

사출성형 특성을 고려한 2인치 도광판의 광효율 향상에 관한 연구

도영수^{1,2}, 황철진¹, 윤경환[#]

A Study on the Improvement of Optical Efficiency for The 2 inch LGP Considering Injection Molding Characteristics

Y. S. Do, C. J. Hwang, K. H. Yoon

(Received February 22, 2008)

Abstract

LGP is a key component of LCD back light unit because it determines brightness and sharpness of the display image. Usually, it has optical patterns fabricated on the bottom surface. These optical patterns convert point or line sources placed in the side of LGP to plane source at the top surface by changing the propagating direction of the incident light. In the present paper the LiGA-reflow method was applied to fabricate the LGP mold. Furthermore, the optical simulation considering the replication ratio of pattern height was applied to the pattern design. The optical simulation through systematic correction scheme was adopted to find the optimum distribution of pattern density. Finally, the stamper fabricated by this method was installed in the mold and LGP was produced by injection molding. As a result of luminance measurement for the final product, the average luminance and luminance uniformity was measured 3,180 nit and 84%, respectively. Consequently, the mold fabrication method using the LiGA-reflow and optical simulation(CAE) can save the expense and time compared with the existing fabrication methods(laser ablation and chemical etching).

Key Words : Injection Molding , BLU(Back Light Unit), LGP(Light Guiding Plate), Optical Pattern, LiGA-Reflow, Optical Simulation

1. 서론

도광판(Light Guiding Plate, LGP)은 LCD 백라이트의 품질을 좌우하는 주요부품으로써, 측면에서 유입된 광이 전반사를 통하여 도광판 내부로 전달되고 도광판 후면의 광학패턴에 부딪힌 광이 산란되어 상부로 방출된다. 이때 상부로 방출되는 빛의 밝기와 분포를 제어하기 위하여 하부의 광학패턴을 조절하게 된다.

도광판의 광특성 향상에 관한 이전의 연구결과들을 보면 Chang 등은 BLU의 휘도균일도를 향상시키기 위해 패턴밀도를 조절해서 생성시킬 수

있는 MD(Molecular Dynamics) Dot 패턴설계방식을 개발하였고[1], 서희경 등은 Simplex Search 알고리즘을 사용하여 인쇄패턴의 최적화에 대해 연구하였으며[2], 유재성 등은 마이크로 프레넬 렌즈(Micro Fresnel Lens Array)를 도광판 상부에 사용하여 프리즘시트를 대신할 수 있는 가능성을 보여줬다[3].

본 연구에서 초점을 맞춘 2인치 휴대폰용 도광판의 경우, 도광판 금형 모재에 레이저가공(laser ablation)이나 화학약품을 이용한 부식(chemical etching)을 통하여 음각형태의 패턴을 가공하여 양각의 광학패턴이 성형된 도광판을 제작하는 방식

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2. 단국대학교 기계공학과

교신저자: 단국대학교 기계공학과, E-mail: khyoon@dku.edu

이 대부분이다[4]. 이러한 방식을 통해 현재 제작되고 있는 도광판 금형은 미리 정확한 해석이 어려워 일반적으로 시행착오법(Trial & Error)을 통해 제작되고 있다.

보통 6 번 이상의 금형수정을 거쳐 최종 양산금형이 제작되기 때문에 비용이나 시간 면에서 효율이 떨어지는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 광학해석결과와 오차가 가장 적은 LiGA-reflow 공정을 이용한 2인치 휴대용 도광판 제작방식을 이용하여 다른 제작방식보다 쉽게 BLU의 평균 휘도 및 휘도균일도를 높일 수 있는 패턴밀도분포를 찾을 수 있는 방법으로 광학해석을 도입하였고, 광학해석의 정확도를 높이기 위해 균일한 패턴밀도의 금형을 제작하여 사출성형실험을 통해 패턴높이의 전사성과 두께방향의 수축량을 측정하여 그 결과를 고려하여 광학설계에 이용하였다. 따라서 이를 통한 결과를 적용하여 금형제작을 함으로써 제작효율을 높이고 2인치 도광판의 광특성을 향상시키고자 하였다.

2. 광학해석

본 연구에 사용된 도광판 모델은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 휴대폰용 2인치 모델(L사 Model)을 사용하였으며 도광판 크기는 가로 33.4mm, 세로 43.1mm, 두께 0.8mm이다. 기존 양산되고 있는 도광판은 하부에 레이저가공을 통해 광학패턴 약 18만개가 양각으로 가공되어 있으며, 광특성 합격기준치는 평균휘도 2,600nit 이상 휘도균일도 80% 이상이다.

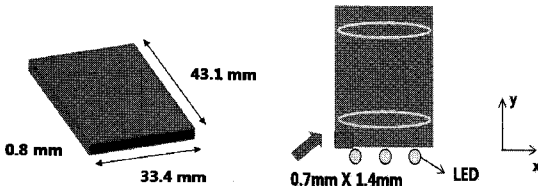


Fig. 1 Schematic diagram of the LGP

2.1 LiGA-reflow 공정을 이용한 패턴설계

LiGA-reflow 공정[4]을 이용한 2인치 도광판의 패턴설계를 위해 먼저 Fig. 2(a)와 같이 기존의 레이저가공방식에 의해 가공된 패턴개수와 비슷한 173,649개의 패턴을 입광부(light admitting component)에서 대광부(light facing component)까지 밀도분포 차이를 없도록 Fig. 1에 나타난 것과 같이 0.7mm×1.4mm

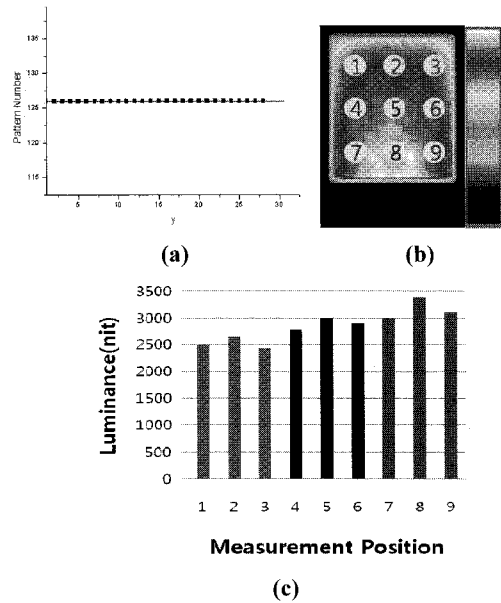


Fig. 2 (a)A uniform pattern distribution, (b) Luminance measurement points and (c) luminance distributions by the optical analysis

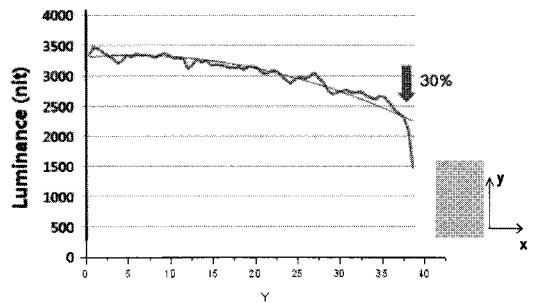


Fig. 3 Luminance distribution of the CAE(uniform pattern density)

의 크기를 갖는 한 셀 안의 패턴개수를 126개로 균일하게 배치하여 광학해석에 적용하였다. 본 연구에 사용된 광학해석 프로그램은 OPTIS사의 SPEOS를 사용하였고, 패턴하나의 크기는 직경 40μm, 높이 8.5μm으로 하였으며, Fig. 2(b)는 광학해석 결과로서 균일한 밀도를 가질 때의 휘도분포를 나타내며, Fig. 2(c)는 Fig. 2(b)에서 표시된 측정지점에서의 휘도를 나타내고 있다.

그 결과를 살펴보면 평균휘도는 2,863nit, 휘도균일도는 72%로 나타났으며, Fig. 3과 같이 입광부에서 대광부의 휘도가 약 30%정도의 차이를 갖

는 것을 알 수 있다. 다음으로 대광부의 휘도를 올리기 위해 먼저 2 인치 도광판의 패턴밀도와 휘도의 관계를 파악하여 패턴설계의 최적화를 위한 광학해석을 진행하였다.

먼저 입광부 휘도에 비해 대광부의 떨어진 휘도 비율과 같이 대광부의 패턴밀도를 입광부에 비해 30% 증가시켜 광학해석에 적용하였으며, 휘도균일도를 높이기 위하여 대광부의 밀도를 60%, 120%, 180% 증가시킨 결과를 구하여 Table 1 에 정리하였다.

광학해석 결과를 살펴보면 대광부의 패턴밀도를 입광부 보다 약 180% 올렸을 때 평균휘도 3,053 nit, 휘도균일도 83%의 결과를 얻어낼 수 있음을 알 수 있었다.

3. 사출성형

본 실험에서 사용된 사출기는 진화글로텍의 ESM-110 모델이며, 성형기의 최대 형체력은 110 ton, 최대 사출압이 2500bar, 최대 사출용량은 93 cm³인 인라인(In-line) 스크류식 사출 장치와 토글식 형체 장치를 갖춘 전동식 사출 성형기이다. 또한, 수지는 Mitsubishi사의 PC(Polycarbonate, Luplion-HL4000)를 사용하였다. 성형조건은 도광판의 성형성을 고려하여 사출온도 340℃, 금형온도 130℃, 사출속도 110mm/s, 보압 2,000bar, 냉각시간 30sec으로 하였다.

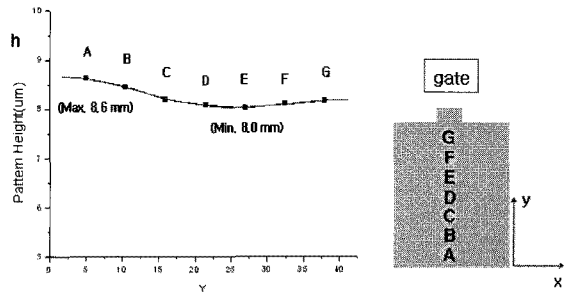


Fig. 4 Curve fitting of LGP pattern height

성형된 도광판의 광학패턴을 측정해본 결과 패턴지름의 경우는 보압이 달라짐에 따라 거의 차이 없이 설계치인 40m에 가까운 값을 갖는 것으로 측정되었다.

패턴의 높이는 Fig. 4 에 보이는 바와 같이 게이트로 부터의 유동방향에 따라 각각 다른 높이를 가짐을 알 수 있었다(A~G : y 방향으로 5mm 간격). 이는 음각 양각 패턴의 형상에 따른 사출성형공정에서 발생하는 성형성 차이에 의해서 발생하는 결과로 알려져 있다[5]. 이러한 결과를 바탕으로 패턴의 전사성(replication ratio)은 식 1 과 같이 금형에서의 패턴높이와 성형품에서의 패턴높이의 비로 정의할 수 있다.

Table 1 Results of CAE simulation according to the pattern density

	(a) 1 st test 30% up(R)	(b) 2 nd test 60% up(R)	(c) 3 rd test 120% up(R)	(d) 4 th test 180% up(R)
(1) Pattern Density				
(2) Luminance Distribution (CAE)				
Average Luminance	2610 nit	2691 nit	2897 nit	3053 nit
Luminance Uniformity	67%	71%	79%	83%

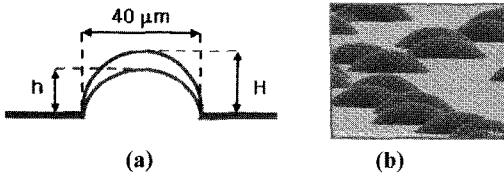


Fig. 5 (a) The heights of patterns on the mold(H) and LGP(h), (b) SEM image of patterns on injection molded LGP

Fig. 5(a)에 나타낸 것과 같이 H 는 금형에서의 패턴높이를 나타내며, h 는 성형품에서의 패턴높이를 나타낸다. 또한 Fig. 5(b)는 양각패턴을 가진 도광판의 SEM 사진을 나타낸다.

$$R_h(\%) = \frac{h}{H} \times 100 \quad (1)$$

식(1)을 바탕으로 Table 2 에 Fig. 4 측정지점에서의 패턴의 전사성을 정리하였다.

Table 2 Replication ratio of pattern(melt temp. 340℃)

Position	A	B	C	D
Replication ratio (%)	97.1	95.8	95.5	95.4
Position	E	F	G	
Replication ratio(%)	96.8	98.3	99.4	

이 결과를 바탕으로 Fig. 4 와 같이 입광부에서 대광부까지의 패턴높이를 근사화하여 광학해석에 적용하여, 전사성을 고려하지 않았을 때의 해석결과와 비교하여 보았다. 또한 사출성형된 도광판을 사용한 BLU 모듈을 휘도계를 이용해 정해진 9 개의 지점에서의 평균휘도 및 휘도균일도를 측정하였다.

Fig. 6(a)는 전사성을 고려하여 각기 다른 패턴높이를 갖는 균일한 패턴 밀도를 적용한 광학해석 결과이며, 각 측정지점에서의 휘도를 Fig. 6(b)에 나타내었다. 또한 Fig. 6(c)는 휘도계를 이용해 같은 측정지점에서의 BLU 의 실제휘도를 측정한 결과를 나타낸다.

전사성을 고려한 균일밀도의 광학해석 결과는 2,643nit 의 평균휘도와 77%의 휘도균일도를 갖는 것으로 나타났고 이는 전사성을 고려하지 않았을 때의 값인 평균휘도 2,863nit, 휘도균일도 72%와

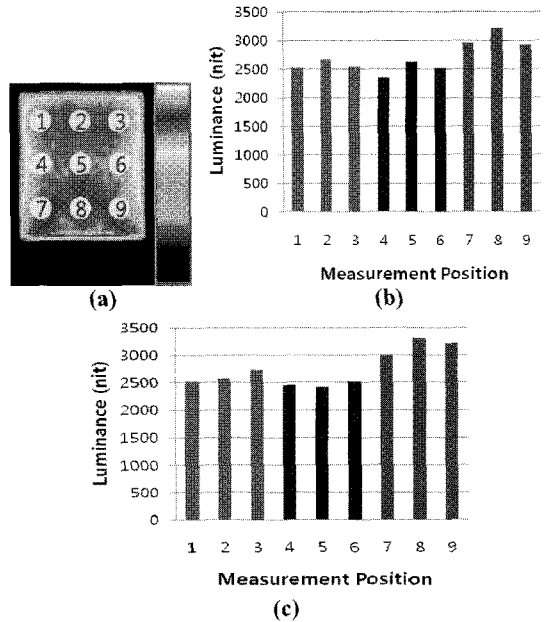


Fig. 6 (a)Luminance measurement points, luminance distributions by (b)the optical analysis and (c)actual luminance of BLU with pattern density considered replication ratio

비교했을 때 도광판 중심부분의 패턴 전사성이 떨어지는 이유로 평균휘도가 떨어짐을 알 수 있으나 휘도균일도는 더 높아지는 것으로 나타났다.

실제 사출성형된 도광판을 조립한 BLU 모듈을 측정해본 결과 2,628nit 의 평균휘도와 67%의 휘도균일도로 나타났다. 최대휘도와 최소휘도의 비로 나타내는 휘도균일도만 입광부에서의 휘도차이에 의해 약간 다를 뿐 1~6 번 지점에서 측정된 휘도를 살펴보면 그 값이나 분포가 전사성을 고려한 해석결과와 매우 유사함을 알 수 있다.

따라서 광학패턴 설계를 할 때 사출성형과정에서의 특징인 전사성 또한 고려해야 할 필요성이 있음을 알 수 있다.

4. 패턴설계를 통한 광특성 향상

전사성을 고려한 2 인치 도광판의 패턴설계를 위해 먼저 전사성을 고려하지 않았을 때 찾았던 Table 1(d)의 패턴밀도에 Fig. 4 와 같이 측정된 도광판 유동방향에 따른 패턴크기를 적용한 후 광학해석을 진행하였다. 그 결과 평균휘도 2,869nit, 휘도균일도 85%로 나타났으며, 이는 전사성을 고

려하지 않았던 Table 1(d)의 결과인 평균휘도 3,053 nit, 휘도균일도 83%에 비해 평균휘도는 떨어지고 휘도균일도는 2% 정도 오른 결과이다.

이러한 결과는 입광부의 전사성이 높은데 비해 중심부의 전사성이 낮은 패턴때문에 광효율이 떨어져 그만큼 도광판 상부로 빛을 반사시키는 양이 떨어지기 때문에 나타난 현상이다.

따라서 이를 고려하여 패턴밀도를 설계치인 8.5m과 각 지점에서의 패턴높이에 따른 비율에 따라 전사성이 높은 부분은 그 비율만큼 패턴밀도를 낮추고, 전사성이 낮은 부분은 그 비율만큼 패턴밀도를 높여 Table 3과 같이 그 값을 증가시키며 광학해석에 적용하였다.

전사성이 높았던 입광부의 패턴밀도를 4% 낮추고, 전사성이 낮았던 중심부의 패턴밀도를 24% 올린 결과 Table 3(d)와 같이 평균휘도 3,070nit, 휘도균일도 90%를 보였다. 또한 Fig. 7(b)에 Fig. 7(a)에 표시된 지점에서의 휘도분포를 나타내었다.

Fig. 7(c)는 사출성형에 의해 제작한 도광판을 장착한 BLU모듈의 광학해석 상에서의 동일한 측정지점에서의 실제 휘도측정결과를 나타낸다. 실제 BLU모듈의 결과가 평균휘도 3,180 nit, 휘도균일도 84%의 값을 가지며 평균휘도 3,070 nit, 휘도균일도 90%를 보인 광학해석결과와 약간 차이가 있음을 알 수 있었다. 입광부에서의 오차는 비교적 큰 편이었으나(8%) 중심부와 대광부의 휘도분포

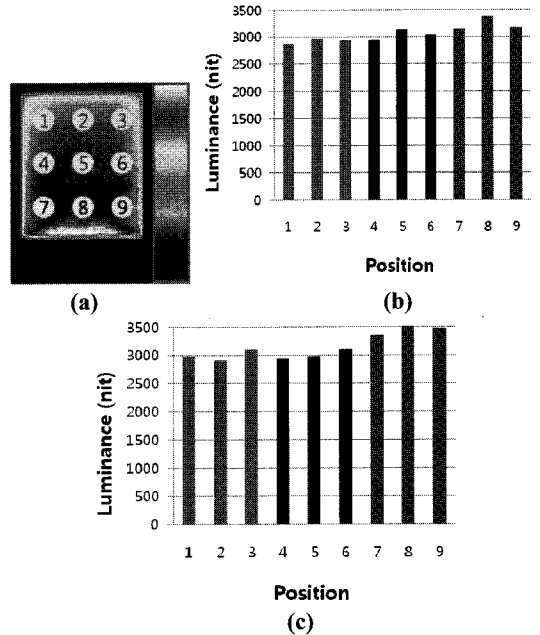


Fig. 7 Nine different points measuring luminance (a), luminance distributions calculated by CAE (b) and measured by a luminance meter(PR-670) (c)

는 광학해석결과와 2% 이내로 유사한 값을 가지는 것을 알 수 있다.

Table 4에는 각각의 경우에 따른 광학해석 결과 및 실제 휘도값을 정리하였다.

Table 3 Result of CAE simulation after changing pattern density

	(a) 1 st test 1% down(F) 6% up(C)	(b) 2 nd test 2% down(F) 12% up(C)	(c) 3 rd test 3% down(F) 18% up(C)	(d) 4 th test 4% down(F) 24% up(C)
(1) Pattern Density				
(2) Luminance Distribution (CAE)				
Average Luminance	2922 nit	2981 nit	3041 nit	3070 nit
Luminance Uniformity	88%	89%	89%	90%

Table 4 Results of CAE simulation and actual measurement according to respective conditions

Ex.	Conditions	CAE analysis		Actual measurement	
		Uniformity(%)	Luminance(nit)	Uniformity(%)	Luminance(nit)
#1	Uniform density	72	2,863	62	2,628
#2	Uniform density (considering pattern height)	77	2,643		
#3	Variable pattern density	83	3,053	84	3,180
#4	Variable pattern density (considering pattern height)	90	3,070		

5. 결론

참 고 문 헌

본 연구를 통하여 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

(1) 사출성형을 통해 제작된 양각패턴을 가진 도광판의 패턴의 높이가 사출성형 특성 중 하나인 수축에 의해 각 측정지점에서 차이를 보임으로써 그 결과 최종도광판의 휘도균일도에도 영향을 미침을 알 수 있었고, 측정된 패턴높이를 근사화하여 광학해석에 적용해본 결과 실제 사출품을 휘도계로 측정한 각 지점에서의 휘도분포와 근사한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 전사성을 고려하여 광학해석으로 얻은 패턴밀도 분포를 이용한 금형제작을 통해 평균휘도 3,180nit, 휘도균일도 84%의 결과를 얻었다. 이는 기존 도광판의 금형제작 방식에 비해, 광학해석 및 LiGA-reflow 방식을 이용한 제작방식이 패턴설계 및 금형제작에 있어 시간 및 비용을 줄일 수 있으며, 2인치 도광판의 요구성능인 평균휘도 2,600nit, 휘도균일도 80%를 만족시킬 수 있어, 다른 크기의 도광판 설계에도 적용시킬 수 있는 가능성을 보였다.

후 기

본 연구는 '서울시 산학연 협력사업(26)'00의 지원으로 수행되었습니다

[1] J. G. Chang, C. T. Lee, Y. B. Fang, C. C. Hwang, 2007, Generation of random non-overlapping dot patterns for light guides using molecular dynamics simulations with variable r-cut and reflective boundary techniques, Computer Physics Communications 177, pp. 851~862.

[2] H. K. Seo, 2003, A Study on the Simulation of LCD Back-Light Unit and Optimization for LGP Dot Pattern, Graduate School, Kookmin Univ.

[3] J. S. Yu, M. H. Jung, 2005, Backlight Unit Design using Micro Fresnel Lens Array, Hankook Kwanghak Hoeji, vol. 16, No.3, pp. 217~224.

[4] U. Kohler, A. E. Guber, W. Bier, M. Hecke, 1996, Fabrication of microlenses by plasmaless isotropic etching combined with plastic moulding, Sensor Actuact. A, Vol. 53, pp. 361~363.

[5] J. S. Kim, Y. B. Ko, J. D. Kim, K. H. Yoon, C. J. Hwang, 2007, A Study on the Formability Difference of Negative and Positive Optical Pattern for Light Guide Plate, Optical Society of Korea Summer Meeting, pp. 363~364.