

노르딕 기구의 진동해석

이종선^{1*}

Modal Analysis of Nordic Machine

Jong-Sun Lee^{1*}

요 약 헬스클럽과 가정에서 사용되는 운동기구의 종류와 기능은 다양해지고 있으나 운동기구의 안전과 내구성에 대한 신뢰할 수 있는 자료는 부족한 실정으로서 이에 대한 연구 필요성이 절실히 요구되고 있다. 본 논문에서는 상호연동형 노르딕 기구에 작용하는 하중과 강도조정장치에 발생하는 인장하중이 노르딕 기구의 고유진동수에 미치는 영향을 파악함으로써 진동 발생 요소를 제어하는데 목적이 있다.

Abstract This study aims to investigate a modal analysis for a Nordic machine. A Nordic machine is a very famous sport machine for a health club. A 3D finite element was implemented to calculate a natural frequency for a Nordic machine. The natural frequencies were compared from the 1st to the 10th mode.

Key Words : Modal analysis, Nordic machine, Natural frequency, Resonance, Maximum stress

1. 서 론

운동기구에 대한 소비자들의 관심이 높아지고 있으며 그에 따라 헬스클럽과 가정에서 사용되는 운동기구의 종류와 기능이 다양해졌다. 그러나 개발된 운동기구의 안전과 내구성에 대한 신뢰할 수 있는 자료는 부족한 실정으로서 이에 대한 연구 필요성이 요구된다.

운동기구중 런닝머신은 하체근력강화 운동을 하기에 적합한 운동기구로서 벨트를 회전하여 임의로 조절할 수 있어 천천히 걸거나 빠른 속도로 달릴 수 있다. 하지만 어린이나 노약자에게는 운동하기에 부적절하고, 고정식 사이클이나 스텝퍼는 심폐기능을 향상시키기에 좋은 운동기구이나 런닝머신과 마찬가지로 발의 운동높이가 커서 어린이나 노약자는 운동하기 부담스럽다.

또한 기존 노르딕 기구의 경우 런닝머신 보다는 훨씬 더 운동효과가 있지만 처음 운동을 접하는 사람의 경우 기구 자체의 난이도 때문에 다른 운동기구에 비해 꾸준히 하기에 어려움이 있다.

그러나 본 연구에 사용된 상호연동형 운동기구인 노르

딕 기구는 대표적인 전신 유산소 운동기구로서 조깅이나 런닝을 할 수 없는 노약자나 환자인 경우 부드럽게 실제 지면위에서 운동하는 것과 같은 전신운동을 할 수 있도록 개발되어 스키의 상체운동을 활용한 근력운동과 런닝머신의 하체운동을 통한 심폐운동을 결합하여 짧은 시간 내에 많은 열량을 소모시키고, 근육을 강화시키는 전신 운동기구이다.

노르딕 기구는 사람에 의해 발생된 동력을 롤러사이에 연결된 벨트를 통하여 전달하고 Control box에서 자기력을 발생시켜 벨트로 전달된 동력에 저항을 줌으로써 운동의 단계를 조절한다.

본 연구에서는 노르딕 기구에 대한 고유진동수를 3차원 유한요소해석 코드인 ANSYS를 이용하여 파악하고 주어진 여러 조건들이 고유진동수에 얼마나 영향을 미치는지 검토하고 진동 발생 요소를 제어하여 좀더 안정성 있고 신뢰할 수 있는 운동기구를 설계, 개발한다.

2. 해 석

2.1 해석 이론

선형 구조관계에서 평형방정식은 다음과 같다.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F_a\} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, [M]은 질량 행렬(mass matrix),

이 논문은 2006학년도 대전대학교 학술연구비지원에 의한 것임.

¹대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

*교신저자 : 이종선(jongsun@daejin.ac.kr)

[C]는 감속 행렬(damping matrix),
 [K]는 강성 행렬(stiffness matrix),
 $\{\ddot{u}\}$ 는 가속도 벡터(acceleration vector),
 $\{\dot{u}\}$ 는 속도 벡터(velocity vector),
 $\{u\}$ 는 변위 벡터(displacement vector),
 $\{Fa\}$ 는 힘 벡터 (applied load vector)를 나타낸다.

구조와 유동에 대한 자유도가 확실하고 구조체가 일정한 강성과 질량 효과를 가지고, 댐핑이 없으며, 시간에 따라 힘, 변위, 압력 또는 온도의 변화가 없는 구조체에서 모드 진동해석 방법을 사용한다.

고유진동수와 모드 형상을 알아보는데 사용되며 댐핑 시스템이 없는 움직임일 때 아래와 같은 행렬로 표현된다.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \dots\dots\dots (2)$$

선형 시스템에서 자유진동은 조화 형태를 보이며 다음과 같다.

$$\{u\} = \{\emptyset\}_i \cos\omega_i t \dots\dots\dots (3)$$

여기서, $\{\emptyset\}_i$ 는 i번째 고유 진동의 모드 형상을 고유 벡터로 표현, ω_i 는 i번째 고유 진동, t는 시간을 나타낸다. 식 (3)으로부터 $\{\emptyset\}_i$ 로 식을 정리하면 다음과 같다.

$$(-\omega_i^2[M] + [K])\{\emptyset\}_i = \{0\} \dots\dots\dots (4)$$

고유 진동수 $\{\omega\}$ 과 고유 주파수 $\{f\}$ 의 관계는 다음과 같다.

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, f_i 는 i번째 고유 주파수이다.

2.2 진동해석

상호연동형 노르딕 기구의 형상을 모델링 하였고, 해석에 사용된 재료는 일반용 강재(steel)과 폴리에틸렌 (Polyethylene)으로 물성치는 표 1, 요소망의 절점수와 요소수는 표 2에 나타내었다.

표 1. Materials property

Material	Steel	Polyethylene
Young Modulus (MPa)	2e+0.005	1100
Poisson Ratio	0.3	0.42
Density (kg/mm ³)	7.85e-006	9.5e-007

표 2. Condition for analysis

절 점 수	198,070
요 소 수	96,121

그림 1은 노르딕 기구의 형상을 나타내며 그림 2는 노르딕 기구의 메쉬형상을 나타낸다.

그림 3과 같이 경계조건으로는 하중은 프레임면에 수직으로 작용하고, 강도 조절장치에 의해 주어지는 인장하중은 베어링하중으로 나타내었다.

그림 5 ~ 그림 14는 진동해석 시 나타난 1차 모드부터 10차 모드까지를 나타낸다.

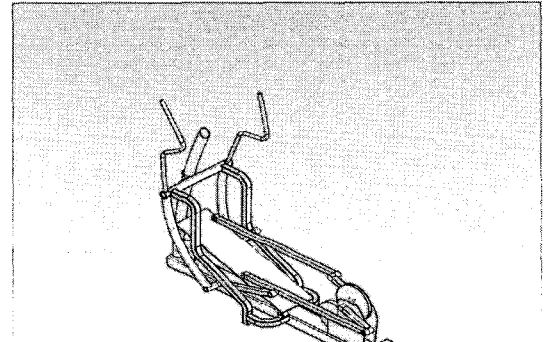


그림 1. Model of Nordic machine

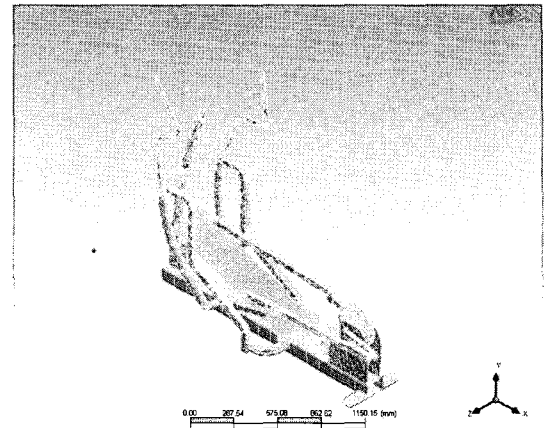


그림 2. Finite element of Nordic machine

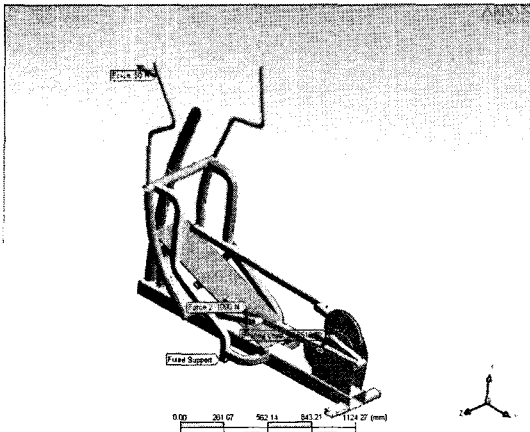


그림 3. Boundary condition of Nordic machine

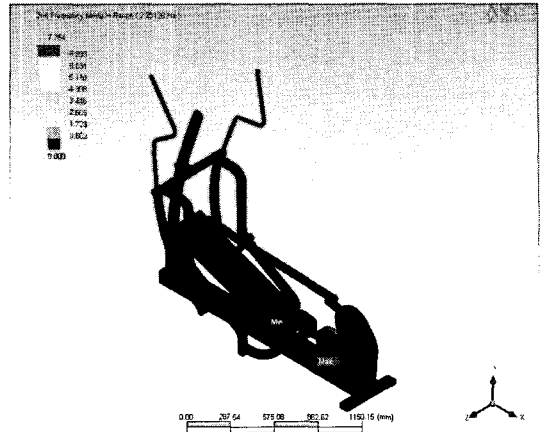


그림 6. 2nd mode

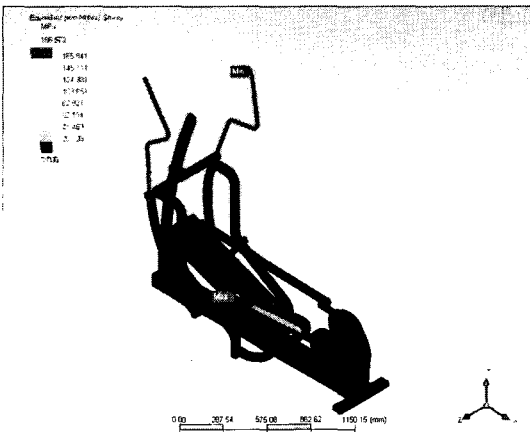


그림 4. Stress result of Nordic machine

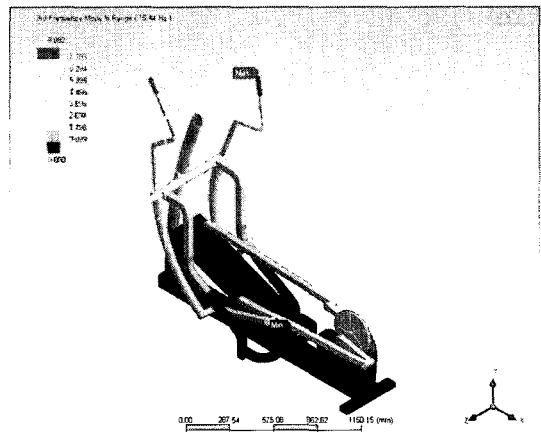


그림 7. 3rd mode

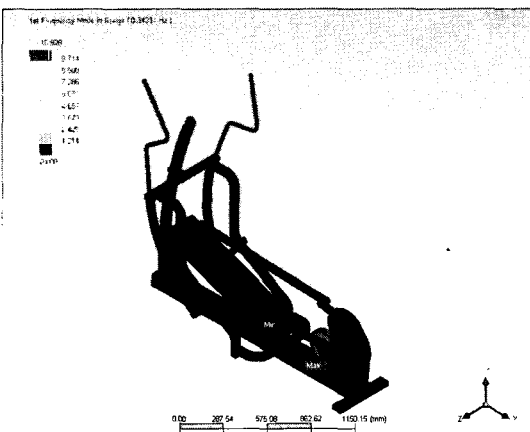


그림 5. 1st mode

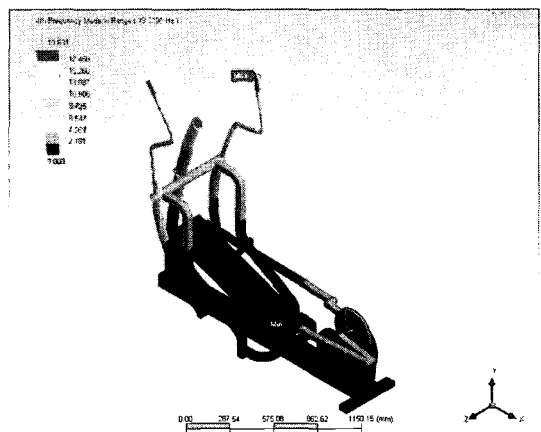


그림 8. 4th mode

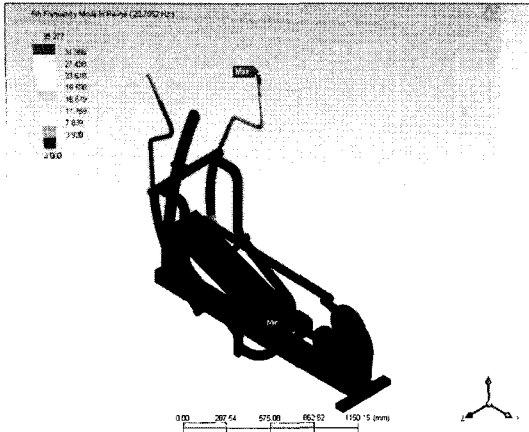


그림 9. 5th mode

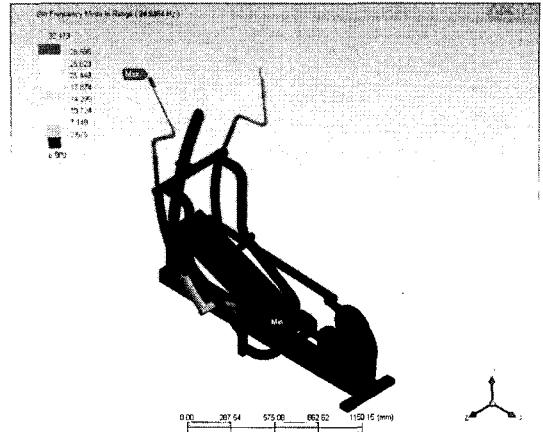


그림 12. 8th mode

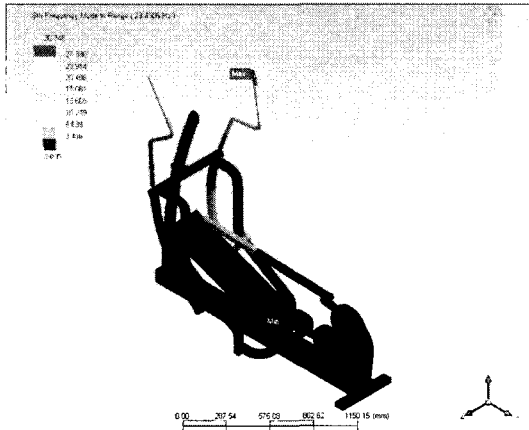


그림 10. 6th mode

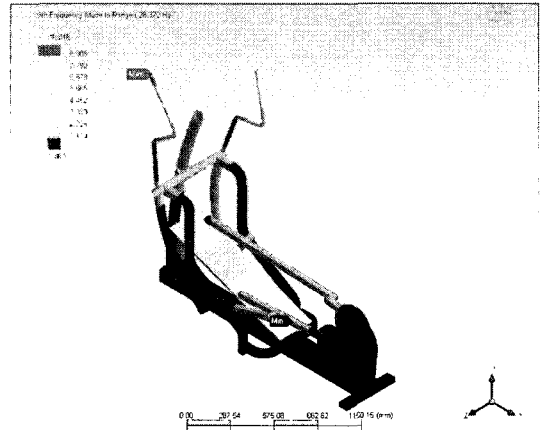


그림 13. 9th mode

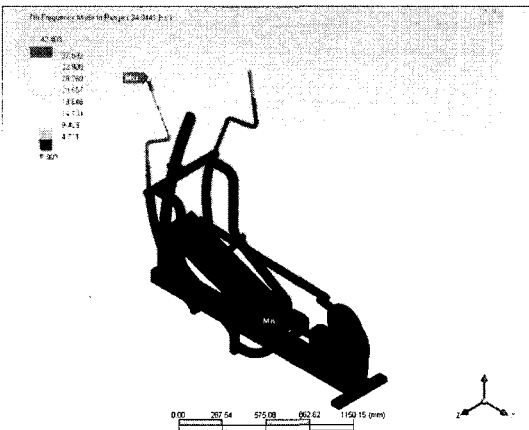


그림 11. 7th mode

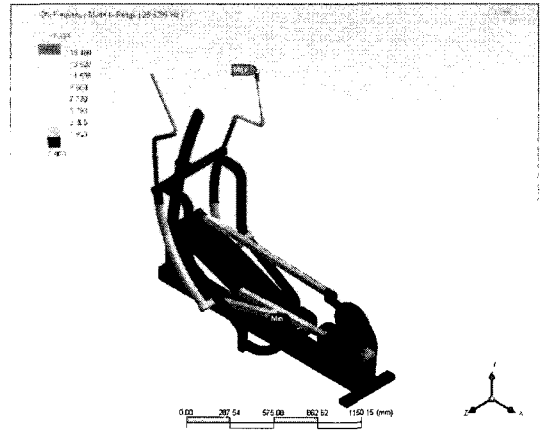


그림 14. 10th mode

표 3은 노르딕 기구에 대한 해석을 수행한 결과값으로 최대응력과 최대변형률을 나타낸다. 구조해석 결과를 보면 구조적으로 안정적임을 알 수 있다.

표 4는 노르딕 기구에 대한 진동해석 결과이다. 프레임과 연결된 상부 폴리에에는 프레임과 폴리축간에 고정 경계조건을 주었고, 강도 조절장치 방향으로 인장하중을 작용시켜 해석하였다.

표 3. Result of structural analysis

구분	최대응력(MPa)	최대변형률
100kg	69.79	0.312-e2

표 4. Result of natural frequency

Mode	고유진동수 (Hz)
1	0.84031
2	2.25126
3	15.44
4	19.0796
5	22.7052
6	23.4906
7	24.0441
8	24.9464
9	28.372
10	28.5399

3. 결론

상호연동형 운동기구인 노르딕 기구를 상용CAD 소프트웨어인 Solid works를 활용하여 설계하였으며 구조해석 및 진동해석은 3차원 유한요소 해석코드인 ANSYS를 활용하였다. 해석을 통해서 노르딕 기구의 변형률, 응력, 고유진동수의 결과치를 얻었으며 이값을 비교, 검토한 결과는 다음과 같다.

- (1) 노르딕 기구에 대한 1차 모드에서 10차 모드까지의 진동해석 결과값이 0.84031~28.5399Hz로 나타났다. 이 값을 통해 진동에 대한 안정성을 확인할 수 있었다.

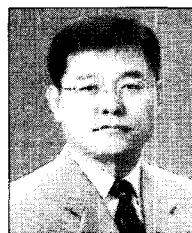
- (2) 초기에 강도 조절장치에 연결된 폴리에에서 시작된 진동이 손잡이까지 진행되고 이때 가장 큰 주파수가 발생하였다. 이로써 강도 조절장치와 손잡이가 진동에 가장 민감함을 알 수 있다.
- (3) 가혹조건인 100kg의 하중을 작용시킨 구조해석결과 노르딕 기구는 구조적으로 안정적임을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) 고재용, ANSYS 유한요소법, 시그마프레스, 2001.
- (2) ANSYS User's Manual Revision 10.0, Swanson Analysis System, Inc., 2006.
- (3) James Shackelford and William Alexander, "Material Science & Engineering Hand Book", CRC Press, 1994.
- (4) T. R. Chandrupatla and A. D. Belegundu, "Introduction to Finite Elements in Engineering". Prentice Hall, 1991.
- (5) William Weaver, Jr. and R. Johnston, "Finite Elements for Structural Analysis". PRENTICE HALL, INC., 1993.
- (6) Winter, D. a., "Biomechanics of Human Movement", John Wiley & Sons, 1979.
- (7) 이종선, "트레드밀 롤러의 구조/진동해석", 한국공작기계학회논문집, Vol. 14, No. 2, pp. 62~68, 2005.
- (8) 이종선, "트레드밀 기구의 진동해석", 한국산학기술학회논문지, Vol. 7, No. 4, pp. 539-544. 2006.

이종선(Jong-Sun Lee)

[종신회원]



- 1982년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 국민대학교 기계공학 (공학석사)
- 1996년 2월 : 국민대학교 기계설계학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 부교수

<관심분야>
최적설계, 생산공학