

## 고속 CD-ROM Drive의 구조 및 음장 해석

임웅섭\* · 차성운\*\* · 이재승\* · 문용락\*

### Structural and Sound Field Analysis of the High Speed CD-ROM Disk Drive

Woong Sub Yim, Sung Woon Cha, Jae Seung Lee and Yong Rak Moon

**Key Words:** Structure Borne Noise, Air Borne Noise, Sound intensity, ODS(Operational Deflection Shape)

#### Abstract

CD-ROM Drives Rotating high speed as 10000 rpm cause serious noise and vibration problems. At the high speed, dominant noise is Air Borne Noise produced from high-speed airflow and Structure Borne Noise produced from structural vibration. In this research, vibration and sound characteristics in CD-ROM Drive were studied by the use of experimental analysis and computational simulation. Sound intensity techniques and ODS(Operational Deflection Shape) techniques are applied to identify the acoustic noise source of CD-ROM drive. And Computational simulation using SYSNOISE is conducted for describing the noise behavior.

#### 1. 서 론

최근에 개발되는 컴퓨터는 고용량의 정보저장 기기를 요구하고 있으며, 이러한 저장기기 중 가장 널리 쓰이는 것은 CD-ROM 드라이브이다. 최근 CD-ROM 드라이브는 점차 속도가 증가하게 되어 10000rpm 이상의 속도를 낼 수 있어야 한다. 이처럼 점차 고성능화, 고배속화 됨에 따라 진동과 소음은 더불어 증가하게 되었다. 따라서 이를 저감하기 위해서는 진동, 소음에 대한 체계적인 접근(진동원-소음원 파악, 진동-소음 전달 경로 연구)이 필요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 고속 CD-ROM 드라이브의 음향 스펙트럼 분석을 통해 주파수 대역별로 소음 영향을 파악하였고, 진동 해석-음향 해석을 통해 동적인 특

성과 음향 특성을 연구하여 보았다. 특히 소음원과 전달경로를 파악하기 위해서 음향인텐시티와 운행변형형상(ODS)를 측정하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 소음 분포도 시뮬레이션 해 보았다.

#### 2. CD-ROM의 소음원과 전파과정

CD-ROM 드라이브의 저소음화 제어를 위해서는 CD-ROM의 소음원과 전달경로 파악이 필수적이라 할 수 있다. 이 때 10000rpm으로 디스크가 돌기 때문에 유체 유동 흐름도 고려해서 전달 경로를 파악하여야 하고, CD-ROM이라는 작고도 복잡한 부피안에서 생길 수 있는 난류 유동도 고려해야 한다. 또한 구조소음 쪽으로 접근하기 위해서 진동원과 진동경로 파악하는 것도 필요하다. 이때, 구조소음의 가진원은 모터와 회전에 따른 디스크라 할 수 있는데, 이들과 이들로부터 가진되는 CD-ROM의 모든 부분의 진동이 구조소음의 원인이 되기 때문에 각 부분의 고유 모드 분석을 통해 소음 저감을 위한 연구도 중요하다.

\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\* 연세대학교 기계 전자 공학부

다고 할 수 있다.

### 2.1 CD-ROM의 소음과 진동

CD-ROM 드라이브를 하드 드라이브와 비교했을 때, 일단 데이터 기록 밀도는 하드보다 떨어지지만 진동과 소음 문제는 더 크다 할 수 있다. 첫째, CD-ROM 드라이브의 속도(반약 48배속이라 할 때 9600rpm)가 HDD 드라이브(현재 보통 7200rpm)보다 더 빠르기 때문이고 같은 10000rpm을 상회한다고 할지라도, HDD는 완전 밀폐된 상태이고 CD-ROM은 틈새에 의한 누설 소음이 꽤나 크다 할 수 있다. 또 CD-ROM에 쓰이는 디스크는 하드에 쓰이는 디스크에 비해 편심이 크게 생길 수 있고, 각종 인쇄(label)로 무게가 균형이 흐트러지기 쉽기 때문이다. 이렇게 문제가 되는 소음에 접근하기 위해서는 먼저 실험을 통해 CD-ROM의 소음/진동 특성을 파악하고 문제가 되는 관심 주파수대역을 선정한 후, 그 원인을 파악할 필요가 있다.

### 2.2 소음 전달 경로

CD-ROM의 주된 소음 성분은 크게 구조소음(Structure Borne Noise)과 공력소음(Air Borne Noise)로 나누어 볼 수 있다.

구조소음(Structural Borne Noise)에 접근하기 위해 연구해야 될 대상은 다음과 같다.

- 소음원과 가진원에 해당하는 스피들 모터와 디스크 회전체
- 스피들 모터를 지지하는 베이스 및 커버 등의 기구적 구조물을 가진시켜 발생하는 소음
- 스피들 모터로부터 직접 방사되는 소음(Direct Radiation)

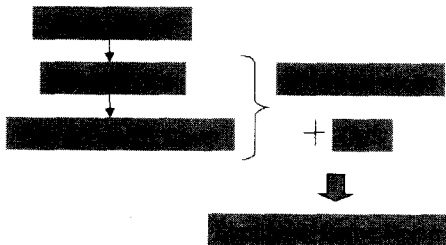


Fig. 1 Noise Transmission Path of a CD-ROM and Approach Method (Structural-Borne Noise)

또한, 공력 소음(Air Borne Noise)을 파악하기 위한 전달경로는 다음과 같이 잡았다.

- 고속의 공기유동과 그에 따른 유동소음이 존재하는 내부장(Interior Field)
- 발생된 소음과 진동을 외부로 전달하고 차단하는 커버와 베이스 구조물(Path)
- 소음이 원음장으로 전파되어 가는 외부장(Exterior Field)
- 틈새에 의한 소음누설

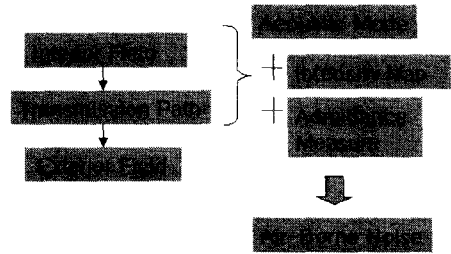


Fig. 2 Noise Transmission Path of a CD-ROM and Approach Method (Air-Borne Noise)

## 3. 진동, 소음 측정 시스템 구축

CD-ROM 드라이브의 발생소음을 연구하기 위해, 앞에서 언급하였듯이 소음은 크게 공기유동에 의한 소음과 구조물 진동에 의한 방사소음으로 나눌 수 있다. 따라서 소음에 체계적인 접근을 위해서 원음장에서 소음/진동 스펙트럼 분석을 통해 문제가 되는 관심 주파수 대역을 선정해야 하고, 그때의 음향 인텐시티 측정과 ODS 측정을 통해 소음/진동 형태를 분석해야 한다.

### 3.1 음향인텐시티 측정 실험

본 연구에서는 CD-ROM 근접장에서의 음향 인텐시티 측정에 의하여 전파형태를 가시화 함으로써 음원의 위치, 음향 에너지의 전파형태를 파악하고, 음향파위를 계산하고자 하였다. 일반적으로 음향 인텐시티는 두 개의 마이크로폰을 이용하여 측정하게 되며, 본 실험을 위하여 1/2inch 인텐시티 프루브(B&K 3599)와 스페이서(12mm와 50mm)를 이용하여 CD-ROM 상면, 정면, 측면을 측정하였다. 이 때 50mm 스페이서를 이용하여 2kHz대역까지 측정하고, 그 이후부터 5kHz까지는 12mm 스페이서를 이용하였다. 또한 방

대한 양의 데이터를 처리하기 위해서 HP신호분석기(HP35670A)를 이용하여 두 마이크로폰 신호 사이의 Cross-Spectrum을 우선 받은 후, 각 측정지점에서의 인텐시티 데이터를 PC로 처리하였다.

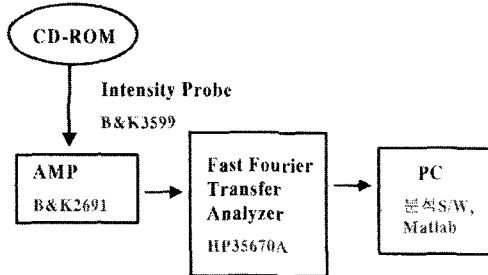


Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental Equipment (Intensity measurement)

다음 식은 주파수 영역에서 인텐시티 공식을 나타낸다.

$$I = -\frac{1}{\rho\omega\Delta r} \text{Im}G_{AB} \quad (1)$$

w : 각속도

Im GAB : cross spectrum 의 imaginary part

### 3.2 ODS(운행변형형상) 측정 실험

CD-ROM 표면으로부터 발생하는 소음 성분에 대한 정확한 거동을 파악하기 위해서는 CD-ROM 운행 중의 진동 거동에 대한 측정이 필요하다. 이러한 진동 특성은 가진원(Motor)의 특성과 픽업부 등의 입력 Force의 특성에 따라 달라지며, 이러한 정보를 고려하여 소음에 접근해야 한다. 본 연구에서는 Polytec사의 Scanning Vibrometer를 이용하여 각 부분에서 진동 값을 측정하였다. 이 때 측정 데이터는 구조 소음 해석을 위한 경계조건으로 들어가며, 본 연구에서는 SYSNOISE 음향 해석 프로그램을 이용하였다.

또한 앞에서 언급한 음향 인텐시티 Map의 소음원과 ODS Map의 진동형태를 비교 분석하면 CD-ROM 진동에 의한 방사소음이 얼마만큼 영향을 미치는 지 파악할 수 있다.

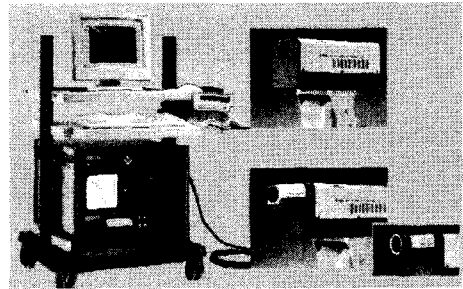


Fig. 4 Scanning Vibrometer (Polytec)

### 3.3 컴퓨터 시뮬레이션

일반적으로 음향 문제의 전산 해석은 주로 경계요소를 사용하고 있다. 이때 경계요소법은 직접 경계요소법과 간접 경계요소법으로 나뉜다. 또한 음향 문제에는 유한요소해석이 쓰이는데, 이는 대다수의 문제가 음향문제와 구조문제가 결합된 연성문제이고, 경우에 따라 내부음장을 유한요소법으로 해석하는 경우도 생기기 때문이다.

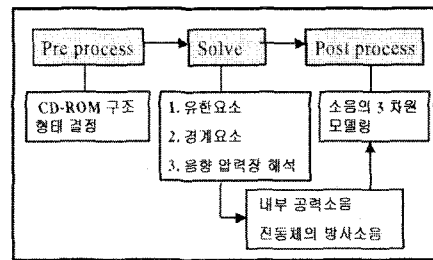


Fig. 5 FEM/BEM Simulation Program

#### 3.3.1 직접 경계요소법(Direct BEM)

직접 경계요소법은 경계요소의 각면을 따로 구분하여 나누는 불편함은 있지만, 영역분할법을 이용하여 서로 다른 여러 특성(음속, 밀도)의 매질을 갖는 그 영역을 해석하는 장점이 있다. 미지수로는 음압과 음속도를 직접 다루며, SYSNOISE에서는 커플링 기능을 통해 FEM 구조(Structure)와 연계 해석된다.

#### 3.3.2 간접 경계요소법(Indirect BEM)

간접 경계요소법은 경계요소의 양면을 동시에 해석하여 사용이 용이하고, 대칭구조로 이루어져 있어서 해석하는데 시간이 단축되는 장점이 있

다. 미지수는 경계요소에서의 음압과 음속도의 차이를 다루고, 변분법에 기초하여 해석한다. SYSNOISE에서는 FEM 구조(Structure)와 연계하기 위하여 링크(link)기능을 사용하게 된다.

### 3.3.3 유한요소법(FEM)

음향 문제에는 유한요소해석이 쓰이는데, 이는 대다수의 문제가 음향문제와 구조문제가 결합된 연성문제이고, 경우에 따라 내부음장을 유한요소법으로 해석하는 경우도 생기기 때문이다. 또한 외부음장을 유한요소법으로 해석하는 경우도 있는데, 이때는 외부를 무한(Infinte) FEM영역으로 메쉬(mesh)하여 해석하는 경우이다.

### 3.3.4 모델링

CD-ROM은 다양한 라운드를 가지는 복합 곡면으로 구성되어 있어 곡면 모델링 기능이 뛰어난 PRO/ENGINEER에서 기하학적 모델링을 수행한 후 FEM-BEM 해석을 하였다.

## 4. 실험결과

구조와 음장 해석을 위한 다양한 실험을 하였다. 먼저, 외부 한 기준점에서 소음을 주파수 대역별로 분석하였고, 그 다음으로, 소음원을 파악하기 위해 인텐시티 측정을 하였다. 이 측정을 통한 소음 소스는 컴퓨터 시뮬레이션의 소스로도 이용된다. 마지막으로, 각 부위의 진동을 파악하기 위해 ODS 측정을 Scanning Vibrometer를 이용하여 하였다. 이 진동 결과값도 컴퓨터 시뮬레이션의 경계 조건으로 입력하였다.

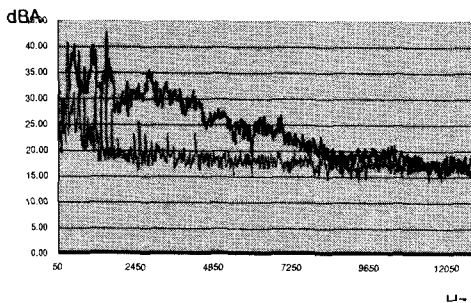


Fig. 6 Sound Pressure Spectrum

위 그림은 디스크 유무에 따른 소음 스펙트럼

을 나타낸다. 디스크를 장착했을 때와 모터만 구동했을 때의 스펙트럼 차이를 살펴보면, 디스크 장착시 고주파 영역에서 디스크 회전으로 인한 공력소음이 증가하는 것을 볼 수 있다.

### 4.1 음향 인텐시티 분포

인텐시티 측정을 통하여 소음원의 위치를 정확히 파악할 수 있었다. 커버 상면에서는 모터를 중심으로부터 퍼지는 고주파 대역의 소음이 지배적이었으며, 전면부에서는 하단부 겹에 의하여 방출되는 소음이 제일 많았다. 측면과 베이스 부분은 저주파 대역의 소음이 지배적이었는데, 이는 트레이 등의 구조물에서 생긴 진동이 전달되었기 때문이었다. 이러한 결과를 바탕으로 소음원을 파악한 후 소음을 줄이는 연구도 현재 병행하고 있다.

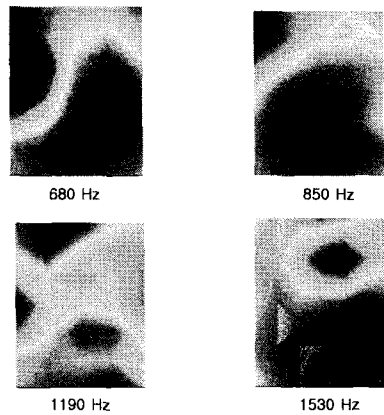


Fig. 7 Sound Intensity Distribution Map (CD-ROM Cover)

### 4.2 운행변형형상(ODS) 분포

소음 성분에 대한 정확한 거동을 파악하기 위해서는 CD-ROM 운행 중의 진동 거동에 대한 ODS측정을 하였다. 이 때 얻은 데이터는 구조소음을 해석하기 위한 시뮬레이션의 경계조건으로 들어가게 된다.

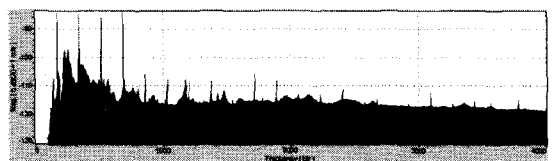


Fig. 8 Vibration Velocity Spectrum (CD-ROM Cover)

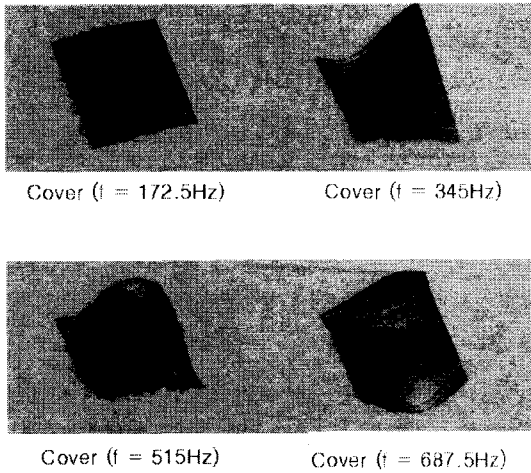


Fig. 9 ODS Map (CD-ROM Cover)

위 그림은 CD-ROM 커버의 ODS 측정 모양을 나타내는데, 모두 회전주파수 배수의 주파수 대에서 데이터이다.

#### 4.3 컴퓨터 시뮬레이션

먼저 구조물의 진동 측정결과를 바탕으로 구조소음쪽으로 접근하였다. 이때 상용 프로그램인 SYSNOISE를 이용하였는데, 이 프로그램을 이용하여 진동하는 구조물의 방사되는 소음이나, 밀폐계 내부에서 생성되는 소음을 쉽게 접근할 수 있다. 이번 연구에서는 소음원에 대한 확실한 데이터가 부족하여 음원(source)로부터 공력소음은 해석하지 않았고, 구조물 진동에 의해 생기는 방사소음 쪽으로 접근하였다.

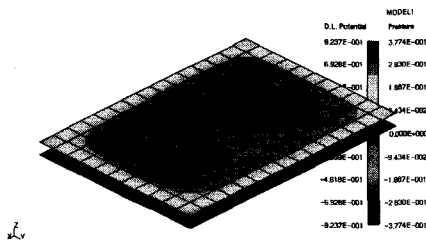


Fig. 10 Structure-Borne Noise (CD-ROM Cover) (172.5Hz)

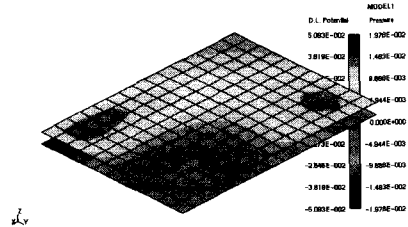


Fig. 11 Structure-Borne Noise (CD-ROM Cover) (345Hz)

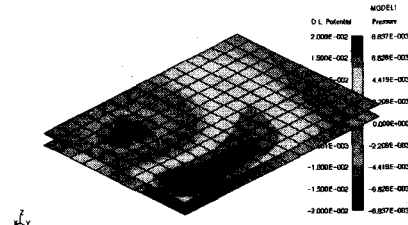
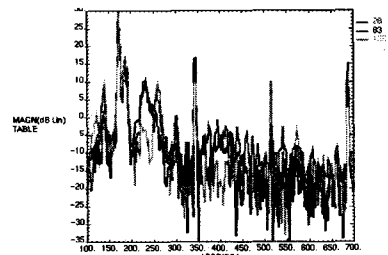
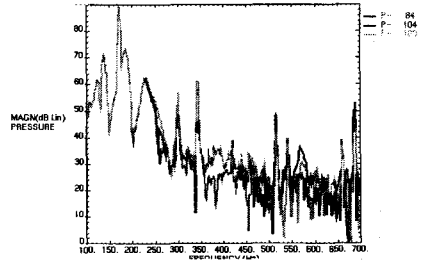


Fig. 12 Structure-Borne Noise (CD-ROM Cover) (515Hz)



(a) Vibration Velocity Spectrum



(b) Sound pressure Spectrum

Fig. 13 Vibration Velocity/Sound Pressure Spectrum (CD-ROM Cover)

위의 스펙트럼은 특정 3점에서의 진동값과 그 점 바로 위로부터 1cm 떨어진 3점(외부 field)에서의 음압값을 나타낸다.

조설계 CAE", 성안당

- (6) Mania, N. M. M. and Silvia, 1997, J. M. M., "Theoretical and Experimental Analysis", Research Studies Press LTD.

## 5. 결론

고속 CD-ROM에서 발생하는 소음의 체계적인 분석을 위하여 음압-진동스펙트럼, 음향인텐시티, 운행변형현상(ODS)를 측정된 결과 소음과 진동 형태를 가시화 할 수 있었고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 소음분포를 접근하여 보았다.

실험과 시뮬레이션 분석 결과 소음과 진동의 증폭되는 주파수 위치가 정확히 일치하지 않고 다른 형상을 보였는데, 이는 소음이 진동의 영향만 받지 않고, 구조소음과 공력소음으로 복잡하게 구성되어 있기 때문 이었다.

또한 SYSNOISE 음장 해석 프로그램을 이용하여 구조소음 쪽으로 접근하여 보았다. 차후에 보다 정확한 시뮬레이션을 위해서는 구조와 음향부분이 연성된(coupling) FEM-BEM 해석을 해야하는데, 이 때 흡음효과와 FSI(Fluid-Structure Interaction)를 고려한 보다 정확한 해석이 필요할 것이다.

현재 본 연구에서 수행한 실험과 시뮬레이션 결과를 바탕으로 소음을 저감하기 위한 다양한 실험을 병행 중이며, 다양한 분석 결과를 통해 장치 계획중인 CD-ROM 소음 예측 프로그램 개발에 필요한 데이터 베이스를 확보, 해석 틀 개발을 위한 연구를 함께 하고 있다.

## 참고문헌

- (1) F.J. Fahy, 1995, "Sound Intensity", Second Edition, E&FN Spon
- (2) 강성우, 한윤식, 황태연, 손영, 구자춘, 2000, "음향 인텐시티를 이용한 하드 디스크 드라이브의 소음원 파악 및 음향파워 제어", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집 pp.1540 ~1548
- (3) 허대녕, 김용석, 한승진, 김영찬, 이덕주, 2000, "고속으로 회전하는 CD-ROM 드라이브의 공력 소음원 규명 및 소음 저감", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.771~776
- (4) L. Cremer and M. Heckle, 1988, "Structure-Borne Sound", Second Edition
- (5) 송영준, 문승재, 2000, "유한요소법과 최적구