

## 고분자와 인광염료간의 에너지 전이 현상을 이용한 고분자 삼중항 흡수 단면적 규명

### Triplet Absorption Cross-Section of Conjugated Polymer by Using Energy Transfer Processes in Polymer and Phosphorescent Metal Complex Blend

이창렬<sup>\*,\*\*</sup>, Xudong Yang<sup>\*\*</sup>, 변지수<sup>\*</sup>, 이종민<sup>\*</sup>, Neil Greenham<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>광주과학기술원 고등광기술연구소, <sup>\*\*</sup>Cavendish Laboratory, Cambridge, United Kingdom

[cl375@cam.ac.uk](mailto:cl375@cam.ac.uk)

공액결합된 고분자에서 단일항과 삼중항의 비는 각 항의 생성속도로부터 계산할 수 있다.<sup>1</sup> 단일항 생성속도는 전극과 cavity 소자구조의 간섭효과에 의한 광 흡수를 포함하는 광 행렬 방광모형을 통해 알아낼 수 있다.<sup>1</sup> 공액결합된 고분자 소자의 삼중항 생성속도는 삼중항의 수명과 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적을 통해 유도된 삼중항의 밀도로부터 계산되어 질 수 있다.<sup>1</sup> 공액결합된 고분자의 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적은 대략  $10^{-16}$  부터  $1.5 \times 10^{-15}$   $\text{cm}^2$ 로 추정된다.<sup>2,3</sup> 그러나 각각의 고분자에 대한 정확한 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적 추출의 어려움으로 인해 Cadby 등이 제시한 최소 한계값이 보편적으로 통용되고 있다. 고분자의 삼중항 여기자 밀도를 알 수 있다면, 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적은 광유도흡수 실험을 통해 Equation (1)과 같이 구해진다.

$$\frac{\Delta T}{T} = -n\sigma d \quad (1)$$

여기서  $\Delta T/T$ 는 광유도에 의한 탐사광 투과율의 변화량을 나타내며,  $n$ 은 삼중항 여기자의 밀도,  $d$ 는 박막의 두께,  $\sigma$ 는 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적이다.

만약, 흡수된 단일항 에너지를 삼중항으로 전도시키는 삼중항 발광 dopants 가 자신의 삼중항 에너지를 공액결합 고분자의 삼중항으로 전달한다면, 이는 고분자의 삼중항 여기자의 생성속도를 밝힐 수 있는 한 방법이 될 것이다. 인광염료가 혼합된 공액결합 고분자 박막의 준정상상태 광유도 흡수 측정은 직접적이며 정확한 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적 측정을 가능케 한다. 그러므로 본 연구에서는 준정상상태 펄스-프로브 실험과 인광 물질인 Firpic<sup>4</sup>에서 고분자인 F8BT로의 삼중항 에너지 전이를 통해, 고분자인 F8BT의 삼중항-삼중항 흡수 단면적을 구해보자고 한다.

그림 1 (a)는 F8BT와 Firpic의 흡수 및 발광 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 보여지듯이 Firpic의 발광 스펙트럼과 F8BT의 흡수 스펙트럼의 우수한 중첩성과 F8BT의 단일항 보다 더 높은 Firpic의 삼중항 에너지로 인해 Firpic으로부터 F8BT로의 효율적인 삼중항-단일항 에너지 전달이 추측된다. 또한 F8BT의 삼중항 보다 높은 Firpic의 삼중항 에너지는 Firpic의 삼중항으로부터 F8BT의 삼중항으로의 효율적인 Dexter 에너지 전이를 가능케 한다. 그림 1(b)는 Firpic의 농도에 따른 Firpic 혼합된 F8BT 박막의 발광 스펙트럼 결과이다. 그림에 따르면, Firpic의 농도가 증가함에 따라 F8BT의 발광세기가 감소함을 볼 수 있다. 또한 Firpic의 농도가 5%에 이르면 불구하고 Firpic의 발광은 관찰되지 않았다. 이러한 Firpic의 삼중항 발광 억제에는 F8BT와 Firpic 간의 상분리나 뭉침에 의한 비복사 채널이나 여기자 해리 혹은 전하 이동 등에 의한 것이 아니라, Firpic과 F8BT간의 삼중항 에너지 전이에 의한 것으로 설명된다.

그림 2의 (a)와 (b)는 40K에서 F8BT와 Firpic 혼합된 F8BT 박막의 광유도 흡수 스펙트럼과 주파수에 따른 광유도 흡수 결과이다. F8BT와 Firpic 혼합된 F8BT 박막은 분광적으로 동일한 광유도 흡수 결과를 보이며 이는 각 시료에서 동일한 여기 종이 광유도 흡수에 관련하고 있음을 의미한다. 사용된 혼합물 박막에서는 1.47 eV의 삼중항 광유도 흡수 피크가 관측되었으며, 광유도 흡수의 세기는 Firpic 첨가 농도가 증가할수록 증가하였다. 이는 Firpic에서 F8BT로의 효율적인 삼중항-삼중항 에너지 전이가 일어나고 있음을 추측하게 한다. Firpic이 혼합된 F8BT박막에서의 향상된 삼중항 여기자 수명 역시 삼중항-삼중항 에너지 전이를 뒷받침하고 있다.

F8BT의 삼중항 여기자 수명은  $380 \pm 10 \mu\text{s}$  (F8BT 자체)에서  $470 \pm 10 \mu\text{s}$  (1% Firpic 혼합된 F8BT)으로 증가하였다. 이는 Firpic으로부터 삼중항 여기자가 공급됨에 따라 F8BT의 삼중항 여기자수가 초기값의 1/e 값으로 감소하는데 걸리는 시간이 지연됐음을 의미하여, 이로 인해 F8BT의 삼중항 여기자 수명이 늘어났음을 나타내고 있다.

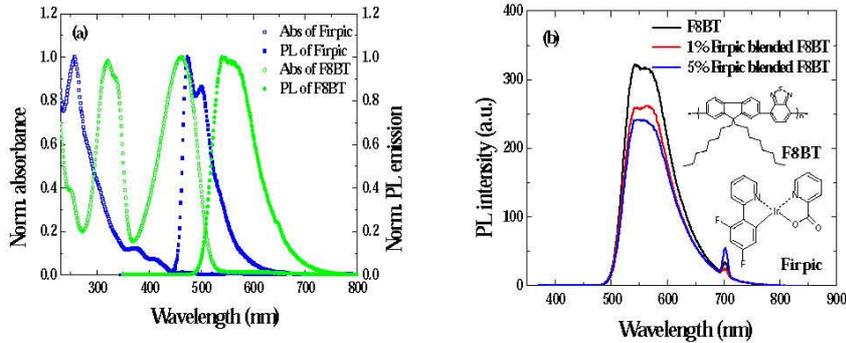


그림 1. (a) F8BT와 Firpic의 흡수 및 발광 스펙트럼, (b) Firpic 혼합된 F8BT 박막의 Firpic 농도에 따른 발광 스펙트럼. 삽입그림은 F8BT와 Firpic의 분자구조임.

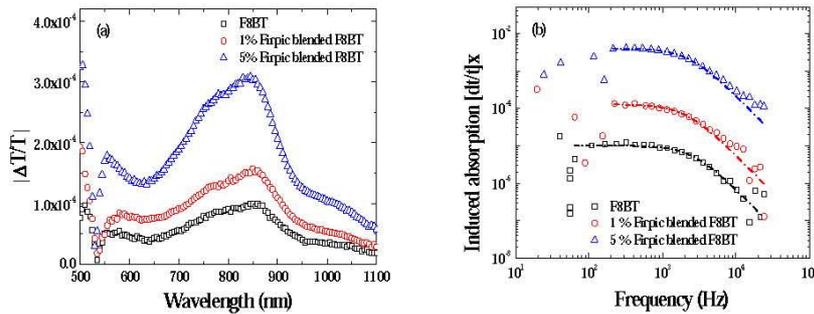


그림 2. 40K에서의 F8BT와 Firpic 혼합된 F8BT 박막의 (a) 광유도 흡수 스펙트럼, (b) 주파수에 따른 광유도 흡수 결과. 모든 샘플은 364 nm 파장의 아르곤 레이저에 의해 여기되었음.

F8BT의 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적은 삼중항 여기자 밀도와 Equation (1)을 이용하여 계산할 수 있다. 계산된 삼중항 ( $T_1 \rightarrow T_n$ ) 흡수 단면적은  $1.6 \pm 0.1 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ 이며, 이는 문헌에 보고된 시간 의존 밀도 흡수 이론을 이용한 양자화학계산에 의한 결과와 거의 같은 값으로 [ $2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$  for (F8BT)<sub>3</sub>] F8BT의 광유도 흡수 실험의 정확도를 증명하고 있다.

## REFERENCE

1. A. S. Dhoot, D. S. Ginger, D. Beljonne, Z. Shuai, and N. C. Greenham, Chem. Phys. Lett. 360, 195-201 (2002).
2. L. P. Candeias, J. Wildeman, G. Hadziioannou, and J. M. Warman, J. Phys. Chem. B 104, 8366-8371 (2000).
3. A. J. Cadby, P. A. Lane, H. Mellor, S. J. Martin, M. Grell, C. Giebeler, D. D. C. Bradley, M. Wohlgenannt, C. An, and Z. V. Vardeny, Phys. Rev. B 62, 15604-15609 (2000).
4. C. Adachi, R. C. Kwong, P. Djurovich, V. Adamovich, M. A. Baldo, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 79, 2082-2084 (2001).
5. T. A. Ford, I. Avilov, D. Beljonne, and N. C. Greenham, Phys. Rev. B 71, 125212 (2005).