

금형 게이트 크기 변화에 따른 멀티빔 센서용 렌즈 사출성형성 향상에 관한 연구

조성우^{1,2} · 김종선² · 윤경환¹ · 김종덕[#]

An Experimental Study of Injection Molding for Multi-beam Sensing Lens Using The Change of Gate Geometry

S. W. Cho, J. S. Kim, K. H. Yoon, J. D. Kim

(Received October 11, 2010 / Revised January 27, 2011 / Accepted July 11, 2011)

Abstract

Rapidly developing IT technologies in recent years have raised the demands for high-precision optical lenses used for sensors, digital cameras, cell phones and optical storage media. Many techniques are required to manufacturing high-precision optical lenses, including multi-beam sensing lenses investigated in the current study. In the case of injection molding for thick lenses, a shrinkage phenomenon often occurs during the process. This shrinkage is known to be the main reason for the lower optical quality of the lenses. In the present work, a CAE analysis was conducted simultaneously with experiments to understand and minimize this phenomenon. In particular, the sectional area of a gate was varied in order to understand the effects of packing and cooling processes on the final shrinkage pattern. As a result of this study, it was demonstrated that a dramatic reduction of the shrinkage could be obtained by increasing the width of the gate.

Key Words : Injection Molding, Optical Lens, Multi-beam Sensor, Shrinkage, Packing

1. 서 론

최근 국내·외 IT 산업의 급속한 발전으로 인하여 감지 센서, 디지털 카메라, 휴대전화, 고집적 광학 저장장치 등에 사용되는 초정밀 광학 렌즈에 대한 수요가 날로 증가되고 있다. 또한, 최상의 성능구현을 위하여 표면 균일도, 높은 광투과율, 고정밀도, 고생산성에 대한 연구가 활발하다[1].

이와 같은 렌즈는 광학제품의 성능에 직접적인 영향을 미치는 주요 부품으로서, 사용 재질에 따라 유리 렌즈와 플라스틱 렌즈로 구분되는데, 이중 플라스틱 렌즈는 주로 사출성형기법으로 제작되어 생산성이나 가격경쟁력 측면에서는 장점이

있는 반면, 유리 렌즈에 비해 상대적으로 선팽창 계수가 크고 온도에 의한 굴절률의 변화가 크기 때문에 플라스틱 렌즈의 형상정밀도 및 광학적 특성 확보를 위한 정밀성형이 요구되고 있다[2].

광학제품 중의 하나인 멀티빔 감지 센서에 사용되는 플라스틱 렌즈의 경우 측정거리의 장거리화를 위한 고품질의 플라스틱 사출성형 렌즈의 설계기술, 금형 설계 및 가공기술, 정밀 사출성형기술 등이 요구되며, 특히 두께 편차가 큰 렌즈의 경우, 성형과정 중에 발생할 수 있는 싱크마크와 같은 광학적 특성 기능을 저하시키는 불량 현상 방지를 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다[3].

1. 단국대학교 대학원 기계공학과

2. 한국생산기술연구원(KITECH)

교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술센터,

E-mail: jdk@kitech.re.kr

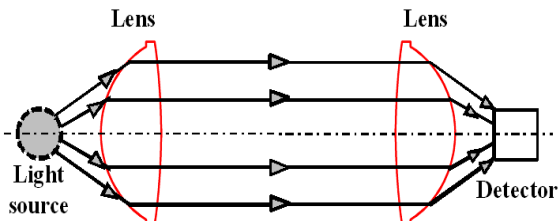


Fig. 1 An operational mechanism of lens using multi-beam sensor

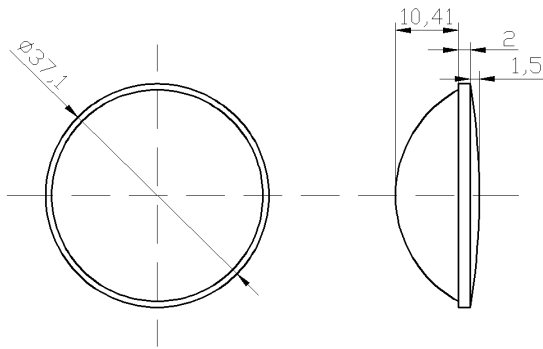


Fig. 2 A geometry of thick-wall lens

일반적으로 싱크 마크는 두께 편차가 큰 성형품에 발생하며, 수지의 밀도가 공정온도로부터 주위온도로 변환 때에 일어나는 본질적인 현상이다. 사출성형공정 동안 전체적인 수축 차이와 제품두께 방향으로의 수축 차이 모두에 의해 내부 응력이 발생되고, 발생된 응력은 성형품의 내구성 및 강도를 저하시키는 요인이 된다[4~5].

따라서 본 연구에서는 게이트의 유동선단 단면적 크기 변화에 따른 게이트 고화시간에 대한 해석과 성형 실험을 통하여 플라스틱 렌즈에 발생하는 수축 현상의 변화를 관찰하였다. 또한, 기존 렌즈의 금형 코어보다 정밀한 형상의 코어 및 변형된 게이트를 가공하였고, 사출 성형시 발생하였던 싱크 마크(sink mark) 현상을 획기적으로 개선하였다.

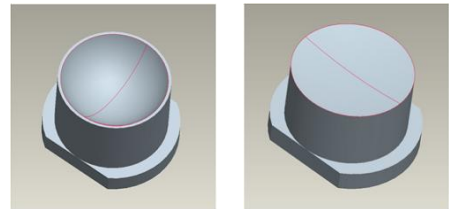
2. 이론적 배경

2.1 렌즈 및 금형 코어

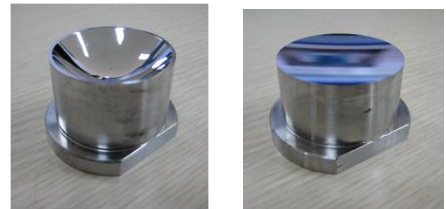
본 실험에 사용한 멀티빔 감지 센서에 사용되는 렌즈는 Fig. 1과 같이 센서의 송신부와 수신부의 광폭을 감소시키기 위하여, 즉 측정거리의 장

Table 1 Value of lens design

Item	Quantity	value	Unit
Radius of lens front surface	R ₁	20.0	mm
Radius of lens back surface	R ₂	112.0	mm
Refractive index of plastic lens	n	1.49	-
Thickness of lens center	d	13.91	mm



(a)



(b)

Fig. 3 3-D model of lens geometry (a) and the pictures of optically polished core (b)

거리화 구현이 가능하기 위하여 구면의 균일도, 초점 및 초점거리의 집중도가 중요하다.

본 연구에서는 Thick-wall 렌즈 성형을 위한 금형의 코어설계를 진행하였다. Fig. 2와 Fig. 3 (a)에 렌즈의 금형 코어설계도와 고속가공을 위한 모델링 형상을 각각 나타내고 있다.

또한, 설계된 렌즈의 초점 및 초점거리의 위치를 계산함으로써 센서의 detector 설치 위치를 예측하였다. 계산 결과 초점거리는 렌즈 후면부로부터 약 35.88mm 떨어진 위치에 생성된다는 것을 알 수 있었다. Thick-wall 렌즈의 effective focal length 식은 (1)과 같으며, 각각의 설계 값은 Table 1에 정리하였다[6~7].

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{(-R_2)} + \frac{(n-1) \times d}{n \times R_1 \times (-R_2)} \right] \quad (1)$$

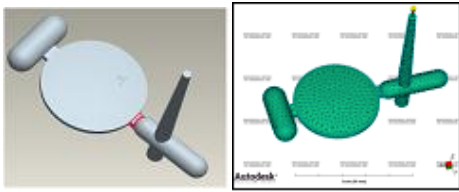


Fig. 4 A shape of simulation model

3. 실험

3.1 금형 코어 가공

본 실험에서 사용하게 될 금형 코어는 설계된 도면과 모델 데이터를 바탕으로 고속 가공 장비를 사용하여 가공하였다. 고속 가공 후 코어 표면에 남은 공구 자국은 성형품 표면에 그대로 나타나 렌즈의 기능을 저하시키는 원인이 된다.

따라서 광학 부품 금형의 특성상 광의 순도 유지와 표면균일도 향상, 광의 투과성을 높이기 위하여 고속가공 후 경면가공을 실시하였다. 가공이 완료된 금형 코어의 형상은 Fig. 3(b)에 나타내었다.

3.2 사출성형 CAE 해석 모델

실제 사출성형 실험에 앞서 사출성형 공정 중 수축을 보상하는데 가장 많은 영향을 줄 것으로 예상되는 보압 적용시간을 정하기 위해 사출성형 CAE를 수행하였다. 사출성형 CAE 프로그램은 Autodesk의 Moldflow Insight 2010-R2를 사용하였고, Fig. 4는 사출성형 해석에 사용된 모델을 나타낸 것이다. 사출성형 시 발생하는 수축현상과 성형 조건과의 관계를 알아보기 위하여 실제 금형과 동일한 형상의 렌즈 및 러너를 모델링 하였다. Mesh 타입은 3D-mesh를 사용하여 성형해석을 수행하였다. 해석 모델에서 전체적으로 사용한 유한요소(element)의 수는 53,791개이며, 절점(node)의 수는 9,928개 이다.

3.3 실험장비

본 실험에서 사용된 수지는 Mitsubishi Rayon의 PMMA(poly methyl methacrylate, grade : TF8)를 사용하였다. PMMA는 비결정성 투명수지로서 내후성, 내화학성, 경도, 외관, 높은 광투과율 등의 우수한 특성으로 광학 관련 제품에 많이 적용되고 있다. PMMA의 유리전이온도는 100℃이고, 굴절률은 1.49, 그 외의 기타 물성들을 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Properties of PMMA (TF8 grade)

Item	Value	Unit
Specific gravity	1.19	g/cm ³
Refractive index	1.49	-
Light transmittance	93	%
Mold shrinkage	0.2-0.6	%



Fig. 5 Injection molding machine(model : LGE 110D)

Table 3 Process conditions for injection molding

Factor	Condition	Unit
Melt temp.	260	℃
Mold temp.	70	℃
Injection speed	6.9	mm/s
Injection time	6.0	sec
Cooling time	300	sec
Packing pressure	1,150	kgf/cm ²
Packing time	5, 10, 15, 20, 25	sec

실험에 사용된 사출성형 장비로는 Fig. 5의 형체력(clamping force) 110ton, 최대 사출압력은 2,600 kgf/cm², 최대 사출속도 350mm/s 인 LS 앰트론의 LGE 110D 모델을 사용하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 1차 사출성형 및 결과

위의 Table 3와 같은 사출성형 조건으로 1차 성형실험을 수행하였다. 1차 성형 실험을 수행한 후 성형된 렌즈는 Fig. 6에 나타나 있으며, 성형품을 평가하기 위하여 형상 측정을 하였다. 성형된 렌즈의 형상측정을 위하여 Sheffield의 3차원 접촉식 형상측정 장비로 ±0.003mm의 정밀도를 가



Fig. 6 A sink mark phenomenon shown on the upper surface of injection molded lens

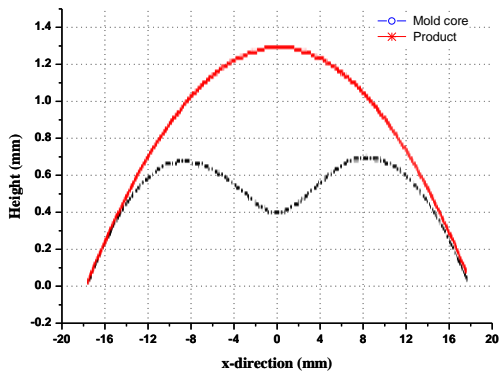


Fig. 7 Geometric comparison of mold core and product

지는 RS-50 모델을 사용하였다. 형상측정 결과 Fig. 7에 나타난 바와 같이 렌즈의 후면 중앙부분에 커다란 수축부가 발생하였다. 특히, 중앙부에서의 수축현상이 가장 심하게 발생하였고, 금형코어와 렌즈의 최대 높이 차이는 약 1.018mm로 두께 방향으로 선수축률로 계산하면 약 7.3%에 이른다. 이러한 현상은 두께가 두꺼운 성형품의 사출성형 시 발생하는 싱크마크로 분류되는 현상이다. 이와 같은 수축 현상을 방지하기 위하여 보압 적용 시간을 증가시키는 방법을 적용하였지만 15초 이상부터는 수축 정도가 개선되지 않았다. 이것은 사출공정이 시작된 후 15초 이후에는 게이트가 유리전이 온도 이하로 고화되었기 때문에 성형품 내에 보압의 영향이 미치지 못한 것이라 분석된다.

4.2 게이트 폭 변화에 따른 사출 CAE해석
1 차 성형실험 및 형상측정 결과 게이트의 유동선단 단면적이 성형품의 크기에 비하여 상대적으로 작았기 때문에 빠른 고화시간으로 인하여 보압의 영향을 성형품에 충분히 전달시켜주지 못한 것으로 분석되었다. 따라서, 기존 금형의 게이트

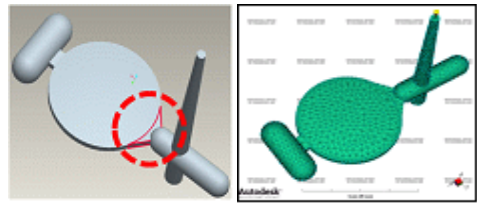


Fig. 8 A shape of model with modified gate

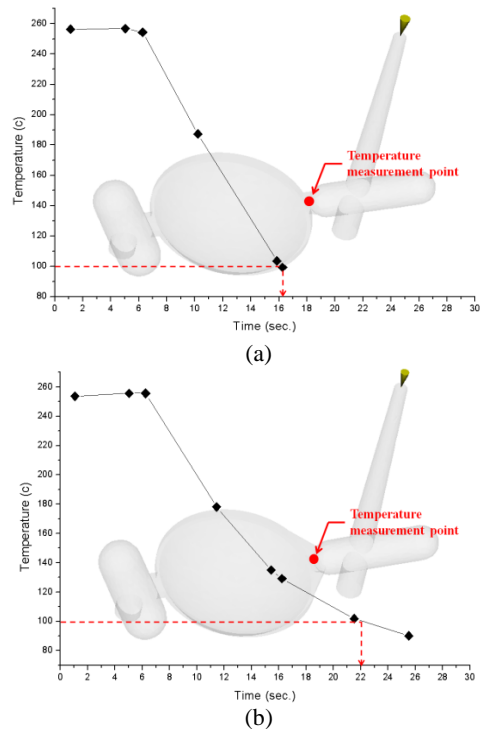


Fig. 9 The comparison of simulation results for gate sealing time; (a) original model (b) modified model

형상은 폭이 5mm로 일정한 형상이었으나, Fig. 8과 같이 폭을 최대 20mm 까지 확장시킨 팬 게이트 형상의 모델을 적용하여 사출성형 CAE 해석을 수행하였다. 게이트의 폭을 확장함으로써 기존의 게이트 유동선단이 단면적 10mm²로 일정하였으나, 수정안에서는 렌즈와의 접촉면에 25mm²의 단면적을 갖는 게이트 형상을 모델링하여 CAE 해석에 적용하였다. 확장된 게이트 형상의 모델과 폭이 일정한 기존의 모델 CAE 해석 결과를 비교함으로써 성형품의 게이트 단면적 증가의 효과를 예측할 수 있었다.

사출성형 해석 결과 Fig. 9 에 보이는 바와 같이 기존의 일정한 게이트 단면적을 가지는 모델의 경우 약 16 초 후에 게이트 폭의 중심에서의 온도가 유리전이 온도 이하로 냉각되는 것으로 나타났으나, 확장된 게이트의 형상을 가지는 모델의 경우 사출성형 공정이 시작된 후 약 22 초 후에 게이트 폭의 중심에서의 온도가 유리전이 온도 이하로 되는 것으로 나타났다. 이것은 CAE 해석 과정 중 게이트의 중심 부분이 유리 전이 온도 또는 no flow temperature 이하로 되면 수지가 게이트를 통하여 더 이상 보압의 효과를 줄 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 결과는 1 차 성형 실험보다 보압 적용 시간을 약 6 초 정도 더 확보 가능할 것이라고 예측할 수 있었으며, 그에 수축에 의한 보상으로 보압을 적용시킬 수 있는 시간이 증가하여 수축 및 싱크 마크 현상을 방지할 수 있다는 결론을 얻었다.

4.3 2차 사출성형 및 결과

사출성형 CAE 해석 결과를 바탕으로 게이트 형상을 확장 가공한 금형을 사용하여 Table 4과 같은 성형공정으로 2차 사출성형을 시행한 결과 Fig. 10에 보이는 바와 같이 렌즈 후면부 중앙에 발생하던 싱크마크를 제거할 수 있었다. 성형된 렌즈와 금형 코어의 형상측정 비교 그래프는 Fig. 11에 나타난 바와 같이 두 형상 데이터가 일치하였다. 금형 코어와 렌즈의 최대 높이 차는 0.09mm 이하로 측정되었으며, 이것은 수지 자체의 수축률 범위 내에 들어가는 값으로 렌즈의 가공 공차 범위 내로 성형할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 멀티빔 센서용 렌즈와 같이 두께 편차가 큰 사출성형품의 성형에 있어 싱크마크를 방지하기 위한 금형 제작 및 성형에 관한 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 두께 편차가 큰 제품의 경우 두께가 두꺼운 부분의 수축을 보상하기 위하여 보압 과정 시 추가로 유입되어야 하는 수지의 양을 확보하기 위하여 충분한 보압 시간이 필요하였다.

(2) 충분한 보압 시간을 확보하기 위하여 사출성형품 중 가장 두께가 작은 게이트 부분의 단면적을 증가시킴으로써 게이트의 빠른 고화를 지연

Table 4 Process conditions for injection molding

Factor	Condition	Unit
Melt temp.	260	℃
Mold temp.	70	℃
Injection speed	6.9	mm/s
Injection time	6.0	sec
Cooling time	300	sec
Packing pressure	1150	kgf/cm ²
Packing time	20	sec

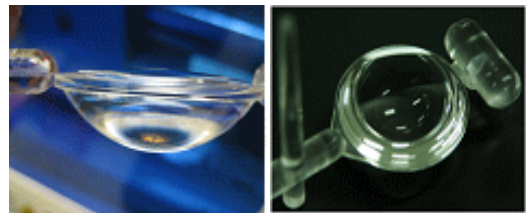


Fig.10 Injection molded lens by modified gate design (gate width was changed; 5 mm→10 mm)

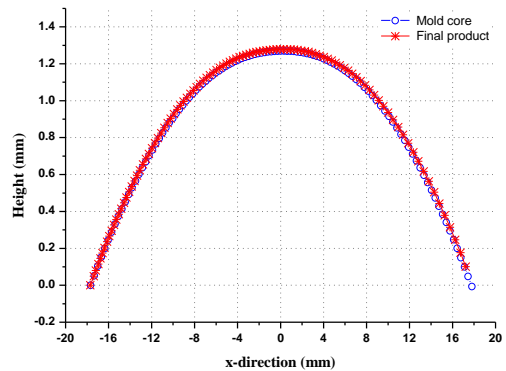


Fig.11 Comparisons of cross-sectional profiles of the center region

시켜 충분한 보압 시간을 확보하였다.

(3) 충분한 보압 공정은 본 실험에서 사용한 두께 편차가 큰 렌즈의 성형 시 발생하는 수축현상을 방지할 수 있음을 실험적으로 검증하였다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원의 생산기술연구사업(과제명: LED 면광원을 이용한 냉장고용 조명장치 개발용 금형 기술 개발(Project No. 09-UE-1-

0009))의 지원으로 수행한 결과로서, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] D. K. Lee, H. S. Lee, S. S. Kim, H. J. Kim, J. H. Kim, 2008. 5, A Study on Shrinkage Compensation of Glass Mold Press for Aspheric Glass Lens, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., pp. 304~308.
- [2] T. S. Kwak, Hitodhi Ohmori, W. B. Bae, 2004. 2, A study on searching method of molding condition to control the thickness reduction of optical lens in plastic injection molding process, Kor. Soc. Precis. Eng., pp. 27~34.
- [3] H. P. Park, B. S. Cha, J. D. Kim, B. G. Seong, B. O. Rhee, 2007. 3, Rapid Tooling Production of Thick-wall Plastic Lens, Kor. Soc. Precis. Eng., pp. 725~726.
- [4] T. W. Kwon, S. J. Park, K. H. Yoon, S. B. Lee, Y. D. Jung, 2004, Moldflow design guide, Munundang, pp. 138~140.
- [5] Y. S. Yu, J. H. Yoon, J. G. Lee, 2008, Injection molding, Kijeonsa, pp. 404~406.
- [6] Eugene Hecht, 2002, Optics, Addison-Wesley, pp. 299~301.
- [7] S. Jang, J. H. Jo, Introduction to classical and modern optics, Daewoong, pp. 46~52.
- [8] Y. D. Jeong, 2008. 2, Injection molding CAE, Intervision, pp. 202~204.