대한기계학회 2000년도 추계학술대회논문집 A pp. 159~164 KSME 00F013

80 ㎜ 광 디스크 홀더의 변형량 해석 및 실험적 검증

김진곤[1] • 최한국[2] • 박인식[2]

Deformation Analysis and Experimental Verification of 80mm Optical Disk Holder

Jin Gon Kim, Han Kook Choi and In Sik Park

Key Words : Optical Disk Holder(광디스크 홀더), Creep Modulus(크리프 계수), DVD Cartridge(Digital Video Disk Cartridge)

Abstract

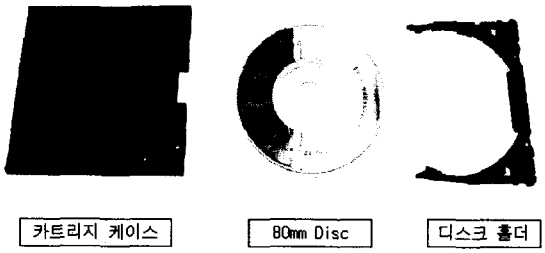
In this study, the deformation analysis of 80mm optical disk holder considering the creep characteristics of plastic materials has been conducted and experimentally verified. It is very important to remedy the unrecoverable creep deformation and relaxation of holding force of an optical disk holder for the reliability of DVDR-P, DVD-ROM. A disk holder inserted in a cartridge case has been kept in the chamber with 60°C temperature and 90% humidity for 24 hours. After storage test, the arm span and holding force of a disk holder have been measured after 24 hours at room temperature and normal humidity. The predicted results are in good agreement with experimentally measured one.

1. 서 론

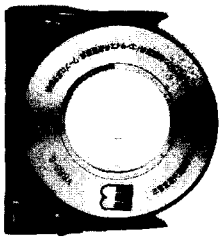
디지탈 네트워크(Digital Network) 시대를 맞이하여, 광 기록 재생 장치는 80 년대 CDP, CD-ROM 등의 개발을 시작으로 하여, 1990 년대 중반 이후에는 DVD-P(Digital Video Disk Player), DVD-ROM(Read Only Memory)가 개발되어 기존의 VTR(Video Tape Recorder) 시장을 대체할 차세대 기술로 최근 주목을 받고 있다. 특히, DVD 의 고밀도, 고속화에 따른 방진과 같은 기계적 메커니즘의 정밀도 및 광학적 정밀도에 대한 요구가 갈수록 엄격해지고, 따라서 이에 대한 연구가 산업계 및 학계에서 활발히 이루어지고 있다.

광 기록 재생 장치에 사용되는 광디스크의 직경은 120 ㎜와 80 ㎜로 나누어지며, 사용환경에 따라 거치형과 휴대형기기로 구분할 수 있다. 고용량, 고밀도 광디스크의 기록 및 재생의 안정성을 확보하고 광디스크를 보호하기 위해 Fig. 1 과 같은 카트리지를 사용한다. 특히 디스크에 지문, 긁힘, 먼지 등으로 인하여 기록 재생 시 데이터의 열화가 발생될 수 있고, 이로 인한 오류가 발생하기도 한다. 이러한 문제점을 해결하고, 광디스크를 보호하기 위해 사용하는 카트리지는 기존 제품과의 호환성, 취급의 용이성, 그리고 신뢰성 확보가 필수적이다. 하지만, DVD-ROM, DVD-RAM(Random Access Memory)에 대한 연구는 고배속 추세에 따른 데크 메커니즘의 진동/소음 문제에 대해 대부분 이루어져 왔으며[1~3], 데크 메커니즘의 신뢰성에 큰 영향을 주는 디스크를 감싸고 있는 Fig. 1 과 같은 카트리지 구조에 대한 연구는 미미한 상황이다. 특히, 캠코더나 휴대용 컴퓨터 등에 널리 사용되고 있는 80mm 광디스크를 직접 손으로 접촉하지 않고 압착하여 카트리지 케이스 내에 광디

[1] 삼성전자 경영혁신 E-CIM 팀
[2] 삼성전자 중앙연구소



(a)



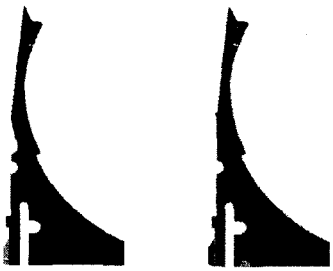
(b)

Fig. 1 Structure of 80mm DVD-RAM cartridge

스크를 삽입하고 인출하기 위해 사용되는 플라스틱 사출물인 광디스크 홀더의 크리프(creep) 변형 문제나 이에 따른 디스크 구속력 완화 등은 제품의 신뢰성 확보를 위해 필수적인 해결 사항이다. 따라서, 본 연구에서는 플라스틱 사출물인 광디스크 홀더의 고온 하에서 일정하중을 받으면서 장시간에 걸쳐 방치한 상태에서 발생하는 크리프 변형량과 이로 인한 광디스크 구속력 완화량을 해석을 통하여 추정하였다. 제품의 유한요소모델링과 해석에는 I-DEAS 7.0 을[4] 이용하였으며, 실제 신뢰성 실험결과와 비교를 통하여 해석결과의 신뢰성을 검증하였다. 디스크 홀더의 실험 조건은, 60°C 의 온도와 90%의 습도를 가지는 밀실(chamber)에 24 시간 동안 카트리지에 들어간 상태로 놓아둔 후, 다시 실온과 정상습도 상태에 24 시간 방치 후 디스크 홀더의 복원되지 않는 변형량과 디스크 구속력을 측정하였다. 본 연구를 통하여, 상기의 문제점을 개선할 수 있는 적절한 재질을 선정할 수 있었으며, 해석결과를 바탕으로 제품의 재질 및 구조적 개선 방안을 찾을 수 있었다.

2. 구조해석

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 2 종류의 디스크 홀더를 고려하였으며, 제품의 유한요소 모델링은 대칭성을 이용하여 Fig. 3 과 같이 15000 개 내외의 사면체 요소를 사용하여 반쪽만 모델링하였다. 그리고 Fig. 3 에 표시된 바와 같이 아래쪽 부분을



(a) Type A (b) Type B

Fig. 2 Half side of disk holder

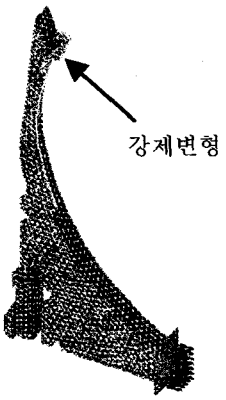


Fig. 3 Finite element modelling and boundary conditions

Table 1. Loading Conditions

조건	상태	강제변형량 (mm)
1	Holder 에 디스크를 삽입하여, 최대로 확장된 상태	2.25
2	Holder 에 디스크를 삽입한 상태	0.54
3	Holder 를 카트리지에 삽입한 상태	1.21

대칭 조건을 이용하여 구속하였으며, 홀더의 위쪽 부분에 표 1 과 같이 세 가지 경우의 강제 변형량을 하중 조건으로 주어 선형 정적 해석을 수행하였다. 제품의 해석에 사용된 재질은 ABS 는 Terluran 877M, PC 는 MAKROLON 2205 와 PC 에 단섬유(fiber)가 20% 보강된 3 가지 재질을 사용하였다. 각각의 응력-변형률 곡선은 Fig. 4 와 같다. 변형률이 0.75%보다 커지게 되어 선형범위를 넘어서게 되면, secant modulus E_s를 이용하여 변형

Table 2. Material properties

Material	Initial Modulus	Poisson's Ratio
ABS (Terluran 877M)	2400Mpa	0.38
PC (MAKROLON 2205)	2300Mpa	0.37
PC (fiber 20%)	4000MPa	0.37

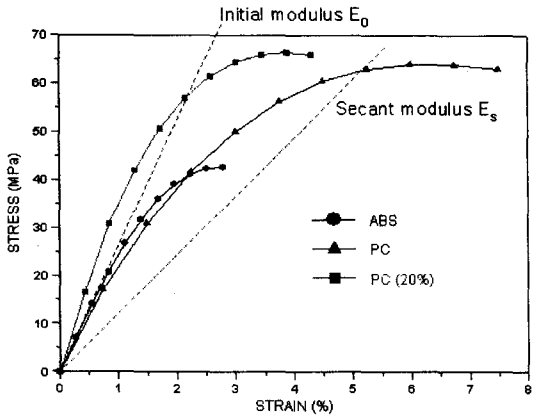


Fig. 4 Stress-strain relations at 23°C room temperature(ABS: Terluran 877M, PC: MAKROLON 2205)

등을 계산하여야 한다. Secant modulus E_s는 Hooke의 법칙를 사용하여 0.75%를 초과하는 변형률에 대 한 응력비로 정의된다.[5]

표 1의 하중 조건과, Fig. 4의 물성을 이용하여 디스크 홀더 암의 편측을 해석한 결과는 다음과 같다. Fig. 5는 ABS 재질을 사용한 B 타입 모델에서 2.25mm의 강제 변형량이 가해지는 경우 Von-Mises 응력 분포를 보여주는 그림이다. 최대 응력이 약 34MPa로 ABS의 항복응력 55MPa에는 미치지 못함을 알 수 있으며, 따라서 Fig. 5의 점 패선으로 표시된 응력 집중부에서 소성변형과 같은 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

3. 디스크 인발력 계산

디스크가 홀더에 삽입된 후, 홀더로부터 디스크가 이탈되지 않기 위해서는 적절한 디스크 인발력을 가져야 한다. 디스크의 인발력 F_a은 사출물의 결합력를 계산하는 아래의 식으로부터, 유도해 낼 수 있다.[5]

Table 3. Analysis results of disk holder subjected to loading condition in Table 1.

해석 조건 (강제 변형 량)	재질	모델	반발력(g)	최대변형률 (%)	E_s/E_0	E_s/E_0 보정 후 반발력 (g)
2.25mm	ABS	A	154.0	1.25	0.970	149.4
		B	176.9	1.42	0.940	166.3
	PC	A	145.4	1.36	0.915	149.4
		B	168.0	1.43	0.906	166.3
	PC (20%)	A	252.8	1.36	0.768	194.2
		B	292.2	1.43	0.756	221.0
0.54mm	ABS	A	36.7	0.33	1.000	36.7
		B	42.5	0.34	1.000	42.5
	PC	A	34.9	0.33	1.000	34.9
		B	40.4	0.34	1.000	40.4
	PC(20 %)	A	70.6	0.33	1.000	70.6
		B	82.1	0.34	1.000	82.1
1.21mm	ABS	A	82.4	0.73	1.000	82.4
		B	95.1	0.76	0.994	94.5
	PC	A	78.2	0.73	1.000	78.2
		B	90.4	0.77	0.997	90.1
	PC(20 %)	A	135.9	0.73	0.876	119.0
		B	157.1	0.77	0.869	136.2

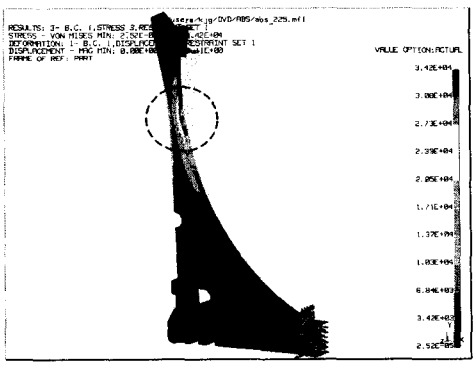


Fig. 5 Von Mises stress distribution of B type model subjected to loding condition 1(2.25mm forced displacement)

$$F_a = F_d\left[\frac{\mu+\tan\alpha}{1-\mu\tan\alpha}\right] \quad (1)$$

위 식에서, μ는 마찰계수이고, F_d는 반발력을 그리고 α는 인입각(lead-in angle)을 나타낸다. 재료의 마찰계수는 ABS는 0.5~0.6이고 PC는 0.35~0.4이다.

원의 방정식에 의해 각 경우의 y좌표와, 그 때의 인입각 α값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

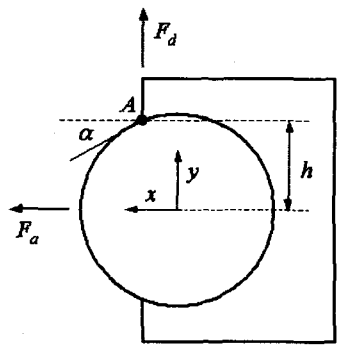


Fig. 6 Disk and holder snap-fit design

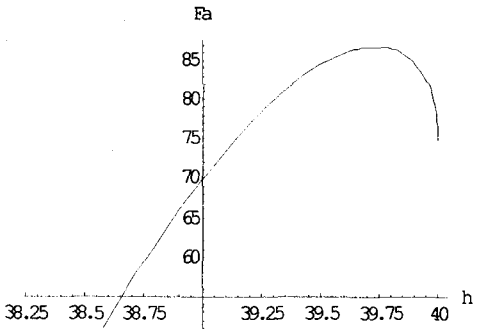


Fig. 7 Variation of drag force F_a to height h of holder at point A of Model A with ABS material

Table 4. Reaction force and maximum drag force of models with various material properties

Material	Model	H	F_d	$F_{a\|max}$
ABS	A	39.744	133.36	86.79
	B	39.709	147.42	97.49
PC	A	39.778	133.78	85.58
	B	39.743	147.66	96.10
PC(20%)	A	39.675	170.69	114.58
	B	39.669	193.93	130.50

$$h = \sqrt{40^2 - x^2}\ ;\ \alpha = |\arctan\frac{dh}{dx}| \qquad (2)$$

호의 인발력 F_a는 기하학적으로 단순한 모델에서는 변위에 선형적으로 비례하지만, 본 해석에서는 각 경우 Fig. 7과 같이 선형적으로 비례하지 않았다. 따라서, 표 1에서 구한 3가지의 강제 변형량에 대한 반발력 F_d를 이차함수로 보간하여 각 변형 위치에 대한 인발력 F_a을 계산하여 각 경우에 대한 최대 인발력을 표 4에 정리하였다. 디스크 홀더에서 A 지점의 높이 h는 디스크가 완전히 삽입된 경우는 75.84mm 이며, 빼내는 경우 최대 80mm 까지의 범위의 값이다.

결과로부터 ABS 와 PC 의 경우 재질에 따른 인발력 차이는 미미하였으며, 20% fiber 가 보강된 PC 의 경우 30%이상 큰 인발력을 가지게 됨을 알 수 있다.

4. 홀더의 비복원 변형량 계산

60℃, 90% 습도의 체임버에서 24 시간동안 디스크 홀더를 카트리지에 삽입하여 방치하였을 때, 응력완화에 의해 저하된 반발력이 발생하고, 또한 강제 변형이 사라진 후에도 일부 복원되지 않는 변형이 발생하게 된다. 디스크 홀더를 카트리지에 삽입한 상태의 반발력 F_d(23℃ 의 초기온도상태, 표 1 참고)로부터, 60℃ x 24 시간 경과 후 응력완화에 의해 저하된 $F_d(t)$는 각 재료의 시간에 대한 크리프 계수의 실험 자료로부터 다음과 같이 구할 수 있다. (크리프 계수의 자료에서 사용한 응력수준은 1.21mm 강제 변형을 가하는 경우 홀더에 발생되는 최대응력 값으로 하였다.)

$$F_d(t) = F_d \times E(t)/E_0 \qquad (3)$$

여기서,

$E(t)$ = 60℃ x 24 시간 후의 탄성계수
E_0 = 초기 탄성계수

이 때, 변형량과 반발력이 선형비례관계라는 가정으로부터 저하된 반발력 $F_d(t)$로 인하여 복원되지 않는 변형량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d = 1.21\text{mm} \times (1 - F_d(t)/F_d) \qquad (4)$$

먼저, 각 재료의 시간에 대한 크리프 계수의 변형 곡선은 Fig. 8~10 과 같다. 홀더의 각 재질에 대한 24 시간 후의 완화된 탄성계수 E_t값을 Mathematica 를[6] 이용하여 응력 s에 대한 함수로 보간하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_t^{ABS}(s) = 521.8 + 1103.8 * e^{(1.2-s)/4.36} \qquad (5)$$

$$E_t^{PC}(s) = 1514.5 - 2.3s - 0.38s^2 \qquad (6)$$

$$E_t^{PC_20\%}(s) = 3254.2 + 9.99s - 1.19s^2 \qquad (7)$$

표 5 에서, ABS 와 PC 의 경우 해석을 통하여 추정한 결과가 실제 실험 결과와 상당히 유사함을 확인할 수 있다. 20% 단섬유가 함유된 경우, 실험에서 LG 화학 G2200(PC 20%) 재질을 가지는 제품에 대해 실험을 하였으며, 재료 물성값의 차이로 인해 해석결과와 약간의 차이를 보였다. 결과로부터 모델의 기하학적인 형상 차이에 의한 영향은 크지 않았으며, PC 를 사용하는 경우 비복원 변형량을

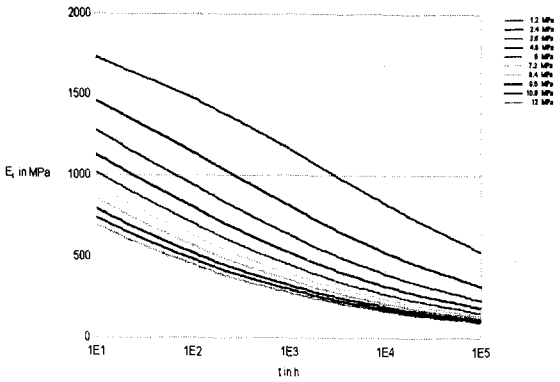


Fig. 8 Creep modulus-time for ABS Terluran 877M

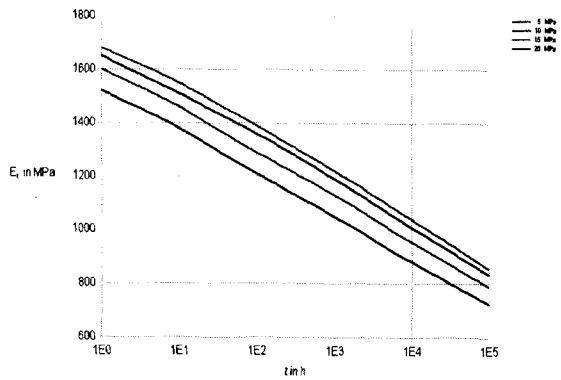


Fig. 9 Creep modulus-time for PC MAKROLON 2205

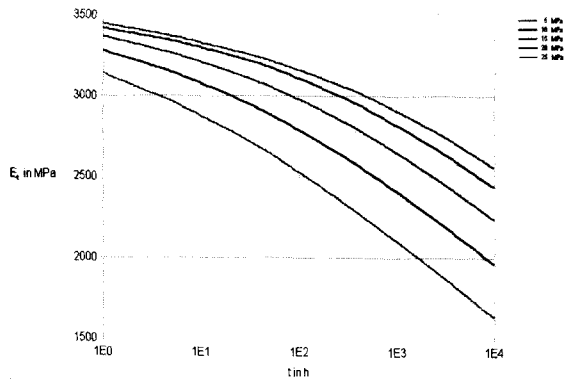


Fig. 10 Creep-modulus-time for PC(20% fibre) MAKROLON 8025

절반정도 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 단섬유 보강에 의한 효과는 해석이나 실험결과로부터 크지 않음을 확 인할 수 있었다. 결과로부터, ABS 는 디스크 홀딩력 감소와 복원되지 않는

Table 5. Unrecoverable deformation and relaxation of disk holding force of holder

		E_t (Mpa)	F_d	$F_d(t)$	d (해석)	d (실험)
ABS	A	543	82.4	18.6	0.942	0.96
	B	540	94.5	21.3	0.938	0.91
PC	A	1369	78.2	46.5	0.490	0.49
	B	1355	90.1	53.1	0.497	0.50
PC (20%)	A	2528	119.0	75.2	0.445	0.59
	B	2429	136.2	82.7	0.475	0.62

변형량으로 인하여 사용상에 문제가 있는 것으로 판단되며, 단섬유를 함유한 재질을 사용할 경우 디스크와의 접촉에 의한 유리섬유 분말이 광픽업에 미치는 영향도 고려하 여야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 광 디스크 홀더의 크리프 특성으로 인해 고온하의 일정 하중하에서 복원되지 않는 변형량과 디스크 홀딩력 감소량을 해석을 통하여 추정하였으며, 해석적 결과를 실험 결과와 비교하여 신뢰성을 검증하였으며, 이로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 모델의 기하학적인 형상에 의한 홀더의 크리프 특성에 의해 복원되지 않는 변형량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

(2) ABS 보다는 PC 를 사용하는 경우가 비복원 변형량이 절반으로 감소하였으며, 비복원 변형량은 감소시킬 수 없지만 저하된 반발력을 키우기 위해서는 단섬유가 포함된 PC 를 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

(3) 비복원 변형량의 예측시, Fig. 8~10 의 시간에 대한 크리프 특성 자료만으로 대략적인 변형량을 예측할 수 있음을 실험값과의 비교를 통하여 확인할 수 있었다.

(4) ABS 와 PC 의 경우 재질에 따른 인발력 차이는 미미하였으며, 단섬유가 20% 보강된 PC 의 경우 홀더의 디스크 인발력이 30% 이상 커졌다.

(5) 재질은 해석 및 실험결과로 보아 PC 재질을 사용하고, 응력집중이 되는 부위의 두께치수를 보완하여, 디스크 홀딩력을 높여주고 최대응력치를 감소시킬 수 있을 것으로 보인다. 최대 응력이 감소하면 크리프 특성에

의해 복원되지 않는 홀더의 변형량을 줄일 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

(1) 노대성, 정진태, 1997, "광 디스크 드라이브의 메커니즘과 진동.소음," 한국소음진동공학회지, 제 7 권, pp. 362~368

(2) 이문구, 권대갑, 1997, "광픽업 미세구동부의 최적설계," 대한기계학회, 제 21 권, pp. 819~827.

(3) 박건순, 임종락, 한용회, 손희기, 1998, "광디스크 드라이브의 진동특성에 대한 유한요소해석," 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 227~232.

(4) I-DEAS Course Guide, Structural Dynamics Research Corporation

(5) Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Down Chemical Company

(6) Stephen Wolfram, Mathematica, second edition, Addison Wesley