

의료용 디지털 X선 검출 센서의 최근 연구 동향



주 관 식
명지대학교 물리학과 교수

I. 서 론

1895년 독일의 물리학자 뢰트겐(Wilhelm Conrad Rontgen)이 X선을 발견한 이후 그 성질과 특성에 대한 수많은 논문이 발표되면서 여러 분야에서 많은 연구와 응용이 시도되었다. X선을 조사하여 물질의 상태를 알아보는 회절실험, X선 천문학, 생물 물리학, 비파괴 검사 등이 이에 속하는 분야이다. 특히 모든 물체의 종류에 따라 투과도가 다르다는 성질과 형광작용이 있으며 사진건판에 작용된다는 성질은 X선을 이용한 영상장치의 실현을 가져다주었다. 초기의 사진 건판형 영상장치들은 X선 검출센서들의 개발로 인하여 더욱 발전을 거듭하여 영상정보의 디지털화를 이루게 되었다. 특히 이러한 영상장치들은 의료용 진단장치로 응용되어 현대 문명생활에 큰 기여를 하고 있다.

이 글에서는 의학 물리학에서 많은 공헌을 하고있는 의료용 X선 영상장치에 대한 전반적인 소개와 함께 현재 새롭게 연구가 진행 중인 MSGC(Microstrip Gas Chamber)형 디지털 영상장치에 대하여 설명하고자 한다.

II. 의료용 X선 영상장치의 연구

X선이 의학에 이용된 것은 X선의 발견과 동시에 이루어졌다. 초기 뢰트겐의 논문 중에서 X선을 투시하여 연부조직과 뼈를 구별할 수 있다는 내용이 발표되자 체내 이물을 검출할 수 있는 가능성을 지적하는 논문들이 많이 나왔다. 그 이후 투시진단과 사진진단 분야는 큰 발전을 하게 되었다. 현재의 X선 영상 시스템은 선원의 다양성과 센서의 발달로 인하여 점점 더 응용범위의 폭을 넓히고 있다. 지금까지 많이 사용되고 있는 X선 사진촬영을 분류해 보면 10keV정도의 연 X선을 이용한 병리 연구에서부터 20-30keV대의 유방 등 연부 조직 촬영, 50-150keV의 진단 영역, 200keV 이상의 흉부촬영등이 있다.

이러한 X선 영상장치들은 초기에 적산형으로 개발되어 사진 필름에 영상을 누적시키는 방법이 시도 되어 왔다. 이것이 점차적으로 개량되어 오늘날 컴퓨터와 디지털 화상처리 기술을 적용한 CT(Computed Tomography)와 CR(Computed Radiography)등이 선보이게 되었다. 이러한 장치들은 초기에 Screen/Film 법

을 대신하여 새로운 개념의 검출 센서인 IP (Imaging Plate)를 사용함으로써 영상저장과 분석에 많은 기여를 하게 되었다. 그러나 이런 장치들도 역시 적산형의 센서로, 얻어진 영상을 디지털화 하기 위하여 다시 판독기를 사용하여야 한다. 따라서 촬영과 동시에 영상을 얻을 수 없고 촬영시 X선 조사선량에 따른 명암차이가 뚜렷하지 못한 단점을 가지고 있다. 따라서 X선 조사후의 IP판독이 필요없

는 계수형 영상장치를 개발하기 시작하였다.

이러한 계수형 영상장치는 영상정보가 판독기를 거치지 않고 직접 컴퓨터를 통하여 처리 되므로 영상의 전달이 빠르며 다량의 정보를 축적하여 환자들의 상태를 비교함으로써 의료발전에 크게 기여할 수 있다. 또한 각각의 입사광자 정보가 디지털화되어 정보의 정량적인 분석이 가능하며 초기의 사진필름에서 유발되는 여러 산업폐기물 즉, 필름과

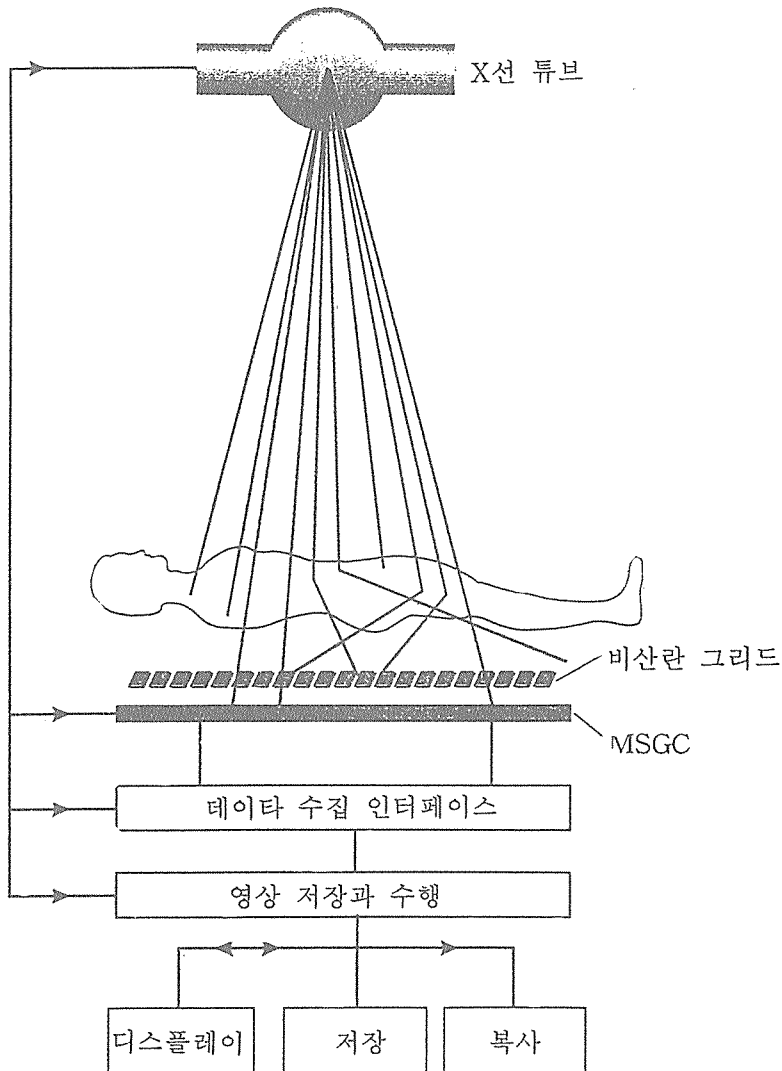


그림1. DR(Digital Radiographic System)의 일반적인 개요도

화학처리시 사용되는 약품 등이 감소되어 현재 선진국에서는 계수형 영상 장치의 개발을 활발하게 수행하고 있다.

디지털 의료용 영상 장치들은 연 X선을 사용하여 가급적이면 저선량, 최소시간으로 명확한 영상을 얻는 것이 주된 관심이 되고 있다. 특히 연부조직 검사에 있어서는 피부조직을 판별하기 위하여 높은 공간분해능을 가지는 위치 센서개발을 하여야 한다. 현재 의료용 영상 센서의 주요 관건은 효율이 높아서 저선량으로 충분한 데이터를 얻을 수 있으며, 연 X선에 대하여 최적의 검출능력을 가지며, 공간분해능이 높은 위치 센서 개발에 있다고 할 수 있다.

계수형 검출센서는 작동원리에 따라 크게 섬광체형, 반도체형, 가스형으로 나뉘어 진다. 섬광 위치 검출센서는 다른것과 비교하여 불

때 위치분해능이 다소 떨어지며 반도체 검출센서는 위치 분해능은 매우 우수하지만 제작상의 어려움과 검출면적의 제한, 그리고 상온에서의 작동의 불안정성으로 인하여 실용적으로 사용하기에는 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 따라서 작동조건이 별로 까다롭지 않고, 검출면적에 큰 제한을 받지 않으며 비교적 위치분해능도 좋은 가스형 검출센서가 많은 분야에서 응용이 되고 있다.

가스형 검출센서로 초기에 각광을 받기 시작한 것은 MWPC(Multiwire Proportional Counter)이다. 이것은 1968년 G.Charpak 등에 의해서 개발되어 고 에너지 물리학 분야에서 사용되었다. 이 검출기는 반도체 위치 검출기에 비하여 위치 분해능은 조금 떨어지지만 시그널 대 잡음 비가 적으며 뛰어난 계수특성을 가지고 있다. 따라서 결정의 회절실험,

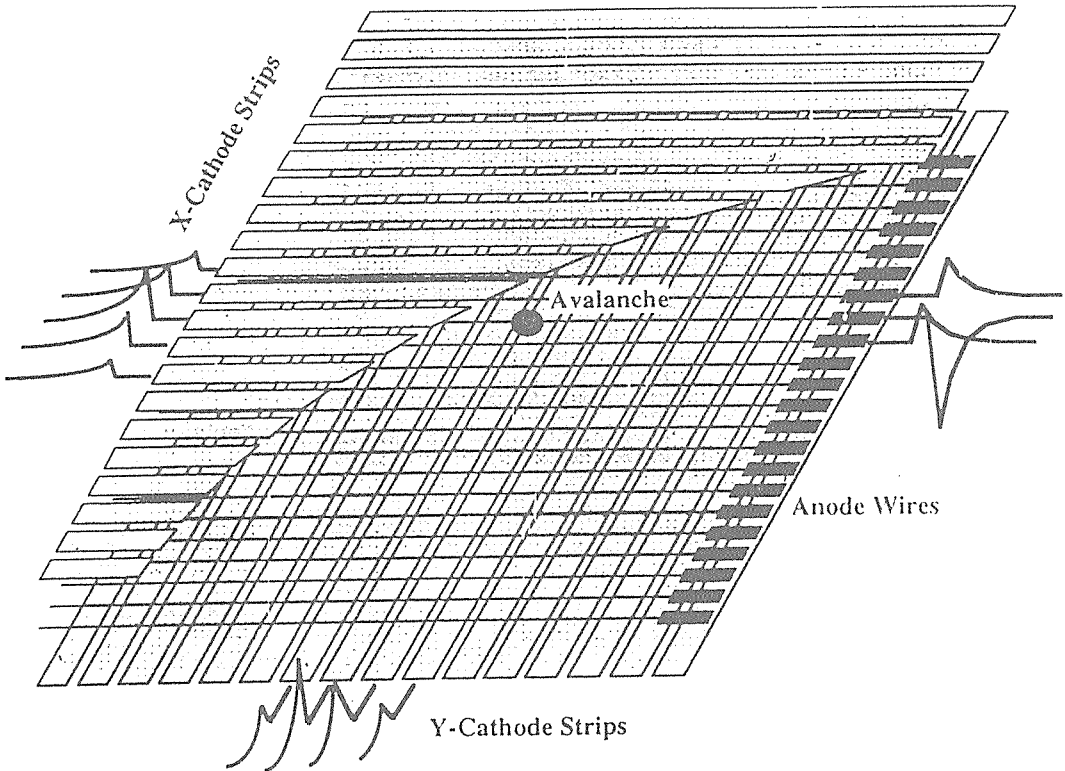


그림2. MWPC 내부구조와 펄스 발생

유기 물질의 회절실험, 생체조직 연구에 응용되어 왔으며 최근들어 X선 디지털 영상센서로 사용하기 위한 연구가 수행되었다. 그러나 MWPC 작동에 있어서 그 기능을 저해하는 심각한 요소가 있었다. 그 첫번째 요소는 위치 분해능이 와이어 간격에 크게 제한을 받는데 MWPC 특성상 수 mm이하의 간격으로 제작하기는 불가능 하다는 것이고 두번째로는 양이온 수집시간이 길어서 계수율에 지장을 초래한다는 것이다. 이를 개선하기 위하여 1989년 A. Oed는 양 전극과 음전극 사이의 간격을 과감하게 줄여주기 위한 디자인을 고안하였다. 이것이 바로 MSGC(Microstrip Gas Chamber)이다. 와이어를 이용하지 않고 사진평판기술을 통하여 절연기판에 금속 전극을 구성한 것으로 전극사이의 거리를 수 μ m로 줄여줌으로써 MWPC의 단점을 보완해

줄 수 있었다.

MSGC는 MWPC의 장점과 더불어 더 높은 위치 분해능, 에너지 분해능, 효율을 가지는 차세대 영상 센서로 많은 관심의 대상이 되고 있다.

III. MSGC형 디지털 영상장치

1. MSGC 작동원리

MSGC의 작동원리는 MWPC와 비슷하다. 방사선이 Chamber내로 입사하면 내부의 기체가 이온화 되면서 양극과 음극으로 끌려간다. 이 이온들을 수집하여 방사선의 효율과 입사한 위치를 결정할 수 있다. MSGC는 수 μ m의 극간격을 형성하여 계수율의 증대와 위치 분해능의 증대에 크게 기여 하였다. 그 내부구조는 다음과 같다.

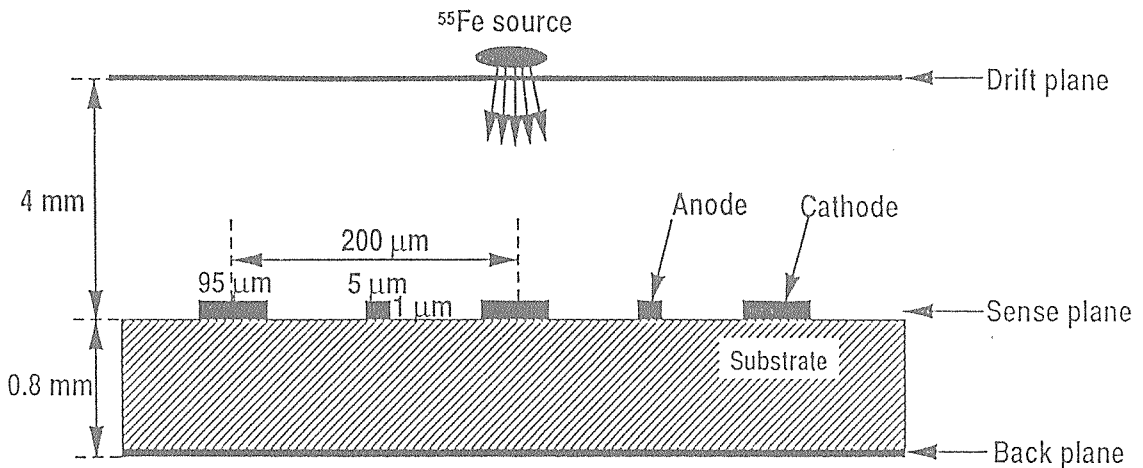


그림3. MSGC내부구조

그림3 에서 나타나 있는 것과 같이 절연기판위에 얇은 금속 strip들이 음극 양극이 차례로 배열되어 있다. Back Plane에 인가되는

전압은 절연기판 위에서 머물러 있는 이온들을 모두 전극에서 수집할 수 있도록 한다.

챔버내에서 일차 이온화 현상에 의해 전자

가 생성된후 강한 전기장에 의하여 전자 사태가 발생한다. 이것은 매우 짧은 시간내에 발생하며 전자들은 순간적으로 양극에 모두 수집된다. 그러나 상대적으로 무거운 양이온들은 비교적 느린 속도로 음극선으로 이동한다. 이 양이온들의 속도에 의하여 검출속도가 좌우되는데 예전의 MWPC에 비하여 pitch사이의 거리가 많이 좁혀짐으로써 이 문제가 개선되었다.

그러나 장시간 검출기를 사용하는데 있어서 ageing 효과로 인하여 여러 가지 문제점이 발생하게 되었다. ageing효과란 이온화된 기체 분자의 재결합과정에서 발생하는 액체나 고체 상태인 polymer들에 의해서 유발된다. 이런 polymer들은 두 전극에 침착되어 절연층을 형성하게 된다. 절연층이 형성된 음극선에는 과다의 양이온이 누적되어 이것이 음극선내부의 전자를 취하게 된다. 그 결과로 방사선이 입사하지 않은 경우에도 계속 신호가 발생하게 된다. 이것은 검출성능을 저해하고 잘못된 정보를 제공해주는 결정적인 단점이 된다. 이런 효과를 줄이기 위하여 여러 가지 소멸기체를 사용하는 방법이 고안되었으며, 또한 strip의 재질에 따른 ageing연구를 통하여 이러한 현상을 개선하려고 많은 노력을 기울이고 있다.

2. MSGC 연구의 성과

지금까지 여러 연구소에서 MWPC와 MSGC로 많은 방사선 영상을 얻어왔다. 그중 러시아에서는 0.3mm의 분해능을 가진 MWPC검출기를 사용하여 50keV의 X선 선원을 조사함으로써 여성의 골반과 가슴에 대한 방사선 사진을 얻었다. 그러나 그것은 매우 검출 효율이 낮고 낙후된 신호처리 기술에 의존한 것이었다. 그 이후 독일의 Seigen대학의 연구소에서는 새로운 센서인 MSGC를 사용하여 폐지의 심장영상을 얻기위한 실험을 수행하였다. 이 연구에 사용한 선원은 Synchrotron

으로부터 나오는 33keV의 X선이었으며, 10기압의 Xe, CO₂ 혼합가스를 사용하였다. 이 검출기의 pitch간격은 400 μ m이었다. 실험결과 이들은 약 500 μ m 지름의 작은 혈관을 분석해 내는데 성공하였다. 그 이후 Texas A&M 그룹에서 MSGC검출기의 가능성을 높게 사서 계속적인 개발과 분석에 시간을 투자하였다.

영상 정보를 획득하는데 있어서는 연 X선을 사용하는 것이 더 유리하다. 그것은 단일 가스 원자와 부딪혀서 광전자를 유발 시킨후 완전히 소멸되므로 고 에너지 선원에서 야기되는 컴퓨터 산란이나 쌍생성 등에 의한 복잡한 메카니즘이 줄어들어 입자의 입사위치 결정이 용이하기 때문이다. 따라서 Texas A&M 그룹에서는 낮은 선량을 가진 55Fe의 6keV X선 선원으로 MSGC를 분석해 보았다. 그 결과 에너지 분해능, 안정성, 효율면에서 무척 좋은 반응이 나타남을 보였다.

신호 분석방법도 많이 개선되었다. Hartjes 등은 200 μ m의 pitch간격을 가진 검출기를 개발하였는데 이들은 전극에서 나오는 Gaussian펄스들을 분석하는 방법을 개발하여 pitch간격보다 더 정밀한 위치 분해능값(30 μ m)을 얻어낼 수 있었다.

그러나 여전히 문제점으로 남아 있는 것은 ageing 효과와 기관의 성질에 따른 불안정한 요소이다. 기관의 균일성과 안정성은 MSGC 성능에 있어서 핵심적인 요소인데 기관으로 사용될 물질과 그 위에 전극으로 사용될 금속에 따른 특성조사는 가장 기본적인 중요한 연구과제로서 많은 시행착오를 겪어 왔다. 전극을 인가하는 금속 strip은 두께가 균일하게 되도록 정밀한 공정과정을 거쳐야 한다. 또한 ageing효과를 줄일수 있는 strip과 가스의 선택도 중요한 과제가 되고 있다. 이러한 여러 가지 문제를 해결하기 위하여 현재 유럽(CERN), 미국(LBNL), 캐나다(TRIUMF)등 여러기관에서 활발한 연구가 진행중이다.

3. Microstrip 개발과 신호처리기술

MSGC개발에 있어서 가장 핵심이 되는 기술은 Microstrip 공정 개발 부분이다. 절연기판의 적절한 저항값과 전극으로 사용될 금속의 선정이 매우 중요하며 공정과정의 기술이 요구된다.

높은 계수율을 얻기위하여 각각의 전극에서 펄스가 출력된 이후에 각전극에 의한 전기장이 빠르게 원상태로 회복되어야 한다. 절연 유전체 기판은 극부전기장을 변화시키는 전하를 표면에 저장하기 때문에 이것이 효율과 반응시간을 저해하는 요소가 될 수 있다.

따라서 표면에 머물러 있는 양이온들을 제거할 수 있도록 약간 전도성을 띄어야 한다. 또한 되도록 얇고 강하고 넓은 면적으로 제작할 수 있으며 가격면에서도 실용적이어야 한다. 이러한 여러 가지 요구사항은 Glass Avalanche Chambers, Silicon Knife-edge Chambers, Polyimide Chamber 등의 여러종류의 기판을 야기 시켰다. 이 중에서 Polyimide 기판은 높은 인장력과 유연성을 가지고 있어서 지속적인 연구가 수행되고 있다. 이 기판은 ion implantation을 통하여 원하는 저항을 인가할 수 있다. 그러나 implantation의 단점은 금속부착력이 떨어지는데 있다. 따라서 현재로는 metallization process이후 표면을 implantation시키는 방법을 많이 사용한다.

기판이 완성된후 챔버 내에 안전하게 고정시킨다음 가스를 공급한다. 가스의 종류는 매우 다양하지만 일반적으로 단원자의 불활성 기체인 Kr, Xe 그리고 최근들어 DME를 많이 사용하고 있다. 그러나 경제적인 이유로 Ar 혼합기체를 사용하는 것이 대부분의 현실이다. 각각의 전극에서 발생된 신호는 발생위치를 결정하기 위한 회로로 들어가게 된다. 위치 결정의 대표적인 방법은 지연선을 이용한 방법과 전하분할법, 디지털연산법, 분할중심계산법 등이 있다. 이중 가장 널리 쓰이고 있는 방법은 지연선을 이용한 것으로 각각의 음극선에 신호의 전송시간을 지연시키도록

회로를 구성하여 방사선 입사위치로부터 출력이 되는곳까지의 지연된 시간을 계산하여 입사위치를 결정하는 방법이다. 이 외에 pixel readout electronics chip과 MSGC를 접합시킨 방법도 있으나 이것은 복잡한 제작법과 신호처리가 문제점이다. 이렇게 신호처리된 데이터들은 컴퓨터로 입력되며 이것을 분석함으로써 적절한 영상을 획득할 수 있는 것이다.

IV. 앞으로의 전망

지금까지 설명한 MSGC형 디지털 영상장치는 여러 선진국에서도 연구가 계속적으로 진행되고 있으며 곧 필름을 대신하여 여러 분야에서 응용될 새로운 시스템이다. 특히 관심의 대상이 되는 분야로는 높은 위치 분해능이 요구되는 연부조직검사를 생각할 수 있으며 그중에서도 심장의 혈관 조사와 유방암 진단에 응용될 수 있다. 사실 이런 가스형 검출기뿐 아니라 반도체 어레이 검출기도 많은 발전을 거듭하여 왔으나 넓은 면적을 제작하기에는 그 가격과 기술 등에서 많은 문제에 부딪쳐 왔다. 따라서 MSGC형 영상장치는 적은 비용과 최소의 피폭선량으로 최대의 정보를 만족할 수 있는 장치로 많은 관심과 기대를 모으고 있는 실정이다. 지금 우리나라에서는 대부분의 모든 영상을 필름에 저장시켜 보관하고 있다. 그러나 모든 사람들의 생활수준이 향상되고 또 그만큼 의료복지도 개선되고 있는 이 시점에서 우리나라도 조만간 이런 낡은 방식을 버리고 새로운 디지털 영상 시대에 부응해 나가야 할 것이다. 그러기 위하여 지금부터라도 이러한 영상장치의 핵심이 되는 센서개발을 서둘러 외국에 의존하고 있는 기술적 문제들을 자체적으로 해결해 나가야 할 것이다. 이것은 어느 한 분야의 노력으로만 이루어지는 것이 아니라 물리학, 전자, 생물학, 의학 등 여러 분야에서의 공동연구로 더욱 빛을 발하게 될 것이다.