

초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템 개발에 관한 연구

정상화*, 신병수**, 차경래**, 송 석**, 이경형**

Development of the Object Transport System using Ultrasonic Wave Excitation

Sanghwa Jeong*, Byungsu Shin**, Kyungrae Cha**, Suk Song**, Kyunghyung Lee**

Abstract

In recent years, as the semiconductor and the optical industry grows, the necessity of the transporting system for semiconductor and precision optical lens without damage increases. The transport system using ultrasonic wave is very suitable for this area. 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 effect of transporting speed according to the change of weight and amplification voltage are verified. In addition, the system performance for actual use is evaluated.

Key Words : object transport system(물체이송장치), excitation frequency(가진주파수), phase-difference(위상차), ultrasonic wave excitation(초음파 여기), ultrasonic wave generator(초음파 발생장치), progressive frequency(진행주파수)

1. 서론

반도체 및 광관련 산업이 발전함에 따라 반도체 부품 및 광조자들을 결함 없이 안전하게 이송하기 위한 이송 시스템의 요구가 증대되고 있다. 이러한 이유로 기존의 컨베이어 방식의 이송시스템을 대체할 수 있는 새로운 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다. 최근에는 리니어 모터의 원리와 같은 자기 부상을 이용한 이송시스템도 도입되고 있으나 실용화되지 않았고 대부분이 컨베이어 방식을 변형하여 사용하고 있다. 그러나 이러한 시스템들은 자기의 영향을 받는 반도체나 접촉력에 따라

표면손상을 일으키는 광소자 등을 이송하는 데는 적합하지 않다. 접촉력에 의한 렌즈표면 손실, 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송방법이 바로 초음파에 의한 이송이다. 초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980년대 말부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다. Toshiiku Sashida는 1993년에 초음파 모터를 저술하였고 Yoshiro Tomikawa와 Kazunari Adachi는 1989년 진행파형의 가진에 관한 연구를 하였다⁽¹⁾. 또한 초음파 로터리 모터는 Canon Camera Co.에서 렌즈 포커싱을 개선하는 데 사용되고 있다. 지금까지의 대부분의 연구들은 모터 소음을 줄이기 위한 목적으

* 정상화, 조선대학교 기계공학과 (shjeong@chosun.ac.kr)
주소: 501-759 광주시 동구 서석동 375
** 조선대학교 대학원 기계공학과

로 초음파 로터리 모터에 대한 연구들이었다. 그리고 최근에 이송하고자 하는 물체를 직접 초음파로 여기하여 이송하는 방식은 활발히 연구중에 있으며⁽²⁾ 아직 실용화 되지는 않았다.

본 연구에서는 초음파 발생장치와 Flexural beam으로 구성된 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다. 또한 개발된 시스템의 성능을 평가하고, 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 발진주파수와 이송방향과의 관계, 위상차와 이송방향과의 관계, 그리고 전압과 이송속도와의 관계 등을 실험을 통해 규명하였다.

2. 실험장치

초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템은 Function synthesizer, Power amplifier, Flexural beam 그리고 초음파 발생 장치로 구성된다. Fig. 1은 실험장치의 구성도이다. 초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로 초음파를 발생시켜주는 P.Z.T actuator로 구동된다^{(3),(4)}. Flexural beam은 Node Line이 아닌 부분에 초음파 발생장치와 볼트로 연결되어 있다. 초음파 발생장치와 Flexural beam은 음향학적 효과가 뛰어난 재질로 제작되었다.

본 논문에서는 개발된 장치의 성능을 평가하고 최적의 이송조건을 찾기 위해 진행주파수, 전압, 위상차, 물체의 무게를 각각 변화시키면서 시스템의 반응결과를 고찰하였다.

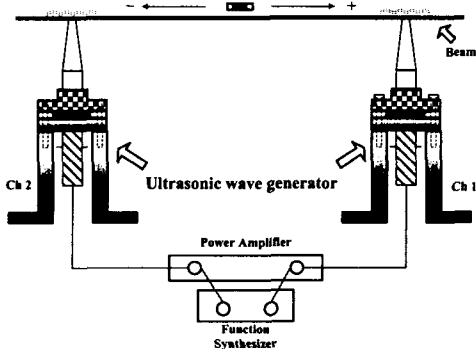


Fig. 1 Experimental apparatus of an object transport system

3. 실험 및 결과

3.1 물체 이송을 위한 진행주파수

초음파 여기를 이용하여 물체를 이송하기 위해서는 초음파 발생장치의 정확한 진행주파수를 찾아야한다^{(5),(6)}. 진행주파수를 찾기 위해 $\pm 500V$ 의 일정한 입력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에 90° 의 위상차를 주어 20g의 물체의 이송하는 실험을 수행하였다. 이 때 주파수를 변화시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. 주파수는 25.5 kHz부터 28.4 kHz까지 100 Hz씩 변화시켰다.

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.

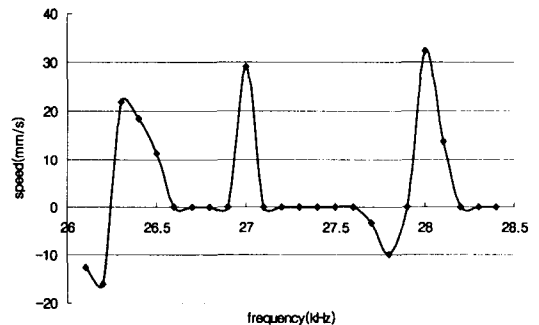


Fig. 2 Speed according to frequency

3.2 전압 변화에 따른 물체 이송변화

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 20g의 물체의 이송변화를 관찰하였다. 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.

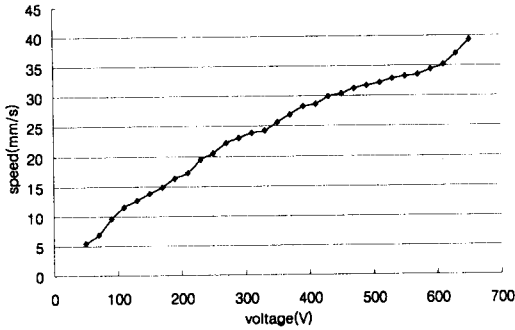


Fig. 3 Speed according to voltage

3.3 위상차 변화에 따른 물체 이송변화

일정한 주파수와 전압에서 위상차를 변화시켰을 때 물체의 이송변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 실험조건은 주파수 28.0 kHz, 입력전압 $\pm 500V$ 로 일정하게 하고 물체의 무게는 20g으로 하였다. 이 때 두 초음파 발생장치 사이의 위상차는 0° 부터 360° 대역으로 10° 씩 증가, 감소시키면서 4개의 Case로 각각 실험하였다. Function synthesizer 함수 발생 조건은 다음과 같다.

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

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. 그리고 Table 1은 Case 1, 2 조건에서의 물체의 이송방향 변화를 나타낸 것이다. 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. 물체의 이송방향 변화는 Table 2에 나타내었다.

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

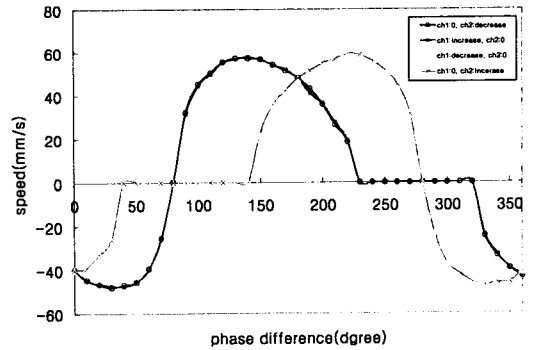


Fig. 4 Speed according to phase difference

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

Phase difference	Drection
$0^\circ \sim 70^\circ$	-
80°	0
$90^\circ \sim 220^\circ$	+
$230^\circ \sim 320^\circ$	0
$330^\circ \sim 360^\circ$	-

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

Phase difference	Drection
$10^\circ \sim 30^\circ$	-
$40^\circ \sim 140^\circ$	0
$150^\circ \sim 270^\circ$	+
280°	0
$290^\circ \sim 360^\circ$	-

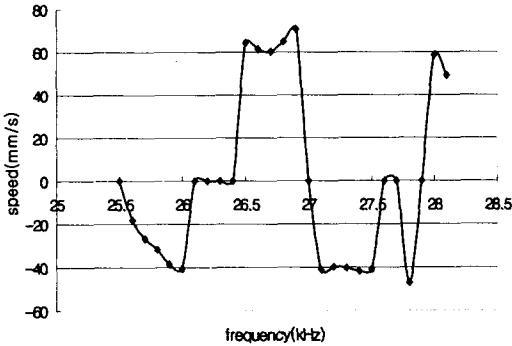
3.4 주파수 변화에 따른 물체 이송변화

주파수 변화에 따른 물체 이송변화를 파악하기 위해 앞 실험에서 가장 좋은 반응을 보였던 30° 와 140° 의 위상차에서 입력전압을 $\pm 500V$ 로 일정하게 유지하고, 이 때 주파수를 25.5 kHz~28.1 kHz까지 100 Hz씩 증가시키면서 물체의 이송변화를 관찰하였다. Fig. 5-(a)는 위상차를 30° 로 일정하게 유지시켰을 때 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 5-(b)는 140° 로 일정하게 유지시켰을 때 주파수 변화에 따른 이송변화를 나타낸 그래프이다.

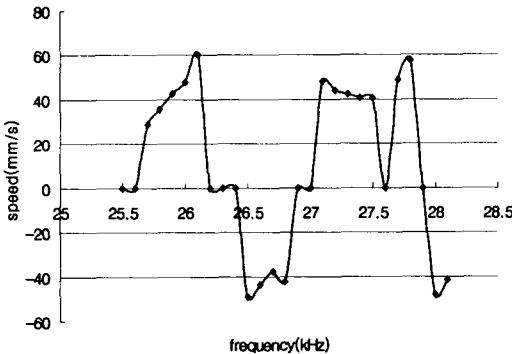
실험결과 Fig. 5-(a)에서 보는 것과 같이 위상차를 30° 로 일정하게 했을 때 26.1 kHz에서 (+)방향으로 60.0 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였고, 26.5 kHz에서 (-)방향으로 49.1 mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였다.

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° 일 때와 140° 일 때의 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

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

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

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

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

3.5 물체 무게변화에 따른 이송속도

물체의 무게 변화에 따른 이송속도를 파악하기 위해 주파수는 28.0 kHz, 위상차는 140° , 입력전압은 $\pm 500V$ 조건으로 물체의 무게를 증가시켰을 때 이송속도를 관찰하였다. 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

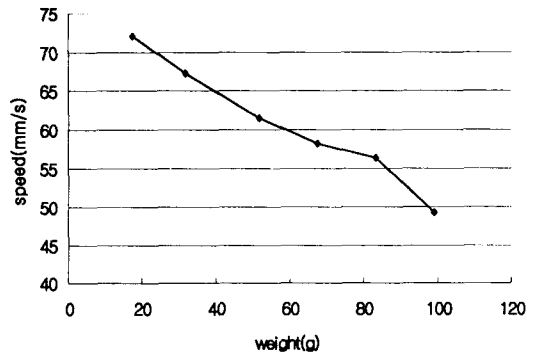


Fig. 6 Speed according to weight

4. 결론

본 연구에서는 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위해 발진주파수와 이송방향과의 관계, 위상차와 이송방향과의 관계, 그리고 전압과 이송속도와와의 관계 등을 실험하였다.

실험결과 물체가 진행하고 이송방향이 변화하는 두 초음파 발생장치간의 위상차 및 주파수를 발견하였고 위상차 및 주파수 변화에 따른 각 방향으로 가장 빠른 이송속도를 발견하였다. 그리고 전압변화와 물체의 무게변화는 물체 이송방향에는 영향을 미치지 않고 이송속도에만 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 시스템은 실제 이송공정에도 적용될 수 있으며 특히 소음에 영향을 받는 초정밀 측정과 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 of 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) 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.
- (4) 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.
- (5) W. C. Elmore, 1991, Physics of Waves, New York, McGraw-Hill, pp. 5~13.
- (6) K. F. Graff, 1991, Wave Motion in Elastic Solids, New York, Dover Publication, pp. 163, 167, 180~187.