

Micro Reverse-pyramid Array를 이용한 일체형 Sheetless LCD Backlight의 광학적 특성

전화준 · 임교성 · 광진석 · 권진혁[†]

영남대학교 물리학과

☎ 712-749 경북 경산시 대동 214-1

(2012년 4월 25일 받음, 2012년 5월 31일 수정본 받음, 2012년 5월 31일 게재 확정)

LCD backlight unit (BLU)에서 도광판 상부에 micro reverse-pyramid array (MRPA) 또는 micro reverse-cone array (MRCA)을 설치함으로써 기존의 확산 시트와 프리즘 시트를 없애고 구조를 단순화하였으며, 광학적 시뮬레이션을 통하여 새로운 도광판의 최적 조건을 얻었다. MRPA와 MRCA의 측면각과 높이, 윗변의 반지름이나 윗변의 길이에 따라 휘도와 시야각의 변화를 구하였다. MRPA와 MRCA 구조물의 최적의 형상은 측면각이 각각 59도와 57도이었으며, 시야각은 68도와 64도이었다. 구조물의 높이는 큰 영향을 주지 않았다.

Optical Characteristics of Sheetless LCD Backlight Using Micro Reverse-pyramid Array

Hwa Jun Jeon, Gyo Sung Lim, Jin Seog Gwag, and Jin Hyuk Kwon[†]

Department of Physics, Yeungnam University, 214-1 Dae-dong, Gyeongsan 712-749, Korea

(Received April 25, 2012; Revised manuscript May 31, 2012; Accepted May 31, 2012)

The structure of an LCD backlight unit (BLU) was simplified by installing a micro reverse-pyramid array (MRPA) or a micro reverse-cone array (MRCA) on the top surface of the light guide panel (LGP) in order to eliminate the conventional diffuser sheet and the prism sheet. The optimum conditions of the MRPA and the MRCA in the new light guide panel were obtained through optical simulation. The change of the luminance and view angle that depend on the side angle, the height, and the length at the top of the MRPA and MRCA were studied. The optimized side angle and the view angle of the MRPA and MRCA were 59 and 57 degrees for the side angles and 68 and 64 degrees for the view angles, respectively.

Keywords: Backlight, Optical sheet, Microlens, Reverse-pyramid

OCIS codes: (220.0220) Optical design and fabrication; (220.4000) Microstructure fabrication; (350.3950) Micro-optics

I. 서 론

액정디스플레이 (Liquid Crystal Display, LCD)는 소비전력이 적으면서 대형화와 초박형이 가능하기 때문에 중요한 정보 디스플레이 장치로 자리하고 있다. 액정은 스스로 발광할 수 없기 때문에 디스플레이로써 작동하기 위해 백색광을 공급해 주는 광원으로 backlight unit(BLU)를 필요로 한다. BLU는 LCD의 휘도와 균일도에 영향을 미치며 화질에도 결정적인 영향을 미치는 중요 부품들 중 하나이다. BLU는 크게 빛을 아래에서 직접 조명하여 주는 직하형 방식과 측면에

서 들어오는 광을 도광판을 이용하여 조명하여 주는 측면형 방식으로 나뉜다. 측면형 방식의 경우 대형 디스플레이에 적용하기 힘들었으나, LED의 발전으로 대형화가 용이해졌다.

일반적인 측면형 방식의 BLU는 Fig. 1과 같이 도광판 하부로 내려오는 광을 반사시켜 주는 반사판과 광을 균일한 면 광원으로 만들어 주는 역할을 하는 도광판(light guide panel, LGP), 빛을 산란시켜 광이 표면 전체에 고르게 퍼지게 만드는 확산판(diffuser sheet) 그리고 휘도를 높여주기 위한 집광 시트로 두 장의 프리즘 시트(prism sheet) 등 여러 장의 광학 시트를 사용하고 있다.

[†]E-mail: jhkwon@ynu.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

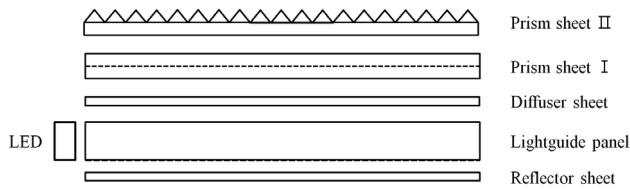


FIG. 1. The structure of the conventional backlight unit.

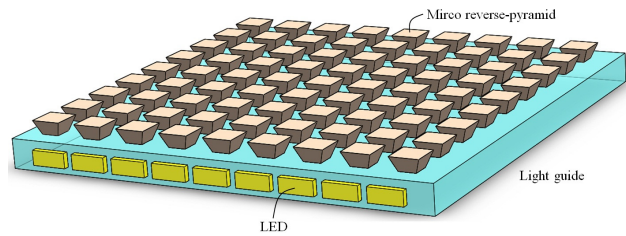


FIG. 2. The sheetless backlight with the micro reverse-pyramid array on the top surface.

기존의 BLU의 경우 광이 각각의 광학시트를 지나갈 때마다 효율이 떨어지며, 그에 따라 전력소비도 높아지게 된다^[1]. 현재 BLU 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해선 저전력으로 고 휘도를 구현할 수 있는 기술의 관심이 높다. 그래서 광학시트의 수를 최소화하려는 연구가 여러 곳에서 진행되고 있다. 프리즘 시트를 대체하기 위한 연구로 microlens array (MLA) sheet^[2-4]와 cone array sheet^[5, 6]가 있으며, MLA sheet의 경우 미레나노텍의 UTE film^[7]으로 이미 상용화 되어 있다. 일체형 BLU로는 micro reverse-cone array (MRCA)^[8, 9]가 연구되고 있는 등 광학시트의 수를 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

MRCA는 제작이 까다롭고 대형화에 어려움이 있지만, micro reverse-pyramid array (MRPA)의 경우 금형 제작이 가능하여 제작 및 대형화가 비교적 쉽다.

따라서 본 논문에서는 Fig. 2의 사시도와 같이 도광판 상부에 MRPA를 설치한 일체형 BLU를 정립하여 광학시트를 줄일 수 있는 방법을 연구하였고, MRCA와 비교 분석하였다. 기존의 모바일 용 BLU의 평균 휘도가 5000 cd/m²이며 그 이상의 평균 휘도를 목표로 하였다. 각각의 구조에서 구조물의 광학설계를 통한 최적의 조건을 찾았고, 최적의 조건에서의 휘도와 시야각의 차이를 알아보았다.

II. 일체형 BLU의 설계

MRCA과 MRPA는 각각 광학적 특성에 따라 높이와 측면각, 또는 패턴 윗면의 넓이에 따라 다른 특성을 보인다.

Fig. 3은 MRPA를 이용한 BLU에서 광 경로를 나타낸 모식도이다. 모식도와 같이 MRPA가 빛을 수직으로 올려 주려면 측면각이 큰 영향을 미칠 것이다. 도광판의 효율을 가장 높여 줄 수 있는 조건을 찾기 위하여 측면각, 높이에 따른

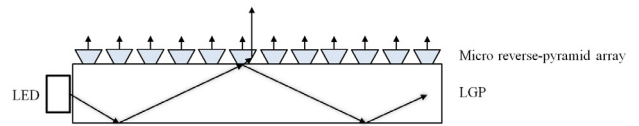


FIG. 3. The ray propagation in the sheetless backlight with the micro reverse pyramid array.

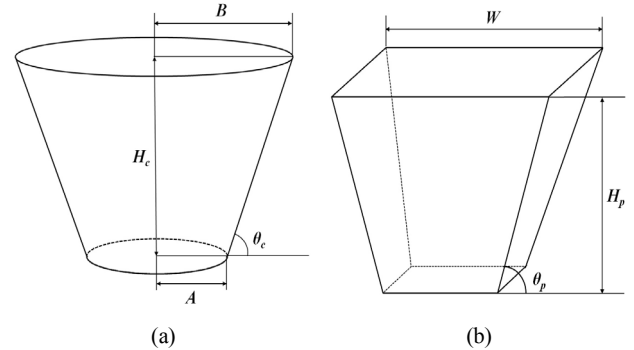


FIG. 4. The structure and design parameters (a) the micro reverse-pyramid texture and (b) the micro reverse-cone texture.

수직 휘도와 시야각에 대한 변화를 알아보았다. 모바일용 4.5인치 LED BLU에 대한 시뮬레이션 모델을 설계하였으며, Light Tools 광학설계 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 도광판의 크기는 가로는 98 mm, 세로 55 mm, 두께 3 mm의 PMMA 기판으로 설정하였으며, 도광판을 감싸는 몰드 프레임을 만들어 실제 BLU와 비슷한 조건이 되도록 만들어 시뮬레이션 하였다. LED 광이 입사되는 옆면과 출사되는 윗면은 투과율 100%로 설정하였고, 나머지 부분은 반사 98%, 흡수 2%로 설정하였다. 균일한 출사 휘도 분포를 위하여 각 패턴의 분포는 Bezier 분포를 이용하여 패턴의 개수와 배치 간격을 조절하여 휘도 균일도가 97% 이상이 되도록 조절하였다. 광원인 LED는 가로 5 mm, 세로 2 mm, 두께 1 mm인 크기의 LED를 10 lumen으로 가정하여 7개를 설치하였다.

Fig. 4(a)는 reverse cone의 구조와 설계 변수를 나타내며, 측면각 θ_c , 높이 H_c , 하부 반경 A 를 변수로 가진다. 상부 반지름 B 의 경우 다음의 식

$$B = A + \frac{H_c}{\tan \theta_c}$$

을 따르고, Fig 4(b)는 reverse pyramid의 구조와 설계 변수를 나타낸 것으로 측면각 θ_p , 높이 H_p , 그리고 윗면의 한 변의 길이 W 를 변수로 가진다. 윗면의 경우 정사각형으로 네 변의 길이가 같다.

III. 일체형 BLU의 최적화

3.1. MRCA의 최적화

Reverse cone의 측면각에 대한 시뮬레이션 결과 Fig. 5와

같은 angular luminance profile이 나타났으며 이는 시야각에 따른 휘도 분포를 보여주는 결과이다. 측면각에 따른 변화를 알아보기 위해 높이는 40 μm , 하부 반경 20 μm 로 고정하였다. 측면각의 크기에 따라 광의 굴절 방향이 달라지게 되며, 측면각이 45도 이하로 작아지거나 65도 이상 커지게 되면 상부로 출사되는 광보다 옆 쪽으로 빠져나가게 되는 광이 더 많아져 Fig. 5의 45도와 65도의 chart와 같이 나타나게 된다.

Fig. 6는 좀 더 확실한 최적의 조건을 찾기 위해 측면각을 56도에서 62도까지 시뮬레이션 하여 그 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 56도에서 58도까지의 휘도는 큰 변화가 없지만, 각이 커질수록 휘도가 점점 감소하는 것이 보였다. 이는 위에서 언급했듯이 각에 따라 굴절방향이 달라지면서 58도 이상의 각에선 광이 cone의 옆면에 부딪혀 도광판의 상부 방향으로 굴절되는 광보다 옆 방향으로 굴절되거나 출사되지 못하고 다시 도광판 내부로 들어오는 광이 더 많아져 평균 휘도가 줄어 들게 된 것이다. 시야각의 경우 수직 방향의 시야각은 큰 변화가 없지만 수평 방향의 시야각은 측면각이 증가할수록 시야각도 함께 증가하였다.

측면각 58도, 하부반경 20 μm 로 고정하여 높이에 대한 변화를 알아보았다. 높이는 40 μm 이상에서는 reverse cone 구

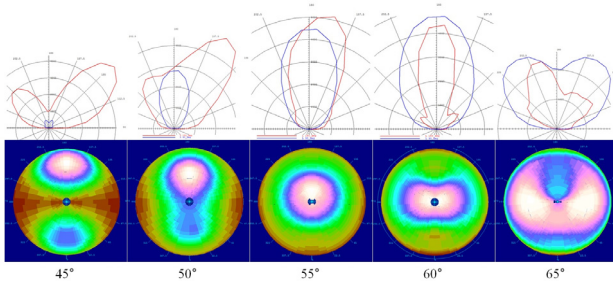


FIG. 5. The 3D raster chart for the angular luminance from the backlight with the micro reverse cone array in terms of the side angle of the reverse cone.

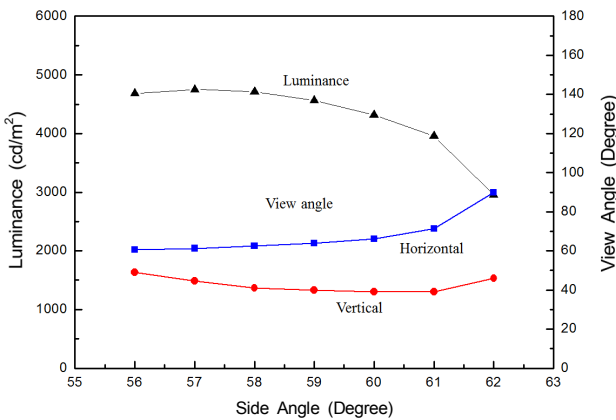


FIG. 6. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse cone array in terms of the side angle of the reverse cone.

조에 큰 영향을 미치지 않으며, Fig. 7는 그 사실을 나타내고 있다.

위의 시뮬레이션을 통해 얻은 측면각과 높이의 최적 조건을 사용하여 하부 반지름의 변화에 대해 알아보았다. Fig. 8은 하부 반지름을 15 μm 에서 40 μm 사이를 5 μm 간격으로 시뮬레이션 한 결과이다. 하부 반지름의 크기가 15 μm 에서 25 μm 까지는 휘도가 증가하였으며, 25 μm 이상에선 큰 변화는 없지만 그 중 30 μm 에서 가장 큰 휘도를 나타냈다. 밑면의 면적이 넓을수록 패턴 내부로 들어오는 광은 증가하여 평균 휘도가 증가하게 된다. 하지만 어느 일정 넓이 이상에선 Reverse Cone의 옆면에 부딪혀 굴절하게 되는 광보다 패턴 내부로 들어 온 방향 그대로 외부로 빠져 나가거나 내부로 다시 되돌아 가는 광이 생겨나게 되어 휘도에 크게 영향을 주지 않게 된다. 시야각은 큰 변화가 없었지만 수평 시야각의 경우 하부 반지름에 따라 증가하였고, 수직 시야각은 점점 감소하는 것으로 나타났다.

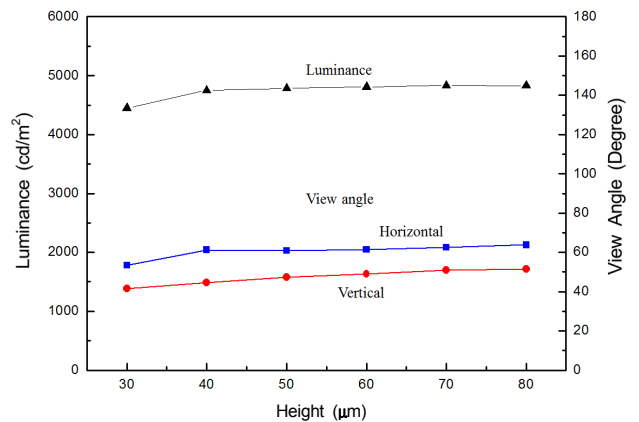


FIG. 7. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse cone array in terms of the height of the reverse cone.

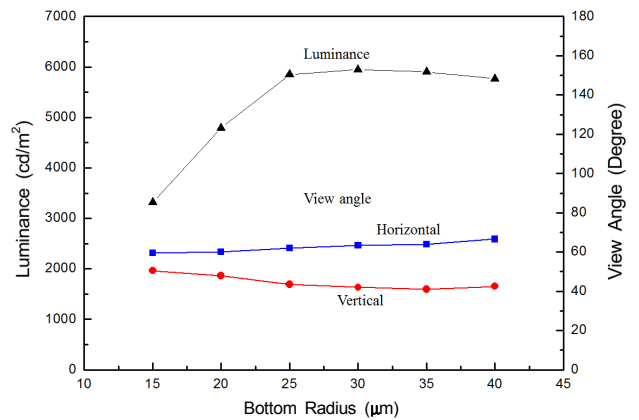


FIG. 8. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse cone array in terms of the bottom radius of the reverse cone.

3.2. MRPA의 최적화

Fig. 9는 reverse pyramid의 측면각에 따른 angular luminance profile이며, 다른 변수인 높이는 40 μm 로 두었으며, reverse pyramid 구조물로 들어가는 광이 동일한 면적으로 들어가게 하기 위하여 밑면의 길이를 50 μm 로 고정하여 시뮬레이션을 진행하였다. angular luminance profile을 통해 reverse cone과 마찬가지로 reverse pyramid 또한 측면각에 따라 굴절 방향이 달라져 45도와 65도에선 빛이 수직으로 굴절되지 못하고 옆 방향으로 굴절 되는 것을 볼 수 있다. 휘도가 가장 높은 측면각은 56도와 62도 사이에 있을 것으로 예상하여 56도에서 62도를 1도씩 시뮬레이션 하였고, Fig. 10은 그 결과 그래프이다.

휘도의 변화는 거의 없지만 59도에서 가장 높은 휘도를 나타냈으며 59도 이후에는 감소하였다. 감소하였다. 수평 시야각과 수직 시야각 또한 큰 변화는 없지만 수평 시야각은 측면각이 커질수록 감소함을 보였다.

Fig. 11는 reverse pyramid의 높이에 따른 결과로 측면각 59도, 밑면의 한 변의 길이는 50 μm 로 고정하였다. 높이가 50 μm 부터 80 μm 까지 비슷한 휘도를 보였고, 가장 높은 휘

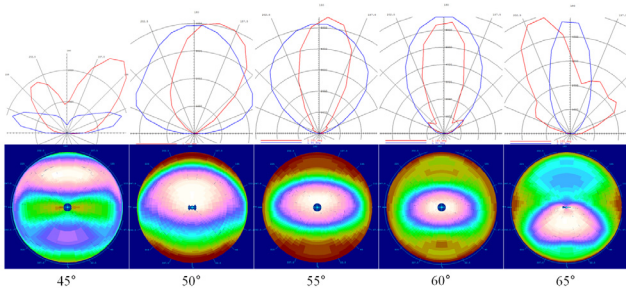


FIG. 9. The 3D raster chart for the angular luminance from the backlight with the micro reverse pyramid array in terms of the side angle of the reverse pyramid.

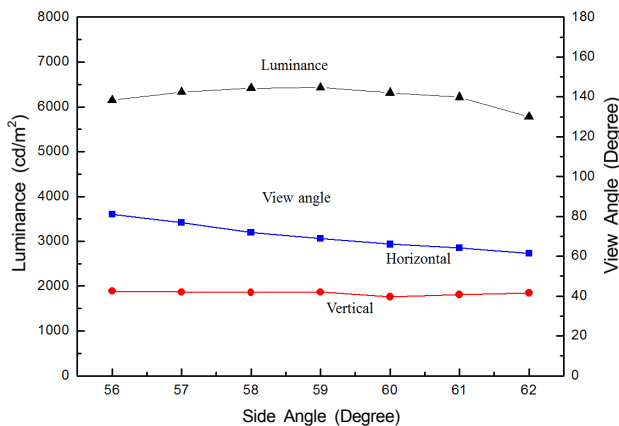


FIG. 10. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse pyramid array in terms of the side angle of the reverse pyramid.

도는 80 μm 였다. 80 μm 보다 높이가 더 커지면 휘도가 감소되는 것으로 나타났다.

Fig. 12은 상면의 변의 길이에 따른 결과로 측면각과 높이는 위의 시뮬레이션에서 찾은 조건을 사용하여 진행하였다. 120 μm 에서 150 μm 까지 휘도가 급격히 증가하여 150 μm 에서 가장 높은 휘도를 보였으며 150 μm 보다 긴 길이에선 감소하였다. Reverse cone과 마찬가지로의 이유로 상면의 한 변의 길이가 길어지면서 상부의 면적이 넓어지고 따라서 하부의 면적도 함께 넓어져서 들어오는 광량은 많아지기 때문에 휘도가 증가한다. 하지만 일정 면적 이상에서는 reverse pyramid의 옆면에 부딪혀 굴절되기 전에 그대로 빛이 빠져나가게 되면서 수직으로 올라가는 광보다 다시 도광판 내부 방향으로 들어가는 광이 늘어나 휘도가 감소하게 된다. 또한 reverse pyramid 속으로 들어오는 광의 각도가 어느 정도의 범위 안에 들어가게 되었을 때, 광을 수직으로 집광시켜 줄 수 있기 때문에 하부의 면적이 일정 범위 안에 있어야 원치 않는 각도로 들어오는 광을 제외 시켜 줄 수 있다.

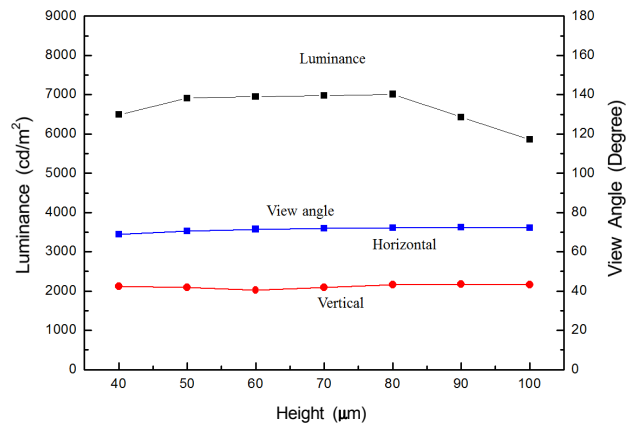


FIG. 11. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse pyramid array in terms of the height of the reverse pyramid.

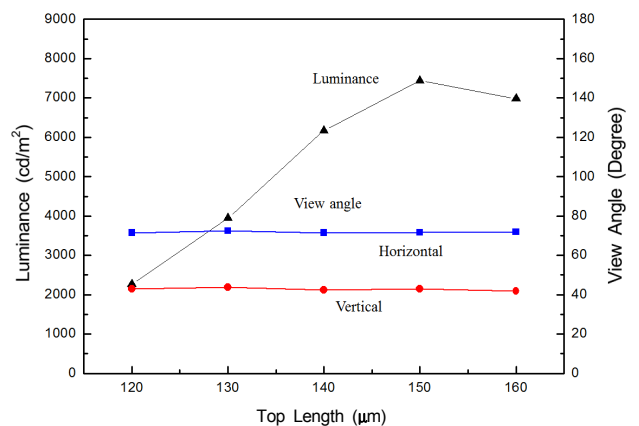


FIG. 12. The normal luminance and the view angle from the backlight with the micro reverse pyramid array in terms of the top length of the reverse pyramid.

IV. 결 론

광학설계 프로그램을 이용하여 도광판 상면에 MRPA와 MRCA 구조물을 설치하여 일체형 BLU를 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 도광판의 특성을 분석해 본 결과, MRCA의 최적의 설계값은 측면각의 각은 57도, 하부 반지름은 30 μm 이며, 이때의 휘도는 5946 cd/m^2 , 수평 시야각 63도, 수직 시야각 42도이고, MRPA는 측면각의 각은 59도, 높이는 80 μm , 상면의 한 변의 길이는 150 μm 이며, 이때 평균 휘도는 7445 cd/m^2 , 수평 시야각 72도, 수직 시야각 43도이다. 기존 모바일용 BLU보다 더 높은 휘도를 보였으며, MRCA보다 MRPA가 더 높은 평균휘도를 보였다. 수직 시야각도 더 넓게 나타나는 것을 알 있으며, MRPA가 MRCA보다 더 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0026005)

References

1. S. Y. Kim and O. K. Lee, "BLU special quality analysis that brightness changes by seat," in *Proc. KIFE Annual Meeting* (Chungmu Marina Resort, Korea, Jul. 2001), pp. 105-108.
2. S. I. Chang, J. B. Yoon, H. Kim, J. J. Kim, B. K. Lee, and D. H. Shin, "Microlens array diffuser for a light-emitting diode backlight system," *Opt. Lett.* **31**, 3016-3018 (2006).
3. C. Y. Wu, T. H. Chiang, and C. C. Hsu, "Fabrication of microlens array diffuser films with controllable haze distribution by combination of breath figures and replica molding methods," *Opt. Express* **16**, 19978-19986 (2008).
4. S. K. Hwang, S. H. Baek, J. H. Kwon, and Y. S. Park, "Fabrication of microlens array using photoresist thermal reflow," *Korean J. Opt. Photon.* (Hankook Kwanghak Hoeji) **20**, 118-122 (2009).
5. S. H. Baik, S. K. Hwang, Y. G. Kim, G. J. Park, J. H. Kwon, W. T. Moon, S. H. Kim, S. H. Kim, B. K. kim, and S. H. Kang, "Simulation and fabrication of the cone sheet for LCD backlight application," *J. Opt. Soc. Korea* **13**, 478-483 (2009).
6. K. H. Lee, S. H. Jee, S. H. Kim, Y. S. Yoon, and S. H. Kim, "Modeling for new type backlight units," *Korean J. Opt. Photon.* (Hankook Kwanghak Hoeji) **20**, 41-45 (2010).
7. UTE Film (Miraenano Tech. Co., Ltd), <http://www.mntech.co.kr>.
8. H. S. Lee, J. H. Lee, B. K. Lee, W. S. Choi, H. Song, H. Y. Choi, and J. B. Yoon, "Monolithically fabricated micropatterned light guide plates for sheet-less backlight unit," in *Proc. Asia Display, IDW 2007* (Sapporo International Conference Center, Sapporo, Japan, Dec. 2007), pp. 661-661.
9. J. H. Lee, H. S. Lee, B. K. Lee, W. S. Choi, H. Y. Choi, and J. B. Yoon, "Simple liquid crystal display backlight unit comprising only a single-sheet micropatterned polydimethylsiloxane (PDMS) light-guide plate," *Opt. Lett.* **32**, 2665-2667 (2007).