

압전소자를 이용한 레이저디스크 이동현상의 모델링과 질량중심의 위치결정에 관한 연구

송화섭*, 홍준희*

A Study on Modeling of LD Movement and Measurement of Mass Center using Piezoelectric Element

Hwaseop Song*, Junhee Hong*

ABSTRACT

Piezoelectric element is deformed by driving voltage pattern. We developed a device of moving LD(laser disk) to use the rapid deformation of piezoelectric element. If driving voltage is changed very rapidly, the difference of acceleration is occurred between spindle motor and LD. To move LD on turn table is attained by utilizing difference of acceleration. This paper describes theoretical and experimental results about the movement of LD and presents to measure the center of mass LD with unbalance force.

Key Words : Piezoelectric element (압전소자), Center of mass (질량중심), Center of rotation (회전중심), Center of track (트랙중심), Unbalance force (불균형력)

기호설명

ΔX = 턴테이블에서 레이저디스크의 이동량
 T = 스피들모터의 이동시간
 M = 레이저디스크의 질량
 m = 스피들모터의 질량
 μ_s = 스피들모터와 레이저디스크의 정지마찰계수
 μ_d = 스피들모터와 레이저디스크의 동마찰계수
 X = 레이저디스크의 운동거리
 x = 스피들모터의 운동거리

g = 중력가속도
 C = 압전소자의 감쇠계수
 K = 압전소자의 스프링상수
 N = 턴테이블의 자석에 의한 흡입력
 $SGN = (\dot{X} - \dot{x})$ 의 음, 양의 값에 따라 $-1, 0, 1$ 의 값을 취하는 부호함수

1. 서론

레이저디스크는 높은 밀도의 대용량 메모리로서 비접촉 기록재생에 의한 고신뢰성시스템을 실현할 수 있는 점에서 주목되고 있다. 레이저디스크는 대단히 작은 레이저스폿에 의하여 정보의 기록과

* 충남대학교 기계공학부

재생을 하기 때문에 원판의 제작공정에 있어서 마이크로 이하의 초정밀 미세가공기술 등이 요구된다⁽¹⁾. 한편, 정보를 기록재생하는 레이저디스크 장치에는 극미세의 레이저스폿을 목적한 위치까지 정확하게 제어하여 정보를 기록재생하는 정밀광검출기술⁽²⁾, 고정도제어기술, 정밀위치제어기술⁽³⁾ 등을 필요로 한다.

레이저디스크 장치에는 수 십 μ m의 편심이 존재하기 때문에 보다 정확한 신호를 얻기 위하여 직경 1 μ m 정도의 레이저 빔을 서브마이크론의 정밀도로 목표 트랙에 추종시켜야 한다. 이를 위하여 레이저 헤드 구동용 액추에이터와 렌즈 액추에이터를 이용한 2단서보방식⁽⁴⁾, 2빔형⁽⁵⁾, 3빔형⁽⁶⁾ 등이 행해지고 있다. 레이저 빔을 초정밀도로 목표 트랙⁽⁷⁾에 추종시키기 위해 일반적으로 행하고 있는 이러한 제어 방식들은 레이저디스크를 장착할 때 발생하는 편심(회전중심으로부터 트랙중심까지의 거리)에 대해 제어하는 방식으로 레이저디스크의 회전수를 높게 하면 제어계의 안정성이 저하되고 기구계에 많은 부담을 주는 결과가 된다⁽⁸⁾. 이런 이유로 기구의 부담을 저감시키고, 제어계의 안정성 향상 및 액세스 타임의 단축⁽⁹⁾ 등이 필요하다.

본 연구에서는 레이저디스크의 편심 억제를 통한 제어계의 안정성 향상을 목적으로 압전소자의 급속 변형을 이용한 레이저디스크의 이동기구를 개발하여 턴테이블상에서 레이저디스크의 이동을 실현하였으며 압전소자를 구동하는 전압의 패턴에 의한 레이저디스크의 이동현상을 모델화하여 그 이동량의 계산식을 유도하고 실험을 통하여 확인하였다. 또한 이를 바탕으로 레이저디스크의 회전시 발생하는 불균형력을 이용하여 레이저디스크의 질량 중심의 위치결정을 실험적으로 고찰하였다.

2. 레이저디스크의 모델링

압전소자는 주어지는 구동전압에 따라 변형을 일으키는 고체소자이다. 이 소자에 스프링을 접착시켜 소자에 구동되는 전압을 급격히 변화시키면서 제어를 하면 스프링과 레이저디스크에 주어지는 이동 가속도의 차로 인하여 레이저디스크가 모터의 턴테이블 상에서 상대운동을 하게 된다. 따라서 이 상대운동을 통하여 턴테이블 상에서 레이저디스크의 이동을 실현할 수 있다.

레이저디스크 이동의 해석을 위하여 Fig. 1과

같이 실제의 압전소자는 강성이 무한대이며 구동전압에 비례하여 변형이 발생하는 이상적인 압전소자와 감쇠-질량-스프링계를 연결시킨 시스템으로 가정하여 운동방정식을 나타낸다. 단, 압전소자의 질량은 무시한다.

정지마찰 상태에서의 운동방정식은 $|\dot{x}| < \mu_s (Mg + N)/M$, $|\dot{X} - \dot{x}| = 0$ 의 조건을 만족하는 경우로 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$(M + m)\ddot{x} = -C(\dot{x} - \dot{y}) - K(x - y) \quad (1)$$

또한 동마찰 상태에서 스프링과 레이저디스크의 운동방정식은 $|\dot{X} - \dot{x}| > 0$ 의 조건을 만족하는 경우로 각각 식 (2)와 식 (3)으로 나타낸다.

$$m\ddot{x} = -C(\dot{x} - \dot{y}) - K(x - y) + \text{SGN}(\dot{X} - \dot{x})\mu_d(Mg + N) \quad (2)$$

$$M\ddot{X} = -\text{SGN}(\dot{X} - \dot{x})\mu_d(Mg + N) \quad (3)$$

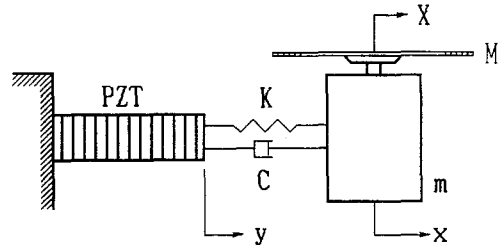


Fig. 1 Spring-mass-damper system of piezo-element

한편, 압전소자에 주어진 전압을 급속하게 변화시키면 이 때의 구동 전압차에 따라 압전소자의 변위 ΔL 에 의한 $F_p = K \cdot \Delta L$ 의 힘이 발생하여 스프링과 레이저디스크 사이에 작용하는 마찰력보다 대단히 큰 힘이므로 스프링과 레이저디스크의 이동은 마찰력의 영향을 무시할 수 있으며 스프링의 급가속에 따라 레이저디스크는 턴테이블 상에서 스프링과 레이저디스크와의 마찰에 의하여 이동하게 된다. 따라서 턴테이블 상에서의 레이저디스크의 이동량은 스프링의 이동량에서 마찰력에 의한 레이저디스크의 이동량을 빼므로써 턴테이블 상에서 레이저디스크의 이동량을 식 (4)와 같이 단순화시킬 수 있다.

$$\Delta X = x \left\{ \mu_d \frac{(Mg + N)}{M} \right\} \cdot T^2 \quad (4)$$

위의 식 (4)는 운동방정식 (2)와 (3)을 이용한 이동량 계산에 비해 간단하므로 식 (4)를 레이저디스크 이동의 모델식으로 한다.

3. 레이저디스크의 이동실험

3.1 실험장치

Photo. 1과 같이 레이저디스크 이동의 드라이브 기구를 구성하였다. 이 드라이브 기구는 압전소자와 고정플레이트, 가동부의 스피들 모터, 모터 장착부, 레이저디스크 등으로 구성하였다.



Photo. 1 Mechanism of impact driver

컴퓨터에서 제어된 구동신호가 앰프에 의해 증폭되어 압전소자를 구동하고 스피들모터를 가속시킨다. 이에 따라 레이저디스크는 모터의 턴테이블 상에서 관성력에 의하여 상대운동을 한다. 그 때의 레이저디스크의 이동량은 센서로 검출되며 FFT 분석기를 통하여 출력하도록 하였다(Fig. 2).

본 연구에서는 단순한 구동 패턴으로 레이저디스크와 모터의 턴테이블 사이에 작용하는 마찰력보다는 충분히 큰 발생력을 얻을 수 있도록 단순형 소자이면서 응답속도가 빠르고 구동 전압도 비교적 낮은 적층형 압전소자를 이용하였다. 실제로 이용된 압전소자는 NEC 제품의 PMN계 적층형 소자로

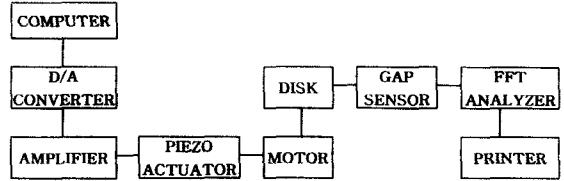


Fig. 2 Block diagram of experimental apparatus

서 정전 용량이 $6\mu F$, 최고 구동전압 150V에서 최대 변위량 $16\mu m$ 가 발생하며 변위 억제시 350kgf의 응력이 발생한다⁽¹⁰⁾.

구동 앰프의 Slew Rate는 $1.4V/\mu s$, 최대전류량은 10A로 입력 0~10V를 10~150V까지 전압을 상승시키기 위하여 OP앰프의 증폭율을 약 20배로 설계하였다. 구동 전압 파형의 발생을 컴퓨터로부터 제어용 프로그램에 의해 구동 패턴에 대응하는 데이터를 D/A 컨버터를 통하여 출력되도록 하였다.

3.2 레이저디스크의 이동에 관한 실험적 고찰

3.2.1 모터의 이동거리와 시간

이론식 (4)에서 보는 바와 같이 모터의 이동거리와 시간은 레이저디스크의 이동량을 설정하는 중요한 요소이다. 압전소자의 구동용 앰프에 스텝형의 신호를 입력시켜 그 때의 모터의 이동거리를 GAP 센서로 측정하였다. 그 결과 Table 1과 같이 나타났다.

Table 1에서 보면 알 수 있듯이 모터의 이동거리는 전압차에 거의 비례하지만 이동시간은 변화없이 일정한 것으로 나타났다.

3.2.2 레이저디스크의 이동현상

드라이브 기구를 이용하여 실제로 레이저디스크의 미소 이동을 확인하였다. Fig. 3에 압전소자의 구동전압 패턴과 스피들모터 및 레이저디스크의 이동을 와전류 센서로 측정한 결과를 나타내었다. 구동전압의 반복에 따라 레이저디스크는 거의 일정하게 이동함을 보이고 있다.

Table 1 Movement of spindle motor with voltage step

step of voltage (V)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
displacement of motor (μm)	1.7	2.9	4.4	5.8	7.0	8.1	9.3	10.5	11.9
moving time of motor (μs)	500	450	500	500	500	500	450	500	450

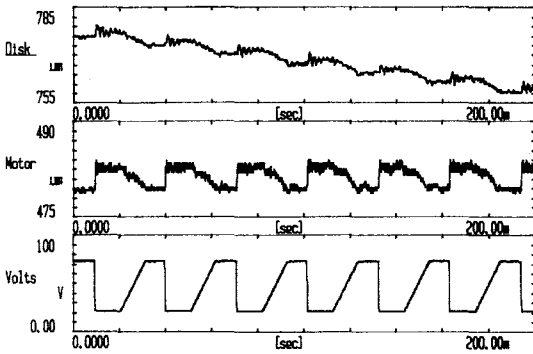


Fig. 3 Movement of disk and motor with voltage pattern

3.3 전압차와 레이저디스크 이동량의 관계

전압차와 레이저디스크의 이동량과의 관계를 실험한 결과가 Fig. 4와 같이 나타났다. 20V 이하의 전압스텝에서는 전압차가 작아 압전소자에 의하여 발생하는 관성력이 정지마찰력보다 작기 때문에 레이저디스크의 움직임은 나타나지 않았다. 20~40V의 전압스텝에서는 관성력이 정지마찰력보다 약간 크게 되어 레이저디스크의 이동량은 증가곡선으로 나타나고, 40V 이상의 전압스텝에서는 관성력이 정지마찰력보다 충분히 크게 되어 이동량이 전압차에 거의 비례하는 현상을 보였다.

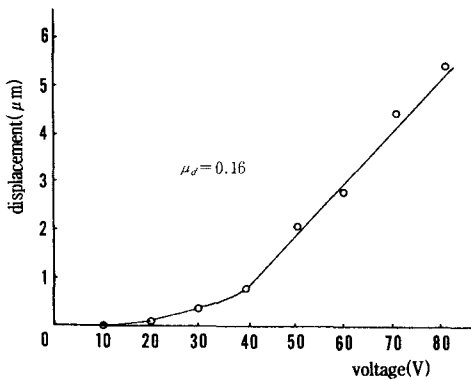


Fig. 4 Relation of disk movement and voltage

50V의 전압스텝에 대해 실험에 의한 레이저디스크의 이동량의 결과와 이론식 (4)에 의한 계산 결과를 Fig. 5와 같이 나타내었다. 이 결과에 의하면

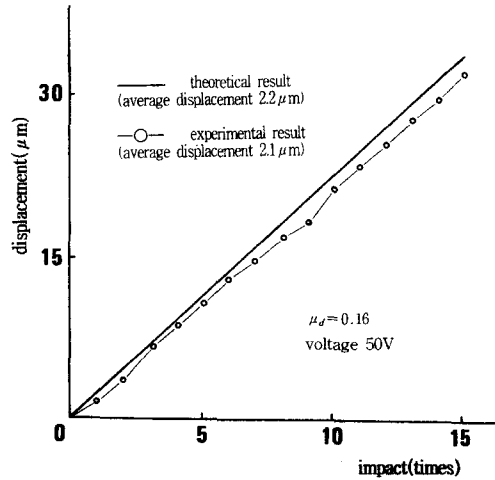


Fig. 5 Movement of disk by impact driving

실험에 의한 레이저디스크의 이동량이 계산 결과에 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 레이저디스크의 이동량은 이론식 (4)를 적용할 수 있다.

4. 레이저디스크의 질량중심 위치결정

4.1 스피들모터 회전시의 떨림

스피들모터의 회전축은 밀도의 불균일성, 가공시의 오차 등으로 그 질량중심이 회전중심으로부터 미소하게 편심되어 모터가 회전할 때 떨림을 일으킨다.

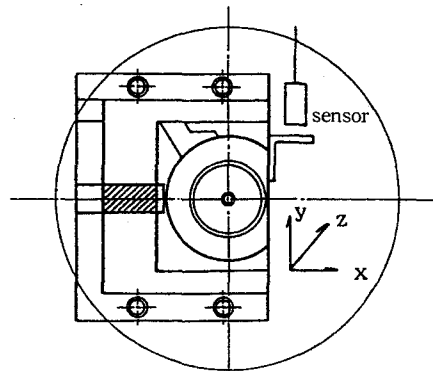


Fig. 6 Method of measurement for whirl of spindle motor

여기서 레이저디스크를 장착하여 회전시키면 레이저디스크의 편심 때문에 보다 더 큰 원심력이 주기적으로 스피indle 모터의 회전축에 작용하여 축의 떨림이 보다 크게 된다. 이러한 떨림진동은 기구 전체의 성능에 여러가지 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 레이저디스크가 회전할 때 문제로 되는 스피indle 모터의 떨림이 일어나는가를 측정할 필요가 있다. 레이저디스크를 장착하지 않은 상태에서 스피indle 모터만을 회전시켜 Fig. 6과 같이 x , y , z 등의 3축 방향으로 나누어 모터의 떨림을 와전류 센서로 측정하였다. 그 결과 3축 방향의 떨림은 거의 검지할 수 없을 정도로($0.01\mu\text{m}$ 이하) 작은 것이었다. 다음에 레이저디스크의 트랙중심을 회전중심에 일치하도록 장착하고서 회전시키면서 떨림을 측정하고 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 레이저디스크를 장착했을 때 모터의 떨림은 회전부를 지지하고 있는 압전소자의 비틀림방향(y 축 방향)이나 굽힘방향(z 축 방향)이 압전소자를 신축하는 방향(x 축 방향)에 비해 다소 크지만 실제로 모터의 회전시 레이저디스크의 이동에 영향을 미칠만큼 문제가 되는 수준은 아니다.

4.2 질량중심의 위치결정

모터의 턴테이블상에 레이저디스크를 장착하면 레이저디스크의 질량중심은 모터의 회전중심과 일치하지 않는 관계로 회전시 불균형력이 발생한다. 이 때문에 레이저디스크의 트랙중심을 모터의 회전중심에 일치시키고자 임팩트드라이브(압전소자)를 이용하여 레이저디스크를 이동시킬 때 레이저디스크는 임팩트에 의한 회전중심 방향의 이동력과는 통상적으로 반대 방향의 불균형력을 받게 되어 레이저디스크의 이동에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 불균형력의 영향을 고려한 편심량의 허용범위를 구하기 위해서는 레이저디스크의 질량중심 위치를 결정할 필요가 있다.

레이저디스크의 질량중심의 위치는 트랙중심을 기준으로 하여 회전각(방향)과 거리로 나타내는 것으로 한다. 레이저디스크의 질량중심의 위치를 측정하는데에 레이저디스크의 원판을 각도로 분할하기 위해 Photo. 2와 같이 원그래프와 지침을 이용하였다. 우선, 레이저디스크의 표면에 원그래프의 중심이 트랙중심에 일치되도록 원그래프를 붙인다. 다음에 지침을 압전소자의 신축방향(x 축 방향)에

일시되도록 상자에 붙이고 원그래프의 기준으로 한다.

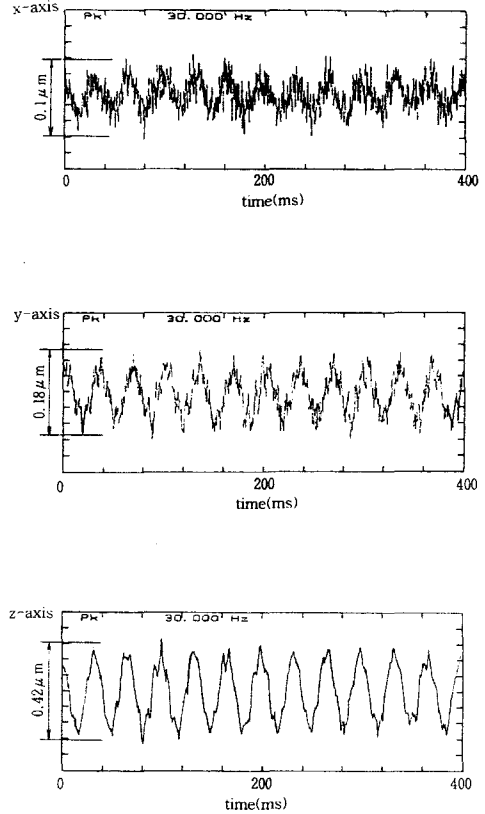


Fig. 7 The whirl of spindle motor with 3-axis

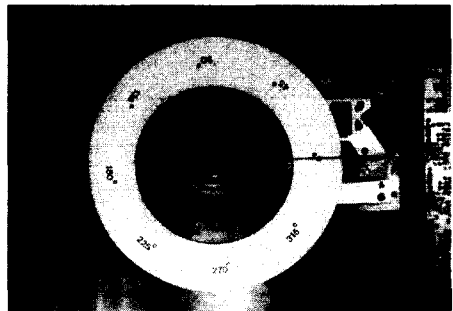


Photo. 2 Method of measurement for the center of mass laser disk

4.2.1 질량중심의 위치각

원그래프상에서 나타내는 0° 의 선분을 지침에 일치된 상태에서 반시계 방향으로 일정 각도로 회전시킨다. 그리고 트랙중심이 회전중심으로부터 일정량의 편심을 이루도록 임팩트 드라이브를 이용하여 회전각 방향으로 이동시킨다. 그런 다음 다시 레이저디스크의 트랙중심을 모터의 회전중심에 일치하도록 임팩트를 가하여 각각의 회전각 방향에 대해 레이저디스크의 평균 이동량을 조사하였다. Fig. 8은 30° 간격의 회전각 방향으로 $200\mu\text{m}$ 의 편심을 두고 50V의 전압으로 임팩트를 주었을 때 레이저디스크의 평균 이동량 분포를 나타내고 있다.

레이저디스크의 질량중심이 임팩트 선상에서 모터의 회전중심으로부터 트랙중심의 바깥쪽에 위치할 때 트랙중심을 회전중심의 방향으로 이동시키게 되면 레이저디스크는 최대의 불균형력을 받게 되어 그 이동량이 최소로 된다. Fig. 8의 확대도에서 레이저디스크의 질량중심은 회전각이 240° 인 선상에 위치하고 있는 것을 알 수 있다.

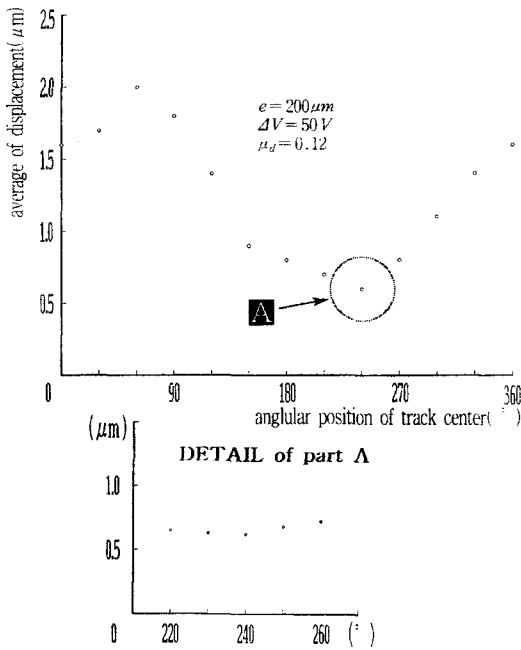


Fig. 8 Measurement for angular position of the center of mass

4.2.2 질량중심 거리

전술한 바와 같이 스피들모터의 떨림이 모터 자체만으로는 와전류 센서로도 측정하기 어려울만큼 상당히 작은 것이라고 한다면 레이저디스크의 질량중심과 회전중심의 어긋남이 그 주된 원인이 된다. 따라서 질량중심이 회전중심에 가까울수록 떨림은 점점 작게 되며 질량중심과 회전중심이 일치할 때 스피들모터의 떨림이 최소로 된다.

4.2.1항에서 알 수 있었던 질량중심이 위치하는 회전각($\phi = 240^\circ$)의 방향을 지침과 일치시킨 다음 임팩트드라이브를 이용하여 트랙중심을 조금씩 x 축 방향으로 이동시켜 레이저디스크를 회전하면서 떨림을 측정하였다. 이 때의 떨림은 상당히 작기 때문에 정전용량 센서를 사용하고 FFT 분석기로 노이즈를 제거하여 회전주파수의 게인만을 측정한 결과 Fig. 9와 같이 나타났다. Fig. 9에서 레이저디스크의 트랙중심으로부터 질량중심의 거리는 약 $53\mu\text{m}$ 인 것을 알았다.

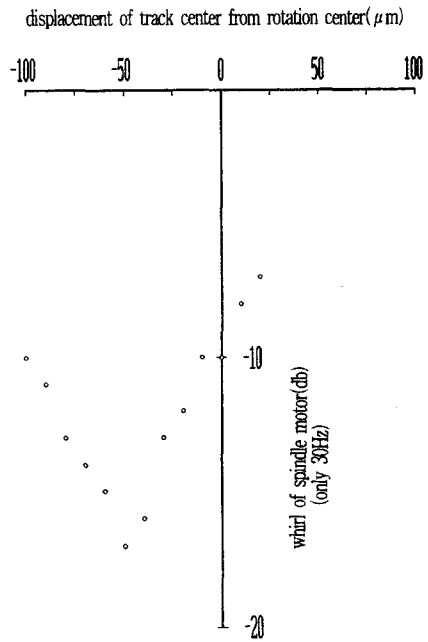


Fig. 9 Measurement for displacement of the center of mass

5. 결론

본 연구는 레이저디스크의 편심 억제를 통한 제어계의 안정성 향상을 목적으로 압전소자의 급속변형을 이용한 레이저디스크의 이동기구를 개발하여 레이저디스크의 이동현상을 모델화하였으며 그에 대한 이론 및 실험적 고찰을 하였다. 또한 이를 바탕으로 레이저디스크의 회전시 발생하는 불균형력을 이용하여 레이저디스크의 질량중심의 위치결정을 실험적으로 고찰하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 압전소자의 급속 변형을 이용하여 턴테이블 상에서 레이저디스크의 이동현상을 실험으로 확인하였다.

(2) 레이저디스크의 이동의 모델을 단순화하고 그 단순화모델에 의한 레이저디스크의 이론적 이동량과 실험을 통한 이동량을 비교하여 단순화모델의 타당성을 확인하였다.

(3) 압전소자 구동에 있어서 스피들모터의 이동 시간은 전압스텝의 영향을 받지 않음을 알았다.

(4) 실험을 통하여 레이저디스크의 이동량이 구동전압차에 비례하는 것을 확인하였다.

(5) 다수의 레이저디스크를 측정된 결과 질량중심은 각각 트랙중심으로부터 40~65 μ m의 범위안에 존재함을 알았다.

(6) 레이저디스크의 질량중심에 대해서 위치결정법(위치각과 거리의 측정)을 확립하였으며, 이를 통하여 회전시에 발생하는 불균형력의 원인이 해소될 수 있는 가능성을 제시하였다.

이상의 결과로부터 회전상태에서도 레이저디스크의 운동해석과 그 편심의 억제가 가능하다는 것을 확인했다.

참고문헌

1. 宮本紀男, "本格的實用期迎えた光ディスク装置," 日本電氣學會誌, Vol. 109, No. 12, p969, 1989.
2. 角田義人, "消去可能光ディスクの現狀と將來展望," 應用物理, Vol. 157-8, p. 1159, 1988.
3. 石垣正治, "追記形光ビデオディスクレコーダ," 日立評論, Vol. 169-11, p. 1065, 1987.
4. 小川雅晴, "光ディスクメモリの2段結合サーボ方式(A)," 光ディスクメモリシンポジウム '85論文

集, pp. 203 ~ 208, 1985.

5. Shigeru NAKAMURA, "Compact Two-Beam Head with a Hybrid Two-Wavelength Laser Array for Magneto-Optic Recording," Proc.Int.Symp. on Optical Memory Vol.26-4, p.117, 1987.
6. 加藤喜久次, "3ビーム形光磁気ディスク," 日本機械學會誌ロボテックス・メカトロニクス講演會, p.301, 1991.6.7.
7. 桃尾章生, "光記憶・記録とセンサ技術," センサ技術, Vol. 8-2, p.31, 1988.
8. 伊藤 修, "5.25インチ型光ディスク装置のシーク時間を短縮, 状態観測器を使った計数トラック方式を採用," NIKKEI ELECTRONICS, No.495, p.235, 1990.
9. 村山 登, "光ディスク技術," ラジオ技術選書, 1989.
10. 積層形 壓電素子使用ガイド, 日本電氣株式會社, 1995.