

# 초음파 여기를 이용한 물체 이송시스템의 메커니즘 연구

정상화<sup>+</sup>, 최석봉<sup>\*</sup>, 차경래<sup>++</sup>, 김광호<sup>+++</sup>, 박준호<sup>++++</sup>, 이경형<sup>+++++</sup>

A Study on the Mechanism of Object Transport System using Ultrasonic Excitation

Sanghwa Jeong<sup>+</sup>, Sukbong Choi<sup>\*</sup>, Kyoungrae Cha<sup>++</sup>, Kwangho Kim<sup>+++</sup>, Junho Park<sup>++++</sup>,  
Kyoungyoung Lee<sup>+++++</sup>

## Abstract

In the semiconductor and the optical industry a new transport system which can replace the conventional sliding system is required. These systems are driven by magnetic field and conveyer belt. The magnetic field damages semiconductor and contact force scratches the optical lens. The ultrasonic wave driven system can solve these problem. In this paper, the relationship of transporting speed according to the change of flexural beam shape and the effect of transporting speed according to the change of weight and amplification voltage are verified. The vibration behavior of flexural beam in the ultrasonic transport system is experimented using Laser Scanning Vibrometer.

**Key Words :** Object transport system (물체이송장치), Laser scanning vibrometer (레이저진동측정시험기), Ultrasonic wave generator (초음파발생장치), Excitation frequency (가진주파수), Phase-difference (위상차), Progressive frequency (진행주파수), Flexural beam (탄성빔)

## 1. 서론

현대 산업에서는 이송되는 물체에 손상이 없고, 물체의 특성을 최대한 고려한 이송시스템이 요구된다. 또한 생산성 향상과 생산 자동화를 위해 보다 빠르고, 보다 정밀한 성능이 추가로 요구되고 있다. 초음파를 이용한 이송시스템은 기존의 대표적인 이송시스템인 컨베이어 방식의 이송시스템에 비하여 정밀하고 손상에 민감한 부품들의 이송에 적합한 좋은 특성을 가지고 있다. 최근에는 반도체 및 광산업이 발달함에 따라 자기에 영향을 받는 반도체 부품이나 접촉력에 따라 표면손상을 일으키는 광소자들을 결합 없

이 이송하기 위한 새로운 시스템의 개발이 요구되고 있다. 접촉력에 의한 렌즈표면 손실, 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송방법이 바로 초음파 여기를 이용한 이송방법이다. 초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980년 말부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다.<sup>(1)</sup> 그리고 최근에 이송하고자 하는 물체를 직접 초음파로 여기 하여 이송하는 방식이 활발히 연구중에 있으나<sup>(2)</sup> 아직 실용화되지는 않았다. 본 연구에서는 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다.<sup>(3),(4)</sup> 개발된 시스템의 성능을 평가하고 진동형태를 분석하기 위하여 다음

\* 발표자, 조선대학교 대학원 기계공학과 (yamoonnom@hanmail.net)

주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375

+ 조선대 기계공학과

++, +++, +++++, +++++ 조선대 대학원

과 같은 연구를 수행하였다. 첫째 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 발진주파수와 이송방향과의 관계, 위상차와 이송방향과의 관계, 그리고 전압과 이송속도와의 관계 등을 실험을 통해 규명하였다. 둘째 서로 다른 응용분야에 적용하기 위하여 이에 적합한 탄성빔 형상을 개발하고, 각각의 형상에 따른 이송특성을 연구하였다. 탄성빔은 동일한 길이에 단면 형상을 직사각형 모양과 니자 모양으로 변화시킨 것과, 동일한 단면 형상에 길이를 변화시킨 것을 사용하여 길이변화에 따른 물체의 이송특성과 단면형상의 변화에 따른 물체 이송특성을 파악하였다. 셋째 Laser Scanning Vibrometer를 이용하여 이송 시스템의 이송 메커니즘을 규명하였다. 또한 선행된 연구에서 규명된 진행주파수, 위상차와 이송방향의 관계, 진행주파수와 이송방향관계 등의 데이터를 바탕으로 양방향의 최고 이송속도를 나타낼 때, 물체가 이송되지 않을 때, 그리고 물체의 이송방향이 변할 때의 탄성빔의 각각의 진동형태를 측정하여 규명하였다.

## 2. 실험장치구성

초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템은 함수발생기, 파워증폭기, 탄성빔 그리고 초음파 발생 장치로 구성된다. Fig. 1은 실제 실험장치의 사진이다. 초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로 초음파를 발생시켜주는 P.Z.T 액츄에이터로 구동된다.<sup>(5),(6)</sup> 탄성빔은 Node Line이 아닌 부분에 초음파 발생장치와 볼트로 연결되어 있다. 초음파 발생장치와 탄성빔은 음향학적 효과가 뛰어난 재질로 제작되었다. 본 논문에서는 탄성빔의 형태 변화에 따른 이송 시스템의 성능과 이송특성을 파악하기 위해 탄성빔 각각의 형상에 따른 진행주파수 발견, 위상차와 이송방향과의 관계, 그리고 진행주파수와 이송방향과의 관계 등을 실험하였다.

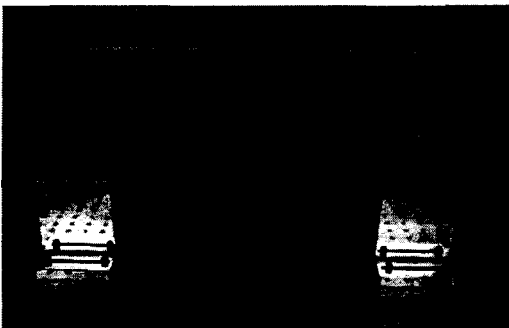


Fig. 1 Experimental apparatus of an object transport system

## 3. 연구내용

### 3.1 물체 이송을 위한 진행주파수

Fig. 2는 주파수 변화에 따른 물체의 이송변화를 나타낸 그림이다. 속도값의 (+)부분은 물체의 이송방향이 오른쪽에서 왼쪽으로 진행되는 것을 나타내고 (-)부분은 이송방향이 반대인 경우를 나타낸다. 그리고 속도값이 0인 부분은 물체가 움직이지 않은 부분이다. Fig. 2에서 보는 것과 같이 물체는 28.0 kHz에서 이송속도가 32.2 mm/s로 가장 빨랐으며 안정적인 이송을 보였다. 그러므로 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 28.0 kHz 부근임을 알 수 있었다.

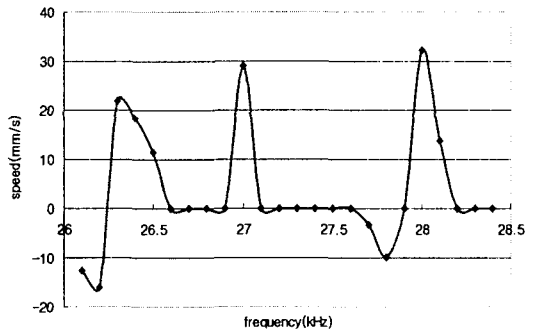


Fig. 2 Speed according to frequency

### 3.2 전압 변화에 따른 물체 이송변화

입력전압은  $\pm 0V$ 부터  $\pm 50V$ 까지는  $\pm 10V$ 씩,  $\pm 50V$ 부터  $\pm 650V$ 까지는  $\pm 20V$ 씩 증가시키며 실험하였다. Fig. 3은 전압변화에 따른 물체 이송속도 변화를 나타낸 그래프이다.

실험결과 전압을 증가시켰을 때  $\pm 50V$ 에서 물체가 처음 이송되었고 이때의 이송속도는 5.4 mm/s였다. 그리고 최고 입력전압인  $\pm 650V$ 에서 39.2 mm/s로 가장 빠른 이송속도를 보였다. 그러므로 물체 이송속도는 전압의 증가와 비례함을 알 수 있었다.

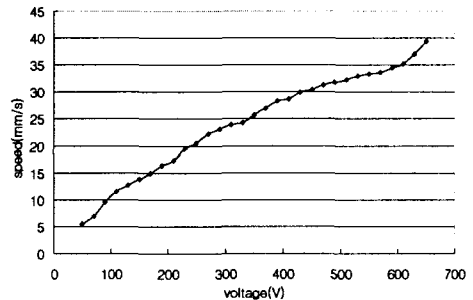


Fig. 3 Speed according to voltage

### 3.3 위상차 변화에 따른 물체 이송변화

일정한 주파수와 전압에서 위상차를 변화시켰을 때 물체의 이송변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. Fig. 4는 위상차 변화에 따른 물체의 이송속도 및 방향의 변화를 나타낸 그래프이다.

실험결과 Case 1, 2의 조건으로 실험을 수행했을 때 초음파 발생장치 사이의 위상차가 30°에서 (-)방향으로 48.1 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였고 위상차가 140°일 때 (+)방향으로 58.0 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였다. Case 3, 4의 조건에서는 위상차가 330°일 때 (-)방향으로 47.6 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였고 위상차가 220°일 때 (+)방향으로 59.2 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였다. 이 결과로부터 물체 이송방향과 이송속도가 초음파 발생장치 사이의 위상차를 변화시킴으로써 방향과 속도를 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

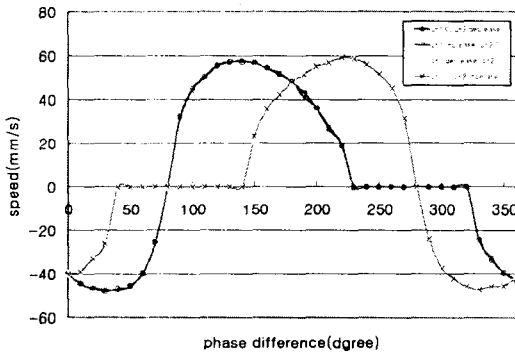
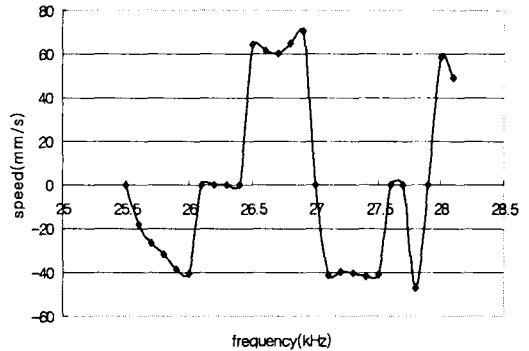


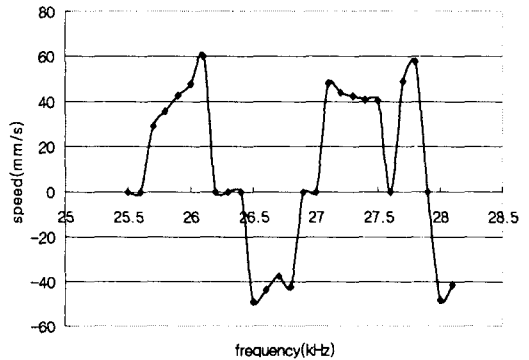
Fig. 4 Speed according to phase difference

### 3.4 주파수 변화에 따른 물체 이송변화

주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 파악하기 위해 주파수를 25.5 kHz ~ 28.1 kHz까지 100 Hz씩 증가시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. 실험결과 Fig. 5-(a)에서 보는 것과 같이 위상차를 30°로 일정하게 했을 때 26.1 kHz에서 (+)방향으로 60.0 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였고, 26.5 kHz에서 (-)방향으로 49.1 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였다. Fig. 5-(b)에서 보는 것처럼 위상차가 140°로 일정했을 때 26.9 kHz에서 (+)방향으로 70.7 mm/s의 최대 이송속도를 보였고, 27.8 kHz에서 (-)방향으로 47.3 mm/s의 최대 이송속도를 보였다. Table 2와 Table 3은 위상차가 30°일때와 140°일때의 방향변화를 나타낸 것이다. 이로부터 주파수의 변화도 물체를 이송방향과 이송속도로 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.



(a) Phase difference : 30°



(b) Phase difference : 140°

Fig. 5 Speed according to frequency

### 3.5 물체 무게변화에 따른 이송속도

Fig. 6은 물체의 무게변화에 따른 이송속도를 나타낸 그래프이다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 물체의 무게가 증가할수록 이송속도가 감소한다는 것을 알 수 있었다. 이송속도는 17.4g 일 때 72.1 mm/s로 가장 빨랐다

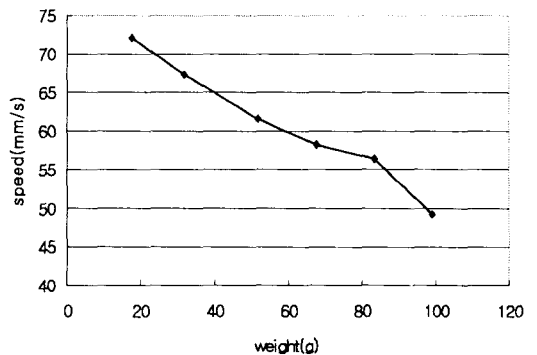
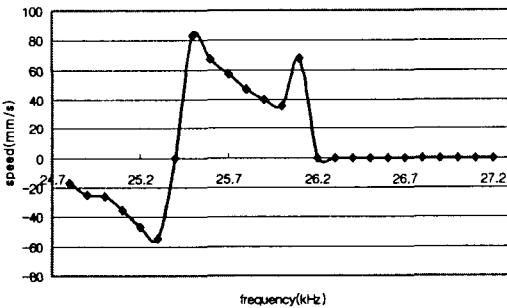


Fig. 6 Speed according to weight

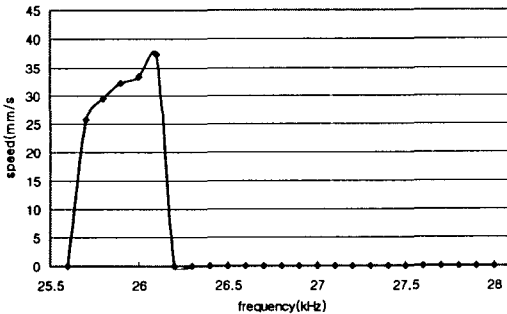
### 3.6 탄성빔의 단면형상 변화에 따른 이송변화

탄성빔의 길이를 350mm로 동일하게 하고 단면형상을 직사각형과  $\Gamma$ 형으로 변화시키면서 물체의 이송특성을 관찰하였다. Fig. 2는 각각의 단면형상에서 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 것으로 탄성빔의 단면형상이 직사각형일 때 물체는 25.5 kHz에서 이송속도가 82.94 mm/s로, 단면형상이  $\Gamma$ 형일 때 물체는 26.1 kHz에서 이송속도가 37.44 mm/s로 각각 가장 빠른 이송을 보였다.

각각의 진행주파수를 기준으로 위상차를 변화시키면서 단면형상에 따른 물체 이송특성을 살펴보았다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는  $0^\circ$ 부터  $360^\circ$ 대역으로  $10^\circ$ 씩 증가, 감소시키면서 4개의 Case로 각각 실험하였다. Fig. 8은 실험결과를 나타낸 그래프이다. 실험결과 이송속도가 가장 빠른 위상차는 단면의 형상이 직사각형인 경우 (+)방향으로는  $140^\circ$ 와  $220^\circ$ 부근이고, (-)방향으로는  $30^\circ$ 와  $330^\circ$ 부근으로, 단면의 형상이  $\Gamma$ 형인 경우 (+)방향으로는  $180^\circ$ 부근이고, (-)방향으로는  $0^\circ$ 와  $360^\circ$ 부근이었다.

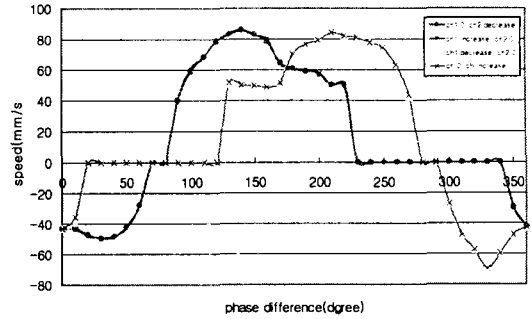


(a) Section of flexural beam : rectangular

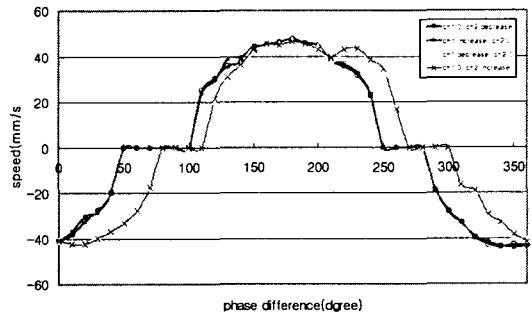


(b) Section of flexural beam :  $\Gamma$

Fig. 7 Speed according to phase difference for two flexural beams



(a) Section of flexural beam : rectangular



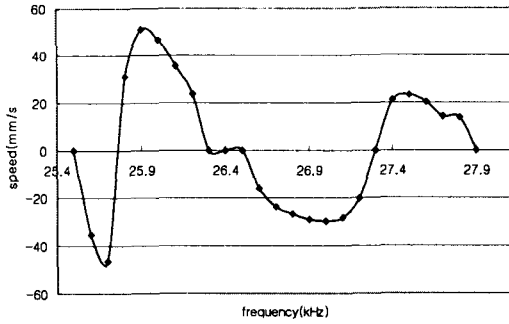
(b) Section of flexural beam :  $\Gamma$

Fig. 8 Speed according to phase difference for two flexural beams

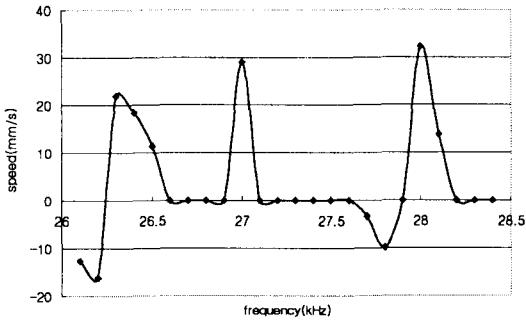
### 3.2 탄성빔의 길이 변화에 따른 이송변화

탄성빔의 길이를 600 mm, 500 mm, 350 mm로 변화시키면서 물체의 이송특성을 살펴보았다. 각각의 길이에 따른 진행주파수를 찾기 위해 앞절의 진행주파수 찾는 실험과 동일한 방식으로 실험하였다.

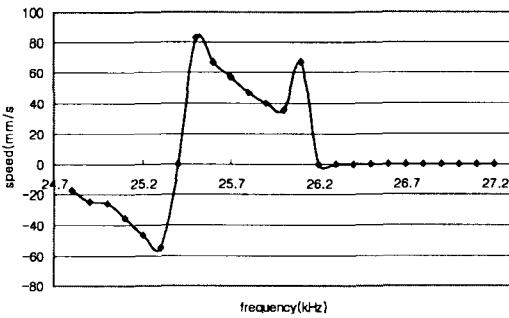
Fig. 4는 각각의 탄성빔에서 주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 탄성빔의 길이가 600 mm일 때 물체는 25.9 kHz에서 이송속도가 50.99 mm/s로, 길이가 500 mm일 때 28.0 kHz에서 이송속도가 32.2 mm/s, 길이가 350 mm일 때 25.5 kHz에서 이송속도가 82.94 mm/s로 각각 가장 빠르며 안정적인 이송을 보였다. 그러므로 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 길이에 따라 600 mm일 때는 25.9 kHz, 350 mm일 때는 25.5 kHz임을 알 수 있었다.



(a) Flexural beam : 600×14×3



(b) Flexural beam : 500×11×3



(c) Flexural beam : 350×14×3

Fig. 9 Speed according to frequency for three flexural beams

### 3.7 Laser Scanning Vibrometer를 이용한 진동형태 분석

초음파를 이용한 물체 이송시스템의 이송 메커니즘을 파악하기 위해 선행된 연구에서 규명된 진행주파수, 위상차와 이송방향의 관계, 진행주파수와 이송방향관계 등의 데이터를 기준으로 Laser scanning vibrometer를 이용하여 실험

하였다.

Fig. 10은 물체의 이송이 원활할 때의 파형이다. 실험결과 파형은 뒤트림이 없는 안정된 파형이 생겼으며 탄성체의 진동형태는 긴 파장의 파형과 짧은 파장의 파형이 규칙적으로 진행되었다. Fig. 11은 물체가 이송되지 않는 파형이다. 보는 것과 같이 미세한 진동의 불안정한 파형이 생성되었다. 실험결과 파형이 생기지 않았을 때, 그리고 파형이 생성되었지만 불규칙적인 파형이나 진폭이 매우 작은 경우에는 물체가 이송되지 않는다는 것을 알 수 있었다. Fig. 12는 물체의 이송방향이 변할 때의 파형이다. 실험결과 파형은 크고 작은 파형이 불규칙적으로 생성되었다. 전체적인 파형의 모습은 일정한 주기를 가지고 진폭의 변화가 발생하였다.

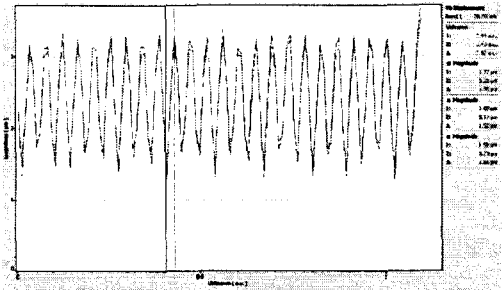


Fig. 10 Progressive Wave Form

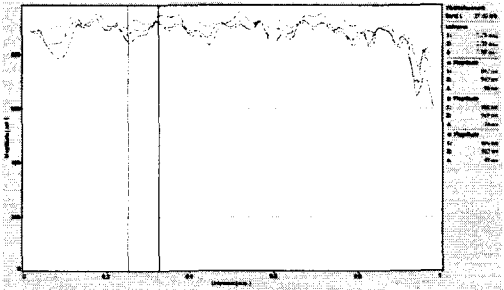


Fig. 11 Non-Progressive Wave Form

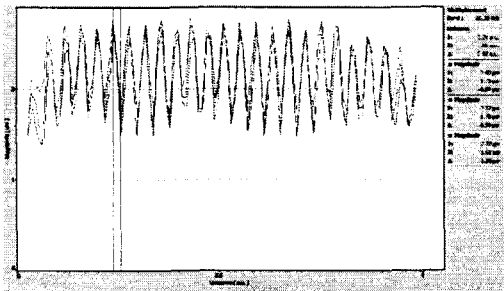


Fig. 12 Switching-over Wave Form

## 4. 결 론

본 연구에서는 광소자의 표면손상이나 반도체소자의 자장에 의한 전자적 배열의 손상 등 기존의 이송 시스템의 단점을 보완하기 위해 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 이송 시스템의 성능평가를 위해 물체를 진행주파수 및 위상차, 주파수와 이송특성과의 관계, 위상차와 이송특성과의 관계, 그리고 전압 및 물체의 무게와 이송특성과의 관계를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 또한 개발된 이송 시스템을 서로 다른 응용분야에 적용하기 위하여 이에 적합한 탄성빔의 형상을 개발하고, 각각의 형상에 따른 이송특성을 연구하였다. 이때 탄성빔은 동일한 단면 형상에 길이를 350 mm, 500 mm, 600 mm로 변화시킨 것과, 동일한 길이에 단면 형상을 직사각형 모양과 L형 모양으로 변화시킨 것을 사용하여 길이 변화에 따른 물체의 이송특성과 단면 형상의 변화에 따른 물체의 이송특성을 파악하는 실험을 수행하였다. 그리고 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템의 이송 메커니즘을 규명하기 위해 레이저 진동측정기를 사용하여 진동형태를 분석하는 실험을 하였다. 선행된 연구에서 규명된 진행주파수, 위상차와 이송특성과의 관계, 주파수와 이송특성과의 관계 등의 데이터를 기준으로 양방향으로 물체의 이송이 원활할 때, 물체가 이송되지 않을 때, 그리고 물체의 이송방향이 변할 때의 탄성빔의 진동특성을 파악하였다. 실험결과 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템의 성능을 평가하였고, 탄성빔의 형상 변화에 따른 이송특성 실험을 통해 탄성빔의 형태가 이송특성에 가장 많은 영향을 미친다는 것을 규명하였다. 그리고 레이저 진동측정기를 이용하여 진동특성을 파악하였다. 연구를 통해 얻어진 데이터들은 각각의 응용분야에 따른 실제 산업현장에 적절히 적용될 수 있을 것이며, 더 뛰어난 성능의 이송 시스템의 설계 및 개발을 위한 정량적인 데이터를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템은 실제 이송공정에도 적용될 수 있으며, 특히 표면 손상이 쉬운 광소자와 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 이송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

(1) Y. Tomikawa, K. Adachi, H. Hirata, T. Suzuki, and T. Takano, 1989, "Excitation go progressive

wave in a flexurally vibrating transmission medium", Proc. 10th Symp. Ultrason. Electron., Vol. 29-1, pp. 179~181.

- (2) P. I. Ro, B. G. Loh, 2001, "Feasibility of Using Ultrasonic Flexural Waves as a Cooling Mechanism", IEEE Transactions on Industrial Electronics., Vol. 48, No. 1, pp. 143~150.
- (3) S. H. Jeong, T. H. Kim, B. S. Shin, and K. R. Cha, 2003, "A Study on Object Transport System using 2-Mode Ultrasonic Wave", Proc. the KSPE Spring Conference 2003, pp. 1170~1173.
- (4) S. H. Jeong, B. S. Shin, K. R. Cha, S. Song, and K. H. Lee, 2003, "Development of the Object Transport System using Ultrasonic Wave Excitation", Proc. the KSMTE Spring Conference 2003, pp. 371~375.
- (5) M. Kurosawa, K. Nakmora, T. Okamoto, and S. Ueha, 1989, "An Ultrasonic Motor Using Bending Vibrations of a Short Cylinder", IEEE Transactions on Ultrasonics. Ferroelectrics. and Frequency control., Vol. 36, No. 5, pp. 517~521.
- (6) K. Nakamura, M. Kurosawa, and S. Ueha, 1991, "Characteristics of a Hybrid Transducer-Type Ultrasonic Motor", IEEE Transactions on Ultrasonics. Ferroelectrics. and Frequency control., Vol. 38, No. 3, pp. 188~193.