

# Hybrid LED용 유기 형광체로서의 Swallow-Tail Perylene Bisimide 제조 및 특성 연구

정성봉<sup>1</sup>, 정연태<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> 부경대학교 LED융합공학전공

<sup>2</sup> 부경대학교 융합디스플레이공학과

## Synthesis and Characterization of Swallow-Tail Perylene Bisimide as Organic Phosphor for Hybrid LED

Sung Bong Jung<sup>1</sup> and Yeon Tae Jeong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of LED Convergence Lighting for Shipbuilding, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>2</sup> Department of Display Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

(Received September 18, 2018; Revised October 2, 2018; Accepted October 8, 2018)

**Abstract:** Although perylene bisimide derivatives have advantages such as excellent thermal stability and high luminance efficiency, they have poor solubility characteristics in organic solvents. In this research, in order to improve the solubility characteristics, we prepared perylene bisimide derivatives (1C) and (2C) with swallow-tail substituted imide, which is known to lead to excellent solubility. The structures and properties of swallow-tail perylene bisimide (1C) and (2C) were analyzed by <sup>1</sup>H-NMR, FT-IR, UV/Vis spectroscopy, and thermogravimetric analysis (TGA). The maximum absorption wavelengths of (1C) and (2C) in the UV/Vis spectrum were 558 nm and 556 nm, respectively, and the maximum emission wavelengths were 602 nm and 600 nm, respectively. In the TGA, (1C) demonstrated good thermal stability with less than 5 wt% weight loss up to 242°C. In the solubility test, (1C) and (2C) exhibited solubilities of more than 5 wt% in chloroform, ethyl acetate, and dimethylformamide, but not in methanol. When the compounds (1C) and (2C) were mixed with PMMA (polymethyl methacrylate), thin films showed peaks at 679 nm and 677 nm, respectively, in the photoluminescence spectra. (1C) was found to be a possible candidate as red organic phosphor for hybrid LEDs.

**Keywords:** Organic phosphor, Hybrid LED, Swallow-tail perylene bisimide, Solubility characteristics, PMMA film

### 1. 서론

LED는 기존 광원들에 비해 작고 견고하고 수명도 길며, 더 밝고 전력 소모량도 낮아 경제적이다. 그래서 백열등, 형광등과 같은 기존 광원들이 LED로 대체되고

✉ Yeon Tae Jeong; [ytjeong@pknu.ac.kr](mailto:ykjeong@pknu.ac.kr)

Copyright ©2019 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

있는 실정이다. 그리고 현재 각종 조명, 신호등, 광고판, 자동차의 라이트 등 다양한 용도로 사용되고 있다. 그중에서 조명용 LED의 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 대부분의 조명용 LED는 백색광이 요구되는데, 백색광을 구현하기 위한 몇 가지 접근 방법이 있다 [1,2]. (a) 각각의 R, G, B LED chip의 혼합을 이용하여 백색을 구현하는 방법, (b) UV-LED chip과 R, G, B 형광체를 이용하여 백색을 구현하는 방법, (c) 청색 LED와 황색 형광체를 이용하여 백색을 구현하는 방법이 있다. (a) 방법은 다양한 색온도 및 색 구현이 가능

하고 연색성이 좋은 장점이 있지만, 각각 LED의 수명이 다르고, 회로 설계 시, 직렬 스트링의 수가 많아 다이오드 전압 강하에 의해 직렬 배열 간 광량 차이가 발생하기 때문에 고른 배광특성을 얻기 힘들다 [1]. (b) 방법은 효율은 좋을 수 있으나 UV-LED의 출력도 문제지만 R, G, B 형광체들을 같이 사용하면 B 형광체의 여기광을 G, R 형광체가 흡수하고 G 형광체의 여기광 또한 R 형광체가 흡수하게 되어 결과적으로 연색성이 매우 낮아 일반 조명으로써 문제가 있다. (c) 방법은 (b) 방법과 같이 더 큰 에너지를 형광체가 흡수하여 발광하는 down-conversion 방식을 사용한다 [3]. 일반적으로 형광체는 YAG 황색 무기 형광체가 사용되어 왔지만 무기 형광체는 열 안정성이 높지만 비용, 제조 측면에서 문제점이 있어, 유기 형광체를 이용하고자 하는 연구와 실험들이 진행되고 있다. 유기 형광체는 용해도 특성이 우수하여 분산, 도포가 용이하고 목적과 용도에 맞게 쉽게 변형이 가능하며 비용, 제조 측면에서도 무기 형광체에 비해 유리하다. 하지만 열 안정성이 낮아 쉽게 분해될 우려가 있어 그로 인해 수명이 짧은 단점이 있다. 이 연구에서는 청색 LED에 down-conversion 방식의 hybrid LED에 적용될 수 있는 적색 유기 형광체를 개발하고자 한다. Perylene bisimide 유도체들은 열 안정성, 분광 특성, 내용매성, 내화학적 등의 특성은 우수하지만 용해도 특성이 좋지 않아, 전자 재료로 적용에 한계가 있는 것으로 보고되어 있다 [4-7]. Perylene bisimide에 유기 형광체로서 필요한 특성 중 용해도 특성을 향상시키기 위하여 imide기에 용해도 증진 특성이 뛰어난 swallow-tail기 [7,8]를 도입하고, bay 위치에 phenoxy기를 도입한 swallow-tail perylene bisimide를 합성하고, 합성한 perylene bisimide 유도체의 용해도, 열 안정성 및 분광 특성을 측정하여 hybrid LED용 적색 유기 형광체로서 적성을 조사하였다.

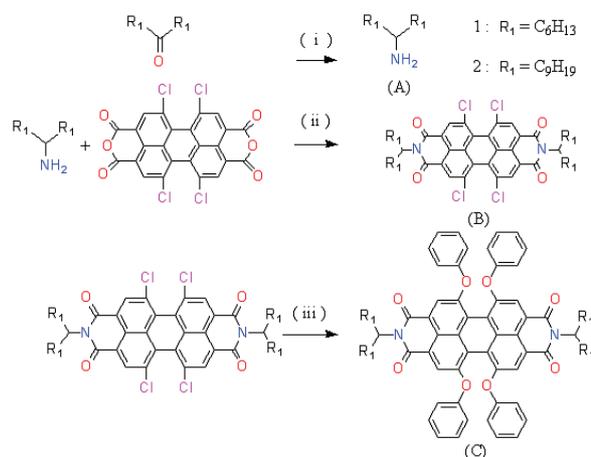
## 2. 실험 방법

### 2.1 시약 및 분석기기

1,6,7,12-Tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic dianhydride는 Alibaba사에서 구입하여 사용하였고, 7-tridecanone, 10-nonadecanone은 Tokyo Chemical Industry사에서 구입하여 사용하였고, sodium cyanoborohydride, phenol은 Alfa Aesar사에서 구입하여 사용하였고, PMMA

(polymethyl methacrylate, Mw ~ 350,000)는 Sigma-Aldrich사에서 구입하였다. <sup>1</sup>H-NMR 측정은 JEOL사의 JNM ECP-400기기를 사용하였고, FT-IR spectrum 측정을 위한 기기는 PERKIN-ELMER사의 Spectrum X를 사용하였다. 열 중량 분석을 위한 기기는 PERKIN-ELMER사의 TGA 7을 사용하였고, UV/Vis absorption & PL emission 측정은 Shimadzu사의 UV-2450을 사용하였다. PL excitation & emission spectrum은 HITACHI사의 F-4500기기를 사용하였고, 색차 분석은 Konica Minolta사의 CS-100A를 사용하였다.

### 2.2 Swallow-tail perylene bisimide 형광체의 합성



**Fig. 1.** Synthetic pathway to N,N'-Bis(swallow-tail)-1,6,7,12-tetraphenoxyperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide; (i) ammonium acetate, sodium cyanoborohydride, methanol, 56 h, (ii) zinc acetate, imidazole, 160°C, 5 h, and (iii) phenol, potassium carbonate, DMF, 90°C, 24 h.

### 2.3 7-tridecanamine (1A)

7-tridecanone (2 g, 10.08 mmol), ammonium acetate (6.85 g, 89 mmol), methanol (50 ml)을 100 mL 플라스크에 넣고 질소 분위기로 상온에서 1시간 30분 동안 교반하고 sodium cyanoborohydride (0.38 g, 6.08 mmol)을 넣고 상온에서 56시간 동안 교반하였다. 반응이 완료된 후 진한 염산(1 mL)을 넣고 2시간 후에 회전증발기를 이용해 methanol을 제거하고 흰 고체를 얻었다. 그리고 플라스크에 물 60 mL을 넣고 KOH로 pH를 10.5로 만들어 준 후, 클로로포름을

이용해 3번에 걸쳐 유기층을 분리하였고, magnesium sulfate를 이용해 물을 제거해 준 후, 감압필터와 회전증발기를 이용해 클로로포름을 완전히 제거하고 노란 오일 생성물(1.27 g, 6.35 mmol)을 얻었다 (yield: 63%).

#### 2.4 10-nonadecanamine (2A)

10-nonadecanone (2 g, 7.16 mmol), ammonium acetate (4.81 g, 62.43 mmol), methanol (50 ml)을 100 mL 플라스크에 넣고 질소 분위기로 상온에서 1시간 30분 동안 교반하고 sodium cyanoborohydride (0.27 g, 4.27 mmol)을 넣고 상온에서 56시간 동안 교반하였다. 반응이 완료된 후 진한 염산(1 mL)을 넣고 2시간 후에 회전증발기를 이용해 methanol을 제거하고 흰 고체를 얻었다. 그리고 플라스크에 물 60 mL을 넣고 KOH로 pH를 10.5로 만들어 준 후, 클로로포름을 이용해 3번에 걸쳐 유기층 분리를 하였고, magnesium sulfate를 이용해 물을 제거해 준 후, 감압필터와 회전증발기를 이용해 클로로포름을 완전히 제거하고 노란 오일 생성물(1.52 g, 5.39 mmol)을 얻었다 (yield: 76%).

#### 2.5 N,N'-Bis(7-tridecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (1B)

1,6,7,12-Tetrachloroperylene tetracarboxylic acid dianhydride (1.38 g, 2.6 mmol), 7-tridecanamine (1.27 g, 6.35 mmol), Imidazole (5.03 g), zinc acetate (0.36 g, 1.95 mmol)을 100 mL 플라스크에 넣고 160°C에서 5시간 반응을 진행했다. 반응이 완료된 후 상온으로 냉각시킨 뒤, 클로로포름으로 용해시키고 hexane:ethyl acetate (9:1) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 관 크로마토그래피로 분리하여 순수한 옅은 적색 생성물(0.68 g, 0.76 mmol)을 얻었다 (yield: 29%).

#### 2.6 N,N'-Bis(10-nonadecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (2B)

1,6,7,12-Tetrachloroperylene tetracarboxylic acid dianhydride (1.13 g, 2.14 mmol), 10-nonadecanamine (1.48 g, 5.22 mmol), Imidazole (4.14 g), zinc acetate (0.3 g, 1.6 mmol)을 100 mL 플라스크에 넣고 160°C

에서 5시간 반응을 진행했다. 반응이 완료된 후 상온으로 냉각시킨 뒤, 클로로포름으로 용해시키고 hexane:ethyl acetate (9:1) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 관 크로마토그래피로 분리하여 순수한 옅은 적색 생성물(1.02 g, 0.96 mmol)을 얻었다 (yield: 45%).

#### 2.7 N,N'-Bis(7-tridecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (1C)

N,N'-Bis(7-tridecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (0.8 g, 0.9 mmol), phenol (0.9 g, 9.6 mmol), potassium carbonate (0.62 g, 4.5 mmol)를 100 mL 플라스크에 넣고 여기에 반응 용매로 DMF (40 mL)를 첨가한 후에 질소 분위기로 90°C에서 24시간 반응을 진행하였다. 반응이 완료된 후 상온으로 냉각 후에 400 mL 2N hydrochloric acid에 넣어 상온에서 2시간 동안 교반하여 침전물을 생성시킨 후, 감압필터를 이용하여 분리하고, 분리한 생성물을 완전히 건조시키고 hexane:ethyl acetate (9.5:0.5) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 관 크로마토그래피로 분리하여 순수한 진한 적색 생성물(0.48 g, 0.43 mmol)을 얻었다 [yield: 48%, FT-IR: 2,923 (C-H, alkanes), 1,698 (C=O), 1,659 (C=O), 1,280 (C-N), 1,219 (C-O)  $\text{cm}^{-1}$ ,  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  8.54~8.64 (m, 2 H), 8.19 (dd,  $J$  = 28.71, 14.47 Hz, 4 H), 7.43~7.46 (m, 4 H), 7.20~7.28 (m, 8 H), 7.10 (q,  $J$  = 6.54 Hz, 2 H) 6.92 (dd,  $J$  = 12.58, 8.24 Hz, 4 H), 5.05~5.16 (m, 2 H) 2.09~2.24 (m, 4 H), 1.71~1.82 (m, 4 H), 1.10~1.37 (m, 32 H), 0.79~0.90 (m, 12 H)].

#### 2.8 N,N'-Bis(10-nonadecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (2C)

N,N'-Bis(10-nonadecyl)-1,6,7,12-tetrachloroperylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide (0.318 g, 0.3 mmol), phenol (0.282 g, 3 mmol), potassium carbonate (0.207 g, 1.5 mmol)를 100 mL 플라스크에 넣고 여기에 반응 용매로 DMF (30 mL)를 첨가한 후에 질소 분위기로 90°C에서 24시간 반응을 진행하였다. 반응이 완료된 후 상온으로 냉각 후에 400 mL 2N hydrochloric acid에 넣어 상온에서 2시간동안 교반하여 침전물을 생성시킨 후, 감압필터를 이용하여 분리하고, 분리한

생성물을 완전히 건조시키고 hexane:ethyl acetate (95:5) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 관 크로마토그래피로 분리하여 순수한 진한 적색 생성물(0.25 g, 0.13 mmol)을 얻었다 [yield: 64%, FT-IR: 2,920 (C-H, alkanes), 1,698 (C=O), 1,659 (C=O), 1,280 (C-N), 1,217 (C-O)  $\text{cm}^{-1}$ ,  $^1\text{H-NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ ):  $\delta$  8.53~8.60 (m, 2 H), 8.12~8.24 (m, 4 H), 7.38~7.53 (m, 4 H), 7.19~7.27 (m, 8 H), 7.07~7.10 (m, 2 H), 6.87~6.94 (m, 4 H), 5.03~5.12 (m, 2 H), 2.32~2.34 (m, 4 H), 1.74~1.81 (m, 4 H), 1.06~1.36 (m, 56 H), 0.79~1.00 (m, 13 H)].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Swallow-tail perylene bisimide 형광체의 용해도 특성

Hybrid LED 방식에서 유기 형광체가 플라스틱 확산판에 도포되어 사용되므로 유기 용매에 대한 용해도 특성이 좋아야 한다. 그래서 Swallow-tail perylene bisimide 형광체를 일반적인 유기 용매 클로로포름, 메탄올, 에틸아세테이트, 디메틸포름아마이드에 대한 용해도 측정 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1에서 swallow-tail perylene bisimide 1C와 2C의 경우, 메탄올을 제외한 유기 용매에 5 wt% 이상의 뛰어난 용해도 특성을 확인하였다. 기존의 perylene bisimide는 평면성 적층구조를 갖기 때문에 평면 사이에 용매가 침투하기 어려워, 용해도 특성이 좋지 않지만, 1C와 2C의 경우 imide기의 swallow-tail 구조가 perylene 평면과 평면 사이를 벌리는 잭 역할을 하여, perylene 평면 사이에 용매 침투가 용이하여 우수한 용해도 특성을 나타냄을 확인하였다.

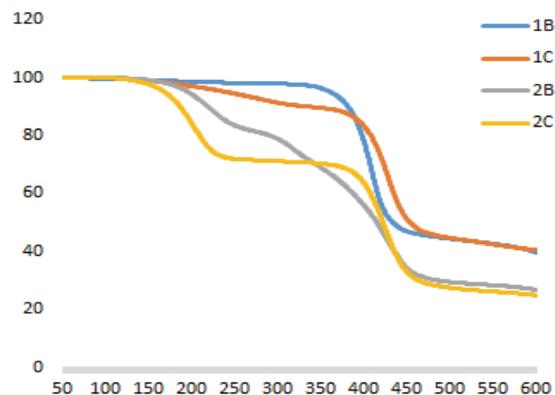
**Table 1.** Solubility of swallow-tail perylene bisimide in organic solvents.

	Chloroform	Methanol	EA	DMF
1B	●	×	△	△
2B	●	×	△	△
1C	●	△	●	●
2C	●	△	●	●

●:  $\geq 5$  wt%, ○: 3~5 wt%, △: 1~3 wt%, ×: <1 wt%

#### 3.2 Swallow-tail perylene bisimide 형광체의 열적 특성

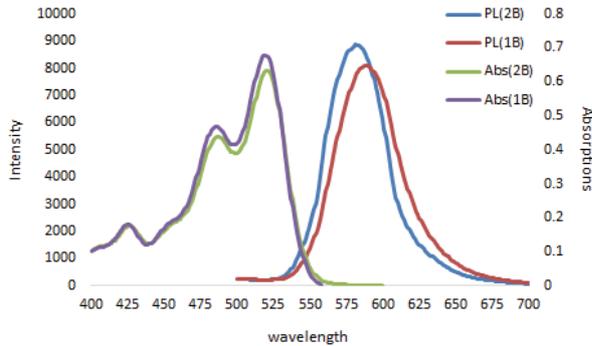
온도가 높아짐에 따라, 형광체의 분자구조에 변형이 일어나서, 형광체 발광의 밝기와 색상이 변할 수 있기 때문에 형광체의 열 안정성은 장시간 사용되는 장치에서 중요한 특성이다. Swallow-tail perylene bisimide의 열 안정성을 측정하기 위하여 열 중량분석(TGA)을 수행하였고, 얻어진 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2로부터, 1B는 363°C까지, 1C는 242°C까지 약 5 wt%의 중량 감소가 일어났으며, 그 이후에는 393°C까지 거의 중량 감소가 없는 것을 확인할 수 있었다. 또한 1B, 1C가 2B, 2C에 비해서 열적 안정성이 우수한 것을 확인하였다. 이 관찰로부터 swallow-tail기의 탄소 사슬의 길이가 13개(1C)와 19개(2C) 사이에는 유기 용매에 대한 용해도는 큰 차이가 없지만, 열 안정성은 감소함을 확인할 수 있었다.



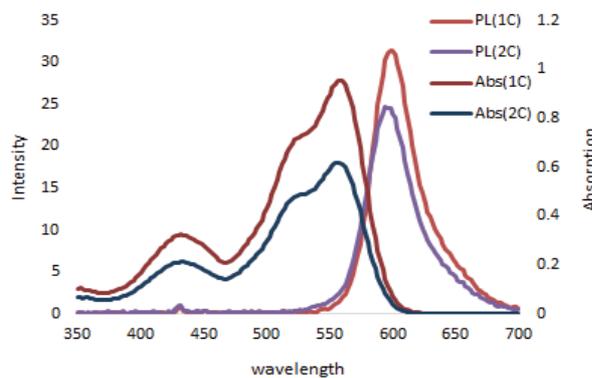
**Fig. 2.** TGA thermograms of swallow-tail perylene bisimide.

#### 3.3 Swallow-tail perylene bisimide 형광체의 분광 특성

Swallow-tail perylene bisimide 1B와 2B의 UV/Vis spectrum을 그림 3에 나타내었고, swallow-tail perylene bisimide 1C와 2C의 UV/Vis spectrum을 그림 4에 나타내었다. 그림 3, 4에서 1B와 2B, 1C와 2C 사이에는 최대 흡수파장이 큰 차이가 없음을 확인하였으며, 이 결과로부터 swallow-tail기의 탄소 사슬의 길이는 최대 흡수파장에 큰 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있었다. 1B와 2B의 bay 위치에



**Fig. 3.** UV/Vis absorptions and PL spectra of 1B and 2B in chloroform.

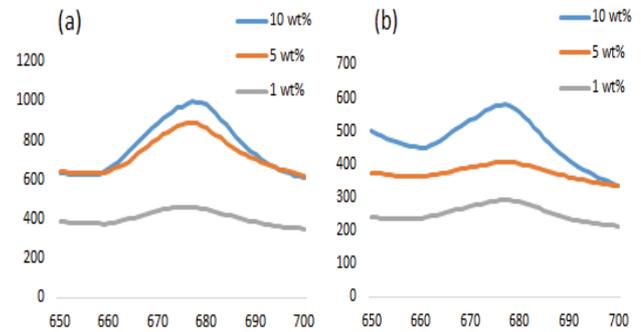


**Fig. 4.** UV/Vis absorptions and PL spectra of 1C and 2C in chloroform.

있는 염소를 phenoxy기로 치환시키면 약 20 nm의 장파장 이동을 나타내어, 1C와 2C의 최대 발광파장이 602 nm, 600 nm에 나타나, 적색 유기 형광체로서 적합한 발광 특성을 나타내었다. 이러한 관찰로부터 perylene bisimide를 적색 유기 형광체로 만들기 위해서는 perylene bisimide의 bay 위치에 phenoxy기를 도입해야 하지만, phenoxy기의 도입은 perylene bisimide의 열 안정성은 감소시킴을 앞의 열 안정성 분석의 결과로부터 알 수 있다.

### 3.4 Swallow-tail perylene bisimide 형광체의 필름 제조 및 특성 분석

Hybrid LED 방식에서 유기 형광체는 우수한 광학 특성을 갖는 PMMA를 바인더로 사용하여 확산판 위에 필름 형태로 도포하여 사용된다 [10,11]. 그래서 형광체 자체의 열 안정성, 분광 특성뿐만 아니라 PMMA



**Fig. 5.** PL spectra of (a) 1C and (b) 2C in blended thin films with PMMA.

필름 내에서의 열 안정성, 분광 특성 또한 중요하다.

합성한 1C 또는 2C 화합물을 PMMA에 10 wt% (1C 0.01 g + PMMA 0.09 g), 5 wt% (1C 0.005 g + PMMA 0.095 g), 1 wt% (1C 0.001 g + PMMA 0.099 g)를 9.9 g의 에틸아세테이트 용매에 녹여 1 wt% 용액으로 제조하였다. 제조한 용액을 세정된 silicon wafer 위에 drop-casting 방식으로 코팅한 후 용매를 완전히 제거하기 위하여 100°C hot plate 위에서 15분 동안 건조시켰다. 이렇게 제조한 필름들의 분광 특성을 측정하기 위하여 Hitachi사의 F-4500 기기를 이용하여 발광 스펙트럼을 측정하였고, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 PMMA 필름 내에서의 유기 형광체의 농도가 10 wt%, 5 wt%, 1 wt% 순으로 발광 세기가 감소하는 것을 확인하였다. 유기 형광체 1C와 2C를 첨가한 PMMA 필름의 최대 발광파장이 679 nm, 677 nm에서 나타남을 확인하였다. 이는 전에 발표한 bromoaniline perylene bisimide의 결과 [9]와 비교하여 swallow-tail perylene bisimide가 PMMA 필름에서 60 nm 정도 더 장파장으로 시프트된 것을 확인하였다. 이것은 swallow-tail의 사슬 구조가 bromoaniline의 벤젠 구조보다 PMMA의 사슬 구조와 더 잘 상호작용하기 때문인 것으로 추정한다.

#### 3.4.1 PMMA 필름 내에서 (1C)와 (2C)의 열 안정성

합성한 1C 또는 2C 화합물(10 wt%, 0.01 g)과 PMMA (0.09 g)를 9.9 g의 에틸아세테이트 용매에 녹여 1 wt% 용액으로 만들어, 세정된 유리판에 drop-casting 방법으로 코팅한 후 용매를 완전히 제거하기 위하여 15분 동안 100°C hot plate에서 위에서 건조시켰다.

**Table 2.** Color difference values of 1C and 2C in PMMA film.

	Time (h)	x	y	Y	$\Delta E$
1C	0	0.573	0.377	4.60	
	1	0.572	0.378	4.59	0.33
	2	0.572	0.376	4.60	0.37
	3	0.574	0.375	4.61	0.55
	4	0.573	0.373	4.59	1.10
	6	0.573	0.372	4.75	1.45
	8	0.578	0.373	4.64	1.46
	12	0.578	0.374	4.73	1.67
	16	0.580	0.372	4.68	2.04
	24	0.574	0.368	4.57	2.46
2C	0	0.489	0.400	4.43	
	1	0.488	0.399	4.42	0.32
	2	0.487	0.401	4.42	0.45
	3	0.484	0.399	4.47	0.89
	4	0.486	0.400	4.28	1.00
	6	0.482	0.399	4.75	1.16
	8	0.481	0.401	4.78	1.37
	12	0.479	0.399	4.61	1.59
	16	0.480	0.392	4.61	2.27
	24	0.472	0.399	4.69	2.75

PMMA 필름 내에서의 1C와 2C의 열 안정성을 확인하기 위하여, 제작한 유리 기판을 100°C 항온 오븐에 보관하면서, 보관 시간에 따른 색차값( $\Delta E$ )의 변화를 측정하여 그 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 유기 형광체 1C와 2C를 첨가한 PMMA 필름은 100°C 항온 오븐 내에서 8시간까지는 색차값의 변화가 작았지만, 16시간 이후에는 색차값의 변화가 크게 나타나는 것을 확인하였다. TGA 결과와는 다르게 PMMA 필름 내에서 1C와 2C의 열 안정성은 크게 차이가 없음을 확인하였다.

#### 4. 결론

두 단계에 걸쳐 합성한 swallow-tail bisimide 1C와 2C를 <sup>1</sup>H-NMR과 FT-IR을 이용해 구조를 확인하였으며, hybrid LED용 적색 유기 형광체로서의 적성 평가를 위하여 열 안정성, 용해도 특성, 분광 특성 등을 조사하였다.

1C와 2C는 메탄올을 제외한 클로로포름, 에틸아세테이트, 디메틸포름아마이드 유기 용매에 5 wt% 이상의 우수한 용해도 특성을 나타내었다. 그리고 열 중량분석에서는 1C는 242°C까지 5 wt% 미만의 중량 감소가 일어난 뒤, 393°C까지 거의 중량 변화가 없는 우수한 열 안정성을 나타내었다. 그리고 UV/Vis spectrum 분석에서는 1C와 2C의 최대 흡수파장이 558 nm, 556 nm이며, 1C와 2C의 최대 발광파장이 602 nm, 600 nm이어서, 적색의 발광특성을 확인하였다.

Hybrid LED용 적색 유기 형광체로 사용할 수 있는지 알아보기 위하여 유기 형광체 1C와 2C를 첨가한 PMMA 필름을 제조하여 분광 특성 및 열 안정성을 조사하였다. 제조한 1C와 2C의 PMMA 필름은 발광 스펙트럼에서 679 nm, 677 nm의 최대 발광파장을 나타내었다. PMMA 필름 내에서의 열 안정성을 확인하기 위하여 색차값 분석을 통해 8시간까지는 색차값의 변화가 작게 나타났지만 16시간 이후에는 색차값의 변화가 커짐을 보였다.

본 연구에서 swallow-tail perylene bisimide 1C가 보다 우수한 용해도 특성, 열 안정성, 분광 특성 등을 나타내어, hybrid LED용 적색 유기 형광체로서의 활용 가능성을 확인하였다.

#### ORCID

Yeon Tae Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-2943-6954>

#### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 수송기기 특화조명 핵심기술개발 전문인력양성사업(과제번호: N0001363, 조선·해양플랜트·해양환경 LED융합조명 핵심기술개발 전문인력양성)으로 지원된 연구임.

#### REFERENCES

- [1] B. H. Jeong, N. O. Kim, D. G. Kim, G. G. Oh, G. B. Cho, and K. Y. Lee, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **23**, 23 (2009).
- [2] Y. J. Sim, I. T. Kim, and A. S. Choi, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **29**, 1 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.1.001>]

- [3] N. J. Findlay, J. Bruckbauer, A. R. Inigo, B. Breig, S. Arumugam, D. J. Wallis, R. W. Martin, and P. J. Skabara, *Adv. Mater.*, **26**, 7290 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201402661>]
- [4] E. Kozma and M. Catellani, *Dyes Pigm.*, **98**, 160 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.01.020>]
- [5] D. Dasgupta, A. M. Kendhale, M. G. Debije, J. ter Schiphorst, I. K. Shishmanova, G. Portale, and A.P.H.J. Schenning, *ChemistryOpen*, **3**, 138 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.1002/open.201402011>]
- [6] A. Wicklein, A. Lang, M. Muth, and M. Thelakkat, *J. Am. Chem. Soc.*, **131**, 14442 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1021/ja905260c>]
- [7] H. Langhals, R. Ismael, and O. Yürük, *Tetrahedron*, **56**, 5435 (2000). [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(00\)00452-X](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(00)00452-X)]
- [8] C. A. Fuller and C. E. Finlayson, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 31781 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.1039/C7CP05039A>]
- [9] S. M. Lee and Y. T. Jeong, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **30**, 48 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2017.30.1.48>]
- [10] M. J. Jung, J. W. Lim, I. J. Park, and Y. S. Lee, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 317 (2010).
- [11] G. S. Padilha, V. M. Giaccon, and J. R. Bartoli, *Polimeros*, **27**, 195 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.12516>]