

Direct Digital Radiography 시스템

김 종 호
서울의대 진단방사선과

1. 배경

..... 린트겐의 X-선 발견이후 지난 100년동안 의학영상분야는 필름이라는 매체에 의존해왔으나, 최근 디지털 영상기술의 발달로 인해 의학영상분야에는 필름을 대신하는 디지털 매체의 사용 추세가 증가하고 있다. 이러한 추세는 CT, MRI, 초음파등 특수촬영분야에만 국한되지 않고 흉부 촬영등 일반 X-ray 촬영에도 적용되기 시작하여 phosphor imaging plate를 중간 매체로 사용하는 CR(Computed Radiography)은 일반화 되었으며 최근에는 선진각국에서 중간매체를 사용하지 않는 직접방식의 DR(Digital Radiography)의 개발에 박차를 가하고 있고 일부 제품은 임상시험을 마치고 상품화단계에 접어들고 있어 조만간 필름없는 디지털 방사선과의 시대가 도래하게 될 것으로 보인다.

DR 기존의 필름촬영 방식이 단일매체로 영상의 획득 및 표시 기능을 모두 담당했던 것에 비해 영상의 획득기능과 표시기능을 분리한다는 점이 가장 큰 차이라고 할 수 있다. 이와 같이 획득된 영상은 대조도 증강과 경계강조 등 영상처리기법의 적용에 의한 미세 음영의 가시도 개선과 정량적인 측정과 분석 등에 따른 진단능의 향상이 가능하다.

DR은 또한 획득부의 감도를 별도로 최대화함으로써 기존 필름방식에 비해 더 적은 X-선 조사량으로 우수한 화질을 얻을 수 있어 신체의 피폭량을 줄일 수 있다. 뿐만 아니라 DR은 영상의 획득, 저장, 전송, 표시등을 일원적으로 관리하는 PACS의 등장과 함께 획득된 디지털 영상을 필름화 할 필요 없이 직접 컴퓨터로 관리할 수 있다. 따라서 필름의 현상, 보관, 이송 등에 따르는 각종 경제적, 시간적 노력을 줄일 수 있으며, 이는 병원내 진료효율의 향상과 함께 적시 적소에 영상을 배분하게 됨에 따른 영상의 진단적 가치를 제고시키는 효과를 가져온다.

적의 영상조건을 유지하게 하는 제어부, 그리고 컴퓨터 상에서 전체 시스템을 통합시키며 디지털화된 영상을 표시하고 관리하는 콘솔 등으로 나누어 볼 수 있다. 그림 1에 DR의 기본 구조를 나타내었다.

조사된 X-선에 따라 전기신호를 발생시키는 감응물질로는 a-Se, a-Si, CsI 등이 주로 사용되며 수집 주사장치로는 노트북 등의 모니터에 널리 쓰이는 TFT(thin film transistor) matrix를 이용하는 방식과 CCD 카메라 또는 CMOS 스위칭 소자를 사용하는 방식 등이 있다.

2. DR의 원리

DR은 조사된 X-선량에 비례하는 전기신호를 발생하여 이를 디지털화하여 컴퓨터에 전송하여 이를 저장하며 고해상도 모니터에 표시할 수 있게 하는 것을 기본 구조로 삼고 있다. 보다 상세하게는 조사된 X-선을 전기신호로 변화시키는 감응부분과 국소적으로 발생된 전하를 수집하고 주사하는 부분, 그리고 이를 하고 디지털신호로 변화시키는 부분, 디지털화된 데이터를 컴퓨터에 전달하기 전에 각종 전처리 및 후처리를 수행하고 DR의 자체적인 특성 보정 등을 수행하여

DR은 조사된 X-선이 감응물질을 거쳐 전기신호로 변환되는 과정에서 어떤 물질을 사용하느냐에 따라 직접방식과 간접방식으로 나뉜다.

직접방식은 기존의 필름방식과 유사한 방식으로서, X-선 형광물질을 사용하여 조사된 X-선을 일단 가시광으로 변환한 뒤 비정질 실리콘(amorphous silicon, a-Si) 등을 사용하여 이를 다시 전기신호로 변환하는 방식을 말한다. 이에 반해 직접방식은 비정질 셀레늄(amorphous selenium, a-Se) 등 조사된 X-선에 대해 바로 전자-정공 쌍을 생성시키는 물질을 감응물질로 사용하는 경우로서 발생하는 전하를 수집 주사함으로써

3. 직접방식과 간접방식 DR

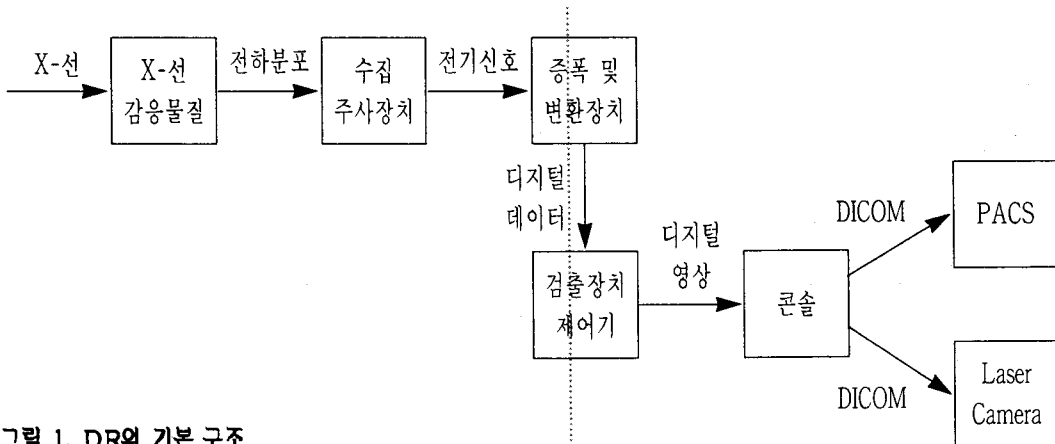


그림 1. DR의 기본 구조

직접 전기신호를 얻을 수 있으므로 직접방식 DR이라 한다.

간접방식은 기존에 나와있는 형광물질과 광검출 기술을 사용하여 용이하게 제조할 수 있는 반면에 형광체에 의해 일단 가시광으로 변환되고 이를 다시 광검출하는 2차 변환과정을 거치므로 이 과정에서 가시광의 산란이 일어나게 되어 해상도의 저하가 따르고, 에너지 변환효율도 떨어지는 단점이 있다. 광다이오드와 TFT matrix 간의 구조관계가 복잡하여 fill factor가 낮은 것도 에너지 변환효율 저하의 요인으로 작용한다.

직접방식은 중간과정이 없이 직접적인 에너지 변환이 일어나므로 에너지 변환효율이 우수하며 해상특성도 뛰어나다. TFT matrix상에서 전하수집을 할 수 있기 때문에 직접 구조가 간단한 만큼 fill factor도 높다. 에너지 변환효율이 높다는 것은 그만큼 적은 X-선 조사량으로도 우수한 영상을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 직접방식에 있어서 한가지 문제점은 감응물질로서 주로 사용되는 비정질 셀레늄의 반응 회복특성으로 인해 촬영간에 일정시간 간격이 필요하다는 것이다.

4. Direct DR

Direct DR로 사용될수 있는 물질로서는 a-Se, CdTe, CdZnTe 등이 있으나 현재 전세계적으로 a-Se를 사용하는 DR에 대한 연구가 집중되고 있다. 이는 a-Se이 Xeroradiography와 복사기등에서 널리 사용되어 오면서 물리적 특성에 대해 많이 알려져 있고 관련기술이 발전되어 있기 때문이다.

그림 2에 X-선 에너지에 대한 a-Se의 에너지 변환 특성곡선을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 전단용 X-선 범위에서 희토류계의 형광물질에 비해 전반적으로 우수한 에너지 흡수율을 나타내는 것을 알 수 있다.

그림 3에 a-Se를 사용한 DR 검출기의 내부구조를

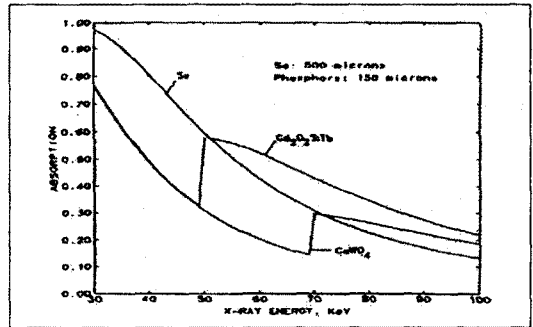
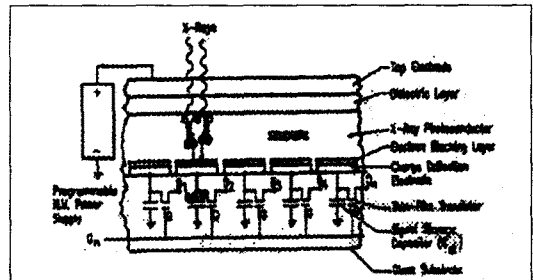
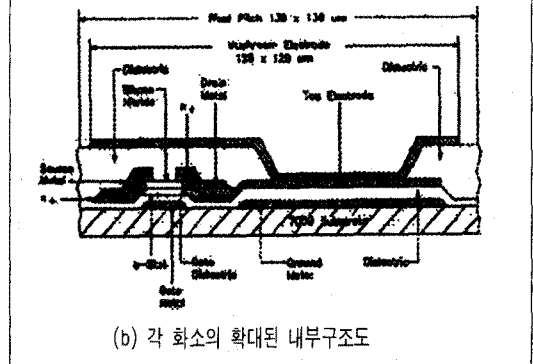


그림 2. A-Se형 검출기의 X-ray 스펙트럼에 대한 응답특성



(a) Detector의 전반적인 구조와 검출원리



(b) 각 회로의 확대된 내부구조도

그림 3. A-Se를 사용한 DR 검출기의 구조

나타내었다. 검출기의 내부구조를 살펴보면 크게 두 부분 즉 대전된 a-Se판과 TFT matrix가 서로 맞대어 붙어 있는 것을 알 수 있다.

대전된 a-Se 판은 표층 전극(top electrode)과 유전층(dielectric layer) 그리고 a-Se 및 인가 전원장치로 구

성된다. 대전된 a-Se 판은 X-선에 감응되는 광도전판으로 작용하는 것으로서 표층 전극(top electrode)에 의해 평상시에 일정한 전위(약 5000 volt)로 대전되어 있다. X-선이 입사하면 부위에 따라서 입사한 양만큼의 도전이 일어나게 하는 역할을 수행한다. 이 과정을 좀더 자세히 살펴보면 입사한 X-선 광자의 에너지는 a-Se의 내부에서 전자와 정공의 쌍으로 변환되며 전자는 유전체를 거쳐 상층부의 도전판으로 흡수되고 정공은 하층부 TFT 기관으로 흡수된다. TFT matrix는 전자 방벽층(electron blocking layer)과 전하수집 전극(charge collection electrode) 그리고 트랜지스터와 축전기(capacitor)등으로 이루어져있으며 X-선 조사에 의해 셀렌층에 정공이 발생하면 이 전하를 축전기에 축적하였다가 각 화소에 대한 주사신호가 왔을 때 트랜지스터의 스위칭작용에 의하여 이 전하를 도전로에 실어보내는 역할을 한다.

그림 4에는 이와 같은 구조를 가진 직접방식 DR 검출기의 외형을 나타내었다. 이 검출기는 미국 Sterling Diagnostic Imaging 사의 DirectRay 라는 제품으로서 기존 X-선 촬영장치의 비키 장치에 들어갈 수 있도록 디자인되었으며 가운데 부분은 X-선 검출기능을 가지고 가장자리에는 각종 주변회로가 자리잡고 있다. 표 1에는 DirectRay 검출장치의 제원을 나타내었다.

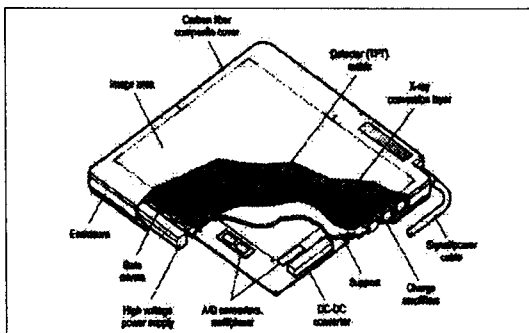


그림 4. DirectRay 검출장치의 외형과 내부의 부품배치

표 1. DirectRay 검출장치의 제원

항 목	제 원
Image Sensor type:	Large format, a-Se
Active area:	14×17 inches
Format (pixels counts):	2,560×3072(7.86million pixels)
Resolution (pixel size):	139micron
Fill factor:	86%
Dynamic Range	16,000:1
Analog-to-Digital Converter:	14 bits
MTF X-ray	> 55% @ 3.6 lp/mm
X-ray Response	Comparable with Intensifier Screen
Dimensions:	57cm×57cm×3.8cm

표 1에서 볼수 있듯이 직접 DR 검출기는 fill factor가 86%로서 약 50%의 fill factor를 갖는 간접방식 검출기보다 검출효율이 높으며 400 speed를 갖는 필름 스크린과 비슷한 정도의 평균 감도를 나타낸다. 더욱이 다이내믹 레인지가 14 bit로서 CR의 10 bit 또는 간접방식 장치의 12 bit 보다 매우 넓은 다이내믹 레인지를 가지므로 X-선 조사량에 대한 허용범위가 넓다.

직접방식으로 X-선을 검출하기 때문에 중간의 아나로그 변환 과정에서 생기는 해상도의 손실이 거의 없고 화소크기에 의한 한계 해상도(Nyquist frequency)인 3.6 lp/mm 에서도 MTF가 이론상의 한계치에 육박하는 수준을 나타낸다. 이러한 특성으로 인해 직접방식의 DR 은 기존 필름 촬영보다 선명도가 우수한 영상을 생성한다. 그림 5에 직접방식 DR 검출기의 MTF 특성을 나타내었다.

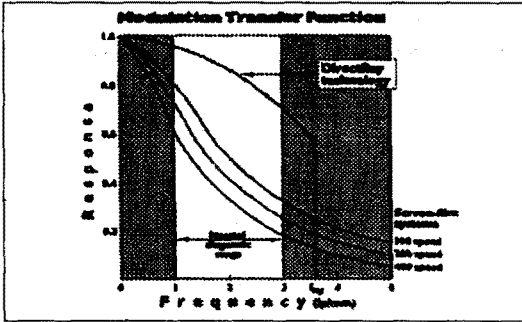


그림 5. 직접방식 DR 검출기의 MTF 특성

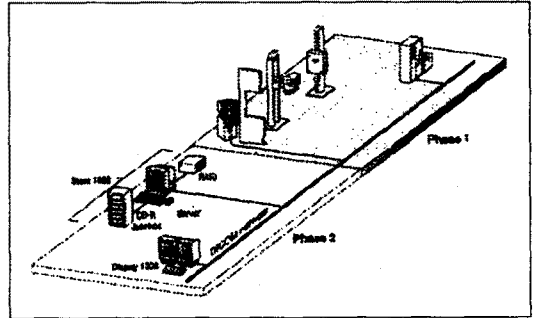


그림 6. DR이 통합된 디지털 방사선 환경의 구성도

5. 통합시스템

DR 시스템이 방사선 진료에서 그 효과를 발휘하기 위해서는 방사선 진료환경이 디지털 네트워크 환경으로 갖춰져 있어야 한다. 즉 디지털화된 데이터가 필름 생성없이 직접 PACS 로 전송되고 PACS 환경에서 디지털 판독과 디지털 저장관리가 이루어져야 하는 것이다.

따라서 PACS와의 통합을 위한 DICOM 전송기능이 필수로 요구될 뿐 아니라 RIS 와 환자정보, 검사정보 등을 주고 받을수 있는 기능 또한 요구된다. 빠른 기술적 진보추세로 미루어볼 때 이와같은 디지털 방사선과의 도래는 그다지 먼 장래의 일이 아니며 그 중에서도 DR의 도입은 방사선과의 디지털화 과정을 가속화시키는 중요한 요인이 될 것으로 여겨진다.