

초기응력을 갖는 차세대 광디스크의 진동 특성

김재관* · 이승엽**
(2000년 1월 26일 접수)

Vibration Characteristics of a New Optical Disk with Initial Stress

Jaegwan Kim and Seung-Yop Lee

Key Words: Free Vibration(자유진동), Rotating Disk(회전원판), Optical Disk(광디스크), CD-ROM, Initial Stress(초기응력), Critical Speed(임계속도)

Abstract

Free vibration characteristics of an initially stressed CD/DVD disk, which is designed for increasing critical speeds of current optical disks, are analyzed using the Rayleigh-Ritz technique based on variational formulations. Natural frequencies of the new disk depend on membrane stresses caused by disk rotation as well as residual stresses imposed during the cooling process of the injection molding. Critical speeds are calculated for the various initial patterns of radial and circumferential stresses. Initially imposed tensile stresses increase the natural frequencies of all the vibration modes except zero nodal diameter mode, whose natural frequency is independent of circumferential stress. A new disk with initial tensile stress of 0.5MPa is shown to have its critical speed about 30 % higher than the current optical disk.

1. 서론

1984년 세계 최초의 콤팩트 디스크(CD)가 개발된 이후로 다양한 정보저장기에 광디스크가 사용되어지고 있다. 최근의 개발 동향으로는 CD에서 고밀도 광디스크인 DVD(digital versatile disk)로의 전환과 데이터 전달율(data transfer rate)를 높이기 위한 디스크 회전속도의 고속화를 들 수 있다.⁽¹⁾ CD-ROM의 경우 2년 전 8배속의 회전속도에서 현재 최고속도가 9000 rpm 정도인 48배속 회전속도로 증가하였다. 회전속도가 증가되면서 디스크의 후진파(backward wave) 고유진동수가 감소하게 되는데 고유진동수가 영이 되는 회전속도를 임계속도(critical speed)라 정의하며 이때 정지한 횡방향 외력에 의해서 회전 디스크는 좌굴

(buckling) 불안정성을 일으킨다. CD-ROM이나 DVD-ROM 드라이브는 이미 초임계속도(super-critical speed)로 디스크가 회전하고 있으므로 디스크의 진동 저감 및 동적 안정성이 중요한 과제로 대두되고 있다.⁽²⁾

그 동안 고속 회전시 정보저장기 디스크의 진동 저감을 위한 다양한 방법들이 연구되어 왔는데 하드디스크의 경우에는 현재의 알루미늄 디스크에서 강성을 높인 다양한 대용 기판(alternative substrate)을 차세대 디스크로 고려하고 있다.⁽³⁾ 광디스크에서는 최근에 사출성형의 냉각 공정을 변화시킴으로 광디스크에 잔류응력을 이용하여 광디스크의 임계속도를 증가시키는 방법이 제시되었다.⁽⁴⁾ 디스크에 인장 응력을 가하게 되면 면방향(in-plane) 응력에 의한 위치에너지가 증가되어 디스크의 고유진동수와 임계속도가 증가하게 된다. 이를 통하여 동적 불안정성이 발생하는 디스크의 회전속도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 광픽업의 포커싱이나 트래킹의 위치 제어의 대역폭(bandwidth)을 증가시켜 제어 성능을 향상

* 서강대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 서강대학교 기계공학과

E-mail : sylee@ccs.sogang.ac.kr

TEL : (02)705-8638 FAX : (02)712-0799

시킬 수 있다. 초기응력에 의해 디스크의 진동을 줄이면서 회전속도를 증가시키는 방법은 나무 등을 잘라내는 원형톱에서 오래 전부터 응용되었다.^(5,6) 얇은 원형 링을 사용하여 디스크의 잔류응력을 줌으로써 원형톱의 가공속도를 증가시키는 방법,⁽⁷⁾ 다양한 초기응력 패턴을 줌으로써 원형톱 임계속도를 증가시키는 방법⁽⁸⁾ 등이 그 예이다. 이외에도 디스크의 안쪽 경계조건을 회전속도에 따라 변화시키거나⁽⁹⁾ 디스크 주위의 공기유동 패턴을 변화시킴으로 하드디스크 및 광디스크의 진동 안정성을 증가시키는 방법⁽¹¹⁾ 등이 연구되었다.

차세대 광디스크 개발을 위하여 최근에 제안된 새로운 사출성형법⁽³⁾은 디스크의 고유진동수를 증가시킬 수 있음을 실험적으로 증명하였으나 초기응력 패턴에 의한 고유진동수와 임계속도의 변화에 대한 이론적 해석은 이루어지지 않았다. 그러므로 본 연구는 새로운 광디스크 설계방법에 직접적으로 응용되도록 다양한 초기응력을 갖는 CD/DVD 디스크의 자유진동 특성과 임계속도 변화를 해석한다. Rayleigh-Ritz 방법을 사용하여 초기응력을 고려한 회전 디스크의 고유진동수와 임계속도를 계산하여 기존 디스크의 진동특성과 비교하며 광디스크의 최적설계에 응용되도록 한다.

2. 운동방정식

회전하는 디스크의 진동은 Lamb과 Southwell⁽¹²⁾ 이래로 많은 연구가 있어왔고,^(5,13,14) 최근에는 하드 및 광디스크를 포함한 정보저장기 분야의 진동해석에 응용되었다. Fig. 1과 같이 디스크가 Ω 의 속도로 회전할 때 디스크에 고정된 회전 좌표계를 이용하여 횡방향 진동 $w(r, \theta, t)$ 에 관한 운동방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \nabla^2 (D \nabla^2 w) - \frac{\partial}{\partial r} \left(r \sigma_r \frac{\partial w}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{r \partial \theta} \left(\sigma_\theta \frac{\partial w}{r \partial \theta} \right) = 0 \quad (1)$$

여기서 ρ 와 h 는 디스크의 밀도와 두께이며 D 는 디스크의 굽힘강성이다. 정지 관찰자에 바라본 절대 좌표 ϕ 와 회전 좌표와는 $\phi = \theta + \Omega t$ 의 관계가 성립한다. 그리고 안쪽 경계 $r=a$ 에서는 고정된 경계조건을 갖으며,

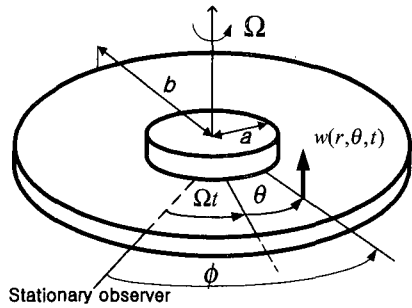


Fig. 1 Schematic of a rotating optical disk

$$w = \frac{\partial w}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

바깥쪽 경계 $r=b$ 에서는 자유단의 경계조건을 갖는다.

$$\frac{\partial}{\partial r} \nabla^2 w + (1-\nu) \frac{\partial^2}{r^2 \partial \theta^2} \left(\frac{\partial w}{\partial r} - \frac{w}{r} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \left(\frac{\partial w}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w}{r^2 \partial \theta^2} \right) = 0 \quad (4)$$

위의 운동방정식 (1)에서 σ_r 와 σ_θ 는 반경방향과 원주방향으로 작용하는 면방향(in-plane) 응력이며 본 연구에서 다루는 초기응력이 있는 회전 디스크에서는 회전에 의해 발생하는 값과 초기응력에 해당하는 값으로 나누어 생각할 수 있다.

$$\sigma_i = \sigma_i^{rot} + \sigma_i^{ini}, \quad i = r, \theta \quad (5)$$

여기서 회전에 의한 반경방향 및 원주방향 응력은 다음과 같다.

$$\sigma_r^{rot} = \frac{\rho \Omega^2 b^2}{8} \left[A_1 + \frac{A_2}{(r/b)^2} - (3+\nu) \left(\frac{r}{b} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\sigma_\theta^{rot} = \frac{\rho \Omega^2 b^2}{8} \left[A_1 - \frac{A_2}{(r/b)^2} - (1+3\nu) \left(\frac{r}{b} \right)^2 \right] \quad (7)$$

여기서, $A_1 = (1+\nu) \frac{(3+\nu) + (1-\nu)(a/b)^4}{(1+\nu) + (1-\nu)(a/b)^2}$ 이고,

$A_2 = (1-\nu) \left(\frac{a}{b} \right)^2 \frac{(3+\nu) - (1+\nu)(a/b)^2}{(1+\nu) + (1-\nu)(a/b)^2}$ 이다.

3. 자유진동 해석

본 논문에서는 Rayleigh-Ritz 방법을 이용하여 초기응력을 갖는 CD/DVD 디스크의 고유진동수를 구하고자 한다. 근사방법을 적용하기 위하여 운동방정식을 에너지 형태의 변분형으로 나타내면 다음과 같다.

$$\delta \left[\int_0^{2\pi} \int_a^b \left(\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 - \sigma_r \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2 - \sigma_\theta \left(\frac{\partial w}{r \partial \theta} \right)^2 - \frac{D}{2h} \left[(\nabla^2 w)^2 - 2(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right] - \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right) \right]^2 \right) \right] \right] h r dr d\theta \right] = 0 \quad (8)$$

그리고 방정식의 해를 다음과 같은 변수분리 형태로 가정한다.

$$w(r, \theta, t) = w_n(r, \theta) \cos \omega_n t = R(r) \cos n\theta \cos \omega_n t \quad (9)$$

여기서 w_n 과 ω_n 은 고유함수와 고유진동수를 나타낸다. 원주방향으로 n 개의 절점직경(nodal diameter)을 갖는 진동모드는 위와 같이 조화함수로 나타낼 수 있으나 반경방향으로 절점원(nodal circle)을 갖는 진동모드는 Bessel 함수의 형태로 나타난다. 일반적으로 저주파 모드는 절점원은 없고 절점직경만을 갖는 모드로 나타나기 때문에 본 연구에서는 계산의 용이성을 위해 반경방향 함수로 복잡한 Bessel 함수를 사용하지 않고 경계조건을 만족하는 다음과 같은 다항식 형태의 유사함수를 사용한다.

$$R(r) = (r-a)^2 (1 + c_1 r + c_2 r^2) \quad (10)$$

식 (10)은 필수경계조건을 만족하며 상수 c_1 과 c_2 는 자연경계조건에서 구할 수 있다. 식 (9)를 식 (8)에 대입하여 정리하면 고유함수의 운동에너지와 위치에너지로 표현할 수 있다.

$$T_n^* \omega_n^2 - U_{1n} - U_{2n} - U_{3n} = 0 \quad (11)$$

여기서

$$T_n^*(r, \theta) = \rho h \int_0^{2\pi} \int_a^b w_n^2 r dr d\theta, \quad (12)$$

$$U_{1n}(r, \theta) = \frac{D}{2} \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ (\nabla^2 w_n)^2 + 2(1-\nu) \times \left(\frac{\partial^2 w_n}{\partial r^2} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial w_n}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w_n}{\partial \theta^2} \right] - \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_n}{\partial \theta} \right) \right]^2 \right) \right\} r dr d\theta \quad (13)$$

$$U_{2n}(r, \theta) = h \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ \sigma_r^{ini} \left(\frac{\partial w_n}{\partial r} \right)^2 + \sigma_\theta^{ini} \left(\frac{\partial w_n}{r \partial \theta} \right)^2 \right\} r dr d\theta \quad (14)$$

$$U_{3n}(r, \theta) = h \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ \sigma_r^{rot} \left(\frac{\partial w_n}{\partial r} \right)^2 + \sigma_\theta^{rot} \left(\frac{\partial w_n}{r \partial \theta} \right)^2 \right\} r dr d\theta \quad (15)$$

이 때 식 (13)는 디스크의 굽힘강성에 의한 위치 에너지이며 식 (14)와 (15)는 각각 디스크의 초기

응력과 회전에 의한 면방향 응력이다. 최종적으로 식 (11)로부터 회전 좌표계에서 관찰된 디스크의 고유진동수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_n^2 = \frac{U_{1n} + U_{2n} + U_{3n}}{T_n^*} = \omega_{sn}^2 + \Omega^2 (\alpha_n + n^2 \beta_n) \quad (16)$$

여기서 $\omega_{sn} = (U_{1n} + U_{2n})/T_n^*$ 은 정지 디스크의 고유진동수를 나타내며 α_n 과 β_n 은 각각 디스크 회전에 의한 반경방향과 원주방향의 응력 효과를 나타내는 값으로

$$\alpha_n = \frac{1}{T_n^*} \int_0^{2\pi} \int_a^b \sigma_r^{rot} \left(\frac{\partial w_n}{\partial r} \right)^2 r dr d\theta, \quad (17)$$

$$\beta_n = \frac{1}{T_n^*} \int_0^{2\pi} \int_a^b \sigma_\theta^{rot} \left(\frac{w_n}{r} \right)^2 r dr d\theta \quad (18)$$

이다. 식 (17)의 고유진동수를 정지 관찰자가 바라본 정지 좌표계의 고유진동수로 변환하면 다음과 같이 전진파(forward wave) 및 후진파(backward wave) 고유진동수로 나타난다.

$$\omega_n^a = \sqrt{\omega_{sn}^2 + \Omega^2 (\alpha_n + n^2 \beta_n)} + n\Omega \quad (19)$$

$$\omega_n^b = \sqrt{\omega_{sn}^2 + \Omega^2 (\alpha_n + n^2 \beta_n)} - n\Omega \quad (20)$$

디스크의 회전속도가 증가하면서 식 (20)의 후진파 고유진동수는 감소하게 되는데 후진파 고유진동수는 영이 되는 회전속도를 임계속도(critical speed)라 정의하며 다음과 같이 나타난다.

$$\Omega_n^{cr} = \frac{\omega_{sn}}{\sqrt{n^2 (1 - \beta_n) - \alpha_n}} \quad (21)$$

일반적으로 디스크가 임계속도보다 큰 속도인 초임계속도에서 회전하게 될 때 정지한 횡방향 외력에 의해 좌굴(buckling) 불안정성이 일어난다. 하드디스크의 자기헤드나 광디스크와 근접한 광픽업이 이에 해당되는데 현재 임계속도의 30%에서 회전하는 하드디스크와 달리 CD-ROM와 DVD-ROM 드라이브에서는 이미 디스크가 초임계속도로 회전하고 있으므로 디스크의 임계속도를 높임으로 동적 안정성을 개선할 수 있다.

식 (16)을 이용한 정지 디스크의 고유진동수 값을 ABAQUS를 이용한 유한요소 해석값과 비교하여 Table 1에 나타내었다. 여기에서 사용된 CD의 물성치는 $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$, $E = 2.7 \text{ GPa}$, $\nu = 0.38$, $a = 15 \text{ mm}$, $b = 60 \text{ mm}$ 그리고 $h = 1.2 \text{ mm}$ 가 사용되었다. 본 해석에서 계산된 근사해와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 여기에서 (m, n) 은 m 개의 절점원과 n 개의 절점직경을 갖는 진동모드를 뜻

Table 1 Natural frequencies of stationary disk without initial stress (Hz)

Mode	Eq. (16)	FEM
(0,0)	148.52	145.05
(0,1)	141.96	138.71
(0,2)	172.44	172.48
(0,3)	307.87	311.51
(0,4)	537.34	533.91

Table 2 Critical speeds of vibration modes and corresponding values of α_n and β_n

Mode	α_n	β_n	Ω_n^{cr}
(0,0)	1.1174	0.2963	∞
(0,1)	1.1298	0.2932	∞
(0,2)	1.1618	0.2862	7950 rpm
(0,3)	1.1939	0.2798	8033 rpm
(0,4)	1.1983	0.2782	10221 rpm

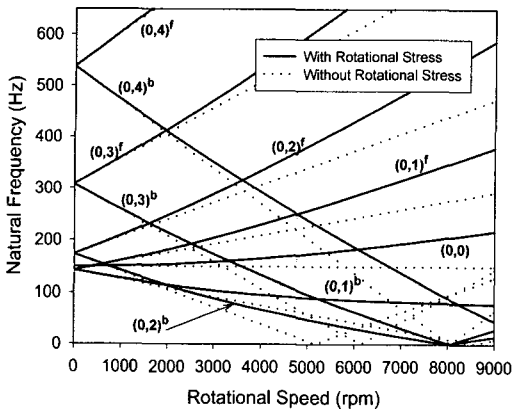


Fig. 2 Natural frequencies of a CD disk with (—), without (---) in-plane stress by disk rotation

한다. 초기응력이 없는 기존 CD 디스크의 처음 5개의 저주파 모드의 임계속도를 계산하여 Table 2에 나타내었다. (0,0)모드와 (0,1)모드는 회전속도가 계속 증가하여도 후진파 고유진동수가 영이 되지 않고 임계속도는 무한대가 되는데 이는 기존의 결과와 일치한다.⁽¹⁴⁾

Fig. 2는 식 (19)과 (20)을 이용하여 회전응력

을 고려하였을 경우와 정지 관측자의 입장에서 회전으로 인한 면방향 응력을 고려하지 않았을 경우를 비교하여 초기응력이 없는 기존의 CD 디스크의 고유진동수를 나타낸다. 그림에서 위 첨자 f 와 b 는 각각 전진파와 후진파 모드를 뜻한다. 실선으로 표시한 것이 회전응력을 고려한 경우인데 2개의 절점직경을 갖는 후진파 (0,2)^b모드가 가장 먼저 고유진동수가 영이 되며 그 임계회전속도는 약 7950 rpm으로 나타낸다. 그림에서 점선으로 나타난 회전에 의한 면방향 응력을 고려하지 않은 경우는 α_n 과 β_n 은 영이 되고 임계속도는 $\Omega_n^{cr} = \omega_{sn}/n$ 이며 이를 계산하면 약 5170 rpm으로 나타낸다.

4. 초기응력에 의한 고유진동수의 변화

디스크에 초기응력을 부여함으로써 증가되는 디스크의 위치에너지는 식 (14)로 나타나는데 이를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_{2n} = h \int_0^{2\pi} \int_a^b \left\{ \sigma_r^{ini} \left(\frac{\partial w_n}{\partial r} \right)^2 + n^2 \sigma_\theta^{ini} \left(\frac{w_n}{r} \right)^2 \right\} r dr d\theta \tag{22}$$

여기서 $\left(\frac{\partial w_n}{\partial r} \right)^2$ 과 $n^2 \left(\frac{w_n}{r} \right)^2$ 은 항상 양의 값을 가지므로 디스크에 인장응력을 부여하면 위치에너지는 증가하게 되어 고유진동수도 따라서 증가하게 된다. 그와 반대로 압축응력을 부여할 경우에는 고유진동수는 감소하게 된다. $n=0$ 일 때는 원주방향 응력 σ_θ 에 의한 위치에너지의 증감이 없으므로 절점원이 없는 모드의 고유진동수는 원주방향 응력에 대해 변화가 없다.

4.1 정지 디스크의 고유진동수 변화

디스크의 초기응력은 주로 사출성형시의 냉각 속도 차이에 의해 부여된다. 광디스크의 사출성형시 분자 배향 차이 및 온도 구배를 인위적으로 부여하여 차별수축을 만들어 내고 이것이 디스크에 1~10 MPa 정도의 잔류응력을 만들어 낼 수 있다.⁽³⁾ 앞에서 유도된 고유진동수에 대한 식을 이용하여 다음의 세 가지 초기응력 패턴에 따른 정지 디스크의 고유진동수를 Table 3에 나타내었다. 초기응력의 패턴 중 Case I은 0.5 MPa 반경방향 초기응력만을 디스크 전체에 을 부여했을 때

이며 Case II는 원주방향의 초기응력을 안쪽 경계에서 0.5 MPa, 바깥쪽 경계에서 -0.5 MPa를 갖도록 선형적으로 분포시켰을 경우이고 Case III은 반경방향과 원주방향으로 모두 0.5 MPa의 일정한 초기응력을 부여했을 경우이다. 반경방향으로만 0.5 MPa의 초기응력을 준 Case I보다 양방향으로 초기응력을 가한 Case III에서 고유진동수가 더 많이 증가함을 알 수 있다. Case II의 경우는 (0,0) 모드를 제외한 모든 모드의 고유진동수가 감소하게 된다. 이는 원주방향 응력이 안쪽 경계에는 인장력을 바깥쪽 경계에는 압축력을 갖도록 선형적으로 분포시켰기 때문에 전체적으로 압축력을 갖게 되고 식 (22)의 값이 음수가 되기 때문이다. 또한 원주방향 응력은 절점직경 수의 제곱 (n^2)에 비례하여 디스크에 작용하게 되므로 (0,0) 모드의 고유진동수는 변화가 없게 된다.

Table 3 Natural frequencies of stationary disks with various initial stresses (Hz)

	Without Initial Stress	Case I	Case II	Case III
(0,0)	148.52	199.86	148.52	199.86
(0,1)	141.96	197.08	133.80	207.42
(0,2)	172.44	224.84	143.46	258.96
(0,3)	307.87	343.02	270.90	392.87
(0,4)	537.34	560.34	501.50	615.55

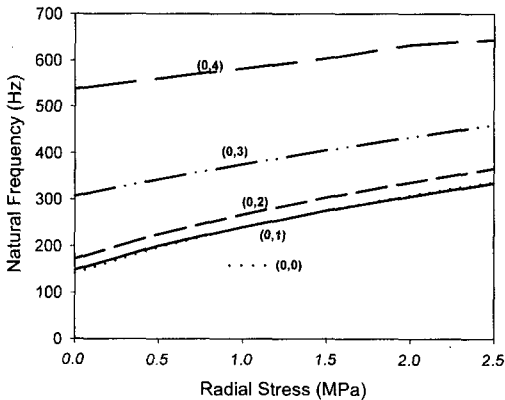


Fig. 3 Natural frequencies of a stationary CD disk vs. radial stress in Case I

Fig. 3은 Case I에서 반경방향으로 일정하게 초기응력을 증가시켰을 때 정지 디스크 진동 모드의 고유진동수의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 모든 모드의 고유진동수가 일정한 패턴으로 증가함을 알 수 있다. 반경방향 응력의 변화에 따른 정지 디스크의 고유진동수의 변화를 알아보기 위해 Case II의 최대 응력값인 안쪽 경계의 인장력과 바깥쪽 경계의 압축력의 값을 변화시켰을 때 고유진동수의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이론적으로 예측한 바와 같이 (0,0) 모드의 고유진동수는 일정하며 (0,1) 모드의 고유진동수는 다른 고차 모드보다 변화량이 작음을 알 수 있다.

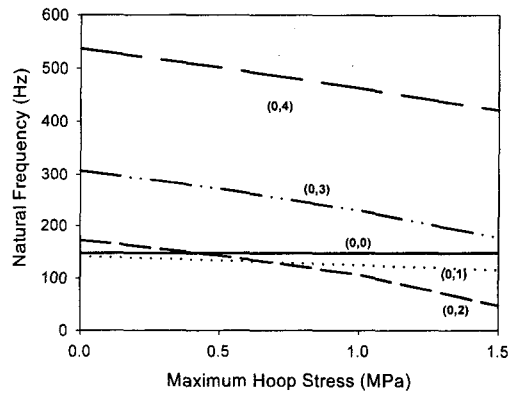


Fig. 4 Natural frequencies of a stationary CD disk vs. maximum hoop stress of Case III

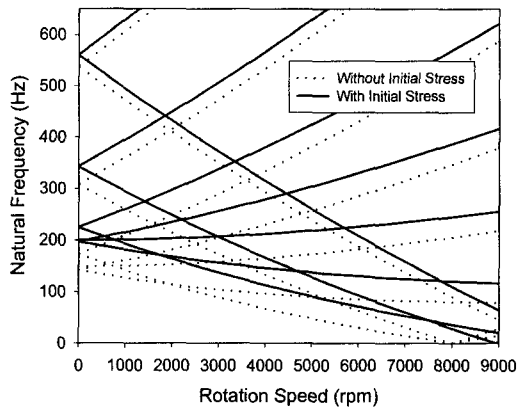


Fig. 5 Natural frequencies of a CD disk: with (—), without (---) initial stress of 0.5MPa (Case I)

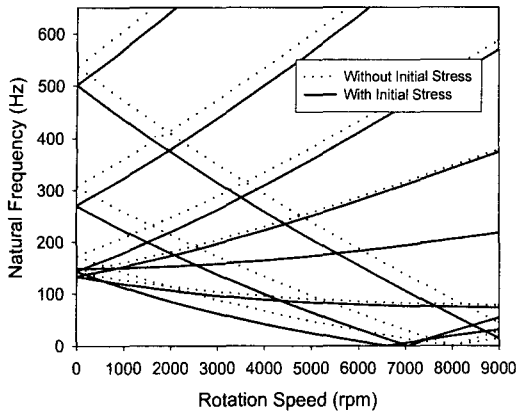


Fig. 6 Natural frequencies of a CD disk: with(—), without (· · ·) initial stress (Case II)

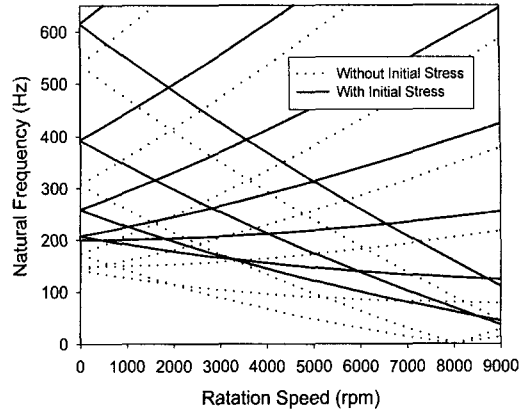


Fig. 7 Natural frequencies of a CD disk: with(—), without (· · ·) initial stress (Case III)

4.2 회전 디스크의 고유진동수 변화

앞의 세가지 초기응력에 대하여 광디스크의 회전속도에 따른 진진파와 후진파 고유진동수의 변화는 식 (21)과 (22)로부터 구할 수 있다. 먼저 Fig. 5는 광디스크의 반경방향으로 0.5 MPa의 일정한 초기인장응력을 주었을 때 (Case I) 회전속도에 따른 고유진동수의 변화를 초기응력이 없는 기존의 디스크와 비교하여 나타내었다. 초기응력에 의해 모든 모드의 고유진동수가 증가한다. 기존의 디스크에서는 (0,2) 모드가 7950 rpm에서 임계속도를 갖는 반면 초기응력을 가한 경우 식 (21)로부터 (0,3) 모드가 약 8950 rpm에서 먼저 임계속도를 갖게 된다.

Fig. 6은 안쪽 경계는 0.5 MPa, 바깥쪽 경계는 -0.5 MPa의 원주방향으로 초기 응력을 갖도록 선형적으로 분포시켰을 경우 (Case II) 고유진동수의 변화를 나타낸다. 디스크 전체적으로 압축력에 의한 효과가 크므로 (0,0) 모드를 제외하고 모든 진진파 및 후진파 고유진동수가 감소한다. 임계속도도 따라서 감소하게 되는데 (0,2) 모드가 약 6614 rpm에서 임계속도를 갖는다.

Fig. 7은 반경방향과 원주방향으로 모두 0.5 MPa의 일정한 응력을 모두 주었을 경우 (Case III) 디스크의 고유진동수를 나타낸다. 모든 모드의 고유진동수가 증가되고 (0,3) 모드가 10251 rpm의 임계속도를 갖게 된다. 이는 초기응력이 없는 기존 디스크와 비교할 때 임계속도가 29 %

Table 4 Critical speeds and modes for three cases of initial stress

	Without Initial Stress	Case I	Case II	Case III
Critical Speed (rpm)	7950	8950	6614	10251
Critical Mode	(0,2)	(0,3)	(0,2)	(0,3)
Change (%)	-	12.57	-16.81	28.94

증가한 값이다. 앞에서 계산된 세 가지 초기응력 패턴에 대한 임계속도와 임계모드 그리고 임계속도의 증감비를 정리하여 Table 4에 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 차세대 CD 및 DVD-ROM 드라이브용 광디스크로 제안된 초기응력을 갖는 디스크의 자유진동 특성을 해석하였다. Rayleigh-Ritz 방법을 이용하여 다양한 초기응력 패턴에 대해서 회전 디스크의 고유진동수의 변화와 임계회전속도를 쉽게 예측하는 방법을 제시하였다. 디스크 전체에 0.5 MPa의 초기 인장력을 갖도록 한다면 기존의 광디스크에 비해서 약 30% 정도의 임계

속도의 증가를 가져오게 되어 현재 초입계 회전 속도에서 회전하는 광디스크의 동적 안정성을 증가시킬 수 있다. 본 연구에서 유도된 초기응력과 회전응력에 의해서 생기는 고유진동수에 대한 변화는 향후 차세대 광디스크용으로 제안되는 새로운 사출성형방법의 초기응력 패턴을 고려하는데 응용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호 981-1002-013-2) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드리며 연구에 도움을 주신 LG전자 김수경 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Lee, S.-Y. and Kim, S., 1998, "Mechanical Issues in Optical Disk Drives," *the 9th Symposium on Information Storage and Processing Systems, IMECE, ISPS-Vol. 4*, pp. 81~90.
- (2) 이승엽, 1999, "정보저장기기의 회전 디스크 임계속도에 관한 연구," 한국소음진동공학회 1999년도 춘계학술대회 논문집, pp. 185~191.
- (3) McAllister, J., 1997, "Characterization of Disk Vibrations on Aluminum and Alternative Substrates," *IEEE transactions on Magnetics*, Vol. 33, No. 1, pp. 968~973.
- (4) Park, S. J., Kim, S. K. and Lee, C. Y., 1999, "Vibration characteristics and birefringence of optical disk considering initial stress," *SPIE (Optomechanical Engineering and Vibration Control)*, Vol. 3786, pp. 106~115.
- (5) Mote, C. D., 1965, "Free Vibration of Initially Stressed Circular Disks," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 87, pp. 285~264.
- (6) Mote, C. D. and Szymani, R., 1978, "Circular Saw Vibration Research," *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 10, pp. 15~30.
- (7) Dugdale, D. S., 1966, "Theory of Circular Saw Tensioning," *International Journal of Production Research*, Vol. 4, pp. 237~248.
- (8) Parker, R. G. and Mote, C. D., 1991, "Tuning of the Natural Frequency Spectrum of a Circular Plate by in Plane Stress," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 145, No. 1, pp. 95~110.
- (9) Renshaw, A. A., 1998, "Increasing the Maximum Stable Rotation Speed of a Circular Disk Using Speed Dependent Clamping," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 210, No. 4, pp. 431~439.
- (10) Park, G., Song, I., Kim, S. and Lee, S. Y., 2000, "Airflow and Sound Induced by Disk Rotation in DVD-ROM drives, Part I: Effect of Design Parameters," *Journal of Information Storage and Processing System*, Vol. 2, No. 1, pp. 3~11.
- (11) Renshaw, A. A., 1998, Critical Speed for Floppy Disks, *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 65, pp. 116~120.
- (12) Lamb, H. and Southwell, R. V., 1921, "The Vibration of a Spinning Disk," *Proceeding of the Royal Society*, Vol. 99, pp. 272~280.
- (13) Eversman, W. and Dodson, R. O., 1969, "Free Vibration of a Centrally Clamped Spinning Circular Disk," *AIAA Journal*, Vol. 7, No. 10, pp. 2010~2012.
- (14) Chung, J. T., Kang, N. C. and Lee, J. M., 1966, "A Study on Free Vibration of a Spinning Disk," *KSME International Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 138~145.
- (15) Renshaw, A. A. and Mote, C. D., 1993, "Absence of one nodal diameter critical speed modes in an axisymmetric rotating disk," *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 59, pp. 687~688.