

# CT performance phantom을 이용한 cone beam형 전산화단층영상의 특성

경희대학교 치의학전문대학원 구강악안면방사선학교실 및 구강생물학연구소  
한충완 · 김규태 · 최용석 · 황의환

## Image characteristics of cone beam computed tomography using a CT performance phantom

Choong-Wan Han, Gyu-Tae Kim, Yong-Suk Choi, Eui-Hwan Hwang

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry and Institute of Oral Biology, Kyung Hee University

### ABSTRACT

**Purpose** : To evaluate the characteristics of (widely used) cone beam computed tomography (CBCT) images.

**Materials and Methods** : Images were obtained with CT performance phantoms (The American Association of Physicists in Medicine; AAPM). CT phantom as the destination by using PSR 9000N™ dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd., Japan) and i-CAT CBCT (Imaging Science International Inc., USA) that have different kinds of detectors and field of view, and compared these images with the CT number for linear attenuation, contrast resolution, and spatial resolution.

**Results** : CT number of both PSR 9000N™ dental CT system and i-CAT CBCT did not conform to the base value of CT performance phantom. The contrast of i-CAT CBCT is higher than that of PSR 9000N™ dental CT system. Both contrasts were increased according to thickness of cross section. Spatial resolution and shapes of reappearance was possible up to 0.6 mm in PSR 9000N™ dental CT system and up to 1.0 mm in i-CAT CBCT. Low contrast resolution in region of low contrast sensitivity revealed low level at PSR 9000N™ dental CT system and i-CAT CBCT.

**Conclusion** : CBCT images revealed higher spatial resolution, however, contrast resolution in region of low contrast sensitivity was the inferiority of image characteristics. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2007; 37 : 157-63)

**KEY WORDS** : Radiography, Dental; Tomography, X-ray Computed; Phantoms, Imaging

### 서 론

전산화단층영상은 방사선발생장치의 특성과 회전요소, 검출기의 성능 등에 의해 다양한 영상특성을 보이므로 양질의 전산화단층영상을 얻기 위해서는 전산화단층촬영장치에 대한 지속적인 질보장 (quality assurance)이 반드시 필요하다.<sup>1,2</sup>

따라서 전산화단층촬영장치에 대한 질보장과 영상관리에 대한 기준들이 엄격히 제한되어 있는데, 실제 임상에서는 주로 미국 의학물리학자협회(The American Association

of Physicists in Medicine: AAPM)에서 고안한 CT performance phantom을 이용하여 전산화단층촬영장치의 질보장과 영상관리가 이루어지고 있으며, 이를 통해 영상진단의 정확성을 높이고, 술자와 환자에 대한 방사선재해를 방지하고 있다.<sup>3-10</sup>

최근 치과 임상의 각 분야에서도 전산화단층영상의 필요성이 매우 높아지고 있다.<sup>11-15</sup> 특히, 새로이 개발된 cone beam형 전산화단층영상은 치과 임상에 있어 전환점이 될 수 있는 진단영상으로 소개되고 있다.<sup>15-20</sup> 그러나 cone beam형 전산화단층영상의 다양한 영상특성에 대한 연구는 미미할 뿐만 아니라, cone beam형 전산화단층촬영장치의 질보장을 위한 영상검사의 기준이 마련되어 있지 않은 경우가 많다.<sup>19,20</sup> 또한 각기 다른 관찰영역 (field of view: FOV)을 사용하는 cone beam형 전산화단층촬영장치가 임

접수일 : 2007년 7월 3일; 심사일 : 2007년 7월 4일; 채택일 : 2007년 8월 10일  
Correspondence to : Prof. Eui-Hwan Hwang  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Kyung Hee University #1 Hoigi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea  
Tel) 82-2-958-9405, Fax) 82-2-965-1256, E-mail) hehan@khu.ac.kr

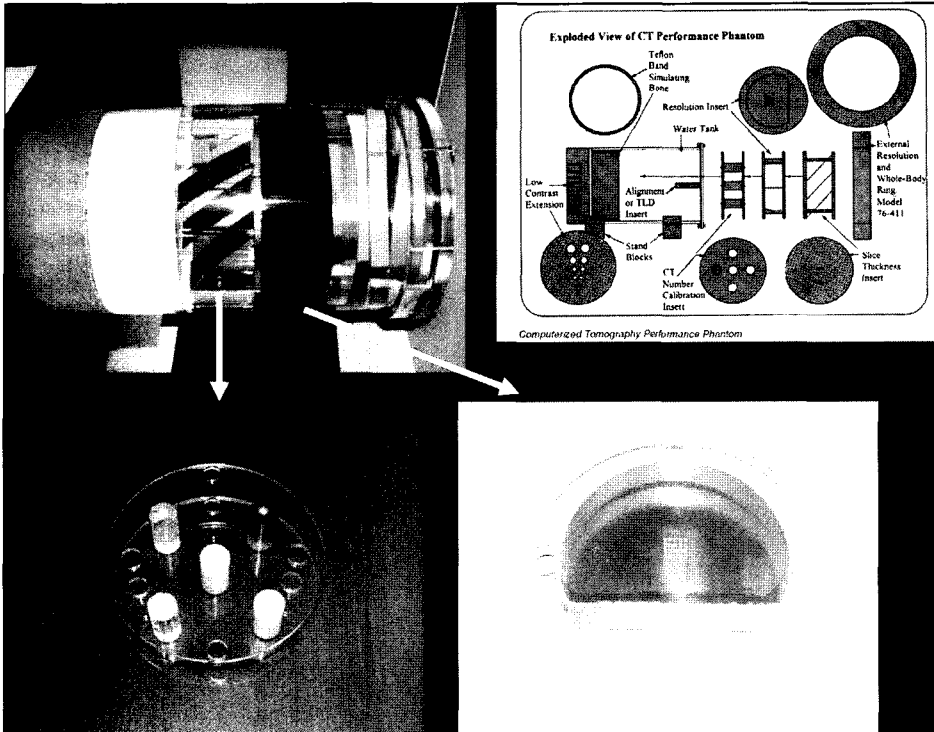


Fig. 1. AAPM phantom for computerized tomography performance phantom.

상에서 혼용되고 있어 이에 따른 영상특성의 평가와 비교도 함께 이뤄져야 할 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 FOV의 크기가 상이한 2종류의 cone beam형 전산화단층촬영장치로부터 얻어진 영상의 특성을 CT performance phantom을 이용하여 각각의 CT number 재현성 여부, 고대조도 공간분해능 및 저대조도 분해능을 비교, 평가하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 연구재료

본 연구에서는 미국 의학물리학자협회(AAPM)에서 제시한 기준에 적합한 CT performance phantom (Fluke Biomedical Radiation Management Services, Fluke corporation, USA)을 사용하였다. CT performance phantom은 직경 8.5인치이고 높이가 12.75인치인 acrylic resin 재질의 원통형이고, CT number calibration 블록, 고대조도 공간분해능 (spatial resolution) 측정용 블록, 저대조도 분해능 (contrast resolution) 측정용 블록, 슬라이스 두께 측정용 블록, 큰 피사체의 공간분해능과 노이즈 측정이 가능한 블록으로 구성되어 있다(Fig. 1). CT performance phantom에 대한 cone beam형 전산화단층촬영장치로는 PSR-9000™ Dental CT system (Asahi Roentgen Ind. Co., Ltd, Japan)과 i-CAT cone beam CT Unit (Imaging Sciences International, Inc, USA)를 이용하였다.



Fig. 2. Image acquisition using a AAPM phantom.

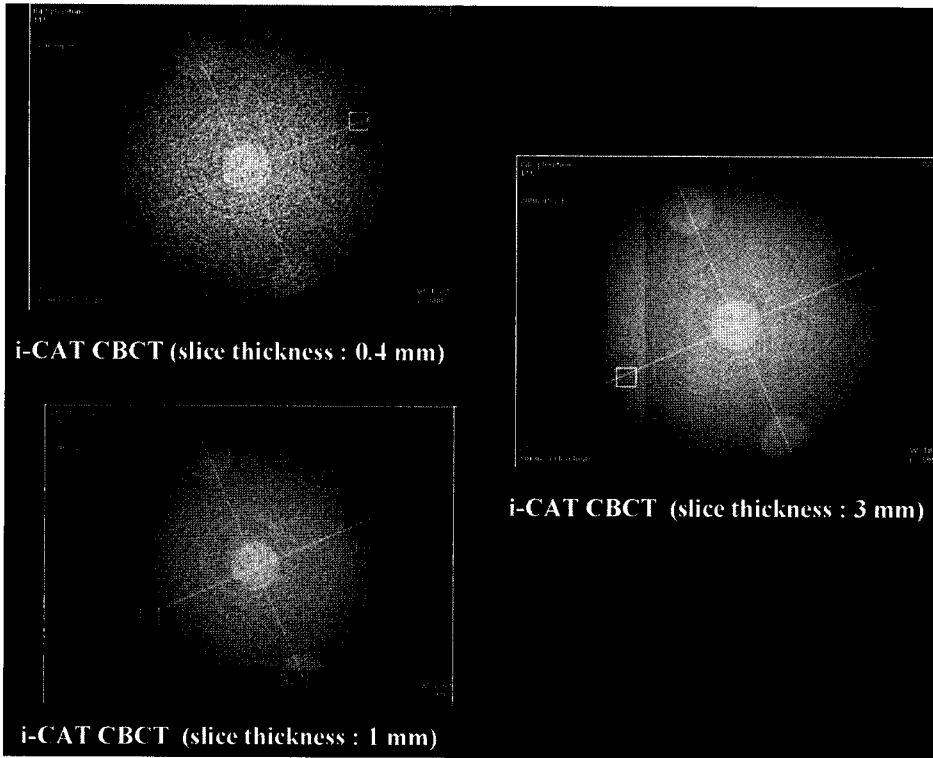
#### 2. 연구 방법

##### 1) cone beam형 전산화단층영상 촬영

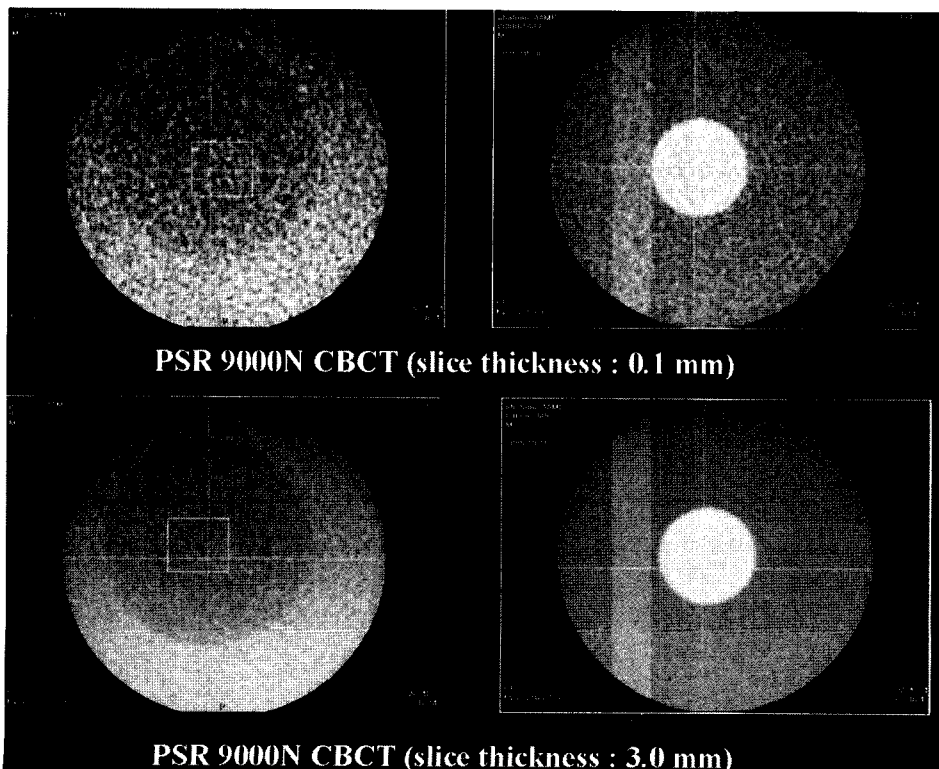
PSR-9000™ Dental CT system에서는 dental mode로 촬영하였으며, 촬영조건은 관전압 80 kVp, 관전류 10 mA, 노출 시간 13.3초이었다. 촬영 후 얻어진 영상은 0.1 mm 체적소의 크기로 구성되는 DICOM 3.0 format을 가지는 400매의

축상 단면상으로 41 mm의 직경과 40 mm의 높이의 volume data을 얻었다. i-CAT cone beam CT unit에서는 체적소의 크기를 0.2 mm로 설정하고, 촬영조건은 관전압 120 kVp, 관전류 6.5 mA, 노출시간 40초 이었다(Fig. 2). 각각의 촬영

후 얻은 cone beam형 전산화단층영상은 V-works 5.0 (CyberMed Inc., Korea) software를 사용하여 평가하였다. 각각의 영상에 대하여 동일한 색조준위와 색조폭으로 조절하여 고해상도의 판독용 모니터 상에서 관찰하였다.



**Fig. 3.** The contrast of i-CAT increases the contrast according to thickness of cross section and is higher than that of PSR 9000N.



**Fig. 4.** The contrast of PSR 9000N increases the contrast according to thickness of cross section.

2) CT performance phantom을 이용한 검사항목

각각의 cone beam형 전산화단층촬영장치를 사용하여 얻은 CT performance phantom의 영상에서 측정 가능한 다양한 영상의 질을 평가하였으며, 또한 얻은 CT performance phantom에 대한 영상의 재현에 있어서 촬영장치간의 차이가 발생하는지를 객관화된 수치로 재현한 다음, 이를 비교, 평가하였다.

CT number calibration 블록을 이용하여 직선성 (linearity) 과 대조도 (contrast)에 의한 CT number 측정을 시행하였고, 고대조도 공간분해능 측정용 블록을 이용하여 4.3 mm 간격으로 정렬된 직경 1.75 mm, 1.5 mm, 1.25 mm, 1.00 mm, 0.75 mm, 0.60 mm, 0.5 mm, 0.4 mm의 8단계로 구성된 공기 구멍의 구분이 가능한 지를 측정하였으며, 저대조도 분해능 측정용 블록에서 dextrose액과 증류수에 대한 대조도의 차이를 평가하였다.

3) 영상 평가기준

V-works 5.0 software를 이용하여 판독용 모니터에 전시된 다면재구성영상을 2명의 관찰자에 의해 동일한 판독조건에서 평가가 이루어졌으며, 영상의 계측과 평가는 관찰자간의 동의에 의해 행하여졌다.

결 과

1. CT number 재현성

CT number calibration 블록을 이용하여 직선성과 대조도에 의한 CT number 측정시 정확한 Hounsfield CT number를 재현하지 못하였다 (Table 1). 각각의 매몰된 pin에 대한

**Table 1.** Typical Hounsfield CT number and Hounsfield CT number for two kinds of CBCT

Material of pin	Number scale		PSR 9000N	i-CAT
	± 1000	± 500		
Polyethylene	-92	-46	-39 ± 102.6	-327 ± 23.0
Polystyrene	-24	-12	-20 ± 143.8	-65 ± 29.8
Water	0	0	0 ± 62.1	0 ± 27.4
Nylon	+92	+46	138 ± 226.1	62 ± 33.5
Polycarbonate	+102	+51	280 ± 55.9	225 ± 27.2
Acrylic	+120	+60	449 ± 147.4	510 ± 20.5

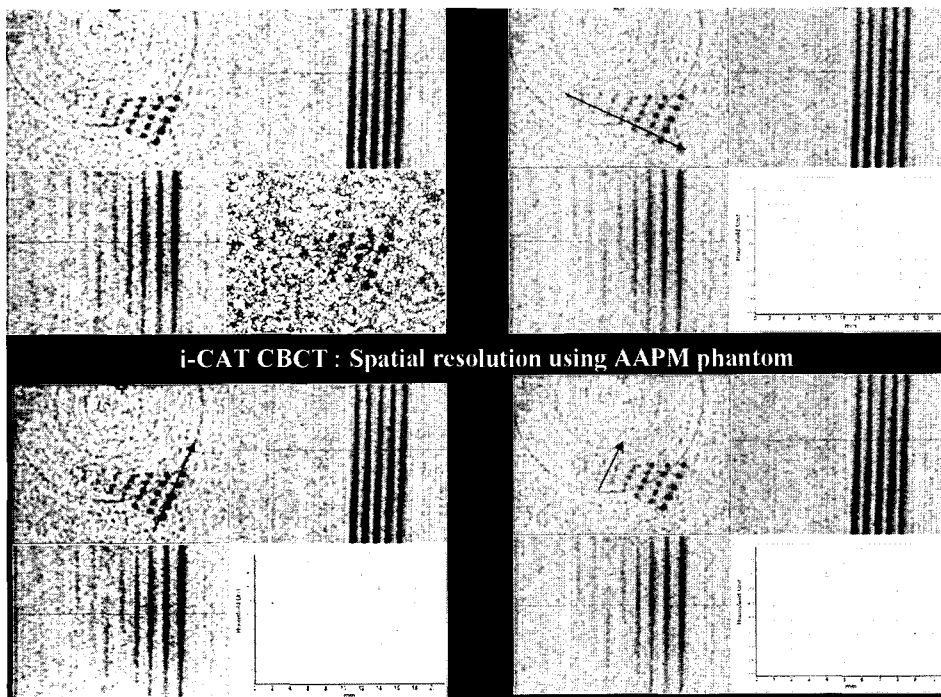
대조도는 PSR-9000™ Dental CT system보다 i-CAT cone beam CT unit 장치가 우수하였으며, 대조도의 차이는 단면의 두께가 증가 할수록 향상되었다 (Figs. 3, 4).

2. 고대조도 공간분해능

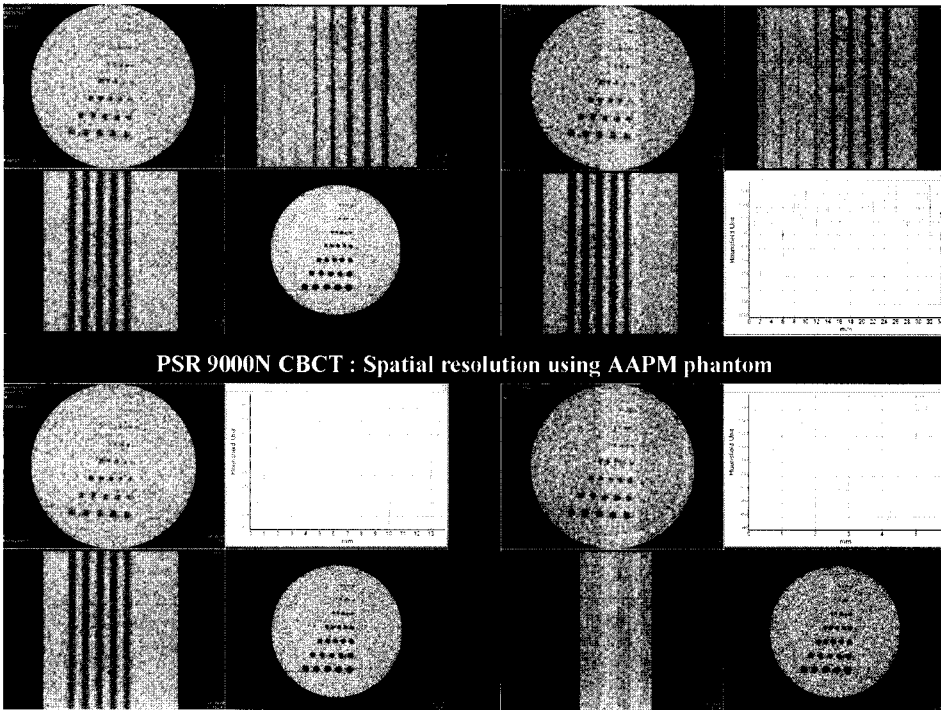
고대조도 공간분해능 측정용 블록을 이용한 측정시 PSR-9000™ Dental CT system에서는 0.60 mm까지 구분 가능하였고, i-CAT cone beam CT unit에서는 1.00 mm까지 구분 가능하였다 (Figs. 5, 6).

3. 저대조도 분해능

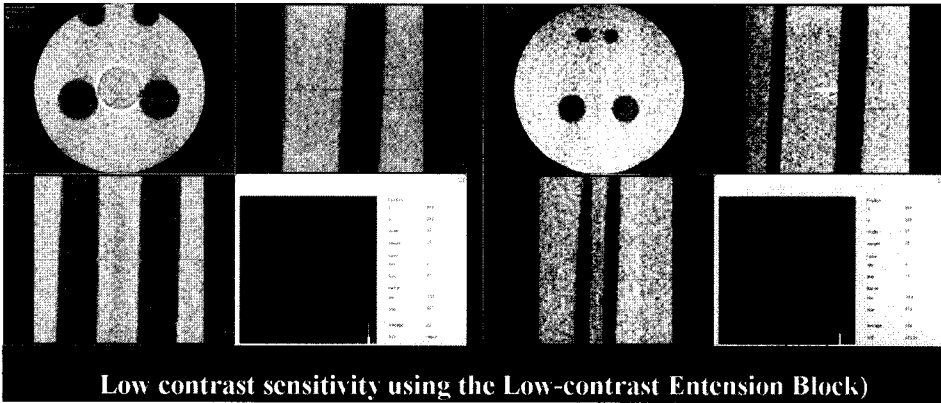
저대조도 분해능 측정용 블록을 이용한 contrast sensitivity는 PSR-9000™ Dental CT system과 i-CAT cone beam CT unit 모두에서 dextrose액과 증류수에 대한 두 부위간의 대조도 차이를 구분하기 불가능하였다 (Fig. 7).



**Fig. 5.** Evaluation of spatial resolution and size uniformity of i-CAT CBCT, A series of 8 hole in a Lucite block, ranging 1.75 mm to 0.40 mm, with 4.3 mm longitudinal space.



**Fig. 6.** Evaluation of spatial resolution and size uniformity of PSR 9000N CBCT, A series of 8 hole in a Lucite block, ranging 1.75 mm to 0.40 mm, with 4.3 mm longitudinal space.



**Fig. 7.** Evaluation of low contrast sensitivity using low-contrast extension block with solution of dextrose.

## 고 찰

최근 치과 영역에서도 전산화단층영상의 필요성이 높아지고 있으며, 특히 새로이 개발된 cone beam형 전산화단층영상은 치과 임상 의 각 분야에서 활발히 응용되고 있으나, cone beam형 전산화단층촬영장치의 질보장을 위한 영상검사의 기준이 마련되어 있지 않은 경우가 많다. 영상의학의 품질관리는 의료장비에 대한 정기적인 성능검사와 규칙에 맞는 의료영상의 화질관리를 일컫는 것으로 촬영장치에 대한 질보장과 영상에 대한 진단적 가치를 평가하는 것이다. 이러한 질보장과 의료영상의 화질관리가 이뤄지지 않으면 거짓 병변을 형성하여 오진율을 높이고, 재검사와 중복검사로 인한 환자의 방사선피폭을 증가시키며, 또한 비전문가에 의한 검사는 올바른 검사와 판독을 어렵게 한

다.<sup>5-10</sup> 특히, 전산화단층촬영장치는 검출기의 성능, 방사선 발생장치의 노후 또는 불량 등에 의한 영향을 많이 받는 촬영장치로서, 정확하고 체계적인 관리가 반드시 이뤄져야 한다. 최근에 영상의학적 발전에 의한 새로운 영상화 기법들이 임상 에 적용되면서 도입된 cone beam형 전산화단층영상은 악안면영역에서 악골과 치아의 평가에 대한 진단학적 가치를 갖고, 상대적으로 낮은 조사선량으로 3차원의 체적정보에 대한 영상화가 가능하다. 이러한 영상의학적 장점들로 인해 임상에서의 적용이 크게 증가할 것으로 여겨지는 cone beam형 전산화단층촬영장치는 각각의 장치마다 다양한 검출기의 사용으로 인한 특성뿐만 아니라, 노출 조건과 조사야 범위의 다양성으로 인한 영상의학적 특징과 차이를 보인다고 할 수 있는데, 이에 대한 질보장의 기준과 화질관리에 대한 지침이 마련되어있지 않은 실정이

다. 이에 미국 의학물리학자협회(AAPM)에서 전산화단층촬영장치의 질보장용으로 고안된 CT performance phantom을 이용하여 2종류의 cone beam형 전산화단층촬영장치에 대한 영상특성을 평가하였다.

AAPM phantom은 직경 8.5인치인 아크릴 재질의 원통형으로, CT number calibration 블록, 슬라이스 두께 측정 블록, 공간분해능 측정 블록, 대조도 분해능 측정 블록, 그리고 피사체의 공간분해능과 노이즈의 측정을 위해 연결이 가능한 외부 노이즈 링 5부분으로 구성되어 있다. CT number calibration 블록은 물의 CT number, 노이즈, 균일도, 중심정렬선 측정이 가능한 부분과 CT number의 직선성 측정이 가능한 2부분으로 구성되어 있다. 직선성 측정이 가능한 부위에서는 직경이 2 cm이며 원형인 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 나일론, 렉산, 아크릴 성분의 핀 5개가 장착되어 있으며, 이의 주위를 증류수로 채운 상태에서 검사하게 된다. 각 핀의 밀도는 0.95 g/cm<sup>3</sup>, 1.05 g/cm<sup>3</sup>, 1.10 g/cm<sup>3</sup>, 1.20 g/cm<sup>3</sup>, 1.19 g/cm<sup>3</sup>이다. 본 연구에서 2종류의 cone beam형 전산화단층촬영장치의 CT번호는 PSR-9000™ Dental CT system과 i-CAT cone beam CT unit 모두 CT performance phantom의 기준값과 일치하지 않았다. 또한 각 핀에 대한 대조도는 PSR-9000™ Dental CT system에 비해 i-CAT cone beam CT unit가 높았으며, PSR-9000™ Dental CT system과 i-CAT cone beam CT unit 모두 다면영상재구성시 단면의 두께가 증가될수록 대조도가 증가되었다. 이는 두 종류의 cone beam형 전산화단층촬영장치의 검출기 특성과 조사야 차이에 의해서 나타나는 것으로 사료되며, 단면의 두께를 증가시킴으로써 신호 대 잡음비가 개선되어 대조도가 향상되게 나타나는 것으로 여겨진다. 또한 체적소의 차이에 의해 공간분해능과 형태적 재현은 PSR-9000™ Dental CT system이 0.6 mm까지, i-CAT cone beam CT unit이 1.00 mm까지 가능하였다. 이는 영상을 구성하는 체적소의 크기가 PSR-9000™ Dental CT system은 0.1 mm, i-CAT cone beam CT unit은 0.2 mm로 영상을 획득하게 되는데, 거리상으로는 2배의 차이는 보이지만 3차원적인 농도 구배에서는 8배의 차이를 갖게 됨으로써 미세구조에 대한 형태적 재형성이 PSR-9000™ Dental CT system이 높게 나왔다고 할 수 있다. 또한 등장성의 체적소에 의한 영상화가 이뤄짐으로써 기존의 일반 전산화단층촬영장치에 비하여 partial volume effect에 의한 영향을 적게 받게 된다고 할 수 있다. 그러나 평면 검출기를 사용함으로써 산란방사선에 의한 노이즈의 증가가 많이 발생하게 되는데, 이로 인하여 저대조도 영역에 대한 대조도 분해능은 PSR-9000™ Dental CT system과 i-CAT cone beam CT unit 모두에서 낮게 나타났다.

이상의 결과로부터 cone beam형 전산화단층영상은 연조직 대조도가 낮은 영상학적 특징은 보이나, 작은 체적소에 의한 공간분해능은 우수한 것으로 나타났다. 현재 상업적

으로 시판되어 실제 임상에서 사용되고 있는 cone beam형 전산화단층촬영장치에 대한 인력과 질보장, 그리고 화질관리에 대한 규약이 확립되어야 할 것으로 사료되며, 각각의 장치에 대한 정확하고 합리적인 기준이 제시되어야 하고, 이를 위한 추가적인 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Brooks RA. A quantitative theory of the Hounsfield unit and its application to dual energy scanning. *J Comput Assist Tomogr* 1977; 1 : 487-93.
2. Brooks RA, Di Chiro G. Slice geometry in computer assisted tomography. *J Comput Assist Tomogr* 1977; 1 : 191-9.
3. Rao GU, Yaghamai I, Wist AO, Arora G. Systematic errors in bone-mineral measurements by quantitative computed tomography. *Med Phys* 1987; 14 : 62-9.
4. Judy PF, Adler GJ. Comparison of equivalent photon energy calibration methods in computed tomography. *Med Phys* 1980; 7 : 685-91.
5. Schneiders NJ, Bushong SC. A precise CT phantom alignment procedure. *Med Phys* 1980; 7 : 549-50.
6. Schneiders NJ, Bushong SC. Computer assisted MTF determination in CT. *Med Phys* 1980; 7 : 76-8.
7. Nickoloff EL, Dutta AK, Lu ZF. Influence of phantom diameter, kVp and scan mode upon computed tomography dose index. *Med Phys* 2003; 30 : 395-402.
8. Schneiders NJ, Bushong SC. CT quality assurance: computer assisted slice thickness determination. *Med Phys* 1980; 7 : 61-3.
9. Millner MR, McDavid WD, Waggner RG, Dennis MJ, Payne WH, Sank VJ. Extraction of information from CT scans at different energies. *Med Phys* 1979; 6 : 70-1.
10. Millner MR, Payne WH, Waggner RG, McDavid WD, Dennis MJ, Sank VJ. Determination of effective energies in CT calibration. *Med Phys* 1978; 5 : 543-5.
11. Naitoh M, Katsumata A, Kubota Y, Arijii E. Assessment of three-dimensional X-ray images: reconstruction from conventional tomograms, compact computerized tomography images, and multislice helical computerized tomography images. *J Oral Implantol* 2005; 31 : 234-41.
12. Ganz SD. Presurgical planning with CT-derived fabrication of surgical guides. *J Oral Maxillofac Surg* 2005; 63 : 59-71.
13. Honma K, Kobayashi T, Nakajima T, Hayasi T. Computed tomographic evaluation of bone formation after secondary bone grafting of alveolar clefts. *J Oral Maxillofac Surg* 1999; 57 : 1209-13.
14. Terakado M, Hashimoto K, Arai Y, Honda M, Sekiwa T, Sato H. Diagnostic imaging with newly developed ortho cubic super-high resolution computed tomography (Ortho-CT). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89 : 509-18.
15. Hashimoto K, Kawashima S, Araki M, Iwai K, Sawada K, Akiyama Y. Comparison of image performance between cone-beam computed tomography for dental use and four-row multidetector helical CT. *J Oral Sci* 2006; 48 : 27-34.
16. Hashimoto K, Arai Y, Iwai K, Araki M, Kawashima S, Terakado M. A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95 : 371-7.
17. Arai Y, Tammissalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Develop-

- ment of a compact computed tomographic apparatus for dental use. Dentomaxillofac Radiol 1999; 28 : 245-8.
18. Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. Int J Oral Maxillofac Implants 2004; 19 : 228-31.
19. Choi YS, Hwang EH, Lee SR. Clinical application of cone beam computed tomography in dental implant. J Korean Dent Assoc 2006; 44 : 172-9.
20. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreais IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. Eur Radiol 1998; 8 : 1558-6.

