

## 차세대 방사선 변환 센서 기술 동향



· 남상희 ·  
인제대 의생명공학대학 학장

### 1. 서 론

1990년대 이후로 방사선 변환 센서 기술은 의료 영상 기기, 산업 및 식품용 검사장치, 비파괴검사 시스템 등 그 분야를 넓혀가고 있다. 디지털 방사선 영상기술은 불가시상의 영상정보를 전기적 신호로 변환하여 가시적인 영상으로 만드는 기술을 말하며, 특히 최근에는 의료 영상 분야를 중심으로 치열한 경쟁을 벌이고 있다.

의료 영상 기기 분야에서 디지털 방사선 변환 센서 기술은

Conventional X-ray, Fluoroscopy, Mammography 등에서 하였던 필름 영상을 디지털화하여 film-less hospital을 구현하는데 그 궁극적인 목적이 있다. 이러한 방사선 변환 센서 기술은 향후 방사선 기술의 한 세기를 자리매김 할 수 있는 기술로 각광받고 있다.

산업용 검사장치와 비파괴검사 시스템의 경우 단순히 생산품의 불량을 추출해내기 위한 장치로부터 object의 미세 구조 검사를 위한 micro focus X-ray tube 기술의 개발로 3차원 micro CT 기술로 그 활용 범위를 넓혀가고 있는 추세이다. 이러한 기술은 최근 image processing 기술의 발달에 힘입어 인공지능 software와 접목시켜 검사장치의 자동화 수준을 한 단계 더 상승시키고 있다.

이러한 방사선 변환 센서 기술의 핵심은 높은 해상력과 우수한

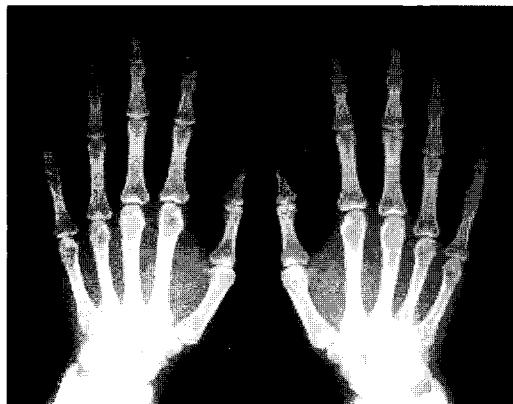


그림 1. 디지털 의료영상기기(DR) 영상.

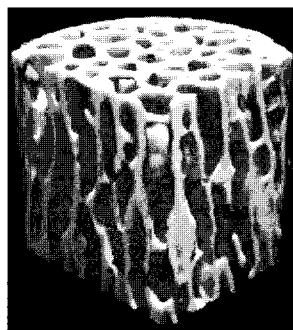


그림2 . micro CT 영상.

검출효율에 있으며, 기존의 변환 방식의 주류를 형성했던 image intensifier보다 경량화를 요구하고 있는 추세이다. 최근 방사선 변환 센서로 이용하고 있는 영상장치는 크게 Charge Coupled Device나 CMOS등의 영상소자를 이용하는 방법과 평판형(Flat panel) 방식으로 나눌 수 있다.

## 2. CCD/CMOS를 이용한 변환 방식

CCD/CMOS의 경우 radiation에 대한 damage에 약한 것으로 알려져 있다. 또한 불가시상의 방사선 영상 정보를 직접 전기적 신호로 변환하는데 기술적인 어려움으로 인해 phosphor screen이나 crystal scintillator를 이용하여 방사선을 가시광으로 변환한 후 영상정보를 획득한다. 따라서 방사선 영상을 직접 변환하는 방식보다 변환 효율이 다소 떨어지는 것으로 보고되고 있으며, 영상을 획득하는 시스템에 따라 기하학적인 왜곡현상이 나타나는 것으로 알려져 있다. 또한 image sensor를 제작할 수 있는 크기의 한계로 인하여 영상을 focusing 또는 scanning하거나 여러 개의 cell을 tiling하는 방식을 이용하여 영상 정보를 수집한다.

### 2.1 CCD(CMOS)/Lens System

현재 비파괴검사 분야 등 미세 구조를 영상화하기 위해 이용되는 대표적인 방식으로 구성하는 optic system에 따라 micro-order의 structure image부터 large area image를 획득할 수 있는 방식이다. 전체적인 영상 시스템은 object를 투과한 방사선을 phosphor를 이용하여 가시광으로 변환한 후 lens를 이용하여 영상을 focusing 한다. 이러한 방식의 경우 낮은 변환 효율로 인하여 object로 많은 양의 radiation이 조사되어야 한다. 또한 lens system에서 불가피하게 발생하는 수차(aberration)로 인해 영상의 왜곡현상(image distortion)이 나타날 수 있다. 이러한 왜곡현상은 비구면렌즈(Aspheric Lens)를 이용함으로써 다소 줄일 수는 있으나 궁극적으로 광학계에서 발생하는 이러한 왜곡은 완전히 해소할 수 없는 것으로 보고되고 있으며, 렌즈를 이용한 방식에서 기하학적인 왜곡은 주로 image processing으로 처리하고 있다.

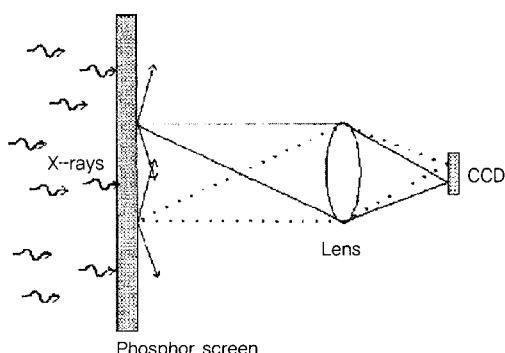


그림 3. CCD/Lens System.

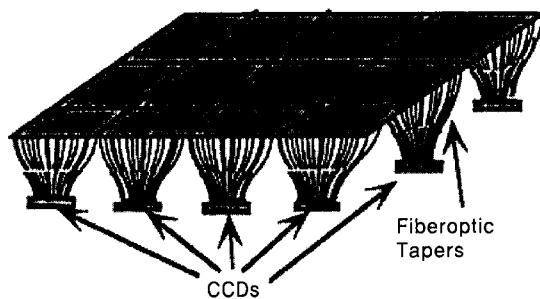


그림 4. CCD/fiber-optic System.

### 2.2 CCD(CMOS)/Fiber-Optic System

CCD(CMOS) sensor의 제조 크기의 한계로 인하여 고안된 방식으로서 object 크기의 crystal scintillator plate에 optic fiber 다발을 결합하여 각각의 image cell에 영상 정보를 전달하는 방식이다. 이러한 system은 제작 과정 자체가 까다로운 대신 방사선을 가시광으로 변환하는 과정에서 나타날 수 있는 blurring effect를 줄일 수 있다는 장점을 가지며, 따라서 고해상도의 영상을 획득하는데 주로 이용되고 있다. 이러한 장점에도 불구하고, optic fiber 다발에서 전달되는 가시광의 경로 차이(path)에 따라 sensitivity 차이가 다소 발생하는 것으로 보고되고 있다.

## 3. Flat panel 방식

Flat panel 방식은 차세대 방사선 변환 센서 기술로 최근 가장 주목받고 있는 기술이다. 이는 display 장치로 개발 중인 a-Si:H TFT LCD 기술을 detector에 적용시킨 것으로써 외국의 경우 1990년대부터 활발한 연구가 진행되어 왔다. 최근에는 실시간 영상 장치와 3차원 image를 위한 CT detector로 적용이 연구 중이다. Flat panel을 이용한 방식에는 방사선을 영상신호로 변환하는 과정의 차이에 따라 크게 간접변환방식과 직접변환방식으로 나눌 수 있으며 최근에는 간접방식과 직접방식의 장점을 결합한 Hybrid 방식이 개발되고 있다. Flat panel 방식의 영상장치 구성은 image receptor과 data readout device로 나눌 수 있다. Image receptor의 경우 방사선 강도에 비례한 전기적 신호를 생성하여야 하기 때문에 높은 에너지 변환 효율(high conversion efficiency)과 낮은 전하 생성 에너지(low work function)를 가지는 물질을 이용하여야 한다. Data readout device는 각 화소내에 발생된 전기적 신호를 저장하고 검출하는 역할을 하며, 이를 위해서는 높은 fill factor, 높은 SNR, 고속 스위칭을 통한 빠른 영상획득이 구현되어야 한다.

### 3.1 Indirect Conversion System

간접변환방식 system은 phosphor/silicon photo diode/TFT로 구성된다. 여기서 phosphor는 입사되는 방사선을 가시광선으로 변환시키는 역할을 하며, 물질은 주로 CsI(Cesium Iodide)가 이용되고

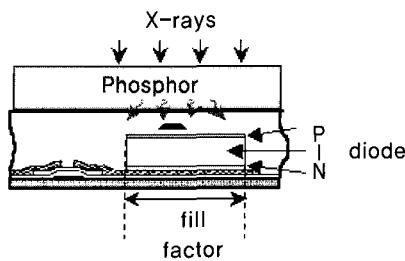


그림 5. Indirect System.

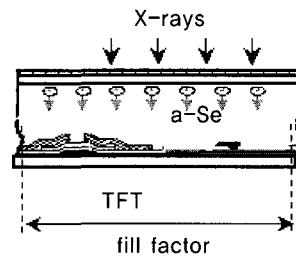


그림 7. Direct System.



그림 6. Signal profile.

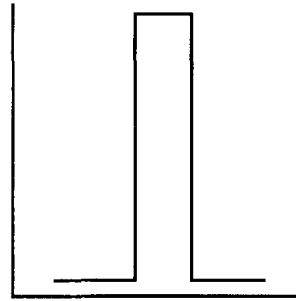


그림 8. Signal Profile.

있다. 방사선이 가시광으로 변환되면 PIN 구조의 photo diode에 의해 전기적 신호로 변환되며, TFT(switching device)에 의해 각 pixel이 순차적으로 readout 된다. 간접변환 방식의 경우 양자검출효율(Detective Quantum Efficiency)이 우수한 것으로 보고되고 있으며 직접방식에 비해 상대적으로 낮은 인가전압으로 system의 안정성이 우수하다는 평가를 받고 있는 대신, 구조적으로 낮은 fill factor에 의해 영상신호를 받아들이는 면적이 적고 또한 phosphor에 의한 blurring effect로 인하여 point source의 signal profile은 다소 떨어져 커브를 그리며, 결과적으로 image sharpness가 떨어지는 것으로 보고되고 있다.

### 3.2 Direct Conversion System

직접변환 방식 system은 X-ray photo conductor/storage capacitor/TFT로 구성된다. X-ray photo conductor는 입사되는 X-ray를 가시광으로 변환하여 검출하는 간접방식과는 달리 X-ray를 전기적인 신호로 바로 변환한다. 따라서 높은 sensitivity와 낮은 누설 전류(dark current)를 가진다. 직접변환방식에 이용되는 물질로는 a-Se, CdTe, CdZnTe, PbI<sub>2</sub>, HgI<sub>2</sub> 등이 있으며, 낮은 work function과 높은 energy conversion efficiency를 가지는 물질을 연구중이다. Photo conductor에서 변환된 전기적 신호는 인가되는 전장에 따라 이동하여 storage capacitor에 저장되며 switching device인 TFT에 의해 각 pixel이 순차적으로 readout된다. 직접변환방식은 인가된 전장에 따라 영상 신호가 이동하므로 이론적으로 원자단위의 resolution을 가질 수 있다는 장점이 있다. 따라서 signal profile은 정확한 edge를 그리며, detector 구조상의 간접방식과 비교할 때 우수

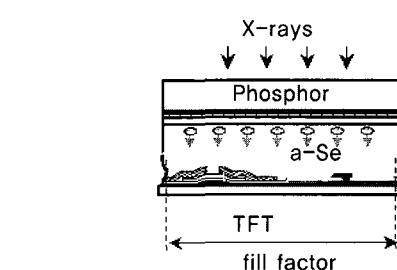


그림 9. Hybrid System.

한 fill factor를 가질 수 있다는 장점이 있다. 그러나 신호획득을 위한 높은 인가전압(~수 kV)이 개선되어야 할 문제점으로 지적되고 있다.

### 3.3 Hybrid Conversion System

가장 최근에 연구되고 있는 방사선 변환 센서 기술로는 간접/직접변환방식을 혼합한 Hybrid 방식의 방사선 변환 기술이 있다. Hybrid system은 phosphor/photo receptor/switching device로 구성된다. object를 투과한 방사선은 phosphor를 통과하면서 가시광으로 변환되고, 가시광은 다시 photo receptor에 의해 전기적 신호로 변환되며 이것을 switching device를 이용하여 readout 하는 것을 기본 구조로 하고 있다. 이러한 구조는 간접방식에서 야기되었던 낮은 fill factor, 직접방식에서 야기되었던 높은 인가전압의 문제를 해소할 것으로 기대되며, phosphor에 의해 변환된 가시광 뿐만 아니라 phosphor를 투과한 나머지 방사선을 photoreceptor가 직접 전

기적 신호로 변환하는 두 가지 mechanism을 동시에 이용할 수 있어서 획기적인 것으로 기대되고 있다. 따라서 높은 변환효율, 높은 SNR을 기대할 수 있으며 직접변환방식 보다 상대적으로 적은 인가전압으로 readout circuit을 쉽게 control 할 수 있다는 장점이 기대되는 기술이다.

#### 4. 방사선 변환 센서 기술 전망

앞서 살펴본 여러 방사선 변환 방식의 변조전달함수(MTF)를 아래의 그림에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 직접변환방식 detector의 imaging performance가 가장 우수하다.

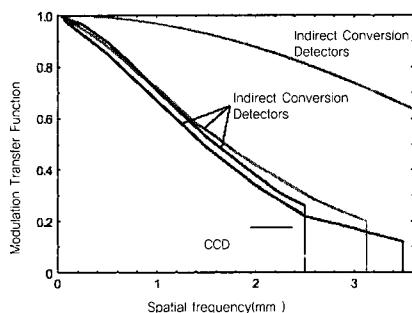


그림 10. 각 System의 MTF.

차세대 방사선 변환센서는 high resolution과 high sensitivity를 요구하고 있으며, 실시간 imaging 기술, 미세 구조를 3차원으로 재구성하여 검출하는데 용이한 기술을 요구하고 있다.

방사선 변환 센서 기술은 혐미경을 대신하는 미세구조 관찰에서부터 대면적의 각종 검사장비에 이르기까지 여러 분야에서 이용되는 최신 기술 중 하나이다. 특히 영상 장치는 전자, 전기, 센서 기술을 맹라하는 기술 집약적 분야로써 부가가치가 높은 기술로 알려져 있다. 특히 국내의 경우 TFT panel 및 각종 display 장치 제조 기술 수준의 발달로 차세대 방사선 변환 센서 기술인 Flat panel 방식으로의 적용이 유리한 조건에 있다고 할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] A. Jahnke and R. Matz. "Signal formation and decay In CdTe X-ray detectors under intense irradiation", Med. Phys. Jan. 1999.
- [2] A. Xiang, W. Wohlmuth, and P. Fay, "Modeling of ingas msm photodetector for circuit-level simulation", M. S. Thesis, U. Illinois.
- [3] C. Haugen, S. O. Kasap, and J. Rowlands. "Charge transport and electron-hole-pair creation energy In stabilized a-Se X-ray photodetectors". Vol. 32, p. 200, 1999.

- [4] C. E. Floyd, Jr. H. G. Chotas, and C. E. Ravin. "Evalution of a selenium based digital chest radiography system", SPIE Physics of Medical Imaging, Vol. 2163, p. 110, 1994.
- [5] Denny L. Lee, L. K. Chung, Brian Rodricks, and Gregory Fpowell. "Improved imaging performance of a 14 × 17-inch direct radiography system using Se/TFT detector". SPIE Medical Imaging, Vol. 3336, p. 14, 1998.
- [6] D. L. Lee, L. K. Cheung, and L. S. Jeromin, "A new digital detector for projection radiology", SPIE, Vol. 2432, p. 237, 1995.
- [7] Fang-Fang Yin, M. C. Schell, and Philip Rubin, "The input/output characteristics of a matrix ion-chamber electronic portal imaging device", Med. Phys. Sept. 1994.
- [8] G. Pang, W. Zhao, and J. A. Rowlands. "Digital radiology using active matrix readout of amorphous selenium: geometrical and effective fill factors", Med. Phys. Oct. 1993.
- [9] J. F. Veenland and J. L. Grashuis, "Texture analysis in radiographs: the influence of modulation transfer function and noise on the discriminative ability of texture features", Med. Phys. June. 1998.

#### 저자 약력

##### 성명 : 남상희

###### ❖ 학력

- 1978년 영남대 물리학과 이학사
- 1980년 영남대 대학원 물리학과 이학석사
- 1988년 영남대 대학원 물리학과 이학박사

###### ❖ 경력

- 1991년 - 현재 인제대 의용공학과 교수
- 1995년 - 현재 대한의용생체공학회 교육이사