

하드디스크 드라이브 소음 예측을 위한 진동 음향 연계 해석

⁰ 이상희* 고상철* 김준태* 강성우** 한윤식** 황태연**

Vibro-acoustic Analysis for Predicting the Noise of HDD

Sang-Hee Lee, Sang-Chul Ko, Jun-Tai Kim, Seong-Woo Kang,
Yun-Sik Han & Tea-Yeon Hwang

Key Words: HDD, noise barrier, noise damper, spindle motor, FEM, BEM, D.O.E.

Abstract

The structure of hard disk drive(HDD) is excited by dynamic motion of a disk-spindle motor, and it makes sound noise. Therefore, the cover and the base of HDD should be designed to reduce noise and vibration induced by spindle motor. The prediction technique of sound pressure level(SPL) of a given structural shape enables us to design a cover and a base with much less vibration and noise. In this paper, we measured the force of disk-spindle motor and predicted SPL from HDD by computational simulation. To get a SPL of HDD by computational simulation, modal analysis and forced vibration analysis were performed with ANSYS, and sound radiation was computed using SYSNOISE. The calculated results were compared with experimental results and a good agreement was obtained. With this computer simulation procedure and design of experiment(DOE), optimal thickness of noise barrier and damper was calculated.

1. 서론

컴퓨터의 발전에 따라 주요 부품인 하드 디스크드라이브(Hard Disk Drive : HDD)의 용량도 대형화 되어가고 있다. 그러나 HDD의 대용량화는 탐색 속도의 단축을 위해 HDD 디스크의 회전 속도를 높지게 되고, 이에 따라 소음과 진동 레벨도 커지게 되었다. HDD의 소음과 진동의 증가는 상품성과 심한 경우 성능에도 영향을 미칠 수 있으며, 따라서 진동과 소음을 줄이는 일은 매우의

미 있는 일이라 할 수 있겠다.

HDD는 구조적으로 소음원이 내부에 있으며, 그 소음원을 cover와 base가 둘러싸고 있다. HDD에서 발생하는 소음은 주로 HDD의 스피들 모터, 디스크, head, VCM과 arm 일체 등등의 많은 곳에서 발생한다. 직접적으로 내부에서 소음이 생겨서 밖으로 방사되기도 하고 진동에 의해 간접적으로 소음이 발생하기도 한다. 이런 구조의 경우는 소음원 자체를 감소시키는 것도 중요하지만 이 소음원을 둘러싸는 cover와 base의 설계도 소음/진동 문제를 개선하는데 중요하다. 특히 cover의 경우는 대체로 두께가 base에 비해 얇기 때문에 소음이 직접적으로 통과하여 나가는 것은 물론 base에 의한

* 삼성종합기술원 CSE center

** 삼성종합기술원 MEMs Lab.

진동이 전달되어 새로운 소음원이 생길 가능성이 있다. 본 연구에서는 개발되는 HDD의 진동 및 소음 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 미리 예측하여 소음 저감을 실현할 수 있는 설계 자료를 마련하는데 목적이 있다.

2. 유한요소 모델의 강제진동 해석

2.1 스피들 모터 힘 측정

HDD의 내부에는 진동과 소음의 원인인 스피들 모터가 cover와 base에 고정되어 있다. 스피들 모터가 회전함에 따라 모터에서 발생한 진동은 이들과의 고정점을 통해 cover와 base로 전달되고, 그 결과 HDD를 가진하게 된다. 모터 가동에 의한 HDD의 강제 진동을 해석하려면, 우선 스피들 모터가 회전할 때 발생하는 힘의 크기를 알아야 한다. 이를 위해 스피들 모터와 HDD의 본체가 연결되는 고정점에서의 힘을 측정하였다. 그림 1은 작동중인 스피들 모터에서 발

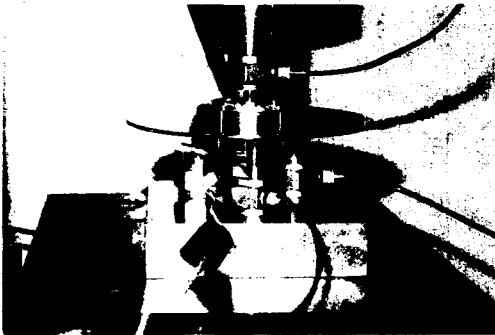


그림 1 스피들 모터 작동시 발생 force 측정

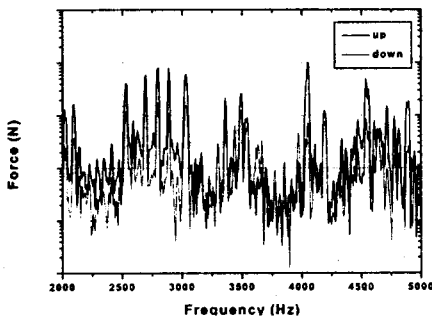


그림 2 스피들 모터 작동시 cover 방향의 힘

생한 힘을 cover와 base에 연결되는 지점에 force transducer를 설치하여 가진력을 측정하는 것을 나타낸 것이다. 각각의 연결점으로 작용하는 힘의 크기와 위상의 차이를 고려하기 위해 동시에 모든 기'에서 힘을 측정하였다. 그림 2는 위의 방법으로 측정된 cover 방향과 base 방향 중 한곳의 측정된 힘을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 모터 특성[1]에 따라 몇 개의 주파수에서 큰 피크가 있음을 확인 할 수 있다.

2.2 고유진동 및 강제진동 해석

스피들 모터 회전에 의한 HDD 구조물의 진동을 해석하기 위해, 유한요소 모델(FE model)을 ANSYS에서 그림 3과 같이 구성하고, 강제 진동 해석에 앞서 FE model의 검증과 강제 진동 해석을 위하여 HDD 구조물의 고유진동 해석을 수행하였다. 표 1은 실험과 ANSYS 모드 해석을 통해 구한 고유진동수를 비교한 것이다. ANSYS를 통해 계산한 고유진동수를 실험을 통해 얻은 고유진동수와 비교하였을 때 두 결과가 최고 8% 미만의 차이로 대체로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 여러 복잡한 부품으로 구

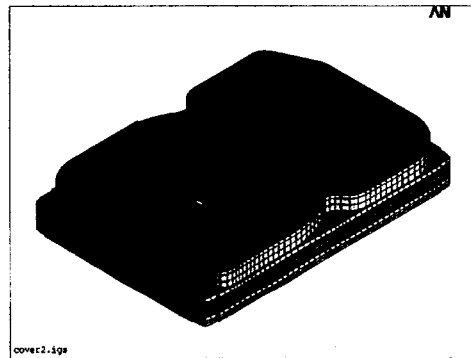


그림 3 HDD의 유한요소 모델

Mode No.	Experiment (A : Hz)	ANSYS (B : Hz)	Difference (B-A/A*100)
1	1098	1185	7.9 %
2	1340	1431	6.7 %
3	1519	1505	0.9 %
4	1679	1623	3.3 %

표 1 HDD의 고유 진동수 비교

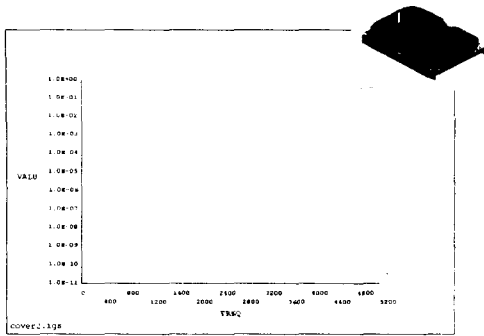


그림 4 스피들 모터 가진에 의한 cover 에서의 진동 응답



(a) Experiment (b) Simulation

그림 5 스피들 모터 가진에 따른 관심주파수에서의 OSD 패턴

성되어 있고 base 와 cover 가 고무 댐퍼 (damper)로 연결되어 있는 점을 고려했을 때 위 결과는 만족할만하다 할 수 있겠다.

강제 진동 해석은 실험을 통해 구한 모터 가진력과 앞서 구한 모드 해석 결과를 이용하여 모드 중첩법으로 계산하였다. 그림 4 는 cover 에서의 강제 진동 응답을 나타낸 것으로 2 [kHz]부근에서 큰 피크가 나타나고 있으며, 그림 2 의 스피들 모터의 힘 그래프와 비교하였을 때 구조물의 고유 모드에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그림 5 는 관심 피크 주파수에서 HDD cover 의 Operational Deflection Shape(ODS)를 나타낸 것이다. 모터 가진력으로부터 계산된 HDD cover 에서의 ODS 패턴이 실험 측정치와 잘 일치하고 있다

3. BE 모델의 방사소음 해석

3.1 BE 모델링

2 절에서 계산된 HDD 의 표면에서의 변위 응답을 음향 해석을 위한 속도 경계조건으

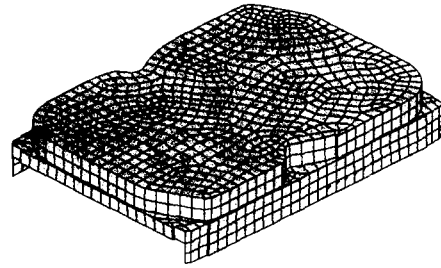
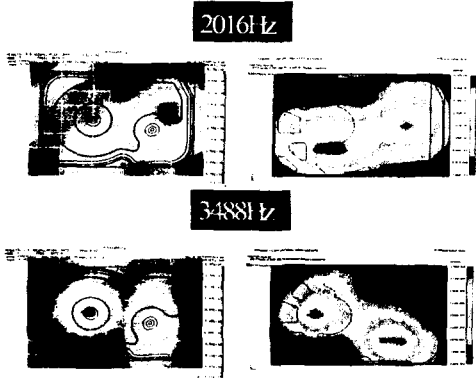


그림 6 경계요소(BE) 모델

로 이용하면 HDD 의 모터 구동에 의한 방사소음을 계산할 수 있다. 여기에 필요한 경계요소 모델은 앞서 구조물의 강제 진동 해석을 위해 만든 유한요소(finite element) 모델로부터 추출하여 구성한다. 일반적으로 음향 해석에서는 해의 정밀도에 큰 영향을 미치지 않는 작은 리브(rib)나 복잡한 형상은 단순화 시켜 계산하게 된다. 그림 6 은 ANSYS 에서 구성한 유한요소모델로부터 불필요한 HDD 내부의 요소를 제거하고 표면을 나타낼 수 있는 shell 요소로 경계요소모델을 구성한 것이다.

3.2 경계요소법(BEM)을 이용한 방사소음 해석

HDD 내부의 스피들 모터 가진에 의해 진동하는 구조물로부터 방사되는 소음을 계산하기 위해서 먼저 ANYS 에서 계산된 표면에서의 강제 진동 응답을 속도 경계 조건 (velocity boundary condition)으로 입력해야 한다. 입력된 경계조건에 대해 SYSNOISE 의 Indirect-BEM 방법으로 HDD 의 모터 가진에 따른 방사 소음 레벨과 음향 파워를 계산하였다. 그림 7 은 SYSNOISE 에서 계산한 HDD 근접장에서의 음향 인텐시티와 실험을 통해 구한 음향 인텐시티를 관심 주파수에 대해 비교한 것이다. 두 경우 모두 HDD 의 cover 위로부터 2.5[cm] 떨어진 곳에 field points 를 만들었다. 양쪽의 패턴이 대체로 잘 일치하고 있다. 두 결과에서 나타나는 차이는 실험에서는 구조물의 진동에 의한 소음뿐만 아니라 유체 유발 소음 그리고



(a) Experiment (b) Simulation
그림 7 관심 주파수에서의 음향 인텐시티 비교

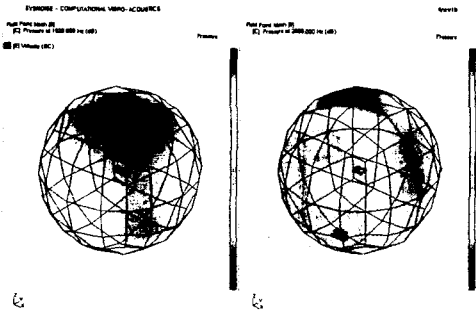


그림 8 HDD 를 둘러싸는 구면에서의 음향 인텐시티

HDD 내부에서 발생한 소음의 투과 소음 등이 함께 측정된 결과이나, SYSNOISE 를 통해 해석한 음향 인텐시티에는 단지 구조물의 진동에 기인한 소음만 고려되었고, HDD의 모델링과 simulation 계산 과정에서의 오류에 기인한 것으로 판단된다. 그림 8 은 HDD 를 둘러싸는 구면에 대한 음향 인텐시티 패턴을 나타낸 것이다. 구면은 HDD의 중심으로 부터 1m 의 반지름을 갖는 크기를 갖는다. 방사되는 소음이 주로 HDD의 상하 방향으로 나오고 있으며 좌우 방향으로는 적은 양의 소음이 흘러나오는 것을 알 수 있다. 그림 9 는 HDD의 cover 방향과 base 방향으로의 음향 파워 스펙트럼(SPL)을 실험 결과와 비교해서 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션을 통해 구한 SPL 레벨의 크기가 실험 결과치와 다소 차이가 있으나, 주요 가진 주파수에서의 피크를 잘 나타내주고

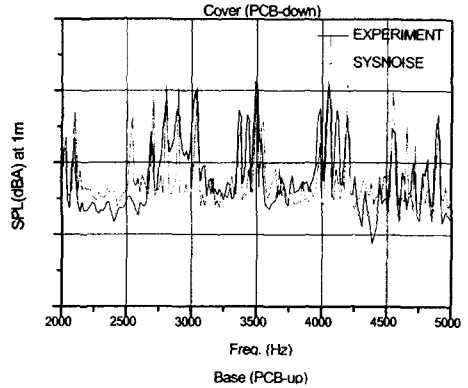
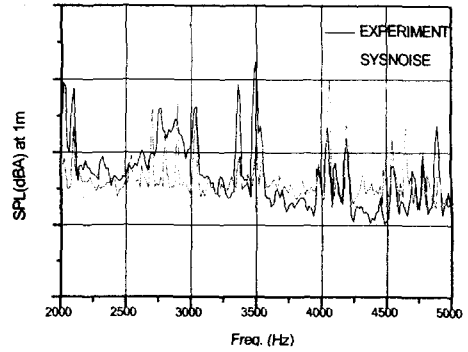


그림 9 HDD의 SPL 비교

있다. 전체 레벨(overall level)에 있어서도 실험치와 20%정도의 차이를 가졌다. 앞서 실험을 통해 구한 스피들 모터 가진력 그래프와 비교해 보았을 때, HDD에서 발생하는 소음은 실험 결과와 시뮬레이션 결과 모두 스피들 모터 가진과 많은 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 또한 시뮬레이션 결과는 구조물의 진동에 의한 소음만 고려되었으므로 HDD에서 발생하는 소음의 대부분이 유체 유발 소음이나 투과 소음 보다는 구조물의 진동에 의한 것임을 위의 내용으로부터 추론할 수 있다. 따라서 피크 주파수 대역에 대한 강제 진동을 억제하는 것이 소음 레벨을 낮추는 효과적인 방법이라는 것을 알 수 있다.

4. 실험계획법을 이용한 최적화

지금까지의 해석 과정을 이용하여 HDD

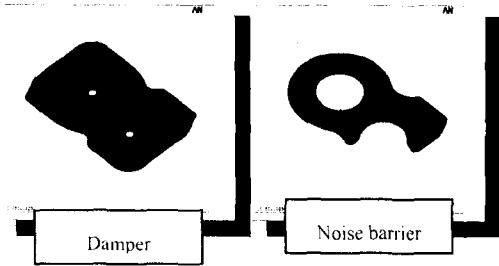


그림 10 HDD의 noise damper와 noise barrier 단품

의 소음을 줄일 수 있는 구조물의 형태를 실험계획법(D.O.E.)으로 계산해 보았다. HDD 구조물에서 소음에 영향을 줄 수 있는 설계 인자가 많이 있으나 이들을 동시에 모두 고려하기는 어렵다. 따라서 여기서는 소음에 많은 영향을 주는 noise barrier[2]와 noise damper의 두께를 설계 인자로 하여 소음이 작아지는 최적의 조건을 찾아 보았다.

그림 10은 HDD cover 위에 부착되는 noise damper와 noise barrier 단품을 나타낸 것이다. 실험계획법을 이용한 최적화에 사용되는 인자는 이들의 두께로 하였으며, 형상 변경에 대해서는 고려하지 않았다. 인자의 범위는 실제 제작을 고려하여 0.6mm~1.4mm로 하였다. 반응변수는 그림 8에서와 같이 HDD를 둘러싸는 반지름 1m의 구면 음향장에 대한 최대 음압 레벨로 하였으며, 결과를 얻는데 많은 시간이 소요되므로 관

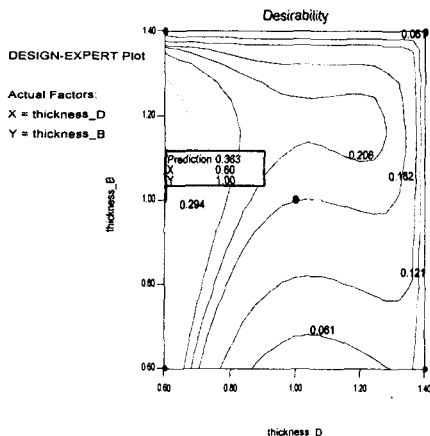


그림 11 선호도 그래프

심 피크 주파수에서의 음압 레벨로 한정 하였다. 또한 많은 2차 모델의 fitting 방법 중 2개 인자에 대해 많지 않은 실험으로 반응 변수 예측치에 대한 신뢰성이 높은 중심합성 계획법으로 최적화를 수행하였다.

두께를 최소화 하면서 방사 소음이 최소가 되는 조건이 높은 선호도를 갖도록 해석한 결과를 그림 11에 나타내었다. noise damper 0.6mm, noise barrier 1.0mm의 조합이 가장 높은 선호도를 가졌다. 이것은 이전에 많은 실험을 통해 구한 결과와 10% 이내의 차이를 갖고 일치하고 있다. 위 결과가 반응 변수인 음압 레벨이 하나의 관심 주파수에 대해서만 고려되었고 인자의 종류와 형태가 제한적으로 적용되어 어느 정도 한계를 가지고 있지만, 향후 계산 시간을 단축하고 여러 다양한 형태의 인자를 고려할 수 있도록 모델링을 한다면 많은 유용한 설계 정보를 얻을 수 있으리라 생각된다. 또한 이 시뮬레이션 해석 방법을 새로운 모델을 개발하는 초기 단계에 적용한다면 적은 비용으로 보다 짧은 시간에 소음에 효과적인 모델을 개발할 수 있으리라 기대한다.

5. 결론

HDD 내부의 모터 회전에 따른 인한 구조물의 강제진동해석과 이 진동에 따른 방사 소음을 해석하였다. 강제진동해석에 앞서 구조물의 고유진동해석과 이 결과를 실험치와 비교함으로써 유한요소 모델의 타당성을 검토하였고 음향해석을 위한 경계요소 모델도 유한요소 모델로부터 추출하여 구성하였다. 문제가 되는 특정 주파수 대역을 찾을 수 있었으며, 해당 주파수에서의 ODS 패턴도 실험결과와 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 강제진동해석 결과를 경계조건으로 한 방사해석에서도 음향 인텐시티 패턴과 음향 파워 스펙트럼이 실험 결과와 대체로 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 이들 결과로부터 스피들 모터 회전에 의한 구조물 가진이 HDD에서 발생하는 소음에 큰

영향을 미치고 있음을 알 수 있었으며, 위 해석 과정을 실험계획법에 적용하여 소음을 최소화 할 수 있는 noise damper 와 noise barrier 의 조건을 찾아 보았다. 또한 소음에 문제가 되는 영역에서의 강제 진동 제어를 통한 소음 감소 설계 기반을 마련하였다.

참고문헌

- [1]손영 외4명, “ 하드디스크 드라이브에 있어서 스피들 모터의 구조적 가진에 따른 시스템의 소음특성에 관한 연구,” 소음진동공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, 2000
- [2]강성우 외 4명, “ 음향 인텐시티를 이용한 하드 디스크 드라이브의 소음원 파악 및 음향파워 제어,” 소음진동공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, 2000
- [3]F. FAHY, Sound and Structural Vibration, First Edition, 1985, Academic Press
- [4] L. E. Kinsler, Fundamentals of Acoustics, Third Edition, 1982, Wiley
- [5] SYSNOISE REV 5.1, Examples Manual Vol. 4