

광통신용 비구면 렌즈 공차설계 및 평가 Tolerance Design and Evaluation of Aspherical Lens for Optical Module

*장경수¹, 이태호¹, 김창석¹, 정명영¹

*K. S. Jang¹, T. H. Lee¹, C. S. Kim¹, #M. Y. Jeong(myjeong@pusan.co.kr)¹

¹ 부산대학교 나노융합기술학과

Key words : Aspherical Lens, Lens tolerance, Optical Module

1. 서론

최근, FTTH, ADSL 등에서 멀티미디어의 사용량이 증가함에 따라 데이터 전송량이 증가되면서 광통신 모듈의 고속전송에 대한 요구가 증대되고 있다.¹ 광통신용 렌즈는 광통신 모듈의 송수신단에 사용되는 핵심부품으로 광회로 부품과 광섬유의 결합손실을 줄여 고속 광통신 모듈의 성능을 향상 시킨다.² 현재 광통신용 렌즈에는 볼 렌즈, 구면 렌즈, 비구면 렌즈 등이 사용되고 있다.

볼 렌즈와 구면 렌즈의 경우, 공정이 단순하여 제조비용이 낮지만 구면 수차의 발생으로 광섬유와 결합효율이 떨어진다.³ 이러한 구면 수차를 줄이기 위해서는 수차 보정용 렌즈를 삽입하는 방법이 있다. 그러나 렌즈의 수가 많아질수록 광통신 모듈의 부피가 증가하여 집적화하기 어려운 단점이 있다. 비구면 렌즈는 하나의 렌즈만으로 구면 수차를 줄일 수 있는 장점이 있기 때문에 광통신 모듈의 핵심부품으로 적합하다.

비구면 렌즈를 설계하는 방법으로는 비구면 렌즈에 관한 일반적인 비구면 방정식을 이용하여 비구면 계수를 구한다.⁴ 비구면 렌즈를 설계시 최종설계의 성공여부를 좌우하는 가장 중요한 단계는 실제 공정상 발생할 수 있는 제작오차를 고려한 공차 설계라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 일반화된 기초설계 표현식으로부터 최적화에 필요한 초기 입력치를 결정하고, 이로부터 수평과 수직 발산각이 다른(수평방향 25° ~ 35°, 수직방향 30° ~ 40°) LD와 MFD(Mode Field Diameter)가 9.2~10.4μm 이고 최대 입사각이 11° 이내인 일반 광섬유를 결합하는 기능을 하는 비구면 렌즈를 설계 할 수 있다. LD의 발산각에 의한 출력광의 1/e² 지점에서의 NAO(Numerical Aperture Object) 값이 0.095 이고 광섬유의 NA를 만족하기 위해서는 5 배율의 렌즈 설계가 필요하다. 본 논문에서는 GMP(Glass Molding Processing) 공정시 발생하는 공정오차를 고려하여 공차설계를 한 후 제작된 비구면 렌즈를 비교 분석하였다.

2. 비구면 렌즈 공차설계

설계될 비구면 렌즈의 LD 특성은 일반적인 광통신용 광원의 발산각을 사용하여 X축과 Y축 각각 30°, 40°로 적용하였다. 렌즈의 형상은 Fig. 1과 같은 양면 비구면이며 재료는 K-VC89(SUMITA material 社)이고 성형 후 굴절률은 nd=1.77450이며 분산에 관련한 아베수는 vd=41이다.

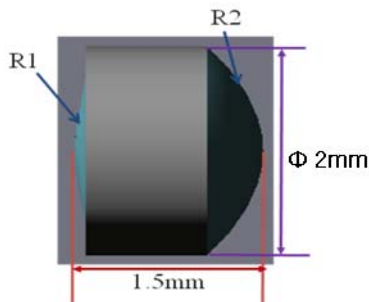


Fig. 1 Schematic of Aspherical lens

비구면 설계 이론과 렌즈의 성형 후의 굴절률을 바탕으

로 비구면 렌즈를 설계하였고, LD와 광섬유의 최대 결합효율을 도출하기 위하여 5 배율의 렌즈로 설계 최적화 하였다. 설계를 간편히 하기 위하여 일반적인 비구면 방정식의 고차항 중 4 차항에서 10 차항까지의 비구면 계수를 고려하였고, 최적화된 비구면 렌즈의 양면의 코닉상수와 비구면 계수는 아래의 표와 같이 계산되었다. Table 1에 코닉상수(K), 비구면 계수(A~D)를 나타내었다.

Table 1 Result of Design

Surface	K	A	B	C	D
R1	-4.557310	-1.713×10 ⁻¹	1.261×10 ⁻¹	-1.305×10 ⁻¹	3.725×10 ⁻²
R2	-0.360796	6.713×10 ⁻²	-3.560×10 ⁻³	1.450×10 ⁻³	7.2260×10 ⁻⁴

LD와 광섬유 결합렌즈의 주요 공차는 광섬유의 결합공차가 주요하며 그 변수로는 렌즈의 두께와 재료의 굴절률의 변화, 렌즈의 횡 방향 위치 변화가 있다. 이에 따른 공차를 해석 하기 위하여 비구면 렌즈의 GMP 공정 중 가압/가열 조건에 따른 물성변화(굴절률 변화)와 디몰딩 시 발생하는 결합으로 인한 표면조도 증가 및 곡률/두께의 변화에 대한 각 면의 공정상 오차를 고려하였다. 공정시 사용된 비구면 렌즈의 소재와 금형 소재의 선행창 계수는 각각 8.3×10⁻⁶, 10.2×10⁻⁶이며 성형온도 580℃에서 소재와 상/하부 금형코어의 늘어난 길이는 각각 6.04μm, 54.69μm이다. 이는 렌즈 제작시 고온에서 상온으로 온도 변화시 코어의 형상이 0.25% 수축된다는 것을 예상할 수 있으며, 그에 따라 수축율을 0.25% 적용하여, 곡률 및 두께, 그리고 소재 굴절률의 공차 범위를 각각 20μm ~ 1mm, 20μm ~ 0.5mm, 0.1 ~ 2까지로 설정하여 공차를 해석하였다.

설계된 비구면 렌즈의 LD와 광섬유 결합효율 공차를 분석해 보면 다음 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 2 Tolerance Design of Aspherical Lens

Surface	Radius	Radius Tolerance	Thickness	Thickness Tolerance	Index	Index Tolerance
R1	1.84282	0.0800	1.500	0.20000	1.77450	0.00200
R2	-1.13383	0.0200				

광섬유 결합효율에 의한 곡률에 대한 공차는 R1면과 R2면이 각각 80μm, 20μm이며, 두께에 대한 공차의 경우 R1 비구면의 경우 빛을 평행하게 만드는 기능을 하기 때문에 공차가 0.2mm로 크게 나타난다. 또한 재료의 굴절률에 관한 공차는 민감하게 나타나는 것을 고려하여 설계 시 기초 실험으로 GMP 성형 공정 조건에 의해 변한 소재의 굴절률을 측정하여 적용하였다.

Table 3 Design Optimization for GMP mold

Surface	K	A	B	C	D
R1	-4.557310	-1.700×10 ⁻¹	1.245×10 ⁻¹	-1.282×10 ⁻¹	3.064×10 ⁻²
R2	-0.360800	6.6627×10 ⁻²	-3.349×10 ⁻³	1.1424×10 ⁻³	7.7065×10 ⁻⁴

위 Table 3 는 보정값을 고려하여 수정된 코닉상수와 비구면 계수를 나타낸 것이다.

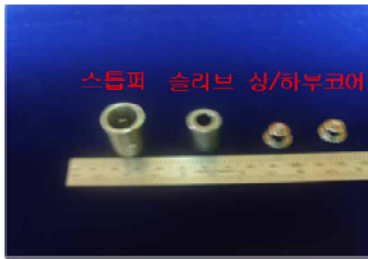


Fig. 2 Mold of Aspherical lens

3. 평가

위에서 분석한 공차를 고려하여 비구면 렌즈의 금형을 Fig. 2 와 같이 제작한 후 GMP 공정을 통하여 비구면 렌즈를 제작하였다. GMP 성형공정은 금형의 형상을 렌즈에 전사 시켜서 만드는 공법이다.⁵

상부코어, 하부코어, 슬리브, 스톱퍼로 이루어진 금형을 만들고 렌즈의 소재를 코어 내에 위치시킨 후 아래 Fig. 3 에서 보는 것과 같이 유리전이 온도 (T_g) 이상으로 가열(예 열 3 단계), 압력(프레스 1 단계), 냉각 3 단계 총 7 단계를 거치며 각 단계별 금형이 이동하는 순차 이동 방식으로 비구면 렌즈를 성형한다.

이 성형방법의 가장 큰 특징은 금형의 형상을 렌즈에 전사시키기 때문에 비구면 렌즈의 모든 정보가 금형 정보로서 결정된다는 점이다.

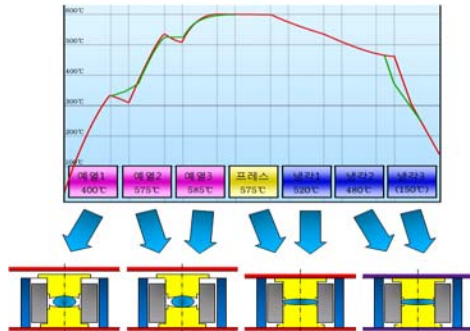


Fig. 3 Basic action of movable type processor

GMP 공정에 의해 제작된 비구면 렌즈의 형상측정 데이터를 아래의 Fig. 4 에서 나타내었다. 렌즈의 형상측정은 렌즈의 R1, R2 면을 X 축과 Y 축으로 각각 측정하여 렌즈형상의 이상유무를 파악하는 측정이다.

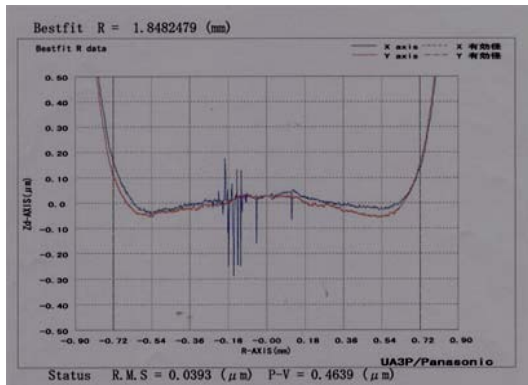


Fig. 4 Measurement data of Aspherical lens shape

렌즈의 기울어짐 현상은 집광된 광이 광섬유에 정확히 결합하는데 큰 영향을 주는 매우 중요한 변수이다. 위 데이터의 X 방향과 Y 방향의 차이는 렌즈의 기울어짐을 의미하며 약 $0.03\mu\text{m}$ 로 나타나 공차항목 중 기울어짐 공차인 -

$0.6 \sim -0.82\mu\text{m}$ 의 범위를 넘지 않는다.

또한 비구면 렌즈 표면에 미세한 이물질이나 구멍 등으로 인해 집광된 광이 분산되게 하므로 결합효율에 영향을 주므로 AFM(Atomic force microscope)을 이용하여 성형 후 비구면 렌즈의 표면조도를 측정하였다. 아래의 Fig. 5 는 표면조도와 광학적 특성인 결합손실 그래프이다.

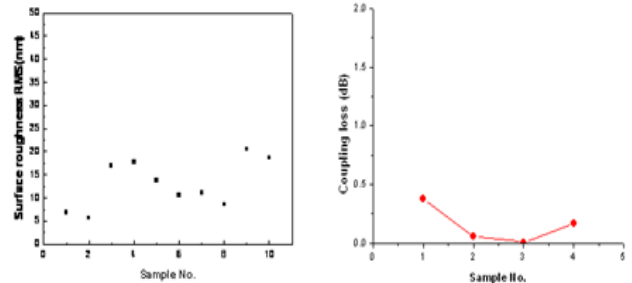


Fig. 5 Surface roughness & Coupling loss of Aspherical lens

제작된 비구면 렌즈의 표면조도는 평균 10nm 로 측정되었다. 또한 실제 제작된 비구면 렌즈로 결합 효율을 평가 한 결과 결합손실은 평균 0.4dB 로 측정되었다. 이는 상용되고 있는 렌즈의 평균조도 100nm 와 결합손실 $0.5 \sim 0.6\text{dB}$ 보다 우수한 성능을 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 광통신 모듈용 LD 와 광섬유의 결합효율을 높이기 위해 비구면 렌즈를 설계하였고, 렌즈의 GMP 공정시 발생하는 오차를 고려하여 공차설계 후 공차가 적용된 금형으로 실제 비구면 렌즈를 제작하여 형상측정을 통해 렌즈의 성능을 평가하였다.

소재와 금형의 성형온도 (580°C)에서의 열팽창 계수는 각각 8.3×10^{-6} , 10.2×10^{-6} 이며 렌즈 제작시 금형코어의 형상이 0.25% 수축되기 때문에 금형의 설계 치수에 수축율을 0.25% 적용하였다. 제작된 렌즈의 형상측정 결과 기울어짐 공차인 $-0.6 \sim -0.82\mu\text{m}$ 의 범위보다 작은 $-0.03\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 결합효율에 영향을 미치는 비구면 렌즈의 성형 후 표면조도를 측정한 결과 렌즈의 표면조도에 의한 분산손실의 영향이 없는 평균 10nm 로 나타났고, LD 와 광섬유 결합손실은 0.4dB 로 측정되었다. 이로써 비구면 렌즈의 공차설계 및 평가를 통하여 성능이 향상된 광통신용 비구면 렌즈를 제작하였다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구 (2009-0058700)지원으로 수행 되었음.

참고문헌

1. 박인규, 이종용, “광 Pickup 용 Gradient-Index 대물렌즈 설계”, 한국광학회, 18, 256-263, 2007.
2. 한국과학기술정보연구원, “광통신소자 기술개발 현황”, 89-98, 2005.
3. S. S. Park, K. Y. Lee, H. J. Lee, S. D. Kang, “Research on a micro aspherics glass lens manufacture technology”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 393-394, 2006.
4. 이종용, 박성찬, 박종대, 임천석, “CODE V 를 이용한 광학설계실습”, (주)북스힐, 168-172, 2005.
5. 차두환, 김현욱, 김혜정, 김정호, “비구면 Glass 렌즈 최적 성형조건 연구(I); 서냉 조건효과”, 한국광학회 2006년도 하계학술발표회 논문집, 197-198, 2006.