

트레드밀 롤러의 구조/진동해석

이종선*

(논문접수일 2004. 12. 1, 심사완료일 2005. 2. 25)

Structural and Modal Analysis of Treadmill Roller

Jong-Sun Lee*

Abstract

The objective of this study is structural analysis and modal analysis of treadmill roller. A 3D finite element model is implemented to calculate the stress, strain and natural frequency for treadmill roller. In order to analyses treadmill roller, many variables such as load condition, boundary condition, weight condition and resonance are considered. Natural frequency of treadmill is compare to motor revolution.

Key Words : Treadmill(트레드밀), Roller(롤러), Structural Analysis(구조해석), Modal Analysis(진동해석), Natural Frequency(고유진동수), Resonance(공진)

1. 서 론

현대에는 인간의 삶의 질이 향상됨에 따라 보다 풍요롭고 여유 있는 생활에 관심을 가지게 된다. 생활이 윤택해지면 서 영양섭취가 과다해지는 반면 노동여건의 변화로 인한 운동부족으로 많은 신체적 부작용을 유발하여, 건강을 잃어 버리는 사례가 보고되고 있다. 이러한 환경에서 급격히 증가되고 있는 체육시설업소는 건강을 지키기 위한 현대인의 관심을 대변해 주고 있다. 이에 따라 헬스클럽에서 필요로 하고 있는 체육용기구나 용품의 수요는 기하급수적으로 팽창되어 왔고, 이미 가정용으로 확산되었다. 트레드밀은 모터의 회전을 풀리 벨트(pulley belt)를 통해서 앞 롤러를 회전시킴으로서, 앞 롤러와 뒤 롤러에 걸쳐 있는 러닝 벨트

를 구동시키게 된다. 트레드밀 사용자는 구동되는 러닝 벨트 위에서 걸거나 뛰는 운동을 하게 된다. 트레드밀 사용자가 운동을 할 때 직접 진동을 느끼게 되므로 저진동에 대한 요구가 높아지고 있다.

트레드밀의 모터는 회전체로서 제품의 진동을 발생시키는 역할을 한다. 모터에서 발생한 진동은 모터 체결 마운트를 통해 트레드밀에 직접 전달되고, 또한 풀리 벨트를 통해 앞 롤러를 회전시킴으로서 모터에서 발생하는 진동을 전달하게 된다. 트레드밀의 진동을 최소화하기 위해 진동을 발생하는 인자인 모터와 모터 체결 마운트에 대해서는 많은 연구가 시도되어 왔다. 본 논문에서는 트레드밀을 사용하는 사람에게 전달되는 진동을 최소화하기 위해서 풀리 벨트를 통해 회전하는 앞 롤러와 러닝 벨트를 통해

* 대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 (jongsun@daejin.ac.kr)
주소 : 487-711 경기도 포천시 선단동 산11-1

회전하는 뒤 롤러의 고유진동수(natural frequency)를 파악함으로써 진동 발생 요소인 모터의 회전 진동수를 제어하는데 목적이 있다.

2. 롤러의 구조해석

롤러에 대한 구조해석(structural analysis), 모달 해석(modal analysis)은 재료의 등방성(isotropy), 정상상태(steady state)라 가정하고 ANSYS로 해석을 수행하였다.

트레드밀에 사용 중인 롤러의 형상을 모델링 하였고, 해석에 사용된 재료는 일반용 강재(steel)와 알루미늄(aluminium)으로서 물성치는 Table 1과 같다.

롤러형상은 Fig. 1~Fig. 2와 같이 3D 모델을 Solid Works

Table 1 Material properties

Material	Modules of Elasticity E(Gpa)	Density ρ (kg/m ³)	Poisson's Ratio ν
Steel	206.8	7800	0.28
Al	71.7	2800	0.34

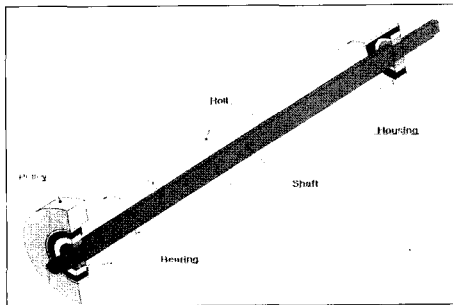


Fig. 1 1/2 Model for front roller

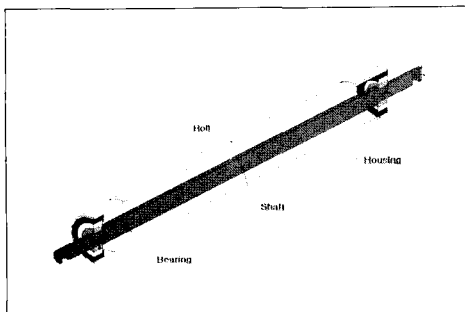


Fig. 2 1/2 Model for rear roller

를 통해 모델링 하였고 Fig. 3~Fig. 4는 유한요소 모델로서 앞 롤러에 19,743개의 절점과 8,879개의 요소, 뒤 롤러에 16,723개의 절점과 7,602개의 요소로 나누어진다.

해석 조건으로서 Fig. 5~Fig. 6에서와 같이 경계 조건(boundary condition)을 적용한다. 경계 조건은 각각의 롤러가 트레드밀 프레임(frame)에 고정되어지는 부분을 적용한다. 또한 롤러의 부품들을 접촉 조건(contact condition)이 포함되어야 한다. 롤러와 베어링 하우징(bearing housing), 베어링 하우징과 베어링 외륜, 베어링 내륜과 샤프트(shaft)

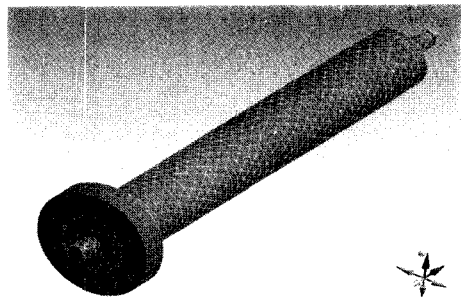


Fig. 3 Finite element for front roller

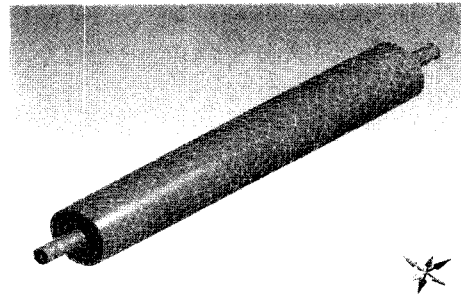


Fig. 4 Finite element for rear roller

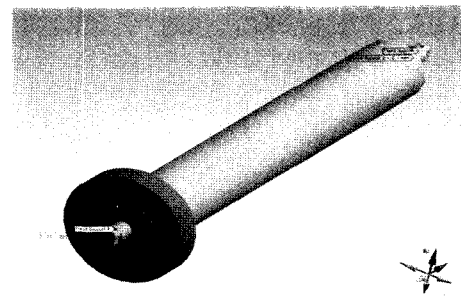


Fig. 5 Boundary condition for front roller

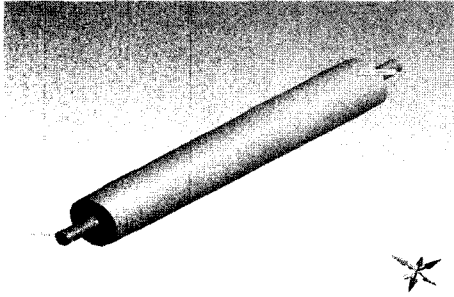


Fig. 6 Boundary condition for rear roller

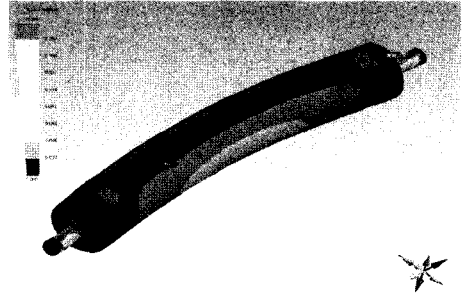


Fig. 7 Strain distribution of load step roller 3060N

는 고정(bond) 접촉 조건을 적용한다. 베어링 외륜과 베어링 내륜에는 미끄럼 회전을 하지만 선형 해석을 수행하기 위해 고정 접촉 조건을 적용한다. 하중 조건은 앞 롤러의 풀리와 롤러에 분포 하중을 입력한다. 풀리에 적용한 하중은 풀리 벨트의 최대 인장 하중인 1500N과 2배수한 3000N을 입력하였고, 롤러에 적용한 하중은 러닝 벨트의 적정 인장하중인 3060N, 최대 인장하중인 8160N과 그 중간인 5610N의 하중으로 입력하였다. 뒤 롤러의 하중 조건은 풀리가 없고 롤러에 분포 하중을 앞 롤러와 같은 방식으로 입력하였다.

Table 2에서 하중이 증가함에 따라 변위, 변형률과 응력이 증가함을 나타내고 있다. 응력이 집중되는 곳은 뒤 롤러가 고정되어지는 곳임을 알 수 있다. 뒤 롤러에 대한 구조해석 결과 변위가 미치는 영향은 미세함을 알 수 있고, 최대 응력은 113.093MPa로 333GPa의 허용 응력에 미치지 못하므로 뒤 롤러에 대해서 구조적인 안정성이 타당함을 알 수 있다.

Fig. 7~Fig. 18은 하중 변화에 따른 변형률과 응력의 변화를 나타내었다.

Table 3에서 하중을 증가시킬 때 변위량이 감소함을 알 수 있다. 이것은 풀리에 적용되는 하중과 롤러에 적용되는 하중이 반대 방향으로 적용되기 때문이다. 전체적인 변위 크기가 제품에 미치는 영향은 극히 미세하다.

Table 2 Structural analysis result for rear roller

Force(N)	Displacement(mm)	Strain	Stress(MPa)
3060(6*510)	0.0604	2.05×10^{-4}	42.410
5610(11*510)	0.111	3.76×10^{-4}	77.751
8160(16*510)	0.161	0.547×10^{-3}	113.093

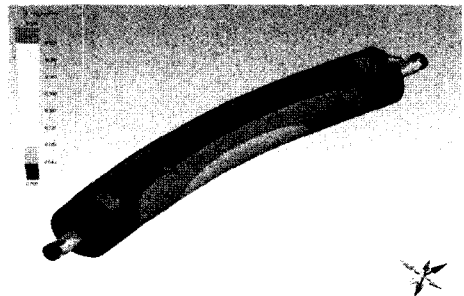


Fig. 8 Strain distribution of load step roller 5610N

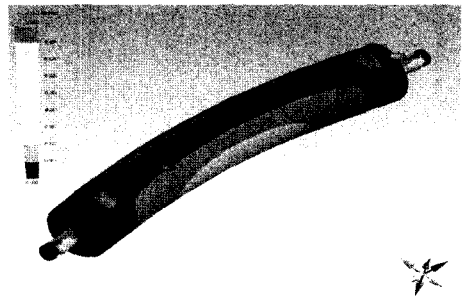


Fig. 9 Strain distribution of load step roller 8160N

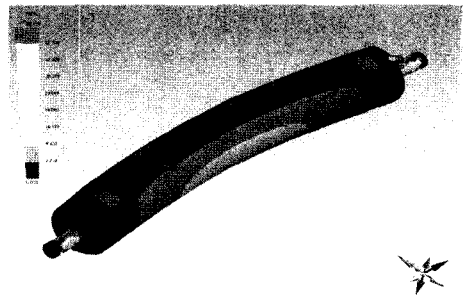


Fig. 10 Stress distribution of load step roller 3060N

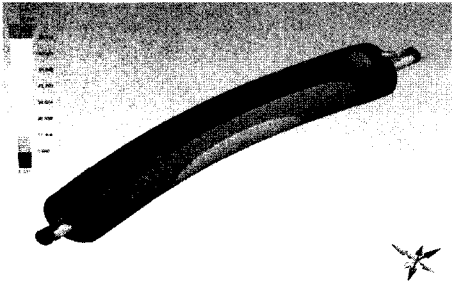


Fig. 11 Stress distribution of load step roller 5610N

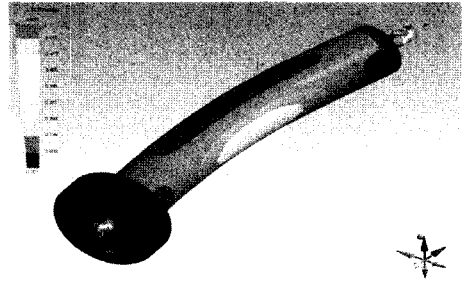


Fig. 15 Strain distribution of load step pulley 3000N and roller 8160N

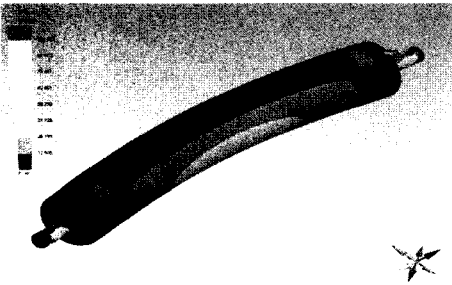


Fig. 12 Stress distribution of load step roller 8160N

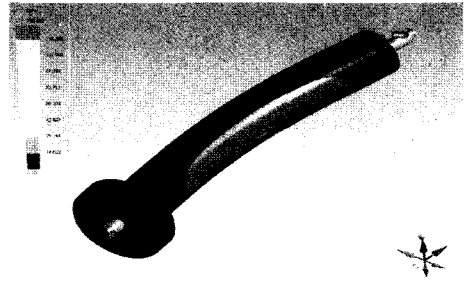


Fig. 16 Stress distribution of load step roller 8160N

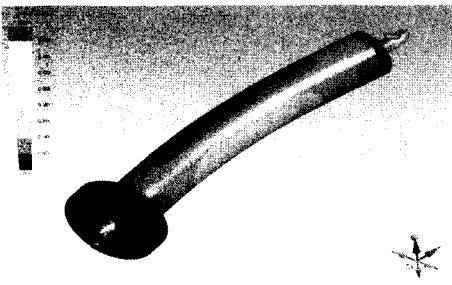


Fig. 13 Strain distribution of load step roller 8160N

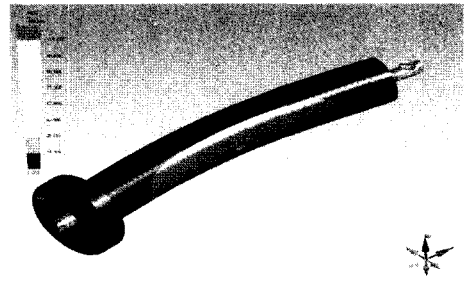


Fig. 17 Stress distribution of load step pulley 1500N and roller 8160N

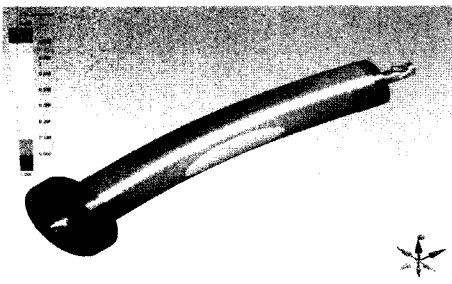


Fig. 14 Strain distribution of load step pulley 1500N and roller 8160N

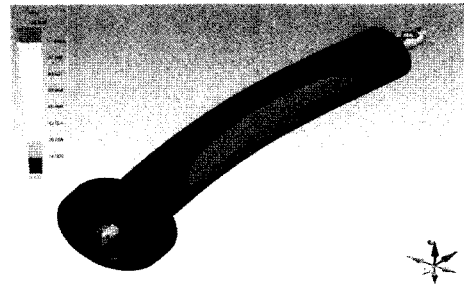


Fig. 18 Stress distribution of load step pulley 3000N and roller 8160N

Table 3 Structural analysis result for front roller

Force(N)		Displacement (mm)	Strain	Stress (MPa)
Pulley	Roll			
0	3060	0.158	2.37×10^{-4}	49.050
	5610	0.289	4.35×10^{-4}	89.925
	8160	0.421	6.32×10^{-4}	130.800
1500	0	-0.0123	0.894×10^{-3}	18.495
	3060	0.147	2.25×10^{-4}	46.560
	5610	0.278	4.23×10^{-4}	87.435
	8160	0.410	6.20×10^{-4}	128.310
3000	0	-0.0247	1.79×10^{-3}	36.990
	3060	0.136	2.13×10^{-4}	44.070
	5610	0.267	4.11×10^{-4}	84.945
	8160	0.399	6.08×10^{-4}	125.820

3. 롤러의 모달해석

앞 롤러에 대해서 경계조건을 적용하고 모달해석을 수행한 결과 값을 10차 모드까지 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 고유진동수에 대한 모터의 회전 속도와 리닝 벨트의 속도를 같이 나타내었다. 해석대상 제품은 리닝 벨트 최고 속도인 16km/hr시 모터 속도가 2425rpm으로 프로그램 되어 있다. 해석 결과를 보면 트레드밀 구동용 모터의 회전 진동수(16km/hr ⇒ 42Hz)와 공진을 일으킬 수 있는 진동 차수는 7차 모드까지임을 알 수 있다.

Table 4 Modal analysis result for front roller

Mode	Frequency (Hz)	Motor RPM (rpm)	Belt Velocity (km/h)
1	9.915	594.9	3.9
2	10.266	615.96	4.1
3	14.551	873.06	5.8
4	22.67	1360.2	9.0
5	23.114	1386.84	9.2
6	28.736	1724.16	11.4
7	29.766	1785.96	11.8
8	47.263	2835.78	18.7
9	50.636	3038.16	20.0
10	52.379	3142.74	20.7

Fig. 19~Fig. 21은 앞 롤러에 대한 모드 형상(mode shape)을 보여주고 있다.

뒤 롤러에 대해서도 Table 5에서 해석 결과 값인 고유진동수와 리닝 벨트 속도로 환산한 값을 나타내고 있다. 뒤 롤러에서도 트레드밀 구동용 모터의 회전 진동수와 공진을 일으킬 수 있는 진동 차수는 7차 모드까지임을 알 수 있다. Fig.

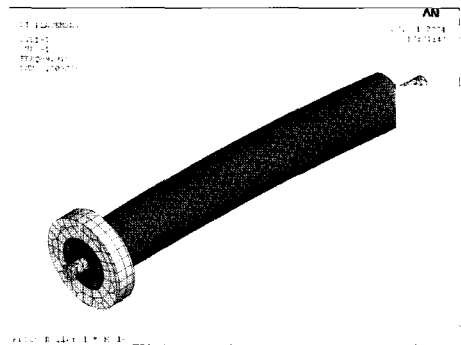


Fig. 19 Front roller - 1st mode

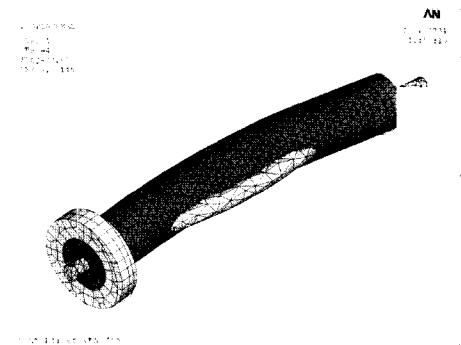


Fig. 20 Front roller - 4th mode

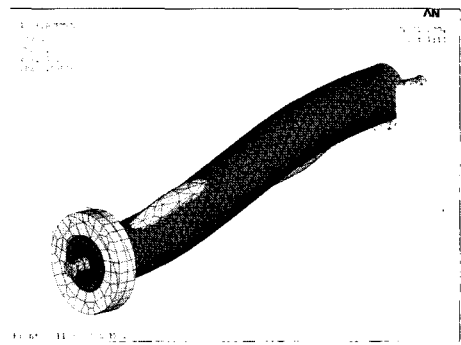


Fig. 21 Front roller - 10th mode

Table 5 Modal analysis result for rear roller

Mode	Frequency (Hz)	Motor RPM (rpm)	Belt Velocity (km/h)
1	11.873	712.38	4.7
2	12.115	726.9	4.8
3	16.318	979.08	6.5
4	22.315	1338.9	8.8
5	22.644	1358.64	9.0
6	33.025	1981.5	13.1
7	34.132	2047.92	13.5
8	52.716	3162.96	20.9
9	52.787	3167.22	20.9
10	53.729	3223.74	21.3

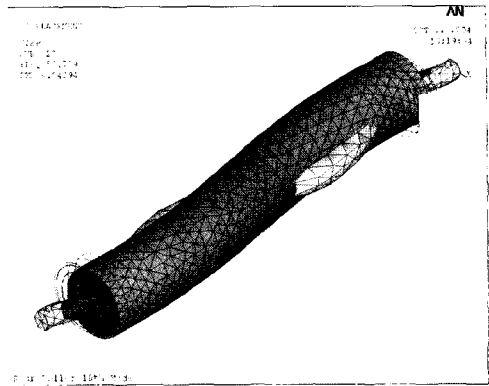


Fig. 24 Rear roller - 10th mode

22~Fig. 24는 뒤 롤러에 대한 모드 형상을 보여주고 있다. 트레드밀 제품의 리닝 벨트 속도는 0.1km/hr부터 16km/hr 까지 동작이 되며 속도 증가/감소되는 조절 크기는 0.1km/hr 로 작동이 된다. 앞 롤러에서 4차 모드와 뒤 롤러에서 5차 모드에서 벨트 속도가 9km/hr일 때 공진을 크게 할 우려가 있다. 모터를 제어하는 프로그램에서 벨트 속도가 9km/hr가 되지 않는 방향으로 모터를 회전시켜야 한다.

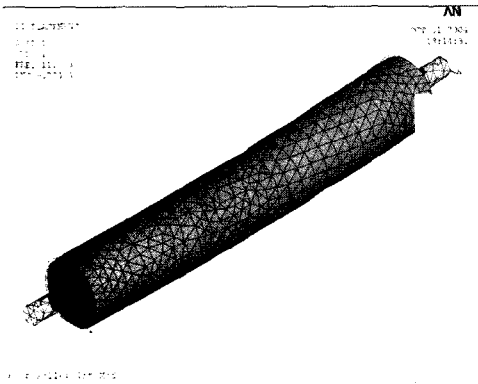


Fig. 22 Rear roller - 1st mode

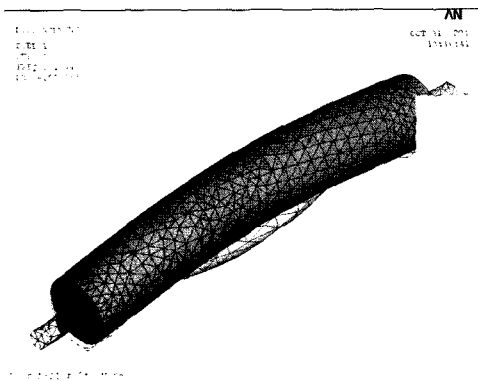


Fig. 23 Rear roller - 5th mode

4. 결론

구조해석을 통해서 각각의 롤러에 대하여 변위, 변형률, 응력의 결과치를 얻었으며, 모달해석을 통해 각각의 롤러에 대해 10차 모드까지 고유진동수를 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 앞 롤러에는 풀리와 롤러에 하중이 동시에 주어졌을때 보다 롤러에만 하중이 주어졌을때 변위, 변형률, 응력 값이 더 크을 알 수 있다. 이것은 풀리와 롤러에 동시에 하중이 주어졌을때는 주어진 하중방향이 반대가 되어 상쇄됨을 보여 준다.
- (2) 뒤 롤러에는 롤러에만 하중을 변화시켜 구조해석을 수행하여 변위, 변형률, 응력 값을 얻을 수 있었다. 앞 롤러의 변위보다 뒤 롤러의 변위 변화가 작은 것은 제품에 고정되어지는 부분의 거리가 앞 롤러보다 짧기 때문임을 알 수 있다.
- (3) 앞/뒤 롤러의 대해 구속조건을 적용하고 모달 해석을 통해 각각 10차 모드까지 고유진동수 값을 얻었다. 해석 결과에서 트레드밀 구동용 모터의 회전 진동수 (1km/hr ⇒ 42Hz)와 공진을 일으킬 수 있는 진동 차수

는 앞/뒤 롤러 모두 7차 모드까지임을 알 수 있다.

- (4) 앞/뒤 롤러에서 공진을 유발하는 고유진동수를 피해 모터의 진동수를 제어해야 한다. 특히 러닝 벨트가 9km/h 에는 앞/뒤 롤러의 고유진동수가 같으므로 이를 피해서 설계되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) ANSYS User's Manual Revision 7.0, 2000, Swanson Analysis System, Inc.
- (2) Chandrupatla, T. R., and Belegundu, A. D., 1991, *Introduction to Finite Elements in Engineering*, Prentice Hall, pp. 130~402.
- (3) Shakelford, J., and Alexander, W., 1994, *Material Science and Engineering Hand Book*, CRC Press.
- (4) Lee, J. S., and Kim, S. H., 2001, "Structural Analysis of Running Machine Frame," *Journal of the Korean Institute of Venture Technology*, Vol. 2, No. 1, pp. 31~35.
- (5) Lee, J. S., and Kim, J. H., 2004, "Structural and Modal Analysis of Treadmill Roller," *Proceeding of the KAIS Fall Conference*, pp. 66~69.
- (6) Kim, H. G., Yang, S. M., Noh, H. G, Nah, S. C., You, K. H., and Cho, N. I., 2003, "A Study on the Optimal Shape Design of 2-D structures," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 12, No. 2, pp. 9~16.