

A Study on the Molding Process of an Optical Communication Aspherical Glass Lens Using the Weight Molding Method

Sang Ryu[†], Kyung Hwan Roh, Kwang Hyeon Choi, Won Guk Kim, Won Kyung Lee,
Do Hee Kim, and Kuk Hyeon Yang

IOSOLUTION, Gwangju 61008, Korea

광통신용 비구면 글라스 렌즈 자중성형 공정 연구

류상[†], 노경환, 최광현, 김원국, 이원경, 김도희, 양국현
아이오솔루션(주), 중앙연구소

(Received September 12, 2018; Revised October 26, 2018; Accepted October 30, 2018)

Abstracts

In this study, the aspherical lens for optical communications produced not with an one-step pneumatic type of external pressurization system (existed GMP process) but a constant weight of self-loaded mold put up to upper core. So the lens is molding with self-loaded weight molding and it calls Weight Molding process. In self-loaded molding process, we measured changes of center thickness molding lenses with each variable molding temperatures and time to find the effect of center of lens thickness to search key factors. As experimental results, the center thickness reach to targeted lenses step time value was changed drastically and it depends by molding temperature. If the molding temperature gets higher, the targeted lens that is reaching to the center thickness step time value was decreased. To find the effect of life improvement on mold core by imposing the self-loaded molding process we molded with GMP(Glass molding press) method and self-loaded molding method for 9,000 times and measured the lenses shape accuracy and surface roughness to evaluate the core life. As a result the self-loaded molding method core has 2,000 times longer that GMP (Glass molding press) method. If we adopt self-loaded molding method of the optical aspherical lens molding in the future, we expect that it would reduce the expense of changing the molds by molding core life improvements.

Topic: Aspherical glass lens, Weight Molding method, Glass Molding Pressure method, Telecommunication

1. 서론

최근 멀티미디어의 사용량이 증가함에 따라 데이터 전송량이 증가되면서 광통신 모듈의 고속 전송에 대한 요구가 증대되고 있다¹⁾.

광통신용 렌즈에는 볼렌즈, 구면렌즈, 비구면 렌즈 등이 있으며 볼렌즈 및 구면렌즈의 경우, 제조단가와 공정이 단순하지만 구면 수차 발생으로 고속 데이터 전송에는 어려움이 있다. 비구면 렌즈의 경우 경우, 초점 집광 성능을 향상시켜 구면 수차를 제거하고 복잡한 렌즈 조합이 필요하지 않으며 높은 투과율 특성을 나타내기 때문에 LD(laser diode) side의 능동소자 쪽에 주로 사용된다²⁾.

이러한 비구면 렌즈는 사출성형, 절삭과 연삭 그리고 유리압축성형을 통해 제작할 수 있다. 사출성형의 경우 대부분 플라스틱 재질을 사용하며 유리재질보다 투명도가 떨어지고 내열적인 측면에서 신뢰도가 떨어지기 때문에 고 정밀 렌즈나 고 신뢰도를 요구하는 제품에는 적용에 제약이 따른다³⁾. 유리 재질의 렌즈의 경우 기존에는 절삭 및 연삭 등 직접가공에 의하여 제작되었으나 최근 초정밀 가공의 발전으로 초경합금과 같은 경취성 재료에 높은 형상정밀도를 가지는 금형 제작이 가능해짐에 따라 유리압축성형(Glass Molding Press, 이하 GMP) 공정을 통해 짧은 시간에 형상오차가 작은 비구면 렌즈를 생산할 수 있게 되었다^{4,5)}.

고온압축성형(GMP 공정)은 통상적으로 예열 1, 예열 2, 예열 3, 프레스, 냉각 1, 냉각 2, 냉각 3의 7스텝으로 구성되어 있으며, 각 스텝 간 금형이 순차적으로 이송하면서 각각 설정된 온도, 압력, 시간에 준하여 공정이 행하여진다⁶⁾. 이때, 렌즈의 전체적인 형상 및 비구면 형상을 결정하는 프레스 단계의 경우, 글라스 전이온도 이상의 온도에서 단시간에 고압의 압력을 가해주기 때문에 코어 소재는 많은 응력을 받게 된다. 또한 전체 성형 스텝별 온도 구배가 상대적으로 급격하기 변하기 때문에 열충격으로 인한 금형 코어의 휨손이 자주 발생하는 문제점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 공압 실린더로 금형 코어를 외부에서 가압하는 방식(기존 GMP공정)이 아닌 일정 무게

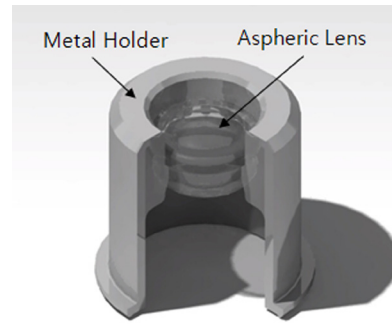


Fig. 1. 비구면 렌즈 구조 (단면)

의 자중물을 상 코어 위에 올려 자중 물 하중에 의해 렌즈가 성형되는 자중성형 공정을 통해 광통신용 비구면 렌즈를 제작하였다. 상대적으로 단계별 온도 구배의 변화가 적고 여러 단계에 걸쳐 렌즈 표면이 형성되기 때문에 금형 코어의 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

2. 실험방법

본 연구에서 자중성형공정을 이용하여 제작하고자 하는 대상물은 Fig. 1과 같은 형상(렌즈 중심두께 1.3mm)으로 레이저 다이오드와 광섬유 사이에 위치하여 레이저 다이오드에서 나온 빛을 광 섬유에 집속시키는 역할을 하며 렌즈와 캡 형상의 금속 기구물을 접합 할 때 성형 후 별도의 접합 공정 없이 자중성형공정 중 접합되는 구조로 설계하였다.

또한 대상 제품을 성형하기 위해 Fig. 2와 같이 하부 금형에 금속 기구물을 투입하고 그 위로 이너슬리브를 안착

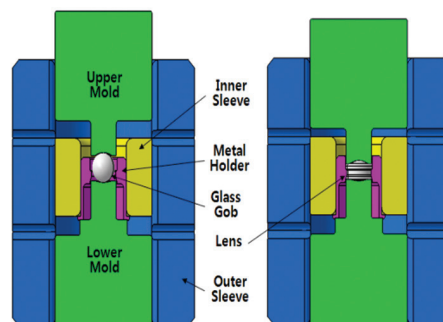


Fig. 2. 금형 구조 (금속 기구물 일체화 성형 구조)

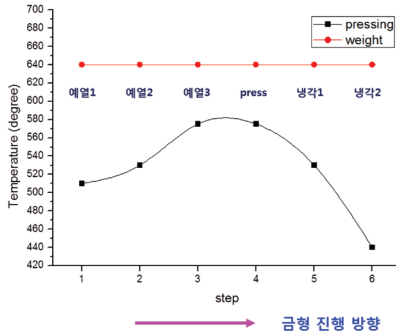


Fig. 3. 성형 스텝 별 온도 구배 비교 (검정: 외부가압조건, 빨강: 자중성형조건)

후 상부 금형으로 가압하는 구조를 가지며, 하나의 금형 홀더에 6개의 캐비티가 형성된 멀티 캐비티 구조의 금형을 사용하였다. 비구면 렌즈 성형 원소재는 굴절률(n_d) 1.81이며, 유리전이온도(T_g)가 528°C인 일본 Sumit사 광학유리(K-VC89)를 사용하였다.

Fig. 3과 같은 형태의 텅스텐 카바이드 초경합금을 자중 물로 사용하여 성형을 진행하였고(두께: 10mm, 무게: 1,018g) 자중성형 시 온도 구배는 성형 단계별 금형에 가해지는 열 충격을 감소시키기 위하여 Fig. 3과 같이 모든 단계에서 동일한 온도(640°C)로 유지하였다. 또한 상부히터가 자중 물에 직접적인 압력을 가하는 것을 방지하기 위하여 상부히터와 자중물의 간격은 2mm로 일정하게 유지하였다. 성형기는 순차이송방식 7축 성형기(DTK-LMR-3300V2, 대호테크社)를 사용하였고, 성형기 내부는 불활성 가스인 질소를 150 liter/min의 유량으로 공급하여 질소 분위기를 조성하였고, 냉각수는 12 liter/min의 유량으로 유지하였다.

금형 조립 후 자중물을 금형 상부에 올린 상태에서 성

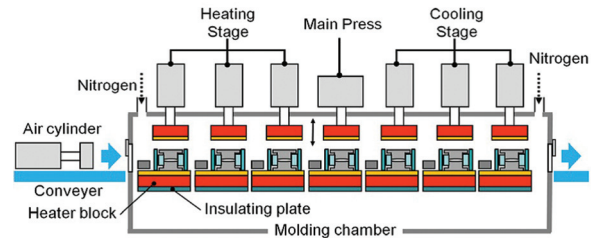


Fig. 4. 순차이송방식 7축 성형기 구조

형기 내부로 금형을 투입하고 각 스텝 별 일정 시간 유지 후(예열1부터 냉각 3의 7단계) 트랜스퍼를 이용하여 다음 스텝으로 순차 이송시키는 방법으로 성형을 진행하였다. (Fig. 4참고)

자중성형 공정에서 렌즈 중심두께 영향을 미치는 주요 인자 탐색의 일환으로 성형온도와 시간을 가변 하여 성형 렌즈의 중심두께 변화를 하이테크이지(일본 Nikon社, MS-11C)를 이용하여 측정하였다. Table 1에 자중성형 테스트 조건을 나타내었다.

공압 실린더를 이용한 외부가압성형방식보다 자중성형방식이 금형 코어에 가하는 물리적, 열적 충격이 상대적으로 작아 금형 코어 수명 향상 효과를 확인하기 위하여 외부가압성형방식과 자중성형방식으로 각각 9,000회 반복 성형 후 금형 코어의 사용 횟수 별 제작된 렌즈의 형상정밀도와 표면조도를 측정하여 금형 코어 수명을 간접적으로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

자중성형 조건(성형온도 및 시간 가변)에 따른 글라스 비구면 렌즈의 중심두께를 Table 2에 나타내었다.

Table 1. 자중성형 테스트 조건

테스트 번호	자중 물 (무게, 두께)	성형온도 (예열1 ~ 냉각2 단계 일정온도유지)	단계별 시간 (step time)
1	1018g, 10mm	640°C	55 초
2			70 초
3			85 초
4		620°C	70 초
5			120 초
6			150 초

Table 2. 자중성형 테스트 조건 별 렌즈 중심두께 (설계 기준 중심두께: 1.3 ± 0.01mm)

캐비티 번호	Test 1 (mm)	Test 2 (mm)	Test 3 (mm)	Test 4 (mm)	Test 5 (mm)	Test 6 (mm)
#1	1,343	1,301	1,285	1,529	1,301	1,299
#2	1,355	1,307	1,288	1,543	1,307	1,301
#3	1,345	1,304	1,282	1,543	1,314	1,298
#4	1,317	1,308	1,284	1,557	1,322	1,299
#5	1,309	1,304	1,289	1,554	1,322	1,303
#6	1,318	1,298	1,288	1,535	1,309	1,304
평균	1,331	1,304	1,286	1,544	1,313	1,301

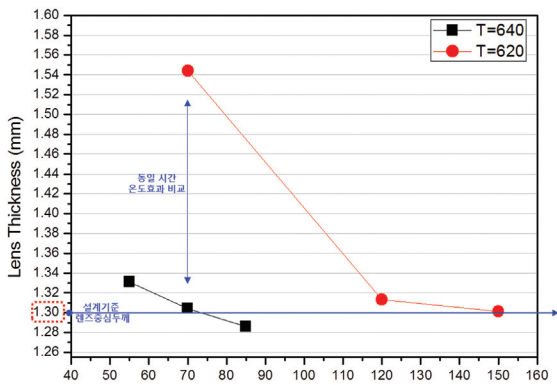


Fig. 5. 스텝 시간에 따른 렌즈 중심 두께 변화 (검정: 640℃, 빨강: 620℃)

테스트 1~3의 결과로부터 640℃ 성형온도에서는 스텝 시간이 증가할수록 렌즈 중심두께는 감소하며 목표한 렌즈 중심두께에 도달하는 비율은 증가함을 알 수 있으며, 테스트 4~6의 결과로부터 620℃에서도 동일한 경향을 보임을 알 수 있다.

테스트 2와 테스트 4의 결과를 비교함으로써 동일한 스텝 시간(70sec/step)에서 온도 변화에 따른 렌즈 중심 두께 변화의 경우 온도가 증가할수록 렌즈 중심두께는 감소하며 목표한 렌즈 중심두께 도달 비율은 증가함을 알 수 있다.

동일 공정 조건에서 캐비티 별 두께 편차가 일부 발생하는데, 이는 금형 상부에 올라간 자중물이 스텝간 이송 중 움직이거나 회전하여 캐비티 별 상 코어에 편심 자중이 가중되는 것에 기인한 현상으로 추정되며, 향후 금형 외경과 동일한 자중 물로 대체 시 충분히 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 640℃조건에서는 70sec/step의 스텝 시간에서 렌즈 두께가 1.304mm로 목표 두께에 도달 하였고, 620℃조건에서는 150sec/step의 스텝 시간에서 렌즈 두께가 1.301mm로 목표 두께에 도달 하였다. 성형온도에 따라 목표두께에 도달하는 스텝 시간이 크게 변화됨을 알 수 있고 성형온도가 고온일수록 목

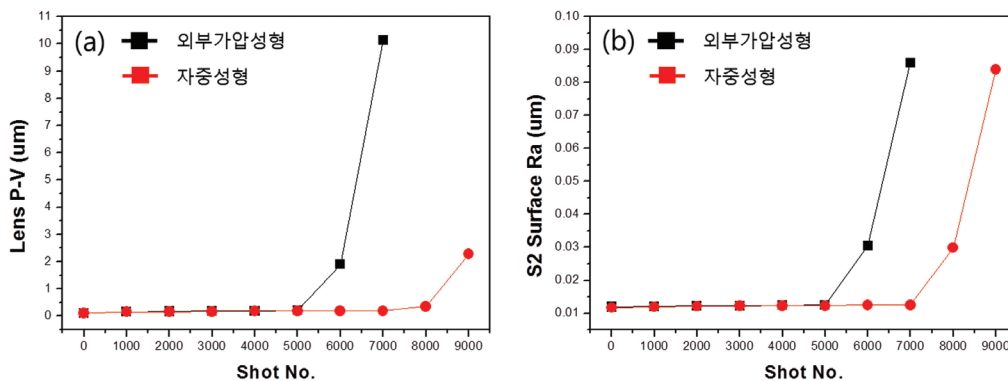


Fig. 6. 금형 코어 사용 횟수 별 제작 렌즈의 형상정밀도(a) 및 표면조도(b)

표한 렌즈 중심두께에 도달하는 스텝 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 향후 제품 양산에 적용 가능한 스텝 시간을 확보하기 위해서는 일정 온도 이상의 성형온도를 유지해야 함을 유추할 수 있다.

Fig. 6에 외부가압성형방식과 자중성형방식으로 각각 9,000회 반복 성형 후 금형 코어 사용 횟수 별 제작 렌즈의 형상정밀도와 표면조도 측정 결과를 나타내었다. 금형 코어의 품질이 렌즈 품질과 직결되기 때문에 금형 코어 사용 횟수가 증가함에 따른 제작 렌즈의 품질을 측정하여 금형 코어의 수명을 간접적으로 평가하였다. 외부가압성형 방식의 경우, 금형 코어 사용 횟수 5,000회까지는 렌즈의 형상정밀도와 표면조도가 일정하게 유지되며 5,000회 이상부터 급격하게 증가하는 반면 자중성형의 경우, 금형 코어 사용 횟수 7,000회까지는 렌즈의 형상정밀도와 표면조도가 일정하게 유지되며 7,000회 이상부터 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 6의 결과로부터 금형 코어의 품질이 렌즈의 품질과 직결된다는 점을 감안할 때, 외부가압성형방식보다 자중성형방식에서 약 2,000회 이상 금형 코어의 수명이 향상 되었다고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고온 자중성형을 이용하여 광통신용 비구면 유리 렌즈 성형에 대한 성형온도 및 스텝 시간의 영향을 연구한 결과 다음과 같다.

1018g 무게 및 10mm 두께를 가진 텅스텐 카바이드 초경합금재질의 자중물을 적용하여 자중성형에 의한 광통신용 비구면 렌즈를 제작하였고, 목표한 렌즈 중심 두께에 도달하는 성형온도 및 스텝 시간 조건 도출하였다. (새로운 글라스 렌즈 성형공정을 개발)

동일 성형온도 조건일 경우, 스텝 시간 증가에 따라 렌즈 중심 두께는 감소하였고, 목표한 렌즈 중심 두께에 도달하는 비율은 증가하였다.

동일 스텝 시간 조건일 경우, 성형온도 증가에 따라 렌즈 중심 두께는 감소하였고, 목표한 렌즈 중심 두께에 도달하는 비율은 증가하였다.

성형온도가 고온일수록 목표한 렌즈 중심두께에 도달하는 스텝 시간이 짧아지므로 향후 제품 양산에 적용 가능한 스텝 시간을 확보하기 위해서는 일정 온도 이상의 성형온도를 유지해야 함을 알 수 있다.

동일 공정 조건에서 캐비티 별 두께 편차가 발생하는 것은 성형 스텝간 이송 중 자중물의 회전이나 움직임으로 인한 편심자중 때문인 것으로 예상된다.

외부가압성형방식에 비해 자중성형방식이 금형 코어의 수명을 약 2,000회 향상 시키는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 우수기술연구센터(ATC)사업(과제번호: 10076538)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. I. K. Kim and J. U. Lee, "Optical design of Gradient-Index objective for optical pick-up," *Journal of the Optical Society Korea* 18, 256-263 (2007).
2. K. S. Jang, T. H. Lee, T. Y. Rho, C. S. Kim and M. Y. Jeong, "Study on the Superprecision Glass Molding of Aspherical Lens for Optical Communication Module," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering* 27, 18-24 (2010).
3. D. H. Hyun, "A Study on the Grinding Characteristics of Aspherical Glass Lens core of high-pixel Digital Camera in Diamond grinding Process," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers* 12, No.2 (2003).
4. S. Itoh, "Study on Measurement of Axis Symmetrical form Generated by Ultra-Precision Machining," *Journal of the Japan Society of Precision Engineering* 61, 128-1284 (1997).
5. H. Jang, K. C. Jang and D. G. Lee, "A Study on the molding of a aspherical glass lens using the high temperature compression molding method," *Proceedings of the 2006 Fall Conference of the Korean Society of Precision Engineering*.
6. T. S. Jung, K. S. Park and G. S. Yoon, "A Study on the Optimal Molding Conditions for Aspheric Glass Lenses in Progressive GMP," *Journal of the Korea Academia - Industrial cooperation Society*.

●● 류 상



- 2003년 전남대학교 금속공학 학사
- 2006년 전남대학교 신소재공학 석사
- 2009년 전남대학교 신소재공학 박사 수료
- 2014년 한국생산기술연구원
광에너지융합연구그룹 연구원
- 2018년 아이오솔루션(주) 수석연구원

●● 노 경 환



- 2007년 전남대학교 응용화학부 섬유공학 학사
- 2011년 동신대학교
산업용가속기이용생물연구센터 연구원
- 2014년 엘텍 선임연구원
- 2015년 (주)하이솔라 선임연구원
- 2018년 아이오솔루션(주) 수석연구원

●● 최 광 현



- 2013년 조선대학교 신소재공학 학사
- 2015년 조선대학교 신재생에너지융합학 석사
- 2018년 포스포 선임연구원
- 2018년 아이오솔루션(주) 선임연구원

●● 김 원 국



- 2012년 한서대학교 항공기계학 학사
- 2014년 아이솔루션 연구원
- 2016년 아론비행선박산업 선임연구원
- 2018년 아이오솔루션(주) 선임연구원

●● 이 원 경



- 2016년 조선대학교 광기술공학 학사
- 2018년 (주)엘디스 주임연구원
- 2018년 아이오솔루션(주) 주임연구원

●● 김 도 희



- 2016년 전남도립대학교 조선기계과 졸업
- 2018년 아이오솔루션(주) 연구원

●● 양 국 현



- 1987년 아주대학교 기계공학 학사
- 1995년 그로웰전자(주) 개발 과장
- 2001년 (주)삼기기공 수석연구원
- 2008년 에이테크솔루션(주) 연구소장
- 2009년 에이지광학 연구소장
- 2018년 아이오솔루션(주) 대표이사