

홀로그래프 간섭계를 이용한 광픽업 베이스의 미소 열변형 측정

서영민*(연세대 대학원 기계공학과), 강신일(연세대 기계공학부 부교수)

Measurement of Micro Thermal Deformation of Optical Pick-up Base Using Holographic Interferometry

Young-Min Seo(Mechanical Eng., Yonsei Univ.), Shinill Kang(Mechanical Eng. , Yonsei Univ.)

ABSTRACT

In optical pick-up, optical components such as objective lens, collimator, mirror, laser diode and photo diode are mounted on the pick-up base. These components must keep their original position during operation for proper transmittance of information from laser diode to optical disk and back to photo diode. However, micro thermal deformation of pick-up base which is induced by thermal environment during operation can deteriorate the performance of optical pick-up. Therefore, it is important to measure and analyze the thermal deformation behavior of pick-up base under thermal environment. In the present study, a measurement system using holographic interferometry was designed to measure micro thermal deformation of pick up base. The measurement system was verified by using the deformation of cantilever with prescribed motion actuated by PZT with 1 nm resolution. Interferometric measurement was compared quantitatively with that induced by PZT actuator. Finally, micro thermal deformation of pick-up base under actual thermal environment was measured using the present holographic interferometry and the results were analyzed.

Key Words : Holographic interferometry (홀로그래프 간섭계), Optical pick-up base (광픽업 베이스), Double-exposure method (이중노출법), Micro thermal deformation (미소열변형)

1. 서론

광디스크 드라이브(optical disc drive)에 있어 고밀도로 기록된 디스크의 재생 및 기록을 위한 중요한 요소 중 하나인 광픽업(optical pick-up)에는 렌즈, 미러, 레이저다이오드(laser diode), 포토다이오드(photo diode) 등의 여러 광학소자들이 픽업 베이스 위에 정교하게 위치하여 있다. 이러한 광학소자들은 디스크와 포토다이오드 및 레이저다이오드 사이에서 정보가 원활히 전달되기 위하여 초기의 위치를 유지하여야 하나 여러 원인에 의하여 소자들의 미소 변위가 발생하게 되고, 그 결과 광축이 어긋나게 됨으로써 최종적으로 디스크의 정보를 읽어 들일 수 없게 된다. 이러한 불량 발생의 원인으로서는 접착(bonding) 불량, 초기 조립단계의 오정렬 및 열, 습기 등의 환경에 의한 변형 등이 있는데 이중 드라이브 구동 시 발생하는 고온의 열환경에 의한 픽업 베이스의 열변형은 하나의 주요한 원인으로 고

려될 수 있다. 그러나 이와 같은 미소 열변형은 측정방법에 있어 많은 어려움을 가지고 있으며 CAE 등을 통하여 정확한 변형의 경향 및 정도를 예측하여 성형공정 및 구조적 결함으로 인한 픽업베이스의 불량 여부를 판단하는 것은 매우 어렵다. 또한, 측정에 있어서도 국부적인 측정으로써는 변형발생의 원인 및 발생부를 정확히 규명할 수 없어 근본적인 문제해결이 어려운 경우가 많다. 이러한 이유로 비접촉식, 비파괴적 측정기술로써 전체적인 변형의 측정이 가능하며 사용광원의 파장 이하의 분해능을 가지는 홀로그래프 간섭계는 변형 측정 및 문제해결에 있어 유용하게 사용될 수 있다

홀로그래피란 물체광(object beam)과 참조광(reference beam)의 간섭에 의하여 진폭과 위상의 양성분을 모두 기록함으로써 3 차원적인 재생이 가능한 기록기술이다⁽¹⁾. 물체로부터 산란되어 나오는 물체광과 참조광의 간섭에 의한 간섭무늬를 홀로그래프 감광체에 기록하여 현상, 표백, 세척 등의 후처리

과정을 거쳐 홀로그램을 제작한 후에 참조광과 동일한 재생광을 홀로그램에 조사하게 되면 재생광의 회절에 의하여 홀로그램에 기록된 물체광의 파면이 재생되어 물체의 상이 3 차원적으로 재생된다. 이렇게 재생된 두 개 이상의 상이 서로 겹쳐졌을 때 위상의 변화가 있었다면 간섭을 일으켜 위상차에 상응하는 간섭무늬를 형성하게 되는데 이러한 원리를 이용하면 물체의 변형을 측정할 수 있으며 이중노출법(doubl-exposure method)과 실시간측정법(real-time method) 등이 있다⁽²⁻⁴⁾.

이중노출법은 물체의 상과 변형 후 물체의 상을 하나의 홀로그램 감광제에 기록 후 재생하게 되면 물체의 변형에 의하여 재생된 상에는 변형에 상응하는 간섭무늬가 나타나게 되는데 이러한 간섭무늬를 통하여 변형의 경향 및 정도를 측정할 수 있다. 동일한 원리로서 물체에 대한 홀로그램을 제작 후 재생상과 물체를 정확히 겹치도록 정렬한 후에 물체에 변형을 가하게 되면 광경로차의 발생으로 인하여 이중노출법에서와 같이 간섭무늬를 얻을 수 있는데 이러한 측정법을 실시간측정법이라 하며 물체의 변형에 상응하는 간섭무늬의 변화를 계속적으로 관찰할 수 있는 이점을 가지고 있는 반면 홀로그램을 원위치로 정확히 정렬하는데 있어 다소 어려움을 가지고 있다.

본 연구에서는 홀로그램 간섭계를 이용한 변형 측정 시스템을 구성하여 열환경 내에서의 광픽업 베이스의 미소 변형을 측정하고 정성적으로 분석함으로써 성형공정의 타당성 및 구조적 안정성을 평가하였다. 측정 시스템의 검증을 위하여 1nm의 분해능을 가지는 PZT 액추에이터(actuator)를 이용하여 외팔보의 끝단에 임의의 변형을 가한 후 이중노출법을 사용하여 변형에 의하여 나타나는 간섭무늬로부터 계산된 변형량과 PZT 액추에이터의 이동거리를 비교하였다.

2. 실험장치의 구성 및 방법

2.1 광학계 구성

본 실험을 위한 광학계의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 광원으로는 632.8nm 파장의 10mW He-Ne 레이저를 사용하였으며 대기중의 입자에 의한 레이저의 산란 및 진동에 의한 영향을 최소화하기 위하여 clean booth 내에 방진테이블을 설치하고 방진테이블 위에 모든 광학계를 구성하였다. 광분할기 (beam splitter) 및 ND filter를 이용하여 물체광과 참조광을 적정한 비율로 나누었으며 노출(exposure) 후 현상(developing), 표백(bleaching), 세척(washing)에 필요한 적정시간, 현상액 및 표백액은 여러 차례의 실험을 통하여 최적의 조건을 찾아 내었다.

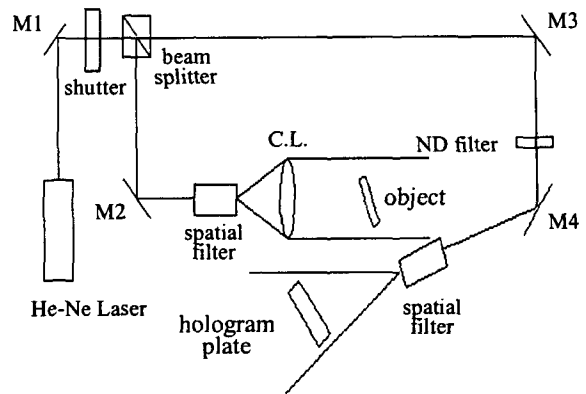


Fig. 1 Schematic diagram of optical set-up for holographic interferometry

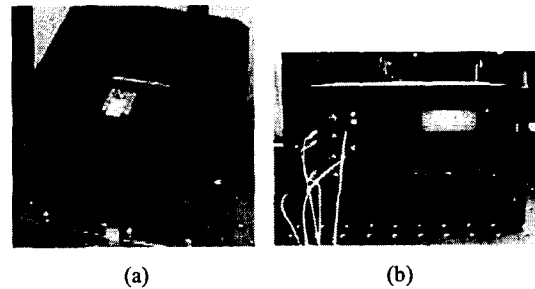


Fig. 2 Experimental equipment for verification of measurement system. (a) PZT actuator and cantilever and (b) PZT actuator controller

2.2 PZT 액추에이터를 이용한 외팔보의 변형 측정 실험

홀로그램 간섭계에 의한 변형측정의 정량적 분석의 검증을 위하여 알루미늄 외팔보를 제작 후 PZT 액추에이터를 이용하여 외팔보 끝단에 각각 3, 10, 20, 30 μm 의 변형을 가하며 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 PZT 액추에이터는 분해능이 1nm이며 PC를 이용하여 제어를 할 수 있도록 하였고 측정 결과를 디지털 카메라로 촬영 후 PC로 연결하여 볼 수 있도록 하였다.

2.3 광픽업 베이스의 열변형 측정 실험

광픽업 베이스에 대하여 열환경 내에서의 미소 열변형의 측정을 위하여 이중노출법을 이용하여 실험을 수행하였다. 히터 및 온도조절기를 사용하여 열환경을 조성하였으며 주축(main shaft)이 들어가는 홀 한편을 고정시킴으로써 실험 중 기타 요인에 의하여 발생할 수 있는 픽업 베이스의 이동을 제거하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 외팔보의 변형측정결과

Fig. 3 은 각각 PZT 액추에이터를 이용하여 외팔보에 각각 3, 10, 20, 30 μm 의 변형을 가한 후 홀로그램에 나타난 간섭무늬의 사진이다. 실험결과 각각의 변형에 대하여 8, 29, 58, 87 개의 밝은 간섭무늬가 관찰되었으며 변형량의 증가에 비례하여 간섭무늬의 증가를 나타내었다. 실험 결과로부터 보면 고정단에서의 간섭무늬 간격이 가장 넓게 나타났으며

고정단에서 멀어지며 간섭무늬의 간격은 점차 좁아져 어느 정도 이상에서부터는 간섭무늬의 간격의 변화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 외팔보 처짐곡선의 구배가 고정단에서 점차 멀어지며 커져 간섭무늬의 간격이 균일한 지점에서부터는 일정해졌음을 나타내고 있다. 이로부터 구배가 일정한 부분은 고정단부의 변형에 의한 외팔보의 회전이 발생함으로써 나타난 처짐으로 이러한 결과는 외팔보의 이론식에 의한 결과와 일치함을 알 수 있다.

3.2 실험결과의 정량적 분석

물체 위의 한 점이 변형에 의하여 미소변위가 발생하게 될 때 이러한 변형에 의한 위상차(phase difference)가 발생하게 되고 이러한 위상차가 보강 간섭이 일어나기 위한 조건은 다음과 같다⁽²⁾.

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

여기서, n 은 간섭무늬의 차수, λ 는 파장, \bar{D} 는 변위벡터이며 \bar{K} 는 관찰점의 단위벡터와 물체광의 단위벡터의 차로 정의되는 감도벡터(sensitivity vector)이다.

실제적인 3 차원적 변형의 크기 및 방향을 구하기 위해서는 변위벡터의 미지수 세 성분을 결정해야 하므로 3 개의 감도벡터를 다중홀로그램 분석(multi-hologram analysis) 혹은 단일홀로그램 분석(single-hologram analysis)을 이용하여 구하고 간섭무늬의 차수를 실험적으로 얻어내어 변위벡터 \bar{D} 를 구해야 한다^(2,4). 한편, 변형의 방향을 알고 있는 경우에는 감도벡터의 방향을 측정하고자 하는 물체의 표면에 법선방향이 되도록 광학계를 구성하게 되면 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽³⁾.

$$n\lambda = d \cos \alpha + d \cos \beta \quad (2)$$

여기서, d 는 변위벡터 \bar{D} 의 크기를 나타내고 있으며 α 와 β 는 구성광학계에 의하여 결정되어서는 상수이다. 따라서, 변형이 없는 곳으로부터 간섭무늬의 차수 n 을 실험적으로 구하게 되면 식(3)에 의하여 변형량을 구할 수 있으며 외팔보의 변형측정 실험에 의하여 나타난 간섭무늬로부터 계산된 결과를

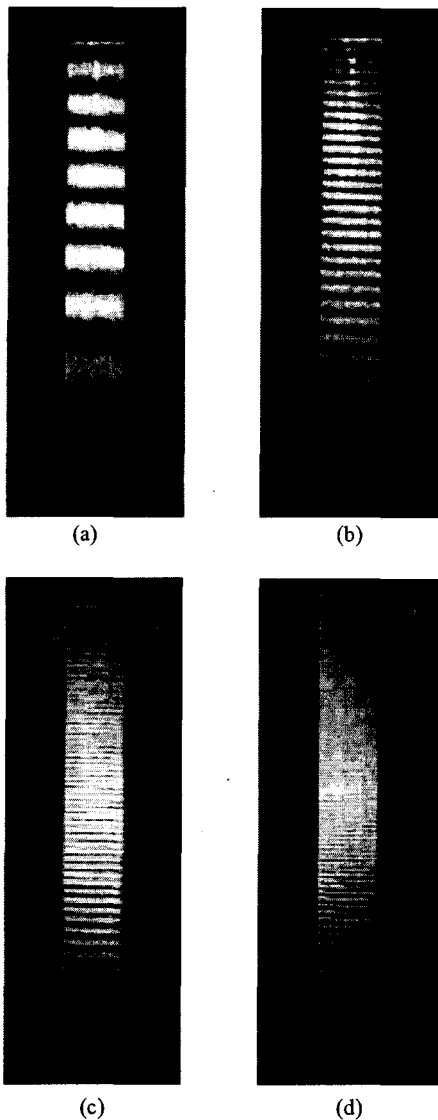


Fig. 3 Holographic interferograms of cantilever after deformation using PZT actuator. (a) 3 μm , (b) 10 μm , (c) 20 μm , and (d) 30 μm

Table 1 Experimental results of cantilever deflection

Experiment	PZT actuator (nm)	Fringe order (N)	Experimental results (nm)	Error (nm)
Case 1	3000	8.5	2933	-67
Case 2	10000	29	10005	+5
Case 3	20000	58	20010	+10
Case 4	30000	87	30015	+15

Table 1 에 나타내었다.

$$d = \frac{n\lambda}{\cos \alpha + \cos \beta} \quad (3)$$

3.4 광픽업 베이스의 열변형 측정결과

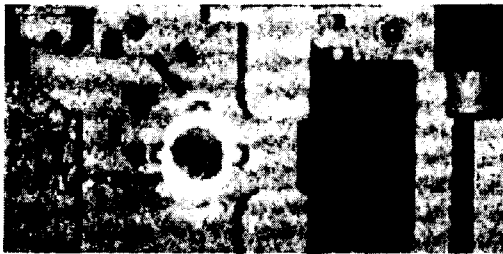
Fig. 4 (a)는 변형이 없는 픽업 베이스 홀로그램을 촬영한 사진의 일부를 나타내고 있으며, Fig. 4 (b)는 광픽업 베이스에 열환경을 가한 후 이중노출법을 이용하여 나타난 간섭무늬의 사진이다. 열변형에 의하여 형성된 간섭무늬는 픽업 베이스 길이방향에 대하여 평행하게 생성되었고 간섭무늬 간격에 있어서는 큰 변화를 나타내지 않았다. 한편, 간섭무늬의 간격에 있어 Fig. 4 (b) 우측의 주축이 들어가는 좌우부분과 중앙의 홀 좌측부의 두께변화가 발생하는 곳에서 불연속부가 나타남을 볼 수 있는데 이러한 결과는 균일한 열팽창에 의하여 나타난 결과이며 이러한 결과로부터 픽업 베이스는 열환경 내에서 성형공정의 결함 및 구조적인 구속에 의한 뒤틀림 없이 균일한 열팽창만을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 홀로그램 간섭계를 이용한 변형 측정 시스템을 제작하여 외팔보 및 광픽업 베이스에



(a)



(b)

Fig. 4 Holographic interferogram of pick-up base. (a) without deformation and (b) after thermal deformation

대하여 변형측정을 수행하였다. 외팔보의 변형측정 결과 간섭무늬로부터 수학적으로 계산된 변형량과 PZT 액추에이터에 의한 변형량의 차는 최대 67nm로 높은 분해능을 가짐을 알 수 있었고 형성된 간섭무늬의 밀도는 변형의 정도를 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 변형측정 시스템을 이용하여 성형공정 및 구조에 대한 CAE를 통하여 정확한 예측이 어려운 픽업 베이스의 미소 열변형을 측정할 결과 전체적으로 유사한 밀도를 가지는 간섭무늬가 형성되었으며 이로부터 열환경에 의한 픽업 베이스의 변형은 뒤틀림 없이 일정하게 발생하였음을 알 수 있었다. 또한, 픽업 베이스 표면의 높이 변화가 발생하는 곳에서 간섭무늬의 불연속부를 나타내었는데 이러한 결과는 균일한 열팽창 시 나타날 수 있는 타당한 결과로 사료된다. 현재는 실시간 측정을 통한 온도변화에 따른 변형경향의 측정 및 측정결과에 대한 정량적 분석에 대한 연구가 진행중이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기 연구센터(과제번호:2001G0203)와 삼성전자의 지원을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Robert J. Collier, Christoph B. Burckhardt and Lawrence H. Lin, "Optical Holography", Academic Press, Inc., 1971.
2. Yu. I. Ostrosky, V. P. Shchepinov and V. V. Yakovlev, "Holographic interferometry in experimental mechanics", Springer Series in Optical Sciences Volume 60, 1991.
3. N. Abramson, "The making and evaluation of holograms", Academic press, 1981.
4. C. M. Vest, "Holographic Interferometry", John Wiley & Sons, 1979.