

CaWO₄ 및 Gd₂O₂S : Tb 증감지의 형광체 형태와 사진감도 특성에 관한 연구

동아엑스선기계 방사선기술연구소

이인자 · 허 준

Abstract

A Study on the Photographic Characteristics Related to the Morphology of Phosphor Layers in the CaWO₄ and Gd₂O₂S : Tb Screen

In Ja Lee, Joon Huh

Institute of Radiological Technology Dong A X-ray Co., LTD.

Recently, various screen film system have been introduced in diagnostic radiology. There are two kinds of screen film system : blue emitting CaWO₄ screen has been largely used in these days. However, it tends to be changed to use green emitting Gd₂O₂S : Tb screen.

In this study, photographic characteristics of CaWO₄ and Gd₂O₂S : Tb screen were investigated with luminescence, spectroscopy. The morphology of CaWO₄ and Gd₂O₂S : Tb were also observed by using scanning electron microscope.

The result obtained were as follows :

1. There was small difference in the thickness of phosphor layers for the front and back screen of blue emitting system, but little difference in those of green emitting system.
2. There was no difference in the size of phosphor particles between the front and back screen for each screen. However, the particle size was different for the various kinds of screens.
3. The shape of phosphor particle was round with many faces for all the screens.
4. In the exposure of X-ray with the same intensity, luminescent intensity of a green emitting system was 6~7 times larger than that of a blue emitting system.
5. The thickness of phosphor layers does not affect on the sensitivity of the screens exposed by X-ray.

I. 서 론

W.C Roentgen(1895)에 의해 X선이 발견된 직후에 개발된 CaWO_4 증감지에 의한 직접 촬영기술은 현재까지도 이어지고 있다. 또 X선장치를 비롯한 관련기기의 개발과 함께 사진의 화질을 향상시키는데 크게 기여하고 있다¹⁾. 그 후 증감지의 종류는 다양화 되어가고 있다. 특히 1970년대에는 환자에 대한 조사선량 경감과 사진의 화질을 향상시키기 위하여 증감지와 필름의 특성을 개량하는 연구가 시작되었다. 1972년에 R. A Buchanan 등²⁾은 회토류 형광체를 증감지에 응용하여 종전에 이용되지 못하던 ortho film과 조합하여 직접촬영에 실용화하게 되었다^{3~5)}.

X선용 회토류 형광체 증감지는 CaWO_4 증감지에 비해서 가격이 고가이지만 높은 발광효율이 있어 증감지의 특성을 비약적으로 높일 수 있었다. 특히 환자의 X선 조사선량의 경감과 양질의 의료진달에 크게 기여하였다^{6~9)}. 동시에 단시간 촬영, 소초점 X선관의 이용, 회토류 증감지 및 ortho film의 개량 등으로 사진화질이 더욱 향상되고 있다. 현재 각급 의료기관에서 사용하고 있는 증감지의 종류는 전 세계 유명 회사에서 판매되고 있는 것만도 27종에 달하고 있다¹⁰⁾. 또 외국의 일부 국가에서는 이 회토류 증감지 시스템의 이용이 매우 활발하다. 그러나 우리나라에서는 아직도 사진화질이나 경제성 때문에 많은 의료기관에서 CaWO_4 증감지를 대부분 이용하고 있다. 과거에 CaWO_4 증감지는 형광체 입자를 균일하게 분산시킨 구조를 가진 것이 보통이었다. 최근에는 높은 고화질을 내기 위해서 형광체 입자를 경사 입경 구조, 2층 구조^{11,12)} 및 CaWO_4 형광체의 고화질과 청색발광 회토류 형광체인 $\text{BaFCl} \cdot \text{BaSO}_4 : \text{Eu}$ 을 사용한 異種 형광체가 2층 구조로 하여 사진의 화질을 개량시키고 있다^{11,13)}. 이렇게 다양한 증감지가 개발되어 이용되고 있으나 실제 임상응용에서 화질을 향상시키고 조사 선량 경감에 대응하기 위해서는 촬영 목적

에 따르는 증감지를 선정해야 하며 이에 대한 보고는 많이 있다^{13~16)}. 그러나 형광체 자체의 물리 화학적 특성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 국내외에서 사용되고 있는 청색 발광의 CaWO_4 증감지 8종류와 녹색 발광의 회토류형광체($\text{Gd}_2\text{O}_3\text{S} : \text{Tb}$) 증감지 10종류에 대한 물리 화학적 특성에 대하여 연구하였다. 즉 각 증감지의 형광체층의 두께와 형광체 입자의 크기 및 그 분산 상태를 알아보기 위해 전자현미경(SEM) 사진을 촬영하여 관찰하였다. 또 증감지의 형광체에 따른 파형을 보기 위해 빛으로 조사시켜 발광 spectrum을 보았다. 각 증감지에 X선을 조사시켰을 때 형광체의 휘도를 보기 위해 형광량을 측정하였다. 또 실제 X선 촬영시 각 증감지가 필름을 흑화시킬 수 있는 능력, 즉 감도 및 대조도를 측정하기 위해서 특성곡선(H-D curve)을 작성하였다. 특성곡선을 이용하여 상대 감도와 X선 사진의 대조도를 산출한 후 각 증감지에 대한 특성을 비교 연구하였다.

II. 재료 및 방법

1. 기기 및 재료

1) 기기

각 증감지의 형광체층에 따른 입자의 크기 및 모양을 보기 위해 전자현미경(Scanning Electron Microscope(SEM)은 ISI-SX-30E(Akashi Co.)을 사용하고, Ion Coater는 IB-3(Eiko Co.)을 사용하였다. 형광체에 따른 발광 파형을 관찰하기 위해 광원으로 Xe lamp(XBO 150W, Osram Co.)와 Power Supply(model 68700, Oriel Co.)을 KIST에서 제작한 Fluorescence Spectrometer를 사용하였다. 또 X선조사에 대한 형광체의 휘도를 관찰하기 위해 X선 발생장치 100kV-100mA(EHWA X-ray Co.)로 X선을 조사하여 이때 나오는 형광량을 multi-test meter 360A(TK Co.)로 측정하였다. 각 증감지의 감도와 대조도를 측정하기 위한

특성곡선을 작성하기 위해 X선발생장치 super 80 CP(Philips Co.)를 사용하였다. 자동현상기는 New QX 1200(Sakura Co.), 농도계는 PDA-81(Sakura Co.)를 사용하였고 grid는 12:1(JPI Co.)을 사용하였다.

2) 재료

청색 발광계 증감지는 CaWO_4 형광체로 발광 효율이 5%, 425 nm의 발광 파장을 가지며, K 흡수단이 69.48 keV이고 정방정형 결정으로 비중이 6.1인 Fine, Universal, High Speed, High Plus와 B-Series(BF-III, BM-III, BH-III, BX-III(Kasei Optonic Co.))를 사용하였다. 녹색 발광계 증감지는 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 형광체를 가지고 발광효율이 13%이며, 545 nm의 발광파장을 가지며, K 흡수단이 50.22 keV였고, 육방정형 결정으로 비중이 7.3인 Grenex G3, FG3, FG4, FG6, FG8, HR-12, HR-16(Fuji Co.)과 KF, KM, KR(Konica Co.)을 사용하였다. 또 필름은 청색 수광계인 New Rx(Fuji Co.)와 녹색 수광계인 MG(Konica Co.)를 사용하였으며, 피사체로는 Acryl 40 cm×40 cm×8 cm를 사용하여 실험하였다.

2. 실험방법

1) 형광체층의 형태 관찰

증감지의 형광체층의 두께와 형광체 입자의 크기 및 형광체층의 분포를 관찰하기 위하여 국내외에서 구입할 수 있는 청색 발광 증감지인 CaWO_4 계 8종류와 녹색 발광계 증감지 중 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 형광체로 된 10종류의 증감지를 각각 전·후면으로 분리하여 36개의 시료를 만들었다.

각각의 시료의 단면을 등근 쇠 판에 수직으로 세운 다음 Ion coater(IB-3, Eiko Co.)에 0.2 torr, 5 mA, 3 분간 Gold coating 시킨 후 Scanning Electron Microscope(ESI-SX-30E, Akashi Co.)로 각각의 상태를 관찰한 다음 촬영하였다.

2) 형광체의 발광 spectra

형광체의 종류에 따른 spectrum을 알아보기 위하여 CaWO_4 계 중 BM-III 전면증감지와 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 계 중 FG4 전면 증감지를 각각 0.8 cm×0.6 cm로 오려서 보호막을 제거한 후 시료를 만들었다. 광원으로 Xe lamp(XBO 150W, Osram Co.)와 Power Supply(Model 68700, Oriel Co.)를 부착한 Fluorescence Spectrometer(KIST 제작)를 사용하였다. 청색 발광 형광체(BM-III 전면 증감지)는 261.8 nm의 단일파로 excitation slit width : 3.16 mm)시켜 emission spectrum slit width : 0.4 mm)을 관찰하였다. 또 녹색 발광 형광체(FG4 전면 증감지)는 298.0 nm의 단일파로 excitation slit width : 1.56 mm)시켜 emission spectrum slit width : 0.1 mm)을 관찰하였다. 이 때 PMT voltage는 800 V, filter는 excitation시는 모두 Ug5를 썼고, emission시는 청색 발광계에 350, 녹색 발광계에 400짜리 glass filter를 사용하였다.

3) 증감지 종류에 따른 X선 형광량 측정

청색 발광계(CaWO_4) 증감지와 녹색 발광계($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$) 증감지의 X선에 대한 형광량을 측정하기 위해 모든 증감지의 전·후면을 2.6 cm×2.7 cm 크기로 오렸다. 이 중 Fine 전면 증감지를 X선발생장치(100 kV-100 mA, EHWA X-ray Co.)의 조사야 조절기 안에 넣고 관전압을 50, 60, 70, 80 및 90 kVp, 관전류 4 mA, 조사시간 5 sec로 X선을 조사하였다. 이 때 나오는 형광량을 Multi-test meter(360A, TK Co.)로 측정하였다. 이와같은 방법으로 모든 증감지에 대해서 형광량을 측정하였다.

4) 증감지에 따른 사진 감도 특성

실제 X선조사시 각 증감지의 감도 및 대조도를 알아보기 위하여 한 cassette 내에 CaWO_4 를 형광체로 갖고 있는 8종류의 증감지를 폭 1.5 cm, 길이 25 cm, 간격 0.5 cm로 하여 Fig. 1과 같이 오려 붙였다. 또 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 를 형광체로 갖고 있는 10종류의 증감지도 위와 동일

한 크기로 하여 한 cassette 내에 오려 붙였다. CaWO_4 증감지가 있는 cassette에 New Rx film (Fuji Co.)을 넣고 focus-film distance(FFD)를 변화시키면서^{20~22)} 관전압 80 kVp와 120 kVp에서 acryl phantom 40 cm×40 cm×8 cm를 놓고 100 mA×5 msce로 노광하였다. 노광된 필름을 자동현상기(New Qx 1200, Sakura Co.)로 31.5 °C에서 90초 현상한 후 농도계(PDA-81, Sakura Co.)로 농도를 측정하였다. 측정된 농도치를 이용하여 X축에는 비노광량(Log Exposure), Y축에는 농도(density)값으로 하고 특성곡선을 작성하였다. 이 특성곡선의 일정 농도(D)=1.0+Fog(Film base density)에서 BM-III 양면 증감지와 FG4 양면 증감지를 100으로 했을 때의 상대적 감도를 구하였다. 또 모든 증감지의 양면 증감지를 100으로 했을 때 전면 증감지와 후면 증감지의 감도 및 특성곡선의 직선부의 기울기 즉 대조도를 구하였다. 형광체에 따른 감도 및 대조도, 또 양면 증감지와 전·후면 증감지의 감도 및 대조도를 비교 검토 하였다.

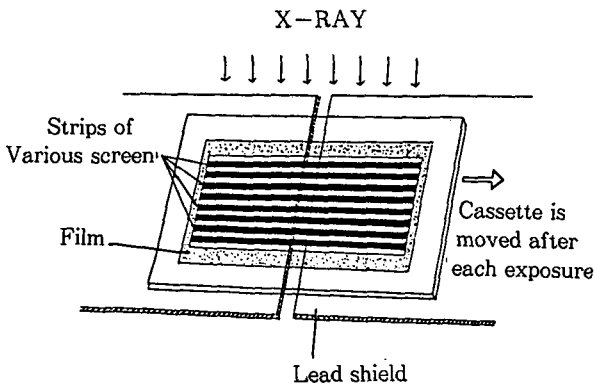


Fig. 1. Set up for detection of speed and contrast of screen film system.

III. 결과 및 관찰

1. 형광체층의 형태

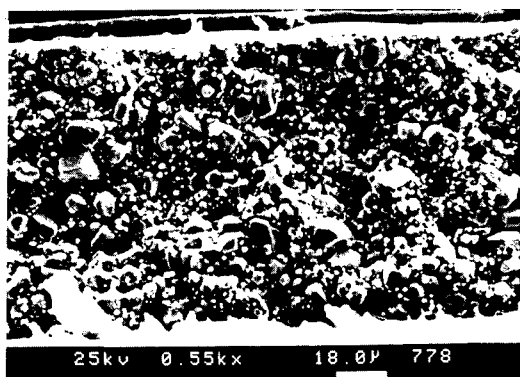
N. Miura¹¹⁾은 증감지의 특성은 형광막 중의

충전도, 형광체 입자의 크기, 형광체 입자 크기의 분포, 형광체 입자 크기의 형태, 분산도에 의존한다고 했다. 또 형광체층의 두께에 대해서는 전·후면 증감지를 합한 값($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)으로 나타내고 있다^{17~19)}. 본 연구에서는 각 증감지의 전·후면 형광체층의 두께 및 입자의 크기에 대해서 SEM 사진으로 측정한 결과를 μm 로 나타내었다. Table 1에서 보면 CaWO_4 를 형광체로 한 청색발광의 형광체층의 두께는 104~280 μm 정도로 각 증감지에 따라 차이가 있었다. 전·후면 증감지의 형광체층의 두께는 전면 증감지가 104~174 μm , 후면 증감지가 106~280 μm 로서 후면 증감지의 두께가 두꺼웠다. 형광체 입자의 크기도 후면 증감지가 약간 크다는 것을 알 수 있었다. 또 형광체 입자의 분포상태는 Fig. 2의 a와 같이 모두 균일층이다. 단 B-series 증감지의 형광체층의 입자의 분포상태는 Fig. 2의 b와 같이 비교적 큰 것(5~15 μm)이 증감지의 표면에 분포되었고, 작은 것(2~3 μm)은 증감지의 base쪽에 있어 다층층의 구조를 가지고 있었다. 또한 鈴木商生¹⁷⁾에 의하면 증감지의 형광체층 입자의 형태는 구형에 가까울수록 좋다고 하였다. 또 그의 연구에 따르면 고품질의 증감지는 높은 휘도의 형광체가 필요하다. 형광막 중에서 형광체 발광을 유효하게 방출시키기 위해서는 입자 형태를 구형에 가까운 結晶이 되게 함으로서 형광막 중의 충전 밀도를 향상시킬 수 있다. 또 제조방법에 따라 분산성이 좋고 구형에 가까운 형광체 입자를 얻으면 휘도를 향상시킨다고 하였다. 본 연구에서도 Fig. 3의 a, b와 같이 둥근형으로 나타났으므로 형광막 중의 충전도가 향상된 것으로 사료된다. $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 를 형광체로한 녹색발광의 형광체층의 두께도 Table 1에서 보는 바와 같이 66~404 μm 로 증감지의 감도에 따라 다양하였다. 전면 증감지와 후면 증감지의 형광체층의 두께는 전면 증감지가 66~172 μm , 후면 증감지가 67~404 μm 로서 몇 종류의 특성을 갖고 있는 증감지를 제외하면 차이가 별로 없었다.

Table 1. Characteristics of phosphor layer in the blue and green emitting screen

SCREEN	Thickness of Phosphor layer(μm)		Size of particle (μm)		Morphology
	FRONT	BACK	FRONT	BACK	
Blue emitting screen	FRONT	BACK	FRONT	BACK	
Fine	104	106	6~7	6~7	Evenly layer
Universal	136	144	4~5	5~6	
High speed	139	163	9~10	6~7	
High plus	165	280	10~11	10~11	
BF-III	111	110	2~6	2~6	Multi-layer
BM-III	150	167	2~6	2~10	
BH-III	157	254	3~11	2~13	
BX-III	174	239	3~14	2~15	
Green emitting screen	FRONT	BACK	FRONT	BACK	Morphology
G3	85	88	5~8	7~8	Multi-layer
FG3	80	87	4~5	4~5	Evenly layer
FG4	105	107	9~10	6~7	
FG6	101	150	9~10	10~11	
FG8	134	150	10~11	10~11	
HR-12	134	241	4~9	7~10	
HR-16	147	404	8~11	11~12	
KF	66	67	4~5	4~5	
KM	172	147	6~7	6~7	
KR	122	128	10~11	13~14	

(a)



(b)

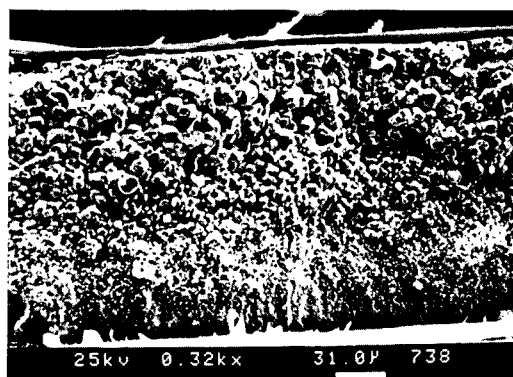


Fig. 2. SEM photomicrographs of X-ray intensifying screen : Distribution state of phosphor particles.

- (a) : Even dispersion morphology of FG4 back screen(25kV, x550 magnification)
- (b) : Multi-layer morphology of BX-III front screen(25kV, x320 magnification)

이것은 극히 일부의 고감도를 제외하고는 대부분의 증감지에서 도포량이 일정하다는 小寺吉衛 등¹⁹⁾의 보고와 일치한다. HR-12 증감지와 HR-16 증감지는 초고감도 증감지로서 HR-12 증감지의 경우 후면 형광체층과 전면 형광체층의 두께비는 1.8이며, HR-16 증감지는 2.75로 전·후면 증감지의 형광체층 두께에 차이가 있었다. 형광체 입자의 크기는 4~5 μm 에서 13~14 μm 정도로 전·후면 증감지의 형광

체 입자의 크기는 四宮惠次の 보고¹⁸⁾와 같이 선예도 유지를 위하여 큰 차이가 없었다. 녹색 발광계 형광체 입자의 모양 역시 청색계와 같이 다면의 등근형으로 형광체 입자의 크기가 큰 것부터 작은 것이 혼합되어 있는 균일층으로 되어 있었다. 단, G3, HR-12, HR-16 증감지는 다중층으로 되어 있었다. 또 형광체 입자의 모양은 청색계와 마찬가지로 등근형이었다.

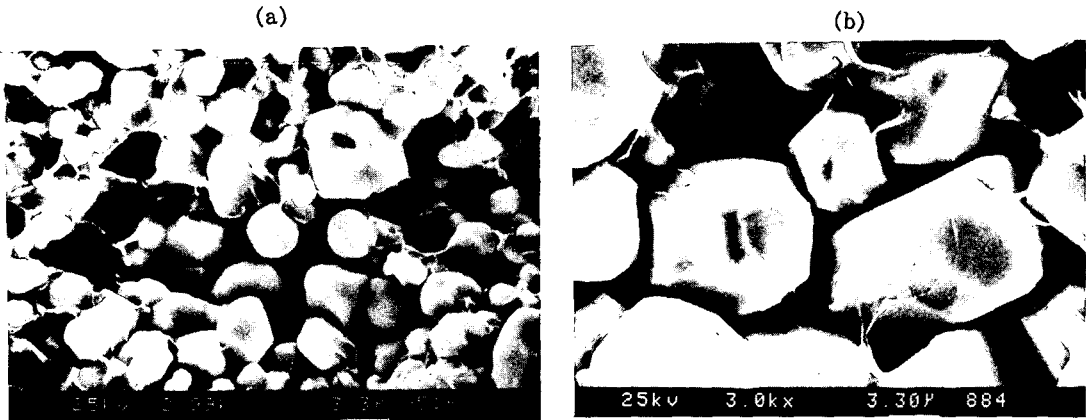


Fig. 3. SEM photomicrographs of X-ray intensifying screen : Shapes of phosphor particles.

(a) : High speed back screen(25 kV, x2990 magnification)

(b) : HR-16 front screen(25 kV, x3000 magnification)

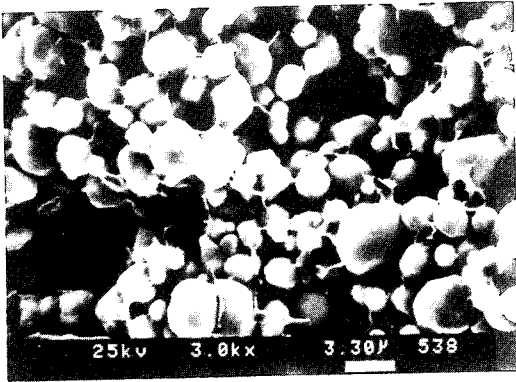
CaWO_4 증감지와 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 증감지의 형광체 입자의 크기를 보면 Fig. 4의 a, b에서 보는 바와 같다. Fig. 4의 a는 CaWO_4 증감지의 한 종류인 B-Series의 전면 증감지로서 증감지의 감도가 커지면서 입자도 커지고 있음을 알 수 있다. 또 Fig. 4의 b는 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 증감지를 감도에 따라 나열한 것이다. 증감지의 감도가 증가함에 따라 형광체 입자도 커지고 있음을 알 수 있었다.

2. 형광체의 발광 Spectra

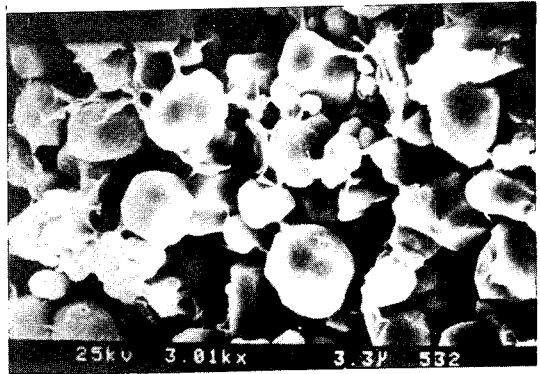
N. Miura 등¹¹⁾은 청색 발광 형광체의 최대 파장은 425 nm, 녹색 발광 형광체의 최대 파장은 545 nm로 보고¹⁷⁾하였다. 이는 鈴木商生の 보고¹⁷⁾에 의하면 각 필름의 감색성에 일치 시

키기 위한 것으로 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 에서 발광되는 녹색 빛은 Ortho type X선 필름과 조합하면 CaWO_4 증감지에 비해서 고감도를 낼 수 있다. 또 형광관에 사용하면 $(\text{ZnCd})\text{S}:\text{Ag}$ 형광관보다 고감도 고화질이 되고 또 관전압의 증가에 따라 더욱 고감도로 된다고 하였다. 본 연구의 CaWO_4 계와 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 계의 결과는 Fig. 5, 6과 같다. CaWO_4 계 증감지인 BM-III 전면 증감지의 최대 파장은 Fig. 5와 같이 428.5 nm였고, 이때 최대 강도는 1500.5였다. $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}$ 증감지인 FG4 전면 증감지의 최대 파장은 Fig. 6과 같이 546.8 nm였으며, 최대 강도는 3678.6으로 나타났다. 이는 위의 청색 발광 형광체의 최대 파장 425 nm, 녹색 발광 형광체의 최대 파장 545 nm와 거의 같은 값을 나타내고 있었다.

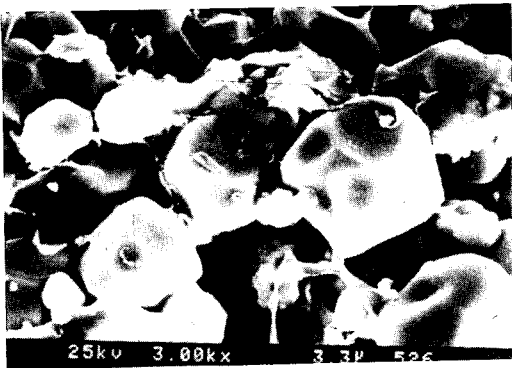
(a)



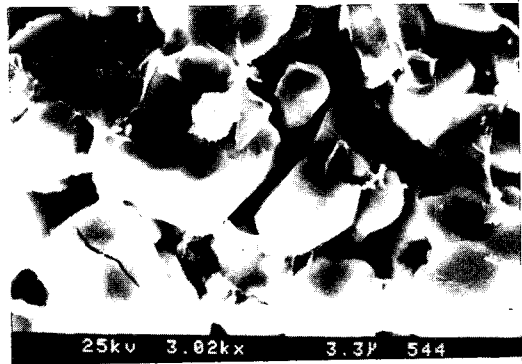
Front screen of BF-III



Front screen of BM-III

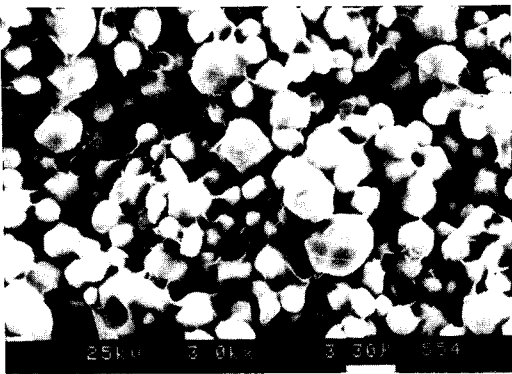


Front screen of BH-III

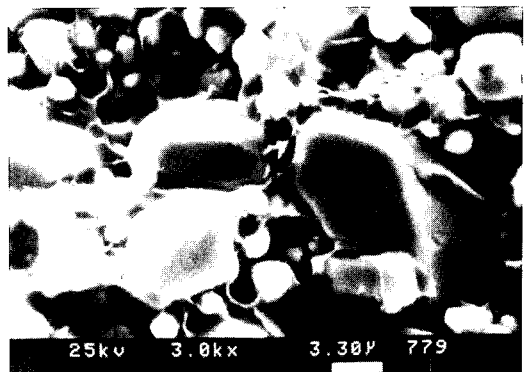


Front screen of BX-III

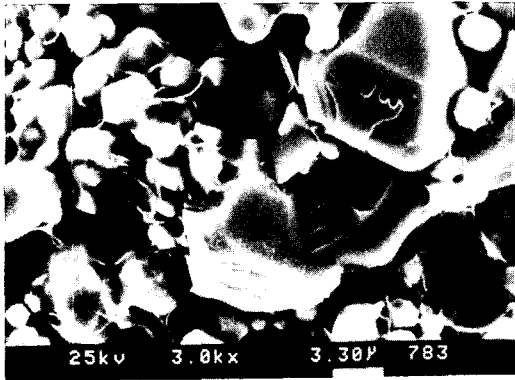
(b)



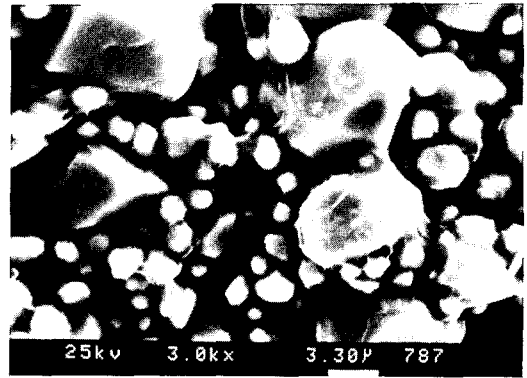
Front screen of FG 3



Front screen of FG 4



Front screen of FG 6



Front screen of FG 8



Front screen of HR-12



Front screen of HR-16

Fig. 4. SEM photomicrographs of X-ray intensifying screen size of phosphor particles in accordance of speed.

- (a) CaWO_4 front screen(B-series), (25 kV, x3000 magnification)
- (b) $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S} : \text{Tb}$ front screen(25 kV, x3000 magnification)

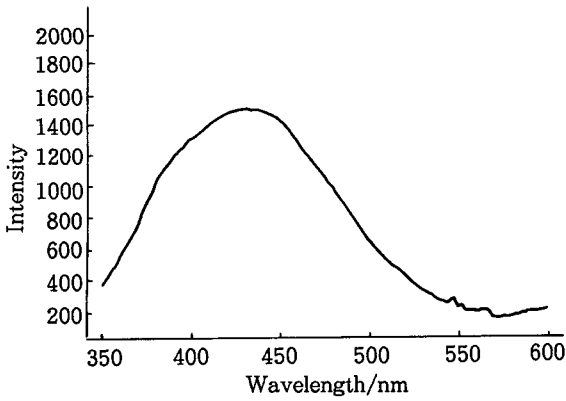


Fig. 5. Emission spectrum of BM-III front screen.
(800 V, $E_x=261.8$ nm, slit width :
0.4 mm, 350 glass filter)

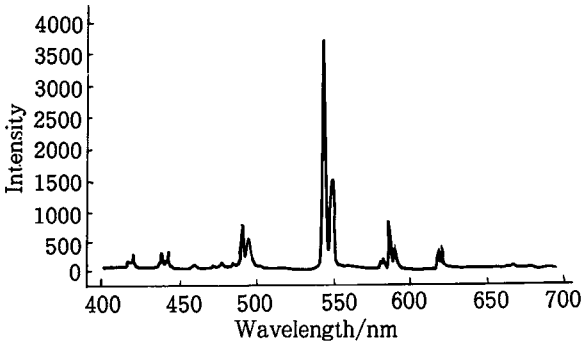


Fig. 6 Emission spectrum of FG4 front screen.
(800 V, $E_x=298$ nm, slit width : 0.1 mm,
400 glass filter)

3. 증감지 종류에 따른 X선 형광량

N. Miura 등은 형광막의 발광효율은 X선 흡수율, 발광에너지 효율, 전체 형광량에 대해서 표면이 방출한 광량의 정도에 따르는 것으로 보고하고 있다^{11,17,18)}.

본 연구에서 청색 발광계와 녹색 발광계 증감지의 형광량을 tube voltage에 따라 측정하였으며 그 결과를 Table 2, 3에 나타냈다.

청색발광계의 증감지 종류에 따른 X선 형광량은 Table 2에서 보는 바와 같이 전면 증감지에서는 50 kVp시 26~69 nA, 60 kVp시 34~101 nA, 70 KVp시는 46~129 nA, 80 kVp시 54~158 nA, 90 kVp는 69~197 nA이었다.

Table 2. Luminescence of the blue emitting screen in accordance of tube voltage

kVp	SCREEN	LUMINESCENCE(nA)	
		Front	Back
50	Fine	32.0	22.0
	Universal	35.0	31.0
	High speed	57.0	71.0
	High plus	59.0	78.0
	BF-III	26.0	31.0
	BM-III	41.0	46.0
	BH-III	42.0	54.0
	BX-III	69.0	70.0
60	Fine	34.0	31.0
	Universal	52.0	47.0
	High speed	81.0	99.0
	High plus	84.0	113.0
	BF-III	35.0	42.0
	BM-III	57.0	59.0
	BH-III	64.0	83.0
	BX-III	101.0	99.0
70	Fine	61.0	43.0
	Universal	73.0	66.0
	High speed	98.0	125.0
	High plus	113.0	147.0
	BF-III	46.0	50.0
	BM-III	70.0	71.0
	BH-III	84.0	113.0
	BX-III	129.0	131.0
80	Fine	78.0	55.0
	Universal	86.0	82.0
	High speed	131.0	170.0
	High plus	152.0	193.0
	BF-III	54.0	61.0
	BM-III	87.0	89.0
	BH-III	108.0	145.0
	BX-III	158.0	169.0
90	Fine	81.0	73.0
	Universal	105.0	103.0
	High speed	175.0	219.0
	High plus	181.0	232.0
	BF-III	69.0	66.0
	BM-III	103.0	100.0
	BH-III	127.0	168.0
	BX-III	197.0	216.0

Table 3. Luminescence of the blue emitting screen in accordance of tube voltage

kVp	SCREEN	LUMINESCENCE(nA)	
		Front	Back
50	G 3	115.0	123.0
	FG 4	195.0	199.0
	FG 6	221.0	341.0
	FG 8	354.0	347.0
	KF	75.0	50.0
	KM	218.0	219.0
	KR	285.0	282.0
60	G 3	192.0	194.0
	FG 4	321.0	320.0
	FG 6	321.0	575.0
	FG 8	579.0	575.0
	KF	121.0	88.0
	KM	360.0	361.0
	KR	461.0	455.0
70	G 3	266.0	279.0
	FG 4	459.0	474.0
	FG 6	459.0	809.0
	FG 8	826.0	809.0
	KF	172.0	126.0
	KM	519.0	502.0
	KR	642.0	643.0
80	G 3	377.0	371.0
	FG 4	633.0	629.0
	FG 6	633.0	1099.0
	FG 8	1119.0	1099.0
	KF	226.0	109.0
	KM	689.0	709.0
	KR	895.0	888.0
90	G 3	485.0	478.0
	FG 4	787.0	791.0
	FG 6	782.0	1432.0
	FG 8	1466.0	1464.0
	KF	279.0	223.0
	KM	895.0	909.0
	KR	1155.0	1125.0

또한 후면 증감지에서는 50 kVp시 22~78 nA, 60 kVp시 31~113 nA, 70 kVp시는 43~147 nA, 80 kVp시 55~193 nA, 90 kVp시 73~232 nA로 전·후면 증감지 모두 kVp가 증가되면 형광량이 증가되었다. 전면 증감지에 비해 후면 증감지의 형광량이 약간 크게 나타났는데 이는 형광체층의 두께 때문이라고 사료된다. 또 녹색 발광계의 증감지 종류에 따른 X선 형광량은 Table 3에서 보는 바와 같이 전면 증감지에서는 50 kVp시 75~354 nA, 60 kVp시 121~579 nA, 70 kVp시 172~826 nA, 80 kVp시 226~1119 nA, 90 kVp시 279~1466 nA이었다. 또 후면 증감지의 경우 형광량은 50 kVp시 50~347 nA, 60 kVp시 88~575 nA, 70 kVp시 126~809 nA, 80 kVp시 109~1099 nA, 90 kVp시 223~1465 nA로 청색 발광계와 같이 kVp가 증가하면 형광량은 증가하였다. 전·후면 증감지의 형광량은 큰 차이가 없이 비슷하였는데 이는 형광체층의 두께가 거의 같기 때문으로 사료된다. 반면 FG4 증감지와 FG6 증감지의 전면 증감지 또는 FG6 증감지와 FG8 증감지의 후면 증감지의 형광량이 똑같이 나타났다. 이는 화질을 동일하게 유지하면서 증감지의 감도를 높이기 위해서 같은 증감지를 사용했기 때문이라고 사료된다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 청색 발광 형광체에 비하여 녹색 발광 형광체에서 발생하는 형광량이 약 6배 이상 많이 측정되었는데 이는 형광체의 발광 특성 때문이라고 사료된다.

4. 증감지의 감도 특성 및 대조도

증감지의 감도 및 대조도를 알아보기 위해 Fig. 7과 같이 특성곡선을 작성하였다. CaWO_4 계와 $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S} : \text{Tb}$ 계의 감도 특성 및 대조도 변화는 Table 4, 5와 같다. CaWO_4 계의 감도 특성을 Table 4에서 보면 BM-Ⅲ 양면 증감지를 100으로 했을 때 80 kVp에서는 66~184, 120 kVp에서는 66~229였다. 전면 증감지는 80 kVp시 63~162, 120 kVp시 60~170이고, 후면

중감지는 80 kVp시 66~209 그리고 120 kVp는 66~275로 나타나 관전압이 클수록 감도 영역이 넓음을 알 수 있었다. 또 관전압 80 kVp시 양면 중감지에 비해 전면 중감지의 감도가 후면 중감지의 감도보다 확실하게 감소함을 알 수 있었다. 이는 중감지의 형광체층의 형태 및 필름 유제층 형태의 특성 때문인 것으로 사료된다. 또한 $Gd_2O_3:S:Tb$ 계에서의 감도 특성을 Table 5에서 보면 FG4 양면 중감지를 100으로 했을 때 80 kVp에서는 49~339, 120 kVp에서는 43~427로 나타났다. 전면 중감지의 감도는 80 kVp에서 50~257, 120 kVp에서 42~316이며, 후면 중감지에서는 80 kVp시 40~417, 120 kVp시 35~631로 특성을 같고 있는 몇 종류의 중감지를 제외하면 전면 중감지와 후면 중감지의 감도에는 차이가 없었다. 그러나 관전압이 클수록 감도의 영역이 넓어짐을 알 수 있다.

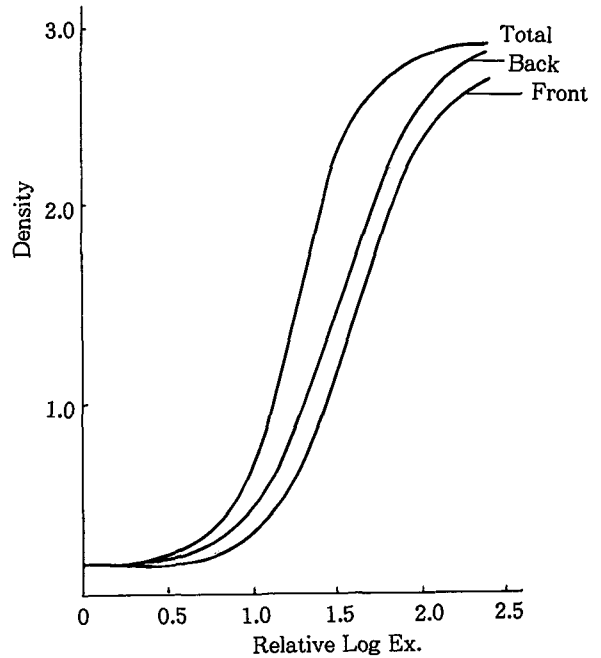


Fig. 7 Characteristic curve of FG4 screen.
(8 cm acryl phantom, 80 kV)

Table. 4 Characteristics of the blue emitting screen in accordance of tube voltage

kVp	Film	Fuji New Rx					
	Characteristics Screen	Relative speed			Contrast		
		Total	Front	Back	Total	Front	Back
80	Fine	66(100)	63(50)	68(58)	2.50	2.20	2.30
	Universal	105(100)	95(48)	102(55)	2.55	2.20	2.38
	High speed	155(100)	138(47)	166(60)	2.45	2.25	2.30
	High plus	174(100)	151(46)	209(68)	2.55	2.20	2.39
	BF-III	66(100)	66(52)	66(56)	2.50	2.17	2.30
	BM-III	100(100)	100(52)	100(56)	2.57	2.20	2.37
	BH-III	148(100)	126(45)	170(65)	2.55	2.20	2.30
	BX-III	184(100)	162(46)	204(62)	2.50	2.30	2.37
120	Fine	68(100)	60(45)	68(46)	2.50	2.19	2.25
	Universal	110(100)	93(43)	102(43)	2.40	2.30	2.25
	High speed	178(100)	145(41)	182(47)	2.38	2.20	2.30
	High plus	229(100)	170(37)	275(55)	2.31	2.25	2.18
	BF-III	66(100)	62(47)	66(46)	2.40	2.20	2.20
	BM-III	100(100)	100(50)	100(46)	2.43	2.20	2.25
	BH-III	162(100)	123(38)	191(54)	2.40	2.08	2.20
	BX-III	219(100)	162(37)	234(49)	2.36	2.25	2.20

() : Relative speed about total Screen

Table. 5 Characteristics of the green emitting screen in accordance of tube voltage

kVp	Film	Konica MG					
	Characteristics Screen	Relative speed			Contrast		
		Total	Front	Back	Total	Front	Back
80	G 3	65(100)	63(45)	59(54)	3.63	2.53	2.53
	FG 3	58(100)	54(43)	52(54)	3.50	2.53	2.47
	FG 4	100(100)	100(46)	100(49)	3.80	2.67	2.65
	FG 6	141(100)	100(32)	174(72)	3.57	2.67	2.50
	FG 8	181(100)	191(48)	174(56)	3.63	2.80	2.50
	HR-12	275(100)	191(32)	339(72)	3.40	2.80	2.55
	HR-16	339(100)	257(35)	417(72)	3.50	2.75	2.60
	KF	49(100)	50(47)	40(48)	3.50	2.53	2.40
	KM	117(100)	120(47)	126(63)	3.33	2.70	2.65
	KR	170(100)	174(47)	155(54)	3.77	2.63	2.75
120	G 3	56(100)	58(47)	55(50)	3.33	2.50	2.46
	FG 3	62(100)	54(46)	50(48)	3.10	2.25	2.47
	FG 4	100(100)	100(46)	100(51)	3.10	2.56	2.40
	FG 6	151(100)	100(30)	200(68)	3.00	2.50	2.40
	FG 8	219(100)	209(44)	200(47)	3.05	2.50	2.40
	HR-12	316(100)	209(30)	398(65)	3.08	2.50	2.21
	HR-16	427(100)	316(34)	631(76)	3.00	2.22	2.00
	KF	43(100)	42(45)	35(43)	3.20	2.45	2.20
	KM	123(100)	126(47)	126(52)	3.25	2.63	2.20
	KR	214(100)	191(41)	195(47)	3.13	2.44	2.21

() : Relative speed about total screen

또 청색 발광 증감지의 대조도는 Table 4에
서와 같이 양면 증감지가 80 kVp시 2.45~2.
57, 120 kVp시 2.31~2.50이었다. 전면 증감지
는 80 kVp시 2.17~2.30, 120 kVp시는 2.08~2.
30로 나타났으며, 후면 증감지는 80 kVp시 2.
30~2.39, 120 kVp에서는 2.18~2.30으로 나타
났다. 이것은 모두 관전압이 증가할수록 증가
되었으며 이 등이 대조도는 증감지 감도에 의
존하는 것은 없고, film이나 관전압에 의한다고
보고²³⁾한 바와 일치하였다. 또한 전·후면 증
감지를 비교해 보면 80 kVp시는 전면 증감지
에 비해 후면 증감지가 대체로 크다. 한편
120 kVp시에는 큰 차이가 나타나지 않았는데

이는 관전압이 커지면 단과장화가 되기 때문으
로 사료된다. 또 녹색 발광 증감지의 대조도는
Table 5에서와 같이 양면 증감지가 80 kVp시
3.33~3.80, 120 kVp시 3.00~3.33이었고 전면
증감지는 80 kVp시 2.53~2.80, 120 kVp에서는
2.22~2.63이었으며, 후면 증감지는 80 kVp시
2.40~2.75, 120 kVp는 2.00~2.47이었다. 이들
은 모두 관전압이 증가하면 저하되었다. 이는
전면 증감지와 후면 증감지에서 모두 같은 경
향을 보였다. 전·후면 증감지를 비교해 보면
80 kVp와 120 kVp시 모두 전면 증감지가 후면
증감지에 비해 약간 증가함을 알 수 있었다.
또 청색 발광계 증감지의 대조도와 녹색 발광

계 $Gd_2O_3:S:Tb$ 증감지의 대조도를 비교해 보면 녹색 발광계가 약간 크게 나타났음을 알 수 있었다. 이는 윤 등²⁴⁾이 대조도는 청색 발광계에 비해서 녹색 발광계가 떨어진다는 보고와

상반됨으로 다시 한번 검토해 보아야 되리라 사료된다. 관전압 변화에 따른 청색 발광계 증감지와 녹색 발광계 증감지의 감도는 Table 6 과 같다.

Table 6. Relative speed of the blue and green emitting system in accordance of tube voltage

Screen	kVp	80			120			
	Forms Film	Total	Front	Back	Total	Front	Back	
Fine	Fuji	66	63	68	68	60	68	
Universal		105	95	110	110	93	102	
High speed		155	138	178	178	145	182	
High plus		New	174	151	229	229	170	275
BF-III		Rx	66	66	66	66	62	66
BM-III			100	100	100	100	100	100
BH-III			148	126	162	162	123	191
BX-III			184	162	219	219	162	234
G 3		Konica MG	65	63	59	56	58	50
FG 3	58		54	52	62	54	50	
FG 4	100		100	100	100	100	100	
FG 6	141		100	174	151	100	200	
FG 8	182		191	174	219	209	200	
HR-12	275		191	339	316	209	398	
HR-16	339		257	417	427	316	631	
KF	49		50	40	43	42	35	
KM	117		120	126	123	126	126	
KR	170		174	155	214	191	195	

Table 6에서 보면 청색 발광계 증감지 및 녹색 발광계 증감지의 감도는 관전압이 클수록 증가되고 있었다. 이러한 경향은 전면 증감지와 후면 증감지에서도 모두 같음을 알 수 있었다. N. Miura 등은 $CaWO_4$ 계 중 B-series 증감지에서 BF-III 증감지의 감도는 가장 작지만 선에도 형으로 미세한 부위의 진단을 목적으로 사용되고 있다고 보고¹¹⁾ 하였다. 본 연구 결과 복부, 요추, 생식기, 비뇨기계 등의 촬영에 사용되는 BX-III 증감지는 BF-III 증감지에 비해 감도가 80 kVp는 2.78배, 120 kVp는 3.32배였다. 또 $Gd_2O_3:S:Tb$ 계 중 HR-16 증감

지는 FG3 증감지에 비해 감도가 80 kVp시 5.84배, 120 kVp시 6.89배로 증가 되었다. 감도가 관전압에 따라 변화 한다는 것을 알 수 있다. HR-12, HR-16과 같은 초고감도 증감지는 단시간의 촬영과 소초점의 X선관을 이용할 수 있어 복부, 요추, 비뇨기계 등의 대선량을 필요로 하는 부위에 적합하고 확대촬영, 혈관 촬영이나 장치용량이 작은 portable 촬영에서 위력을 발휘하고 있다. 특히 허는 green 영역에 감도 peak가 있는 희토류 형광체가 감도를 증가시킬 수 있는 것은 ortho type film이다. 할로겐은의 고유의 청색영역과 분광 감도의 증감

색소에 있는 green 영역의 peak(550 nm)가 그 빛을 최대한도로 이용할 수 있도록 분광 감도 특성이 개량되었다. 그러므로 청색 발광 증감지에 비해 고감도, 고화질화가 되었다고 보고¹²⁾ 하고 있다. 노광량에 대한 대조도의 관계 즉 증감지의 양면, 전면, 후면 증감지의 계조도 곡선은 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보면 양면 증감지는 비노광량 log 1.0~1.5 정도에서 대조도가 가장 크다. 전면 증감지와 후면 증감지의 대조도는 큰 차이가 없으나 노광영역 log 1.0~2.0에서 크고 양면 증감지에 비해 전면 증감지나 후면 증감지의 노광영역이 넓은을 알 수 있었다.

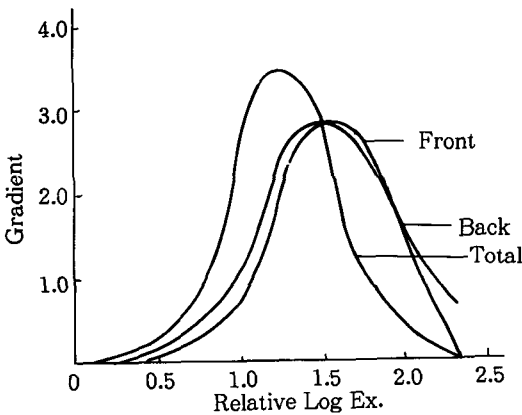


Fig. 8. Gradient curve of FG4 screen at 80 kVp

IV. 결 론

국내외에서 사용하고 있는 청색 발광의 CaWO_4 증감지와 녹색 발광의 희토류($\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:S:Tb}$) 증감지의 형태와 사진 감도 특성에 관한 관계를 보기 위해서 SEM, Spectrum, 형광량 및 X선 사진의 감도와 대조도 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 형광체층의 두께는 청색 발광계의 전·후면 증감지에서는 차이가 있으나, 녹색 발광계의 전·후면 증감지에서는 거의 차이가 없었다. 초고감도 전·후면 증감지의

형광체층의 두께는 차이가 매우 큼을 알았다.

2. 형광체 입자의 크기는 전·후면 증감지에서는 큰 차이가 없었으나, 증감지의 감도 종류에 따라서 다양하였다.
3. 형광체 입자의 모양은 청색 발광계나 녹색 발광계 모두 면을 많이 갖고 있는 등 근형이었다.
4. 같은 량의 X선 조사시 형광량은 녹색 발광계가 청색 발광계보다 약 6~7배 많았다.
5. X선의 감도는 전·후면 증감지의 형광체층의 두께가 다를 지라도 HR-12, HR-16을 제외하면 큰 차이를 보이지 않았다.

(본 연구를 위해 바쁘신 중에도 실험을 할 수 있도록 도와주신 KIST의 김창홍 선생님에 비롯하여 고체화학 연구실 여러분께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 실험을 하도록 협조해주신 고려대학교 안암병원 김영환 선생님께 사의를 표합니다.)

참 고 문 헌

1. 内田 勝·金森仁志·稱津 博：放射線畫像情報工學(1), pp.319~320, 通商産業研究社, 1980.
2. Buchanan, Robert A. Finkelstein, Solon 1. Wickersheim. Kenneth A : X-Ray Exposure Reduction Using Rare-Earth oxysulfide Intensifying Screens Radiology 105 : 185~190, 1972.
3. Thomas S. Curry 111, James E. Dowdey, Robert G. Murry, Jr. : Chistensen's Introduction to the physics of Diagnostic Radiology, Lea & Febiger, pp.113~121, 1984.
4. Stewart C. Bushong : Radiologic Science for Technologists, Physics, Biology and protection, The C.U Mosby Company, pp. 250~255, 1984.
5. 許俊·金昌均·姜弘錫·李善淑·宋在寬·李相奭：胸部X線撮影에 있어서 稀土類 增

- 感紙 使用에 따른 被曝線量 輕減에 관한 檢討, 韓國放射線技術研究會, 4(1):23~30, 1981.
6. 許俊: 稀土類 增感紙와 필름에 대한 評價, 韓國放射線技術研究會, 4(1):3~7, 1981.
 7. 許俊·金昌均·姜弘錫·李善淑·李寅子: Fuji 稀土類增感紙와 整色性필름에 關한 檢討, 大韓放射線技術學會誌, 7(1):71~77, 1984.
 8. 許俊·金昌均·姜弘錫·李善淑·李寅子: Fuji 稀土類增感紙와 整色性필름에 關한 檢討-非整色性 필름系와의 比較-大韓放射線技術學會誌, 9(1) 83~87, 1986.
 9. 許俊·金昌均: 稀土類增感紙에 關한 研究, 韓國放射線技術研究會誌, 1(1):15~24, 1978.
 10. 허준: 필름 증감지계의 현황과 미래, 大韓放射線技術學會誌, 13(2):67~75, 1990.
 11. Miura Norio, Shimizu Etsuo, Suzuki Yujiro, Aokiyuji: Development of The High Quality X-ray Intensifying Screen, B-series, Kasei optonix, LTD pp.17~22, 1985.
 12. 許俊: 螢光增感紙의 基礎와 應用, 大韓放射線技術學會誌, 11(1):89~102, 1988.
 13. Rossl Raymond P, Hendes willam R. Ahrens. chuck R.: An Evaluation of rare Earth screen/film combinations, Radiology, 121:465~471, 1976.
 14. 許俊: 放射線像情報學, 新光出版社 pp.145~154, 1991.
 15. The on Ovltt, Richard Moore, Kurt Amplatz: The Evaluation of High-speed screen-film combinations in Angiography, Radiology, 114:449~452, 1975.
 16. 山本登·下司博之·原坂仁詞·鈴木敦雄·畠山高志·赤木直樹·沖野和弘·横田典和·森田典和·田和 誠·伊東賢二·久保嘉彦: 血管造影に使用する增感紙 フィルムの組合せとコントラスト, 日本放射線技術學會雜誌, 42(7):962~972, 1986.
 17. 鈴木尚生·清水悅雄·鈴木優二郎·西村芳貢: 稀土類增感紙 I-稀土類螢光體とクリーン發光增感紙-極光 X-Ray, 25:2~34, 1986.
 - 18 四宮惠次: 增感紙の X線エネルギー有効利用に關する研究, 日本放射線技術學會雜誌, 43(9):1435~1450, 1987.
 - 19 小寺吉衛·土井邦雄·陳衡萍: シカゴ大學における醫用畫像研究につて一增感紙フィルム系の感度と X線吸收特性一, 日本放射線技術學會雜誌, 4(3):516~531, 1885.
 20. 姜弘錫·許俊: 增感紙-Film 系の 感度測定에 關한 實驗, 大韓放射線技術學會誌, 11(1):3~16, 1988.
 21. 허준·김창균·강홍석·이선숙: 알루미늄 계단을 이용한 X선 필름의 감도측정법에 관한 새로운 시도, 大韓放射線技術學會誌, 6(1):35~41, 1983.
 22. Gunnila Holje·Kunio Doi: 新しいスクリーン-フィルム系の增感, センシトメトリー解像, および雜音特性, 日本放射線技術學會雜誌, 39(4):426~447, 1983.
 23. 이인자·허준·강홍석·윤철호: 증감지에 따른 피사체 대조도의 변화, 大韓放射線技術學會誌, 13(2):27~30, 1990.
 24. 윤철호·강홍석·이인자·허준: 증감지의 발광스펙트럼에 따른 특성곡선의 변화, 大韓放射線技術學會誌, 13(2):21~25, 1990.