

# CD 및 DVD 디스크의 진동 특성

## Vibration Characteristics of CD and DVD Disks

이승엽\* · 임효석\*\*

Seung-Yop Lee and Hyosuk Lim

**Key Words** : Critical speed(임계속도), Flutter Speed(플러터 속도), Air Induced Vibration(공기유동에 의한 진동)  
Rotating Disk(회전 디스크), Fluid-Structure Interaction (유체-구조물 연성) CD/DVD

### ABSTRACT

The aerodynamically excited vibration and natural frequency of rotating CD and DVD disks are analytically and experimentally studied in this paper. The theoretical analysis uses a fluid-structure model where the aerodynamic effects are represented in terms of elastic, lift and damping components. The explicit expression on natural frequency of the air coupled disk is obtained as functions of the three aerodynamic coefficients. The experiments performed using a vacuum chamber and CD/DVD disks rotating in vacuum, open air and enclosure give three main results. One is that the aerodynamic effect by the surrounding air reduces the natural frequencies and critical speeds of the vibration modes. The second is that natural frequency of disks rotating in open air is larger than that in enclosure. Finally, it is shown that the disk vibration is reduced as the gap between the disk and the rigid wall decreases.

### 1. 서 론

컴퓨터의 발달과 인터넷을 통한 정보공유로 인해 현재 개인이 접하게 되는 정보의 양은 무한하게 증가되었다. 그 결과 더 많은 정보를 저장하기 위한 요구와 노력이 대두되었고 기술의 개발과 더불어 정보전달 및 정보저장의 기술은 급격하게 발전하고 있다. 고밀도화 및 고속의 정보전송을 요구하고 있는 상황에서 보다 많은 양의 정보를 저장하기 위해서 TPI와 BPI가 증가되어야 하고, 정보전달률을 증가시키기 위해서 디스크의 회전속도의 증가가 요구된다. CD와 DVD의 경우는 임계속도 이상의 초임계속도에서 회전하기 때문에 외부의 외력에 의해 디스크 진동이 발산하게 되고 이는 디스크의 신호를 재생시 광픽업의 트랙킹 및 포커싱 오차를 유발하게 된다. 또한 고속 회전시 공기와의 연성으로 인해 디스크 플러터 불안정성이 발생하게 된다. 공기 유동에 의한 회전 디스크의 진동 특성에 대한 많은 연구가 있어왔는데 Pelech and Shapiro는 하부의 벽근처에서 회전하는 굽힘강성을 고려하지 않은 디스크와 축대칭의 정상유동에 대한 Na

vier 방정식을 고려한 연성해석과 실험적인 증명을 하였다 [1]. Benson and Bogy는 굽힘강성을 고려한 Kirchhoff 판이론을 적용하여 해석시 굽힘강성 고려되어야 함을 밝혔다 [2]. Adams는 굽힘강성을 고려한 지배방정식과 레이놀즈 방정식을 축대칭으로 선형화하여 수치해석을 하였고 [3] Yasuda and Torii는 덮개가 없는 상태에서 회전 시 공기유동에 의한 영향을 점성 감쇠력과 양력으로 고려하여 공기의 영향에 의한 디스크 불안정성에 대한 기준을 제시하였다 [4]. Chonan은 논문 [1]에서 구한 압력을 공기의 필름에 의한 탄성효과로 고려하여 안정성을 해석하였다 [5]. 또한 Renshaw는 고정된 벽 근처에서 회전하는 디스크의 안정성 해석을 Lyapunov 방법을 사용하여 연구하였으며 공기유동에 의한 플러터 불안정성이 발생하는 회전속도가 고유진동수가 제로가 되는 임계속도의 4배에서 10배 정도가 됨을 보였다 [6]. 최근에 Lee, et al은 ASMO 디스크를 사용하여 플러터 불안정성이 발생할 때 모드의 고유진동수가 진공상태의 고유진동수와 일치함을 이론적인 해석과 실험으로 증명하였다 [7,8]. 본 논문에서는 공기유동에 의한 고유진동수의 변화를 진공상태 및 덮개가 없이 디스크가 회전하는 경우와 고정된 벽 가까이에서 디스크가 회전하게 될 때 간격 변화에 따른 고유진동수의 변화와 진동 특성을 이론적인 해석과 실험을 통하여 연구하고자 한다. 공기유동에 의한 효과를 점성 감쇠, 양력과 탄성 분포력으로 고려한 후 진공 및 덮개의 유무 및 간

\* 서강대학교 기계공학과, 정회원  
E-mail : sylee@sogang.ac.kr  
Tel: 02-705-8638, Fax: 02-712-0799

\*\* 서강대학교 대학원 기계공학과

격에 따른 고유진동수 변화를 해석하고 이러한 해석 결과를 다양한 CD 및 DVD 디스크와 진공챔버를 이용한 실험결과와 비교한다.

## 2. 회전원판의 모드해석

### 2.1 운동방정식

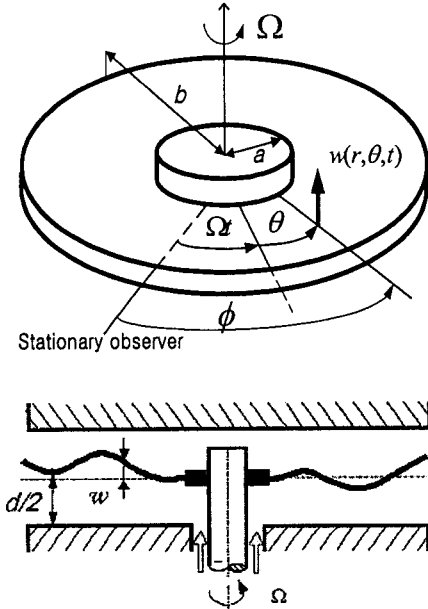


Fig 1 Schematic of a rotating optical disk

Fig. 1과 같이 고정된 벽가까이에서 디스크가 회전하게 되는 경우 운동방정식은 Kirchhoff 판이론과 Von-Kalman 변형률 이론을 이용하여 디스크의 위치에너지와 운동에너지를 구하고 해밀톤 정리를 적용하여 구할 수 있다 [9]. 디스크 내부의 변형은 축대칭이며 정상적이고 반경의 길이에 비해 두께의 길이가 충분히 작으므로  $z$  방향으로 작용하는 응력은 무시하고 재료는 등방성의 탄성재료로 가정한다.

$$\rho_a h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + K_D[w] = P(r) \quad (1)$$

여기에서  $\rho_a$ ,  $h$  는 각각 디스크 밀도와 디스크 두께이고  $K_D[w]$ 는 굽힘강성과 반경방향과 원주방향의 응력을 고려한 강성 연산자이다. 또한 축대칭을 고려한 압력은 다음과 같이 표현한다 [1].

$$P(r) = \frac{3}{20} \rho_a \Omega^2 (r^2 - a^2) - \frac{6\mu Q}{\pi s^3} \ln \frac{r}{a} \quad (2)$$

여기에서  $\rho_a$ ,  $Q$ ,  $\mu$ ,  $s$ 는 각각 공기의 밀도, 동점성계수, 유동량 그리고 공기층의 두께를 나타낸다. 고정된 벽 근처에서 회전하게 되는 경우는 레이놀즈 방정식과 연성하여 방정

식을 풀어야 하는데 레이놀즈 식을 단순화하여 고정된 벽과 디스크의 정상상태의 압력을 분포탄성력으로 나타내면 강성 계수는 다음과 같다 [5].

$$k = \frac{576\mu Q}{\pi d^4} \left( \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \quad (3)$$

운동방정식의 정규화를 위해 다음과 같이 무차원 변수를 정의한다.

$$r' = \frac{r}{b}, \quad t' = \frac{t}{b^2} \sqrt{\frac{\rho_a h}{D}}, \quad w' = \frac{w}{h} \sqrt{12(1-\nu^2)}$$

$$\Omega' = \Omega b^2 \sqrt{\frac{\rho_a h}{D}}, \quad k' = \frac{b^4 D}{\rho_a^2 h^2} k, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (4)$$

이를 식 (1)에 대입하고 공기유동의 효과를 점성 감쇠와 양력으로 표시하여 첨가하면 다음과 같이 표현된다 [4].

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t'^2} + C_D \frac{\partial w}{\partial t'} + \nabla^4 w - \Omega'^2 L(w) - C_L \Omega' \frac{\partial w}{\partial \theta} + kw = 0 \quad (5)$$

여기에서  $C_D$ 과  $C_L$ 는 점성감쇠 계수 및 양력계수이고  $E$ 와  $\nu$ 는 각각 탄성계수, 푸아송 비를 나타낸다. 또한

$$L(w) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r Q_r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{1}{r} Q_\theta \frac{\partial w}{\partial \theta} \right)$$

$$Q_r = \frac{1}{8} \rho h \left\{ -(3+\nu)r^2 + c_1 + c_2 \frac{1}{r^2} \right\}$$

$$Q_\theta = \frac{1}{8} \rho h \left\{ -(1+3\nu)r^2 + c_1 - c_2 \frac{1}{r^2} \right\}$$

$$c_1 = \frac{(1+\nu)(3+\nu)a^4 + (1-\nu^2)b^4}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2}$$

$$c_2 = a^2 b^2 \frac{(1-\nu)(3+\nu)a^2 - (1-\nu^2)b^2}{(1-\nu)b^2 + (1+\nu)a^2}$$

$$\nabla^2 = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$$

으로 표현된다. 내부 반경은 고정단이며 외부반경은 자유단으로 놓으면 경계조건은 다음과 같다.

$$w = \frac{\partial w}{\partial r} = 0 \quad (\text{at } r = a) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \nabla^2 w + (1-\nu) \frac{\partial^2}{r^2 \partial \theta^2} \left( \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{w}{r} \right) = 0$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \left( \frac{\partial w}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w}{r^2 \partial \theta^2} \right) = 0 \quad (\text{at } r = b) \quad (5)$$

위의 방정식의 일반해는 다음과 같이 모드함수의 합으로 표현된다.

$$w(r, \theta, t) = (\Phi(r) \cos n\theta + \bar{\Phi}(r) \sin n\theta) e^{st} \quad (6)$$

여기서  $\Phi(r)$ ,  $\bar{\Phi}(r)$ 은 켈레 복소수이다. 식 (6)를 식 (5)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s^2\Phi + C_D\Phi_s + \nabla^4\Phi \\ - \Omega^2 L(\Phi) - C_L n \Omega \bar{\Phi} + k\Phi = 0 \\ s^2\bar{\Phi} + C_D\bar{\Phi}_s + \nabla^4\bar{\Phi} \\ - \Omega^2 L(\bar{\Phi}) + C_L n \Omega \Phi + k\bar{\Phi} = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)의 모드함수를 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} \Phi(r) &= \sum_{k=1}^{\infty} q_k u_k(r) \\ \bar{\Phi}(r) &= \sum_{k=1}^{\infty} \bar{q}_k u_k(r) \end{aligned} \quad (8)$$

Galerkin 방법을 이용하여 정리하면

$$\begin{aligned} s^2 q_i + \mu^4 \bar{q}_i - \Omega^2 \sum_{k=1}^{\infty} q_k \int_a^b L(u_k) r u_i dr \\ + C_D s q_i - C_L n \Omega \bar{q}_i + k q_i = 0 \\ s^2 \bar{q}_i + \mu^4 q_i - \Omega^2 \sum_{k=1}^{\infty} \bar{q}_k \int_a^b L(u_k) r u_i dr \\ + C_D s \bar{q}_i + C_L n \Omega q_i + k \bar{q}_i = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

각각  $N$ 항까지 합하여 행렬형태로 표현하면 다음과 같은 고유치 문제가 된다.

$$\begin{aligned} (A - kI) \mathbf{q} + C_L n \Omega \bar{\mathbf{q}} &= (s^2 + C_D s) \mathbf{q} \\ (A - kI) \bar{\mathbf{q}} - C_L n \Omega \mathbf{q} &= (s^2 + C_D s) \bar{\mathbf{q}} \end{aligned} \quad (10)$$

여기에서  $A = [A_{ij}] = -\delta_{ij} \mu_i^4 + \Omega^2 \int_a^b L(u_i) r u_j dr$ ,

$$\mathbf{q} = [q_1, q_2, q_3, \dots, q_N]^T$$

$$\bar{\mathbf{q}} = [\bar{q}_1, \bar{q}_2, \bar{q}_3, \dots, \bar{q}_N]^T.$$

공기유동을 고려하지 않았을때의 고유치와 모드벡터를 각각  $s_0$ 와  $\mathbf{q}_0$ 라 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A \mathbf{q}_0 = s_0^2 \mathbf{q}_0 \quad (11)$$

이를 이용하여 식 (10)을 정리하면 다음과 같다.

$$s^2 + C_D s - s_0^2 + k = \pm i C_L n \Omega \quad (12)$$

이때의 모드벡터는  $\mathbf{q} = \mathbf{q}_0$ ,  $\bar{\mathbf{q}} = \pm i \bar{\mathbf{q}}_0$  가 된다. 식 (12)의 해를 이용하여 디스크의 횡방향의 진동은 다음과 같이 표현된다.

$$w_f(r, \theta, t) = (\Phi_2(r) \cos n\theta + \frac{\bar{\Phi}_2(r)}{i} \sin n\theta) e^{s_2 t} \\ + (\Phi_4(r) \cos n\theta + \frac{\bar{\Phi}_4(r)}{i} \sin n\theta) e^{s_4 t} \quad (14)$$

$$w_b(r, \theta, t) = (\Phi_1(r) \cos n\theta + \frac{\bar{\Phi}_1(r)}{i} \sin n\theta) e^{s_1 t} \\ + (\Phi_3(r) \cos n\theta + \frac{\bar{\Phi}_3(r)}{i} \sin n\theta) e^{s_3 t} \quad (15)$$

여기서  $s_1 = \lambda_b + i\omega$ ,  $s_2 = \lambda_f - i\omega$ ,  $s_3 = \lambda_b - i\omega$ ,  $s_4 = \lambda_f + i\omega$  이다. 이를 식 (12)에 대입하여 실수부와 허수부를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (\lambda_b^2 + C_D \lambda_b - \omega^2 + \omega_0^2 + k) \\ + i(2\lambda_b \omega - C_L n \Omega + C_D \omega) = 0, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} (\lambda_f^2 + C_D \lambda_f - \omega^2 + \omega_0^2 + k) \\ + i(2\lambda_f \omega - C_L n \Omega + C_D \omega) = 0 \end{aligned}$$

위 두 식에서 실수부와 허수부가 제로가 되므로 진동계의 안정성을 나타내는 고유치 실수부는 전진파 및 후진파의 경우

다음과 같다.

$$\lambda_f = -\frac{1}{2} C_L n \frac{\Omega}{\omega_f} - \frac{1}{2} C_D \quad (17)$$

$$\lambda_b = \frac{1}{2} C_L n \frac{\Omega}{\omega_b} - \frac{1}{2} C_D$$

식 (17)에서 알 수 있듯이  $\lambda_f$ 는 항상 음수이므로 전진파는 시간에 따라 감소함을 알 수 있다. 그러나  $\lambda_b$ 는 회전속도가 증가하면서 양수가 될 수 있는데 이때 디스크의 플러터 불안정성이 발생한다. 따라서,  $\lambda_b$ 의 임계값은 실수부가 제로가 되는 경우인데 이때의 속도를 플러터 속도라 하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Omega = \frac{C_D}{n C_L} \omega_b \quad (18)$$

또한 식 (16)로부터 고유진동수를 나타내는 고유치의 허수부는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \omega_f^2 &= \omega_0^2 + \lambda_f^2 + C_D \lambda_f + k \\ \omega_b^2 &= \omega_0^2 + \lambda_b^2 + C_D \lambda_b + k \end{aligned} \quad (19)$$

식 (17)와 (19)로부터 후진파 고유진동수 식은 다음과 같다.

$$\omega_b^4 - (\omega_0^2 + k - \frac{C_D^2}{4}) \omega_b^2 - \frac{1}{4} C_L^2 n^2 \Omega^2 = 0 \quad (20)$$

이로부터 후진파 고유진동수의 해를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega_b^2 &= \frac{1}{2} (\omega_0^2 + k - \frac{C_D^2}{4}) \\ &+ \frac{1}{2} \sqrt{(\omega_0^2 + k - \frac{C_D^2}{4})^2 + C_L^2 n^2 \Omega^2} \end{aligned} \quad (21)$$

진공 상태의 고유진동수  $\omega_0$ 와 개방된 경우의 덮개가 있는 경우의 고유진동수의 변화를 비교하기 위해 식 (19)와 (21)을 비교하도록 하자.

### I: 개방된 경우 ( $k=0$ )

디스크가 덮개가 없이 개방된 상태에서 회전하는 경우에는 식 (21)로부터 후진파 고유진동수  $\omega_b$ 는 플러터 속도 이전에서는 ( $\lambda_b < 0$ )에서는 공기유동을 고려하지 않는 경우인  $\omega_0$ 보다 작게 된다. 공기유동에 의한 이러한 고유진동수의 감소는 디스크 주위의 공기가 같이 회전하는 부가 질량 효과 (added mass effect)로 해석할 수 있다. 또한 플러터가 발생하는 경우 ( $\lambda_b = 0$ )에는 두 고유진동수가 일치하게 되며 ( $\omega_b = \omega_0$ ) 이러한 결과를 이용해 플러터 속도를 예측할 수 있다 [8]. 후플러터 구간에서는 공기유동을 고려할 때의 고유진동수가 진공상태의 고유진동수 보다 크게 된다.

### II: 고정된 벽 근처에서 회전하는 경우 ( $k \neq 0$ )

디스크가 고정된 벽 근처에서 회전하게 되는 경우는 공기의

유동에 효과를 점성감쇠와 양력 그리고 탄성력으로 모두를 고려하게 된다. 식 (21)로부터 간격으로 인한  $k$ 항의 첨가로 탄성력은 후진파의 고유진동수를 증가시키는 영향을 미치게 된다. 한편으로 간격의 조절로 인해  $C_D$ 의 값과  $C_L$ 의 값도 변하게 되는데 개방된 경우와 비교하면 점성 감쇠력은 증가하고 양력은 감소하게 되는데 식 (21)로부터 이 두 가지의 요인은 고유진동수를 감소시키게 된다. 이와 같이 공기유동에 의한 세가지 변수 (탄성력, 감쇠력, 그리고 양력)가 고유진동수에 서로 다른 영향을 주기 때문에 개방된 경우와 비교하여 고유진동수의 증감을 이론적으로 구할 수 없으므로 이 논문의 다음절에 나타난 실험 결과로부터 이 영향을 밝혀내도록 한다.

플러터 불안정성이 발생하는 플러터 속도는 식 (18)로 주어지기 때문에 개방된 경우와 비교하여 증가된  $C_D$  값과 감소된  $C_L$  값이 플러터 속도를 증가시키게 됨을 알 수 있는데 이는 고정된 벽 근처에서 디스크가 회전할 경우 플러터가 발생하지 않는 실험적인 결과와 일치한다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 실험 장치

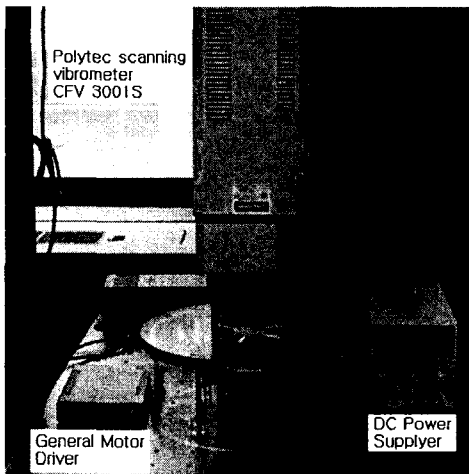


Fig 2 실험 장치

앞에서 이론적으로 해석한 공기유동에 의한 회전디스크의 고유진동수와 임계속도의 변화를 알아보기 위해 광디스크 드라이브에 사용되는 여러종류의 CD와 DVD 디스크를 이용하여 실험을 수행하였다. 변위 측정은 Polytec의 Scanning Vibrometer가 사용되었다. 진공상태의 회전디스크의 진동특성을 측정하기 위해 별도로 제작된 진공 챔버를 사용하였다. 다양한 조건이 디스크의 진동특성에 영향을 미치기 때문에

다음의 경우를 고려하여 결과를 관찰하였다.

Case I은 현재 판매되고 있는 다양한 제조사의 4종류의 CD와 2종류의 DVD를 이용하였다. 제조사의 초기 잔류응력에 의한 차이를 확인하기 위해 다양한 제조사의 디스크를 사용하였다. CD와 DVD는 크기와 재료는 동일하지만 CD의 경우는 1.2 mm의 두께의 하나의 폴리카보네이트판을 사용하고 DVD는 0.6 mm의 두께의 판을 접착하여 사용하게 된다. Case II는 공기유동이 디스크 진동에 미치는 영향을 확인하기 위해 진공의 경우와 개방된 상태 그리고 상부와 하부에 아크릴로 제작된 벽을 설치하여 간격을 조절하면서 진동특성을 측정하였다. 실험에 앞서 각각의 디스크의 질량을 측정하였고 3200 rpm에서 10400 rpm까지 400 rpm의 간격으로 회전시켰다. LDV에 의해 측정된 속도를 0-200 Hz의 범위에 대해 0.25Hz의 샘플링 주파수 간격으로 하여 파워스펙트럼을 구하였다.

#### 3.2 실험 결과 및 고찰

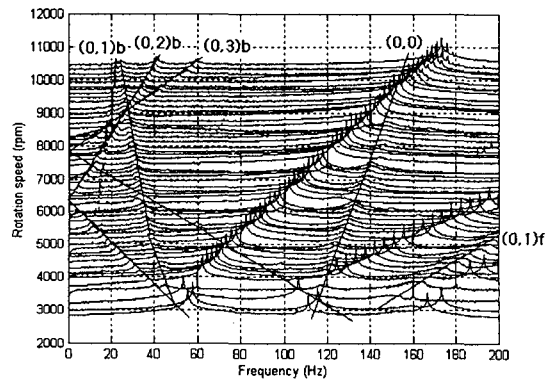


Fig 3 waterfall plot of CD in vacuum

Fig 3은 진공 챔버를 이용하여 측정된 CD의 Waterfall 그림을 보여준다. 실험에 의해 측정된 모드주파수 중 회전속도가 증가함에 따라 (0,2) 후진파 모드의 주파수는 감소하게 된다. 여기에선 (m,n)은 m개의 절원과 n개의 절직경을 갖는 진동모드를 뜻한다. 이때 (0,2) 후진파 모드가 고유주파수가 제로가 되는 임계속도를 가장 먼저 만나게 된다. 임계속도 이상에서는 외부의 외력이나 충격 또는 디스크 자체의 질량 불균형등으로 인해 디스크의 횡방향의 변위가 발산하게 되는 좌굴불안정성이 나타날 수 있다.

이와 동일한 실험을 개방된 상태에서 회전하는 다양한 디스크에 대해서 실험하였다. 회전수에 따르는 Waterfall 그림을 그린 후에 각 경우에서 고유주파수 비교를 쉽게 하기 위해서 임계속도를 구하여 Table 1에 비교하여 놓았다. 이를 살펴보면 같은 종류의 디스크라도 질량에서 최대 7.5 %의 차이가 나고 임계속도 역시 14.8 %까지 차이가 나타남을 확인할 수 있다. 질량의 차이가 임계속도에 영향을 크게 미치

지 못함을 볼 수 있는데 이는 (c)와 (d)의 경우 질량의 큰 차이에 비해 임계속도는 7.5 %의 질량의 차이에 비해 임계속도는 0.3 %의 차이를 보임을 확인할 수 있다. 질량의 차이는 디스크 외부에 코팅된 라벨과 사출성형시 질량의 오차로 기인된다. 또한 CD와 DVD의 임계속도를 비교해보면 DVD가 더 높은 임계속도를 갖음을 알 수 있다. CD와 DVD의 임계속도 차이는 제작 방법의 차이로 볼 수 있다. CD의 경우에 비해 DVD의 구조는 두개의 폴리카보네이트 판을 접착제로 겹쳐서 제조하였기 때문에 고유진동수가 증가하게 되어서 임계속도가 증가하게 된다.

Table 1 제조사에 따른 CD와 DVD의 질량과 임계속도

CD	CD-R	a	15.56	6,131
		b	15.29	5,751
CD	CD-ROM	c	14.90	6,752
		d	16.12	6,731
DVD	DVD-R	e	16.55	6,771
		f	16.00	6,909

Table 2 실험조건에 따른 CD와 DVD의 (0,2) 모드 임계속도

	CD	DVD
vacuum	6328.9	7141
open	6131.5	6909.5
5mm	5985	6780.8
3mm	6019.8	6779.8
1mm	5977.3	6772

다음으로 공기의 유동이 디스크 모드에 미치는 영향을 고려하기 위해 디스크의 위아래 덮개가 있는 경우에 대해서 디스크와의 간격을 1, 3, 5 mm 세 가지로 변화시켜가면서 실험을 수행한 후 그 결과를 앞의 진공 상태와 개방된 상태와 비교하였다. Table 2에 나타난 결과와 같이 진공상태에서 고유진동수가 가장 크게 나타나게 되는 데 이는 앞에서 이론적으로 살펴본 예측과 일치 한다. 개방된 경우와 덮개가 있는 경우에 대해서는 양력과 점성감쇠 그리고 탄성력이 복합적으로 작용하기 때문에 고유진동수의 증감을 이론적으로 예측할 수 없었지만 실험에서는 덮개가 있는 경우 즉 고정된 벽 가까이에서 디스크가 회전하는 경우가 개방된 경우보다 고유진동수가 감소함을 알 수 있다.

따라서 식 (21)에서 이론적으로 살펴본 바와 같이 공기층에 의한 탄성력 효과가 고유진동수의 증가 원인임에도 불구하고 공기유동에 의한 점성감쇠와 양력의 변화가 고유진동수를 감소시킴을 볼 수 있다. 양력의 경우 개방시킨 경우와 덮개가 있는 경우를 비교하면 덮개가 존재 시 회전속도가 증가함에 따라 디스크상부와 하부의 압력구배가 감소하게 되고 이로 인해 양력계수는 감소하게 된다. 한편 점성감쇠와 강성계수의 경우는 개방시킨 경우에 비해 덮개가 있는 경우

두 계수의 값이 증가되게 되고 간격이 줄어들수록 또한 이 값이 증가하게 된다 [10].

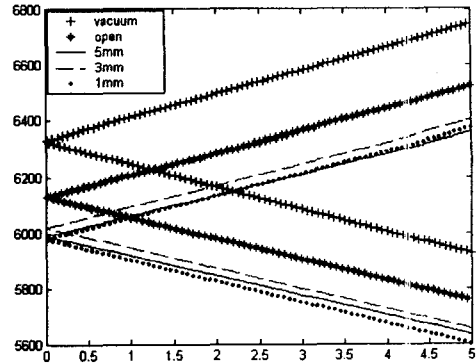


Fig 4 CD의 (0,2)후진파 모드 고유 주파수

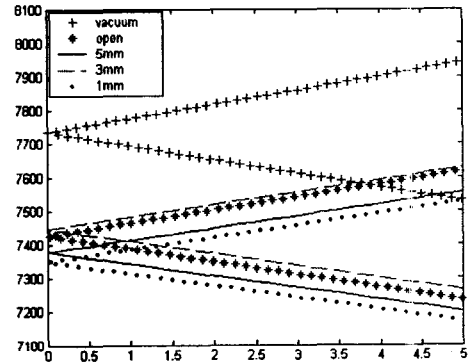


Fig 5 CD의 (0,3)후진파 모드 고유 주파수

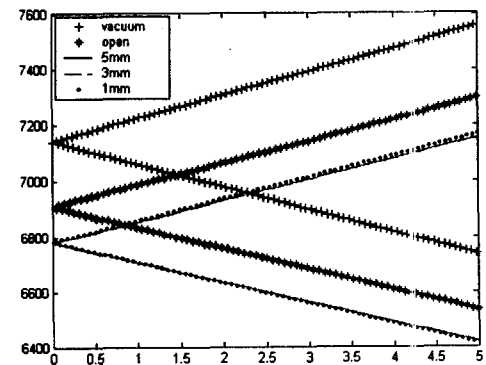


Fig 6 DVD의 (0,2)후진파 모드 고유 주파수

Table 2와 Fig 4-7는 각각 조건의 변화에 따른 CD와 DVD의 (0,2)와 (0,3) 모드의 후진파 고유진동수를 나타낸다. 모든 경우에 있어서 고유진동수 및 임계속도가 진공의 경우가 가장 크게 나타난다. 개방된 경우는 덮개가 있는 경우보

다는 높은 임계속도를 갖게 되는데 이는 공기층의 고령로 인한 탄성력의 증가에 비해 점성감쇠 계수의 증가와 양력계수의 감소의 영향이 더 크게 작용하였음을 확인할 수 있다. 다만 개방된 경우의 CD의 (0,3) 후진파 고유진동수가 3mm 간격의 경우가 조금 작게 나온다. 이는 개방된 경우의 (0,3) 후진파 모드의 고유진동수가 임계속도 이상에서만 명확하게 나타나서 결과로 얻은 데이터의 값의 부족으로 인해 생긴 오차로 보이므로 전체적인 경향에 영향을 미치지 않는다. 간격의 변화에 따라서 후진파의 고유진동수의 크기는 진공-개방-3mm-5mm-1mm의 순서로 나타난다.

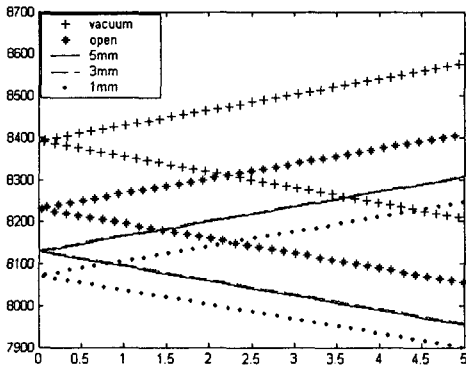


Fig 7 DVD의 (0,3)후진파 모드 고유 주파수

또한 간격의 조절로 인한 디스크 진동의 변화를 알아보기 위해 간격변화에 따른 디스크의 RMS 진폭 값을 Fig 8에 나타내었다. 고정된 벽과의 간격이 줄어들수록 디스크의 횡방향의 변위는 줄어들게 되는데 이는 강성계수의 증가와 디스크 상부와 하부의 압력구배의 감소로 기인한다.

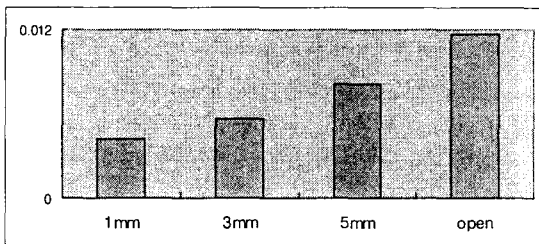


Fig 8 DVD의 간격에 따른 진폭 변화 (4000 rpm)

#### 4. 결 론

본 논문은 공기와의 연성에 의한 회전 디스크의 고유진동수의 변화를 이론적인 해석과 실험을 수행하였다. 이론적인 해석에서는 공기유동의 효과를 점성감쇠와 양력 및 탄성력을 단순화하여 디스크의 고유진동수를 이 세가지 변수의 explicit한 해로 구하였다. 그리고 진공챔버를 이용하여 공기

유동의 효과가 없을 때의 고유진동수와 개방된 상태 그리고 벽과의 간격을 조절하면서 후진파 고유진동수의 변화와 임계속도의 변화를 실험적으로 관찰하였다. 실험의 결과로는 고유진동수는 진공-개방-3mm-5mm-1mm의 순서로 관찰되었다. 디스크와 뒷개와의 간격이 줄어들수록 디스크 진동이 줄어들게 됨을 확인하였다. 또한 CD와 DVD의 진동특성에 차이가 있음을 확인하였고 이는 디스크 제작 과정상에 의한 차이로 고려된다.

#### 후 기

본 연구는 2002년 서강대학교 교내연구과제의 지원으로 연구되었으며 실험에 도움을 주신 연세대학교 정보저장기기 연구센터와 임윤철 교수님께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) I. Pelech and A. H. Shapiro, 1964 "Flexible Disk Rotating on a Gas Film Next to a Wall" ASME J of Applied Mechanics, Vol. 31 pp. 577-584.
- (2) B. C. Benson and D. B. Bogy, 1978 "Deflection of a very flexible spinning disk due to a stationary transverse load" ASME J of Applied Mechanics, Vol. 45 pp. 636-642.
- (3) R. Y. Wu and G. G. Adams, 1994 "The effects of baseplate warpage and skew on the configuration of a spinning flexible disk" ASME J of Tribology, Vol. 116 pp. 514-520.
- (4) K. Yasuda, T. Torii and T. Shimizu, 1992 "Self-excited oscillations of a circular disk rotating in air" JSME International Journal, Vol. 35 pp. 347-352
- (5) S. Chonan and Z. W. Jiang and Y. J. Shyu, 1992 "Stability analysis of a 2" floppy disk drive system and the optimum design of the disk stabilizer" Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 114 pp. 283-286
- (6) A. A. Renshaw, 1998 "Critical Speed for Floppy Disks" ASME J of Applied Mechanics, Vol. 65 pp. 116-120.
- (7) S.-Y. Lee, D.-W. Yoon and K. Park, 2003, "Aerodynamic Effect on Natural Frequency and Flutter Instability in Rotating Optical Disks" Microsystem Technologies, Vol. 9, No. 5 (to be published)
- (8) S.-Y. Lee, J. Yoon and S. Kim, 2002, "Critical and Flutter Speed of Optical Disks" Microsystem Technologies, Vol. 8, No. 2, pp. 206-211
- (9) H. Lamb and R. V. Southwell, 1921, "The Vibration of a Spinning Disk," Proceeding of the Royal Society, Vol. 99, pp. 272-280.
- (10) Schlichting, Hermann, 1979 "Boundary-layer theory" McGraw-Hill.