

광 정보 저장 장치에서의 비구면 렌즈 가공 기술

이호철*, 김대식, 이철우(삼성전자 디지털 총괄 디지털미디어 연구소), 김부태(삼성전자 디지털 총괄 메카트로닉스 센터), 양민양(한국과학기술원 기계공학과)

Aspherical Lens Manufacturing Technology in the Optical Storage Device

H. C. Lee, D. S. Kim, C. W. Lee (Digital Media R&D Center, Samsung Electronics), B. T. Kim (Mechatronics Center, Samsung Electronics), M. Y. Yang (Mechanical Eng. Dept., KAIST)

ABSTRACT

Aspherical lens with the higher numerical aperture has been needed in the optical storage device to increase the recording density on the disk. However, high numerical aperture means the large slope angle at the clear aperture of the lens. Therefore, the measurement and manufacturing technique including the lens molding process for the slope angle should be developed. In this paper, the evaluation technique was described for the optical performance of the aspherical lens. Aspherical form error brings about the wavefront error and the side lobe of the beam intensity profile. A schematic diagram of the aspherical lens manufacturing was drawn to explain the aspherical form error compensation. Finally, form error of the aspherical lens was defined and plotted using the raw data of the Formtalsurf.

Key Words : Aspherical lens (비구면 렌즈), Optical storage device (광 정보 저장 장치), Numerical aperture (개구수), Aspherical form error (비구면 형상 오차), Wavefront error(파면 수차)

1. 서론

정보 산업의 급속한 발전에 따라서, 많은 정보를 기록하고 재생하는 매체에 대한 수요도 날로 증가하고 있다. 따라서, 단일 파장의 광원을 집속 시켜서 정보를 기록하고 재생하는 광 정보 저장 장치 분야에서도, 고 용량화의 요구는 필수적이다. 따라서, 광 정보 저장 장치에서의 고용량화 과정은 1970 년대에 CD (Compact Disk)가 출현한 이후, 최근의 HD-DVD (High Density-Digital Versatile Disk)까지 디스크(Disk)의 기록 밀도를 증가 시키는 방법에 대한 연구를 중심으로 이루어져 왔다. 한편, 비구면 (Aspherical) 렌즈(Lens)는 광 정보 저장 장치의 광학 픽업(Pickup)을 구성하는 핵심 부품으로서, 레이저 다이오드(Laser Diode)의 파장과 더불어 디스크의 기록 밀도를 결정하는 주요 역할을 하고 있다.

비구면 렌즈는 다수의 구면 렌즈를 하나의 비구면 렌즈로 대체할 수가 있어서, 픽업 액추에이터

(Actuator) 및 픽업 광학계를 소형화할 수 있을 뿐만 아니라, 비구면 형상 변수 조절에 따른 렌즈면 형상 설계의 자유도를 증가 시켜서, 보다 적은 수차(Aberation)의 집속 빔(Beam)을 얻는 것이 가능하게 한다. 그러나, 광 정보 저장 장치에서의 비구면 렌즈는 표면의 기계적인 형상 정밀도를 서브미크론 (Sub-micron) 수준으로 요구하는 것 외에도 저가적으로 양산 해야 하는 어려움이 있어 왔다. 따라서, 높은 정밀도의 금형을 먼저 제작하여, 사출 또는 압축 성형이나 복제의 방법으로 그 형상을 전사하는 방법을 주로 이용하고 있다.¹²

본 논문에서는 고밀도화와 경량화 진전에 따라 광학 픽업(Pickup)의 대물 렌즈(Objective Lens)로서의 비구면 렌즈에 요구되는 파면(Wave front) 수차 등의 광학적 특성과 주요 평가 기준을 비구면 렌즈 제작 기술의 측면에서 파악함으로써, 보다 고정밀의 비구면 렌즈 가공 요구에 대한 이해를 도모하고자 한다 그리고, 비구면 렌즈 금형 제작과 사출 성형 과정에서의 가공 오차의 수정 가공 흐름도와 대

표적인 비구면 재료의 물성을 비교한다. 또한, 실제의 비구면 형상 가공 오차 분포를 이용하여 비구면 형상 오차를 정의하는 과정을 기술한다.

2. 비구면 렌즈 요구 특성

2.1 개구수(Numerical Aperture)

디스크의 기록 용량을 표 1에서와 같이 증가 시키기 위해서는 집속 되는 반도체 레이저 빔 (Laser beam)의 스폿 크기 (Spot size)를 작게 하는 것이 필요하다.

Table 1 Trend of high density in the optical storage device

	CD	DVD	HD-DVD
NA	0.45	0.6	0.85
Wave Length (nm)	780	650	400
Cover Layer (nm)	1.2	0.6	0.1
Spot Size (um)	1.2	0.9	0.4
Storage Capacity	680 MB	4.7 GB	22.5 GB

일반적으로 집속 빔의 스폿 크기는 다음 식(1)에 의해서 결정된다.

$$\text{spot size}(um) = k \lambda / NA \quad (1)$$

k 는 비례 상수이고, λ 는 사용된 광원의 파장이다 그리고, NA (Numerical aperture)는 대물 렌즈의 개구수이다. 대물 렌즈의 개구수는 Fig. 1의 대물 렌즈 형상의 예에서 보는 바와 같이 렌즈 재료에 의존하는 굴절률(Refractive index) n 과 빔의 집속각(Focusing angle) θ 에 의해서만 결정되어지며, $n \sin(\theta)$ 으로 표현된다. 그러나, 일반적으로 사용 가능한 광학 재료의 굴절률은 제한적이어서, 결국 Fig. 1의 대물 렌즈의 유효경(Clear aperture or Effective diameter) d 에서 렌즈면의 기울기 각 (Slope angle)이 렌즈의 집속각과 개구수를 결정하는 주요 인자가 되고 있다. 따라서, 비구면 렌즈 형상에 대한 가공 결과로 나타나는 정밀도 확보가 가능한 범위의 유효경과 그 기울기 각에 대해서 우선 고려되어야 한다. Fig. 2는 광 정보 저장 장치에서 사용했거나 개발 추진 중인 사용 파장에 따른 비구면 대물 렌즈

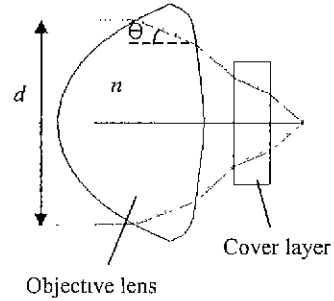


Fig. 1 Numerical aperture description of an objective lens by the refractive index and the focusing angle

의 주요 개구수 (Numerical aperture)의 예를 보여 주고 있다 초기 CD에서부터 HD-DVD를 거쳐 NFR(Near field recording)에 까지 다양한 비구면 렌즈의 개구수가 사용되고 있다. 그러나, 유효경에서의 급격한 기울기 각을 형성할 수 있는 가공 정밀도의 어려움을 고려해서, HD-DVD의 경우 파장 400 nm에서 개구수 0.85를 단 렌즈(single lens)가 아닌 두개의 렌즈 조합으로 대체 개발하는 방법도 시도되고 있다.³

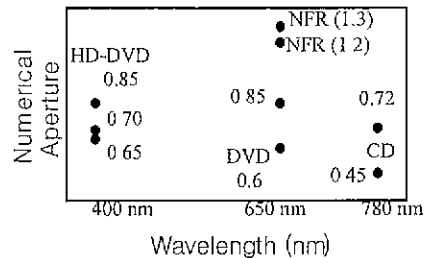
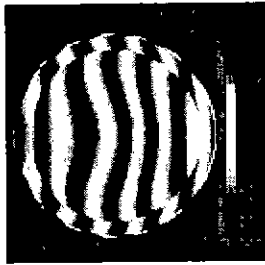


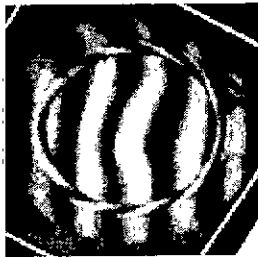
Fig. 2 Numerical aperture of the objective lenses with the wavelength

2.1 파면수차(Wavefront Aberration)

비구면 렌즈의 형상 오차는 최종적으로 집속 빔의 파면수차(Wavefront aberration or Wavefront error)로 나타난다. 파면수차는 일반적으로 사용 파장 λ 의 단위의 자승평균값(Root mean squares or rms)으로 표현한다. 일반적으로, 광 픽업 전체의 결상 광학계 전체의 파면수차 WFERms는 회절 한계 성능의 기준인 0.07λ 이하의 값을 가지도록 요구되고 있다. 따라서, 광 픽업 대물 렌즈로서의 비구면 렌즈의 광축 (Optical axis)에서 WFERms는 $0.025 \sim 0.05 \lambda$ 의 값을 가지도록 요구 된다.⁴ Fig. 3은 CD와 DVD 호환 가능형의 환 렌즈(Ring lens)의 파면 수차의 예이다 Fig 3(a)는 CD 영역 만의 파면 수차에 대한



(a)



(b)

Fig. 3 Wavefront error example of a ring lens for the CD/DVD pickup; (a) Analysis result on the CD region, (b) Measurement result on the DVD region

해석 결과이고, Fig. 3(b) 는 DVD 전 NA 영역에서의 파면 수차의 측정 결과이다. CD 영역만을 비교해 볼 때, 가공 후의 측정 결과가 비교적 해석과 일치된 간섭무늬(Interferometer fringe)를 보여줌을 알 수 있다.

2.3 빔 강도 분포(Beam Intensity Profile)

비구면 대물 렌즈에 의해서 이상적으로 집속된 빔은 가우시언 (Gaussian) 형태로 Fig. 4 와 같이 회전 대칭의 강도(Intensity) 분포를 보인다. 따라서, 대물렌즈의 결상 빔의 강도분포를 평가하는 방법으로, 집속후의 빔 스폿 크기 (Spot size)와 회절 빔의 강도가 렌즈 가공 성능의 우선적인 지표로서 이용된다.

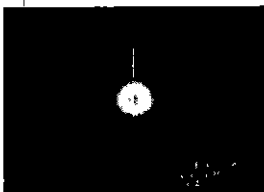


Fig. 4 Intensity photo of focused beam of the objective lens

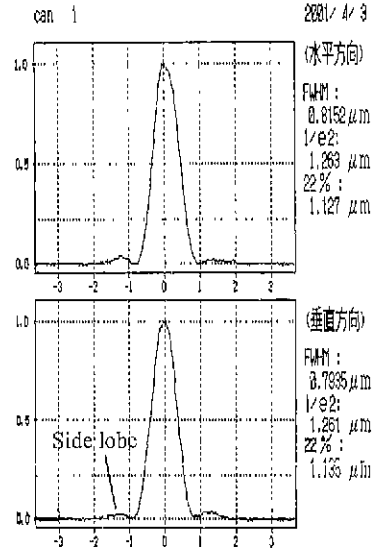


Fig. 5 Intensity profile of the focused beam of the objective lens

Fig. 5 는 빔 강도(Intensity) 의 단면 분포를 수평 및 수직 방향으로 나타낸 것이다. 스폿 크기 (Spot size) 는 정규화 (Normalization) 된 최대치 (Peak)의 $1/e^2$ 에 해당되는 부분의 폭으로 정의된다. 만약 렌즈의 기본곡률 값 등이 달라지는 경우에는 집속 빔 스폿 크기도 달라지게 된다. 한편 사이드로브(Side lobe)는 집속 빔의 주변부에 나타나는 광으로 그 형태는 Fig. 5 에서 보는 바와 같다. 사이드로브의 증가는 기록 재생시의 잡음(Noise)을 증가시키는 효과가 있어서, 렌즈 가공 과정에서 구면 수차 (Spherical aberration), 콤마 수차 (Comma aberration) 등의 발생을 최대한 억제하는 것이 필요하다.

3. 비구면 렌즈 금형 가공 및 성형

3.1 형상 수정가공과 비구면 렌즈 재료특성

비구면 렌즈를 제작하는 과정의 흐름도를 Fig. 6 에 보인다. 비구면 렌즈 금형 및 렌즈 곡면은 가공의 오차 및 성형에서의 수축(Shrinkage)을 고려하여 2 단계의 렌즈 형상 수정 가공이 일반적으로 불가피하다. 성형 후 수축에서 재료의 거동을 비교해 보기 위해서 렌즈 재료로 사용되는 대표적인 두 재료인 플라스틱 (Plastic, Zeonex) 및 성형 용도의 광학 유리 (Glass, C0550)에 대한 재료의 특성을 Table 2 에 비교하였다. C0550 은 Zeonex 에 비해서 선형 열 팽창률이 낮기 때문에, 성형 후의 수축은 상대적으로 적어 형상 정밀도를 달성 하는 데에는 유리

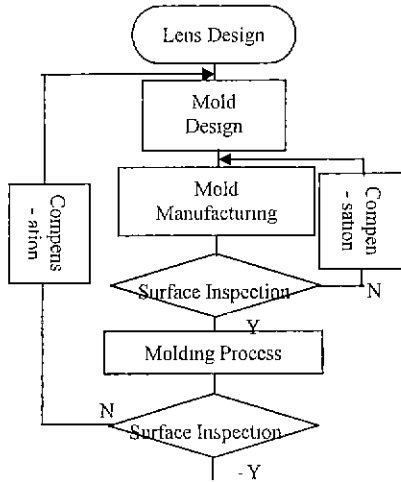


Fig. 6 Schematic diagram of the aspherical lens manufacturing using form error compensation

하지만, 성형을 위한 천이온도 (Transition temperature) 가 높고, 고온에 내구성을 가진 금형 재료를 요구한다는 단점이 있다 또한, 비중의 차이로 인해서 찍업 구동부의 무게를 증가 시키기도 한다.

Table 2 Comparison of plastic and glass material data

Material	Zeonex (Nippon Zeon)	C0550 (Corning)
Specific Gravity (g / cm ³)	1.01	3.80
Refractive Index (650 nm)	1.525	1.601
Glass Transition Temperature (T _g , °C)	138	330
Linear Expansion Coefficient (cm / cm °C)	6×10 ⁻⁵	1.5×10 ⁻⁵

3.2 비구면 형상정밀도의 평가

Fig. 7은 접촉식 형상 측정기인 폼탈리서프 (Formtalysisurf, Rank Taylor Hopson Co) 에서 측정된 보정 되지 않은 측정 형상으로부터 비구면의 형상 정밀도를 산출하는 과정을 보여준다. E1은 설계 비구면 형상과 가공된 비구면 형상과의 가공 오차 분포이다. 비구면의 기본곡률반경 R을 조정하면서 오차의 피크투밸리(Peak-to-valley) 값을 최소화하는 최적의 R을 적용하면 E2의 오차분포를 얻을 수가 있다. 3 단계로 E2 오차 분포의 평균선을 구해서 편차량 피그 (Fig) 만큼 이동한 오차 분포가 E3이다

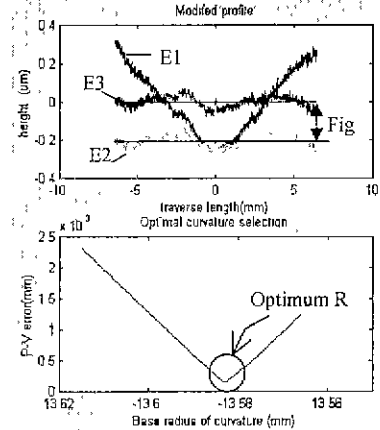


Fig. 7 Aspherical form error definition using a raw measurement profile of the Formtalysisurf

따라서, 비구면 형상의 가공오차를 곡률 최적화와 중심 편차로서 보정한 값인 E3 오차분포로써, 형상 오차를 평가하는 것이 일반적이다.

4. 결론

고밀도화에 따른 비구면 렌즈의 고 개구수 경향을 조사하였고, 고개구수로 인한 비구면 가공에의 어려움의 원인이 유효경에서의 기울기 각에 크게 의존될 수 있음을 보였다. 비구면 형상 오차를 정의하는 과정을 기술하였고, 형상 오차가 주는 영향을 파악하는 수단으로서, 광학적 성능 주요 지표인 파면수차와 빔 강도 분포의 실제 예를 제시하였다

참고문헌

1. D. Visser, T. G. Gijbbers, R. A. M. Jorna, "Molds and measurements for replicated aspheric lenses for optical recording," Applied Optics, Vol. 24, pp. 1848 - 1852, 1985
2. E. A. Antonov, N. M. Burdina, "Manufacture of optical elements by molding methods." Sov. J. Opt. Technol., Vol. 57, pp. 672 - 679, 1990
3. P. Smuiders, J. P. Baartman, J. W. Aarts, and B. W. Hendriks, "Two-element objective lens and spherical aberration correction for digital video recording (DVR)," Proceedings of SPIE Vol. 4900 pp. 302-308, 2000
4. 屋上守夫 외, 광 디스크 기술, ISBN 4-8443-0198-5 C3055, 라디오 기술사, Tokyo, 1988.