

모델 기반 외란 관측기와 Waterfall 해석을 이용한 광 디스크 외란 분석

Disturbance Analysis in an Optical Disk Drive Using Model Based Disturbance Observer and Waterfall Technique

최진영† · 이광현* · 전홍걸** · 이문노*** · 양현석**** · 박노철* · 박영필*

Jin-Young Choi, Kwang-Hyun Lee, Hong-Gul Jun, Moon-Noh Lee, Hyun Seok Yang,
No-Cheol Park and Young-Pil Park

(2005년 8월 10일 접수 ; 2006년 1월 6일 심사완료)

Key Words : Optical Disk Drive(광 디스크 드라이브), Disturbance(외란), Waterfall Analysis(워터폴 해석),
Disk Vibration(디스크 진동), Model Based Disturbance Estimator(모델 기반 외란 관측기)

ABSTRACT

A novel disturbance measurement method, model based disturbance observer (MBDO) for optical disk drives (ODDs), is proposed and the disturbance analysis using the proposed method is performed under various conditions. In ODDs, the quantitative and qualitative analysis for the generated disturbance during normal operation is very important to successful servo loop design. However, the disturbance measurement is difficult, and high precision measurement is necessary. Furthermore, the conventional disturbance measurement method using a LDV (laser Doppler vibrometer) has many difficulties in eccentricity direction due to the vertical movement of an optical disk. To solve this problem, the MBDO is proposed. First, the relationship between the servo loop for ODDs and the generated disturbance are briefly reviewed. Second, the principle of the MBDO is introduced, and the disturbance measurement results, which are measured by the MBDO and a LDV, are compared. In these experiments, test DVD-ROM disks are used to generate quantitative/qualitative disturbance. Then, the disturbance analysis under various conditions is performed using waterfall technique. This technique clearly shows the disturbance trend from the inner part of an optical disk to the outer part of it. Finally, the various disturbances measurement results are summarized and some remarks for it are commented.

1. 서 론

제어 시스템 설계에 있어 가장 기본적인 사항은 플

랜트의 동특성 및 작동 환경, 그리고 작동 중 발생하는 외란 특성의 올바른 이해에 있다. 특히 광 디스크 드라이브(optical disk drive, ODD)와 같이 광 픽업의 동특성 변화가 심하고 광 디스크 교체 및 재생 배속 변화에 따라 발생 외란의 정량적/정성적인 변동폭이 큰 경우 이 문제는 보다 중요하다. 따라서 광 픽업의 불확실성(uncertainty) 및 발생 외란 특성을 고려하여, 이를 적절히 제어기 설계에 반영할 필요가 있다.

외란의 불확실성을 고려한 제어 설계 기법을 강건 제어(robust control)라 하며, H_∞ 나 구조화특이치

† 책임저자 : 정희원, 연세대학교 CISD
E-mail : mithra@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460
* 정희원, 연세대학교 CISD
** LG전자 DS연구소
*** 정희원, 동의대학교 컴퓨터공학과
**** 연세대학교 CISD

(structured singular value) μ 등 다양한 강건 제어 이론이 ODD 서보계 설계에 설계/평가되어 왔다.^(1~3) 그러나 ODD의 경우 발생 외란의 정량적/정성적 변동폭이 큰 특징으로 인하여, 강건 제어 이론에서 사용되는 외란에 대한 가중치 함수 선정이 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 기존의 선행 연구에서는 주로 광 픽업의 불확실성만을 관심 대상으로 다루었다. 디스크의 외란을 구체적으로 측정하고 이를 고려한 강건 제어기 설계가 연구된 바 있으나⁽⁴⁾, 다양한 조건에 영향을 받는 ODD 외란에 대한 분석은 일부 연구에서만 다루어졌다.⁽⁵⁾

ODD에서 발생하는 외란 분석은 최근에 본격적으로 연구되어 왔으며, 액추에이터의 동역학 및 제어 입력, 오차 신호 그리고 광학 이득(optical gain)을 이용하여 외란을 추정하는 방법이 대표적이다.^(4,5) 이와 유사한 방법으로 재생 중 발생하는 에러의 광량을 기초로 하는 방법과⁽⁶⁾, 작동 중 발생하는 편심 속도를 추정하고, 이를 바탕으로 최적화된 서보 루프의 설계 방법에 대한 연구도 진행되었다.^(7,8)

그러나 이러한 선행 연구들에도 불구하고, 광 디스크의 내외주 위치 변동에 따른 외란의 연속적인 변동 추이(trend)에 대한 해석은 아직까지 보고되지 않았다. 또한, 회전 속도와 관련된 광 디스크 진동 모드에 대한 연구는 많이 진행되었지만^(9~11), 광 디스크의 진동 모드와 발생 외란의 상관 관계를 상세히 분석한 연구는 거의 찾아보기 힘들다. 마지막으로 비접촉 변위/속도 센서인 LDV(laser Doppler vibrometer)를 이용하여 ODD의 편향(deviation) 외란을 측정하는 방법은 많이 보고 되었지만, 편심(eccentricity) 외란에 대한 연구는 거의 보여지지 않았다. 이것은 디스크의 큰 상하 진동에 의하여 LDV로 편향 외란 측정이 거의 불가능하기 때문이다.

따라서 이 연구는 지금까지 진행되어 왔던 연구들을 보완하여, 광 디스크 외란을 정확하게 측정할 수 있는 모델 기반 외란 관측기(model based disturbance observer, MBDO)를 제안하고 그것을 이용하여 재생시 발생하는 ODD의 발생 외란을 측정하였다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. 광 디스크의 서보 루프와 외란과의 관계를 간략히 2장에서 소개하고, 3장에서는 광 디스크의 외란의 종류 및 특성을 정리하였다. 그리고 MBDO의 구성 및 구현, 그리고 외란의 정량적/정성적 평가를 위한 외란측정용

DVD-ROM 디스크의 소개를 4장에서 다루었다. 5장에서는 MBDO와 waterfall 해석 기법을 이용하여 디스크의 물리적 특성, 배속 및 서보 루프에 따른 외란 측정 결과를 제시하였다. 마지막으로 6장에서는 MBDO와 waterfall 해석을 이용한 외란 특성을 간단히 정리하였다.

2. 광 디스크의 서보 루프와 외란과의 관계

정상적인 광 디스크의 작동을 위해서, 작동시 발생하는 외란은 광 디스크 서보 루프에 의하여 허용 오차 이내로 저감되어야 한다. 이때 발생 외란은 기계/전기/광학적인 복합적인 요소로 분류할 수 있다. 그러나 액추에이터 구동에 의하여 보상되는 주된 외란은 기계적 외란이므로, ODD에서 발생하는 기계적 외란에 초점을 맞추었다.

ODD서보 루프를 개략적으로 나타내면 Fig.1과 같으며, 이때 이 시스템의 개루프(open loop) $L(s)$ 는 식 (1)로 표현된다.

$$L(s) = P(s) \cdot K_{vcm} \cdot C(s) \cdot K_{opt} \quad (1)$$

여기서 $P(s)$ 액추에이터를 그리고 $C(s)$ 는 제어기를 나타내며, K_{vcm} 과 K_{opt} 는 드라이버 IC 이득과 광학

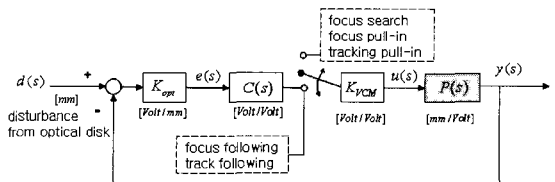


Fig. 1 Typical servo loop in an ODD

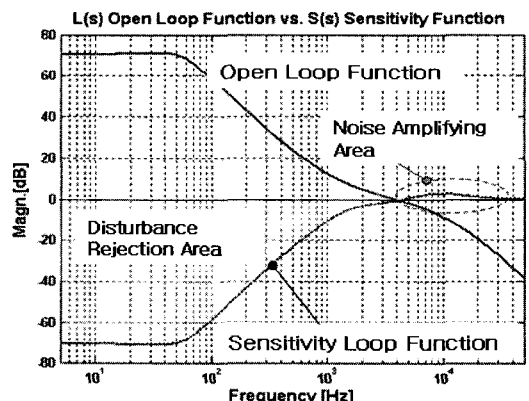


Fig. 2 Open loop functions vs. sensitivity function

이득이다. 이때 디스크로부터 발생하는 외란 $d(s)$ 는 서보계를 통하여 보상되고 나머지 잔존 오차량은 오차 신호 $e(s)$ 로 나타난다. 이때 허용 오차량은 ODD의 종류 및 포커싱/트래킹 방향에 따라 달라진다. 각 ODD 규격집을 통하여 기준 배속에서 충족시켜야 할 외란량을 규제하고 있지만, 실제 상황에서는 배속 변동 및 작동 조건에 따라 발생 외란이 달라지므로 이를 고려하여 제어기를 설계하여 한다. 외란 측면에서 설계된 제어기는 감도 함수(sensitivity function)를 통하여 평가하는데, Fig. 2와 같이 외란의 발생 영역과 노이즈 발생 영역을 구분하여 설계하는 것이 중요하다. 감도 함수를 통하여 각주파수 대역에서 외란의 허용 오차 이하로 충분히 감쇄하여야 한다. 이것은 개루프 전달 함수가 발생 외란의 크기보다 크게 설계되어야 함을 의미한다. 따라서 ODD 서보계 설계에 있어 발생 외란의 정량적/정성적인 측정 및 평가를 통하여 이를 제어기 설계에 반영하는 것은 매우 중요하다.

3. 광 디스크 외란의 종류 및 특징

3.1 광 디스크 외란의 종류 및 특성

기계적인 외란만을 고려하는 경우, 물리적인 특징에 따라 (i) 편향, (ii) 편심, (iii) 편중심(unbalance mass)로 분류할 수 있다. 외란의 발생 원인을 살펴보면 편향은 디스크 자체의 변형 및 진동, 스피들 모터의 흔들림, 피트 높이의 변화 그리고 클램핑시 디스크의 기울어짐 등이 원인이 된다. 또한 편심은 광 디스크 중심과 회전 중심과의 불일치, 디스크의 진동, 트랙 자체의 흔들림, 스피들 모터의 진동 그리고 클램핑시 흔들림 등에 기인된다. 마지막으로 편중심은 편심 질량에 의하여 유발되며, 편심 질량 m_u 가 회전 중심으로부터 r 만큼 떨어져 ω 의 각속도로 회전하는 경우, 다음과 같은 불평형력(unbalance force)이 발생한다.

$$F_{unb} = m_u \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

따라서 회전 속도가 증가하면, 증가하는 회전각속도의 제곱에 비례하는 불평형력이 발생하여 외란으로 작용한다. 이에 대한 해결책으로 스피들 모터에 ABS (auto balancing system)를 장착하여, 발생하는 불평형력을 상쇄하고 있다.⁽¹¹⁾ 또한 외란은 주기성 여부에 따라 디스크의 회전 주파수와 동기하

는 RRO(repeatable run-out)외란과 그렇지 않은 NRRO (non-repeatable run-out)외란으로 구분할 수 있다.^(13,14)

3.2 광 디스크의 진동 해석

ODD에서 발생하는 외란은 광 디스크의 진동 모드와 밀접한 관련이 있으므로 이에 대한 해석은 필수적이다. Fig. 3과 같은 좌표계를 설정하면, 발생하는 진동은 면내 진동(in-plane vibration) $u, v(R/\Theta$ 방향)와 면외 진동(out of-plane vibration) $w(Z$ 방향)로 분류할 수 있다. 이때 면내 강성(stiffness)은 면외 강성보다 훨씬 큰 값을 가지므로, 디스크의 진동은 면내 진동보다 면외 진동이 보다 쉽게 발생한다. 면외 진동 w 는 좌표계와 관련된 변수 r 과 θ 그리고 시간 t 를 이용하여 $w(r, \theta, t)$ 로 나타낸다. 이때 면외 진동의 각 고유진동수 $w_{nm}(r, \theta, t)$ 은 정수 m 과 n 을 이용하여 표현하며, m 과 n 은 각각 절원(nodal circle)과 절직경(nodal diameter) 수를 각각 의미한다.^(10,11) 몇 가지 대표적인 진동 모드를 Fig. 3에 제시하였으며, 회전하는 디스크의 고유진동수 ω_n 은 정지 좌표계에서 식 (3)으로 표현된다.⁽⁹⁾

$$\omega_n^2 = \omega_{sn}^2 + \Omega^2(\alpha_n + n^2\beta_n) \quad (3)$$

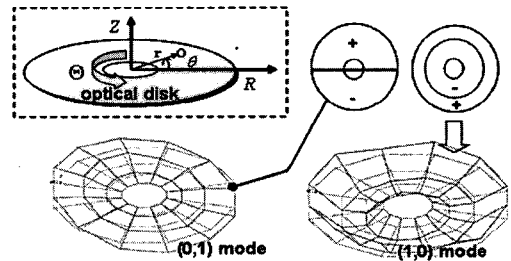


Fig. 3 Mode shape of an optical disk

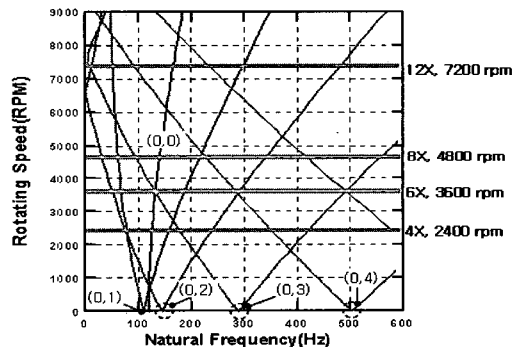


Fig. 4 Natural frequency of a rotating DVD-ROM disk(simulation)

여기서 ω_{sn} 정지 상태의 디스크의 고유진동수, Ω 은 광 디스크의 각속도 그리고 α_n 과 β_n 은 회전에 의한 반경과 원주 방향의 응력과 관련된 파라미터이다. DVD-ROM 디스크의 물성치를 대입하면 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이를 통하여 각 회전 배속에서 발생하는 진동 모드 및 그 주파수를 알 수 있다.

4. 외란 측정을 위한 MBDO의 원리 및 검증

광 디스크의 편향 성분의 외란은 LDV와 같은 정밀 비접촉 속도/변위 계측기를 이용하여 측정 가능하다. 그러나 광 디스크의 인쇄면이 계측에 영향을 줄 뿐 아니라 발생하는 편향 외란은 LDV에 의한 편심 외란 측정을 어렵게 한다. 따라서 이들 단점을 극복하고, 실제 빔 스폿이 데이터를 재생하고 있는 위치에서의 편향 및 편심 외란을 측정할 수 있는 MBDO를 제안하고 검증하였다.

4.1 ODD 외란 측정을 위한 MBDO

ODD가 발생 외란에 대하여 정상적으로 작동하고 있는 경우, 광 디스크로부터 발생하는 외란 $d(s)$ 는 광 픽업에 의하여 추종된 량 $y_c(s)$ 와 추종하지 못한 량 $y_u(s)$ 의 합으로 표현 가능하다.⁽⁵⁾

$$d(s) = y_c(s) + y_u(s) \quad (4)$$

여기서, Fig. 1을 참조하면 $y_c(s)$ 와 $y_u(s)$ 는 각각 다음과 같다.

$$y_c(s) = P(s) \cdot u(s) \quad (5)$$

$$y_u(s) = e(s) \times (1/K_{opt}) \quad (6)$$

따라서 작동 중 발생하는 외란은 정확한 광 픽업 전달함수 $P(s)$ 와 제어 입력 $u(s)$, 그리고 에러 신호 $e(s)$ 와 광학 이득 K_{opt} 를 이용하여 추정할 수 있다. 이러한 개념은 기존의 연구에서 제안되어 ODD의 발생 외란을 측정하는 방법과 일치한다. 그러나 기존 연구에서 디스크의 내외주 위치 변동에 따른 외란의 연속적인 변동 추이를 분석하지는 않았다.⁽⁵⁾ 따라서 이를 보완하여 이 논문에서는 waterfall 해석을 통하여 광 디스크의 내외주 위치에 따른 외란 특성을 연속적으로 분석할 수 있도록 하였다.

MBDO의 정밀도는 식 (4)를 구성하는 각 요소에 직접적으로 의존한다. 제어 입력 $u(s)$ 및 에러 신호 $e(s)$ 는 ODD 회로 기판에서 직접 얻을 수 있으므로, 실제 MBDO의 정밀도에 영향을 주는 파라미터는 $P(s)$ 와 K_{opt} 이다. $P(s)$ 는 LDV를 통하여 얻어낸 실험 데이터로부터 얻어낼 수 있으며, 또한 K_{opt} 는 실험적으로 측정할 수 있다. 이때 K_{opt} 는 비록 광 디스크의 반사율에 따라 많은 영향을 받지만, 특정 DVD-ROM 디스크를 반복하여 사용함으로써 하나의 공칭값을 얻을 수 있다. 이때 해석의 편의를 위하여 전기적인 노이즈 및 광학적인 노이즈는 무시하였다.

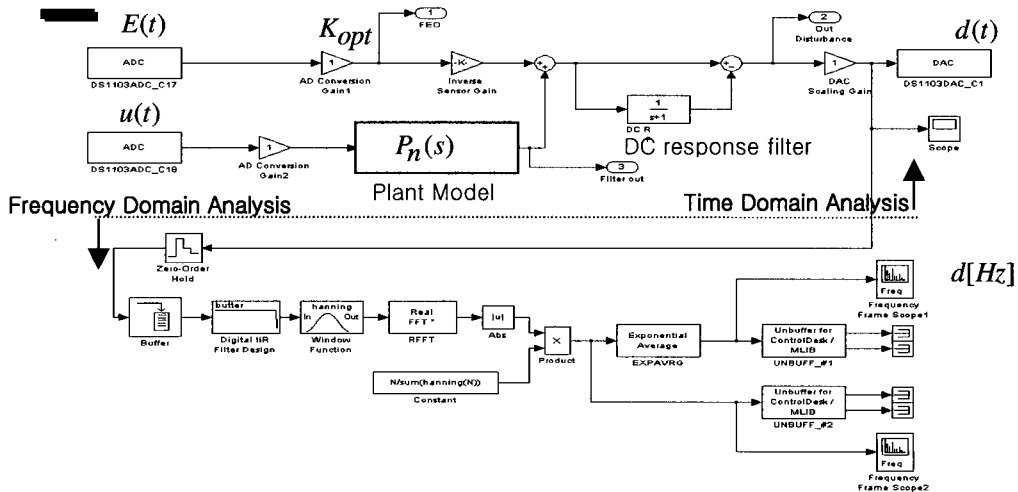


Fig. 5 Block diagram of the proposed MBDO

제안된 MBDO를 MATLAB SIMULINK 블록 다이어그램으로 표현하면 Fig. 5와 같으며, 이 블록을 100 kHz 샘플링 주파수로 DSP(DS1103, D-Sspace社)를 이용하여 구현하였다. 최종적으로 완성된 MBDO는 Fig. 6에 제시하였으며, 대상 계는 상용 12배속 DVD-ROM 드라이브를 선정하였다. 배속의 설정 및 각종 파라미터 모니터링을 위하여 에뮬레이터(emulator)를 추가적으로 이용하였다. 이와 더불어 에러 신호의 증폭 및 필터링 그리고 에러 신호의 AC 커플링(coupling)을 위한 각종 회로를 제작하여 적용하였다.

완성된 MBDO의 타당성을 입증하기 위하여, 임의의 DVD-ROM 디스크를 8배속(4800 rpm, constant angular velocity mode)으로 재생시 발생하는 편향 외란을 LDV와 제안된 MBDO로 각각 측정된 결과를 Fig. 7에 제시하였다. Fig. 7의 결과에서 알 수 있듯이, MBDO와 LDV에 의한 외란 측정 결과는 서로 잘 일치하며 이로부터 제안된 MBDO의 타당성을 입증할 수 있다. 그러나 보다 자세히 살펴보면, 전체적인

경향은 MBDO와 LDV의 결과와 잘 일치하나 일부 주파수 대역에서 약간의 차이가 발생함을 알 수 있다. 이는 Fig. 8과 같이 LDV와 MBDO의 외란 측정면의 위치가 달라서 발생하는 효과로 생각할 수 있다.

4.2 평가 DVD-ROM 디스크

광 디스크 외란의 정량적/정성적인 평가를 위해서 평가(test) DVD-ROM 디스크를 이 논문에서 사용하였다(Fig. 9, Abex社). 실험에 사용된 평가 DVD-ROM 디스크는 편향/편심/편중심 외란 특성이 지배적인 디스크이며, 사용된 각 디스크의 외란 특성은 Table 1에 제시하였다. 편향 디스크는 디스크를 우산 모양으로 인위적으로 제작하여 상하 진동을 크게 하였으며, 편심 디스크는 센터 중심을 의도적으로 도심(centroid)에서 떨어지게 제작하여 편심 외란을 부가한 디스크이다. 마지막으로 편중심 디스크는 부가 질량을 디스크에 덧붙임으로써 편심 질량을 의도적으로 유발하였다.

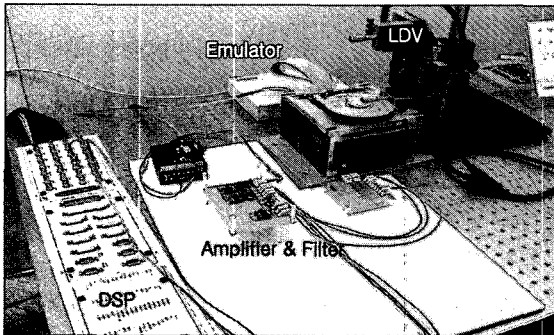


Fig. 6 Hardware realization of the MBDO

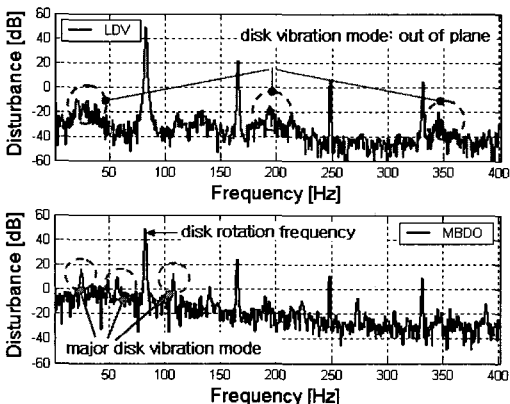


Fig. 7 Measured disturbance: LDV vs. MBDO

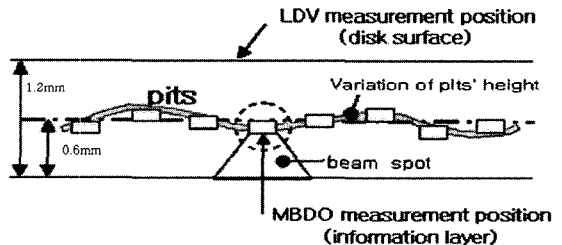


Fig. 8 Vertical deviation measurement position: LDV vs. MBDO

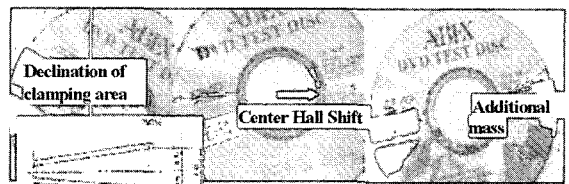


Fig. 9 Test DVD-ROM disks

Table 1 Physical characteristics : the test DVD disks

Kinds	DVD media
Vertical Deviation	TDV-533 (1.0 ± 0.05 mm)
Eccentricity	TDV-513 (150 ± 5 μm)
Unbalance	SVD-3573 : 0.50 g·cm

5. MBDO를 이용한 광 디스크 외란 해석

평가 DVD-ROM 디스크의 외란 해석은 MBDO에 의하여 출력된 외란 신호를 동적 신호 분석기 (dynamic signal analyzer, HP35670A)를 이용하여 주파수 해석의 waterfall기법을 적용하였다. 이때 계측기의 설정 조건은 다음과 같다: 평균화 20회, Hanning 윈도우, 분해능 1600 라인, 주파수 범위 0.5 Hz~3.2 kHz. 또한 외란을 규격집의 디스크 외란의 허용값과 비교하기 위하여, 각 방향의 서보 루프의 허용 에러를 0 dB 값으로 정규화하여 최종적으로 표현하였다(포커싱 루프: 0.23 μm , 트래킹 루프: 0.022 μm).

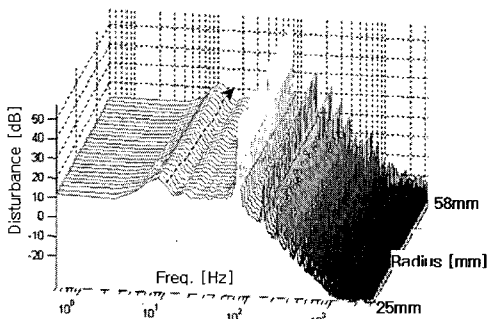
MBDO를 사용함으로써 기존의 LDV의 측정 방법과 비교하여 얻을 수 있는 장점은 (i) 외란이 발생하는 실제 지점의 외란 측정이 가능하고, (ii) 편향 외

란 뿐만이 아닌 편심 외란 측정에 가능하며, (iii) waterfall 해석을 통하여 광픽업이 내주에서 외주로 이동할 때 관측되는 외란을 연속적으로 측정 가능하다는 점이다.

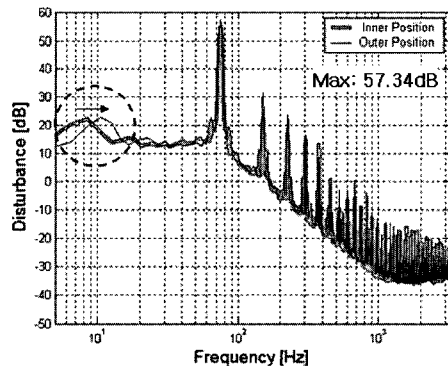
5.1 포커싱 방향 외란 해석

포커싱 방향의 외란 해석을 위하여, Table 1의 편량 디스크를 8배속(4800 rpm, CAV 모드) 및 12배속(7200 rpm, CAV 모드)에서 재생하며 이때 발생하는 외란을 측정하였다. Fig. 10(a)와 Fig. 11(a)는 각각 8배속과 12배속으로 재생할 때 MBDO를 이용한 외란 측정의 waterfall 해석을 보여준다. 이때 waterfall 해석을 이용함으로써, 광 디스크의 내외주의 외란 특성을 파악할 수 있다. Fig. 10.(b)와 Fig. 11.(b)는 8배속과 12배속에서, 광 디스크의 최내주와 최외주의 외란 특성을 보여준다.

실험 결과로부터 편량 디스크의 포커싱 방향 외란

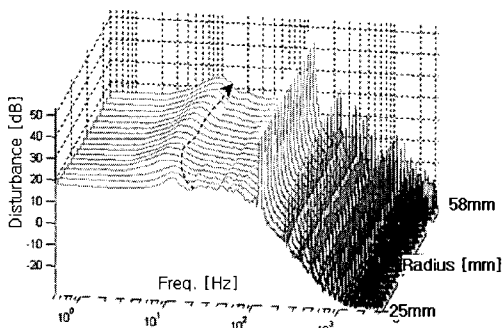


(a) Disturbance analysis using waterfall [Dev. 1.0, 8X]

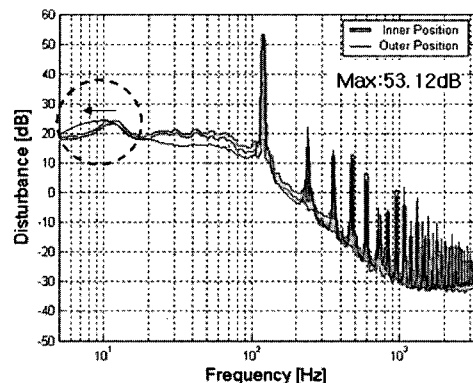


(b) Inner/outer disturbance [Dev. 1.0, 8X]

Fig. 10 Estimated disturbance in focusing direction: Deviation disk, 8X



(a) Disturbance analysis using waterfall [Dev. 1.0, 12X]



(b) Inner/outer disturbance [Dev. 1.0, 12X]

Fig. 11 Estimated disturbance in focusing direction: Deviation disk, 12X

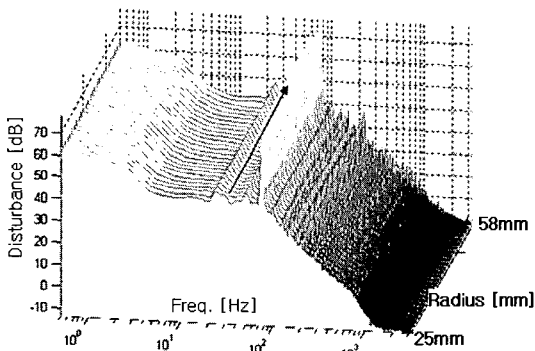
은 내주에서 외주로 향함에 따라 외란의 크기가 증가하고, 배속이 증가함에 따라 디스크의 회전 주파수 성분의 외란 크기는 저감됨을 확인할 수 있다. 동일 배속에서 디스크의 외부 방향으로 나가면서 외란이 커지는 현상은, 디스크의 기울어짐 및 디스크 진동 진폭의 차이 등에서 기인한 것으로 해석할 수 있다. 또한 배속의 증가와 더불어 편심이 감소하는 것은 배속 증가와 더불어 횡방향으로 작용하는 원심력이 크기가 증가하여 디스크를 수평 방향으로 인장하는 역할을 하기 때문이다.

MBDO를 이용한 외란 해석에 있어 특이한 점은 Fig. 10(b) 및 Fig. 11(b)에서 점선으로 표현된 부분의 외란 성분이다. 반복적인 실험을 통하여 이 외란은 8 Hz~30 Hz의 변동폭을 가지며, 발생 주파수 대역이 내주에서 외주로 향함에 따라 증가하기도 하고 때에 따라서 감소하기도 하였다. 이에대한 보다 자세한 분석은 5.3절에 보다 상세히 다루었다.

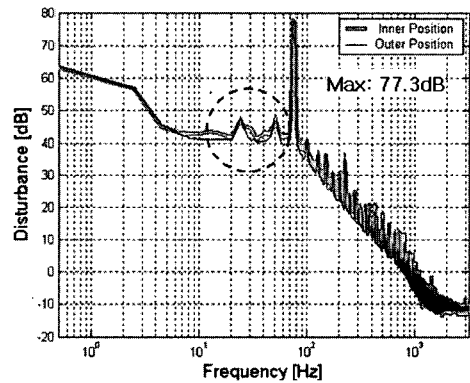
5.2 트래킹 방향 외란 해석

포커싱 방향의 외란 해석과 유사하게 8배속과 12 배속에 대하여 편심 디스크와 편중심 디스크에 대한 외란 해석을 각각 수행하였다. 150 μm 의 편심 디스크를 ODD의 펌웨어(firmware) 설정을 통하여 12배속으로 설정하여도, 큰 외란 특성으로 인하여 시스템에서 8배속으로 배속 저감이 이루어졌다. 따라서 150 μm 의 편심 디스크의 경우, 8배속의 외란 결과만을 Fig. 12에 제시하였다. 편향 외란과 비교하였을 때, (i) 편심 외란은 내외주 변동에 따라 변동폭의 크지 않으며, (ii) 회전 주파수 대역의 외란 성분에 비교하였을 때 고주파 성분의 외란들의 크기가 상대적으로 작은 특징을 보였다. 이는 면내 진동의 강성이 면외 진동의 성분보다 훨씬 강성이 크다는 사실로 설명이 가능하다.

Fig. 13은 편중심 질량을 가지는 디스크의 8배속 및 12배속 재생시 발생하는 외란의 측정 결과를 보여

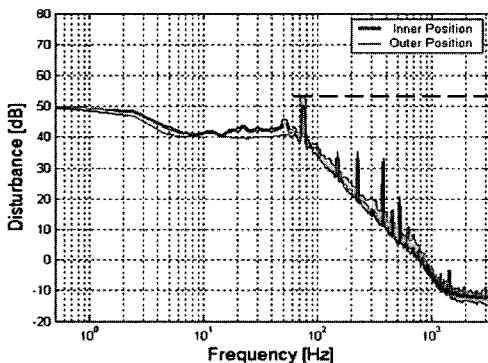


(a) Disturbance analysis using waterfall [Ecc.150, 8X]

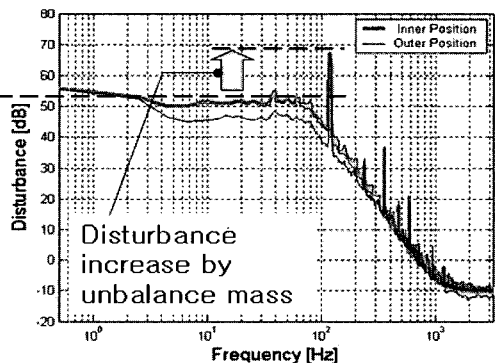


(b) Inner/outer disturbance [Ecc.150, 8X]

Fig. 12 Estimated disturbance in tracking direction: Eccentricity disk, 8X



(a) Inner/outer disturbance [Unb. 0.50, 8X]



(b) Inner/outer disturbance [Unb. 0.50, 12X]

Fig. 13 Estimated disturbance in tracking direction: Unbalance disk, 8X/12X

준다. 편심 질량에 의한 불평형력은 앞서 언급한 식 (3)과 같으므로, 편심 질량이 적절히 보상되지 않는다면 회전 배속 증가에 따라 급격히 편심 외란이 증가하게 된다. 그러나 실제 시스템에서는 ABS에 의하여 보상되고, 그 보상량은 상황에 따라 다르다. 따라서 배속이 증가함에 따라 외란량의 크기가 증가하기도 하고, 때에 따라서 감소하기도 하는 경향을 보이게 된다.

5.3 MBDO와 LDV로 측정되는 외란의 비교분석

5.1절에 언급한 바와 같이 MBDO를 이용하여 측정된 포커싱 방향과 트래킹 방향의 외란 해석에서, 8 Hz~30 Hz대역의 디스크의 위치에 따라 변동하는 외란이 관측되었다. 이것은 회전 배속과 무관한 NRRO 성분의 외란임을 반복 실험을 통하여 확인 하였으며, 이 외란의 발생 요인을 파악하기 위하여 다음의 과정을 거쳤다. 먼저 광 디스크의 진동 모드와의 관련성을 살펴보았다. 편향 디스크를 8배속으로 회전할 때, 광 픽업의 내주에서 외주로 이동하는 동안 LDV를 이용

하여 광 디스크 내주 고정점의 외란 측정 결과는 Fig. 14와 같다. 실험의 결과에서 알 수 있듯이, 디스크 진동 모드와 관련된 외란은 동일 배속에서 광 픽업의 위치에 따라 변동하지 않음을 알 수 있다. Fig. 14의 40 Hz 대역의 원형 부분의 외란은 Fig. 4의 해석 결과로부터 (0,2) 모드임을 알 수 있다. 따라서, 이 분석을 통하여 MBDO를 이용한 외란 측정에서 관측되는 8 Hz~30 Hz 대역의 NRRO 성분은 디스크의 진동 모드 성분과 무관함을 알 수 있다. 또한 이 외란은 광 픽업의 롤링(rolling)이나, 피칭(pitching) 그리고 요잉(yawing)이 발생하는 주파수 대역과 다르다. 따라서 8 Hz~30 Hz의 관측되는 외란은 광 픽업의 고유 진동수와 무관한 외란이다.

MBDO에 의하여 관측되는 8~30 Hz의 외란의 요인으로서 유동하는 공기에 유발된 광 픽업의 흔들림이나 DVD 디스크의 정보면 높이의 변동에서 기인한 것으로 추정된다. 그러나 이 대역에서 발생하는 외란의 발생 요인의 정확한 분석은 추가적인 검증 과정을 거쳐야 할 것으로 판단된다.

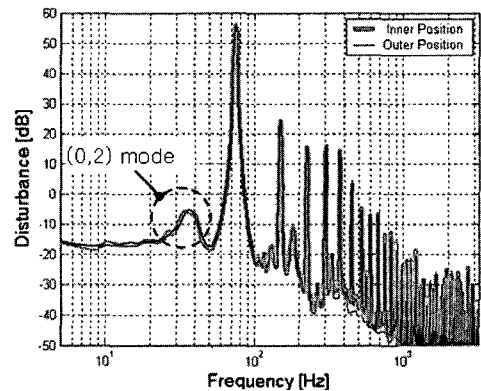
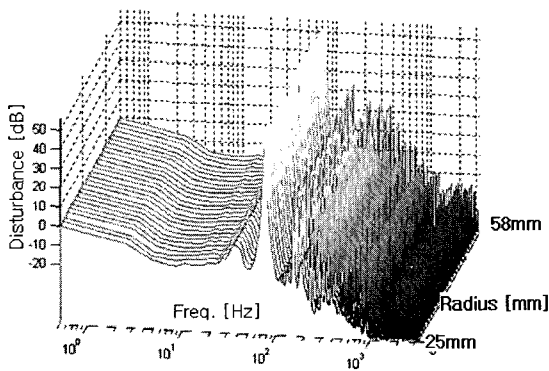


Fig. 14 Disturbance measurement using a LDV: inner position, Dev 1.0, 8X

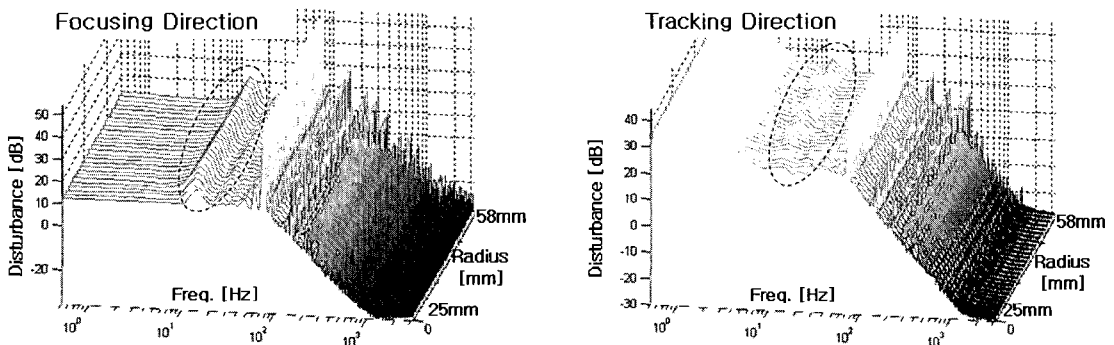


Fig. 15 Disturbance measurement using the MBDO: Dev 1.0, 8X

5.4 포커싱 외란과 트래킹 외란의 연성해석

포커스 방향의 외란과 트래킹 방향의 연성(coupling) 관계를 보다 명확하게 분석하기 위하여, MBDO에 의하여 측정되는 외란 신호를 리사쥬(Lissajous) 도형을 이용하여 해석하였다. 편향에 해당되는 외란 출력을 디지털 오실로스코프(Lecroy, LC334AL)의 1번 채널에 그리고 편심에 해당되는 외란 출력을 채널 2에 입력하여, X-Y 모드로 설정하면 Fig. 16의 결과를 얻을 수 있다. 측정된 결과는 편심 150 μm 디스크를 8배속으로 재생시 관측되는 결과로, X축은 편향의 크기를 그리고 Y축은 편심의 크기를 나타내며 두 신호의 위상차가 0°일 때 45°의 기울기를 가진다. 물리적 특성이 다른 디스크를 다양한 배속에서 재생하여 그 외란 특성을 리사쥬 도형을 이용하여 해석한 결과, 편향 외란과 편심 외란의 일정한 위상차가 발생하지 않음을 실험적으로 밝혀냈다. 이 결과는 편심 외란이 편향에 의하여 지배적으로 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 즉, 편심 외란의 대부분은 디스크의 회전 중심과 디스크 도심의 불일치, 그리고 회전축의 진동 등에 의하여 유발된다는 것을 의미한다.

광 디스크의 편향 외란과 편심 외란의 수학적 분석

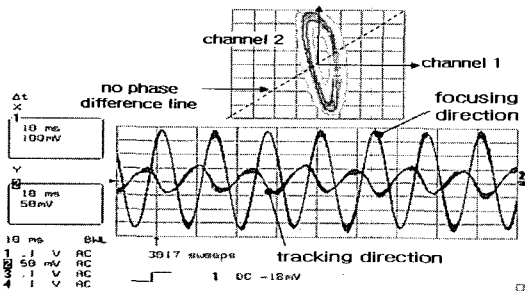


Fig. 16 Rissajous diagram vs. focusing/tracking disturbance

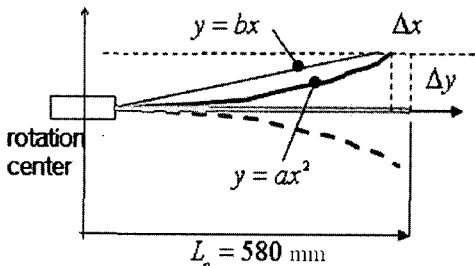


Fig. 17 Geometric analysis: disk deflection (Δy) and radial shift (Δx)

을 위하여, 디스크 처짐량과 이와 관련한 편심 방향의 변위를 Fig. 17과 같다고 가정하였다. 광 디스크의 중심으로부터 데이터가 기록된 최외주의 길이 L_0 구간에 걸쳐 광 디스크가 선형 또는 2차원 포물선으로 처짐량이 분포하는 경우, 디스크의 처짐량 Δy 가 $\pm 500 \mu\text{m}$ 일 때 이 변동량에 의하여 끝단에서 발생하는, Δx 는 대략 $0.02 \mu\text{m}$ 이다. 따라서 편향 외란성분에 의하여 기인되는 편심 외란은 매우 작음을 알 수 있다.

6. 결론

이 논문을 통하여 작동 중 ODD에서 발생하는 외란을 정확히 측정할 수 있는 MBDO를 제안하고, 이를 구현하여 다양한 조건의 외란 특성을 분석하였다. 적용 대상계는 상용 12배속 DVD-ROM 드라이브로, 외란의 정량적/정성적 평가를 위해 편심/편향/편중심 특성을 지니는 평가 DVD-ROM 디스크를 사용하였다. 디스크의 내외주 위치에 따른 외란 특성 분석을 위하여 waterfall 기법을 적용하였으며, 관측 외란과 디스크의 진동 모드와의 관계를 구체적으로 살펴보았다. 마지막으로 편심 외란과 편향 외란의 연성 관계를 해석하기 위하여 리사쥬 도형을 이용하였다.

제안된 MBDO를 통하여 일반적인 계측기를 이용하여 측정하기 어려운 ODD의 편심 외란을 정확하게 측정할 수 있으며, 이를 이용하여 서보계 설계 및 광 픽업 설계의 기초 자료로서 유용하게 사용될 수 있다. 이 논문을 통하여 얻어진 주요 특징 및 결론을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- (1) 기존 LDV로 측정하기 어려운 편심 외란을 정확히 측정할 수 있는 MBDO를 제안하고 검증하였다.
- (2) MBDO를 이용하여 디스크의 내외주 변동에 따른 외란변동 추이를 waterfall 해석을 통하여 분석하였다.
- (3) 편향/편심/편중심 평가 DVD-ROM 디스크를 이용하여 각 외란 특성을 정리하였으며, 다양한 분석으로부터 광 디스크 진동 모드에 의하여 기인되는 편향 외란은 대략적으로 $2 \mu\text{m}$ 이하 임을 찾아내었다.
- (4) 편향 방향의 외란과 편심 방향의 외란을 리사쥬 도형을 이용하여 해석한 결과, 디스크의 편향 외란이 편심 외란에 기여하는 부분은 매우 작음을 실험적으로 보였다.

후 기

이 연구는 한국과학재단(R11-1997-042-11002-0) 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Lee, M.-N et al. 2004, "Design of a Robust Track-following Controller for Optical Disk Drives", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 2, pp. 723~731.

(2) Lee, J. W., Chait, Y. and Steinbuch, M., 2000, "On QFT Tuning of Multivariable μ Controllers", Automatica, Vol. 36, pp. 1701~1708.

(3) Lim, S. and Jung, T. -Y., 1999, "Dynamics and Robust Control of a High Speed Optical Pickup", Journal of Sound and Vibration, Vol. 221, No. 4, pp. 607~621.

(4) Choi, J. -Y. et al., 2002, "Disturbance Measurement of an Optical Disk and the Servo Loop Design Related to This Result", MOVIC 2002, Japan.

(5) Choi, J. Y., Chun, C, H, Jun, H. G., Lee, M. N., Yang, H. S. and Park, Y. P., 2001, Disturbance Estimation of Optical Disc by Closed Loop Output Estimator, Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference, pp. 1166~1171.

(6) Kim, Jin-seon and Kwak, Kyung-sup, 2002, "A Study on Vibration Detection Method of Disc by Differential Amplifying Optical Power in Optical Disk Media", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 6, No. 2, pp. 215~221.

(7) Lee, M. N., Jin, K. B. and Lee, J. K., 2005, "Estimation of Tracking Vibration Quantity for an Optimal Tracking Controller Design", Transactions of the KSNVE, Vol. 15, No. 5, pp. 578~585.

(8) Lee, Mun. No., Sin, J. H., and Kim, S. U., 2003, "Measurement of Velocity Disturbance for Robust Seek Control", Transactions of the KSNVE, Vol. 13, No. 11, pp. 860~867.

(9) Jin, W. H., Chung Jintai and Choi Keeyoung, 2003, "Dynamic Time Response of a Flexible Spinning Disk Misaligned with The Axis of Rotation", Journal of Sound and Vibration, Vol. 2262, Issue. 1, pp. 25~44.

(10) Lee, S. -Y., Chung Jintai and Choi Keeyoung, 2002, "Critical and Flutter of Optical Disks", Microsystem Technologies, Vol. 8, No. 2-3, pp. 206~211.

(11) Kim, Sookyung, Han Gyuhyeon and Son Heuigi, 1998, "A Study of Characteristics of Disk Vibration and Rotating Airflow in Magnetic of Optical Disk Drives", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp. 601~605.

(12) Kim, K. S. and Chung, Jintai, 2002, "Dynamic Analysis of an Optical Disk Drive with an Automatic Ball Balancer", Transaction of the KSME A, Vol. 26, No. 12, pp. 601~605.

(13) Jang, G. H., Kim, D. K. and Han, J. H., 2001, "Characterization of NRRO in a HDD Spindle System Due to Ball Bearing Excitation", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 37, No. 2, pp. 815~819.

(14) Jia, Q. -W., Wang, Z. -F. and Wang, F. -C., 2005, "Repeatable Runout Disturbance Compensation with a New Data Collection Method for Hard Disk Drive", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 2, pp. 791~796.