

논문 2012-50-5-30

## 강내형 X선 튜브 온도 및 선량 분포 특성

( The Characteristic of Temperature and Dose Distribution of intra oral X-ray Tube )

조 성 호\*, 이 레 나\*\*

( Sungho Cho<sup>Ⓢ</sup> and Rena Lee )

### 요 약

신개념 치과용 X선 촬영장치인 강내형 X선 튜브에 대한 연구가 소개되었다. 이는 초소형의 X선 튜브를 구강내 삽입하여 외부에서 검출기로 영상을 획득하는 새로운 시스템이다. 본 연구에서는 구내 치근단 촬영을 위해 사용하는 강내형 X선 튜브의 온도분포 및 선량 분포 특성을 조사하였다. X선 튜브의 온도특성을 파악하기 위하여 튜브 표면에 써머커플을 부착하여 튜브 표면에서부터 거리에 대한 온도를 측정하였으며, EBT 필름을 이용하여 튜브표면에서부터 거리에 따른 선량 분포를 측정하였다. 그 결과 냉각장치가 없는 튜브에서 2mm 이상 거리에서 온도는 27°C로 일정하였으며, 튜브에서 3cm, 5cm일 때 선량분포가 3.14, 1.84mGy로 나타났다. 그 결과 제안한 시스템은 기존 시스템에 비해 낮은 선량에서 안전하게 촬영이 가능한 것으로 향후 구내 치근단 촬영장치에 새로운 변화를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

### Abstract

A new concept of periapical radiography, intra oral x-ray tube and detector system is introduced. It is new system that a miniature x-ray tube is inserted into mouse and it acquired digital image using external detector. In this study, we have investigated temperature and dose distribution of insertional x-ray tube for periapical radiography. To analyze temperature characteristic of x-ray tube, we attached the thermocouple to surface of x-ray tube and we measured the temperature according to distance. Also, we measured the dose distribution of a miniature x-ray tube according to distance. As a result, temperature was constant to 27°C over 2mm without cooling system, dose distribution of x-ray tube was 3.14 and 1.84mGy in 3 and 5cm, respectively. Therefore, the proposed x-ray system works in lower dose than conventional dental x-ray system. Thus, it is considered that new concept of system will have a significant effect on medical imaging technology.

**Keywords :** periapical radiography, intra oral x-ray tube, detector, MTF

### I. 서 론

최근 CNT 기반의 냉음극을 사용한 근접치료용 초소

형 X선 튜브에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1~3]</sup> 또한 XOFT 사에서는 열전자 기반의 초소형 X선 튜브를 이용한 전자 근접치료장치(Electronic Brachytherapy)를 개발하여 임상에 판매, 사용되고 있다.<sup>[4~6]</sup> 이에 본 연구에서는 이러한 초소형의 X선 튜브를 구강 내 삽입하여 외부에서 검출기로 영상을 획득하는 새로운 치과 진단용 시스템을 소개하였다<sup>[7~8]</sup>. 이러한 시스템은 기존 시스템에 비해 촬영부위의 정확성 및 피폭선량의 저감, 센서 삽입으로 인한 환자의 고통 문제 해결 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 초소형 X선 튜브는 근접치료용으로 설계, 제작됨에 따라 튜브 사용 시 장시간 사용으로 인한 튜브의 열방출을 위해 냉각장치가 부착 되어있

\* 정희원, 연세대학교  
(Yonsei University)

※ 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원 지원의 HNRC(HomeNetwork Research Center)-ITRC 사업의 지원으로 수행되었음.

※ 본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 (10035495) 및 일반연구자지원사업(2010-0010286)으로 수행되었음.

© Corresponding Author(E-mail:volvos91@naver.com)  
접수일자: 2013년1월4일, 수정완료일: 2013년4월25일

다.<sup>[6]</sup> 냉각장치가 부착된 초소형 튜브를 개발된 시스템에 적용할 경우 튜브의 부피가 커짐에 따라 강내 삽입의 어려움이 있을 뿐 아니라 환자에게도 불편을 줄 수 있다. 이에 본 연구에서는 치과진단용 강내형 시스템에서 사용될 초소형 X선 튜브를 냉각장치 없이 사용할 경우 튜브의 온도 특성을 관측하고자 한다. 초소형 X선 튜브를 강내에 삽입할 경우 환자의 입안에서 튜브의 온도는 중요한 사안으로 이에 튜브 표면에서부터 거리에 따른 온도 분포를 관측하여 강내형 사용 시스템으로서의 가능성을 확인하고자 한다.

## II. 실험

그림 1은 냉각장치가 부착된 초소형 X선 튜브와 냉각장치가 제거된 초소형 X선 튜브를 보여준다. 냉각장치없이 강내 삽입할 경우 온도 분포 측정을 위해 본 실험에서는 냉각장치가 제거된 X선 튜브를 이용하였다. 먼저 냉각장치가 제거된 초소형 X선 튜브를 계속해서 조사할 경우 튜브가 파손될 때의 온도분포 측정을 위해 써머커플을 튜브의 표면에 부착하였다. (그림 1(d)) 이후 초소형 X선 튜브를 냉각장치없이 계속 구동함에 따른 온도 및 튜브의 변화를 관측하였다. 또한 초소형 X선 튜브를 강내에 삽입할 경우 튜브 표면의 온도는 매



그림 1. 온도 측정을 위해 사용한 초소형 X선 튜브  
Fig. 1. A miniature x-ray tube for temperature measurement.

우 중요하다. 이에 튜브 동작 시 튜브 표면에서부터 거리에 따른 온도 변화 관측을 위해 써머커플을 튜브 표면, 튜브에서 1, 2, 4mm 간격을 두었을 때 온도변화를 관측하였다.

그림 2는 선량분포 측정을 위한 개략도와 사진을 보여준다. 냉각장치가 제거된 X선 튜브에 콜리메이터를 부착하여 튜브 표면에서부터 필름까지의 거리에 따른 선량변화 및 분포를 EBT 필름을 이용하여 측정하였다. 또한 알루미늄 필터를 사용하였을 때 필터에 따른 선량

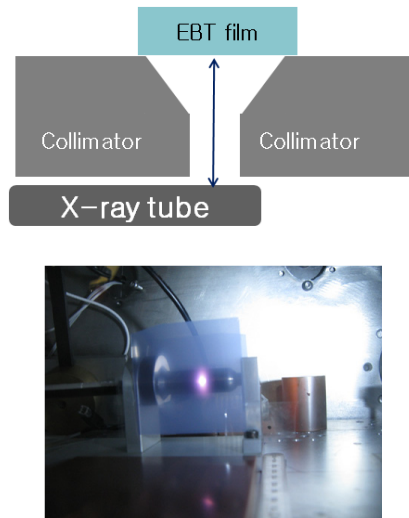
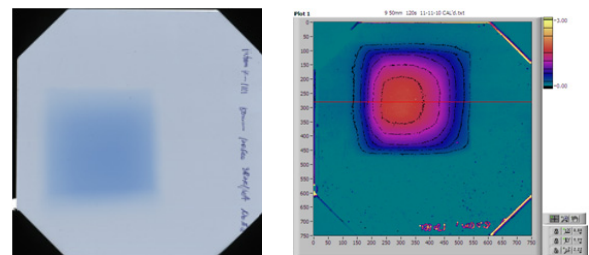
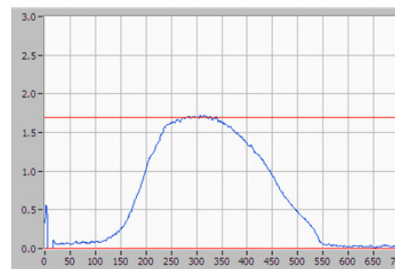


그림 2. 선량분포 측정을 위한 실험 개략도 및 사진  
Fig. 2. The experimental schematic and picture for dose distribution.



(a) EBT 필름 조사 (b) 조사된 EBT 필름의 스캔



(C) 센터축 라인을 스캔하여 보정된 데이터

그림 3. EBT 필름을 이용한 선량분포 측정방법  
Fig. 3. The measurement method of dose distribution using EBT film.

분포를 측정하였다.

그림 3은 EBT 필름을 이용하여 선량분포를 측정하는 방법을 보여준다. 먼저 조사된 EBT 필름을 스캔한 후 조사된 부위의 센터 라인을 스캔하여 선량변화를 관측하였다.

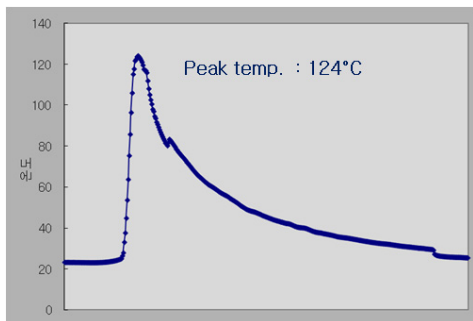
### III. 결과 및 분석

그림 4는 냉각장치없이 동작하였을 때 파손된 튜브의 사진과 이때의 온도변화를 보여준다. 50Kvp, 0.3mA로 조사하였을 때 783.6uAs에서 튜브가 파괴되었다. 이때 튜브 표면의 최고 온도는 124°C로 측정되었으며, 튜브 파손 이후 온도가 서서히 떨어짐을 확인할 수 있다.

그림 5는 냉각장치없이 50Kvp, 0.1mA, 523.3uAs에서 조사된 초소형 X선 튜브의 거리에 따른 온도 변화 그래프이다. 이 조사조건은 실제 검출기를 이용하여 영상을 획득하는 최적의 조사조건인 40~50uAs보다 10배가량 높은 조사조건으로 이때 튜브표면의 최고 온도는 61°C로 나타났다. 튜브에서 써머커플까지의 거리가 1, 2mm로 떨어졌을 때 온도변화는 36, 27°C로 나타났으며 2mm 이상의 거리에서는 27°C로 일정한 온도를 나타내었다.



(a) 파손된 X선 튜브



(b) 파손될 때 튜브의 온도 변화

그림 4. 냉각장치 없이 조사했을 때 파손된 튜브의 사진 및 온도변화 그래프

Fig. 4. A destroyed miniature x-ray tube and temperature change when exposure without cooling system.

실제 영상 획득 시 사용되는 조사조건은 이보다 10배 낮은 값을 감안할 때 현재 시스템에서 튜브 표면에서 2mm의 거리만 유지된다면 본 시스템은 강내 삽입이 가능한 것으로 판명되었다. 실제 시스템 제작 시 냉각장치가 없는 초소형 X선 튜브에 콜리메이터와 필터를 부착하여 케이싱되는 튜브의 액세서리 두께는 대략 0.5~1cm정도로 실제 케이싱되어 사용되는 튜브에서의 온도 분포는 위 결과를 볼 때 그대로 사용하기에 충분함을 확인할 수 있었다.

그림 6은 냉각장치가 부착된 초소형 X선 튜브에서 50Kvp, 0.3mA로 100초 조사 시 38.3mAs의 조사조건에서 튜브표면에서부터 EBT 필름까지 거리에 따른 EBT 필름의 센터축 선량분포를 나타낸다. EBT 필름은 낮은 조사조건에서는 필름의 감광정도가 약해 실제 측정 시 어려움이 있으므로 냉각장치가 구비된 X선 튜브를 이용하여 장시간 조사를 통해 감광된 EBT 필름을 이용하였다. 이러한 EBT 필름은 선량에 따른 선형성을 가지고 있으므로 이를 통해 선량에 대한 비례적인 계산이 가능하다.<sup>[9]</sup> 거리에 따른 선량분포는 급격히 감소하였으며, 3, 5cm에서 측정된 값은 2.9, 1.7 Gy로 나타났다. 측정된 결과를 기반으로 실제 강내형 X선 시스템에서 최적의 영상 획득 조건인 40uAs를 가정으로 3, 5cm에서

다.

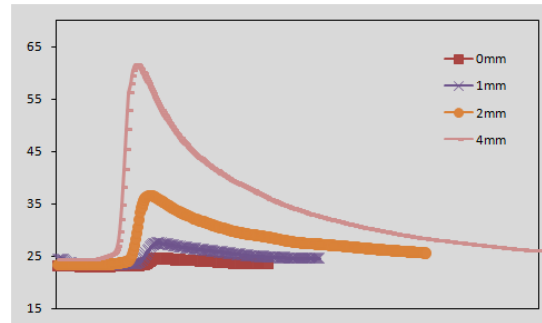


그림 5. 거리에 따른 튜브 온도 분포

Fig. 5. Temperature distribution of miniature x-ray tube according to distance.

표 1. 튜브-써머커플 거리에 따른 온도 분포

Table 1. Temperature distribution according to tube-thermocouple distance.

튜브-써머커플 거리 (mm)	최고 온도 (°C)
0	61
1	36
2	27
4	27

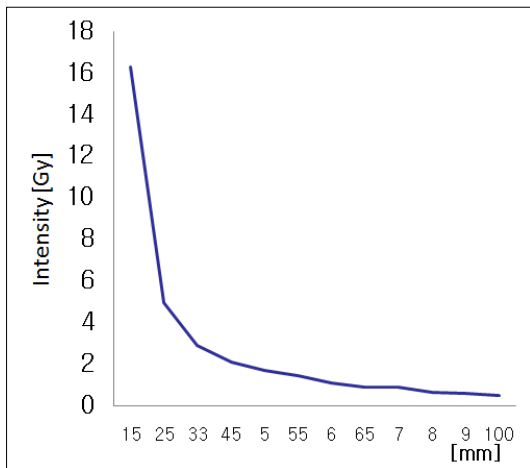


그림 6. 거리에 따른 선량 분포  
Fig. 6. Dose distribution according to distance.

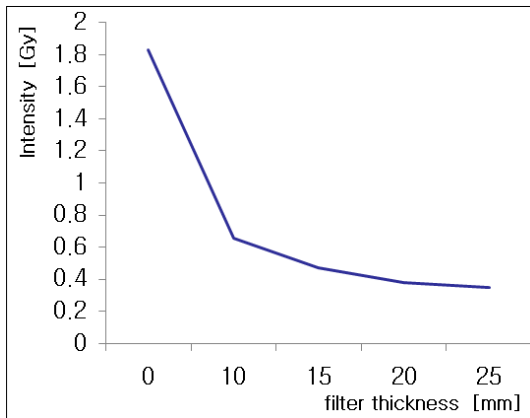


그림 7. 알루미늄 필터 사용 시 필터 두께에 따른 선량 분포  
Fig. 7. Dose distribution according to distance with Al filter.

표 2. 치근단 촬영 시 측정된 환자선량  
Table 2. The measured patient dose of periapical radiography.

	Dose(mGy)	DAP(mGy-cm <sup>2</sup> )
최소값	0.21	5.5
최대값	10.98	304.2
평균값	2.11	59.4
환자선량 권고량	3.07	87.4

선량을 계산하였을 때 3.14, 1.84mGy로 계산되었다. 이는 현재 환자선량 권고량인 3.07mGy와 비교하였을 때 보다 낮은 값으로 제안한 시스템이 매우 낮은 선량으로 동일한 영상을 획득할 수 있음을 나타낸다.

그림 7은 냉각장치가 부착된 초소형 X선 튜브에서 50Kvp, 0.3mA로 100초 조사 시 38.3mAs의 조사조건에

서 알루미늄 필터 두께에 따른 튜브표면에서부터 5cm거리에서 선량분포를 나타낸다. 실제 강내형 X선 시스템에서 최적의 영상 획득 조건인 40uAs를 가정으로 5cm에서 선량을 계산하였을 때 0.41mGy로 계산되었다. 이 값은 식품의약품안전청 연구용역에서 조사된 표 2에서 처럼환자선량 권고량인 3.07mGy와 비교하였을 때 10배 가량 낮은 값으로 제안된 시스템을 이용하여 최적의 영상조건하에서 환자가 받는 피폭선량은 기존 시스템에 비해 10배 가량 낮음을 확인할 수 있다.<sup>[10~11]</sup>

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존 강내형 센서 기반의 촬영장치를 사용함에 따라 환자의 고통, 피폭선량 등의 문제점을 해결할 수 있는 신개념 치근단 촬영장치인 강내형 X선 튜브에 대한 온도분포 및 선량분포 특성연구를 수행하였다. 초소형 X선 튜브의 온도분포를 측정하기 위하여 튜브의 냉각장치를 제거하였으며, X선 튜브 표면 및 공간에 써머커플을 부착하여 튜브 표면에서부터 거리에 따른 온도변화를 관측하였다. 그 결과 튜브 파손 시 최고 온도는 124℃, 최적 영상 획득 조건의 10배 조사조건에서 튜브표면 온도는 61℃, 튜브에서 2mm 떨어졌을 때 온도는 27℃로 나타났으며 이러한 거리는 강내형 X선 튜브의 콜리메이터, 필터 등 액세서리 케이싱의 두께로 실제 초소형 X선 튜브를 강내 삽입할 경우 온도에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 튜브 표면에서부터 거리 및 알루미늄 필터에 따른 선량분포를 측정하기 위하여 EBT 필름을 이용하여 선량분포를 측정하였다. 그 결과 튜브표면에서부터 5cm에서 선량은 1.7Gy, 알루미늄 필터 2mm를 사용하였을 경우 0.38Gy로 측정되었다. 이는 실제 강내형 X선 시스템에서 최적의 영상 획득 조건인 40uAs를 가정으로 5cm에서 표면 선량을 계산하였을 때 0.41mGy로 초과 X선 촬영장치의 환자권고선량인 3.07mGy에 비해 10배 가량 낮은 값으로 환자의 피폭선량이 기존 장치에 비해 10배 가량 낮게 나타남을 확인하였다. 따라서 제안한 신개념 치과용 촬영장치는 향후 초과 촬영장치에 기존의 장치에 비해 낮은 피폭선량, 촬영 시 환자의 고통 저감 등많은 이점으로 적용될 수 있음을 의미한다.

참 고 문 헌

[1] S. Heo, A. Ihsan and S. Cho, "Development of super miniature x-ray tube for brachytherapy using carbon nanotube field emitters", *Brachytherapy*, vol 8, no 2, pp. 149, Apr, 2009.

[2] S. Heo, A. Ihsan and S. Cho et al "Stable Field Emitters for a Miniature X-ray Tube Using Carbon Nanotube Drop Drying on a Flat Metal Tip", *Nanoscale Res Lett.*, vol 5, pp. 720-724, Dec, 2010.

[3] Sigen Wang, Xiomara Calderon, Rui Peng, Eric C. Schreiber1, Otto Zhou, and Sha Chang, "A carbon nanotube field emission multipixel x-ray array source for microradiotherapy application", *Appl. Phys. Lett.*, vol 98, no 21, pp. 213071, 2011.

[4] Dickler A. "Xoft Axxent electronic brachytherapy: a new device for delivering brachytherapy to the breast", *Nat Clin Pract Oncol.*, vol 6, no 3, pp. 138-142, Mar, 2009.

[5] Dickler A, Kirk MC, Seif N, Griem K, Abrams RA. et al "A dosimetric comparison of MammoSite high-dose-rate brachytherapy and Xoft Axxent electronic brachytherapy", *Brachytherapy*, vol 6, no 2, pp. 164-168, Apr, 2007.

[6] Dickler A, Dowlatshahi K. "Xoft Axxent electronic brachytherapy", *Dickler A, Dowlatshahi K*, vol 6, no 1, pp. 27-31, Jan, 2009.

[7] 조성호, 백광우, 김동영, 이레나, "신개념 치과용 X-선 영상장치 소개 - 강내형 X-선 튜브", *대한전자공학회논문지 제47권 SP편 제3호*, pp.70-80, 2010.

[8] 조성호, 김소영, 안소현, 임수미, 이레나, "치과 영상용 삽입형 초소형 X선 튜브의 가능성 연구", *한국방사선학회지 제6권 제1호*, pp.39-45, 2012.

[9] Martin J Butson, Tsang Cheung, and Peter K.N. Yu. "Weak energy dependence of EBT gafchromic film dose response in the 50 kVp - 10 MVp X-ray range", *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 64, no 1, pp. 60-62, Jan, 2006.

[10] 김은경, "치과 X선 검사에서의 환자선량 권고량 마련을 위한 연구", *식품의약품안전청 용역연구개발과제*, pp. 32, 2009.

[11] Walker C, and van der Putten W. "Patient dosimetry and a novel approach to establishing Diagnostic Reference Levels in dental radiology", *Phys Med.*, Vol 28, no 1, pp. 7-12, Jan, 2012.

저 자 소 개



조 성 호(정회원)  
 2003년 인제대학교 의용공학과  
 학사 졸업.  
 2005년 인제대학교 의용공학과  
 석사 졸업.  
 2009년 인제대학교 의용공학과  
 박사 졸업.

2011년 현재 이대목동병원 방사선종양학과  
 연구교수  
 <주관심분야 : 의공학, 방사선종양학, 영상센서>



이 레 나(정회원)  
 1990년 강원대학교 물리학과  
 학사 졸업.  
 1994년 MIT 원자핵공학과  
 석사 졸업.  
 1998년 MIT 원자핵공학과  
 박사 졸업.

2011년 현재 이대목동병원 방사선종양학과  
 교수  
 <주관심분야 : 의공학, 방사선종양학, 영상센서,  
 영상처리>