

영상판의 응용

仁川看護保健專門大學 放射線科

朴俊哲 · 金健中

The Application of Imaging Plate

Jun Chul Park, Keon Chung Kim

*Dept. of Radiotechnology, Incheon Junior Nursing College and
Allied Health Sciences*

1. 서 론

물질에 외부적인 어떠한 자극을 주면 물질로부터 빛이 방출되는 현상은 이미 기원전 1,500년 전부터 흔적이 있었음을 중국문헌에서 찾아 볼 수 있다. 그러나 학문적으로 이러한 현상에 관심을 가지게 된것은 이탈리아에서의 폴로늄(Polonium) 발견이후라고 할 수 있다. 19세기 후반에 들어서면서 자외선을 받아 발광하는 물질이 그 다음에 적외선 등을 조사하면 다시 빛을 발생 하는 현상이 발견되었는데, 이러한 현상을 광휘진발광(光輝盡發光, photostimulated luminescence, PSL)이라한다.

PSL을 나타내는 물질은 ZnS 등을 포함한 II_B-VI계 화합물, IA-VII_B계 화합물(할로겐화 알카리), Si, 다이아몬드, 산화물계 화합물(Zn₂SiO₄:Mn, LaOBr:Ce, Tb 등) 또는 유기물 등으로 알려져 있으며, 많은 물질에서 관찰할 수 있는 일반적인 현상이라고 할 수 있다.

PSL현상은 최초의 자극인 1차여기정보가 물질에 기억되고 그 후의 빛, 즉 2차여기에 의하여 최초의 정보를 추출하는 것을 뜻한다.

영상판(影像板, imaging plate, IP)이란 PSL을 지닌 형광체를 플라스틱 필름위에 도포한 이차원적 면적을 지닌 검출기이며, 형광체는 활성체인 2가의 europium ion이 미량함유된 barium fluorobromide결정인 BaFBr:Eu²⁺를 사용하고 있다. 이 물질은 합성과정을 조절하므로써 종래에 알고 있는 물질 중에서 가장 강한 가시광의 PSL을 갖게된다.

영상판(IP)이란 디지털 방사선촬영 시스템용의 이차원적 검출기로 개발된 것으로서 X-선뿐만 아니라 자외선, γ -선, β -선, α -선, 전자선 및 기타 입자선 등에도 감도를 지니고 있음은 물론 기록된 피사체 정보를 지닌 신호는 이차원적 위치정보와 강도정보를 직접 시계열(時系列)의 전기신호로 추출할 수 있는 독특한 특성을 지닌 검출기인 셈이다.

이러한 첨단과학에 해당하는 영상판을 이용하는 디지털 방사선촬영 시스템이 이미 1986년에 중앙대학교병원에 도입·가동되고 있는 시점에서 영상판의 기전과 각 방면의 응용에 대하여 기술한 「일본 후지 사진필름 주식회사 개발센터」에서 보고한 내용에 관하여 소개하고자 한다.

2. 영상판

1) PSL기전

BaFBr:Eu²⁺ 결정체는 X-선 등의 1차여기후 가시광에 의한 2차여기에 의하여 1차여기시의 강도에 비례하는 강한 휘진발광(PSL)을 한다. 이 발광은 Eu²⁺ 이온의 5d-4f 허용전이(許容遷移)에 근거를 두고 있는 까닭에 발광수명도 0.8 microsecond로 짧아 4-6 megabyte의 많은 영상정보를 단시간에 관독할 수가 있다. 발광 spectrum의 최대파장은 약 400 nm이어서 광전자증배관(photomultiplier tube)에 대하여 양자효율이 높은 spectrum을 지니고 있는 것이다. 더군다나 2차여기인 휘진 spectrum의 최대파장은 600 nm 정도여서 He-Ne 레이저의 파장인 633 nm와도 절맞는다. 이와 같이 발광 spectrum과 휘진여기 spectrum간의 분리성이 양호한 특성은 영상재생시스템을 설계하는데에 매우 커다란 특성에 해당되며 이로 인하여 고 S/N비를 확보할 수

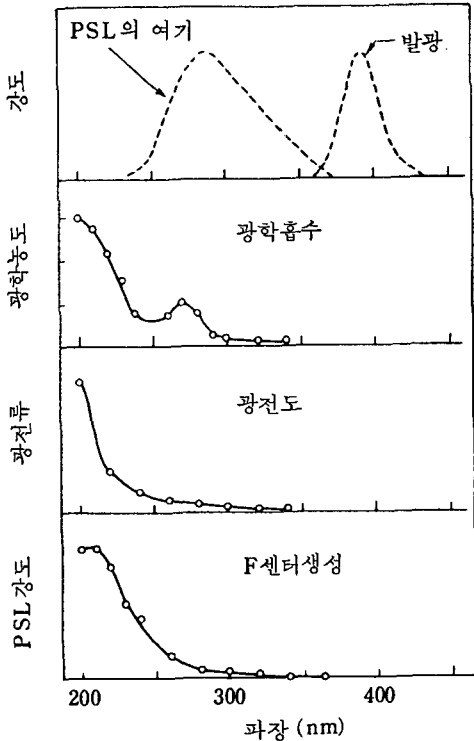


그림 1. BaFBr:Eu²⁺ 단결정형광체의 자외선에 의한 1차 여기과정의 spectrum (위로부터 PSL의 여기와 발광, 광학흡수, 광전도 및 F센터 생성에 관한 spectrum)

가 있다.

BaFBr 결정은 PbFCI 형의 정방정계(正方晶系, $P4/nmn; D_{2h}^h$)에 속하며, 이 결정은 F⁻ 및 Br⁻ 이온의 공격자점(空格子點)에 전자가 포획되어 그 종류의 착색중심(F-센터)을 발생한다. 이 가운데 어느 F-센터가 되느냐 하는 문제는 F이온과 Br이온의 화학량론적 조성으로부터 어떻게 어긋나느냐에 따라 결정된다. 즉 F-센터의 종류는 공공(空孔)을 가정하여 예상되는 ESR spectrum을 비교해 결정한다. 그림 1과 2는 자외선 또는 X-선의 조사시 Br⁻ 공공에 기인한 F-센터가 발생하는 결정에 대하여 실험한 것이다. 그림 1은 자외선에 의한 1차여기과정에서의 spectrum, 그림 2는 X-선을 충분히 조사받은 후 가시광에 의한 2차여기과정에서의 spectrum을 나타낸 것으로 광학적농도, 광전류, ESR강도 그리고 PSL강도가 거의 일치됨을 관찰할 수 있다. 또한 1차여기와 2차여기 과정에서 Eu²⁺에 의한 청색발광과 약하게 겹쳐지는 적색발광의 강도가 상대적

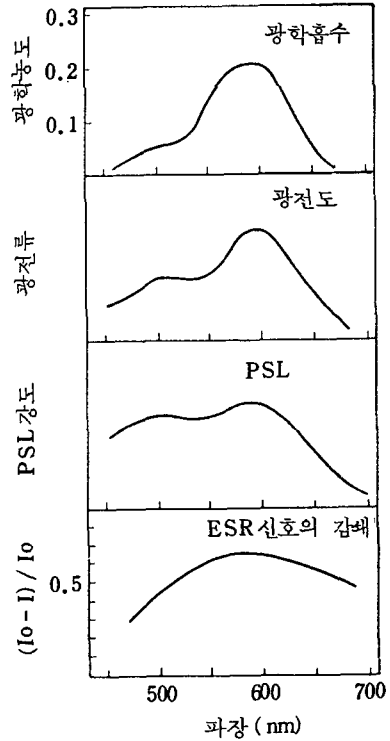


그림 2. X-선을 조사한 BaFBr:Eu²⁺ 단결정형광체의 2차여기과정(휘진)의 spectrum (위로부터 광학흡수, 광전도, PSL(휘진발광), ESR신호의 감쇄에 관한 spectrum)

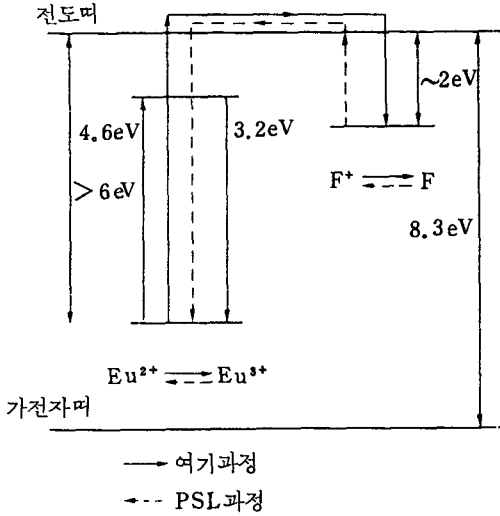


그림 3. BaFBr:Eu²⁺ 형광체의 PSL(휘진발광) 기전(BaFCl:Eu²⁺, BaFI:Eu²⁺도 동일 기전임)

으로 변화하는 것도 관찰할 수 있다.

이러한 data로부터 BaFBr:Eu²⁺ 결정의 PSL 기전은 그림 3의 에너지준위로 설명할 수 있다. 즉, X-선이나 자외선 등의 1차여기에 의하여 Eu²⁺ 이온의 일부는 Eu³⁺ 이온으로 되고 전자는 결정 중에 존재하고 있는 Br 이온 공격자(空格子)에 포획되어 준안정상태의 F 센터가 형성되고, 다음에 F 센터에 흡수되는 2차여기광을 조사하면 포획전자는 다시 전도띠에서 유리되어 Eu²⁺ 이온에 되돌아와 Eu²⁺의 여기상태로서 휘진발광(PSL)이 발생한다고 여겨진다. 그러나, 이 결정의 PSL기전에 관하여는 아직 불분명한 점도 있어 앞으로의 연구결과에 따라 해명될 것으로 기대된다.

2) 영상의 재생

X-선영상(정보)이 기억된 영상판은 그림 4와 같이 수평방향으로 이동되면서 직경 100 μm의 He-Ne 레이저에 의해 표면이 주사(走査)되는데 이때의 주사 밀도는 5~10pixel/mm이다.

표 1. IP의 정보검출 및 재생과정

정보검출	IP(영상판)의 크기	14 × 17 인치	14 × 14 인치	10 × 12 인치	8 × 10 인치
	유효검출길이(mm)	352 × 428	352 × 352	251 × 302	251 × 200
주사밀도(pixel/mm)	5	5	6.7	10	
pixel의 수	1760 × 2140	1760 × 1760	1670 × 2010	2510 × 2000	
재 생	필름의 크기(mm)	364 × 257	364 × 257	364 × 257	364 × 257
	주사밀도(pixel/mm)	10	10	10	10
	축소율(기록/검출)	1/2	1/2	1/1.5	1/1
	출력영상의 수(1매당)	2	2	2	1

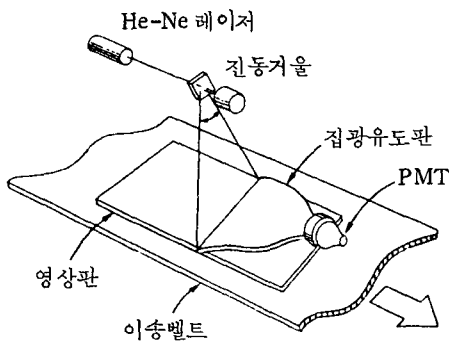


그림 4. 영상판(IP)에 기억된 영상정보의 검출은 He-Ne 레이저로의 주사에 따라 발생하는 PSL을 집광유도판에 의해 PMT에 보내진 다음, 시계열의 전기신호로 변환된다.

레이저여기에 의한 PSL은 집광유도판(集光誘導板)으로 2차전자증배관(PM tube)으로 모여져 시계열 신호로 변환되는데 영상판은 기억한 정보를 방출한 다음 균일한 가시광에 조사되면 남아있던 잔여정보가 모두 소거되어 재사용이 가능한 상태로 된다.

PM tube로부터 발생 한 시계열 아날로그 신호는 10bit의 디지털신호로 변환되고 목적에 따라 영상의 농도제조도 처리, 공간주파수 처리 및 여러 영상간의 감산 또는 가산처리 등이 이루어진다. 처리된 전기신호는 CRT에 전시되기도 하고 레이저신호로 변환되어 공간해상능 10pixels/mm, 10bit의 농도분해능으로 사진필름을 감광하여 고품질의 디지털영상으로 재생된다(현재 사용하고 있는 영상판의 크기 및 정보 검출과정 및 출력필름의 크기는 표 1에 정

리하였는데, 8 × 10 인치 크기를 제외하고는 축소영상이 된다).

3. X-선 영상에서의 응용

1) 디지털 방사선험영

현재 의료용영상의 대부분을 차지하고 있는 증감지·필름시스템은 감도와 영상의 질적인 두 측면에서의 상반특성으로 인하여 기술적 한계에 도달하고 있다고

보아도 과언이 아니며, 계속 발생하는 X-선 사진영상의 보관이나 검색이 어렵고, 영상정보를 전기신호로 얻지 못하기 때문에 컴퓨터에 의한 영상정보처리 또는 정보교환이 곤란한 점 등의 이유로 의료의 전자과학회에서 제자리 걸음을 하고있어, 세계 각국에서는 디지털 방사선험영 시스템 개발연구에 집중적인 노력을 추진하고 있는 실정이다. 영상판을 DR 시스템에 이용하면 환자의 피폭선량을 수분의 일에서 수십분의 일까지 감소할 수 있고, 광역의 Dyna-

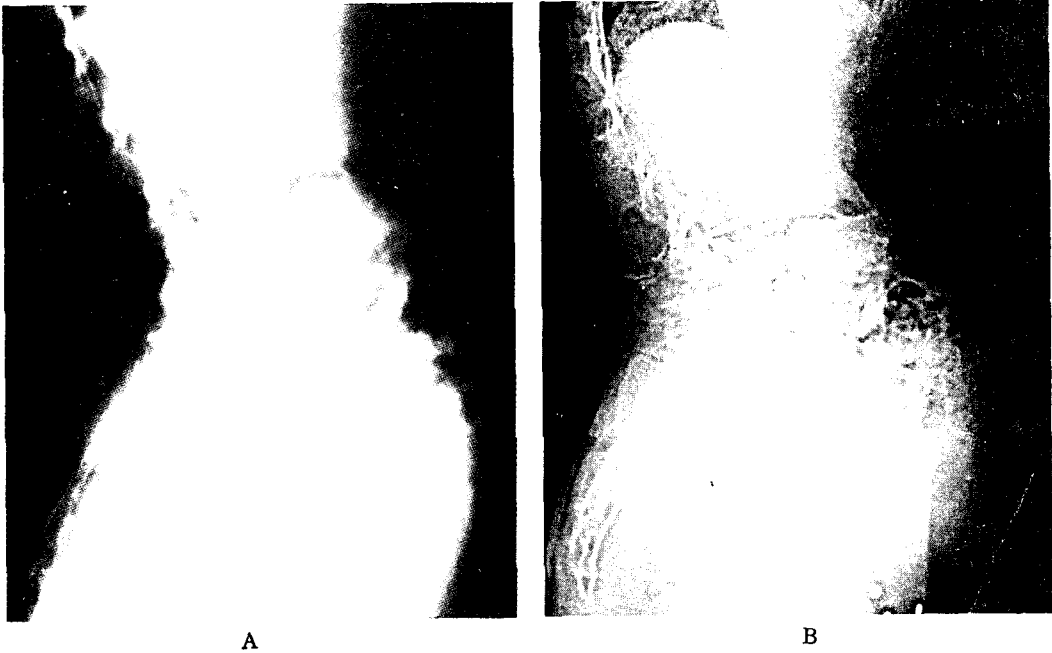


그림 5. 복부측방향 단순영상(A)과 영상판을 이용한 동일환자의 복부측방향 디지털 단순영상(B) (디지털영상은 뼈에서 피부표면 근처 연부조직의 내부조직의 묘사능이 향상되어 명확함을 보이고 있다)



그림 6. 치과용 전개촬영상으로 X-선영상(A)과 디지털영상(B) (디지털영상은 미세한 골량(骨梁)과 치아의 해부학적 형태 등의 묘사능 향상과 피폭선량의 감소가 이루어진다)

mic range 를 갖기 때문에 뼈에서 연부조직까지의 묘사능이 향상될뿐 아니라, 진단부위 또는 목적에 상응한 영상처리가 용이해서 진단능력의 향상 및 새로운 진단기술이 가능하게 되는 등 많은 효과가 있다 (그림 5 와 6).

영상판을 이용한 경우, X-선영상정보가 디지털신



그림 7. 골반부동맥조영상
(조영제주입 전, 후의 복수영상의 감산처리로 혈관만을 추출한 시간차 감산처리영상)

호로 되었기 때문에 복수의 영상처리와 필요정보만 추출할 수가 있게되었다. 또한, 혈관조영시 조영제 주입 전·후의 영상간 감산처리가 가능하여 경정맥동맥 조영술(IVDSA)을 적용할 수 있을뿐 아니라, 서로 다른 X-선에너지로서 복수 영상간 감산처리에 의한 X-선흡수특성이 다른 조직음영을 제거하고 진단에 필요한 특정 정보만을 묘사할 수 있는 이중에너지 감산처리(dual energy subtraction)도 가능하며(그림 7 과 8), 디지털 영상정보를 응용한 자동진단 등의 진단방식으로의 발전 또는 CT영상, 초음파영상 등을 포함한 종합 의료용 영상진단 시스템의 구축, 발전이 기대되고 있다.

2) X-선 결정구조의 해석

연X-선영역에 쓰이는 X-선 검출기는 주로 scintillation counter 등의 pulse계측형과 X-선 텔레비전과 같은 적분형으로 크게 나누며, 이들의 검출 효율은 거의 100%에 이르고 있어 그 이상의 효율향상은 있을 수가 없지만 X-선의 위치정보와 강도정보를 동시에 제측하는 2차원적 검출기에 의한 효율화는 해결해야 할 문제점이다.

이러한 목적에 따라 개발된 PSPC(position sensitive proportional counter)는 위치분해능이 저조하고 계수율이 5×10^4 cps로 낮기 때문에 flux 밀도가 증가하면 탈락이 발생하는 문제가 있다. X-선 필름은 적분형검출기로서 높은 위치분해능이 요구될 때에 PSPC를 대신하여 이용되고 있다. 그러나, 감



그림 8. 120 kV 관전압의 디지털 흉부 X-선영상(A)과 120 kV, 60 kV로 촬영한 복수의 영상을 감산처리하여 뼈부분만을 삭제한 에너지 감산영상(B)

도가 낮고 X-선영상정보가 전기신호로 변환되지 못할 뿐 아니라 dynamic range가 좁은 점 등의 문제가 있다.

앞으로 Synchrotron을 이용한 강력한 단색 X-선원이 이용되기 때문에 고성능의 2차원검출기가 요망되고 있다. 영상판이 이 목적을 위하여 이용할 수 있는지의 가능성을 찾기 위한 기초적 검토가 이루어졌다. 그림 9는 MoK α -선(17.4KeV)에 대하여 IP가 다섯 자리에 걸쳐 넓은 dynamic range를 가지

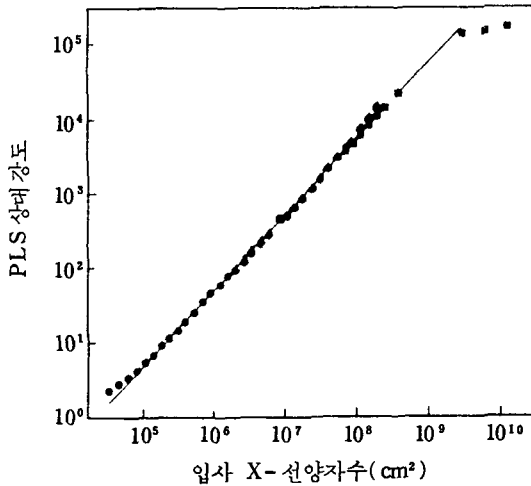


그림 9. MoK α -선(17.4KeV)의 입사 X-선에 대한 IP의 dynamic range (다섯자리에 걸쳐 넓은 X-선 강도변화에 직선성의 양호한 반응을 지니고 있다)

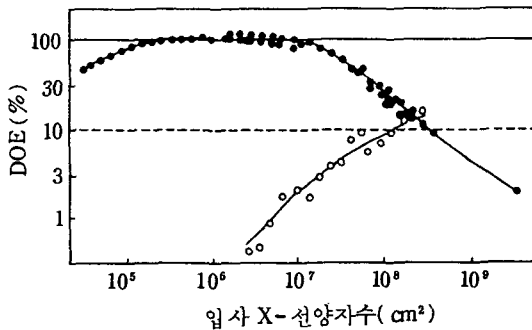


그림 10. MoK α -선(17.4KeV)에 대한 IP(흑점) 및 고감도 X-선필름(백점)의 양자검출효율(DQE, detective quantum efficiency) 값 (실선은 이상적인 검출기, 점선은 흡수율 10%의 pulse형 검출기를 표시한 것으로 IP는 이 에너지의 X-선에 대하여 이상적으로 반응한다)

고 있으며 고감도 X-선필름에 비하여 IP는 3%의 오차측정에 약 10배, 10% 오차측정에 약 60배의 감도를 지니고 이 정도범위의 연X-선에 대하여는 양자검출효율(DQE)이 거의 100%이며 이상적인 포아손검출기에 근접함을 알 수 있다(그림 10).

개구리 대퇴골격근의 이완 중 X-선회절상을 20초 노출하여 10pixels/mm로 재생한 영상이다. 재래 필

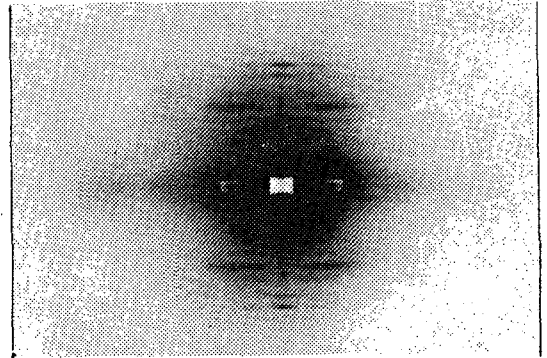


그림 11. 개구리의 대퇴부골격근의 X-선회절영상으로서 종래 20분이 요하던 노출시간이 IP를 사용하므로써 단시간(10~20초)에 고공간해상능(10 pixels/mm)으로 기록할 수 있다.

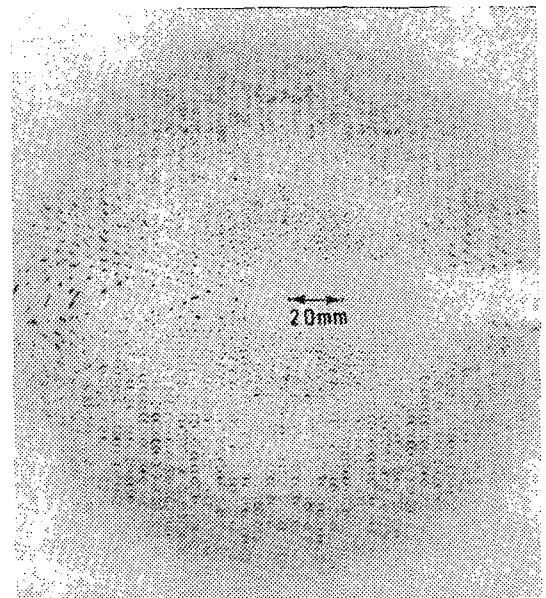


그림 12. 아미노기 전이효소결정의 회절영상(종래 필요노출시간이 1시간 30분이였지만 IP사용으로 5분으로 감소할 수 있었다. 디지털영상 데이터가 직접 얻어 장래에는 자동 X-선 결정구조해석이 가능할 것이다)

름법으로는 20 분 이상의 노출이 회절상을 얻을 수 없었다(그림 11). 또한 아미노기 전이효소결정(轉移酵素結晶)의 와이젠베르그 회절사진(그림 12)에서 재래 필름법으로는 1시간 30분을 요하던 노출이 IP의 경우 5분으로 가능하여 머지않아 복잡한 회절 pattern을 자동적으로 data 처리하는 방향으로 나아가리라 본다.

IP는 PSPC와 같은 pulse 형 검출기와는 달리 강한 입사X-선이라도 수의 떨어짐이 발생하지 않는 적분형검출기이며, 더욱 위치분해능이 우수한 2차원적검출기이다.

4. 전자선영상에의 응용

IP는 필름대신 투과전자 현미경용의 2차원 검출기로서도 응용이 가능하다. 종래의 필름법에 비하여 고감도이고 넓은 dynamic range를 가지며 영상 신호가 디지털로서 얻어지기 때문에 계산기에 의한 데이터처리가 용이한 장점이 있다. 더우기 진공상태에 넣은 경우 필름에 비하여 가스방출이 적고 진공배기 시간이 단축되는 부수적인 효과도 얻게 된다.

그림 13은 전자현미경용 필름촬영에 필요한 전자선조사량의 1/500으로 IP에 촬영한 소의 간에서 분리한 카타라제 결정의 사진이다(그림 13). 전자선 손상을 받기쉬운 유기결정 및 생체결정 등은 IP의 고감도 특성에 따라 종래보다 고배율로 촬영할 가능성도 보이며 중금속염색을 하지 않아도 흡수대조도가 낮은 시료의 묘사능이 영상처리향상으로 가능성이 있다고 여겨진다.

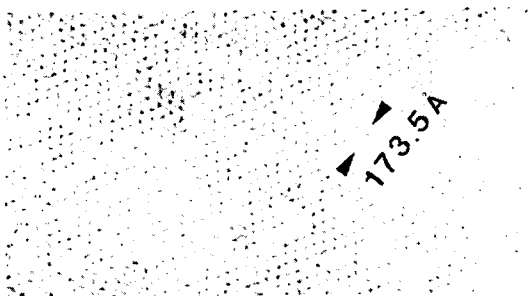


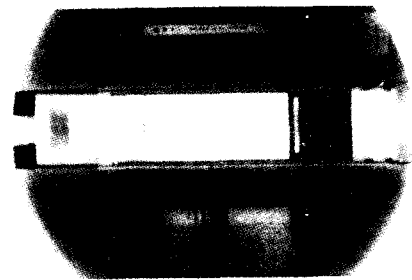
그림 13. 소의 간으로부터 떼어낸 카타라제 결정의 전자현미경상으로서 종래의 전자현미경 필름감도의 1/500의 전자선량으로 IP에 촬영한 디지털영상(23만배)

5. 중성자선 영상에의 응용

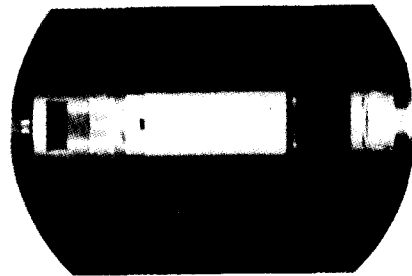
중성자는 물질의 원자핵과 반응하는 까닭에 외작용자와 반응하는 X-선이나 전자선과는 물질과의 상호작용이 다르다. 예를 들면 열중성자는 H, Li, B 등 가벼운 원소와 Cd, Sm, Gd, Dy 등 소수 원소에 대해서만 큰 흡수단면적을 지니고 있어 X-선, 전자선으로는 불가능하였던 철강, 납, 구리 등 금속용기 중에 함유된 유기물, 물, 플라스틱 등 경원소물질의 상태판찰이 가능하다.

최근에는 원자로 외에도 동위원소(^{252}Cf) 및 Cyclotron이 이용되어 우주로켓트 또는 제트엔진의 중요부분에 있는 원자로 재료, 핵연료의 중성자 방사선 촬영에 의한 비파괴검사의 수요가 급증하고 있다.

중성자촬영은 일반적으로 흡수단면적의 가장 큰 Gd 금속박에 열중성자를 흡수시켜 주로 n, r 반응으로 생기는 내부전환전자에 의해 사진필름을 감광시키는 방법을 채택하고 있다. 다시 말하면 중성자 발생원인으로부터 나온 열중성자는 피사체를 투과한 뒤에 흡수능력이 큰 플라스틱 필름베이스와 유제층으로 이루어



A



B

그림 14. 로켓트 화공품의 중성자 방사선영상으로서 Gd 금속박을 증감재료로 사용한 보통의 IP에 의한 영상(A)과 Gd 산화물 미립자를 포함한 형광체층을 지닌 특수 IP영상(B)

어지는 필름을 투과해서 이것과 밀착된 Gd 금속박에 흡수되면서 영상을 형성한다.

따라서 필름에 의한 흡수와 기하학적인 blurring에 의한 영상의 질적저하가 불가피하게 된다. 필름 대신 단순히 IP로 대체하여도 감도와 영상처리 효과의 장점은 있지만 본질적인 개선은 이루어지지 않는다. 그리하여 Gd 금속박대신에 Gd 산화물 미립자를 형광체에 함유시킨 특수 IP로 직접 중성자촬영을 행하면 영상의 질적저하는 방지될 수 있다(그림 14 와 B). 따라서 중성자 텔레비전의 동태적 관찰과 함께 IP에 의한 촬영도 실용화될 가능성이 있는 것이다.

6. 우주선 검출에의 응용

우주선의 비적검출(飛跡檢出)은 무박(霧箔), 포상(泡箱), 원자핵 건판(乾板) 외에 기타 전자기술을 이용한 spark chamber, drift chamber 등이 개발되어 있으나 높은산 또는 기구에 의한 우주선관측 가운데 고에너지 우주선검출에는 사진유제를 이용한 emulsion chamber를 일반적으로 채택하고 있다. 우주선에 노출된 emulsion chamber는 현상후 현미경하에 micron 단위로 비적을 추적하는데 이러한 해석작업은 어느 위치에 어떠한 성질의 우주선이 입사했는지 미리 특정지을수 있다면 컴퓨터 자동처리로 신속처리가 될 것이다.

IP를 이러한 목적에 사용할 수 있는가 여부를 확인하기 위하여 Synchrotron에 의해 가속된 고에너지

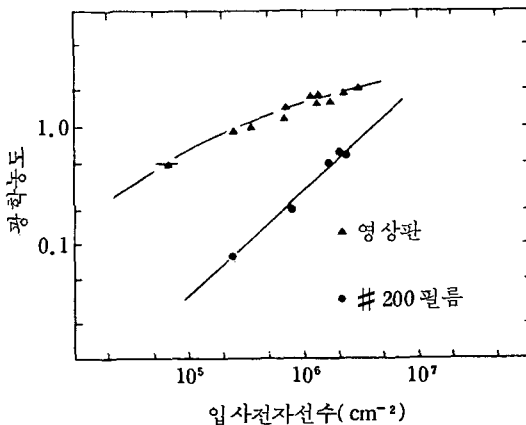


그림 15. 고에너지전자(760 MeV)에 대한 IP의 특성 (IP의 우주선에 의한 전자사위 검출값은 200 GeV이며 emulsion chamber 보다 저에너지의 우주선 검출이 가능하다)

전자선(760 MeV)에 대한 특성을 실험해 보았다(그림 15). 결과는 공업용 X-선필름감도에 비하여 약 30 배, 우주선에 의한 전자 shower의 검출치는 emulsion chamber의 경우 1~2 TeV인데 비하여 IP는 200 GeV이었으며, 중에너지의 우주선검출에도 알맞다는 사실이 밝혀졌다.

시험적으로 IP를 기구에 탑재하여 34 km 상공에서 우주선에 약 10시간 노광한 후 회수한 영상(그림 16 A)에서 전자선 shower, 중원자(重原子)의 비적이 많이 검출되고 있어 동일조건에서 지상에서 측정된 IP영상(그림 16 B)에 비해 약 두 단위나 많음을 알 수 있었다.

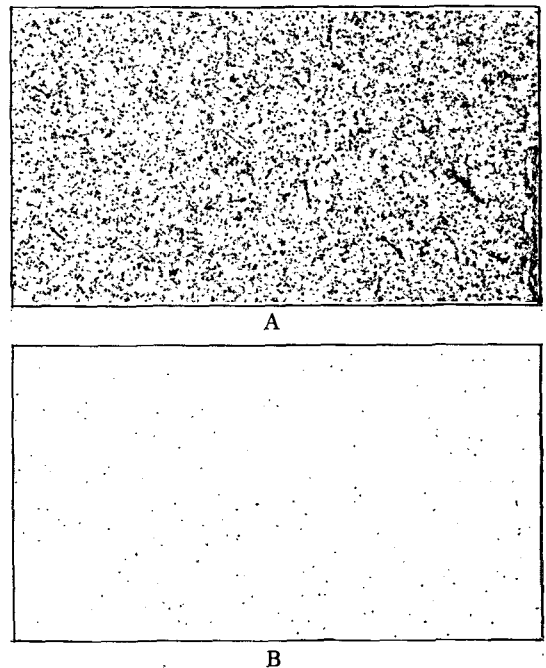


그림 16. IP에 의한 우주선비적의 검출 (34 km 상공에서 10시간 노출한 영상(A)으로서 전자사위, 중원자 트랙이 검출되고 있다. 지상의 건물내에서 노출시킨 영상(B)으로서 상공에서 검출한 것보다 두자리 적게 측정되었다)

7. 방사능 검출에의 응용

1945년 8월 히로시마 상공에 원자폭탄이 투하된 직후 격심한 대기의 대류로 인하여 폭심지 부근에 국지적인 비가 오고 많은 사람들이 이 비를 맞았다. 이

지상에서의 영상가운데 보이는 미세한 음영은 용기 등 자연환경에서의 방사선과 우주선에 의한 극미량의 방사선을 검출한 것이다.

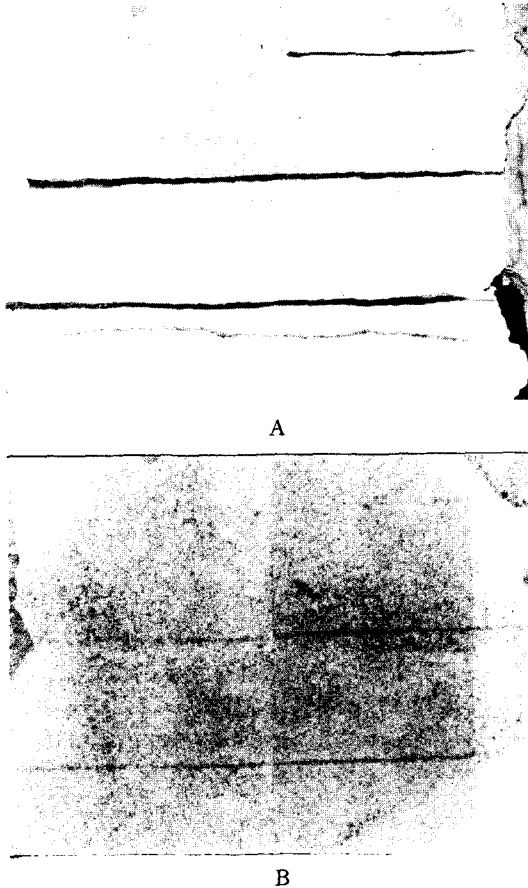


그림 17. 원자폭탄투하 후의 검은비의 빗자국이 남아 있는 40년전의 흰벽의 일부(A)와 IP에 의해 촬영한 방사선영상(B)으로서 방사선량은 자연환경 준위의 약 1/10 정도의 극미량일 것으로 추정된다.

비를 ‘검은 비’라고 하는데, ‘검은 비’에는 다량의 방사능이 포함되어 있었을 것이라 추정하지만 정확한 것은 알 수가 없다. 그러나 그날의 ‘검은 비’의 자국이 남겨진 흰벽이 아직 보존되고 있다(그림 17 A). 이 빗줄기의 빗자국에 40년이 지난 현재에도 아직 방사능이 있는지의 여부는 그량이 미량이어서 종래의 분석기로는 확인이 불가능하였다. 이를 측정하기 위하여 IP를 이 빗자국에 밀착하여 고감도 판독조건으로 영상화하여 보았다(그림 17 B).

벽의 빗자국에 대한 자연적이 아닌 방사선에 의한 음영이 검출되었다. 이 방사선의 양은 통상 자연환경에서의 흙이 지니고 있는 방사선량인 1pCi/g 보다 적은 0.1pCi/g 정도인 것으로 추정된다.

검은 빗자국 중의 방사능을 확인하는데에는 사람의 눈의 2차원적 인식에 의한 검출력과 천연방사성물질로서 대표적인 40K의 적은 석회반죽으로된 벽위에 있는 빗자국이 남아 있었다는 좋은 조건이 있었기 때문이라고 생각하는데 IP가 자연환경에 존재하는 극미량의 천연방사능과 우주선 등을 2차원적으로 영상화하고 측정가능하게 하므로서 중전과는 다른 새로운 방사선계측 수단을 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

8. 결 론

IP는 공간적 데이터를 사진필름과 같이 아날로그적으로 검출하여 고체 검출소자와 동일하게 디지털적으로 신호를 발생할 수 있는 새로운 기능을 지닌 아날로그/디지털 변환형 2차원적 검출기로서 채택될 수 있으며 자외선보다 에너지가 높은 X-선, 전자선, 중성자선 등 광범위한 종류의 화학선에 대한 적용성과 방사선 등과 같이 flux 밀도를 지닌 선원으로부터 자연방사능 준위 정도의 낮은 flux 밀도의 선원까지 광범위한 적용성을 지니고 있다. 따라서 전술한 응용분야뿐만 아니라 시대에 대응한 새로운 분야에서의 응용이 넓혀져 갈 것으로 점쳐볼 수 있다.