

광 픽업의 열변형이 광학적 성능에 미치는 영향

김흥민* · 조성훈* · 이자용* · 강신일**

Effect of Thermal Deformation of Optical Pick-up Base on the Optical Performance

H. Kim, S. Cho, J. Lee and S. Kang

Abstract

The effect of thermal deformation of optical pick-up due to laser diode(LD) and LD driving integrated circuit on the optical performance of digital versatile disk(DVD) optical system was analyzed using the finite element analysis with initial surface residual stress conditions, and results were compared with the measured results with holographic interferometry. Ray tracing was performed using the deformed configuration of optical system.

Key Words : Mirco thermal deformation, Finite element analysis, Holographic interferometry measurement, Ray tracing, Optical performance

1. 서 론

광디스크 드라이브(Optical disk drive)에서, 광디스크 기판(Optical disk substrate)으로부터 정보를 획득하거나, 광디스크 기판으로 정보를 기록하는데 필수적으로 사용되는 광 픽업(Optical pick-up)에는 레이저 다이오드(Laser diode), 미러(mirror), 콜리메이터(Collimator), 광 분할기(Beam splitter), 대물렌즈(Object lens), 포토 다이오드(Photo diode) 등의 정교한 광학 소자들이 위치해 있다. Fig. 1 은 광 픽업베이스와 광 픽업의 광학계의 구성도를 보여주고 있다. 레이저 다이오드에서 발광한 빛은 여러 광학 소자들을 통과하여 광 디스크 기판에 모이고, 다시 디스크 기판에서 반사된 빛은 광학 소자들을 통과하여 포토 다이오드에서 검출된다. 레이저 다이오드와 광디스크 및 포토 다이오드사이에서의 원활한 정보 전달을 위해서는 광 픽업베

이스 상의 광학 소자들의 초기 위치의 유지가 필요하다. 여러 요인들에 의한 광 픽업베이스의 변형이 광학 소자들의 미소 변위를 발생시키고, 그 결과 광학계의 광 축의 변형이 초래됨으로써 광학계 성능의 변화하여, 광 픽업의 불량률 유발하게 된다. 이러한 광 픽업의 성능 변화의 원인으로서는, 광디스크 드라이브의 구동에 의한 열 및 습도변화에 의한 접착제 및 광 픽업베이스의 변형, 광학 소자의 변형, 접착불량, 초기 조립 단계에서의 오정렬 등이 거론되고 있다.

본 연구에서는 광 픽업의 구동상태에서 레이저 다이오드 및 레이저 다이오드의 구동 회로에서 발생하는 열에 의한 광 픽업베이스의 열변형이 광 픽업의 광학계 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 유한요소해석(Finite element analysis)을 통해 광 픽업 베이스의 열변형 해석을 수행하였고, 홀로그래픽 간섭계 측정(Holographic

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 기계공학부

E-mail : snlkang@yonsei.ac.kr, Tel : 02) 2123-2829

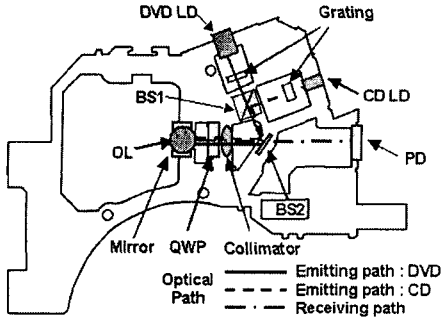


Fig. 1 The configuration of optical components on optical pick-up base

interferometry measurement)을 통한 열변형 측정 결과와 비교하였다. 유한요소해석을 통해 얻은 미소 변형의 분석을 통해 광학계의 미소 변형량을 추출하였고, 변형된 광학계를 이용한 광선 추적(Ray tracing)을 통해 광학 성능의 변화를 분석하였다.

2. 광 픽업베이스의 열변형

2.1 광 픽업 구동 시 온도분포 측정

광 픽업의 레이저 다이오드의 구동에 의한 광 픽업 베이스의 열변형 해석을 위해, 적외선 카메라를 이용하여 DVD 용 레이저 다이오드 구동 상태에서 광 픽업의 온도분포를 측정하였다. Fig. 2(b)는 측정된 온도분포를 보여주고 있다. 레이저 다이오드 구동 상태에서 레이저 다이오드와 구동 회로 근처에서 최대 온도가 56°C로 측정되었고, 그 외의 다른 부분에서 최소 온도가 30°C로 측정

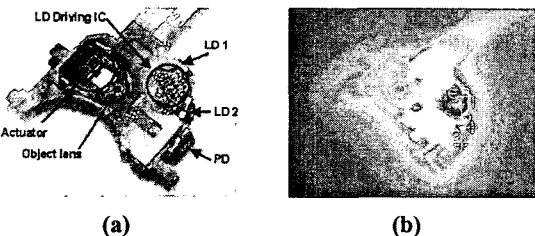


Fig. 2 The figures of (a) optical pick-up and (b) measured temperature distribution of optical pick-up under DVD LD operating situation (maximum temperature: 56°C, minimum temperature: 30°C)

되었다. 이렇게 광 픽업의 구동에 의해 발생하는 열에 의한 온도 분포는 광 픽업베이스의 미소 열 변형을 유발시킬 것이다.

2.2 유한 요소 열변형 해석

레이저 다이오드 구동 상태에서 발생하는 미소 열변형 해석을 위해 유한요소해석을 수행하였다. 해석을 위한 경계 조건으로 측정된 온도 분포를 사용하였고, 초기 조건으로 광 픽업베이스를 130MPa의 초기 표면 잔류응력 상태로 설정하였다. 초기 표면 잔류응력은 광 픽업베이스의 성형 과정에서 생성된 것으로, X선 회절(X-ray diffraction) 측정법⁽¹⁾을 적용하여 측정되었다. Fig. 3은 유한요소해석을 통해 얻은 열변형량 분포를 보여주고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 최대 변형량의 크기가 약 4.0μm임을 알 수 있다. Table 1은 열변형 해석 결과로부터 얻은 광학 소자가 위치한 면의 법선방향 변화를 보여주고 있다. 여기서 α , β 및 γ 는 법선 벡터의 방향코사인을 나타내고 있다.

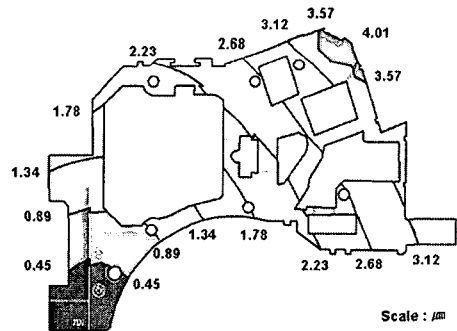


Fig. 3 Contour maps of the resultant thermal deformation of optical pick-up base using FEA with initial residual surface stress

Table 1 Deviations of direction of optical components

Optical component	$d\alpha$ (°)	$d\beta$ (°)	$d\gamma$ (°)
DVD LD	-0.00263	-0.00263	-0.00033
CD LD	0.00153	-0.00153	-0.00287
BS1	-0.00308	-0.00283	0.00418
BS2	0.00034	0.00034	0.00108
Mirror	-0.00127	-0.00234	-0.00234

3. 홀로그래픽 간섭계를 이용한 열변형 측정

3.1 열변형 측정

광 픽업의 구동상태에서의 열변형 측정은 홀로그래픽 간섭 측정법⁽²⁻⁶⁾을 이용하였다. Fig. 4는 광 픽업베이스의 열변형을 측정하기 위한 홀로그래픽 간섭계의 구성도를 보여주고 있다. 광원으로는 632.8nm 파장의 10mW He-Ne 레이저를 사용하였으며, 광 분할기 및 ND filter를 이용하여 물체광(Object beam)과 참조광(Reference beam)을 적절한 비율로 나누었으며, 광 픽업의 DVD 용 레이저 다이오드 구동 상태에서 홀로그램 간섭무늬를 측정하였다. Fig. 5는 서로 다른 세 위치에서 측정한 변형량의 홀로그램 간섭 무늬를 보여주고 있다.

3.2 홀로그램 간섭무늬의 분석

홀로그램 간섭무늬와 변형량과의 관계는 식 (1)과 같은 관계에 의해 표현된다.

$$n\lambda = K \cdot D \quad (1)$$

여기서 n 은 간섭무늬의 차수, λ 는 파장, D 는 변위벡터이며 K 는 관찰점의 단위벡터와 물체광의 단위벡터의 차로 정의되는 감도벡터(sensitivity vector)이다. 따라서 서로 다른 세 위치에서 측정된 홀로그램 간섭무늬를 이용하면 3 차원 변형량을 계산할 수 있다. Fig. 6은 측정된 세 위치에서의 홀로그램을 분석한 광 픽업베이스의 변형량 분포를 보여주고 있으며, 최대 변형량은 약 3.2 μ m로 유한요소해석에 의한 결과보다 약 0.8 μ m의 오차를 보이고 있으나, 변형량 분포는 해석에 의한 결과와 유사함을 알 수 있다.

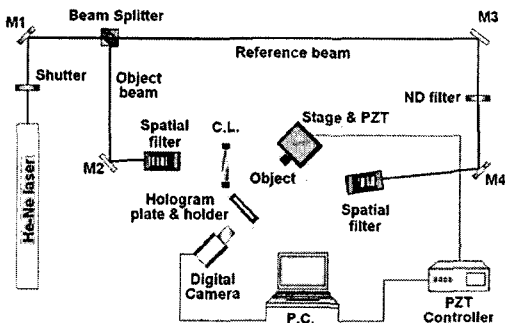


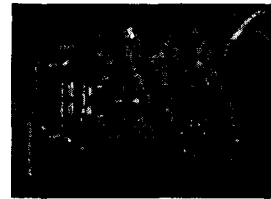
Fig. 4 Schematic of the optical system of the holographic interferometer



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Holographic interferograms of the pick-up base as viewed from (a) viewpoint 1, (b) viewpoint 2, and (c) viewpoint 3

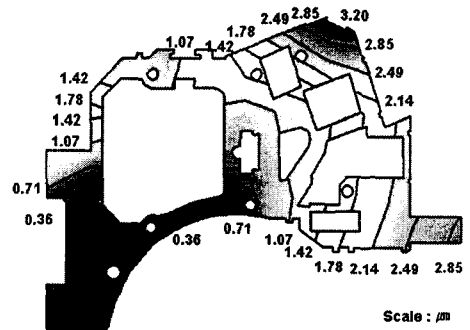


Fig. 6 Contour maps of the resultant thermal deformation of optical pick-up base using holographic interferometry

4. 열변형에 의한 광 특성 변화

열변형에 의해 변형된 광학계 구성을 이용하여 광선 추적을 수행하였다. 레이저 다이오드에서 발산한 레이저 광선의 방향은 광학 소자의 방향에 의해 결정된다. 일반적으로 광학 소자는 렌즈와

같은 굴절 소자 와 거울과 같은 반사 소자로 분류되며, 각각의 광학 소자의 법선 방향과 광선의 진행 방향과의 관계는 식 (2)와 (3)으로 표현된다.

$$\vec{d}_{i+1} = \vec{d}_i \quad (2)$$

$$\vec{d}_{i+1} \cdot \vec{n} = -\vec{d}_i \cdot \vec{n} \quad (3)$$

여기서 \vec{n} 은 광학 소자의 법선 방향을 나타내며, \vec{d}_i 및 \vec{d}_{i+1} 는 각각 광학 소자로 입사되는 광선의 방향과, 광학 소자로부터 굴절 또는 반사되어 나가는 광선의 방향을 나타내고 있다. 따라서 광 픽업베이스의 열변형에 의한 광학 소자의 법선 벡터의 변화는 레이저 광선의 진행 방향을 변화시키며, 유한 요소 열변형 해석에서 얻은 결과와, 식 (2), (3)을 이용하여 계산된, 레이저 광선이 대물 렌즈로 입사 되는 빛의 각도 변화는 0.0086° 였다.

Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 광선 추적을 통해 얻은 열변형 전과 후의 광 디스크 면에서의 레이저 광의 모습을 보여주고 있으며, Fig. 7(c)는 DVD 용 레이저 다이오드 구동 상태에서 측정된 레이저 광의 형상을 보여주고 있다. FWHM(Full with half maximum) 에 의해 얻은 빔 직경은 각각 0.540 μ m, 0.541 μ m, 0.575 μ m 였다. RMS(Root mean square) 파면 수차는 열변형 전과 후에 각각 0.0021 λ 와 0.0024 λ 였다. 열변형에 의한 파면 수차의 변화는 마셀의 종속조건(Marechal's criterion)을 만족함을 알 수 있다. 또한 열변형에 의한 MTF(Modulation transfer function) 곡선의 변화는 확인할 수 없었다. 이로써 광 픽업베이스의 열변형이 DVD 용 광학계의 성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

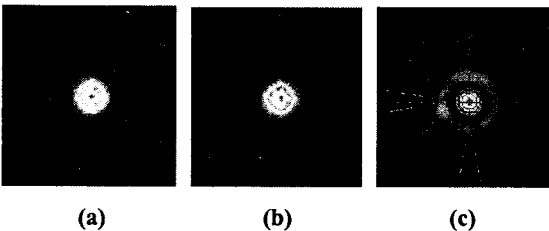


Fig. 7 The simulated beam spots on optical disk substrate (a) before deformation of the pick-up base (b) after deformation of the pick-up base and (c) measured beam spot

5. 결론

유한 요소 열변형 해석 및 홀로그래픽 간섭계를 이용한 열변형 측정, 광선 추적 등의 방법을 이용하여 광 픽업베이스의 열변형이 DVD 용 광학계의 성능에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 광 픽업의 구동 상태에서 발생하는 열변형이 광학 소자의 변형을 유발시킴으로써, 광경로의 변화를 가져옴을 확인하였고, 이는 광 디스크 면에서의 레이저 빔의 직경과 파면 수차를 변화시켰다. 하지만 그 변화량이 매우 작아 DVD 용 광학계의 성능에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기 연구센터(과제번호: 2003-2-0076)와 삼성전기의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) I. Noyan and J. B. Cohen, 1987, "Residual Stress: Measurements by Diffraction and Interpretation", Springer-Verlag, New York, Chap. 3, p.47.
- (2) S. Cho, Y. Seo and S. Kang, 2003, "3D Measurement of Micro Thermal Deformations in an Optical Pick-up base Using Holographic Interferometry", Opt. Eng. Vol. 42, pp.3198-3203.
- (3) R. Jones and Catherine Wykes, 1983, "Holographic and Speckle Interferometry: A Discussion of the Theory, Practice and Application of the Techniques", Cambridge University Press, Chap. 2, p.64.
- (4) P. K. Rastogi, 1994, "Holographic Interferometry; Principles and Analysis", Springer Verlag., New York, Chap. 3, p. 33.
- (5) K. A. Stetson and R. L. Powell, 1965, "Interferometric Hologram Evaluation and Real-time Vibration Analysis of Diffuse Object", J. Opt. Soc. Am. Vol. 55, pp.1694-1695.
- (6) L. O. Heflinger, R. F. Wuerker and R. E. Brooks, 1966, "Holographic Interferometry", J. Appl. Phys. Vol. 37 pp. 642.