

2001 추계 학술발표회 논문집

한국 원자력학회

## 란탄계열 활성체를 첨가한 $\text{LiPO}_3$ 신섬광체의 제작 및 발광특성 연구

### Study on the fabrication and photoluminescence characteristics of $\text{LiPO}_3$ glass scintillators with the lanthanides activators

정석준, 이재민, 황주호, 최석호

경희대학교

경기도 용인시 기흥읍 서천 1리

S.Yu. Sumarokov

Institute for Single Crystals

60 Lenin avenue, Kharkov, 61001, Ukraine

#### 요약

$\text{LiPO}_3$ 에 란탄계열의 원소들을 활성체로 첨가하여 'LiPO<sub>3</sub>:Lanthanides' 유리 섬광체를 제작하였다. 제작된 유리 섬광체의 최적의 가열 조건을 도출하였고, 광발광(photoluminescence, PL) 특성을 분석하였다. 유리 섬광체의 투명도가 최적의 되는 가열 조건은 온도가 950°C, 시간이 90 min으로 나타났다. PL 측정 결과 란탄계열의 원소 중 Pr, Nd, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu은 활성체로서의 적용이 불가능한 것으로 나타났다. Eu(II)와 Eu(III)는 각각 420, 620 nm에서 피크파장을 나타냈고, Ce(III)는 약 380 nm에서, Tb(III)는 약 550 nm에서 피크를 형성하였다. 섬광체 제작에 환원제로서 설탕과 Ar 환원 분위기를 적용할 경우에 발광강도가 향상되었는데, 활성체의 종류에 따라 최적의 환원조건은 각각 다르게 나타남을 알 수 있었다. Eu(II)와 Tb(III)은 Ar 환원 분위기에서, Ce(III)는 설탕을 환원제로 첨가하여 시료를 제작하였을 경우에 가장 좋은 발광강도를 나타냈다.

#### Abstract

In this study,  $\text{LiPO}_3$  glass scintillators were fabricated, and lanthanides(except Pm) oxides or chlorides were used as an activator. For the fabrication of  $\text{LiPO}_3$  glasses, optimum heating conditions were obtained, and the photoluminescence of the glasses was measured by the monochromator. For the best transparency of the glass samples, optimum heating temperature and time is 950 °C and 90 min, respectively. As the result of photoluminescence analysis, it was impossible to apply Pr, Nd, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, and Lu to activator. Because emission spectrum of samples with them was equal to that of sample without activator. In case of samples with Europium, the peak of emission spectrum of Eu(II) and Eu(III) is 420 nm and 620 nm, separately. And Samples with Ce(III) are about 380 nm, and Tb(III) are about 550

nm. On the fabrication of  $\text{LiPO}_3$  glass samples, PL intensity was increased by adding sugar as reductant, and using Ar reduction atmosphere. And the optimum reduction conditions were differed as to the kinds of activators. Samples with  $\text{Eu(II)}$  and  $\text{Tb(III)}$  have the best PL intensity in the Ar reduction atmosphere, and sample with  $\text{Ce(III)}$  have the best intensity by added sugar.

## I. 서론

20세기 초 방사선 측정에 섬광체가 이용되기 시작하여 1940 연대에 와서 섬광체를 광전자증배관과 함께 사용함으로써 개개의 입자의 계수뿐만 아니라 에너지도 측정할 수 있게된 결과 섬광검출기는 방사선 측정 기술에 있어서 비약적인 발전을 가져오게 되었다. 1950년대부터 각국의 연구기관과 대학 등에서 리튬을 함유한 유리 섬광체에 대한 연구가 이루어지기 시작하였다. 1959년 Voitovetskii에 의해 lithium glass가 중성자 계측에 있어서 borate glass보다 좋은 효율을 보인다는 것을 발견한 이래, 1961년 Anderson은 6%의  $\text{Li}_2\text{O}$ 를 함유한 유리 섬광체를 제작을 시작으로 17%, 27%로 농축도를 증가시켜 나갔다<sup>[1]</sup>. 그 후, 다양한  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 농도로 제작된 유리 섬광체에 대한 연구가 더욱 발전되었고<sup>[2]</sup>, lithium glass를 적용한 JULIOS-type의 중성자 계측기도 개발되었다<sup>[3]</sup>. 그 후, 주 물질에 변화를 주어 새로운 섬광체 개발에도 많은 발전을 가져와, terbium-lithium glass<sup>[4]</sup>,  $^6\text{Li}^{158}\text{Gd}(\text{B}_3\text{O}_3)$ <sup>[5]</sup>,  $\text{LiPO}_3(\text{Bi})$  glass<sup>[6]</sup> 등 다양한 주 물질에 대한 시도가 이루어져 왔으며,  $\text{ZnS(Ag)}$ ,  $^6\text{Li}$ -glass, NE102A를 적용하여  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , 열중성자를 동시에 계측하는 장비에 대한 연구도 진행되었다<sup>[7]</sup>. 최근에는 우주개발에 대한 관심이 고조되면서 우주비행사나 승무원의 피폭에 초점을 맞추어,  $^6\text{Li}$ - $^7\text{Li}$  glass를 이용한 'multi-moderator neutron spectrometer'의 개발도 진행되고 있다<sup>[8]</sup>.

많은 유리 섬광체에 대한 연구에서 활성체로서 가장 유력하게 지목되어 온 원소가 란타넘계열의 원소이다. Fluorophosphate glasses에 '+3'가의 란타넘계열원소를 첨가하여 특성을 조사하였고<sup>[9]</sup>, borophosphate glasses에  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ , 그리고  $\text{Dy}^{3+}$ 을 첨가하여 발광특성에 대한 연구도 진행되었다<sup>[10][11]</sup>. 또한, 다양한 산화물의 x-ray 분석을 위한 발광체로서 lithium metaphosphate를 적용한 연구도 진행되었다<sup>[12][13]</sup>. 최근에 들어와서 란타넘계열원소의 환원형태인  $\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ , 그리고  $\text{Tb}^{3+}$ 에 대한 관심이 고조되면서 이들의 활성체로서의 가능성에 대한 연구에 초점이 맞추어지고 있다.

본 연구에서는 방사선의 광변환물질을 적용하는 관점에서 다가의 란타넘계열원소 산화물을 활성체로 첨가한 리튬 인산염 유리 섬광체에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 제작의 최적조건을 도출하여 리튬 인산염 유리 섬광체를 제작하였고, 중성자 검출에의 적용 가능성을 평가하기 위한 기초단계로서 monochromator를 이용하여 제작된 섬광체 시료의 광발광 특성에 대한 분석을 진행하였다.

## II. 본론

### 1. 리튬 인산염( $\text{LiPO}_3$ ) 유리 섬광체의 제작

Fig. 1은  $\text{LiPO}_3$  유리 섬광체를 제작하기 위한 흐름도이다. 란타넘계열 원소(rare-earth elements)를 첨가제로 한 유리 섬광체를 제작하는 과정으로서, 주 물질과 첨가된 활성체에 대한 성분조건을 Table 1.에 정리하였다. 분말형태의 시약을 정량하여 고온에 대한 저항성이 좋고 시약과 반응을 하지 않는 백금도가나나 탄소도가나에 넣고, 850°C이상의 고온을 유지하는 전기로에 넣어 가열시

킨다. 이 때 분말형태의 시약은 액화되고, 액화된 시약이 냉각되면 유리형태가 된다. 일정시간 동안 가열된 액화시약은 상온에서 냉각시키거나, 다시 약 300℃에서 2 ~ 4 시간 가열한 뒤 냉각시켜 물리적인 강도를 높여주는 작업을 한다. 이 열처리 작업은 크기가 큰 유리 섬광체를 제작할 경우에 적용되어 냉각 중에 결함이 발생하는 것을 막아주는 역할을 하게 된다. 유리 섬광체 시료의 제작 과정에는 ‘abrasion & polishing’ 작업이 생략된다. 가열에 있어서 최적의 온도와 시간 조건을 도출하기 위해, 온도는 각각 800℃, 850℃, 950℃를 적용하였고, 가열 시간은 30 분, 60 분, 90 분을 적용하였다. 서로 다른 가열 조건에서 제작된 유리 섬광체 시료는 육안으로도 투명도가 쉽게 구별이 가능할 정도로 확연한 차이를 보여주었는데, 그 중에서 온도가 950℃이고, 가열 시간을 90 분으로 하여 제작한 시료가 가장 좋은 투명도를 보여주어 이 온도와 시간을 이후 모든 시료에 적용하였다. 90 분의 가열시간 동안 약 10 ~ 15 분 간격으로 추가적인 혼합 작업을 수행하여 투명도를 증가시켰다.

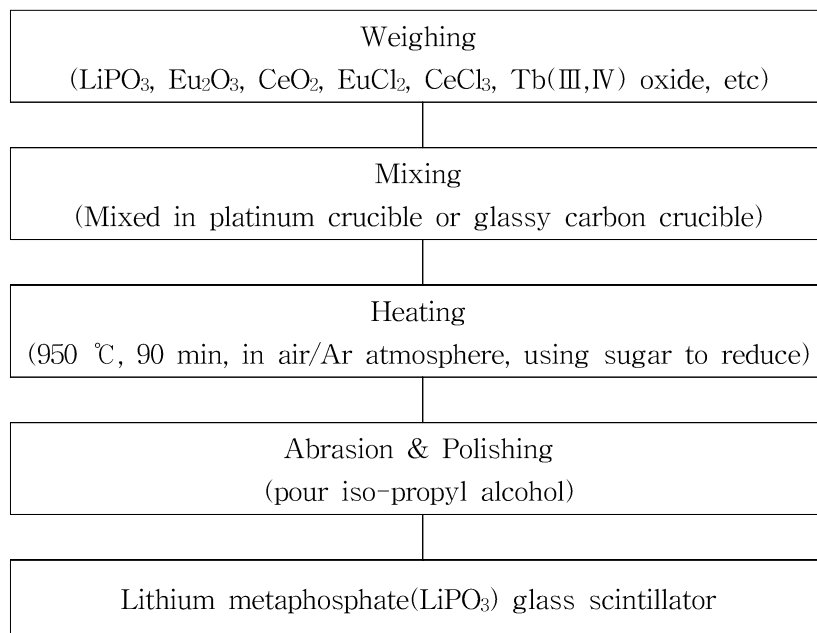


Fig. 1 Fabrication process of LiPO<sub>3</sub> glass scintillator

모든 섬광체 시료의 주 물질은 LiPO<sub>3</sub>이며, 제작에 소요된 시약의 총량은 10 g이다. 활성체 중에 Eu는 '+2', '+3' 가의 형태 두 가지를 제작하였는데, 가열동안 대기 중의 산소와 반응하여 산화되는 현상을 막기 위하여 Ar 환원 분위기를 형성하고, 설탕을 시약에 첨가하였다. 여기서 Ar 분위기와 설탕은 환원제 역할을 하게 되는데, 활성체가 산화되는 현상을 막아주고, 발광특성을 향상시키는 역할을 한다. Tb를 첨가한 섬광체 시료도 설탕과 Ar 환원 분위기를 각각 적용하여 시료를 제작하였다. Ar 환원 분위기를 형성하여 유리 섬광체를 제작할 경우, 전기로를 가열시키기 전에 시약이 들어있는 탄소도가니를 넣고, 약 2 시간 동안 전기로 내에 Ar을 주입하여 대기상태가 충분히 Ar 대기가 되도록 한 후 약 1 시간 동안 온도를 950℃로 상승시킨 뒤 이 온도에서 1 시간을 가열하여 섬광체를 제작하였다. 제작된 대부분의 시료는 무색의 투명한 유리 형태로 나타났으나, 일부에서는 활성체의 시약색에 따라 약간의 색깔을 띄기도 하였다.

Table 1. Fabrication conditions of glass samples

Sample number	Activator	Remarks	Sample number	Activator	Remarks
N1	-		N26	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
N15	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N27	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
N16	CeO <sub>2</sub>		N28	EuCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	
N17	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	yellow-green glass	N29	EuCl <sub>2</sub>	
N18	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	blue glass	N31	CeCl <sub>3</sub>	
N19	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N32	EuCl <sub>2</sub>	sugar
N20	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N33	CeCl <sub>3</sub>	sugar
N21	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N34	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (III,IV)	sugar
N22	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N35	EuCl <sub>2</sub>	Ar
N23	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	pink glass	N36	EuCl <sub>2</sub>	not trans., Ar, sugar
N24	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	light purple glass	N37	CeCl <sub>3</sub>	Ar
N25	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		N38	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (III,IV)	Ar

\* Base material : LiPO<sub>3</sub>, fraction of activated elements : 1%

\*\* Conditions : 950°C, 90 min

\*\*\* Total amount of reagents : 10 g

\*\*\*\* N1, N15 - N34 : Air atmosphere

Table 1.과 같이 각기 다른 제작조건 하에서 제작된 유리 섬광체 시료의 발광 특성을 분석하기 위해 manochromator를 이용하여 발광파장을 측정하였다.

## 2. LiPO<sub>3</sub> 유리 섬광체 시료의 발광스펙트럼 측정

물질을 구성하는 분자, 이온(ion) 및 원자 등의 전자의 기저상태가 에너지를 흡수하여 여기상태가 되었다가, 다시 안정상태로 돌아갈 때, 그 에너지 차이만큼을 빛의 형태로 방출하게 되는데 이 현상은 ‘형광(luminescence)’이라 한다. 형광은 그 원인이 되는 외부근원이 없어진 후 발광강도가 비교적 빨리 감쇠하는 발광으로 정의되며, 특히 광자에 의해 여기되는 현상을 ‘광발광(Photoluminescence, PL)’이라 한다.

많은 형광체(phosphor)와 섬광체(scintillator)에는 활성체를 첨가하여 발광 특성을 향상시켜 주게 되는데, 이러한 활성체로 많이 이용되고 있는 물질이 바로 란타넘 계열의 원소이다. 그 중에서도 특히 Eu<sup>[14][15]</sup>, Ce<sup>[16]</sup>, Tb<sup>[14][15][16]</sup>이 가장 많이 이용되고 있고, 이들 활성체를 첨가한 물질의 발광특성에 대한 연구가 상당히 진행되어 왔다. 이 외에도 Pr, Nd, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Sm, Dy를 첨가한 스펙트럼 분석에 대한 연구도 진행되어 왔다<sup>[17]</sup>.

Fig. 2는 섬광체 시료의 광발광특성을 측정하는 ‘PL 측정장치’를 보여주고 있다. PL은 325nm He-Cd 레이저광을 이용하여 상온에서 측정하였다. 발광된 빛은 렌즈를 이용하여 집광되었으며, 1 m monochromator와 GaAs photomultiplier를 사용하여 그 스펙트럼을 분석하였다. 측정신호의 잡음을 줄이기 위해서 표준방법인 ‘Lock-in 측정법’을 사용하였으며, 레이저빔의 직경은 약 0.3 mm, 빛의 세기는 약 20 mW이었다.

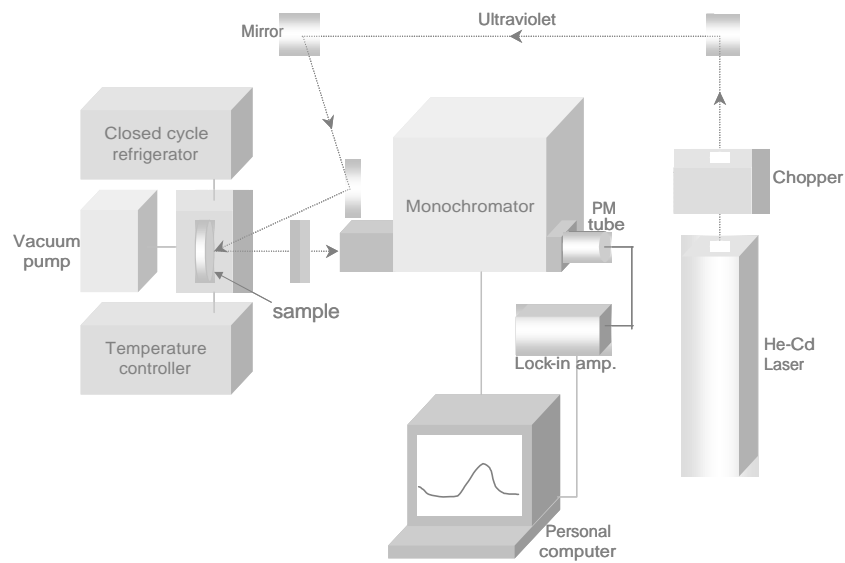


Fig. 2 Equipment of photoluminescence measurement

PL을 측정하여 그 크기를 비교할 때 'Voltage'로 표시되는 sensitivity가 있는데, 이 값이 작을수록 PL의 크기가 작다는 것을 의미한다. 예를 들어  $100 \mu V$ 로 측정된 값은  $300 \mu V$ 로 측정된 값에 비해 3 배 증폭한 것이므로, 두 데이터의 절대값을 비교하려면  $300 \mu V$ 로 측정된 값에 3 배를 하여 비교하면 된다. 또한  $1 mV$ 로 측정된 것은  $300 \mu V$ 로 측정된 것에 비해  $10/3$  배를 의미하게 되는데, 측정된 모든 데이터를 동일한 조건에서 측정하였으므로 위와 같은 방법으로 모든 데이터의 절대값 비교가 가능하게 된다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. $LiPO_3$ 유리 섬광체의 제작 조건

$LiPO_3$ 를 주 물질로 하여 유리 섬광체 시료를 제작하였다. 분말형태의 시약을 고온의 전기로에서 일정 시간 가열하면 액화상태가 되는데, 이것을 냉각시키면 유리 섬광체가 된다. 제작 과정 중 전기로 내의 온도와 가열시간이 유리 섬광체 시료의 투명도나 균질성 등을 결정짓는 주요 요인이 되는데, 최적의 조건을 도출하기 위해 다양한 시간과 온도 조건을 적용하였다. 그 결과 가열온도는  $950^\circ C$ , 가열시간은 90 분이 최적의 조건으로 나타났다. 단, 가열 도중 균질한 혼합을 위해 약 10 ~ 15 분 간격으로 백금도가니 내의 시약을 잘 혼합시켜 준다.

일반적인 리튬함유 유리 섬광체의 경우에는 조해성(흡습성)을 가지지 않는 특성을 띠는데, 그 이유는 주 물질이  $SiO_2$ 이기 때문이다. 그러나, 본 연구에 이용된 주 물질은  $LiPO_3$ 로서 약간의 조해성을 가지는 단점을 지니고 있다. 제작 중에 습도가 약 60%이하일 때는 섬광체 샘플에 이상이 없었으나, 습도가 그 이상일 경우에는 표면에 습기가 차는 현상이 나타났다.

#### 2. 유리 섬광체 시료의 광발광 특성

섬광체의 활성체로서 높은 이용율과 가능성을 내포하고 있는 란타넘계열 원소들을 첨가하여, 형광체가 가지는 광발광 특성을 조사하였다. PL측정은 상온( $T=293, 300K$ )에서 이루어 졌고, 입사선은

He-Cd laser에서 발생하는 325 nm의 파장을 갖는 레이저였다. 이 측정에서 나타난 파장은 대부분의 경우 파장분포가 넓게 형성되었으나  $\text{Eu}^{2+}$ , Tb, Dy의 경우에는 날카로운 피크를 형성하였다.

## 2.1. '+3' 가의 란타게열 원소가 첨가된 섬광체 샘플의 PL 특성

Fig. 3과 4에서는 Eu, Ce, Tb를 제외한 란타게열 원소를 활성체로 첨가한  $\text{LiPO}_3$  유리 섬광체 샘플의 발광파장을 그래프로 나타냈다. 그래프 상의 x축은 380 ~ 900 nm 사의 파장을 나타내고, y축은 발광강도(PL intensity)를 나타낸다. 발광강도는 임의의 단위를 이용하여 상대적인 강도 크기를 비교할 수 있도록 표시하였다.

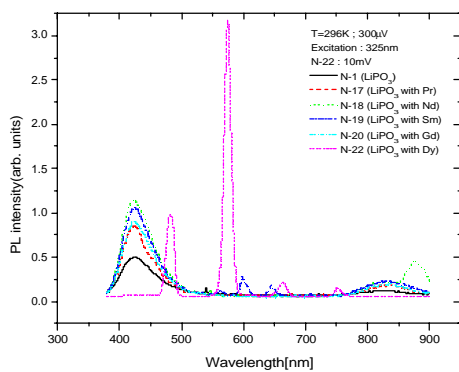


Fig. 3 Photoluminescence of Blank, Pr, Nd, Sm, Gd, and Dy

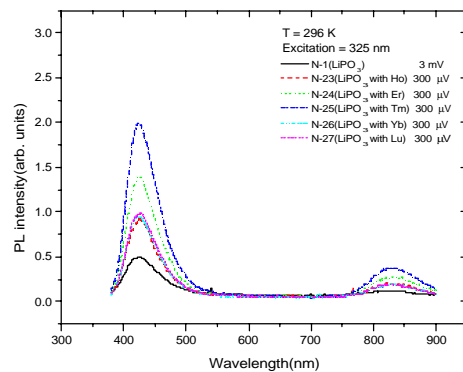


Fig. 4 Photoluminescence of Blank, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Sm이 첨가된 N-19의 경우, 600 ~ 700 nm 사이의 구간에서 두 개의 작은 피크가 형성되었다. Dy를 활성체로 첨가한 N-22의 경우, 약 480 nm와 575 nm에서 날카로운 피크가 나타나는 특징을 보였다. Sm과 Dy가 첨가된 섬광체 시료를 제외한 나머지는 모두가 같은 위치인 425 nm에서 피크파장을 나타냈는데, 이는 활성체가 첨가되지 않은 'N1' 섬광체 시료와 같은 피크파장을 나타내고 있다. 따라서, 란타게열 원소 중 일부는 활성체로서의 가능성이 희박하다는 결과를 보여주고 있다.

## 2.2. Europium(Eu)를 첨가한 섬광체 시료의 광발광 특성

Eu, Ce, Tb를 활성체로 첨가한 유리 섬광체의 경우에는 table 1.에서 설명한 것과 같이 제작 조건에서 환원제로 설탕을 첨가하거나, 대기 상태를 air와 Ar로 두 가지 경우를 적용하였다. Fig. 5는 유로퓸(Eu)을 활성체로 첨가하고, 각기 다른 제작 조건을 적용한 시료들의 광발광특성을 나타낸 그래프이다.

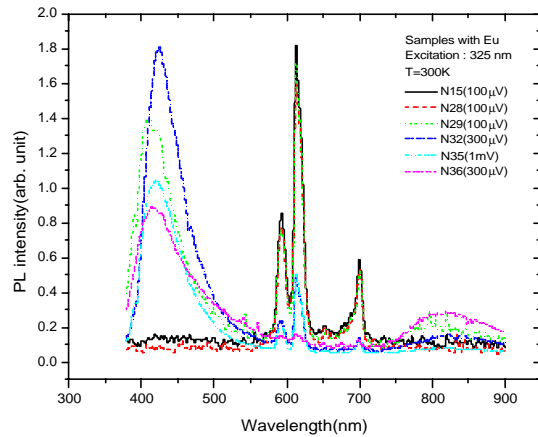


Fig. 5 Photoluminescence of Eu-doped LiPO<sub>3</sub> glasses

Eu<sup>3+</sup>는 620 nm에서 피크파장을 형성하는 것으로 잘 알려져 있는데, 본 연구에서도 알려진 바와 마찬가지로 피크파장이 형성되었다. 추가적으로 약 420 ~ 440 nm의 파장 영역에서 피크가 형성되고 있는데, 이는 Eu<sup>2+</sup>에 의해 형성된 것이다. 또한 활성체의 화학적 형태(oxide, chloride)에 상관없이 첨가 원소의 특성에 따라 발광파장이 형성된다는 것도 알 수 있다. Eu<sup>2+</sup>의 형태로 첨가된 EuCl<sub>2</sub>는 air 상태에서 가열할 경우 상당량이 Eu<sup>3+</sup>로 산화되었으나, 환원제로서 설탕을 첨가하거나, 대기상태를 Ar로 형성하였을 경우에는 대부분이 Eu<sup>2+</sup>로 남아있는 것을 알 수 있었다. 그러나, 설탕과 Ar을 동시에 적용시킨 경우, 상당히 좋은 발광특성을 보여주고는 있으나, 시료 자체가 회고 붉은 색깔을 띠어 불투명하여 섬광체로서의 이용은 불가능한 것으로 나타났다.

### 2.3. Cerium(Ce)과 terbium(Tb)를 첨가한 섬광체 샘플의 PL 특성

유로퓸을 첨가한 섬광체 시료와 마찬가지로, Ce와 Tb의 경우에도 table 1.에서 제시하고 있는 환원조건을 적절히 적용하여 섬광체 시료를 제작하였다. Fig. 6과 7에서 나타난 섬광체 시료의 특징을 아래 table 2.에 정리하였다.

Table 2. PL characteristics of Ce and Tb doped glass samples

Cerium(Ce) doped samples			Terbium(Tb) doped samples		
Sample number	Strongest peak [nm]	PL intensity [arb. units]	Sample number	Strongest peak [nm]	PL intensity [arb. units]
N16	660	0.5	N21	545	0.5
N31	380	30	N34	545	2.4
N33	390	100	N38	550	3.3
N37	380	45			

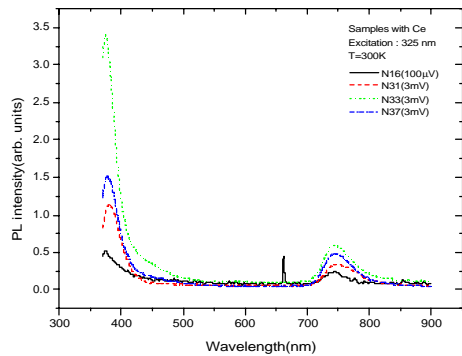


Fig. 6 Photoluminescence of Ce-doped LiPO<sub>3</sub> glasses

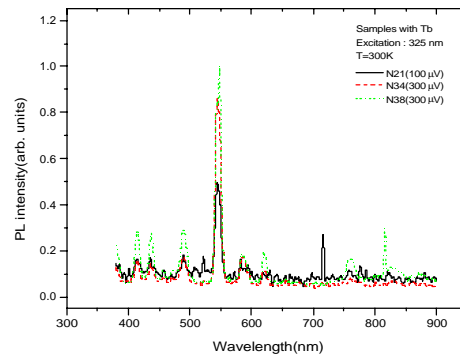


Fig. 7 Photoluminescence of Tb-doped LiPO<sub>3</sub> glasses

N16 시료에서는 Ce<sup>4+</sup>의 미약한 발광파장이 660 nm에서 형성되었고, Ce<sup>3+</sup>의 경우 380, 390 nm에서 피크파장이 형성되었다. Cerium의 경우, 설탕을 환원제로 첨가하고 Air 상태에서 가열시킨 시료(N33)가 가장 좋은 발광파장을 보여주고 있으며, Ce<sup>3+</sup>는 다른 활성체와는 달리 380, 390 nm의 자외선 영역에서 피크파장을 형성하고 있는 특징을 보여주고 있다.

Tb의 경우 가시광 중에 'green 영역'인 545, 550 nm에서 피크파장을 보여주고 있다. 시료 N34와 N38의 경우 Tb(III)과 Tb(IV)가 혼합된 시약을 이용하였는데, 환원제(설탕)와 환원대기(Ar 대기)의 영향으로 Tb(III)의 발광강도가 크게 나타났다. 이 두 샘플을 비교할 때, 환원제의 영향보다 환원대기의 영향이 더 뛰어난 것으로 나타났다.

### III. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 리튬 인산염(LiPO<sub>3</sub>)에 란타네움 원소를 1% 첨가하여 유리 섬광체의 최적의 제작조건을 도출하였고, 란타네움 원소의 활성체로서의 가능성을 판단하기 위하여 monochromator를 이용하여 광발광 특성을 분석하였다.

시약을 액화시키는 가열조건으로 시간과 온도를 조절함으로써 최적의 투명도를 얻어낼 수 있는데, 본 실험에서는 950°C, 90 min의 가열조건이 최적의 조건인 것으로 나타났다. 이러한 가열조건에서 LiPO<sub>3</sub>에 란타네움 원소를 첨가하여 유리 섬광체 시료를 제작하였는데, Pr, Nd, Gd, Ho, Er, Tm, Yb, Lu은 활성체를 첨가하지 않은 시료 'N1'과 같은 피크파장을 나타내는 것으로 보아 활성체로서의 이용 가능성이 없는 것으로 나타났다. Eu의 경우, Eu<sup>3+</sup>는 620 nm, Eu<sup>2+</sup>는 420 ~ 440 nm에서 각각 피크파장을 형성하였고, Ar 환원 분위기에서 제작한 시료의 발광강도가 가장 뛰어났다. 그리고, Ce의 경우, Ce<sup>4+</sup>는 660 nm, Ce<sup>3+</sup>는 380 ~ 390 nm에서 발광파장을 형성하였는데, Ce<sup>3+</sup>의 경우는 자외선 영역에서 발광파장을 형성하였고, 설탕을 환원제로 첨가한 시료의 발광강도가 가장 뛰어났다. Tb의 경우 가시광 중에 'green 영역'인 545 ~ 550 nm에서 피크파장을 보여주고 있고, Tb 활성체는 Ar 환원 분위기에서 제작한 시료가 가장 좋은 발광강도를 나타내었는데, 대부분의 활성체가 환원조건을 적용하였을 때 발광강도가 더욱 좋아지는 것을 알 수 있었다.

저속 중성자 검출의 한 원리로 Li(n, α)<sup>3</sup>H가 적용되고 있으므로, 본 연구에서 제작된 LiPO<sub>3</sub>에 란타네움 원소를 활성체로 첨가하여 제작한 섬광체도 방사선 검출에의 적용 가능성을 내포하고 있



다. 따라서, 제작된 유리 섬광체를 중성자 검출시스템에 적용하여 실제로 중성자 검출을 수행할 수 있는 지를 시험하고, 제작단계에서 유리 섬광체의 물리·화학적 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 모색할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 외국인대상 Post-Doc. 지원사업과 방사선안전신기술연구센터의 지원에 의해서 수행한 연구결과의 일부입니다.

## 참고 문헌

- [1] L.A. Wraight, D.H.C. Harris, P.A. Egelstaff, Nucl. Instr. and Meth. Vol.33, pp.181-193(1965).
- [2] V.I. Arbizov, N.Z. Andreeva, V.A. Vitenko, M.A. Milovidov, Radiation Measurements, Vol. 25, Nos 1-4, pp. 475-476(1995).
- [3] W. Schafer, E. Jansen, G. Will, A. Szepesvary, R. Reinartz, K.D. Muller, Physica B Vol.213 & 214, pp.972-974(1995).
- [4] G. Zanella, R. Zannoni, R. Dall'Igna, P. Polato, M. Bettinelli, Nucl. Instr. and Meth. Vol.359, pp.547-550(1995).
- [5] J.B. Czirr, G.M. MacGillivray, R.R. MacGillivray, P.J. Seddon, Nucl. Instr. and Meth. Vol.424, pp.15-19(1999).
- [6] V.A. Tarasov, N.I. Shevtsov, I.I. Mirenskaya, A.B. Blank, Nucl. Instr. and Meth. Vol.438, pp.577-580(1999).
- [7] Shingo Taniguchi, Masashi Takada, Takashi Nakamura, Nucl. Instr. and Meth. Vol.460, pp.368-373(2001).
- [8] Shigekazu Usuda, Nucl. Instr. and Meth. Vol.356, pp.334-338(1995).
- [9] K. Binnemans, R. Van Deun, C. Gorller-Warlang, J.L. Adam, Journal of Non-Crystalline Solids, 238, pp.11-29(1998).
- [10] V. Aruna, N. Sooraj Hussain, K. Rajamohan Reddy, et al., Material Letters, Vol.33, pp.201-206(1998).
- [11] V.Aruna, N. Sooraj Hussain, S. Buddhudu, Materials Research Bulletin Vol.33, No. 1, pp.149-159(1998).
- [12] A.B. Blank, N.I. Shevtsov, I.I. Mirenskaya, Z.M. Nartova, Zhurn. Analit. Khimii. 45 1724(1980).
- [13] N.I. Shevtsov, A.B. Blank, I.I. Mirenskaya, Z.M. Nartova, Patent of Russian Federation No. 1,599,734, reg.15 March(1993).
- [14] Renata Reisfeld, Michael Gaft, Tsiara Saridarov, Gerard Panczer, Marina Zelter, Materials Letters Vol.45, pp.154-156(2000).
- [15] S.V. Godbole, J.S. Nagpal, A.G. Page, Radiation Measurements Vol.32, pp.343-348(2000).
- [16] S. Baccaro, R. Dall'Igna, P. Fabeni, M. Martini, J.A. Mares, F. Meinardi, M. Nikl, K. Nitsch, G.P. Pazzi, P. Polato, C. Susini, A. Vedda, G. Zanella, R. Zannoni, Journal of Luminescence Vol.87-89, pp.673-675(2000).
- [17] S.W. Allison, G.T. Gillies, Rev. Sci. Instrum. Vol.68, No.7, pp.2619-2624(1997)