

고속으로 회전하는 CD-Rom 드라이브의 공력 소음원 규명 및 소음 저감

⁰허대녕*, 김용석*, 한승진*, 김영찬**, 이덕주***

Identifications and Reductions of Aerodynamic Noise Sources in High Speed Rotating CD-Rom Drive

Dae Nyoung Heo, Yong Seok Kim, Seung Jin Han,
Young Chan Kim and Duck Joo Lee

ABSTRACT

Major noise source in high speed rotating CD-Rom drives arises due to the high-speed airflow produced from the upper and lower surfaces on the rotating disk. The present paper deals with the experimental approach how to identify the noise source based on the fundamental principles of aeroacoustics and to propose a reduction method of the noise source. Experimental studies were carried out in the anechoic wind tunnel with various design modifications, such as tray geometry and window size, to identify and reduce the major aerodynamic noise source and significant reductions of the noise source were obtained.

1. 서론

본격적인 정보화 시대에 돌입하여 컴퓨터가 생활의 필수품으로 자리를 잡게 됨에 따라, 컴퓨터 주변 기기들도 놀랄만한 속도로 빠르게 발전하고 있다. 이에 발맞추어 싼 가격으로 고용량의 데이터를 저장할 수 있고, 쉽게 휴대 가능한 CD가 편리한 저장매체의 하나로 정착하였다. CD-Rom 드라이브는 사용자가 끊임 없이 더욱 빠른 전송속도를 요구함에 따라, 날로 속도의 향상을 거듭하여 현재

10,000rpm에 이르렀다. 그러나, 10,000rpm 이상의 속도에서 CD-Rom 드라이브는 심각한 소음과 진동을 유발하여 속도 향상의 한계에 봉착하게 되었다. 사용자들도 종래에는 데이터의 전송속도가 가장 큰 구매요건이었으나, 최근에는 속도보다는 오히려 얼마나 소음이 적게 나느냐가 가장 큰 구매요건으로 대두되고 있다. 따라서, CD-Rom에서 발생하는 공력소음을 얼마나 줄일 수 있느냐 하는 것이 CD-Rom 드라이브 시장의 당면한 과제라 할 수 있다.

지난 수년동안 CD-Rom 드라이브에서 발생하는 소음과 진동에 관한 문제들은 공력소음에 대한 특

* 한국과학기술원 항공우주공학전공 대학원

** 삼성전자주식회사 광기기사업팀 주임연구원

*** 정회원, 한국과학기술원 항공우주공학전공 교수

별한 해석 없이도 해결 되어왔다. 그러나, 최근에 디스크의 회전 속도가 빨라짐에 따라, 공력소음이 진동 소음을 능가하는 가장 큰 소음으로 대두되고 있다. 최근에 고속으로 회전하는 디스크에 의한 유동장의 변화와 진동에 대한 연구가 많이 수행되고 있지만[1-3], 유동에 의한 공력소음의 변화에 대해서는 아직 연구가 거의 이루어지지 않은 실정이다. 일반적으로 회전체에서 발생하는 공력소음은 회전 속도의 5~6승에 비례함이 알려져 있다. 이것은 단극자(monopole) 음원에 의한 소음이 속도의 4승에 비례, 이중극자(dipole) 음원에 의한 소음이 속도의 6승에 비례함을 미뤄볼 때, 가장 주요한 소음원이 단극자와 이중극자의 조합으로 이뤄졌음을 추측할 수 있다.

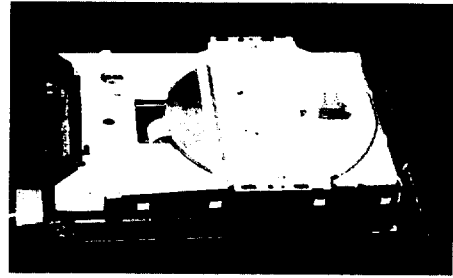
CD-Rom 드라이브는 디스크, 트레이(tray)와 모터, 그리고 트레이의 아래에 부착된 전자기판으로 이루어져 있다. 시디의 안쪽에서 바깥쪽까지 광센서가 자유롭게 움직이며 데이터를 읽어 들일 수 있도록, 트레이에 중심에서 반경 방향으로 일정한 두께의 윈도우(window)가 뚫려 있다. 이러한 모든 구조물의 형상 특성은 모두 소음원으로 작용할 수 있다.

본 연구는 디스크 주위 유동의 흐름에 의해 생성되는 공력소음을 실험적으로 해석하고, 그 소음원을 규명하여 궁극적으로 소음을 저감시키는 것을 목적으로 한다. 트레이의 형상을 변화시키거나, 윈도우의 크기를 변화시키는 등, 여러 가지 형상을 변화시켜 실험을 함으로써, 각 형상 특성이 CD-Rom 드라이브 전체 소음에 미치는 영향을 규명한다. 이러한 방법을 통해, CD-Rom 드라이브에서 발생하는 공력소음에 가장 큰 영향을 미치는 형상 변수를 찾아 그 형상을 최적화 시켜줌으로써, 소음 저감을 얻을 수 있다.

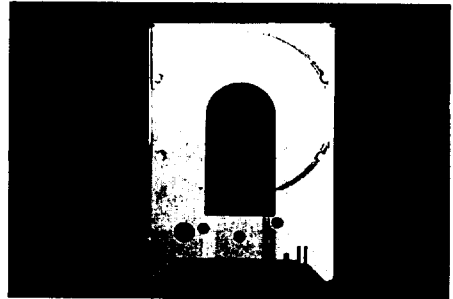
2. 실험 방법

2.1 CD-Rom 드라이브 형상

본 연구에 사용된 일반적인 CD-Rom 드라이브의 형상은 Figure 1과 같다.



(a) Entire view of the CD-Rom geometry



(b) Window tray

Figure 1. Photographs of the CD-Rom device for the present experiment

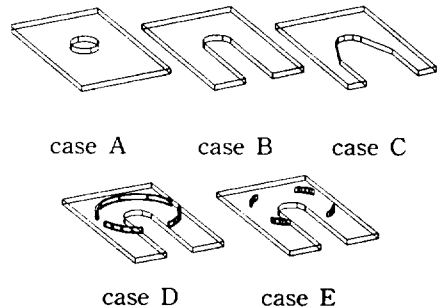


Figure 2. Various schematic diagrams of the tray for the present experiments

Figure 2와 같이 case A에서 case E까지 트레이의 형상과 윈도우의 크기를 여러 가지로 변화하며 실험을 수행하였다. 각 case의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- Case A : 윈도우와 guide wall이 모두 없는 경우
- Case B : 좁은 윈도우를 가지고, guide wall이 없는 경우
- Case C : 넓은 윈도우를 가지고, guide wall이 없는 경우
- Case D : 좁은 윈도우를 가지고, 일반적인 형상의 guide wall이 있는 경우
- Case E : 좁은 윈도우를 가지고, 최소한의 guide를 가지는 경우

2.2 실험 방법

모든 실험은 KAIST에서 보유하고 있는 무향 풍동실에서 수행되었다. 무향풍동실은 풍동의 표면에서 일부의 반사가 발생한다. 그러나, 본 연구는 정확한 소음을 측정하는 것보다 공력소음원을 규명하고 소음 저감 기법을 제시하는데 그 목적을 두고 있으므로, 본 연구의 수행에 문제가 없음을 확인하였다.

소음의 측정을 위하여 1/2 inch condenser type microphone(Type 4165, B&K)을 이용하였다. 모든 소음은 CD-Rom 드라이브의 앞쪽 윗 모서리에서 10cm 떨어진 곳에 microphone를 고정하고 측정하였다. 많은 양의 데이터를 빠르게 얻고, 처리하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transform) analyzer(PULSE Type 3560, B&K)을 사용하였다. 모든 데이터는 400번의 linear average를 취하였고, 12.8kHz까지 4Hz의 간격으로 측정하였으며, Hanning data window를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 CD-Rom drive의 유동 특성

Figure 3과 같이, 회전하는 디스크 주위 유동장은 centrifugal pump flow와 유사한 유동 특성을 갖는다. 이 때, 약 10,000rpm으로 회전하는 50배속 CD-Rom의 Reynolds 수는 다음과 같다.

$$Re = r^2 \times \omega / \nu \approx 1.79 \times 10^5$$

이 때, ω 는 회전 각 속도, ν 는 kinematic viscosity coefficient, r 은 디스크의 반경이다. 디스크 주위 유동의 속도 성분은 원주 방향 성분과 반경 방향성분으로 나뉘어진다. 원주 방향 성분은 트레이에 뚫린 윈도우를 통해 빠져나가거나 간섭을 일으키게 되고, 반경 방향 성분은 guide wall과 부딪히게 된다.

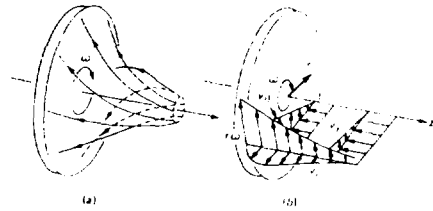


Figure 3. Flow in the neighborhood of a rotating disk in a fluid at rest.

(a) Streamlines, (b) 3-D velocity components

3.2 공력소음원

Figure 2와 같이 tray 형상을 여러 가지로 변화시켜 가며 실험을 수행하였다. 주요한 소음원은 회전하는 디스크 표면 아래, 윗 부분의 고속의 유동에 의해 발생하며, 가장 큰 소음원은 두 가지로 요약할 수 있다. 하나는 원주 방향의 유동이 윈도우와 상호작용을 일으키거나, 윈도우를 빠져나가면서 전자기판의 구조물들과 부딪칠 때 발생한다. 다른 하나는 반경 방향의 유동이 디스크 주위의 guide wall과 부딪히면서 발생한다. 실제 제품의 트레이 형상에서는 디스크의 데이터를 광학센서가 움직이면서 읽어들이기 위해서 윈도우가 반드시 필요하고, 디스크를 흔들림 없이 정확한 위치에 삽입하기 위하여 guide wall이 반드시 필요하다. 그러나 이러한 형상이 가장 주요한 소음원으로 작용하게 되므로, 이들의 형상은 기존의 기능을 유지하면서 최소의 소음을 발생시키도록 최적화가 되어야 한다.

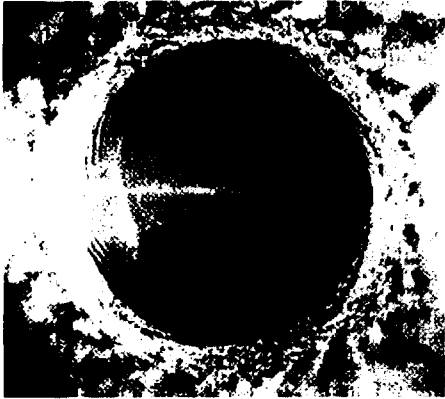


Figure 4. Flow visualization on a disk rotating in air at 1800rpm. [Kobayashi et al. 1980]

3.3 CD-Rom 드라이브 주위 유동의 가시화

Figure 4는 Kobayashi 등[4]이 공기 중에서 지름 40cm의 검은 알루미늄 디스크가 1800 rpm으로 회전할 때의 유동을 titanium tetrachloride 가스로 가시화 한 것이다. 디스크의 반경 끝부분에서 vortex shedding과 불안정성이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것을 통해 회전하는 디스크 자체도 소음원으로 작용함을 알 수 있다.

Figure 5는 본 연구에 사용된 CD-Rom 드라이브에서 guide wall 주위 유동을 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 가시화한 것이다. 또, Figure 6는 윈도우를 통해 빠져나가는 유동을 가시화한 것이다. 윈도우의 크기가 커질수록 윈도우로 빠져나가는 유동량도 증가하였다. 이러한 가시화를 통해 guide wall에 부딪히는 유동 성분과, 윈도우로 빠져나가 윈도우 아래의 전자기판과 부딪히는 유동성분이 주요한 소음원임을 알 수 있다.

3.4 OSPL(Overall Sound Pressure Level)의 저감

Figure 7은 무향 풍동의 배경소음(background noise)과 CD-Rom 모터의 소음을 나타낸 것이다.

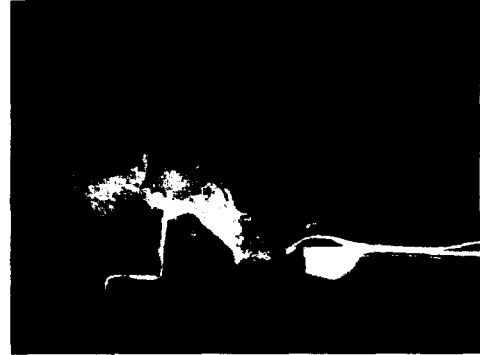


Figure 5. Flow visualization around the guide wall

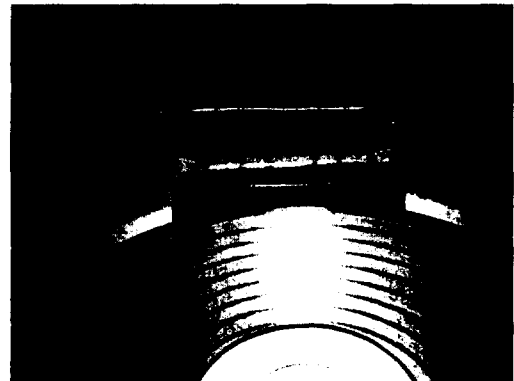


Figure 6. Flow visualization around the tray window using the smoke wire

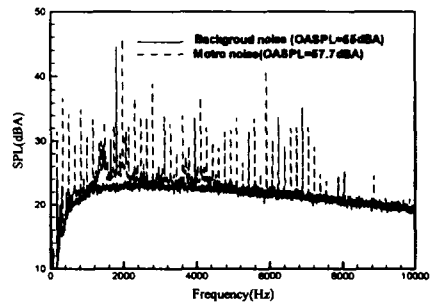


Figure 7. Frequency spectrum of the background noise and motor noise

배경 소음은 모든 주파수에서 22dBA 이하의 값을 가진다. 모터 소음은 디스크가 없이 모터만 10,000rpm으로 회전하였을 때의 소음을 측정하는 것으로, 각 피크는 RPS(revolution per second)의 배수에 해당하는 주파수를 가진다. 이러한 피크는 디스크가 있을 때, 유동의 영향으로 주파수에 따라 증폭되거나, 감소하게 된다. 그러나, OSPL에는 크게 영향을 미치지 않으므로, 본 연구에서 공력소음 해석시에는 이러한 모터 소음에 의한 피크값은 제거하여 해석하였다.

Figure 8는 디스크가 있을 때의 소음을 두 개의 각도에서 측정하는 것이다. Position A는 디스크 중심에서 45도, position B는 디스크에서 수직으로 위쪽 방향에서 측정하는 것이다. 두 가지 경우 모두 1300Hz와 1850Hz의 두 개의 주파수에서 피크가 발생하고, 비슷한 주파수 특성을 가지지만, 1850Hz의 경우 position B가 position A보다 더 큰 SPL을 가진다. 이러한 영향은 소음의 방향성(directivity) 때문에 발생하는 것이다.

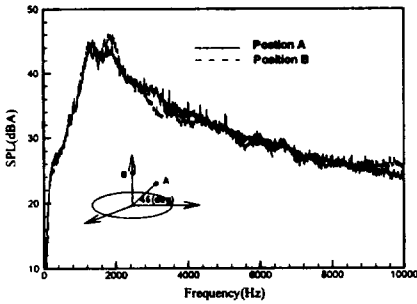


Figure 8. Frequency spectrum of rotating disk noise in the free field

Figure 9는 윈도우의 크기가 공력소음에 미치는 영향을 비교한 실험이다. Figure 2에서 윈도우의 크기가 각기 다른 A, B, C 세 가지 타입에 대해 측정하였다. Figure 9의 실험 결과를 보면, 윈도우의 크기가 커질수록 SPL이 커짐을 볼 수 있다. 그 이유는 윈도우의 크기가 커질수록, 윈도우 아래로 빨

려 내려가는 유동의 양이 증가하여, 윈도우 아래의 전자기판과 부딪히는 유동이 많아지기 때문이다. 윈도우의 크기가 전체 공력소음에 미치는 영향은, 윈도우가 전혀 없는 경우(A)가 윈도우가 작은 경우(B)보다 2.8dB, 윈도우가 큰 경우(C)보다 5.5dB 더 작게 나타나 그 차이를 명확하게 확인할 수 있다.

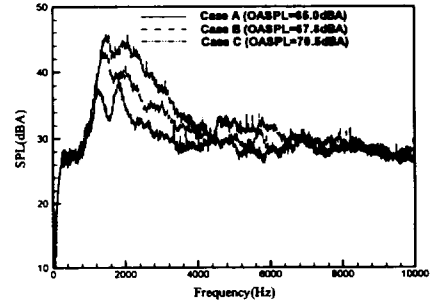


Figure 9. Frequency spectrum showing the window size effect

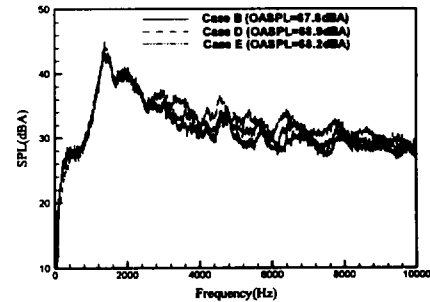


Figure 10. Frequency spectrum showing the guide wall effect

Guide wall이 공력소음에 미치는 영향을 비교 분석하기 위하여, Figure 2에서 Guide wall의 형상이 각기 다른 B, D, E의 세 가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. Figure 10을 보면, guide wall의 형상이 변함에 따라 3000Hz에서 8000Hz에 걸친 broadband noise가 변함을 확인할 수 있다. Guide wall을 최소화 시킨 E는 D에 비해 0.7dBA의 소음

저감 효과를 거둘 수 있다.

3.5 RPM 변화에 따른 소음 변화

소음원의 정확한 규명과 향후 개발될 50배속 이상 CD-Rom 드라이브의 소음 예측을 위하여 CD-Rom 드라이브의 회전 RPM에 따른 소음 변화를 실험하였다. Figure 11를 보면, OASPL이 $\log(RPM)$ 에 비례함을 알 수 있다. 이것은 소음의 intensity가 속도에 지수승에 비례함을 의미하며, 단극자, 이중극자, 사중극자 등의 소음원으로 표현될 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 몇 개의 point에서 독립적으로 소음을 측정하였으므로, 전 공간의 소음의 intensity를 바로 계산하기에는 한계가 있다. 그러므로, CD-Rom의 소음원에 대한 정확한 수식 도출은 향후 과제로 남겨두기로 한다.

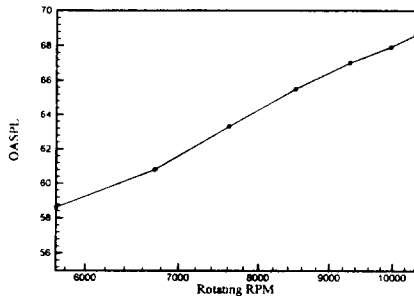


Figure 11. Overall sound pressure level as a function of rotating RPM

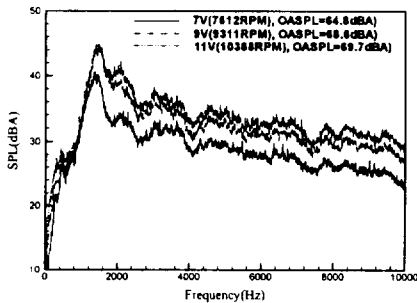


Figure 12. Frequency spectrum showing the rotating RPM effect

Figure 12는 RPM의 변화에 따른 주파수 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다. 피크 주파수는 RPM에 비례하여 증가하는 경향을 보이고, RPM이 증가함에 따라 전 주파수 영역에 걸쳐 broadband가 일제히 증가함을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구는 실험을 통하여 CD-Rom의 소음원을 규명하고, 저감하는 것을 목적으로 한다. CD-Rom에서 발생하는 가장 큰 소음원은 디스크 주위 유동이 트레이의 윈도우를 통해 빠져나가 트레이 아래의 전자 기판에 부딪혀서 나는 소음과, 반경 방향의 유동 성분이 디스크 바깥부분의 guide wall과 부딪혀서 나는 소음이다. 본 연구를 통해 트레이 형상 변화 및 RPM 변화에 따른 소음 변화의 경향을 분석하였다. 이러한 결과를 토대로 트레이 형상을 최적화함으로써, CD-Rom 드라이브의 소음 저감 효과를 가져올 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- [1] C. D'Angelo III, C. D. Mote Jr., "Aerodynamically Excited vibration and Flutter of a Thin disk Rotating at Supercritical Speed," Journal of sound and Vibration, Vol. 168, No. 1, pp 1-54, 1993
- [2] A. A. Renshaw, "Critical Speed for Floppy Disks," ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 65, pp 116-120, 1998
- [3] S. Kim, G. Han, H. Son, "A Study of Characteristics of Disk Vibration and Rotating Airflow in Magneto Optical Disk Drives," IEEE Transactions on consumer Electronics, Vol. 44, No. 3, pp 601-605, August, 1998
- [4] R. Kobayashi, Y. Kohama and Ch. Takamadate, "Spiral Vortices in Boundary Layer Transition Regime on a Rotating Disk," Acta Mech., Vol. 35, pp. 71-82, 1980