

# 플라스틱 비구면 픽업 렌즈의 사출조건에 대한 수차변화 연구

현동훈\*, 이승준\*, 이승수\*\*

## A Study of the Effects of Injection Conditions on Aberration Change of Aspherical Plastic Pick-up Lens

Dong-Hoon Hyun\* , Seung Joon Lee \* , Seoung Soo Lee \*\*

### Abstract

In this study, the pattern of lens aberration was studied at different injection molding conditions such as injection speed, holding pressure, holding pressure time, mold temperature and cylinder temperature and, then, the results were analyzed with a laser interferometer. It was demonstrated that optimal condition of lens aberration could be achieved by adjustment of injection molding conditions.

**Key Words:** Aspherical Lens, Aberration, Plastic Injection Molding, Pick-up Lens

### 1. 서 론

지난 몇 년 동안 정보저장 장치로서 광 디스크 매체를 이용한 디스크 드라이브는 급속한 발전을 해오고 있다. 재기록이 가능한 광 정보저장 장치는 동화상 정보를 장시간 기록하는 대용량 광 또는 광자기 기록 디스크 저장장치로서 이미 수 Gbit/in<sup>2</sup>급의 고밀도화, 고속화 기술이 구현되고 있으며 그 보급률이 향후 획기적으로 확산될 것으로 기대하고 있다. 전자기기는 휴대용, 초소형의 형태로 발전하고 있으며, 이에 따라서 광 저장장치의 핵심부품으로서 광 디스크로부터 신호를 검출하고 기록할 수 있는 광Pick-up은 소형화, 경

량화를 추구하게 되면서, Lens의 종류에 따라서 Pick-up의 크기와 무게가 좌우되어지기 때문에 최근에는 플라스틱을 이용한 비구면 Lens를 주로 사용하고 있다. Pick-up에 이용되는 플라스틱 비구면 Lens를 대량 생산하기 위하여 가장 많이 사용되는 방법은 사출에 의한 성형방법이 있다. 사출 성형 기술에 대한 연구는 꾸준히 지속되어 왔지만, 플라스틱 비구면 Pick-up Lens에 관한 연구는 제품의 평가 항목부터 다루기 때문에 기존의 연구된 외관에 편중된 결과들과는 서로 연관되어지지 못하는 부분이 있다. 사출조건 따른 Lens의 성능변화에 대한 고찰은 제품양산에서 매우 중요하다. 본 논문에서는 플라스틱 비구면 Pick-up Lens의 사출성형 시에 발생하는 여러 가지 품질문제 중에서 가장 근본적인 Lens의 성능을 평가하는 항목 즉, 파면수차(rms), 구면수차, 비점수차, 코마수차의 변화에 대한 원인을 여러 사출성형 조건 중에서 온도, 압력, 시간을 중심으로 파악하고자 하였다. 특히, 어떤 조건에 의해서 Lens 성능이 어떻게 영향을 받는지를 분석함으로써 Lens를 생산하는 현장에서 흔히 나타

---

주저자 : \*한국산업기술대학교 기계공학과

E-mail : hdh@kpu.ac.kr

TEL : (031)496-8211 FAX : (031)496-8219

\* 한국산업기술대학교 광나노공학과

\*\* 한국산업기술대학교 광메카트로닉스공학과

---

날 수 있는 사출시 성능 불량에 대한 사출성형 조건설정의 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 실험

본 실험에서는 Toggle식 전동사출성형기를 사용하여 사출성형을 하였고, 금형온도를 제어하기 위해서 열매체로 기름을 적용하는 온도조절기를 사용하였다.

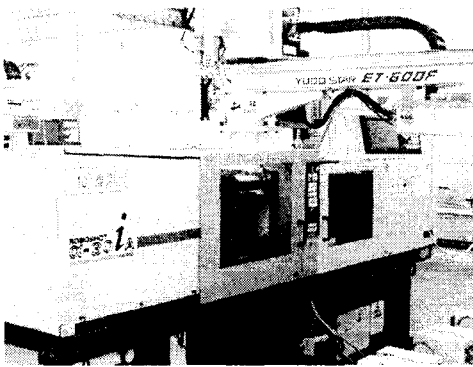


그림 1 사출성형기

광학 플라스틱 Lens의 재료로서 ZEON(사)의 ZEONEX E48R Resin을 사용하였다. 이 Resin은 기본적으로 재사용이 불가능한 소재인 열가소성수지이고 팽선투과율이나 흡수율이 보다 우수하고 안정적인 수지라고 할 수 있다. 현재 주로 사용되는 Resin가운데 성능 면에서 우수한 것으로 알려져 있기도 하다.

플라스틱 Pick-up Lens와 같은 제품의 사출성형 문제 중 가장 해결하기 어려운 것 중의 하나가 외관기준과 여러 수차들의 기준을 동시에 만족해야 하는 것이라고 할 수 있다. 또한 다수 Cavity의 금형으로 제작되기 때문에 모든 Cavity의 성능을 전부 만족시켜야 하는 것도 어려운 부분이라고 할 수 있다. 수차변화의 원인규명을 위하여 사출 조건 중에서 가장 많이 영향을 끼치는 것으로 알려진 온도, 압력, 시간을 변화시키며 고찰했다. 기존의 사출조건 Data를 기준으로 시험사출조건을 설정하였고, 여러 차례에 걸친 시사출 과정에서 제품상태를 확인하면서 표준조건을 설정하였다. 표준사출조건을 설정한 후에 여러 사출 조건 가운데 한가지만을 변화시키면서 Lens의 수차가 어떠한 변화를 일으키는가를 조사하였다. 측정주기는 조건을 변경한 후, Cycle이 안정되는 것을 공정 Graph로 확인한 후에 5개의 Shot를 측정하여 수차별 평균 Data를 확인하는 과정으로 진행하였다.

사출조건 항목으로는 사출속도, 보압, 보압시간,

금형온도, 실린더온도 등 5가지의 조건을 변화시키면서 결과를 지켜보았다. 임의대로 표준사출조건을 기준값으로 하여 조건을 변화시켰으며, 항목별 변화방식은 최적 조건에서 단계별로 상, 하 변화를 줌으로써 이루어졌다.

Pick-up Lens류의 측정은 대부분 레이저 간섭계를 이용하여 성능을 평가하고 있다. 주로 이용되는 측정기는 632.8nm 파장의 He-Ne 레이저를 이용한 간섭계로서 ZYGO(사)에서 제작되어진 간섭계가 사용되고 있다. Pick-up용 Lens들의 평가는 표면조도 측정이 있고, 투과파면을 측정하여 수차를 계산하는 방법이 있다. 본 실험에서는 앞서 언급한 바와 같이 투과파면에 의한 간섭을 유도하여 표준구면과 실제파면의 차이를 계산하여 Lens의 성능을 평가할 수 있도록 Setting함으로써 보다 더 실제사용 환경과 동일한 조건 속에서 측정할 수 있도록 하여서 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 사출속도 변화에 의한 수차 변화

표 1 사출속도 변화

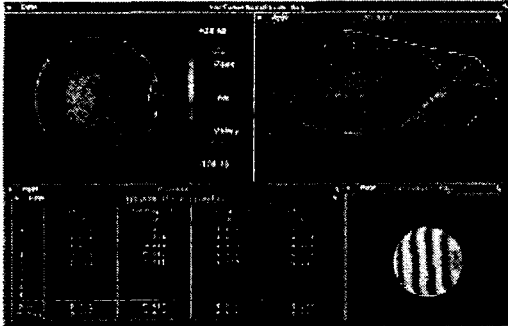
구분	1단속도(mm/s)	2단속도(mm/s)
1	5	-
2	10	5
3	15	5
4	20	10
5	25	15
6	30	20
7	35	25
8	40	30
9	45	35
10	50	40

위와 같은 사출속도 조건의 변화량에 의해서 Lens의 수차는 변화를 보였고, 대표적으로 1 Cavity 수차 변화 그래프는 다음과 같다.

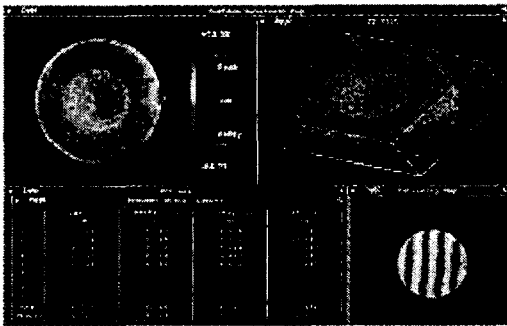


그림 2 사출속도변화에 의한 1Cavity의 수차변화

8개 Cavity의 변화를 관찰한 결과, 1번과 8번 Cavity에 심한 변화를 볼 수 있었다. 이 두 Cavity의 변화를 좀 더 자세히 관찰하기 위해서 파면의 이미지를 살펴보았다.



(a) 1조건에서 1 Cavity



(b) 10조건에서 1 Cavity

그림3 사출속도 변화에 의한 1 Cavity투과파면의 변화

1 Cavity는 사출속도가 낮은 조건일 때 Gate 부분에 심한 복굴절 현상이 발생했고, 8 Cavity는 사출속도가 빠른 조건일 때 성형이 되지 못하는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 수지의 흐름이 Cavity별로 다르기 때문에 발생하는 현상으로서 금형제작 시에 빈번히 발생하는 문제이고 정밀하게 가공하지만 완전한 대칭성을 갖기는 어렵기 때문이다. 전체적인 현상으로 보면 사출속도가 빠른 조건이 보다 좋은 제품을 생산할 수 있는 성형조건임을 확인할 수 있다.

### 3.2 보압 변화에 의한 수차 변화

표 2 보압 변화

구분	1차압	2차압	3차압
1	400	200	0
2	420	220	20
3	440	240	40
4	460	260	60
5	480	280	80
6	500	300	100
7	520	320	120
8	540	340	140
9	560	360	160
10	580	380	180
11	600	400	200
12	620	420	220
13	640	440	240
14	660	460	260
15	680	480	280
16	700	500	300
17	720	520	320
18	740	540	340
19	760	560	360

위와 같은 보압 조건의 변화량에 의해 Lens의 수차는 다음과 같은 변화를 보였고, 대표적으로 1 Cavity의 수차 변화 그래프는 다음과 같다.

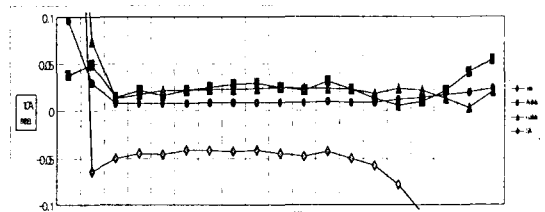
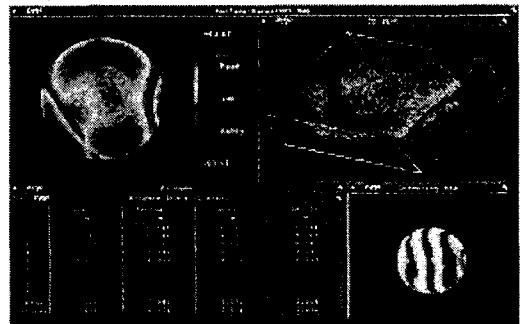
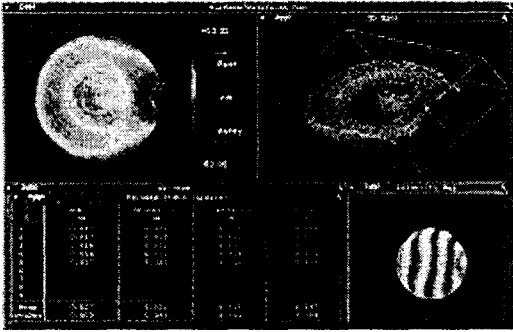


그림 4 보압변화에 의한 1 Cavity의 수차변화

1 Cavity와 4 Cavity가 불안정한 모습으로 변화되는 결과를 보여주고 있어서 좀 더 세밀하게 관찰하였다.



(a) 2 조건에서 1 Cavity



(b) 17조건에서 1 Cavity

그림 5 보압변화에 의한 1 Cavity의 투과파면의 변화

1 Cavity는 수지의 흐름에 문제가 있는 것으로 판단되는 현상을 보인다. 저압 조건에서 미리 충전된 수지와 나중에 보압의 영향으로 충전되는 부분에서 Weld Line이 발생되었다. 또한, 고압조건에서는 Gate부분의 심한 복굴절 현상을 보였다. 4 Cavity에서는 고압으로 갈수록 Gate부분에서 받는 압력이 일정해지지 못하는 현상을 보이면서 사출불량의 결과를 보였다. 보압 조건 변화에서는 압력이 부족하여 성형불량이 생긴 직후의 저압 조건에서 좋은 제품이 나오는 결과를 얻었다.

### 3.3 보압시간 변화에 의한 수차 변화

보압시간 변화에 의한 Lens의 수차는 다른 조건 변화의 결과와 조금 다른 모습을 보였고, 대표적으로 1 Cavity의 수차 변화 그래프는 다음과 같다. 즉, 보압시간의 변화에는 둔감한 모습을 보이고, 1 조건보다 보압시간이 짧아지게 되면 전체적인 미성형 상태가 되는 현상이었으므로 측정이 불가능 했다.

표 3 보압시간 변화

구분	1차 보압시간	2차 보압시간	3차 보압시간
1	0.2	0.4	0.8
2	0.3	0.6	1.2
3	0.4	0.8	1.6
4	0.5	1	2
5	0.6	1.2	2.4
6	0.7	1.4	2.8
7	0.8	1.6	3.2
8	0.9	1.8	3.6
9	1	2	4
10	1.5	3	6
11	2	4	8

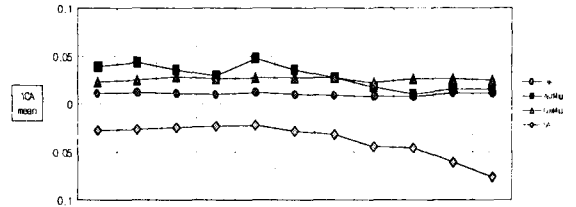
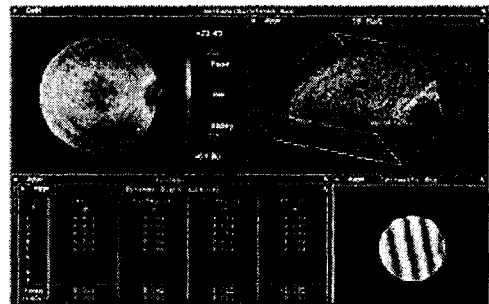
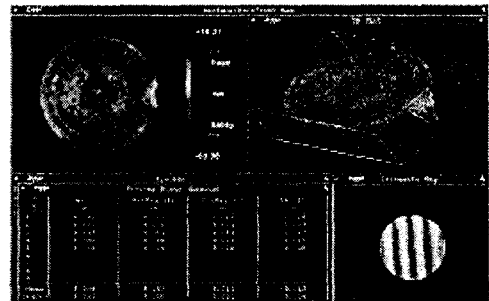


그림6 보압시간 변화에 의한 1 Cavity 수차변화

수차변화 중에 SA, AST가 다른 수차에 비해 민감한 반응을 보였다. 특히, 3 Cavity와 5 Cavity가 보압시간이 짧은 조건에서 두드러진 반응을 보였다. 보압의 역할을 할 수 있을 만한 시간이 부족한 경우에는 큰 사출압으로 충전되었던 수지가 그보다 낮은 보압으로 인하여 또한, 시간의 부족함으로 인하여 Gate부분의 고화가 불안정하게 진행되는 것을 볼 수 있다. 보압시간의 조건은 너무 길지 않은 상태에서 충분한 시간을 부여함으로써 Gate Seal이 되도록 하는 조건을 설정하는 것이 바람직하겠다.



(a) 1 조건에서 1 Cavity



(b) 7 조건에서 1 Cavity

그림 7 보압시간 변화에 의한 1 Cavity 투과파면의 변화

### 3.4 금형온도 변화에 의한 수차 변화

표 4 금형 온도 변화

구분	금형온도 (°C)
1	118
2	120
3	122
4	124
5	126
6	128
7	130
8	132
9	134
10	136
11	138
12	140
13	142

제품의 품질에 가장 많은 영향을 줄 것이라는 이론에 부합되는 큰 변화들이 보였다. 신규 제품의 사출 성형 조건을 설정하는 부분에 있어서 금형온도가 차지하는 부분은 매우 크다는 것을 보여준다. 금형 온도 변화량에 의해서 수차 변화를 보였고, 대표적으로 1 Cavity의 수차 변화 그래프는 다음과 같다.

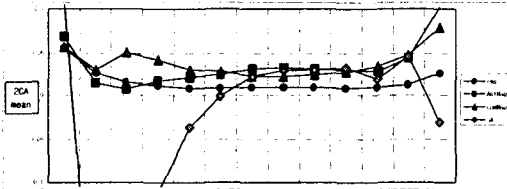
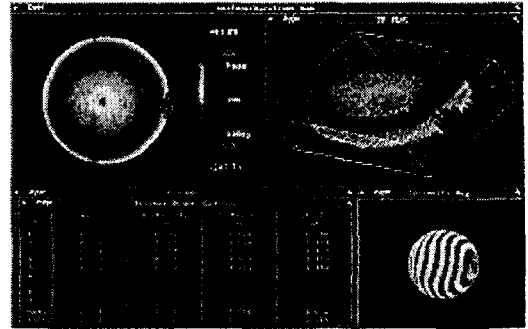
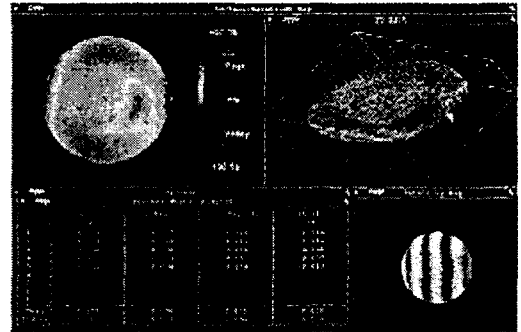


그림8 금형온도 변화에 의한 제1Cavity의 수차변화도

금형온도로 인한 안정화된 조건의 범위가 상당히 좁다는 사실이 확인되었다. 특히 COMA 수차의 변화가 두드러짐을 발견할 수 있었다. 금형온도가 저온일 때에는 Lens의 간섭무늬 테두리 부분이 심하게 휘어지는 현상을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 저온일 때 항상 나타나는 현상임으로 사출성형 조건을 설정할 때 유용하게 응용되리라 생각된다. 또한, 고온일 때에는 충전된 수지가 Gate Seal이 늦게 되는 현상으로 인하여 Gate 반대쪽으로 밀려 들어가는 모양이 나타나게 되는 것을 볼 수 있다.



(a) 1조건의 1 Cavity



(b) 12조건의 1 Cavity

그림9 금형온도변화에 의한 1 Cavity 투과과면의 변화

### 3.5 실린더온도 변화에 의한 수차 변화

표 5 실린더온도 변화

구분	실린더1(°C)	실린더2(°C)	실린더3(°C)
1	240	245	240
2	250	255	250
3	260	265	260
4	270	275	270
5	280	285	280
6	290	295	290
7	300	305	300
8	310	315	310
9	320	325	320
10	330	335	330
11	340	345	340
12	350	355	350

실린더온도 또한 Lens의 품질에 많은 영향을 미칠 것이라 예상되었지만, 기대에 미치지 못하는 결과를 얻을 수 있었고, 대표적으로 1 Cavity의 수차 변화 그래프는 다음과 같다.

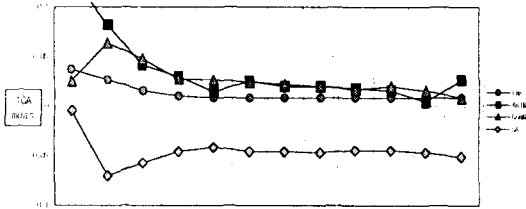
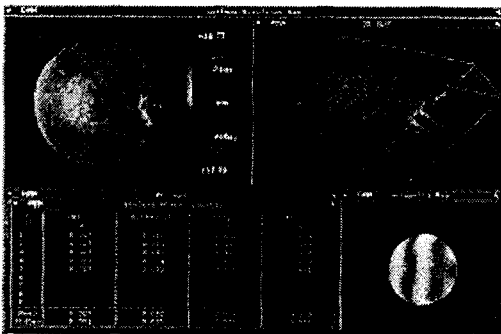
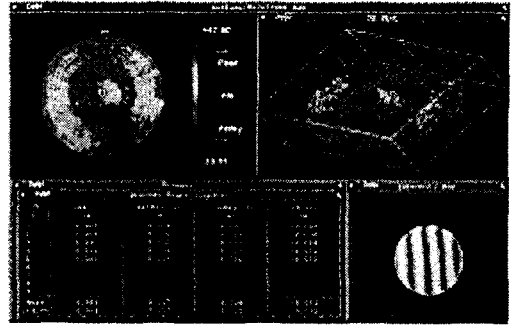


그림10 실린더온도 변화에 의한 1Cavity의 수차변화도

수차변화의 추이를 보면 예상외로 실린더온도가 고온이었을 때의 수차변화는 심하지 않음을 볼 수 있었고, 실린더온도가 저온이었을 때에는 AST(비점수차)가 상당히 커지는 현상을 발견할 수 있었다. 그림 11에서와 같이 파면의 형상을 살펴보면 실린더온도가 저온이었을 때 수지의 유동성이 부족함으로 인하여 Gate 반대쪽을 완전히 채우지 못한 채 굳어지는 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상으로 인하여 비점수차가 커지는 현상을 보이게 되었던 것을 알 수 있었다. 또한 실린더온도가 고온이 되면서 Sprue내부에 기포가 심하게 발생하는 현상이 나타났고, Lens의 중심두께가 아주 미세하지만 줄어드는 현상을 발견할 수 있었다.



(a) 2조건 1 Cavity



(a) 12조건 1 Cavity

그림 11 실린더온도 변화에 의한 1 Cavity 투과파면의 변화

#### 4. 결론

본 논문에서는 플라스틱 비구면 Pick-up Lens의 사출성형 조건 설정의 방향을 제시해 주기 위해서 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 사출속도는 성형불량이 나지 않는 한도 내에서 빠르게 설정하는 것이 제품의 질을 좋게 한다.
2. 보압은 저압으로 인한 성형불량 발생이 사라지는 직후의 저압의 조건이 사출 Lens에 복굴절을 발생하지 않도록 해준다.
3. 보압시간이 짧으면 Gate Seal이 되지 않게 되어서 Gate부분의 성형이 불완전하게 되어 AST(비점수차)가 커지게 된다.
4. 금형온도가 낮을 때는 Lens의 간섭무늬 테두리가 심하게 휘어지는 현상이 발생되고, 금형온도가 높을 때는 Gate 반대쪽으로 Cavity내의 수지가 밀려들어가는 현상이 발생된다.
5. 실린더온도가 낮을 때에는 Cavity내로 유입되는 수지의 흐름이 원활하지 못해서 Cavity전체를 채우지 못하고, Gate Seal이 되는 현상이 발생하게 된다. 또한, 실린더온도가 높을 때에는 Lens의 성능 변화는 두드러지지 않는다.