

A Study on the Luminescence Properties of Eu^{3+} Ions Doped Vanadate

Yeonhee Kang,¹ Changyong Yoon^{2,*}

¹BK21+ Marine-Integrated Biomedical Technology Program, Pukyong National University

²Department of Nuclear Medicine, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center

Received: April 08, 2019. Revised: June 27, 2019. Accepted: June 30, 2019

ABSTRACT

The fluorescence intensity and fluorescence lifetime of $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}$, a vanadate compound based on Ba^{2+} ion, were investigated by adding Eu^{3+} as a rare earth ion which is an alkaline earth metal, which is distributed around active ions and has a large influence on fluorescent properties when used as a host in a phosphor. $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ phosphor was synthesized by solid state method and the crystallinity of the phosphor was confirmed by X - ray diffraction analysis. The fluorescence properties of the $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ phosphor were measured using optical and laser. The energy transfer and diffusion of the $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ phosphor are highly dependent on the concentration of Eu^{3+} . When the concentration of Eu^{3+} is low, it shows strong fluorescence to the CT band. However, as the concentration of Eu^{3+} increases, the fluorescence due to 4f - 4f transition is strong. The concentration of Eu^{3+} ion increased and the energy between ions was diffused, and the lifetime of fluorescence decreased. Energy transfer occurs between two Eu^{3+} ions at low Eu^{3+} concentration and energy diffusion occurs at high Eu^{3+} concentration.

Keyword: Luminescence, Vanadate, Energy transfer

I. INTRODUCTION

형광체는 디스플레이, 조명, 방사선 검출기 등 많은 분야에 있어 아주 중요한 물질이다. 형광체를 연구하는 많은 과학자들은 디스플레이 등의 성능을 더 향상시키기 위하여 안정된 형광체를 개발하는 것에 집중하고 있다. 특히 태양광과 상응하는 고연색성 및 색온도를 가지는 조명을 개발하기 위해 청록색, 녹색, 황색, 적색으로 전환하는 다수의 형광체를 이용하는 백색 LED 구현의 연구가 활발히 진행 중이다.^[1-3] 뛰어난 형광체의 발광 특성을 개발하기 위하여 희토류 이온이 들어간 산화물 발광체가 많이 연구되고 있다.^[4-5] 이러한 산화물에 La / Y / Gd 이온을 포함하는 호스트 재료는 이온 반경 및 치환 원자가와 유사하여 희토류 이온의 치환에 적합한 위치를 제공하기 때문에 집중적으로 연구되고 있

다.^[6-7]

상업용 형광체 개발에 높은 발광 효율 및 높은 도핑 농도를 갖는 희토류 이온인 Eu^{3+} 는 적색 방출 형광체의 효율적인 활성체로서 널리 보고되고 사용되고 있다.^[8] 모체에 양이온으로 치환된 Eu^{3+} 이온은 약 615 nm에서 밝은 적색 형광을 방출하며 Eu^{3+} 의 CT(charge transfer)전이에 강하게 흡수되는 자외선에 의해 쉽게 여기 되고 모체 내 치환된 Eu^{3+} 의 CT 에너지는 모체물질의 원자크기와 결합강도에 의존하고 그 결과 Eu^{3+} 의 CT에너지의 상태는 형광체내에서 중요한 역할을 한다.^[9-10]

바나데이트 화합물의 발광 특성은 우수한 화학적 안정성으로 인해 형광체로 널리 연구되어 왔으며 $\text{YVO}_4 : \text{Eu}^{3+}$ 및 Eu^{3+} 가 도핑된 $\text{NaAl}(\text{VO}_4)_2$ (A = Ca, Sr, Ba) 형광체와 같이 장파장 영역에서 여기 될 수 있다.^[11] 또한, 바나데이트 화합물은 근 자외선

* Corresponding Author: Changyong Yoon

E-mail: phantom201@dirams.re.kr

Tel: +82-51-720-5153

영역에서 강한 전하 전달 전이로 인해 항상 넓은 흡수 밴드를 나타내며, 400 내지 700 nm 범위의 넓은 파장을 방출한다. 이러한 VO_4^{3-} 그룹은 첨가된 Eu^{3+} 이온으로의 효과적인 에너지 전달로 인해 형광강도를 향상시킬 것으로 기대된다.^[12-13] 이에 본 연구에서는 알칼리 토금속인 Ba는 양이온 상태로 형광체 내 모체로 사용될 때 활성 이온 주위에 분포하여 형광 특성에 많은 영향을 미치는 Ba^{2+} 이온을 기반으로 하는 바나데이트 화합물인 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}$ 에 희토류 이온 Eu^{3+} 를 첨가하여 형광 특성 및 형광 수명을 연구하였다.

II. MATERIAL AND METHOD

본 연구에서는 고상법을 이용하여 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ 형광체를 합성하였다. 사용된 원료물질은 BaCO_3 (Sigma-Aldrich, 99%), Gd_2O_3 (Sigma-Aldrich, 99.95%) NH_4VO_3 (Sigma-Aldrich, 99%), Eu_2O_3 (Sigma-Aldrich, 99.95%)이다. Eu^{3+} 이온의 농도는 0.1, 1, 5, 10, 30, 50, 70, 100 mol%로 첨가하였다. 각 원료를 계산에 의해 얻어진 정량을 옥사발(아게이트 몰타르)에 넣어 분쇄, 혼합하였다. 일반적으로 고상법을 이용한 형광체의 합성에서 가열온도를 높여가며 분쇄 혼합 과정을 반복할수록 형광체의 합성율을 높인다. 본 실험에서도 시료를 알루미늄 도가니에 넣고 전기로를 이용하여 600 °C로 6 시간 하소 후 자연 냉각하였다. 이 시료를 다시 분쇄, 혼합하여 800 °C로 6 시간 하소하여 자연냉각 후 다시 분쇄, 혼합하여 1,000 °C로 6 시간 하소하고 자연 냉각하여 형광체를 합성하였다.

형광체의 결정성과 구조 조사를 위해 X-선 회절 분석 XRD(X-Ray Diffraction)을 이용해 측정하였다. X - 선은 파장 1.5405 Å의 Line Focus 3KW Cu-Kα 선을 이용하였으며 니켈 필터를 통과하여 2 Theta 방식으로 측정하여 시료를 조사하였다. 시료의 결정성을 분석하기 위해 PDF 카드와 비교 분석하였다.

합성된 시료의 형광 특성을 측정하기 위하여 제논 아크 (Xe-arc) 램프를 광원으로 한 PTI (Photon technology international-U.S.A.)를 사용하여 여기 및 방출 스펙트럼을 측정하였다. 모든 시료는 실온에서 전처리 과정 없이 측정하였다. 여기 스펙트럼 측정은 합성

된 분말 시료를 스펙트럼 측정용 홀더에 샘플을 넣고 챔버 내에 홀더를 고정하여 외부의 빛이 유입되지 않게 챔버 문을 닫은 후 빛의 양을 조절하면서 필터를 사용하여 측정하였다. 방출 스펙트럼은 여기 스펙트럼으로부터 얻어진 파장을 관찰하여 여기 및 방출 스펙트럼을 측정하였다. 형광의 수명시간을 측정하기 위해 Nd-YAG(Spectron laser systems, model: SL800) 펄스 레이저 266 nm를 이용하여 수명시간을 측정하였다.

III. RESULT

1. X-선 회절(XRD) 분석

Fig. 1은 Eu^{3+} 이온이 첨가된 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}$ 형광체의 X - 선 회절상을 나타내었다. Eu^{3+} 이온이 첨가된 시료의 XRD 패턴은 PDF(powder diffraction file) 카드 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}$ (No. 45-0097)과 비교하였다. Eu^{3+} 이온의 농도가 증가하여도 새로운 불순물 상이 형성되지 않았고 농도 100 mol%까지 단일상을 형성하며 고용체를 이루는 것을 확인하였다. Gd^{3+} 와 Eu^{3+} 의 이온 반경이 유사하기 때문에 Eu^{3+} 의 농도가 100 mol%가 되어도 XRD 패턴의 변화가 일어나지 않았다.

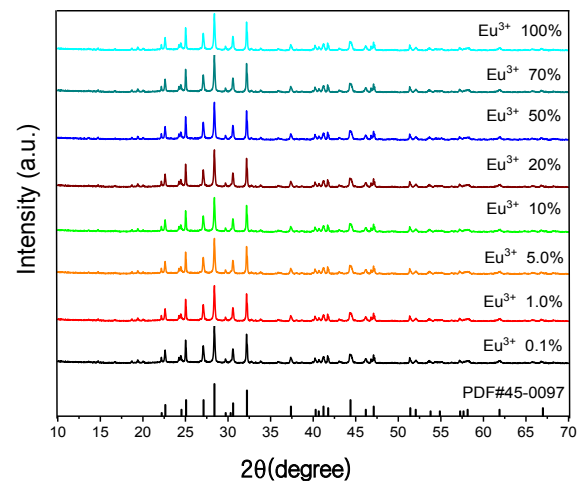


Fig. 1. The XRD patterns of $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{xEu}^{3+}$. (x = 0.1% ~ 100%)

2. $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ 의 형광 특성

Fig. 2는 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ (10 mol %) 형광체의 여기 및 방출스펙트럼이다. 여기 스펙트럼은 619 nm

(Eu³⁺ 이온의 ⁵D₀ → ⁷F₂) 형광을 관찰하여 측정하였다. 여기 스펙트럼에서 200 ~ 370 nm 영역에 Eu³⁺ 이온의 강한 전하전달 밴드가 나타난다. 381 nm에서 464 nm 사이에서 f - f 전이에 의한 피크들이 관찰된다. 이 피크들은 Eu³⁺의 흡수 준위에 의한 것들이며 393 nm에서 ⁷F₀ → ⁵L₇ 전이가 가장 강하게 나타난다. 393 nm로 여기 시킨 방출 스펙트럼에서 ⁵D₀ → ⁷F_J (J=0, 1, 2, 3, 4) 전이의 피크들이 관찰되었으며 617 nm에서 ⁵D₀ → ⁷F₂ 전이가 가장 강하게 나타났다. 이것은 Eu³⁺ 이온의 유도 전극자 전이인 ⁵D₀ → ⁷F₂ 전이의 형광 강도가 결정장과 무관한 자기 쌍극자 전이인 ⁵D₀ → ⁷F₁ 전이보다 크기 때문이다. Table 1과 Table 2에서 Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ (10 mol%) 형광체의 여기 및 방출 전이를 나타내었다.

Table 1. Wavelength and energy of excitation transition

Transition	Wavelength(nm)	Energy(cm ⁻¹)
⁷ F ₀ → ⁵ L ₇	381	26246
⁷ F ₀ → ⁵ L ₆	393	25445
⁷ F ₀ → ⁵ D ₃	414	24154
⁷ F ₀ → ⁵ D ₂	464	21551

Table 2. Wavelength and energy of emission transition

Transition	Wavelength(nm)	Energy(cm ⁻¹)
⁵ D ₀ → ⁷ F ₀	579	17271
⁵ D ₀ → ⁷ F ₁	592	16891
⁵ D ₀ → ⁷ F ₂	617	16207
⁵ D ₀ → ⁷ F ₃	655	15267
⁵ D ₀ → ⁷ F ₄	704	14204

Fig. 3의 (a)는 619 nm(⁵D₀ → ⁷F₂)의 파장을 모니터링 하여 얻어진 Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체의 Eu³⁺ 농도에 따른 여기 스펙트럼이다. 여기 스펙트럼은 두 부분으로 나누어 설명될 수 있다. 하나는 O²⁻에서 Eu³⁺ 전이로의 전하 이동에 의한 약 330 nm의 최대값을 갖는 200 - 350 nm의 파장 영역에서 넓은 영역의 전하전달 밴드가 나타난다. 다른 하나는 Eu³⁺의 4f - 4f 전이 ⁷F₀ → ⁵D_J (J=1, 2, 3, 4, 7), ⁷F₀ → ⁵L₆, ⁷F₀ → ⁵H₃에 해당하는 350 - 500 nm의 파장

영역에서 날카로운 여기 피크가 나타난다. 가장 강한 형광은 ⁷F₀ → ⁵L₆ 전이에 해당하는 393 nm에서 관찰된다.

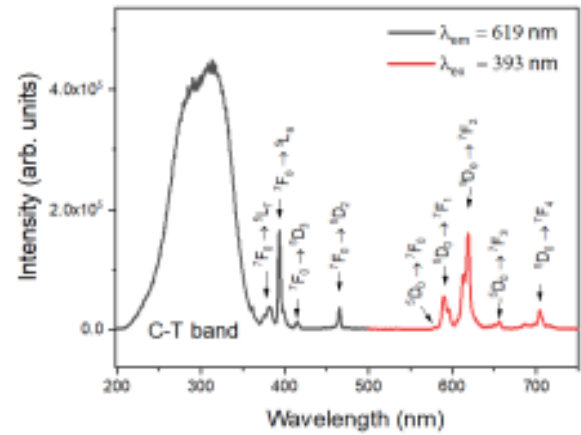
Fig. 2. Excitation spectra and emission spectra of the Ba₂GdV₃O₁₁:(10%)Eu³⁺.

Fig. 3의 (b)는 Eu³⁺ 농도변화에 따른 CT 밴드의 형광 강도와 4f - 4f 전이에 의한 형광 강도 변화를 나타내었다. Eu³⁺가 저농도(30 mol%까지)에서 CT 밴드의 형광 강도가 강하게 나타나지만 4f - 4f 전이에 의한 형광은 CT 밴드의 형광 강도에 비해 작게 나타난다. 하지만 Eu³⁺의 농도가 높아질수록 4f - 4f 전이에 의한 형광이 강하게 나타난다. 또한 Eu³⁺ 농도가 50 mol%까지 전체 형광강도가 증가하나 이후 농도소광에 의해 형광강도가 감소하였다.

Fig. 4는 Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체의 Eu³⁺ 이온의 농도에 따른 방출 스펙트럼이다. 여기파장은 393 nm 이고 550 nm 부터 750 nm까지 측정하였다. 각 스펙트럼에서 유도 쌍극자 전이에 해당하는 ⁵D₀ → ⁷F₂ 전이에 의한 619 nm에서 가장 강한 피크를 보이며 ⁵D₀ → ⁷F₀ 전이에서 578 nm, ⁵D₀ → ⁷F₁ 전이에서 589 nm, ⁵D₀ → ⁷F₂ 전이에서 619 nm, ⁵D₀ → ⁷F₃ 전이에서 655 nm, ⁵D₀ → ⁷F₄ 전이에서 703 nm의 방출 피크를 보였다. Fig. 4의 삽입된 그림은 Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체의 Eu³⁺ 이온의 농도별 방출 스펙트럼 형광강도를 나타내었다. 형광강도가 50 mol%까지 증가하였다가 그 이후 감소하는 경향을 보이고 70 mol% 이후 다시 증가하였다.

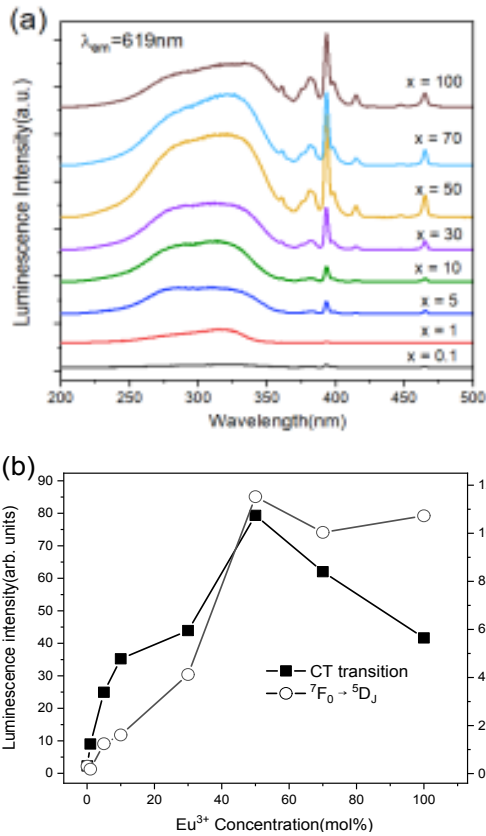


Fig. 3. (a) Excitation spectra of $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{xEu}^{3+}$ ($x = 0.1\% \sim 100\%$) monitoring at 619 nm. (b) Excitation intensities of CT band and $4f^7$ lines in wavelength regions 200~350 nm and 350~500 nm, respectively.

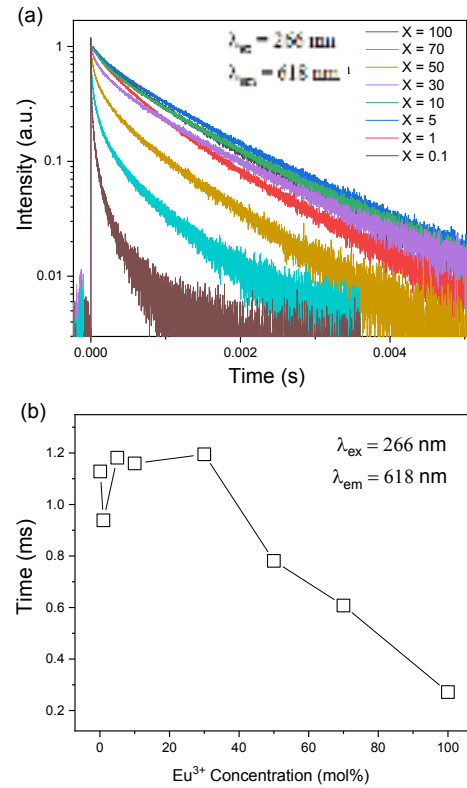
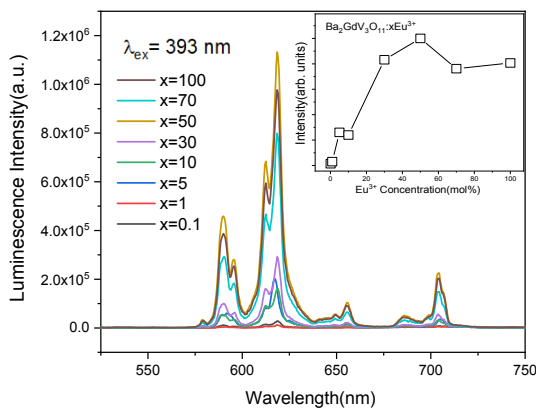


Fig. 5. (a) Decay curve of the $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ ($\lambda_{\text{ex}} = 266 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em}} = 618 \text{ nm}$), (b) Life time of the ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$.

IV. DISCUSSION

희토류 이온 Eu^{3+} 가 첨가된 $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}$ 형광체를 합성하고 형광특성을 연구하였다. X선 회절 분석을 통하여 Eu^{3+} 농도 변화에도 형광체의 결정성이 유지되는 것을 확인하였다. 이것은 Eu^{3+} 이온의 반경이 $1,066 \text{ \AA}$ 이고 Gd^{3+} 의 이온반경이 1.053 \AA 으로 유사하여 모체 내에서 쉽게 대체되어 XRD 패턴의 변화가 없었다. Eu^{3+} 이온의 농도 변화에 따른 여기스펙트럼에서 200 ~ 370 nm 영역에 Eu^{3+} 이온의 강한 전하전달 밴드가 나타난다. 381 nm에서 464 nm 사이에서 f - f 전이에 의한 피크들이 관찰되었다. Eu^{3+} 가 저 농도에서 CT 밴드의 형광 강도가 강하게 나타나지만 4f - 4f 전이에 의한 형광

은 CT 밴드의 형광 강도에 비해 작게 나타난다. 하지만 Eu^{3+} 의 농도가 높아질수록 4f - 4f 전이에 의한 형광이 강하게 나타난다. 이것은 Eu^{3+} 의 4f⁶ 궤도의 에너지 상태가 5s² 및 5p⁶ 전자에 의한 4f⁶ 전자의 차폐 효과 때문에 형광체 격자의 유형에 영향을 받지 않는 반면, Eu^{3+} 의 CT 밴드 형광은 형광체 격자의 전계 강도에 강하게 영향을 받기 때문이다. 또한, Eu^{3+} 의 농도가 증가함에 따라, CT 밴드의 형광 피크는 315 nm에서 336 nm로 전체 에너지의 밴드 폭 확장과 함께 더 낮은 에너지로 이동하였다. 방출 스펙트럼에서 유도 쌍극자 전이에 해당하는 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ 전이에 의한 619 nm에서 가장 강한 피크를 보였으며 Eu^{3+} 의 농도에 따른 형광강도는 50 mol%까지 증가하다가 농도소광에 의해 감소하였다. 또한 형광체의 수명시간은 감소하는 경향을 보였다. Eu^{3+} 이온의 농도가 증가하면 이온쌍으로 존재할 가능성이 높아지고 이온 간의 가까운 거리로 인해 강한 상호작용이 일어난다. 이때 Eu^{3+} 이온의 농도가 계속 증가할 때 형광체의 수명시간이 점점 감소하게 된다. 이는 모체 물질에 희토류 이온을 활성제로 첨가하였을 나타나는 일반적인 현상과 일치하며 농도 증가에 의한 에너지 전달 및 확산에 의한 것이다.

V. CONCLUSION

희토류 이온 중 가장 보편적으로 널리 사용되는 Eu^{3+} 이온을 활성제로 사용하여 합성한 바나테이트 화합물의 형광특성을 알 수 있었다. $\text{Ba}_2\text{GdV}_3\text{O}_{11}:\text{Eu}^{3+}$ 형광체의 여기 및 방출 스펙트럼을 통하여 O_2 에서 Eu^{3+} 의 CT 전이는 Eu^{3+} 농도에 크게 의존하는 것을 확인했다. Eu^{3+} 의 농도가 낮을 때 CT 밴드로의 여기 상태에서 여기 에너지는 방사전이에 의해 강한 형광을 보이거나 Eu^{3+} 농도가 높아지면 여기 에너지는 CT 상태에서 낮은 에너지 준위의 $^7\text{F}_J$ ($J = 0, 1, 2 \dots 6$) 상태로의 시스템 간 교차를 통해 비 방사적으로 에너지를 전이한다. 즉 이온의 농도가 증가하면 이온 간의 가까운 거리로 인해 강한 상호작용이 일어나게 되고 비방사전이가 늘어나면서 형광강도가 감소하게 된다. 따라서 에너지 이동은 Eu^{3+} 농도에 따라 발생하며 낮은 Eu^{3+} 농도에서 두 Eu^{3+} 이온 간에 에너지 전달이 강하게 나타나고, Eu^{3+} 이온들

사이의 에너지 확산은 높은 Eu^{3+} 농도에서의 에너지 전달 과정에서 나타나게 된다. Eu^{3+} 이온이 첨가된 바나테이트 화합물의 연구를 통하여 중요한 적색 발광 형광체의 에너지 전달에 의한 형광특성을 이용한 디스플레이 및 조명 개발 및 새로운 형광체 개발에 사용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 강연회의 2018년도 박사학위논문에서 발췌 정리하였음.

Reference

- [1] U. Rambabu, D. P. Amalnerkar, B. B. KaleS. Buddhud, "Fluorescence spectra of Eu^{3+} -doped LnVO_4 ($\text{Ln} = \text{La}$ and Y) powder phosphors," *Materials Research Bulletin*, Vol. 35, No. 6, pp. 929-936, 2000.
- [2] H. J. Seo, C. W. Park, "Property of Optical Spectroscopy on the Lanthanum Tungstate doped Eu^{3+} Ion," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 9, No. 1, pp. 39-45, 2015.
- [3] L. Qin, D. L. Wei, Y. Huang, C. Qin, P. Cai, S. I. Kim, H. J. Seo, "Ortho-vanadates $\text{K}_3\text{RE}(\text{VO}_4)_2$ ($\text{RE} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Dy}, \text{Y}$) for near UV-converted phosphors" *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 147, No. 3, pp. 1195-1203, 2014.
- [4] C. Mu, J. He, "Synthesis and luminescent properties of Rare Earth (Eu^{2+} , Tb^{3+}) doped $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ nanowires by chemical precipitation in nanochannels," *Materials Letters*, Vol. 70, pp. 101-104, 2007.
- [5] J. Y. Je, "Fluorescence Characteristics of $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}^{3+}$ Intensifying Screen According to Increase of Tube Voltage," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 8, No. 5, pp. 260-264, 2014.
- [6] R. Schmechel, M. Kennedy, H. V. Seggern, "Luminescence properties of nanocrystalline $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ in different host materials," *Journal of Applied Physics*, Vol. 89, No. 3, pp. 1679-1686, 2001.
- [7] Y. C. Kang, H. S. Roh, S. B. Park, "Preparation of

Y₂O₃:Eu Phosphor Particles of Filled Morphology at High Precursor Concentrations by Spray Pyrolysis," *Advanced Materials*, Vol. 12, No. 6, pp. 451-453, 2000.

- [8] S. K. Hussain, T. T. Giang, J. S. Yu, "UV excitation band induced novel Na₃Gd(VO₄)₂:RE³⁺ (RE³⁺ = Eu³⁺ or Dy³⁺ or Sm³⁺) double vanadate phosphors for solid-state lightning applications," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 739, No. 30, pp. 218-226, 2018.
- [9] B. N. Mahalley, S. J. Dhoble, R. B. Pode, G. Alexander "Photoluminescence in GdVO₄:Bi³⁺, Eu³⁺ red phosphor," *Applied Physics A Materials Science & Processing*, Vol. 70, No. 1, pp. 39-45, 2000.
- [10] K. C. Park, S. I. Mho, "Photoluminescence properties of Ba₃V₂O₈, Ba₃(1-x)Eu_{2x}V₂O₈ and Ba₂Y_{2/3}V₂O₈:Eu³⁺," *Journal of Luminescence*, Vol. 122-123, pp. 95-98, 2007.
- [11] C. Qin, Y. Huang, H. J. Seo, "Structure and Luminescence of New Red-Emitting Materials-Eu³⁺-Doped Triple Orthovanadates NaALa(VO₄)₂ (A = Ca,Sr,Ba)," *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 96, No. 4, pp. 1181-1187, 2013.
- [12] T. Nakajima, M. Isobe, T. Tsuchiya, Y. Ueda, T. Manabe, "Correlation between Luminescence Quantum Efficiency and Structural Properties of Vanadate Phosphors with Chained, Dimerized, and Isolated VO₄ Tetrahedra," *The journal of physical chemistry. C*, Vol. 114, No. 11, pp. 5160-5167, 2010.
- [13] K. Riwozki, M. Haase, "Colloidal YVO₄:Eu and YP_{0.95}V_{0.05}O₄:Eu Nanoparticles: Luminescence and Energy Transfer Processes," *The journal of Physical Chemistry B*, Vol. 105, No. 51, pp. 12709-12713, 2001.

Eu³⁺ 이온이 첨가된 바나듐산염의 형광특성 연구

강연희,¹ 윤창용^{2,*}

¹부경대학교 BK21플러스 MIBT 인력양성사업단

²동남권원자력의학원 핵의학과

요약

형광체 내 모체로 사용될 때 활성 이온 주위에 분포하여 형광 특성에 많은 영향을 미치는 알칼리 토금속인 Ba²⁺ 이온을 기반으로 하는 바나데이트 화합물인 Ba₂GdV₃O₁₁에 희토류 이온 Eu³⁺를 첨가하여 형광 강도 및 형광 수명을 연구하였다. 고상법을 이용하여 Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체를 합성하였으며 X선 회절 분석을 통하여 형광체의 결정성을 확인하였다. Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체의 형광특성은 광학 및 레이저를 이용하여 측정하였다. Ba₂GdV₃O₁₁:Eu³⁺ 형광체의 에너지 전이와 확산은 Eu³⁺의 농도에 크게 의존한다. Eu³⁺의 농도가 낮을 때 CT 밴드로의 강한 형광을 보이나 Eu³⁺의 농도가 높아질수록 4f - 4f 전이에 의한 형광이 강하게 나타난다. Eu³⁺ 이온의 농도 증가로 인해 이온 간의 에너지가 확산되어 형광의 수명시간은 감소하였다. 에너지 전이는 낮은 Eu³⁺ 농도에서 두 Eu³⁺ 이온 사이에서 발생하며 에너지 확산은 높은 Eu³⁺ 농도에서 크게 발생한다.

중심단어: 형광, 바나데이트, 에너지 전이

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	강연희	부경대학교 BK21사업단 MIBT사업단	연구원
(교신저자)	윤창용	동남권원자력의학원 핵의학과	교수