

HDD 소음해석 시뮬레이션 툴 개발

Acoustic Simulation Tool for HDD

°고상철* 이상희* 김준태* 강성우** 오동호** 황태연**

Sangchul Ko, Sanghee Lee, Juntae Kim, Sungwoo Kang,
Dongho Oh, Teayun Hwang

Key Words: HDD, Spindle motor, FEM, BEM, D.O.E. , ANSYS, SYSNOISE

Abstract

Recently, many methods are studied to analyze the noise of HDD and to reduce it. In this study, the simulation tool(SPATH) was developed to analyze a noise of HDD. 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.

1. 서론

최근의 HDD(Hard Disk Drive)는 컴퓨터와 물론 디지털 정보화기기에 있어서 필수적인 정보 저장 부품이 되었다. 이런 변화로 HDD의 품질에 대한 관심은 더욱 더 커지게 되었으며, 특히 가정용으로 사용되는 정보화기기 제품의 경우 안정성이나 소음 문제는 제품의 평가에 중요한 요소가 되고 있다. 근래에는, HDD 제품의 Life-Cycle이 짧아짐에 따라 HDD

개발 기간의 단축도 중요한 문제로 부각되고 있다. 그러나 제품의 고품질 안정성이나 소음문제는 제품의 설계 단계에서 해결하기 어려운 문제이기 때문에 개발 단계에서 많은 비용과 시간을 차지하고 있다. 따라서 이와 같은 제품의 안정성이나 소음문제를 빠른 시간에 해결할 수 있는 방법을 개발하는 것은 제품의 경쟁력 향상에 큰 도움이 될 수 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

현재 사용되는 HDD 소음제어 방법의 대부분은 실험적 방법에 의존하기 때문에 실제 제품이 제작되기 전에는 실험 및 개선 작업을 수행하기 어렵다. 그리고 제품의 proto-type이 완성된 이후에는 제품 수정시에 많은 어려움이 있어서 실제로

* 삼성종합기술원 CSE Center

** 삼성종합기술원 Storage LAB.

많은 성능 개선을 수행하기가 어렵다.⁽³⁾⁽⁴⁾

본 연구에서는 HDD 에서 발생하는 소음을 예측할 수 있는 소음해석 시뮬레이션 툴을 개발하고자 한다.

2. 시뮬레이션 툴에 적용된 실험 및 시뮬레이션 방법

2.1 Force 데이터 측정

시뮬레이션 툴의 강제진동 해석에 사용되는 Force 데이터는 이론적으로는 HDD 가 작동중에 시스템에 작용하는 Force 를 말한다. 그러나 이 힘을 정확히 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 시스템의 idle 상태를 고려하여, HDD 시스템에 가해지는 force 중에서 스피들 모타가 가진하는 힘에 대해서만 측정하였다. 이 힘은 스피들 모타가 시스템에 장착되었을 때 발생하는 힘을 측정하는 것이 정확하나, 이것은



그림 1 Spindle motor force 측정 장치

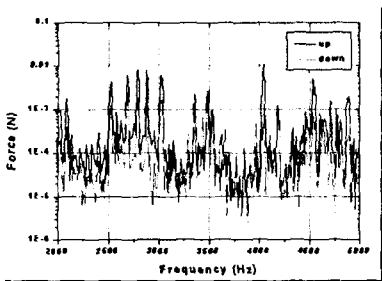


그림 2 스피들 모타에서 측정된 force 데이터

측정자체가 어려울 뿐만 아니라 개발초기 단계에서는 HDD case 가 제작되지 않기 때문에 측정이 불가능하다. 본 연구에서는 스피들 모타를 분리하여 그림 1 과 같이 장착하고 4 개의 지점(스피들 모타와 HDD case 의 체결부)에서 동시에 force 를 측정하였다.⁽⁵⁾

2.2 진동 FEM 모델링

실제 HDD 는 모델링하기에 매우 복잡한 형태로 구성되어있다. 우선 고려해야될 부품들이 많고, 각각의 부품들의 결합조건을 설정하기가 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 진동 해석에서 중요할 것으로 판단되는 요소들만 선택하여 각각을 모델링 하였다. 그리고 각각의 부품들은 AUTOCAD 2D 도면으로부터 얻어진 데이터를 바탕으로 독립적으로 모델링 되었다.

각 부품들의 결합은 각각의 부품들의 결합조건과 상태를 고려하여 선형 경계조건으로 결합하였다. 본 연구에서는 진동 및 음향해석의 경우 선형해석 영역에서 수행하였기 때문에 비선형

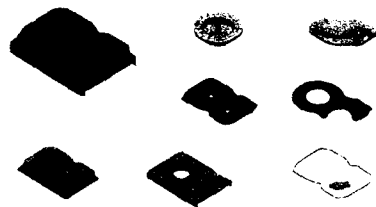


그림 3 HDD FE 모델링

표 1 부품들의 재질

Part	Material
cover, base, motor hub	aluminum
cover damper, vcm, motor axis	steel
gasket	rubber
disk etc	point mass

경계조건은 사용하지 않았다. 그림 3은 HDD 진동 해석에 사용한 FE 모델의 형상이다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾

각 부품에 사용한 물성은 표 1과 같다. 이 부품들 중에서 gasket의 경우는 비선형 특성이 강하기 때문에 기존 물성을 그대로 이용하지 않았다.

2.3 자유진동해석

진동 해석 모델이 완성되었을 때, 이 모델의 검증은 위하여 가장 기본적으로 수행하는 해석이 자유진동해석이다. 이 해석 결과는 시스템의 검증은 물론, 가진력과 상관없이 시스템의 특성만을 보고자 할 때 이용할 수 있다. 또한 이 해석 결과는 이후의 모드중첩법을 이용한 강제진동응답 해석에서 이용된다. 자세한 사항은 2.4 절의 강제진동응답 해석에서 설명하겠다. 본 연구에서도 HDD 자체의 특성만을 보기 위하여 경계조건을 주지 않은 자유경계 상태에서 모드해석을 수행하였다.⁽⁹⁾

본 연구에서는 진동해석의 경우 상용 구조해석 소프트웨어인 ANSYS(V5.6)를 이용하였다. 그리고 모드해석은 Block Lanczos 모델을 이용하였다.

그림 4는 HDD 모드해석 결과의 예를 나타낸 그림이다.

2.4 강제진동해석

이 단계는 기본적인 FE 모델의 검증이

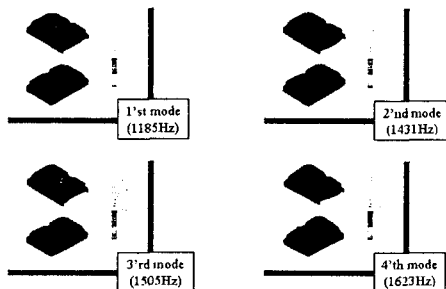


그림 4 모드해석 결과

끝났을 때, 가진력에 의하여 시스템의 진동 응답 결과를 얻는 단계이다. 이 단계의 해석을 위해서는 스핀들 모터의 가진력 데이터가 반드시 필요하며, 추가적으로 시스템의 댐핑 데이터도 필요하다.

본 연구에서는 ANSYS는 강제진동응답 해석 모듈을 따로 가지고 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 ANSYS HARMONIC 해석을 이용하여 해석을 수행하였다. 그리고 ANSYS의 HARMONIC 해석은 가진력을 함수로 줄 수 없기 때문에 각 주파수 별로 해석을 반복 수행해야만 한다. 본 연구에서는 ANSYS 배열 parameter를 이용하여 일정한 주파수 간격으로 계산할 수 있는 반복 계산 알고리즘을 개발하였다. 그리고 해석 시간의 단축을 위하여 ANSYS HARMONIC 해석 방법중에서 모드 중첩법을 이용하였다. 모드 중첩법을 이용하기 위해서는 2.3 절에서 설명한 자유진동해석 즉 모드해석을 반드시 수행하여야 한다.⁽⁷⁾

이 단계에서 얻어진 시스템의 진동응답

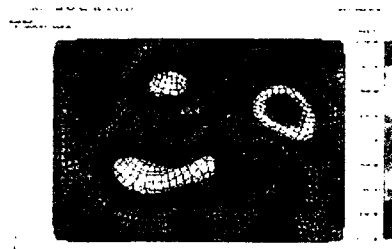


그림 6 진동응답형상 해석결과

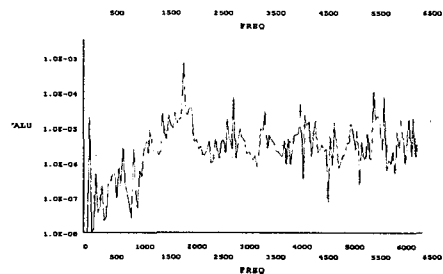


그림 5 강제진동응답 함수 해석결과

결과는 좀더 진보된 검증을 수행하는데 이용 할 수 있고, 이외에 강제진동응답 함수나 진동응답형태 등의 자료는 시스템의 진동 설계에 중요한 정보로 사용 될 수 있다.

2.5 음향 BEM 모델링

진동계와 비교하여 음향계를 해석하는 데는 동일한 크기의 모델을 해석할 경우 일반적으로 더 많은 해석 시간이 필요하다. 따라서 그리고 음향계는 진동계에 비해서 파장의 길이가 훨씬 더 길기 때문에 요소수를 진동계 보다는 더 크게 하더라도 정확도에 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 음향계의 모델은 진동 모델을 그대로 이용하기 보다는, 해석 결과의 신뢰성을 떨어뜨리지 않는 범위에서 좀더 간단히 모델링하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 진동 FE 모델을 PRE-SYSNOISE 라는 모델링 소프트웨어를 이용하여 음향해석용 BE 모델을 제작하였다. 그림 7은 HDD 음향해석을 위하여 만든 음향 BE 모델의 예이다. (7)(9)

2.6 음향 방사 해석

시뮬레이션 툴의 마지막 단계인 음향 방사 해석은 기본적으로 세가지 단계를 거친다. 첫번째 단계가 진동해석으로부터 얻은 주파수별 변위 데이터를 음향 해석 모델의 경계 조건으로 입히는 단계이고, 두번째가 음향 방사 해석 단계, 그리고 마지막이 계산된 결과를 이용하여 원하는

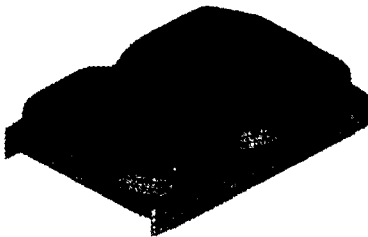


그림 7 HDD의 경계요소 모델

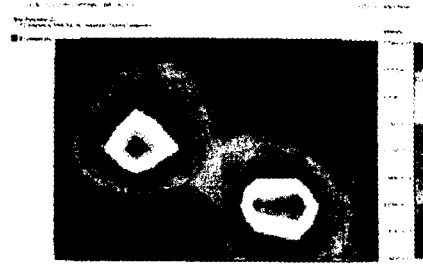


그림 8 음향 인텐시티 해석 결과

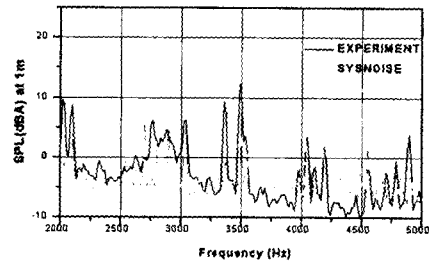


그림 9 음압 해석 결과

데이터를 구하는 post process 단계이다. 진동 해석과는 달리 음향해석의 경우 세번째 단계에 대해서도 별도의 해석을 수행하여야만 한다.

본 연구에서는 음향해석을 위하여 상용 음향해석 소프트웨어인 SYSNOISE(V5.4)를 이용하였다. 음향방사해석은 HDD 외부의 방사해석을 위하여 BEM-Exterior -Indirect 모델을 이용하였다. (9)

그림 8은 HDD 근접장에서의 음향 인텐시티 해석 결과이고, 그림 9는 원거리 음장에서 음압레벨 결과의 예이다.

3. HDD 소음해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 툴(SPATH) 개발

3.1 시뮬레이션 툴(SPATH)의 개요

이 시뮬레이션 툴(SPATH)은 기본적으로 3단계의 과정을 거치고 있다. 첫번째가 Force 측정단계, 두번째가 진동해석 단계 그리고 세번째가 음향방사해석 단계이다.

그림 10은 이 단계를 간단한 흐름도로 표현한 것이다. 각각의 단계에서 얻어진 데이터는 다음 단계의 입력 데이터로 이용된다. 또한 각 단계에서 얻어진 해석 결과는 그 자체로도 설계에 활용할 수 있는 자료가 된다. 예를 들어 두번째 단계에서 얻어진 FRF(Frequency Response Function)와 ODS(Operational Deflection Shape) 결과는 시스템의 진동설계에 중요한 자료로 활용할 수 있다.

3.2 시뮬레이션 툴의 구성

그림 11은 시뮬레이션 툴의 세부 흐름도를 나타낸 그림이다. 이 툴을 해석 영역으로 구분하면 진동해석 파트와 음향해석 파트로 구분할 수 있다. 먼저 진동해석 파트를 살펴보면 크게 세가지 단계가 있는데, 첫번째가 구조 모델링 단계이고 두번째가 자유진동 해석 단계, 그리고 마지막이 강제진동 해석 단계이다. 이중 마지막 단계는 반드시 실험에서 얻은 스피들 모터의 force 데이터가 있어야만 해석이 가능하다. 음향해석 파트의 경우도 크게 세가지 단계로 구분할 수 있는데,

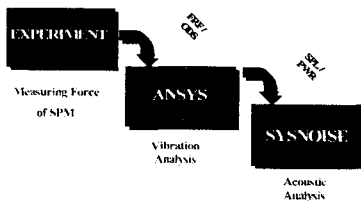


그림 10 시뮬레이션 툴의 구성

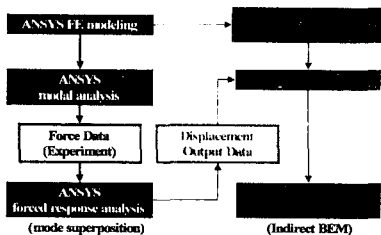


그림 11 시뮬레이션 툴의 세부 흐름도

첫번째가 음향 모델링 단계, 두번째가 경계조건 생성 단계, 그리고 마지막이 음향방사해석 단계이다. 이 중에서 두번째 단계의 경계조건 생성 단계는 진동해석 파트에서 얻어진 주파수별 HDD 표면의 각 지점에서의 변위 데이터가 필요하다.

3.3 시뮬레이션 툴의 소개

본 연구에서 개발한 소음해석 툴은 NT workstation 환경에서 개발되었다. 모든 해석은 GUI 환경에서 실행가능하기 때문에 FEM이나 BEM에 익숙하지 않아도 쉽게 사용할 수 있다. 또한 해석 결과도 직접 GUI에 출력할 수 있기 때문에 복잡한 상용 소프트웨어를 직접 실행할 필요없이 간단하게 결과를 분석할 수 있다. 그림 12는 툴의 실행 초기화면을 보여주는 그림이다.

4. 결론

본 연구에서 개발하고 있는 HDD의 소음제어를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 툴은 HDD 설계단계에서 HDD 소음 성능을 예측하고, 이 결과를 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션상에서 개선 설계를 수행하고자 하는데 그 목적이 있다. 이 툴을 이용함으로써 HDD 제품의 설계 단계에서 제품의 성능을 예측하고, 그 결과를 바탕으로 하여 시뮬레이션 상태에서 소음 성능 개선 설계를 수행할 수 있을 것으로

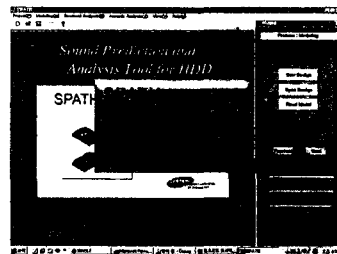


그림 12 시뮬레이션 툴 실행 화면

생각된다. 또한 DOE(Design Of Experiment) 등을 적용하여 단기간에 고품질 소음 성능을 갖는 HDD 를 개발하는데 있어서 많은 기여를 할 것으로 생각된다.

"이중판의 차음손실(I) : 중공 이중판", 한국소음진동공학회지 제 7 권 제 6 호, pp.945~952, 1997

5. 참고문헌

- (1) Harold Lord, William S.Gatley, H.A.Evensen, "NOISE CONTROL FOR ENGINEERS", McGraw-Hill Book Company, 240~258, 1980
- (2) Leo L.Beranek, "NOISE REDUCTION", PENINSULA PUBLISHING, 1991
- (3)강성우, 한윤식, 황태연, 손영, 구자춘, "음향 인텐시티를 이용한 하드 디스크 드라이브의 소음원 파악 및 음향파워제어," 한국소음진동공학회 2000 년도 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 1540-1548.
- (4)강성우, 한윤식, 황태연, 손영, 오동호, "STRUCTURAL INPUT MOBILITY 분석을 통한 하드 디스크 드라이브의 소음제어," 한국소음진동공학회 2001 년 춘계학술대회, pp.1130 -1135.
- (5)손영, 황태연, 강성우, 한윤식, 구자춘, "하드 디스크 드라이브에 있어서 스피들 모터의 구조적 가진에 따른 시스템의 소음특성에 관한 연구," 한국소음진동공학회 2000 년도 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 1549-1554
- (6)"MSC/NASTRAN user's manual", The MacNeal-Schwendler Corporation
- (7)"ANSYS user's manual", Swanson Analysis Systems Inc.
- (8)이상희, 고상철, 김준태, 강성우, 한윤식, 황태연, "하드 디스크 드라이브 소음 예측을 위한 진동 음향 연계 해석," 한국소음진동공학회 2001 년도 춘계학술대회 논문집, 2001, pp. 103-108.
- (9)"SYSNOISE user's manual", LMS
- (10) Frank Fahy, "SOUND AND STRUCTURAL VIBRATION", Academic Press, 143~199, 1989
- (11) A.P.Dowling, J.E.Ffowcs Williams, "SOUND AND SOURCES OF SOUND", ELLIS Horwood Publishers, 1983
- (12)강현주, 김현실, 김재승, 김상렬,