

## 초음파를 이용한 광소자 이송시스템의 빔형상에 따른 이송특성에 관한 연구

정상화\*, 김광호<sup>+</sup>, 최석봉<sup>++</sup>, 차경래<sup>+++</sup>, 송 석<sup>++++</sup>

(논문접수일 2006. 2. 2, 심사완료일 2006. 9. 25)

### A Study on the Transportation Characteristics according to Beam Shape of Optical Lens Transport System using Ultrasonic Wave

Sang Hwa Jeong\*, Gwang Ho Kim<sup>+</sup>, Suk Bong Choi<sup>++</sup>, Kyoung Rae Cha<sup>+++</sup>, Suk Song<sup>++++</sup>

#### Abstract

The object transport system is used in many industry field such as the conveyor belt, which transports huge goods in container harbor, the magnetic levitation system, and the indexing system which transports precision components such as semiconductor and optical components. In conventional transport system, the magnetic field may damage semiconductor and the contact force may scratch on the optical lens. So ultrasonic wave transport system has been proposed to replace the previous transport system. In this paper, the good transport condition of optical lens is obtained according to the flexural beam shapes. The working frequency and transport speed are measured and the vibration characteristics of the flexural beams are investigated by Laser Scanning Vibrometer

**Key Words** : Object Transport System(물체이송장치), Ultrasonic Wave Generator(초음파 발생장치), Flexural Beam(탄성빔), Optical Glass Lens(광학유리렌즈), Function Generator(함수발생기), Power Amplifier(파워증폭기)

## 1. 서론

기존의 이송 시스템은 컨베이어 방식의 이송시스템처럼

생산성 향상과 생산 자동화에 맞추어 개발되어 왔다. 하지만 LCD글라스 및 반도체 디스크 그리고 광소자와 같은 초정밀 부품 산업이 발달하면서 이에 맞는 새로운 이송 시스템의

\* 조선대학교 기계공학과  
+ 교신저자, 조선대학교 기계공학과 (mudol78@paran.com)  
주소: 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지  
++ 조선대 대학원 기계공학과  
+++ Dept. of MAE(Mechanical Aerospace Eng.), NCSU  
++++ 한국생산기술연구원

개발이 요구되고 있다. 이처럼 기존의 이송시스템에서 발생하는 접촉력에 의한 스크래치나 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송방법이 바로 초음파를 이용하는 것이다. 초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980년 말부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다<sup>(1-3)</sup>. 초음파에서 발생하는 진동을 이용하여 개발된 초음파 물체 이송시스템은 정밀하고 손상에 민감한 부품들의 이송에 적합한 좋은 특성을 가지고 있다<sup>(4,5)</sup>. 본 연구에서는 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하고 각기 다른 형상의 탄성빔에서 이송하고자 하는 렌즈를 원하는 거리만큼 이송시키고 동시에 가장 빠른 이송속도를 보이는 진행주파수를 실험을 통하여 규명하였다<sup>(6-9)</sup>. 3차원 레이저 진동측정기를 사용하여 렌즈를 이송시키는 진행주파수에서 각기 다른 탄성빔의 진동형태를 분석하고 렌즈가 이송될 때 생기는 진행파와 이송되지 않을 때 생기는 진행파가 어떠한 형상을 하고 있는가를 살펴봄으로써 이송 메커니즘을 파악하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치 구성

초음파를 이용한 광소자 이송 시스템은 초음파를 발생시켜주는 초음파 발생장치(Ultrasonic Wave Generator), 초음파를 직접 전달받아 진행파를 생성함과 동시에 광소자를 이송시키는 가이드 역할을 하는 탄성빔(Flexural Beam)으로 이루어져 있다. 진동을 발생시키기 위하여 채널 1에는 함수를 발생시켜주는 함수발생기(Function Synthesizer), 그리고 발생된 함수 신호를 증폭시켜주는 파워증폭기(Power Amplifier)와 연결하고, 채널 2에는 채널 1의 초음파 발생장

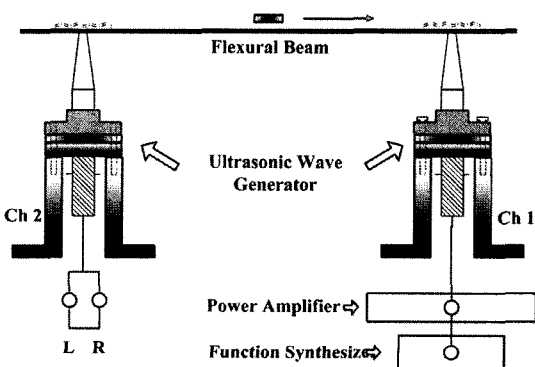


Fig. 1 Lay-out of Optical Lens Transport System

치에서 생성된 진동을 흡수 후 다시 여진하기 위한 저항과 인덕턴스를 연결한다. Fig. 1은 실험 장치의 구성도를 나타내었다. 초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로서 초음파를 발생시켜주는 압전 액추에이터(PZT)로 구동된다. 탄성빔은 노드선이 아닌 부분에 초음파 발생장치와 볼트로 체결되어 있다. 초음파 발생장치와 탄성빔은 음향학적 효과가 뛰어난 두랄루민을 사용하여 제작하였다.

### 2.2 실험방법

렌즈를 이송하기 위한 최적의 조건을 찾기 위해서 서로 다른 형상의 탄성빔을 설계하여 진행주파수와 이송속도를 측정하였다. 길이 350mm, 두께 3mm를 갖는 탄성빔의 단면 형상에 변화를 주어 Table 1과 같이 총 4가지 형상으로 제작하였다. 개발된 4가지의 탄성빔 위에서 이송되어지는 렌즈는 각각 크기와 형상 그리고 무게가 다른 4종류의 비구면 광학 유리렌즈(Aspheric Glass Lens)를 사용하였다. Table 2에 실험에 사용한 렌즈의 사양을 나타내었다.

## 3. 연구 내용

### 3.1 탄성빔의 형상에 따른 렌즈의 이송속도측정

#### 3.1.1 탄성빔 A(□)에서의 렌즈 이송 특성

Fig. 2는 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송거리와 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송속도를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 거리와 속도값이 0인 부분은 렌즈가 움직이지 않은 주파수를 나타낸다. Fig. 2 (a)에서 보는 것과 같이 4개의 렌즈

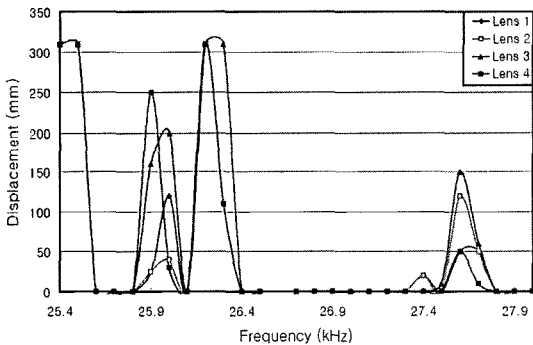
Table 1 Flexural Beam according to Shape

Beam	A	B	C	D
Shape				

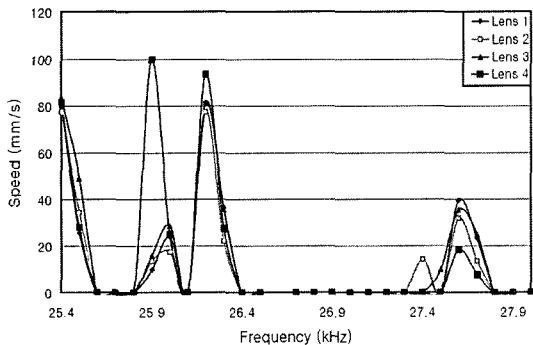
Table 2 Specification of Lenses

Lens No.	1	2	3	4
Model	A4 standard C/L	A4 C/L Gob	DSC	HMO
Diameter (mm)	6.35±0.02	6.5±0.05	9.2	15
Thickness (mm)	3.0±0.02	3.8±0.05	2.48	4.25
Weight(g)	0.25	0.38	0.38	2.3

는 주파수 25.4KHz, 26.2KHz에서 전체 탄성빔 위를 통과 하며 이송이 되었다. Fig. 2 (b)에서 렌즈 4는 주파수 25.9 KHz에서 100mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였지만 렌즈 의 이송거리가 250mm 밖에 되지 않았기 때문에 렌즈를 이 송시키기 위한 진행주파수라고 여기지 않았다. 결국 A형의 탄성빔에서 렌즈를 가장 빨리 이송시켰던 진행주파수는 렌즈 1, 2, 4의 경우 26.2KHz, 렌즈 3의 경우 25.4KHz임을 알 수 있었다. 그리고 A형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도 를 보이며 전체 탄성빔 위를 따라 이송을 보인 렌즈 4의 경 우 진행주파수 26.2KHz에서 이송속도 93.6mm/s가 측정되 었다. 렌즈 1, 2에서 지름이 같은 경우 렌즈가 무거울수록 이송속도가 느렸으며, 렌즈 2, 3에서 무게가 유사한 경우 렌즈의 지름이 클수록 이송속도가 빠르게 측정되었다. 또한 렌즈 3과 4를 비교해보면 진행파와 관련하여 렌즈의 무게보다 는 빔에서 발생된 파(Wave)를 받는 단면의 크기가 더 큰 요 인으로 작용함을 알 수 있다.



(a) Transport Displacement of Lenses

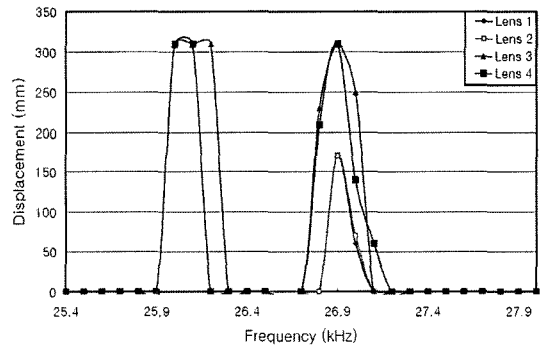


(b) Transport Speed of Lenses

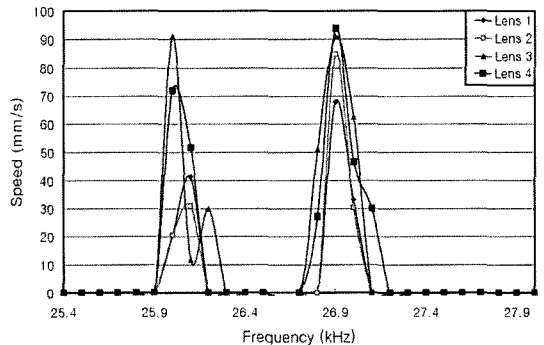
Fig. 2 Displacement and Speed Change according to Frequency at Flexural Beam A

### 3.1.2 탄성빔 B(▽)에서의 렌즈 이송 특성

4개의 렌즈 모두 주파수 26.0KHz와 26.9KHz근처에서 움직임을 보였으나 렌즈 3과 렌즈 4만이 전체 탄성빔을 따 라 이송되었고 렌즈 1과 렌즈 2는 주파수 26.9KHz에서 170mm의 이송거리를 보였다. Fig. 3 (a)에서 렌즈 3은 주파 수 26.2KHz에서도 전체 탄성빔을 따라 이송되었다. Fig. 3 (b)에서 렌즈 3은 주파수 26.0KHz와 26.9KHz 두 곳에서 91.1mm/s의 같은 이송속도를 보임을 알 수 있다. 렌즈 1과 렌즈 2의 경우 26.1KHz, 렌즈 3과 렌즈 4의 경우 26.9KHz 가 진행주파수였으며 이때 가장 빠른 이송속도를 보였다. B형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를 보인 렌즈 4의 경 우 진행주파수 26.9KHz에서 최고 이송 속도 93.9mm/s를 보임을 알 수 있었다. 빔의 단면 형태가 달라짐에 따라 진행 주파수가 다르게 나타나지만, 탄성빔 A와 같이 이송속도는 렌즈 4 > 3 > 1 > 2 순으로 유사한 특성을 보였다.



(a) Transport Displacement of Lenses



(b) Transport Speed of Lenses

Fig. 3 Displacement and Speed Change according to Frequency at Flexural Beam B

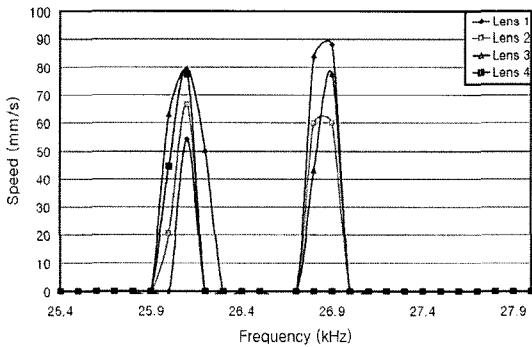
### 3.1.3 탄성빔 C(△)에서의 렌즈 이송 특성

Fig. 4 (a)에서 렌즈 4를 제외한 3개의 렌즈 모두 주파수 26.0KHz와 26.9KHz에서 이송이 이루어졌다. 전체 탄성빔을 통과한 경우는 렌즈 1은 주파수 26.8KHz와 26.9KHz, 렌즈 2는 주파수 26.0KHz, 렌즈 3은 주파수 26.0KHz, 26.1KHz, 26.9KHz로 측정되었다. 렌즈 4는 렌즈의 지름이 탄성빔의 폭보다 크기 때문에 이송에 무리가 될 것 같았지만 Fig. 4 (b)에서 알 수 있듯이 주파수 26.1KHz에서 전체 탄성빔을 따라 이송되는 모습을 보였다. 렌즈 3이 C형의 탄성빔에서 이송될 때 26.1KHz와 26.9KHz 두 곳에서 보인 렌즈의 이송속도가 각각 79.4mm/s와 77.5mm/s로 측정됨으로서 앞 절의 탄성빔에서 측정된 렌즈 3의 이송속도 보다는 떨어지지만 진행주파수대가 비슷한 것을 확인할 수 있다. 결국 C형의 탄성빔에서 렌즈이송을 위한 진행주파수는 렌즈 2는 26.0KHz, 그리고 렌즈 3과 렌즈 4는 26.1KHz임을 알 수 있다. 그리고 C형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를

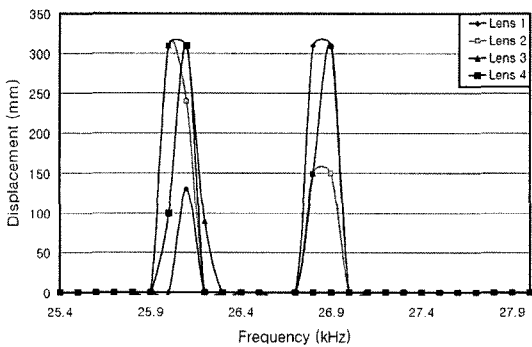
보이며 전체 탄성빔 위를 따라 이송을 보인 렌즈 1은 진행주파수 26.9KHz에서 최고이송속도 88.0mm/s가 측정되었다. 탄성빔 B와 같은 단면 형상을 가지므로 동일 주파수에서 진행주파수가 발생하였지만, 렌즈가 이송되어지는 탄성빔의 폭이 C형의 탄성빔처럼 좁을 경우 작은 지름과 가벼운 무게를 지닌 렌즈 1의 이송속도가 가장 빠르게 나타났다.

### 3.1.4 탄성빔 D(□)에서의 렌즈 이송 특성

Fig. 5 (a)를 통해 4개의 렌즈는 주파수 25.8KHz, 26.6 KHz, 28.0KHz 부근에서 이송이 이루어짐을 알 수 있다. 탄성빔에서 전체이송을 이룬 주파수는 렌즈 1의 경우 주파수 26.6KHz, 27.9KHz, 28.0KHz, 렌즈 2의 경우 주파수 26.6KHz, 28.0KHz, 렌즈 3의 경우 25.8KHz, 27.9KHz, 28.0KHz, 그리고 렌즈 4의 경우 주파수 25.8KHz, 26.6 KHz로 측정되었다. Fig. 5에서 렌즈 3을 제외한 모든 렌즈가 공통적으로 주파수 26.6KHz에서 전체 탄성빔을 통과하

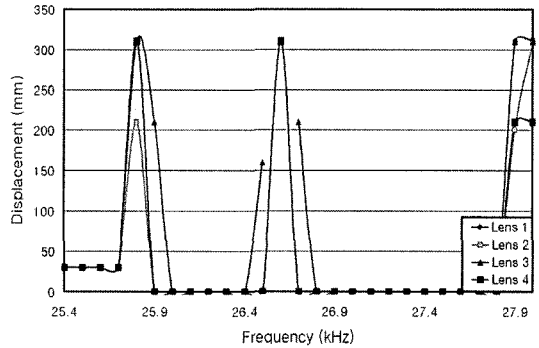


(a) Transport Displacement of Lenses

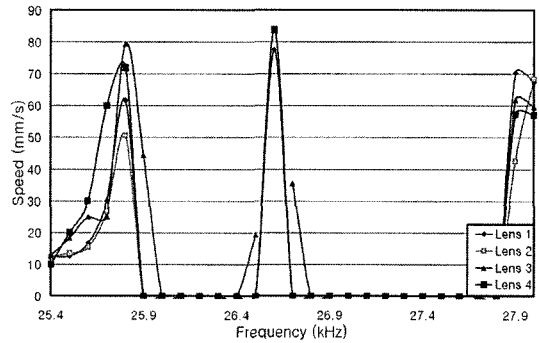


(b) Transport Speed of Lenses

Fig. 4 Displacement and Speed Change according to Frequency at Flexural Beam C



(a) Transport Displacement of Lenses



(b) Transport Speed of Lenses

Fig. 5 Displacement and Speed Change according to Frequency at Flexural Beam D

며 가장 빠른 이송속도를 보임을 확인하였다. 렌즈 3은 주파수 26.6KHz에서 탄성빔에서 흐르는 진동을 받은 렌즈가 이송되지 못하고 탄성빔에서 튀어버리는 현상이 나타났기 때문에 레이더의 측정이 불가능하였다. 렌즈 2를 이송시키기 위한 진행 주파수는 25.8KHz이었다. 다른 형태의 탄성빔에서 측정된 결과와 달리 렌즈 2의 경우 탄성빔 D에서 가장 빠른 이송속도를 보였다. 고른 이송속도를 나타냈지만, 탄성빔 A보다 이송속도가 늦음을 알 수 있다.

### 3.2 3차원 레이저 진동 측정기를 이용한 진동측정

4가지 형태의 탄성빔에서 렌즈를 이송시키는 진행주파수와 렌즈를 이송시키지 않을 때의 주파수에서 진동특성을 파악하기 위하여 3차원 레이저 진동측정기를 사용하여 탄성빔의 양끝단과 가운데, 총 세부분에서 발생하는 진동 파형의 형태를 측정하였다. Fig. 6에 3차원 레이저진동측정기를 사용한 실험장치의 구성도를 나타내었다. 레이저 진동 측정기는 표면에서 발생하는 진동신호를 레이저를 이용하여 3차원 진동 레이더를 측정하는 장치로서 세부 사양은 Table 3에

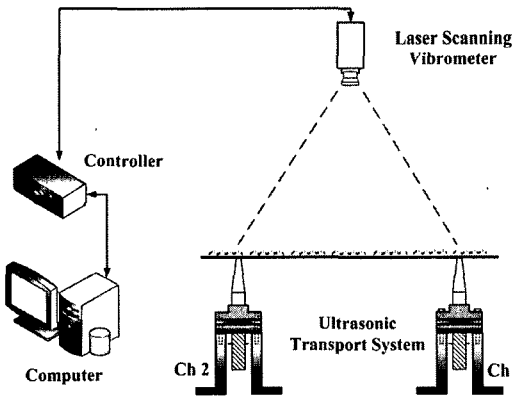


Fig. 6 Experimental Apparatus for Vibration Characteristics Analysis

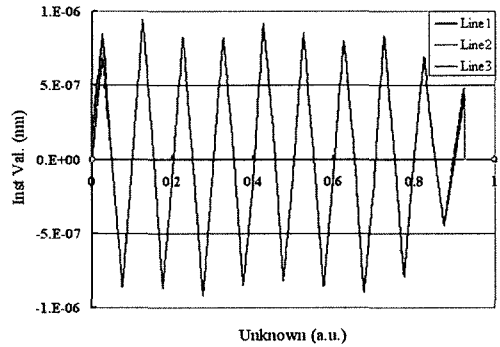
Table 3 Specification of Laser Scanning Vibrometer

Model	PSV-300-H-B
Scan Angle	40×40 deg.
Resolution	0.02 deg.
Working Distance	0.2m to >50m
Bandwidth	4 channel, 80KHz
Velocity Range	1, 5, 10, 25, 125, 1000mm/s/v

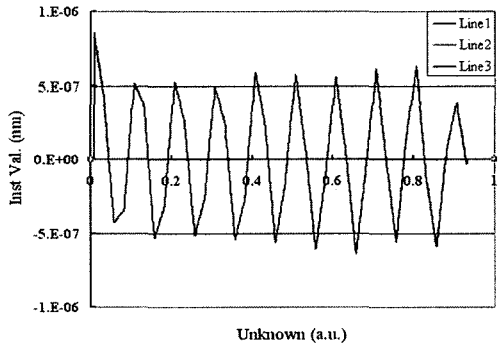
나타내었다.

### 3.2.1 탄성빔 A의 진동특성

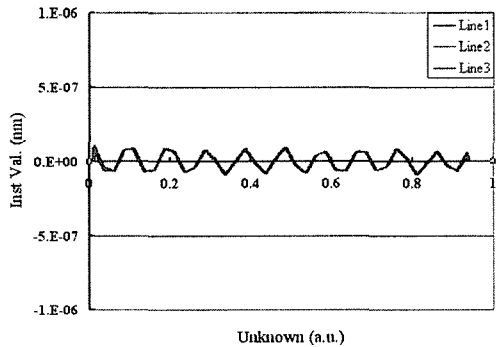
Fig. 7 (a)는 렌즈 3이 탄성빔 전체를 통과하며 가장 빠른 이송속도를 보인 주파수 25.4KHz에서 측정된 탄성빔 A의 파형의 모습을 나타낸다. 측정된 파형은 채널 2의 초음파 발



(a) Wave of Flexural Beam A for 25.4KHz



(b) Wave of Flexural Beam A for 26.2KHz



(c) Wave of Flexural Beam A for 28.0KHz

Fig. 7 Vibration Characteristics at Flexural Beam A

생장치와 연결된 부분을 제외한 모든 부분에서 긴 파장의 파형이 일정하게 발생함을 알 수 있었다. 렌즈 1, 2, 4를 이송시키는 주파수 26.2KHz에서 탄성빔의 진동형태를 Fig. 7(b)에 나타내었다. 합성발생기와 연결된 채널 1방향에서 파형의 크기가 상대적으로 작게 나타났으며 전체적인 파형의 크기 또한 렌즈 3의 진행주파수 25.4KHz보다는 작게 나타남을 알 수 있다. 일정한 크기를 가진 파형이 반복적으로 나타났으며 렌즈의 이송은 원활히 이루어졌다. 진폭이 작음에도 불구하고 렌즈의 이송속도가 렌즈 4에서 빠르게 나타난 이유는 탄성빔에서 발생하는 파형을 받을 수 있는 렌즈의 단면이 가장 넓기 때문이라 사료된다. 렌즈가 이송되지 않는 주파수 28.0KHz일 때 진동을 측정하여 Fig. 7 (c)에 나타내었다. 측정된 파형의 형상이 불규칙하게 나타나며 진폭은 렌즈가 이송될 때와 달리 작게 나타남을 알 수 있다. 탄성빔 B, C, D의 경우 탄성빔 A와 마찬가지로 렌즈가 잘 이송되어 질 때는 파형이 고르고 규칙적인 반면 렌즈가 이송되지 않을 경우는 파형이 불규칙하거나 진폭이 매우 작게 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 고찰





개발된 시스템에서 광소자를 이송하기 위한 각기 다른 형태의 탄성빔을 개발하여 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템에서 각기 다른 4종류의 비구면 광학 유리렌즈를 이송하는 실험을 수행하였다. 실험결과 서로 다른 형상의 탄성빔에서 이송하고자 하는 렌즈에 따라 진행주파수가 다름을 알 수 있었다. Table 4는 각 탄성빔에서 렌즈가 가장 빠른 이송속도를 보였을 때의 이송 주파수와 그 속도를 나타내고 있다. A형의 탄성빔에서 렌즈 1, 2, 4는 주파수 26.2KHz에서 각각 81.6mm/s, 77.5mm/s, 93.6mm/s의 최고 이송속도를 보였고 렌즈 3은 주파수 25.4KHz에서 83.7mm/s의 최고 이송속도를 보임을 알 수 있었다. B형 탄성빔의 경우 렌즈 1, 2가 각각 41.3mm/s, 31.0mm/s의 이송속도를 보인 주파수 26.1KHz와 렌즈 3, 4가 91.9mm/s, 93.9mm/s의 최고 이송속도를 보인 주파수 26.9KHz가 렌즈를 가장 빠르게 이송시키는 진행주파수임을 확인할 수 있었다. C형 탄성빔에서는 렌즈 1이 주파수 26.9KHz에서 88.0mm/s, 렌즈 2가 주파수 26.0KHz에서 66.6mm/s, 그리고 렌즈 3, 4가 주파수 26.1KHz에서 79.4mm/s, 77.5mm/s의 최고 이송속도를 보임을 알 수 있었다. D형 탄성빔에서는 렌즈 1, 2, 4가 주파수 26.6KHz에서 각각 77.5mm/s, 84.2mm/s, 83.8mm/s, 렌즈 3은 주파수 25.8KHz에서 79.5mm/s의 최고 이송속도를 보

임을 알 수 있었다. 이로써 각기 다른 형태의 렌즈를 이송시키기 위한 가장 좋은 조건의 탄성빔과 그 때의 진행 주파수를 찾을 수 있었다.

렌즈 1을 이송시키기 위한 가장 좋은 조건은 C형 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz를 주었을 때이며 렌즈 2는 D형 탄성빔에서 진행주파수 26.6KHz를 주었을 때이다. 렌즈 3은 B형 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz를 주었을 때, 렌즈 4는 B형 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz를 주었을 때 가장 좋은 이송조건을 보였다. 결국 각각의 렌즈를 이송시키기 위한 가장 좋은 조건을 찾을 수 있었으며 4가지 형태의 탄성빔에서 실험한 4개의 렌즈가 모두 안정적으로 탄성빔 전체를 통과하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 A형 탄성빔과 D형 탄성빔이 4개의 렌즈가 이송될 때 평균적으로 안정적인 이송과 빠른 이송속도를 보임을 알 수 있었다.

개발된 시스템의 이송 메커니즘을 규명하기 위해 레이저 진동측정기를 이용하여 탄성빔의 진동형태를 측정한 결과 각각의 조건들마다 다른 진동특성을 보였다. 렌즈의 이송이 원활한 조건에서 생성된 파형은 긴 파장의 파형이 반복적으로 발생하거나 도중에 상대적으로 짧은 파장의 파형이 발생함을 보였다. 진폭은 일정 크기 이상으로 발생하였으며 위상의 모습은 일정한 크기를 그리며 반복적으로 나타남을 알 수 있었다. 렌즈가 이송되지 않는 조건에서 생성된 파형은 여러 가지 형태로 나타났다. 이때 생성되는 파형은 물체를 진행시켰던 진행파와는 다른 형태를 띠고 있다. 측정된 세 곳의 파형은 각기 다른 크기와 형태로 발생하였으며 진폭이 감소하는 현상이 나타났다. 이를 통하여 일정한 형상의 파형이나 일정 크기 이상인 파형의 진폭은 물체의 이송 속도와 관련이 있었으며, 진폭이 클수록 이송속도가 빨라진다는 것

Table 4 Good Transporting Frequency and Speed of Lenses according to Flexural Beam

Beam Type	Lens No.	1	2	3	4
 (A)	Freq(KHz)	26.2	26.2	25.4	26.2
	Speed(mm/s)	81.6	77.5	83.7	93.6
 (B)	Freq(KHz)	26.1	26.1	26.9	26.9
	Speed(mm/s)	41.3	31.0	91.9	93.9
 (C)	Freq(KHz)	26.9	26.0	26.1	26.1
	Speed(mm/s)	88.0	66.6	79.4	77.5
 (D)	Freq(KHz)	26.6	26.6	25.8	26.6
	Speed(mm/s)	77.5	84.2	79.5	83.8

을 알 수 있었다. 실험을 통하여 각 조건들에서 발생하는 빔의 진동형태를 파악할 수 있었고 렌즈를 진행시키기 위한 진행파의 형태를 분석할 수 있었다. 또한 진행파는 일정한 규칙적인 형태를 가지며 이와 같은 규칙성이 없는 경우 물체가 진행되지 않음을 규명하였다.

## 5. 결론

초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 개발하여 각기 다른 형상의 탄성빔을 제작하였으며 이를 가지고 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템에서 주파수에 변화를 주어 서로 다른 4가지의 광학 유리렌즈가 탄성빔을 따라 통과할 때 가장 빠른 속도로 이송하기 위한 진행 주파수를 찾는 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 여러 형태의 탄성빔 위에서 각 렌즈가 가장 빠른 속도로 이송될 수 있는 가장 좋은 조건을 찾을 수 있었으며 그에 따른 진행파의 형태를 분석할 수 있었다. 진행파는 일정한 규칙적인 형태를 가지며 이와 같은 규칙성이 없는 경우 렌즈가 진행되지 않음을 규명하였다.

렌즈의 크기가 유사한 경우 무게가 가벼울수록 이송속도가 빠르게 나타났으며, 무게가 유사한 경우 렌즈의 지름이 큰 경우 이송속도가 빠르게 나타났다. 렌즈의 크기와 무게가 큰 차이를 보일 경우는 렌즈의 무게보다는 빔에서 형성된 이송파를 받는 렌즈의 면적이 큰 경우, 즉 지름이 진행파에 더 많은 영향을 주는 인자임을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 초음파를 이용한 광소자 이송시스템은 실제 이송공정에도 적용될 수 있으며, 특히 표면손상이 쉬운 광소자와 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 이송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- (1) Tomikawa, Y., Adachi, K., Hirata, H., Suzuki, T. and Takano, T., 1989, "Excitation go progressive wave in a flexurally vibrating transmission medium," *Proc. 10th Symp. Ultrason. Electron.*, Vol. 29, No. 1, pp. 179~181.
- (2) Nakamura K., Kurosawa M. and Ueha, S., 1991, "Characteristics of a Hybrid Transducer-Type Ultrasonic Motor," *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency control*, Vol. 38, pp. 188~193.
- (3) Ro, P. I. and Loh, B. G., 2001, "Feasibility of Using Ultrasonic Flexural Waves as a Cooling Mechanism," *IEEE Transactions on Industrial Electronics.*, Vol. 48, No. 1, pp. 143~150.
- (4) Elmore, W. C., 1991, *Physics of Waves*, New York, McGraw-Hill, pp. 5~13.
- (5) Graff, K. F., 1991, *Wave Motion in Elastic Solids*, Now York, Dover Publication, pp. 163, 167, 180~187.
- (6) Jeong, S. H. and Shin, B. S., 2003, "A Study on the Relationship between Flexural Beam Shape and Transport Characteristics for the Ultrasonic Transport Systems," *Proc. KSMTE Autumn Conference*, pp. 25~29.
- (7) Jeong, S. H., Kim, H. Y., Cha, K. R., Choi, S. B. and Song, S., 2005, "A Study on the Dynamic Characteristics of Object Transport System using Ultrasonic Wave," *Journal of KSPE*, Vol. 22, No. 8, pp. 151~158.
- (8) Jeong, S. H., Choi, S. B., Cha, K. R., Kim, H. U., Kim, G. H. and Park, J. H., 2005, "A Study on the Vibration Characteristics in Ultrasonic Levitation Transport System according to the Circular Plate," *Proc. KSMTE Spring Conference*, pp. 364~369.
- (9) Jeong, S. H., Choi, S. B., Kim, G. H. and Park, J. H., 2005, "Vibration Characteristics of Ultrasonic Object Levitation Transport System," *Proc. KSMTE Autumn Conference*, pp. 338~342.