

DVD 광 디스크 홀더의 변형 해석 및 실험적 검증

김진곤*, 박용국#

Deformation Analysis and Experimental Verification of DVD Optical Disc Holders

Jin Gon Kim*, Yong Kuk Park#

ABSTRACT

To ensure the reliability of DVDR-P and DVD-ROM, it is imperative to remedy the unrecoverable creep deformation and/or relaxation of the holding force of an optical disc holder. To predict the deformation of an optical disc holder, a deformation analysis of an 80 mm optical disc holder considering the creep characteristics of 3 plastic materials has been conducted. Subsequently, the results by this Finite Element Analysis (FEA) are experimentally verified. A disc holder inserted in a cartridge case is kept in a chamber of 60 °C with 90 % humidity for 24 hours. The arm span and the holding force of the disc holder are measured after being left for another 24 successive hours at a room temperature and under normal humidity. The predicted results by FEA are in good agreement with experimentally measured values.

Key Words : Optical Disc Holder (광디스크 홀더), Creep Modulus (크리프 계수), DVD Cartridge (디지털 비디오 디스크 카트리지), Finite Element Analysis (유한요소해석)

1. 서론

디지털 네트워크 시대를 맞이하여 광 기록 재생 장치는 80 년대 CDP, CD-ROM 등의 개발을 시작으로 1990 년대 중반 이후에는 DVD-P, DVD-ROM 이 개발되어 최근 기존의 VTR 시장을 대체할 차세대 기술로 주목을 받고 있다. 특히 DVD의 고밀도, 고속화에 따른 방진과 같은 기계적 메커니즘의 정밀도 및 광학적 정밀도에 대한 요구가 갈수록 엄격해짐에 따라 이에 대한 연구가 산업계 및 학계에서 활발히 이루어지고 있다.¹⁻⁴

광 기록 재생 장치에 사용되는 광디스크의 직

경은 120 mm 와 80 mm 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 디스크는 지문, 긁힘, 먼지 등으로 인하여 기록 및 재생시 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 그리고 DVD-RAM 에 대한 연구는 고 배속 추세에 따른 테크

†* 2002 년 10 월 2 일 접수
* 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
교신저자, 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
Email ykpark@cataegu.ac.kr Fax. (053) 850-2710

메커니즘의 진동/소음 문제에 국한되어 왔으며^{5,6}, 데크 메커니즘의 신뢰성에 큰 영향을 미치는 디스크를 감싸고 있는 Fig. 1 과 같은 카트리지 구조에 대한 연구는 미미한 상황이다. 특히, 캠코더나 휴대용 컴퓨터 등에 널리 사용되고 있는 80 mm 광디스크를 직접 손으로 접촉하지 않고 압착하여 카트리지 케이스 내에 광디스크의 삽입과 인출을 위해 사용되는 플라스틱 사출물인 광디스크 홀더의 크리프(creep) 변형 문제나 이에 따른 디스크 구속력 완화 등은 제품의 신뢰성 확보를 위해 필수적인 해결 사항이다.

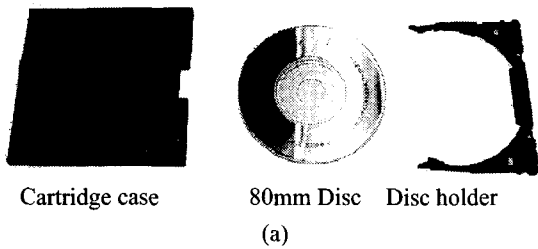


Fig. 1 Structure of an 80mm DVD-RAM cartridge

따라서, 본 연구에서는 장시간에 걸쳐 고온에서 일정하중을 받을 때 발생하는 플라스틱 사출물인 광디스크 홀더의 크리프 변형량과 이로 인한 광디스크 구속력 완화량을 해석을 통하여 추정하고자 한다. 제품의 유한요소모델링과 해석에는 I-DEAS 7.0⁷을 이용하며, 실제 실험결과와의 비교를 통하여 해석결과의 신뢰성을 검증하고자 한다. 디스크 홀더의 실험은 60 °C 온도와 90 % 습도의 밀실(chamber)에 24 시간 동안 카트리지에 들어간 상태로 놓아둔 후, 다시 실온과 정상습도 상태에 24 시간 방치한 다음 디스크 홀더의 복원되지 않는 변형량과 디스크 구속력을 측정한다. 상기 실험조

건은 제품 신뢰성 확보를 위한 실제 제조업체의 규정 조건이다. 본 연구를 통하여 상기의 문제점을 개선할 수 있는 적절한 재질을 선정할 수 있으며, 해석결과에 의해 제품의 재질 및 구조적 개선 방안을 찾을 수 있다.

2. 구조해석

2.1 해석조건 및 재질

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 2 종류의 디스크 홀더를 고려하였으며, 제품의 유한요소 모델링은 대칭성을 이용하여 Fig. 3 과 같이 15,000 개 내외의 사면체 요소를 사용하여 반쪽만 모델링 하였다. 그리고 Fig. 3 에 표시된 바와 같이 아래쪽 부분을 대칭 조건을 이용하여 구속하였고, 홀더의 위 쪽 부분에 Table 1 과 같이 세 가지 경우의 강제변형량을 하중조건으로 주어 선형 정적해석을 수행하였다.



(a) Type A



(b) Type B

Fig. 2 Half side of a disc holder

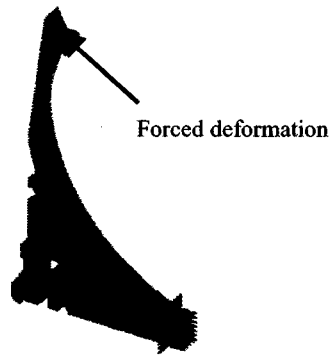


Fig. 3 Finite element modeling and boundary conditions

제품의 해석에는 Table 2 와 같이 ABS 는 Terluran 877M, PC 는 MAKROLON 2205, 그리고 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 넘어서면 초기탄성계수(initial modulus) E_0 대신 secant modulus E_s 를 이용하여 변형 등을 계산한다. secant modulus E_s 는 Hooke 의 법칙을 사용하여 0.75 %를 초과하는 변형률에 대한 응력비로 정의 된다.⁸

Table 1 Loading conditions

Con- dition	State	Forced Deformation
1	Disc inserted in holder (expanded to maximum)	2.25 mm
2	Disc inserted in holder	0.54 mm
3	Holder inserted in cartridge	1.21 mm

Table 2 Material properties

Material	Initial modulus	Poisson's ratio
ABS (Terluran 877M)	2,400 MPa	0.38
PC (MAKROLON 2205)	2,300 MPa	0.37
PC (20%) (20% fiber reinforced)	4,000 MPa	0.37

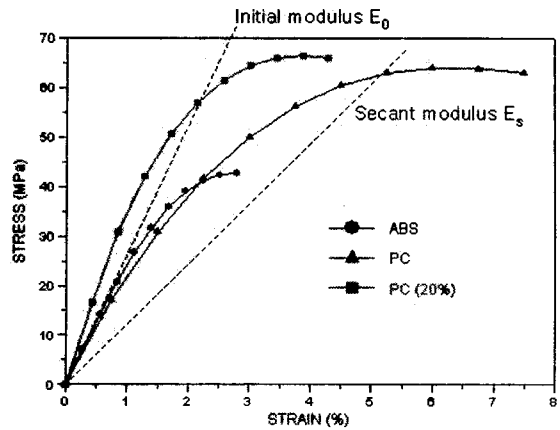


Fig. 4 Stress-strain relations of 3 materials at 23 °C

2.2 해석결과

Table 1 의 하중 조건과 Fig. 4 의 물성을 이용하여 디스크 홀더 암의 편측을 해석한 결과는 다음과 같다. Fig. 5 는 ABS 재질을 사용한 B 타입 모델에서 2.25 mm 의 강제 변형량이 가해지는 경우 (조건 1), Von Mises 응력 분포를 보여준다. 최대 응력이 약 34 MPa 로 ABS 의 항복응력 55 MPa 에는 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 Fig. 5 의 점 패선으로 표시된 응력 집중부에서 소성변형과 같은 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

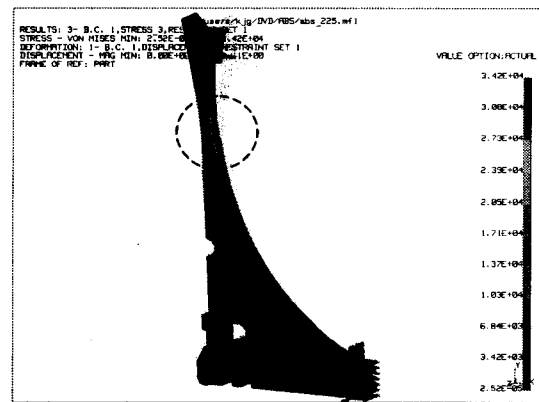


Fig. 5 Von Mises stress distribution of type B model with ABS material subjected to loading condition 1

Table 3 Analysis results of disc holder subjected to loading conditions in Table 1

Condition (forced deformation)	Material	Model	Reaction force F_d [gf]	Max. deformation [%]	E_s/E_0	Reaction force F_d [gf] after E_s/E_0 calibration
2.25 mm	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
0.54 mm	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
1.21 mm	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

3 가지의 강제하중 조건들을 3 가지의 재료 그리고 두 가지 형태(A, B)의 모델에 대하여 각각 적용하여 해석한 결과를 Table 3 에 정리하였으며, 반발력, 최대변형률, E_s/E_0 보정 후 반발력을 보여주고 있다. B 형태의 경우가 A 형태보다 반발력이 크며, 최대변형률은 형태에 무관하게 큰 차이는 없으나 강제변형률이 클수록 그 차이가 아주 조금씩 증가하는 경향을 보여준다.

3. 디스크 인발력 계산

디스크가 홀더에 삽입된 후, 홀더로부터 디스크가 이탈되지 않기 위해서는 적절한 디스크 인발력을 가져야 한다. 디스크의 인발력 F_a 은 사출물의 결합력을 계산하는 아래의 식으로부터, 유도해 낼 수 있다.⁸

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

위 식에서 μ 는 마찰계수, F_d 는 반발력 그리고 α 는 인입각(lead-in angle)을 나타낸다. 재료의 마찰계수는 ABS 의 경우 0.5~0.6 이고 PC 는 0.35~0.4 이다.

원의 방정식에 의해 각 경우의 Fig. 6 에 표시된 y 좌표와 이때의 인입각 α 값은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

호의 인발력 F_a 는 기하학적으로 단순한 모델에서는 변위에 선형적으로 비례하지만, 본 해석에서는 각 경우 Fig. 7 과 같이 선형적으로 비례하지 않았다. 따라서 Table 1 의 3 가지의 강제 변형량에 대한 반발력 F_d 를 이차함수로 보간하여 각 변형 위치에 대한 인발력 F_a 을 계산하여 각 경우에 대한 최대 인발력을 Table 4 에 정리하였다. 디스크

홀더에서 A 지점의 높이 h 는 디스크가 완전히 삽입된 경우는 75.84 mm 이며 빼내는 경우 최대 80 mm 까지의 범위의 값이다.

Table 4 에서 보는 바와 같이 ABS 와 PC 의 경우 재질에 따른 최대 인발력 차이는 미미하였으며 20 % 단섬유가 보강된 PC 의 경우 30 % 이상의 큰 최대 인발력(114.58 과 130.50)을 가짐을 알 수 있다.

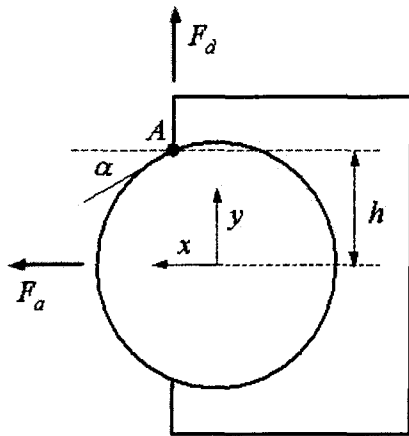


Fig. 6 Disc and holder snap-fit design

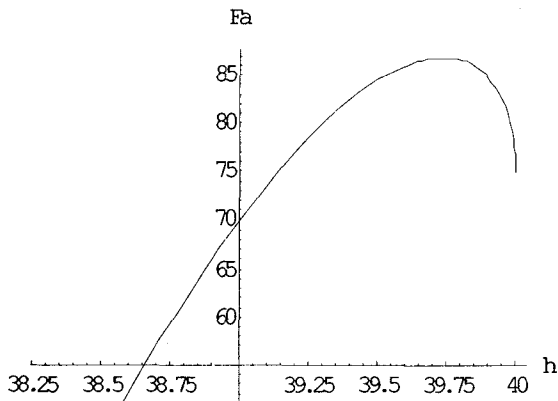


Fig. 7 Variation of drag force F_a to height h of a holder at point A of type A model with ABS material

Table 4 Reaction force (F_d) and maximum drag force ($F_{a\max}$) for two types of models with 3 materials

Material	Model	h [mm]	F_d [gf]	$F_{a\max}$ [gf]
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

4. 홀더의 비복원 변형량 계산

온도 60 °C 와 습도 90 %의 밀실에서 24 시간 동안 디스크 홀더를 카트리지에 삽입하여 방치하였을 때, 응력완화에 의해 반발력이 저하되고 또한 강제 변형이 사라진 후에도 일부 복원되지 않는 변형이 발생하게 된다. 디스크 홀더를 카트리지에 삽입한 상태의 반발력 F_d (23 °C 의 초기온도상태, Table 1 참고)로부터 60 °C 에서 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 1.21 mm 강제 변형을 가하는 경우 홀더에 발생되는 최대응력 값으로 하였다).

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

여기서,

$$E(t) = 60 \text{ }^\circ\text{C} \times 24 \text{ 시간 후의 탄성계수}$$

$$E_0 = \text{초기 탄성계수}$$

이때, 변형량과 반발력이 선형비례관계라는 가정으로부터 저하된 반발력 $F_d(t)$ 로 인하여 복원되지 않는 변형량(d)은 다음과 같이 구할 수 있다

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

먼저 각 재료의 시간에 대한 크리프 계수의 변형 곡선은 Fig. 8 ~ Fig. 10 과 같다. 홀더의 각 재

질에 대한 24 시간 후의 완화된 탄성계수 E_t 값을 Mathematica 를⁹ 이용하여 응력 s 에 대한 함수로 보간하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

$$E_t^{PC-20\%}(s) = 3254.2 + 9.99s - 1.19s^2 \quad (7)$$

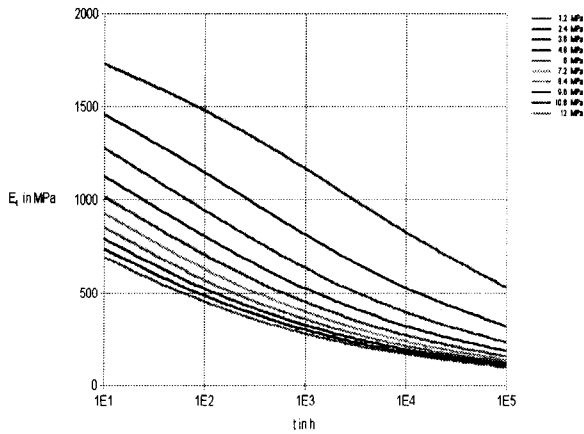


Fig. 8 Creep modulus-time for ABS Terluran 877M

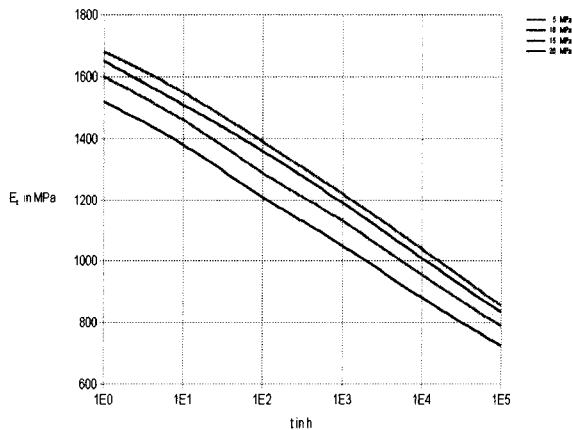


Fig. 9 Creep modulus-time for PC MAKROLON 2205

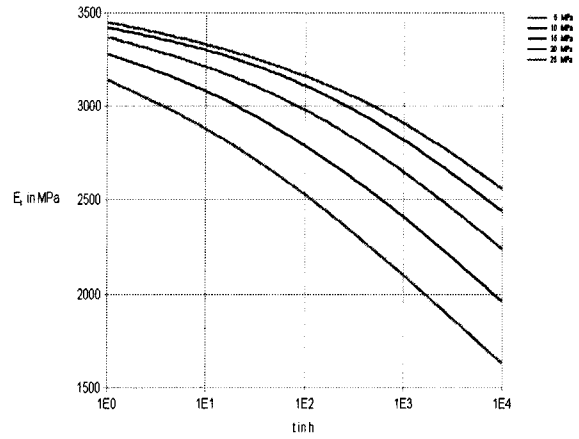


Fig. 10 Creep modulus-time for PC(20% fiber) MAKROLON 8025

Table 5 의 마지막 두 열의 결과에서 ABS 와 PC 의 경우 해석(FEA)을 통하여 추정된 복원되지 않는 변형량이 실제 실험(Exp) 결과와 상당히 유사함을 확인할 수 있다. 그러나 20 % 단섬유가 함유된 경우 실제 실험에서는 LG 화학 G2200(PC 20 %) 재질을 가지는 제품에 대해 실험을 하였으므로 해석 시 사용한 재료 물성값 (MAKROLON 8025)의 상이함으로 인해 해석결과와 실험결과가 다소 차이를 보였다.

또 결과로부터 모델의 기하학적인 형상 차이에 의한 영향은 크지 않으나 재질에 따른 차이는 현저하여 PC 를 사용하는 경우 ABS 에 비해 비복원변형량을 절반 정도 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. PC 의 경우 반발력의 저하를 효과적으로 방지하기 위해서는 20 % 단섬유 강화가 바람직해보이나 단섬유 강화에 의한 비복원 변형량 감소 효과는 없음을 해석과 실험결과로부터 확인할 수 있었다.

결론적으로 ABS 는 디스크 홀딩력의 급격한 감소(각각 82.4 와 94.5 에서 18.6 과 21.3 로 감소)와 상당한 크기의 복원되지 않는 변형량으로 인하여 사용상에 문제가 있는 것으로 판단된다. 단섬유를 함유한 재질의 사용은 반발력을 어느 정도 유지할 수 있으나 디스크와의 접촉에 의한 유리섬유 분말이 광픽업에 미치는 영향이 반드시 고려되어야 할 것이다.

Table 5 Unrecoverable deformation and relaxation of the disc holding force of a disc holder

Material	Type	E_t [MPa]	F_d [gf]	$F_d(t)$ [gf]	d FEA [mm]	d Exp [mm]
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	0.54
	B	1355	90.1	53.1	0.497	0.46
PC (20 %)	A	2528	119.0	75.2	0.445	0.59
	B	2429	136.2	82.7	0.475	0.62

5. 결론

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

1. 모델의 기하학적인 형상에 따른 홀더의 크리프 특성에 의해 복원되지 않는 변형량의 차이는 크지 않다.
2. ABS 보다는 PC 를 사용하는 경우가 비복원 변형량이 절반으로 감소하였으며, 비복원 변형량을 감소시킬 수는 없지만 반발력의 저하를 어느 정도 방지하기 위해서는 단섬유가 포함된 PC 를 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있다.
3. 비복원 변형량의 예측 시, Fig. 8 ~ Fig. 10 의 시간에 대한 크리프 특성 자료만으로 대략적인 변형량을 예측할 수 있음을 실험값과의 비교를 통하여 확인할 수 있다.
4. ABS 와 PC 의 경우 재질에 따른 인발력 차이는 미미하나 단섬유가 20 % 보강된 PC 의 경우 홀더의 디스크 인발력이 30 % 이상 증가한다.
5. 해석 및 실험결과로부터 재질은 PC 를 사용하고 응력집중이 일어나는 부위의 두께치수를 보완하면 디스크 홀딩력을 높여주고 또한 최대응력치를 감소시킬 수 있을 것으로 보인다. 최대응력이 감소하면 크리프 특성에 의해 복원되지 않는 홀더의 변형량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2003 학년도 대구가톨릭대학교 일반 연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. Saegusa, S., Yoshida, S., "Mechatronics in optical head mechanism," Int. Journal of Japan Soc. Precision Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 172-176, 1997.
2. Han, C. S., Kim, S. H., "Design Parameters of Optical Pickup Actuator for the Next Generation," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 1, pp. 82-88, 2001.
3. Song, T. S., et al., "Technical Trend of Optical Information Storage Device," J. of the KSPE, Vol. 18, No. 4, pp. 25-36, 2001.
4. Han, C. S., Kim, S. H., "Design and Analysis of a Lever actuator for the Optical Disk Pickup," J. of the KSPE, Vol. 19, No. 9, pp. 41-50, 2002.
5. Lee, M. G., Gweon, D. G., "Optimal Design of a Fine Actuator for Optical Pick-up," J. of the KSME A, Vol. 21, No. 5, pp. 819-827, 1997.
6. Lee, D. Y., Hwang, J. H., Choa, S. H., "Nano-Contamination in Information Storage Device," J. of the KSPE, Vol. 19, No. 8, pp. 26-33, 2002.
7. I-DEAS Course Guide, Structural Dynamics Research Corporation.
8. Engineering Thermoplastics Basic Design Manual, Dow Chemical Company.
9. Wolfram, S., Mathematica, second edition, Addison Wesley, 1991.