초음파 물체 이송시스템에서 Flexural Beam 의 형태 변화에 따른 이송특성에 관한 연구

신병수† · 정상화* · 차경래**

Transport Characteristics according to Flexural Beam Shape for the Ultrasonic Transport Systems

Byung Su Shin, Sang Hwa Jeong and Kyung Rae Cha

Key Words : The Object Transport System(물체이송장치), Ultrasonic Wave Generator(초음파발생장치), Excitation Frequency(가진주파수), Phase-Difference(위상차), Progressive Frequency(진행주파수), Flexural Beam(탄성빔)

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 the magnetic field and the conveyer belt. The magnetic field damages semiconductor and contact force scratches the optical lens. The ultrasonic wave driven system can solve these problems. In this paper, the object transport system using the excitation of ultrasonic wave is proposed. The experiments for finding the optimal excitation frequency, finding phase-difference between two ultrasonic wave generators are performed. The relationship of transporting speed according to the change of flexural beam shape is verified. In addition, the system performance for practical use is evaluated.

1. 서 론

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 시스템 개발의 필요성이 증대되고 있다. 접촉력에 의한 렌즈표면 손실, 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송방법이 초음파를 이용한 이송방법이다. 초음파 물체 이송시스템은 기존의 대표적인 이송시스템인 컨베이어 방식의 이송시스템에 비해 정밀하고 손상에 민감한 부품들의 이송에 적합한 좋은 특성을 가지고 있다. 초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980 년대 말부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다.[(1)] 그리고 최근에 이송하고자 하는 물체를 직접 초음파로 여기 하여 이송하는 방식이 활발히 연구중에 있으나,[(2)] 아직 실용화되지는 않았다.

본 연구에서는 초음파를 이용한 물체 이송시스템을 개발하였고,[(3),(4)] 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 형상변화

† 조선대학교 대학원 기계공학과
E-mail : koals25@hanmail.net
TEL : (062)230-7951 FAX : (062)230-7178
* 조선대학교 기계공학과
** 조선대학교 대학원

와 이송특성과의 관계를 실험을 통해 규명하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치구성

초음파 물체 이송시스템은 함수발생기(Function synthesizer), 파워증폭기(Power amplifier), 탄성빔 그리고 초음파 발생장치로 구성된다. Fig. 1 은 실험장치의 구성도이다. 초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로 P.Z.T 액츄에이터로 구동시켜 초음파를 발생시킨다.[5],[6] 탄성빔은 Node line 이 아닌 부분에 초음파 발생장치와 볼트로 연결되어 있다. 초음파 발생장치와 탄성빔은 알루미늄으로 재작되었다.

2.2 실험방법

본 논문에서는 개발된 장치의 성능을 평가하고 최적의 이송조건을 찾기 위해 물체를 진행시키는 진행주파수를 찾고, 위상차와 이송방향과의 관계, 발진주파수와 이송방향과의 관계 등을 실험을 통해 관찰하였다. 또한 탄성빔의 형태에 따라 이송시스템은 이송특성이 어떻게 변화하는지를 관찰하였다. 실험은 탄성빔의 길이를 600 mm, 500 mm, 350 mm 로, 단면모양을 직사각형과 ‘ㅂ’ 형으로 각각 변화시키면서 시스템의 반응결과를 고찰하였다.

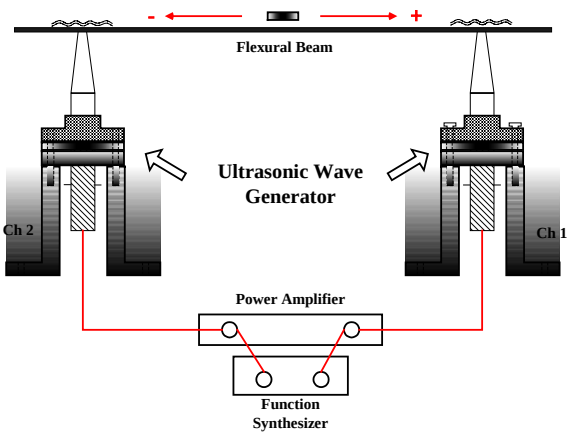


Fig. 1 Experimental apparatus of an object transport system

3. 실험 및 고찰

3.1 물체 이송조건을 찾기 위한 실험

물체를 이송시키기 위한 최적의 이송조건을 찾기 위한 실험을 하였다. 탄성빔은 길이×폭×두께가 500×11×3 인 빔을 사용하였다.

3.1.1 물체를 이송하기 위한 진행주파수

초음파 여기를 이용하여 물체를 이송하기 위해서는 초음파 발생장치의 정확한 진행주파수를 찾아야한다.[7],[8] 진행주파수를 찾기 위해 ±500 V 의 일정한 출력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에 90 ° 의 위상차를 주었고, 20 g 의 물체의 이송하는 실험을 수행하였다. 이 때 주파수를 변화시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. 주파수는 25.5 kHz 부터 28.4 kHz 까지 100 Hz 단위로 변화시켰다.

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

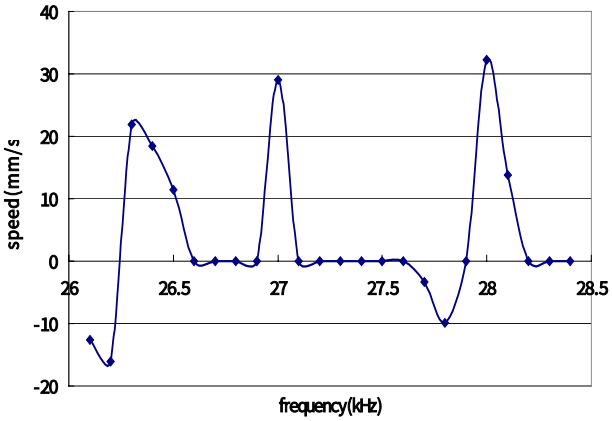


Fig. 2 Speed according to frequency

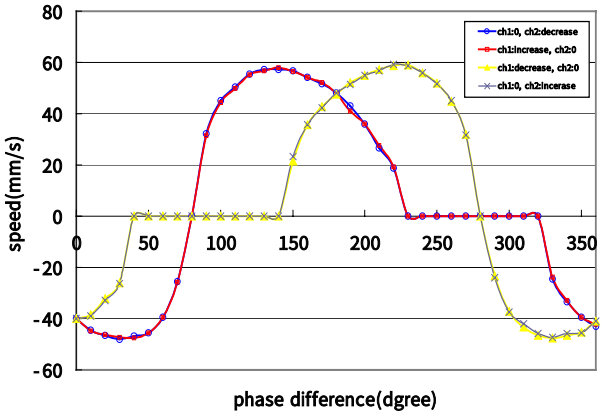


Fig. 3 Speed according to phase difference

3.1.2 위상차 변화에 따른 물체 이송변화

일정한 주파수와 전압에서 위상차를 변화시켰을 때 물체의 이송변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 실험조건은 주파수 28.0 kHz, 출력전압 ±500 V 로 일정하게 하고 물체의 무게는 20 g 으로 하였다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는 0 ° 부터 360 ° 대역으로 10 ° 씩 증가, 감소시키면서 4 개의 Case 로 각각 실험하였다. 각 Case 별 함수발생기의 함수 발생 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. 3 은 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.

Table 1 Direction change of an object for case 1 and 2

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

Table 2 Direction change of an object for case 3 and 4

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

3.1.3 주파수 변화에 따른 물체 이송변화

주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 파악하기 위해 앞 실험에서 가장 좋은 반응을 보였던 30 ° 와 140 ° 의 위상차에서 출력전압을 ±500 V 로 일정하게 유지하고, 이 때 주파수를 25.5 kHz 28.1 kHz 까지 100 Hz 씩 증가시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. Fig. 4 는 140 ° 로 일정하게 유지시켰을 때 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다.

실험결과 Fig. 4 에서 보는 것과 같이 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 은 위상차가 140 ° 일 때의 방향변화를 나타낸 것이다.

이로부터 주파수의 변화도 물체를 이송방향과

이송속도로 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

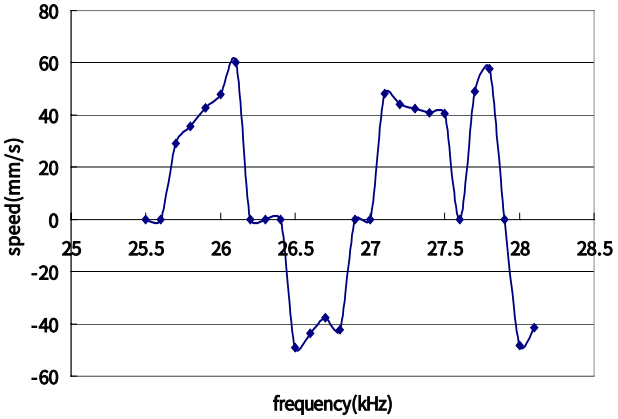


Fig. 4 Speed according to frequency at phase difference 140 °

Table 3 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	+

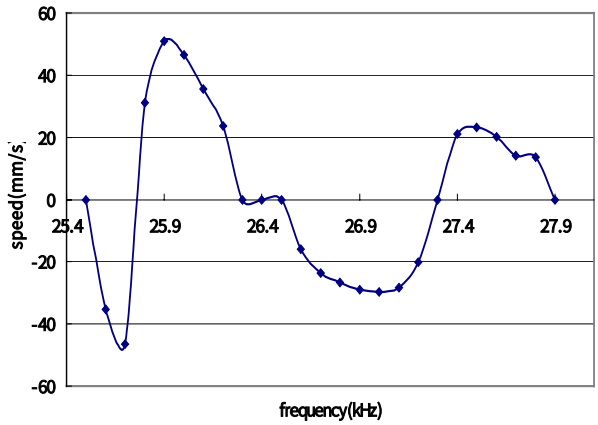
3.2 탄성빔의 형태와 이송특성과의 관계

이송되는 물체의 형상과 작업환경 등을 고려하여 실제 산업현장에 적용이 가능한 시스템 개발하기 위해 탄성빔의 형태를 변화시키면서 이송특성을 파악하기 위한 실험을 수행하였다.

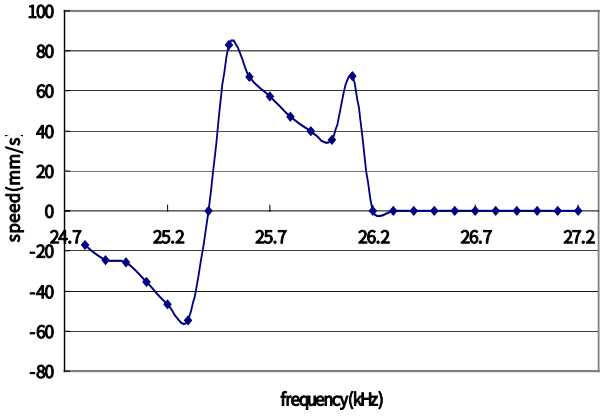
3.2.1 탄성빔의 길이에 따른 이송특성

탄성빔의 길이에 따른 이송특성을 파악하기 위해 600 mm, 350 mm 의 탄성빔을 사용하였다. 각각의 길이에 따른 진행주파수를 찾기 위해 ±500 V 의 일정한 출력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에 140 ° 의 위상차를 주었고, 20 g 의 물체의 이송하는 실험을 수행하였다. 주파수는 24.5 kHz 부터 28.1 kHz 까지 100 Hz 단위로 변화시켰다.

Fig. 5 는 각각의 다른 탄성빔에서 주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 5 에서 보는 것과 같이 탄성빔의 길이가 600 mm 일 때는 25.9 kHz 에서 최고 이송속도가 50.99 mm/s 이고, 길이가 350 mm 일 때는 25.5 kHz 에서 최고 이송속도가 82.94 mm/s 였다. 그러므로 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 길이가 600 mm 일 때는 25.9 kHz, 350 mm 일 때는 25.5 kHz 임을 알 수 있었다.



(a) Flexural beam : 600×14×3



(b) Flexural beam : 350×14×3

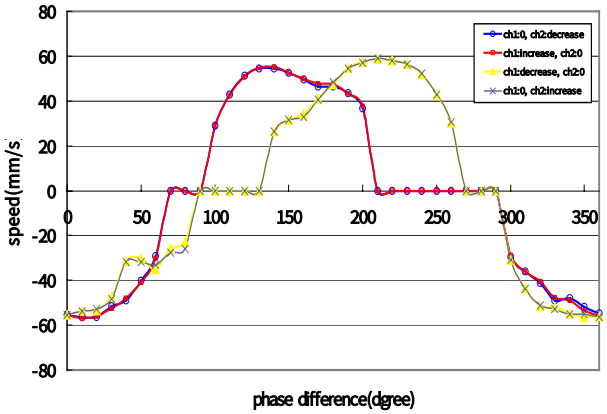
Fig. 5 Speed according to frequency for two flexural beams

이 각각의 진행주파수를 기준으로 위상차를 변화시키면서 길이변화에 따른 변화를 살펴보았다. 실험조건은 각각의 진행주파수에 출력전압 ±500 V 로 일정하게 하고 물체의 무게는 20 g 으로 하였다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는 0 ° 부터 360 ° 대역으로 10 ° 씩 증가, 감소시키면서 4 개의 Case 로 각각 실험하였다. 각 Case 별 함수발생기의 함수 발생 조건은 다음과 같다.

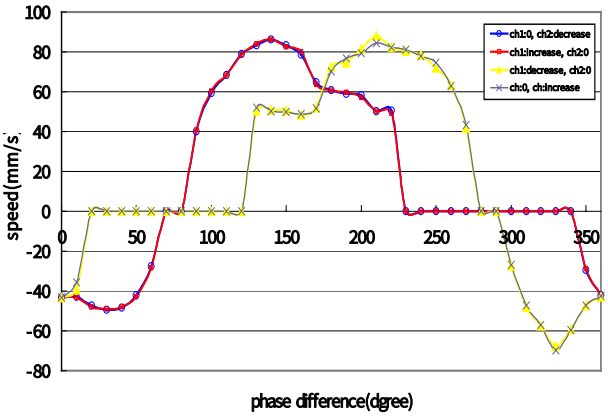
Case 1 ; Ch1 : 0 ° 로 일정, Ch2 : 10 ° 씩 감소
Case 2 ; Ch1 : 10 ° 씩 증가, Ch2 : 0 ° 로 일정
Case 3 ; Ch1 : 10 ° 씩 감소, Ch2 : 0 ° 로 일정
Case 4 ; Ch1 : 0 ° 로 일정, Ch2 : 10 ° 씩 증가

Fig. 6 은 각각의 길이에서 위상차 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 6 에서와 같이 그래프는 위상차가 180 ° 일대를 중심으로 대칭이 되는 것을 볼 수 있었고, 이송속도가 가장 빠른 위상차는 (+)방향으로는 140 ° 와 220 ° 대역이고, (-) 방향으로는 30 ° 와 330 ° 대인 것을 알 수 있었다. 이와 같이 탄성빔의 길이가 다를 경우 위상차를 변화시킨 실험에서는 길이의 변화에 관계없이 결과가 비슷한 형태의 그래프로 나타나는 것을 알

수 있다.



(a) Flexural beam : 600×14×3



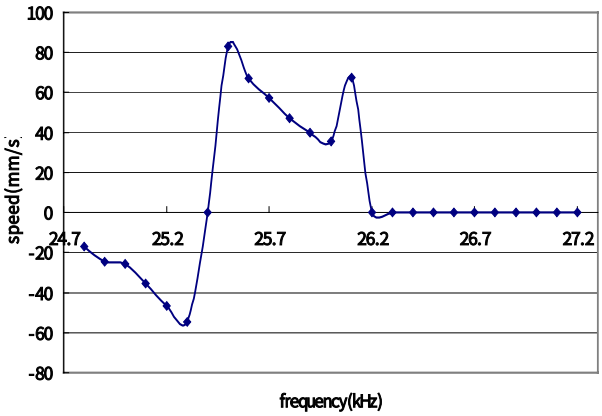
(b) Flexural beam : 350×14×3

Fig. 6 Speed according to phase difference for two flexural beam

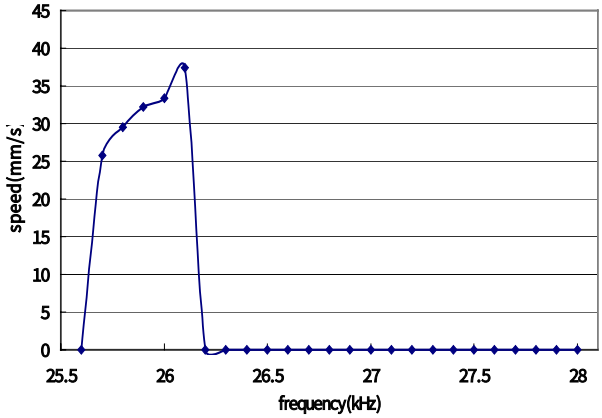
3.2.2 탄성빔의 단면형상에 따른 이송특성

탄성빔의 단면형상에 따른 이송특성 변화를 파악하기 위해 탄성빔의 길이를 350 mm 로 동일하게 하고 단면형상을 직사각형과 'ㅂ' 형으로 변화시키면서 물체의 이송특성을 관찰하였다. 단면형상에 따른 최적의 진행주파수를 찾기 위해 앞절의 진행주파수 찾는 실험과 동일한 방식으로 실험하였다.

Fig. 7 은 각각의 단면형상에서 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 7 에서 보는 것과 같이 탄성빔의 단면형상이 직사각형일 때 물체는 25.5 kHz 에서 최고 이송속도가 82.94 mm/s 를 보였고, 단면형상이 'ㅂ' 형일 때는 26.1 kHz 에서 최고 이송속도는 37.44 mm/s 를 보였다. 그러므로 물체를 이송시키기 위한 최적 주파수는 단면형상이 직사각형일 때는 25.5 kHz, 'ㅂ' 형일 때는 26.1 kHz 임을 알 수 있었다.



(a) Section of flexural beam : rectangular

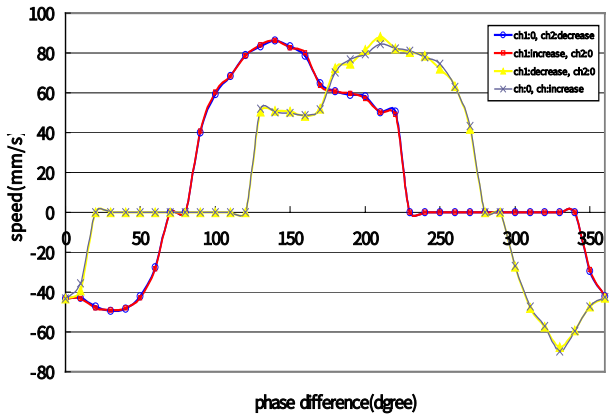


(b) Section of flexural beam : ㅂ

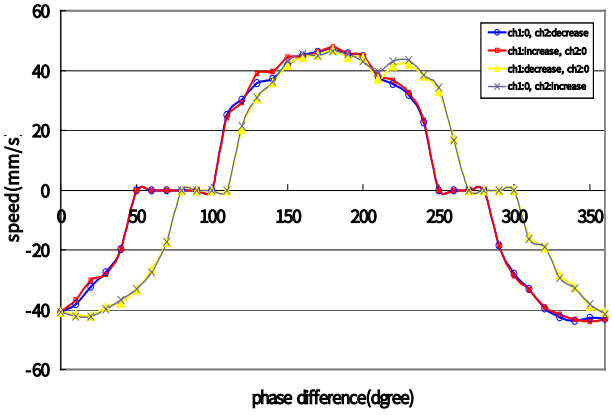
Fig. 7 Speed according to phase difference for tow flexural beam

앞의 실험을 통해 얻어진 각각의 진행주파수를 기준으로 위상차를 변화시키면서 단면형상에 따른 물체 이송특성을 살펴보았다. 실험은 앞절의 위상차를 변화시키는 실험과 동일한 방법으로 실험하였다. Fig. 8 은 실험결과를 나타낸 그래프이다. 실험결과 두 경우 모두 180 ° 를 중심으로 대칭이 되는 공통점이 있었다. 그러나 단면의 형상이 직사각형인 경우 (+)방향으로는 140 ° 와 220 ° 에서, (-)방향으로는 30 ° 와 330 ° 에서 가장 빠른 이송속도가 나타났다. 단면의 형상이 'ㅂ' 형인 경우 (+)방향으로는 180 ° 에서, (-)방향으로는 0 ° 와 360 ° 에서 가장 빠른 이송속도를 보였다.

탄성빔의 형태에 따른 이송변화를 관찰한 실험을 통해서 초음파 물체 이송시스템은 단면의 형상이 변했을 경우에는 이송특성도 많은 차이를 보였고, 이는 단면형상이 물체 이송특성에 많은 영향을 미친다는 것을 나타낸다.



(a) Section of flexural beam : rectangular



(b) Section of flexural beam : ㅂ

Fig. 8 Speed according to phase difference for flexural beam

4. 결 론

본 연구에서는 초음파를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하고 실험을 통하여 시스템의 성능을 평가하였다. 또한 개발된 시스템을 실제 산업현장에 적용하기 위해 응용 분야 특성에 맞는 여러 가지 탄성빔을 설계하여 각 빔의 형태별 이송특성을 실험을 통해 분석하였다.

실험결과로부터 물체를 이송하기 위한 최적의 진행주파수, 물체의 이송 방향이 변화하는 위상차 및 주파수를 발견하였고, 위상차 및 주파수 변화에 따른 각 방향에서의 최고 이송속도를 발견하였다. 또한 탄성빔의 길이 및 단면 형상의 변화에 따른 이송특성 규명을 위한 실험으로부터 각각의 빔 형태별 이송특성을 파악 할 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 ‘ ㅂ ’ 형인 경우 (+)방향으로는 180 ° 에서, (-)방향으로는 0 ° 와 360 ° 에서 가장 빠른 이송속도를 보였다. 이 결과로부터 빔의 길이 변화에는 이송특성의 변화가 크지 않았지만 단면 형상이 변화할 때는 이송특성의 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 물체 이송시스템은 물체의 이송속도와 방향 조절이 가능하며, 물체의 형상이나 이송거리에 따라 대응할 수 있는 시스템이다. 특히 소음의 영향을 받는 초정밀 측정분야와 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 정밀 이송에도 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

(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 Ultrasonic. Ferroelectrics. and Frequency control., Vol. 28, No. 3, pp. 188 193.

(7) W. C. Elmore, 1991, Physics of Waves, New York, McGraw-Hill, pp. 5 13.

(8) K. F. Graff, 1991, Wave Motion in Elastic Solids, New York, Dover Publication, pp. 163, 167, 180 187.