

실리카 다공체에 의한 발광다이오드 백라이트 유닛용 폴리카보네이트계 확산판의 광학 및 열-기계적 물성의 향상 연구

김효진 · 김동원 · 김성우*[†]

경기대학교 신소재공학과, *경기대학교 화학공학과

(2012년 6월 19일 접수, 2012년 8월 1일 수정, 2012년 8월 6일 채택)

Improvement of Optical and Thermo-mechanical Properties of Polycarbonate-based Diffusers for LED Backlight Unit by Incorporation of Porous Silica Particles

Hyo Jin Kim, Dong Won Kim, and Seong Woo Kim*[†]

Department of Advanced Materials Engineering, Kyonggi University, 154-42 Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

*Department of Chemical Engineering, Kyonggi university, 154-42 Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-760, Korea

(Received June 19, 2012; Revised August 1, 2012; Accepted August 6, 2012)

초록: 본 연구에서는 압출 컴파운딩 공정 및 압축 성형 공정을 이용하여 직하형 LED backlight unit(BLU)용 PC계 확산판을 제조하였다. 광 확산제로 무기 실리카 다공체의 적용을 시도하였으며, 제조된 확산판의 광학 및 열적, 기계적 물성의 변화를 조사하였다. 모폴로지 관찰을 통하여 광 확산제가 압출 공정 중 발생된 높은 전단응력에 의하여 PC 매트릭스 상에서 응집 현상 없이 균일하게 분산되었음을 확인하였다. 실리카 다공체를 보조 확산제로 첨가한 경우 확산판의 위치 및 시야각에 따른 휘도 균일도가 순수 아크릴 비드만을 첨가한 경우에 비해 뚜렷하게 향상되었으며, 반면에 절대휘도의 감소 정도는 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 첨가된 실리카 다공체는 확산판의 열 및 기계적 성질의 개선에도 기여하였다.

Abstract: The polycarbonate (PC)-based optical diffusers for direct-lit LED backlight unit were prepared by using extrusion compounding followed by compression molding process. The application of inorganic porous silica particles as a diffusing agent in addition to conventional poly(methyl methacrylate) (PMMA) beads was attempted, and the optical, thermal, and mechanical properties of the prepared diffusers were investigated. The morphological observations revealed that the diffusing agents could be uniformly dispersed in the PC matrix without agglomeration by high shear stress generated during extrusion process. The incorporation of the porous silica particles mixed with PMMA beads remarkably enhanced the luminance uniformity with respect to both location and view angle for the diffuser, while minimizing the reduction in the absolute luminance, as compared with the diffuser containing only PMMA beads. In addition, thermal and mechanical properties of the diffusers were shown to be improved upon addition of the porous silica particles.

Keywords: LED backlight unit, extrusion compounding, porous silica, luminance uniformity.

서 론

액정표시장치(liquid crystal display, LCD)는 선명한 화질, 빠른 구동속도, 초경량 및 슬림화의 구현이 용이하다는 장점으로 인해 디스플레이 산업에서 높은 시장점유율을 차지하고 있으며, 최근에는 고효율 및 고기능성을 갖는 LCD를 개발하

기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.¹⁻⁴ LCD는 색상 발현 기능을 하는 액정이 비발광체이기 때문에 별도의 광 공급 시스템인 백라이트 유닛(backlight unit, BLU)을 필요로 한다. BLU는 광원 및 광학 소재로 구성되어 있으며, 광원으로는 냉음극형광램프(cold cathode fluorescent lamp, CCFL)와 면형광램프(flat fluorescent lamp, FFL)가⁵ 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 우수한 색 재현성, 50000시간 이상의 수명 및 저소비전력 등의 많은 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라, 수은을 사용하지 않아 친환경적인 광원으로 인식되고 있는 발광다이오

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: wookim@kgu.ac.kr

드(light emitting diode, LED)로 대체되고 있는 추세이다.^{6,7} 광학 소재로는 반사 쉬트(reflection sheet), 도광판(light guide plate), 확산판(diffuser sheet), 프리즘 쉬트, 휘도향상필름(brightness enhanced film, BEF) 등의 다양한 광학 기능을 갖는 고분자 쉬트 및 필름으로 구성되어 있다.⁸⁻¹¹

BLU는 광원이 측면에 위치하는 엣지형(edge-lit) BLU와¹² 하면에 위치하는 직하형(direct-lit) BLU로¹³ 분류된다. 디스플레이의 경량화 및 슬림화에 유리한 엣지형 BLU는 대형화 시 고휘도의 한계 및 휘도 균일도의 저하로 인하여 주로 노트북 등 소형 디스플레이에 적용되고 있다. 반면에, 직하형 BLU의 경우 대형화 및 고휘도의 구현이 가능하지만 휘도 균일도를 높이기 위해서는 광원과 일정한 거리를 유지하여야 하는 문제로 슬림화에 어렵다는 단점이 있다. 직하형 BLU를 구성하는 광학소재 중 확산판은 하면의 점광원 또는 선광원을 산란 및 확산 작용을 통하여 2차원적인 면광원으로 변환시키고 휘도 균일도를 높이는 역할을 하는 핵심 부품 소재이다.⁸ 그러나 LCD의 슬림화를 위해 BLU 내 램프와 확산판 사이의 간격을 축소하게 되면 하면에 위치한 램프로부터 전달되는 높은 열에너지로 인하여 확산판이 쉽게 변형될 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 광학 성능뿐만 아니라 열-기계적(thermo-mechanical) 성질이 우수한 확산판이 요구되고 있으며, 이를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{8,14}

확산판의 대표적인 제조 방법으로는 고분자 쉬트 표면에 3차원의 미세 패턴을 도입하는 패턴형성 방법과¹⁵⁻¹⁷ 쉬트의 표면 및 벌크 상에 확산제를 분산시키는 코팅 및 압출 컴파운드링 방법을¹⁸⁻²¹ 들 수 있다. 이 방법들 중 압출 컴파운드링 공법은 확산제를 고분자 매트릭스 수지에 용융 및 혼련 과정을 통하여 분산시킨 후에 캐스팅 롤(casting roll)을 이용하여 확산판으로 제조하는 방법이다. 이 방법은 단일층 구조의 확산판 제조를 가능하게 하며, 공정성 및 제품 성능 면에서 다른 제조법에 비해 유리하기 때문에 디스플레이 업계에서 많은 관심을 받고 있다.

최근에 광 확산제로 가교 polystyrene(PS), 가교 poly(methyl-methacrylate)(PMMA), silicone 비드 등을 이용하여 컴파운드형 확산판의 광학 특성 및 물리적 성질을 향상시키고자 하는 연구 결과가 보고되었다.²²⁻²⁴ 특히 Kim 등은²⁴ 상기의 확산 비드 외에 추가로 유리 섬유(glass fiber)를 보조 확산제로 적용하여 확산판의 뒤틀림(warping) 문제를 해결하고, 또한 광 확산성과 열-기계적 물성을 향상시킴으로써 직하형 BLU의 슬림화를 위한 적용 가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 광학 성능이 개선되고 내열성 및 기계적 물성이 우수한 직하형 LED BLU용 확산판을 얻기 위하여 광 확산제로 무기 실리카 다공체의 적용을 시도하였다. 이축-압출 공정을 이용하여 기존에 사용하던 아크릴 비드에 실리카 다공체를 혼합한 광 확산제를 polycarbonate(PC) 매트릭스 수

지상에 분산시킨 컴파운드형 확산판을 제조하였다. 제조된 확산판의 모폴로지 관찰을 통하여 분산성을 평가하였고, 시야각 휘도, 휘도 균일도, 광 투과도, 헤이즈 등의 광학 특성과 열적 성질(유리전이온도) 및 열-기계적 성질(storage modulus)을 확산제 함량 및 실리카 다공체 첨가 여부에 따라 비교 분석하였다.

실 험

재료. 본 연구에서는 PC(103-R, Sabic사)를 컴파운드형 확산판 제조를 위한 매트릭스 수지로 사용하였다. 광 확산제로는 굴절률이 각각 1.49와 1.42인 아크릴 비드(PMMA, HLD-50, Bead & Micro 사)와 실리카 다공체를 사용하였다. Table 1에 본 실험에서 사용된 아크릴 비드 및 실리카 다공체의 특성을 나타냈다.

실리카 다공체 제조. 실리카 다공체는 졸-겔 공법을 이용하여 제조하였다. 이 때 무기 실리카 전구체로는 tetraethyl orthosilicate(TEOS, ACROS 사)를 사용하였다. TEOS, 물, 에탄올을 일정한 몰비로 혼합하여 일정 시간 동안 가수분해 및 축합 반응이 일어나게 함으로써 실리카 입자 분산 졸을 제조하고, 이어서 겔화, 건조, 분쇄 과정을 거쳐 0.5~2 μm 크기의 다공성 실리카 입자를 얻었다. 제조된 실리카 다공체의 특성을 BET 분석기(BELSORP-max, BEL Japan. 사)로 측정한 결과, 비표면적은 715.5 m^2/g , 기공 크기는 3.4 nm, 기공률은 25%, 전체 기공 부피(total pore volume)는 0.5994 cm^3/g 로 얻어졌다. 졸-겔 공법을 이용한 실리카 입자 제조 방법은 여러 문헌에 보고되었다.^{25,26}

컴파운드 및 확산판 제조. 원재료에 흡착되어 있는 수분을 100 $^{\circ}\text{C}$ 로 예열된 진공 건조기를 이용하여 4시간 동안 건조하여 제거하였다. PC 수지에 순수 아크릴 비드 확산제 또는 아크릴 비드와 실리카 다공체를 6:4의 중량비로 혼합한 확산제를 각각 첨가하였으며, 이 때 컴파운드를 구성하는 광 확산제의 조성은 각각 1, 3, 5 wt%가 되도록 하였다. 건조 블렌딩(dry blending) 방법에 의해 확산제가 PC 수지상의 전체 영역에 고르게 분포될 수 있도록 하였다. 동일방향 회전(co-rotating)방식의 이축 압출기(TEK 30, SM Plate 사)를 이용하여 용융 및 혼련 과정을 통해 펠렛 형태의 컴파운드를 제조하였다. PC 수지의 용융온도 및 유변물성 등을 고려하여 압출 공정 조건은 스크류 속도 500 rpm, 배럴 내 온도 260~300 $^{\circ}\text{C}$,

Table 1. Basic Characteristics of Diffusing Agents

Diffusing agents	PMMA bead	SiO ₂ particle
Particle size	1 μm	0.5-2 μm
Shape	Sphere	Fragmentary
Refractive index	1.43	1.54

다이 온도 300 °C로 설정하였다. 압출공정 후 수냉식으로 냉각 처리된 컴파운드는 수분을 함유할 수 있으므로 100 °C로 예열된 진공 건조기를 이용하여 4시간 동안 건조하였다. 평판형 금형에 건조된 펠렛을 충전한 후 압축 성형기(SJTM-100L-H, Sejin technology사)를 이용하여 두께 1.3 mm의 확산판을 제조하였다. 압축 성형의 경우 3 단계로 이루어진 공정조건을 사용하였다. 즉, 1 단계(온도 300 °C, 압력 100 kgf/cm², 가열시간 5분), 2 단계(온도 300 °C, 압력 650 kgf/cm², 3분), 3 단계(온도 30 °C, 압력 100 kgf/cm², 냉각 시간 3분) 조건으로 수행하였다.

모폴로지 및 광학적 특성 분석. 매트릭스 내 확산제의 형상, 분산 상태를 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope, FE-SEM, JSM-6100, JEOL 사)을 이용하여 관찰하였다. 제조 확산판의 시야각 휘도 및 휘도 균일도를 측정하기 위해 사용된 LED 모듈의 모식도를 Figure 1에 나타내었다.

직경이 3 mm인 LED 램프간 간격은 15 mm이고, 램프로부터 확산판까지의 거리는 38 mm이다. 확산판의 휘도측정은 VESA(Video Electronics Standards Association)의 FPDm(flat panel display measurements standard) 2.0 규격을 근거로 이루어졌다.²⁷ 휘도는 제조된 확산판을 모듈 위에 배치한 후 시야각 휘도 측정기(EZ contrast XL88, Eldim사)를 이용하여 방위각(azimuth angle, ϕ) 0 ~ 360° 및 시야각(viewing angle) -88° ~ +88°의 범위에서 측정하였다. 휘도 균일도는 휘도 계측기(SR-3A, Topcon 사)를 이용하여 모듈 위에 배치된 확산판을 9 개의 일정 영역으로 나누어 면에 수직방향으로 측정하였다. 광 투과도 및 헤이즈는 HAZE meter(NDH 2000N, Nippon Denshoku 사)로 ASTM D1003에 근거하여 동시에 측정하였다.

열 및 기계적 특성 분석. 시차 주사 열량계(differential scanning calorimetry, DSC, EXTAR 7000, SEIKO 사)를 이용하여 실리카 다공체의 첨가에 따른 유리전이온도 변화를 파악하였다. 이 때 측정 조건은 승온속도 10 °C/min, 측정온도 범위 20 ~ 250 °C이다. 확산판의 기계적 물성(점탄성 성질)은 점탄성분석장비(dynamic mechanical analyzer, DMA, SS6100, SEIKO 사)로 ASTM D4065에 근거하여 측정하였

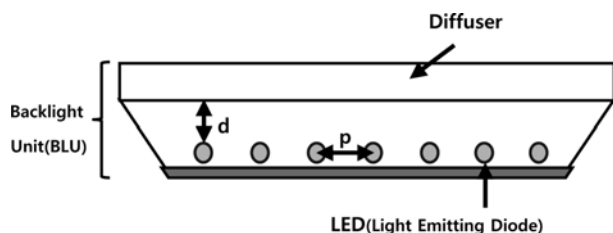


Figure 1. Schematic diagram of direct-lit LED BLU module with dimensions of $d=38$ mm, $p=15$ mm, lamp diameter=3 mm (d : distance between diffuser and lamp, p : distance between two lamps).

다. 이 때 시편은 확산판을 가로 6 cm, 세로 1 cm로 절단하여 준비하였으며, 측정조건은 진동수(frequency) 1 Hz, 진폭(strain amplitude) 0.1%, 승온속도 3 °C/min, 온도범위 30 ~ 180 °C이다.

결과 및 토론

압출 컴파운딩 공정을 통해 제조된 확산판의 광학 특성은 매트릭스 수지에 함유된 광 확산제의 분산성에 크게 의존한다. Figure 2는 제조된 컴파운드형 PC계 확산판의 단면을 촬영한 SEM 사진이다. 광 확산제인 아크릴 비드와 실리카 다공체는 압출공정 중 발생된 전단응력에 의해 PC 매트릭스 전체 영역에서 균일하게 분산되고 분포되었으며, 또한 입자간 인력에 의한 응집 현상도 일어나지 않은 것으로 확인할 수

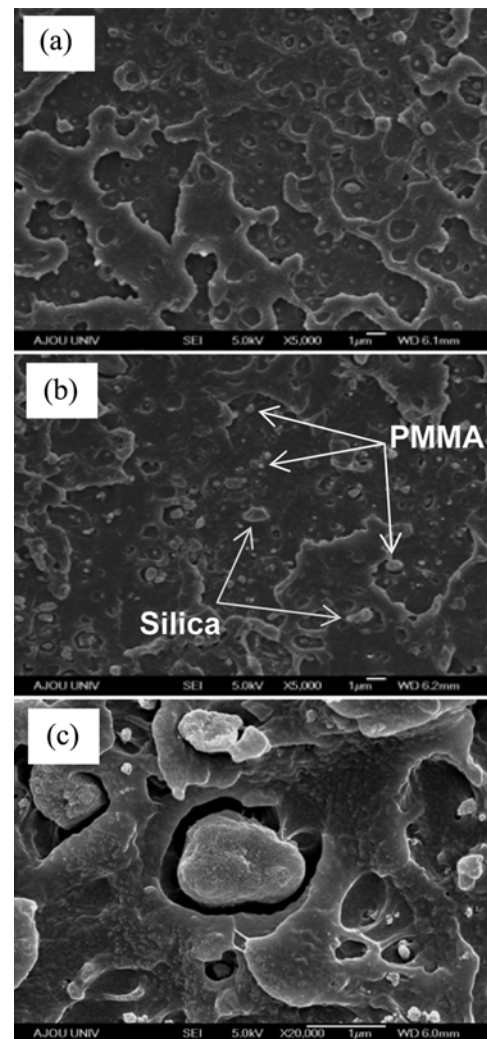


Figure 2. SEM micrographs of cross-sections of PC-based diffusers containing (a) 3 wt% PMMA bead; (b) & (c) 3wt% mixture of PMMA and SiO₂ (a & b: $\times 5000$, c: $\times 20000$).

있다. Figure 2(a)의 아크릴 비드 확산제만을 함유한 확산판의 경우 직경 $1\ \mu\text{m}$ 로 거의 단분산 입도분포를 갖는 구형 비드가 관찰되었으며, 반면에 혼합 확산제(아크릴/실리카)를 첨가한 확산판(Figure 2(b))의 경우에는 구형 비드 외에 $0.5\sim 2\ \mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 불규칙 형상의 실리카 다공체가 분산된 것으로 관찰되었다. Figure 2(c)는 실리카 다공체 내의 기공 구조를 관찰하기 위해 확대 촬영한 사진이다. 졸-겔 공정에 의해 합성된 초기의 다공성 실리카 다공체에 존재하는 기공의 구조는 SEM 관찰 실험을 통해 확인할 수 없었다. 이러한 기공 구조의 붕괴는 압출 공정 중 용융된 PC 수지 분자가 실리카 기공내로 확산 침투하여 충전함으로써 나타난 결과라고 생각된다.

직하형 BLU를 구성하는 핵심 광원소재인 확산판은 광원으로부터 조사된 빛을 굴절 작용에 의해 산란시키고 확산시킴으로써 2차원적인 면광원으로 변환시키고 위치 및 시야각에 따른 휘도 균일도를 높이는 역할을 한다.^{21,23,24} LCD가 제품으로서 응용되기 위해서는 이를 구성하는 확산판의 휘도 특성을 위치 영역뿐만 아니라 시야각의 변화에 따라 파악하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 실험에서는 제조된 확산판의 방위각(azimuth angle, $0\sim 360^\circ$) 및 시야각(viewing angle, $-88^\circ\sim +88^\circ$)에 따른 휘도 분포를 EZ contrast XL88 휘도 분석기를 이용하여 측정하였으며, 정량적 휘도 수치 결과를 Figure 3(a)에 색상으로 등급화하여 나타냈다. 아크릴 비드만을 첨가한 확산판의 경우 전 영역에서 불균일한 휘도 분포를 보이고 있으나, 실리카 다공체를 아크릴 비드에 추가로 첨가했을 때는 80° 이상의 시야각 범위를 제외한 전 영역에서 적색을 나타내며 매우 균일한 휘도 분포를 보였다.

Figure 3에서 (b)와 (c) 그림은 방위각이 0° 일 때 시야각이 $-88^\circ\sim +88^\circ$ 인 범위에서의 휘도 분포를 나타내고 있다. 확산제 함량이 3 wt%일 때, 순수 아크릴 비드를 첨가한 경우 $-20^\circ\sim +20^\circ$ 의 시야각 범위에서 불균일한 휘도 분포를 보이고 있으나, 실리카 다공체를 아크릴 비드와 함께 사용한 경우에는 이러한 좁은 시야각 범위 내에서 휘도 수치가 일정해졌을 뿐만 아니라 균일한 휘도 분포를 보이는 시야각 범위도 확대되었음을 알 수 있다. 또한 확산제 함량이 5 wt%로 첨가되었을 때는 순수 아크릴 비드 함유 확산판의 경우 3 wt% 확산판에 비해 균일한 휘도 분포를 보였으나 절대휘도에 있어선 거의 변화를 보이지 않은 것으로 나타났으며, 반면에 실리카 함유 확산판의 경우에는 확산제 함량 증가에 따라 절대휘도가 넓은 시야각 범위에서 균등하게 감소하였다.

이와 같이 확산제 함량이 증가함에 따라 절대휘도가 감소하는 원인은 빛이 확산판을 통해 투과될 때 확산제에 의해 산란되고 광 손실이 발생함으로써 확산판으로부터 방출되는 광선량(quantity of light rays)이 감소되었기 때문이라고 생각된다. 이러한 결과는 컴파운드형 확산판에 첨가되는 광 확산제로 아크릴 비드와 유리섬유로 구성된 복합물 및 실리콘, 아

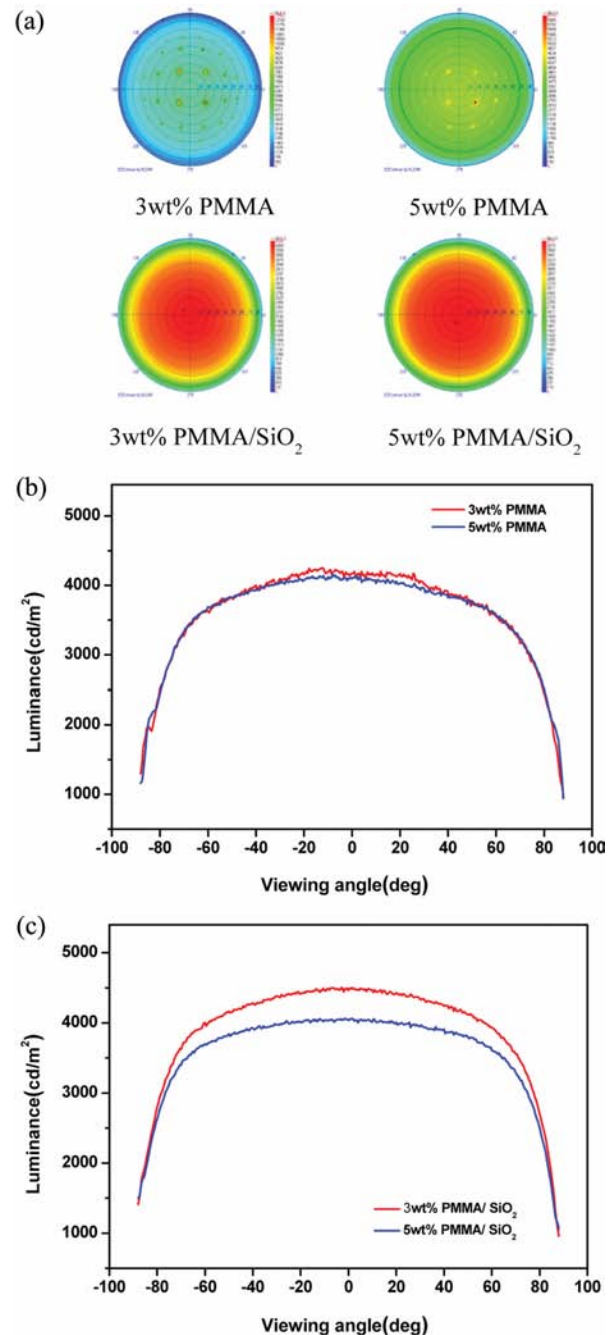


Figure 3. Angular luminance distributions on the PC-based diffuser: (a) contrast map; luminance with varying view angle for the diffuser containing (b) PMMA; (c) mixture of PMMA and SiO₂.

크릴, 폴리스티렌 비드 등을 적용한 선행 연구에서도 보고된 바 있다.^{23,24}

Figure 4는 확산판의 위치 영역에 따른 휘도 균일도 및 광학 확산성을 정성적으로 파악하기 위해, 제조된 확산판 하면에 실제 직하형 BLU를 구성하는 LED 광원을 일정 간격을 두고 위치하게 하여 디지털 카메라로 촬영한 사진이다. 이와

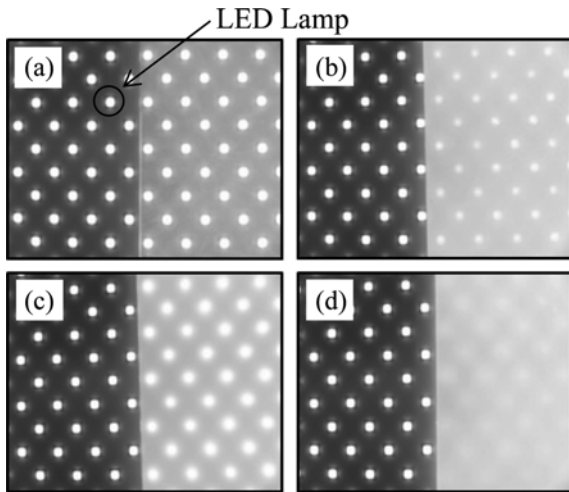


Figure 4. Digital images showing qualitative luminance uniformity of diffusers containing (a) 1 wt% PMMA bead; (b) 3 wt% PMMA bead; (c) & (d) 1 wt% and 3 wt% mixture of PMMA and SiO_2 , respectively.

같은 사진 촬영에 의한 확산판의 정성적인 광학 특성 평가는 실제 디스플레이 업계에서 보편적으로 활용되고 있으며, 무라 시험(mura test)이라고도 한다.

순수 아크릴 비드 첨가 확산판의 경우 투과되는 광의 낮은 산란 및 확산성으로 인하여 확산판 하면에 위치한 LED 점광원이 면광원 형태로 충분히 전환되지 못한 것으로 나타났다. 특히 아크릴 비드 함량이 1 wt%로 낮게 첨가된 확산판의 휘도는 측정 위치에 따라 큰 편차를 보였으며, 램프에 수직 방향의 위치에서는 50000 cd/m^2 이상의 매우 높은 수치로 측정되었다. 그러나 아크릴 비드/실리카 다공체로 구성된 혼합 확산제를 3 wt% 함량으로 첨가한 확산판의 경우 사진에서 보듯이 광 산란 및 확산성이 증가하게 되고 LED 점광원 형태를 구분할 수 없을 정도로 충분히 면광원 형태로 전환되었을 뿐만 아니라 위치 영역에 따라 매우 균일한 휘도 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

또한 정량적인 휘도 균일도는 확산판의 광학성능 평가에 매우 중요한 지표이며 일반적으로 다음 식에 의해 결정된다.

$$\text{Luminance uniformity}(\%) = L_{\min}/L_{\max} \times 100 \quad (1)$$

즉, 확산판의 9 개 지점에서 측정된 휘도 중 최소 휘도($L_{\min}$) 값을 최대 휘도($L_{\max}$) 값으로 나누어 백분율을 취함으로써 결정된다. Figure 5는 확산제 함량에 따른 PC 확산판의 정량적인 휘도 균일도를 나타낸 것이다. 확산제를 1 wt%의 저함량으로 첨가했을 때 아크릴 비드의 경우 57%, 혼합 아크릴/실리카 경우에는 75%의 낮은 휘도 균일도를 보였으나, 확산제 함량을 3 wt%로 증가시켜 첨가하게 되면 휘도 균일도는 87% 이상으로 뚜렷하게 향상되었다. 그러나 그 이상으로 고함량

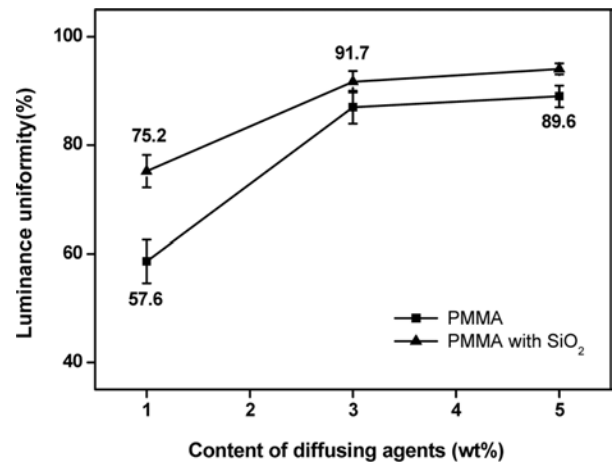


Figure 5. Luminance uniformity of diffusers containing various diffusing agent contents.

(5 wt%)의 첨가는 컴파운드형 확산판의 휘도 균일도 상승에 크게 기여하지 못한 것으로 나타났다.

이로써 확산판의 휘도 균일도는 첨가된 확산제의 함량이 적정 수준 이상이 되면 90% 이상의 높은 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 동일 함량의 확산제 첨가를 기준으로 다공성 실리카 다공체를 보조 확산제로 혼합하여 사용했을 때 단일 아크릴 비드만을 사용한 경우에 비해 더욱 우수한 휘도 균일도를 갖는 확산판을 제조할 수 있었다. 이는 Figure 2의 SEM 관찰 사진에서도 확인하였듯이 높은 비표면적을 갖는 다공성 실리카 기공내로 PC 수지가 채워지고 수지상과 실리카상의 계면인 불연속 영역이 확대됨으로써 LED에 의한 빛이 더욱 효율적으로 산란되고 확산되었기 때문이라고 생각된다.

헤이즈는 확산판에서 입사광의 산란 및 확산의 정도를 나타내는 정량적 척도로 사용되고 있다. 실제 상업용으로 적용되고 있는 디스플레이 BLU용 확산판은 약 90% 이상의 높은 헤이즈를 필요로 하는데,⁸ 이는 휘도 균일도를 상승시키고 램프의 점광원을 면광원으로 효율적으로 변환시킬 수 있기 때문이다. 헤이즈 및 광투과도는 서로 상반되는 개념으로 헤이즈가 증가하면 휘도 균일도는 상승하지만 광투과도는 감소하므로 결국 휘도의 감소를 초래하게 된다. 따라서 절대휘도 상승의 원인이 되는 광투과도와 휘도 균일도에 영향을 미치는 헤이즈를 적정 수준 이상으로 동시에 증가시키는 것이 직하형 LED BLU용 확산판의 개발에 있어서 기술적 핵심 요소라고 할 수 있다.

확산제의 함량에 따른 확산판의 헤이즈 및 광투과도 측정 결과를 Figures 6, 7에 나타냈다. 일반적으로 확산제 함량이 증가하게 되면 확산판을 통과하는 빛의 산란 및 확산 정도가 증가함으로써 휘도 균일도 뿐만 아니라 헤이즈 역시 상승하게 되며, 반면 광투과도는 감소하게 된다. 이러한 이유로 확

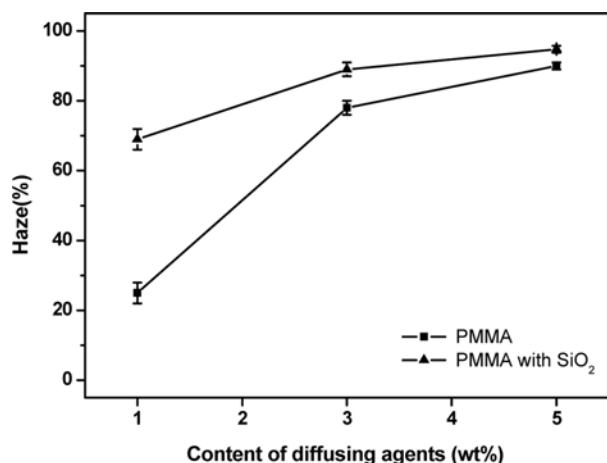


Figure 6. Haze of diffusers containing various diffusing agent contents.

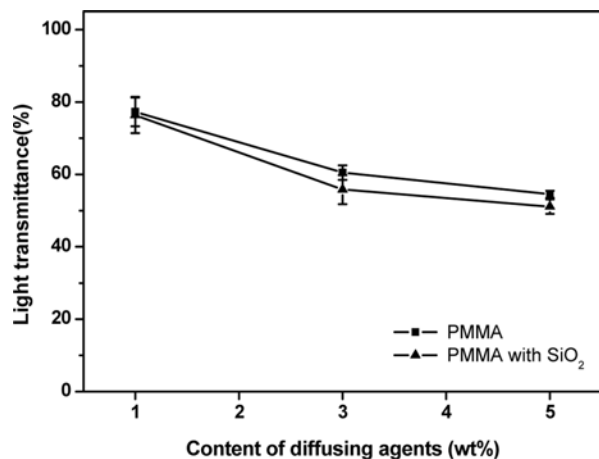


Figure 7. Light transmittance diffusers containing various diffusing agent contents.

산제 함량에 따른 헤이즈 및 광투과도 측정 결과는 앞서 제시한 Figure 5 및 Figure 3의 휘도 균일도 및 휘도 결과와 각각 유사한 경향을 보이고 있다.

확산제 함량 1~3 wt% 범위에서 실리카 다공체를 보조 확산제로 첨가하게 되면 순수 아크릴 비드만을 첨가한 경우와 비교하여 헤이즈는 뚜렷하게 증가하였으나, 광투과도는 거의 유사한 수준을 나타냈다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 사용한 무기 실리카 다공체는 압출공정에 의해 제조된 컴파운드형 확산판의 광투과도의 감소 정도를 최소화함과 동시에 헤이즈를 효과적으로 상승시키는 역할을 하는 확산제임을 확인할 수 있었다.

LED 광원에 의해 발산된 열에너지는 지속적으로 확산판에 전달되기 때문에 내열성 및 기계적 물성이 약한 재료의 경우 뒤틀림(warping)이나 휨 현상이 발생하여 제품의 수명을 단축시키는 근본적인 원인이 될 수 있다.¹⁴ 따라서 본 연구에서

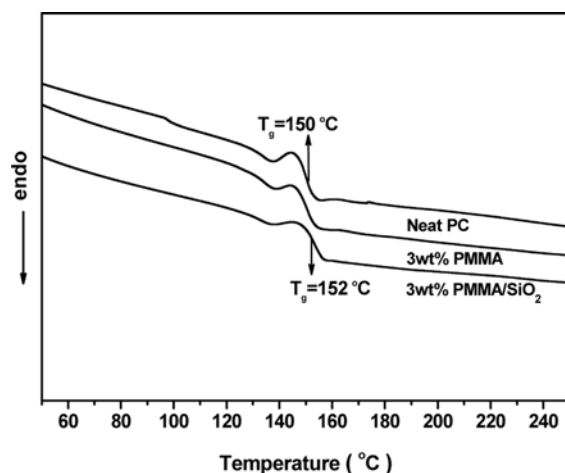


Figure 8. DSC thermograms of neat PC resin and compound diffusers with 3 wt% PMMA bead and mixture of PMMA and SiO₂.

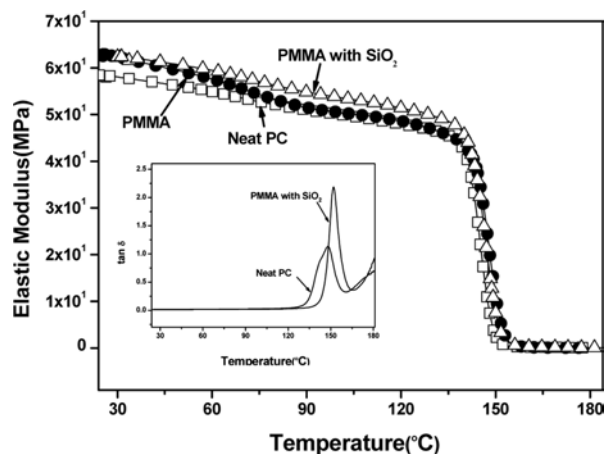


Figure 9. Storage modulus and $\tan \delta$ as a function of temperature for the neat PC and PC-based diffusers with 3 wt% PMMA bead and mixture of PMMA and SiO₂.

는 이러한 물성의 개선을 위해서도 광 확산제로 무기 실리카 다공체의 적용을 시도하였다.

Figure 8은 순수 PC와 3 wt% 확산제 함유 확산판의 DSC 열분석 결과를 나타내고 있다. 순수 PC와 아크릴 비드 첨가 확산판의 경우 150 °C에서 흡열 피크가 나타났으며, 혼합 아크릴/실리카 확산판을 첨가한 확산판의 경우에는 152 °C에서 흡열피크가 관찰되어 실리카 다공체 첨가에 의해 유리전이온도가 증가하였음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 TEOS (tetraethyorthosilicate) 전구체로부터 졸-겔 반응공정에 의해 제조된 실리카 다공체 표면에 존재하는 실란올(Si-OH)기와 PC의 카보닐(-C=O)기와의 강한 결합이 형성되어 PC 고분자 사슬의 운동성을 제한하였기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.²⁸ 실리카 다공체 첨가에 의한 열-기계적 물성의 향상 효과는 Figure 9의 DMA 분석 결과에서도 확인할 수 있다.

그림에서 보듯이, 혼합 아크릴/실리카 3 wt% 함유 확산판의 저장 탄성률은 유리상태를 보이는 140 °C 이하의 온도 영역에서 순수 아크릴 비드 함유 확산판의 저장 탄성률에 비해 약 6% 증가한 것으로 나타났다. 또한 그림에는 DMA 분석을 통해 결정된 $\tan\delta(E''/E')$ ratio; E' :저장 탄성률, E'' : 손실 탄성률도 함께 나타났다. 아크릴/실리카 3 wt% 함유 확산판의 경우 $\tan\delta$ 곡선에서 피크 온도가 높은 온도 방향으로 약 2 °C 정도 이동한 것으로 나타나, DSC 분석 결과에서도 확인하였듯이 실리카 입자는 PC 확산판의 유리전이온도 상승에 기여하였음을 알 수 있었다. 이러한 무기소재 첨가에 의한 열적 물성(유리전이온도) 및 기계적 물성(저장 탄성률)의 상승 효과는 유리 섬유 함유 PMMA 확산판²⁴ 및 판상 실리케이트 기반 폴리우레탄 나노복합체에^{29,30} 관한 연구 결과에서도 보고되었다.

결 론

압출 공정을 이용하여 광 확산제를 PC 매트릭스 수지상에 균일하게 분산 및 분포시킨 LED 직하형 BLU용 컴파운드형 확산판을 제조하였다. 실리카 다공체를 아크릴 비드와 혼합하여 광 확산제로 적용한 확산판의 광학 특성을 분석한 결과, 연속상(PC 매트릭스)과 분산상(실리카 다공체)의 불연속 계면 영역의 증가로 인해 더욱 효율적인 광 산란 및 확산이 유도됨으로써 아크릴 비드만을 함유한 확산판에 비해 위치 및 시야각에 따른 휘도 균일도가 뚜렷하게 증진되었으며, 반면에 절대휘도의 감소는 최소화할 수 있었다. 또한 혼합 아크릴/실리카 확산제 첨가 확산판의 경우 무기 소재의 자체 특성 뿐만 아니라 표면에 실란올(Si-OH)기를 갖는 실리카 다공체와 PC 수지와 높은 상용성(compatibility)으로 인해 내열 특성(유리전이온도) 및 기계적 물성(storage modulus)이 향상되었음을 확인하였다.

감사의 글: 본 연구는 지식경제부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 부품소재개발사업(10036981) 연구 과제입니다.

참 고 문 헌

1. Z. Sun, J. Chang, N. Zhao, and W. Wang, *Optik*, **121**, 760 (2010).
2. B. Y. Joo and D. H. Shin, *Displays*, **31**, 87 (2010).
3. C. F. Chen, C. C. Wu, and J. H. Wu, *Optik*, **121**, 847 (2010).
4. A. Tagaya, S. Ishi, K. Yokoyama, E. Higuchi, and Y. Koike, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **41**, 2241 (2002).
5. M. Y. Yu, J. H. Park, and J. H. Ko, *J. Opt. Soc. Korea*, **12**, 174 (2008).
6. R. Lu, S. Gauza, and S. T. Wu, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **488**, 246 (2008).
7. G. Harbers and C. Hoelen, *SID Int. Symp. Digest Technol. Papers*, 702 (2001).
8. G. H. Kim, W. J. Kim, S. M. Kim, and J. G. Son, *Displays*, **26**, 37 (2005).
9. G. J. Park, T. S. Aum, and J. H. Kwon, *J. Korean Phys. Soc.*, **54**, 44 (2009).
10. C. F. Lin, Y. B. Fang, and P. H. Yang, *Optik*, **122**, 1169 (2011).
11. H. J. Cornelissen, H. P. M. Huck, D. J. Broer, S. J. Picken, C. W. M. Batiaansen, E. Erdhuisen, and N. Maaskant, *SID Int. Symp. Digest Technol. Papers*, 1178 (2004).
12. Y. H. Ju, J. H. Park, J. H. Lee, J. Y. Lee, K. B. Nahm, and J. H. Ko, *J. Opt. Soc. Korea*, **12**, 25 (2008).
13. C. F. Lin, Y. B. Fang, and P. H. Yang, *J. Disp. Technol.*, **7**, 3 (2011).
14. J. S. Hsu, L. P. Chao, J. L. Jhong, T. F. Chen, and W. C. Tsai, *Opt. Laser Eng.*, **48**, 354 (2010).
15. T. K. Shih, C. F. Chen, J. R. Ho, and F. T. Chuang, *Microelectron. Eng.*, **83**, 2499 (2006).
16. L. E. Helseth and I. Singstad, *Opt. Commun.*, **193**, 81 (2001).
17. S. J. Liu, Y. C. Huang, S. Y. Yang, and K. H. Hsieh, *Opt. Laser Technol.*, **42**, 794 (2010).
18. G. H. Kim and J. H. Park, *Appl. Phys. A*, **86**, 347 (2007).
19. H. P. Kuo, M. Y. Chuang, and C. C. Lin, *Powd. Tech.*, **192**, 116 (2009).
20. M. F. Chen, C. T. Pan, and Y. M. Hwang, *Sensor. Actuat. Phys., A*, **167**, 130 (2011).
21. T. C. Huang, J. R. Ciou, P. H. Huang, K. H. Hsieh, and S. Y. Yang, *Opt. Express*, **16**, 440 (2008).
22. N. Y. Kim, H. J. Kim, D. W. Kim, J. H. Cho, and S. W. Kim, *J. Semiconductor and Display Technology*, **11**, 21 (2012).
23. E. E. Gurel, P. M. Peters, and J. Graf, *Annual Technical Conference - ANTEC 2*, 11671 (2007).
24. G. H. Kim, *Eur. Polym. J.*, **41**, 1729 (2005).
25. S. W. Kim, *Korean J. Chem. Eng.*, **25**, 1195 (2008).
26. K. M. Shin, H. N. Kim, J. C. Cho, S. J. Moon, J. W. Kim, and K. D. Suh, *Macromol. Res.*, **20**, 385 (2012).
27. VESA FPDM version 2.0 Standard.
28. S. W. Kim, *Korean J. Chem. Eng.*, **28**, 298 (2011).
29. B. Finnigan, D. Martin, P. Halley, R. Truss, and K. Campbell, *Polymer*, **45**, 2249 (2004).
30. T. W. Cho and S. W. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **121**, 1622 (2011).