

## 사출압축성형을 적용한 고해상도 폰 카메라용 플라스틱 렌즈 개발

이호상<sup>\*†</sup> · 전원택<sup>\*\*</sup> · 김성우<sup>\*\*</sup>

\* 한국교통대학교 항공기계설계학과, \*\* (주)엔투에이

### Development of Plastic Lenses for High-Resolution Phone Camera by Injection-Compression Molding

Ho Sang Lee<sup>\*†</sup>, Won Taek Jeon<sup>\*\*</sup> and Sung Woo Kim<sup>\*\*</sup>

\* Dept. of Aeronautical & Mechanical Design Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation,  
\*\* N2A Co., Ltd.

(Received July 19, 2012 ; Revised August 22, 2012 ; Accepted August 27, 2012)

**Key Words:** Lens(렌즈), Weldline(웰드라인), Phase Difference(위상차), Birefringence(복굴절), Injection Molding(사출성형), Injection-Compression Molding(사출압축성형), Mold(금형)

**초록:** 본 논문의 목적은 사출압축성형을 적용하여 13 메가 픽셀을 갖는 휴대폰 카메라용 플라스틱 비구면 렌즈를 개발하는데 있다. 사출압축성형 실험을 위하여 이동 가능한 상부 형판과 4 개의 스프링을 사용하여 금형이 제작되었다. 두께비 2 를 갖는 비구면 렌즈를 대상으로 캐비티 충전 실험을 수행한 결과, 일반 사출성형에서는 웰드라인이 발생하였으나, 0.3mm 의 압축스트로크가 적용된 사출압축성형에서는 웰드라인이 발생하지 않았다. 또한 미성형 실험을 통하여 얻은 충전패턴은 해석결과와 잘 일치하였다. 복굴절은 압축스트로크가 증가함에 따라 감소하였으며, 사출압축성형에서 발생한 복굴절은 일반 사출성형에 의한 값에 비하여 매우 낮고 균일한 분포를 나타냈다. 그리고 4 장의 플라스틱 렌즈로 구성된 조립체의 평균 복굴절은 장착되는 렌즈의 방향에 의하여 크게 영향을 받았다.

**Abstract:** This study aims to develop a plastic aspheric lens for a 13-megapixel mobile phone camera by injection-compression molding. A mold for injection-compression molding experiments was fabricated with a movable upper plate and four springs. During cavity filling for an aspheric lens with a thickness ratio of 2, a weldline was formed under conventional injection molding, whereas no weldline was formed under injection-compression molding with a compression stroke of 0.3 mm. The flow patterns were in good agreement with the simulation results. The birefringence decreased as the compression stroke increased, and the birefringence produced by injection-compression molding was very low and more uniform compared with that produced by injection molding. In addition, the bulk birefringence of an assembly composed of four plastic lenses was significantly affected by the orientation of the lenses to be mounted.

## 1. 서 론

최근 스마트 폰 시장이 크게 성장함에 따라 다양하고 차별화된 기능을 구현하고, 원가 절감을 통해 가격 경쟁력을 확보하기 위한 기술개발 경쟁이 치열해지고 있다. 특히, 증강현실, 지문인식, 명함인식 등 다양한 기능을 스마트 폰에서 구현하는 추세에 있기 때문에 폰 카메라 렌즈모듈의 하드웨어 성능 향상이 매우 중요해지고 있다. 아울러 무

선 인터넷을 기반으로 하는 스마트 폰이 디지털 카메라를 대체하는 수요가 증가하면서 더욱 고화질의 사진이 요구하고 있다. 머지않아 폰 카메라 렌즈의 화소수는 8 메가를 넘어 10 메가 이상의 고해상도를 갖는 카메라 시장이 형성될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 13 메가 화소를 갖는 스마트 폰 카메라용 광학모듈을 연구대상으로 설정하고, 중량을 최소화하면서 가격 경쟁력을 높이기 위하여 플라스틱 소재로만 구성된 비구면 렌즈 및 금형을 개발하고자 하였다. 크기가 매우 작으면서 10 메가 이상의 고해상도를 구현하기 위한 카메라용 렌즈는 중심부와 외주부 사이의 두께 차이가 매우 클

† Corresponding Author, [lhs@ut.ac.kr](mailto:lhs@ut.ac.kr)

수 밖에 없다. 이로 인하여 사출성형에 의한 웰드 라인이 심하게 발생하고, 수축차이에 의한 형상오차 발생, 그리고 분자배향에 따른 복굴절이 광학 성능을 저하시키는 문제 등 해결하여야 할 많은 기술적인 과제를 안고 있다.

그동안 사출성형 공정에서 주로 발생하는 불균일한 수축, 잔류응력, 복굴절 등의 문제를 해결하기 위하여 사출압축성형 공법이 널리 사용되어 왔다. 금형을 담은 상태에서 사출성형하는 기존 방식과 달리, 사출압축성형은 금형을 일정 거리만큼 개방한 상태에서 용융된 수지를 사출한 후, 개방된 금형을 닫으면서 수지를 압축 성형하는 공법이다. 성형 후반부터 게이트에서 작용하는 사출압력이 아닌 금형이 닫히면서 발생하는 성형품 전체 면적에 균일하게 분산된 압축력에 의해 성형이 이루어지므로 일반적인 사출성형방식에 비하여 성형압력을 크게 감소시킬 수 있는 장점이 있다.<sup>(1)</sup> 특히 잔류응력, 복굴절 등을 크게 줄일 수 있기 때문에 LCD 도광판, 렌즈 등 광학부품 성형에 매우 효과적인 첨단 성형공법으로 알려져 있다.

Klepek<sup>(2)</sup>는 두꺼운 광학 렌즈를 성형하기 위하여 사출압축성형을 사용하였으며, Yang 등<sup>(3)</sup>은 사출압축성형에 의한 디스크의 품질 특성을 실험적으로 연구하였다. Michaeli 와 Wielpuetz<sup>(4)</sup>는 사출압축성형 공정에서 광 특성에 영향을 주는 주요 공정 변수에 관하여 연구하였다.

Michaeli 등<sup>(5)</sup>은 두께가 두꺼운 렌즈에 사출압축성형을 적용하여, 일반 사출성형에 비하여 수차를 1/3 로 감소시켰으며, 변조전달함수(Modulation transfer function) 값을 높일 수 있음을 확인하였다. 그리고 Wu 와 Chen<sup>(6)</sup>은 DVD 픽업용 회절광학소자(Diffractive optical elements) 렌즈에 사출압축성형을 적용하였으며, 일반 사출성형에 비하여 회절격자의 전사성을 향상시키고, 격자 각도의 정밀도를 높였으며, 휨 변형을 크게 감소시킬 수 있음을 보고하였다.

뿐만 아니라 사출압축성형 공정에 관한 수치해석을 위하여 많은 연구가 진행되었다. Isayev 와 Azari<sup>(7)</sup>는 비선형 점탄성 구성방정식을 사용하여 압착유동에 대한 이론적, 실험적 연구를 수행하였다. Lee 등<sup>(8,9)</sup>은 축대칭 형상의 사출압축성형에 대한 점탄성 수치해석을 수행하기 위하여 두께면 좌표계에 기초한 유한차분법을 사용하였다. 또한 Chen 등<sup>(10-12)</sup>도 사출압축성형에 대한 점탄성 수치해석을 수행하고 거시적으로 게이트에서의 거리에 따른 평균 복굴절을 관찰하였다. Fan 등<sup>(13)</sup>은 압축

성 점성모델을 사용하여 CD-R 에 대한 사출압축성형 해석을 위한 프로그램을 개발하였으며, 노즐 압력과 금형 변형에 대한 실험결과와 비교하였다. Lee 와 Isayev<sup>(14)</sup>는 사출압축성형 공정에 대하여 점탄성을 고려한 유한요소해석 프로그램을 개발하였으며, 사출압축성형이 일반 사출성형에 비하여 복굴절을 크게 낮출 수 있음을 보고하였다. 최근에 Ho 등<sup>(15)</sup>은 사출압축성형 공정에 대하여 유한요소법을 사용한 3 차원 수치해석 프로그램을 개발하였으며, 볼록렌즈에 적용하여 일반 사출성형에 비하여 전단속도와 전단응력을 감소시킬 수 있음을 발표하였다.

그동안 사출압축성형에 대한 연구는 디스크 형상 또는 두께 차이가 작은 광학렌즈를 적용 대상으로 하였으며, 아울러 복굴절, 잔류응력, 휨 변형 등에 대하여 고찰하였다. 그리고 복굴절에 대한 연구는 단일 렌즈를 대상으로 하였으며, 여러 장의 렌즈를 조립한 광학모듈 전체의 복굴절에 대하여 연구한 결과는 아직 보고된 바 없다.

본 논문에서는 13 메가 화소를 갖는 폰 카메라용 비구면 렌즈를 개발하기 위하여 사출압축성형 공법을 적용한 금형 및 성형조건에 대하여 연구하였다. 특히, 지름이 5.6mm 인 소형이면서 중심부와 외주부의 두께 차이가 2 배인 렌즈를 대상으로 하였으며, 사출압축성형을 적용하여 웰드라인 문제를 해결하고자 하였다. 또한 사출압축성형 공정조건이 렌즈의 복굴절에 미치는 영향, 그리고 렌즈를 조립하는 방법이 전체 복굴절에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

## 2. 렌즈설계

폰 카메라의 경우 광학모듈의 고정도화, 소형화, 경량화, 저가격화 등을 구현하기 위하여 비구면 렌즈의 사용이 필수적이다. 비구면 렌즈는 구면 렌즈에서 발생하는 수차를 감소시켜 정도를 향상시키며, 경량화를 실현할 수 있도록 한다.

비구면 렌즈의 형상은 반경( $r$ )에 관한 함수로 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$z(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + ar^4 + br^6 + cr^8 + \dots \quad (1)$$

여기서  $c$  는 정점의 곡률(Vertex radius),  $k$  는 원추상수(Conic constant), 그리고  $a, b, c$  는 각 항의 비구면 계수를 나타낸다.

본 논문에서는 기하광학에 기반을 둔 광선추적(Ray tracing)기법을 적용하였으며, 광학설계 소프트웨어인 Code V 를 활용하였다. 렌즈의 형상 및 재질, 입사되는 광의 특성에 따른 빛의 결상 특성을 예측하여 설계된 광학계의 수차(Aberration), 변조전달함수 등을 평가하고, 이를 최적화할 수 있도록 4 장의 플라스틱 렌즈 형상을 설계하였다. 13 메가 폰 카메라에 적용하기 위하여 설계한 렌즈 설계의 유효 초점거리는 4.2mm 이며, 마지막 렌즈의 중심에서 센서까지의 거리에 해당하는 후 초점거리(Back focal length)는 1.51mm 이다. 그리고 색수차는 1.74 $\mu$ m, 조리개의 중심을 지난 광선이 마지막 렌즈를 통과하여 센서로 입사될 때의 각도인 주광선입사각(Chief ray angle)은 30.89°, 중심대비 주변의 광량인 상대조도(Relative illumination)는 44.3%로 설계하였다.

물체측으로부터 이미지측의 순서대로 조리개(St), 제 1 렌즈(L1), 제 2 렌즈(L2), 제 3 렌즈(L3), 제 4 렌즈(L4)가 위치하며, 제 4 렌즈(L4)와 이미지면(Si) 사이에는 필터가 조립된다. 렌즈모듈의 소형화 및 고화소화를 구현하기 위하여는 광선이 제 3 렌즈를 통과할 때 중심과 주변의 상면만곡(Curvature of image field)의 값이 매우 커지게 되며, 이를 보정하기 위하여 제 4 렌즈(L4)의 중심두께를 매우 얇게 설계하여야 한다. 그러나 중심부와 외주부의 두께차이가 매우 큰 L4 렌즈에 대한 사출성형은 웰드라인 발생, 심한 수축차이에 의한 형상오차 등 해결하여야 할 많은 기술적인 문제를 안고 있다. 따라서 본 논문에서는 L4 렌즈를 성형하기 위한 사출압축금형 개발 및 성형조건 도출에 중점을 두었다.

Fig. 1 은 4 장의 비구면 렌즈 중 L4 렌즈에 대한 설계도를 나타내고 있으며, Table 1 은 식(1)에서 정의된 비구면 계수를 나타낸다. 입사면과 출사면이 모두 오목한 형상을 갖고 있으며, 입사면에서의 곡률반경은 -5.7648mm 이고, 출사면에서의 곡률반경은 1.34473mm 이다. 특히, 중심부 두께는 0.28mm, 외주부 두께는 0.568mm 로서, 위에서 언급한 바와 같이 중심부 두께가 매우 얇고, 외주부와의 두께 차이가 매우 크음을 알 수 있다.

### 3. 성형해석

#### 3.1 사출성형 해석

Fig. 2 에서 도시된 바와 같이 L4 렌즈에 대한 주입기구를 설계하였다. 사출성형 해석을 수행하기 위하여 Moldex3d 를 활용하였으며, 렌즈소재로

서 COP 계열 Arton F4520 을 사용하였다. 사출온도 290℃, 금형온도 130℃를 적용하였으며, 사출시간 0.1 초인 경우에 대하여 사출성형해석을 수행하였다.

Table 1 Design parameters of an aspheric lens (L4)

	Aspheric S1	Aspheric S2
r	-5.76480	1.34473
c	1/r	1/r
k	-105.200545	-8.754038
a	$-0.667918 \times 10^{-1}$	$-0.523661 \times 10^{-1}$
b	$0.114374 \times 10^{-1}$	$0.122421 \times 10^{-1}$
c	$0.267976 \times 10^{-3}$	$-0.236059 \times 10^{-2}$
d	$-0.140132 \times 10^{-3}$	$0.143768 \times 10^{-3}$
e	$-0.221195 \times 10^{-4}$	$0.106395 \times 10^{-4}$
f	$0.430396 \times 10^{-5}$	$-0.159157 \times 10^{-5}$

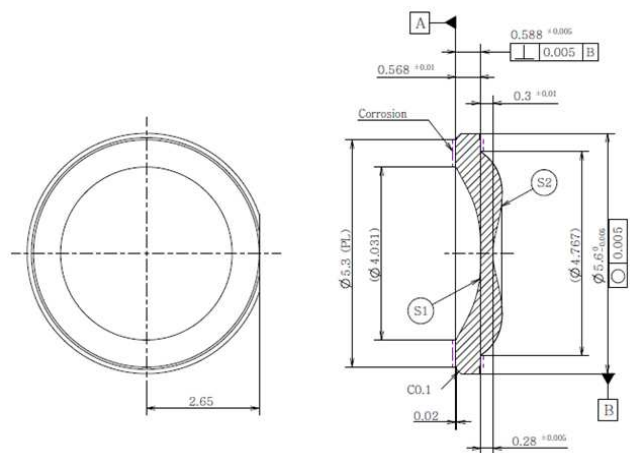


Fig. 1 L4 lens drawing

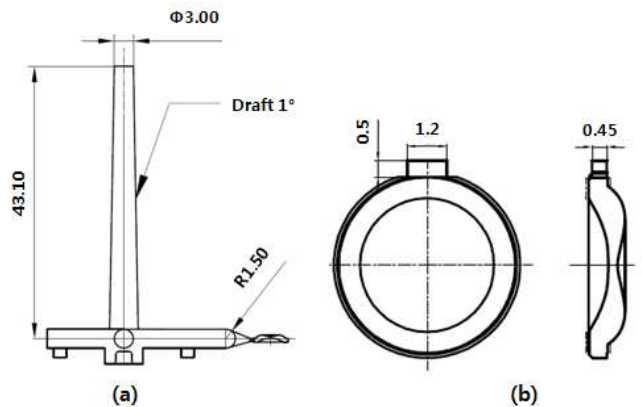


Fig. 2 Schematics of delivery system: (a) sprue and runner, (b) gate

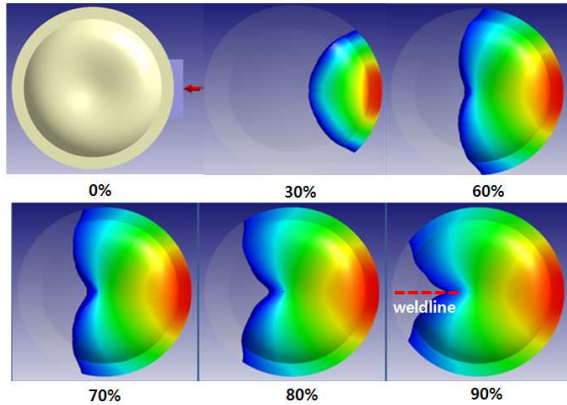


Fig. 3 Predicted melt-front shapes under conventional injection molding

Fig. 3 은 일반 사출성형에 대하여 예측한 수치 충전량에 따른 유동선단 형상을 나타낸 것이다. 중심부의 두께가 얇기 때문에 수지가 제대로 진전하지 못하고 있으며, 반면에 두께가 큰 외주부에서 수지가 빠르게 진행하여 레이스 트랙킹(Race tracking) 현상이 발생하며, 최종적으로 외주부에서 중앙부로의 수치 유동에 의하여 웰드라인이 심하게 발생하고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 사출압축성형 해석

L4 렌즈의 사출성형에서 발생할 것으로 예측되는 웰드라인을 해결하기 위한 방안으로 사출압축성형에 대한 유동해석을 수행하였다. 압축시간을 0.1 초로 설정하였으며, 압축 스트로크는 0.3mm 와 0.1mm 인 각각의 경우에 대하여 유동패턴을 비교하였다.

Fig. 4 와 Fig. 5 는 각각 압축스트로크 0.3mm 및 0.1mm 인 경우에 대하여 예측한 유동 선단 형상을 각각 나타낸다. Fig. 4 를 통하여 기존 사출성형에서의 유동패턴과 달리 중심부에서의 수치 유동 속도가 상대적으로 빠르게 진행되고 있음을 볼 수 있다. 이는 금형을 0.3mm 개방한 상태에서 용융된 수지를 주입하기 때문에 두께가 얇은 중심부에서 수지의 유동성이 크게 향상되었기 때문이다. 결과적으로 사출압축성형을 적용할 경우 기존 사출성형에서 발생하게 되는 레이스 트랙킹 현상이 발생하지 않으며, 웰드라인 불량을 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 압축스트로크가 0.1mm 로 작을 경우에는 Fig. 5 에서 보는 바와 같이 중심부에서 수치 정체현상이 나타나며, 약간의 웰드라인이 발생할 것으로 예측된다.

## 4. 사출압축 금형설계 및 코어가공

중심부와 외주부의 두께 차이가 매우 큰 L4 렌

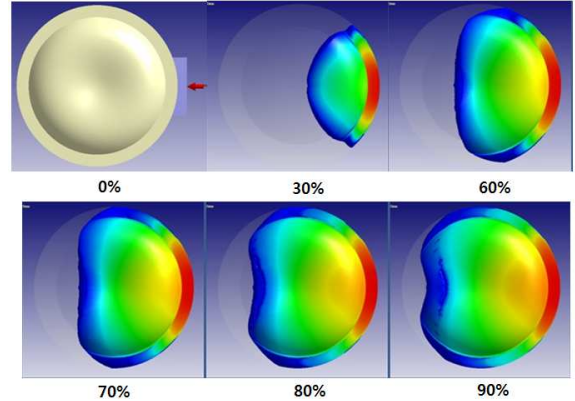


Fig. 4 Predicted melt-front shapes under injection-compression molding with compression stroke of 0.3mm

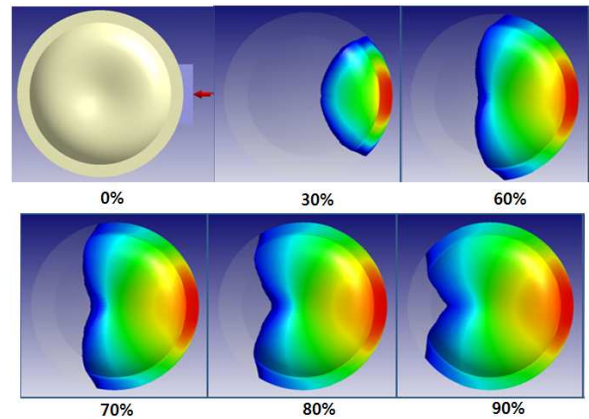


Fig. 5 Predicted melt-front shapes under injection-compression molding with compression stroke of 0.1mm

즈에서 웰드라인을 방지하기 위하여, 사출압축성형 해석결과를 기초로 Fig. 6 에서 보여진 바와 같이 사출압축금형을 설계하였다. 금형을 미세하게 개방한 상태에서 사출하기 위하여 4 개의 스프링에 의해 상측에 배치된 캐비티관이 몰드베이스 파팅면에 비해 최대 0.4mm 까지 돌출 가능하도록 설계하였다. 이때 몰드베이스 취부관에 고정되어 있는 상부의 렌즈 코어 핀이 Fig. 6 의 상세도 A 에서 점선으로 표시된 위치로 이동하게 되어 압축 스트로크에 해당하는 거리를 확보할 수 있도록 하였다. 한편, 사출이 완료된 이후 압축단계에서는 금형이 닫히면서 하부 코어핀의 미는 힘에 의해 상부 캐비티관이 가이드핀을 따라 이동하게 되고, 결국 상부의 렌즈 코어핀이 수지를 압축할 수 있도록 설계하였다.

렌즈 코어가공을 위하여 입방정질화붕소(Cubic boron nitride) 공구를 사용한 형상 기초가공을 한 후, 도금 공정을 통해 형성된 도금층 위에 초정밀



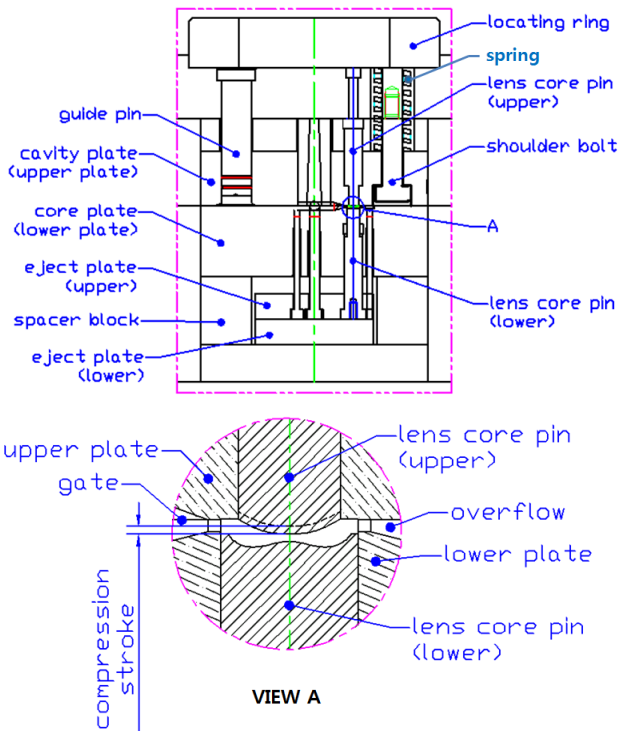


Fig. 6 Schematics showing the mold for L4 lens used for injection-compression molding experiments

가공을 수행하였다. 초정밀가공기(Diamond turning machine)는 Precitech 사의 Nanoform-250 을 활용하였다. 가공에 사용한 공구반경은 R0.1 이며, 스핀들 회전속도 1,700rpm, 절입량 3  $\mu\text{m}$  의 가공조건을 적용하였다. 별도의 후처리 공정 없이 가공기에서 선삭가공으로 경면을 구현하였으며, 표면조도측정기로서 Form Taly Surf PGI840 을 활용하여 코어의 가공정밀도를 측정된 결과 형상정밀도 0.23 $\mu\text{m}$ , 표면조도 20.2nm 를 확인하였다.

## 5. 실험 및 결과

### 5.1 유동패턴

FANUC 50 톤 전동식 사출기를 사용하여 사출성형 및 사출압축성형 실험을 수행하였으며, 이때 노즐온도 295 $^{\circ}\text{C}$ , 금형온도 123 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다.

사출성형조건으로서 사출시간 0.55 초, 보압 40MPa, 보압유지시간 3 초, 그리고 냉각시간을 포함한 사이클시간은 42 초를 적용하였다.

Fig. 7 은 사출성형에서 미성형 실험에 의하여 얻은 수지의 유동패턴을 나타내고 있으며, 사출성형 해석결과 인 Fig. 3 과 매우 유사한 경향을 보이고 있다. 해석결과에서 살펴본 바와 같이 두께가 매우 얇은 중앙부에서 수지가 제대로 진전하지 못하고 있으며, 반면에 외주부는 두께가 크기

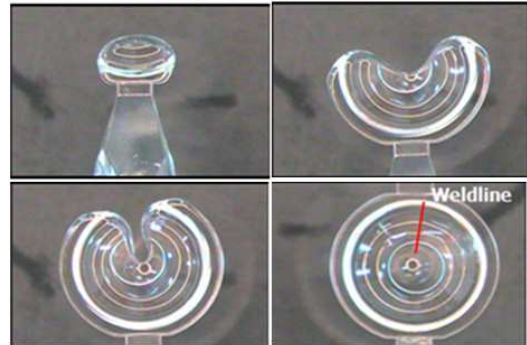


Fig. 7 Flow patterns obtained by short-shot test in conventional injection molding

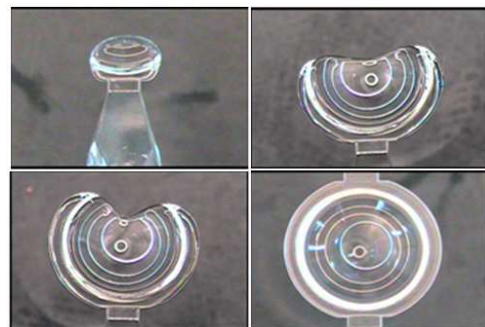


Fig. 8 Flow patterns obtained by short-shot test in injection-compression molding with compression stroke of 0.3mm

때문에 수지가 빠른 속도로 진전하여 레이스 트랙킹 현상이 나타나고, 이로 인하여 웰드라인이 심하게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

사출압축성형을 위하여 압축스트로크에 해당하는 거리만큼 금형을 개방한 상태에서 20mm/sec의 사출속도로 캐비티 전체 체적의 95%만큼 수지를 주입하였다. 이후 형폐 압축으로 전환하여 압축유동과 함께 나머지 수지는 Fig. 6의 상세도 A에서 도시된 오버플로우 영역으로 주입되도록 하였다. 이때 압축전환에 소요되는 응답시간을 고려하고, 사출시작 이후 압축전환시간을 0.5 초로 설정하였다. 또한 압축단계에서 수지의 역류를 방지하기 위하여 사출성형과 동일한 보압조건을 적용하였다.

Fig. 8은 압축스트로크 0.3mm, 형폐속도 470mm/sec 조건에서 사출압축성형을 적용한 수지 유동패턴을 나타낸 것이다. 사출압축해석결과인 Fig. 4와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 금형을 개방한 상태에서 수지를 주입하여 중심부 수지 유동이 빠르게 진행되기 때문에 웰드라인이 전혀 발생하지 않음을 알 수 있다.

### 5.2 복굴절에 의한 위상차

플라스틱 렌즈의 단점은 굴절율이 방향에 따라 서로 다른 복굴절이 존재하는 것이며, 일반적으로

수지 유동과정에서 발생하는 복굴절과 냉각과정에서 발생하는 열에 의한 복굴절의 합으로 나타나고, 광학성을 저하시키게 된다. 복굴절을 갖는 물질에 편광을 입사시키면 복굴절로 인하여 빠져나오는 빛의 편광 상태가 변하게 되며, Fig. 9 와 같이 수직광선과 수평광선의 물질 통과 전후를 비교하여 위상차를 측정하게 된다. 복굴절( $\Delta n$ )은 주응력 방향으로의 굴절률 차이( $n_1 - n_2$ )로 정의되며, 식 (2)와 같이 위상차( $\delta$ )와 두께( $d$ )로 표현할 수 있다.<sup>(16,17)</sup>

$$\Delta n = n_1 - n_2 = \delta / d \quad (2)$$

본 논문에서는 사출압축성형에서 압축스트로크가 렌즈의 복굴절에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. Photonic Lattice 사 에서 상용화한 WPA-100 을 사용하였으며, 성형된 렌즈의 전체면에 대하여 복굴절에 의한 위상차를 측정하였다. Fig. 10 은 형폐속도를 30mm/s 조건으로 고정한 상태에서 압축스트로크 변화에 따른 복굴절에 의한 렌즈의 위상차를 측정한 결과이다. 압축스트로크가 0.28mm 에서 0.32mm 까지 증가함에 따라 유효경 안에서의 평균 위상차는 139.3nm 에서 128.7nm 까지 지속적으로 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는 압축스트로크가 증가할수록 수지를 사출하는 단계에서 압력과 전단응력을 감소시키고, 이로 인하여 유동에 의한 복굴절이 감소하였기 때문으로 판단 된다.

한편, 압축스트로크를 0.32mm 이상으로 증가시켰을 경우에는 게이트 근처에서 플로우마크가 발생하였으며, 반면에 압축스트로크 를 0.28mm 이하로 설정한 경우에는 웰드라인이 발생하기 시작함을 확인할 수 있었다.

Fig. 11 은 압축스트로크 0.3mm, 형폐속도 470mm/s 를 적용한 사출압축성형과 일반 사출성형에 의한 렌즈의 위상차 측정 결과를 비교한 것이다. 사출성형에 의한 렌즈의 평균 위상차는 179.6nm 이며, 매우 불균일한 분포를 나타내고 있으나, 사출압축성형을 적용한 경우에는 위상차 크기가 125.2nm 로 크게 감소하고 있으며, 위치별 위상차 차이가 비교적 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 특히, 위상차 최대값을 기준으로 비교하면, 사출성형의 경우 게이트 부근에서 2,073nm 의 매우 큰 위상차가 발생하고 있으나, 사출압축성형에서는 580.1nm 로 크게 작아짐을 볼 수 있다.

4 장의 플라스틱 렌즈를 경통에 조립할 때 각각의 렌즈방향이 전체 복굴절에 미치는 영향에 대

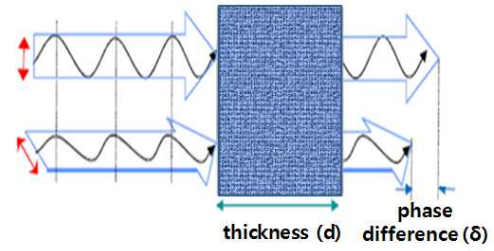


Fig. 9 Phase difference of two linear polarized light waves passing through sample

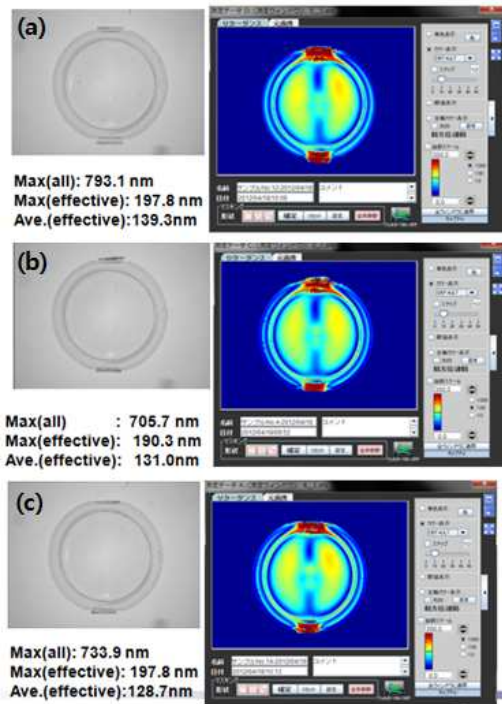


Fig. 10 Phase difference of L4 lens molded by injection-compression molding: compression stroke of (a) 0.28mm, (b) 0.3mm, and (c) 0.32mm

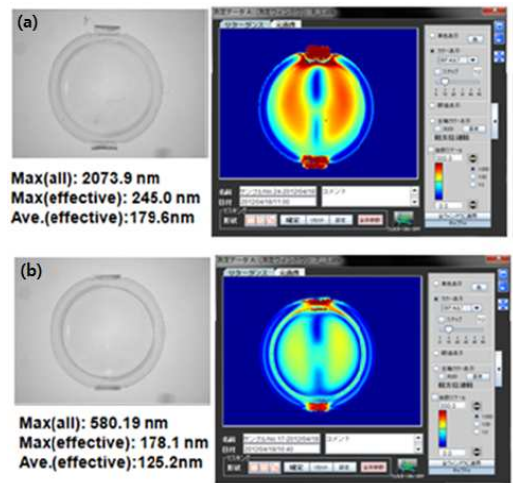


Fig. 11 Comparisons of phase difference between conventional injection molding and injection-compression molding: (a) conventional injection molding, (b) injection-compression molding

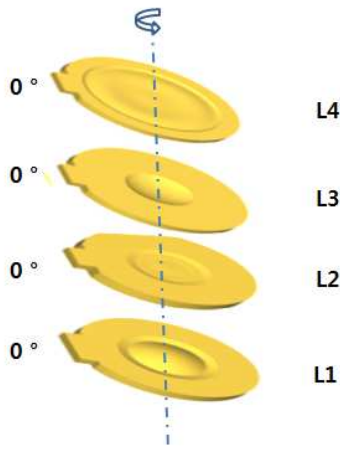


Fig. 12 Assembly of plastic lenses with an orientation of 0°-0°-0°-0°

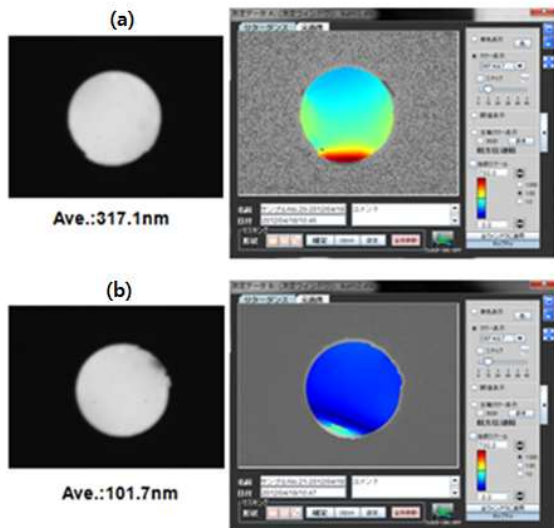


Fig. 13 Total phase difference under various assembly orientations of plastic lenses: L1-L2-L3-L4 of (a) 0°-0°-0°-0°, (b) 0°-90°-180°-270°

하여 고찰하였다. Fig. 12 와 같이 L1~L4 까지의 렌즈 방향을 각각 0°- 0°- 0°- 0°로 조립하는 경우와 0°- 90°- 180°- 270°로 조립하는 경우에 대하여 각각 복굴절에 의한 전체 위상차를 측정하였다.

Fig. 13 은 2 가지 종류의 렌즈 조립 방향에 대하여 전체 위상차를 측정한 결과를 나타낸다. L1~L4 까지의 렌즈 방향을 각각 0°-0°-0°-0°로 조립하는 경우의 전체 위상차는 317.1nm 이며, 각각 0°-90°-180°-270°로 조립하는 경우에는 101.7nm 로 전체 위상차가 크게 감소하였다. 이를 통하여 렌즈를 경통에 조립할 때 게이트 방향이 서로 동일한 방향이 되지 않도록 하며, 렌즈를 서로 90°씩 회전시켜 조립하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

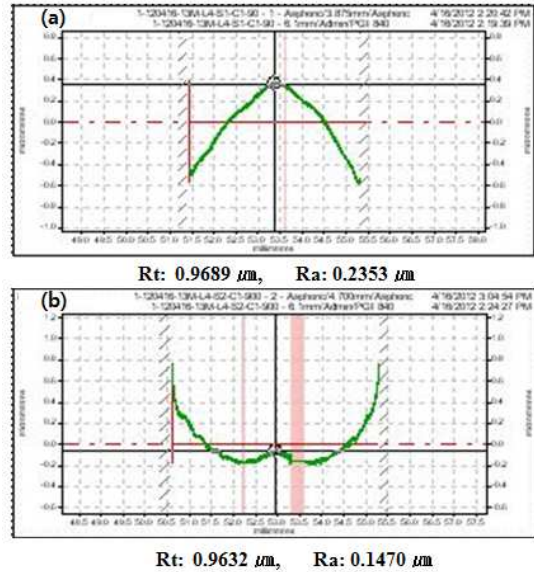


Fig. 14 Surface profiles of L4 lens: (a) S1, (b) S2

### 5.3 형상오차

표면조도측정기를 활용하여 사출압축성형을 적용한 L4 렌즈의 형상정밀도를 측정하였다. Fig. 14 는 S1 면, S2 면 각각에 대한 측정결과를 나타내고 있다. L4 렌즈의 양쪽 표면에서의 형상오차(Rt)는 1.0 μm 범위를 만족하고 있으며, 표면거칠기(Ra)는 약 0.24 μm 으로 나타났다.

## 6. 결 론

13 메가 화소를 갖는 폰 카메라용 비구면 렌즈를 개발하기 위하여 사출압축성형을 적용하여 유동패턴, 복굴절, 형상오차 등에 대하여 고찰하였다. 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 지름 5.6mm, 중심부와 외주부의 두께 차이가 2 배인 렌즈 성형을 위하여 사출압축성형 금형을 개발하였으며, 초정밀 가공에 의한 렌즈 코어의 형상정밀도 및 표면조도는 각각 0.23μm, 20.2nm 로 나타났다.

(2) 일반 사출성형에서 웰드라인이 심하게 발생하였으나, 압축스트로크 0.3mm 조건을 갖는 사출압축성형을 적용한 결과 웰드라인 발생을 방지할 수 있었고, 실험결과는 해석과 잘 일치하였다.

(3) 압축스트로크가 증가할수록 복굴절에 의한 위상차가 감소하였으며, 사출압축 성형을 적용한 결과 일반 사출성형을 적용한 렌즈에 비하여 위상차를 크게 줄일 수 있었으며, 매우 균일한 위상차 분포를 구현할 수 있었다.

(4) 4 장의 플라스틱 렌즈 방향을 각각 0°- 90°- 180°-270°로 조립할 때 각각 0°-0°-0°-0°로 조립하



는 경우에 비하여 위상차를 1/3 로 줄일 수 있었다. 이를 통하여 렌즈를 경통에 조립할 때 게이트 방향이 서로 동일한 방향이 되지 않도록 하며, 렌즈를 서로 90°씩 회전시켜 조립하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

(5) 사출압축성형을 적용한 렌즈의 형상오차 및 표면거칠기는 각각 1.0  $\mu\text{m}$ , 0.24  $\mu\text{m}$  으로 나타났다.

## 후 기

이 논문은 2012 년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임. 또한 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 임(한국연구재단-2012-0004698). 복굴절 측정에 협조해 주신 Photonic Lattice 및 NPM Korea 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Isayev, A. I., 2000, *Molding Processes in Handbook of Industrial Automation*, Shell, R. L. and Hall, E. L., Eds., Marcel Dekker, New York, Chapter 6.8, pp. 573~606.
- (2) Klepek, G., 1987, "Manufacturing Optical Lens by Injection Compression Molding," *Kunststoffe*, Vol. 77, pp. 13.
- (3) Yang, S.Y. and Chen, Y.C., 1998, "Experimental Study of Injection-Charged Compression Molding of Thermoplastic," *Advances in Polymer Technology*, Vol. 17, pp. 353~360.
- (4) Michaeli, W. and Wielpuetz, M., 2000, "Optimization of the optical quality of polymer glasses in the injection compression molding process," *Macromol. Mater. Eng.*, Vol. 284/285, pp. 8~13.
- (5) Michaeli, W., Hesner, S., Klaiber, F. and Forster, J., 2007, "Geometrical Accuracy and Optical Performance of Injection Moulded and Injection-Compression Moulded Plastic Parts," *Annals of CIRP*, Vol. 56, pp. 545~548.
- (6) Wu, C.-H. and Chen, W.-S., 2006, "Injection molding and injection compression molding of three-beam grating of DVD pickup lens," *Sensors and Actuators A*, Vol. 125, pp. 367~375.
- (7) Isayev, A.I. and Azari, A.D., 1986, "Viscoelastic Effect in Compression Molding of Elastomers: Shear-Free Squeezing Flow," *Rubber Chemistry and Technology*, Vol. 59, pp. 868~882.
- (8) Lee, Y. B., Kwon, T. H. and Yoon, K., 2002, "Numerical Prediction of Residual Stresses and Birefringence in Injection/Compression Molded Center-Gated Disk: Part 1. Basic Modeling and Results for Injection," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 42, pp. 2246~2272.
- (9) Lee, Y. B., Kwon, T. H. and Yoon, K., 2002, "Numerical Prediction of Residual Stresses and Birefringence in Injection/Compression Molded Center-Gated Disk: Part 2. Effects of Processing Conditions," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 42, pp. 2273~2292.
- (10) Chen, S.C., Chen, Y.C. and Cheng, N.T., 1998, "Simulation of Injection-Compression Mold-Filling Process," *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 25, pp. 907~917.
- (11) Chen, S.C., Chen, Y.C. and Peng, H.S., 2000, "Simulation of Injection-Compression-Molding Process. 2., Influence of Process Characteristics in Part Shrinkage," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 75, pp. 1640~1654.
- (12) Chen, S.C., Chen, Y.C. and Peng, H.S., 2002, "Simulation of Injection-Compression-Molding Process, Part 3: Effect of Process Conditions on Part Birefringence," *Advance in Polymer Technology*, Vol. 21, pp. 177~187.
- (13) Fan, B. and Kazmer, D. O., 2003, "Simulation of Injection-Compression Molding for Optical Media," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 43, pp. 596~606.
- (14) Lee, H.-S. and Isayev, A. I., 2007, "Numerical Simulation of Flow-Induced Birefringence: Comparison of Injection and Injection/Compression Molding," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 8, No.1, pp. 66~72.
- (15) Ho, J.-Y., Park, J. M., Kang, T. G. and Park, S. J., 2012, "Three-Dimensional Numerical Analysis of Injection-Compression Molding Process," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 52, pp.902~911.
- (16) Siebourg, W., Schmid, H., Rateike, F. M. anders, S. and Lower, H., 1990, "Birefringence-An Important Property of Plastic Substrates for Magneto-Optical Storage Disks," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 30, pp.1133~1139.
- (17) Kim, J. and Yoon, K., 2005, "A Study on the Birefringence Measurement in Injection Molded Parts Using R-G-B Separation of White Light," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 29, No. 6, pp.828~834.