

< 기술논문 >

# 진동신호분석을 통한 광디스크 드라이브의 고장원인분석

박영필\* · 신창호\* · 정진태†

(2004년 10월 14일 접수, 2005년 5월 3일 심사완료)

## Failure Analysis of Optical Disk Drives Using the Vibration Signal Analysis

Youngpil Park, Changho Shin and Jintai Chung

**Key Words :** Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Failure Analysis(고장분석), Signal Analysis(신호분석), System Analysis(시스템 분석)

### Abstract

In this paper, the failure analysis of an optical disk drive is carried out and the limit ranges of the misalignment for the higher performance are presented. Since optical disks are removable from optical disk drive, the translational and angular misalignments, which causes read/write errors, always exist. Therefore, the limit ranges of the misalignment should be investigated. For this reason, the failure analysis by the vibration analysis is studied. The influences of the misalignment are tested by the aging test. And the limit ranges of the misalignment are proposed for the reliability of optical disk drives.

### 1. 서 론

현대의 정보화 사회에서 문서, 음성, 화질이 향상된 사진 및 동영상 등을 포함한 다양한 정보가 기하급수적으로 증가함에 따라 정보저장기기는 DVD(digital versatile disk), AOD(Advanced optical disk)와 같은 대용량의 저장능력(high storage capacity)의 향상을 위해 광디스크의 회전속도를 증가시키고 있는 실정이다.

하지만, 광디스크 드라이브는 하드디스크와는 달리 광디스크를 탈착하는 구조로 되어 있어 광디스크의 장착조건에 의해 기하학적인 중심과 회전 중심이 일치되지 않는 경우가 빈번하게 발생하여 고속회전 시 과도한 진동 및 소음을 유발시키고, 기계적 고장을 야기시키는 원인이 되고 있다. 또한, 스피들 모터에 장착되는 턴테이블은 조립공정에 의한 기울어짐 현상, 광디스크의 제작 시 발생하는 편심디스크(eccentric disk), 편중심디스크

(unbalance disk)와 편향디스크(wobble disk)의 사용으로 인하여 스피들 모터와 광디스크의 결합 시 각정렬불량(angular misalignment)과 축정렬불량(translational misalignment)이 발생하게 된다. 이러한 정렬불량은 서로 혼합되어 과도한 진동을 일으키고 광픽업 장치의 포커싱과 트랙킹 구동 시 위치오차를 야기시키는 고장의 원인이 되고 있다.

광디스크 드라이브와 관련된 기존의 연구를 살펴보면 각가속도의 변화와 회전 축의 정렬불량으로 인해 발생하는 회전원판에 대한 동적응답에 대한 연구,<sup>(1,2)</sup> 회전속도의 증가로 인해 광디스크의 균열이 점진하면서 발생하는 광디스크가 파괴되는 현상에 대한 연구,<sup>(3)</sup> 광디스크 드라이브의 성능향상을 위한 액추에이터의 동특성 분석에 대한 연구<sup>(4-7)</sup> 등 이론적 해석 및 동특성에 초점을 맞추어 연구되었지만 고장을 체계적으로 접근하고 해석한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 실험적인 분석 방법을 통하여 광디스크 드라이브를 구성하는 스피들 모터부의 결합조건을 단계적으로 선정하고 각 결합조건에 대한 진동신호분석을 통하여 고장 및 성능저하 현상을 규명하고 결합의 범위를 제시하고자 한다.

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계정보경영공학부  
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr  
TEL : (031)400-5287 FAX : (031)406-5550

\* 한양대학교 정밀기계공학과

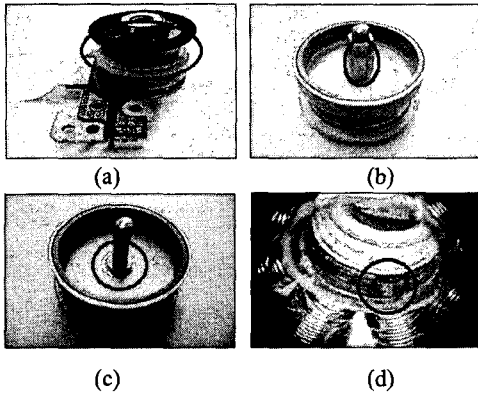


Fig. 1 Failure causes of the spindle motor: (a) the tilting of a turntable; (b) metal bearing wear; (c) rotor case wear; and (d) lamination of bond

## 2. 광디스크 드라이브의 고장

광디스크 드라이브에서 발생하는 고장은 크게 두 가지 형태로 나눌 수가 있다. 광디스크 드라이브가 작동을 하지 않는 기능정지형 고장과 작동은 하되 제품의 정해진 기능을 제대로 수행할 수 없는 기능저하형 고장이 그것이다. 기능정지형 고장의 대표적인 예를 살펴보면 트레이의 개폐가 되지 않는 현상, 스피들 모터의 미작동, 피딩모터의 미작동, 열화에 의한 전자부품의 고장 등이 있고, 기능저하형 고장은 과도한 진동으로 인한 광픽업 장치의 오작동, 전자부품의 제어 불량, 불량디스크의 사용으로 인한 경우가 있다. 특히 기능저하형 고장의 경우에 스피들 모터의 과진동이 광픽업 장치의 트래킹과 포커싱 제어에 상당한 영향을 주어 오동작을 일으키게 하는 원인이 되고 있다. 일반적으로 안전설계측면에서 각방향 제곱의 평균값을 사용하지만 과진동 측면에서의 기능저하형 고장은 2.5G 이상의 진동량으로 규정하고 있다.<sup>(8)</sup>

광디스크 드라이브에서 발생하는 기능저하형 고장의 원인은 주로 광디스크를 회전시키는 스피들 모터부에서 발생하고 있다. 스피들모터의 고장유형은 Fig. 1에서와 같이 크게 4가지로 구분된다.

광디스크를 고배속으로 회전시키는 스피들 모터부에서 발생하는 마모, 마찰, 턴테이블의 기울어짐, 마그네틱의 안착불량 현상은 주로 가공 오차와 사용자의 부주의에 의해서 발생한다. 특히, Fig. 1(a)와 같은 턴테이블의 기울어짐은 본드 경화력이 일정하지 않아서 시간이 지남에 따라 각기울어짐이 발생한다. 또한, 광디스크 드라이브는 탈착 방식을 채택하고 있기 때문에 광디스크가 클램프에 안착 시 턴테이블과 클램프의 가공 정밀도의

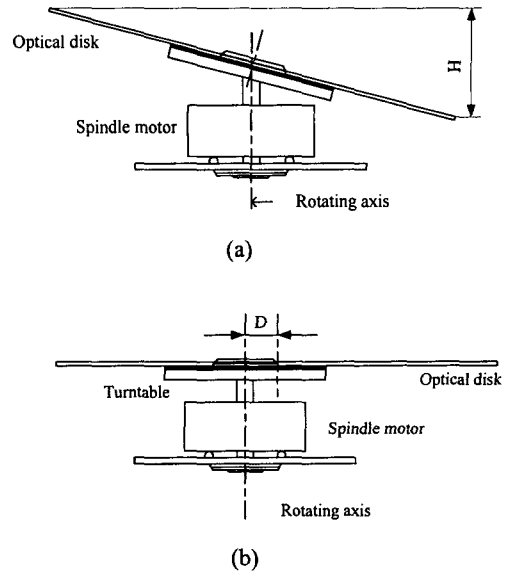


Fig. 2 Misalignment in a spindle system: (a) the angular misalignment; and (b) the translational misalignment

영향으로 인하여 축정렬불량이 발생한다. 따라서, 스피들 모터부에는 Fig. 2와 같은 각정렬불량과 축정렬불량이 항상 존재한다. Fig. 2에서 H는 턴테이블의 높이차, D는 광디스크와 스피들 모터의 편심량을 나타낸다.

이러한 정렬불량을 가진 스피들 모터부에 불량디스크, 즉 편심디스크, 편중심디스크, 편향디스크를 장기간 사용하게 되면 정렬불량 상태는 더욱 심화된다.

## 3. 정렬불량에 따른 주파수 분석

### 3.1 피딩테크 모드해석 실험

스피들 모터부의 동특성을 분석하기 위해서 현재 상용되는 피딩테크와 유사하게 실험용 피딩테크를 제작하였다. 기울어짐을 운동을 제거하기 위해서 고무댐퍼를 대칭으로 장착할 수 있게 하였고 무게중심과 도심이 일치하도록 설계하였다. 상용되는 피딩테크의 무게를 고려하여 재질은 알루미늄 합금을 사용하였다. 피딩테크를 지지할 지지대는 높은 강성을 요구하므로 강철로 제작하였다. 제작된 피딩테크와 광디스크가 결합된 모습과 좌표계는 Fig. 3과 같다.

제작된 피딩테크가 광디스크 드라이브의 운전영역에서 변형을 일으키면 스피들 모터의 동특성 해

석에 영향을 미치게 되므로 이에 대한 유한요소 해석과 모드해석 실험이 수행되어야 한다. 피딩데크의 질량을 고려하여 알루미늄으로 제작하였기 때문에 이러한 부분을 고려하여 물성치를 유한요소 해석프로그램에 적용하였다.

유한요소 해석 프로그램을 이용하여 자유단 상태의 해석을 수행한 결과 실험용 피딩데크의 1차 고유진동수는 1443Hz 임을 확인하였다. 현재 상용되는 광디스크 드라이브의 작동영역이 0Hz ~ 175Hz 임을 감안하면 실험용 피딩데크는 스피들 모터의 작동영역에서 Fig. 4와 같은 1차 모드인 굽힘변형은 문제가 되지 않는 것을 확인하였다.

유한요소 해석으로부터 얻은 결과를 실험적으로 검증하기 위해 자유단 상태의 모드해석 실험을 수행하여 Fig. 5와 같은 주파수 응답 함수(Frequency Response Function)를 얻었다. 실험결과, 피딩데크의 1차 고유진동수는 1416Hz 임을 확인하였다.

유한요소 해석 결과와 실험결과 사이에 미소한 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있지만 광디스크 드라이브의 운전영역을 고려하면 피딩데크의 1차 고유진동수는 작동영역에 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 따라서 제작된 피딩데크는 실험용 피딩데크로 사용 가능함을 알 수 있다.

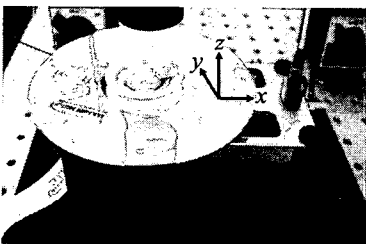


Fig. 3 Test sample of the feeding deck system

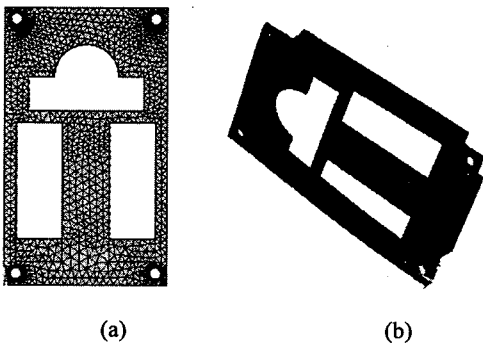


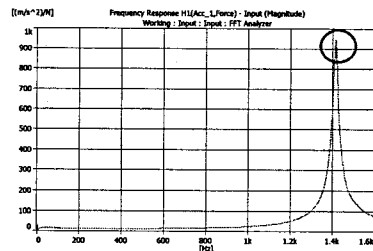
Fig. 4 First mode shape of the feeding deck : (a) before deformation; and (b) after deformation

3.2 각정렬불량에 따른 주파수 분석

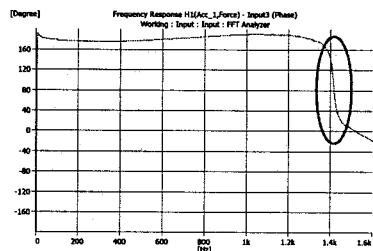
턴테이블의 각정렬불량으로 인한 진동량의 변화를 실험적으로 확인하기 위하여 스피들 모터와 턴테이블 사이에 각기울어짐이 서로 다른 스피들 모터장치를 제작하였다. 제작된 스피들 모터장치는 10  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$ 이다. 각각의 수치는 턴테이블의 높이 차이를 나타낸다. 턴테이블의 각기울어짐에 대한 그림은 Fig. 2(a)와 같다.

턴테이블의 각기울어짐에 대한 영향을 평가하기 위해서 제작된 피딩데크에 가속도계를 부착하여 진동량을 측정된 후 Pulse 복합 분석기로 측정된 신호를 입력하여 폭포도표(waterfall) 그래프를 구하였다. 광디스크의 회전속도는 타코미터를 이용하여 약 1500 rpm ~ 10500 rpm 까지 일정한 간격으로 증가시키면서 정상상태에서 측정하였다. Fig. 6은 주파수 신호분석을 위한 실험장치 구성을 나타낸다.

실험결과 각각의 경우에 대해 피딩데크의 진동은 주로 1X 성분, 즉 주파수가 광디스크 회전수의 1 배가 되는 진동성분이 지배적인 것을 알 수가 있고, 그 외의 다른 방향 성분은 상대적으로 작게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서, H가 10  $\mu\text{m}$ 인 폭포도표만을 Fig. 7에 나타내었다. 회전속도가 증가하면 진동의 크기는 회전속도에 비례하여 증가하며 x 방향의 진동이 y, z 방향에 비해 지배적임을 확인하였다.



(a)



(b)

Fig. 5 Frequency response function of the feeding deck: (a) the magnitude; and (b) the phase

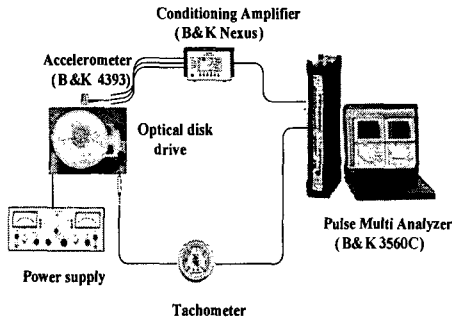


Fig. 6 Experimental set-up for the signal analysis

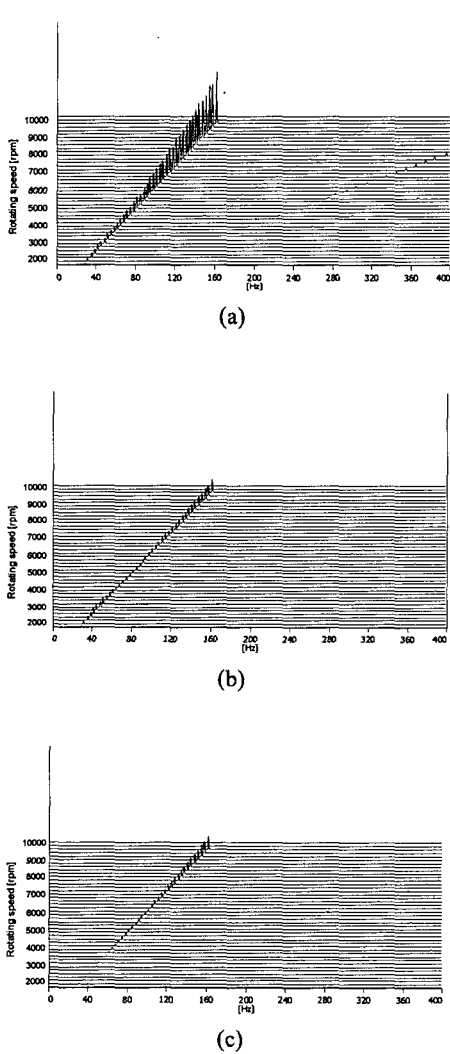


Fig. 7 Waterfall plot when  $H$  is  $10 \mu\text{m}$ : (a) in the  $x$ -direction; (b) in the  $y$ -direction; and (c) in the  $z$ -direction

폭포도표로부터 데이터를 획득하여 회전 속도에 따른 전체적인 진동량을 분석하였다. Fig. 8의 그래프로부터 회전수가 증가함에 따라 각정렬불량이 커지면 모든 방향의 진동량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 각기울어짐이  $60 \mu\text{m}$ ,  $80 \mu\text{m}$ 인 경우  $x$  방향의 진동량은 10100 rpm 에서 이미 광디스크 드라이브의 기능형 고장이 발생하는 것을 확인하였다.

각기울어짐에 대한 기준값은  $10 \mu\text{m}$ 으로 설정하여 175Hz(52배속)에 대한 진동량을 비교하였다. 각기울어짐이 커지면 광픽업 장치의 제어에 대한

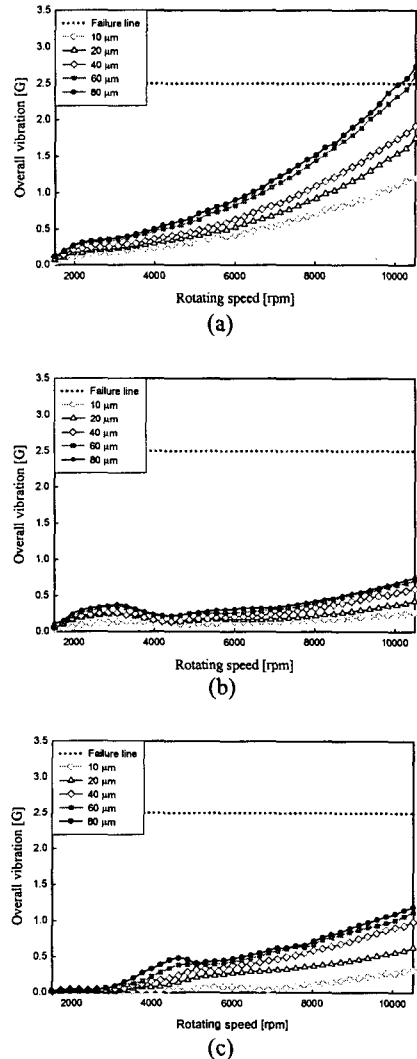


Fig. 8 Overall vibration due to the angular misalignment: (a) in the  $x$ -direction; (b) in the  $y$ -direction; and (c) in the  $z$ -direction

영향이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 각기울어짐이  $80\ \mu\text{m}$  인 경우, 기준값(각기울어짐  $10\ \mu\text{m}$  일 때) 대비  $x$  방향 55.48%,  $y$  방향 64.57% 증가하였다. 특히  $z$  방향으로 74.33%로 진동량이 가장 두드러지게 증가하였는데 이는 대물렌즈의 포커싱 제어에 막대한 영향을 끼치는 인자로 작용한다는 것을 알 수 있다.

3.3 측정렬불량에 따른 주파수 분석

측정렬불량은 각정렬불량과 마찬가지로 스피들 모터의 고속회전 시 과진동의 원인이 된다. 따라서 측정렬불량에 대한 주파수분석을 통해 고장원인을 분석하여야 한다. 피딩테크의 진동은 Fig. 9

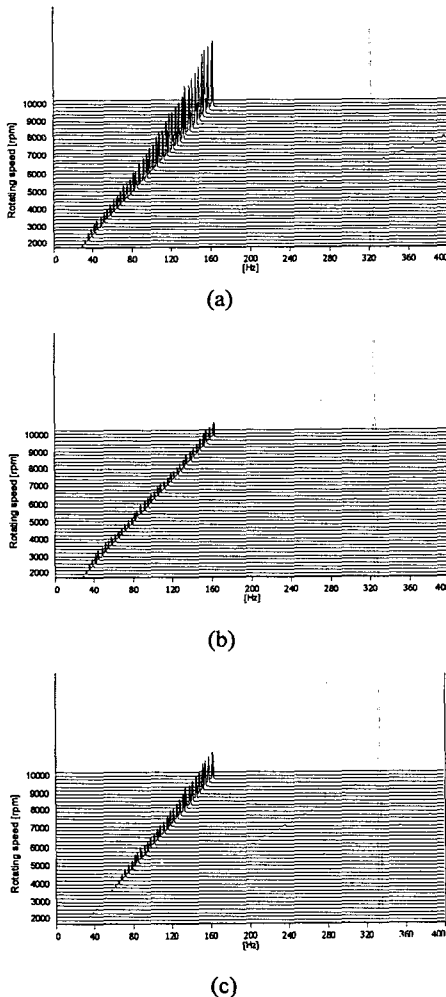


Fig. 9 Waterfall plot when D is  $70\ \mu\text{m}$ : (a) in the  $x$ -direction; (b) in the  $y$ -direction; and (c) in the  $z$ -direction

에 나타나는 것처럼 주로 1X 성분이 지배적인 것을 알 수가 있고 각정렬불량에 대한 결과와 유사함을 알 수 있다.

Fig. 2(b)처럼 측정렬불량으로 인한 진동량의 변화를 확인하기 위하여  $70\ \mu\text{m}$ ,  $140\ \mu\text{m}$ ,  $210\ \mu\text{m}$ 의 편심디스크를 사용하였고 편심에 대한 영향을 고려하기 위하여 각정렬불량에 대한 측정과 동일하게 실험을 수행하여 회전속도의 증가에 따른 전체적인 진동량을 Fig. 10와 같이 분석하였다. 그래프로부터 측정렬불량 상태가 심화되면 모든 방향의 진동량이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

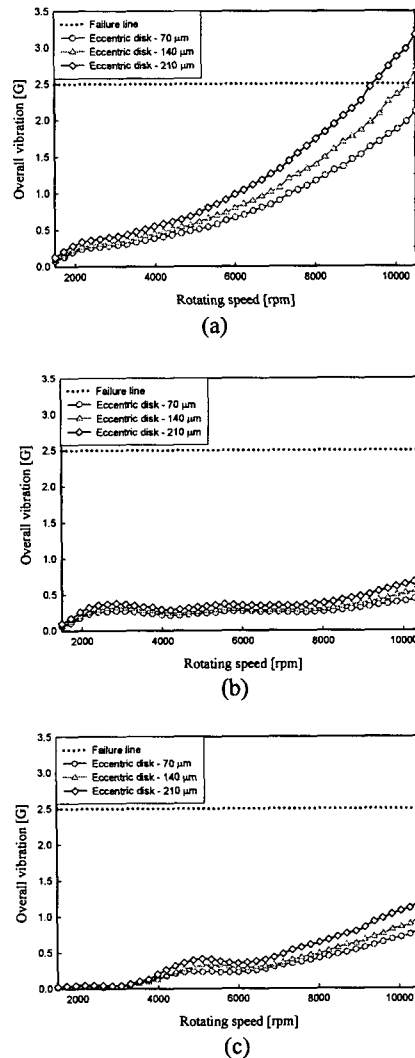


Fig. 10 Overall vibration due to the translational misalignment: (a) in the  $x$ -direction; (b) in the  $y$ -direction; and (c) in the  $z$ -direction

특히, 측정렬불량이  $140\ \mu\text{m}$ ,  $210\ \mu\text{m}$ 인 경우  $x$  방향의 진동량은 이미  $9500\text{rpm}$  이상에서 광디스크 드라이브의 기능형 고장이 발생하였다.

측정렬불량에 대한 기준값은 턴테이블의 각기울어짐이  $10\ \mu\text{m}$ 인 스피들 모터로 실험한 정상디스크를 기준으로 설정하였다. 위의 결과로부터 측정렬불량 상태가 크면 모든 방향의 진동량이 증가함으로써 광픽업 장치의 제어에 대한 영향이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 편심이  $210\ \mu\text{m}$ 인 경우 기준값(각기울어짐  $10\ \mu\text{m}$  일때) 대비  $x$  방향  $160.4\%$ ,  $y$  방향  $164.5\%$ ,  $z$  방향으로  $283.5\%$  증가하였다.

조립과정 중의 오차, 본드 경화 시 턴테이블의 뒤틀림, 광디스크의 탈착 시 발생하는 정렬불량은 광디스크 드라이브의 정상적인 작동에 악영향을 미치고 광디스크의 기계적 고장발생의 주된 원인을 확인하였다.

#### 4. 수명시험에 따른 진동변화량

##### 4.1 각정렬불량의 진동변화량 평가

장기간 사용에 따른 스피들 모터의 진동의 변화량을 평가하기 위해서 수명시험(aging test)를 실시하였다. 광디스크 드라이브의 사용영역을 고려하여  $0 \sim 175\text{Hz}$  까지 20초 동안 구동시키고 3초 동안 역방향 회전을 인가시켰고 3초 동안 정지하도록 프로그램을 설정하여 20000번 반복하였다. Fig. 11은 수명시험을 위한 장치구성을 나타낸다.

1차 수명시험 결과, 광디스크 드라이브의 시간에 따른 스피들 모터 내부의 기계적 마찰과 그 영향으로 인하여 각정렬불량 상태가 심화되면서 모든 방향의 진동량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 12는 각정렬불량이 있는 스피들 모터의 수명시간에 따른  $x$  방향 진동의 변화량을 나타낸다. 1차 수명시험(150시간) 결과,  $x$  방향의 진동량은 각정렬불량 상태의 심화로 인하여 각기울어짐이  $60\ \mu\text{m}$ ,  $80\ \mu\text{m}$ 인 경우에는 고장의 범위를 초과하였고  $40\ \mu\text{m}$ 인 경우엔 기능저하형 고장인  $2.5\text{G}$ 에 근접해 있는 것을 볼 수 있다.

1차 수명시험과 동일한 방법으로 각정렬불량에 대하여 2차 수명시험을 실시하였다. 2차 수명시험(300시간) 결과, 1차 수명시험에 비해 각기울어짐이  $60\ \mu\text{m}$ ,  $80\ \mu\text{m}$ 인 경우뿐만 아니라  $40\ \mu\text{m}$ 인 경우에도 고장의 범위를 초과하였고  $20\ \mu\text{m}$ 인 경우에는 기능저하형 고장에 근접해 있는 것을 볼 수 있다.

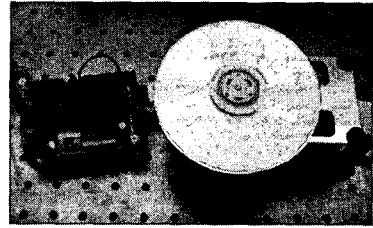


Fig. 11 Setup for the aging test

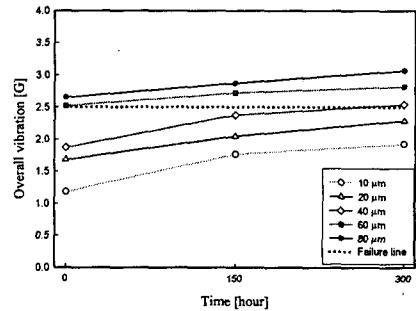


Fig. 12 Overall vibration level versus the aging time when the disk has the angular misalignment and the rotating speed of  $10500\ \text{rpm}$

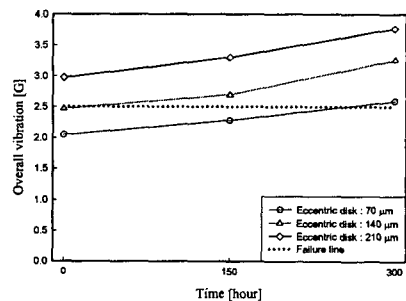


Fig. 13 Overall vibration level versus the aging time when the disk has the translational misalignment and the rotating speed of  $10500\ \text{rpm}$

##### 4.2 측정렬불량의 진동변화량 평가

1차 수명시험을 실시한 후 측정렬불량이 있는 스피들 모터의 주파수분석을 수행하여 회전속도의 증가에 따른 진동량을 평가하였다. Fig. 13은 측정렬불량이 있는 스피들 모터의 수명시간에 따른  $x$  방향 진동의 변화량을 나타낸다. 1차 수명시험(150시간) 결과로부터  $x$  방향의 진동량은 편심디스크  $140\ \mu\text{m}$ ,  $210\ \mu\text{m}$ 인 경우에 기능저하형 고장에 도달해 있는 것을 볼 수 있다.

1차 수명시험과 동일한 방법으로 측정렬불량에

대하여 2 차 수명시험을 실시하였다. 2 차 수명시험(300 시간) 후  $x$  방향의 진동량은 편심디스크  $140 \mu\text{m}$ ,  $210 \mu\text{m}$ 과 마찬가지로  $70 \mu\text{m}$ 도 가능저하형 고장에 도달해 있는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 고밀도, 고용량, 고배속화 되는 광디스크 드라이브의 고장유형을 체계화하고 고장발생 메커니즘을 분석하였다. 제작 공정 중에 발생하는 스피들 모터의 정렬불량 범위를 규명하기 위해서, 진동신호 분석을 통해 회전속도의 증가에 따른 진동의 변화량을 확인하였다.

- (1) 스피들 모터와 턴테이블의 압입 공정 시 각기울어짐을 최소화하여야 한다.
- (2) 본드의 충진량 및 도포위치를 일정하게 유지하여 각기울어짐을 최소화하여야 한다.
- (3) 150시간 사용하기 위해서는 각기울어짐의 오차범위는  $40 \mu\text{m}$  이하가 되어야 하고 축정렬의 오차범위는  $140 \mu\text{m}$  이하가 되어야 한다.
- (4) 300시간 사용하기 위해서는 각기울어짐의 오차범위는  $20 \mu\text{m}$  이하가 되어야 하고 축정렬의 오차범위는  $70 \mu\text{m}$  이하가 되어야 한다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지정 한양대학교 신뢰성 분석연구센터 사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Chung, J., Oh, J. E. and Yoo, H. H., 2000, Non-Linear Vibration of a Flexible Spinning Disc with Angular Acceleration," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 231, No. 2, pp. 375~391.
- (2) Heo, J. W., Chung, J. and Choi, K., 2003, "Dynamic Time Responses of a Flexible Spinning Disk Misaligned with the Axis of Rotation," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 262, No. 1, pp. 25~44.
- (3) Cho, E. H., Choa S. H. and Chung, J., 2001, "A Study on the Fracture Phenomena in Optical Disks Due to Increase of the Rotating Speed," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 11, No. 3, pp. 437~442.
- (4) Seo, J. K., Jeong, H. S. and Park, K. H. 2000, "Analysis and Reduction of Subsidiary Resonance of an Optical Pickup Actuator," *Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 24, No. 3, pp. 728~734.
- (5) Kim, S. J., Lee, Y. H. and Choi, H. K., 2000, "Evaluation and Analysis of Dynamic Characteristics in Tilt Actuator for High Density Optical Storage Devices," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 10, No. 4, pp. 584~595.
- (6) Dan, B. J. and Choi, Y. J., 1999, "Vibration Stabilization of the Tracking System of an Optical Disk Drive," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 191~199.
- (7) Choi, D. B., Jo, J. J. and Kim, S. I., 1994, "Dynamic Characteristics of Spindle with a built-in Motor," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 11, No. 3, pp. 184~190.
- (8) Samsung Electronics Co., LTD., 2000, "Technical Manual of CD-ROM Drive"