/조직에서의 흡수선량(D_{tissue})값을 구하였다(Eq. 1).¹²

$$D_T = \frac{(\mu_{en}/\rho)_{tissue}}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} D_{air} \text{ (mGy)} \quad (1)$$

D_T: Absorbed dose in Tissue

(μ_{en}/ρ)^{tissue} : Mass absorption coefficient of tissue

(μ_{en}/ρ)^{air} : Mass absorption coefficient of air

위와 같이 환산된 조직의 흡수선량(D_T)을 각 부위 별로

평균을 내어 촬영 시 방사선에 조사되는 조직의 percentage를 보정하고 방사선 종류에 따른 가중인자(W_R)를 곱하여 방사선 등가선량(H_T)을 계산하였다(Eq. 2).

$$H^T = D_T W_R (\text{mSv}) \quad (2)$$

D_T : Absorbed dose in Tissue

W_R : 방사선의 종류에 따른 가중인자

등가선량(H_T)을 계산할 때 파노라마 촬영이나 CBCT 촬영 시 방사선에 조사되는 조직의 percentage는 Thyroid, Salivary gland, Brain이 100%, Esophagus는 10%, Skin은 5%가 조사된다고 간주하였다. Bone marrow는 Mandible(1.3%), Calvaria(11.8%), Cervical (3.4%)의 조직흡수선량 합으로 계산하였다. 인체모형 팬텀에서 소자를 통한 직접 측정이 불가능한 Bone surface와 Remainder조직에 대한 평균 흡수선량은 Ludlow등의

방법⁸으로 구하였는데 다음과 같다. Bone surface는 Bone marrow의 평균흡수선량에 X 4.64배 해주었고 Remainder조직에서 Extrathoracic airways는 침샘의 평균흡수선량과 동일하게 간주하였으며, Lymphatic nodes와 Oral mucosa는 침샘의 평균흡수선량에 각각 0.05배 0.33배 보정하였다. 마지막으로 Muscle은 R/L Orbit, Cervical, Sublingual, Esophagus의 각각의 흡수선량 합으로 간주하였다(Table 2).

4) 유효선량의 계산

계산된 각 장기/조직의 등가선량(H_T)에 해당 조직의 가중계수(tissue weighting factors)를 곱해주고 그 총합으로 유효선량을 계산하였다(Eq. 3). 조직가중계수는 전체적인 방사선 위험도에 대한 조직 및 기관의 상대적인 기여도를 나타내며, 2007년에 개정 공지된 15개 조직과 14개의 기타조직의 계수를 이용하였다¹²(Table 3).

Table 2. Estimated percentage of tissue irradiated used to calculate mean absorbed dose to a tissue or organ

Tissue or organ	Fraction irradiated(%)	Estimated absorbed dose
Bone marrow	16.5	
Mandible	1.3	
Calvaria	11.8	
Cervical spine	3.4	
Thyroid	100	
Esophagus	10	
Skin	5	
Salivary glands	100	
Parotid	100	
Submandibular	100	
Sublingual	100	
Brain	100	
Bone surface	16.5	Bone marrow X 4.64
Remainder		
Extrathoracic airways	100	Salivary gland
Lymphatic nodes	5	Salivary gland X 0.05
Oral mucosa	100	Salivary gland X 0.33
Muscle	5	R/L orbit
		Cervical
		Sublingual
		esophagus
		X0.05
Eyes	100	

Table 3. Tissue weighting factor for calculation of effective dose-ICRP 103

Organ	Weighting factor(ICRP103)	Remainder	Weighting factor(ICRP103)
Bone marrow	0.12	Extrathoracic airways	0.12/13
Brain	0.01	Lymphatic nodes	0.12/13
Skin	0.01	Oral mucosa	0.12/13
Salivary gland	0.01	Muscle	0.12/13
Thyroid	0.04	Thymus	0.12/13
Esophagus	0.04	Heart	0.12/13
Bone surface	0.01	Adrenals	0.12/13
R/L lung	0.12	Spleen	0.12/13
Breast	0.12	Pancreas	0.12/13
Stomach	0.12	Gall bladder	0.12/13
Liver	0.04	Kidney	0.12/13
Colon	0.12	Small intestine	0.12/13
Ovaries(female gonads)	0.08/2	Uterus(female)	0.12/26
Bladder	0.04	Prostate(male)	0.12/26
Testicles(male gonads)	0.08/2		

$$E = \sum_T W_T H_T(\text{mSv}) \quad (3)$$

H_T : 조직 또는 기관 T에 대한 등가선량

W_T : 조직 또는 기관 T의 조직가중인자

5) 방사선 방어용구의 유용성평가

방사선 방어용구의 유용성 평가는 갑상선 보호구와 납 안경을 사용하여 두경부 영역을 차폐한 경우와 납 앞치마를 착용하여 두경부 외 영역을 차폐한 경우로 나누어 방사선보호구 착용 유무에 따른 유효선량을 측정하여 비교 평가하였다.

III. 결 과

1) 장기/조직의 흡수선량

파노라마 장치와 CBCT 장치를 이용해 방사선 노출에 따른 장기/조직의 흡수선량을 측정한 결과 파노라마와 CBCT 모두 침샘에서 0.307mGy, 2.420mGy로 흡수선량이 높게 측정되었고 수정체에서 파노라마 0.005mGy, CBCT에서 0.566mGy를 갑상선에서 파노라마 0.020mGy, CBCT 0.336mGy로 간접측정선량 값 bone surface 와 remainder조직을 제외하고 다음으로 높게 측정되었다.

하지만 측정된 선량이 결정론적 영향과 관련한 문턱선량과 비교해 매우 낮은 선량수준임을 확인할 수 있었고 두경부 영역에서 장기/조직선량이 체부와 하복부영역에서의 선량과 비교해 90%이상 높아 선량분포가 두경부 영역에 집중된 것을 알 수 있었다(Table 4).

2) 유효선량

ICRP 103에서 제시하는 조직가중계수를 기준으로 계산한 유효선량은 CBCT는 0.100mSv, 파노라마는 0.011mSv로 CBCT가 파노라마에 비해 10배정도 유효선량이 높게 나타났다. 치과 방사선 검사 시 유효선량에 대한 기존의 연구 결과와 비교해 볼 때 본원 촬영장치에서 측정된 유효선량의 값 역시 기존의 연구 결과에 준하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다. 대표적 방사선 촬영에 대한 유효선량과 자연방사선의 비교를 보면 파노라마 검사는 자연방사선의 1.5일정도로 미미하였고 CBCT검사는 10일 정도를 보였지만 흉부나 복부 CT검사와 비교해 낮은 수준임을 알 수 있었다(Table 5).

Table 4. Absorbed organ dose (mGy) and effective dose (mSv) for CBCT and panoramic unit.

organ/ Remainder	CBCT	Apron	Thyroid Goggle	Protector All	Panorama	Apron	Thyroid Goggle	Protector All	Weighting factor
Eyes	0.566		0.389		0.005		0.004		-
Bone marrow	0.111	0.111	0.031	0.031	0.005	0.005	0.001	0.001	0.12
Brain	0.235	0.235	0.182	0.182	0.006	0.006	0.005	0.005	0.01
Skin	0.122	0.122	0.048	0.048	0.005	0.005	0.000	0.000	0.01
Salivary gland	2.420	2.420	0.890	0.890	0.307	0.307	0.056	0.056	0.01
Thyroid	0.336	0.336	0.093	0.093	0.020	0.020	0.003	0.003	0.04
Esophagus	0.019	0.019	0.006	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.04
Bone surface	0.517	0.517	0.144	0.144	0.023	0.023	0.005	0.005	0.01
R/L lung	0.019	0.008	0.019	0.008	0.004	0.002	0.004	0.002	0.12
Breast	0.019	0.002	0.019	0.002	0.001	0.003	0.001	0.003	0.12
Stomach	0.005	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.12
Liver	0.007	0.002	0.007	0.002	0.005	0.002	0.005	0.002	0.04
Colon	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.12
Ovaries(female gonads)	0.002	0.003	0.002	0.003	0.005	0.002	0.005	0.002	0.04
Bladder	0.011	0.003	0.011	0.003	0.004	0.001	0.004	0.001	0.04
Testicles(male gonads)	0.006	0.003	0.006	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.04
Extrathoracic airways	2.420	2.420	0.890	0.890	0.307	0.307	0.056	0.056	0.009
Lymphatic nodes	0.121	0.121	0.045	0.045	0.015	0.015	0.003	0.003	0.009
Oral mucosa	0.799	0.799	0.294	0.294	0.101	0.101	0.019	0.019	0.009
Muscle	0.244	0.244	0.060	0.060	0.024	0.024	0.001	0.001	0.009
Thymus	0.030	0.010	0.030	0.010	0.008	0.002	0.008	0.002	0.009
Heart	0.008	0.004	0.008	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009
Adrenals	0.006	0.004	0.006	0.004	0.005	0.002	0.005	0.002	0.009
Spleen	0.007	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.009
Pancreas	0.003	0.003	0.003	0.003	0.006	0.003	0.006	0.003	0.009
Gall bladder	0.005	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.009
Kidney	0.005	0.003	0.005	0.003	0.004	0.001	0.004	0.001	0.009
Small intestine	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.009
Uterus(female)	0.019	0.003	0.019	0.003	0.007	0.002	0.007	0.002	0.004
Prostate(male)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.001	0.004
Effective dose (ICRP 103)	0.100	0.095	0.039	0.034	0.011	0.011	0.004	0.003	mSv

두경부 FOV에 해당되는 Organ & Remainder

Table 5. Comparison of effective dose between the literature and natural radiation [mSv]

First author	CBCT	Panorama	부위	유효선량	자연방사선
Gijbels et al(7)	-	0.005 ~ 0.015	Chest	0.1	10 days
Iudlow et al(8,9)	0.059 ~ 0.569	0.004 ~ 0.041	Mammo	0.7	3 months
Kim et al(11)	0.146 ~ 0.598	0.023	Spine	1.5	6months
Lee et al(10)	0.123 ~ 0.183	0.04	Chest CT	7	2 years
White SC et al(6)	0.02 ~ 0.599	0.009 ~ 0.026	abdomen CT	10	3 years
Asan	0.100	0.011	panorama/CT	0.011/0.100	1.5 days/1 month

3) 방사선 보호구의 유용성 평가

납 앞치마를 착용하여 두정부 외 영역을 차폐한 상태의 유효선량은 파노라마에서 착용전과 동일하였고 CBCT는 0.095mSv로 착용전과 비교해 5%의 선량감소효과를 보였다. 갑상선 보호구, 납 안경을 사용하여 두정부 영역을 차폐한 상태의 유효선량은 파노라마에서 0.004mSv로 63%의 유효선량 감소를 보였고 CBCT는 0.039mSv로 60%의 유효선량 감소를 보여 치과 방사선 검사에 대해 두정부 영역에 대한 방사선 방어용구의 유용성이 납 앞치마에 비해 높다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 고찰

방사선 노출의 정도는 조직 및 기관의 흡수선량과 유효선량으로 나타낼 수 있는데 본 연구에서는 CBCT와 파노라마 방사선촬영장치를 이용한 검사를 수행하여 인체내의 주요 조직/장기에서의 평균 흡수선량을 측정하였고 ICRP 103권고에 준하여 각 장치에 대한 유효선량을 계산하였다. 먼저 측정된 장기/조직에서의 흡수선량은 파노라마, CBCT 모두 침샘에서 높은 선량이 측정되었고 다음으로 방사선 감수성이 비교적 높은 장기인 수정체와 갑상선의 순서였다. 이는 침샘의 위치가 일차선의 범주 내에 주로 포함되며 장치의 회전축이 측면부에서는 이하선과 악하선에 전방부에서는 설하선에 집중되어 있기 때문이라 생각되었다. 침샘과 주변부와의 선량 분포가 크게 나타나는 것으로 보아 치과방사선 검사는 두정부 영역 이내로 노출이 국한되는 것으로 보였다.

장기/조직의 흡수선량을 토대로 도출된 파노라마 방사선 촬영장치와 CBCT의 유효선량은 0.011mSv, 0.100mSv를 나타냈다. 본 연구의 유효선량은 노출을 위한 조건, 촬영 장치, 진단 목적을 위한 프로그램

mode등 이 다양하게 제시된 선행 연구의 결과의 범주 내에 포함되었다. 하지만 측정을 위한 방법에 있어 팬텀내에서 유리선량계의 위치가 다를 수 있고 직접 선량 측정이 불가능한 장기/조직인 경우 예측선량으로 도출해야 하는데 이 경우 연구자의 주관이 가미될 여지가 있어 본 연구결과와 선행연구와의 비교우위에 대한 평가는 무의미하다고 생각되었다.

마지막으로 방사선 방어용구에 따른 유효선량의 변화는 갑상선 보호구와 납 안경을 착용하는 경우 약 60%의 선량감소효과를 볼 수 있었으며 납 앞치마를 통한 방사선 방어의 효과는 미미한 것을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 대로 치과 방사선 검사가 두정부 영역으로 그 노출이 제한되어 있기 때문이라 생각되며 이러한 이유로 치과방사선 검사는 하복부 영역에서 생식선에 미치는 영향이 미비하여 방사선에 의한 유전적인 영향은 신체적 효과에 비해 크게 우려될 부분은 아니라 사료되었다.¹³ 반면 두정부 영역에서는 방사선 방어용구를 사용함에 따라 유효선량을 크게 낮추는 효과를 보았지만 영상에 방사선 불투과성 결손 음영이 발생하여 실제 임상 적용에는 어려움이 예상되어 영상의 질을 함께 고려한 방사선 방어용구의 선택 및 개발이 시급했다. 이와 관련해 최근 임 등¹⁴은 파노라마검사에 있어 조직등가물질을 이용하여 영상에 영향없이 갑상선에서의 선량을 줄이는 효과를 소개하였으며 영상을 고려해 선량 감소를 위한 방어 연구는 현재도 많이 이루어지고 있으며 계속 연구해야 할 점이라 판단된다.

본 연구는 언급된 유효선량의 측정방법 중 팬텀내에서 실측이 불가능한 장기/조직에 관련된 부분에 대해서 주변장기의 선량을 통해 간접적으로 산출하는 방식으로 계산하여 유효선량을 산출하는 제한점을 두고 있다. 그러나 많은 선행된 연구법을 비교 분석하여 객관성에 근

거를 두어 측정을 수행하였고 또 그 결과들이 참고된 선행 연구들과 추이를 같이 함을 보여 본 연구의 결과물을 제시함에 있어 무리가 없다고 사료된다.

V. 결론

치과 방사선검사 시 방사선 노출에 의한 인체의 영향은 미비한 것으로 판단된다. 하지만 저선량의 방사선에 의해서도 확률적 영향에 의한 발암의 위험은 존재하기 때문에 방사선에 의한 생물학적 효과 및 방호에 주의를 기울여야 할 것이다. 특히 방사선 방어용구의 유용성을 높이기 위해 영상의 질을 고려한 방어용구의 개발은 시급해 보였다. 더불어 방사선 선량관리를 1회성으로 국한하지 말고 환자에게 정확한 검사에 대한 정보를 제공할 수 있는 지속적인 선량관리를 통한 자구노력이 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. B.H. Cho, et al. "Equivalent dose, effective dose and risk assessment from panoramic radiography to the critical organs of head and neck region". Korean J Oral Maxillofac Radiol, Vol.25, 1995
2. M. J. Shin, et al. "Usefulness of panoramic radiograph for the improvement of periodic oral examination". Korean J Oral Maxillofac Radiol, Vol.40, pp.25-32, 2010.
3. Development of guideline and estimation on the patient dose, Korea Food & Drug Administration, 2007.
4. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effect of ionizing radiation, Report Vol. 1 UNSCEAR publications, 2000
5. ICRP Publication 60. Radiation protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,
6. White SC, Pharoah MJ. Oral radiology; principles and interpretation, 5thed, St. Louis: Mosby-YearBook Inc; 2004. p.47-68.
7. F. Gijbels et al. "Dosimetry of digital panoramic imaging". Part I. Patient exposure, Dentomaxillofac Radiol, 34(3), 145-149, 2005
8. John B Ludlow et al. "Patient risk related to common dental radiographic examination" JADA, 139(9), 1237-1243, 2008.
9. John B Ludlow et al. "Dosimetry of 3 CBCT devices for oral maxillofacial radiology: CB Meuray, NewTom 3G and i-CAT". Dentomaxillofac Radiol 35, 219-26, 2006.
10. J.N. Lee et al. "Absorbed and effective dose from newly developed cone beam computed tomography in Korea". Korean J Oral Maxillofac Radiol, Vol.37, 93-102, 2007.
11. S.Y. Kim et al. "Comparison of cone beam CT and conventional CT in absorbed and effective dose". Korean J Oral Maxillofac Radiol, Vol.38, 7-15, 2008.
12. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the .. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Elsevier, 2008
13. 김도성. 방사선물리학, 78-172, 대학서림, 1999.
14. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60 (The International Commission on Radiological Protection, New York, 1991).
15. C.S.Lim et al. "The effects of a thyroid shield made of a tissue-equivalent material on the reduction of the thyroid exposure dose in panoramic radiography". Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.13(5), 2278-2284, 2012.