

회전 효과를 고려한 광디스크 드라이브의 충격해석

Shock Analysis of Optical Disk Drive Considering Rotational Effect

임승호*·박노철*·박영필†·황효균**·서정교**·유승헌**·최인호**·민병훈**
 Seungho Lim, No-Cheol Park, Young-Pil Park, Hyo-Kune Hwang, Jeong-Kyo Seo,
 Seung-Hon Yoo, In-Ho Choi, Byung-Hoon Min

Key Words : Shock Analysis(충격 해석), Modal Test(실험 모달 해석), Finite Element Method(유한 요소 해석), Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Campbell Diagram(캠벨 선도)

ABSTRACT

SIL-based optical disk drive will be promising candidate of next-generation storage devices. However, a near-field optical disk drive requires the robustness to external shock because of extremely small gap between SIL and media. Especially, high-level shock damages permanently to SIL and it makes difficulties in general application. To study the likelihood of failure, the shock analysis must be performed over all others. This research explores the dynamic characteristics of rotating disk through FEM which is compared to analytical solution and experimental modal analysis. We also develop the finite element model of an optical disk drive, which includes rubber mounts, sled base, rotating disk and pickup assembly, and simulate the shock response.

1. 서론

HD 급 영상이 대중화됨에 따라 정보저장 기기의 기록 밀도 증대 및 데이터의 전송 속도 향상이 이슈가 되고 있다. SIL 을 이용한 근접장 정보저장 기술은 기록 밀도를 증대시킬 차세대 광학 정보저장기로서 유력한 후보로 거론되고 있으며, 학계 및 산업체에서 다각도로 연구 및 개발 중에 있다. 그러나 SIL 을 이용한 근접장 정보저장 기술은 SIL 과 회전하는 디스크 간의 간극이 수십 나노미터로 유지되어야 하며, 와이어로 지지된 VCM 구동기와 디스크는 상대적으로 유연하여 다양한 기계적인 문제, 특히 진동 및 충격에 매우 취약한 단점을 지닌다. 따라서 이에 대한 해석 모델의 개발 및 제진, 내충격 성능 향상을 위한 메커니즘의 개발이 필요하다.

광디스크 드라이브의 동역학은 끊임없는 이슈가 되어 왔으므로 많은 연구가 진행되었다. 김남웅 등 동흡진기를 설계하여 특정 회전 주파수에 대한 제진 성능을 확인하였고[1]. Chi-Shen CHANG 은 다양한 회전 속도에서의 진동 저감을 위한 적응 동흡진기를 설계하였다[2]. 또한 Paul 등은 편심력을 보상하기 위해 자동불평형장치를 수학적 모델링하여 설계하였다[3]. 광디스크 드라이브의 충격 해석은 신은정 등이 유한요소 및 집중 파라미터계 모델로 해석하였고[4], 김시정 등은 유한요소법을 이용하여 초소형 광디스크 드라이브의 충격 응답을 해석하였다[5]. 그러나 디스크가 정지해 있는 비작동 중의 충격 해석만 고려하였으며, 디스크의 회전 효과를 고려한 해석은 제시되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 디스

크의 회전 효과를 고려하여 광디스크 드라이브의 충격 응답을 해석한다. 이를 위해 고무 마운트에 의해 지지되어 있는 테크계를 포함한 유한요소 모델을 수립하고, 각 부품들에 대하여 동특성을 튜닝 및 검증한다. 특히 회전 속도에 따른 디스크의 동특성 변화를 해석적으로 구하고 유한요소 모델과 비교한다. 더불어 실험 모달 해석을 통해 각 해석 방법을 비교 및 검증한다. 마지막으로 충격 입력에 따라 디스크와 VCM 구동기의 동적 거동이 어떻게 변화하는지를 유한 요소 해석을 통하여 확인한다.

2. 회전 디스크의 동특성

전체 테크계의 모델링에 앞서 이론해석, 유한요소 해석 그리고 실험 모달해석을 통해 디스크 단품에 대한 동특성을 확인하고 회전효과를 검증한다.

2.1 이론 해석 모델

그림 1 은 회전 디스크의 기하 파라미터 및 미소 요소에 대한 응력, 전단력, 모멘트를 나타낸다. 운동 방정식은 미소요소의 횡력과 관성력의 평형으로부터 유도된다. 횡력으로 작용하는 전단력은 모멘트 평형을 이용해서 모멘트에 관해 정리되고, 곡률을 이용해서 횡변위의 편미분으로 정리된다. 결국 전단력이 소거되어 횡변위의 편미분 방정식(1)으로 정리된다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \sigma_r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sigma_\theta \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) - \frac{D}{h} \nabla^4 w + \frac{f_w}{h} = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (1)$$

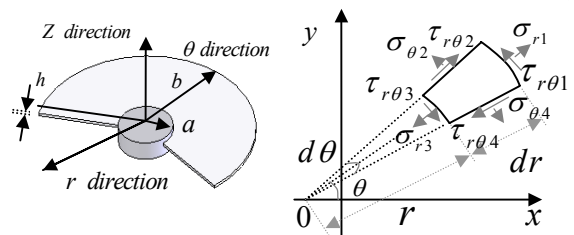


그림 1. 회전 디스크의 미소 요소

* 연세대학교 기계공학과

† 박영필; 연세대학교 기계공학과

E-mail : park2814@yonsei.ac.kr

Tel : (02)2123-2814, Fax : (02)365-8460

** LG 전자 Digital Storage(연)

자유 진동이라 가정하고 반경 (r) 및 원주방향 각도 (θ) 에 대해 변수 분리하면 식(2)와 같고, 여기서 m, n 은 각각 절원, 절직경의 수를 나타낸다.

$$w_{mn}(r, \theta) = R_{mn}(r)e^{in\theta} \quad (2)$$

특성 방정식을 외팔보와 원추곡선으로 근사화하여, 고유진동수를 구하였으며, 정지좌표계(관측자 즉 센서 입장에서)의 고유주파수는 절직경방향으로 식(3)과 같이 전/후방으로 모드가 분리된다.

$$\omega_{mn}^f = \omega_{mn} + n\Omega, \quad \omega_{mn}^b = \omega_{mn} - n\Omega \quad (3)$$

2.2 유한 요소 모델

유한요소 모델은 회전에 의한 원심력을 전응력으로 부가하고, 식(4)와 같이 정지 좌표계에 대해 나타낼 수 있다. 그림 2 는 절원, 절직경 방향으로의 모드 형상을 나타낸다.

$$[M]\{\ddot{u}\} + ([G] + [C])\{\dot{u}\} + ([K] - [K_C])\{u\} = \{F\} \quad (4)$$

2.3 실험 모달 해석

실험적으로 회전 속도에 따른 디스크의 동특성을 확인하기 위해 그림 3 과 같이 실험 장비를 구성하였다. 우선 정지 디스크에 대하여 임팩트 햄머(PCB/O86C80)로 가진하고, LDV(Laser Doppler Vibrometer)로 응답을 얻었으며, FFT 분석기(HP35670)로 주파수 응답을 구하였다. 또한 상용 커브피팅 소프트웨어인 STAR Modal 을 이용하여 모달 파라미터를 추출하고, 그림 4 와 같이 모드 형상을 확인하였다.

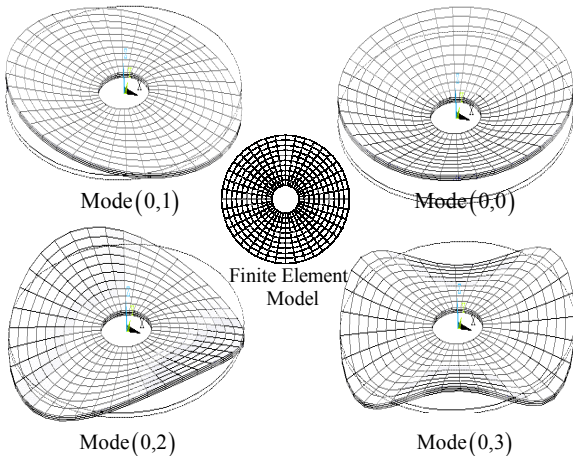


그림 2. 회전 디스크의 모드 형상 (유한요소해석)

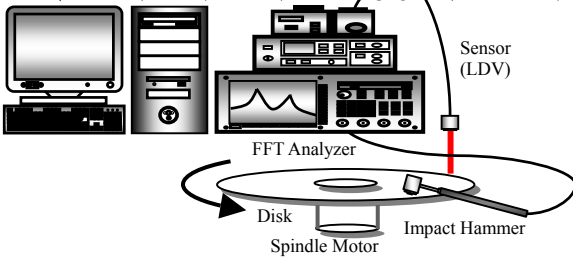


그림 3. 회전 디스크의 모드 형상

회전 시에는 임팩트 햄머를 통한 모달 테스트로 모드 형상을 구하기는 힘들지만, 주파수 응답함수의 피크점을 취하여 고유주파수의 변화를 얻을 수 있었다.

2.4 해석 결과

회전 속도에 따른 디스크의 고유 주파수의 변화를 그림 5 와 같이 나타내었다. 절직경이 있는 모드는 회전 속도가 증가함에 따라 전/후방으로 모드가 분리 됨을 알 수 있으며, 이론 해석 모델, 유한 요소 해석 모델 그리고 실험 모달 해석을 통한 해석 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 해석 모델의 동특성이 실제와 유사하며, 이를 바탕으로 충격 해석 모델로 적용하기로 한다.

3. 데크계를 포함한 유한요소 모델링

일반적으로 광디스크 드라이브는 슬레드 베이스, 픽업 어셈블리, 스피들 모터, 이송봉, 회전 디스크 및 고무 마운트로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 모델의 슬레드 베이스는 세 개의 고무 마우트에 의해 제진되고 있으며, 픽업 어셈블리는 이송봉을 따라 디스크의 외주 및 내주로 움직인다. 그림 6 은 해석에 반영된 광디스크 드라이브의 삼차원 모델을 나타낸다.

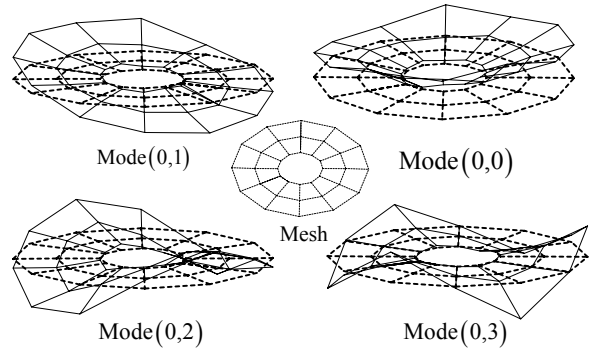


그림 4. 회전 디스크의 모드 형상 (실험모달해석)

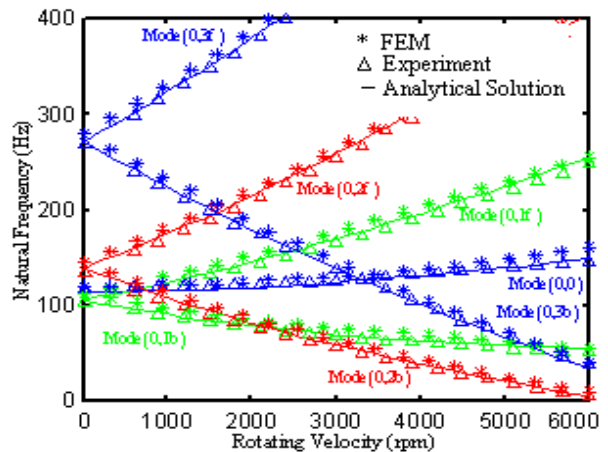


그림 5. 회전 속도에 따른 고유주파수의 변화

3.1 고무 마운트

고무 마운트는 테크계의 내부 및 외부 진동을 저감하는 역할을 한다. 고무 마운트의 강성은 슬레드 테크의 기울어짐 모드가 나타나지 않도록 강성이 다르기 때문에 각각의 고무 마운트에 대해서 물성치를 측정할 필요가 있다. 고무 마운트를 집중 파라미터 요소로 모델링 하기 위해 그림 7 과 같이 실험 장비를 구성하고 전달률 함수를 측정한다. 측정된 최대 전달률로부터 수치적으로 감쇄비(5)를 구하고 이를 통해 강성(6)을 구한다[6].

$$T_{max} = 4\zeta^2 \left[\frac{\sqrt{1+8\zeta^2}}{2+16\zeta^2 + (16\zeta^4 - 8\zeta^2 - 2)\sqrt{1+8\zeta^2}} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}, \quad c = 2\zeta\sqrt{mk}, \quad k = (2\pi\omega_n)^2 m \quad (6)$$

3.2 슬레드 베이스계 및 픽업 어셈블리

유한요소 모델을 통한 과도응답 해석은 많은 계산량을 필요로 하며, 더욱이 상대적으로 임펄스에 가까운 충격 해석은 고주파 응답까지 고려해야 하므로, 유한요소 모델을 최대한 단순화할 필요성이 있다. 따라서 슬레드 테크계는 쉘요소로 모델링 하였으며, 이송봉과 픽업의 와이어는 보요소를 사용하였다. 또한 최대한 4 절점 요소 혹은 8 절점 요소를 사용하여 요소망을 적게 생성해도 해석의 정확도를 높이도록 하였다. 그림 8 과 표 1 은 간략화된 모델과 유한요소모델의 요소 정보를 나타낸다.

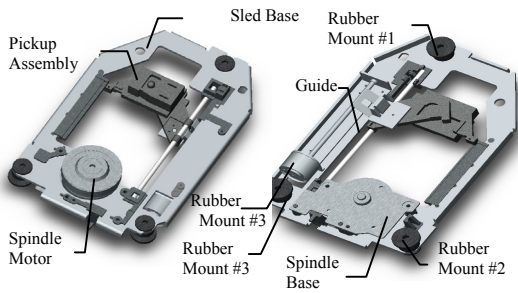


그림 6. 광디스크 드라이브의 삼차원 모델

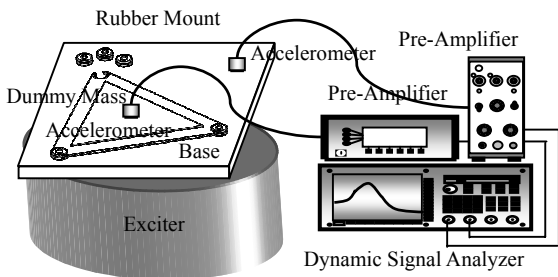


그림 7. 고무 마운트의 물성치 측정 실험

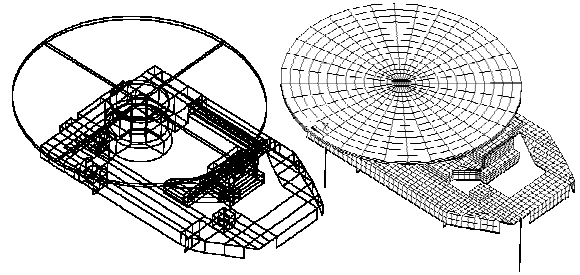


그림 8. 광디스크 드라이브의 유한요소 모델

표 1. 유한요소 모델의 요소 정보

Element Type	Elements	Nodes
Shell Element	1315	
Solid Element(8Node)	4115	6219
Beam	61	
Line Element(Spring-Damper)	14	

표 2. 실험 모달 해석 결과

	Natural Frequency[Hz]	FEA	EMA
Sled Base with Rubber	Bouncing Mode	42.16	37.47
	Rolling Mode	48.81	47.57
	Pitching Mode	97.11	89.10
Pickup	Bouncing Mode	67.193	66.70

3.3 실험모달해석을 통한 유한요소 모델의 검증

과도 응답해석인 충격 해석에 앞서, 실험모달 해석을 통하여 수립된 유한요소모델의 동특성을 검증하였다. 표 2 는 유한요소 모델과 실험모달해석의 고유주파수를 보여준다. 일반적으로 유한요소 모델은 감쇄 효과를 고려하지 않아 고유주파수가 실험모달해석보다 높은 것을 알 수 있다. 대체적인 동특성이 잘 맞으므로 다음의 충격 해석에 본 유한 요소 모델을 적용하도록 한다.

4. 충격 응답 해석

4.1 충격 입력

해석에 적용되는 충격 입력은 충격 지속 시간과 최대 가속도 크기로 표현되는 반정현파 가속도 입력으로 가정한다. 일반적으로 광디스크 드라이브는 6G의 최대 가속도 및 10ms의 충격 지속 시간에 견뎌야 하므로, 본 연구에서는 10G의 최대 가속도 및 다양한 회전 속도에 따른 충격 응답을 알아본다. 그림 9 는 해석에 반영되는 충격 입력을 나타낸다. 충격 입력은 고무 마운트 하단에 가속도 입력을 두번

적분하여 변위 조건으로 부가한다. 과도 응답 해석에 적용되는 적분 시간 증분은 Newmark 기준 ($ITS = 1/(20f_c)$)을 따라 충분히 작게 설정한다. 수치 해석 후에 회전 디스크와 구동기의 상대 변위로서 충격 응답을 구한다.

4.2 충격 응답 결과

충격 입력에 따른 회전 디스크와 구동기의 충격 응답을 구하면 그림 10 과 같고 다양한 회전 속도에 대한 디스크와 구동기의 상대변위는 그림 11 과 같다. 회전 응력에 의해 디스크의 구조적인 강성이 증가하여 충격 응답이 줄어들고, 구동기의 충격응답은 회전 속도에 따라 변화하지 않는다. 따라서 회전 디스크와 구동기의 상대 변위는 충격 입력 후, 회전 속도가 증가할수록 줄어들지만, 시간이 지남에 따라 일정한 거동을 예측하기 힘들어진다.

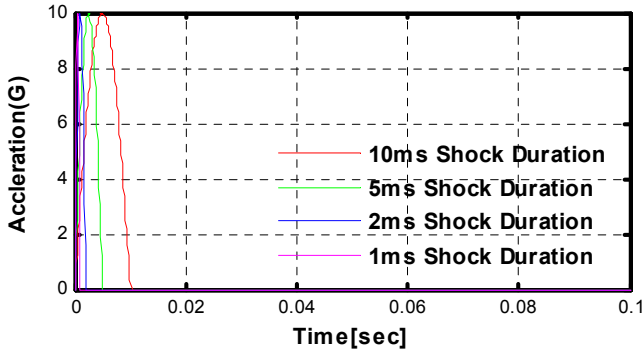


그림 9. 충격 입력 프로파일(반정현파 입력)

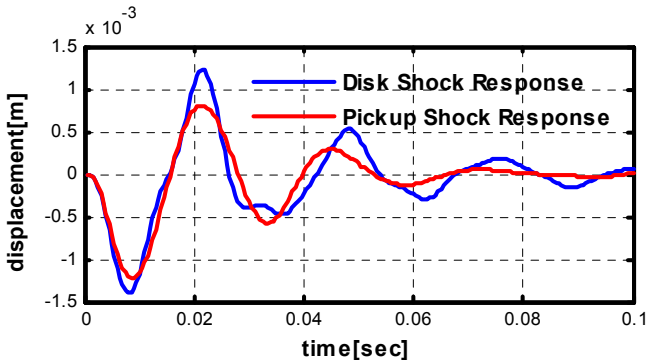


그림 10. 3000rpm 의 회전속도에서의 충격 응답

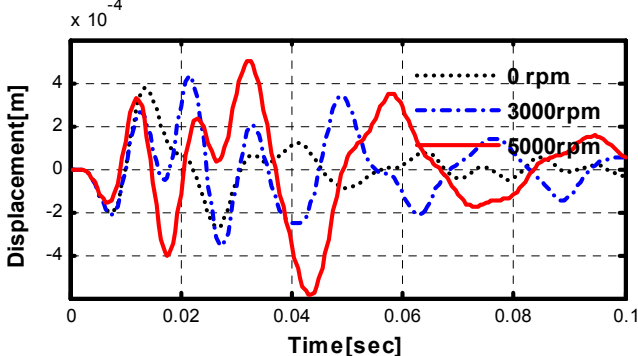


그림 11. 회전 속도에 따른 충격 응답

5. 결론

광디스크 드라이브의 회전 디스크에 대한 동특성을 이론 해석 모델, 유한요소 모델 및 실험 모달 해석으로 구하여 비교하였으며, 슬레드 베이스, 픽업어셈블리와 고무 마운트를 포함한 유한요소 모델을 수립하였다. 유한요소 모델은 실험모달해석과 비교하여 검증하였고, 충격 응답을 구하였다. 위의 해석 결과를 바탕으로 서보계 설계의 충격 외란으로 적용 가능할 것이며, 추후 서보계를 포함한 해석 모델에도 기초적인 해석 과정이 될 것이다.

참고 문헌

- (1) 김남웅, 신호철, 김국원, 2006, “ 동흡진기를 사용한 광 디스크 드라이브의 진동저감” 한국소음진동공학회논문집 제 16 권 5 호, pp. 529-536
- (2) Chi-Shen CHANG, Tzong-Shi LIU, 2006, “ Design of Adaptive Dynamic Absorber to Reduce Optical Disk Drive Vibration at Multiple Rotating Speeds” , Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 2B, pp. 1120- 1123
- (3) Paul C.P. Chao, Cheng-Kuo Sung, Szu-Tuo Wu, Jeng-Sheng Huang, 2006, “ Nonplanar modeling and experimental validation of a spindle-disk system equipped with an automatic balancer system in optical disk drives, Microsystem Technologies
- (4) 신은정, 장영배, 박노철, 박영필, 2004, “ 디스크와 픽업을 고려한 광디스크 드라이브의 충격응답 해석” ,한국소음진동공학회논문집 제 14 권, 12 호, pp.1261-1267
- (5) 김시정, 장영배, 박노철, 박영필, 2004, “ 유한요소법을 이용한 초소형 광디스크 드라이브의 충격 해석” ,한국소음진동공학회 04 춘계학술대회논문집, pp.173-176
- (6) S. Graham Kelly, 2000, Fundamentals of Mechanical Vibrations, McGraw-Hill