

열형광체를 이용한 X선 영상판의 제작*

신일전문대학 방사선과
이 원 진

경북대학교 기초과학연구소
이 동 명

Abstract

Preparation of the X-Ray Imaging Plate Using Thermoluminescent Phosphor

Won Jin Lee

Dept. of Radiotechnology, Shinil Junior College, Daegu, Korea.

Dong Myung Lee

Institute of Basic Sciences, Kyungpook National University, Daegu, Korea.

Thermoluminescent phosphors, which are now being used widely in radiation dosimetry, have an excellent sensitivity to ionizing radiation.

In this study, thermoluminescent phosphors of $\text{CaSO}_4 : \text{Mn}$, $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ and $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ are prepared and their physical properties are investigated by measuring the trapping parameters and their luminescent spectra. By considering the sensitivity to X-ray and fading characteristics, $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ is most adequate to imaging plate.

The imaging plate are prepared by coating the $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ powder on the Al substrate and its dose dependence is linear within the range of 40 mGy-20 Gy X-ray. The sensitivity of imaging plate depends linearly on the thickness of coated phosphor layer up to 35 mg/cm² and is independent on the grain size of the phosphor in the range of 70~250 μm .

By photographing the imaging plate, X-ray images of the test object are obtained and better than those of X-ray films.

* 이 논문은 1990년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었습

I. 서 론

열형광체(thermoluminescent phosphor)는 이온화 방사선에 대한 감도와 안전성이 높고 적절한 열처리 과정을 통하여 재사용이 가능하므로 방사선 선량 계측, 개인 피폭선량 및 환경방사능 측정 등의 연구에 널리 이용되고 있다^{1~3)}.

또한 각종 유전체에 대한 열발광 현상의 연구를 통하여 열발광의 포획 매개변수(trapping parameter)와 발광기구 및 포획 준위에 관한 정보를 얻을 수 있으며^{4,5)} 최근에는 열발광 현상을 이용한 연대 측정의 연구가 고고학 및 지질학 분야에서 활발히 진행되고 있다^{6,7)}.

한편 열형광체를 이용한 영상판(imaging plate : IP), 즉 영상기억판별(image storage panel)을 제작하여 X선의 영상을 직접 사진 촬영함으로써 IP에 관한 연구가 시작되었으며⁸⁾, 이후 전자빔 profile 측정⁹⁾, 우주선 검출¹⁰⁾, 고에너지 hadron 및 전자기적 cascade shower의 검출¹¹⁾, 그리고 X선 회절¹²⁾ 등의 연구에 IP를 응용하였다.

또한 열형광체를 이용한 IP는 X선에 대한 감도가 높으므로 종래의 X선 필름보다 분해능이 뛰어나고 영상기록에 필요한 X선 조사선량을 줄일 수 있으므로 X선 기록장치로서 많은 연구^{13,14)}가 이루어지고 있다.

최근에는 IP의 적외선 레이저에 의한 가열방식과 개인용 컴퓨터와 2차원 광검출장치 및 디지털 영상처리기술의 발달로써 computed radiography 장치의 개발^{15,16)}이 활발히 진행 중이다.

본 연구에서는 CaSO₄에 Mn과 희토류 원소인 Dy와 Tm을 불순물로 첨가한 열형광체를 제작하여 이의 물리적 특성을 조사하였으며 이를 이용한 IP를 제작하여 기초적인 특성을 조사함으로써 X선 radiography에 대한 응용가능성을 조사하였다.

II. 이 론

유전체 결정 내에 공극자(vacancy)와 불순물 원자 등에 의한 격자결함이 생기면 가전자대와 전도대 사이의 금지대에 준안정상태의 포획준위가 형성된다. 이 결정에 전리방사선을 조사하면 전리에 의해서 전자 및 정공이 만들어지며 전자는 전도대

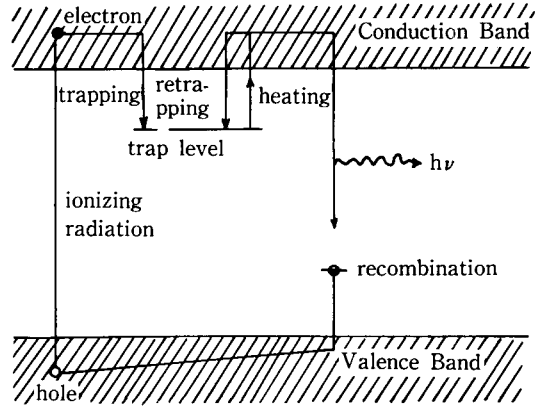


Fig. 1. Schematic energy level diagram for thermoluminescence mechanism.

에 여기되었다가 포획준위에 포획되고 준안정상태를 유지한다. 열형광(thermoluminescence : TL)은 열에너지에 의하여 이 포획전자를 전도대에 여기시킨 후 발광중심과 재결합하여 빛을 방출하는 현상이다(그림 1).

이 때 방사선을 조사시킨 결정을 일정한 가온율로서 가열할 때 온도에 대한 열발광의 세기를 그린 glow curve를 측정하고 이를 분석하여 포획준위 등의 매개변수와 방사선 선량 의존성 등의 물리적 특성을 구할 수 있다.

Randall-Wilkins¹⁷⁾는 처음으로 glow curve의 이론을 제시하였으며 이들에 의하면 열발광의 세기 I는

$$I = C \cdot \frac{dn}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

이다. 여기서 C는 비례상수이고 n은 포획전자의 밀도이다.

포획전자의 재결합율이 Maxwell-Boltzmann 분포를 따른다면 재결합 확률 $P = S \cdot \exp(-E/kT)$ 가 되며 여기서 S는 전자의 진동수 인자(frequency factor)이고 E는 활성화에너지이다. 따라서 가온율을 $\beta = dT/dt$ 라 할 때

$$\frac{dn}{dT} = \frac{1}{\beta} \frac{dn}{dt} = n \cdot \frac{S}{\beta} \cdot \exp(-E/kT) \dots\dots\dots(2)$$

이고 이를 적분하면

$$n = n_0 \cdot \exp\left[-\frac{S}{\beta} \int_{T_0}^T \exp(-E/kT') dT'\right] \dots\dots\dots(3)$$

를 얻을 수 있으므로 열발광의 세기 $I(T)$ 는

$$I(T) = C \cdot n_0 \cdot S \cdot \exp(-E/kT) \cdot \exp\left[-\frac{S}{\beta} \int_{T_0}^T \exp(-E/kT') dT'\right] \dots\dots(4)$$

이다. 여기서 n_0 는 포획전자의 초기밀도, k 는 Boltzmann 상수, T_0 는 방사선 조사시의 온도, T 는 가열온도이다.

Randall-Wilkins 이론은 재포획 과정을 고려하지 않는 1차 발광과정에 의한 열형광 현상에는 잘 적용되지만 재결합과 재포획이 거의 같은 비율로 일어나는 2차 발광과정 및 다중 재포획(multiple retrapping) 등의 복합 발광과정에 의한 열발광 현상에는 잘 맞지 않는 것으로 알려져 있다¹⁸⁾.

한편 Galick-Gibson¹⁹⁾은 Randall-Wilkins의 이론을 확장하여 재결합율과 재포획율이 같은 비율로 일어나는 2차 발광과정에 대해

$$\frac{dn}{dt} = n^2 \cdot S \cdot \exp(-E/kT) \dots\dots\dots(5)$$

로 놓음으로써 2차 발광과정에 대한 열발광의 세기 $I(T)$ 를 다음과 같이 유도하였다.

$$I(T) = C \cdot n_0 \cdot S \cdot \exp(-E/kT) \cdot \left[1 + \frac{S}{\beta} \int_{T_0}^T \exp(-E/kT') dT'\right]^{-2} \dots\dots(6)$$

또한 Chen²⁰⁾은 다중 재포획을 고려하여

$$\frac{dn}{dt} = n^m \cdot S \cdot \exp(-E/kT) \dots\dots\dots(7)$$

로 놓음으로써 복합 발광과정에 의한 열발광의 세기 $I(T)$ 는

$$I(T) = C \cdot n_0 \cdot S \cdot \exp(-E/kT) \cdot \left[1 + (m-1) \frac{S}{\beta} \int_{T_0}^T \exp(-E/kT') dT'\right]^{1-m} \dots\dots\dots(8)$$

로 주어짐을 밝혔다. 이 때 $m(m>1)$ 은 실험적으로 측정되는 매개변수로서 열발광 과정의 차수를 의미한다.

이와 같이 측정된 glow curve로부터 활성화 에너지 E (eV)와 진동수 인자 S , 열발광 과정의 차수 m 등의 포획 매개변수를 결정하기 위하여

initial rise 법, different heating rate 법, peak shape 법, isothermal decay 법 등의 여러 방법이 알려져 있다²¹⁾.

한편 IP는 열에 의해서 형광을 발광하는 현상(thermoluminescence)을 응용한 것과 가시광에 의해서 형광을 발광하는 현상(photo-stimulated luminescence)을 응용한 것이 있다.

X선이 IP에 입사하면 형광체 내의 준안정 상태에 전자가 포획되고 다시 형광체에 열을 가하면 준안정 상태에 축적되어 있던 X선 에너지는 형광으로 변환되어 방출된다. 방출되는 형광은 감도가 높은 필름을 이용하여 암실에서 사진촬영하거나 CO₂ 레이저를 형광면 상에 2차원적으로 주사해서 발생하는 형광의 세기를 광전자 증배관으로 시간에 따른 신호를 측정하여 컴퓨터로 화상을 재구성하면 형광면 상에 기록된 X선 상을 읽을 수 있다(그림 2)¹²⁾.

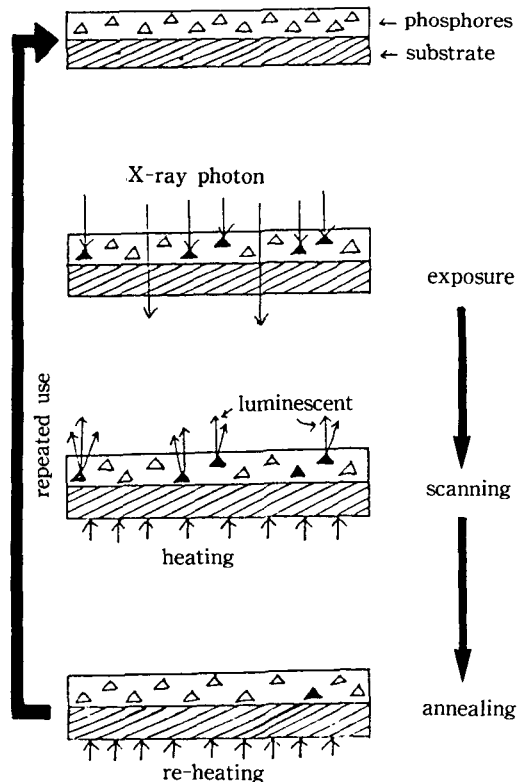


Fig. 2. Principle of imaging plate.

III. 실험

1. 열형광체의 제작

IP에 사용하는 열형광체는 X선에 대한 감도가 높아야 하므로 주로 CaSO_4 , Mg_2SiO_4 및 BaSO_4 를 모체로 하여 각종 희토류 원소를 불순물로 첨가한 열형광체가 사용되고 있다^{11,13,16)}.

본 연구에서는 CaSO_4 에 Mn과 희토류 원소인 Dy 및 Tm을 불순물로 첨가한 열형광체를 제작하여 그 특성을 조사하였으며 불순물의 농도는 CaSO_4 에 대해 Mn의 경우²²⁾는 3 mol%, Dy²³⁾와 Tm^{24,25)}의 경우는 0.1 mol%를 최적농도로 정하였다.

불순물을 활성화하기 위하여 Dy_2O_3 , Tm_2O_3 , Mn을 10% H_2SO_4 용액에 용해시키고 다시 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 용해시켜 적외선 등으로써 건조시킨 후 알루미늄 도가니에 넣어 전기로에서 Dy, Tm의 경우는 600°C에서, Mn의 경우에는 800°C에서 각각 2시간동안 소성시켰다.

소성한 열형광체는 200 mesh ($\phi \approx 70 \mu\text{m}$)로 입자를 선별하여 실험에 사용하였으며 Mo target의 X선관(42 KV, 1mA)를 사용하여 시료에 X선을 조사한 후 열발광분석기로서 glow curve와 스펙트럼을 측정하였다.

2. 영상판(imaging plate : IP)의 제작

100 μm 두께의 알루미늄 기판을 $5.4 \times 5.4 \text{ cm}^2$ 크기로 준비한 후 기판의 가장자리 둘레에 폭 0.2 cm 테두리의 마스크를 부착한 다음 10% NaOH

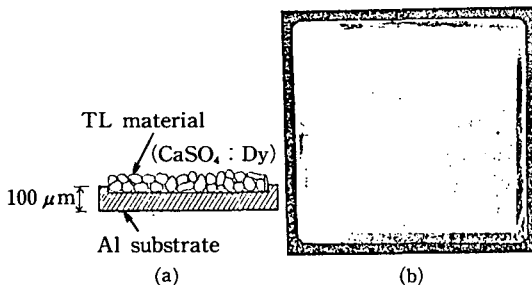


Fig. 3. Cross-section (a) and photograph (b) of IP(CaSO_4 : Dy).

용액에서 부식시킴으로 오염된 알루미늄 기판을 세척하고 열형광체를 침전하여 도포시키고 건조시킬 때 기판의 가장자리 부근에서 열형광체가 흘러 내리는 것을 방지하였다.

중류수를 담은 비이커에 열형광체를 완전히 희석시킨 후 알루미늄 기판을 수평으로 유지하면서 일정시간동안 넣어둠으로서 일정한 두께의 열형광체가 도포되도록 하였다. 열형광체가 도포된 알루미늄 기판을 적외선등으로 건조시킨 후 건조기에서 100°C로 2시간 가열하여 기판과 열형광체와의 밀착을 강화한 후 IP로 사용하였다. 이 때 알루미늄 기판이 구부러지지 않도록 주의하여야 정확한 영상을 얻을 수 있고 도포된 형광체가 떨어지는 것을 방지할 수 있다.

한편 도포된 열형광체의 질량을 측정하여 IP의 두께를 결정하였다.

그림 3은 제작한 IP의 단면도와 사진이다.

3. 실험장치 및 방법

그림 4는 본 실험에서 사용한 열형광 측정장치이다.

백금 플란셋(planchette)에 담은 시료(CaSO_4 : Dy)를 세라믹 열판으로 가열하고 이 때 방출되는 TL을 광증배관(Model R268, Hamamatsu Co. Japan)으로 검출하였다. 광증배관과 시료 사이에는 수정필터를 두어 세라믹 열판으로부터 나오는 열선이 광증배관에 영향을 주지 않도록 하였다.

열발광분석기(Model 2001 S, Top Electronics Co. Japan)는 광증배관에 전원을 공급하며 광증배관으로부터의 TL 신호를 증폭한다.

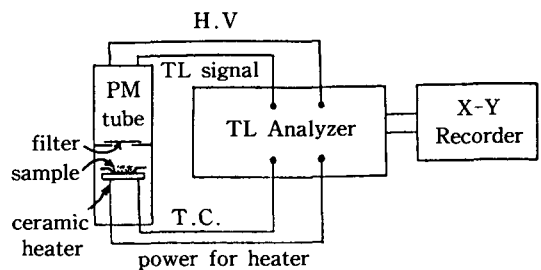


Fig. 4. Schematics of TL readout system.

또한 세라믹 열판의 가온율을 조절하며 CC (copper-constantan) 열전대를 이용하여 열판의 온도를 측정한다. 그리고 열발광분석기로부터 온도신호를 X축, TL의 세기신호를 Y축으로 하여 X-Y 기록계로써 glow curve를 얻었다.

그리고 간섭필터를 광증배관의 앞에 설치하여 파장에 따른 광증배관의 감도를 보정한 후 단파장의 glow curve를 측정하고 개인용 컴퓨터(IBM/PC)를 사용하여 이를 각 온도에서의 스펙트럼으로 재구성함으로써 TL 스펙트럼을 측정하였다.

표 1은 본 실험에 사용한 간섭필터(일본 진공광학 주식회사 제품)의 파장과 각 필터의 분해능이다.

한편 IP의 영상을 재생하기 위한 여러 방법이 개발되고 있으며 특히 열풍(hot air)이나 레이저로써 IP를 가열하고 이 때의 TL을 광증배관으로 검출하면서 IP를 주사(scanning)하여 디지털화된 영상신호를 컴퓨터로 재구성하여 IP의 영상을 얻는 방법이 연구되고 있다^{9,13)}.

본 연구에서는 IP의 영상에 기초적 특성조사를 위하여 직접 사진촬영에 의하여 IP의 영상을 얻었으며 그림 5는 본 실험에서 사용한 IP 영상의 사진촬영 장치도이다.

IP를 가열하기 위하여 온도분포가 균일한 5×7

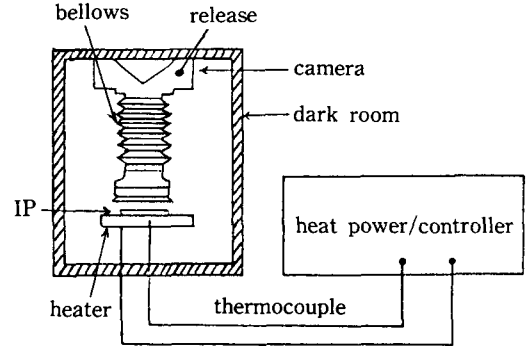


Fig. 5. Schematics of photographic observation system.

cm² 크기의 열판을 제작하고 열전대와 온도조절기로서 열판의 가온율을 조절하였으며 적외선에 의한 잡음을 줄이기 위하여 300°C까지 가열하였다.

사진필름은 빛에 대한 감도가 좋을수록 적은 선량으로도 영상을 촬영할 수 있으나 감도가 너무 높으면 필름 유제의 입자가 커지므로 분해능이 떨어지는 단점이 있으므로 이를 고려하여 본 실험에서는 ISO 1000 칼라필름(Kodak)을 사용하였다. 카메라의 조리개를 최대로 열고 열판의 온도가 100~300°C까지의 시간동안 셔터를 열어 주름상자를 사용하여 IP의 영상을 근접 촬영하였다.

Table 1. Wavelength and resolution of each interference filters

| No. | λ_{max} (nm) | $\Delta\lambda_{1/2}$ (nm) |
|-----|----------------------|----------------------------|
| 1 | 398 | 18.5 |
| 2 | 423 | 14 |
| 3 | 449 | 14 |
| 4 | 472.5 | 11 |
| 5 | 501 | 12 |
| 6 | 523.5 | 10.5 |
| 7 | 548 | 11 |
| 8 | 575.5 | 14 |
| 9 | 598.5 | 12.5 |
| 10 | 627.5 | 12 |
| 11 | 648.5 | 13 |
| 12 | 676.5 | 15.5 |
| 13 | 701 | 13.5 |

IV. 실험결과 및 고찰

1. 열형광체의 물리적 특성

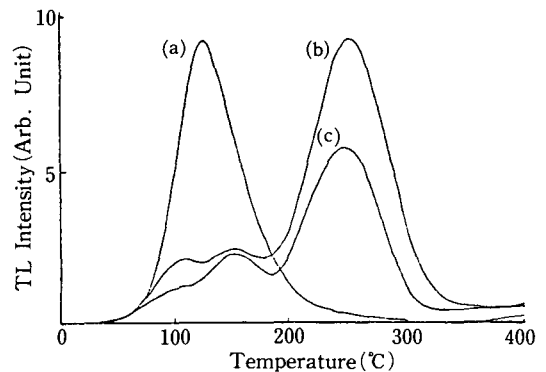


Fig. 6. Glow curves of (a) CaSO₄:Mn, (b) CaSO₄:Dy and (c) CaSO₄:Tm at the heating rate of 6.11 °C/sec.

그림 6은 본 실험에서 제작한 열형광체 CaSO_4 : Mn(3 mol%), CaSO_4 : Dy(0.1 mol%) 및 CaSO_4 : Tm(0.1 mol%)의 glow curve로서 주 peak는 각각 약 120°C, 235°C, 230°C 부근이었다.

동일한 X선 조사선량에 대해 주 peak의 상대적 감도는 1 : 1 : 0.7 정도로서 CaSO_4 : Dy와 CaSO_4 : Mn의 세기가 높았고 이것은 표준 TLD-100에 비해 약 60배의 감도를 나타내었다.

Table 2. Comparison of thermoluminescent properties of CaSO_4 doped with Mn, Dy and Tm.

| phosphor property | CaSO_4 : Mn | CaSO_4 : Dy | CaSO_4 : Tm |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| Main peak | 120°C | 235°C | 230°C |
| IR | / | E=1.23 eV m=2, s=3×10 EII/s | E=1.18 eV m=2 |
| PS | 1.08 eV m=2 | E=1.29 eV | E=1.23 eV |
| DHR | / | E=1.23 eV | E=1.19 eV |
| ITD | / | m=2 | m=2 |
| Rel. sensitivity to TLD-100 | 60 | 60 | 30 |
| Linear dose response | 40 mR-2000 R | 40 mR-2000 R | 0.2 mR-300 R |
| Fading | 50%/100 hrs | 2%/month | 1~2%/month |
| Spectral peak | 5000 Å | 5000, 5750 Å | 4750 Å |

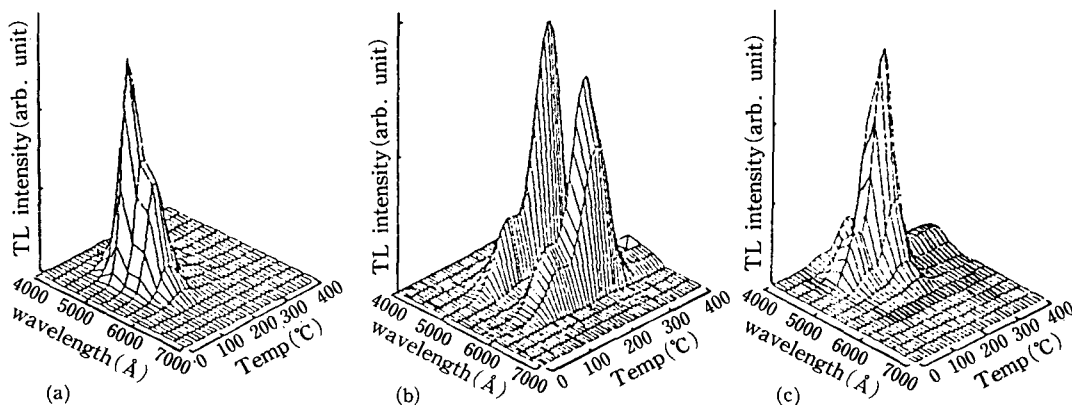


Fig. 7. Isometric plot of the TL intensity vs. wavelength and temperature for (a) CaSO_4 : Mn, (b) CaSO_4 : Dy and (c) CaSO_4 : Tm.

한편 이들 열형광체의 glow curve의 모양은 이미 발표된 여러 결과^{22,23,26,)}와 동일하게 나타났으며 이들에 대한 포획매개변수를 여러 방법으로 측정된 결과를 요약하면 표 2와 같다. 그리고 주 peak의 감쇠율은 이미 발표된 결과들^{25,26)}과 동일하게 나타났다.

한편 그림 7은 각 열형광체에 대해 간섭필터로 측정된 3차원 발광 스펙트럼이고 사진 1은 발광사진이다. 스펙트럼의 주 peak는 $\text{CaSO}_4 : \text{Mn}$ 의 경우 약 5000 Å, $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 의 경우 약 5000 Å와 약 5750 Å 그리고 $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ 의 경우 약 4750 Å과 약 4000 Å이었다. 이 결과는 이미 발표된 측정결

과와 거의 일치하였으며²⁷⁾ 이러한 발광 스펙트럼은 각각 Mn^{2+} , Dy^{3+} , Tm^{3+} 의 발광에 의한 것으로 알려져 있다²⁸⁾.

그리고 glow curve의 각 peak의 상대적 감도는 서로 다르나 발광 스펙트럼의 peak가 거의 비슷한 온도 영역에서 SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , O_3^{2-} 유리기에 의한 정공 포획준위의 깊이에 의한 특성으로 알려져 있다²⁵⁾.

이상의 결과로부터 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 가 주 peak의 세기와 안정성이 가장 좋으므로 IP에 보다 적합함을 알 수 있으며 본 실험에서는 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 로 제작한 IP의 특성을 조사하였다.

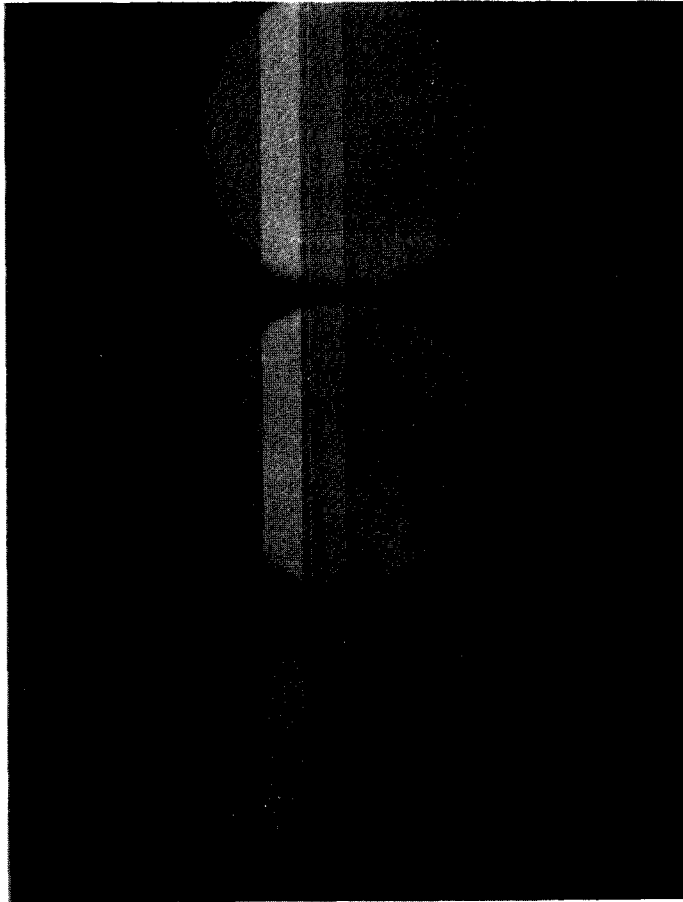


Photo. 1. Photographs showing the thermoluminescence in (a) $\text{CaSO}_4 : \text{Mn}$, (b) $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ and (c) $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$.

2. 영상판(IP)의 특성

그림 8은 IP에 동일한 두께로 도포한 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 분말의 입자 크기에 따른 TL 감도의 변화로써 $250 \mu\text{m}$ 이하의 입자크기에 대해서는 TL의 세기가 거의 일정했으며 본 실험에서는 $70 \mu\text{m}$ (200 mesh)의 분말로서 IP를 제작하였다.

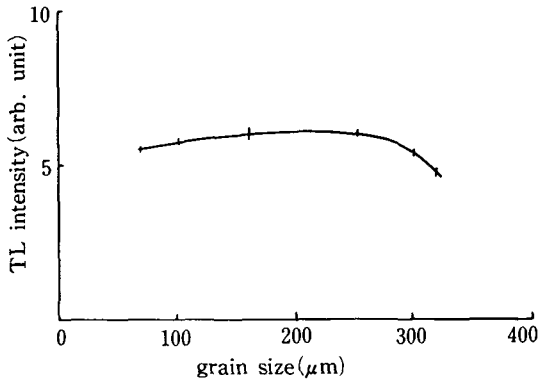


Fig. 8. TL intensity vs. grain size.

그림 9는 IP에 도포된 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 의 두께 변화에 대한 TL 세기의 변화로써 35 mg/cm^2 이상의 두께에서는 TL의 세기가 포화되었으며 이는 열형광층의 두께가 너무 두꺼우면 도포된 열형광층의 아랫부분에서의 발광하는 빛이 자체 흡수되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서는 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 의 도포층의 두께를 30 mg/cm^2 로 하였다.

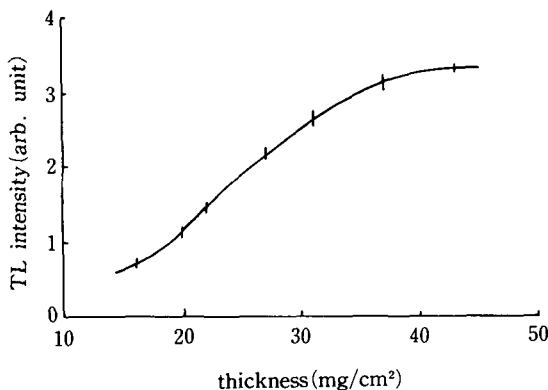


Fig. 9. TL intensity vs. thickness

그림 10은 IP에 도포된 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 의 X선 조사에 대한 TL 세기의 선량 의존성으로서 앞서 열형광체의 분말에서 측정된 것과 같이 $0.4 \text{ mGy} \sim 20 \text{ Gy}$ 의 범위에서 거의 선형적이었으며 종래의 X선 필름이 $10 \text{ mGy} \sim 0.2 \text{ Gy}$ 의 좁은 범위에서만 선형적인 감도 특성을 갖는 것¹³⁾에 비해 매우 넓은 영역에서 선형적인 선량 의존성을 나타내었다. 따라서 IP는 영상 재생장치를 적절히 개발하여 사용함으로써 X선 필름의 경우보다 조사선량을 줄일 수 있고 보다 넓은 선량 범위에서 선명한 X선 영상을 얻을 수 있을 것이다.

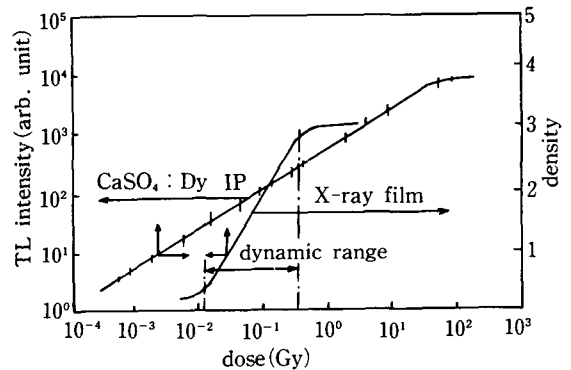


Fig. 10. Comparison of dose response curves : the $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ phosphor and a silver halide emulsion film for X-ray.

사진 2~8은 ISO 1000의 고감도 칼라필름으로 촬영한 IP의 X선 영상이며 IP의 경우 X선 필름보다 4~5배 정도의 X선 선량을 조사하여야 직접 사진 촬영이 가능하였다.

사진 2의 (a)는 IP에 X선을 조사한 경우이고, (b)는 X선을 조사하지 않은 경우의 IP 영상 재생 사진이다.

사진 2의 (a)의 둥근 부분은 X선 발생장치에 부착된 조리개를 둥근 것으로 사용했기 때문에 IP에 기억되어 있는 화상도 둥글게 나타났다. 그러나 (b)는 X선을 조사하지 않았으므로 IP에 열을 가해도 화상이 나타나지 않았다.

사진 3은 투과도계 (penetrameter)에 대한 X선 영상으로서 (a)는 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 를 이용한 IP에 의한 상이며 (b)는 X선 필름 (Kodak)에 의한 상으로서 두 경우 모두 선명한 영상을 얻을 수 있었다.

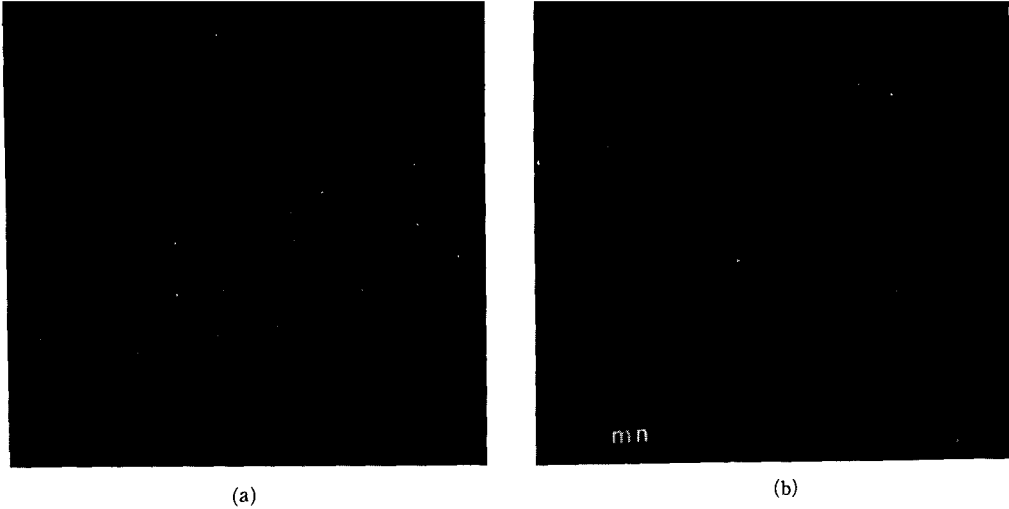


Photo. 2. X-ray image on imaging plate (a) with exposure and (b) without exposure.

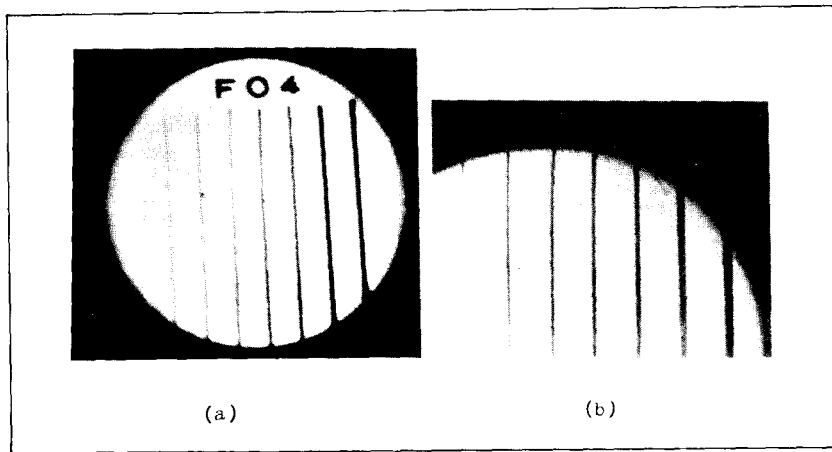


Photo. 3. X-ray image of penetrameter : (a) IP and (b) X-ray film.

Table 3. Design for FO4 penetrameter structure.

unit : mm

| Type | diameter | | | | | | | distance of line center | length |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|--------|
| | 0.20 | 0.25 | 0.32 | 0.40 | 0.50 | 0.64 | 0.80 | | |
| FO4 | 0.20 | 0.25 | 0.32 | 0.40 | 0.50 | 0.64 | 0.80 | 4 | 40 |

본 실험에서 사용한 일본 공업규격의 FO4 투과도계는 7선의 굵기가 다른 철사를 플라스틱 판에 배열한 것으로 그 규격은 표 3과 같다.

사진 4는 1mm 두께의 납으로 만든 문자를 IP 전면부에 부착하고 X선을 조사한 경우이다. 이 사진

에서 선명하게 문자를 해독할 수 있었다.

사진 5는 1mm×1mm 크기의 기공을 가진 0.5mm 굵기의 mesh를 IP 전면부에 두고 X선을 조사한 경우로서 mesh의 선명한 상을 얻을 수 있었다.

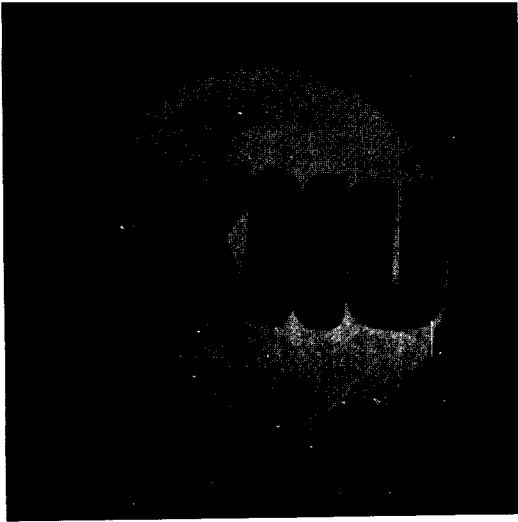


Photo. 4. X-ray image of graphic mask made of Pb on imaging plate

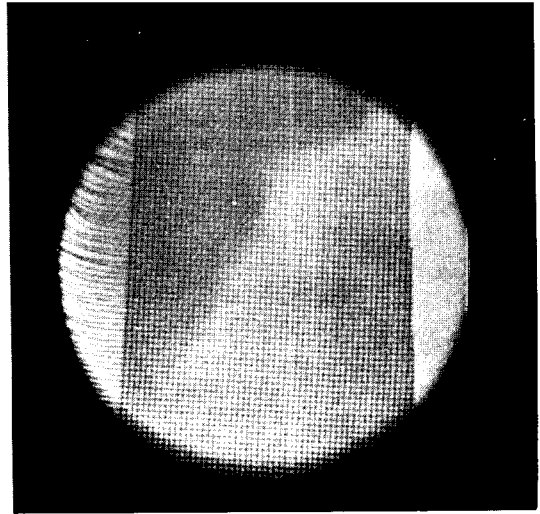


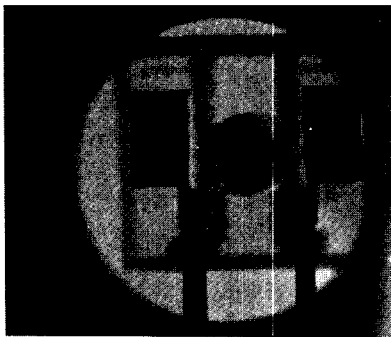
Photo. 5. X-ray image of mesh on imaging plate

한편 사진 6과 7은 비파괴 검사의 목적으로 촬영한 플러그와 나무판에 나사못을 박은 물체의 X선 영상으로서 IP에 의한 상은 플러그의 플라스틱 부분과 나무재질 부분이 X선 필름의 경우보다 명확히 구별됨을 알 수 있다.

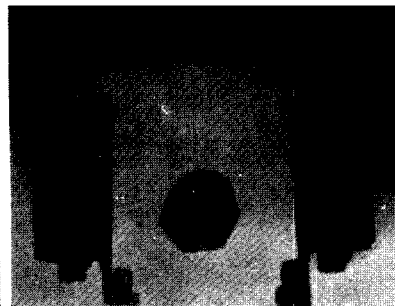
사진 8도 비파괴 검사 실험으로 주사기 바늘을 넣은 상태의 보호용 cap을 피사체로 두고 X선을 조사한 경우이다. 이 사진에서도 주사기 바늘과

보호용 cap의 형상이 구별되고 있다. 따라서 IP는 X선 조사선량이 큰 경우 직접 사진촬영에 의한 X선 영상재생이 가능하고 X선 필름보다도 선명한 상을 얻을 수 있다.

또한 적절한 디지털 영상 재생장치를 개발하면 X선 필름보다 낮은 선량으로서도 고분해능을 갖는 영상의 재생이 가능할 것으로 생각된다.



(a)



(b)

Photo. 6. X-ray image of the test object, plug : (a) IP and (b) X-ray film.

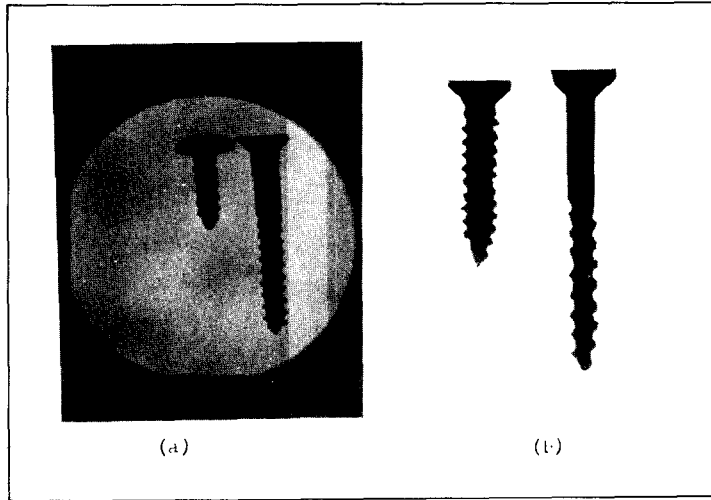


Photo. 7. X-ray image of the test object, screws embedded in wood :
 (a) IP and (b) X-ray film.

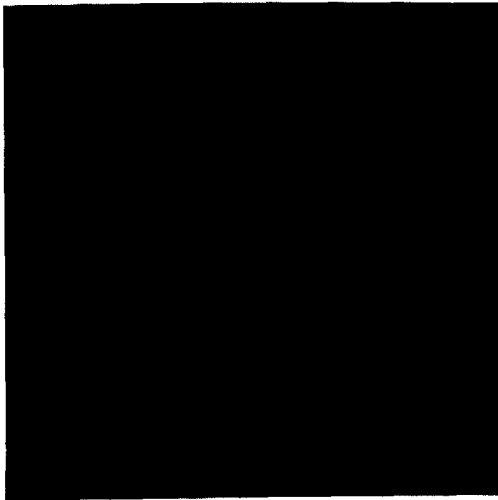


Photo. 8. X-ray image of needle of syringe
 on imaging plate.

V. 결 론

본 실험에서는 $\text{CaSO}_4 : \text{Mn}$ (3 mol%), $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ (0.1 mol%) 및 $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ (0.1 mol%)의 열형광체를 제작하여 물리적 특성을 조사하였으며 X선에 대한 감도와 감쇠율 특성 등을 고려할 때 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 가 IP에 가장 적합하였다. 제작한 $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 분말을 Al 기관 위에 도포하여 IP를 만들었고 X선에 대한 IP의 감도는 도포된

$\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ 의 두께가 35 mg/cm^2 까지 선형적으로 증가하였으며 분말의 입자 굵기가 $70 \sim 250 \mu\text{m}$ 범위에서는 거의 일정하였다. 또한 $0.4 \text{ mGy} \sim 20 \text{ Gy}$ 의 넓은 X선 조사선량 범위에서 선형적인 선량의 준성을 나타내었다.

한편 직접 사진촬영에 의해 IP의 영상을 재생한 결과, X선 필름에 비해 4~5배 정도의 조사선량이 필요하였으나 X선 필름보다 더욱 선명한 영상을 얻을 수 있었다. 또한 레이저 가열방식과 PISA

(Photon-counting Image Acquisition System) 등을 사용한 디지털 영상재생기술을 개발함으로써 X선 필름의 경우보다 적은 선량으로서 더욱 선명한 영상을 얻을 수 있을 것으로 생각되므로 X선 radio-graphy 및 X선 회절실험 등에 널리 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. J. R. Cameron, N. Suntharalingam and G. N. Kenney : Thermoluminescent Dosimetry, Univ. of Wisconsin Press, 30, 1968.
2. I. A. Berstein, B. Bjarngard and D. Jones : Health Phys., 14, 3, 1968.
3. R. M. Hall and C. N. Wright : Health Phys., 14, 37, 1968.
4. W. C. Las and T. G. Stoebe : Rad. Prot. Dosim., 8(1/2), 45, 1984.
5. V. V. Ratnam : Nucl. Tracks, 10(1/2), 33, 1985.
6. K. Ninagawa, S. Miono, M. Yoshida and N. Takoaka : Lettere Al. Nuovo. Cimento, 38(2), 33, 1983.
7. V. Mejdahl : Nucl. Tracks, 10(1/2), 133, 1985.
8. P. Broadhead and G. A. Newman : J. Phys. E. Sci. Instru., 5, 69, 1972.
9. S. Miono : Nucl. Instru. Meth., 128, 173, 1975.
10. I. Yamamoto, T. Tomiyama, H. Miyai, T. Wada and Y. Yamashita : Nucl. Instru. Meth., 224, 573, 1984.
11. Y. Okamoto, S. Kawaguchi, S. Kino, S. Miono, T. Kitajima, A. Misaki and T. Saito : Nucl. Instru., Meth., A243, 219, 1986.
12. Y. Amemiya, N. Kamiya and J. Miyahara : Appl. Phys., 55(10), 957, 1986.
13. Y. Yasuno, M. Tsutsui, O. Yamamoto and T. Yamashita : Rad Prot. Dosim., 6(1/4), 341, 1983.
14. Y. Yasuno, M. Tsutsui, O. Yamamoto and T. Yamashita : Jpn. J. Appl. Phys., 21(6), 967, 1982.
15. J. Miyahara and H. Kato : Appl. Phys., 53(10), 884, 1984.
16. K. Imaeda, T. Kitajima, K. Kuga, S. Miono, A. Misaki, M. Nakamura, K. Ninagawa, B. Okamoto, O. Savedra, T. Wada, I. Yamamoto and Y. Yamashita : Nucl. Instru. Meth., A241, 567, 1985.
17. J. T. Randall and M. H. F. Wilkins : Proc. Roy. Soc., A184, 366, 1945.
18. D. W. Cooke : Rad. Prot. Dosim., 8(1/2), 117, 1984.
19. G. F. J. Garlick : J. Appl. Phys., 3, 169, 1952.
20. R. Chen : J. Appl. Phys., 40, 575, 1969.
21. R. Chen and Y. Kirsh : Analysis of Thermally Stimulated Process, Pergamon Press, 1981, Ch. 6.
22. Y. H. Kang, B. W. Rah, T. J. Choi, D. S. Kim and S. H. Do : New physics, 25(4), 479, 1985.
23. T. J. Choi, D. S. Kim, S. H. Do, B. W. Rah and Y. H. Kang : New Physics, 26(6), 506, 1986.
24. T. Yamashita, N. Nada, H. Onishi and S. Kitamura : Health Phys., 21, 295, 1971.
25. K. S. V. Nambi, V. N. Bapat and A. K. Ganguly : J. Phys. C. Solid State Phys., 7, 4403, 1974.
26. A. R. Lakshmanan, S. S. Shinde and R. C. Bhatt : Rad. Prot. Dosim., 16, (3), 237, 1986.
27. P. J. Fox, R. A. Akber and J. R. Prescott : J. Phys. D. Appl. Phys., 21, 188, 1988.
28. C. M. Sunta : Nucl. Tracks, 10(1/2), 47, 1985.