

전기발광고분자의 양자효율 측정

박성흠 · 김진영 · 이광희*

부산대학교 물리학과

☎ 609-735 부산시 금정구 장전동 산 30번지

진영음 · 서홍석

부산대학교 화학과

☎ 609-735 부산시 금정구 장전동 산 30번지

(2002년 2월 22일 받음, 2002년 3월 21일 수정본 받음)

최근 주목을 받고 있는 고분자 발광다이오드의 개발에 있어서, 발광고분자의 Photoluminescence(PL)와 Electroluminescence(EL) 양자효율 측정은 소자의 성능개선 연구 등에 있어서 가장 핵심적인 요소 중 하나로 여겨진다. 이러한 이유에서 본 연구에서는 잘 알려진 발광고분자인 Poly(2-methoxy-5-(2-ethyl-hexyloxy)-1,4-phenylenevinylene) (MEH-PPV)를 이용하여 시편을 제작하고, 적분구 측정법을 이용하여 이의 PL과 EL 양자효율을 구하였다. 그 결과 본 연구진이 개발한 MEH-PPV의 PL 양자효율은 $8 \pm 2\%$ 로 측정되었는데, 이는 세계적으로 알려져 있는 $\sim 9\%$ 의 결과에 거의 접근함을 보였다. 한편, 이 물질을 이용하여 고분자 발광다이오드를 제작한 결과, 이의 EL 양자효율은 0.02 lm/W로 측정되었다. 본 연구를 통하여 확립된 발광고분자의 양자효율 측정법은 국내의 유기발광소자 연구에 큰 기여를 하리라 기대된다.

주제어 : Polymer LED, Photoluminescence, Electroluminescence, Quantum Efficiency.

I. 서 론

현재 고분자를 이용한 발광다이오드는 차세대 디스플레이 소자로서 각광받으며, 세계적으로 많은 연구와 발전이 이루어지고 있다. 이때, 이러한 연구의 핵심요소 중의 하나는 바로 고효율의 새로운 발광물질 개발인데, 이를 위하여서는 그 물질이나 소자의 성능을 대변하는 양자효율 측정이 필수적이라 하겠다. 이러한 양자효율은 곧 우수한 발광물질과 소자를 구별해 내는 기준이 될 뿐만 아니라, 나아가서 고분자 반도체의 기초물성 및 소자물리 연구에 중요한 정보를 제공해주리라 여겨진다.

고분자 발광다이오드의 Photoluminescence(PL) 양자효율 측정은 1990년대에 들어서면서부터 영국 캠브리지 대학의 R. H. Friend 교수팀을 중심으로 많이 시도되어 왔고, 1995년 Greenham등에 의하여 보다 구체적으로 측정되기 시작하였다.^[1] 그러나 이 실험방법은 필터를 사용하기 때문에 낮은 효율을 가지는 물질에 적용하기가 어려우며, 특히 Stokes Shift가 작은 물질에 있어서는 광원의 스펙트럼과 PL 스펙트럼과의 겹쳐짐이 생겨서 그것을 차단하기 위한 필터를 구하는데 많은 문제점이 있었다. 그 후 이러한 문제점을 보완하여 1997년 영국 캠브리지 대학의 J. C. de Mello 등은 photon수의 차이에 근거하여 필터를 사용하지 않는 보다 개선된 양자효율 측정법을 발표하였다.^[2] 그러나 이러한 연구결과들에도 불구하고 아직까지 국내에서는 절대량인 PL 양자효율 측정이 제대로 행

하여지지 않고 있으며, 다만 기존의 비교실험에 의한 상대적인 효율만이 측정되고 있다. 하지만 비교를 토대로 한 상대적인 양자효율은 물질의 기초물성이나 고유의 성질을 나타내기에는 한계가 있으며, 또한 물질이나 소자의 정확한 특성을 파악할 수가 없다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 하여, 고분자의 PL과 EL 양자효율 측정법을 연구한 다음, 이를 이용하여 잘 알려진 발광고분자인 MEH-PPV의 PL 및 EL 양자효율을 측정하였다.

II. 측정이론

물질에 대한 PL 양자효율(η)이란 흡수된 photon수에 대한 발광하는 photon 수의 비로 나타내어지는데, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\eta = \frac{\text{발광하는 photon 수}}{\text{흡수된 photon 수}} \quad (1)$$

또한 PL 양자효율은 발광소멸에 의해서 이루어지므로 발광소멸과 비발광소멸 비율과 관련하여 나타낼 수도 있다. 이것은 흡수된 photon이 여기가 된 후 소멸할 때 발광소멸이나 비발광소멸 과정을 거치게 되고 우리는 그 비율을 통하여 발광효율을 구할 수 있다는 개념이다.^[3,4] 한편 본 연구에서 행한 PL 양자 효율 측정은 1997년 J. C. de Mello등이 행한 측정법^[2]을 근거로 하고 있다. 이 측정법은 광원에 의하여 공급된 photon들은 사라지지 않고 물질에 의해서 흡수되거나, 혹은 반사/투과되어 항상 총 photon수는 일정하다는 이론을 바탕으로

*E-mail: kwhlee@pusan.ac.kr

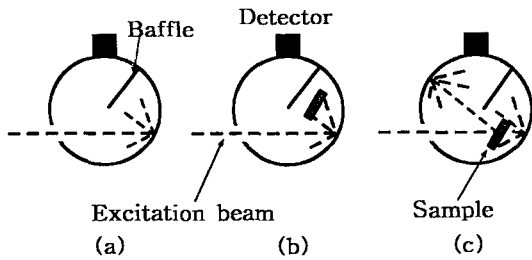


그림 1. PL 양자효율 측정의 3단계과정.

하고 있다. 즉 공급된 photon이 감소하는 만큼 그것은 물질에 흡수되거나 발광을 유도하게 되고, 우리는 각 조건에 대하여 photon수의 차이를 알 수 있으므로 그것을 바탕으로 PL 양자효율을 구할 수 있다는 개념이다.

이를 좀 더 구체적으로 살펴보기 위하여 그림 1에 나타나 있는 3가지의 상황을 고려하도록 하자. 그림 1의 (a)에서는 입사되는 광원이 시편이 없는 적분구를 통하여 평균화되어 탐측자에 측정되는 경우를 나타내었다. 이것은 실제 광원이 시편을 향하여 입사되었을 경우 시편에 흡수되지 않고 바로 측정되는 경우를 나타낸다. 그림 1의 (b)는 적분구 내에 시편을 두고 광원을 적분구의 벽면을 향해 입사시키는 경우를 나타낸다. 이 경우 적분구의 벽면에서 분산된 빛의 일부는 시편에 흡수되고 또 다른 일부는 시편에 흡수되지 않은 채 탐측자에 측정된다. 이것은 실제 시편을 향하여 빛이 입사되었을 경우, 시편 표면에서 반사된 빛이나 투과된 빛이 적분구의 벽면에서 분산된 후에 일어나게 되는 과정을 나타내고 있다. 마지막으로 그림 1의 (c)는 적분구내에 놓여진 시편을 향하여 직접 광원을 입사시키는 경우를 나타내고 있는데, 이 경우에서 입사되는 광원의 일부는 시편에 의하여 흡수가 되고, 나머지는 (b)의 과정을 거친다. 그런데 이 실험에서 주목할 점은 시편에 의하여 흡수된 photon은 발광과정에 참여하여 발광을 하게 된다는 것이다. 이때 발광하는 비율은 본 연구에서 구하고자하는 그 물질 고유의 PL 양자효율에 따라 발광하게 되고, 이것을 이용하면 우리는 그 물질의 PL 양자효율을 구할 수 있게 된다.

이것을 정리해 보면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$L_2 = L_1 (1 - \mu) \tag{2}$$

$$L_3 = L_1 (1 - \Lambda) (1 - \mu) \tag{3}$$

$$\Lambda = \left(1 - \frac{L_3}{L_2} \right) \tag{4}$$

여기서 L_1 , L_2 그리고 L_3 는 각각 실험 (a), (b)와 (c)에서의 입사되는 빛에 관계되는 photon수이며, μ 는 실험 (b)에서 입사된 빛이 적분구의 벽면에서 분산되어 시편에 흡수되는 비율이며, Λ 는 실험 (c)에서 입사된 빛이 시편에 직접 흡수되는 비율이다. 관계식 (2)와 (3)은 실제로 우리가 PL 양자효율을 구하기 위하여 광원으로 빛을 입사시킬 경우, 입사되는 빛이 시편에 의해 흡수되는 전 과정을 나타내어 주고 있다. 즉 입사되는 빛은 먼저 시편에 입사되어 일부는 Λ 의 비율로 시편에 흡수가 일어날 것이다. 그리고 흡수되지 않은 빛은 표면에서

반사되거나 투과되는 빛으로 이것은 적분구의 벽면에서 분산되어 그 중 일부는 다시 μ 의 비율로 시편에 흡수가 될 것이고 나머지 빛은 흡수 없이 탐측자로 측정될 것이다. 한편, 지금까지 흡수에 대한 전 과정을 고려해 주었으므로 이제는 전 과정을 통하여 흡수된 빛이 발광하는 과정을 고려해 주어야 하는데, 이것은 실험 (b)와 (c)의 경우에 있어서 입사된 빛이 시편에 흡수가 된 후 발광하는 빛으로 각각 P_2 와 P_3 로 나타내었다.

$$L_3 + P_3 = (1 - \Lambda)(L_2 + P_2) + \eta \Lambda L_1 \tag{5}$$

$$\therefore \eta = \frac{P_3 - (1 - \Lambda)P_2}{L_1 \Lambda} \tag{6}$$

관계식 (5)는 실제 적분구내에서 물질이 발광하는 모든 과정을 고려하여 나타낸 것이다. 좌변을 먼저 살펴보면 탐측자를 통하여 측정되는 모든 photon수를 나타낸 것으로 시편에 의하여 흡수되지 않고 측정되는 L_3 와 시편에 의하여 발광하는 photon을 나타낸 P_3 로 나타낼 수 있다. 이것은 우변의 항과 일치하는데 좌변이 탐측자에 의하여 측정된 결과를 나타낸다면 우변의 항은 그 과정을 나타낸다고 볼 수 있다. 그 발광과정을 살펴보면 먼저 입사된 빛은 시편에 의하여 Λ 의 비율로 흡수되고 나머지는 직접 시편에 의하여 흡수되지 않고 적분구의 벽면에서 분산된 후 재 흡수되어 발광하거나 흡수되지 않은 상태로 측정된다. 우변의 마지막 항은 시편에 의하여 직접 흡수된 photon이 발광에 참여하는 과정을 나타낸 것으로 흡수된 양은 $L_1 \Lambda$ 에 해당하고, 이 흡수된 $L_1 \Lambda$ 는 우리가 구하고자하는 그 물질의 PL 양자효율에 해당하는 비율로 발광하게 된다. 따라서 우리는 이러한 관계식을 통하여 절대적인 PL 양자효율을 구할 수가 있다. 특히 이 측정법은 모든 실험이 거의 동시에 측정되고 측정시간 또한 아주 짧기 때문에 시편의 열화(degradation)를 줄일 수 있어서 보다 정확한 값을 얻을 수 있다. 또한 시편의 체적을 작게 함으로써, 이 측정법의 단점인 발광하는 빛이 재 흡수되는 양을 줄일 수 있다.

한편, 절대적인 PL 양자효율과 같이 발광고분자 자체의 특성이 아니라 실제적으로 우리가 고분자 발광다이오드를 만들었을 경우, 그 소자의 성능을 대변하는 것은 EL 양자효율이다. EL 양자효율이란 PL 양자효율과는 다르게 빛이 아닌 전하를 주입할 때 방출되는 빛의 효율을 의미하는데, 내부 EL 양자효율(Internal EL Quantum Efficiency)과 외부 EL 양자효율(External EL Quantum Efficiency)로 나누어 설명하고 있다. 이렇게 나누어 설명하는 이유는 실제로 발광층인 발광고분자 내에서 전자와 양공이 재결합하여 빛이 발생한다고 하더라도 발광다이오드의 구조적인 요인에 의하여 굴절률이 다른 매질을 투과하여 나오므로, 실제 우리가 관찰하는 빛의 양은 내부에서 생성되는 빛의 양과 차이가 있기 때문이다.^{15,16}

III. 실험

3.1. 시편제작

본 실험에서 사용된 물질은 주황색을 내는 물질로 이미 잘

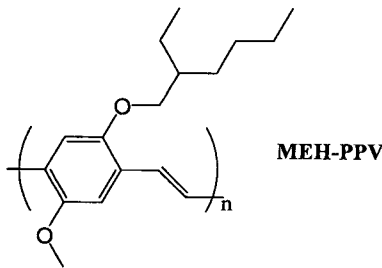


그림 2. MEH-PPV의 화학구조.

알려져 있는 발광고분자인 MEH-PPV를 다루었다. 신물질은 도입하지 않고 MEH-PPV를 측정에 사용한 이유는 절대양자 효율 측정이 아직 잘 이루어지지 않고 있는 현시점에서, 본 실험은 물질의 특성과약보다는 절대양자 효율 측정법의 확립에 더 큰 의미를 두었기 때문이다. 또한 MEH-PPV는 세계적으로 많은 곳에서 측정이 되어 왔고 현재 몇몇의 그룹에서 그 효율이 발표되었으므로, 본 실험에서 측정한 값과 비교가 용이하기 때문이다. 나아가서 이 물질은 합성에 있어서도 많이 다루어진 물질이므로, 우수한 물질을 비교적 쉽게 구할 수 있다는 장점도 있다.

MEH-PPV는 현재까지 알려진 발광고분자중에서 그 특성과 효율이 다른 발광고분자보다 뛰어난 poly(p-phenylenevinylene) (PPV)에 유기용매 등에 잘 녹을 수 있도록 옆사슬(Side Chain)을 도입한 구조로 되어 있는데, 그 화학구조가 그림 2와 같다.

PL 양자효율을 측정하기 위한 시편은 발광된 빛이 시편에 의해 재 흡수되는 양을 줄이기 위하여 8×8 mm²의 작은 크기로 만들었다. 이때 측정하고자 하는 물질을 여기 시키기 위하여 자외선을 이용할 경우에는 그 영역에 흡수가 없는 기판을 사용하여야 하는데, 본 실험에서는 fused silica를 기판으로 사용하였다. 기판이 준비되면 그것을 깨끗이 세척한 다음, 그 위에 측정하고자 하는 물질을 drop-casting 하거나 스펀코팅 (spin-coating) 하여 박막을 만든다. Drop-casting을 하면 작은 크기의 기판 위에 쉽게 박막을 만들 수 있고, 비교적 두께가 두꺼워 흡수가 잘 일어나므로 측정이 용이하지만 실제 소자 제작은 스펀코팅에 의해 이루어지므로 주의하여야 한다. 또한 drop-casting과 스펀코팅은 박막 형성시 특성이 서로 달라지므로 특히 유념해야 한다. 박막이 형성되면 용매를 제거하기 위하여 dry oven에서 충분히 건조시키면, PL 양자 효율 측정용 시편이 완성된다. 또한 EL 효율 측정에 사용되는 시편은 곧 고분자 발광다이오드를 의미하는데, 그 구조가 그림 3에 나타나 있다.

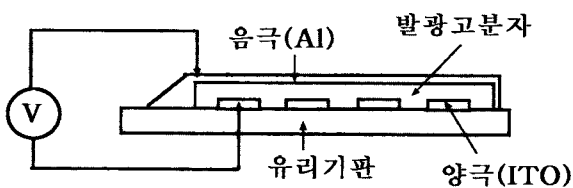


그림 3. 고분자 발광다이오드의 구조.

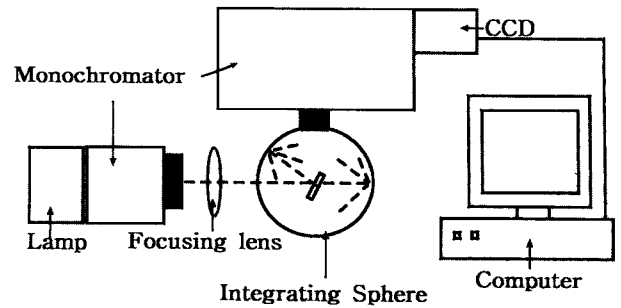


그림 4. PL 양자효율 측정 실험 개략도.

3.2. 양자효율 측정방법

PL 효율 측정은 이론에서 설명한 바와 같이 3단계 과정의 실험을 통하여 얻을 수 있는데, 이 3단계 과정은 모두 동일한 조건 하에서 측정되어야 한다. PL 양자 효율 실험장치의 개략도가 그림 4에 나타나 있다.

(a) 시편이 없는 적분구에서의 광원의 입사량 측정과정

이 과정은 실제 광원에 의해서 입사되는 총 photon수를 측정하는 과정으로 L_1 (입사되는 총 photon 수)에 해당하는 값이 된다. 광원의 파장은 측정하고자 하는 MEH-PPV를 충분히 여기 시킬 수 있는 파장으로 선택되어야 하는데, 본 실험에서는 Arc-Xe lamp를 광원으로 사용하고 monochromator를 이용하여 중심파장이 480 nm이고 반치폭이 20 nm인 빛을 선택한 다음, 이 빛을 적분구를 향하여 입사시켰다. 입사광은 렌즈에 의해 초점이 맞추어져서 적분구 내로 입사되고, 그것은 적분구 내에서 BaSO₄ 표면에 의해 완전 분산된 후 평준화되어 monochromator를 통하여 charge-coupled device(CCD)에서 측정된다. 이때 모든 장치들은 실험에 앞서 표준광원을 이용하여 교정하였다.^[7] 다음으로 CCD로 측정된 값을 모두 적분하여 L_1 으로 나타내었다.

(b) 시편이 놓여진 적분구의 벽을 향하여 광원을 입사시키는 과정

두 번째 과정으로 (a)의 과정과 동일하게 진행하면서, 적분구 내에 시편을 두고 빛을 적분구의 벽면을 향해 입사시킨다. 이때 입사된 빛이 직접 시편에 닿지 않도록 주의해야 한다. 이렇게 적분구의 벽을 통해 입사된 빛의 일부는 시편에 흡수되고(이 양은 μ 에 해당한다), 나머지 빛은 시편에 흡수되지 않고 (a)와 같은 과정을 거쳐 측정된다. 이 빛의 총량은 L_2 가 된다. 한편 μ 에 해당되는 빛은 MEH-PPV에 흡수되고, 이것이 다시 발광과정을 거쳐 측정되는데 이것이 P_2 에 해당된다. 실제 CCD에 의하여 나타난 스펙트럼에서 이 양들은 입사되는 빛과는 다른 PL 스펙트럼으로 나타나며 각 파장에 대하여 적분함으로써 L_2 와 P_2 를 구할 수 있다.

(c) 시편에 직접 광원을 입사시키는 과정

마지막 단계로서 역시 같은 조건 하에서 적분구 내에 시편을 놓고 광원을 시편에 직접 입사시킨다. 이때 입사된 빛은 시편에 의해 일부는 흡수되고(이것은 λ 에 해당), 일부는 표면에서 반사되거나 투과되어 적분구의 벽면에 부딪치게 되는데 벽면에 부딪치는 빛들은 (b)의 실험과 동일한 과정을 거치며 측정

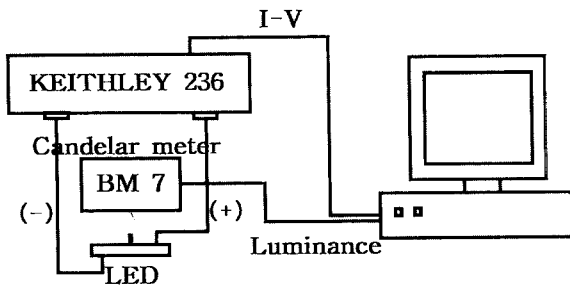


그림 5. EL 양자효율 측정 실험 개략도.

된다. 한편 λ 에 해당되는 빛들은 PL 발광과정을 거치는데 이것은 우리가 구하고자하는 외부 PL 양자효율인 η 에 비례하여 발광하게 된다. (b)의 실험과 마찬가지로 입사되는 빛의 파장에 해당되는 영역을 적분하여 L_3 로 나타내고, PL 스펙트럼에 해당되는 빛을 적분하여 P_3 로 나타낸다. 위 3과정의 실험은 동일한 조건 하에서 측정되는 것이 중요하며, 또한 연속적으로 측정하여 시편의 손상을 줄이는 것이 중요하다. 또한 실험 (c)가 끝난 후 (a)의 과정을 다시 재현함으로써 입사되는 광원의 양이 일정하지 자주 살펴봐야 한다. 세 과정의 실험을 통하여 구한 각각의 값들을 식 (6)에 대입함으로써 PL 양자효율을 구할 수 있다.

한편 본 실험에서 행한 EL 양자효율은 사람의 눈의 시각도가 고려된¹⁸⁾ 발광효율(luminous efficiency)로 나타내었다. 제작된 MEH-PPV를 이용한 발광다이오드를 시편홀더에 고정하고, KEITHLEY 236으로 발광다이오드에 전압을 공급하면, 작동 전압 이상의 전압에서부터 발광다이오드에서 빛이 나오기 시작한다. 이 빛을 광섬유를 이용하여 CCD에 입사시켜 주변 CCD로부터 illuminance 값을 얻을 수 있는데, 실제로 이 값은 절대량이기 때문에 사전에 측정에 사용되는 모든 장비들을 보정하여 표준치와 일치시켜 주었다. 또한 CCD를 Candelar meter로 대체하면 연속적인 측정에 편리하다. 이때의 전류와 전압 그리고 발광면적을 이용하면 발광양자효율을 구할 수 있는데, 그 개략도가 그림 5에 나타나 있다.

IV. 결과 및 논의

앞서 설명한 3가지 단계의 PL 양자효율 측정 방법으로 각각에 대한 PL 스펙트럼을 획득하여 그림 6에 나타내었고, 이 스펙트럼을 각각 파장에 대해 적분하여 그 측정비율을 표 1에 표기하였다. 그림 6에 나타나 있는 PL 스펙트럼을 살펴보면, 각 과정의 실험에서 입사되는 여기 광의 양에 해당되는 것이 L_1 , L_2 , 그리고 L_3 로서 470 nm에서 510 nm에 걸쳐서 분포되어 있다. 또한 이러한 여기광의 에너지를 흡수하여 발광하는 빛에 해당하는 것이 P_2 와 P_3 이며 MEH-PPV의 PL 스펙트럼이다. 이것은 580 nm에서 750 nm에 걸쳐서 분포하며 P_2 와 P_3 의 스펙트럼의 모양이 같은 형태를 가지는 것으로 알 수 있다. 한편, 이 스펙트럼은 현재 알려진 MEH-PPV의 PL 스펙트럼보다 조금 적색편이(red shift) 했는데, 이는 drop-casting의 방법에 의해 시편이 제작되었고 또한 두께가 두껍기

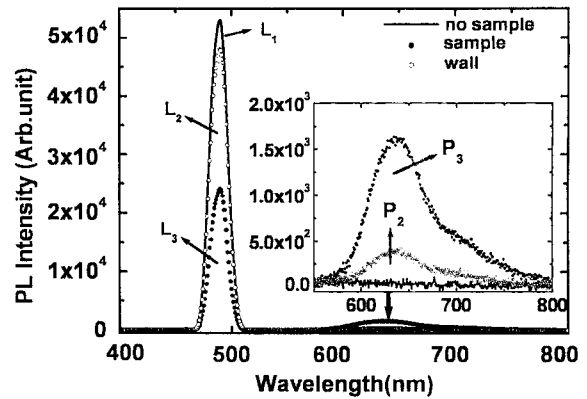


그림 6. MEH-PPV의 PL 스펙트럼.

표 1. PL 양자효율 실험으로부터 구한 측정량의 상대적 비율

측정량	L_1	L_2	L_3	P_2	P_3	λ	μ
비율(%) (측정량/ L_1)	100%	92%	54%	0.7%	3%	41%	7%

때문인 것으로 보인다.¹⁹⁾

입사되는 L_1 , L_2 , 그리고 L_3 의 양을 비교하여 살펴보면 L_1 에서 L_3 로 갈수록 시편에 의해 빛이 많이 흡수되어, 점차적으로 세기가 줄어들어는 반면에, 발광되는 PL의 세기는 그와 대조적으로 점차 늘어남을 알 수 있다. 그림 6에 나타나 있는 각 과정의 여기 광에 해당하는 L_1 , L_2 , 그리고 L_3 와 PL에 해당하는 P_2 와 P_3 는 각 파장에 대해서 적분함으로써 총량을 알 수 있는데 이 결과가 표 1에 나타나 있다.

표 1의 결과를 세부적으로 살펴보면, 먼저 100%에 해당하는 photon(L_1)이 입사되어 41%(λ)가 시편에 흡수된다. 그리고 흡수되지 않은 59%의 photon은 적분구의 벽면에 부딪혀서 시편에 다시 흡수(μ)되거나 흡수되지 않은 채 측정된다. 이때 흡수되어서(μ) 발광하는(P_2) photon의 비율은 약 0.7%이며, 흡수되지 않고 측정되는 photon(L_3)의 비율은 약 54%이다. 한편 시편에 직접 흡수된 photon(λ)은 8%의 PL 양자효율에 비례하여 전체적으로는 약 3% 비율의 photon(P_3)을 방출한다. 이때 전 과정을 통해 사라진 photon들은 시편에 흡수되어 빛 이외의 소멸과정을 거쳐 측정되지 않았거나 완벽하지 않은 장치들의 결점 등으로 인하여 손실되었을 것이다. 이러한 비율로서 photon수를 고려해 볼 때 L_3 에서 측정된 photon수의 비(54%)는 시편에 의해 흡수되지 않은 59% 중 적분구 벽에서 분산되어 재 흡수되는 μ 의 양(7%)을 뺀 수치인 52%와 거의 일치하고 있으며 이것은 실험의 타당성을 보여 주고 있다. 여기서, 각 실험마다 L_1 , L_2 , L_3 , P_2 , P_3 , μ 그리고 λ 의 수치는 다를 수 있으나 그 비는 거의 일정하게 측정된다. 이 측정량들을 식 (6)에 대입하여 MEH-PPV의 외부 PL 양자효율을 구한 결과 $8 \pm 2\%$ 로 측정되었다. 이것은 본 연구에서 행한 측정 방법과 같은 방법으로 영국의 Cambridge 그룹에서 측정된 MEH-PPV의 PL 양자효율인 $9 \pm 1\%$ 와 거의 일치함을 보였다.

MEH-PPV를 이용한 고분자 발광다이오드의 J - V - L (current density-voltage-luminescence)곡선을 측정한 결과가 그림 7에

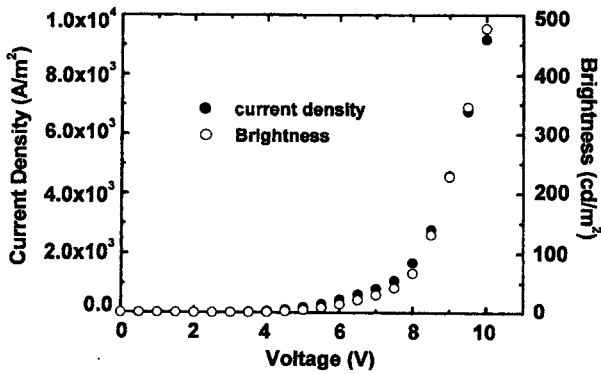


그림 7. MEH-PPV의 J-V-L 특성곡선.

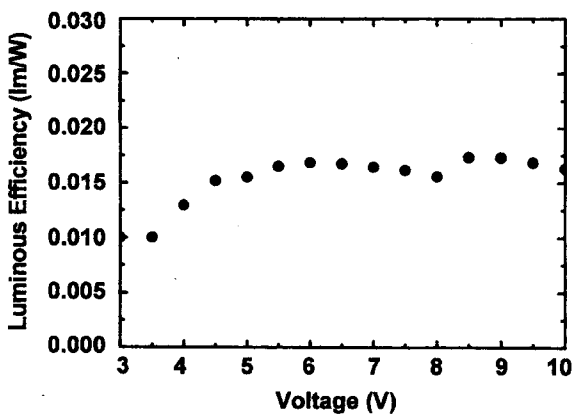


그림 8. MEH-PPV의 Luminous 효율 곡선.

나타나 있고, 여기에 발광면적을 고려하여 단위 인가전압에 대한 EL 양자효율을 구한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 그림 8에서 보면 인가전압의 증가에 따라서 효율은 비규칙적으로 변함을 알 수 있다. 이것은 그림 7의 J-V-L 곡선을 보면 알 수 있듯이, 인가전압의 증가에 따른 전류 밀도와 발광세기가 선형적으로 증가하지 않음으로 인해서 이것을 기준으로 구해지는 EL양자 효율 역시 인가전압에 의존함을 알 수 있다. 또한 본 실험에서 구한 발광효율의 경우에, 빛의 세기는 사람의 시감효율에 의존하게 되고, 이에 따라서 빛의 세기가 선형적으로 증가한다 하더라도 사람의 시감효율을 고려하면 선형적이지 않을 수 있음^[10]도 이유 중 하나일 것이다. 이러한 이유 등으로 해서 일반적으로 luminous를 표현 할 경우에는 인가전압을 언급하고 있는데, 그림 8에서 보여 주는 MEH-PPV의 EL 양자효율은 약 5 V에서 0.02 lm/W로서 현재 보고되고 있는 수 lm/W 보다는 현저히 낮은 효율을 보이고 있다. 이러한 점은 실제로 EL 효율이 발광물질 자체의 품질과 더불어 소자 제작 방법과 제작 환경에 따라서 크게 의존함을 고려할 때, 앞으로 본 연구실의 소자제작 환경개선을 통하여 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 보여진다.

V. 결 론

본 연구에서는 잘 알려진 발광고분자인 MEH-PPV를 이용

하여 ITO pattern에서부터 고분자 발광다이오드까지의 전 과정을 직접 제작하였으며, 이것으로부터 기초물질 및 특성을 파악하였다. MEH-PPV의 PL 양자효율은 8%로 측정되었는데 이것은 현재 알려진 9%에 거의 근사한 값을 보였고 많은 반복실험과 보정실험을 통하여 표준오차 ±2%라는 좋은 재현성을 확인하였다. 이러한 결과는 본 실험에서 행한 PL 양자효율 측정법의 타당성을 입증한다고 보여진다. 그리고 EL의 경우 발광효율 측정법을 이용하여 5 V에서 0.02 lm/W의 효율을 구할 수 있었다.

현재 고분자를 이용한 발광다이오드는 차세대 새로운 디스플레이 소자로서 많은 연구와 발전이 이루어지고 있다. 하지만 이러한 발전은 고분자에 대한 기초지식과 특성 파악이 이루어지지 않으면 곧 그 한계에 부딪힐 것이다. 이에 본 연구에서 행한 고분자 발광다이오드의 PL과 EL 양자효율 측정은 고분자 발광다이오드의 기본원리규명과 소자의 성능개선을 위한 가장 기본적인 단계를 마쳤다는 것에 그 의의가 있다고 하겠다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 연구비(KRF-2000-015-DP0171)에 의하여 지원되었음을 밝힌다.

참고문헌

- [1] N. C. Greenham, I. D. W. Samuel, G. R. Hayes, R. T. Phillips, Y. A. R. Kessener, S. C. Moratti, and R. H. Friend, "Measurement of absolute photoluminescence quantum efficiency in conjugated polymer," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 241, pp. 89-96, 1995.
- [2] J. C. de Mello, H. Felix Willmanu, and R. H. Friend, "An improved experimental determination of external photoluminescence quantum efficiency," *Adv. Mater.*, vol. 9, pp. 230-232, 1997.
- [3] N. S. Sariciftci, *Primary Photoexcitations in Conjugated Polymer* (World Scientific, Singapore, 1997), Chapter 7.
- [4] R. H. Friend, J. H. Burroughes, and T. Shimoda, "Polymer diodes," *Phys. World.*, vol. 6, pp. 35-40, 1999.
- [5] N. C. Greenham, R. H. Friend, and D. C. Bradley, "Angular dependence of the emission from a conjugated polymer light-emitting diode : implication for efficiency calculation," *Adv. Mater.*, vol. 6, pp. 491-494, 1994.
- [6] J. S. Kim, P. K. H. Ho, N. C. Greenham, and R. H. Friend, "Electroluminescence emission pattern of organic light-emitting diodes: implication for device efficiency calculation," *J. Appl. Phys.*, vol. 88, pp. 1073-1081, 2000.
- [7] Andor Technology, *The Radiometry Guide* (Andor Technology Ltd, version 1A, 1999).
- [8] K. Nassau, *The Physics and Chemistry of Color* (John Willy & Sons, 1983), Chapter 1.
- [9] Y. Shi, J. Liu, and Y. Yang, "Device performance and polymer morphology in polymer light emitting diodes: the control of thin film morphology and device quantum efficiency," *J. Appl. Phys.*, vol. 87, pp. 4254-4263, 2000.
- [10] 김경인, 김창순, 색채과학개론(대광서림, 1999), Chapter 2.

**Determination of photo- and electroluminescence
quantum efficiency of semiconducting polymers**

Sung Heum Park, Jin Young Kim, and Kwanghee Lee[†]

Department of Physics, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

[†]*E-mail: kwlee@pusan.ac.kr*

Youngeup Jin and Hongsuk Suh

Department of Chemistry, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA

(Received February 22, 2002 ; revised manuscript received March 21, 2002)

In a recent effort to develop polymer light-emitting diodes (LEDs) as promising flat panel display components, measurements of reliable absolute photoluminescence (PL) and electroluminescence (EL) efficiency for polymer materials are required. In this work, we performed the measurement of PL and EL efficiency of luminescent polymers using an integrating sphere technique. The external PL efficiency of MEH-PPV was estimated to be $8 (\pm 2)\%$ together with the value of 0.02 lm/W for the external EL efficiency. This PL efficiency is in good agreement with published values, indicating that our PL efficiency measurements are somewhat legitimate. We believe this study might contribute to the research and development of organic materials for optoelectronic devices.

Classification codes : OM.010, DT.010.