

## 형광과 인광 첨가제에 의한 적색 OLED 소자의 발광 특성

### Emission Characteristics of Red OLEDs with Fluorescent and Phosphorescent Dopant

박연석<sup>1</sup>, 양재웅<sup>1</sup>, 주성후<sup>1,a</sup>  
(Yeon-Suk Park<sup>1</sup>, Jae-Woong Yang<sup>1</sup>, and Sung-Hoo Ju<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Red color OLED has been fabricated by the doping method apply to CBP using co-evaporation, GDI4349 of phosphorescent dopant, and rubrene of fluorescent dopant. The OLED structure are multi-layer of ITO(150 nm)/ELM\_HIL(50 nm)/ELM\_HTL(30 nm)/CBP : Rubrene, GDI4349 (30 nm)/BAIq (30 nm)/LiF(0.7 nm)/Al (100 nm). Accomplished best result at 3 vol.% of rubrene when the OLEDs were made of 1, 3, 5, 7, 9 vol.% doped rubrene. The highest efficiency of 7.2 cd/A was resulted at 8 vol.% of GDI4349 when the OLEDs were made among 5, 8, 11, 14 vol.% of GDI4349. Obviously, the best concentration of rubrene at 3 vol.% and changing GDI4349 concentration to 5, 8, 11, 14 vol.% OLED dramatically enhanced characteristic of resulted 10.7 cd/A at 8 vol.% of GDI4349. This result would understand to analyse as the emission efficiency increases by energy transport efficiency increase using GDI4349 energy transfer when rubrene absorbs the energy from CBP of fluorescences host.

**Key Words** : OLED, Red, Co-dopant, Fluorescence, Phosphorescence

#### 1. 서론

차세대 디스플레이로 주목 받고 있는 OLED (organic light emitting diode)는 자발광, 빠른 응답속도, 광 시야각, 경량, 박형 등의 장점을 가지고 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 저분자 발광 재료를 사용한 OLED는 이미 상용화되어 있고 기존의 평판디스플레이인 LCD(liquid crystal display)나 PDP(plasma display panel)를 대체할 수 있는 차세대 디스플레이로 주목 받고 있다. 특히 저분자를 사용하는 OLED는 물질 합성이 용이하며, 다층구조의 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있다[1]. 차세대 디스플레이로서 OLED가 자리 잡기 위해서는 천연색 패널이 제작되어야 한다. 그러나 현재 OLED 소자에서 적색 소자는 녹색이나 청색 소자

에 비해 효율이나 수명 측면에서 제한이 있다[1]. 따라서 적색 소자의 성능 개선을 위한 새로운 재료의 개발이나 공정기술이 요구되고 있다.

형광 물질을 첨가제로 사용되는 적색 OLED는 이미 개발되어 있다. 에너지 띠 간격이 작은 적색 활성제인 DCJTB(4-(dicyanomethylene)-2-t-butyl-6(1,1,7,7-tetramethyljulolidyl-9-enyl)-4H-pyran)나 DCM(4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-(p-dimethyl-aminostyryl)-4H-pyran) 등의 물질을 에너지 띠 간격이 큰 발광 모체에 첨가하여 사용하거나, 보다 높은 효율의 적색 발광을 얻기 위하여 추가적인 부활성제로 Rubrene과 동시에 첨가하는 방법 등이 있다[1-3].

형광물질의 발광 효율 한계를 극복하기 위하여 삼중항 결합에 의하여 보다 높은 효율을 얻을 수 있는 방법이 인광물질을 사용하는 방법이다[4,5]. 사용되는 인광물질은 이리듐(Ir)이나 플래티늄(Pt) 금속 착물을 사용하여 상온에서도 효율적으로 인광을 얻을 수 있다고 보고된 이후, Ir, Pt, Os, Re, Eu, Tb 등을 이용한 유기금속화합물이 알려져 있

1. 대전대학교 신소재공학과  
(경기도 포천시 선단동 산11-1)  
a. Corresponding Author : sunghooju@daejin.ac.kr  
접수일자 : 2009. 10. 5  
1차 심사 : 2009. 11. 17  
심사완료 : 2009. 11. 23

다[4-6]. 특히 Ir 착물을 이용한 인광재료의 연구가 활발히 이루어져 적색 및 녹색 발광에서 우수한 특성이 확보되었다[5,6].

본 연구에서는 발광 효율이 우수한 인광 첨가제를 사용한 경우 형광 첨가제를 첨가한 효과를 알아보고자 하였다. 발광 모체로 CBP(4,4'-N,N'-dicarbazolebiphenyl)를 사용하였고, 형광 첨가제로 Rubrene과 인광 첨가제로 GDI4349를 동시에 증착하는 방법에 의하여 적색 OLED를 제작하였다. 제작한 OLED의 특성은 전압-전류-발광휘도 특성을 측정하여 발광효율을 계산하였고, EL 발광 스펙트럼 및 PL 발광 스펙트럼을 측정하여 발광 특성을 분석하였다.

## 2. 실험 및 개요

적색 OLED를 제작하기 위하여 양극 전극으로 두께가 150 nm이고, 면저항이 10  $\Omega/\square$ 인 100 mm  $\times$  100 mm인 ITO가 증착된 유리 기판을 사용하였다. 감광제를 사용하여 ITO의 패턴을 형성하고, 그 위에 발광 면적이 3 mm  $\times$  3 mm가 되도록 감광제를 사용하여 절연막을 형성하였다. 제작된 기판은 습식 방법에 의한 표면 세척과 대기 분위기에서 UV(ultraviolet)를 조사하였다. 유기물 증착을 위하여 진공 용기는  $5.0 \times 10^{-7}$  torr까지 배기한 후, 정공 주입층으로 ELM\_HIL 물질을 2 Å/s의 증착 속도로 50 nm를 증착하고, 정공수송층으로 ELM\_HTL을 2 Å/s의 증착 속도로 30 nm 두께로 증착하였다. 발광층으로는 발광 모체인 CBP에 인광 첨가제로 GDI4349와 형광 첨가제로 Rubrene를 동시에 증착법에 의하여 증착하였다. Rubrene은 1, 3, 5, 7, 9 vol.%를 첨가하여 최적의 조건을 찾고, 그 중 최적의 Rubrene 함량인 3 vol.%로 고정하고, 인광 첨가제로 GDI4349를 5, 8, 11, 14 vol.%의 조건에서 소자를 제작하였다. 이 때 발광층은 2 Å/s의 증착 속도로 30 nm를 형성하였다. 전자수송층으로는 BALq를 2 Å/s의 증착 속도로 30 nm 증착하였고, 다음으로 LiF를 0.7 nm, Al을 100 nm 증착하여 소자를 완성하였다. 따라서 완성된 소자의 구조는 ITO(150 nm)/ELM\_HIL(50 nm)/ELM\_HTL(30 nm)/CBP : Rubrene, GDI4349(30 nm)/BALq(30 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm)을 가지며, 외부의 수분이나 산소로부터 소자를 보호하기 위하여 유리를 사용하여 봉지하였다.

발광 모체로 사용한 CBP와 첨가제로 사용한 Rubrene 및 GDI4349의 흡수 스펙트럼 및 PL

(Photoluminescence) 스펙트럼을 측정하였다. 제작된 OLED의 발광 특성을 관측하기 위한 전원인가 장치로는 Keithley의 2400 SourceMeter<sup>®</sup>를 사용하였고, 인가된 전압과 전류에 의해 발광되는 빛의 발광 휘도, 색좌표 및 발광 스펙트럼은 Light Measurement Solution사의 PR-650을 사용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 토론

그림 1은 발광 모체로 사용하는 CBP의 흡수 스펙트럼과 PL(Photoluminescence) 스펙트럼, 형광 물질인 Rubrene의 흡수 스펙트럼과 PL 스펙트럼 및 인광 물질인 GDI4349의 흡수 스펙트럼과 PL 스펙트럼을 측정하여 나타낸 것이다. CBP의 경우 358 nm에서 최대값을 가지는 흡수 스펙트럼과 385 nm에서 최대값을 가지고 반치폭이 54 nm인 PL 스펙트럼을 나타내었다. Rubrene의 경우에는 538 nm에서 최대값을 가지고 반치폭이 102 nm로 넓은 흡수 스펙트럼과 557 nm에서 최대값을 갖는 발광 스펙트럼을 나타내었다. Rubrene의 흡수 스펙트럼 영역이 CBP의 PL 스펙트럼 영역과 중첩된 결과는 CBP로부터 Rubrene으로 에너지 전이가 일어날 수 있음을 의미한다. 인광 물질인 GDI4349는 484 nm에서 최대값을 가지고 반치폭이 227 nm로 매우 광범위한 영역에서 에너지를 흡수하고, 621 nm에서 최대값을 갖는 적색 발광을 나타내었다. 이 결과에서 GDI4349의 흡수 스펙트럼 영역이 대부분 CBP의 PL 스펙트럼 영역과 중첩되어 있어 CBP로부터 GDI4349로의 에너지 전이가 원활하게 일어날 수 있음을 알 수 있었다. 또한 557 nm를 중심으로 하는 Rubrene의 발광영역이 GDI4349의 흡수영역에 대부분 중첩되어 있어 Rubrene으로부터 GDI4349로의 에너지 전이도 잘 일어날 수 있음을 알 수 있다. 따라서 CBP로부터 Rubrene과 GDI4349로 에너지 전이가 가능하고, 또한 Rubrene로부터 GDI4349로의 에너지 전이도 가능함을 알 수 있다.

그림 2는 ITO(150 nm)/ELM\_HIL(50 nm)/ELM\_HTL(30 nm)/CBP : GDI4349(30 nm)/BALq(30 nm)/LiF(0.7 nm)/Al(100 nm)의 구조로 활성체인 GDI4349의 첨가량을 5, 8, 11, 14 vol.%로 변화시켜 제작한 OLED 소자의 인가전압에 대한 발광 휘도를 측정하여 나타낸 것이다. 인가전압이 증가함에 따라 발광 휘도는 급격히 증가하고 있고, GDI4349를 8 vol.%와 11 vol.% 첨가한 경우에 낮은 인가전압에서 높은 휘도를 나타내었다. 활성체인 GDI4349를 5, 8, 11, 14 vol.% 첨가한 경우 각각 12.5, 10,

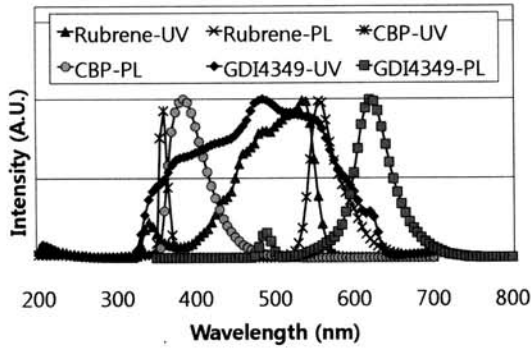


그림 1. CBP, Rubrene, GDI4349의 흡수 및 PL 스펙트럼.

Fig. 1. Absorption and PL spectra of CBP, rubrene, and GDI4349.

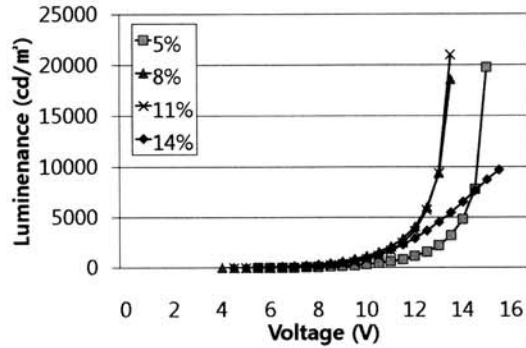


그림 2. GDI4349를 도핑한 OLED 소자의 전압-발광 휘도 특성.

Fig. 2. Luminance - voltage characteristics of OLEDs doped with GDI4349.

10.5, 10 V의 인가전압에서 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 발광 휘도를 얻을 수 있었다. 14 vol.%를 첨가한 경우에는 보다 높은 휘도를 얻기 위하여 높은 인가전압을 필요로 하고 있다. 따라서 모든 인가전압에 대하여 8 vol.%를 첨가한 경우에 가장 낮은 인가전압에서 높은 발광휘도를 얻을 수 있었다.

그림 3은 활성제로 GDI4349를 5, 8, 11, 14 vol.% 첨가하여 제작한 OLED의 인가전압에 대한 발광효율을 나타낸 것이다. 발광휘도가 1,000 cd/m<sup>2</sup> 일 때의 발광효율은 GDI4349의 첨가량이 5, 8, 11, 14 vol.%일 때 각각 6.2, 7.2, 6.4, 4.3 cd/A를 나타내어 활성제의 첨가량이 5 vol.%에서 8 vol.%로 증가함에 따라 발광효율이 6.2 cd/A에서 7.2

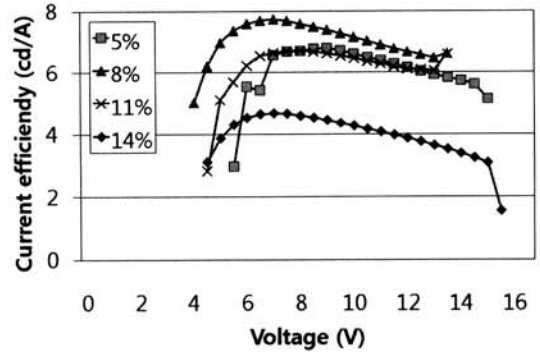


그림 3. GDI4349를 첨가한 OLED 소자의 전압-발광 효율 특성.

Fig. 3. Current efficiency - voltage characteristics of OLEDs doped with GDI4349.

cd/A로 증가하여 최대 효율을 나타내었고, 활성제의 첨가량이 8 vol.%보다 많아짐에 따라 6.4, 4.3 cd/A로 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 활성제의 첨가량이 5 vol.%에서 8 vol.%로 증가함에 따라 발광효율이 증가하는 것은 발광 모체인 CBP로부터 활성제인 GDI4349로 전이되는 에너지가 많아지게 되어 발광에 기여하는 활성제의 양이 증가함에 따라 발광효율이 증가된 것이고, 첨가량이 8 vol.%보다 많은 경우에 발광효율이 감소하는 것은 활성제의 과다 첨가에 의한 활성제의 상호작용에 의한 소광(quenching) 현상에 의하여 발광 효율이 감소하는 것으로 해석된다[7,8].

인광 첨가제로 GDI4349를 첨가하고, 형광 첨가제로 Rubrene을 첨가한 OLED 제작 시 최적의 Rubrene 함량을 도출하기 위하여 Rubrene의 함량을 1, 3, 5, 7, 9 vol.% 첨가하였다. Rubrene의 함량이 1 vol.%에서 3 vol.%로 증가함에 따라 발광 효율이 증가하고, 3 vol.%에서 9 vol.% 증가함에 따라 발광 효율은 감소하였다. 이 결과는 GDI4349를 첨가한 경우와 유사한 경우로 1 vol.%에서 3 vol.%로 첨가량이 증가한 경우는 발광 모체로부터 활성제인 Rubrene으로의 에너지 전이가 많아지게 되어 발광 효율이 증가하게 되나, 3 vol.% 이상에서는 활성제로 사용된 Rubrene의 상호작용에 의한 소광 현상으로 발광 효율이 감소하게 되어 나타난 현상이다[7,8].

Rubrene 첨가량의 변화에서 최적의 특성을 나타내는 3 vol.%로 첨가량을 고정하고 동시 증착 방법을 사용하여 ITO(150 nm)/ELM\_HIL(50 nm)/ELM\_HTL(30 nm)/CBP : Rubrene, GDI4349 (30 nm)/BALq

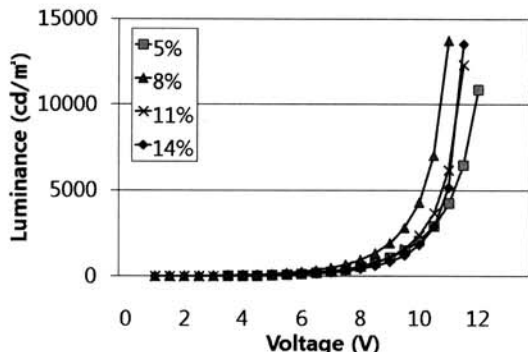


그림 4. Rubrene과 GDI4349를 도핑한 OLED 소자의 전압 - 발광휘도 특성.  
 Fig. 4. Luminance - voltage characteristics of OLEDs doped with rubrene and GDI4349.

(30 nm)/LiF(0.7 nm)/Al (100 nm)의 구조로 OLED를 제작하였다. Rubrene과 동시 증착한 GDI4349의 첨가량은 5, 8, 11, 14 vol.%로 변화시켜 OLED를 제작하였다. Rubrene 3 vol.%를 첨가하고 GDI4349의 첨가량을 변화시켜 제작한 OLED의 인가전압에 따른 발광휘도를 그림 4에 나타내었다. 인가전압이 증가함에 따라 발광 휘도는 점차 증가하고, GDI4349의 첨가량이 5, 8, 11, 14 vol.%일 때 9, 8, 9, 9.5 V의 인가전압에서 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 발광휘도를 나타내어 8 vol.%일 때 가장 낮은 8 V의 인가전압에서 1000 cd/m<sup>2</sup>의 값을 얻을 수 있었다. 이것은 그림 2와 동일하게 인광 첨가제를 8 vol.% 첨가한 경우에 최적의 특성값을 나타내고 있었다. 그림 2와 그림 4의 결과를 비교하여 보면 활성제로 GDI4349 만을 8 vol.% 첨가하여 제작한 OLED의 경우에는 1,000 cd/m<sup>2</sup>를 10.5 V에서 얻을 수 있었으나, Rubrene과 GDI4349를 동시에 첨가하여 제작한 OLED의 경우에는 1,000 cd/m<sup>2</sup>를 8 V에서 얻을 수 있어 보다 낮은 인가전압에서 높은 발광 휘도를 얻을 수 있다.

그림 5는 Rubrene의 첨가량이 3 vol.%로 고정하고 GDI4349의 첨가량을 5, 8, 11, 14 vol.%로 변화시켜 제작한 OLED의 인가전압에 대한 발광효율을 나타낸 것이다. 발광휘도가 1,000 cd/m<sup>2</sup>일 때의 발광효율은 GDI4349의 첨가량이 5, 8, 11, 14 vol.%일 때 각각 6.4, 10.7, 7.9, 5.0 cd/A를 나타내어 8 vol.%에서 최대의 효율을 얻을 수 있었다. 이 값을 그림 3의 결과와 비교하여 보면 GDI4349 만을 활성제로 첨가하여 제작한 OLED의 경우에는 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도에서 최대 발광효율은 7.2 cd/A

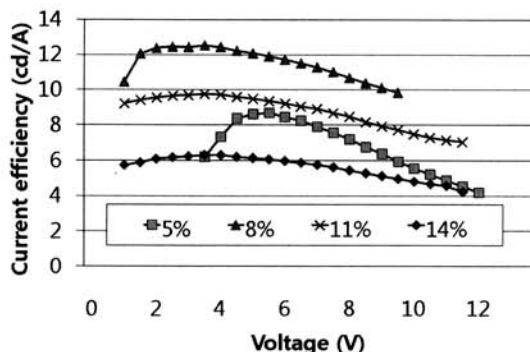


그림 5. Rubrene과 GDI4349를 첨가한 OLED 소자의 전압 - 발광효율 특성.  
 Fig. 5. Current efficiency - voltage characteristics of OLEDs doped with rubrene and GDI4349.

이었으나, Rubrene과 GDI4349를 동시에 증착하는 방법에 의하여 제작한 OLED의 경우에는 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도에서 최대 발광 효율 10.7 cd/A를 얻을 수 있어 동일한 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 발광휘도에서 보다 높은 발광효율을 얻을 수 있었다. Rubrene과 GDI4349를 동시 증착한 경우에 발광 효율은 인광 첨가제인 GDI4349의 첨가량이 5 vol.%에서 8 vol.%로 증가함에 따라 발광 모체인 CBP로부터 인광 첨가제인 GDI4349로 전이되는 에너지가 증가하여 발광에 기여하는 양이 증가함에 따라 발광효율이 증가되어지고, 8 vol.%에서 14 vol.%로 증가함에 따라 인광 첨가제의 상호작용에 의한 소광 현상에 의하여 발광효율이 감소하는 것이다. 또한 GDI4349 만을 첨가한 경우 보다 Rubrene과 GDI4349를 동시에 첨가함으로써 발광효율이 증가하는 것은 발광모체인 CBP로부터 Rubrene으로 에너지가 전이되어 발광하는 것이 발광에 기여하고 있음을 예측할 수 있다.

Rubrene 3 vol.%와 GDI4349 8 vol.%를 동시 증착하여 제작한 OLED 소자의 발광 스펙트럼과 GDI4359 8 vol.%만을 첨가하여 제작한 OLED 소자의 발광 스펙트럼을 그림 6에 나타내었다. 스펙트럼의 비교에서 첨가제를 GDI4349만 사용한 경우와 Rubrene 및 GDI4349를 동시에 사용한 경우에 거의 유사한 결과를 나타내었다. 이 결과는 발광 모체로 CBP를 사용하고 활성제로 GDI4349만을 사용하는 경우에 발광모체인 CBP로부터 활성제인 GDI4349로 충분한 에너지 전이가 일어나게 되어 GDI4349만의 발광을 나타내게 되고, 발광모체로

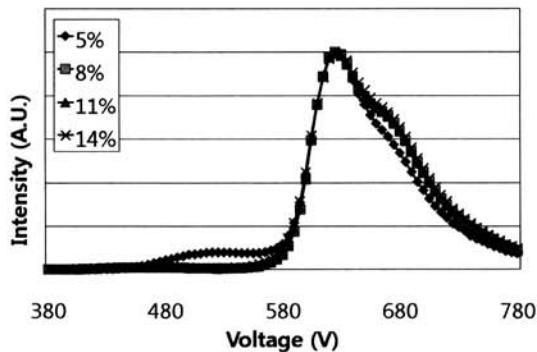


그림 6. GDI4349를 첨가한 OLED 소자와 Rubrene과 GDI4359를 첨가한 OLED 소자의 발광 스펙트럼.

Fig. 6. Spectrum of GDI4349 doped OLED device and spectrum of rubrene and GDI4349 doped OLED devices.

CBP를 사용하고 인광 및 형광 첨가제로 GDI4349와 Rubrene을 동시에 사용한 경우에도 발광은 GDI4349에서만 일어나고 있음을 보여준 결과이다. 즉 Rubrene은 직접적인 활성제로서 발광에 기여하지는 않고 GDI4349의 발광을 도와주는 부활성제로서의 역할을 수행하여 발광의 효율을 향상시키게 된다. 이 결과는 인광 활성제의 경우에도 부활성제인 Rubrene을 동시에 첨가함으로써 에너지 전이를 촉진시켜 보다 높은 효율을 얻을 수 있음을 보여준 것이다.

이상의 결과에서 형광 첨가제로 Rubrene 3 vol.%를 첨가하고 인광 첨가제로 GDI4349 8 vol.%를 동시에 첨가한 경우에 인광 첨가제로 GDI4349만을 8 vol.% 첨가한 경우보다 3.5 cd/A가 높은 발광효율을 얻었다. 또한 Rubrene과 GDI4349를 동시에 첨가한 경우 발광스펙트럼에서 Rubrene의 발광이 관측되지 않은 것으로부터 Rubrene은 활성제로 작용하지 않고 GDI4349만이 활성제로 작용하고 있고, Rubrene은 발광 효율을 증가시키는 부활성제 역할을 하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같이 GDI4349와 Rubrene을 동시에 첨가한 경우에 발광 효율이 증가하는 것은 1) 발광모체인 CBP로부터 부활성제인 Rubrene으로 에너지가 전이된 후 Rubrene으로부터 활성제인 GDI4349로 에너지가 전이되는 경우를 고려할 수 있다. 다른 경우로는 2) 발광 모체인 CBP로부터 에너지가 활성제인 GDI4349로 직접 전이되는 경우와 CBP로부터

Rubrene으로 일차적인 전이가 일어나고 다시 Rubrene으로부터 GDI4349로 전이되는 경우가 공존하는 경우를 고려할 수 있다. 그러나 CBP로부터 Rubrene으로 에너지가 전이하여 Rubrene이 직접적으로 발광을 하지는 않는 것을 볼 수 있다. 그림 1의 스펙트럼의 결과와 비교하여 보면 CBP의 PL 스펙트럼이 GDI4349와 Rubrene의 흡수 스펙트럼 영역과 중첩되고, Rubrene의 PL 스펙트럼 영역이 GDI4349의 흡수 스펙트럼 영역과 중첩되고 있어 발광 모체인 CBP로부터 GDI4349로 에너지의 직접 전이와 Rubrene을 경유하여 GDI4349로 에너지가 전이되는 2가지의 경우가 동시에 존재하고, 이것이 발광효율을 향상시키는 원인으로 해석되어 진다.

#### 4. 결론

ITO(150 nm)/ELM\_HIL(50 nm)/ELM\_HTL(30 nm)/CBP : Rubrene, GDI4349 (30 nm)/BALq (30 nm)/LiF(0.7 nm)/Al (100 nm)의 구조로 발광모체에 Rubrene과 GDI4349를 동시에 첨가하여 적색 OLED를 제작하였다. 발광모체에 형광 첨가제인 Rubrene만을 첨가한 적색 OLED의 경우 Rubrene의 첨가량이 3 vol.%일 때 최적의 특성을 나타내었다. 발광층에 인광 첨가제인 GDI4349를 5, 8, 11, 14 vol.% 첨가하여 제작한 적색 OLED의 경우 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도에서 6.2, 7.2, 6.4, 4.3 cd/A의 효율을 얻어 8 vol.%를 첨가한 경우에 최적의 효율을 나타내었다. 발광모체에 형광 물질인 Rubrene 3 vol.%와 동시에 인광 물질인 GDI4349를 5, 8, 11, 14 vol.% 첨가하여 제작한 OLED의 경우 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도에서 6.4, 10.7, 7.9, 5.0 cd/A의 효율을 얻을 수 있었다. 따라서 최적의 발광효율 특성을 보이는 Rubrene 3 vol.%와 GDI4349 8 vol.%를 첨가한 경우 GDI4349 8 vol.%만 첨가한 경우보다 50% 정도 효율이 개선된 특성을 얻을 수 있었다. 또한 1,000 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 얻기 위한 인가전압도 GDI4349 8 vol.%만 첨가한 경우 10.5 V에서 Rubrene 3 vol.%와 GDI4349 8 vol.%를 첨가한 경우 8 V로 낮아지는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 Rubrene의 첨가가 발광 스펙트럼에는 어떠한 영향도 주지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 Rubrene의 동시 첨가에 의하여 발광 효율을 극적으로 향상시키고, 인가전압을 낮출 수 있었다. 이 결과는 첨가제로 Rubrene과 GDI4349의 두 가지 물질을 사용한 경우에 여기 에너지가 발광 모체인 CBP로부터 Rubrene을 경유하여 GDI4349로

전이하는 경우와 GDI4349로 직접 전이하는 경우에 의하여 에너지 전이 효율이 증가하여 발광 효율이 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 중소기업청 산학협력실 지원 사업에 의한 것임.

### 참고 문헌

- [1] 장지근, "Alq<sub>3</sub> : Rubrene-GDI4234 형광 시스템을 이용한 적색 OLED의 제작과 특성 평가", 전기전자재료학회논문지, 19권, 5호, p. 437, 2006.
- [2] 박용규, 성현호, 김인회, 조황신, 양해석, "Rubrene 과 DCM2가 첨가된 적색 유기 전계발광소자의 발광 특성", 한국전기전자재료학회 2001하계학술대회논문집, p. 939, 2001.
- [3] 이민욱, "DCJTb와 Rubrene이 첨가된  $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 유기 전계발광 소자의 발광 특성", 중앙대 대학원 석사학위논문, 2003.
- [4] C.-H. Yang, C.-C. Tai, and I.-W. Sun, "Synthesis of a high-efficiency red phosphorescent emitter for organic light-emitting diodes", J. Materials Chemistry, Vol. 14, No. 6, p. 947, 2004.
- [5] I. R. Laskar, S.-F. Hsu, and T.-M. Vhen, "Syntheses, photoluminescence and electroluminescence of some new blue-emitting phosphorescent irridium(III)-based materials", Polyhedron, Vol. 24, No. 2, p. 189, 2005.
- [6] 강영진, 이석중, "OLEDs의 저분자 및 고분자인광 재료의 연구 동향", 고분자 과학과 기술, 17권, 1호, p. 43, 2006.
- [7] 김경민, 주성후, "2원 첨가 적색 OLED 소자의 발광특성", 전기전자재료학회논문지, 20권, 6호, p. 531, 2007.
- [8] Z. Kafafi, "Organic Electroluminescence", Taylor & Francis, p. 10, 2005.