

초소형 광 정보 저장 기기를 위한 광 경로 설계 및 마이크로 보정 렌즈 제작

김홍민*(연세대 기계공학부), 정경성(연세대 정보저장공학과), 최우재(연세대 기계공학부),
박노철(연세대 정보저장공학과), 강신일(연세대 기계공학부), 박영필(연세대 기계공학부)

Design of Optical Path for Small Form Factor Optical Disk Drive and Fabrication of Micro-Compensatory Lens

H. Kim(CISD), K. S. Jung(CISD), W. J. Choi(Mecha. Eng. Dept. YU),
S. Kang(CISD), N. C. Park(CISD) and Y. P. Park(CISD)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to design a pick-up for the small form factor optical disk drive and to fabricate a micro-compensatory lens for the pick-up using the micro-compression molding process. At design stage, the optical elements including the objective lens and the compensatory lens are miniaturized. The height of pick-up and free working distance are designed as 2mm and 0.2 mm, respectively. To analyze the fabricated micro-compensatory lens, the system was analyzed using the surface profile of the fabricated micro-compensatory lens and CODE V which is commercial software. The RMS wave front aberration of the system using fabricated micro-compensatory lens is 0.01677λ which is lower than Marechal's criterion, 0.07λ .

Key Words : Small form factor ODD, Lens design, Optical disk(광 디스크), Wave-front aberration(파면 수차), Micro-compensatory lens (마이크로 보정 렌즈), Micro-compression molding process

1. 서론

고 NA(Numerical Aperture)의 대물렌즈 및 단파장 레이저를 사용하는 차세대 광 정보저장 장치는 12 cm의 광디스크에 25GB 이상의 정보를 저장할 수 있는 저장밀도를 가진다[1]. 최근들어 광디스크 드라이브의 최대 관심은 광디스크의 저장밀도를 향상시키고, 데이터의 읽기 및 쓰기 속도를 증가시키는 것에 있다. 광디스크의 저장밀도를 향상시키기 위해, 고 NA의 대물렌즈 및 단파장 레이저를 사용하는 것이 필수적이다. mp3 플레이어, 디지털 카메라, PDA 등과 같은 휴대용 정보저장기들은 작은 크기의 정보기기로서 최근 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 메모리 스틱, 스마트 미디어, 콤팩트 플래쉬, 마이크로 드라이브 등은 이미 개발되어 있으나, 데이터 저장용량에 비해 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다. 따라서 작은 크기, 고 용량의 휴대용 광 정보저장기기는 매우 많은 관심의 대상이 되고 있다.

저장밀도 향상을 위한 고 NA의 대물렌즈는 콤팩트 및 구면 수차의 원인이 되며, NA의 세제곱에 반비례하는 틸트 마진이 매우 작아진다. 그래서 틸트 마진을 확보하기 위해 0.6 mm, 1.2 mm의 디스크 두께를 각각 사용하는 DVD, CD를 대신하여 0.1 mm의 커버레이어(cover layer) 디스크가 제안되었다[2].

본 연구에서는 휴대용 초소형 광 정보저장기기의 광 경로를 설계하고, 설계된 광 경로의 부품인 마이크로 보정 렌즈를 제작하였다. 단일 대물렌즈를 사용하는 것은 틸트 마진을 확보하는데 충분하지 못하고 작동 거리(working distance)를 작게 하여 광 픽업의 크기를 작게 하는데 어려움이 많기 때문에 레이저 다이오드와 대물렌즈 사이에 구면의 마이크로 보정 렌즈를 사용하여 광경로를 설계하였다. 설계된 광 픽업의 주요 부품인 마이크로 보정 렌즈의 제작을 위한 몰드 인서트는 리플로우 방법 및 전기 도금을 이용하여 제작되었고, 최종 폴리머 마이크로 보정 렌즈는 마이크로 압축성형을 이용하여

제작되었다. 제작된 마이크로 보정 렌즈의 평가를 위해 렌즈 표면 데이터를 상용 광학 설계 및 평가 소프트웨어인 CODE V에 입력하여 광 경로의 파면 수차를 계산하였다.

2. 픽업의 광 경로 설계

2.1 개요

설계한 광 픽업의 광 경로는 기본적으로 45° 반사거울을 3 개 사용하여 'C' 자 형태로 설계하여 픽업의 두께를 최소화 하였다. 광디스크 드라이브의 두께는 전체 시스템과 콤팩트플레이시 타입 II의 두께를 고려하여 5mm 이하로 하였고, 광 픽업의 두께는 2mm 이고 작동 거리는 0.2mm 이하로 하였다. 광 디스크 드라이브에서 저장밀도를 높이기 위해서 스팟(spot)의 직경을 작게 설계해야 하는데, 스팟의 직경 (d)은 식 (1)과 같이 표현할 수 있고, 이와 밀접하게 관계가 있는 틸트 마진(θ)은 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 식 (1)에서 알 수 있듯이, 단파장과 고 개구수를 사용할 경우, 빔의 직경을 작게 할 수 있으나, 식(2)에 의해서 틸트 마진이 매우 작아지게 된다. 그렇기 때문에 이를 해결하기 위해서, 디스크의 커버 레이어의 두께를 작게 해야만 한다. 여기서 λ 는 사용되는 레이저의 파장, NA 는 개구수를 의미하고, k 와 c 는 상수 값이다.

$$d = k \frac{\lambda}{NA} \quad (1)$$

$$\theta = c \frac{\lambda}{NA^3} \quad (2)$$

2.2 광 경로 설계

본 연구에서는 고밀도 정보 저장을 위해 0.85의 고 NA를 갖는 단일 대물렌즈와 405nm의 단파장 레이저 다이오드를 사용하였고, 틸트 마진을 확보하기 위해 0.1mm의 폴리카보네이트 커버 레이어 디스크를 사용하였다. 또한, 광 부품의 조립을 단순하게 하고, 광 픽업의 크기를 작게 하기 위해 폴리카보네이트 재질의 단일 비구면 대물렌즈가 사용되었다. 또한, 단일 대물렌즈의 보안을 위해 대물렌즈와 같은 재질의 구면 마이크로 보정 렌즈를 대물렌즈와 레이저 다이오드 사이에 삽입하였다. 마이크로 보정 렌즈는 레이저 다이오드에서 발광된 빛이 발산하는 것을 막아주며, 빛을 모아줌으로써 대물렌즈의 곡률을 작게 할 수 있다. 또한, 레이저 다이오드와 대물렌즈가 적정 거리를 유지할 수 있게 해주고, 대물렌즈가 허용할 수 있는 수차에 대한

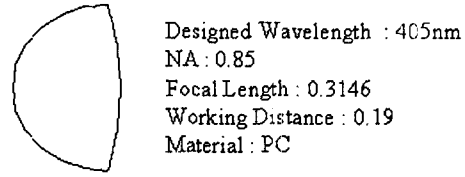


Fig.1 Shape and specification of objective Lens

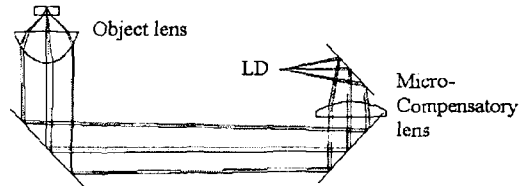


Fig. 2 The schematic of the optical path for the pick-up

여유를 확보할 수 있게 된다. 이로써 작은 크기의 대물렌즈 제작을 용이하게 만들어준다. 그림 1은 대물렌즈의 형상과 사양을 나타내고 있으며, 그림 2는 설계된 개략적인 광 경로 시스템을 나타내고 있다.

2.3 시뮬레이션

설계된 광 경로 시스템의 성능 평가를 위해 상용 소프트웨어인 CODE V 이용하여 설계된 광 경로에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 빔의 반회각 (semi-fields angle)은 2.0°로 하였고, 0.0, 0.7, 1.0 필드 (field)에 대해 해석하였다. 그림 3은 전체 시스템의 변조 전이 함수 곡선 (Modulation Transfer Function Curve)을 보여주고 있다. 또한 각각의 필드 및 필드 전체에 대한 RMS 파면수차는 각각 0.0168λ, 0.0161λ, 0.0174λ, 0.01677λ로, 파면수차가 0.07λ를 넘지 않아야 한다는 마샬 종속조건 (Marechal's criterion)을 만족하였다.

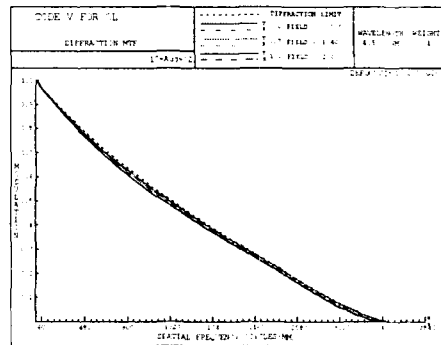


Fig. 3 Modulation transfer function curve for designed optical path

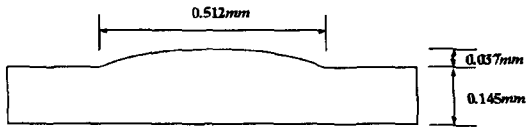


Fig. 4 The designed micro-compensatory lens shape.

3. 마이크로 보정 렌즈 제작

3.1 설계된 마이크로 보정 렌즈

그림 4는 설계된 마이크로 보정 렌즈의 형상을 보여주고 있다. 전체 시스템 설계과정에서 곡률 반경과 두께가 각각 0.900mm, 0.182m의 마이크로 보정 렌즈가 설계되었으며, 제작의 용이성을 위해, 구경의 크기를 0.512mm, 렌즈형상부의 높이를 0.037mm로 하고, 기판의 두께를 0.145mm로 하여 설계 요구조건에 부합하게 하였다.

3.2 마이크로 보정 렌즈 제작 방법

일반적으로 마이크로 렌즈 및 렌즈 어레이는 포토레지스트 리플로우 방법, 식각, 리소그래피, 마이크로 젯 방법, 레이저 용제법(laser ablation), 몰딩 등 여러가지 방법에 의해 제작된다[3], [4]. 사출성형, 압축성형, 핫 엠보싱 등의 여러 몰딩 방법은 같은 제품의 대량생산 능력뿐만 아니라 여러 종류의 광학용 폴리머를 사용할 수 있다는 장점 때문에 광학용 렌즈 제작의 가장 좋은 방법으로 평가 받고 있다. 그림 5는 마이크로 몰딩을 이용한 마이크로 렌즈 제작과정을 보여주고 있다. 먼저 그림 5(a)에서처럼 리소그래피 방법을 이용하여 실리콘 기판 위에 두꺼운 포토레지스트 기둥을 만든다. 다음으로 실리콘 기판 위의 포토레지스트가 용융상태가 되는 특정 온도까지 가열한다. 용융상태의 포토레지스트는 표면장력에 의해 그림 5(b)처럼 마이크로 렌즈의 표면으로 사용할 수 있는 렌즈 형상을 형성하며, 이러한 방법을 리플로우 방법이라고 한다. 이 리플로우 과정에서 마이크로 렌즈 표면의 곡률 반경이 제어된다. 그림 5(c)처럼 리플로우 방법에 의해 렌즈 표면이 형성된 실리콘 기판 위에 전주공정을 위한 시드(seed)를 코팅하고, 그림 5(d)의 전주공정을 통해 그림 5(e)의 금속 몰드 인서트가 제작된다. 마지막으로 그림 5(f)에서처럼 마이크로 몰딩을 통해 플라스틱 마이크로 렌즈가 제작된다.

본 연구에서는 마이크로 보정 렌즈를 제작하기 위해 마이크로 압축성형을 이용하였다. 그림 6은 본 연구에 사용된 마이크로 압축성형 시스템의 구조를 보여주고 있다

마이크로 광 부품의 치수 정밀도 및 표면 정도는 전통적인 성형품에 비해 매우 중요하다. 마이크

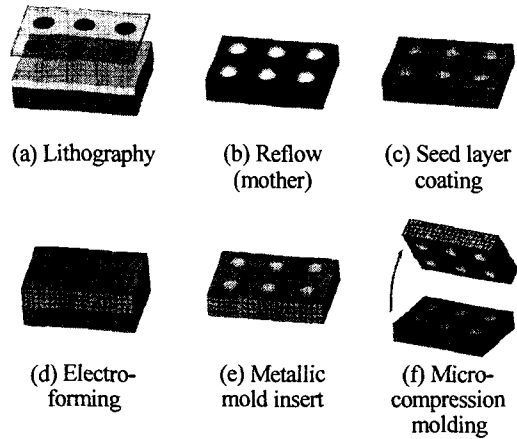


Fig. 5 Fabrication process flow of the mother of the microlens, the mold insert and the microlens.

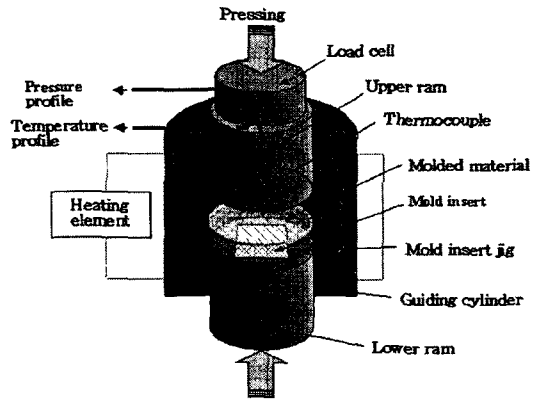


Fig. 6 The schematic of Micro-compression molding system.

로 성형품의 품질은 성형 조건에 매우 민감하며, 마이크로 압축성형 시 발생할 수 있는 여러 종류의 제품결함을 피하고, 마이크로 렌즈의 품질을 향상시키기 위해 금형 온도, 압축 압력 등의 성형조건을 최적화하였다.

그림 7(a)는 마이크로 보정 렌즈 성형을 위한 몰드 인서트, 그림 7(b)는 마이크로 압축성형에 의해 성형된 마이크로 보정 렌즈의 SEM 이미지이다. 그림 8은 설계에 의한 곡률 반경이 0.900mm의 이상적인 마이크로 보정 렌즈와 마이크로 압축성형에 의해 제작된 보정 렌즈의 표면 형상을 보여주고 있다. 설계에 의한 마이크로 보정 렌즈의 렌즈 표면 높이가 0.037mm이지만 제작된 마이크로 보정 렌즈의 높이는 0.036mm 정도로 약 1 μm정도 낮게 제작되었다.

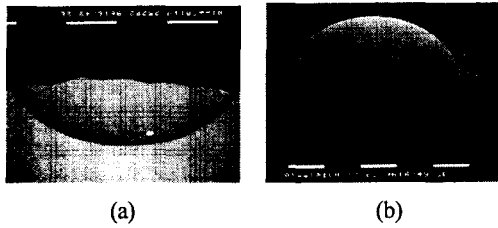


Fig. 7 SEM images of the fabricated mold insert(a) and the fabricated micro-compensatory lens(b)

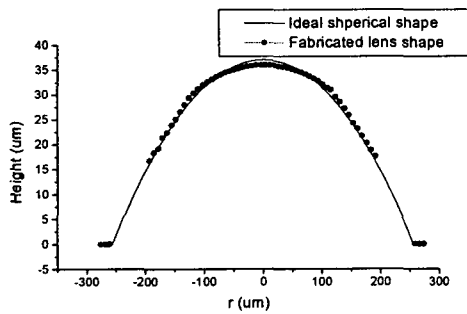


Fig. 8 Comparison among the ideal spherical profile and the fabricated micro-compensatory lens surface profile

4. 제작된 마이크로 보정 렌즈를 이용한 광 경로 시스템의 평가 및 고찰

그림 8 의 표면 데이터를 설계된 전체 시스템에 입력하여 제작된 마이크로 보정 렌즈를 평가하였다. 그림 9 는 전체 시스템의 출사동(exit pupil)에서의 반화각 2.0° 에 대한 0.0 필드, 0.7 필드, 1.0 필드에서의 파면 수차를 보여주고 있고, 표 1 은 마이크로 보정 렌즈의 표면이 이상적인 구면의 일부일 경우와 제작된 마이크로 보정 렌즈의 표면 데이터를 입력했을 때의 RMS 파면 수차를 보여주고 있다. 각각의 필드에 대해 RMS 파면 수차의 값은 조금의 차이를 보이고 있으나 필드 전체에 대해 구면 마이크로 보정 렌즈와 실제 제작된 마이크로 보정 렌즈의 경우 RMS 파면 수차의 값이 같게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 그 값은 마샬 중속조건 을 만족하고 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 초소형 광 정보 저장 기기용 픽업의 광 경로가 설계되었고, 픽업의 주요 부품인 마이크로 보정 렌즈가 마이크로 압축성형에 의해 제작되었다. 또한 제작된 마이크로 보정 렌즈의

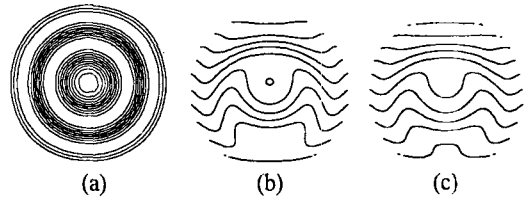


Fig. 9 The shapes of the wavefront aberration at 0.0 field (a), 0.7 field (b) and 1.0 field (c)

Table. 1 Comparison of the RMS wave-front aberrations

Field	RMS wave-front aberration (λ)	
	Designed value	Real value
0.0 Field	0.0168	0.0164
0.7 Field	0.0161	0.0160
1.0 Field	0.0174	0.0179
Composite RMS	0.01677	0.01677

표면 데이터를 이용한 전체 시스템의 RMS 파면 수차는 0.01677 λ 로 구면 마이크로 보정 렌즈를 이용했을 때와 같은 값을 나타냈으며, 이 값은 마샬 중속조건을 만족하고 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호 : R11-1997-006203-0)으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. I. Ichimura, S. Masuhara, I. Nkano, Y. Kasami, K. Yasuda and K. Osato, "On-Groove Phase-Change Optical Recording to a Capacity of over 25GB", Optical Data Storage Topical Meeting 2001, pp. 139, 2001
2. K. Yamamoto, K. Osato, I. Ichimura, F. Maeda, and T. Watanabe, "0.8-Numerical-Aperture Two-Element Objective Lens for the Optical Disk", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 456, 1997
3. S. Kang, S. Moon, "Design and Fabrication of Micro Optical Components for Optical Data Storage by Micromolding", CLEO/Pacific Rim 2001, pp. 16-17, Jul., 2001.
4. S. Moon, S. Kang, "Fabrication of Polymeric Microlens of Hemispherical Shape Using Micromolding" Optical Engineering, in press, September, 2002.