

## 2-Mode 초음파 여기 물체 이송 시스템 개발에 관한 연구

### Development of the object transport system using 2-Mode ultrasonic wave excitation

정상화\* · 신병수\*\* · 차경래\*\*

Sanghwa Jeong\*, Byungsu Shin\*\*, Kyungrae Cha\*\*

**Key Words** : The Object Transport System(물체이송장치), Ultrasonic Wave Excitation(초음파여기), Progressive Frequency(진행 주파수), Ultrasonic Wave Generator(초음파발생장치), Excitation Frequency(가진주파수), Phase-difference(위상차)

#### ABSTRACT

In the semiconductor and the optical industry a new transport system which can replace the common system is required. The common 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 solve these problem. 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.

#### 1. 서 론

현대 산업에서 이송시스템은 생산 자동화에 매우 중요한 역할을 한다. 현재 사용되고 있는 가장 대표적인 이송시스템은 컨베이어 방식의 이송시스템이다. 또한 자기를 이용한 이송시스템도 많이 연구되고 있다. 그러나 기존의 이송시스템들은 정밀하고 손상에 민감한 부품들의 이송에는 적합하지 않다. 그러므로 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. 초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980년 말부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다. Yoshiro Tomikawa와 Kazunari Adachi는 1989년 진행파의 가진에 대한 연구를 하였고<sup>(1)</sup>, Toshiiku Sashida는 1993년에 초음파모터를 저술하였다. 그리고 최근에 이송하고자 하는 물체를 직접 초음파로 여기하여 이송하는 방식이 활발히 연구중에 있으나<sup>(2)</sup> 아직 실용화

되지는 않았다.

본 연구에서는 초음파 여기를 이용한 물체 이송시스템을 개발하였다. 또한 개발된 시스템의 성능을 평가하고, 물체를 진행시키는 진행주파수 및 위상차, 전압과 이송속도와의 관계, 물체무게와 이송속도와의 관계, 발전주파수와 이송방향과의 관계, 위상차와 이송방향과의 관계 등을 실험을 통해 규명하였다.

#### 2. 장 치 구 성

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

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

\* 조선대학교 기계공학과  
E-mail : shjeong@chosun.ac.kr  
Tel : (062) 230-7178, Fax : (062) 230-7178

\*\* 조선대학교 대학원 기계공학과

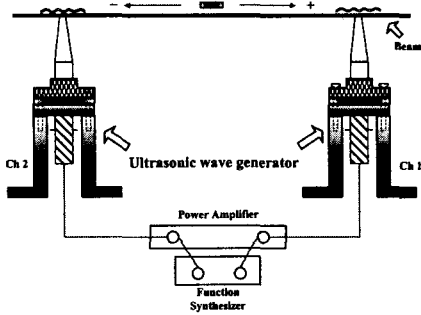


Fig. 1 Experimental apparatus of an object transport system

### 3. 연구 내용

#### 3.1 물체 이송을 위한 진행주파수

초음파 여기를 이용하여 물체를 이송하기 위해서는 초음파 발생장치의 정확한 진행주파수를 찾아야한다<sup>(5),(6)</sup>. 진행주파수를 찾기 위해  $\pm 500V$ 의 일정한 입력전압과 두 개의 초음파 발생장치 사이에  $90^\circ$ 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 왼쪽에서 오른쪽으로 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.

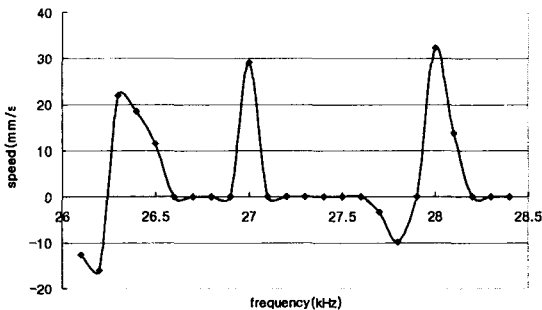


Fig. 2 Speed according to frequency

#### 3.2 전압변화와 물체 이송과의 관계

초음파 발생장치의 입력전압 변화에 따른 물체의 이송변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 입력주파수 28.0 kHz, 두 초음파 발생장치 사이의 위상차  $90^\circ$ 의 실험조건에서 입력전압을 변화시키면서 20g의 물체의 이송변화를 관찰하였다. 입력전압은  $\pm 10V$ 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.

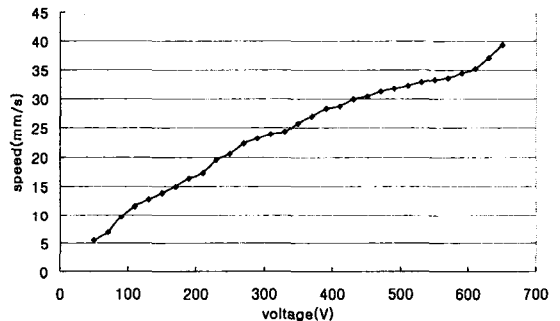


Fig. 3 Speed according to voltage

#### 3.3 물체 무게 변화와 물체 이송과의 관계

물체의 무게 변화에 따른 이송속도를 파악하기 위해 주파수는 28.0 kHz, 위상차는  $140^\circ$ , 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

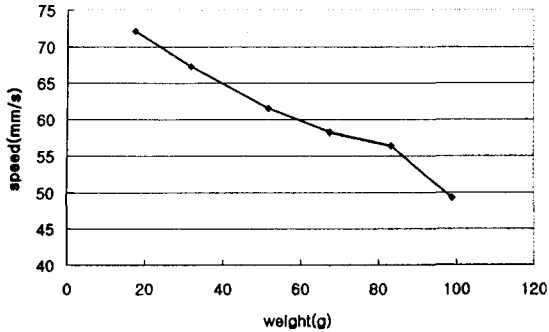


Fig. 6 Speed according to weight

### 3.4 위상차의 변화와 물체 이송과의 관계

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.

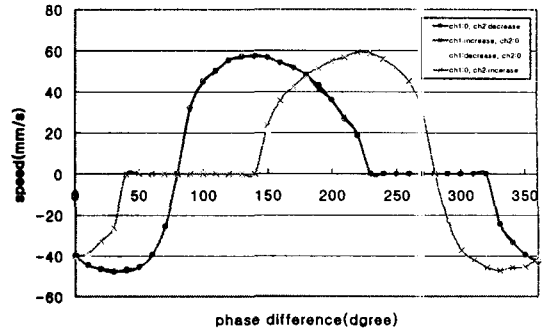


Fig. 4 Speed according to phase difference

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

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

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

Phase difference	Drection
10° ~ 30°	-
40° ~ 140°	0
150° ~ 270°	+
280°	0
290° ~ 360°	-

### 3.5 주파수 변화와 물체 이송과의 관계

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 3과 Table 4은 위상차가 30°일 때와 140°일 때의 방향변화를 나타낸 것이다.

이로부터 주파수의 변화도 물체를 이송방향과 이송속도로

변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

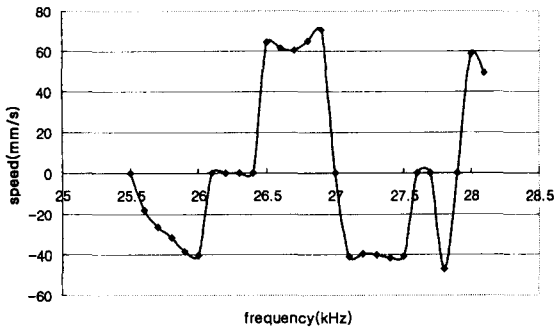
본 연구에서는 초음파 여기를 이용한 물체 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위해 전압과 이송속도와의 관계, 물체무게와 이송속도와의 관계, 위상차와 이송방향과 관계 그리고 발진주파수와 이송방향과의 관계 등을 실험하였다.

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

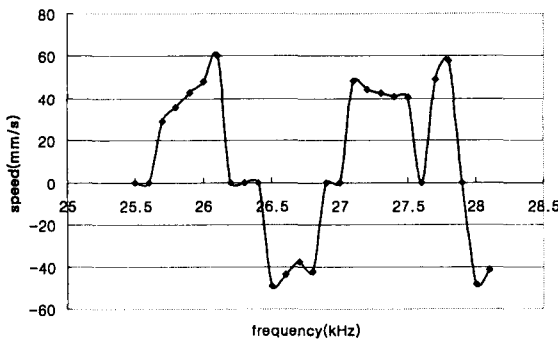
본 연구를 통해 개발된 시스템은 실제 이송공정에도 적용될 수 있으며 특히 소음에 영향을 받는 초정밀 측정과 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 이송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 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. Nakamura, 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.



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