

사출성형 조건 변화에 따른 도광판의 황화현상에 관한 연구

이성준¹ · 민인기¹ · 김종선² · 이성희² · 윤경환[†]

단국대학교 기계공학과^{1,†}, 한국생산기술연구원²

A study on yellowing property of LGP under various injection molding conditions

Sung-Jun Lee¹ · In-Ki Min¹ · Jong-Sun Kim² · Sung-Hee Lee² · Kyung-Hwan Yoon[†]

Department of Mechanical Engineering, Dankook University^{1,†}

Korea Institute of Industrial Technology(KITECH)²

(Accepted May 28, 2015)

Abstract : Recently, the light guide plate (LGP), a component of the BLU, becomes thinner and larger than ever. In industrial field, specialized injection molding technique is applied to mold the ultra-thin LGP such as a ultra-high speed injection molding. Usually very high melt temperature is used for low viscosity. High injection speed and melt temperature lead to yellowing of LGP. In the present paper a series of injection molding experiment was performed under various injection molding conditions. Yellow index, CIE xy, spectral transmittance of sample were measured using the UV-Visible spectrophotometer. Systematic decrease of spectral transmittance in UV-B range was found as the melt temperature was higher. Yellow index and CIE xy were became higher near the gate location in LGP. From the result of analysis of variance, the main factor to affect for yellow index was mold temperature and that for spectral transmittance(at 315 nm) was melt temperature.

Key Words : LGP, Yellow index, Spectral transmittance, Injection mold, CIE xy

1. 서 론

현대 모바일 기기가 얇아짐에 따라 BLU(Back Light Unit)의 핵심 부품 중 하나인 도광판(LGP, Light Guide Plate)의 박형화가 빠르게 진행되고 있다¹⁾. 이에 따라 사출성형기술에 관해 많은 연구가 진행되어 왔는데, 대표적으로 급속가열 및 냉각법과 사출압축성형법, 초고속 사출성형법 등이 있다. 이 중 초고속 사출성형법은 사출성형의 성형 사이클(가소화, 충전, 보압, 냉각, 취출 단계) 중 충전 단계에서 기존보다 높은 속도로 충전하는 것으로 고하층의 생성을 방지하는 방법이다. 사출성형기술과 더불어 충전 시 수지의 점도를 낮추어 유동성을 높이

기 위해 기존보다 높은 성형온도를 사용하고 있다. 이러한 높은 사출속도와 성형온도는 광학 제품인 도광판의 황변현상을 발생시키는 원인으로써 제품 관리 측면에서 많은 어려움을 준다.

이러한 도광판의 황변현상은 고분자의 열화반응에 의한 결과로 이에 대한 많은 연구가 진행되어왔다. 대표적으로 1964년 Lee는 DTA (Differential Thermal Analysis), TGA (Thermal Gravimetric Analysis), 가스 크로마토그래피, 질량 분석기 등을 사용하여 폴리카보네이트의 열화반응이 oxidation, depolymerization, thermal degradation의 세단계로 일어난다는 사실을 밝혀냈으며²⁾, 1968년 Davis와 Golden은 질량 분석기와 가스 크로마토그래피를 이용하여 폴리카보네이트의 300°C~389°C에서의 열화반응 과정에 대해 밝혔고³⁾ 1995년 Factor는 폴리카보네이트의 열화에

1. 단국대학교 기계공학과

† 교신저자 : 단국대학교 기계공학과

E-mail : khyoon@dankook.ac.kr

의한 생성물인 dimetric 생성물과 IPP/BPA 반응물이 산화반응에 의해 황변이 발생한다고 밝혔다⁴⁾.

고분자의 열화반응에 의한 황변현상에 대한 연구는 많이 진행되었지만 사출성형공정 측면에서의 연구는 많이 이루어지지 않았다. 그렇기 때문에 사출성형공정조건이 도광관의 황변현상에 미치는 영향에 대해 이해하고 연구하는 것은 중요하다.

본 연구에서는 사출성형공정조건이 도광관의 황변현상에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 실험계획법을 통해 다양한 실험 조건을 정하여 박형 도광관의 성형실험을 진행하였으며, UV-Vis 분광광도계로 도광관 샘플을 위치 별로 분광투과율, yellow index, CIE xy를 측정하였다. 이를 통해 사출성형공정조건이 도광관의 분광투과율, yellow index (ASTM D1925), CIE xy에 어떠한 영향을 미치는지 알아냈으며, 분산분석을 통해 인자에 대한 주효과를 찾았다.

2. 실험

2.1. 실험 장치

본 연구의 샘플을 성형하기 위하여 사용한 사출성형기는 Fig. 1의 초고속 사출성형기로 LS엠트론의 LGE-III-DHS이다. 사출기의 형체력은 150ton이며 최대압력은 3,500bar, 최대 사출속도는 1,000mm/s이고 스크류의 직경은 25mm이다.



Fig. 1 High speed injection molding machine for experiment

또한, Fig. 2 (a)의 초박형 도광관 금형을 사용하였으며, 캐비티의 크기는 가로 79.08mm, 세로 51.72mm, 두께 0.43mm로 Fig. 2 (b)에 나타내었다. 수지는 미쓰비시의 폴리카보네이트 Iupilon® HL-4000으로 110℃의 온도에서 3시간 이상 건조하였다.

도광관 샘플의 광 특성 측정을 위하여 시마즈의 Solidspec-3700 분광광도계를 사용하여 분광투과율과 yellow index(ASTM D1925), CIE xy, CIE L*a*b* 등 다양한 색 관련 지수들을 측정할 수 있다.

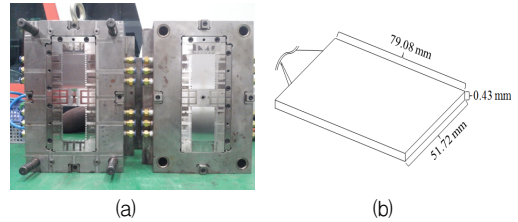


Fig. 2 LGP-mold (a) and the dimension of cavity (b)

2.2. 성형실험 조건 및 방법

성형 실험을 위해 실험조건의 인자를 성형온도, 사출속도, 금형온도, 보압으로 정하였으며, 각 인자 별로 3수준으로 정하여 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Experimental conditions for injection molding

Level	1	2	3
Melt temp.	340℃	360℃	380℃
Inj. speed	400 mm/s	600 mm/s	800 mm/s
Mold temp.	70℃	80℃	90℃
Packing pressure	30 MPa	40 MPa	50 MPa

정해진 실험조건으로 Table 2의 L9 직교 배열표를 사용하여 실험번호 순으로 성형실험을 진행하였으며, 샘플을 일정하게 취출하기 위하여 취출로봇을 사용하였고 지연시간에 의한 배럴 내부에서의 수지 손상을 피하기 위해 첫 번째 샘플부터 20여개의 샘플을 버리고 15개의 샘플을 취하였다.

Table 2 Table of L9 orthogonal array

Factor	Melt temp.	Inj. speed	Mold temp.	Packing pressure
No. #				
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2.3. 도광관의 광 특성 측정

성형실험을 통해 얻은 도광관 샘플은 Fig. 3과 같이 gate, middle, flow end 세부분으로 나누어 280nm ~ 780nm의 분광투과율과 yellow index, CIE xy를 측정하였다.

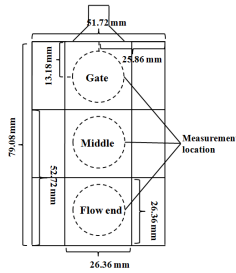


Fig. 3 Measurement location of LGP sample

3. 실험결과 및 분석

3.1. 도광판의 분광투과율

도광판의 분광투과율 측정결과는 UV-B 파장 영역을 보였으며, Fig. 4에 정리하였다. 투과율은 성형 온도 조건 별로 분류하였으며 빨간선은 340°C, 초록선은 360°C, 파란선은 380°C이다.

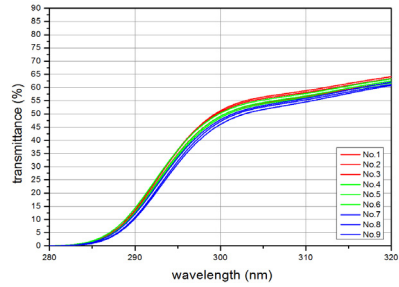
Fig. 4는 UV-B 파장 영역에서 도광판의 분광투과율 측정결과로 gate, middle, flow end 위치에서 성형 온도가 증가함에 따라 투과율이 감소하는 경향성을 보였다. 성형온도에 따른 투과율의 경향성은 고온에 의한 수지의 열화반응에 의한 결과이다.

3.2. Yellow index, CIE xy 측정결과

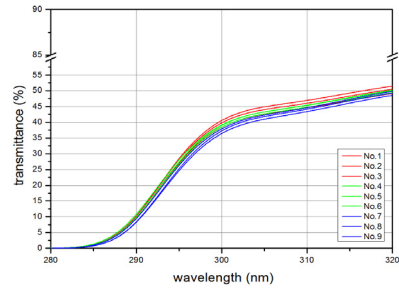
Yellow index와 CIE xy의 측정결과는 도광판의 위치 별로 분류하여 각각 Table 3, Fig. 5에 정리하였다. Table 3를 보면 flow end에서 gate로 갈수록 yellow index 값이 전체적으로 커지는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 Fig. 5를 보면 x와 y의 값이 flow end에서 gate로 갈수록 전체적으로 커짐을 알 수 있다. 이를 통해 도광판의 flow end에서 gate위치로 갈수록 yellowish 해짐을 알 수 있다.

Table 3 Results of Yellow index along a flow direction

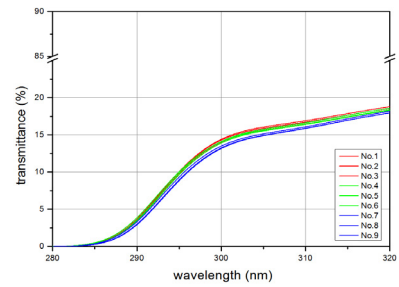
Factor No. #	flow end location	middle location	gate location
1	2.430	3.480	4.797
2	2.730	3.980	5.100
3	3.070	4.337	5.187
4	2.767	3.807	4.873
5	3.150	4.317	5.363
6	2.540	3.883	5.137
7	3.220	4.063	5.310
8	2.647	3.800	4.943
9	2.930	4.110	5.290



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Spectral transmittance trend in UV-B range along a flow direction ((a) flow end location, (b) middle location, (c) gate location)

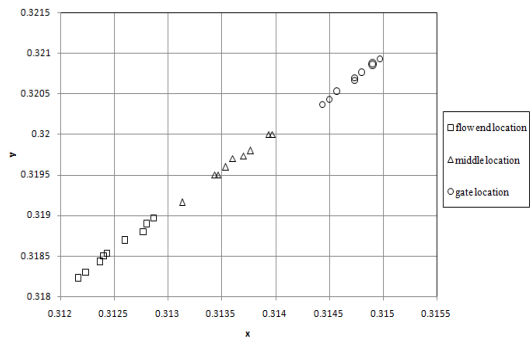


Fig. 5 CIE xy diagram along a flow direction

3.3. 분산분석 결과

Yellow index와 성형온도 증가에 의해 투과율의

변화를 보였던 UV-B 파장 영역의 투과율 중 315nm에서의 투과율을 대표값으로 사용하여 인자에 대한 분산분석을 실시하여 Fig. 6과 Fig. 7에 정리하였다. 그 결과를 보면 가시부로 측정하는 yellow index의 경우 성형온도가 가장 큰 주효과로 나온 반면 보이지 않는 UV 파장 영역의 315nm의 투과율은 성형온도가 가장 큰 주효과로 나왔다.

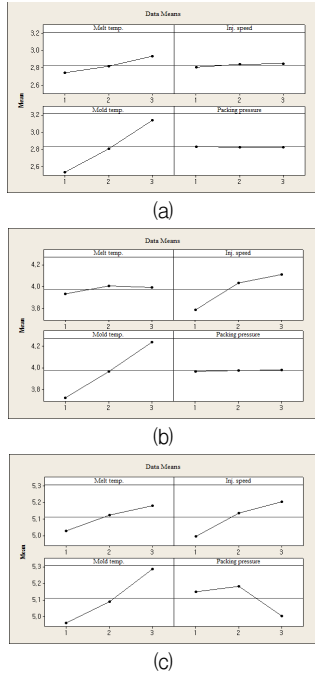


Fig. 6 Main effect plot for yellow index (ASTM D1925) along a flow direction ((a) flow end location, (b) middle location, (c) gate location)

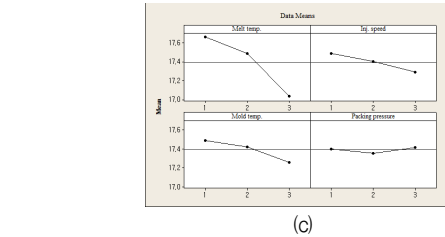
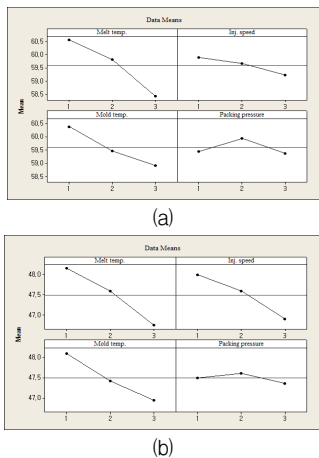


Fig. 7 Main effect plot for spectral transmittance at 315 nm along a flow direction ((a) flow end location, (b) middle location, (c) gate location)

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 사출성형공정조건이 도광관의 황변현상에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 L9 직교 배열표를 사용하여 성형실험을 진행하였으며, 도광관 샘플을 gate, middle, flow end의 위치 별로 분광투과율과 yellow index와 CIE xy를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 도광관의 모든 위치에서 UV-B 파장 영역의 분광투과율이 성형온도가 증가함에 따라 감소하는 경향성을 보였다.

2) Flow end에서 gate 위치로 갈수록 yellow index와 CIE xy가 증가함을 보였다.

3) 분산분석의 결과 가시부의 yellow index는 성형온도에 큰 영향을 받은 반면, UV-B 파장 구간의 315nm 투과율은 성형온도에 큰 영향을 받았다.

고분자에 열화반응이 발생하면 외관, 물리적 성질, 화학적 성질이 저하된다. 특히, 외관의 저하의 경우 황변현상이 대표적이다. UV-B 파장에서 성형 온도 증가에 의해 투과율이 감소하는 현상은 고온에 의한 수지의 열화반응의 결과로 성형온도가 증가할수록 도광관의 황변현상이 심해짐을 의미한다. 또한, yellow index와 CIE xy의 결과를 통해 도광관의 위치에 따라 flow end에서 gate 위치로 갈수록 yellow shift가 일어남을 알 수 있다. 분산분석을 통해 yellow index와 315nm의 투과율에 영향을 미치는 인자가 다음을 알 수 있었다.

참고문헌

1) Sin, S. H., A Study on the Material for Slim Light Guide Plate, Master Thesis, Gyeongsang National Univ., pp. 11-12, 2013.

- 2) Lee, L. H., Mechanisms of Thermal Degradation of Phenolic Condensation Polymers. I. Studies on the Thermal Stability of Polycarbonate, J. Polym. Sci. Part A, pp. 2859-2873, 1964.
- 3) Davis, A. and Golden, J. H., Thermal Degradation of Polycarbonate, J. Chem. Soc. B., pp. 45-47, 1968.
- 4) Factor, A., Search for the Sources of Color in Thermally Aged, Weathered and γ -Ray Irradiated Bisphenol A Polycarbonate, Die Angew. Makromol. Chem., pp. 27-43, 1995.