

## LCD 도광판 두께에 따른 휘도 및 잔류응력에 관한 연구

이중원\*, 박명균#, 김정훈\*\*

### A Study of Brightness and Residual Stresses Depending on Thickness of LCD Light Guide Plate

Joong Won Lee\*, Myung Kyun Park# and Jung Hoon Kim\*\*

#### ABSTRACT

Light guide plate is one of most important components which are composed of back light unit, affecting the quality and performance of LCD. Average brightness and uniformity are especially key factors for designing the light guide unit. These qualities are affected and controlled by the pattern being attached to the back of light guide unit. In order to obtain high brightness and uniformity the optimized pattern design is adopted for LGP. In this study, optimized molding condition for LGP with 0.4 mm thickness was obtained by using the Moldflow simulation software and the optimized pattern for better brightness uniformity was designed for the thickness of the 0.4 mm by trial and error method. The brightness was measured for the different LGP thicknesses and the residual stress analysis was performed for 0.4 mm thickness by the photoelasticity and the results are compared with 0.5 mm, 0.6 mm thickness.

**Key Words** : LGP (도광판), BLU (Back Light Unit, 배면조명체), Brightness (휘도), Moldflow (몰드플로우)

#### 1. 서론

정보화 사회의 발달에 따라 영상 디스플레이 산업 분야에서 LCD는 매우 중요한 위치에 있으며, 향후 시장전망도 가장 밝은 산업 분야 중 하나이다. LCD가 시장 경쟁력을 갖추기 위해서는 액정 패널 분야 경쟁력 못지않게 도광판(Light Guide Plate)의 경쟁력도 역시 중요하다.

도광판은 측면에서 냉음극관이나 LED를 통해

나온 선광이나 점광의 광원을 전면방향으로 꺾어 LCD 모듈 방향으로의 면광으로 진행하도록 광의 방향을 바꾸는 부품이다. 이러한 도광판의 성능에 따라 LCD의 일정 휘도 및 제품 두께의 슬림화가 가능해 지는데, 이는 현 모바일용 핸드폰 시장에서 가장 중요한 고려 조건이 되고 있다.

경쟁력 있는 모바일용 핸드폰 LCD의 요건은 얇은 두께와 가벼운 무게, 그리고 견고성이다. 이 중 두께 및 무게에 영향을 주는 것은 내부에 조립된

접수일: 2007년 8월 24일; 게재승인일: 2008년 5월 27일

\* 명지대학교 기계공학파대학원

# 교신저자: 명지대학교 기계공학과

E-mail: pmk@mju.ac.kr Tel. (031) 330-6425

\*\* 연세대학교 사회환경시스템공학부

핵심부품인 도광판의 영향이 제일 크기 때문에 도광판의 두께를 감소시키는 기술에 대한 연구가 관련업계에서 검토되고, 진행 중에 있다. 현재 도광판 두께는 1.0 mm ~ 0.7 mm인 것이 일반적으로 사용되고 있다. 얇은 도광판 개발의 핵심은 LED의 빛을 얼마나 도광판에 일정한 양으로 빛을 보내느냐에 있는데, 일반적으로 얇은 두께에 따라 빛의 휘도가 불균형해 지는 문제점을 발견할 수 있다. 본 연구에서는 동일 사출·성형 조건에 의해 새로 개발된 0.6 mm, 0.5 mm, 0.4 mm 도광판의 두께 차이에 따른 휘도 균일도와 잔류응력을 분석하였다.

## 2. 도광판의 구조 및 설계 방법

LCD는 수동소자로서 자체 발광하지 못하므로, 배면에 균일한 휘도분포를 갖는 별도의 면광원을 필요로 하는데, 이것을 배면조명체라 하며 그 부품 구성은 Fig. 1과 같다. 현재 모바일용 LCD에 적용되는 광원은 주로 LCD 패널 뒷편에 배치된 배면조명체의 LED이다. 이로부터 발광되는 빛이 도광판의 전체 면에 균일하게 퍼지고, 상부에 적치된 전달층들(Sheets)을 통과하여 올라온 빛이 패널을 투과하게 된다. 즉, 유입된 빛이 전반사를 통하고 도광판 후면의 확산 패턴에 부딪힌 빛이 산란되어 상부로 방출되는 것이다. 이때 배면조명체의 LED로부터 발광된 빛은 반드시 빛을 안내하는 도광판을 통과해야만 하기 때문에 도광판의 역할은 매우 크다. 특히, 도광판은 기본적으로 빛을 안내하기 위해서는 투명해야 하고, 빛을 전체적으로 균일하게 퍼지게 한 뒤 위로 빛을 보내야만 한다. 이를 위해 도광판의 하면(또는, 상면/하면)에 확산 패턴이라 불리는 요철을 형성시킨다. 요철은 크기가 다른 수십만 개 이상의 작은 도트로 인쇄되는데 광원에 가까운 곳에는 요철의 밀도가 낮게, 그리고 먼 곳은 요

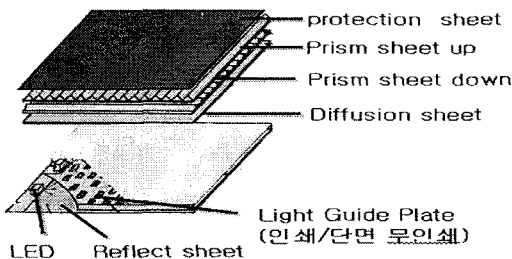


Fig. 1 Configuration of BLU and LGP

철의 밀도가 높게 조밀한 패턴으로 설계한다. 이를 확산 패턴이라 한다. 이러한 확산 요철의 다양한 인쇄 패턴에 따라서 배면조명체 전면으로 출사되는 휘도의 세기와 휘도의 균일도는 달라진다. 따라서 주어진 조건에서 높은 휘도와, 휘도의 균일도를 달성하는 것이 가장 중요한 과정 중에 하나이다.

전술한 바와 같이(본 연구에서는), 상기의 목적에 필요한 도광판을 생산하기 위해서는 도광판용 금형을 특수 제작하고, 이 금형으로 성형기를 사용하여 사출을 한다. 성형된 부품은 도광판과 러너를 분리하고 분리된 도광판은 배면조명체에 조립되어 상기와 같이 광원인 LED의 빛을 안내하는 역할을 하고 있다.

## 3. 실험

### 3.1 도광판 두께에 따른 휘도 균일도를 위한 실험 조건 및 방법

먼저 사출조건과 배면조명체의 광원의 세기가 동일한 상태에서 LGP 두께 차이에 따른 휘도 분석 실험을 하기 위하여 패턴을 설계하였다. Fig. 2와 같이 고정 스탬퍼(Stamper)는 레이저로 가공을 하였고, 패턴 형상은 원형, 직경은 40 μm 로 하였다. 또한 이동식 Core 구조는 경면구조를 채택하였다. 패턴이 프린트되어 사출되는 도광판의 규격은 가로 34.3 mm, 세로 44.31 mm으로 설계하였고, LGP의 재료는 이데미쯔(IDEMITSU)사의 PC(Poly-Carbonite) 계열의 LC1500 재료를 사용하였다. 도광판을 두께에 따라 동일 조건에서 사출하기 위해 동일 게이트(Gate) 구조와 동일 러너(Runner) 구조를 이용하였으며, 이때 사용된 시험 성형기는 Toyo 100 T 300 mm/s 이다. 생산에 앞서 사출·성형 전용 범용 소프트웨어인 Moldflow를 이용하여 기존 0.6 mm 도광판 사출시의 조건, 즉 Table 1의 기존용 0.6mm 칼럼부 변수를 적용하여 시뮬레이션 하였고,

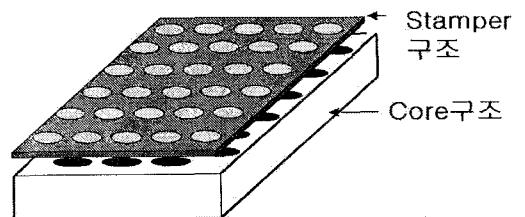


Fig. 2 LGP structural pattern

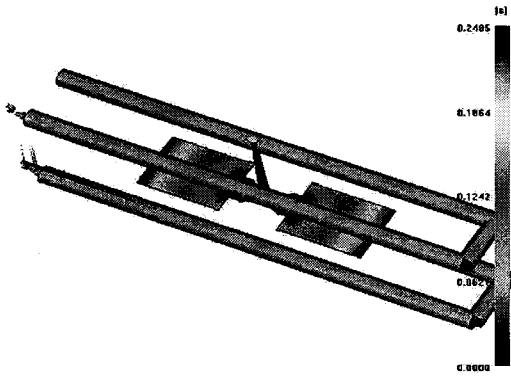


Fig. 3 Flow analysis using Moldflow

Fig. 3은 실제 사출시 시간에 따른 충전 패턴 모습이다. 도광판의 사출성형공정 조건은 금형온도(Mold temperature), 용융수지온도(Mold temperature), 사출시간(Injection time), 보압시간(Packing time), 보압(Packing pressre), 냉매온도(Coolant temperature)등이 있으나, 본 연구에서는 사출시간과 금형온도, 보압시간, 사출속도를 변수로 채택하였다. 기존 0.6 mm에서 생산되었던 사출 조건을 바탕으로, Moldflow를 통한 최적화된 사출 조건을 찾기 위해 위의 조건을 바탕으로 수차례에 걸친 시행착오법을 적용하였고, 이를 통한 최종 사출 조건은 Table 1과 같다. Table 1의 각각의 칼럼에는 두께에 따른 사출 조건이 나타나있다. 기존 조건으로부터 Moldflow를 이용한 수 차례의 시뮬레이션을 통해 두께에 따른 최적 사출 조건을 도출, 최종적으로 0.4 mm에 대한 최적 사출 조건을 구하였다.<sup>10</sup> 도광판은 Table 1 과 같이 각 두께에 따라, 구해낸 최적화된 속도(mm/s)와 압력(kg/mm<sup>2</sup>), 온도(°c) 그리고 시간(sec)을 가하여 사출하였다. Table 1에서 기존용과 신규용은 기존 게이트 및 러너 구조를 수정한 것을 의미한다. 또한, 이때 사출 성형 제작된 도광판의 패턴 및 형상은 Fig. 4와 Fig. 5와 같다. 패턴의 설계는 Simplex Serch 알고리즘을 이용하였다.<sup>11</sup> 상부로 방출되는 빛이 균일하게 되도록 하기 위해, 도광판의 입광부에서는 전반사되어 진행되는 빛이 많아야 하므로 패턴의 크기를 크게 설계 하였고, 도광판의 대광부에서는 빛이 대부분 난반사되어 진행되는 빛이 적으므로 패턴의 밀도를 조밀하게 설계하였다.

또한 사출 · 성형 시 충전과 고화를 원활히 하기 위해, 러너 및 게이트 구조를 원형 및 사다리꼴 형

Table 1 Injection mold conditions of LGP

구분		신규용 통일조건				신규개선
		0.6t	0.6t	0.5t	0.4t	0.4t
속도 (mm/s)	1차	25	25	25	13	16
	2차	220	220	245	285	245
	3차	45	45	45	45	35
압력	1차	1100	1100	900	1000	800
	2차	850	850	350	350	800
온도	호퍼	69	69	69	70	70
	히터4	275	275	285	285	290
	히터3	285	285	295	300	310
	히터2	295	295	320	330	330
	히터1	285	285	315	325	325
시간 (sec)	사출	1.7	1.7	1.7	1.7	1.3
	냉각	12	12	12	13	12
	계량	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	소계	14.1	14.1	14.1	15.1	13.7

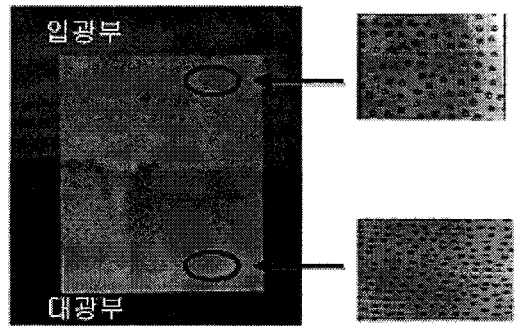


Fig. 4 LGP pattern after optimization

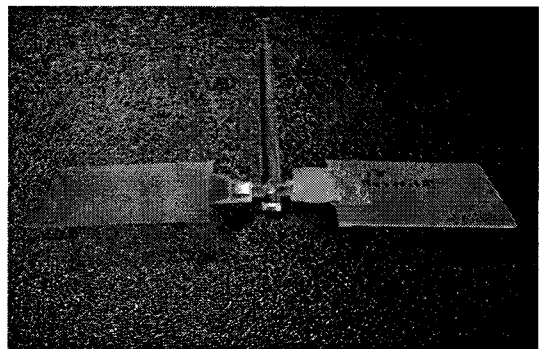


Fig. 5 LGP manufactured after optimization

상으로 설계변경 하였다. 상기 조건하에서의 성형 사출 제작된 도광판의 두께에 따른 휘도 균일도에 관한 실험을 실시하였다. 휘도의 측정을 위해 BM7사의 광휘도 측정 장비를 사용하였으며, 그 형상은 Fig. 6과 같다. 패턴이 인쇄된 도광판을 광휘도 측

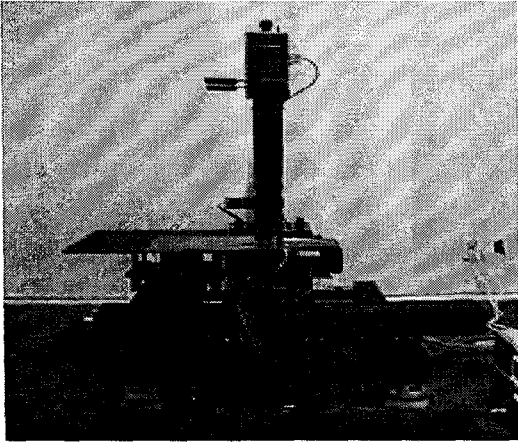


Fig. 6 Picture of brightness measuring system

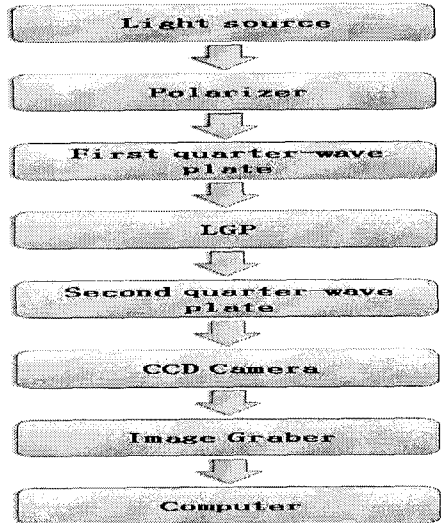


Fig. 8 Block diagram of photoelasticity system

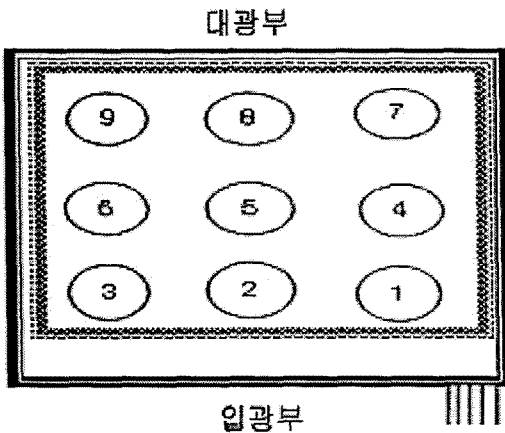


Fig. 7 The pattern numbering assigned to LGP

정 장비 위에 올려놓고 빛을 전사하여 도광판의 전체적인 휘도를 측정하였고, 보다 개선된 패턴 설계에 활용하였다. 또한, 사출된 도광판의 위치에 따른 휘도 균일도를 두께에 따라 구별하기 Fig. 7에서와 같이 9개의 지역으로 나누어 9 point 위치에 따른 패턴 번호를 임의로 부여하였다.

### 3.2 두께에 따른 잔류응력 측정 방법

최적 조건에 의해 사출된 도광판의 두께에 따른 잔류응력을 VISHY MEASUREMENTS GROUP사의 모델 801의 광탄성 측정장비를 사용하여 측정하였다. 광탄성 응력 측정 장치의 구성은 아래 Fig. 8 과 같다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 휘도분석 결과

3.1절에서 기술한 휘도 실험 장치에 의한 신규 조건에서의 9 point에서의 도광판 휘도 분포에 관한 실험 결과는 Fig. 9와 같다. 아래 Fig. 9에서 보는 것과 같이 두께 0.4 mm일 때의 입광부의 위치 ①에서는 휘도가 약 3432 cd/m<sup>2</sup>이나 대광부의 위치 ⑨에서는 1605 cd/m<sup>2</sup>로 두 배 이상의 빛의 감소를 보이고 있다. 이는 곧 균일도의 저하를 의미한다. 반면에 두께 0.6 mm에서 위치 ①에서의 휘도는 2774 cd/m<sup>2</sup>, 위치 ⑨에서는 2626 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 보여준다. 또한, 두께 0.5 mm 위치 ①에서는 3494 cd/m<sup>2</sup>, 위치 ⑨에서는 1605 cd/m<sup>2</sup>를 나타냈다. 입광부에서의 휘도는 0.4 mm가 0.6 mm에 비해 높은 분포를 보였지만, 도광판 성능의 판단은 휘도의 세기보다는 휘도 균일도가 더 중요한 고려대상이다. 도광판의 성능을 가늠하는 휘도 균일도를 아래와 같이 정의하였으며 100%에 가까울수록 품질이 좋은 도광판에 해당된다.

$$\text{휘도 균일도(\%)} = \frac{9\text{pt 최소 휘도값}}{9\text{pt 최대 휘도값}} \times 100 \quad (1)$$

계산된 두께에 따른 균일도는 Table 2와 같다.

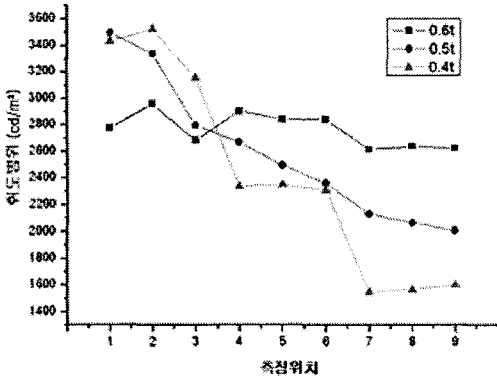


Fig. 9 The distribution of intensity of brightness with variable range

Table 2에서 보는바와 같이, 두께가 0.6 mm일 때가 다른 두께에 비해 균일도가 비교적 양호함을 알 수 있다.

Table 2 Brightness uniformity with variation of thickness

	0.6t	0.5t	0.4t
휘도균일도 (%)	88.5	57.5	43.9

따라서 목표로 한 0.4 mm 초박형 도광판 개발을 위해, 추가적인 패턴 수정을 반복 시행 하였다. 패턴 수정에 따른 휘도 균일도 결과 데이터는 아래 Fig. 10과 같다. Fig. 10의 실험 데이터를 바탕으로 휘도 균일도와 평균휘도에 관한 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Brightness uniformity for 0.4t

	수정전LGP	1차수정 LGP	2차수정 LGP
평균휘도 (cd/m²)	2427.3	2391.2	2251.1
휘도균일도 (%)	43.9	83.3	91.6

1차 패턴 수정에 의한 9 point의 평균휘도는 2391.2 cd/m²로서 2차 패턴 수정에 의한 9 point 평균휘도 2251.1 cd/m²에 비해 높다. 그러나 기존 패턴에서의

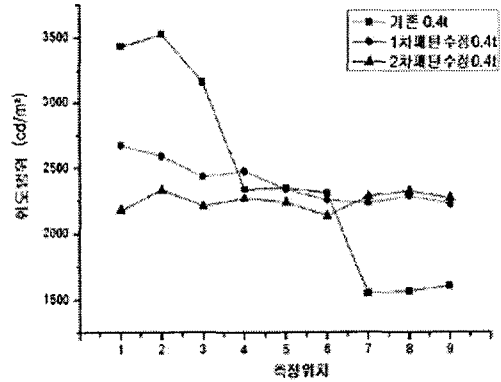


Fig. 10 The distribution of intensity of brightness with variable range after pattern modification

균일도 보다는 1차, 2차를 거치면서 패턴 인쇄가수정된 도광판이 보다 향상된 균일도를 보여주고 있다. 수정된 2차 패턴의 균일도는 91.6%로 수정전 43.0%, 1차 수정 패턴의 균일도 83.3%에 비해 더 향상됨을 볼 수 있다. 그러나, 0.6 mm, 0.5 mm에 비해 전체적인 휘도 세기가 다소 약하다. 이 문제는 피라미드 패턴이나 반원기둥 패턴 등을 적절히 적용하여, 휘도의 세기를 증가 시킬 수 있을 것이다. 이는 전체 휘도의 세기를 개선시킨다면, 오히려 기존 양산중인 0.6 mm 도광판에 비해서도 우수한 휘도의 세기를 가진 제품을 생산할 수 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 도광판 생산 제품에 있어서 평균 휘도보다 중요한 고려사항이 휘도 균일도이기 때문에, 최종 패턴 인쇄를 수정한 도광판의 품질이 더 우수하다고 할 수 있다. 또한, 최종 2차 수정된 패턴에서 사출된 도광판의 균일도 91.6%는 기존 모바일폰 제품에서 일반적으로 사용되고 있는 0.6 mm LGP의 균일도 88.5%에 비해서도 개선됨을 알 수 있다.

#### 4.2 두께에 따른 잔류응력 결과 분석

동일 사출·성형 조건 및 동일 패턴에 의해 제작된 도광판의 두께 0.6 mm, 0.5 mm, 0.4 mm에서의 잔류응력 분포를 3.2절에서 기술한 광탄성 측정 장비에 의하여 측정한 결과, Fig. 11에서 Fig. 13까지의 결과를 얻었다. 결과에서 알 수 있듯이, 0.6 mm에 비해 0.5 mm, 0.4 mm의 잔류응력이 현저하게 감소함을 알 수 있다.

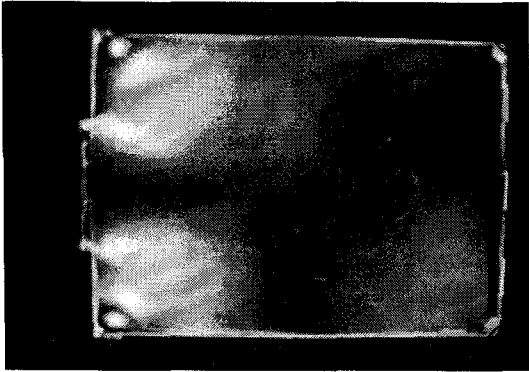


Fig. 11 Residual stress distribution of LGP with 0.6mm thickness

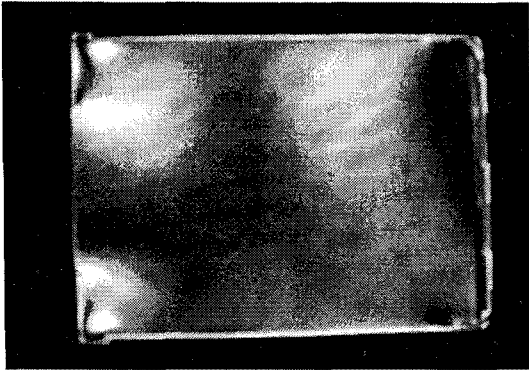


Fig. 12 Residual stress distribution of LGP with 0.5 mm thickness

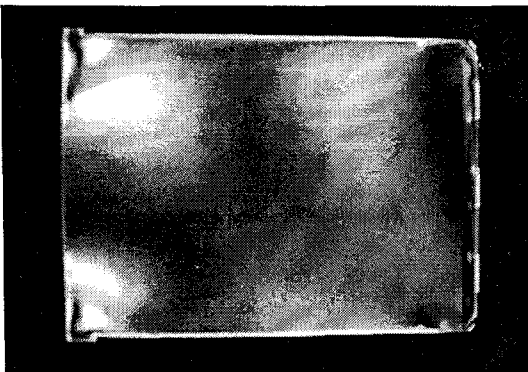


Fig. 13 Residual stress distribution of LGP with 0.4 mm thickness

그러나, 0.5 mm와 0.4 mm만을 비교하였을 경우 잔류응력의 차이는 거의 없었다. 세 가지의 두께 조

건을 Fig. 7과 Fig. 9을 종합하여 비교해보면, 세 시편 모두에서 사출시의 게이트 부근에서 잔류응력이 가장 크게 발생됨을 확인 할 수 있다. 두께가 감소함에 따른 잔류응력의 감소는 최적의 사출조건을 통한, 용융수지의 충전 및 고화시에 캐비티(Cavity) 안의 균일한 밀도 때문이라 사료된다.

## 5. 결론

점점 슬림화 되어 가는 모바일폰 시장의 추세에 발맞추어 가기 위해 목표로 했던 두께 0.4 mm 도광판의 개발은 패턴의 수정을 통하여 두께에 따른 휘도의 불균형을 개선하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 0.6 mm 미만의 얇은 도광판 생산은 사출의 어려움으로 인해 아직 업계에서 생산되지 않았으나, 사출성형 전용 상용 소프트웨어인 몰드플로우를 사용하여 사출 조건을 최적화, 생산하였으며, 인쇄 패턴의 수정을 통해, 두께 0.4 mm에서의 휘도 균일도를 91.6%까지 개선시켰다.

(2) 두께 0.6 mm의 휘도 균일도 세기에 비해, 두께 0.4 mm 도광판의 휘도 균일도 세기가 다소 약함을 알 수 있다. 이는 추가적인 패턴수정으로 향상을 기할 수 있을 거라 사료된다.

(3) 도광판의 두께가 얇아짐에도 잔류응력이 감소함은 최적 사출조건에 의해 인출된 충전 고화의 균일화 때문이라 사료된다.

## 참고문헌

1. Sung, K. S., Park, J. H. and Kim, D. M., "A Study of Light Guide Plate applied Duplication pattern using LED Source," Optical Society of Korea Annual Meeting, pp. 120-121, 2005.
2. Sah, J. Y. and Park, J. Y., "Analysis on Optical Characteristics of LCD Backlight LGP," Trans. of KSME, Vol. 28, No. 4, pp. 362-369, 2004.
3. Lee, H. S., "Influences of Processing Conditions on the Brightness of the Light Guide Plate for TFT-LCD," Proceedings of the KSME April Conference, pp. 922-927, 2002.
4. Cho, K. H. and Yoon, K. H., "An Experimental Study of the Effect of Process Conditions on Direct Surface Forming of a Light-Guide," Trans.

- of KSME, Vol. 28, No. 1, pp. 79-84, 2004.
5. Choi, D. S., Je, T. J. and Yoo, Y. E., "Manufacturing Technology of Mold with Micro Pattern on Large Surface," J. of KSPE, Vol. 22, No. 5, pp. 16-20, 2005.
  6. Choi, K., Lee, J. S. and Song, S. H., "Micro-patterning of light guide panel in a LCD-BLU by using on silicon crystals," J. of Optical Society of Korea, Vol. 16, No. 2, pp. 113-120, 2005.
  7. Kim, J. S., Ko, Y. B., Yoon, K. H. and Hwang, C. J., "A Study on the Effect of Optical Characteristic in 2 inch LCD-BLU by Aspect Ration of Optical Pattern : II. Mold and Optical Characteristics," Optical Society of Korea Annual Meeting, pp. 551-552, 2006.
  8. Park, D. S., Choi, Y. H. and Ha, M. S., "Machining of the Inject Mould for Forming the Dot Pattern of LGP of TFT-LCD," Proceedings of the KSPE Spring Conference, pp. 1215-1219, 2003.
  9. Yoo, Y. E., Kim, T. H. and Kim, S. K., "A study on fabrication of a micro patterned LGP," Proceedings of the KSPE Spring Conference, pp. 533-534, 2006.
  10. Lee, S. H., Kim, S. W., Lee, H. S. and Kim, J. D., "The Effects of Injection Molding Conditions on Uniformity and Brightness of Light Guide Plate," Proceedings of the KSPE Spring Conference, pp. 1609-1612, 2005.
  11. Seo, H. K., Ryu, Y. S., Park, E. C. and Kang, N. K., "Auto-Optimization for LGP Dot Pattern in CD Backlight Unit using Simplex Search," Proceedings of The Korean Institute of Information Scientists and Engineers Fall Conference, pp. 514-516, 2003.