

## Dosimetric Evaluation of a Small Intraoral X-ray Tube for Dental Imaging

Yunseo Ji\*, YeonWoo Kim<sup>†</sup>, Rena Lee<sup>†</sup>

\*Department of Medical Science, Ewha Womans University, Seoul, <sup>†</sup>Daewon Foreign Language High School, Seoul, <sup>†</sup>Department of Radiation Oncology, School of Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Radiation exposure from medical diagnostic imaging procedures to patients is one of the most significant interests in diagnostic x-ray system. A miniature x-ray intraoral tube was developed for the first time in the world which can be inserted into the mouth for imaging. Dose evaluation should be carried out in order to utilize such an imaging device for clinical use. In this study, dose evaluation of the new x-ray unit was performed by 1) using a custom made in vivo Pig phantom, 2) determining exposure condition for the clinical use, and 3) measuring patient dose of the new system. On the basis of DRLs (Diagnostic Reference Level) recommended by KDFA (Korea Food & Drug Administration), the ESD (Entrance Skin Dose) and DAP (Dose Area Product) measurements for the new x-ray imaging device were designed and measured. The maximum voltage and current of the x-ray tubes used in this study were 55 kVp, and 300 mA. The active area of the detector was 72×72 mm with pixel size of 48  $\mu$ m. To obtain the operating condition of the new system, pig jaw phantom images showing major tooth-associated tissues, such as clown, pulp cavity were acquired at 1 frame/sec. Changing the beam currents 20 to 80  $\mu$ A, x-ray images of 50 frames were obtained for one beam current with optimum x-ray exposure setting. Pig jaw phantom images were acquired from two commercial x-ray imaging units and compared to the new x-ray device: CS 2100, Carestream Dental LLC and EXARO, HIOSSEN, Inc. Their exposure conditions were 60 kV, 7 mA, and 60 kV, 2 mA, respectively. Comparing the new x-ray device and conventional x-ray imaging units, images of the new x-ray device around teeth and their neighboring tissues turn out to be better in spite of its small x-ray field size. ESD of the new x-ray device was measured 1.369 mGy on the beam condition for the best image quality, 0.051 mAs, which is much less than DRLs recommended by IAEA (International Atomic Energy Agency) and KDFA, both. Its dose distribution in the x-ray field size was observed to be uniform with standard deviation of 5~10 %. DAP of the new x-ray device was 82.4 mGy·cm<sup>2</sup> less than DRL established by KDFA even though its x-ray field size was small. This study shows that the new x-ray imaging device offers better in image quality and lower radiation dose compared to the conventional intraoral units. In additions, methods and know-how for studies in x-ray features could be accumulated from this work.

**Key Words:** Miniature X-ray tube, Intraoral x-ray imaging unit, Dose measurement, ESD (Dose Area Product), DAP (Dose Area Product)

This work was supported by the Nuclear Power Core Technology Development Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20131510400050).

This work was supported by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Radiation Safety Foundation (KORSAFe) and the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), Republic of Korea (Grant No. 1305033).

Received 15 September 2015, Revised 20 September 2015, Accepted 21 September 2015

**Correspondence:** Rena Lee (renalee@ewha.ac.kr)

Tel: 82-2-2650-5337, Fax: 82-2-2654-0363

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 서 론

치과영상진단 분야에서는 X-선이 발견 된 같은 해에 Otto Walkhoff에 의해 최초로 치과용 X-선 영상이 획득되었다.<sup>1)</sup> 이 후 진단 목적에 따라 구강 내 X-선 영상장비(intraoral x-ray),<sup>2)</sup> 3차원 영상 촬영이 가능한 치과용 파노라마<sup>3)</sup>와 CBCT (cone beam computed tomography)<sup>4)</sup> 등의 새로운 치과영상장비가 지속적으로 개발되었다. 이러한 방사선 장비들은 촬영 목적과 방식이 서로 다르기 때문에 방사선 피폭의 형태나 양

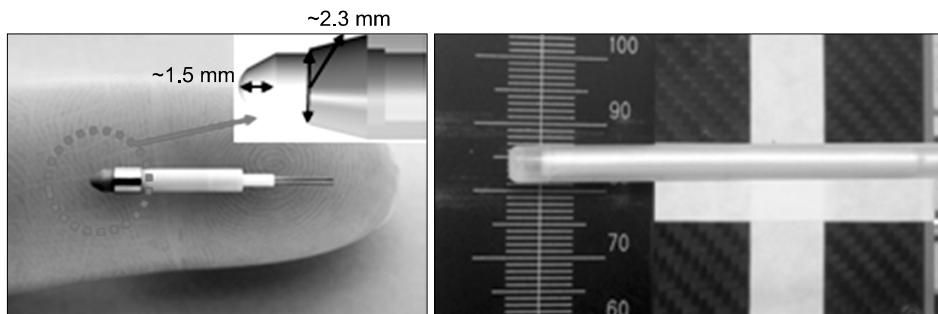


Fig. 1. Miniature x-ray tube (Xoft, inc) without cooling (left) and with cooling (right).

이 다르고 방사선 피폭 평가 기준과 방법도 달라진다.<sup>5)</sup> 그렇기 때문에 새로운 방사선 영상장비가 개발되었을 경우에는 그것에 맞는 선량 측정 방법과 기준이 확립 되어야 하고 이에 따른 장비의 선량 평가가 이루어져야 한다.

최근, 본 연구팀은 미국 Xoft사에서 근접치료용으로 개발한 Axxent 튜브(직경: 3 mm, 관전압: 최대 55 kV, 관전류: 최대 300 uA)를<sup>6)</sup> 이용하여 구강 내 초소형 X-선 영상 시스템을 개발하였다(Fig. 1). 개발된 신개념 초소형 X-선 장비는 Fig. 2에서 보듯이, X-선원인 X-선 튜브가 구강 내에 삽입되고 영상센서가 외부에 위치하는 방식으로 기존의 구내 X-선 영상 획득 방식과 전혀 다른 촬영 시스템 구조를 가지고 있다.<sup>7,8)</sup> 본 제품은 이처럼 영상 센서 대신 초소형의 X-선 튜브가 구강 내에 위치하고 있기 때문에 촬영 시 환자의 고통이 해소 되고, X-선원의 방향이 구강 밖으로 향함으로써 불필요한 피폭선량 감소가 가능하다. 개발된 장비의 성능을 평가하고 제품화 하기 위해서는 개발시스템 선량평가가 수행되어야 한다.

방사선 영상 장비에 대한 선량 평가는 X-선원의 빔질(beam quality)과 영상장비의 특성에 따라 선량측정 방법이 달라진다. kVp의 범위의 2차원 영상의 경우에는 피부 표면에서 최대 선량이 발생되므로 일반적으로 입사피부선량(ESD, Entrance Surface Dose)이 선량평가의 표준으로 사용되고 있다.<sup>9)</sup> 특히, 개발 장비의 경우는 55 kVp 이하의 상대적으로 낮은 관전압을 사용하고 X-선이 신체 내부 조직으로 조사 되지 않고 밖으로 향하기 때문에 안면 피부 조직에 대한 ESD측정이 필요하다. 또한, 2차원 평면 영상장비의 특성상 넓은 영역으로 조사되기 때문에 조사영역을 포함해서 선량계산을 하는 면적선량(DAP, Dose Area Product) 또한 중요한 선량평가 지표이다.

본 연구에서는 개발된 신개념의 치과 방사선 영상장비의 선량평가와 검증을 위해서 IAEA의 선량 측정법에 근거하여<sup>10)</sup> ESD와 DAP 선량을 측정하기 위하여 다음과 같이 연

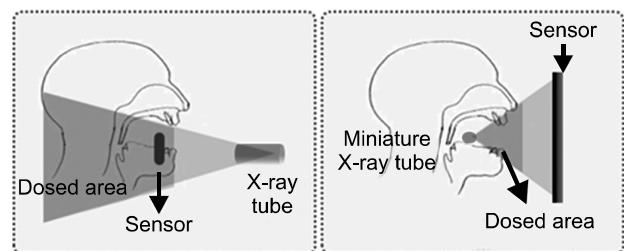


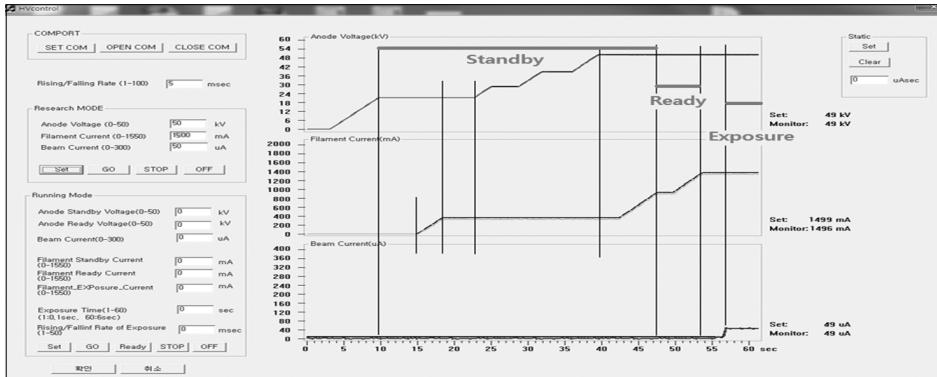
Fig. 2. Comparison of two x-ray acquisition methods: typical settings for conventional intraoral x-ray unit (Left). Totally different settings for the new conceptual intraoral x-ray unit (Right).

구를 진행하였다. 1) 돼지 턱뼈 팬텀을 직접 제작하고 이를 이용하여 신개념의 치과용 진단 장비의 영상의 질을 평가하며, 2) 실제 임상에서 사용 가능한 촬영 조건을 산출하고, 3) 결정된 촬영 조건에서의 선량 측정 방법을 제시하고 이에 대한 선량 평가를 한다. 선량평가는, 현재, 개발된 장비의 촬영 시스템과 동일한 구강내 영상장비가 존재하지 않기 때문에 IAEA 구내 치근단 촬영 환자피폭선량 권고치인 7 mGy<sup>11)</sup>과 국내 식품의약품안전처 보고에 따른 치과 X-선 검사의 환자권고선량 (DRL, Dose Reference Level) 3.1 mGy (PED), 87.4mGy를 기준으로<sup>12,13)</sup> 개발 장비의 환자에 대한 위해성을 평가할 것이다.

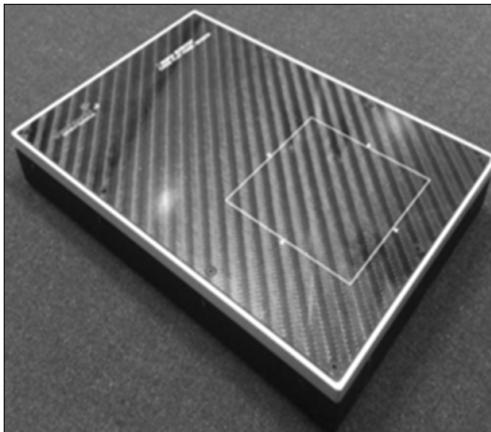
## 재료 및 방법

### 1. 신개념 X-선 영상 시스템

본 연구에서 영상획득 및 선량측정을 위해 사용된 X선 발생장치는 이화여자대학교 의공학 연구팀에서 개발한 신개념 X선 영상 시스템이다. 전체적인 구성은 일반적인 X선 영상장치의 구성과 마찬가지로 크게 X선 발생부와 X선 영상장치로 나뉜다. X선 발생장치는 고전압 장치와 X선관으로 구성되며, 본 연구 개발 영상 시스템의 핵심 요소인 X선

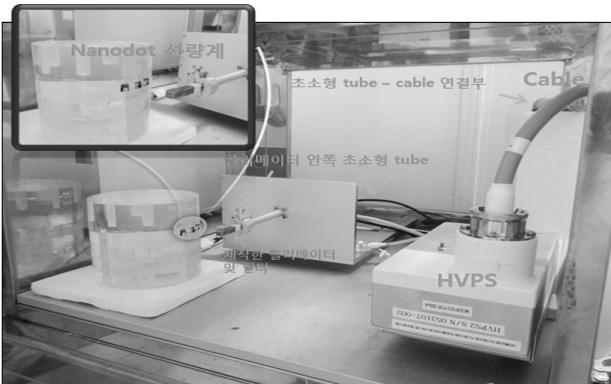


**Fig. 3.** The custom-made program developed for the control of tube voltage, beam current, and filament current.



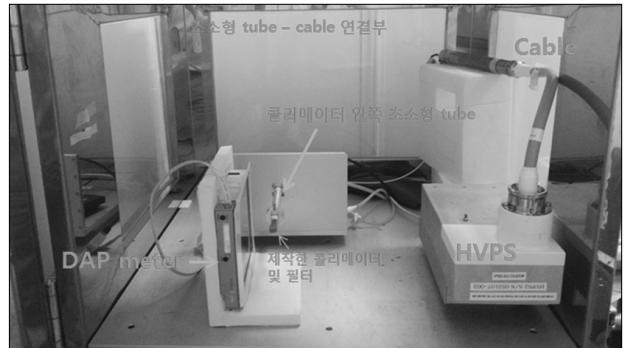
Specifications	Unit	Mode	
		Binning	Normal
Sensor type			CMOS photodiode array
Dimensions (WxLxT)	mm	146x215x29.8	
Active area	mm	72x72	
Video Output	bits	14	
Pixel Size	mm	0.024	0.048
Pixel Number	pixels	3,000x2,999	1,500x1,499
Resolution	lp/mm	20.8	10.4

**Fig. 4.** Specification of the detector used in this study for the intensity measurements and image acquisition.



**Fig. 5.** The set-up for ESD measurements in an x-ray shielding jig: OSLODs are placed on the surface of the cylindrical phantom. The miniature x-ray tube is located 5 cm away from the OSLODs.

tube는 Xoft사의 초소형 X선 투브로 근접 치료용으로 진단 용과는 물리적인 특성이 다르다. Axxent S700 (Xoft, USA)로 써 직경 2.3 mm, 길이 1.5 mm (Fig. 1)로 타겟 물질은 텅스텐



**Fig. 6.** The set-up for DAP measurements in an x-ray shielding jig: a DAP meter is placed from the miniature x-ray tube.

과, 이트륨(Yttrium)으로 구성되어 있다. X선 전자 가속장치인 고속 고전압 발생부는 Axxent S700 X-선 투브 전용 고전압 전원장치인 LOT#13241 S/N 090413-041 (Applied Kilovolts, USA)와 고전압 전원장치를 제어하기 위해 개발한 제어보드로 구성되어 있다. X선 빔 조사와 조정을 위해 X선

제어는 본 연구팀에서 Visual C++ 2010 version으로 제작한 제어용 소프트웨어를 사용하였으며(Fig. 3) 영상획득을 위해 사용된 검출기는 Xmaru 0707 (Rayance, Korea)이다(Fig. 4). Fig. 5과 Fig. 6에서 보여주듯이 ESD 측정을 위해서는 OSLD 와 실린더 팬텀을 사용하였고, DAP 측정을 위해서는 DAP 측정 장비를 이용하였다.

## 2. 영상측정용 팬텀 제작

선량을 측정하기 이전에 임상에서 사용되는 촬영 조건을 결정하기 위하여 영상 품질 평가를 위한 팬텀을 제작하였다. 팬텀은 치주과에서 실습용으로 주로 사용되는 돼지 턱뼈와 동일한 팬텀을 제작하였다. 이를 통해서 실제 치아의 해부학적 구조인 치관(crown), 치근(root), 치수강(pulp cavity), 치조골(alveolar bone)을 확인하였다. 돼지 턱뼈는 상악과 하악으로 연결되어 있는데 영상 촬영에 용이하게 촬영하고자 상악과 하악을 사면으로 절단하고, 하악의 두께를 약 2 cm으로 절단했으며, 치아가 4~5개 정도 보이도록 제작하였다(Fig. 7).

## 3. 돼지 턱뼈 팬텀을 이용한 영상 획득

돼지 턱뼈 팬텀을 이용하여 관전압 변화에 따른 영상을 획득한 뒤, 영상의 품질을 확인해 보았다. 관전압을 50 kV, 55 kV에서 각각 관전류 40 uA, 50 uA에서 영상을 획득하여 비교하였다. 빔의 제어를 위해 관전류를 20~80 uA로 변화시켜 가면서 1 frame/sec로 50 frame씩 영상을 받았다. 획득한 영상은 각각의 프레임별에 따른 X-선 Intensity를 확인하여 각각에 해당하는 영역의 프레임 영상을 추출하였다. 기존의 구내 X-선 영상 시스템에서의 영상 비교를 위해 구내 X-선 발생장치(모델명: CS 2100, 제조회사: Carestream Dental LLC, USA)와 휴대용 X-선 촬영장치(모델명:



돼지턱뼈 Object 영상  
frame #12, at beam current 50 uA 추정,  
Horizontal profile

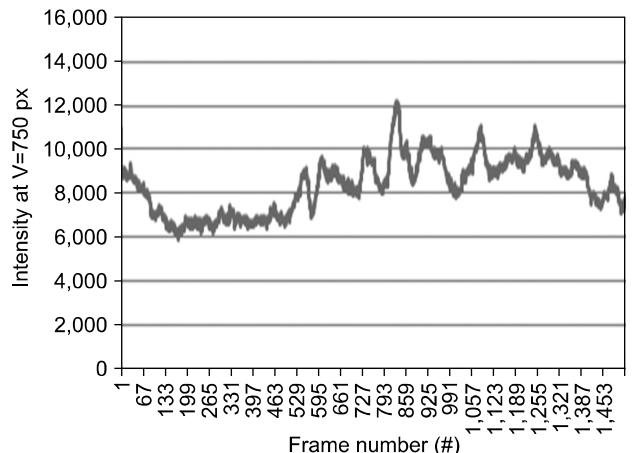


Fig. 8. X-ray image of pig mandibular molars with intensitiy profile across the image at 50 kVp, 0.051 mAs.

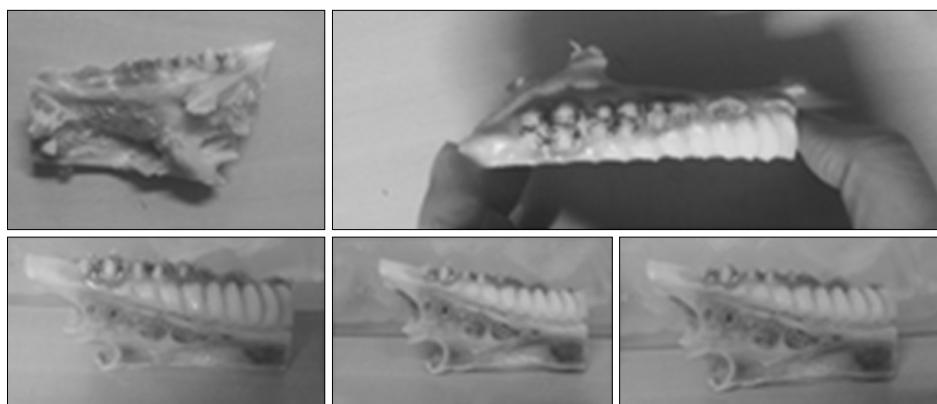


Fig. 7. Pig jaw phantom for the evaluation of image quality.

EXARO, 제조사: HIOSSEN)에서 촬영한 돼지 턱뼈 팬텀영상과 비교해 보았다. 돼지 턱뼈 팬텀과 영상 센서 간의 거리 때문에 생길 수 있는 영상의 확대를 방지하기 위해서 돼지 턱뼈 팬텀은 겸출기에 최대한 붙여서 촬영하였고, X-선 빔이 확산되지 않고 최대한 평행하게 입사 할 수 있도록 X-선 관구를 돼지 턱뼈 팬텀과 영상 센서에 직각으로 조준하여 촬영하였다. CS 2100 구강 X-선 발생 장치에 대해서는 RVG 센서를 이용하였고 휴대용 X-선 촬영기인 EXARO 경우는 같은 회사의 HIOSSEN 1.5 센서를 사용하여 돼지 턱뼈 팬텀을 촬영하였다(Fig. 8). X-선 조사 조건은, CS 2100 경우, 관전압 60 kV, 관전류 7 mA, 그리고 노출 시간 0.125 s으로 조정하였으며 EXPRO는 관전압 60 kV, 관전류 2 mA 0.2 s로 세팅하였다.

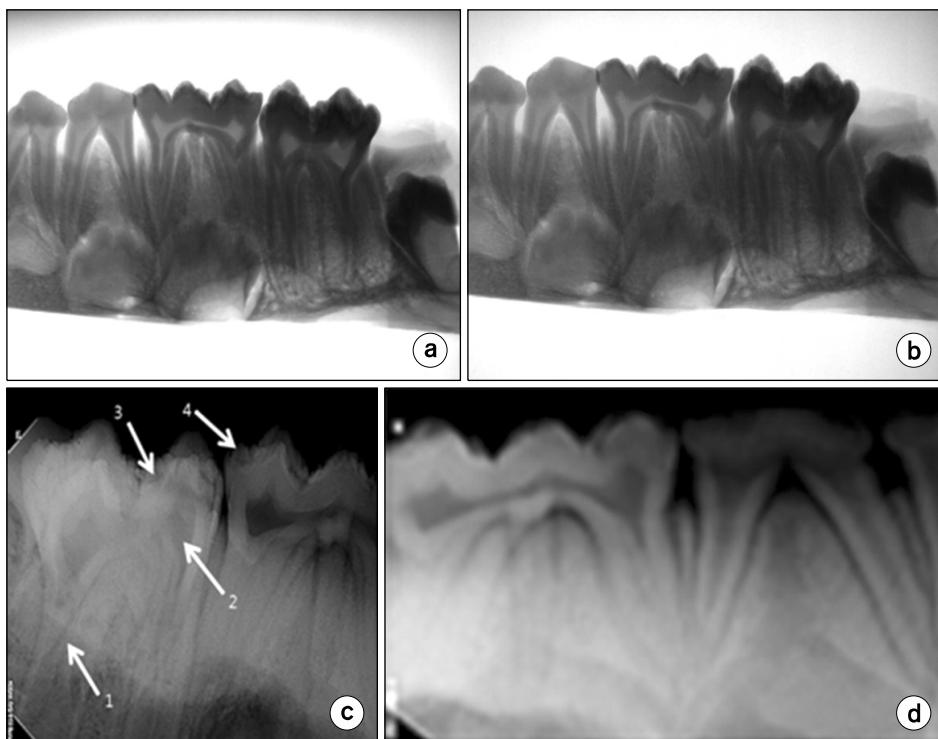
디지털 X-선 영상품질에 대한 주요 지표인 선예도(sharpness), 대조도(contrast), 공간분해능(resolution) 등의 특성 평가는 MTF (Modulation Transfer Function)와 같은 물리적 계산에 의해서 이루어진다. 그러나 본 연구는 주 목적은 신개념의 치과용 X-선 영상장치에서 발생하는 선량계산 방법과 그것에 대한 측정이고 영상품질에 대한 평가는 선량측정을 위한 개발장비의 영상품질의 최적화 조건을 산출하고 그 조건 범위 내에서 선량 분포를 조사하는 보조적 역할을 하는 것이기 때문에 실험자의 육안을 통한 감성 평가만을 실

시하여 영상품질에 대한 실험을 단순화 하고 선량평가에 연구의 중점을 두었다.

#### 4. 선량 측정

신개념 구강내 X선 장치에 의한 입사피부선량(ESD) 측정을 위하여 광자극 형광 선량계(OSLD, Optically Stimulated Luminescence Dosimeter)를<sup>14)</sup> 사용하였으며 면적선량(DAP) 측정은 DAP meter를 사용하였다. IEC 61220-1에 의하면 X-선 장치에서 피폭량을 측정하기 위한 radiation meter의 불정확도가 5% 미만이어야 하기 때문에 교정기간 1년 내의 선량계를 사용하였다.

ESD 측정을 위한 geometry setup은 신개념 구강내 X-선 장치의 치아 촬영 방식을 고려하여 Fig. 5에서 설명되어 있는 것처럼 OSLD를 X-선 튜브 소스원과 동일 선상의 팬텀 표면에 설치하였으며 선량계와 소스원과의 거리는 실제 장비의 SSD (Source to Skin Distance) 촬영 조건인 5 cm로 설정하였다. OSLD가 놓일 팬텀은 AAPM (American Association of Physicists in Medicine) 보고서 No.31 두경부 선량 검증 팬텀 사이즈를 참고하여 직경 160 mm, 그리고 높이 150 mm의 원통모형으로 PMMA (Polymethyl methacrylate) 재질로 제작하였다. 빔조사 조건은 개발장치의 영상품질 평가를 위해서 사용했던 설정값을 훨씬 넘어 200  $\mu$ As까지 설정하고



**Fig. 9.** X-ray images of the pig mandibular phantom obtained from (a) new system at 50 kV, 40  $\mu$ A, (b) new system at 55 kV, 30  $\mu$ A, (c) commercial system at 60 kV, 7 mA (CS2100, &RVG digital sensor, Carestream Dental, LLC.) and (d) commercial system at 60 kV, 2 mA (EXARO&EZ digital sensor, Osstem, Inc.).

51, 101, 141, 그리고 196  $\mu\text{As}$ , 4번의 다른 조건에서 측정하여 개발 장비에서 사용되는 조사세팅범위를 최대한 크게하여 선량값을 구하였다. 이를 통해서 개발 장비의 조사세팅조건에 따른 선량분포를 보고자 하였다. 그리고 측정이 끝난 후 약 8분 후 판독기를 통해서 ESD 값을 기록하였다.

DAP 측정은, ESD 측정과 마찬가지로, 실험 환경은 신개념 구강내 X-선 진단 장치의 조사 조건에 맞추어서 Fig. 6에서 보이는 것처럼 선행 연구에서 제작된 평탄화 필터와 콜리메이터를 장착한 X-선 소스원과 DAP meter를 SSD가 5 cm 되도록 배치하였다. DAP meter는 IBA사의 KERMA X-plus 120-104 TinO 제품으로 0.01  $\mu\text{Gy m}^2$ 의 DAP 분해능을 가지고 있으며 Active area는  $146 \times 146 \text{ mm}^2$ 이다. 조사조건은 영상 품질 평가를 위해서 사용되었던 설정값을 훨씬 넘어 ESD 측정에서 보다 큰 300  $\mu\text{As}$  가까이 설정하고 41, 99, 144, 207, 그리고 276  $\mu\text{As}$ , 5번의 다른 조건에서 선량을 측정하여 보다 넓은 조사세팅범위에서 선량분포를 측정할 수 있도록 하였다.

## 결 과

### 1. 영상품질 평가

영상품질은 정량적 보다는 정성적 평가를 하였다. 기존의 장비와 개발된 장비의 영상을 획득하여 치과 임상의로부터 평가를 받았다. Fig. 8은 관전류가 0.051 mA에서의 돼지 턱뼈 영상과 검출기에서의 각 화소값을 보여 준다. 그림에서 보여주듯이 X-선 세기가 8000~9000 (상대적 X-선 강도)지점에서 영상이 획득 되었으며, 촬영된 돼지 턱뼈 영상은 Fig. 9a-b에 보여 주듯이 관전압이 50 kVp, 관전류가 40 uA 근방에서 설정되었을 때 가장 좋은 화질을 획득됨을 확인 할 수 있었다.

### 2. 선량 평가

Table 1은 두경부 팬텀 표면 중앙(콜리메이터 중앙과 초점을 연장한 선)에 nanoDot OSLD 선량계를 이용하여 측정한 ESD 값을 보여준다. Fig. 10은 관전류와 ESD의 관계를 두경부 팬텀 중앙 지점에서 획득한 선량을 샘플링 값으로 지정하여 직선보간법을 사용하여 표현해주었다. 관전류가 증가함에 따라 ESD가 선형적으로 증가함을 보인다. Table 2는 개발된 장비의 DAP를 SSD 5 cm 지점에서 관전류를 변화시키면서 측정한 선량으로 개발 장비에서의 DAP는 ESD와 마찬가지로 관전류의 증가와 함께 같이 상승하는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 11). DAP 값은 일반적인 작동 모드인 관전류 범위의 (40~80  $\mu\text{As}$ ) 최대값보다도 약 3.5배가 큰 관전류(278  $\mu\text{As}$ )에서 82.4  $\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$ 이다.

개발장비의 경우 영상품질이 가장 좋은 때의 조사 조건이 관전압 50 kVp, 관전류 ~50 uA, 그리고 조사시간 <1 sec으로 총관전류가 <50 uAs 이고, 이는 기존 장비(CS 2100: 관

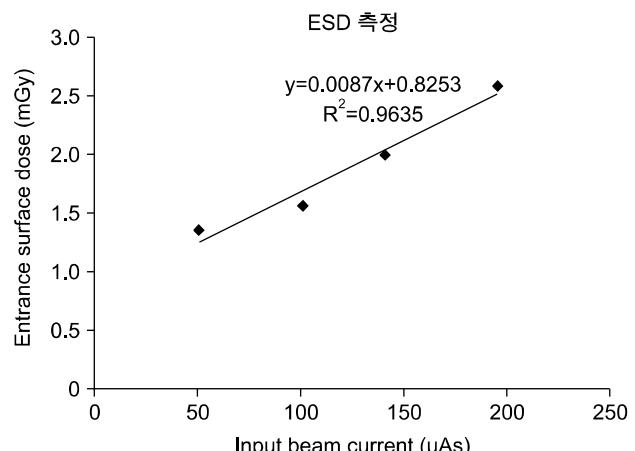


Fig. 10. ESD of the developed intraoral x-ray device as a function of beam current.

Table 1. ESD (Entrance Surface Dose) values measured with OSLD (Optically Stimulated Luminescence Dosimeter) nanoDot on the phantom as a function of beam current.

ESD			
OSLD nanodot chip ID	Position	Beam Current ( $\mu\text{As}$ )	ESD (mGy)
DN09450725Q	center	51	1.369
DN09400110N	center	101	1.575
DN09410565Y	center	141	2.02
DN10103146P	center	196	2.601

Table 2. DAP (Dose Area Product) values measured using DAP meter as a function of beam current.

DAP	
Beam Current ( $\mu\text{As}$ )	DAP ( $\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$ )
41	16.6
99	26.7
144	43.2
207	52
278	82.4

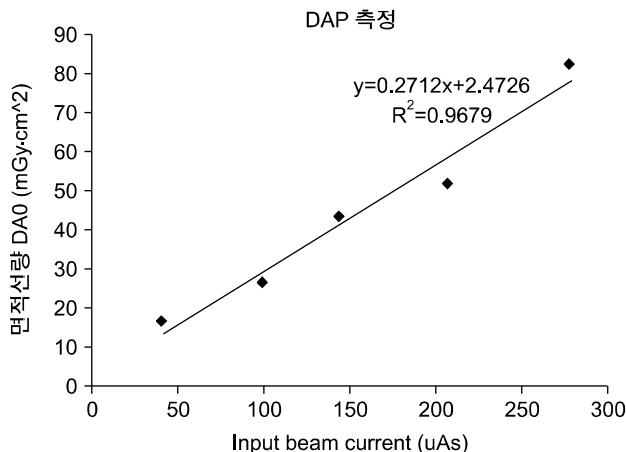


Fig. 11. DAP of the developed intraoral x-ray system as a function of beam current.

전압 60 kV, 관전류 7 mA, 그리고 조사 시간 0.125 s, 총관전류 875 uAs, EXPRO: 관전압 60 kV, 관전류 2 mA, 조사시간 0.2 s, 총관전류 400 uAs) 보다도 총 관전류가 약 10배 이상 낮기 때문에 결과적으로 낮은 ESD와 DAP값이 측정되었다.

## 고찰 및 결론

본 연구에서는 이화여자대학교 연구팀에서 개발한 신개념 치과용 촬영 장치의 임상적 적용의 가능성을 확인하기 위해 치과용 X-선 영상장치의 선량을 측정하였다. 돼지 턱뼈를 이용하여 실제 임상에서 영상 품질을 기준의 X-선 영상장치에서 획득한 영상과 비교평가를 통해서 영상품질을 확인함과 동시에 그 조건에서의 촬영 조건을 산출하고 결정된 촬영 조건에서의 선량을 측정하였다.

기존의 구내 X-선 촬영 시스템에서 획득한 영상을 비교해 볼 때 보다 훨씬 적은 관전압과 조사량에도 불구하고 기존 치과 영상 시스템과 비교했을 때 (12.(c)-(d), 사기질, 상아질, 치수강 부분이 확연히 구별할 수 있음을 확인하였다. 개발 영상장비에서 획득한 영상은 영상보정이 실시되지 않은 것으로, 영상 보정 적용될 경우 상대적으로 낮은 선량에도 더 좋은 화질의 영상을 제공할 수 있을 것으로 분석된다.

신개념 강내형 X-선 진단 장치에서 일반적으로 사용되는 관전류 범위(40~80  $\mu$ As)보다도 2배 이상 큰 196  $\mu$ As 관전류에서도 ESD가 2.601 mGy로 이는 국외 IAEA 구내 치근단 촬영 환자피폭선량 권고치인 7 mGy보다 낮고 식품

의약처에서 제정한 국내 성인 하악 대구치 구내 치근단 방사선 사진의 DRL인 3.1 mGy (ESD)보다 낮은 값이며, 영상 품질이 가장 좋았던 작동 모드인 51  $\mu$ As 관전류에서는 ESD가 1.369 mGy으로 IAEA 기준보다는 약 5배, 국내 식품의약처 기준으로는 약 2.2배 이상의 저감 효과가 있음을 확인하였다. 본 연구에서 획득된 영상은 이미지 보정을 하지 않은 경우이므로 이미지 보정기능이 추가 된다면 임상에서 사용하기에 우수한 영상 품질임을 예측할 수 있다. 또한, 본 연구에서는 진단 방사선 장비의 환자에 대한 선량 위해도 판단근거가 되는 DRL이 장비선량 측정을 위해서 권고하는 ESD와 DAP를 측정하여 개발장비가 IAEA와 한국식약처가 제시하는 구내 치근단 촬영 환자피폭선량 권고치보다도 모두 낮은 값을 보여줌을 밝혔다.

영상획득 방법을 고려할 때 X-선의 조사가 구강 밖으로 향하고 있기 때문에 신체내부의 장기나 조직에 대한 유효선량 측정에서는 ESD와 DAP 측정 결과보다 더 많은 선량감소 효과가 있을 것이라고 예측되며, 이를 증명하기 위해서 본 연구팀은, 현재, 두경부 voxel phantom을 설계하고 두경부 주요 신체조직의 유효선량측정에 대한 연구를 진행 중에 있다.

## References

- Riaud X: First dental radiograph (1896). Dent Hist 59(2): 87-88. (2014)
- Altug HA, Ozkan A: Diagnostic imaging in Oral and Maxillofacial Pathology. Medical Imaging, Eribdy OF, InTech (2011), pp. 215-238
- Mihailova Hr, Nikolov VI, Slavkov Sv: Diagnostic imaging of dentigerous cysts of the mandible. Journal of IMAB 2:8-10 (2008)
- Tyndall DA, Rathore S: Cone-Beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. Dent Clin North Am 52:825-841 (2008)
- AAPM Report No. 31: Standardized methods for measuring diagnostic x-ray exposures, the American Association of Physicists in Medicine, New York (1990)
- Rivard MJ, Davis SD, DeWerd LA, et al: Calculated and measured brachytherapy dosimetry parameters in water for the Xoft Axxent X-ray Source: an electronic brachytherapy source. Med Phys 33:4020-4032 (2006)
- Cho S, Kim D, Baek K, et al: Introduction of dental x-ray imaging with new concept - intra Oral x-ray Tube. J Inst Electron Eng Korea 48, No.4:94-101 (2011)
- Cho S, Rena L: The Characteristic of Temperature and Dose Distribution of intra oral X-ray Tube. J Inst Electron Eng Korea 50(5):262-266 (2013)
- Cho BC, Huh HD, Kim JS, et al: Guideline for Imaging

- Dose on Image-Guided Radiation Therapy. Pro. Med Phys 24(1):1-24 (2013)
10. ICRP: Diagnostic reference levels in medical imaging: Review and additional advice. 2001 Annual Report of the International Commission on Radiological Protection, Hague, (2001)
  11. IAEA: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA safety series No. 115, Vienna, (1996)
  12. ICRP: Radiological Protection and Safety in Medicine. ICRP Publication 73, Oxford (1996)
  13. Kim EK: Development of diagnostic reference level in dental x-ray examination in Korea. Final report. Korea Food & Drug Administration, Seoul (2009)
  14. Jursinic PA: Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters, OSLDs, for clinical dosimetric measurements. Med Phys 34:4594-4604 (2007)

## 치과용 초소형 X-선 투브의 선량평가

\*이화여자대학교 의과학과, <sup>†</sup>대원 외국어 고등학교, <sup>‡</sup>이화여자대학교 의학전문대학원 방사선종양학교실

지윤서\* · 김연우<sup>†</sup> · 이레나<sup>‡</sup>

의료용 x선 촬영 장치에 있어서 환자에게 피폭되는 선량이 가장 중요한 관심사 중의 하나이다. 본 연구팀에서는 전 세계 최초로 입안에 삽입이 가능한 초소형 x-선 영상 장치가 개발되었는데 이러한 영상장치를 임상에서 사용하기 위해서는 피폭 선량의 평가가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 신개념 치과용 영상장치의 선량을 평가하기 위하여 1) 돼지 턱뼈 팬텀을 직접 제작하여 영상의 질을 평가하였고, 2) 실제 임상에서 사용가능한 촬영 조건을 결정하였으며, 3) 결정된 촬영 조건에서의 선량을 평가하였다. 한국 식약처에서 제시하는 치근단 촬영에 대한 환자 선량 권고량(DRLs) 기준에 근거하여 새 개발 장비의 입사표면선량(ESD)과 면적선량(DAP) 측정 방법을 고안하고 각각의 선량 값을 측정하였다. 관전압이 45~55 kV, 관전류가 300 mA 까지 사용 가능한 soft 사의 초소형 x선 투브를 사용하였다. 사용된 검출기는 active area 가 72×72 mm이고 픽셀 사이즈는 48  $\mu\text{m}$ 이다. 제작된 돼지턱뼈 팬텀은 1 frame/sec의 조건하에 영상을 획득 하였으며, 촬영 조건 최적화를 위하여 관전류를 20~80  $\mu\text{A}$ 로 변화시키면서 50 frame씩 영상을 획득하였다. 또한, 상용화 치과용 영상시스템(모델명: CS 2100, 제조사: Carestream Dental LLC 및 모델명: EXARO, 제조사: HIOSSEN)을 이용하여 돼지턱 뼈 팬텀의 비교영상 평가를 시행하였다. CS 2100는 60 kV, 7 mA (노출시간:0.125 s)로 하였으며, EXARO는 60 kV, 2 mA로 설정하였다. 선량 평가는 광자극 형광 선량계를 이용하여 입사표면선량을 측정하였으며, 팬텀은 PMMA 재질의 제작된 원통형 팬텀을 이용하였다. 선량계는 팬텀 표면상의 조사야 내부에 2개 및 소스와의 5 cm 거리상에 1개를 위치하여 측정하였다. 빔 조사 조건은 51, 101, 141, 196  $\mu\text{As}$ 로 설정하였다. 면적선량은 소스와 검출기간의 거리가 5 cm 위치에 배치하여 측정하였으며, 이 때 촬영조건은, 관전류 41, 99, 144, 207, 276  $\mu\text{As}$ 의 조건하에서 측정하였다. 임상에서 적용 가능한 관전압과 관전류는 X-선 세기 8000~9000인 지점에서의 관전류 값인 0.051 mAs이다. 상용화 장비와 영상비교를 한 결과, 개발 장비의 조사야가 훨씬 작음에도 불구하고 치아 및 치아 주위 조직의 영상이 더 우수함을 확인하였다. 또한, 영상 최적화 조사조건인 51  $\mu\text{As}$ 에서 입사표면선량(ESD)은 식약처 및 IAEA의 권고치보다 훨씬 낮은 1.369 mGy 이다. 조사야 내부의 선량 분포는 표준편차 5~10% 내외로 균일성이 우수 하였다. 측정된 면적선량(DAP)은 82.4  $\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$  으로 상용화 장비보다 조사야가 훨씬 작음에도 불구하고 식약처의 권고치보다 낮은 값을 보였다. 이러한 연구를 통해서 새 개발 장비의 영상의 우수성과 기존 장비 대비 방사선량에 대한 저감 효과를 확인 할 수 있었으며 치과 장비 개발에 있어서 X선 특성 연구에 대한 기술과 노하우를 축적할 수 있었다.

**중심단어:** 초소형 X-선 투브, 강내형 영상 장비, 선량측정, 입사표면선량(Entrance Surface Dose, ESD), 면적선량(Dose Area Product, DAP)