

## 우주환경하에서의 진동자의 주파수 변화 측정에 의한 질량 측정 시스템 및 방법

김연규\*, 김종우\*\*, 김광식\*\*\*, 최기혁\*\*\*\*

### Mass Measuring System & Method using Frequency shift detection of the vibrator in the Microgravity Environment

Youn-Kyu Kim\*, Jong-woo Kim\*\*, Kwong-sik Kim\*\*\*, Gi-hyuk Choi\*\*\*\*

#### Abstract

In this study, we will explain the design, test results and analysis of system for measuring the small mass in the microgravity environment. It is so difficult to measure the mass by sensing the gravity as the ground in the microgravity environment. The suggested method is to measure the resonance frequency of a sample. The resonance frequency may be measured as a function of mass. If we know the resonance frequency of the mass, we can guess the mass by detecting the resonance frequency. Piezoelectric ceramics have the characteristics that resonance frequency is changed by total mass which are its mass and the attached mass. This system have some problems but we verified that we can measure the unknown mass using the resonance frequency as the mass.

#### 초 록

이 논문은 무중력환경에서 작은 질량을 측정하기 위한 시스템의 설계와 테스트 결과 분석을 보여준다. 무중력환경에서는 지상에서와 같이 중력에 이용하여 무게를 측정하는 것은 어렵다. 그래서 여기서 제안된 방법은 측정하고자 하는 샘플의 무게에 대한 함수인 공진주파수를 측정하는 것이다. 우리가 무게에 대한 공진주파수를 안다면 샘플의 공진주파수를 측정하여 그 질량을 알 수 있다. 그래서 피에조 세라믹이라는 물질을 이용하여 시스템을 만든 후 실제로 측정하였다. 이 시스템은 여러 문제가 있었지만, 우리는 미지의 물체의 질량을 측정 할 수 있었다.

키워드 : 공진주파수 (resonance frequency), 피에조(Piezo), 무게(mass), 무중력(microgravity)

\* 우주과학그룹/ykkim@kari.re.kr

\*\* 우주과학그룹/jongwoo@kari.re.kr

\*\*\* 우주과학그룹/ksk@kari.re.kr

\*\*\*\* 우주과학그룹/gchoi@kari.re.kr

## 1. 서 론

본 논문은 질량 측정 시스템 설계 방법과 시험 결과 및 분석에 관한 것으로, 진동자에 부가되는 질량의 변화에 따른 주파수 변화를 측정하여 무중력 환경에서 시료의 질량을 정밀하게 측정하는 것이다.

일반적으로 우주공간을 운행 중인 우주선(ISS) 내부는 대부분이 중력이 거의 없는 미세중력 또는 무중력 환경이다. 이러한 환경에서 물체의 질량을 측정하는 것은 중력이 작용하는 지상에서와는 다른 방법을 사용한다. 본 논문의 목적은 시료의 부가에 따른 진동자의 공진 주파수 변화를 측정하고, 측정된 공진 주파수 변화에 해당하는 표준 질량의 값을 표준 질량 데이터베이스에서 추출함으로써 시료의 질량을 정확하게 측정할 수 있는 진동자의 주파수 변화 측정에 의한 질량 측정 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다. 여기에서 공진 주파수라는 것은 교류 회로에서 전류/전압 = 임피던스(impedance) 라고 하며,  $Z = R + jX$  로 표현된다. 임피던스의 크기가 최소 또는 최대가 되는 주파수를 공진 주파수라고 한다. 즉 최대 전력이 전달되는 주파수이다. 그래서 외부 전압을 피에조의 고유 공진 주파수에 맞추면 공진되어 가장 강하게 진동한다.

이러한 시스템의 개념과 제작 후 그 측정결과를 다음절에 보여줄 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1 질량측정장비 설계 및 구성

#### 2.1.1 질량측정장비 초기 실험

피에조 세라믹은 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 바꾸고 그 반대로 바꾸는 그러한 성질을 가지고 있다. 이러한 피에조 세라믹의 공진주파수는 그 세라믹의 무게와 그 위에 붙게 되는 물체 무게 둘 다에 의해 변화된다. 그래서 우리는 먼저 무게에 따른 피에조의 공진주파수 경향

성을 알아보려고 초기 실험을 하였다. 그 측정장비는 QuadTech 7800 LCR meter을 이용하여 주파수에 따른 피에조의 임피던스를 측정하였다.

그 실험 결과를 그림 1에 나타내었고, 그림 1에서 보듯이 공진주파수는 45KHz에서 19KHz로 변화하였고 임피던스 또한  $20\Omega$ 에서  $1000\Omega$ 으로 변화되었다. 그래서 질량측정 시스템의 가능성을 가지고 시스템을 구성하였다.

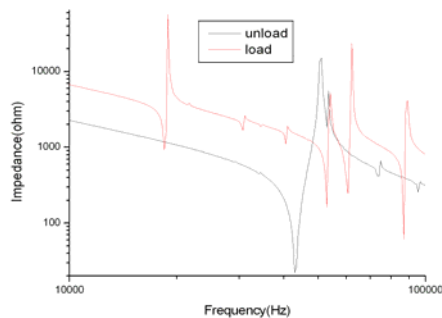


그림 1. 피에조의 주파수에 따른 임피던스 변화

#### 2.1.2 질량측정장비 구성

위와 같은 결과를 가지고 물체의 무게를 측정하기 위하여 질량 측정 시스템을 구성하였다. 그것을 그림 2에 나타내었다. 먼저 Controller 역할과 질량측정프로그램과 결과를 디스플레이 하는 PC에서부터 0Hz에서 일정 주파수까지 진동자에 입력 신호를 생성하라는 명령을 하면 장비 DAQPad-6070E는 그 신호를 진동자에 인가하고, 진동자 양단의 전압을 읽어 들어 들인다. 그래서 그 신호를 PC에서 스펙트럼 분석(FFT)을 이용하여 그 신호가 분석된다. 그 분석된 신호는 주파수에 따른 크기를 비교하는 것이다.

위와 같은 목적을 달성하기 위한 본 논문에 의한 진동자의 주파수 변화 측정에 의한 질량 측정 방법은, 시료의 질량이 부가된 상태에서 진동조정장치(DAQPad)의 제어에 의해 진동자를 진동시키는 단계, 상기 진동자의 진동에 의한 신호를 진동조정장치 의하여 측정하는 단계, 상기 측

정한 신호를 스펙트럼 분석을 하여 공진주파수를 연산하고, 표준 질량 데이터베이스에 저장된 표준 질량 부가에 따른 공진 주파수 변화를 검색하여, 검색한 결과와 상기 연산한 결과를 비교하는 단계, 상기 비교에 의하여 상기 시료 부가에 따른 공진 주파수 변화와 상기 표준 질량 부가에 따른 공진 주파수 변화의 일치 여부를 판단하는 단계 및 상기 추출한 표준 질량을 표시하는 단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다. 이러한 동작적인 다이어그램을 그림 3에 나타내었다.

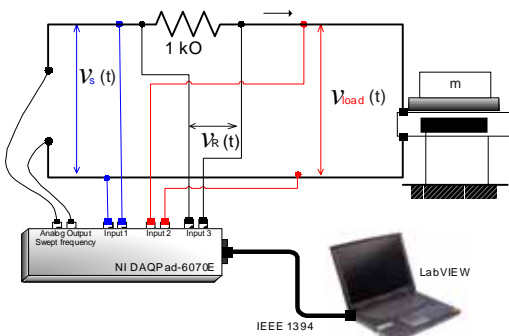


그림 2. 질량측정장비 구성도

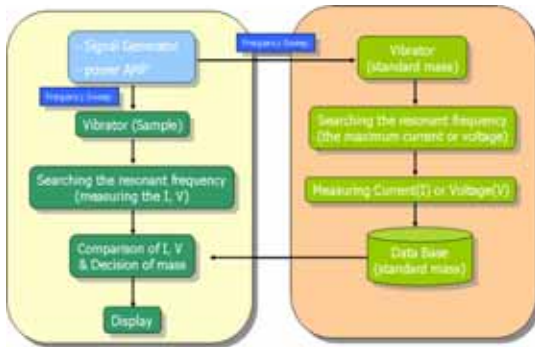


그림 3. Functional diagram

## 2.2 측정 결과

먼저 우리는 이미 그 무게를 알고 있는 표준 질량을 이용하여 무게에 따른 공진주파수의 관계

에 대한 데이터베이스가 필요하다. 그래서 0g에서 200g까지의 추를 이용하여 그 추를 피에조위에 설치하여 측정하였다. 여러 번 측정하여 공진 주파수에 대한 값을 평균을 내어서 산출하였다. 그림 4가 이것에 대한 데이터를 나타내는 것이다. 여기에서 x축은 무게에 대한 것이고 y축은 공진 주파수를 나타내는 것이다. 이 시험은 0g, 1g, 2g, 5g, 10g, 20g, 50g, 100g, 200g에 대해서 수행된 것으로 그 중간 데이터는 보간법을 이용하였다.

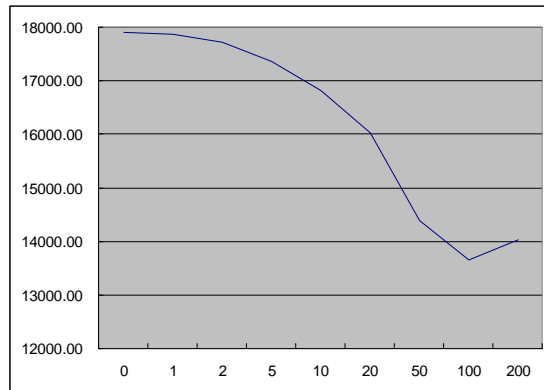


그림 4. 표준질량의 공진주파수에 대한 데이터베이스

위 그림에서 보듯이 0g에서 100g까지 비교적 무게에 따라 공진주파수가 변화하는 것을 알 수 있다. 그래서 지금 이 시스템은 100g까지 측정이 가능하다. 이 데이터베이스를 이용하여 샘플의 무게를 측정할 있다. 먼저 샘플을 표준 질량에서 했던 것처럼 피에조위에 설치한 후 그 피에조의 전압을 측정한다. 그 전압신호를 스펙트럼 분석을 통해서 첫 번째 공진 주파수를 얻을 수 있다. 이 공진주파수를 위의 데이터베이스와 비교하여 같은 공진주파수에 대한 표준 질량을 값을 디스플레이 하여 샘플의 무게를 얻을 수 있는 것이다. 그림 5는 측정되는 신호의 스펙트럼 분석을 통해 공진주파수를 얻는 그림이다. 0g, 5g, 20g에 대해서 나타낸 것으로 각각 질량에 대한 공진주파수를 나타내었다. 그림을 보듯이 공진주파수가 질량이 인가됨에 따라 그 값이 감소하는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결론 및 앞으로 할 일

무게와 공진주파수의 관계를 이용하여 무게를 측정할 수 있다는 것을 증명하였다. 그 측정할 수 있는 범위는 제한적 이었으나 그것을 피에조 물질의 영향이 크기 때문에 피에조에 대해서 좀 더 연구하면 그 범위를 늘일 수 있는 방법이 있을 것으로 본다.

하지만 이 시스템에는 앞으로 개선할 점이 있다. 먼저 우리는 공진주파수의 영향이 무게에 의한 것이 두드러진 결과라면 상관없으나 그렇지 않고 밀도, 부피, 물질 등에 따라서 그 값이 바뀐다면 이것을 질량측정장비로 이용할 수 있다. 이것에 대한 조사가 확실히 이뤄지고 개선해야 할 것으로 본다. 그리고 피에조와 샘플사이를 확실히 붙여야 피에조와 샘플이 같이 진동하는데 그렇지 않다면 그 질량은 0g으로 측정된다. 그래서 그 둘 사이를 확실히 붙일 수 있는 장치가 필요할 것으로 본다. 그리고 피에조의 위치에 따라 측정되는 공진주파수가 달랐다. 그래서 항상 같은 곳에서 측정가능한 장치가 필요하다.

향후 국제 우주 정거장의 가장 중요한 과학 임무는 우주인 장기 체류에 대한 생명과학 (Life Science)연구이고 이에 필요한 연구를 위하여 실험동물의 정확한 무게 측정은 필수 과정이다. 따라서 본 우주저울은 동물에게 스트레스를 덜 주며 무게를 측정할 수 있어 국제 우주 정거장에서의 생명과학연구에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

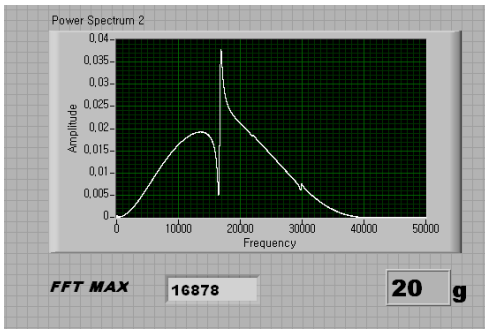
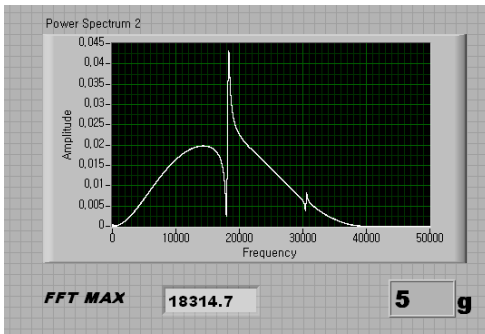
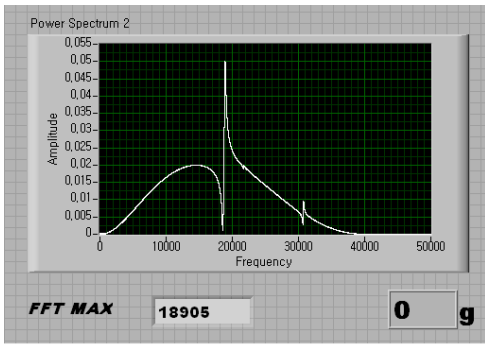


그림 5. 측정 결과