

## 초음파를 이용한 물체 이송시스템의 동작특성 연구

정상화\*, 김현욱#, 차경래\*\*, 최석봉\*\*, 송석\*\*

### A Study on the Dynamic Characteristics of Object Transport System using Ultrasonic Wave

Sang Hwa Jeong\*, Hyun Uk Kim#, Kyoung Rae Cha\*\*, Suk Bong Choi\*\*, Suk Song\*\*

#### ABSTRACT

In the semiconductor and the optical industry, a new transport system which can replace the conventional sliding systems is required. The sliding 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 paper, an object transport system using the excitation of ultrasonic wave is proposed. The experiments for finding the optimal progressive frequency and the phase-differences between two ultrasonic wave generators are performed. The relationships between transportation speed and the excitation frequency, flexural beam shapes and amplification voltage are investigated.

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

#### 1. 서론

현대 산업에서 이송시스템은 기존의 이송시스템보다 신속성과 정밀성이 요구되고 있다. 또한 이송하기 위한 제품의 특성이나 작업환경에 따라 각각의 조건에 맞는 이송시스템이 요구된다. 이는 생산성 향상과 생산 자동화에 많은 영향을 주며 이에 대한 투자와 개발이 병행되고 있다. 최근에는 반도체 및 광산업이 발달함에 따라 자기에 영향을

받는 반도체 부품이나 접촉력에 따라 표면손상을 일으키는 광소자들을 결함 없이 이송하기 위한 새로운 시스템의 개발이 요구되고 있다. 접촉력에 의한 렌즈표면 손실, 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송방법이 바로 초음파 여기를 이용한 이송방법이다. 초음파 물체 이송시스템은 기존의 대표적인 이송시스템인 컨베이어 방식의 이송시스템에 비해 정밀하고 손상에 민감한 부품들의 이송에 적합한 좋은 특성을 가지고 있다.

\*\*\* 접수일: 2004년 11월 3일; 게재승인일: 2005년 5월 13일

\* 조선대학교 기계공학과

# 교신저자: 조선대학교 대학원 기계공학과

E-mail [cruise33@empal.com](mailto:cruise33@empal.com) Tel. (062) 230-7951

\*\* 조선대학교 대학원 기계공학과

초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980 년 말 부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다.<sup>1,2</sup>

본 연구에서는 초음파를 이용한 물체 이송시스템을 개발하였고,<sup>3,4</sup> 여러 조건에 따른 이송시스템의 특성에 관해 연구를 수행하였다. 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 위상차와 이송방향과의 관계, 진행주파수와 이송방향과의 관계 등을 규명하였고, 진행파를 직접 물체에 전달해주는 역할을 하는 탄성빔(Flexural beam)의 형상변화와 이송특성과의 관계를 실험을 통해 규명하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치구성

초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템은 합수발생기, 파워증폭기, 탄성빔 그리고 초음파 발생장치로 구성된다. Fig. 1 과 Fig. 2 는 각각 실험장치의 구성도와 실제 실험장치의 사진이다. 초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로 초음파를 발생시켜주는 P.Z.T 액츄에이터로 구동된다.<sup>5,6</sup> 탄성빔의 길이는 500mm 를 기준으로 설정하고, 350mm, 600mm 를 사용하였고 Node Line 이 아닌 부분에 초음파 발생장치와 볼트로 연결되어 있다. 초음파 발생장치와 탄성빔은 음향학적 효과가 뛰어난 재질로 제작되었다.

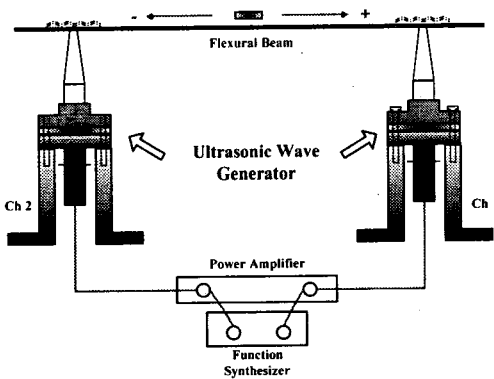


Fig. 1 Schematic diagram of an object transport system

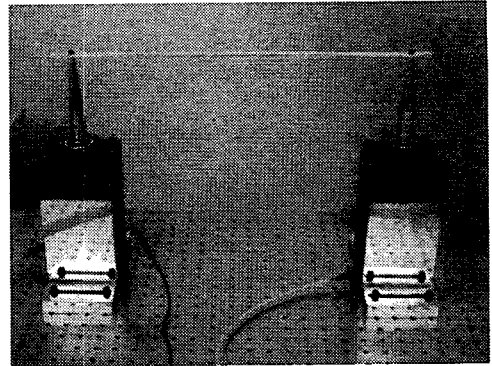


Fig. 2 Experimental apparatus of an object transport system

### 2.2 실험방법

개발된 시스템의 성능을 평가하고 최적의 이송조건을 분석하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 첫째 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 발전주파수와 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 단면형상을 직사각형 모양과  $\sqcap$  형. 모양으로 변화시킨 것과, 동일한 단면 형상에 길이를 변화시킨 것을 사용하여 길이변화에 따른 물체의 이송특성과 단면형상의 변화에 따른 물체 이송특성을 파악하였다.

## 3. 연구내용

### 3.1 물체 이송을 위한 진행주파수

초음파 여기를 이용하여 물체를 이송하기 위해서는 초음파 발생장치의 정확한 진행주파수를 찾아야 한다.<sup>5,6</sup> 진행주파수를 찾기 위해  $\pm 500V$  의 일정한 입력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에  $90^\circ$  의 위상차를 주어 20g 의 물체의 이송하는 실험을 수행하였다. 이 때 주파수를 변화시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. 주파수는 25.5 kHz 부터 28.4 kHz 까지 100 Hz 씩 변화시켰다.

Fig. 3 은 주파수 변화에 따른 물체의 이송변화를 나타낸 그림이다. 속도값의 (+)부분은 물체의

이송방향이 왼쪽에서 오른쪽으로 진행되는 것을 나타내고 (-)부분은 이송방향이 반대인 경우를 나타낸다. 그리고 속도값이 0 인 부분은 물체가 움직이지 않은 부분이다. 그림에서 보는 것과 같이 물체는 28.0 kHz 에서 32.2 mm/s 의 최대이송속도를 나타냈으며 안정적인 이송을 보였다. 그러므로 본시스템에서 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 28.0 kHz 임을 알 수 있었다.

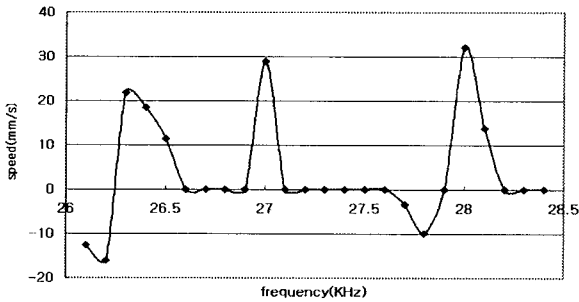


Fig. 3 Speed according to frequency

### 3.2 전압 변화에 따른 물체 이송변화

초음파 발생장치의 입력전압 변화에 따른 물체의 이송변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 입력주파수 28.0 kHz, 두 초음파 발생장치 사이의 위상차 90° 의 실험조건에서 입력전압을 변화시키면서 20g 의 물체의 이송변화를 관찰하였다. 입력전압은 ± 0V 부터 ± 50V 까지는 ± 10V 씩, ± 50V 부터 ± 650V 까지는 ± 20V 씩 증가시키며 실험하였다. Fig. 4 는 전압변화에 따른 물체 이송속도 변화를 나타낸 그래프이다. 실험결과 ± 50V 에서 물체가 처음 이송되었고 최고입력전압인 ± 650V 에서 39.2 mm/s 로 가장 빠른 이송속도를 보였다. 그러므로 물체 이송속도는 전압의 증가와 비례함을 알 수 있었다.

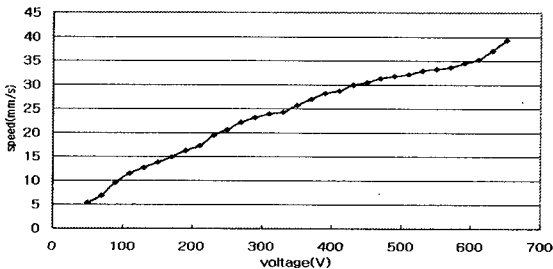


Fig. 4 Speed according to voltage

### 3.3 위상차 변화에 따른 물체 이송변화

일정한 주파수와 전압에서 위상차를 변화시켰을 때 물체의 이송변화를 고찰하였다. 실험조건은 주파수 28.0 kHz, 입력전압 ± 500V 로 일정하게 하고 물체의 무게는 20g 으로 하였다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는 0° 부터 360° 대역으로 10° 씩 증가, 감소시키면서 4 개의 Case 로 각각 실험하였다. 함수발생기의 위상차변화 조건은 다음과 같다.

- Case 1 ; Ch1 : 0° 로 일정, Ch2 : 10° 씩 감소
- Case 2 ; Ch1 : 10° 씩 증가, Ch2 : 0° 로 일정
- Case 3 ; Ch1 : 10° 씩 감소, Ch2 : 0° 로 일정
- Case 4 ; Ch1 : 0° 로 일정, Ch2 : 10° 씩 증가

Fig. 5 위상차 변화에 따른 물체의 이송속도 및 방향의 변화를 나타낸 그래프이다.

실험결과 Case 1, 2 의 조건으로 실험을 수행했을 때 초음파 발생장치 사이의 위상차가 30° 에서 (-)방향으로 48.1 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였고 위상차가 140° 일 때 (+)방향으로 58.0 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였다. 그리고 Table 1 은 Case 1, 2 조건에서의 물체의 이송방향 변화를 나타낸 것이다. Case 3, 4 의 조건에서는 위상차가 330° 일 때 (-)방향으로 47.6 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였고 위상차가 220° 일 때 (+)방향으로 59.2 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였다. 물체의 이송방향 변화는 Table 2 에 나타내었다.

이 결과로부터 물체 이송방향과 이송속도가 초음파 발생장치 사이의 위상차를 변화시킴으로써 방향과 속도를 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

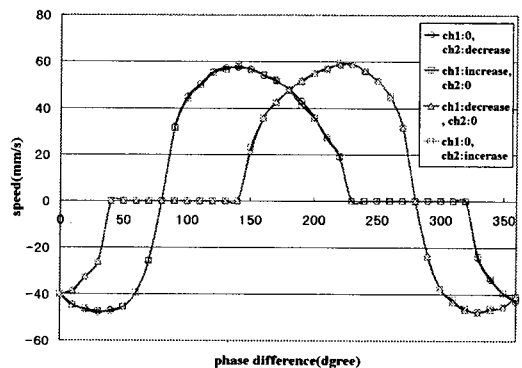


Fig. 5 Speed according to phase difference

Table 1 Direction change of an object (Case 1, 2)

Phase difference	Direction
0° ~ 70°	-
80°	0
90° ~ 220°	+
230° ~ 320°	0
330° ~ 360°	-

Table 2 Direction change of an object (Case 3, 4)

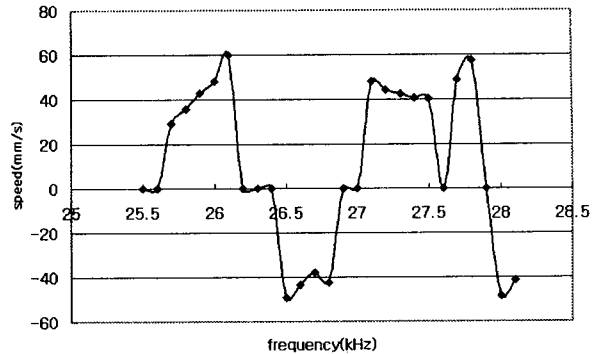
Phase difference	Direction
0° ~ 30°	-
40° ~ 140°	0
150° ~ 270°	+
280°	0
290° ~ 360°	-

### 3.4 주파수 변화에 따른 물체 이송변화

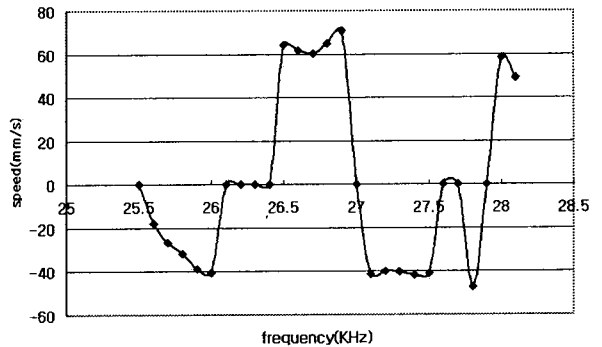
주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 파악하기 위해 앞 실험에서 가장 좋은 반응을 보였던 30° 와 140° 의 위상차에서 입력전압을 ± 500V 로 일정하게 유지하고, 이 때 주파수를 25.5 kHz ~ 28.1 kHz 까지 100 Hz 씩 증가시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. Fig. 6-(a)는 위상차를 30° 로 일정하게 유지시켰을 때 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 6-(b)는 140° 로 일정하게 유지시켰을 때 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다.

실험결과 Fig. 6-(a)에서 보는 것과 같이 위상차를 30° 로 일정하게 했을 때 26.1 kHz 에서 (+)방향으로 60.0 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였고, 26.5 kHz 에서 (-)방향으로 49.1 mm/s 의 가장 빠른 이송속도를 보였다. Fig. 6-(b)에서 보는 것처럼 위상차가 140° 로 일정했을 때 26.9 kHz 에서 (+)방향으로 70.7 mm/s 의 최대 이송속도를 보였고, 27.8 kHz 에서 (-)방향으로 47.3 mm/s 의 최대 이송속도를 보였다. Table 3 과 Table 4 는 위상차가 30° 일때와 140° 일때의 방향변화를 나타낸 것이다.

이로부터 주파수의 변화를 시킴으로써 물체의 이송방향과 이송속도를 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.



(a) Phase difference: 30°



(b) Phase difference: 140°

Fig. 6 Speed according to frequency

Table 3 Direction change of an object at Phase difference: 30°

Frequency(kHz)	Direction
25.7 ~ 26.2	+
26.3 ~ 26.9	-
27.0 ~ 27.9	+
28.0 ~ 28.1	-

Table 4 Direction change of an object at Phase difference: 140°

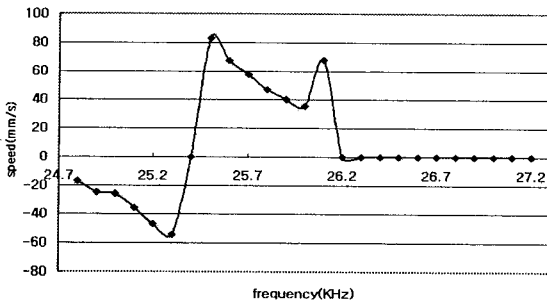
Frequency(kHz)	Direction
25.6 ~ 26.1	-
26.3 ~ 26.9	+
27.1 ~ 27.8	-
28.0 ~ 28.1	+

### 3.5 탄성빔의 형상에 따른 이송특성

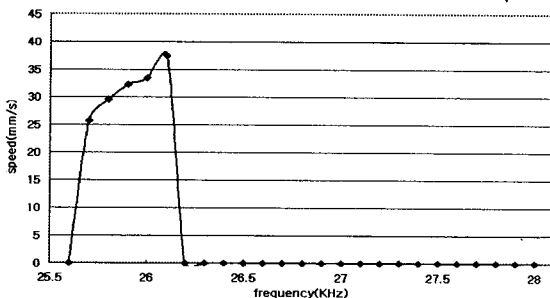
#### 3.5.1 탄성빔의 단면형상에 따른 이송특성

탄성빔의 길이를 350 mm 로 동일하게 하고 단면형상을 직사각형과  $\sqcap$ 형으로 변화시키면서 물체의 이송특성을 관찰하였다. 단면형상에 따른 최적의 진행주파수를 찾기 위해  $\pm 500$  V 의 일정한 출력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에  $140^\circ$  의 위상차를 주어 20 g 의 물체의 이송하는 실험을 수행하였다. 주파수는 24.5 kHz 부터 28.1 kHz 까지 100 Hz 씩 변화시켰다.

Fig. 7 은 주파수 변화에 따른 각각의 단면형상들의 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 7 에서 보는 것과 같이 탄성빔의 단면형상이 직사각형일 때 물체는 25.5 kHz 에서 최고이송속도가 82.94 mm/s, 이고 단면형상이  $\sqcap$ 형일 때 물체는 26.1 kHz 에서 최고이송속도가 37.44 mm/s 를 나타냈으며 안정적인 이송을 보였다. 그러므로 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 단면형상이 직사각형일 때는 25.5 kHz,  $\sqcap$ 형일 때는 26.1 kHz 임을 알 수 있었다.



(a) Section of flexural beam : rectangular



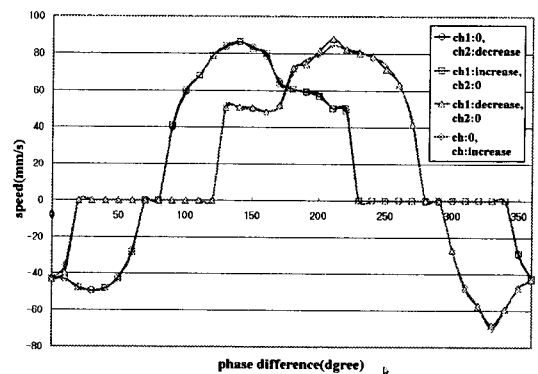
(b) Section of flexural beam :  $\sqcap$

Fig. 7 Speed according to frequency for two flexural beams

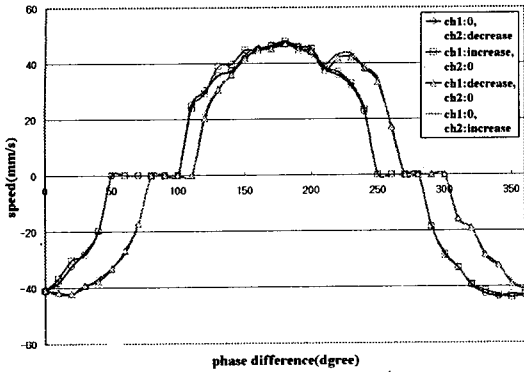
위 실험에서 발견된 각각의 단면 형상에 따른 진행주파수를 기준으로 위상차를 변화시키면서 물체 이송특성을 살펴보았다. 실험조건은 각각의 진행주파수에 출력전압은  $\pm 500$  V 로 일정하게 하고 물체의 무게는 20 g 으로 하였다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는  $0^\circ$  부터  $360^\circ$  대역으로  $10^\circ$  씩 증가, 감소시키면서 4 개의 Case 로 각각 실험하였다. 함수발생기의 함수 발생 위상변화 조건은 다음과 같다.

- Case 1 ; Ch1 :  $0^\circ$  로 일정, Ch2 :  $10^\circ$  씩 감소
- Case 2 ; Ch1 :  $10^\circ$  씩 증가, Ch2 :  $0^\circ$  로 일정
- Case 3 ; Ch1 :  $10^\circ$  씩 감소, Ch2 :  $0^\circ$  로 일정
- Case 4 ; Ch1 :  $0^\circ$  로 일정, Ch2 :  $10^\circ$  씩 증가

Fig. 8 은 위상차 변화에 따른 이송특성 실험결과를 나타낸 그래프이다. 실험결과 각각의 그래프는  $180^\circ$  를 중심으로 대칭이 되는 공통점이 있지만 이송속도가 가장 빠른 위상차는 단면의 형상이 직사각형인 경우(+)방향으로는  $140^\circ$  와  $220^\circ$  , (-)방향으로는  $30^\circ$  와  $330^\circ$  부근이고, 단면의 형상이  $\sqcap$ 형인 경우 (+)방향으로는  $180^\circ$  부근이고, (-)방향으로는  $0^\circ$  와  $360^\circ$  부근으로 서로 차이가 있음을 알 수 있었다. 위 실험을 통해 단면형상이 물체 이송특성에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.



(a) Section of flexural beam : rectangular



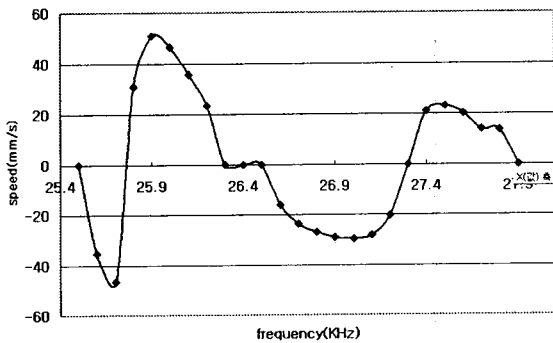
(b) Section of flexural beam :  $\perp$

Fig. 8 Spec.1 according to phase difference for two types of flexural beams

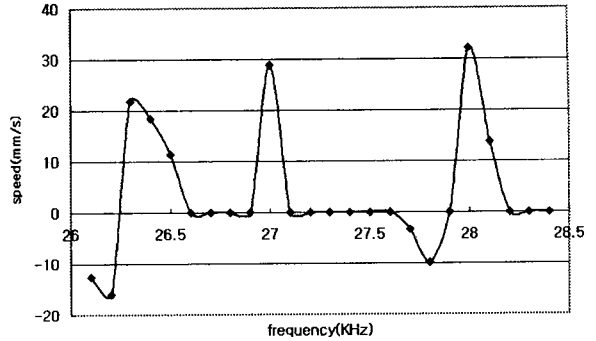
### 3.5.2 탄성빔의 길이 변화에 따른 이송변화

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

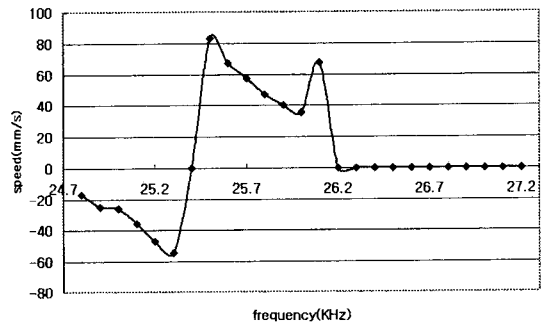
Fig. 9는 각각의 탄성빔에서 주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 9에서 보는 것과 같이 탄성빔의 길이가 600 mm 일 때 물체는 25.9 kHz에서 이송속도가 50.99 mm/s로, 길이가 500 mm 일 때 28.0 kHz에서 이송속도가 32.2 mm/s, 길이가 350 mm 일 때 25.5 kHz에서 82.94 mm/s로 각각 가장 빠르게 안정적인 이송을 보였다.



(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

탄성빔의 길이에 따른 진행주파수를 기준으로 위상차를 변화시키면서 길이변화에 따른 변화를 살펴보았다. 실험은 네가지 Case에서 앞 절의 실험에서와 같이 위상차를 동일한 방법으로 변화시키면서 실험하였다.

Fig. 10은 각각의 길이에서 위상차 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 10-(a)는 Case 1, Case 2의 조건일 때 각각의 길이별 위상차의 변화에 따른 이송변화이고, Fig. 10-(b)는 Case 3, Case 4의 조건일 때 위상차의 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다. 물체가 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하는 방향을 (+), 오른쪽에서 왼쪽으로 진행하는 방향을 (-)라고 하면, Fig. 10-(a), (b)의 그래프에서와 같이 각각의 길이에 따라서 최고 이송 속도에는 약간씩 차이가 있지만, 이송속도가 가장 빠른 위상차는 (+)방향으로는 140°와 220° 부근, (-)방향으로는 30°와 330° 부근으로 동일함을 알 수 있었다.

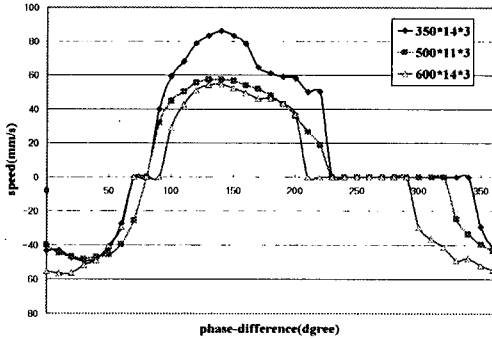
#### 4. 결 론

본 연구에서는 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위해 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 주파수 변화와 이송특성과의 관계, 위상차 변화와 이송특성과의 관계, 그리고 전압변화 이송특성과의 관계를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 또한 개발된 이송 시스템을 서로 다른 응용분야에 적용하기 위하여 이에 적합한 탄성빔의 형상을 개발하였고 탄성빔의 형상과 길이변화에 따른 이송특성을 연구하였다.

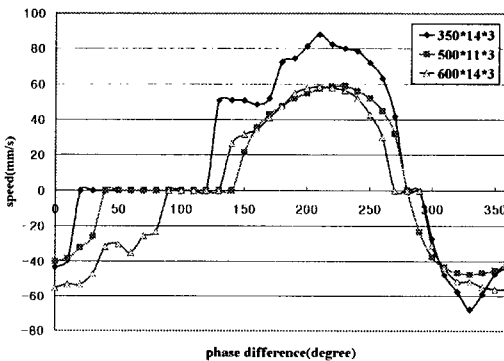
실험결과 물체가 진행하고 이송방향이 변하는 두 초음파 발생장치간의 위상차 및 주파수를 발견하였고, 위상차 및 주파수 변화에 따른 각 방향으로 최고 이송속도를 발견하였다. 그리고 전압변화와 물체의 무게 변화는 물체의 이송방향에는 영향을 미치지 않고, 이송속도에만 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

탄성빔의 형태 변화에 따른 이송특성변화를 볼 때 탄성빔의 형상에 따라 각각의 다른 이송특성을 발견할 수 있었는데, 탄성빔의 단면 형상이 동일할 경우에는 탄성빔의 길이나 폭에 관계없이 동일한 위상차에서 최고 이송속도를 갖지만, 단면 형상이 다를 경우에는 각각의 단면 형상에 따라 각기 다른 위상차에서 최고 이송속도를 보이는 것을 알 수 있었다. 탄성빔의 단면 형상이 같고 길이가 변화했을 때는 길이 변화에 관계없이 초음파 발생장치 간의 위상차가 140° 와 220° 일 때 (+) 방향으로, 30° 와 330° 일 때 (-) 방향으로 최고 이송속도를 보였다. 탄성빔의 길이가 같고 단면 형상이 변화했을 때는 단면의 형상이 직사각형인 경우 (+)방향으로는 140° 와 220° 에서, (-)방향으로는 30° 와 330° 에서 최고 이송속도가 나타났고, 단면의 형상이 I형인 경우 (+)방향으로는 180° 에서, (-)방향으로는 0° 와 360° 에서 가장 빠른 이송속도를 보였다.

본 연구를 통해 개발된 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템은 실제 이송공정에도 적용될 수 있음을 확인하였다. 특히 소음에 영향을 받는 초정밀 측정과 표면손상이 쉬운 광소자 그리고 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 이송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.



(a) Speed according to Phase difference at case 1, case 2



(b) Speed according to Phase difference at case 3, case 4

Fig. 10 Speed according to phase difference for three flexural beams

#### 3.6 물체 무게변화에 따른 이송속도

물체의 무게 변화에 따른 이송속도를 파악하기 위해 주파수는 28.0 kHz, 위상차는 140°, 입력전압은 ± 500V 조건으로 물체의 무게를 증가시켰을 때 이송속도를 관찰하였다. Fig. 11은 물체의 무게변화에 따른 이송속도를 나타낸 그래프이다.

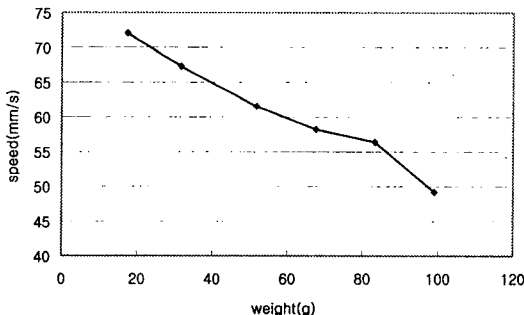


Fig. 11 Speed according to weight

## 후기

“이 논문은 2003 년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음”

## 참 고 문 헌

1. Tomikawa, Y., Adachi, K., Hirata, H., Suzuki, T., Takano, T., “Excitation go progressive wave in a flexurally vibrating transmission medium,” Proc. 10th Symp. Ultrason. Electron., Vol. 29-1, pp. 179-181, 1989.
2. Ro, P. I., Loh, B. G., “Feasibility of Using Ultrasonic Flexural Waves as a Cooling Mechanism,” IEEE Transactions on Industrial Electronics., Vol. 48, No. 1, pp. 143-150, 2001.
3. Jeong, S. H., Kim, T. H., Shin, B. S., Cha, K. R., “A Study on Object Transport System using 2-Mode Ultrasonic Wave,” Proc. the KSPE Spring Conference 2003, pp. 1170-1173, 2003.
4. Jeong, S. H., Shin, B. S., Cha, K. R., Song, S., Lee, K. H., “Development of the Object Transport System using Ultrasonic Wave Excitation,” Proc. the KSMTE Spring Conference 2003, pp. 371-375, 2003.
5. Kurosawa, M., Nakmora, K., Okamoto, T. and Ueha, S., “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, 1989.
6. Nakamura, K., Kurosawa, M., Ueha, S., “Characteristics of a Hybrid Transducer-Type Ultrasonic Motor,” IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency control, Vol. 38, No. 3, pp. 188-193, 1991.
7. Elmore, W. C., “Physics of Waves, New York,” McGraw-Hill, pp. 5-13, 1991.
8. Graff, K. F., “Wave Motion in Elastic Solids,” New York, Dover Publication, pp. 163, 167, 180-187, 1991.
9. Jeong, S. H., Shin, B. S., “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.