

## 초음파를 이용한 물체 부상 이송시스템의 진동 특성 해석

정상화(조선대학교 기계공학과), 김현욱, 최석봉\*, 김광호, 박준호(조선대 대학원)

### An Analysis of Vibration Characteristics in Ultrasonic Object Levitation Transport System

S. H. Jeong(Mech. Eng. Dept., CSU), H. U. Kim, S. B. Choi\*, G. H. Kim, J. H. Park(Grad., CSU).

#### ABSTRACT

In the semiconductor and optical industry, a new transport system which can replace the conventional transport systems is required. The transport systems are driven by the magnetic field and conveyer belts. The magnetic field may damage semiconductor and the contact force may scratch the optical lens. The ultrasonic wave driven system can solve these problems. In this semiconductor and optical industry, the non-contact system is required for reducing the damages. The ultrasonic transportation is the solution of the problem. In this paper, the ultrasonic levitation system for levitating object are proposed. The 3D vibration profiles of the beam are measured by Laser scanning Vibrometer for verifying the vibration characteristics of the system and the amplitudes of the beam and the levitation heights of objet are measured for evaluating the performance.

**Key Words** : Ultrasonic Wave Generator (초음파 발생장치), Ultrasonic Levitation (초음파 부상), Ultrasonic Transportation (초음파 이송), Vibration Characteristics (진동특성), Laser Displacement Sensor(레이저 변위 측정기), Laser Scanning Vibrometer (3차원 레이저진동 측정기), Vibration Mode Analysis (진동모드해석).

#### 1. 서론

현대 초정밀 산업에서 고부가가치 부품으로 평가 받고 있는 평판 디스플레이, 반도체 부품, 그리고 광 소자부품을 손상 없이 안전하게 이송하는 시스템이 요구됨에 따라 물체를 부상시켜 이송하는 방법이 제시되고 있다. 반도체의 경우 반도체 내부의 전자적 배열이 변하지 않아야 하며, 렌즈의 경우 접촉력에 의한 표면 손상으로부터 안전해야 한다. 이러한 조건을 충족시킬 수 있는 이송 방법이 초음파를 이용하여 물체를 부상시켜서 이송하는 방법이다. 초음파를 이용한 이송에 대한 연구는 80년대 말부터 일본을 중심으로 초음파 모터 개발에 관한 연구로 시작되었으며 지금까지의 대부분의 연구들은 모터 소음을 줄이기 위한 목적으로 초음파 로터리 모터에 대한 연구들이었다. 90년대 말부터는 두 개의 초음파 발생장치와 빔을 이용하여 물체를 이송하는 방법이 Paul I.Ro에 의해 제시되었다.<sup>4,5</sup>

본 연구에서는 초음파를 이용하여 물체를 무접촉으로 이송하기 위하여 초음파 물체 부상 이송 시스템을 개발하였다. 부상되어 이송되어지는 물체의 크기에 따라 빔의 파형이 달라야 하므로 폭이 다른 두 개의 탄성빔을 고안하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 3차원 레이저 진동 측정 장치를 이용하여 탄성빔 표면의 진동을 측정하였고 탄성빔 표면의 진폭을 측정하였다. 탄성빔에 따른 물체의 부상특성을 실험하기 위해 물체의 부상된 변위를 레이저 변위 센서를 이용하여 측정하였다. 탄성빔의 형태에 따른 부상된 물체의 이송속도를 측정하였다.

#### 2. 초음파 물체 부상 이송장치의 고안

그림 1은 초음파 물체 이송 시스템의 모습을 보여준다. 채널 1과 채널 2의 초음파 발생장치는 같은 사양의 변환기와 혼으로 구성되어 있다. 진행파를 얻기 위하여 채널 1의 변환기에는 발진기를 연결하

고 채널 2의 변환기에는 저항과 인덕턴스를 연결한다. 임피던스 매칭을 하기 위한 두개의 초음파 발생 장치의 혼 끝에 탄성빔을 연결한다. 채널 1의 초음파 발생장치에서 진행파가 생성되어 채널 1에서 채널 2의 방향으로 물체의 부상과 동시에 이송이 이루어지게 된다. 두개의 초음파 발생장치로 구성된 초음파 물체 부상 이송장치는 같은 사양으로 구성되어 있으므로 진동을 발생시키는 발진기와 연결된 채널 1과 진동을 받아들이는 부분인 채널 2의 위치가 서로 바뀌어도 같은 진동을 얻기 때문에 물체의 부상과 이송의 데이터가 같은 결과를 얻을 수 있다.

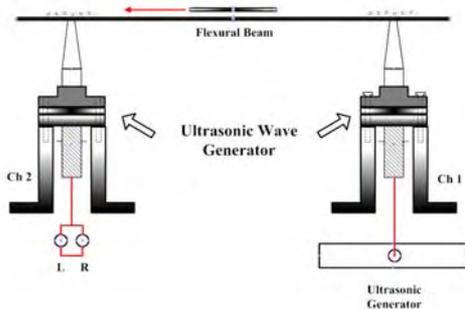


Fig. 1 Layout of Ultrasonic Object Levitation Transport System

### 3. 탄성빔의 진동 측정

#### 3.1 3차원 레이저 진동 측정기를 이용한 진동 측정

제작된 탄성빔에서 발생하는 진동형태를 측정하기 위해 3차원 레이저 진동 측정기를 사용하였다. 실험장치의 구성도는 Fig. 2와 같다. 탄성빔의 형태에 따른 진행파의 형태와 크기를 측정하였다. 부상과 이송이 이루어지는 탄성빔을 길이방향과 세로방향으로 나누어 진동을 측정하였다. 탄성빔의 길이에 따른 진행파의 진동을 측정하기 위하여 길이 방향을 3개의 직선으로 분할하여 측정하였고, 세로방향으로 10개의 직선으로 분할하여 측정하였다. Fig. 3은 레이저 진동측정기를 이용하여 탄성빔 1의 진동부분을 가로방향과 세로방향으로 측정한 것을 나타낸 것이다.

#### 3.2 측정결과

3차원 레이저 진동 측정기로 탄성빔의 진동 형태를 측정한 결과 Beam 1의 경우 가로방향 최대진폭  $1.39\mu\text{m}$ 가 검출되었고 세로방향 최대진폭  $1.09\mu\text{m}$ 가 검출되었다. Beam 2의 경우 가로방향 최대진폭  $5.11\mu\text{m}$ 가 검출되었고 세로방향 최대진폭  $3.46\mu\text{m}$ 가 검출되었다.

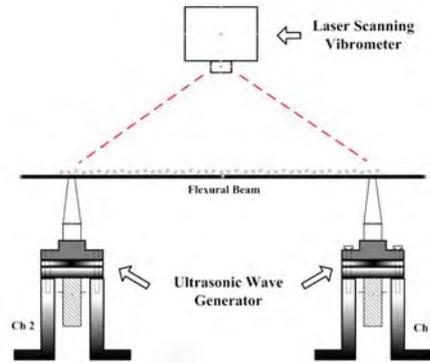
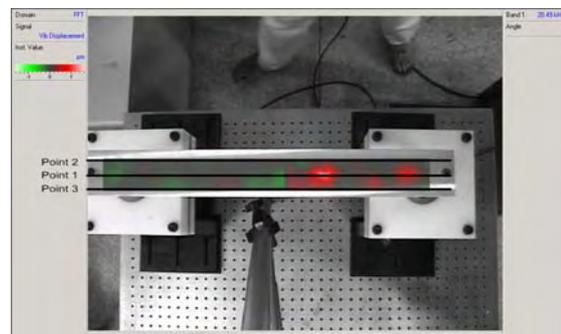
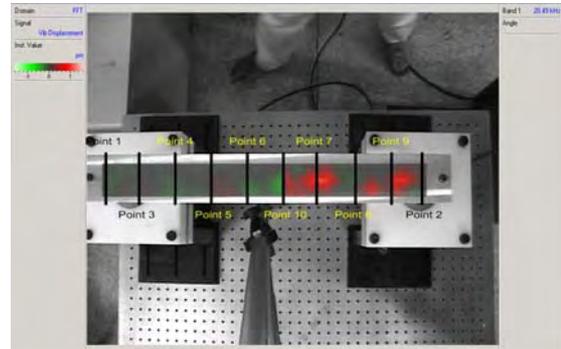


Fig. 2 Experimental Apparatus for Ultrasonic Object Levitation Transportation



(a) Horizontal Division of Flexural Beam 1

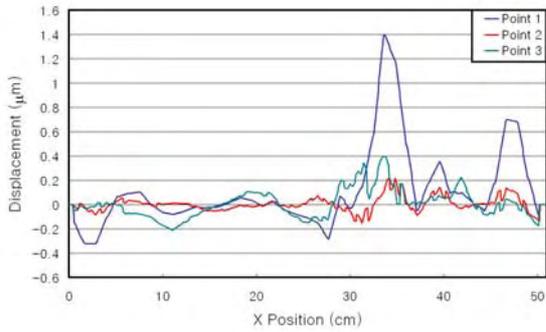


(a) Vertical Division of Flexural Beam 1

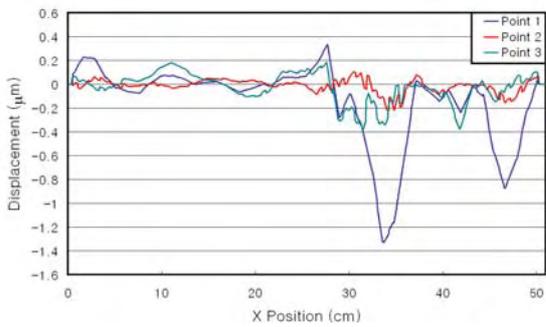
Fig. 3 Measurement of Flexural Beam 1 using Laser Scanning Vibrometer

#### 3.2.1 빔 1의 진동특성

Duralumin 재질의 70 mm의 폭을 갖는 빔 1의 진동을 측정하였다. 물체의 부상이 시작되며 이송될 때의 주파수는 20.49Khz로 측정되었다. Fig. 4는 빔 1의 가로방향 진폭변화를 나타내며 (a)는 최고점을 나타낸 것이고 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸 것이다. 가로방향 최대변위는  $1.39\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Fig. 5는 빔 2의 세로방향 진폭변화를 보여주며 (a)는 최고점을 나타낸 것이고 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸다. 세로방향 최대변위는  $1.09\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

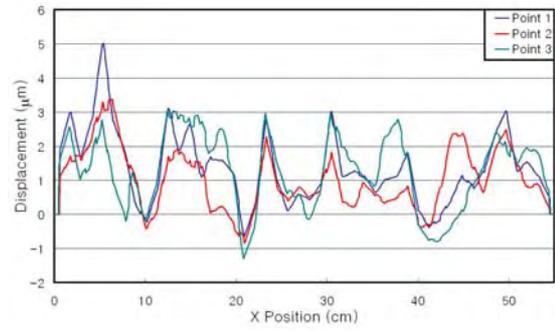


(a) Horizontal Maximum Amplitude of Beam 1

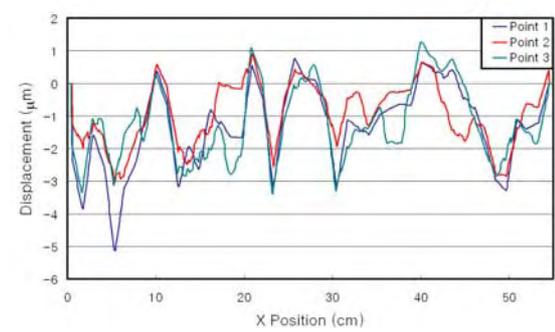


(b) Horizontal Minimum Amplitude of Beam 1

Fig. 4 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam 70mm width

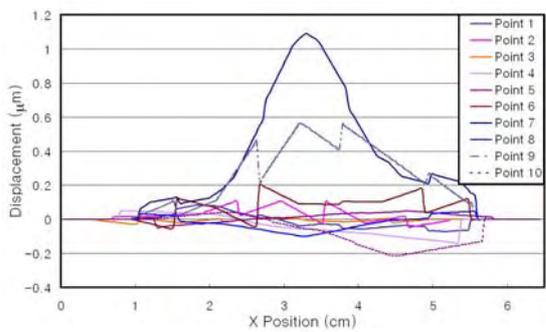


(a) Horizontal Maximum Amplitude of Beam 2

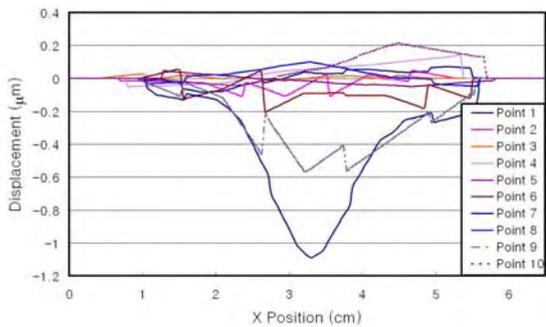


(b) Horizontal Minimum Amplitude of Beam 2

Fig. 6 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam 40mm width

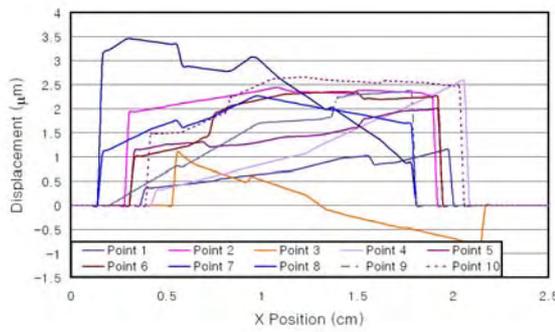


(a) Vertical Maximum Amplitude of Beam 1

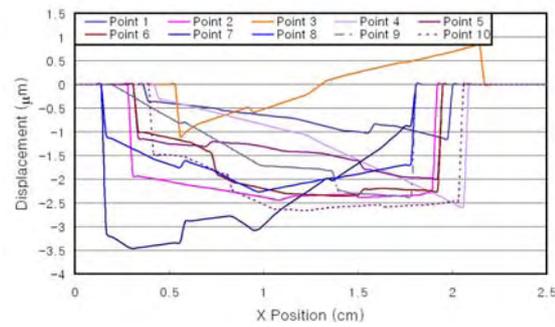


(b) Vertical Minimum Amplitude of Beam 1

Fig. 5 Vertical Vibration Characteristics of flexural Beam 70mm width



(a) Vertical Maximum Amplitude of Beam 2



(b) Vertical Minimum Amplitude of Beam 2

Fig. 7 Vertical Vibration Characteristics of flexural Beam 40mm width

### 3.2.2 빔 2의 진동특성

Duralumin 재질의 40 mm의 폭을 갖는 빔 2의 진동을 측정하였다. 물체의 부상이 시작되며 이송될 때의 주파수는 20.38Khz로 측정되었다. Fig. 6는 빔 2의 가로방향 진폭변화를 나타내며 (a)는 최고점일 때 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸 것이다. 이때의 변위는  $5.11\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Fig. 7는 빔 2의 세로방향 진폭변화를 보여주며 (a)는 최고점일 때의 변위를 나타내며 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸다. 이때의 변위는  $3.46\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 결과에서 보는 것처럼 탄성빔 전체에서 진폭의 크기가 상충하고 감소하는 것을 볼 수 있고 최고 변위도 대칭적으로 나타남을 알 수 있다.

### 4. 부상 높이의 측정

초음파를 이용하여 물체가 부상되어 이송될 때 탄성빔에 따른 부상 높이를 측정하였다. 측정센서는 레이저 변위센서를 이용하였다. 부상되는 물체는 지름 950 mm이며 무게 14.5g을 갖는 원형 디스크를 사용하였다. 탄성빔에 따른 부상높이는 Fig. 8과 같이 빔 1에서 1.27 mm, 빔 2에서 2.10 mm로 측정되었다.

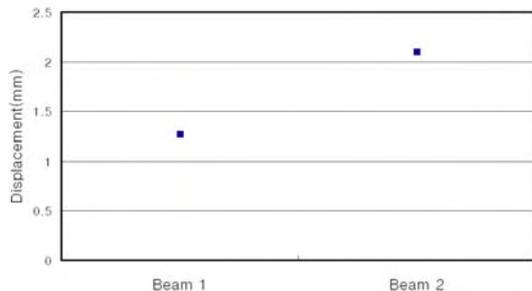


Fig. 8 Levitation Heights in Flexural Beam

### 5. 이송 속도의 측정

초음파로 물체가 이송될 때의 속도를 측정하였다. 이송되는 물체는 지름 9.5 cm이며 무게 14.5 g을 갖는 원형 디스크를 사용하였다. 10회의 속도측정을 통하여 이송체는 빔 1에서 14.3 cm/s, 빔 2에서 17.5 cm/s의 이송속도를 보임을 알 수 있었다.

### 6. 결론

본 연구에서는 반도체 소자나 광소자의 무접촉 이송에 이용하고자 초음파 물체 부상 이송장치를 개발하였다. 빔의 형상에 따른 진동의 크기를 측정하기 위하여 폭이 서로 다른 두 개의 탄성빔을 이용하여 진동특성을 파악하였다. 물체가 부상될 때의 진

동 특성을 평가하고자 탄성빔 표면의 진동형태를 3차원 레이저 진동측정기를 사용하여 측정하였다. 측정결과 빔 1에서는 주파수 20.49Khz일때 가로방향 최대진폭  $1.39\mu\text{m}$ , 세로방향 최대진폭  $1.09\mu\text{m}$ 로 측정되었으며 빔 2에서는 주파수 20.38Khz일때 가로방향 최대진폭  $5.11\mu\text{m}$ , 세로방향 최대진폭  $3.46\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 물체 부상높이는 레이저 변위센서를 이용하여 측정되었는데 빔 1에서 1.27 mm, 빔 2에서는 2.10 mm의 부상높이를 나타냈다. 물체가 부상되어 이송될 때의 속도는 빔 1에서 14.3 cm/s, 빔2에서는 17.5 cm/s로 측정되었다. 이로써 부상높이와 이송속도는 발생하는 진폭의 크기와 비례함을 알 수 있었다. 또한 초음파 물체 부상 이송시스템에서는 탄성빔보다 최대 2.3배의 크기를 갖는 물체의 안정적인 부상과 이송이 이뤄짐을 알 수 있었다.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

### 참고문헌

1. S. H. Jeong., B. S. Shin., "A Study on the Relationship between Flexural Beam Shape and Transport Characteristics for the Ultrasonic Transport Systems", Proc. KSMTE Autumn Conference, pp.25-29, 2003.
2. S. H. Jeong., T. H. Kim., B. S. Shin., and K. R. Cha., "A Study on Object Transport System using 2-Mode Ultrasonic Wave" Proc. KSPE Spring Conference, pp.1170-1173, 2003.
3. E. Matsuo., Y. Koike., K. Nakamura., S. Ueha., Y. Hashimoto., "Holding characteristics of planar objects suspended by near-field acoustic levitation" Ultrasonics 38, pp.60-63, 2000.
4. B.-G. Loh., and P. I. Ro., "Changing The Propagation Direction Of Flexural Ultrasonic Progressive Waves By Modulating Excitation Frequency", Journal of Sound and Vibration, 238(1), pp.171-178, 2000.
5. Byung-Gook Loh., and Paul I. Ro., "An Object Transport System Using Flexural Ultrasonic Progressive Waves Generated Two-Mode Excitation", IEEE Transactions On Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 47, pp.994-999, 2000.