

도광판의 균일도 및 휘도에 사출성형조건이 미치는 영향

이성희*(한국생산기술연구원), 김선우((주)민성정밀), 이훈석((주)민성정밀),
김종덕(한국생산기술연구원)

The Effects of Injection Molding Conditions on Uniformity and Brightness of Light Guide Plate

Sunghee Lee(Korea Institute of Industrial Technology), S. W. Kim(Minsung Precision Co., Ltd.),
H. S. Lee(Minsung Precision Co., Ltd.) and J. D. Kim(Korea Institute of Industrial Technology)

ABSTRACT

The effects of injection molding conditions on the uniformity and brightness of light guide plate(LGP) with micro-patterns were investigated in the present study. An injection molding system for stampers with micro-pattern was designed and manufactured to perform experiment. Variations of injection molding speed, mold and melt temperature for LGP were considered in this work. Also, injection molding characteristics of LGP were investigated by numerical analysis using plastic injection molding commercial code. It was shown that injection molding conditions such as injection speed, melt temperature and mold temperature can have an effect on the uniformity and brightness of light guide plate.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Light Guide Plate(도광판), Uniformity(균일도), Brightness(휘도)

1. 서론

도광판은 광원으로부터 유입된 빛을 화면 전체에 균일하게 확산시키는 역할을 하는 백라이트ユニ트(Back Light Unit)의 핵심부품이다. 수평 유입광을 전면에 균일하게 확산시키기 위해서는 입사광을 산란시키기 위한 산란 패턴이 필요한데, 이러한 패턴의 설계 및 성형은 도광판의 설계 및 제조과정에서 가장 중요한 부분이다. 통상 전면으로 방출되는 빛이 균일하게 되도록, 도광판에서 광원에 가까운 쪽은 진행하는 빛이 많으므로 산란패턴 밀도를 적게, 광원에서 멀 쪽은 대부분의 빛이 방출되어 진행하는 빛이 적으므로 산란패턴 밀도를 크게 설계한다. 패턴 자체는 마이크로급 형상이어서 금형을 이용한 성형시 이러한 패턴 형상의 전사성 및 성형조건이 최종 성형된 도광판의 광특성에 영향을 미친다. 그동안 도광판에 관한 연구는 기업의 연구소가 주축이 되어 광성능을 높이면서 제조원가를 줄이는 방향으로 진행되어 왔으며, 일례로 프리즘기능을 포함하는 백라이트 방식 도광판의 광학설계 연구^[1],

미세 프리즘을 갖는 일체형 도광판 개발에 관한 연구^{[2][3]}들을 찾아볼 수 있다. 특히 후자의 경우는 패턴 가공 및 사출성형에 관한 연구로 특히, 성형공정조건이 휘도에 미치는 영향에 대해서도 언급하고 있다. 국내에서도 도광판의 금형설계와 유한요소해석에 대한 연구 및 이와 연계된 성형공정조건의 최적화에 대한 연구^{[3][4]}를 찾아 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 소형 도광판의 사출성형과정에서 사출성형조건이 도광판의 균일도/휘도 등의 광특성에 미치는 영향을 좀더 엔지니어링 및 실험적으로 살펴보고자 한다. 이를 위해 난반사 패턴이 있는 스템퍼를 설계 제작하였으며, 스템퍼가 안착될 수 있는 금형도 설계 제작하였다. 도광판의 사출성형공정 조건에는 금형온도(mold temperature), 용융수지온도(melt temperature), 사출시간(injection time), 보압시간(packing time), 보압(packing pressure), 냉매온도(coolant temperature)등이 있으나, 본 연구에서는 금형온도, 수지온도 및 사출속도의 영향에 대해서만 살펴보았다. 또한 광특성의 평가에서는 최종 성형품의 균일도(uniformity), 휘도(bright-

ness)의 변화만을 살펴보았다.

2. 금형설계

사출성형조건이 도광판의 확도 및 균일도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 설계된 도광판과 delivery system(스프루, 런너, 게이트)의 형상을 Fig. 1에 제시하였다. 제시된 도광판의 상측면에는 난반사를 일으키기 위한 미세 패턴이 성형과정에서 전사되어야 한다. 전사되어야 할 미세패턴의 예를 그림에서 볼 수 있으며, 각각의 원형미세패턴은 광원으로부터의 위치에 따라 난반사를 효율적으로 일으킬 수 있도록 설계 되었다. 직경은 위치에 따라 약 50 μm ~100 μm 의 크기를 가지며, 깊이는 11 μm 정도이며, 양각형상이다. 즉 패턴형상을 구현하기위해 금형에 장착되는 스템퍼는 음각형태이다.

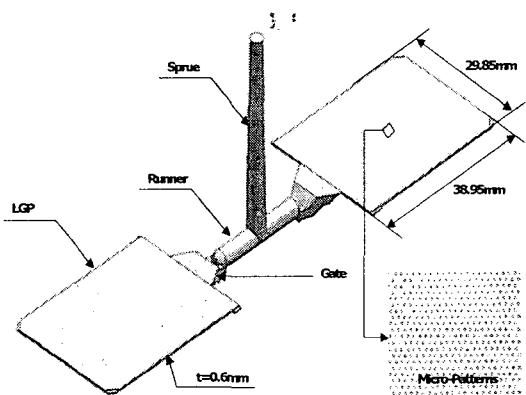


Fig. 1 Geometry of light guide plate and delivery system for injection molding

3. 사출성형해석

사출성형조건이 도광판의 광특성에 미치는 영향을 살펴보기에 앞서 설계된 시스템에 대한 사출성형해석을 수행하였다. 이러한 성형해석의 목적은 실험 범위를 결정하기 위함과 캐비티 내에서 발생되는 현상에 대한 엔지니어링적인 평가를 위해서이다. 특히 전자의 경우는 해석 프로그램내에 포함되어 있는 물성 데이터베이스의 활용적인 목적이며, 후자의 경우는 실제 성형과정에서 파악하기 힘든 캐비티 내부의 현상을 분석하기 위함이다. 본 연구에서 생성된 유한요소 모델의 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 얇은 삼차원 캐비티내에서 용융 고분자 수지의 흐름에 대해 Hele-Shaw 유동 모델은 비교적 정확한 결과를 제시하여 왔다. 즉, 비탄성, 비등온

비뉴턴 유체유동 가정이 적용된 일반사출성형에 대한 지배방정식은 다음과 같다^{[5][6]}.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} \right) - \nabla p = 0 \quad (2)$$

$$\rho C_p(T) \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) \quad (3)$$

$$= \frac{\partial}{\partial z} \left(k(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \eta \dot{\gamma}^2$$

여기서 $\rho, C_p, k, \eta, \dot{\gamma}/\partial t$ 는 밀도, 비열, 열전도도, 점성, 전단률을 의미하며, p, T, \mathbf{u} 는 압력, 온도, 속도를 각각 의미한다. 용융고분자수지점도의 비뉴턴 특성은 다음과 같이 수정 Cross 모델에 의해 표시될 수 있다^[3].

$$\eta(T, \dot{\gamma}, p) = \frac{\eta_o(T, p)}{1 + (\eta_o(T, p)\dot{\gamma}/\tau^*)^{1-n}} \quad (4)$$

여기서 n 은 Power-law 지수이고, τ^* 는 Power-law와 뉴튼 유동 사이의 근사 천이 영역에서의 응력레벨이고, $\eta_o(T, p)$ 는 유효전달률이 영일 때의 점도를 의미한다. η_o 의 가장 단순한 형태는 Arrhenius 형태로 다음과 같다.

$$\eta_o(T, p) = B \exp \left(\frac{T_b}{T} \right) \exp(\beta p) \quad (5)$$

넓은 온도영역에서 사용가능한 또 다른 형태는 WLF (Williams, Landel and Ferry)의 형태로 다음과 같다.

$$\eta_o(T, p) = D_1 \exp \left(- \frac{A_1(T - T^*(p))}{A_2 + D_3 p + (T - T^*(p))} \right) \quad (6)$$

여기서 $T^*(p) = D_2 + D_3 p$ 이다. 따라서 식 (4)와 식 (6)은 7개의 상수를 포함하며, 본 연구에 사용된 고분자 수지(PMMA)의 각 상수 값은 Table 1에 제시하였다. 또한 사용된 PMMA 수지의 점도특성과 PVT선도는 각각 Fig. 3에 제시하였다.

Table 1 Constants for Eqs. (4) and (6)

n	τ^* (kPa)	D_1 (Pa-s)	D_2 (K)	D_3 (K/Pa)	A_1	\tilde{A}_2 (K)
0.1799	121	1.79e+019	377.15	0	48.56	51.6

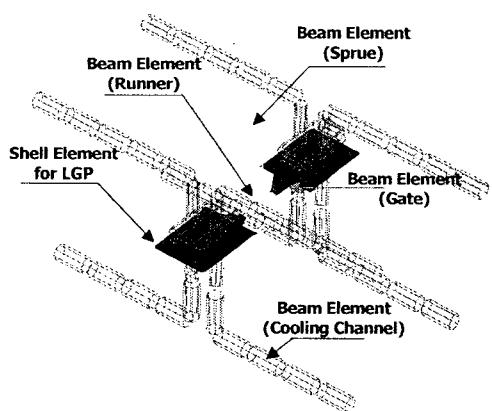


Fig. 2 Finite element model with delivery system and cooling channel

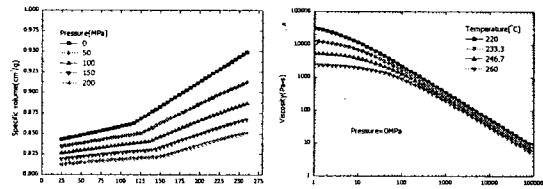


Fig. 3 Viscosity vs. shear rate and specific volume vs. temperature for PMMA(Asahi Kasei Co. Delpet 80N)

4. 도광판 사출성형 및 광특성측정

고분자 수지를 이용하여 도광판을 설계 제작할 경우 광특성에 영향을 줄 수 있는 인자로는 재료, 제품설계, 금형가공 및 성형조건을 들 수 있지만, 본 연구에서는 성형조건의 측면에 대해서만 고려하기로 한다. 성형조건에는 Table 2에 제시된 것처럼 여러 항목이 있으나, 본 연구에서는 사출속도, 금형온도, 수지온도의 영향성만을 살펴보았다. 즉, 이외의 성형조건은 실험과정 중에 일정하게 설정하였다. 표에서 팔호 안에 있는 값은 실험에 사용된 값을 의미한다. 실험에 사용된 사출기는 JSW사 형체력 85톤인 전동식 고속 사출기(JSW J85EL III)이며, 스크류직경 20mm, 최대스트로크 80mm, 최대사출률 173cm³/s, 최대사출속도 350mm/s, 최대사출압력 270MPa이다. Table 2에서 제시된 조건을 사용하여 사출성형해석을 수행하였으며, 이때 성형조건이 범위로 주어진 값에 대해서는 중간값을 사용하였다.

또한 사출속도, 금형온도, 수지온도의 변화에 따라 성형된 도광판의 균일도 및 휨도 특성을 살펴보았으며, 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 그림에서 x

축은 각 경우에 대한 범위 인덱스를 의미한다. 즉, Table 2에 제시된 사출속도, 수지온도, 금형온도의 각 범위에 대한 상, 중, 하 값을 의미한다. 한편 각각의 결과들은 시감도보정 CCD 카메라 및 Frame-Board 사용의 고정도 휨도 Multi-Point 계측 시스템인 RISA-CD/COT를 사용하여 측정되었다. 본 시스템은 최대 640x480의 계측 포인트를 가지며, ? %이내의 계측화면 내 휨도 분포 오차를 가지고, 광범위 휨도 및 고속(3초/10,000점) 계측이 가능한 장비이다. 또한 휨도의 계측범위는 0.3~14,000cd/m², 계측휘도 재현성 ? %이내의 장비이다. 우선 성형조건이 도광판의 균일도에 미치는 영향을 나타내는 Fig. 4(a)의 결과에서 주어진 범위에서 수지온도의 증가는 균일도를 향상시키고, 반대로 금형온도는 균일도를 저하시킴을 볼 수 있다. 그러나 사출속도는 중간 속도에서 최대 균일도를 보임을 알 수 있다. 그림에서 대표적인 경우의 휨도 결과를 참고로 제시하였다. 한편 사출성형조건이 도광판의 휨도에 미치는 영향을 Fig. 4(b)에 제시하였으며, 결과에서 보듯이 거의 대부분의 성형조건에 대해 조건 값의 증가는 휨도의 증가에 영향을 미침을 알 수 있다. 특히, 사출 속도의 증가는 휨도 증가에 상대적으로 큰 영향을 미침을 볼 수 있다. 하지만 현실적으로 큰 사출속도의 증가는 오히려 제품성형면에서 burr와 같은 성형 불량을 발생시킬 수 있다. 마지막으로 Fig. 4의 결과에서 균일도 및 휨도에 영향을 주는 성형조건을 분석하고, 각 성능을 증가 또는 감소시키는 성형인자의 조합(Case I, II)을 선정하여 사출성형해석을 수행하였으며, 해석 결과 중 도광판의 특정 위치별 잔류응력결과의 비교를 Fig. 5에 제시하였다. 결과에서 보듯이 대체적으로 Case I의 경우가 낮은 결과 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Recommended processing parameters and scope of experimental conditions

	PMMA
Recommended mold temperature(MoT) range(°C)	50~90 (50,70,90)
Recommended melt temperature(MeT) range(°C)	220~260 (220,240,260)
Coolant temperature(°C)	70
Cooling time(sec)	9
Injection control(Ram speed: RS) (mm/s)	1 step, 60mm/s, 10mm (20,60,100)
Packing time(sec)	0.35
Absolute max. melt temperature(°C)	280
Ejecting temperature(°C)	103

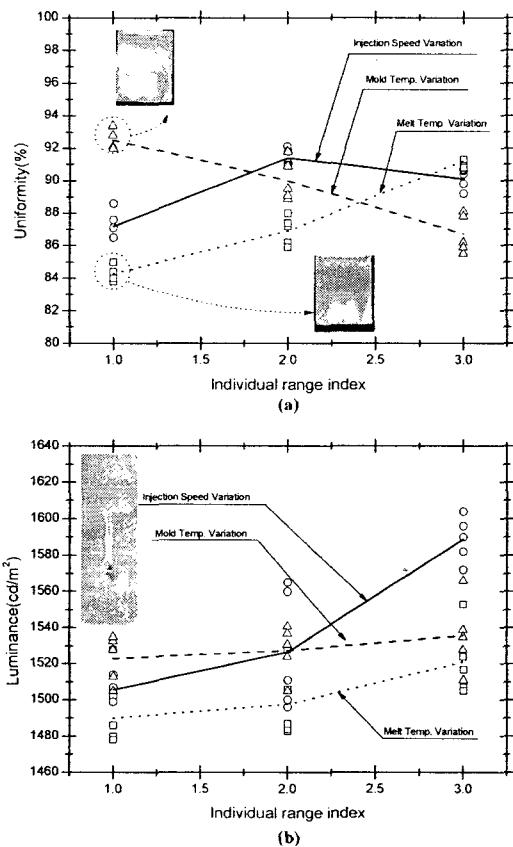


Fig. 4 Effects of injection molding conditions on uniformity and brightness of the presented LGP model

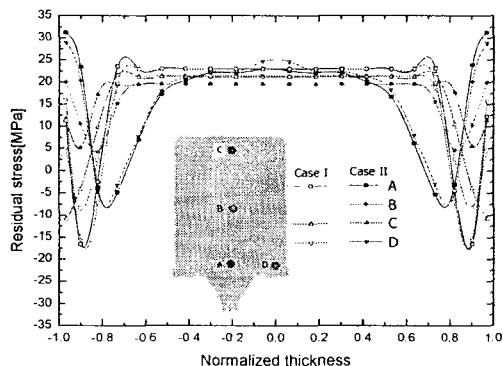


Fig. 5 Results of in-cavity residual stress in first principal direction of the presented LGP model (Case I: RS=100, MoT=70, MeT=260, Case II: RS=20, MoT=90, MeT=220)

5. 결론

본 연구에서는 미세패턴을 갖는 소형 도광판의

사출성형과정에서 성형조건 및 이에 따른 잔류응력이 도광판의 균일도와 휘도에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 이를 위해 측면광을 전면광으로 전환 시킬 수 있는 미세 난반사 패턴을 갖는 스템페를 설계 제작하였으며, 가공된 스템페를 안착시켜 사출 성형을 수행할 수 있는 초정밀 금형을 설계 제작하였다. 사출 성형될 모델은 전체적인 두께가 600 μ m급으로 박육 특성을 가지고 있어 성형과정에서 온도 및 압력변화에 큰 영향을 받고 있음을 확인하였다. 이러한 현상을 좀 더 엔지니어링 적으로 살펴보기 위해 설계된 금형내에서의 유동특성을 사출성형해석을 통하여 살펴보았으며, 사출성형과정에서의 성형 인자중 사출속도, 금형온도, 수지온도가 소형도광판의 광특성에 미치는 영향을 조사하여, 주어진 범위에서 수지온도의 증가는 균일도 및 휘도를 높이고, 사출속도증가는 휘도를 증가시키고, 금형온도 증가는 오히려 균일도를 저하시킴을 확인하였다.

후기

본 연구는 2005년도 산업자원부의 부품소재종합 기술지원 사업에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- Suzuki, S., Okada, M., et al., "Design of Highly Efficient Waveguide for LCD Backlighting System," Technical Report of IEICE, pp. 67~72, 1997.
- Nagahara, T., Fukui, A., et al., "Light-Guiding Plate for Liquid Crystal Display," Matsushita Technical Journal, Vol. 47, No. 3, pp. 2~6, 2001.
- Lee, H.S., "A Study of the Injection Molding for the Light Guide Plate of a Small Sized LCD (1) : Finite Element Analysis and Mold Design," Transactions of Materials Processing, Vol. 11, No. 4, pp. 332~340, 2002.
- Lee, H.S., "A Study of the Injection Molding for the Light Guide Plate of a Small Sized LCD (2) : Influences of Processing Conditions on the Brightness," Transactions of Materials Processing, Vol. 11, No. 4, pp. 341~348, 2002.
- Isayev, A.I. and Upadhyay, R.K., "Injection and Compression Molding Fundamentals," Marcel Dekker Inc., New York, 1987.
- Lee, C.C. and Castro, J.M., "Fundamentals of Computer Modeling for Polymer Processing." Tucker III, C. L. (ed.), Hanser Publisher, New York, 1989.