

Synchrotron Radiation을 이용한 CMOS sensor image 획득평가

°김대환, °박지균, °최장용, °장기원, °윤경준, *문치용, *남상희

°인제대학교 의생명공학대학 의공학학과

*인제대학교 의료 영상 연구소

Evaluation of image acquisition using synchrotron radiation in CMOS sensor.

°D. H. Kim, °J. K. Pack, °J. Y. Choi, °G. W. Chang, °G. J. Youn, *C. W. Moon, *S. H. Nam

°Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University

*Medical Imaging Research center of Inje University

Abstract

In this paper, the purpose is to develop imaging technique of synchrotron radiation using CMOS image sensor. The detector using hybrid method to be research in this lab was used, in order to increase image signal. We made experiments with 1B2 Whitebeam/microprobe beamline in PAL (Pohang Accelerator Laboratory). Phosphor materials such as ZnS:(Ag, Li), ZnS:(Cu, Al), Y₂O₂S:Eu were produced by spin coating on glass. Synchrotron radiation images were acquired and evaluated from monochromatic light from monochromator in PAL 1B2line. From obtained object and phantom, MTF was 0.15 in ZnS:(Ag, Li) phosphor, and 0.178 in ZnS:(Cu, Al) at 15 lp/mm. MTFs were unsystematic because thickness of phosphor and uniformity of surface were not optimized. It's expected to improve MTF and the quality of images as uniformity's optimized.

Key Words : Hybrid, CMOS image Sensor, monochromator, synchrotron radiation, phosphor

1. 서론

본 연구에서는 CMOS 영상 센서를 이용하여 싱크로트론 방사선에 대한 영상검출기를 개발하였다. 이러한 검출기는 CMOS 영상센서와 형광층으로 이루어진 혼합형 구조를 가진다. CMOS technology를 이용한 image sensor 제작 기술이 발달함에 따라 CMOS image sensor를 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, pixel resolution 또한 CCD를 능가하고 있다.[1] CMOS는 실시간 영상을 위한 높은 frame rate 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 세계적으로 방사광을 이용한 영상획득에 관한 연구는 1965

년 Cornell 대학의 Ulrich Bonse와 Michael Hart에 의해 시도되었고 [2], 현재 Structural Biology, X-ray Microscopy, Radiation Cell Biology 등의 in-vitro 연구와 인체대상인 Coronary Arteries, Lungs, Breast Tumors(in-vitro tissues), 동물실험인 Head and Neck, Brain Tumors 등의 in vivo 연구로 진행되고 있다.[3] 접촉 방사선(contact radiography), 투사 현미경법 (projection microscopy), X선 단층촬영법(tomography)과 같은 높은 에너지를 이용한 X선 이미징 기법은 재료과학, 생물학, 의학분야 등에서 비파괴적으로 물체의 내부 구조를 밝히는데 이용되어 오고 있다. 최근 들어서는 제3세대 방사광 가속기에서 나오는 높은 에너지를 가진 X선의 움직임

(coherent) 특성을 이용한 in-line 홀로그래피를 이용하여 위상대비 영상을 측정하고 있다. 본 연구는 형광체와 CMOS 영상센서를 사용하여 포항 가속기 연구소(PAL:pohang Accelerator Laboratory)의 1B2 Whitebeam /Microprobe Beamline에서 영상획득 실험을 하였다. synchrotron x선을 이용해 monochromator를 통해 나오는 단일빔을 물체단면을 지나온 x-선 영상정보를 형광체를 통해 가시광으로 변환하고 이렇게 발생한 가시광영역의 signal를 CMOS 영상센서를 사용해서 높은 해상도의 팬텀 영상과 물고기 영상을 획득하였다. 이렇게 획득한 CMOS영상 대해서 변조전달함수 (MTF: Modulation Transfer Function)를 도출하여 영상의 질(quality)를 정량적으로 평가 하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구는 포항 가속기 연구소(PAL) 1B2 Whitebeam/ Microprobe Beamline을 이용하여, 시스템의 구성이 간단한 영상획득 장치를 구현하였다. PAL 가속기에서 사용되어진 광원은 critical energy 2.8KeV at 2GeV operation (5.5KeV at 2.5GeV)이고 Source size는 $\delta x=160\mu m, \delta y=60\mu m$ 가진다. 본 연구에서는 Si 4-crystal channel cut monochromator를 설치하여 단색광 (mono-beam)을 만들어 사용하였다. 1B2 라인에서 이용하고 있는 단색화장치 (monochromator)에서 만들어진 단색광의 에너지는 8KeV로서 파장은 약1.6Å이다. bending magnet에서 전자가의 궤도가 휘 때 나오는 방사광을, 광원으로부터 25m 지점에서 집속하였다. 이때 사용된 K-B mirror쌍은 미국 Advanced Light Source에서 제작된 것으로 평면경을 bender로 휘어 타원이 되도록 하여 구면수차를 줄였다[5]. 빔 포트 (beam port)에서 실험장치까지의 거리는 약25m이고 실험 sample부터 영상획득장치 까지 거리는 5cm 이다. 방사광에서 나오는 X-선은 병원에서 의료용으로 사용되는 X-선에 비해 훨씬 우수한 것으로 흡수대비가 아닌 위상대비 (phase contrast)법에 의해 물체를 imaging하게 된다. 물체를 투과하는 빔은 물체 내부 여러 조직의 경계면에서 미세한 굴절율의 차이를 가지게 되고, 이로 인해 경계면에서 간섭패턴이 발생하게 된다. 따라서 위상대비법을 사용하게 되면

X-선이 물체를 투과하면서 내부 조직들의 경계면만이 간섭패턴에 의해 짙은 색으로 관측된다. 따라서 밀도가 높은 물질 후방에 놓인 밀도가 낮은 물질도 측정이 가능하게 된다. 본 연구에서는 주로 단일빔 (8keV)을 사용하여 sample내부를 가시화했다. 싱크로트론 X선 영상 획득시스템 세부장치는 Al attenuator, X,Y,Z,linear stage control unit, Phosphor (ZnS:Ag Li(blue), ZnS:Cu Al(green), Y₂O₃:Eu(red)), CMOS sensor , USB cable, image 획득시스템(ppcap_pvoc430k_i2c)으로 구성하였다. 사용되어진 sample은 열대어 물고기(알비노 체리 바브)4~5cm의 크기를 이용하였다. 형광체는 powder 형으로 spin coating 방법을 사용해 필름 위에 코팅하였다. 그림 1. 은 본 실험에 사용되어진 실험구성도 이다. 본 연구에서 사용되어진 CMOS 영상센서는 640×480 pixel array와 5.2μm×5.2μm pixel size로 30 frames/sec을 이용하였다. 어진 시스템 구성도를 싱크로트론 방사선의 조사선량은 ion chamber (advess 社)로 측정하였다. 물체의 단면을 지난 X선은 가시광선 영역이 아니어서 가시광영역의 detector로는 영상을 검출할 수가 없다. 따라서 방사선 형광체 (Scintillator)를 이용하여 X선을 최대 파장이 475nm인 가시광선으로 변환시켰다.

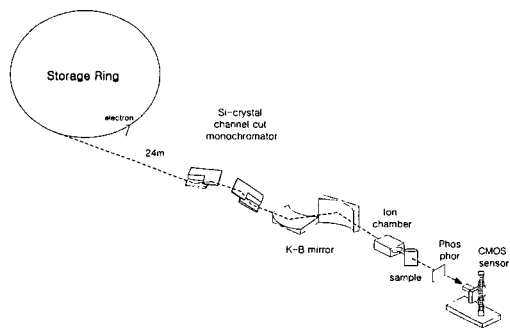


그림 1. 실험 구성도.

변환되어진 가시광영역의 광선을 CMOS 센서로 영상을 검출하게 된다, CMOS 센서에서 검출된 가시광영역의 영상정보는 디지털 신호로 USB cable 통해 computer로 보내어지며 영상처리 프로그램 (amcap_pvoc430k)을 사용하여 저장하였다.

3. 결과 및 고찰

Scintillator (ZnS:(Ag,Li), ZnS:(Cu,Al)) 이용하여 X선 파장을 가시광선으로 변환 후 물고기 영상을 CMOS sensor로 획득하였다. 그림2에서 제작한 Scintillator (ZnS:(Ag,Li)) 를 이용하여 10 μ m thickness에서 획득한 물고기 영상이다.

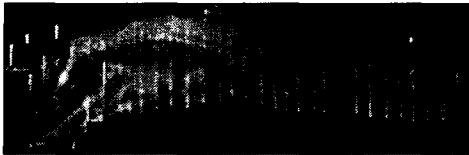


그림 2. Scintillator (ZnS:(Ag,Li)) 이용하여 획득한 영상.

그림 3, 4, 5 은 CMOS sensor로 제작한 10 μ m, 20 μ m, 30 μ m의 두께를 가지는 Scintillator (ZnS:(Ag,Li), ZnS:(Cu,Al))를 사용하여 MTF측정하였다.

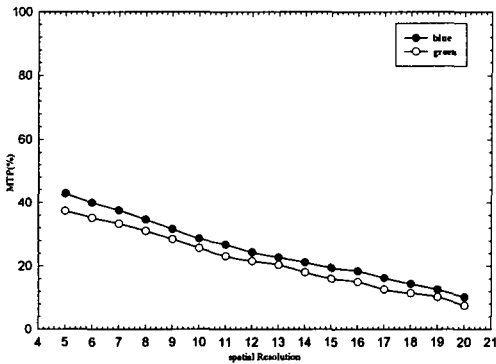


그림 3. ZnS : Cu Al과 ZnS :Ag Li Scintillator thickness(30 μ m) 영상촬영 MTF.

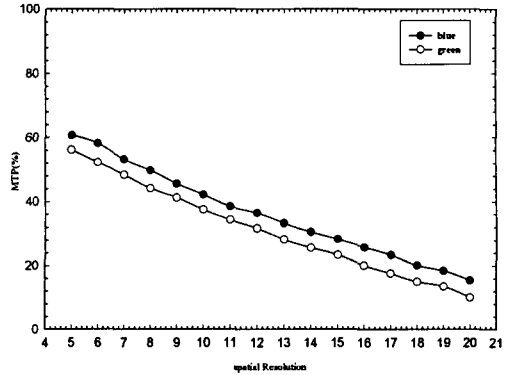


그림 4. ZnS : Cu Al과 ZnS :Ag Li Scintillator thickness(20 μ m) 영상촬영 MTF.

그림 6 은 제작한 10 μ mthickness의 Scintillator SEM image를 나타내었다. 측정된 결과 10 μ m thickness Scintillator에서 phantom image(15lp), ZnS:(Cu,Al)은 45%의 MTF 값을 보였고, phantom image(15lp)에서는37.6%의 MTF 값을 나타내었다. 본 실험에서 높은 MTF값을 가지는 Scintillator를 Image를 획득하였다.

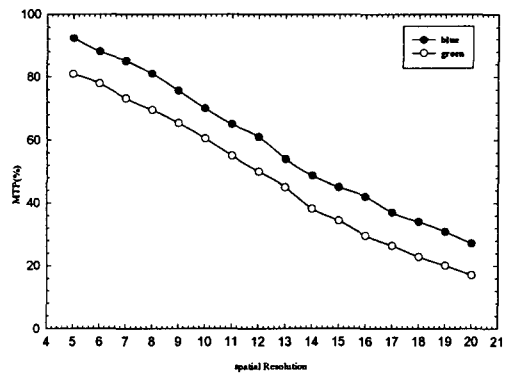


그림 5. ZnS : Cu Al과 ZnS :Ag Li Scintillator thickness(10 μ m) 영상촬영 MTF.



그림 6. Scintillator SEM image.

4. 결론

Scintillator의 thickness가 $10\mu\text{m}$ 이상으로 두꺼워지면 Scintillator의 발광되는 광량이 많아지면서 영상에 blurring 현상이 발생하게 된다. thickness의 증가에 의한 blurring 현상으로 인해 MTF 측정값이 떨어지는 것을 확인하였다. Scintillator YOS:Eu(red)는 단일빔에 심한 blurring으로 영상을 획득할 수가 없었다. Scintillator thickness 별로 phantom image를 획득해 MTF 결과값을 측정해 본 결과 Scintillator $10\mu\text{m}$ thickness에서 획득된 영상의 측정값이 최고로 높았다. 본 실험에서 자체 제작한 $10\mu\text{m}$ Scintillator thickness에서 높은 MTF 값을 획득하였고, Scintillator 표면 uniformity가 정량적으로 최적화되지 않았기 때문에 image quality에서 MTF 값이 불규칙하다는 것을 볼 수가 있다. 본 실험에서 phosphor 표면이 spin coating으로 제작한 phosphor thickness가 균등하지 못해 MTF 측정값이 불규칙적인 것을 확인하였다. phosphor thickness가 uniform하게 되면 영상의 quality가 많이 향상될 뿐만 아니라 임상적인 영상 획득에서 미세구조 영상을 획득할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] S. Kleinfelder, S. Lim, X. Liu, A. El Gamal, "A 10k frames/s $0.18\mu\text{m}$ CMOS Digital Pixel Sensor," IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. 36, No. 12, December 2001.
- [2] W. Thomlinson, Synchrotron Radiation Applications in Medical Research. Medical Applications of Synchrotron Radiation, Springer-Verlag Tokyo 1998:2-9
- [3] James E. Harvey, Kristin L. Lewotsky, and Anita Kotha Effects of surface scatter on the optical performance of x-ray synchrotron beam-line mirrors APPLIED OPTICS @ Vol. 34, No. 16 @ 1 June 1995
- [4] N. Stevanovic, M. Hillegrand, B. J. Hostica, A. Teuner, "A CMOS Image Sensor for High Speed Imaging," ISSCC Digest of Technical Papers, pages 104-105, San Francisco, CA, Feb. 2000.
- [5] E. Spiller, D. Stearns, and M. Krumrey, "Multilayer x-ray mirrors: interfacial roughness, scattering, and image quality," J. Appl. Phys. 74, 107-118 119932.
- [6] H. E. Bennett and J. O. Porteus, "Relation between surface roughness and specular reflectance at normal incidence," J. Opt. Soc. Am. 51, 123-129 119612.