

NFR 시스템 헤드의 광 부품 조립 정밀도 분석

○ 오형렬, 권대갑, 이준희, 윤형길, 김진용, 김수경, 김영식

Analysis of Assembling Tolerance of Optical Components in NFR System

Hyeongryeol Oh, Daegab Gweon, HyungGil Yun, Junhee Lee,
JinYong Kim, Sookyung Kim, YoungSik Kim

ABSTRACT

For higher recording density in optical data storage, near field optics is being actively researched as one of the promising alternatives. But the tight assembling tolerance in NFR is one of big barriers to overcome for the realization of it.

In this paper, the tolerances in assembling optic components of NFR system are analyzed. Some of key tolerances can be loosened by the optimization of objective lens design. But one of them become too tight by the optimization and should be controlled by other means. One of possible methods to control the tolerance is discussed.

Key Word : NSOM, SNOM, Solid Immersion, SIL, Optical Recording

1. 서론

CD, DVD 등에서 이용되는 Far Field 광학계는 기록 층에서의 광 스팟의 크기가 광의 회절한계(Diffraction Limit)에 의해 제약되어 기록 밀도를 현재의 수준에서 크게 높이지 못한다. 이러한 Far Field 광학계 방식의 한계를 극복하기 위해 최근 근접장 광학계(Near Field Optics)¹를 채용한 광 기록 기술에 대한 연구가 활발하다.

근접장 광학계는 광의 파장을 줄여 기록 밀도를 높이려는 접근 방법이라는 점에서 Blue Laser 채용 기록 기술과 유사하다고 할 수 있으나, 파장을 줄이는 방식이 레이저 다이오드에 의하지 않고 초점이 형성되는 매질을 바꾸어 파장을 줄인다. 즉 매질의 굴절률이 반비례하여 광의 파장이 줄어드는 특성을 이용한다. 이 방식의 주류를 이루는 것이 SIL(Solid Immersion Lens)^{2,3}을 이용한 것으로 기존의 광학계와 같은 구조에서 대물 렌즈의 초점 영역에 반구형의 렌즈를 추가하는 방식이다.

그러나 근접장을 이용하는 광학계는 기록밀도를 높일 수 있는 반면 요구되는 광학계 및 기구부의 조립공차가 매우 작아지는 특성이 있다. 따라서 기존의 조립 방식으로는 NFR의 헤드를 대응할 수 없는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 근접장을 이용한 광학계의 구성에서 필요한 광학계의 주요 조립 공차의 범위를 분석하고 이를 극복하기 위한 방안을 제시한다.

2. NFR 헤드 광학계의 필요 조립 공차 분석

근접장을 광 기록 기기에 적용하기 위해 일반적으로 채용한 광학계의 형태는 그림.1 과 같은 구조를 가지고 있다. 즉 기존의 HDD에서 이용하는 구조와 외형상으로 같은 형태를 가지며, 공압부상 Slider에 자기 헤드 대신에 광학 헤드가 탑재된다. Pickup 광학계의 구조는 기존의 CD, DVD와 기본적으로는 같은 구조이다.

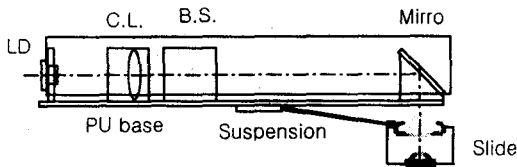


그림.1 NFR 광학계의 Scheme

NFR 광학계에서 가장 핵심적인 부분은 그림.2에 보이는 바와 같이 대물렌즈와 SIL로 구성되는 광학 헤드 부이며 이 부분의 조립 공차가 성능에 매우 민감한 영향을 끼친다. 이 광학계의 최종 성능에는 수 많은 조립 공차가 서로 trade-off로 결정되거나 상쇄되나, 본 논문에서는 헤드 광학계에서 대표적인 3가지의 조립 오차를 분석한다.

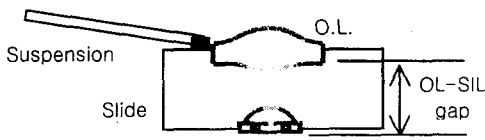


그림.2 NFR의 헤드 구조

여기에 관여하는 조립 공차에는 여러 가지가 있으나, 이 중에서 대물렌즈와 SIL 간의 간격 (Gap), 축 불일치(De-center) 그리고 두 렌즈의 상대적인 기울어짐(Tilt)이 가장 중요하고 광학적 성능도 이들에 매우 민감한 특성을 보인다. 이러한 특성을 좋게 하기 위해서 대물렌즈의 설계 시에 조립과 관련된 Constraint를 넓게 하여 설계를 실시하나 각각의 특성이 상호 연관되어 trade-off가 필요하다.

본 연구에서는 조립 공정에서 보완할 수 없는 공차인 De-center 및 Tilt는 최대한 느슨하게 하고 다른 방법으로 보완할 수 있는 부의 공차는 작게 하도록 대물렌즈 설계치를 최적화 한다. 이에 따라 설계된 대물렌즈의 사양으로는 OL 중심축의 SIL 축에 대한 위치인 De-Center Tolerance는 20 마이크로, Tilt Tolerance는 1° 정도로서 양산에서도 어느 정도 타당성이 있는 수치를 보인다. 그러나 이 최적화에 따라 trade-off 되어 요구되는 간격 공차는 그림.3에 보이는 바와 같이 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 로 매우 작아 양산에 대응할 수 없다.

여기에서 WFE(Wave Front Error)는 SIL 바닥면에 형성된 빔의 수차는 나타내며, 픽업에서 Diffraction Limited 광학계를 위해 일반적으로 적용하는 0.03λ RMS 기준을 적용하였다.

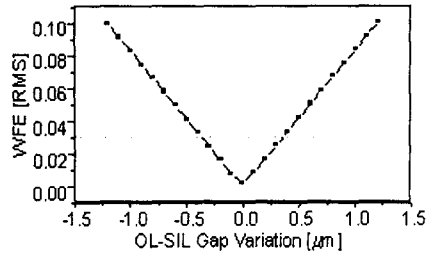


그림.3 OL-SIL 간격에 대한 수차

3. 대물렌즈-SIL 조립 간격 오차의 보상

대물렌즈와 SIL의 간격 조립 공차를 현실적인 수준으로 증가시키기 위하여 그림.4와 같이 비평행광을 이용하였다. 즉 간격이 설계 치에서 Δd 의 오차를 가질 경우 입사 빔의 퍼짐각 θ 를 조정하여 수차를 최소화 한다.

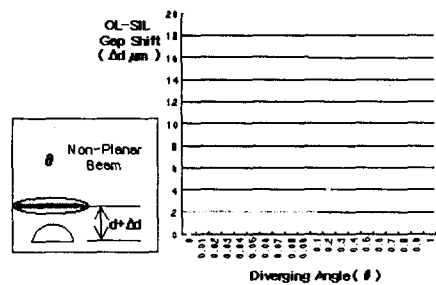


그림.4 간격 오차의 보상과 조정 특성 곡선

그림.4의 조정 특성곡선에서 보듯이 $\pm 2\mu\text{m}$ 의 조립 공차가 θ 를 $\pm 0.1^\circ$ 영역에서 조정하여 보상될 수 있음을 알 수 있다. 이 때 발생하는 수차를 그림.5에 나타내었으며 θ 를 $\pm 0.1^\circ$ 로 조정할 경우 발생하는 수차가 0.01λ RMS 이하이며, $\pm 0.5^\circ$ ($\pm 8\mu\text{m}$ 간격공차)로 조정할 경우에도 0.03λ RMS 이하의 수차가 발생한다. 그러나 실제 헤드의 조정/조립 정밀도를 양산 관점에서 $\pm 2\mu\text{m}$ 까지 확보할 수 있으므로 조정 목표를 $\pm 0.1^\circ$ 로 하였다.

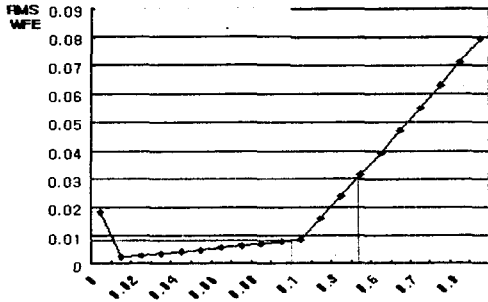


그림.5 간격 오차 시 발생 수차

이와 같이 입사광의 퍼짐 각을 조정하기 위하여 그림.6 과 같이 LD와 Collimator 렌즈의 간격(L)을 조정 Point로 설정하였다.

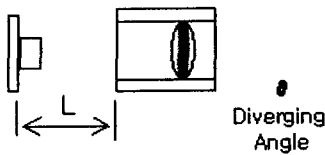


그림.6 Beam Diverging Angle의 조정 Scheme

이와 같이 L 조정할 때 Collimator 렌즈를 통과하는 광의 수차를 간섭계로 측정할 결과를 그림.7에 나타냈었으며 간섭계가 측정 가능한 영역 내에서 무시 가능한 수차가 발생하였음을 알 수 있다.

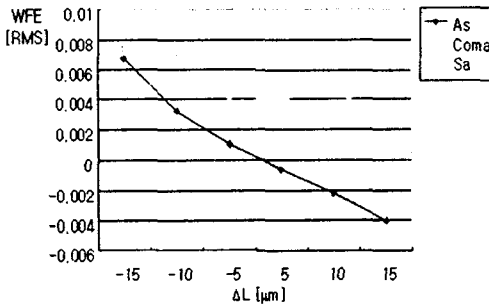


그림.7 L 값 조정에 따른 출사 빔의 수차

이러한 조정 방법을 이용하여 광학계의 조립 공차를 느슨하게 함으로서 Diffraction Limited 광학계가 되도록 조정하였다. 그림.8은 이러한 조건에서 얻어지는 SIL에서 출사하는 광의 Spot이다. 여기서 측정 대물렌즈를 0.95NA로 하였으므로 NF 광학계의 NA 보다 낮아 관찰 되는 스팟은 0.95NA 광학계에 의해서 결정된다.

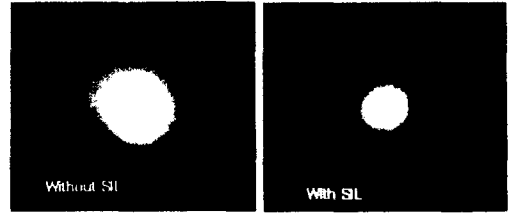


그림.8 Focused Spot

위 그림에서 보듯이 SIL을 추가 함에 따라 Spot Size가 현저히 감소함을 볼 수 있다. 그림.9는 이 스팟의 Profile로서 횡 및 종 방향 FWHM이 0.701 μm 와 0.683 μm 로 측정되었다. 여기서 빔 분포의 일차 Peak 값이 11.83%로 SIL이 없는 경우인 2.71%보다 크게 나타났다. 이는 측정시 SIL 밀면과 측정 대물렌즈의 상대적인 위치 조정과 광학계 위치 조정 장치의 분해능 부족에 기인한 구면 수차에 의한 영향으로 판단되나, 회절한계의 초점이 형성되었음을 확인 할 수 있다.

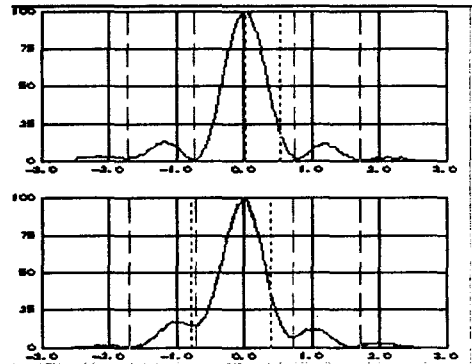


그림.9 Focused Spot의 Profile

4. 결 론

본 논문의 연구에서는 NFR 광학계를 적용하는데 있어 요구 되는 광학 부품의 조립 정밀도를 해석과 실험적으로 분석하였다. 이 조립 공차를 느슨하게 하기 위하여 대물렌즈의 설계를 조립 공차의 관점에서 최적화하였으며, 이 Trade-Off로 인하여 공차가 너무 작은 간격 공차는 입사 빔의 Diverging Angle을 조정하여 보상하였다. 이 조정으로 발생하는 수차는 현재 측정 가능한 영역에서는 무시 가능한 것으로 판단된다.

이러한 보상 방법을 적용한 광학계에서 빔 스팟을 측정하였으며 회절한계의 광이 얻어짐을 확인 하였다.

REFERENCES

- [1]. U.Dürig, D.W.Pohl, and F.Rohner , “Near-field optical-scanning microscopy”, *J.Appl.Phys.*59(10) pp.3318-3327, 1986
- [2] Takao Suzuki, Yusuke Itoh, Masahiro Birukawa and William Van Drent, “Solid Immersion Lens Near Field Optical Approach For High Density Optical Recording”, *Transactions on Magnetics*, Vol 34, No.2, pp399-403, 1998
- [3] B.D.Teris, H.J.Mamin and D.Rugar, “Near Field Optical Data Storage”, *Appl.Phys. Lett.* 68 (2) pp.141-143, 1995