

Treadmill 용 진동저감 모듈의 해석 및 가속도계를 이용한 성능 평가

Analysis of Vibration Reduction Module for Treadmill and its Performance Evaluation Using Accelerometer

*현창우¹, 이지훈², 이문구², 황범석¹, 변정웅¹, #정재화¹

*ChangWoo Hyun¹, Jihoon Lee², Moon G Lee²,

BeomSeok Hwang¹, JungWoong Byun¹, #Jaehwa Jeong(jaehwa@korea.ac.kr)¹

¹ 고려대학교 제어계측공학과, ² 아주대학교 기계공학과

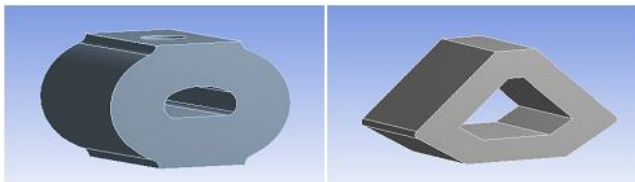
Key words : Vibration Reduction Module, Treadmill, Vibration transmissibility

1. 서론

여러 기계에서 진동을 저감하기 위한 구조물의 설계는 기계 자체에 걸리는 하중을 버티는 것과 동시에 진동의 전달을 줄이는 것을 목표로 하여왔다. 즉, 구조물의 피로한계를 고려한 설계와 진동으로 인하여 생기는 소음을 최소화하여 만족할 만한 특성을 가진 구조물을 얻어내는 것이 매우 중요한 문제라고 볼 수 있다. Treadmill 에도 상판에서 발생하는 진동의 전달을 줄이는 것을 목적으로 지금까지 다양한 형태의 진동저감 구조물이 적용되어 왔다. 일반적으로 진동저감 모듈은 주진동 방향으로 1 차 고유진동수가 최대한 낮게 설계되었다. 그 이유는 일반적으로 저주파 대역에 나타나는 진동 및 그에 따른 진동 전달을 감소시키기 위함이다.

본 논문에서는 기존의 treadmill 용 진동저감 모듈과 새로이 설계된 진동저감 모듈을 유한요소모델을 활용하여 비교 분석하였다. 진동저감 모듈의 정적 하중 인가 시 변형 특성과 진동전달특성을 비교 분석하여, 새로운 진동저감 모듈의 효율성을 확인하였으며 가속도계를 이용하여 실험적으로 진동저감 모듈의 성능평가를 수행하였다.

2. 진동저감 모듈의 변형 특성



(a) Conventional module (b) New module

Fig.1 Conventional module and new module

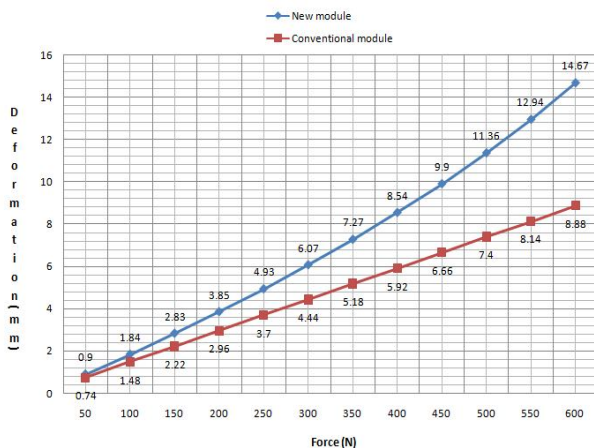
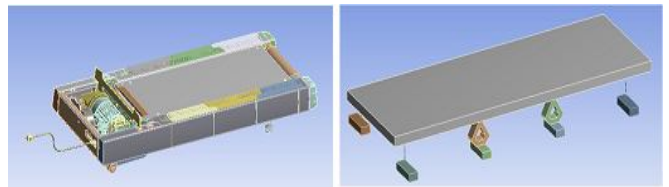


Fig.2 Force- deformation characteristic curve

Fig.1 은 기존의 진동저감 모듈과 새로운 진동저감 모듈의 형상을 나타낸다. 기존 모듈은 수평축에 대해 대칭인데 반해, 새로운 모듈은 중앙부의 공간을 넓히고 비대칭으로 만들어 하중 인가 시 변형 공간을 확보하고 전체 모듈의 강성이 낮아지도록 설계되었다. 진동저감 모듈의 진동특성을 평가하기 위해서 먼저 고려해야 할 점이 하중에 의해 발생하는 모듈의 형상변화와 내부응력으로 인해 고유진동수가 변화할 수 있기 때문에 이러한 상황을 고려하여 진동특성을 평가해야 한다. Fig.2 는 정적 하중 인가 시 두 모듈의 변형 특성을 나타낸다. 모듈의 재질은 실리콘 고무 재질이며, 진동저감 모듈의 윗면에 수직방향으로 50~600N 의 힘을 인가하여 그 변형량을 해석한 결과이다. 일반적으로 비선형특성을 가지는 고무종류에서 압축으로 생기는 변형은 고유 변형률을 넘기기 전에는 선형에 가까운 특성을 가지고 있다⁽¹⁾. Fig.2 는 이러한 사실을 뒷받침해주는 변형 특성 그래프이다. 결국 대변형이나 응력경화 때문에 발생하게 되는 비선형성이 크지 않은 해석이면 선형해석을 통해 진동특성을 비교해도 무관하다.

3. 진동저감 모듈의 진동 전달 특성



(a) Original model (b) Simplified model

Fig.3 Simplified analysis model

기존의 진동저감 모듈과 새로운 진동저감 모듈을 Fig.3 과 같이 treadmill 의 개략적인 형태의 구조에 장착을 하여 진동특성을 파악한다. 발판 부분과 밑의 저감모듈, 저감모듈을 고정하는 연결부분으로 treadmill 의 형태를 구성하고 연결부분의 끝부분은 fixed support 로 지정하여 고정면으로 설정하였다. 그리고 발판에는 600N 크기의 하중이 수직으로 인가되고 있다. 기존의 저감모듈과 새 저감모듈의 진동특성을 비교하기 위하여 저감모듈의 바닥과 붙어있는 연결부분의 frequency response 를 비교하였다. Fig.4 는 하중이 인가되는 축을 y 축이라고 할 때 기존 저감모듈과 새 저감모듈의 바닥 연결면에서 y 축에 대한 진동 전달력을 비교 해석한 결과이다. 여기서 진동전달 정도는 주파수에 대한 가속도 값을 가지고 판별하였다. 결과를 보면 새로운 저감모듈이 기존 모듈보다 1 차 고유진동수가 39Hz 에서 32Hz 로 줄어들고 최대가속도는 1022mm/s² 에서 457mm/s² 로 줄어든 것을 볼 수 있다. 이는 새 저감모듈이 기존의 것보다 좋은 진동 저감 특성을 보인다는 것을 의미한다. 또한 바닥 연

결면의 y 축에 대한 가속도만을 나타낸 것은 다른 두 축에서도 가속도의 차이는 있으나 y 축만큼의 가속도차이를 가지고 있지 않다. 즉, 하중이 인가되는 축과 일치하는 y 축의 가속도 값이 다른 축들에 비해 월등히 커서 다른 축들의 값은 무시해도 되겠다고 판단하였다.

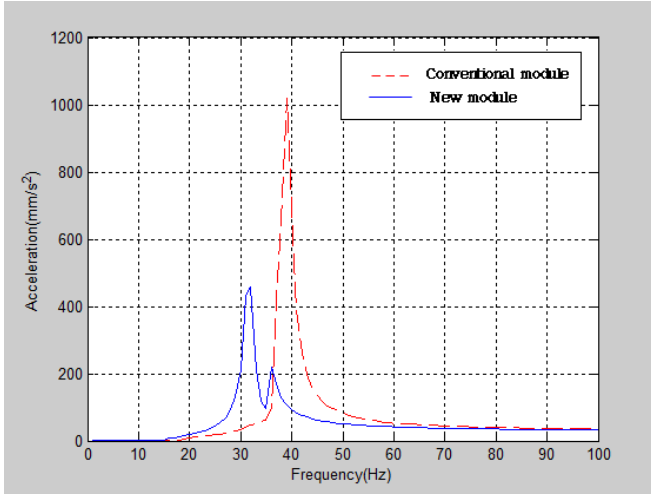
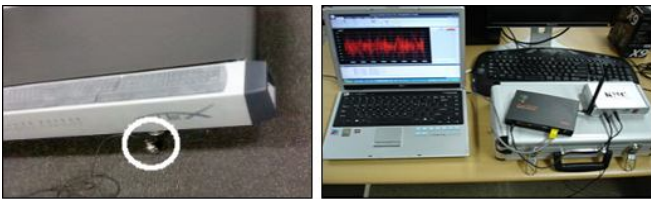


Fig.4 Transmissibility of vibration reduction module

4. 가속도계를 이용한 성능평가



Fig.5 Treadmill and accelerometer



(a) Position of accelerometer (b) Measurement system

Fig.6 Position of accelerometer and measurement system

새로운 진동저감 모듈을 실제로 treadmill 에 장착하여 진동저감의 효율성을 실험하였다. 실험은 Fig.5 와 같이 가속도계를 사용하여 측정하였다. 일반적으로 가속도계는 바닥면에 대하여 감도가 가장 높은 수직방향의 진동에 대하여 감지를 한다. 그러나 실제로 가속도계 바닥면에 평행한 횡방향의 진동에 대해서도 약간의 감도를 가지며 그 크기는 수직방향 감도의 4% 이내이다. 따라서 가속도계를 Fig.6 의 (a)처럼 주 감도축과 일치하도록 treadmill 바닥면에 달아주고 treadmill 위에서 달리기 시작한다. 이때 충격에 의해 진동이 treadmill 바닥면에 전달되고 Fig.6 의 (b)처럼 실시간으로 데이터를 측정하게 된다. 그리고 측정된 데이터를 토대로 가속도를 분석하게 된다. 최종적으로 기존의 모듈이 장착된 treadmill 과 새로운 모듈이 장착된 treadmill 의 전달 가속도를 비교하여 진동저감의 성능을 비교평가 하게 된다. Fig.7 은 기존 모듈이 장착되었을 때와 새로운 모듈이 장착

되었을 때의 가속도 그래프이다. 여기서 진동의 변위를 판단하기 위해 가속도 출력의 peak-peak 값을 구했을 때 기존의 모듈에서 가속도는 0.128m/s² 이 나오고 새로운 모듈에서는 0.108m/s² 이 나오는 것을 볼 수 있다. 그리고 두 가속도 출력을 가지고 비교하였을 때 약 15.6%정도로 진동저감 성능이 향상 되었음을 확인할 수 있다.

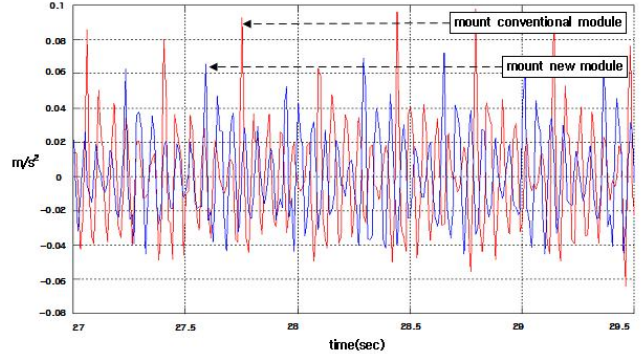


Fig.7 Transmissibility of vibration reduction module using accelerometer

5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 treadmill 에 장착하는 진동저감 모듈이 진동전달을 얼마나 줄여주는지에 관하여 분석 및 검증하였다. 여기서 외부에 힘이 가해지는 강제진동의 경우 진동의 진폭은 원래 주어진 자연 진동수와 강제력의 진동수에 크게 의존한다. 강제력에 의해 생긴 진동수는 처음 진동수에서 시간이 지남에 따라 점차 감쇄하게 되고 자연진동수에 가까워질수록 진동의 진폭은 점점 커져가며 두 진동수의 값이 일치하는 곳에서 진폭은 최대가 된다. 이때의 가속도를 진동전달이라 보고 Fig.4 와 같이 기존의 저감모듈과 새로운 모듈을 비교하였을 때 1 차 고유진동수가 39Hz 에서 32Hz 로 줄어들고 최대가속도는 1022mm/s² 에서 457mm/s² 로 줄어들어 진동전달이 저감되었음을 볼 수 있다. 그리고 가속도계를 이용하여 treadmill 에 저감모듈을 장착했을 때 진동전달에 의해 발생하는 가속도를 측정된 결과 약 15.6%정도로 개선되었음을 알 수 있었다. 저감모듈을 시뮬레이션을 통하여 해석하였을 때 나오는 가속도와 실험을 통한 가속도와는 가진 조건 및 treadmill 의 구조단순화 등의 원인으로 차이가 있지만 새로운 모듈을 통해 진동전달이 감소되는 경향을 파악할 수 있다. 또한 가속도계의 질량은 측정지점에서 진동의 크기와 주파수를 크게 변화시키므로 중요한 변수로 고려해야 할 부분이다. 추후 새로운 진동저감 모듈의 배치 특성에 따른 진동 저감 성능의 변화를 분석하고 모듈배치의 최적화가 수행될 예정이다.

후기

이 연구(논문)은 문화체육관광부의 지원으로 수행하는 스포츠산업 기술개발의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김석관, “유한요소해석을 활용한 압축기용 방진고무의 형상에 따른 진동전달특성 평가방법에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 17, 70-74, 2000.
2. Willam T. Thomson, Marie Dillon Dahleh, Theory of Vibration with Applications 5/e, 1998.