

## 플라스틱 기판을 이용한 LED 투명 광원 구현

(Development of LED Lamp which using Transparent Plastic Substrates)

홍대운\* · 이성재

(Dae-Woon Hong · Song-Jae Lee)

### 요 약

광원으로써 다양한 장점을 가지고 있는 LED 소자는 응용 분야의 확대가 빠르게 진행되고 있다. 특히 조명 분야의 LED 응용은 더욱 활발하다. 본 논문에서는 비교적 낮은 광량이 요구되는 옥내·외 문자표시용 광원, 양면 발광형 광원, 저휘도 LED BLU 분야에 적합하도록 투명 Plate와 LED 칩을 조합하여 광원을 구현하였다. 투명광원 구현을 위해 폴리카보네이트 계열의 plate 사용하였으며 LED 칩의 구동을 위한 구리회로를 plate 표면에 형성하였다. 또한 기존 패키지를 사용하던 LED 광원 대신 투명 plate 표면에 LED 칩을 직접 장착하는 기술을 적용하였다. 최종 제품은 다수개의 광원 모듈을 결합하여 BLU또는 면광원에 적합한 샘플을 제작하였다.

### Abstract

LEDs, compared to conventional light sources, have many advantages and their applications are rapidly expanding, especially in areas such as back-lights for LCD. In this paper, we propose a new LED lamp structure suitable for applications requiring a low power. In the proposed LED lamp structures, LED chips are mounted on a transparent polycarbonate plate, and thus photons are transmitted through the both sides of the plate. The copper layer deposited on the polycarbonate plate is patterned to form circuit patten and the chip mount pad, on which LED chips are mounted. We speculate that our propsed LED lamp structures may be used as a type of plate light source.

Key Words : Light Emitting Diode(LED), Solid State Light, LED Lamp

## 1. 서 론

최근의 LED(Light Emitting Diode; 발광다이오드) 광원 응용 시장 확대는 전광판과 같은 단순 표시 소자로서 역할을 넘어 기존 형광등, 백열등이 주를 이루던 분야의 확대로 이어지고 있다. 현재의 조명 기술은 태

\* 주저자 : 충남대학교 전자공학과 광파전자공학  
Tel : 042-821-7700, Fax : 042-823-5436  
E-mail : optical@cnu.ac.kr  
접수일자 : 2010년 2월 10일  
1차심사 : 2010년 2월 16일, 2차심사 : 2010년 3월 17일  
심사완료 : 2010년 4월 6일

양광을 대신하던 단순한 기능적 역할을 넘어 의료, 농업, 환경, 예술분야 등 인류 생활에 다양하게 응용되고 있다. 하지만 다양한 응용분야의 확대와는 별도로 LED 관련 기술개발은 특정 분야에만 한정되어 왔다고 말할 수 있다.

특히 LED 광원 기술 개발은 칩의 발광효율을 향상시키고 이를 효율적으로 추출하기 위한 연구 위주로 활발하게 진행되어왔다. 이밖에 다양한 전자 소자로 응용을 위해 패키지 개발이나 공정과 같은 기술 개발의 한계를 넘지 못하고 있다. 물론 이러한 노력들의 결과로 단일 칩에서 출력되는 광효율과 신뢰성이 향상되고 제품 가격의 합리화를 이루고 있지만 응용 제품 확대를 위한 기술 개발은 상대적으로 미흡하다고 말할 수 있다.

예를 들어 TFT LCD(Thin Film Transistor Liquid crystal Display; 액정표시기) 후면 발광 장치인 백색 LED BLU(Back Light Unit; 배면발광장치) 제작을 예로 들어 본다면 GaN/Sapphire 기반 LED 칩을 설계된 패키지에 형광체가 혼합된 봉지재를 이용하여 LED 광원 패키지로 완성하여 회로가 구현된 PCB(Print Circuit Board; 인쇄기판)에 일반 전자소자와 동일한 SMT(Surface Mount Technology; 표면장착)공정을 이용해 광원 모듈로 제작하게 된다. 완성된 광원 모듈은 다양한 광학기구와 광학재료를 적용하여 사용자가 원하는 방사패턴의 면광원 형태 LED BLU로 완성한다.

최근에는 COB(Chip On Board; 기판직접실장) 기술을 이용하여 패키지 공정을 제거하고 LED 칩을 PCB 표면에 직접 장착하여 구조와 공정을 단순화하는 노력이 진행되고는 있지만 다양한 응용제품 개발에는 한계가 있다고 판단된다. 또한 PCB 자체를 제거하고 일부 투명한 LED 광원 구현을 위해 유리판과 ITO박막(Indium Tin Oxide, or tin doped indium oxide) 전극을 이용한 LED 광원 관련 기술[1]이 소개되기도 했지만 옥내·외 LED 광원 제품에 응용되기에는 기구제작 기술, 강도, 제작비용 등의 많은 기술적 문제로 인해 널리 응용되기에는 어려움이 많다고 평가되고 있다. 이렇듯 최근 들어 LED chip과 패키지 기술을 넘어 응용분야 확대를 위한 기술 연구와 개발이 활발히

진행되고 있다.

본 논문에서는 LED 패키지와 전기적 PCB 나아가 별도의 광학 기구 없이 옥내·외 문자 표시용 광원 또는 투명한 양면 발광형 광원과 같은 직접 조명이 아닌 높은 광량이 요구되지 않는 저휘도의 LED BLU 등의 응용분야에 적합한 투명 LED 광원과 모듈을 제작하였다. 그림 1은 LED 광원을 특정 글자 모양을 표현할 경우 일반적인 PCB를 이용한 광원의 구조와 논문에서 제안한 투명 광원 구조를 비교했을 경우 구조의 차이를 보여주고 있다.

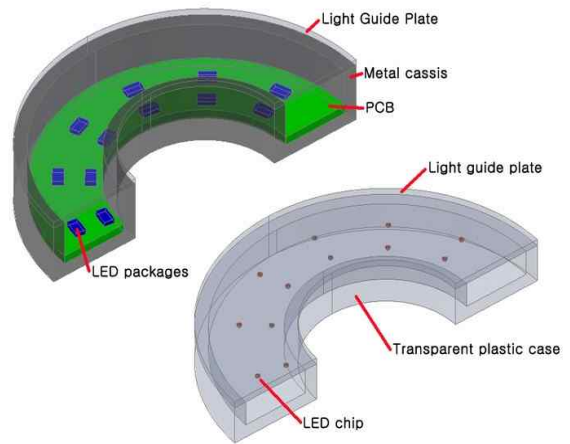


그림 1. 투명광원과 일반 광원 모듈 구조 비교  
Fig. 1. LED light source application

관련 기술 구현을 위해 기구가공이 쉽고 광학 특성이 우수한 폴리카보네이트(Polycarbonate;PC) 계열 Plate를 기반으로 전기적 회로 패턴 형성을 위해 Plate 표면에 동박 패턴을 형성하였다. 회로 표면 특정 위치에 LED chip을 장착하기 위한 방열 패턴을 형성하였으며 LED 칩을 Plate 표면에 직접 장착하는 COP(Chip On Plate) 기술을 적용하였다[2].

LED 구동을 위해 회로패턴과 칩을 알루미늄 wire를 이용하여 전기적으로 연결하였으며 GaN/Sapphire 기반의 청색 출력 광을 백색으로 전환하기 위한 YAG(Yttrium Aluminum Garnet)형광체를 UV(Ultra Violet; 자외선)경화 실리콘과 배합하여 LED 칩 표면에 도포하였다. 그림 1은 기존 LED 광원 모듈 구조와 논문에서 제안하는 투명광원 구조를 비교한 자료로서

제작된 LED 광원은 전, 후면으로 발광하는 특성으로 단순, 경박한 구조로 제작이 가능하고 별도의 패키지와 PCB가 필수적이지 않다는 장점을 가지고 있어 제작비용의 절감을 예상할 수 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 Transparent plastic substrates

지금까지 LED 광원 제작에 있어 LED 칩에 전기적 바이어스를 인가하고 발광시키기 위해 종이에폭시, 유리에폭시 등 절연재료를 혼합하여 제작된 절연원판과 구리 층이 접합된 PCB 또는 LED 광원에서 발생한 열을 외부로 전달하기 위해 금속판과 절연물질을 이용한 금속기판을 적용하여 사용해왔다. 이러한 이유는 반도체 패키지가 된 LED 소자를 일반적인 전자 부품으로 여겨온 오랜 인식에 의한 결과라고 예상할 수 있다.

그러나 최근 LED 칩을 별도의 chip-mount 구조 없이 PCB 표면에 직접 장착하는 COB 기법에 의해 제작된 LED 광원을 개발하고 있다. 이런 제품은 단축된 제작 공정과 비용절감, 무엇보다 방열특성이 우수하며 PCB 표면 조건에 따라 다양한 광학적 특성의 변화를 확인할 수 있다. 또한 유리표면에 전류가 흐를 수 있는 ITO 패턴을 형성한 후 COB 기법을 이용하여 LED 칩을 투명기판 표면에 장착하는 기술을 활용하여 제작된 LED 광원의 경우 유리 기판의 양면으로 광이 출력되는 특성도 확인할 수 있다. 이렇게 제작된 LED 램프는 옥내·외 문자표시용 광원 또는 투명한 양면 발광형 광원에 응용이 예상되지만 유리재료의 특성 상 중량과 기구적 강도, 가공, 원자재비용 문제가 발생한다. 또한 전기회로 패턴으로 사용되는 ITO 전극의 형성에도 기술적, 고비용, 장비의 어려움이 있다.

본 논문에서는 유리 기판의 단점을 고려해 투명성을 가지는 대체 기판의 소재로서 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)를 적용하였다. 폴리카보네이트는 내후성 및 기계적 강도가 강할 뿐 아니라 내 충격성까지 고루 갖추고 있어 산업 전반에서 사용이 확대되고

있다. 그림 2는 논문에서 적용한 제작 공정을 간략히 설명하고 있다.

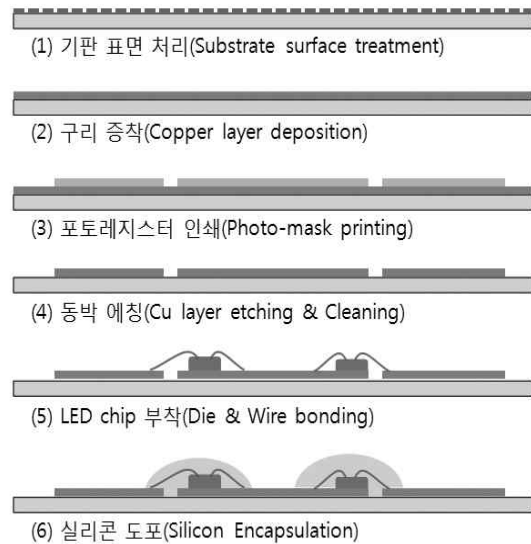


그림 2. 플라스틱 기판 LED 광원 제작 공정도  
Fig. 2. LED Light source of the product process

그림 3은 폴리카보네이트 plate 표면에 무전해 화학 도금, 전해도금을 이용하여 구리 패턴을 형성하고 있는 실제 제품을 보여 주고 있다.

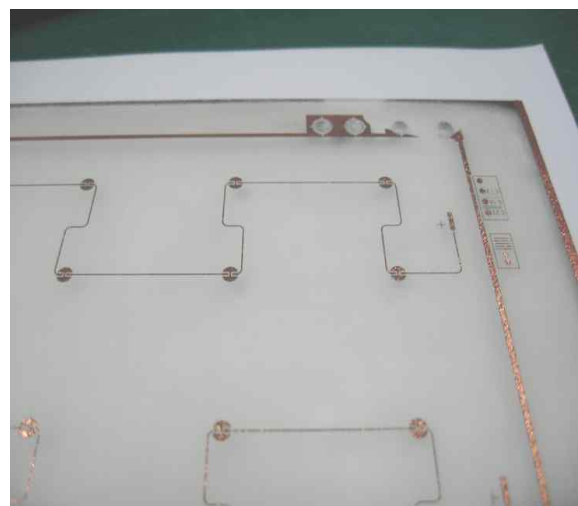


그림 3. PC 표면에 회로 패턴 형성 중인 샘플  
Fig. 3. Process polycarbonate sample

최근 PC와 같은 플라스틱 소재의 기판은 주로 유연 디스플레이(flexible display) 제작이나 RFID카드 제작용 기판에 핵심적인 기술로 평가 받으며 관련 기술 개발이 꾸준히 이루어지고 있다[3]. PC는 내열성을 나타내는 척도인 유리전이온도(Glass Transition temperature; Tg)가 150[°C] 수준으로 현재 220[°C] 수준의 제품까지 개발이 진행되었다.

### 2.2 Cu circuit Patten

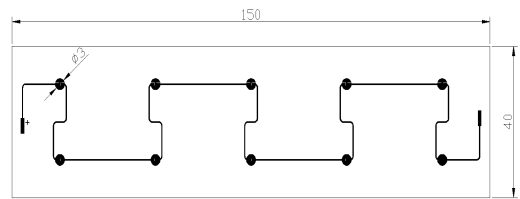
PC 재질의 투명한 plate 표면에 전기적 회로를 구성하기 위해 동박 패턴을 적용하였다. 그러나 폴리 카보네이트는 단일 성분계로서 에칭이 어렵고 수지 제조 시 각종 첨가제 및 각종 성형 조건의 영향에 따라 내약품성 및 수지 표면 구조의 특성 변화 등이 민감하여 양호한 밀착력을 얻을 수 있는 에칭 및 표면 촉매화가 매우 까다로운 문제점이 있다. 이러한 문제들로 인하여 폴리 카보네이트는 그 뛰어난 물성에도 불구하고 회로도금 기판으로 사용이 극히 저조했다.

본 논문에서는 이러한 폴리 카보네이트 재료의 특성을 고려하여 마스크 처리와 무전해 도금공정, 전 공정에 걸쳐 처리액을 수용성으로 선정하고 자재 표면 에칭공정, 화학파라독 공정 이후 알카리 무전해 니켈 도금 방법을 이용하였으며 이는 금속이온을 수용액 상태에서 석출시키는 방법으로 외부로부터 어떠한 전기를 사용하지 않고 자기 촉매 방법에 의해 니켈을 도금하는 방식이다[4]. 그 다음 니켈 도금 표면에 구리 층을 전해 도금 방법을 이용해 25[μm] 이상의 동박 층을 얻을 수 있었다. 제작된 동박 plate는 포토레지스트 및 에칭 공정 등을 이용해 동박 패턴으로 제작하였다. 또한 LED 칩에서 발생하는 열을 외부로 빠르게 전달하기 위해 LED 칩이 장착되는 구리 층의 형상을 가지모양의 형상을 적용하고 방열 면적을 최대화하는 설계를 적용했다.

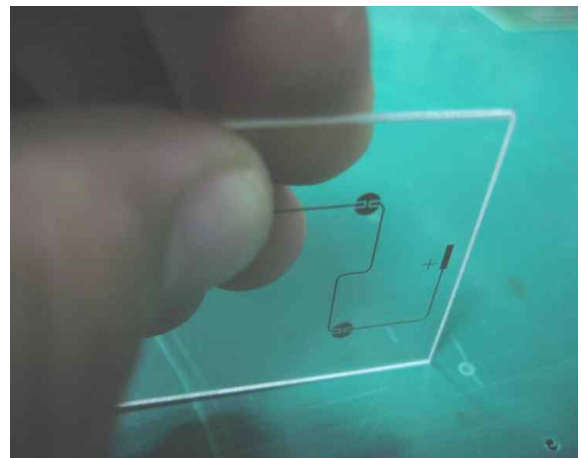
이러한 방열 설계 방식은 에폭시 계열의 재료를 주로 사용하는 일반 FR4 기판의 경우에도 유사한 설계를 진행한다. 이밖에도 본 논문에서 적용한 기술인 포토리소그래피나 에칭 기술이 아닌 금속 나노 입자

를 이용해 plate 표면에 회로 패턴을 인쇄하는 방법에 의해 전기적 배선을 형성하는 기술 개발이 활발하게 개발이 진행되고 있다. 이러한 기술을 적용할 경우 더욱 우수한 특성의 투명 광원 제작이 가능하다고 예상된다.

그림 4는 설계된 회로 패턴과 구리 회로제작이 완료된 PC plate 모듈 샘플을 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 설계한 회로 패턴 (b) 제작이 완료된 회로 패턴

Fig. 4. (a) the circuit pattern (b) production completion pattern

### 2.3 COP(Chip On Plate) 공정

PC plate 표면에 생성한 구리 패턴에 LED chip을 직접 장착하는 COP기술은 기존 COB 기법을 응용한 기술로서 플라스틱 소재의 특성상 온도와 압력, 기구가공의 조건이 별도로 설정되어야 하는 기술이라 말할 수 있다. LED를 이용한 COP기술도 기존 COB 기

술과 유사하게 일반적인 패키지를 이용할 경우 특정 배광 분포를 갖는 광원의 특성을 향상하고 SMT공정 삭제, 방열경로 단축, 제조공정 단순화라는 장점을 예상할 수 있다.

하지만 PC 재질의 플라스틱 plate 특성상 LED 칩을 구리표면에 고정하기 위한 접착 재료의 선정은 PC 유리전해온도 이하의 경화조건을 고려해야 한다. 본 논문에서는 110[°C] 부근에서 1시간 경화 조건의 Ag paste를 조합하여 사용하였으며 wire bonding은 상온 조건에 맞추어 진행하였다. 제작에 사용된 LED 칩은 GaN/Sapphire 기반의 (가로)20[mil]×(세로)20[mil] 사이즈를 적용하였다. 백색 광원 구현을 위해 광원 모듈은 YAG 형광체 13.8[%] 비율로 UV 경화 실리콘과 혼합하여 정량도출기를 이용해 해당 LED 칩에 도포 후 UV경화를 진행하였다.

COP 구조의 특성 상 사용된 봉지재 실리콘의 점도와 요변성(Thixotropic index)특성이 우수한 재료를 선정하였다. 별도의 패키지 없이 봉지재를 직접 도포할 경우 요변성이 높을수록 LED 칩을 둘러싼 반구형태의 형상이 우수한 결과를 얻을 수 있다. 다음 그림 5는 모든 LED 공정을 마친 샘플을 보여주고 있다.

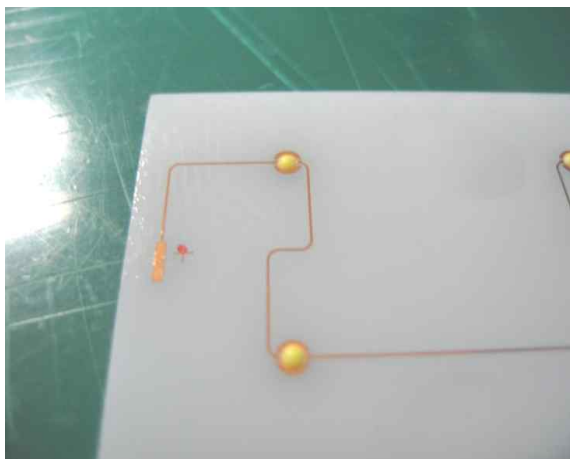


그림 5. 봉지재 완료 제품  
Fig. 5. Encapsulation completion sample

그림 6에서는 제작된 광원에 약 10[mA] 전류를 제작된 광원 모듈에 인가한 후 점등된 모습으로 전·후면으로 광이 출력되는 것을 확인할 수 있다.

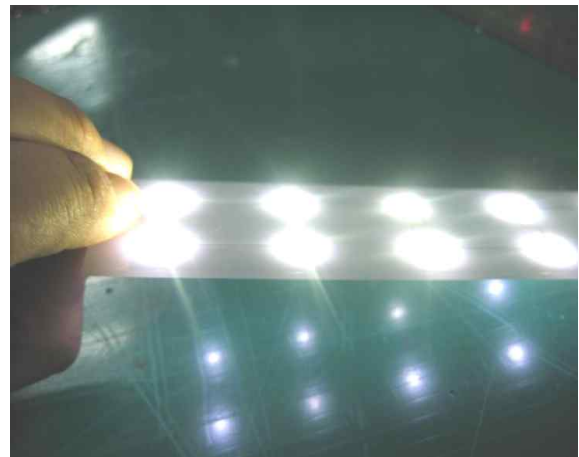
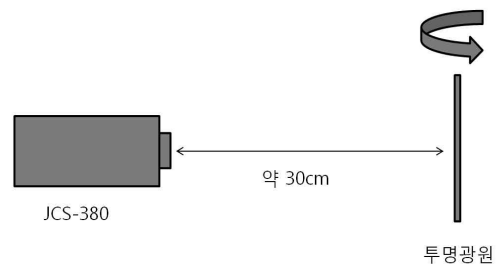
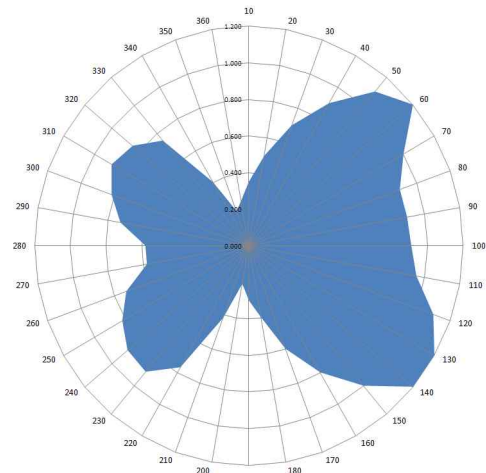


그림 6. 10[mA] 구동 조건 점등  
Fig. 6. 10[mA] forward constant current condition



(a)



(b)

그림 7. (a) 배광분포 측정 조건 (b) 배광 측정결과  
Fig. 7. (a) goniometry measure condition (b) light goniometry result



제작된 투명 LED 광원 모듈의 배광 분포를 측정하였다. 그림 7 (a)는 배광분포를 측정하기 위한 조건으로 광측정기와 시료의 거리를 30[cm]로 설정하고 시료를 10도씩 회전하며 출력된 광을 측정하였다. 그림 7 (b)는 측정된 결과를 보여주고 있다. LED 칩이 장착된 면으로 출력되는 광량이 많지만 배면으로도 광이 출력되고 있음을 확인할 수 있었다.

## 2.4 광원 모듈 Arrays

제작된 단일 모듈 광량의 한계를 개선하기 위해 다수개의 광원 모듈을 조합하여 150×120×10[mm] 사이즈의 면광원을 제작하였다. 제작된 평면 광원은 기존 내부직하 구조인 LGP(Light Guide Plate)측면구조의 광원 제작 방식과 다르게 PC plate 내부에 LED chip이 장착된 광원 구조로 LED 칩에서 출력된 광이 바닥면에 반사되어 전면으로 출력되는 형태로 제작되었다. 이러한 구조는 광원 제작비용의 절감과 함께 기구의 두께를 최소화할 수 있다는 장점을 보유하고 있다.

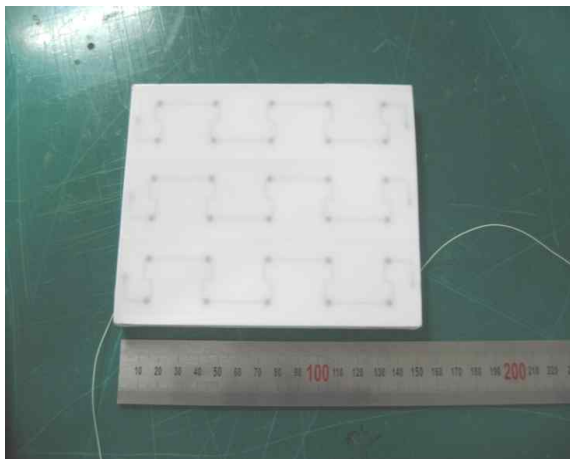


그림 8. 조합된 LED 면광원  
Fig. 8. flat type multiple module

즉 직하형 광원 구조와 측면형 광원 구조의 장점을 모두 공유할 수 있는 특징을 예상할 수 있다. 또한 요구되는 광량과 색상에 따라 다수개의 LED chip을 추가 장착하거나 PC plate 광원 모듈 여러 개를 층별로 조합하여 배치할 경우 더욱 다양한 광원으로 활용이

가능하다. 특징적인 사항으로는 LED 칩의 손상으로 광원을 교체할 경우 전면에 배치된 PC plate를 개별적으로 교체하기가 일반 PCB타입 LED 광원 모듈에 비해 손쉽다는 장점이 있다.

## 2.5 면광원 점등

제작된 면광원은 하나의 모듈에 10[EA]의 LED chip을 직렬로 연결하였으며 3[EA]의 광원 모듈을 병렬로 연결하여 총 30[EA]의 LED chip으로 광원을 제작하였다. 광원 구동은 32[V], 60[mA] 정전류 조건으로 단일 바이어스를 적용하였다. 점등된 면광원의 휘도는 PC plate 표면의 2도 측정 기준 320[nit]( $[cd/m^2]$ ) 수준으로 일반적인 조명으로는 직접 활용하기는 부족하지만 저휘도 BLU 또는 옥내·외 문자 표시 광원, 양면 발광형 광원 응용에는 적용이 가능한 수준으로 측정되었다. 또한 측정된 백색 면광원 색좌표의 경우 x, y 각각 0.28, 0.26(CIE1931 기준) 수준으로 LED 광원의 봉지재로 사용된 실리콘의 형광체 배합율을 13.8[%]에서 상향 조정한다면 통상 면광원에서 백색으로 기준(CIE1931표준)하는 x,y 각각 0.31, 0.31 수준으로 제작이 가능할 것으로 예상된다.

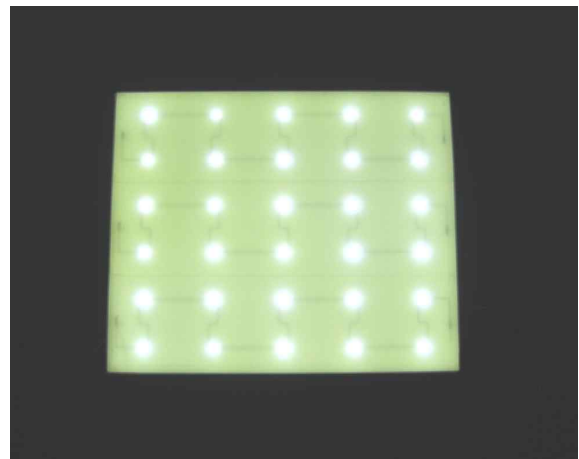


그림 9. 투명광원을 응용한 면광원 점등 모습  
Fig. 9. flat type LED Lamp

### 3. 결 론

본 논문에서 PC plate와 LED 칩을 이용하여 구현한 투명 광원 모듈은 일반적인 패키지 타입의 LED 광원들과는 특징적인 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 가장 큰 특징으로는 PC plate 표면에 LED 칩을 장착한 구조로 인해 광량의 차이는 보이지만 모든 방사면으로 광이 출력되는 특성을 얻을 수 있었다. 또한 최소한의 광원 기구를 적용하여 면광원으로의 응용이 가능하다는 결과를 확인할 수 있었다. 제작된 면광원의 광량은 현재 수준에서 직접 조명으로 사용은 부족한 부분이 있지만 단위 면적당 LED 칩의 적용 수량을 증가시키거나 다수개의 투명 광원을 적층하여 옥내, 외문자 광원 또는 저휘도 BLU 제품, 양면 발광형 광원 등에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

### References

- [1] Y. Leterrier, L.Medico, J. -A. E. Man-son, U. Betz, M.F. Escola, M. Kharrazi Olsson, and F. Atammy, "Mechanical Integrity of Transparent Conductive Oxide Films for Flexible Polymer-based Displays", Thin Solide Films, Vol.460, pp.156-166, 2004.
- [2] Song Jae Lee, "A Study on the Photon Extraction Efficiency in InGaN Light-Emitting Diodes Depending on Chip Structure and Chip-Mount Schemes", SPIE Opt. Eng., Vol. 45, No. 1, Jan, 2006.
- [3] 김기현, 서경수 "디스플레이용 플라스틱기판의 현황", 한국전자통신연구소, 전자통신동향분석 제21권, 제5호 Oct. 2006.
- [4] 김진수, 김순택, 폴리카보네이트 성분이 함유된 수지의 무전해 도금방법"대한민국특허청, 10-2004-0047122, 2005.

### ◇ 저자소개 ◇



**홍대운**(洪大運)

1976년 1월 19일생. 2004년 원광대학교 전자공학과(BS). 2006년 충남대학교 전자공학과 광파전자공학(MS). 2009년 충남대학교 전자공학과 광파전자공학 박사과정(현재).



**이성재**(李成宰)

1959년 6월 14일생. 1980년 서울대학교 공과대학 전자공학과(BS). 1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학(MS). 1990년 University of Florida, Electrical Engineering(Ph.D). 1985년 국방과학연구소 연구원. 1992년 삼성반도체 기흥연구소 화합물 반도체 부분 선임연구원. 2009년 충남대학교 전기정보통신공학부 교수(현재).