

## 질화갈륨계 발광소자 봉지재의 굴절률 및 곡률 변화에 따른 광 출력 특성 연구

(A study of light output characteristics with various refractive indices and geometrical structures of the GaN based light-emitting device encapsulants)

김형진\* · 유진열 · 강영래 · 김재필 · 곽준섭\*\*

(Heyong-Jin Kim · Jin-Yeol Yoo · Young-Rae Kang · Jae-Pil Kim · Joon-Seop Kwak)

### Abstract

In this paper, we improved the light extraction efficiency by structural change of LEDs on conventional LEDs. We simulated the LEDs light emission as functions of LED side wall angle, various refractive indices the geometrical structures and analyzed the condition improved the light efficiency. We present the results of experimerns and simulations for light output power from LEDs for various refractive indices and the geometrical structures of the LED encapsulants. When the side wall angle range was from 40[°] to 30[°], the LED emission increased. LED side wall angle onto LED using the simulation system with a fine tuning of the structure of the LEDs side wall angle is fabricated. Additionally, we changed the side wall angle of LED package with spherical structure and flat structure. The result of spherical structure ray tracting is higher compared with flat structure about 14[%].

Key Words : Light-emitting Diodes, Light Output Efficiency, Encapsulant

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

1962년 최초의 가시광선 LED(Light Emitting

Diode)가 개발되었다. 1960년대에는 적색 LED가 출시되었고, 70년대와 80년대에는 녹색 LED에 이어 95년에는 청색 LED가 개발되면서 총 천연색의 구현이 가능하게 되었다. 또한 YAG 형광체의 조합에 의한 백색광원 응용으로 본격적인 LED 활용이 가능해졌다. 이에 따라 LED의 연구개발과 활용에 본격적인 붐이 조성되었다. 이러한 LED는 2000년대에 들어서면서 생활 전반에 사용되기 시작하여 휴대폰의 액정 표시 소자, 옥외용 대형 디스플레이 전광판, 교통 신호등, 자동차 부품, TV

\* 주저자 : 국립순천대학교 인쇄전자공학과(WCU) 박사과정  
\*\* 교신저자 : 국립순천대학교 인쇄전자공학과(WCU) 부교수  
Tel : 061-753-3559, Fax : 061-750-5260  
E-mail : jskwak@sunchon.ac.kr  
접수일자 : 2012년 4월 3일  
1차심사 : 2012년 4월 11일  
심사완료 : 2012년 5월 21일

를 중심으로 모든 분야에서 다양한 용도로 사용되고 있다[1-2].

LED 조명은 환경 친화적이고, 기존의 일반 조명 기구에 비하여 에너지 절약 효과가 우수하다. 또한 장시간 사용 가능한 반영구성으로 인하여 국가적 관심 산업으로 지목되어 정부에서도 정책 방향을 설정하고 지원하고 있다[3]. 최근 LED chip의 발광효율 향상과 패키지 성능 향상으로 기존의 다른 광원을 LED로 대체할 수 있게 되었다.

LED 조명의 광학적 특성은 조명기구의 성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 조명기구의 배광 렌즈, 반사판, 확산판 등의 광학엔진을 구현하여 배광 제어를 가능하게 한다[4]. LED의 응용분야의 급속한 확대와 시장의 팽창은 각 기업으로 하여금 LED 제조설비 투자 및 확대를 촉진하고 있다. 그러나 기술 선진 기업들에 의한 특허 소송 및 기술동맹, 중국·대만의 저가공세 등은 우리나라 LED 기업들이 극복해야 할 과제이다. 앞으로 LED관련 시장이 더욱 확대될 것으로 기대되는 이유는 일반 조명분야와 함께 장식조명까지 폭 넓게 사용되기 때문이다. 일반적으로 색상의 순도가 높을수록 눈에 잘 띄이며 장식성도 뛰어난 만큼 LED는 장식 조명분야에서의 잠재력이 매우 크다[5]. 여기서 주로 사용되는 광원이 LED 백색광원이다. LED 백색광원을 사용하기 위해서는 최대의 내부 양자 효율을 얻기 위한 고품질의 갈륨계 박막 성장 기술이 중요하다. 우리는 이 중에서 광 추출 효율 개선을 위해 LED 패키지 반사경과 봉지재의 굴절률 및 기하학적 구조등을 전사모사하여 광 추출 효율이 개선되는 조건을 예상할 수 있었다. 이를 통해 LED 패키지의 구조 설계와 봉지재의 제조공정을 최적화하여 외부 양자효율 및 LED 광원의 발광 효율을 극대화하여야 한다.

본 연구에서는 LED 패키지 반사경(side wall angle)을 적용하여 봉지재의 곡률 반경(Radius) 및 굴절률(Refractive Index)에 따른 광 추출 효율(extraction efficiency)을 최적의 조건으로 제안해 보았다.

## 2. LED 패키지 시뮬레이션 설계 및 고찰

### 2.1 LED 반사경 설계

LED패키지 구조를 개발하기 위해서는 LED패키지의 구조를 설계하는 것이 가장 중요하다. 특히 LED에서 발생한 빛을 외부로 방출시켜 광 추출 효율을 향상시키는 것은 중요한 요소이다. 일반적으로 높은 굴절률을 갖고 있기 때문에 입사각이 크면 입사되는 빛은 반사를 하게 된다. LED의 경우 active region에서 발생하는 빛은 여러 경로를 통해 이동하지만 대기의 굴절률 차이에 의해서 빛이 내부로 반사되어 광학 손실을 일으킨다. 본 연구에서는 LED 패키지 구조와 봉지재의 다양한 굴절률 및 곡률 변화에 따른 광 추출 효율(extraction efficiency)을 알아보기 위하여 미국의 Optical Research Associates社의 LightTools 7.2버전 프로그램으로 ray tracing을 실시하였다.

LightTools에서는 신뢰할 수 있는 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 외형을 설계한 뒤 die, cup, lens의 특성에 맞는 적절한 재질을 선택하고 그에 맞는 굴절률, 투과율과 반사율 등의 데이터 입력이 필요하다[6]. 본 연구에서는 LED 칩의 파장은 460[mm], 칩 크기는 1.000[mm]×1.000[mm], 굴절률 2.4로 설정하였다. 봉지재의 경우 굴절률 1.4, 1.5, 1.6 세 가지로 적용하였으며, 투과율 95[%], 흡수율5[%]로 적용하였다. 반사경의 반사율은 90[%]이상, 흡수율은 10[%] 이내로 설정하여 다양한 구조로 모델링 하였다. 그림 1은 반사경에 따른 구조를 나타낸 것이다. 그림 1과 같이 7가지의 반사경을 변화시켜 광 추출 효율의 최적 조건을 확인하였다. 또한 LED패키지의 최적화된 형태를 찾기 위하여 봉지재의 곡률 반경을 그림 2와 같이 6가지 형태로 설계하여 ray tracing을 실시하였다.

LED패키지를 3D CAD로 설계를 한 후, (ORA)社의 LightTools 7.2의 Data Exchange Module 기능으로 Import 를 적용하였다. Lead frame 설계시 광선 추적 모드는 반사된 광선만 (Reflected Rays Only)을 적용

한 후, Ag 코팅을 3[ $\mu$ m]로 하였다. Reflector (PMMA)는 단순 산란(Simple Scattering)으로 설계하였다. 봉지재의 곡률 반경을 설계하기 위해 합칩 (Union) 기능을 활용하였다. 합칩(union)은 렌즈와 봉지재의 층간 공기를 없게 하는 기능을 한다. 또한 봉지재를 Reflector(PMMA)에 씌우기 위하여 담그기(Immersion)기능을 이용하였으며 각각의 물질이 서로 혼합되지 않게 하였다. 렌즈 설계이론에 의해 도출된 계산값의 오차를 보정하기 위해 광학설계 프로그램인 LightTools 7.2를 이용하여 ray tracing 하고, 이를 통해 산출된 결과값을 분석하여 LED패키지 설계하여 광 손실을 최소화 하는 모델을 제안하였다. Ray tracing의 신뢰성을 높이기 위하여 Ray 개수는 백만 개의 광선을 적용하였다. LightTools의 초기 설정 값에 의해 수행된 Simulation 결과는 5[%] 이내 일때 신뢰할 수 있다. 5[%] 이상이 될 경우 이를 낮추기 위해서는 Ray의 수 또는 Mesh의 수를 조정해 주어야 한다. 본 논문에서는 에러율을 2[%] 이내로 설정하였다.

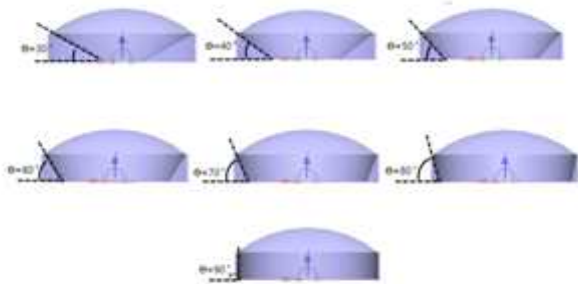


그림 1. 반사경에 따른 모델링  
Fig. 1. Side wall angle as the modeling

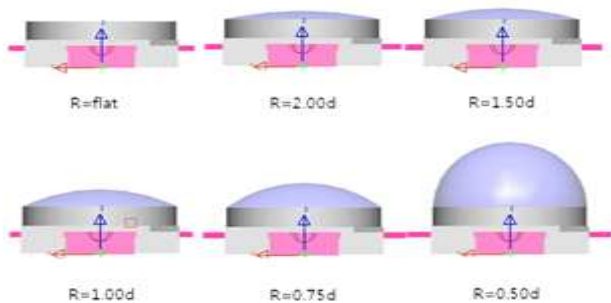


그림 2. 봉지재의 기하학적 구조  
Fig. 2. Geometrical structure of encapsulants

## 2.2 반사경(Side Wall Angle)에 따른 시뮬레이션

본 연구에서는 LED패키지의 반사경의 조건을 찾고자 ray tracing 하였다. 반사경과 봉지재의 굴절률 변화에 따른 광 추출 효율을 보여주기 위해 같이 Flat형태와 Spherical형태를 고안하였다. Ray tracing의 결과 Flat형태와 Spherical형태 모두 반사경이 90[°]일 때보다 30[°] 일 경우에 광 추출 효율이 증가함을 보여주고 있다. 반사경이 30[°] 일 때 광 추출 효율이 증가함은 아래 식으로 알아 볼 수 있다. 그리고 봉지재의 형태가 Flat일 때 보다 Spherical일 때 광 추출 효율이 14[%] 증가됨을 알 수 있었다. 식 (1)을 사용하여 전반사각을 다음과 같이 유도된다.

$$\alpha_T = \sin^{-1} \frac{\eta_{air}}{\eta_{enc}} \quad (1)$$

여기서  $\eta_{enc}$ 는 봉지재의 굴절률,  $\eta_{air}$ 는 공기의 굴절률이며,  $\alpha_T$ 는 전반사각이다. 입사각  $\alpha_T$ 는 특정 각도 이상에서 100[%] 전반사만 일어난다. 식 (1)에 의해 산출된 값이 입사각  $\alpha_T$ 보다 클 경우 빛은 모두 전반사에 의해 LED 패키지 쪽으로 돌아간다.

그림 4와 같이 LED 패키지의 모양을 결정하는 3개의 변수를 각각 하부 단면(Lead frame) 반경(R), 옆면의 반사경( $\theta_w$ ), 옆면의 높이(h)로 나타내었다. 이들 3개의 변수 중 LED패키지 하부 단면(Lead frame)의 반경 (R)은 비교적 쉽게 결정할 수 있었다. 즉 반경(R)은 LED패키지 안에 bond wire를 포함한 LED chip이 완전히 수용될 수 있는 범위에서 가장 작은 값으로 결정하는 것이 유리하다[6]. 일반적으로 반경(R)이 감소할수록 LED패키지 옆면으로부터의 반사를 거쳐 위쪽으로 향하게 되는 광자들의 비율이 증가함으로써 광 결합효율이 개선되는 이점도 나타나게 된다. 고휘도 LED의 경우, chip의 면적은 보통 0.5×0.5[mm<sup>2</sup>] 정도 이하이기 때문에 LED패키지 하부 단면의 반경(R)은 10[mm] 정도로 선택할 수 있다. 또한 LED 패키지의 높이(h)도 광 추출 효율에 직접적으로 관련을 갖는다 [7]. 높이(h)가 증가할수록 LED 패키지의 옆면으로부

터 반사되어 위쪽으로 향하는 광자들의 비율이 증가함으로써 광 결합효율이 증가하는 이점이 있다. 그러나 LED패키지의 상부 단면 반경이 증가할수록 전반사로 인해 광 손실이 발생하게 된다. 보통 LED chip의 두께가  $80[\mu\text{m}]$  이하이며, LED 패키지의 높이(h)는  $1.00[\text{mm}]$  이하의 범위에서 선택할 수 있다. LED 패키지의 반사경( $\theta_w$ )는 옆면으로 입사되어 반사하는 광자들의 진행 방향과 직결되어 있기 때문에 광 결합효율에 민감하게 영향을 미치게 된다. LED 패키지의 반사경에서는 입사각  $\alpha_T$ 가 식 (1)에 의해 주어진 벽면에서의 임계값보다 클 경우 빛이 내부로 전반사되어 소멸 된다. 그리고 임계값보다 작을 경우 전반사 조건을 만족시키지 못하기 때문에 빛이 밖으로 모두 빠져나가게 된다.

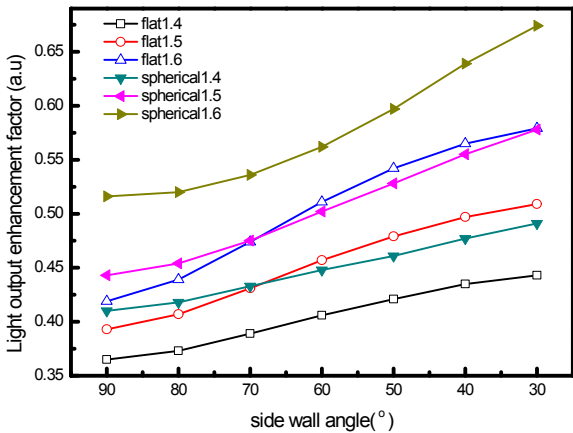


그림 3. 반사경(PMMA)별 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. Simulation as the side wall angle change

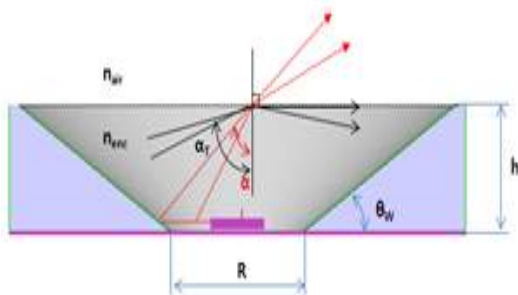


그림 4. LED 패키지의 임계값과 빛의 반사  
Fig. 4. Critical value and the light reflection of LED PKG

또한 지향각 변화를 알아보기 위하여 반사경 별 봉지재의 형태를 Flat과 Spherical로 ray tracing 하였다. 봉지재가 Spherical 형태 일 때에는 지향각 변화가 그림 5 (b)를 도출할 수 있었다. 식 (1)과 그림 3에서 알 수 있듯이 봉지재가 Spherical 형태에서는 곡률에 의해  $\alpha_T$ 의 값이 정해진다. 그러나 봉지재가 Flat 형태에서는 반사경 값이 크면 클수록  $\alpha_T$ 의 임계값 보다 크기 때문에 빛이 밖으로 빠져 나가지 못하게 된다. 반사경의 지향각 변화는 flat 형태인 경우 그림 5 (a)에서 ( $30^\circ : 128^\circ$ ,  $40^\circ : 128^\circ$ ,  $50^\circ : 128^\circ$ ,  $60^\circ : 132^\circ$ ,  $70^\circ : 140^\circ$ ,  $80^\circ : 150^\circ$ ,  $90^\circ : 158^\circ$ )임을 알 수 있다. 또한 지향각 변화에서 Spherical 형태인 경우 그림 5 (b)에서 ( $30^\circ : 172^\circ$ ,  $40^\circ : 171^\circ$ ,  $50^\circ : 174^\circ$ ,  $60^\circ : 183^\circ$ ,  $70^\circ : 199^\circ$ ,  $80^\circ : 219^\circ$ ,  $90^\circ : 221^\circ$ )임을 알 수 있다.

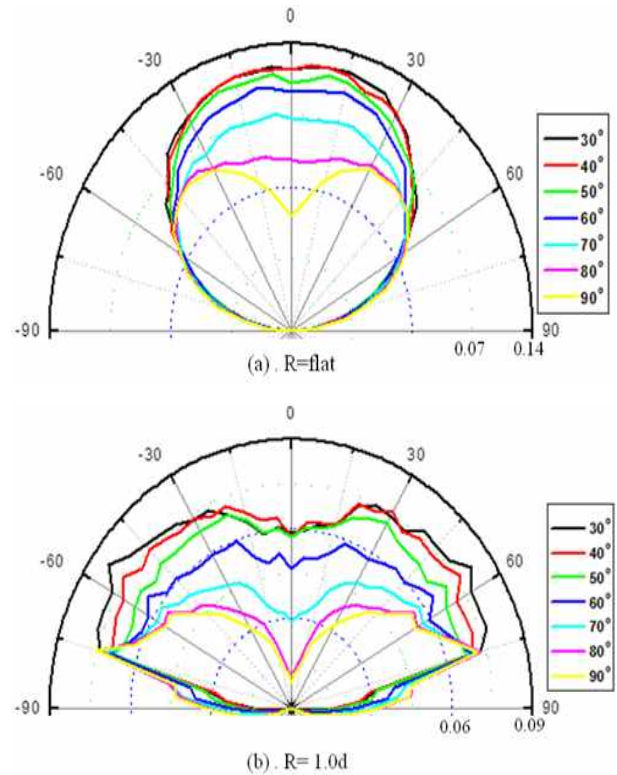


그림 5. 반사경별 지향각 변화  
Fig. 5. Angle of beam spread as the side wall angle change

### 2.3 봉지재(encapsulate)곡률 및 굴절률에 따른 광 추출 시뮬레이션

봉지재 굴절률은 1.4에서 1.6까지 세 가지 형태로 설정하였다. 봉지재 곡률 변화는 그림 2와 같이 여섯 가지 형태로 설계하여 ray tracing을 실시하였다. 봉지재 곡률 변화와 굴절률 변화의 ray tracing 그림 6의 결과를 얻을 수 있었다. 봉지재 곡률이 (Flat, R=2.00d, R=1.50d) 세 가지 경우는 굴절률이 증가할수록 최종 광 추출 효율이 약간 감소됨을 보였다. 그러나 봉지재 곡률이 (R=1.00d R=0.75d R=0.50d) 세 가지 경우에는 굴절률이 증가할수록 최종 광 추출 효율은 증가됨을 알 수 있다. 봉지재와 공기의 계면에서 일어나는 전반사의 임계각도보다 작은 각으로 입사하는 빛은 모두 외부로 방출된다. 이는 봉지재의 굴절률( $\eta_{encapsulate}$ )과 공기의 굴절률( $\eta_{air}$ )의 식 (1) 조건에 일치함을 알 수 있다.

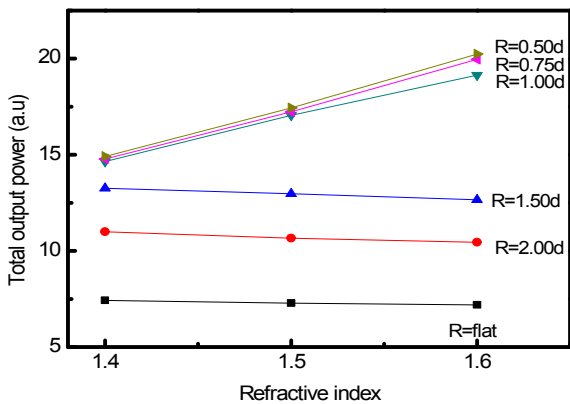


그림 6. 봉지재의 곡률 및 굴절률에 따른 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. Ray tracing simulation by curvature of encapsulants and refractive index

또한 봉지재의 곡률에 따라 지향각의 변화를 확인할 수 있었다. 봉지재 곡률이 (R=flat)일 때의 지향각은 149[°]를 보였고, 곡률반경이 (R=2.00d)일 때에는 177[°]를 보였으며, (R=1.50d)일 때 190[°], (R=1.00d)일 때 179[°]보였다. 봉지재의 곡률 값이 flat 에서는 Lambertian 형태의 배광 특성을 나타낸다. 지향각과 Total output power는 증가함을 보여 주고 있다. 곡률

이 flat인 경우 봉지재와 공기(air)의 계면에서 내부 전반사가 발생하여 광 추출 효율이 감소한다. 봉지재 곡률이 Spherical형태일수록 내부 전반사가 작게 발생하여 광 추출 효율이 증가함을 알 수 있다. 그러나 곡률이 R=1.00d 보다 큰 R=0.75d, 0.50d인 경우 광 추출 효율은 증가하지만 지향각은 R=0.75d일 때 163[°], R=0.50d 일 때 113[°]으로 작아졌다. 그림 7은 굴절률 별 내부 전반사 광 특성변화를 보여주고 있다. 내부전반사가 클수록 광 추출 효율이 감소됨을 그림 6의 결과와 대조적인 결과를 얻을 수 가 있었다. 봉지재의 곡률 형태 변화에 따라서 배광 특성을 갖는 독서용 조명, 액션, 업라이트, 다운라이트, 조명, 무대 및 극장용 조명, 특수 조명용 등으로 적용할 수 있다.

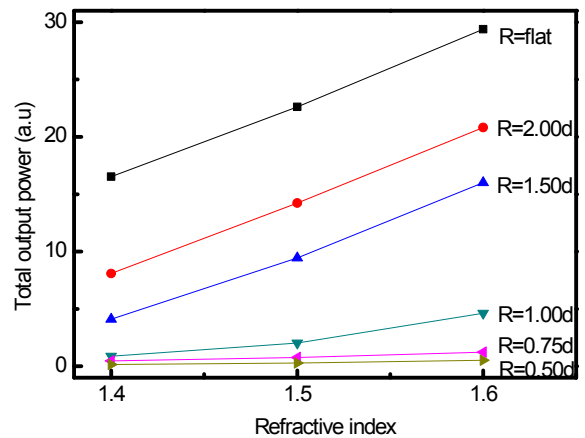


그림 7. 봉지재의 굴절률의 내부 전반사 특성 변화  
Fig. 7. The light characteristics as refractive index of encapsulants of total internal reflection

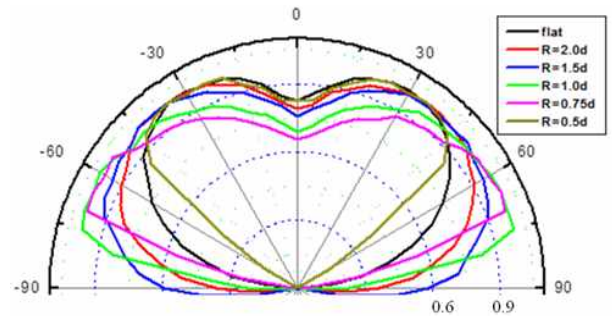


그림 8. 봉지재의 변화에 따른 지향각 변화 특성  
Fig. 8. The change of angle of beam spread as the curvature of encapsulants

### 3. LED 패키지 제작 및 고찰

#### 3.1 LED 패키지 설계 및 제작

Lead frame은 열 저항 특성을 고려하여 비열이 낮은 무산소동을 사용하였다. Rolling 작업으로 두께를 3[μm]로 가공 후, chip의 전반사 특성을 높이기 위하여 Ag 코팅을 하였다. Reflector(PMMA) 공정은 금형틀에 넣고 사출작업을 진행 한 후 내부 반사경의 각을 34[°]로 제작하였다.

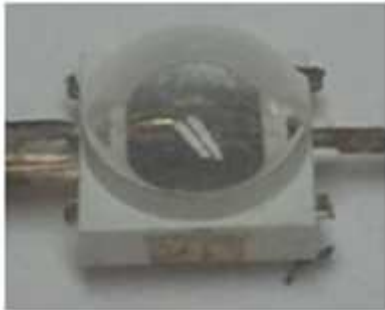


그림 9. LED 패키지 이미지  
Fig. 9. The sample fabrication of LED package

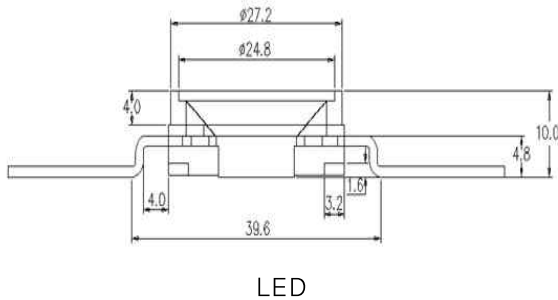


그림 10. LED 패키지 설계  
Fig. 10. Design drawing of LED PKG

LED 패키지 공정은 에폭시 접착제를 도포하고 LED chip을 부착하는 다이본딩(Die bonding)을 진행한 후, 와이어로 LED chip을 Lead frame과 전기적으로 연결하는 와이어본딩(Wire bonding) 작업을 한다. 그리고 실리콘으로 외부를 감싸는 몰딩 공정(Molding, Encapsulation)으로 진행하였다. Lens의 실

리콘 봉지재는 Dow coming 제조사의 OE-6550의 고굴절률(RI 1.54)을 사용하였다. 봉지재 작업은 Convection Oven으로 70[°C]에서 20분, 100[°C]에서 20분, 120[°C]에서 20분, 마지막으로 150[°C]에서 120분을 작업하였다.

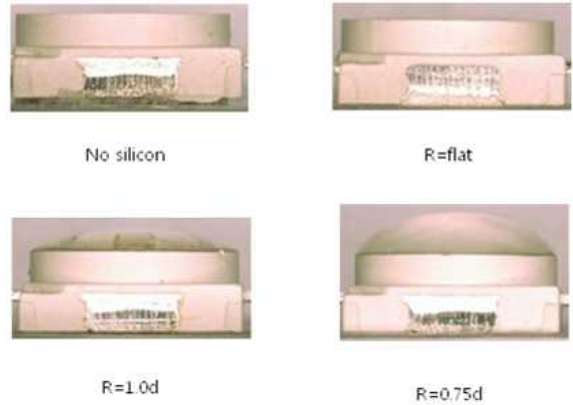


그림 11. 봉지재의 기하학적 구조  
Fig. 11. geometrical structures of encapsulantse

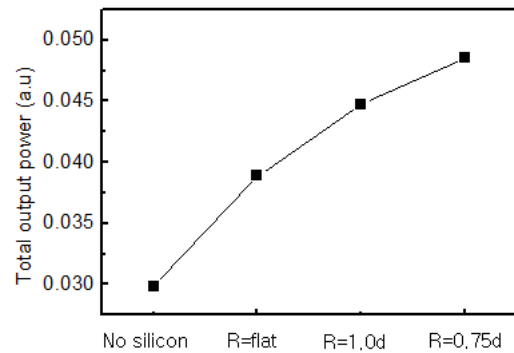


그림 12. 봉지재 형태에 따른 광 출력 특성  
Fig. 12. The light characteristics as geometrical structures of encapsulantse

그림 11과 같이 LED 패키지 샘플을 4가지 형태로 제작 하였으며, 시뮬레이션과 실제 제작의 신뢰도를 높이기 위하여 시뮬레이션의 설계와 유사하게 LED패키지를 제작하였다. 봉지재 형상에 따른 광 출력 향상 및 광학 특성을 알아보기 위해 Instrument System사의 CAS-140CT를 이용하여 그림 12의 결과를 확인할 수 있었다. 그림 6과 그림 12에서 알 수 있듯이, 봉지

재 곡률 반경에 따라 최종 광 추출의 경향성이 동일함을 보였다. 또한 봉지재의 곡률 반경을 변화시켰을 때 1/2인 반구 형태일수록 이상적인 봉지재 형태임을 확인할 수 있었다. 이와 같이 시제품을 제작하여 봉지재의 곡률 반경 변화에 따른 광 추출 효율을 증명하였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 갈륨계 발광소자의 LED패키지의 외부 양자 효율을 향상하기 위하여 패키지의 반사경 변화에 따른 광 추출 효율과 지향각의 변화를 확인하였다. 봉지재의 곡률 변화 및 굴절률에 따른 광 추출 효율을 확인하기 위하여 렌즈 설계 이론에 의해 도출된 계산값의 오차를 보정하기 위해 광학설계 프로그램인 LightTools 7.2버전을 이용하여 ray tracing 하고, 이를 통해 산출된 결과값을 분석하여 LED패키지 모델을 제시하였다.

LED 패키지의 반사경 90°일 때 보다 30° 일 경우에 광 추출 효율이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 봉지재의 Flat형태보다 Spherical 형태가 광 추출 효율이 높음을 알 수 있다. LED 패키지의 모양을 결정하는 3개의 변수를 각각 하부 단면(Lead frame)반경(R), 옆면의 반사경( $\theta_w$ ), 옆면의 높이(h)로 나타낸다. 첫째, 반경(R)이 감소할수록 LED 패키지 옆면으로부터의 반사를 거쳐 위쪽으로 향하게 되는 광자들의 비율이 증가함으로써 광 결합효율이 개선되었다. 둘째, 옆면의 높이(h)가 증가할수록 LED패키지의 옆면으로부터 반사되어 위쪽으로 향하는 광자들이 비율이 증가함으로써 광 결합효율이 증가하였다. 그러나 LED패키지의 상부 단면 반경이 증가할수록 전반사로 인한 광 손실이 발생 됨을 알 수 있다. 셋째, 옆면의 반사경( $\theta_w$ )은 옆면으로 입사되어 반사하는 광자들의 진행 방향과 직결되어 있기 때문에 광 결합효율에 민감하게 영향을 미치게 된다.

봉지재 곡률 및 굴절률 변화는 봉지재의 곡률이 (Flat, R=2.00d, R=1.50d)인 세 가지 경우 굴절률이 증가할수록 최종 광 추출 효율은 약간 감소됨을 보였다. 그러나 봉지재의 곡률이 (R=1.00d R=0.75d R=0.50d)인 경우에는 굴절률이 증가하면 최종 광 추출 효율도

증가하였다. 그리고 봉지재의 곡률에 따른 지향각 변화의 결과는 곡률이 (R=1.00d)보다 큰 (R=0.75d, 0.50d)인 경우 광 추출 효율은 증가하지만 지향각은 (R=0.75d)일 때 163°, (R=0.50d)일 때 113°로 작아졌다. 따라서 봉지재의 곡률 형태 변화에 의해 배광 특성을 갖는 독서용 조명, 액션, 업라이트, 다운라이트 조명, 무대 및 극장용 조명, 특수 조명용 등으로 설계할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 통상적인 LED 구조를 변화시켜 광 추출효율 개선을 예상할 수 있었다. LED 패키지 반사경의 최적의 광 추출 조건을 제안하였고, 약 30°~40° 반사경 범위에서 LED 광 추출이 가장 큰 폭으로 증가하였다. 봉지재의 다양한 굴절률 및 곡률 변화에 따른 최적화된 LED 패키지 구조를 제안해 보았다. 추가적으로 spherical 형태와 flat형태의 두 가지 봉지재를 사용하여 LED 패키지의 반사경을 변화시키며 ray tracing 한 결과 두 가지 경우 모두 광 추출이 증가하였으나, Spherical 경우 증가폭이 flat 대비 14% 높았다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 대한민국 정부(교육과학기술부)의 재원으로 시행하는 한국연구재단 국제협력사업(과제번호: K2011-0017325)과 지식경제부의 출연금으로 수행한 지역혁신센터사업(RIC)의 연구결과입니다.

#### References

- [1] "Light Emitting Diodes (LEDs) for Generating Illumination," OIDA Technology Road Map Update 2002, 2002.
- [2] Manning Fan, "Color Filter-less Technology of LED Back Light for LCD-TV," Proc. SPIE, Vol.6841, 2007, pp.68410G1-68410G6.
- [3] S. H. Jang, K. Y. Gwon, "LED industry trends and direction of policy initiatives," IT SoC Magazine, Vol.31, 2009, pp.9-14.
- [4] M. W. Lee, H. Kim, "LED Optical Design for Asymmetrical Light Distribution Realization" The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers. Vol.9, No.3, p.67, 2009, 10.
- [5] N. Ohta and A. R. Robertson, Colorimetry: Fundamentals and Applications (John Wiley & Sons, UK, 2005), Chapter 3.
- [6] J. Y. Han, J. T. Kim, "Modeling and analysis of Optical Property for High Power LED", Optical Society of Korea,

vol. 18, pp. 111~116, 2007.

- [7] D. W. Hong, M. J. Yoon, K. H. Kim, J. K. Yoo, S. J. Lee, "Design and Analysis of LED-Optical Fiber Coupler for Efficient Line Lamps" Korean Journal of Optics and Photonics, Volume 212, Number 1, February 2010.

◇ 저자소개 ◇



**김형진 (金亨辰)**

1977년 5월 3일생. 2010년 순천대학교 전기제어공학 졸업(석사). 현재 순천대학교 인쇄전자공학과(WCU) 박사과정.



**유진열 (金李朴)**

1959년 4월 29일생. 1996년 전북대학교 금속 및 재료 졸업(석사). 현재 순천대학교 미래전략신소재공학과 박사과정. (주)금산전자 대표이사.



**강영래 (姜英來)**

1985년 12월 15일생. 순천대학교 인쇄전자공학과(WCU) 석사과정. 2011년~현재 한국광기술원 반도체조명 연구센터 위촉 연구원.



**김재필 (金宰必)**

1970년 2월 26일생. 2002년 광주과학기술원 신소재 공학과 졸업(박사). 2003년~현재 한국광기술원 반도체조명연구센터 책임연구원.



**곽준섭 (郭準燮)**

1969년 9월 23일생. 1997년 연세대 금속공학과 졸업(박사). 1998년 The Pennsylvania State University Post-Doc. 1999~2005년 (주)삼성전자 종합기술원 수석연구원. 2005년~현재 국립순천대학교 인쇄전자공학과(WCU) 부교수.