

광디스크 드라이브의 종류별 구동소음 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristic of Driving Sound Noise for Various Optical Disk Drives

김 동 현* · 오 세 원* · 김 유 성*

Dong-Hyun Kim, Se-Won Oh and Yu-Sung Kim

(2005년 5월 16일 접수 ; 2005년 9월 12일 심사완료)

Key Words : Optical Disk Drive(광디스크 드라이브), Flow Noise(유동소음), Structural-borne Noise(구조소음), Sound Measurement(소음측정), DVD-ROM, CD-ROM

ABSTRACT

In this study, experimental tests for driving noise of various optical disk drives (ODD) have been performed using 1/2" microphone noise measurement system. Several new and old ODD models by different manufacturers are practically considered and compared for realistic driving conditions. Sound insulation case with absorbing material for the present experimental tests is designed and constructed using CATIA system. It is found that average data transfer rate, operating RPM, and sound noise level seem to be different for the ODD models with same denoted speed by different manufacturers. Moreover, driving sound noise level can be largely affected by both tray shape and driving speed even for the condition of the same apparent data transfer rate.

1. 서 론

전세계적으로 1982년경부터 디지털 오디오 디스크(digital audio disk: CD)가 실용화 및 사용되어 왔다. 이후 20년이 지난 오늘날 급격하게 증가된 정보의 저장 및 처리 속도 요구로 고밀도 대용량 디지털 정보저장 장치인 광디스크 드라이브(optical disk drive, ODD)와 관련된 기술이 놀랄만한 속도로 빠르게 발전하게 되었다. 과거에 비해 고속 대용량 데이터 처리를 위한 디스크 회전속도의 증가로 CD-ROM 및 DVD-ROM의 운용속도 및 데이터 전송률(data transfer rate)이 급격하게 향상되어 왔다. 하지만 회전속도가 증가하게 될 수록 진동소음과 같은 불필요

한 현상이 부각되게 되었다.

일반적으로 광디스크 드라이브에서 발생하는 소음은 드라이브 구동 시 발생하는 기계적 진동과 고속 점성유동 회전에 기인한 난류(turbulence) 공력소음 등이 주요원인으로 알려져 있다. 또한 고속회전에 기인한 플러터(flutter)와 같은 과도한 진동현상은 광디스크 드라이브의 데이터 전송률 감소와 극심한 소음 발생에 영향을 줄 수 있다. 하지만, 일반적인 운용 중에 발생하는 소음은 제품의 성능과는 직접적인 관계가 없으나 사용자들에게 다양한 불쾌감을 유발시킬 수 있으며, 관련 제품의 판매에 악영향을 미칠 수 있는 요소이다. 시중에 판매되는 광디스크 드라이브 장비는 서로 다른 제작회사에서 다양한 모델들이 출시되고 있는 실정이며, 각 제품마다 소음특성이 다른 것으로 알려져 있다.^(1~4) 또한 이 연구에서의 조사 결과에 따르면 서로 다른 배속을 지원하는 동일 회사 제품뿐만 아니라, 동일한 배속을 지원하는 서로 다른 제조회사들의 제품들 간에도 광디스크 드라이브의 성

† 책임저자 : 정희원, 국립경상대학교 기계항공공학부
E-mail : dhk@gsnu.ac.kr

Tel : (055) 751-6125, Fax : (055) 755-2081

* 국립경상대학교 기계항공공학부

능 및 설계사양에 따라 그 특성이 상이한 경우가 많은 것으로 나타났다. 따라서, 이 연구에서는 기존에 판매된 다양한 광디스크 드라이브 제품들에 대해 실제 운용조건에서의 소음측정 실험을 수행하였으며 트레이(tray)의 형상, 회전속도 등에 따른 소음특성을 비교하고자 한다. 이를 위해 이 논문에서는 광디스크 드라이브에 대한 소음측정 실험을 위한 흡음재(absorbing material) 및 차음재(insulation material)가 부착된 방음케이스를 자체 설계 및 제작하여 활용하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

실험 중 발생될 수 있는 외부 소음의 영향을 최소화 하고 외란(disturbance)에 의한 실험 오차를 최소화 하기 위하여 자체적으로 방음케이스를 제작하였다(Fig. 1). 이 연구에서 제작한 방음케이스는 1.2cm와 2.5cm 두께의 MDF 재질 판 사이에 0.2cm 두께의 염화비닐수지 및 철분성분의 상용 차음재를 삽입한 후 양면을 나사로 체결하였으며, 내부의 모든 면에는 5cm 두께의 폴리우레탄 재질의 상용 흡음재를 부착하였다. 또한 광디스크 드라이브의 지지대 바닥에 대한 반사소음 영향을 최소화하기 위해 모서리 부분만 지지되도록 설계하였으며, 지지대 바닥에 대한 기계

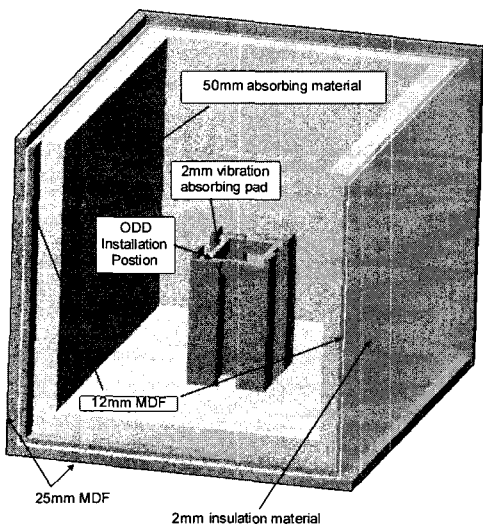


Fig. 1 Conceptual diagram of the sound insulation case

진동 영향을 최소화하기 위해 방진패드를 부착하였다. 광디스크 드라이브는 IDE USB 컨버터를 사용하여 USB 케이블로 외부의 PC에 연결하여 구동을 제어하였다. 또한 바닥을 통해 전달 가능한 진동 및 반사소음의 영향을 최소화하기 위해 지지 테이블과 방음케이스 사이에도 허용중량이 0.5~4 kg/cm²인 상용 방진패드(vibration insulate pad)를 추가로 깔아서 사용하였다(Fig. 2).

방음케이스의 방음성능을 알아보기 위해 20 dB 크기를 갖는 1/3옥타브 대역(octave band)의 중심 주파수와 같은 주파수의 음원(sound source)을 생성하여 음원 생성전의 실험실 내부의 SPL(sound pressure level)과 방음케이스 내부의 SPL, 음원을 생성한 후 실험실내 SPL과 방음케이스 내부의 SPL을 측정해보았다. 이 연구에 적용한 SPL의 정의는 다음과 같다.

$$SPL = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) [dB] \quad (1)$$

여기서, P_0 는 정상청력을 가진 사람이 1 kHz에서 가

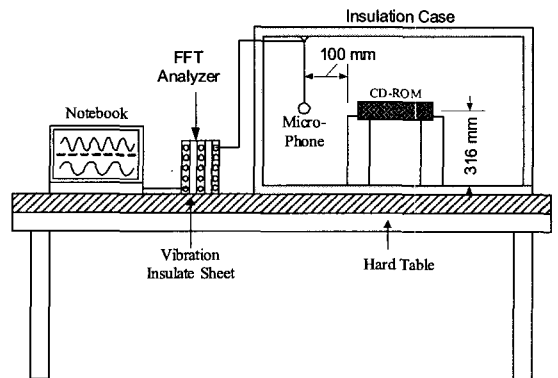


Fig. 2 Schematic view of experimental setup

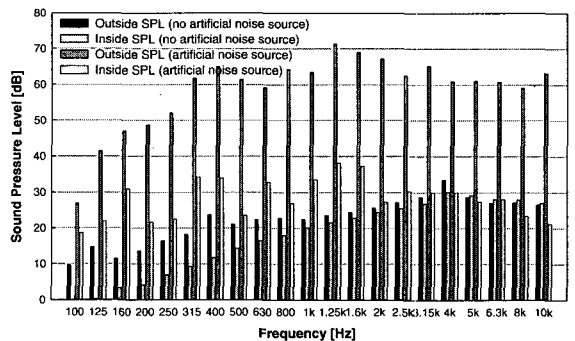


Fig. 3 Sound insulation test of noise experimental case

청할 수 있는 최소 음압실효치인 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$, P 는 대상음의 음압실효치이다.

이 연구에서 제작한 방음케이스의 소음 차단효과를 파악하기 위해 우선 외부소음 차폐효과 실험을 수행하였다. Fig. 3은 실험실의 외부 압소음에 대한 방음 케이스 내부의 압소음 정도를 상대 비교한 결과이다. 실험은 두 가지 경우로 수행되었는데, 일반적 소음 수준에 대한 것과 강제로 외부 소음원을 부가한 경우이다. 일반적 소음수준에서는 100 Hz에서 4 kHz 사이의 주파수 영역에서 방음효과가 탁월한 것을 관찰할 수 있으며, 강제로 외부 소음원을 부가한 경우에 대해서는 10 kHz까지의 고주파 영역까지 우수한 방음효과를 나타내었다.

2.2 실험방법

일반적으로 광디스크 드라이브는 PC(personal computer)에 바닥에서 대략 30 cm~60 cm 높이 부근에 장착되며 사용자들이 PC로 작업을 하는 경우 주로 광디스크 드라이브의 전면 방향으로 발생하는 소음을 가청하게 된다. 따라서 이 실험에서는 광디스크 드라이브의 전면부에서 10 cm 떨어진 지점에 1/2" microphone을 설치하여 구동소음을 측정하였다. 이 연구에서와 같이 여러 제조사의 광디스크 드라이브에 대한 상대 소음 정도를 측정하기 위해서는 객관적인 비교 기준이 필요하였다. 이 연구에서는 제품이 낼 수 있는 최대 회전속도 조건과 동일한 회전속도에서 각 트레이 형상에 따른 소음 특성을 분석하고자 하였다. 이를 위해서는 기본적으로 제품이 낼 수 있는 최대 회전속도 조건을 파악하고, 또한 회전속도가 특정한 입력 값으로 일정하게 지속적으로 구동될 수 있도록 실험용 컴퓨터에서 제어하고, 데이터 전송률 등을 모니터링 할 수 있어야 한다.

이 연구와 같은 실험에서 한가지 유의할 사항은 실험용 컴퓨터의 제어판 설정에서 장치관리자의 IDE ATA/ATAPI 컨트롤러 항목의 보조 IDE채널 부분의 고급설정에서 전송모드(T)가 DMA(사용가능한 경우)로 설정되어 있어야 한다는 점이다. 컴퓨터 메인보드에 대한 기본설정 옵션에 따라 장치관리자에 PIO타입으로 설정되어 있는 경우도 있다. 따라서, CAV(constant angular velocity) 모드로 광디스크 드라이브를 구동하기 위해서는 반드시 사전에 DMA 모드가 활성화 되어 있어야 하며, 그렇지 않은 경우

에는 CLV(constant linear velocity) 모드로 구동되게 된다.

Table 1은 이 연구에서 소음측정에 활용한 광디스크 드라이브의 종류, 최대 회전속도, 제조사에서 표시한 공칭 배속과 실제 실험으로 측정된 평균 배속(데이터 전송률)을 나타내고 있다. 최대 회전속도 및 평균 데이터 전송률 배속은 Nero CD-DVD SPEED Ver.3.70 프로그램을⁽⁵⁾ 이용하여 측정하였으며, 소음 측정을 수행할 때 동시에 측정된 값들을 대략 20회 평균한 값들이다. 간혹 실험 중에 발생하는 특이 피크(peak) 값들은 실험에서 배제 하였다. 참고로, 각 제조회사에서 표시한 세부 배속은 A3의 경우 52/24/52X, A4는 48/16/48X, A5, A6, B1는 52X, B2는 48X, A6는 32X, C1는 52/32/52X이다. 이 연구에서 고려한 광디스크 드라이브의 각 트레이 형상들은 Fig. 4에 나타나 있다.

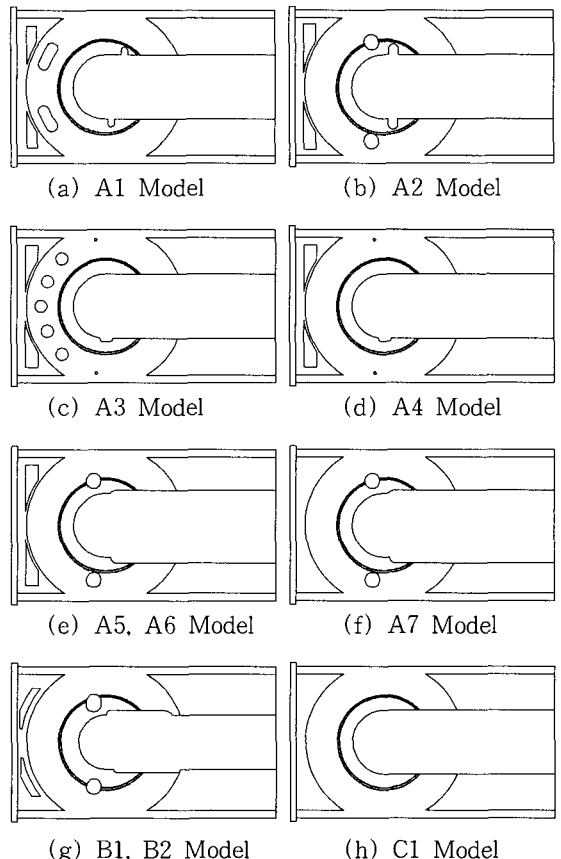


Fig. 4 Geometric plan form configurations of several tray models used in the present experimental tests

3. 실험 및 결과 분석

Table 1에 정의된 특성을 갖는 A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 및 B1, B2, C1 모델 광디스크 드라이브의 소음 측정 실험을 수행하였다. 실험은 각각 20회 이상씩 수행되었으며, 30초간 시간 평균된 1/3 옥타브 대역(Leq)으로 SPL을 측정된 후 평균치를 적용하였다.

Fig. 5는 Table 1에 제시되어 있는 광디스크 드라이브 모델 중 A5, A6, A7, B1 및 B2 CD-ROM 모델에 대한 구동소음 측정결과를 보여주고 있다. 여기서 실험은 최대 회전속도 구동조건에 대해 수행되었으며, x축 항목의 L(linear)은 신호보정을 하지 않은

Table 1 Properties of optical disk drives

No	ODD type	Max RPM	Nominal DTR (by maker)	Average DTR (measured)
A1	DVD-ROM	8600	N/A*	31
A2	DVD-ROM	6800	N/A*	24
A3	CD-R/RW	8600	52	31
A4	CD-R/RW	8600	48	31
A5	CD-ROM	8000	52	30
A6	CD-ROM	8000	52	30
A7	CD-ROM	7200	32	26
B1	CD-ROM	10000	52	37
B2	CD-ROM	9800	48	35
C1	CD-R/RW	11000	52	40

* N/A: not available, DTR: data transfer rate

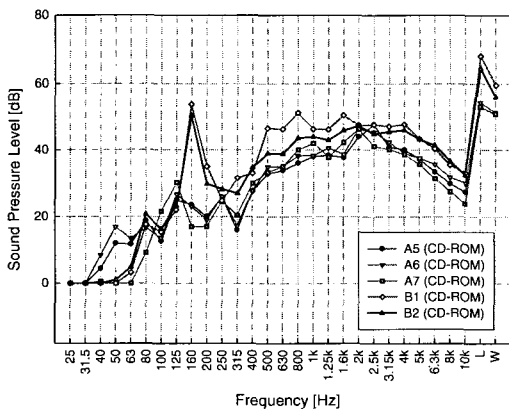


Fig. 5 Comparison of sound pressure level at maximum operation speed for different CD-ROMs

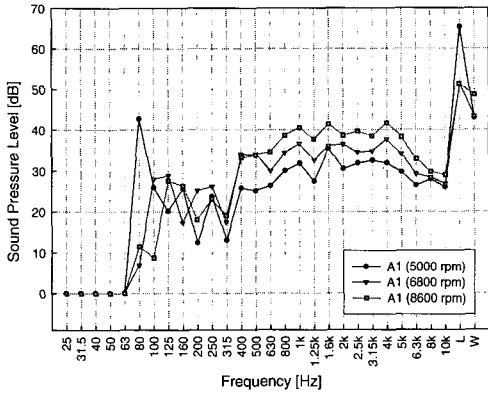
음압레벨(sound pressure level)이고, W(weighting)는 A정감보정회로에 의해 주파수 대역별로 보정된 음압레벨이다.⁽⁶⁾ Table 1을 보면 최대 회전속도 구동 조건에서 제품 별로 실제 평균 데이터 전송률에 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 측정된 데이터를 바탕으로 각 모델의 소음특성을 고찰해 보면 회전속도가 가장 낮은 A7 모델의 경우가 이에 비례하여 평균 SPL수준이 가장 낮게 나타났다. 다음으로 A5, A6, B2순이고 회전속도에 비례하여 평균 체감소음이 증가하게 되는데, 회전속도가 가장 높은 B1모델의 경우가 가장 높은 소음수준을 보였다. 참고로, 이 연구에서 테스트에 활용한 CD-ROM모델들의 경우는 최대 회전속도만 소프트웨어적으로 구현할 수 있었다. 하지만, DVD-ROM, CD-R/RW 제품의 경우는 회전속도를 외부에 연결된 실험용 컴퓨터에서 제어할 수 있었다. 단, 일반적으로 제품에 따라 소프트웨어적으로 회전속도를 강제로 제어할 수 있는 범위는 제한되게 되는데, 이는 각각의 광디스크 드라이브에 하드웨어적으로 허용 가능한 구동 RPM 범위가 존재하기 때문이다.

Fig. 6은 각 모델 별 회전속도차이에 따른 소음수준을 비교한 결과이다. 이 실험에서는 5000, 6800 및 8600 rpm으로 회전속도를 제어하여 각 경우에 대한 소음수준을 측정하였다. 참고문헌 (7)에 따르면 1~2 kHz 대역은 내부 유동으로부터 발생하는 유동소음 영역으로 보고하고 있고, 스피들 모터 등으로 인한 2 kHz 이상 대역의 고주파 소음으로 구분하였다. 이 연구의 결과에서도 고주파 소음 영역에 대해서는 회전 RPM 증가에 따른 소음 증가현상이 명확하게 관찰할 수 있다. 하지만, 구조소음 영역에 대해서는 특이한 사항이 발생하고 있는데, 회전 RPM에 대응하는 주파수 영역에서의 음압레벨이 증가한다는 점이다. 이의 원인에 대해서는 아직 명확하게 규명하지 못했으나, 향후 이의 원인 분석에 대한 심도 있는 연구를 수행할 예정이다.

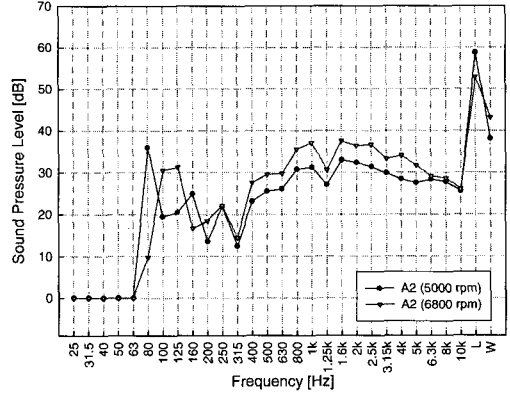
Fig. 7은 각 제작사에서 제품에 표시한 공칭 배속이 52X로 동일한 서로 다른 모델(CD-ROM과 CD-R/RW)들에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 여기서, 중요한 점은 제작사에서 표시한 공칭 배속이 동일할지라도 Table 1의 결과에서 보여주는 것과 같이 최대구동 RPM 이 다르며, 이에 따라 실제 평균 데이터 전송률에는 차이가 발생할 수 있다는 점이다.

또 한가지 흥미로운 점은 제작사에 따라 또는 동일한 회사 제품에 대해서도 판매 연식에 따라 버전이상이하며, 트레이의 형상(홀의 개수 및 위치 등)도 다를 수 있다는 점이다. 이 연구의 결과를 보면 사용자가 체감하는 구동소음의 정도는 A3, A5, A6 모델의

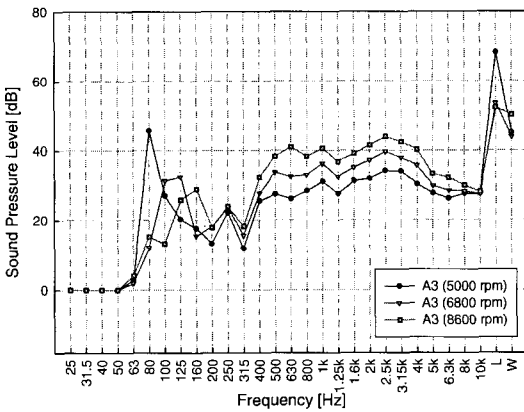
경우가 대동소이하며, 데이터 전송률 또한 30~31X로 거의 비슷한 수준임을 알 수 있다. B1과 C1 모델의 경우는 10,000 rpm이상의 구동속도 때문에 약 10 dB 정도 높은 소음수준을 보이고 있다. 하지만, 전송률의 경우는 B1이 37X, C1이 40X를 나타내어 좋은 성능



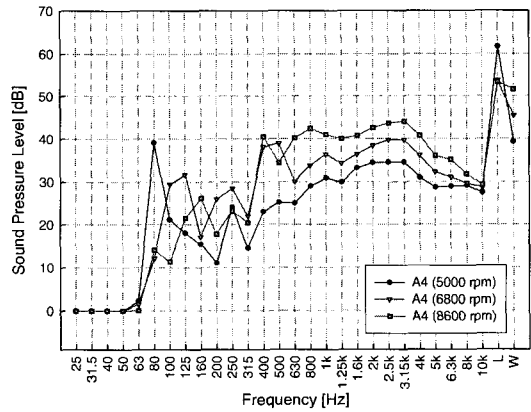
(a) A1 Model



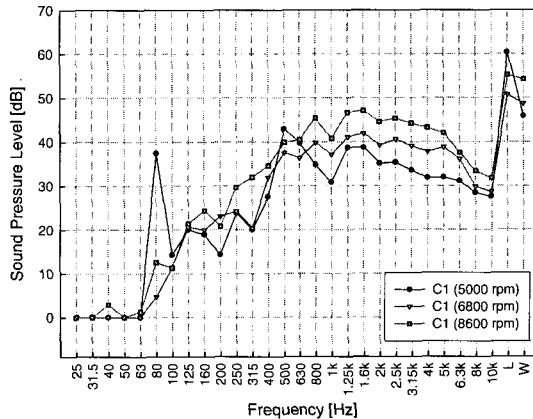
(b) A2 Model



(c) A3 Model



(d) A4 Model



(e) C1 Model

Fig. 6 Comparison of sound pressure level in the same ODD for different RPM

을 보였다. 여기서 흥미로운 점은 B1과 C1모델의 경우 주 소음원이 해당 구동 RPM의 가진 주파수영역인 200~250 Hz에 분포하고 있어 공력소음이 주가 아니라 CD자체의 플러터(flutter) 현상과 연계된 과도 진동유발 소음 특성을 보이는 것으로 판단된다. 이에 대한 면밀한 검토를 위해서 기존에 확보된 기술을 활용하여 향후 전산유체역학(CFD)과 전산구조동역학(CSD) 기법을 동시에 연계(coupling)하여 정밀 플러터 해석을 수행해 보고자 한다^(8~12).

Fig. 8는 회전속도를 5000, 6800, 8600 rpm으로 설정한 다음 동일 회전속도에 대한 트레이 형상이 소음 특성에 미치는 영향에 대한 것이다. Fig. 8a는 서로 다른 모델에 대해 5000 rpm으로 강제 구동한경우의 소음수준을 비교한 것이다. 결과를 보면 거의 모든 모델들이 구동 RPM의 가진 주파수에 해당하는 80 Hz 부근에서 지배적인 구조 소음특성을 보이고 있다. 또한 C1모델의 경우는 400~800 Hz와 1.25~1.6 kHz 범위에서 확연히 큰 소음특성을 보였다. 이는 C1모델의 경우는 트레이의 바닥면이 타 제품에 비해 상당히 거친 편이었는데 이로 인해 유발 가능한 추가 마찰소음 영향과 트레이 형상의 차이 때문으로 판단된다. 그 외의 제품들은 거의 동일한 소음 특성을 보여주고 있다. Fig. 8(b)는 6800 rpm에 대한 소음측정 결과를 비교한 것이다. 특이한 점은 400 Hz 이상의 주파수 영역에서 급격한 소음증가 현상이 발생된다는 점이다. 이는 공력소음이 차지하는 비중이 구조소음 보다 지배적인 양상을 보임을 의미하는 것이다.

Fig. 8(c)는 8600 rpm에 대한 소음측정 결과를 비교한 것이다. 앞서의 결과와 마찬가지로 400 Hz 이상의 주파수 영역에서 급격한 소음증가 현상이 발생하고 있다.

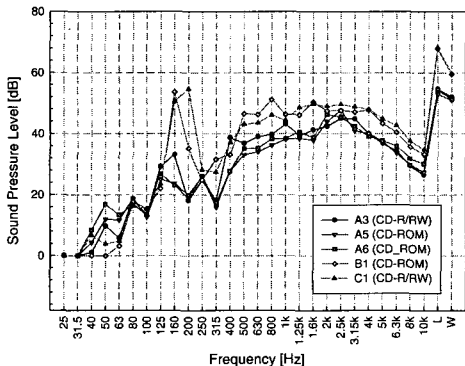
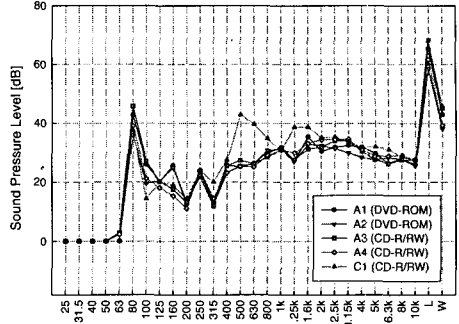
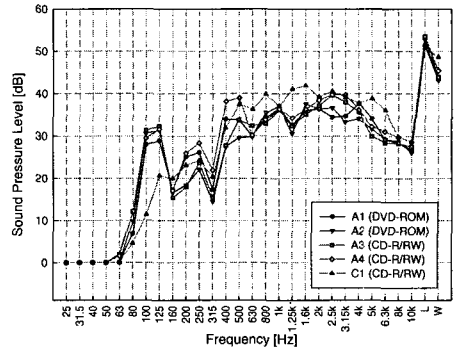


Fig. 7 Comparison of sound pressure level in 52X ODD

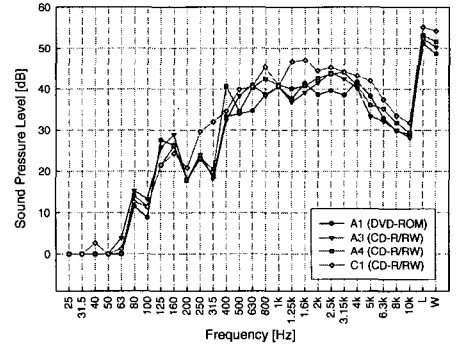
마지막으로 Table 2에서는 서로 다른 회전속도에 대하여 트레이 형상에 대한 체감소음의 영향을 비교하였다. 결과를 검토해 보면, 전술한 바와 같이 5000 rpm구동조건인 경우 구조소음의 영향이 지배적인 경



(a) 5000 rpm



(b) 6800 rpm



(c) 8600 rpm

Fig. 8 Comparison of sound pressure level for constant RPM

Table 2 Comparison of sound pressure level for W[dB]

RPM	A1[dB]	A2[dB]	A3[dB]	A4[dB]	C1[dB]
5000	42.95	38.13	45.13	39.30	45.83
6800	43.35	43.17	44.00	45.50	48.67
8600	48.57	N/A	50.27	51.60	54.25

향을 보이고 있으며, 6800 rpm 구동조건인 경우는 A2<A1<A3<A4<C1 모델의 순으로 소음이 증가하는 경향성을 보였다. 또한 8600 rpm의 경우도 A1<A3<A4<C1 순으로 소음이 증가하는 경향성을 보였으며, A2 모델의 경우는 하드웨어 적으로 최고회전 속도가 8600 rpm이 되지 않기 때문에 실험을 수행할 수 없었다. 이 연구의 결과를 정리해 보면 6800 rpm 이상의 고속 회전조건에서는 트레이의 형상에 따라 약 10%~12% 정도의 소음차이가 발생함을 알 수 있다. 이 연구에서의 고속회전 실험 조건에서는 소음 관점에서 보았을 때 A2 모델이 가장 낮은 소음 특성을 보였으며, C1의 경우가 가장 높은 소음 특성을 나타내었다.

ODD의 내부 소음해석을 정밀하게 수행하기 위해서는 고속회전에 따른 디스크의 진동특성을 동시에 고려한 유동해석(유체유발진동해석)을 수행해야 하는 큰 어려움이 있다. 따라서, 이에 대해서는 해석의 고난이성과 다양한 형상을 고려해야 하는 특성 때문에 참고문헌 (8~12)의 연구경험을 바탕으로 향후 추가적인 전문 연구를 수행할 예정이다. 참고로, 참고문헌 (13)에서는 정해진 특정 트레이 형상에 대하여 디스크의 진동효과를 무시하고 유동해석만을 수행하여 ODD 내부의 소음해석을 수행하여 특성을 분석한 사례가 있다. 참고문헌에서 트레이는 디스크면에 매우 근접해 있기 때문에 고속회전시 형상에 따라 복잡한 유동간섭효과를 유발할 수 있으며, 이 때문에 소음특성과도 밀접한 관계가 있음을 보고하였다.

4. 결 론

이 연구에서는 기존에 판매된 여러 종류의 광디스크 드라이브에 대해 구동 중 발생 되는 소음특성을 분석하였다. 이를 위해 자체적으로 설계 및 제작한 전용 방음케이스를 활용하여 여러 경우에 대한 소음 측정 실험 및 분석연구를 수행하였다. 다양한 배속과 트레이 형상을 가지는 광디스크 드라이브를 고려하였으며, 구동속도에 따른 소음특성을 상호 비교하였다. 체감소음은 구동 RPM과 트레이 형상에 밀접하게 관계되어 있음을 확인하였다. 비교적 낮은 구동 RPM에서는 구조소음에 해당하는 주파수 영역에서 소음이 지배적이었으며, 높은 구동 RPM에서는 유동소음의 영향이 지배적인 경향을 보였다. 또한 이 연구에서

고려한 10,000 rpm 이상 구동 광디스크 드라이브 모델의 경우는 고속회전에도 불구하고 유동소음 영역보다 오히려 구조소음 영역에서 과도한 소음특성을 나타내었다. 이는 고속회전으로 인한 CD 저장매체 자체의 플러터(flutter) 현상과도 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 NURI 사업 및 항공기 부품기술연구소의 지원으로 수행되었으며 감사를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

- (1) 허대녕, 김용석, 한승진, 김영찬, 이덕주, 2000, "고속으로 회전하는 CD-ROM 드라이브의 공력 소음원 규명 및 소음 저감", 한국소음진동공학회 추계 학술대회논문집, pp. 771~776.
- (2) 이재승, 차성운, 2002, "CD-ROM 구동 시 발생소음 분석 및 저감 방안에 관한 연구", 한국정밀공학회 추계학술발표회논문집, pp. 572~577.
- (3) 유승원, 이종수, 민옥기, 2001, "DVD 드라이브내에서 발생하는 유동소음에 관한 수치적 연구", 한국소음진동공학회논문집, 제 11 권, 제 3 호, pp. 471~476.
- (4) Lee, S. -Y., Yoon, D. -W. and Park, K., 2003, Aerodynamic Effect on Natural Frequency and Flutter Instability in Rotating Optical Disks, Microsystem Technologies.
- (5) Nero CD-DVD SPEED Ver.3,70(Freeware S/W), http://www.bomul.com/pds/detail_view.html?id=15945.
- (6) 정일록, 김재용, 윤세철, 이태호, 2004, 최신 소음/진동: 이론과 실무, 신광문화사.
- (7) 이상윤, 최명렬, 성평용, 2003, "광 디스크 드라이브 Seek 소음의 음질 평가", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 401~405.
- (8) 김동현, 박영민, 이 인, 권오준, 2001, "비정렬 오일러 코드를 이용한 2자유도계 에어포일의 유체/구조 연계해석", 한국항공우주학회지, 제 29 권, 제 4 호, pp. 8~19.
- (9) Kim, D. H. and Lee, I., 2002, "CFD-Based

Matched-point Linear and Nonlinear Flutter Analysis of Sweptback Wings in Transonic and Supersonic Flows," Computational Fluid Dynamics Journal, Vol. 11, No. 1, pp. 35~49.

(10) 김종윤, 김동현, 이 인, 2002, "면내 곡률이 천음속 및 초음속 유체/구조 연계 진동안정성에 미치는 영향", 한국소음진동공학회논문집, 제 12 권, 제 11 호, pp. 864~872.

(11) 장태진, 김동현, 이 인, 2002, "MAV안정화 설계를 위한 저속 유체유발 비선형 진동특성 연구",

한국소음진동공학회논문집, 제 12 권, 제 11 호, pp. 873~881.

(12) Kim, D. H., Park, Y. M., Lee I. and Kwori O. J., 2005, "Nonlinear Aeroelastic Computation of a Wing/Pylon/Finned-Store Using Parallel Computing," AIAA Journal, Vol. 43, No. 1, pp. 53~62.

(13) 송인상, 박건순, 최학현, 김수경, 이승엽, 1998, "고 배속 광 디스크 드라이브에서의 공기 유동 및 공력 소음 특성에 관한 연구", 한국소음진동 공학논문집 추계학술대회논문집, pp. 191~198.