

## 환경모니터링 센서가 집적된 LED 조명용 광학시트 제작

최용준 · 이영태<sup>†</sup>

<sup>†</sup>안동대학교 바이오전자공학과

### Fabrication of Optical Sheet for LED Lighting with Integrated Environment Monitoring Sensors

Yong Joon Choi and Young Tae Lee<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Bio-Electronics Engineering, Andong National University

#### ABSTRACT

In this paper, we developed an optical sheet for LED lighting with integrated CO<sub>2</sub> gas and temperature sensor which can monitor at the indoor environment. The optical sheet for LED lighting is fabricated through PMMA(Polymethyl methacrylate) injection process using mold. This research enables to fabricate the reflective sheet, light-guide plate and the prism sheet in a optical sheet. The fabricated sheet demonstrates higher intensity of optical efficiency compared with single-sided sheets. The CO<sub>2</sub> sensor was fabricated using NDIR(NON-Dispersive Infrared) method and it has 0.0235 mV/V·PPM sensitivity. The temperature sensor was fabricated using RTD(Resistance temperature detector) method and it has 0.563 Ω/°C sensitivity.

**Key Words** : LED lighting, Environment monitoring, Optical sheet, NDIR CO<sub>2</sub> sensor, RTD

#### 1. 서 론

최근 지구온난화 및 원전 사태 등의 원인들로 인하여 소비전력이 낮은 LED 조명에 대한 관심이 높아지고 있다. 다양한 LED 조명 관련 연구, 개발이 진행되면서 자연스럽게 IT 기술과의 융합이 시도되고 있다. 단순한 조명의 기능을 벗어나 개인의 감성과 생활의 질을 향상시킬 수 있는 인간 친화적 LED 조명으로의 개발에 관심이 높아지고 있다. 최근 LED 조명에 센서 등 IT 소자를 융합하는 스마트 LED 조명에 대한 연구가 소규모이지만 이루어지고 있다. LED 조명에 여러 종류의 센서를 포함시켜서 조명의 기능 이외의 다양한 기능들을 복합적으로 수행하게 하는 연구가 추진되고 있다[1]. 현재, 센서를 이용한 스마트 LED 조명은 대부분 빛의 밝기와 색감 등을 조절하거나, 인체를 감지하여 조명을 자동 점멸 시키기 위하여 조도, 적외선센서 등 상품화된 개별 센서들을 조명 케이스의 내, 외부

에 배치한 구조로 되어 있는 것이 대부분이다[2]. 본 논문에서는 기존에 LED 평면 조명을 구성하는 여러 장의 광학시트 부품들을 한 장의 광학 시트에 통합하고 단순화 시켜 광학 효율을 높이고 실내 환경 모니터링이 가능한 센서들을 광학시트와 일체화 제작하는 방법으로 LED 평면 조명을 개발하였다.

2014년 03월부터 시행되는 “다중이용시설 등의 실내 공기 질 관리법”에 의하면 실내 공기를 인간 생활에 적절하게 유지하고 관리함으로써 그 시설을 이용하는 국민의 건강을 보호하고 환경상의 위해 예방을 목적으로 하고 있다[3]. 본 논문에서는 조명으로서의 기능뿐만 아니라 실내 환경을 실시간으로 모니터링 하기 위해 CO<sub>2</sub> 센서와 온도센서를 광학시트에 일체화 하여 개발하였다. CO<sub>2</sub> 센서는 NDIR 방식으로 제작하고, 온도센서 RTD 방식으로 제작하였다. 특히 NDIR 형 CO<sub>2</sub> 센서는 광 도파로 내로 외부 공기의 순환을 원활하게 하기 위하여 Diffuser/nozzle 형 펌프(pump)[4]를 장착하여 CO<sub>2</sub> 농도를 시간 지연 없이 실시간으로 모니터링 가능하도록 했다.

<sup>†</sup>E-mail : wangcho@dankook.ac.kr

## 2. 광학시트 및 센서 설계

### 2.1. 광학시트의 설계

LED 평면 조명은 LED에서 방사되는 광을 분산시켜 배광 분포도를 높이고 조도와 휘도를 향상시키기 위해 조명용 광학시트를 사용한다. 일반적인 LED조명용 광학시트는 반사시트, 도광판, 확산시트로 구성된다. 본 연구에서는 디스플레이의 BLU(back light unit)에 사용되는 부품인 프리즘시트를 조명용 광학시트에 적용하였다. 프리즘 시트와 도광판 그리고 반사시트를 일체화하기 위해 도광판의 양면에 프리즘패턴(사각기둥)과 반사 패턴(렌즈 형)을 제작하였으며, 제작된 광학시트의 하부 면에 스퍼터 공정으로 은 박막을 형성시켜 반사시트의 역할을 수행할 수 있도록 설계했다(Fig. 1 참조). 또한, 사출 공정으로 제작된 광학시트에 센서의 일체화를 위해 밀링 공정으로 NDIR 방식 CO<sub>2</sub>센서의 도파관을 형성하고 제작된 도파관 상부면에 RTD 센서가 형성된 플라스틱 필름을 접착하여 환경모니터링용 광학시트를 제작 한다.

### 2.2. 광학시트에 집적되는 센서 디자인

#### 2.2.1. NDIR 방식의 CO<sub>2</sub> 가스센서 설계

이산화탄소 가스 농도의 모니터링을 위하여 비분산 적외선 분석법 (NDIR)을 사용하였다[5,6]. NDIR 방식의 CO<sub>2</sub> 센서의 도파관은 통상적으로 반사율이 높은 금속 재질로 제작 되지만 본 연구에서는 제작된 광학시트에 도파로를 형성하고 은 박막을 증착하여 CO<sub>2</sub> 가스 센서를 제작한다. 광학시트에 밀링 공정으로 광도파로를 형성하고 제작된 광 도파로에 스퍼터 공정으로 적외선에 대한 반사율이 높은 은 박막을 증착하여 완성 한다. 제작된 광 도파로의 원활한 공기 순환을 위해 IR-Lamp에 의해 형성되는 도파로 양단의 온도 차와 Diffuser/Nozzle 형 펌프를 이용 하였다. 설계된 도파관은 Fig. 2(a)에 나타냈다. IR-Lamp의 텅스텐 필라멘트의 순간 온도는 약 2000°C 정도이며, 소비전력을 고려하여 1 Hz 주파수로 점멸 하도록 설계 하였다. IR-Lamp를 점등하면 도파관 내부의 길이 방향으로 온도

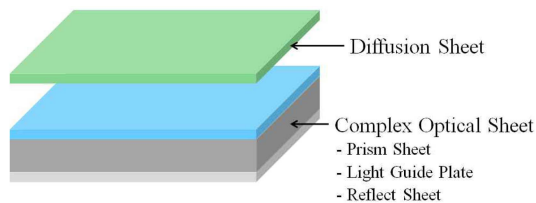


Fig. 1. Structure of optical sheet for LED lighting.

경사(온도 차)가 발생하여, 고온 부에서 저온 부로 공기 흐름이 발생한다. 이때 실시간으로 공기 중의 CO<sub>2</sub>를 모니터링 하기 위해서는 도파관 내·외부의 공기가 원활하게 순환되어야 한다. 본 논문에서는 check value가 없는 Diffuser/Nozzle 형식의 펌프를 도파관에 설치하여 공기 순환을 유도하였다.

Diffuser/Nozzle은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 구멍의 크기가 다른 채널을 공기가 통과할 때 방향에 따라서 공기의 통과 양의 불균형이 발생하는 원리를 사용하여 공기를 한 방향으로 순환시키게 된다[4]. Fig. 2(b)에서 온도가 높은 IR-Lamp 부분에 Nozzle을 설치하고 IR-Detector 쪽에는 Diffuser를 설치하여, Nozzle 부분에서는 외부에서 내부로 공기를 주입하고, Diffuser는 내부의 공기를 외부로 방출하는 작용을 통해서 공기가 순환된다. Diffuser와 Nozzle의 간격은 10 mm, 제작된 diffuser /Nozzle의 크기는 좁은 쪽의 폭을 1.5 mmφ, 넓은 쪽의 폭은 3 mmφ로 설계 하였다. 도파관내의 광경로는 8 × 50 × 5 mm<sup>3</sup>로 설계 하였다.

#### 2.2.2. RTD 설계

본 논문에서는 광학시트에 적용 시킬 수 있는 온도

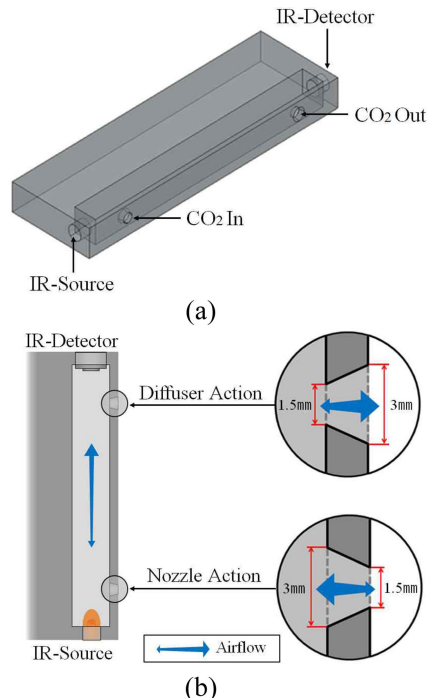


Fig. 2. NDIR type CO<sub>2</sub> sensor: (a) sensor structure, (b) Diffuser/Nozzle type pump.

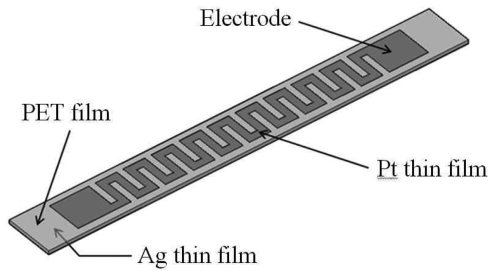


Fig. 3. PET film type RTD.

센서 개발을 위해 전기 저항 형 온도센서 (Resistance Temperature Detector)를 개발 하였다[7]. 저항형 온도센서는 PET 필름 위에 스퍼터링 공정을 이용하여 백금(Pt) 전극을 형성하는 방법으로 제작하였다. PET 필름 전면에는 백금 전극(전기 저항)이 형성되어 있고, 후면에는 백금 으로 증착되어 있다. 이 온도센서의 사이즈는 50 mm × 5 mm이며, 이 PET 필름 형 온도센서는 CO<sub>2</sub> 센서의 도파관 상부에 장착된다. Fig. 3에 온도센서의 구조를 나타냈다.

### 3. 제작공정

#### 3.1. 광학시트의 제작 공정

니켈 금형을 사용한 사출 공정으로 양면에 패턴을 가지는 광학시트 제작하였다[8]. 광학 시트의 크기는 약 60 × 60 × 6 mm<sup>3</sup>이며, 반사 패턴이 형성되어 있는 하부 면에 반사 효율을 높이기 위하여 스퍼터 공정으로 은을 증착 하였다.

#### 3.2. 센서 제작 공정

사출공정으로 제작된 PMMA광학시트를 밀링 가공으로 광 도파로를 형성 하였다(Fig. 4(a)). 광 도파로가 형성된 광학시트에 스퍼터 공정으로 적외선 반사 효율이 좋은 은(Ag) 박막을 증착 하여 도파관을 형성한다(Fig. 4(b)).

RTD 온도센서는 PET 필름을 기판으로 사용 하였으며, 스퍼터를 이용하여 백금 전극을 형성 했다. 백금 전극 패턴 형성은 웨도우 마스크 (shadow mask)를 사용했다. 백금 박막의 두께는 약 200 nm로 제작 하였다. RTD용 백금 전극 형성 후에는 간단한 열처리 과정을 거쳐 완성된다. 백금 전극이 형성된 PET필름의 후면에는 약 500 nm 두께의 은 박막을 증착 한다(Fig. 4(c)). 광학 시트 상에 제작 된 도파관 양 단에 IR-Lamp와 IR-Detector를 접속하고, 도파관 상부에는 온도센서를

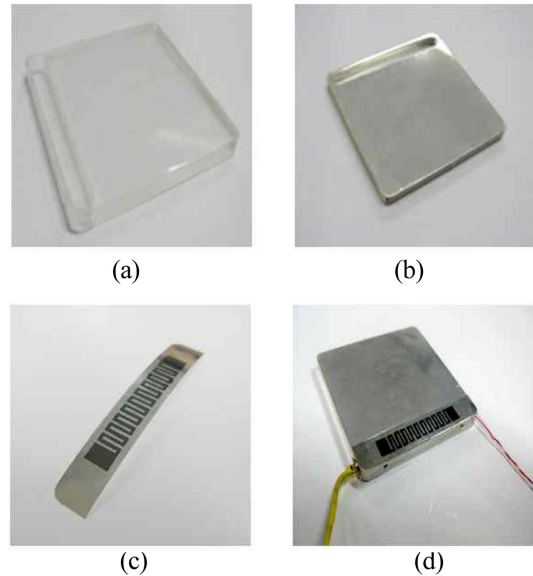


Fig. 4. Fabrication process of optical sheet for LED lighting: (a) optical sheet, (b) Ag sputtering, (c) PET film type RTD, (d) sensor assembly.

접착하여 Fig. 4(d)와 같이 조립하여 완성한다.

#### 3.3. LED 조명 제작

LED 조명을 위하여 마이크로 프로세스 (PIC16F873) 기반 제어 시스템 제작하였다. 저항 형 온도센서는 3선 식으로 브릿지 회로를 구성 하였으며, CO<sub>2</sub> 센서는 555 타이머를 이용하여 1 Hz, 5 V의 신호를 사용하여 IR-Lamp를 구동 하도록 설계 하였다. IR-Detector의 출력 신호는 사인파이며, 1 ms마다 검출한 출력 신호 값을 100 ms마다 평균값을 계산하여 디지털 값으로 출력 하도록 알고리즘을 설계 하였다. Fig. 5(a)에 제작된 제어 시스템 보드를 나타냈다. LED 칩을 일자로 배열하고 (Fig. 5(b)), 제작된 광학 시트와 확산시트를 삽입하고 조립하여 완성한다(Fig. 5(c)). Fig. 5(c)에 LED 조명을 켜었을 때의 사진을 나타냈다. CO<sub>2</sub>의 농도는 3단계로 유색 LED로 나타내도록 했다. LED 조명을 설치한 상태에서 조명 케이스에 설치된 3종류의 유색 LED를 확인 하여 실내의 CO<sub>2</sub> 농도를 판별할 수 있어 통풍 타이밍 등을 판단할 수 있다.

## 4. 결과 및 고찰

#### 4.1. 광학시트의 특성

고니오포토펜터(Goniophotometer)를 이용하여 제작

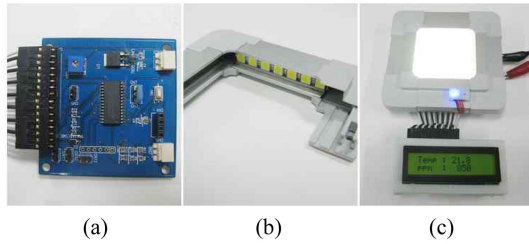


Fig. 5. LED lighting, (a) control board, (b) LED chip assembly, (c) LED lighting with integrated environment monitoring sensors.

Table 1. Optical sheet measuring results

	Single-sided optical sheet	Composite optical sheet
Total Illuminance (lux)	25.9	51.9
Total lumen (lm)	111.4	239

Gamma Step : 5° (90°~90°), C\_Plane Step : 30° (0°~180°)

된 양면 광학시트(프리즘 패턴/반사 패턴)의 배광 특성을 평가하였다. Table 1에 측정된 Total lumen 값과 Total Illuminance 값을 나타냈다. 단면 광학시트의 경우 Total Lumen 값이 111.4 lm인 반면 양면인 경우 239 lm로 측정되어 약 2.1배 정도 높은 것으로 나타났다. 또한 Total Illuminance 값의 경우 단면은 25.9 Lux 인 반면 양면은 51.9 Lux로 양면이 약 2배 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 광학 시트 전면에 형성된 프리즘 패턴에 의해 반사되는 빛이 감소하는 것이 원인으로 판단된다[9].

#### 4.2. 센서의 출력 특성

##### 4.2.1. NDIR 방식의 CO<sub>2</sub> 가스센서 특성

제작된 CO<sub>2</sub> 가스센서의 평가를 위해 챔버(chamber) 내에 N<sub>2</sub> 가스를 주입하여 챔버 내의 CO<sub>2</sub> 를 제거하고, CO<sub>2</sub> 가스를 주입하면서 센서의 출력 변화를 측정하였다. 챔버 내의 가스 농도 측정은 Lutron사의 AQ-9901SD를 사용하였다. Fig. 6은 CO<sub>2</sub> 가스의 농도에 따라 변하는 출력 전압을 나타냈다.

인가 전압이 5V일 때, CO<sub>2</sub> 가스 농도 300 ppm에서 2000 ppm까지 약 200 mV의 전압차이가 발생 하였다. 즉, 제작된 CO<sub>2</sub> 가스 센서는 0.0235 mV/V·PPM의 감도를 가진다.

##### 4.2.2 RTD 특성

Fig. 7은 제작된 RTD 온도 센서의 온도 변화에 대한

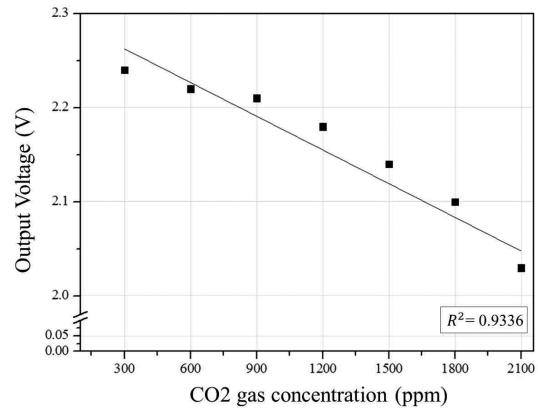


Fig. 6. Output characteristics of NDIR type CO<sub>2</sub> gas sensor.

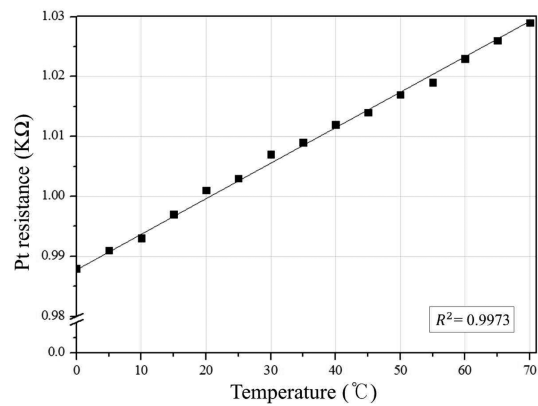


Fig. 7. Output characteristics of RTD.

저항 값의 변화를 측정된 값이다. 20°C에서 약 1 kΩ의 저항 값이 출력되도록 제작 하였으며, 0°C ~ 70°C 까지 5°C 간격으로 측정 하였다. 온도 1°C 변화 시 평균 저항 값 변화는 0.563 Ω이며, 출력 특성은 비교적 우수한 선형성을 나타내고 있다. Fig. 7은 온도 변화에 따른 저항 값 변화를 나타냈다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 실내의 CO<sub>2</sub> 가스 농도와 온도를 상시 모니터링 할 수 있는 LED 평면 조명을 개발하였다. LED 조명의 광학 특성 개선을 위하여 양면 광학시트를 개발했다. 양면 광학시트는 단면 광학시트에 비해 광 특성이 약 2배 정도 우수한 것으로 나타났다. NDIR 형 CO<sub>2</sub> 가스 센서는 LED 조명의 광학시트 상에 제작하였고, RTD 온도센서는 PET 필름 형태로 제작되어 광학시트 상에 접착하였다. 제작된 NDIR 형

CO<sub>2</sub> 센서는 약 0.0235 mV/V·PPM 의 감도 나타냈고, RTD 온도센서는 1°C의 온도 변화 시 저항 값의 변화는 약 0.563 Ω으로 비교적 우수한 특성을 나타냈다.

### 참고문헌

1. "Industry Convergence Report 2010 Source Technology Roadmap Planning(LED)", Korea Institute for Advancement of Technology, pp. 139, 2010.
2. J. G. Kim, M. S. Kang, "Development of a Sensor-Based LED Lighting System with Low Standby Power", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers, Vol. 61, No. 1, pp. 18-22, 2012.
3. S. B. Song, "LED lighting infrastructure and development strategy", Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 31, pp. 14-20, 2009.
4. Y. T. LEE, "Fabrication of the Liquid Analyzer using Micro-stereolithography Technology", Journal of Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 14, No. 12, pp. 994-1000, 2001.
5. S. H. Lee, J.M.Park, Y.H.Park, S.O.Han "NDIR CO<sub>2</sub> Gas Sensor for Improving Indoor Air Quality", Journal of Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 18, No. 7, pp. 628, 2005.
6. I. Y. Park et al., "An implementation of NDIR type CO<sub>2</sub> gas sample chamber and measuring hardware for capanograph system in consideration of time response characteristics", Journal of Korean Sensor Society, Vol. 5, No. 5, pp. 279-285, 2001.
7. J. S. Moon, K. J. Jeong, S. H. Choi, T. Y. Cho, H. G. Chun, "A Study on the Electrical Properties of Pt Thin film RTD for Temperature Sensor", The Korean institute of surface engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 3-9, 1999.
8. J. Y. Lee "Development of Precision Electroforming Technology based on Hard Electro-Nikel Alloy", The Korean institute of surface engineering, Vol. 11, No. 11, pp. 134-135, 2011.
9. Y. C. Kim "LGP Output Characteristics Depending in BLU Pattern Size", Optical Society of Korea, Vol. 19, No. 1, pp. 43-47, 2008.

접수일: 2013년 8월 30일, 심사일: 2013년 9월 10일,  
2차심사일: 2013년 9월 16일, 게재확정일: 2013년 9월 23일