

Measurement of Space Dose Distribution during Exposure Micro Computed Tomography (μ -CT) for Scattering Rays

Hongmoon Jung*, Doyeon Won*, Taegeon Kwon**, Jaeun Jung*

*Department of Radiological Science, Daegu Health College**

*Department of oral & Maxillofacial Surgery school of dentistry Kyungpook National University***

Micro-CT 촬영 시 발생하는 산란선에 관한 공간선량률 측정

정홍문*, 원도연*, 권대근**, 정재은*

대구보건대학교 방사선과*, 경북대학교 치의학 대학원 구강안면외과**

Abstract

Non-invasive technique CT, called automated computed tomography, is used to detect lesion of a patient when diagnosing human body. Information obtained from CT plays an important role in assembling 3 dimensional images. Recently, new equipment, operated by CT, is required which can be applicable to physical and biological research. In accordance to this quest, micro-CT is invented that produce more detail and concrete information. Images supplied by CT are even more detailed and concrete, so it contributes much to the development of biology and polymer material engineering field. However, there has been little reliable reports regarding measuring information of space dose distribution about exposure dose limit of users operating micro-CT. In addition, little reports regarding space dose distribution of exposure has been known about unwanted diffraction light produced by usage of micro-CT. The exterior of micro-CT is covered by lead, which is for removing exposure of diffraction light. Thus, even if it is good enough to prevent exposure of diffraction light, consistent management of equipment will be required as time goes by and equipment are getting old as well. We measured space dose distribution regarding exposure of diffraction light of users operating micro-CT directly. Therefore, we suggest that proper management should be necessary for users operating micro-CT not to be exposed by unwanted diffraction light.

Keyword: micro-CT, micro-CT space dose distribution, micro-CT operate exposure dose, micro-CT secondary exposure

요약

전산화단층촬영장치(Computed Tomography:CT)등장은 인체의 검사 시에 비 침습적인 검사로서 환자의 병변을 발견하는데 사용된다. 전산화단층촬영장치가 주는 정보는 3차원 영상구현에 중요한 역할을 하고 있다. 과학이 발전함에 따라 최근에는 전산화단층촬영장치를 사용하여 물리화학적 또한 생물학적 연구에 적용할 수 있는 장비가 필요하게 되었다. 따라서 좀 더 세밀하고 구체적인 정보를 제공해주는 마이크로 시티(Micro-CT)가 등장하였다. 마이크로 시티가 주는 영상정보는 더욱 더 세밀하고 구체적인 영상 정보이며 따라서 생명공학과 고분자 재료공학 발전에 크게 기여하고 있다. 그러나 아직까지 마이크로 시티의 사용자에게 관한 피폭선량의 한도에 관한 공간선량 측정 정보가 정확하게 보고

된다. 또한 마이크로 시티를 사용함으로써 원치 않게 발생 할 수 있는 산란선에 관하여 공간 피폭 선량이 보고되지 않았다. 마이크로 시티는 장비의 외관은 피폭 산란선 제거용 납으로 구성되어 있다. 따라서 산란선에 의한 피폭을 충분히 예방할 수 있지만 시간이 흐르고 장비가 노후되어짐에 따라 꾸준한 장비의 관리가 필요 할 것이다. 우리는 우연치 않게 발생 될 수 있는 마이크로 시티를 직접적으로 사용하고 있는 운영자의 산란선 피폭에 관해 공간선량을 측정하였다. 결론적으로 마이크로 시티의 사용자로 하여금 원치 않게 발생하는 산란선에 관하여 피폭 관리가 필요하다고 알리고 싶다.

중심단어 : 마이크로 시티, 마이크로 시티 공간선량, 마이크로 시티 사용자 피폭, 마이크로 시티 2차 피폭 선량

I. 서론

인체의 비침습적인 검사의 대표적으로 시행되는 전산화 단층촬영장치의 등장은 의료계의 혁신적인 반응을 일으켜 현재도 다양한 병변검사에 사용되고 있다. 하지만 최근에 촬영자 및 환자의 피폭문제가 논란이 되면서 많은 촬영자 및 환자로 하여금 경각심을 일깨워 주고있다.^{[1][2]} 방사선에 관한 피폭은 직접적인 피폭보다는 간접적인 피폭 즉, 2차 피폭이 오히려 많이 발생되게 되는데 이는 2차 피폭을 유발하는 산란선이 인체를 완전히 투과하지 못해 생기는 누적 피폭이 발생되기 때문이다. 이로 인해 인체의 세포핵 내에 존재하는 DNA 또는 RNA의 파괴 또는 대부분이 물로 되어 있는 인체의 분자구조의 전리 또는 유리기의 이탈과 변형으로 인해 다양한 생물학적인 피폭이나 물리학적 피폭이 발생되어 방사선 장애를 유발 할 수 있기 때문이다.^{[3][4]} 따라서 방사선을 발생 할 수 있는 모든 장비는 사용자 또는 환자의 피폭을 고려하여 사용해야 한다. 방사선에 관련하여 사용하는 장비인 경우 허용된 범위를 방사선 피폭이라 하더라도 방사선 피폭으로 인한 유해보다 이익이 더 클 경우에만 피폭을 허용하며, 가능한 방사선 피폭을 줄임으로서 피폭으로 인한 확률적 영향과 비확률적 영향의 발생을 감소시킬 수 있다. 이는 등가선량의 한도를 ICRP 권고 26(1977년) 정하여 허용피폭 선량의 한도를 규정하고 있다.^{[5][6]}

Micro-CT 장비는 X선을 이용하며 작은 동물을 촬영하는 영상 촬영 장비로서 1980년대 처음 소개된 이후부터 생명공학 연구 분야에 중요한 역할을 하고 있다. 또한 재료공학분야, 산업용 및 다양한 연구 분야에서

사용되어지고 있다. Micro-CT는 마이크로 미터(μm) 단위의 절편(section) 한 장당 약 $17.9\mu\text{m}$ 의 절편(section) 정보를 가지고 있어서 생명 공학적으로 적용 가능한 소동물 장기 분석의 세밀한 구조와 작은 병변 또는 대체이식 가능한 장기와 재생부위를 찾아내어 3차원 영상화 하여 정확한 분석정보를 제공해 준다. 아울러 재료 공학적으로 내부물질의 절편(section)영상을 영상화 하여 다양한 구조학적인 정보를 제공해 준다.^{[7][8]} 따라서 앞으로도 더 많은 연구자에게 사용되어 질것으로 예상된다. 따라서 Micro-CT의 사용자가 더욱 더 증가 될것으로 예측되어 Micro-CT에 사용자 중점으로 사용 중 공간선량에 관한 기준점이 제시되어야 하는 상황이다.

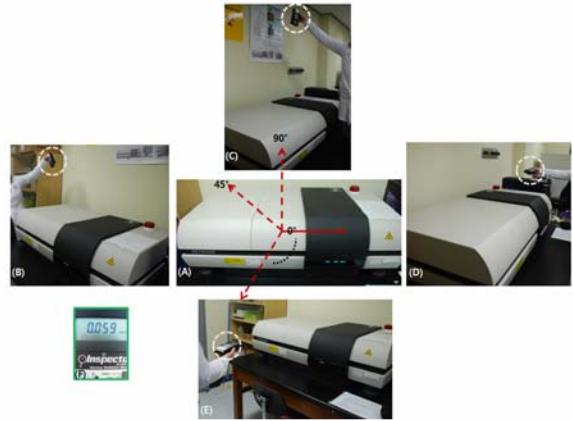
Micro-CT 검사 시 검사실 내 공간에서 산란 X선의 공간선량률분포는 작업자의 피폭을 인지하는데 중요한 지표가 될 수 있음에도 불구하고 지금까지 이 분야의 연구가 미흡한 상황이다. 왜냐하면 Micro-CT 장비의 내벽에는 두꺼운 납으로 차폐되어 있고, 인체에 사용되는 전산화단층촬영장치 보다는 상대적으로 저 선량 장비이므로 피폭이 없거나 또는 아주 미비한 피폭을 받는다고 생각한 것이 일반화된 실정이다. 아울러 Micro-CT 장비와 작업자의 분석컴퓨터 사이에는 아무런 방어벽 없이 검사를 시행하고 있는 실정이다. Micro-CT 검사는 작은 동물을 다량으로 실험하는 장비로서 한 번 검사 시 평균 20여분 정도의 시간이 소요되며, 많은 수의 표본을 실험함으로써 장시간동안 엑스선에 피폭될 수가 있다. 저 선량이지만 작업자의 피폭선량 경감은 매우 중요한 사항이므로 산란된 엑스선의 공간선량률 분포를 정확히 파악하는 것이 필요하다. 따라서 본 실험에서는 Micro-CT 장비를 사용 시에 발생할 수 있는 Micro-CT 주변에 산란되는 X선의

공간선량을 분포를 측정하였다. Micro-CT 사용자로 하여금 피폭될 수 있는 공간선량을 측정하여 Micro-CT 촬영 시에 영향을 받을 수 있는 사용자의 환경에 미치는 선량에 관해 조사하였다.

II. 실험 및 방법

1. 사용 장비 및 선량측정방법

Micro-CT 장비는 Skyscan 1172(belgium) 모델로 20 ~ 100kV와 10W의 엑스선 소스를 가지며, 50mm FOV 카메라를 장착하여 최소분해능 단위의 픽셀 크기는 2.5μm이다. 검사시간은 사전 준비 시간을 포함하여 20여분이 소요된다. Micro-CT의 측정조건은 쥐의 머리뼈를 스캔하는 조건인 50kV, 200μA로 설정한 후 5회에 나누어 측정하고, 그 평균을 구하였다. X선 선량률 측정은 한국원자력연구원에서 검사와 교정한 MEDCOM사의 감마 서베이미터(Inspector GM계수관)를 사용하였으며, 교정인자는 1.15 (교정일자 2012년 06월 5일)이다.



[Fig. 1] Measurement of space dose distribution during exposure micro computed tomography (μ-CT)

Each of angle and distance (A) central, (B) 45° angle, (C) 90° vertical angle, (D) horizontal, (E) transverse (F) basic room space dose distribution

2. 선량측정방법 및 공간 선량률 계산

검사실 내의 자연방사선량은 0.059μSv/hr (연간 0.515mSv)이었으며, 수평, 수직 분포측정지점은 Micro-CT 장비의 tube에서 조사되는 X선을 중심으로 작업자가 위치한 지점을 0°로 하여 30° 간격으로 반경을 30cm씩 증가시키면서 측정하였다. [Fig.1] 아울러 공간선량률 계산은 아래와 같은 수식에 적용하여 계산하였다.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^5 E_i \times C_\lambda}{i} \dots\dots\dots (식1)$$

E = 공간선량률,

E_i = 실 계측치,

C_λ = 교정인자 (1.15)

III. 결과

Micro-CT 장비를 사용하여 쥐의 머리뼈를 검사하는 조건(50kV, 200μA)으로 엑스선발생 장비의 튜브를 중심으로부터 수평, 수직면에 산란된 엑스선의 공간선량률을 측정하였다. 각도에는 많이 영향을 받지 않고 거리에 예측대로 거리역자승 법칙에 따라 선량율이 감소하는 것을 알 수 있었다.[Table 2.]

[Table 2]. The spatial dose rate of scattering X-ray on vertical plane (unit:μSv/hr)

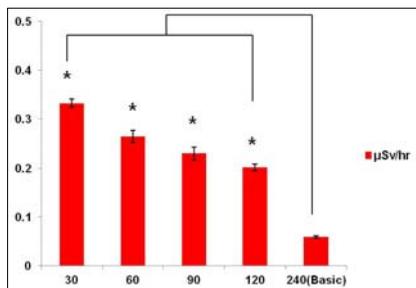
(cm) (°)	30	60	90	120
30	0.34.	0.277	0.247	0.215
60	0.338	0.267	0.231	0.203
90	0.324	0.254	0.226	0.196
120	0.326	0.264	0.224	0.198
150	0.334	0.269	0.231	0.201
180	0.340	0.274	0.240	0.205

엑스선 발생장치의 튜브를 중심으로 한 수평, 수직 면상에서 거리에 늘어남에 따라 선량률은 줄어들었지

만, 사용자가 직접 위치에 있는 방향 [Fig. 1의 E 그림 방향] 즉, 작업자 방향의 선량률은 다소 높게 나타났다. 작업자가 위치한 수평면 30°, 30cm 기준에서 나타난 결과를 토대로 연간 계산을 하면 2.96mSv/y 로 측정 할 수 있다. 법정 근로시간인 1주에 40시간, 연간 50주로 보았을 때, 계산을 하면 0.676mSv/y 이다. 이는 방사선작업종사자의 법정 선량한도인 1년에 50mSv를 넘지 아니하는 범위에서 5년간 100mSv로 연평균 20mSv, 일반인 피폭 허용치인 1mSv/y에는 미치지 않는 선량이다. 하지만 Micro-CT 장비의 특성상 법정근로시간을 넘기는 경우가 많으며, 방사선사가 아닌 여러 분야의 실험자들 모두 사용할 수 있는 장비이므로 주의가 필요하다. 앞서 설명한 바와 같이 각도에는 크게 구해 받지 않고 거리에 수평 또는 수직거리에 따라 크게 선량률이 변동이 있기 때문에 수평 및 수직에 따른 선량률을 따로 구하였다. [Table 3.], [Table 4] 에서 제시하였다. 또한 이러한 선량률에 오차범위를 적용하여 발생하는 산란선의 선량률을 그래프화 하여 도식하였다. 마이크로시티를 작동하지 않은 평소의 실험실 내의 공간선량률을 거리수치(약 240cm)를 Basic 이라고 표기하였다.

[Table 3]. Only distance of the spatial dose rate of scattering X-ray on horizontal plane (unit: μ Sv/hr)

Distance(cm)	μ Sv/hr	μ Sv/hr (STD)
30	0.332	0.009
60	0.264	0.012
90	0.230	0.012
120	0.202	0.007
240(Air dose)	0.059	0.002

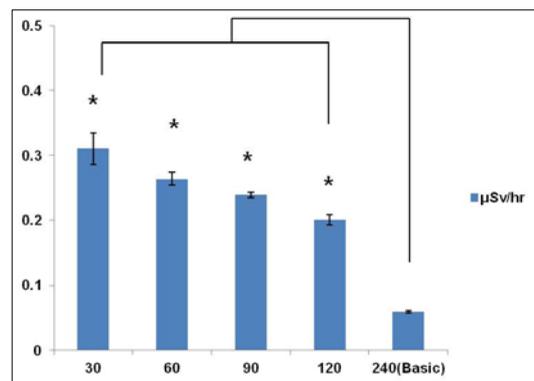


[Fig. 2] Diagrams of the spatial dose rate of scattering X-ray on horizontal plane

Micro-CT가 위치하는 실험방의 평균 공간선량률은 0.059 μ Sv/hr 로 측정되었다. 엑스선 튜브에 가장 가까운 30cm에서는 0.332 μ Sv/hr로 측정되었다. 따라서 거리가 멀면 멀수록 줄어드는 선량을 확인 할 수 있었다. 여기서 꼭 알아야할 점은 기본 공간선량 (0.059 μ Sv/hr)에 비하여 30cm, 60cm, 90cm, 120cm 모두 피폭 선량을 가지고 있다는 것이다. 비록 작은 양이긴 하지만 오랜 시간 누적이 된다면 절대 무시해서는 안 될 것으로 보인다.

[Table 4]. Only distance of the spatial dose rate of scattering X-ray on vertical plane (unit: μ Sv/hr)

Distance(cm)	μ Sv/hr	μ Sv/hr (STD)
30	0.311	0.024
60	0.264	0.010
90	0.237	0.005
120	0.201	0.008
240(Air dose)	0.059	0.002



[Fig. 3] diagrams of the spatial dose rate of scattering X-ray on vertical plane

수직적인 선량 또한 거기가 멀수록 선량이 감소하지만 이 피폭 또한 간과해서는 안 될 사항이다. 이것 또한 엑스레이 발생장치와 거리가 가까울수록 기본 공간선량에 비해 피폭량이 증가되는 것을 알 수 있기 때문이다. 결국, Micro-CT 장비와 작업자의 거리는 약 30cm 내외이고, 실험실([Fig. 2], [Fig. 3]에 Basic표시)* 내 공간방사선량보다. Micro-CT 촬영 시 선량이 높게

측정되므로 Micro-CT의 공간선량률을 충분히 파악하며 X선 조사 시 작업자의 적절한 거리유지와 아울러 방어벽을 설치하여 Micro-CT 장비로 실험하는 작업자에 대한 불필요한 방사선 피폭선량을 줄여야 할 것으로 사료된다.

IV. 고찰

Micro-CT의 등장은 1960년대 후반 housefield 박사가 전산화단층촬영장치 개발 이후 약 20년이 지난 후에 등장하였다. 전산화단층촬영장치가 주는 의미는 단순한 엑스선 투영 영상이 아닌 컴퓨터의 프로그램 기술과 동일하게 발전하여 3차원을 구현 할 수 있게 되었다.^{[9][10]} 하지만 Micro-CT는 단순히 영상적인 차원을 넘어 골의 노화도와 골다공증, 골의 밀도에 관하여 연구를 가능하게 해주었으며 다양한 조직 재생의 분석에 많은 도움을 주고 있다.^{[11][12][13]} 이는 더욱 더 작은 초점과 발전된 컴퓨터 기술을 이용하여 마이크로 수준의 높은 공간 해상도를 구현해 냄에 따라 가능하게 된 것이다. Micro-CT는 back projection에 convolution을 추가하여 프로그램화 하여 3차원영상 재구성시 보다 선명한 이미지를 얻어낼 수 있게 해준 것이다. 이는 한 점에서 투영하는 single 방식이 아닌 다방면의 검출기에서 얻는 투영 상을 얻는 것에 기인한다. 이렇듯 Micro-CT는 연구하고자 하는 샘플의 다양한 정보를 얻을 수 있다. 때문에 Micro-CT의 사용은 더욱 더 증가할 것으로 보인다. 현재는 GE 사 와 skyscan이 주를 이루고 있다. 다양한 접근방법으로 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 아직까지 Micro-CT에 관한 Quality control(QC)가 관리가 이루어지고 있지 않다. 따라서 많은 Micro-CT의 사용자로 하여금 피폭선량에 관한 기준점과 피폭에 관한 정도 관리가 이루어져야 한다. 정도의 관리나 노후가 발생하게 되면 장비의 차폐능이나 성능이 저하되기 때문에 충분한 관리가 이루어져야 한다. 미량의 소폭 방사선이라도 누적되면 방사선 피로에 의한 숙취현상이나 장해를 유발할 수 있으므로 모든 방사선 발생장치는 정확한 차폐 하에 사용되어야 하는 것이다. 따라서 Micro-CT의 장비에 방사선 차폐 납유리로 차폐를 해주는 것이 적절한 조치로 사료 된다.

V. 결론

방사선의 장해를 유발하는 것에는 확실적인 장해와 비확률적인 장해로 나타낸다. 적은 방사선 노출량이라 하더라도 누적이 이루어지면 장해를 유발 할 수 있다. Micro-CT의 사용이 급격하게 증가됨에 따라 사용자로 하여금 피폭 정도 관리가 요구되어진다. 결론적으로 Micro-CT 의 촬영 시 발생되어지는 산란선의 공간선량률을 충분히 파악하며 엑스선 조사 시 작업자의 적절한 거리유지와 아울러 방어벽을 설치하여 Micro-CT 장비를 실험하는 작업자에 대한 불필요하게 산란된 방사선 피폭선량을 줄여야 한다.

참고문헌

- [1] Kersemans V, Thompson J, Cornelissen B, Woodcock M, Allen PD, et al. Micro-CT for anatomic referencing in PET and SPECT: radiation dose, biologic damage, and image quality, J Nucl Med., Nov, Vol. 52 No.11, pp. 1827-1833, 2011
- [2] Rothkamm K, Balroop S, Shekhdar J, Fernie P, Goh V. Leukocyte DNA damage after multi-detector row CT: a quantitative biomarker of low-level radiation exposure, Radiology, an Vol. 242 No. 1, pp. 244-251, 2007
- [3] Pathe C, Eble K, Schmitz-Beuting D, Keil B, Kaestner B, et al. The presence of iodinated contrast agents amplifies DNA radiation damage in computed tomography. Contrast Media Mol Imaging., Nov-Dec, Vol. 6, No. 6, pp. 507-513, 2011
- [4] Carlin V, Artioli AJ, Matsumoto MA, Filho HN, Borgo E, et al. Biomonitoring of DNA damage and cytotoxicity in individuals exposed to cone beam computed tomography. Dentomaxillofac Radiol, Jul, Vol, 39, No, 5, pp. 295-299, 2010
- [5] Polvani C. [From the Publication 9 to the Publication 26 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) (author's transl)]., Med Lav., Nov-Dec, Vol. 70, No. 6, pp. 494-504, 1979
- [6] Ward A, Blue D. Radiation safety implications of ICRP 26 annual limits of dose. Health Phys., Apr, Vol. 38, No. 4, pp. 687-690, 1980
- [7] Elliott JC, Dover SD, Three-dimensional distribution of mineral in bone at a resolution of 15 micron determined by x-ray micro tomography, Metab Bone Dis Relat Res., Vol. 5, No. 5, pp. 219-221, 1984
- [8] Sun J, Eidelman N, Lin-Gibson S. 3D mapping of

- polymerization shrinkage using X-ray micro-computed tomography to predict microleakage. *DentMater.*, Mar, Vol. 25, No. 3, pp. 314-20, 2009
- [9] Elliott JC, Dover SD, X-ray microtomography J., *Microsc.* May, Vol. 126, No. 2, pp. 211-213, 1982
- [10] Flannery BP, Deckman HW, Roberge WG, D'Amico KL. Three-Dimensional X-ray Microtomography. *Science*, Sep 18, Vol. 237 No. 4821, pp. 1439-1444, 1987
- [11] Ye X, Yin X, Yang D, Tan J, Liu G. Ectopic bone regeneration by human bone marrow mononucleated cells, undifferentiated and osteogenically differentiated bone marrow mesenchymal stem cells in beta-tricalcium phosphate scaffolds, *Tissue Eng Part C Methods.*, Jul, Vol. 18, No. 7, pp. 545-556, 2012
- [12] Tommasini SM, Trinward A, Acerbo AS, De Carlo F, Miller LM, et al., Changes in intracortical microporosities induced by pharmaceutical treatment of osteoporosis as detected by high resolution micro-CT. *Bone.*, Mar, Vol. 50, No. 3, pp. 596-604, 2012
- [13] Boerckel JD, Kolambkar YM, Dupont KM, Uhrig BA, Phelps EA, et al., Effects of protein dose and delivery system on BMP-mediated bone regeneration, *Biomaterials.*, Aug, Vol. 32, No. 22, pp. 5241-5251, 2011