

Image Plate로서의 X선 조사에 대한 Amorphous Selenium Plate 표면 Potential 특성 연구

최준영, 조승열, 김명수, 임종덕, *김덕훈, 남상희
인제대학교 보건대학 의용공학과
*마산전문대학 안경광학과

The Study for Characteristics between Amorphous Selenium Plate Surface Potential and X-ray Exposure by Image Plate

J. Y. Choi, S. Y. Cho, M. S. Kim, C. D. Lim, *D. H. Kim, S. H. Nam
Department of Biomedical Engineering, College of Health, Inje University
*Department of Ocular-Optics, College of Masan

ABSTRACT

There are studied for filmness methods due to disadvantage of conventional X-ray system. Have high DQE, high SNR, amorphous selenium was investigated with image plate. In this point, characteristics of an amorphous selenium image plate was investigated to understand the relationship between the amount of the X-ray exposure and the superficial charge potential in this study. Specially, changes in charge at the surface of the amorphous selenium plate with respect to change of X-ray energy(KeV) was investigated. It was found that the surface charge potential at the amorphous selenium increased with respect to the increase in X-ray exposure and that the changed surface potential was a semilinearity in 12.5KeV - 22.5KeV range. Therefore, which suggests that these results can be applied to the development of X-ray image plate.

서 론

일반적인 임상에서의 가장 기초가 되고 가장 흔히 이용되는 검사에는 병리학적인 urine test, blood test등이 있고 실제적으로 신체의 내부를 간접적으로 가시화하여 검사하는 일반 X선 촬영이 있다. 특히 일반 X선 촬영은 1895년 독일의 Roentgen이 X선을 발견한 후 현재까지 의학에서 아주 기본적이면서 저렴한 비용으로 기본적인 질병의 진단 방법으로 이용되어 왔다. 따라서 많은 임상 환자와 일반인의 기본적인 신체검사에 필수적으로 사용되어 왔고, 또 그 장비도 비교적 싼 값으로 구입할 수 있었다. 그러나 초창기의 X선 촬영장치와 현재의 장치는 거의 기능적인 면이나 필름으로 그 결과물을 산출하는 면에서 그다지 더 나아진것은 없다. 현재의 digital 정보문화시대에 기존의 즉, conventional X선 장치의 digital화에 대한 많은 필요성이 대두되기 시작했다. 물론 그 필요성에는 기존의 X선 장치의 문제점들도 가지고 있다. 그 문제점들 중 가장 큰 문제점은 필름의 보관 및 관리 비용의 증가 때문이다. 일단 한번 촬영된 필름들은 5년이라는 보관 년수로 보관에 필요한 장소와 관리 인원들이 필요하게 된다. 이런 이유들로 인해 filmness방식에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 연구들 중에서 최근에 실용화 되어 임상에서 사용되고 있으나 그 image

plate의 크기가 적어서 국부적인 촬영은 가능하나 chest같은 큰 화상의 촬영에는 부적합하다. 그래서 계속된 연구중에 실제적으로 임상에서 현재 많이 사용되고 있는 CR이라는 image storage phosphor 방식에서의 image plate를 사용하여 chest 영상을 촬영할 수 있는 장비가 개발되었다.[1] 하지만 이 장비의 가장 문제점은 해상도의 문제점과 사용자의 행동반경이 넓다는 문제, 즉 on-line system이 아닌 off-line system이라는 문제점을 가지고 있다. 그리고 높은 DQE(Detective quantum efficiency)를 가지지 못하기 때문에 많은 X선 조사량이 필요하게 된다. 하지만 DQE가 높게 된다면 전기적 신호가 크게 나타나기 때문에, 즉 SNR의 값이 높게 나타나기 때문에 장치의 설치 및 신호의 reading이 아주 간편해 진다. 그래서 X선에 대해서 아주 좋은 sensitivity를 가지고 또한 DQE가 높고 SNR이 높은 amorphous selenium image plate에 대한 연구가 30년여전 부터 amorphous selenium image plate[2]에 수행되어져 왔다. 이런 연구가 수행되는 과정에서 1973년에 Xeroradiograph[3]이 개발 되면서 실제적으로 amorphous selenium analog image plate로서 실용화 되어 amorphous selenium에 대한 연구는 더 활발히 추진되어왔다. 현재에는 이 amorphous selenium을 이용한 많은 장비들이 개발되어 있기 때문에 이 축적된 기술을 X선 화상의 image plate로서의 연구에 충분한 기술적 바탕을 제공하여 준다고 할 수 있다. Digital image plate로서의 가능성은 X선 촬영에서 높은 DQE, 높은 SNR을 가지는 amorphous selenium[4][5] image plate를 사용한다면 single beam, line beam, area beam촬영 전부를 지원 할 수 있다.[6] 이런 특징들, 즉 높은 DQE, SNR, spatial resolution을 가지는 amorphous selenium을 본 연구에서는 X선 image plate로서의 대전된 amorphous selenium에 X선을 조사후 표면 potential을 검출함으로써 실제적으로 image plate로서의 amorphous selenium이 어느정도의 potential이 변화하는지를 이 연구에서 하고자 한다. 그래서 image plate로서의 충분한 역할을 할수 있을 지에 대한 가능성도 예측 해보고자 한다.

방 법

Amorphous selenium은 $10^{15} \Omega \text{cm}$ 정도의 부도체 성질을 가지고 있다. 이러한 현상을 X선 장치에 적용하면 X선 발생기로부터 조사된 측정된 선량의 X선은 양전하(positive charge)로 균등하게 대전된

a-Se plate표면에 닿게 되고, X선 이 닿은 a-Se plate표면은 광도전체의 양전하를 ground로 도피 시키지만, X선이 닿지 않은 a-Se plate 표면에는 대전된 양전하가 남는다. 그러므로 이 존재하는 양전하가 남는 부분과 남지 않은 부분과의 potential의 차이가 생기므로 이 차이를 측정한다. 이런 특성을 가진 비정질 selenium의 물리적인 성질을 Table 1 [3]에 나타낸다.

Table 1. Physical properties of a-Se

Atomic Number	Density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	Dielectric Constant	Resistivity at 20°C (Ωcm)	Thermal Conductivity at 20°C ($\text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$)	Optical band gap (eV)
34	4.25	63	$10^{15}-10^{16}$	2×10^{-3}	2.4

Photoresponse 'edge' (A)	K-absorption edge (KeV)	Mobilities of charge carriers ($\text{cm}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$)	
		Holes	Electrons
4600	12.7	0.14	5×10^{-3}

광도전물질에 $h\nu$ 의 광양자가 입사하면 한 쌍의 양과 음의 전하가 발생된다. 이때 발생된 전자와 전공의 mobility를 μ_n , μ_p 라고 하고 전위차를 ϵ 이라 하면, drift velocity(v_d)는 다음과 같다.

$$v_d = \mu \cdot \epsilon = (\mu_n + \mu_p) \cdot \epsilon$$

여기서 current density(J)는 drift velocity v_d 에 전하량 q 를 곱한것이다. 즉 current density(J)는 전도도를 나타내며 다음 식과 같다.[7]

$$J = q \cdot v_d = q \cdot \mu \cdot \epsilon = q \cdot (\mu_n + \mu_p) \cdot \epsilon$$

이런 원리로 인하여 selenium plate 표면에 electric potential이 변하게 된다. 이 변화된 potential을 electrical sensor로 detect하여 AD convertor로 digitization하여 컴퓨터에 저장한다. 실험장치의 설치는 우선 amorphous selenium을 대전시키기 위해서 +4.5kV의 DC전압을 사용하여 arc방전 대전 장치를 사용하여 양전하를 균일 하게 대전시킨다. 이 실험 장치의 구성을 Fig. 1에 나타낸다. 여기서 amorphous selenium은 크기는 144cm^2 의 알루미늄 plate위에 $50\mu\text{m}$ 로 도포된 selenium을 사용하였다.

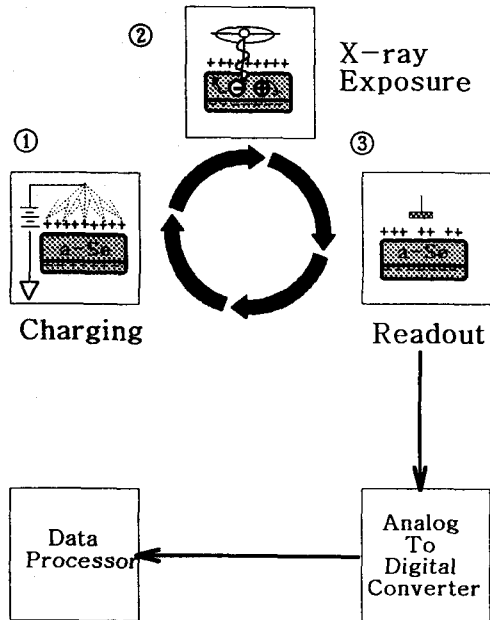


Fig. 1. Picture of amorphous selenium experiment device

Fig. 1 과 같이 설치된 실험장치를 사용하여 고전압으로 균일하게 대전시킨 selenium에 X선을 KeV를 10KeV로 부터 1.25KeV만큼씩 증가하며 25KeV 까지 변화시키면서 대전된 selenium의 표면 potential이 얼마만큼 변화하는지를 측정하였다. 그리고 측정횟수는 각 KeV당 10회씩 반복 측정 하였다. 이때 X선 촬영기의 X선 튜브는 항상 일정한 거리에서 촬영할 수 있도록 고정시켰는데, 이 이유는 X선의 선량은 실제적으로 거리의 제곱에 반비례하기 때문에 amorphous selenium plate에 거리에 따른 KeV에 영향을 줄 수 있으므로 이 실험에서는 일정한 거리(50cm)로 고정하여 실험하였다. 그리고 촬영의 시점을 통일시키기 위해 selenium을 3초간 charging시킨 후 X선이 조사되도록 장치를 설치하였고, 촬영시간은 0.2sec로 통일 시켜서 X 선 조사선량의 변화요소를 고정시켰다. 그리고 AD convertor는 AXIOM사의 AX - 5412 ADC board 를 사용하여 측정하였다. 이 AX-5412 board의 AD bit resolution은 12bit이기 때문에 data의 sample은 12bit로 digitization 하였고 측정 sampling rate는 1000/sec로 하였다. 이 실험의 순서를 Fig. 2에 나타낸다.

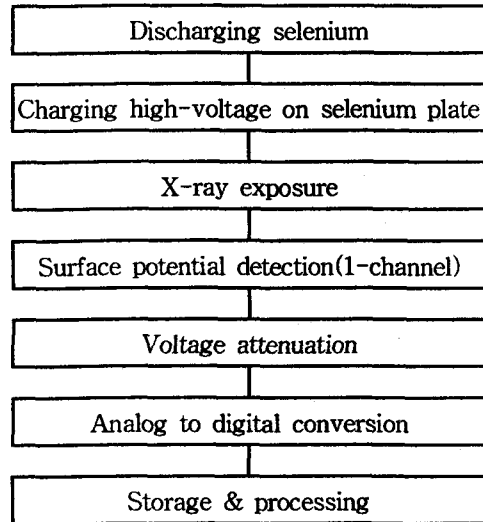


Fig. 2. Flow chart of experiment

결 과

아무런 filtering하지 않고 각각의 조건에서 측정된 결과값에는 특정한 즉, 60Hz의 상용전원의 noise가 아주 많이 분포되어 있었기 때문에 이것을 digital filtering을 통해 제거시켰다. 이렇게 처리된 신호를 Fig. 3 에 나타낸다.

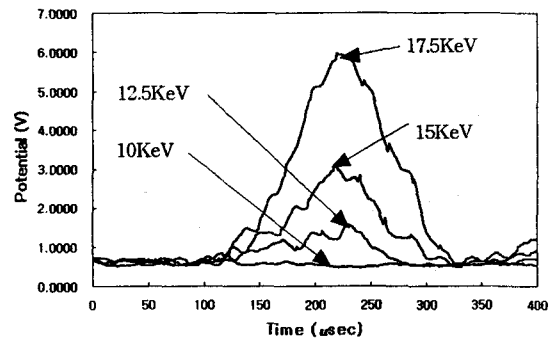


Fig. 3. Graph of filtering at 10KeV, 12.5KeV, 15KeV, 17.5KeV,

각각 10번씩 측정된 값들의 각 평균변화값을 구하여 나타내었고 그리고 각각의 평균값을 구할때 그 변화값의 최대치와 최소치를 같이 구하여 각 KeV에서 \pm error value도 같이 Fig. 4에 나타내었다.

결론 및 검토

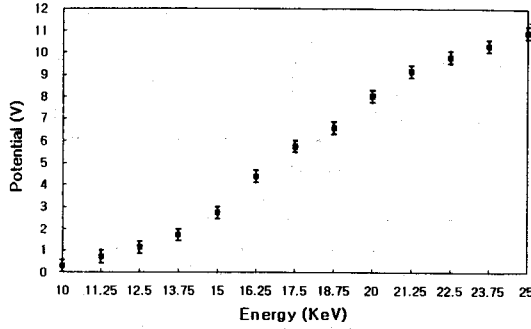


Fig. 4. Graph of amorphous selenium potential at each discrete KeV

Fig. 4에 표시된 불연속 독립변수를 연속 독립변수로 가정하여 불연속된 KeV를 연속된 KeV로 대치하여 graph를 그리면 Fig. 5과 같이 나타난다.

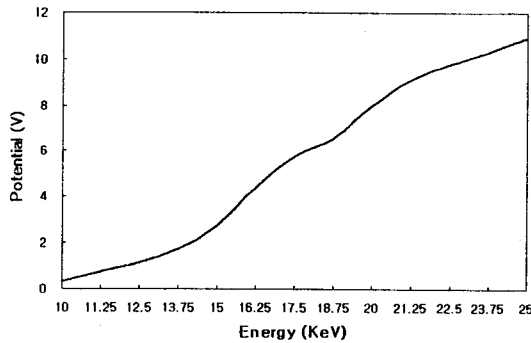


Fig. 5. Graph of amorphous selenium potential at continuous KeV

Fig. 6에서 알수 있듯이 12.5 KeV에서 22.5 KeV 사이에서는 선형성을 관찰할 수 있다. 이 영역을 선형구간이라고 가정하고 회귀분석하면

$$\text{Potential} = 0.92965 \times 10^{-3} \times \text{KeV} - 10.8$$

와 같이 되고 신뢰도는 95%가 된다. 그리고 나머지 KeV영역에서는 saturation을 볼수 있다. 또 이 사실은 필름의 H-D (Hutter & Driffeld) 곡선으로 해석할 수 있을 것이다. H-D곡선은 필름의 특성곡선으로 노광에 대한 대한 필름에서의 농도의 변화에 대한 것이다. 하지만 이 실험의 요건들 중 Y축의 값들이 density를 나타내지는 않지만 양전하의 분포에 따라 selenium의 표면 potential의 값이 변하므로 초기 대전된 상태가 가장 높은 density라고 가정하고, 12.5 KeV에서 22.5 KeV 사이를 선형적이라고 가정한다면 위의 특성 곡선에서 γ 치는 위의 회귀 분석한 기울기인 0.92965×10^{-3} 로 나타낼 수 있다.

위의 실험에서 amorphous selenium이 X선 선량과의 반응에서 selenium의 표면 potential의 변화는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1. X선 조사후 대전된 potential보다 낮은 표면 potential을 얻을수 있었다.
2. 특정적인 구간에서는 X선 선량에 대하여 선형적인 변화를 볼 수 있었다.

이 실험은 하나의 single beam을 사용하지는 않았지만 만약 하나의 single beam을 사용한다면 위와 같은 선형적인 구간의 특성을 이용하여 기존의 BMD(Bone Mineral Desitrometer)의 image plate로서 사용 가능성은 크다고 볼수 있다. 그래서 위와 같은 결론으로 amorphous selenium은 X선 image plate로서의 충분한 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다.

참고 문헌

[1] M. Sonoda, M. Takano, J. Miyahara, and H. Kato, "Computed Radiography Utilizing Scanning Laser Stimulated Luminescence", *Radiology*, 148, 1983, 833-838

[2] J. A. Rowlands, G. DeCrescenzo, and N. Araj, "X-ray Imaging Using Amorphous Selenium: Deterimination of X-ray Sensitivity by pulse height spectroscopy", *Med. Phys.*, 19, 1992, 1065-1069

[3] J. W. Boag, "Xeroradiography", *Phys. Med. Biol*, 18, 1973, 3-37

[4] R. Fahrig, J. A. Rowlands, and M. J. Yaffe, "X-ray Imaging with Amorphous Selenium: Detective Quantum Efficiency of Photoconductive Receptors for Digital Mammography", *Med. Phys.*, 22, 1982, 79-94

[5] W. Que, and J. A. Rowlands, "X-ray Imaging Using Amorphous Selenium: Inherent Spatial Resolution", *Med. Phys.*, 22, 1995,

[6] R. M. Harrison, "Digital Radiography", *Phys. Med. Biol.*, 33, 1988, 751-784

[7] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Device*, 2nd Edition, 27-38