

2006 년 2 월

석사학위논문

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상
이송 시스템에 관한 연구



조선대학교 대학원

기계공학과

최석봉

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상
이송 시스템에 관한 연구

A Study on the Levitation Transport System of
Precision Element using Ultrasonic Wave

2006 年 2 月 日

조선대학교대학원

기계공학과

최석봉

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상
이송 시스템에 관한 연구

지도교수 정 상 화

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함.


2005 年 10 月 日


조 선 대 학 교 대 학 원


기 계 공 학 과

최 석 봉

최석봉의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 장완식 

위원 조선대학교 교수 정상희 

위원 여수대학교 교수 김훈 

2005 年 11 月 日

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLE	V
LIST OF FIGURES	VI
ABSTRACT	X
제 1 장 서 론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
제2절 연구내용 및 방법	3
1. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 성능 평가	4
2. 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송시스템의 성능평가	4
3. 광소자 자동 픽업 시스템의 성능평가	4
제 2 장 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템의 구성요소	5
제1절 이론적 배경	5
제2절 실험장치 설계 및 구성요소	7

1. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 설계 및 구성요소	7
2. 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 설계 및 구성요소	10

제 3 장 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의

이송특성	13
제1절 렌즈 이송을 위한 □형 탄성빔의 이송특성	14
1. □형 탄성빔의 진행주파수	15
2. □형 탄성빔의 진동특성	20
제2절 렌즈 이송을 위한 ▽형 탄성빔의 이송특성	25
1. ▽형 탄성빔의 진행주파수	25
2. ▽형 탄성빔의 진동특성	30
제3절 렌즈 이송을 위한 △형 탄성빔의 이송특성	33
1. △형 탄성빔의 진행주파수	33
2. △형 탄성빔의 진동특성	38
제4절 렌즈 이송을 위한 ⊏형 탄성빔의 이송특성	42
1. ⊏형 탄성빔의 진행주파수	42
2. ⊏형 탄성빔의 진동특성	47
제5절 렌즈 이송을 위한 ≡형 탄성빔의 이송특성	50

1. \cup 형 탄성빔의 진행주파수	50
2. \cup 형 탄성빔의 진동특성	55
제6절 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 결과 고찰	58

제 4 장 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송

시스템의 진동특성 파악	61
제1절 70mm 탄성빔의 진동특성	61
1. 70mm 탄성빔의 성능평가	63
2. 70mm 탄성빔의 진동측정	64
제2절 50mm 탄성빔의 진동특성	68
1. 50mm 탄성빔의 성능평가	68
2. 50mm 탄성빔의 진동측정	69
제3절 40mm 탄성빔의 진동특성	73
1. 40mm 탄성빔의 성능평가	73
2. 40mm 탄성빔의 진동측정	74
제4절 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 결과 고찰	78

제 5 장 광소자 자동 픽업 시스템의 메커니즘	80
제1절 광소자 자동 픽업 시스템의 구성	80
제2절 광소자 자동 픽업 장치	82
제3절 광소자 자동 픽업 컨트롤 장치	91
제 6 장 결 론	95
참 고 문 헌	98

LIST OF TABLES

Table 3-1 Specification of Lenses	14
Table 3-2 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam \square	15
Table 3-3 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam ∇	25
Table 3-4 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam \triangle	33
Table 3-5 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam \sqsupset	42
Table 3-6 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam \sqsubset	50
Table 3-7 Good Transporting Frequency and Speed of Lenses according to Flexural Beam	58
Table 4-1 Performance Evaluation according to Flexural Beam Width	78

LIST OF FIGURES

Fig. 2-1 Theory of the Object Levitation Transport System using Ultrasonic Wave	5
Fig. 2-2 Lay-out of Optical Lens Transport System	7
Fig. 2-3 Picture of Experimental Apparatus	8
Fig. 2-4 Picture of Ultrasonic Wave Generator	9
Fig. 2-5 Lay-out of Semiconductor Disk Levitation Transport System	10
Fig. 2-6 Picture of Experimental Apparatus	11
Fig. 2-7 Picture of Ultrasonic Wave Generator	12
Fig. 3-1 Picture of Lenses	14
Fig. 3-2 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam \square	16
Fig. 3-3 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam \square	18
Fig. 3-4 Experimental Apparatus for Vibration Characteristics Analysis	20
Fig. 3-5 Scanning of Flexural Beam	21
Fig. 3-6 Scanning of Flexural Beam for 25.4 KHz	22
Fig. 3-7 Scanning of Flexural Beam for 26.2 KHz	23
Fig. 3-8 Scanning of Flexural Beam for 28.0 KHz	24
Fig. 3-9 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam ∇	26








Fig. 3-10 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 	28
Fig. 3-11 Scanning of Flexural Beam for 26.1 KHz	30
Fig. 3-12 Scanning of Flexural Beam for 26.9 KHz	31
Fig. 3-13 Scanning of Flexural Beam for 28.0 KHz	32
Fig. 3-14 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 	34
Fig. 3-15 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 	36
Fig. 3-16 Scanning of Flexural Beam for 26.9 KHz	38
Fig. 3-17 Scanning of Flexural Beam for 26.0 KHz	39
Fig. 3-18 Scanning of Flexural Beam for 26.1 KHz	40
Fig. 3-19 Scanning of Flexural Beam for 28.0 KHz	41
Fig. 3-20 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 	43
Fig. 3-21 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 	45
Fig. 3-22 Scanning of Flexural Beam for 26.6 KHz	47
Fig. 3-23 Scanning of Flexural Beam for 25.8 KHz	48
Fig. 3-24 Scanning of Flexural Beam for 27.0 KHz	49
Fig. 3-25 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 	51
Fig. 3-26 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 	53

Fig. 3-27 Scanning of Flexural Beam for 26.6 KHz	55
Fig. 3-28 Scanning of Flexural Beam for 25.8 KHz	56
Fig. 3-29 Scanning of Flexural Beam for 27.0 KHz	57
Fig. 4-1 Displacement Measurement Experimental Apparatus	62
Fig. 4-1 Picture of Levitated Disk Transportation in Flexural Beam With 70mm Width	63
Fig. 4-3 Measurement of Flexural Beam with 70mm Width using Laser Scanning Vibrometer	64
Fig. 4-4 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 70mm Width	66
Fig. 4-5 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 70mm Width	67
Fig. 4-6 Measurement of Flexural Beam with 50mm Width using Laser Scanning Vibrometer	69
Fig. 4-7 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 50mm Width	71
Fig. 4-8 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 50mm Width	72
Fig. 4-9 Measurement of Flexural Beam with 40mm Width using Laser Scanning Vibrometer	74
Fig. 4-10 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 40mm Width	76
Fig. 4-11 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 40mm Width	77

Fig. 5-1	Organization of Automatic Optical element Pickup System	81
Fig. 5-2	Pickup System Control Software using Visual C++	81
Fig. 5-3	Adams Simulation of Pickup System	82
Fig. 5-4	Y-Stage Displacement in Adams Simulation	84
Fig. 5-5	Rotation Stage Angle in Adams Simulation	85
Fig. 5-6	Operating Steps of Pickup System	86
Fig. 5-7	Diagram of Automatic Optical Element Pickup Apparatus	88
Fig. 5-8	Modeling and Picture of Pickup Apparatus	90
Fig. 5-9	Circuit of Motor	92
Fig. 5-10	Circuit of Limit Sensor, Home Signal and Terminal	92
Fig. 5-11	Circuit of Limit Sensor and Controller	93
Fig. 5-12	Control Box for Pickup System	94

ABSTRACT

A Study on the Levitation Transport System of Precision Element using Ultrasonic Wave

By Choi Suk Bong

Advisor : Prof. Jeong, Sang-Hwa, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering,

Graduate School of Chosun University

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 component. It is a indispensable device for many fields and especially it is very important in the factory automation.

From 1990s, as the information and telecommunication industry starts to develop, the semiconductor and the optical industry are growing. In recent years, the faster network is required, the more demand of optical components is growing. The conventional transport system is not, however, adequate for transporting the precision optical components and semiconductors. The reason is that the transport systems like conveyor belt can damage precision optical components by the contact force and magnetic systems can destroy the inner structure of semiconductor by magnetic field.

In this reason, the new system for transporting optical components and

semiconductor without damage is required. The system using ultrasonic wave is the one of alternatives. It can transport precision elements such as semiconductor and optical lens without damage.

In this thesis, the levitation transport of precision element using ultrasonic wave is developed for transporting the optical lens and semiconductor disk without damages, and the 3 experiments are performed for evaluating the developed system.

In the first experiment, the optimal traveling frequency to generate traveling wave on the each flexural beams and transport the each optical lenses are acquired. It was checked with 2 experimental conditions such as the stable transportation and the zero speed that the transport mechanism and the vibration modes of flexural beam using Laser Scanning Vibrometer. As a result, the relationship between transporting characteristics and flexural beam shapes are verified.

In the second experiment, the semiconductor disk levitation heights and transportation speed in the each flexural beam are measured. The horizontal and vertical vibration characteristics are measured by Laser Scanning Vibrometer. As a result, the relationship levitation and transporting characteristics according to flexural beam shapes are verified.

The third is to design the automatic optical elements pickup system for transporting optical lens. Pickup system works automatically to pick up the injected optical lens and to test its defect. Visual C++ is used for controlling the pickup system. Pickup apparatus is simulated the continuous motion by Adams.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경 및 목적

여러 분야의 산업에서 물체 이송 시스템은 필수적인 장치중의 하나이며 생산성 향상 및 생산 자동화에 매우 중요한 역할을 한다. 현재 사용되고 있는 이송 시스템에는 가장 대표적인 이송 시스템인 컨테이너항에서 거대 물류를 운반하는 컨베이어 시스템에서부터 자기를 이용한 이송 시스템이나 반도체, 광소자같이 미세하고 정밀한 부품들을 이송하는 시스템까지 사용되는 분야도 다양하다. 또한, 복잡한 자동화 플랜트에서 서로 다른 작업 공정을 서로 연결해주는 하나의 중요한 공정이라고 할 수 있다.

90년대 초·중반부터 정보통신 산업이 발전함에 따라 반도체 산업과 더불어 광통신 및 광정보기기 등 광산업 분야도 급속하게 발전하고 있다. 최근에는 보다 속도가 빠른 통신망이 요구됨에 따라 광통신망이 빠르게 확대되고 이로 인해 광통신에 필요한 광소자들의 수요가 급속하게 증가하고 있고, 이동통신과 컴퓨터의 발달로 반도체의 수요 역시 급증하고 있다. 그러나 기존의 이송 시스템들은 정밀하고 손상에 민감한 부품들인 반도체나 광소자 등의 이송에는 적합하지 않다. 그 이유는 반도체에 있어서 자기적 영향은 소자 내에 전자적 배열을 손상시킴으로써 사용할 수 없거나 불량품이 될 수 있으며 광소자는 이송 공정에서 접촉력에 따른 표면손상으로 인하여 빛손실을 일으킴으로써 불량률의 원인을 제공하기 때문에 기존의 이송 시스템은 도입되지 못하고 있는 실정이다.

현재 광소자 검사 시에 현미경을 이용한 육안 관찰을 통한 검사를 하기 때문에 체계화된 데이터가 부족할 뿐만 아니라 검사시간이 길어 생산성에 심각한 영향을 미치고 있다. 또한, 광소자 검사공정에서 광소자의 이송은 핀셋을 이용하여 사람이 직접 손으로 이송하기 때문에 이송 도중 표면손상을 일으켜 불량률 발생확률이 높다.

이로 인해 최근에는 자기에 영향을 받는 반도체 부품이나 접촉력에 따라 표면손상을 일으키는 광소자들을 결함 없이 이송하기 위한 새로운 시스템의 개발이 요구되고 있다. 접촉력에 의한 광소자의 표면손실, 자기에 의한 전자적 배열의 손상으로부터 안전한 이송 방법이 바로 초음파를 이용한 이송 방법이다.

초음파를 이용한 구동기에 대한 연구는 1980년대 말에서 1990년대 초반부터 미국과 일본을 중심으로 진행되고 있다.^{[1][2][3]} Toshiiku Sashida는 1993년에 “A Introduction to Ultrasonic Motors”를 저술하였고^[4] Yoshiro Tomikawa와 Kazunari Adachi는 1989년 진행되는 파형을 이용한 이송에 대해 발표를 하였다.^[5] 지금까지의 대부분의 연구들은 모터 소음을 줄이기 위한 목적으로 초음파 로터리 모터에 대한 연구들이다.^{[6][7]} 초음파 로터리 모터는 Canon Camera Co.에서 렌즈 포커싱을 개선하는 데 사용되고 있다.^[8]

또한 국내에서는 2002년에 국내 벤처회사인 피에조테크놀리지에서 초음파 로터리 모터 및 컨트롤러를 시판하기 시작하였고 초음파 리니어 모터를 연구하고 있다. 그러나 초음파 로터리 모터의 경우 스테이터 부분이 수입되고 있어 조립수준 밖에 미치지 않고 있으며 리니어 모터의 경우 이송거리가 짧아 제한적으로 사용되고 있다. 그러나 이송하고자 하는 물체를 초음파로 여기 하여 이송하는 방식은 아직 도입되지 않고 있으며 실용화되지 않았다.

본 연구에서는 광소자와 반도체 디스크를 이송하는 도중 표면손상을 현저하게 줄이고, 광소자와 같은 초정밀 부품의 결함검사를 자동으로 수행할 수 있는 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 초음파를 직접 이용하여 물체를 이송하는 방식으로 위의 연구 방식과 용도가 다르며 상대적으로 긴 이송거리를 가지고 있다.

제 2 절 연구내용 및 방법

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템은 최근 급속히 발달하고 있는 광산업이나 반도체 산업에서 기존의 이송 시스템의 단점을 보완하기 위해 개발되었다. 기존의 이송 시스템들은 이송공정이나 검사공정 등에서 광소자의 표면손상이나 자기장에 의한 반도체 소자의 전자적 배열의 손상이 우려되었다. 하지만 PZT 액츄에이터로 구동되는 초음파 발생장치(Ultrasonic Wave Generator)에서 발생한 초음파 여기를 이용하여 물체를 이송시킬 경우 이러한 단점은 보완된다.

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템은 초음파를 발생시키는 초음파 발생 장치의 주파수에 밀접한 관련이 있다. 초음파 발생 장치의 주파수를 변화함으로써 물체를 진행시키는 진행파가 생성된다. 이때 발생하는 진행파(Progressive Wave)는 주파수의 변화 조건에 따라 물체의 이송속도를 변화시킨다.

본 연구에서는 이송하고자 하는 초정밀 부품을 2개로 나누어 각기 이송하고자 하는 물체에 따른 2개의 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템을 개발하였다. 초음파를 이용한 이송 시스템을 통해 이송된 광소자를 픽업함과 동시에 검사하여 정상품과 불량품으로 판독한 후 광소자의 양산라인으로 갈수 있는 광소자 자동 픽업 시스템을 개발하였다. 개발된 2개의 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템에서는 이송하고자 하는 초정밀 부품의 이송거리와 이송속도의 최적화를 위한 탄성빔(Flexural Beam)의 형상변화에 따른 이송 시스템의 동작특성을 파악하는 실험을 수행하였다. 그리고 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템의 메커니즘을 규명하기 위한 실험을 수행하였다.

1. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 성능평가

개발된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 이송하고자 하는 광소자를 고려한 서로 다른 형상의 탄성빔을 개발하고 각각의 탄성빔에 따른 이송특성을 파악하는 실험을 수행하였다. 광소자의 이송 거리와 이송 속도를 측정하였다. 또한 초음파 발생장치의 광소자를 진행시키는 진행주파수(Progressive Frequency)와 이송특성과의 관계, 이송되는 광소자와 이송특성과의 관계를 실험을 통해 규명하였다. 3차원 레이저 진동 측정기(Laser Scanning Vibrometer)를 사용하여 광소자가 이송될 수 있는 진행파의 형태를 파악하고 광소자가 이송되지 않는 경우의 조건에서 진동형태를 측정하고 진행파와 비교, 관찰하여 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 메커니즘을 규명하기 위한 실험을 수행하였다.

2. 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송시스템의 성능평가

개발된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 이송하고자 하는 반도체 디스크를 고려한 서로 다른 형상의 탄성빔을 개발하고 각각의 탄성빔에 따른 이송특성을 파악하는 실험을 수행하였다. 탄성빔 위에서 반도체 디스크의 부상과 이송이 동시에 이루어지므로 반도체 디스크의 이송속도를 측정하였으며 레이저 변위 센서(Laser Displacement Sensor)를 사용하여 부상되는 높이를 측정하였다. 3차원 레이저 진동 측정기(Laser Scanning Vibrometer)를 사용하여 반도체 디스크가 이송될 수 있는 진행파의 형태를 파악하여 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 메커니즘을 규명하기 위한 실험을 수행하였다.

3. 광소자 자동 픽업 시스템의 성능평가

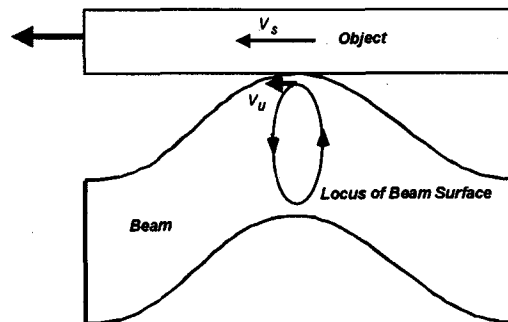
시스템의 동특성을 파악하기 위해 Adams를 이용하여 시뮬레이션 하였으며 Visual C++을 이용, 픽업 시스템 컨트롤 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 광소자 자동 픽업 시스템은 초음파를 이용한 광소자 이송시스템을 통하여 이송된 광소자의 불량 여부를 판별할 수 있도록 소자 자동 픽업 시스템의 이송 유닛과 검사 유닛을 개발하여 일체화하였다.

제 2 장 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템의 구성요소

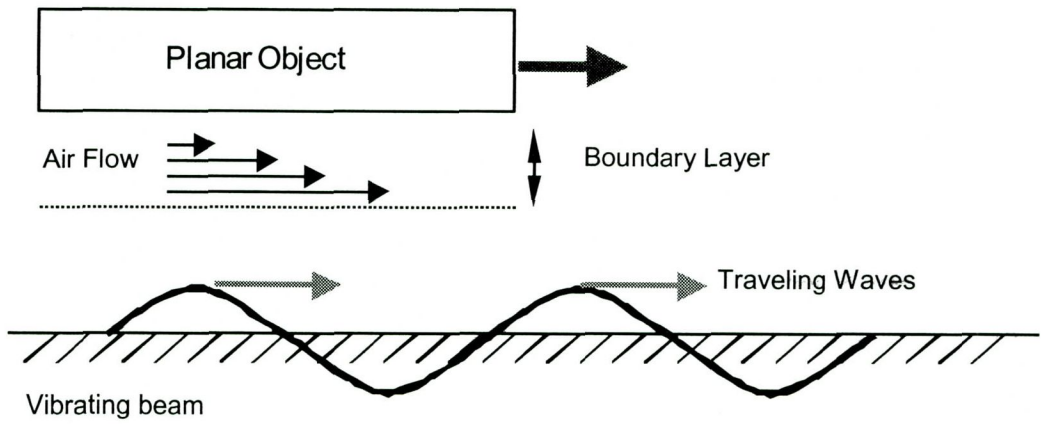
제 1 절 이론적 배경

초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템은 탄성빔 양 끝단에 두 개의 초음파 발생장치를 부착하여 각각의 다른 위상으로 초음파를 전달한다. 초음파 발생장치에서 발생하는 초음파는 탄성빔에 전달되고 초음파가 가해진 탄성빔 위에 진행파가 발생하여 물체를 이송시킨다.

Fig. 2-1은 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템의 원리를 나타낸 그림이다. Fig. 2-1(a)는 초음파로 여기된 탄성빔의 궤적과 그에 따라 부상되어 이송되고자 하는 물체가 이송되는 메커니즘을 나타낸 것이다. Fig. 2-1(b)는 물체가 부상되어 이송될 때 탄성빔과 물체 사이의 경계층을 나타낸 것으로 빔에서 발생된 초음파는 빔과 물체 사이의 공기층을 여기시켜 공기 흐름을 만들고 이에 따라 물체가 부상하여 진행된다.



(a) Elliptical Locus of Beam



(b) Acoustic Coupled Drive

Fig. 2-1 Theory of the Object Levitation Transport System using Ultrasonic Wave

제 2 절 실험 장치 설계 및 구성요소

1. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 설계 및 구성요소

초음파를 이용한 광소자 이송 시스템은 초음파를 발생시켜주는 초음파 발생장치, 초음파를 직접 전달받아 진행파를 생성함과 동시에 물체를 이송시키는 가이드 역할을 하는 탄성빔으로 이루어져 있다. 진동을 발생시키기 위하여 채널 1에는 함수를 발생시켜주는 함수발생기(Function Synthesizer), 그리고 발생된 함수 신호를 증폭시켜주는 파워증폭기(Power Amplifier)와 연결하고, 채널 2의 초음파 발생장치에는 전기 단자를 저항 중단하여 진동을 흡수해 결국 진동 진행파를 여진하기 위한 저항과 인덕턴스를 연결한다.

Fig. 2-2는 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 개략도를 나타낸 것이고, Fig. 2-3은 실제 실험장치의 사진이다.

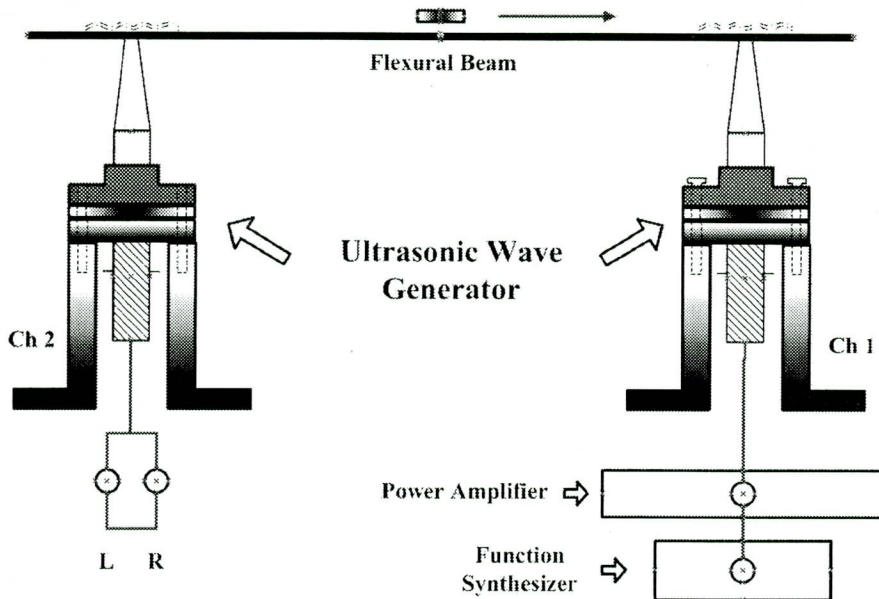


Fig. 2-2 Lay-out of Optical Lens Transport System

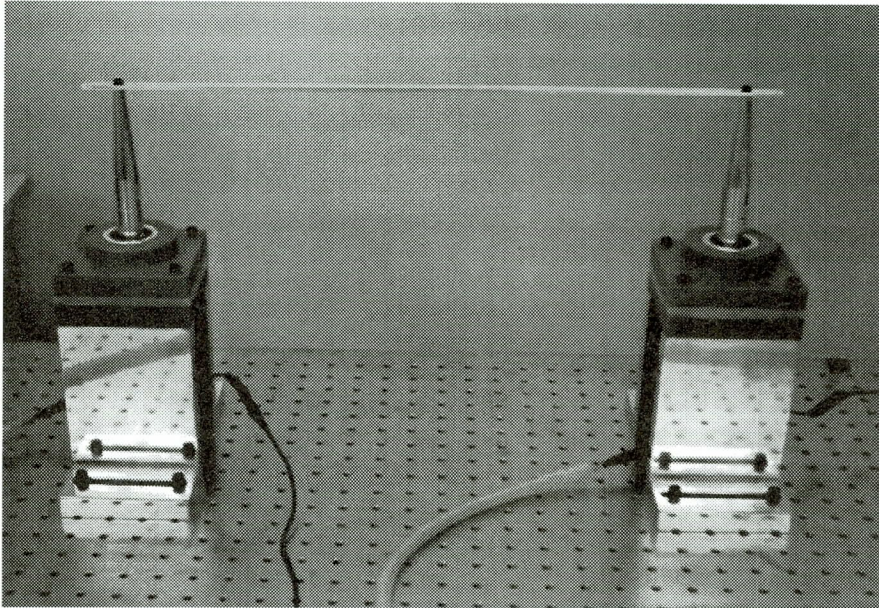


Fig. 2-3 Picture of Experimental Apparatus

초음파 발생장치는 본 연구를 통해 개발한 장치로 PZT 액츄에이터, 부스터, 그리고 혼으로 구성되었다. PZT 액츄에이터에서 초음파를 발생시키고 부스터(Booster)에서 PZT 액츄에이터의 파손을 방지함과 동시에 발생된 초음파를 일차적으로 증폭시킨다. 부스터를 통해 증폭된 초음파는 다시 혼(Horn)에서 이차적으로 증폭되게 설계되었다. PZT 액츄에이터, 부스터, 혼은 나사로 체결되어 있다. 이송 시스템 전체를 지지해주는 구조물은 부스터에 직접 연결되어 있으며 발생된 초음파가 구조물에 영향을 받지 않고 탄성빔에 전달될 수 있도록 부스터의 노드점에 연결하였다. PZT 액츄에이터는 NTK사에서 제작한 DA2228을 사용하였다. 부스터와 혼은 음향학적 효과가 뛰어난 두랄루민 7072로 제작되었다. 혼의 증폭비는 1 : 2.5로 설계되었다. Fig. 2-4는 초음파 발생장치의 실제 모습이다.

탄성빔은 초음파 발생장치에서 발생한 초음파를 진행파로 바꾸는 역할을 한다. 탄성빔은 초음파 발생장치와 노드점이 아닌 부분에 나사로 체결되어 있다. 본 연구에서 사용된 탄성빔은 모두 알루미늄으로 제작되었고, 알루미늄 역시 음향학적 특성이 뛰어나다.

함수발생기에서 생성된 신호는 파워증폭기를 통해서 증폭된 신호로 출력된다. 함수

발생기는 YOKOGAWA사의 FC200 모델을 사용하였고, 파워증폭기는 Trek사의 PZD700 M/S 모델을 사용하였다.

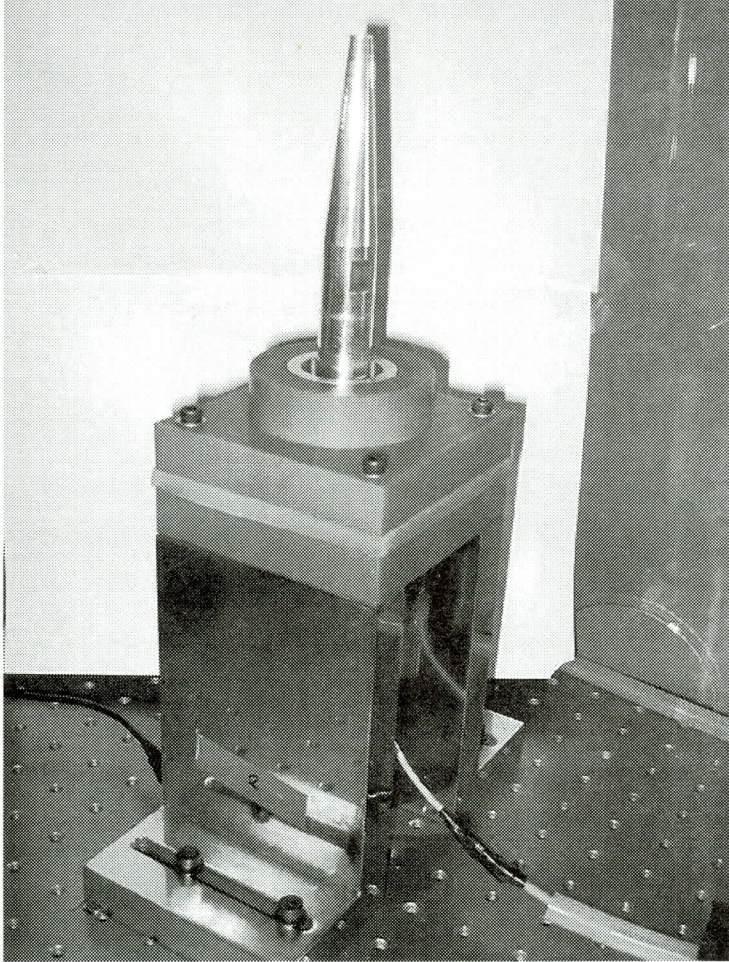


Fig. 2-4 Picture of Ultrasonic Wave Generator

2. 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 설계 및 구성요소

초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템은 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템과 동일한 구성으로 이루어져 있으나 채널 1에는 주파수 변화를 주지 않는 대신에 주어진 신호만큼 전류를 흘려보내 진동의 크기를 조절하는 초음파 발전기(Ultrasonic Generator)와 연결한다. 그리고 채널 2에는 채널 1의 초음파 발생장치에서 생성된 진동을 흡수 후 다시 여진하기 위한 저항과 인덕턴스를 연결한다.

Fig. 2-5와 Fig. 2-6에 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 개략도와 실제 실험장치의 사진을 나타내었다.

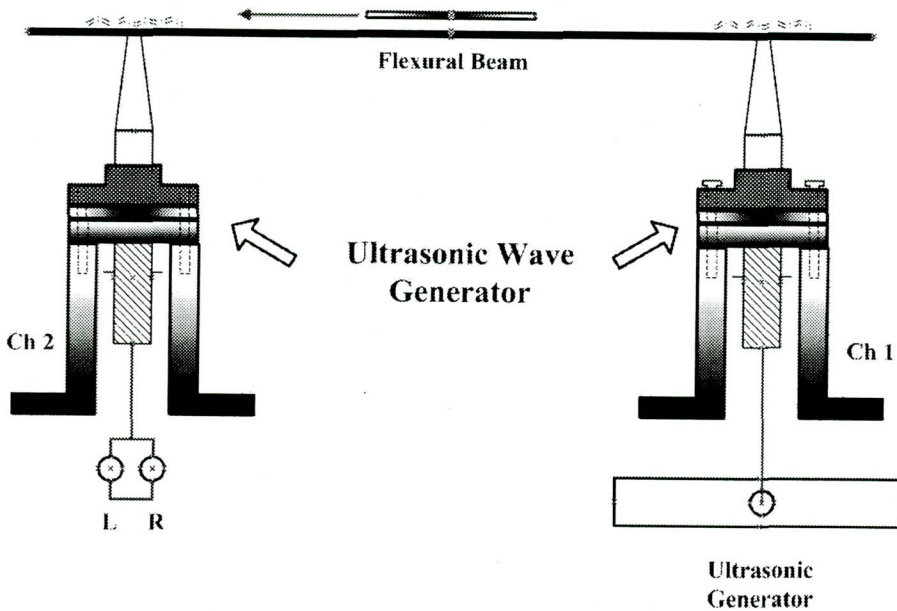


Fig. 2-5 Lay-out of Semiconductor Disk Levitation Transport System

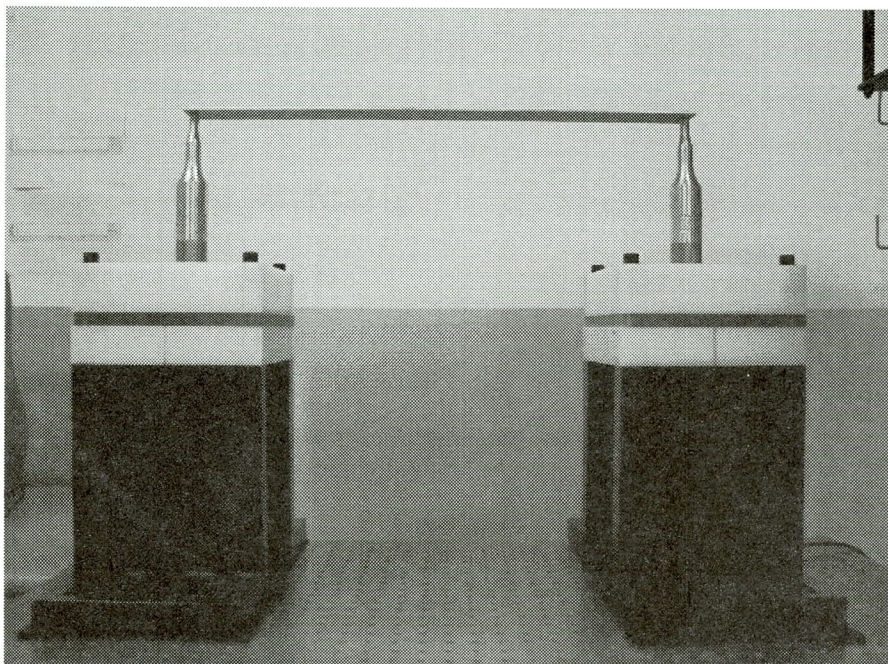


Fig. 2-6 Picture of Experimental Apparatus

초음파 발생장치를 개발하여 본 시스템을 구성하였다. PZT 액츄에이터, 진동자, 메인혼, 그리고 공구혼은 선진쏘닉테크사에 의뢰하여 제작하였다. 부스터와 혼은 음향학적 효과가 뛰어난 두랄루민 7075로 제작되었다. 혼의 증폭비는 1 : 2로 설계되었다. Fig. 2-7은 초음파 발생장치의 실제 모습을 보여준다. 초음파 발진기는 선진쏘닉테크사의 20KHz 연속발진이 가능한 전류형 발진기를 사용하였다.

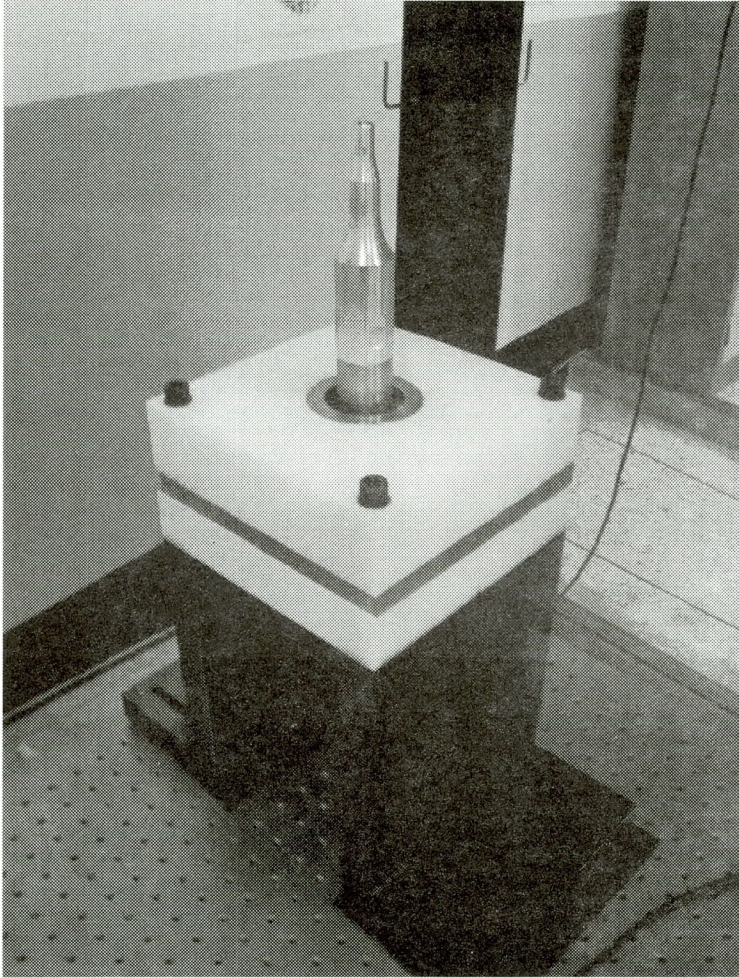


Fig. 2-7 Picture of Ultrasonic Wave Generator

제 3 장 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 이송특성

초음파 발생장치와 탄성빔으로 구성된 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하고 각기 다른 형상의 탄성빔에서 이송하고자 하는 렌즈를 원하는 거리만큼 이송시킴과 동시에 가장 빠른 이송속도를 보이는 진행주파수를 실험을 통하여 규명하였다.

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.

제 1 절 렌즈 이송을 위한 □형 탄성빔의 이송특성

초음파를 이용하여 물체를 이송하기 위해서는 초음파 발생장치의 정확한 진행주파수를 찾아야한다. 진행주파수를 찾기 위해 $\pm 500V$ 의 일정한 입력전압을 주었으며 한 개의 초음파 발생장치(ch1)에는 제너레이터를 연결하였고 다른 한 개의 초음파 발생장치(ch2)에는 임피던스 매칭을 위한 저항($R=10k\Omega$)과 인덕턴스($L=4.4mH$)를 연결하여 빔을 통해 전달되어지는 진동을 증폭시키게 하였다. 구성된 시스템에서 이송되어지는 렌즈는 각기 다른 4가지 형상의 광학 유리렌즈(Optical Glass Lens)를 사용하였다.

Table 3-1 Specification of Lenses

Lens No.	1	2	3	4
Diameter(mm)	6	7	9	15
Weight(g)	0.25	0.32	0.38	2.3

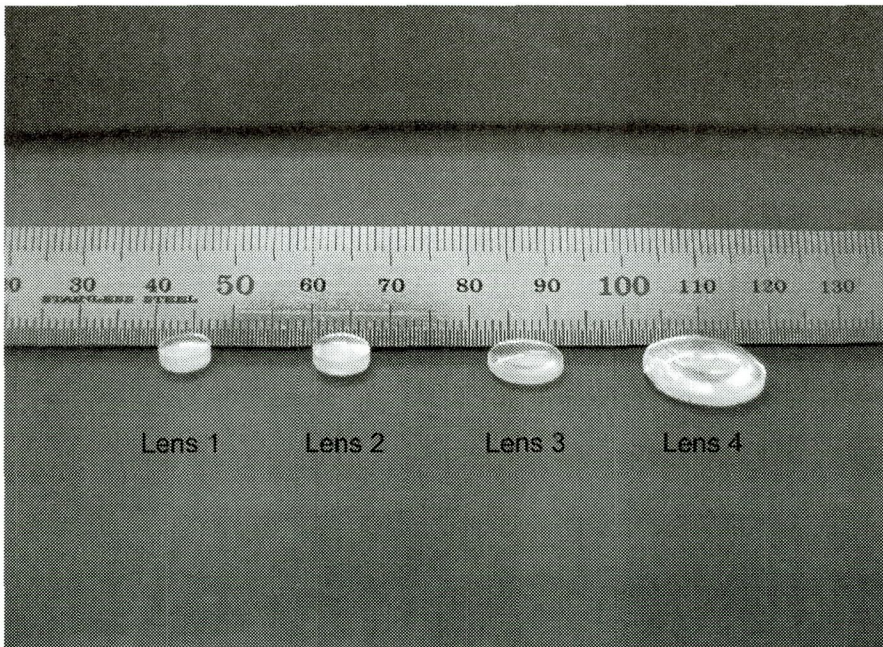


Fig. 3-1 Picture of Lenses

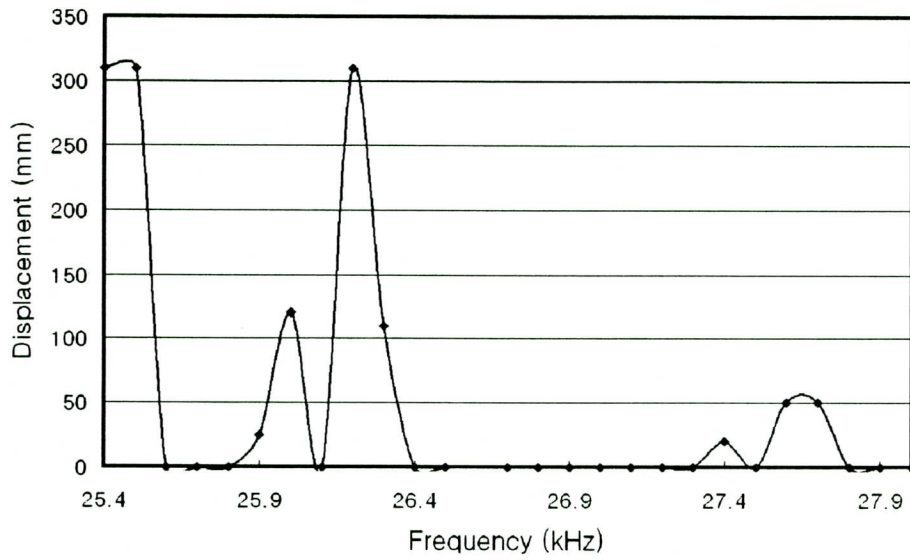
1. □형 탄성빔의 진행주파수

구성된 두 개의 초음파 발생장치와 연결되어 진동을 생성하여 렌즈를 이송시키는 탄성빔은 두랄루민 재질의 350mm × 14mm × 3mm인 직사각형이며 이를 연결하여 시스템을 구성하였다. 이 때 주파수를 변화시키면서 렌즈의 이송변화를 관찰하였다. 주파수는 25.5KHz부터 28.4KHz까지 100Hz씩 변화시켰다.

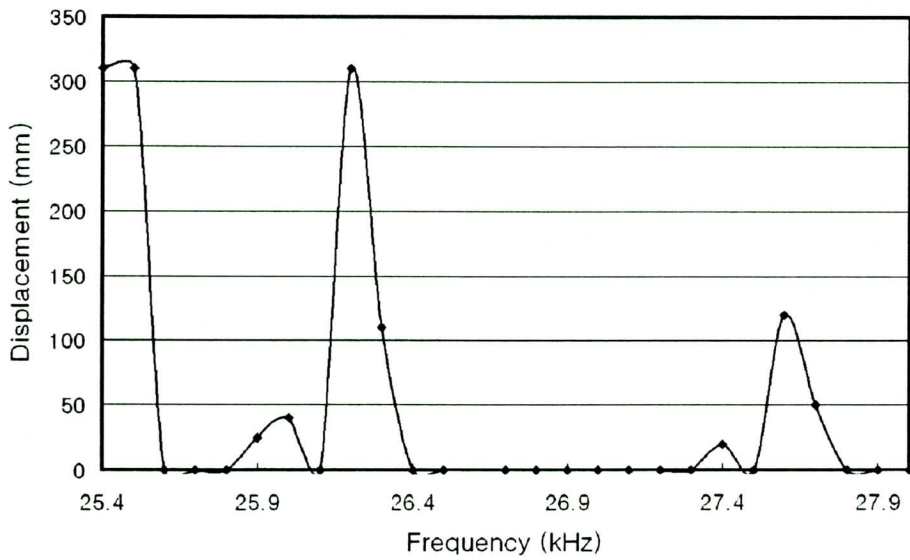
실험결과 4개의 렌즈는 모두 채널 2에서 채널 1을 향하여 이송되었다. Fig. 3-2는 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송거리를 나타낸 그래프이고, Fig. 3-3은 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송속도를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 거리와 속도값이 0인 부분은 렌즈가 움직이지 않은 주파수를 나타낸다. Fig. 3-2에서 보는 것과 같이 4개의 렌즈는 주파수 25.4KHz, 25.5KHz, 26.2KHz에서 전체 탄성빔 위를 통과하며 이송이 되었다. Fig. 3-2(c)에서 렌즈 3은 다른 3개의 렌즈와 달리 주파수 26.3KHz에서도 전체 탄성빔 위를 통과하며 이송이 이루어짐을 알 수 있다. Fig. 3-3(d)에서 렌즈 4는 주파수 25.9KHz에서 100mm/s의 가장 빠른 이송속도를 보였지만 렌즈의 이송거리가 250mm 밖에 되지 않았기 때문에 렌즈를 이송시키기 위한 진행주파수라고 여기지 않았다. Table 3-2는 실험한 4개의 렌즈가 탄성빔 전체를 통과하며 가장 빠른 속도로 이송 되었을 때의 최고이송속도와 진행주파수를 나타낸 것이다. 결국 □형의 탄성빔에서 렌즈를 가장 빨리 이송시켰던 진행주파수는 렌즈 1, 2, 4의 경우 26.2KHz, 렌즈 3의 경우 25.4KHz임을 알 수 있었다. 그리고 □형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를 보이며 전체 탄성빔 위를 따라 이송을 보인 렌즈 4의 경우 진행주파수 26.2KHz에서 최고 이송속도 93.6mm/s를 보임을 알 수 있었다.

Table 3-2 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam □

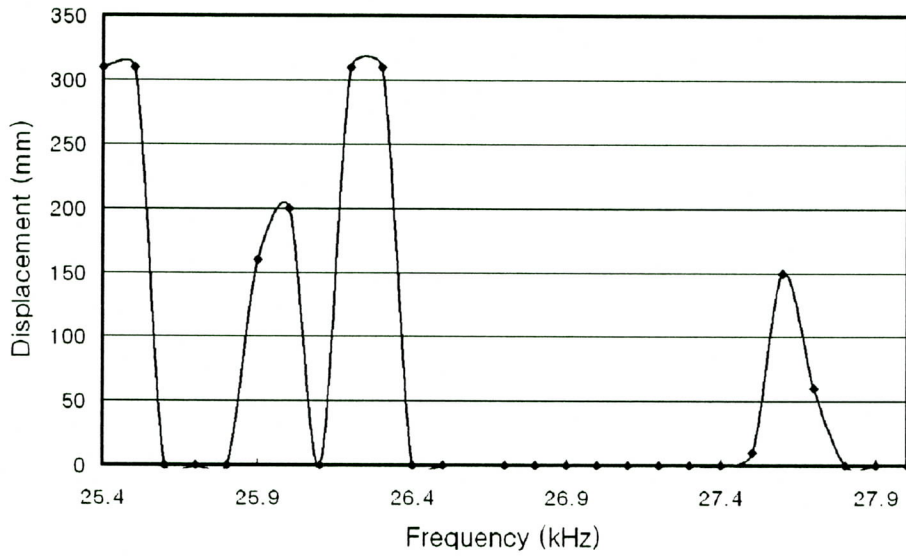
Lens No.	1	2	3	4
Frequency(KHz)	26.2	26.2	25.4	26.2
Speed(mm/s)	81.6	77.5	83.7	93.6



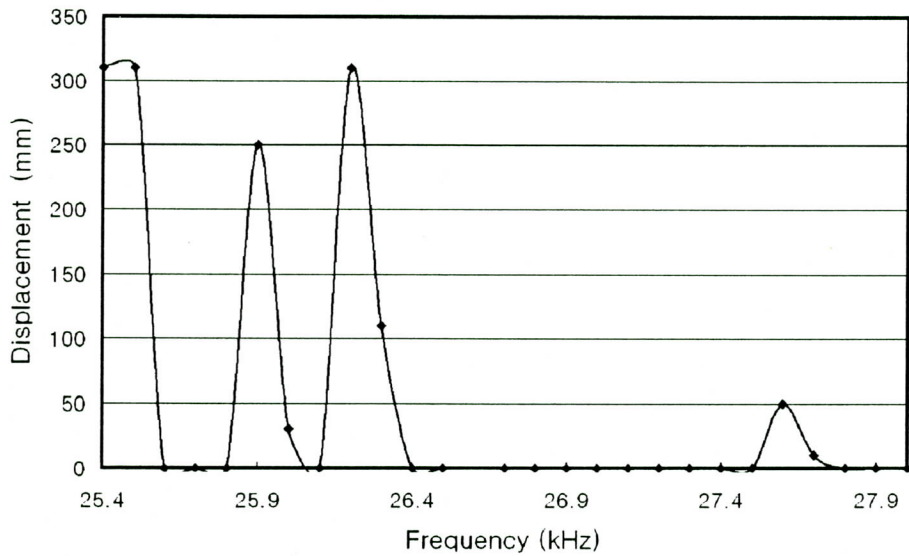
(a) Transported Displacement of Lens 1



(b) Transported Displacement of Lens 2

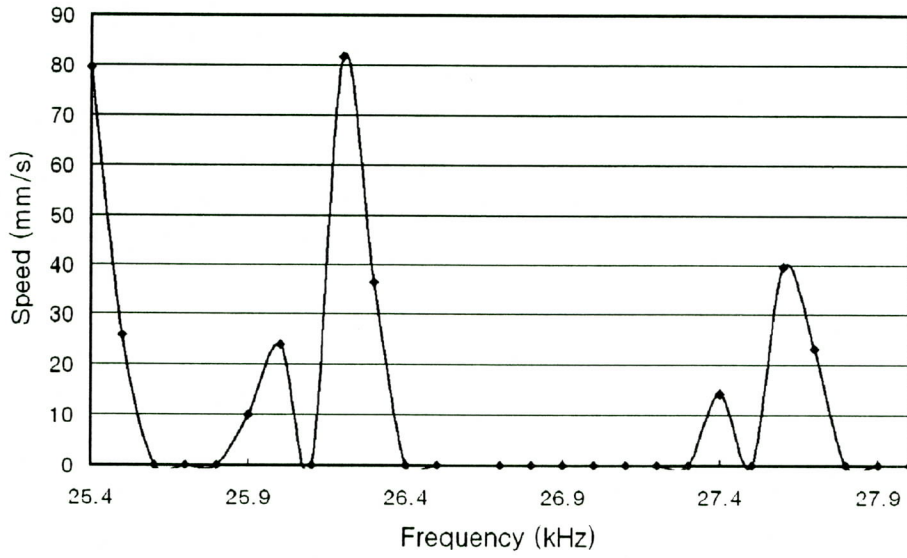


(c) Transported Displacement of Lens 3

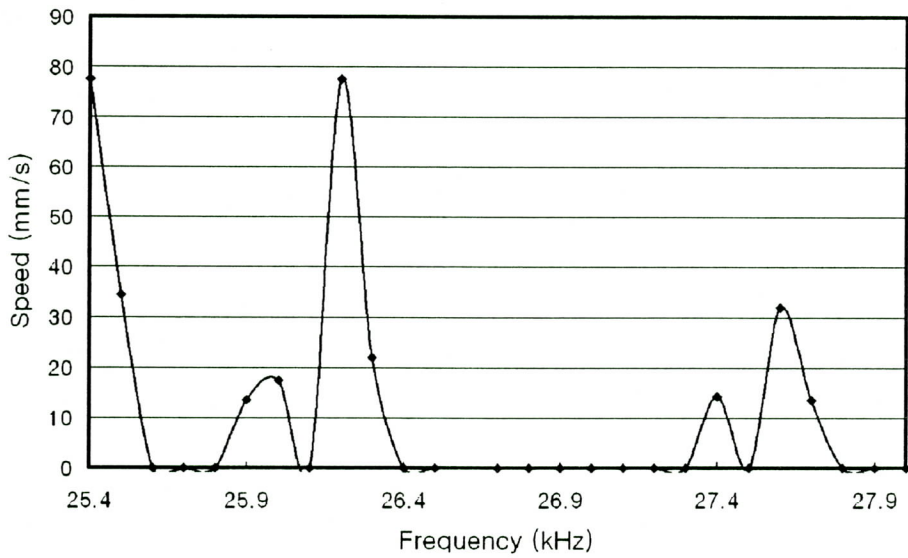


(d) Transported Displacement of Lens 4

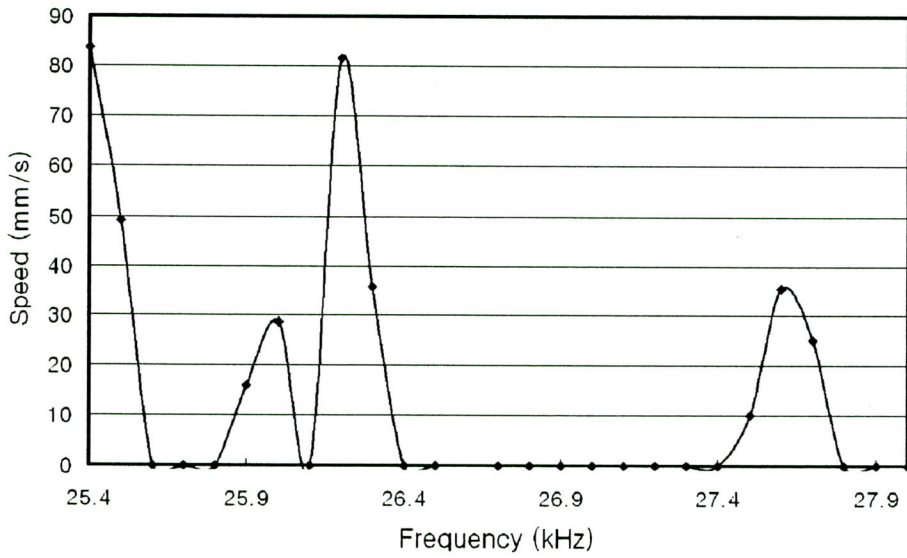
Fig. 3-2 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam



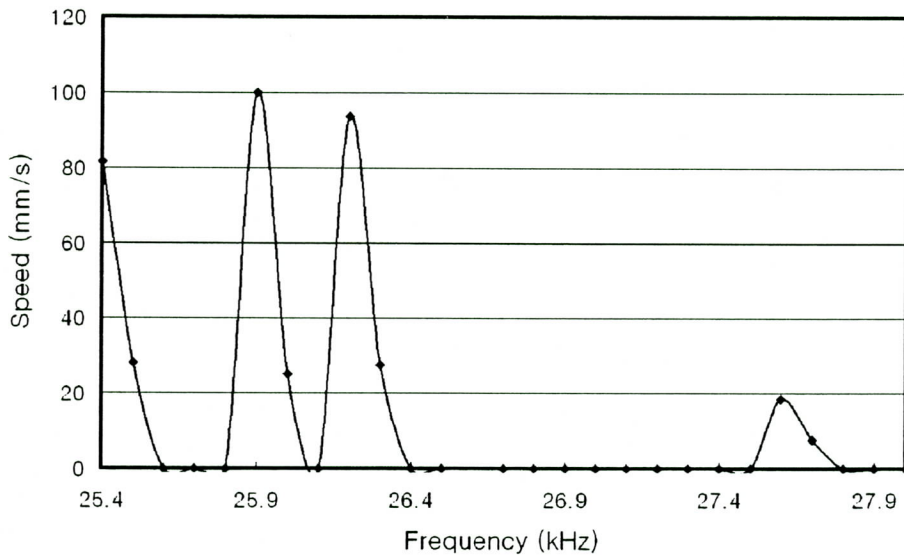
(a) Transport Speed of Lens 1



(b) Transport Speed of Lens 2



(c) Transport Speed of Lens 3



(d) Transport Speed of Lens 4

Fig. 3-3 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam

2. □형 탄성빔의 진동특성

탄성빔의 진동특성을 알아보기 위하여 3차원 레이저 진동측정기를 사용하였다. 3차원 레이저 진동측정기(Laser Scanning Vibrometer)는 물체 표면에서 발생하는 진동 신호를 레이저를 이용하여 2차원 진동데이터를 측정하고 3차원 애니메이션으로 관찰할 수 있는 장치로서 자동차를 포함한 수송기계 차체 진동 연구에 적용할 수 있으며 또한 초정밀 반도체 부품의 진동측정 및 광산업에 활용할 수 있는 장비이다.

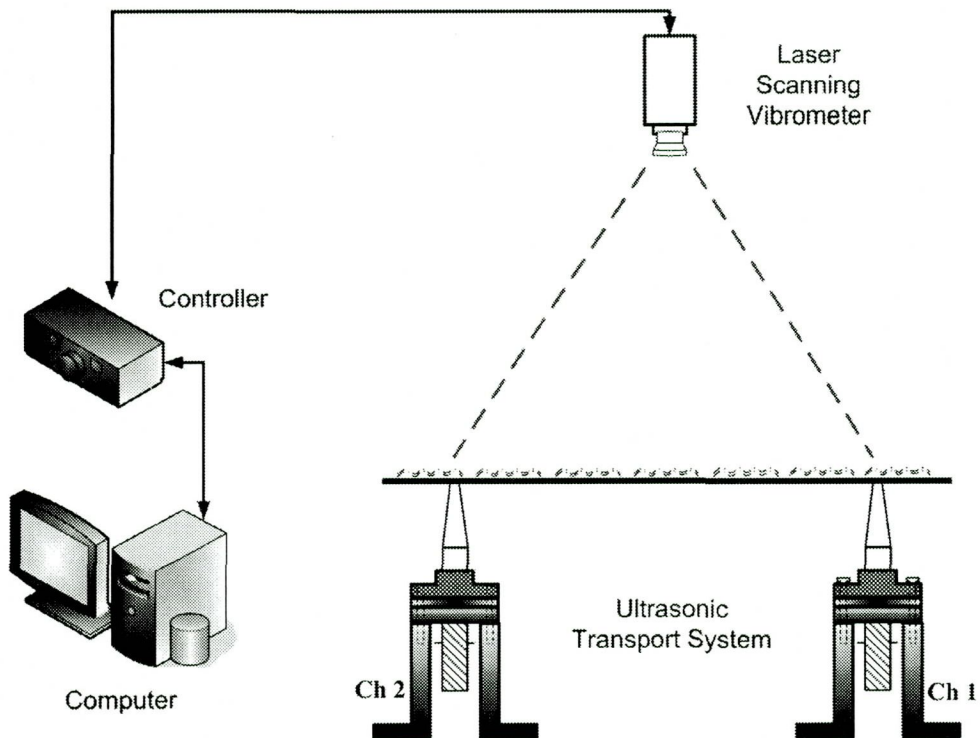


Fig. 3-4 Experimental Apparatus for Vibration Characteristics Analysis

Fig. 3-5는 3차원 레이저 진동측정기를 이용하여 탄성빔을 스캐닝 한 모습이다. 변위의 측정은 파형이 발생되고 있는 탄성빔의 양끝과 가운데 부분으로 가로방향 세 곳의 변위의 변화를 측정하였으며 변위와 생성된 파형의 진폭의 크기를 통해 파장의 형태를 보다 세밀히 관찰하였다. 렌즈가 탄성빔을 따라 이송될 때의 진행주파수와 탄성빔에서

움직임을 전혀 보이지 않은 주파수에서 생성된 전체적인 파형의 진폭 변화와 뒤틀림을 측정하여 그래프를 통하여 나타내었다. 진폭은 세부분을 측정하여 파형의 뒤틀림의 형태와 위상의 형태를 나타내었다.

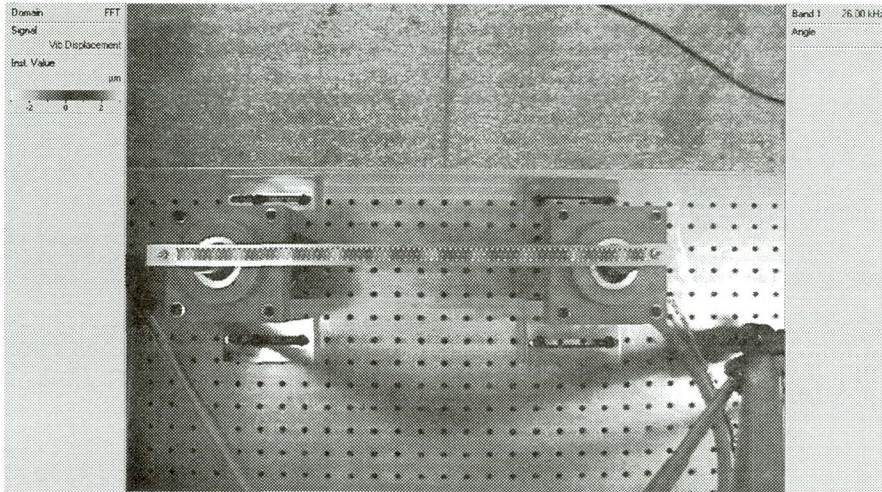
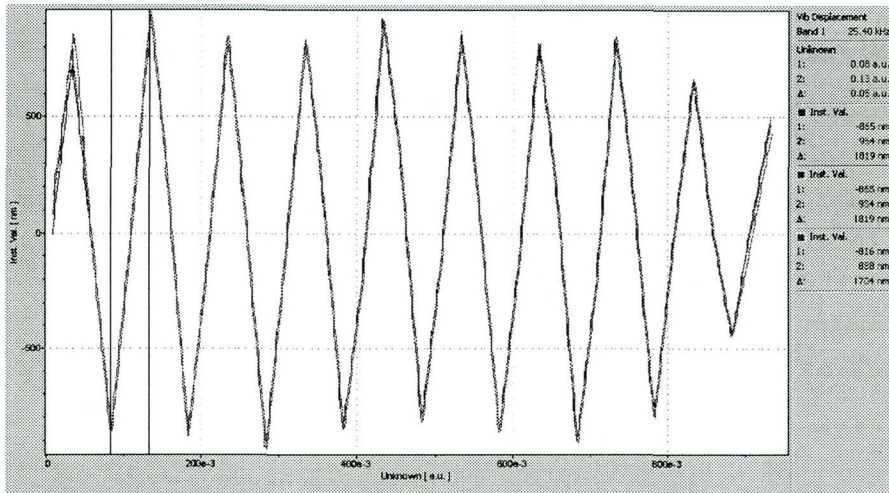


Fig. 3-5 Scanning of Flexural Beam

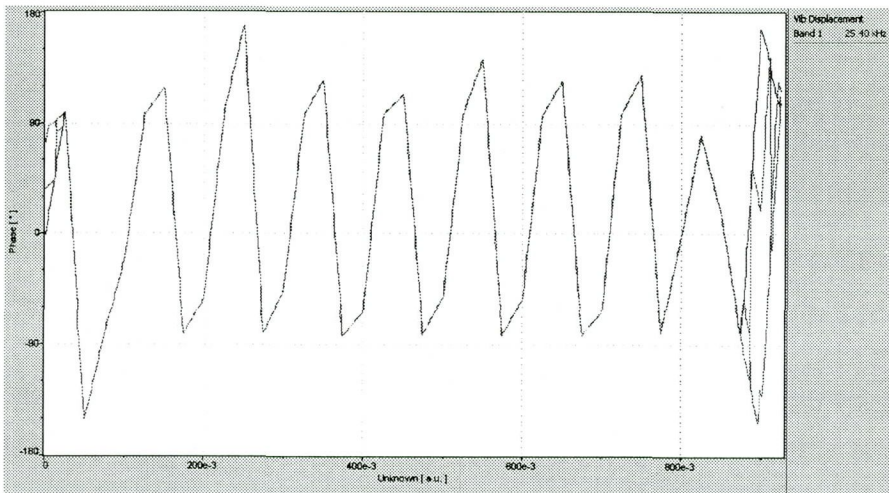
가. 주파수 25.4KHz에서의 진동특성

렌즈 3이 □형의 탄성빔 전체를 통과하며 가장 빠른 이송속도를 보인 주파수 25.4KHz에서 3차원 레이저 진동측정기를 이용하여 탄성빔의 진동 형태를 측정하였다.

Fig 3-6은 주파수 25.4KHz에서 렌즈 3이 원활한 이송을 보일 때의 탄성빔의 파형과 위상의 모습이다. 생성된 파형은 채널 2의 초음파 발생장치와 연결된 부분을 제외한 모든 부분에서 긴 파장의 파형이 일정하게 발생함을 알 수 있으며 렌즈가 빔을 통과할 때에는 안정적인 이송을 보였다. Fig. 3-6(b)에서 측정된 채널 2의 초음파 발생장치와 연결된 부분에서 위상차가 크게 남을 알 수 있는데 렌즈의 이송이 시작되는 이 부분에서는 렌즈가 제자리에서 회전하는 모습을 확인할 수 있었다.



(a) Wave of Flexural Beam



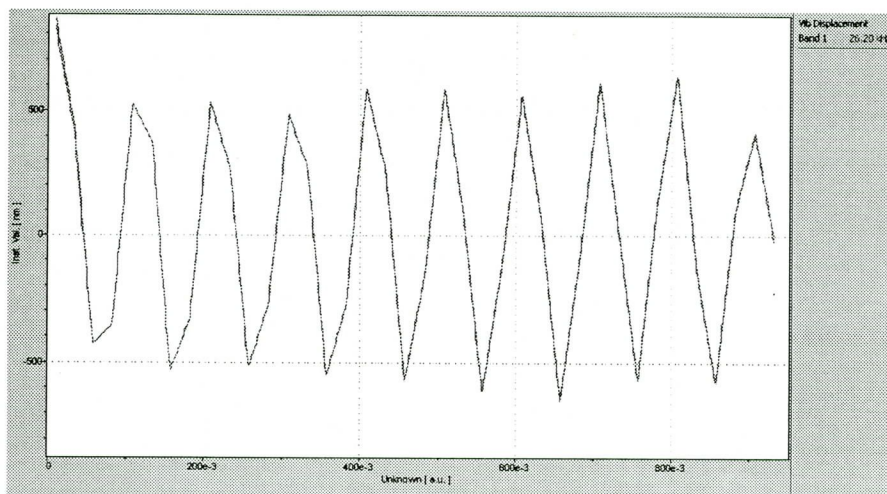
(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-6 Scanning of Flexural Beam for 25.4KHz

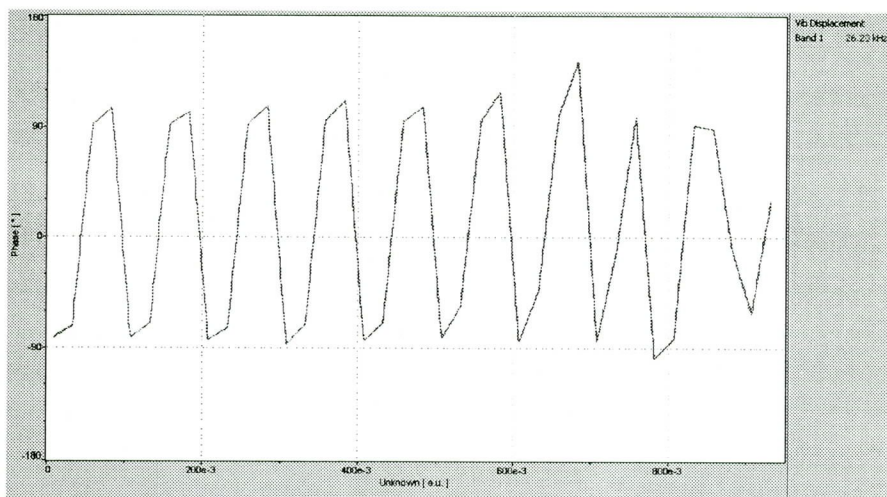
나. 주파수 26.2KHz에서의 진동특성

렌즈 1, 2, 4의 진행주파수인 26.2KHz에서 탄성빔의 진동형태를 Fig. 3-7에 나타내었다. 제너레이터와 연결된 채널 1방향에서 파형의 크기가 약간 작게 나타났다. 전체적인 파형의 크기 또한 렌즈 3의 이송을 위해 측정된 주파수 25.4KHz보다는 상대적으로 작게

나타났지만 다른 렌즈 이송에는 문제가 되지 않았다. 파형과 위상이 일정한 크기를 가진 채 반복되는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam

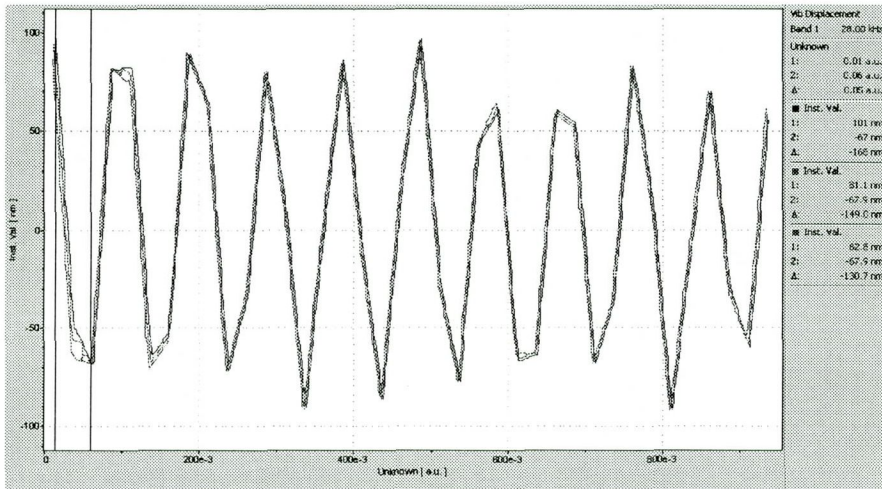


(b) Phase Shape of Flexural Beam

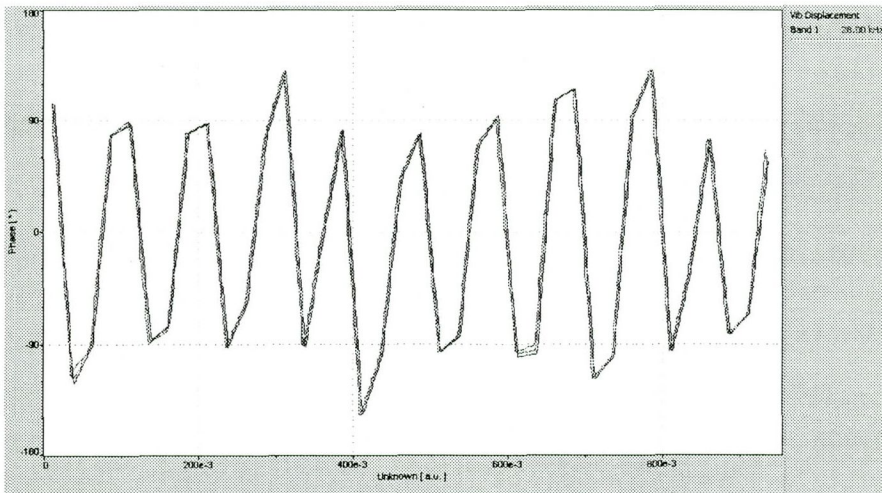
Fig. 3-7 Scanning of Flexural Beam for 26.2KHz

다. 주파수 28.0KHz에서의 진동특성

Fig. 3-8은 4개의 렌즈가 이송이 이뤄지지 않을 때의 주파수 28.0KHz에서의 파형 모습이다. 그 형상이 불규칙하게 나타나며 형상의 크기 또한 진행주파수와는 달리 작게 나타나고 있다. 측정된 세 곳의 파형과 위상에 차이가 있음을 알 수 있다. 렌즈는 작은 흔들림도 없는 정지된 상태를 계속 유지하였다.



(a) Wave of Flexural Beam



(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-8 Scanning of Flexural Beam for 28.0KHz

제 2 절 렌즈 이송을 위한 ▽형 탄성빔의 이송특성

1. ▽형 탄성빔의 진행주파수

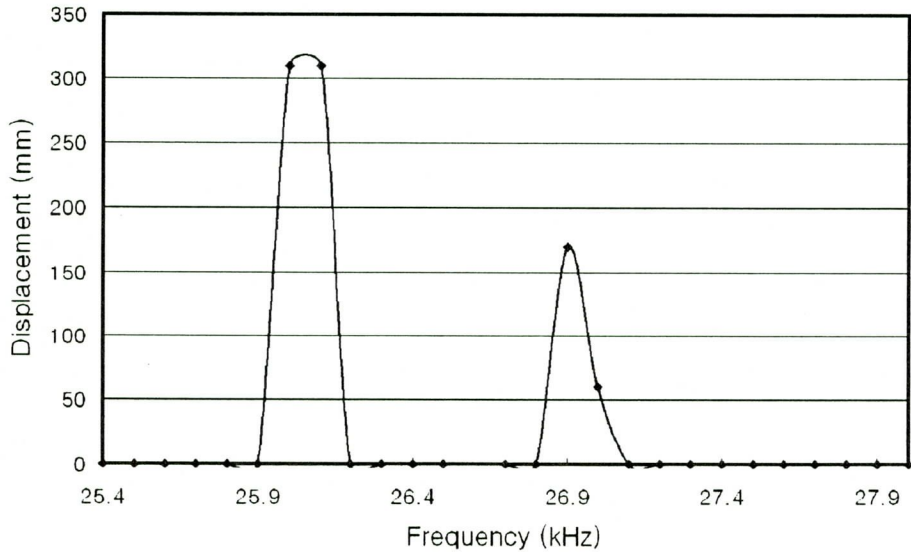
렌즈의 이송을 위해 ▽형의 탄성빔에서 실험을 수행하였다. 탄성빔은 직사각형 윗면의 양 끝단에서 0.4mm씩 아랫면으로 컷팅을 한 윗면이 긴 형태의 사각형이다.

실험결과 렌즈의 이송방향은 앞의 실험과 동일하였다. Fig. 3-9는 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송거리를 나타낸다. 4개의 렌즈 모두 주파수 26.0KHz와 26.9KHz근처에서 움직임을 보였으나 렌즈 3과 렌즈 4만이 전체 탄성빔을 따라 이송되었고 렌즈 1과 렌즈 2는 주파수 26.9KHz에서 170mm의 이송거리를 보였다. Fig. 3-9(c)에서 렌즈 3은 주파수 26.2KHz에서도 전체 탄성빔을 따라 이송되었다. Fig. 3-10은 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송속도를 나타낸다. Fig. 3-10(c)에서 렌즈 3은 주파수 26.0KHz와 26.9KHz 두 곳에서 91.1mm/s의 같은 이송속도를 보임을 알 수 있다.

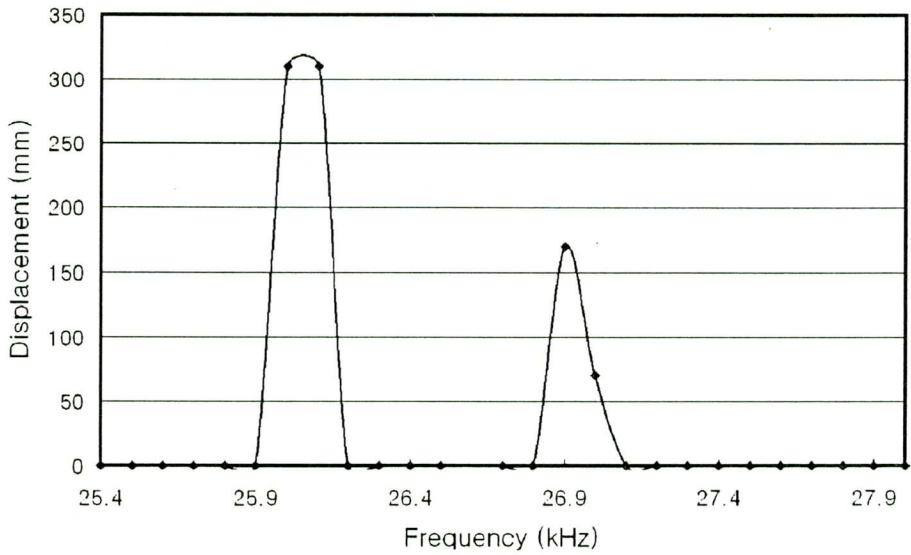
Table 3-3은 ▽형의 탄성빔에서 실험한 4개의 렌즈의 진행주파수와 그에 따른 이송속도를 보여준다. 렌즈 1과 렌즈 2의 경우 26.1KHz, 렌즈 3과 렌즈 4의 경우 26.9KHz가 진행주파수였으며 이때 가장 빠른 이송속도를 보였다. ▽형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를 보인 렌즈 4의 경우 진행주파수 26.9KHz에서 최고 이송 속도 93.9mm/s를 보임을 알 수 있었다. 이를 통하여 ▽형의 탄성빔에서는 이송되어지는 렌즈의 지름이 크고 무거울수록 상대적으로 더 빠른 이송속도를 보임을 알 수 있었다.

Table 3-3 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam ▽

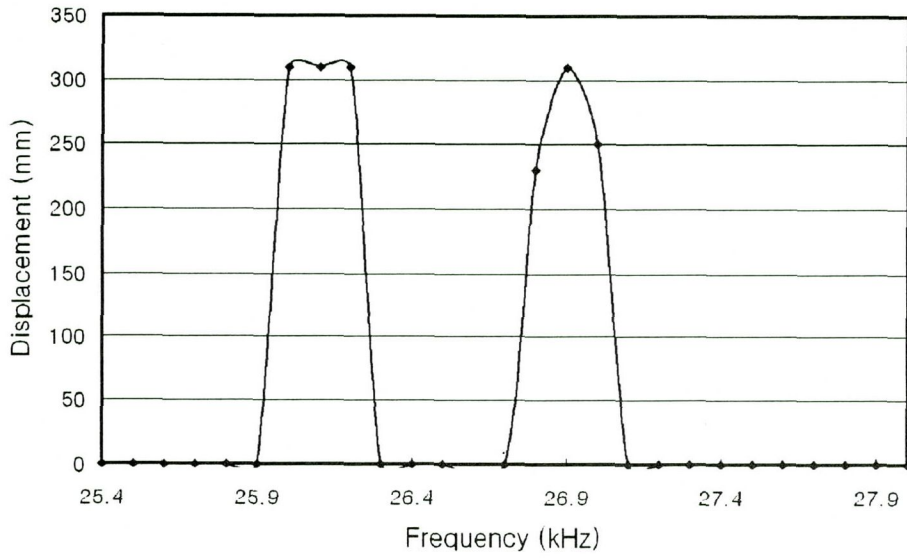
Lens No.	1	2	3	4
Frequency(KHz)	26.1	26.1	26.9	26.9
Speed(mm/s)	41.3	31.0	91.1	93.9



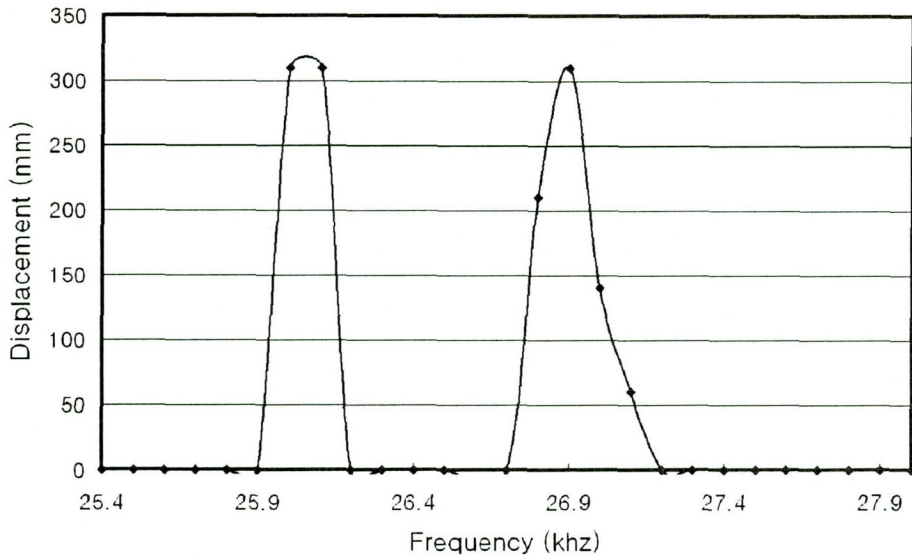
(a) Transported Displacement of Lens 1




(b) Transported Displacement of Lens 2

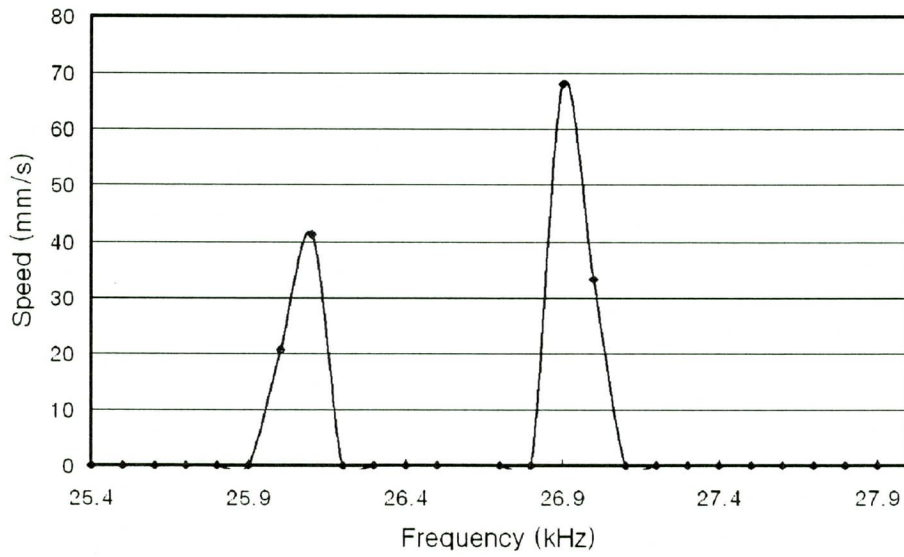


(c) Transported Displacement of Lens 3

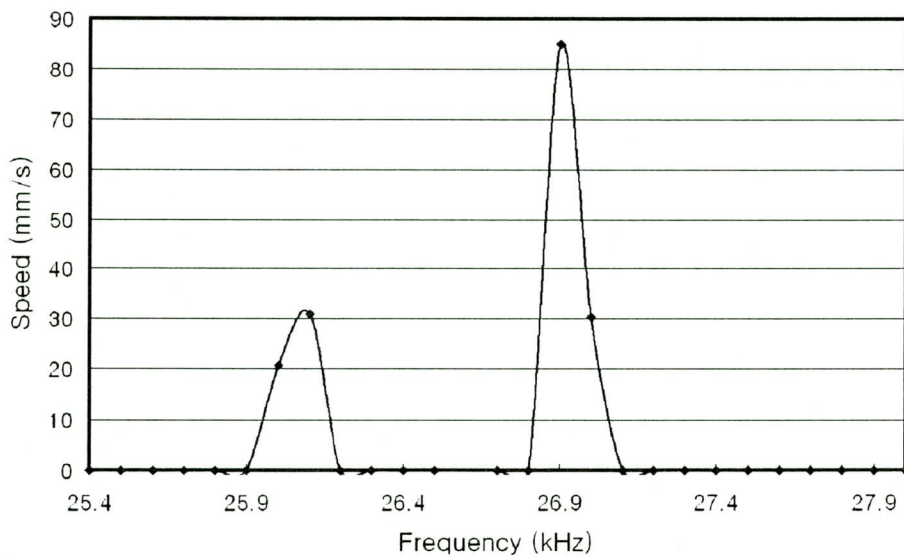


(d) Transported Displacement of Lens 4

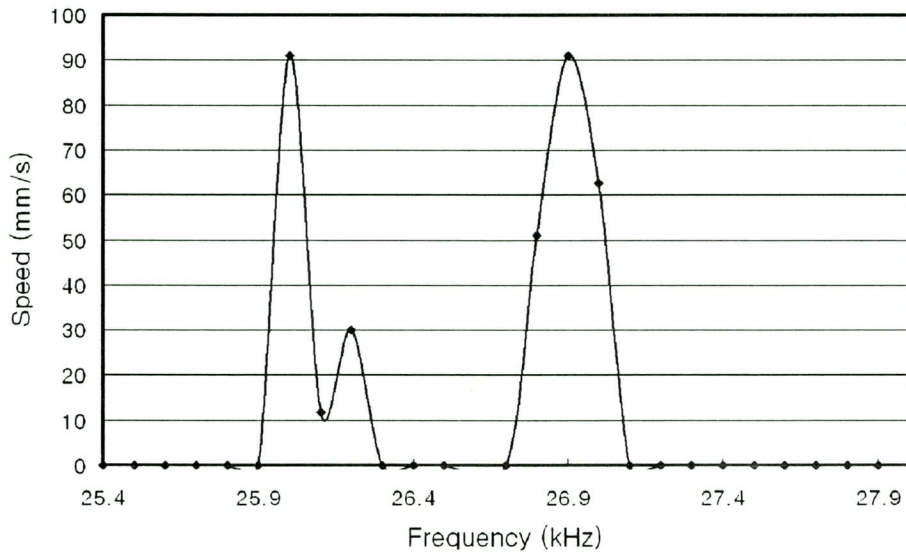
Fig. 3-9 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 



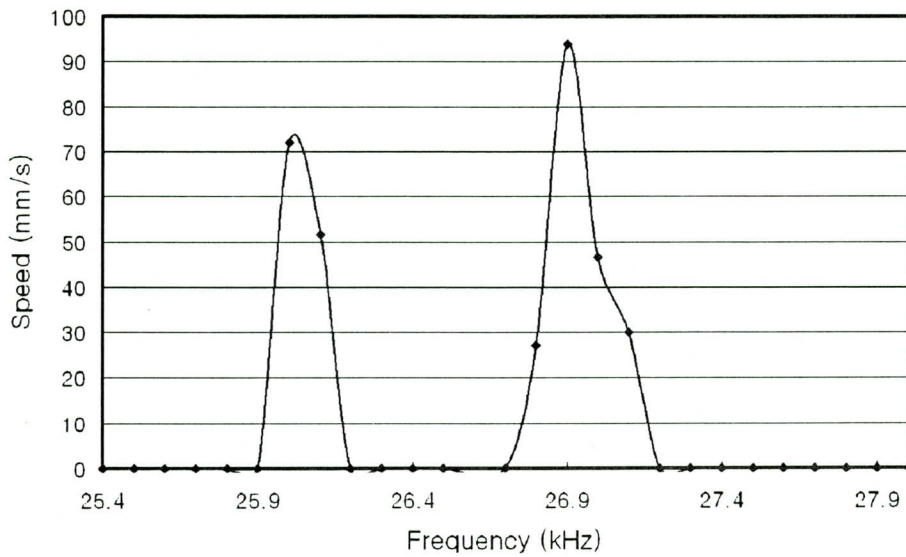
(a) Transport Speed of Lens 1




(b) Transport Speed of Lens 2



(c) Transport Speed of Lens 3



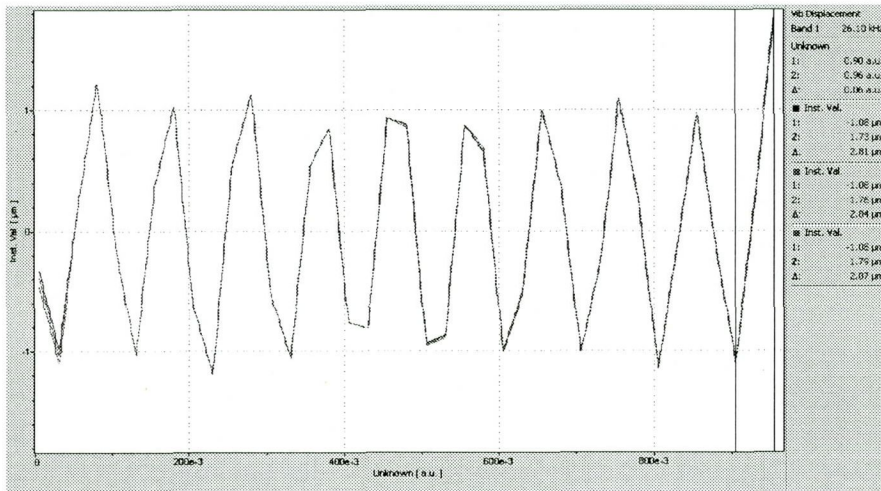
(d) Transport Speed of Lens 4

Fig. 3-10 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 

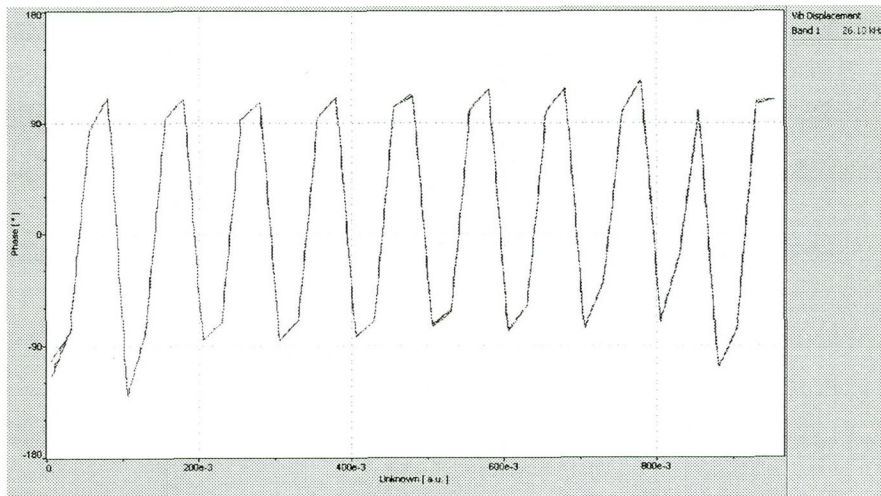
2. ▽형 탄성빔의 진동특성

가. 주파수 26.1KHz에서의 진동특성

렌즈 1과 렌즈 2의 진행주파수 26.1KHz에서 탄성빔의 진동을 측정하였다. Fig. 3-11에서 볼 수 있듯이 탄성빔 가운데 부분의 진폭이 가장자리 보다는 약간 작게 나타났지만 전체적으로는 비교적 안정적인 파형이 생성되었다. 또한 앞 절의 탄성빔에서 발생한 파형보다 그 크기가 더 크며 위상 또한 바르게 나타남을 알 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam

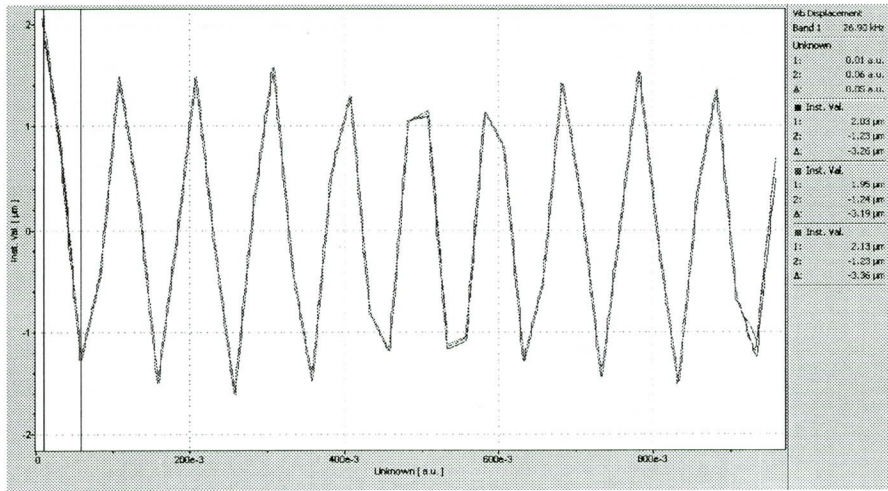


(b) Phase Shape of Flexural Beam

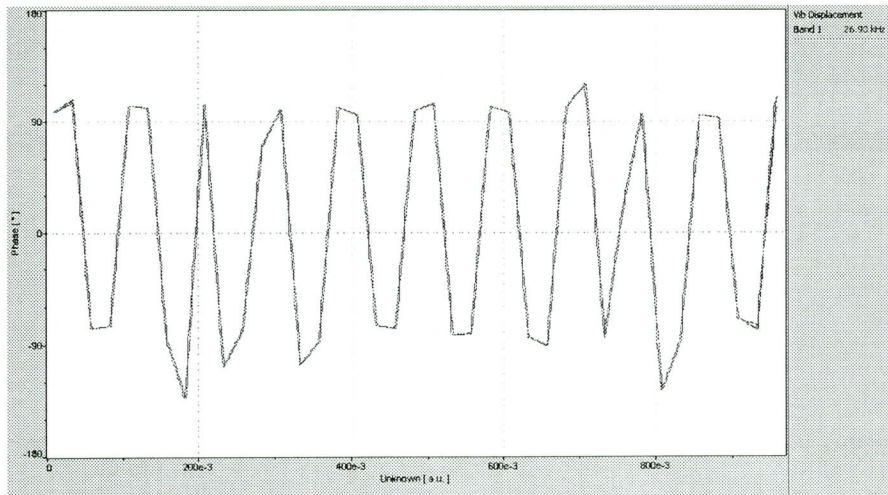
Fig. 3-11 Scanning of Flexural Beam for 26.1KHz

나. 주파수 26.9KHz에서의 진동특성

렌즈 3과 렌즈 4의 진행주파수 26.9KHz에서 측정된 파형의 모습을 Fig. 3-12에 나타내었다. 주파수 26.1KHz에서 보인 모습과 마찬가지로 가운데 부분의 파형이 약간 더 작게 나타남을 보인다. 전체적인 파형이 크게 생성됨을 보이며 양끝 부분에서 파형이 흐트러지는 부분에서는 렌즈의 회전을 확인할 수 있었다.



(a) Wave of Flexural Beam

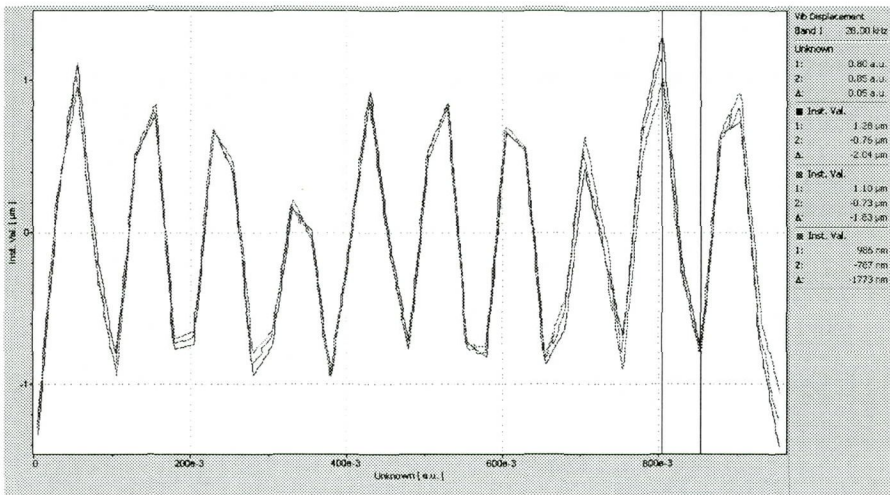


(b) Phase Shape of Flexural Beam

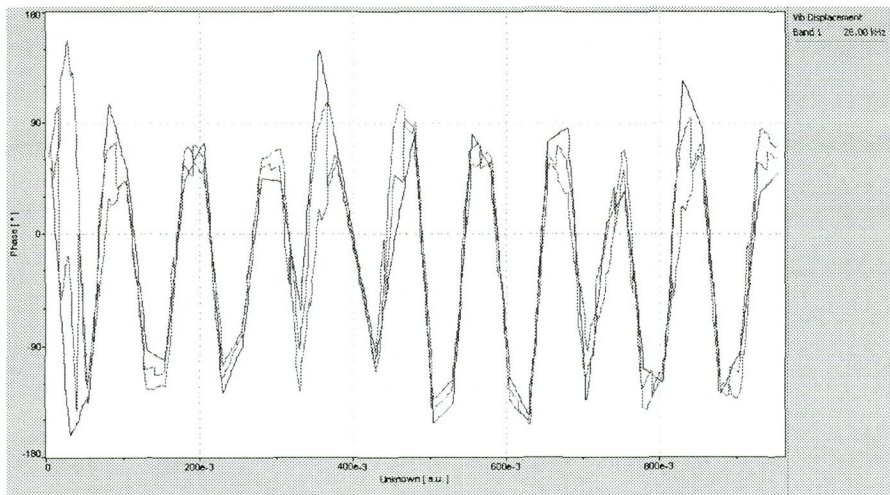
Fig. 3-12 Scanning of Flexural Beam for 26.9KHz

다. 주파수 28.0KHz에서의 진동특성

Fig. 3-13은 렌즈의 움직임을 보이지 않은 주파수 28.0KHz에서 측정된 파형 모습이 다. Fig. 3-13에서 볼 수 있듯이 파형이 불규칙한 모습을 보이고 있으며 그 크기 또한 측정된 탄성빔의 위치에 따라 다르게 나타나고 있다. 또한, 위상의 흐트러짐이 심하게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 렌즈의 움직임을 없음을 확인하였다.



(a) Wave of Flexural Beam



(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-13 Scanning of Flexural Beam for 28.0KHz

제 3 절 렌즈 이송을 위한 △형 탄성빔의 이송특성

1. △형 탄성빔의 진행주파수

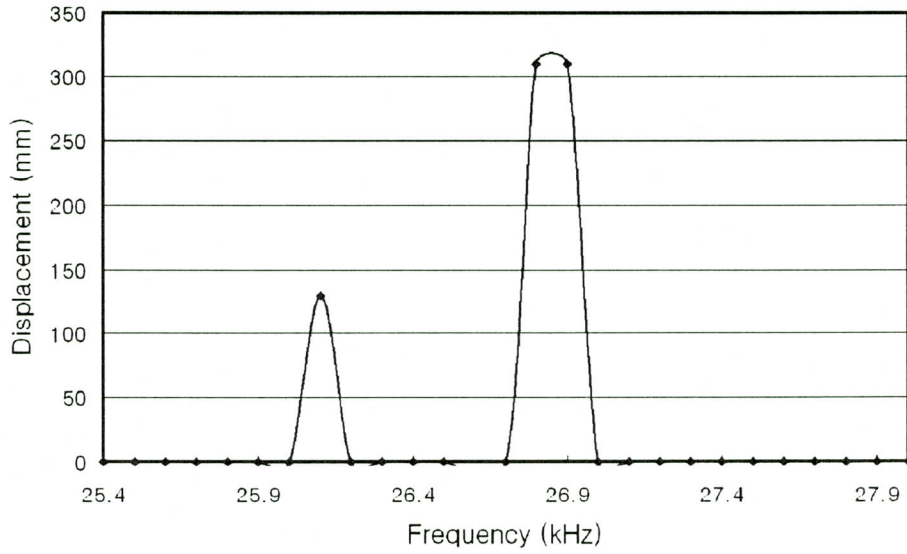
탄성빔은 2절의 탄성빔과는 반대의 형태로 직사각형 아랫면의 양 끝단에서 0.4mm 씩 윗면으로 컷팅을 하여 제작되었다. 제작된 △형의 탄성빔으로 시스템을 구성 실험하였다.

Fig. 3-14와 Fig. 3-15는 각각 실험을 통하여 얻어진 △형의 탄성빔의 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송거리와 이송속도를 보여준다. Fig. 3-14에서 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 훨씬 작기 때문에 이송에 무리가 될 것 같았지만 Fig. 3-14(d)에서 알 수 있듯이 주파수 26.1KHz에서 전체 탄성빔을 따라 이송되는 모습을 보였다. Fig. 3-15(c)에서 렌즈 3이 △형의 탄성빔에서 이송될 때 26.1KHz와 26.9KHz 두 곳에서 보인 렌즈의 이송속도가 각각 79.4mm/s 와 77.5mm/s로 측정됨으로서 앞 절의 탄성빔에서 측정된 렌즈 3의 이송속도 보다는 떨어지지만 진행주파수대가 비슷한 것을 확인 할 수 있다.

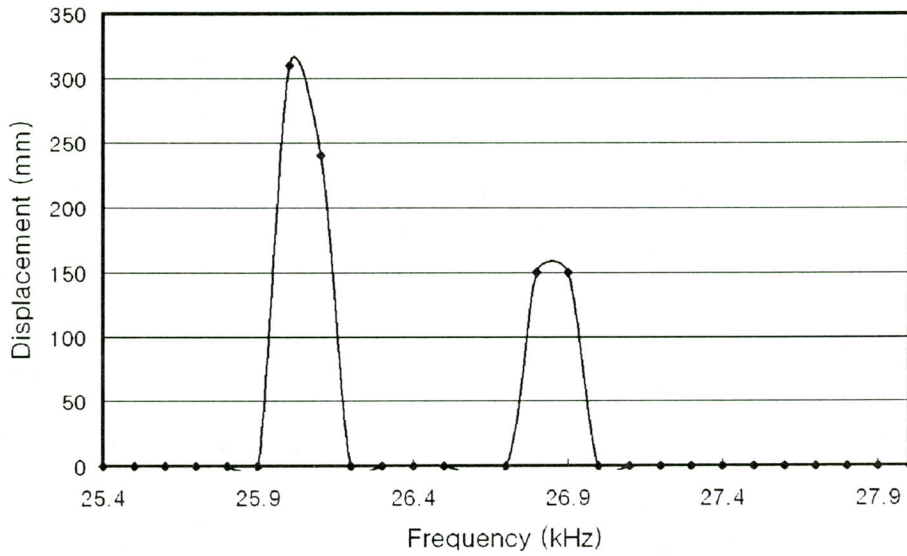
Table 3-4는 △형의 탄성빔에서 각 렌즈가 가장 빠른 이송속도를 보였던 주파수와 그에 따른 이송속도를 나타낸다. 결국 △형의 탄성빔에서 렌즈이송을 위한 진행주파수는 렌즈 2는 26.0KHz, 그리고 렌즈 3과 렌즈4는 26.1KHz임을 알 수 있다. 그리고 △형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를 보이며 전체 탄성빔 위를 따라 이송을 보인 렌즈 1은 진행주파수 26.9KHz에서 최고이송속도 88.0mm/s가 측정되었다. 이로써 렌즈가 이송되어지는 탄성빔의 폭이 △형의 탄성빔처럼 좁을 경우 작은 지름과 적은 무게를 지닌 렌즈 1의 이송이 원활함을 알 수 있었다.

Table 3-4 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam △

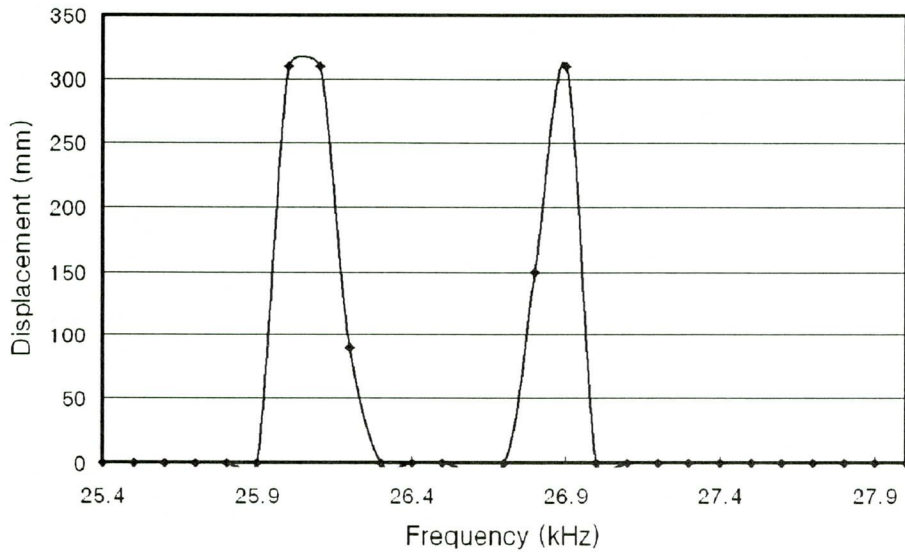
Lens No.	1	2	3	4
Frequency(KHz)	26.9	26.0	26.1	26.1
Speed(mm/s)	88.0	66.6	79.4	77.5



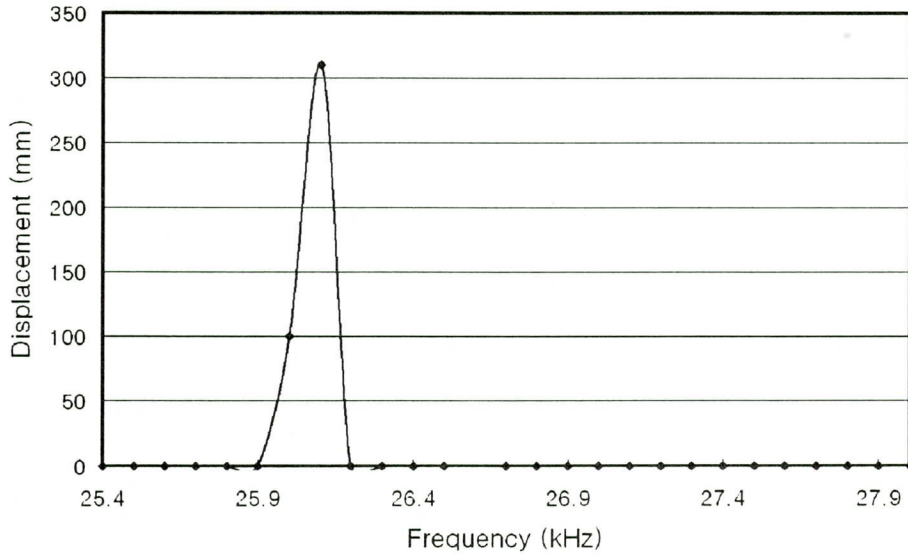
(a) Transported Displacement of Lens 1



(b) Transported Displacement of Lens 2

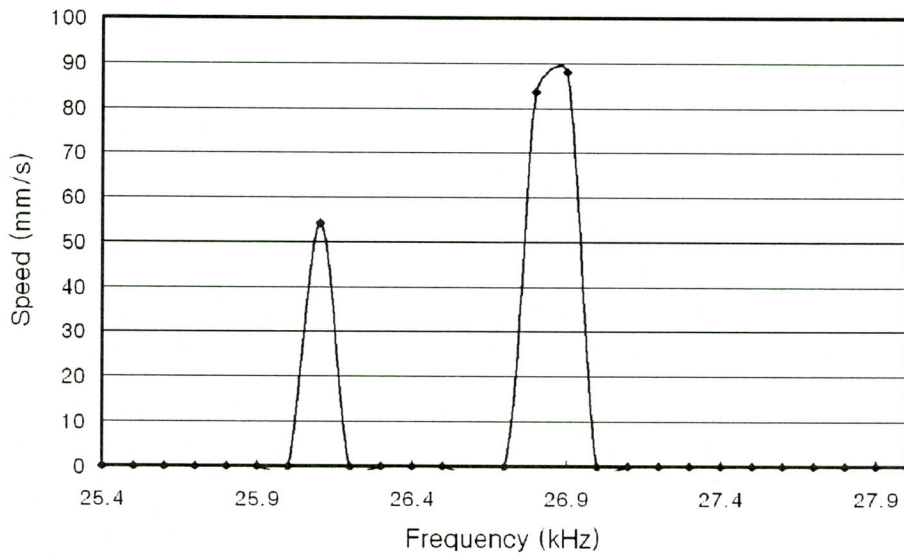


(c) Transported Displacement of Lens 3

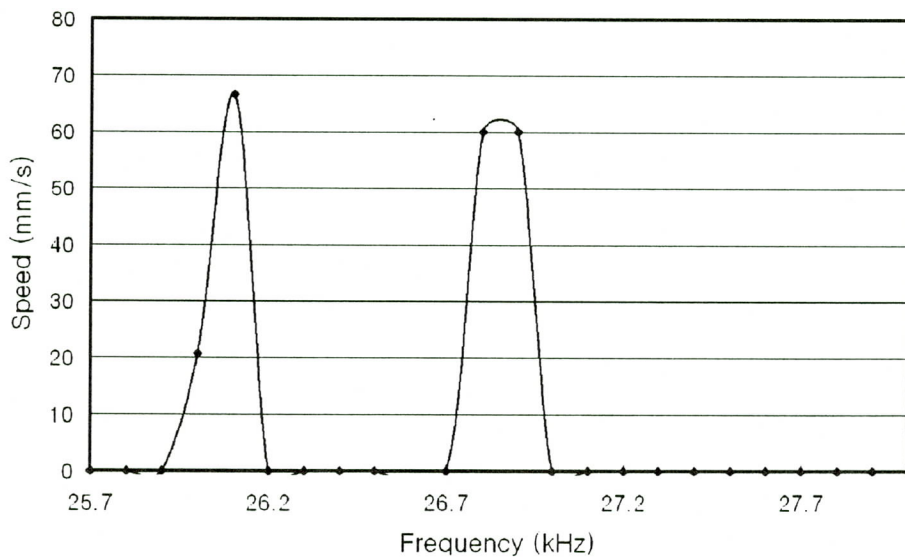


(d) Transported Displacement of Lens 4

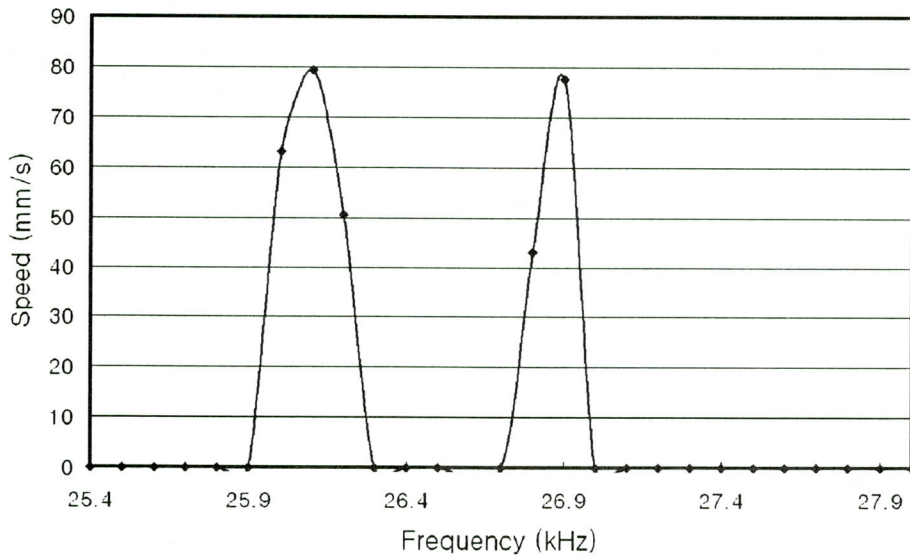
Fig. 3-14 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam



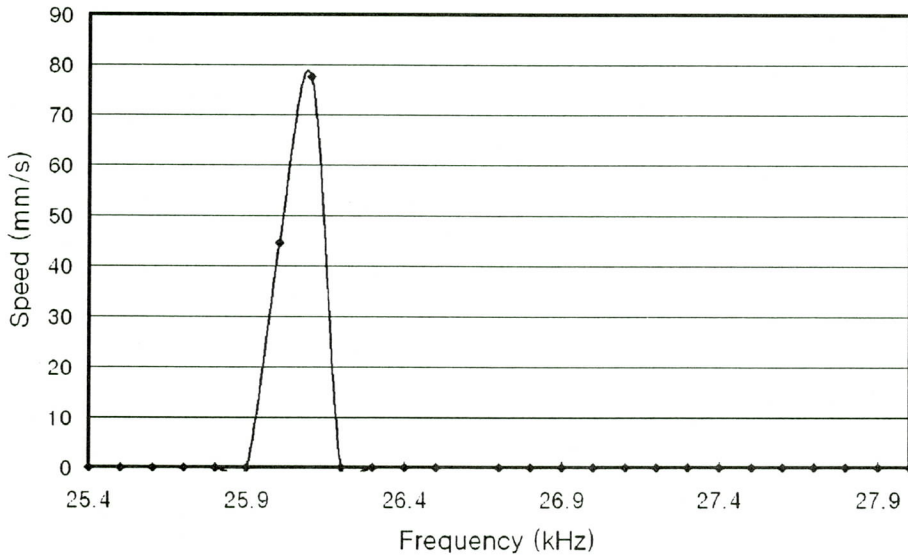
(a) Transport Speed of Lens 1



(b) Transport Speed of Lens 2



(c) Transport Speed of Lens 3



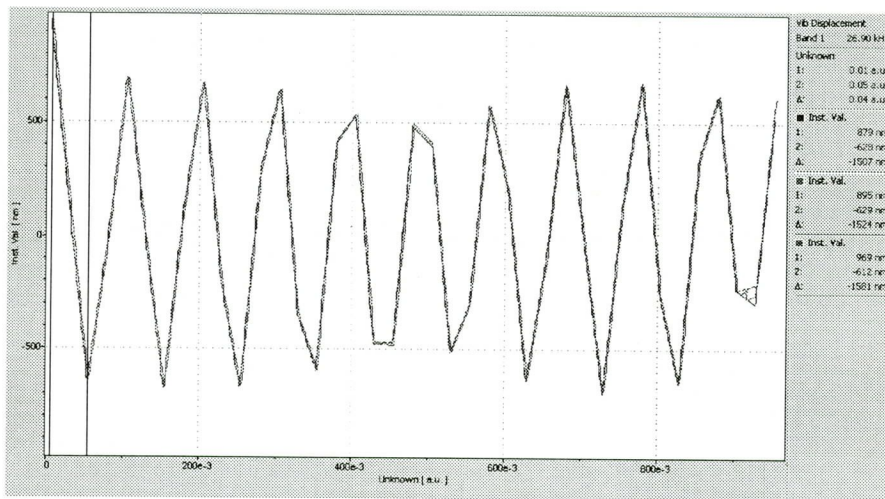
(d) Transport Speed of Lens 4

Fig. 3-15 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam

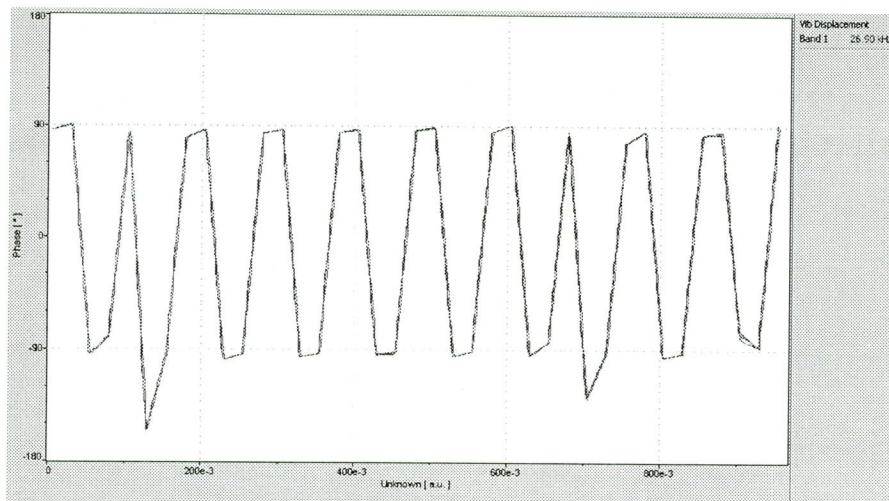
2. △형 탄성빔의 진동특성

가. 주파수 26.9KHz에서의 진동특성

렌즈 1의 진행주파수 26.9KHz에서 측정된 파형의 모습을 Fig. 3-16에 나타내었다. 가운데 부분의 파형의 크기가 약간 작게 나타남을 확인할 수 있는데 이는 2절의 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz에서 나타난 파형의 특징과 일치하다고 할 수 있겠다. 일정한 크기 이상의 파형이 반복적으로 나타남을 확인할 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam

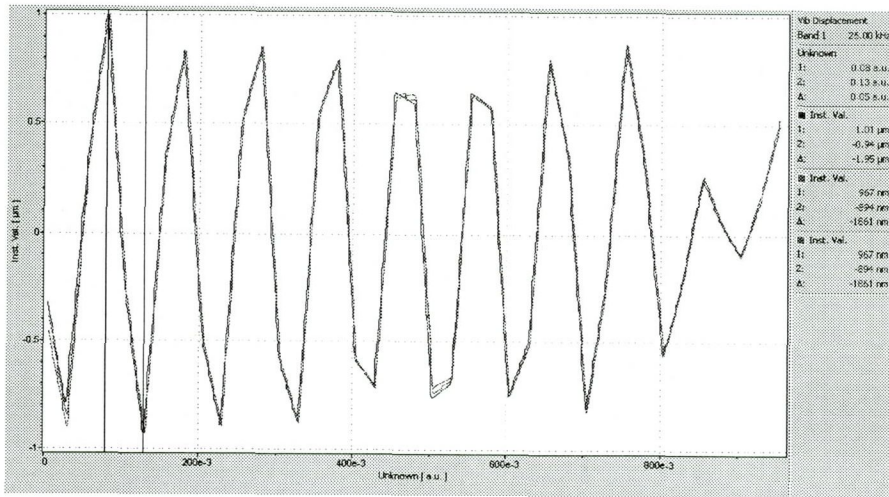


(b) Phase Shape of Flexural Beam

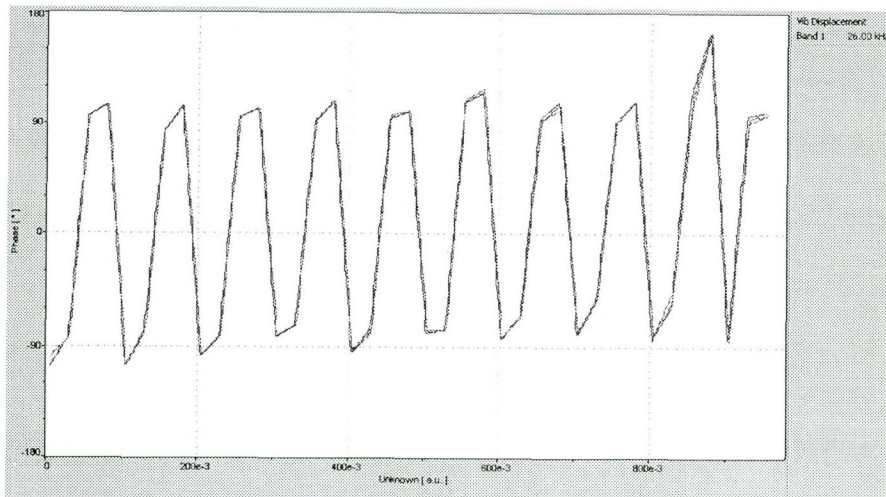
Fig. 3-16 Scanning of Flexural Beam for 26.9KHz

나. 주파수 26.0KHz에서의 진동특성

렌즈 2의 진행주파수 26.0KHz에서 탄성빔의 진동을 측정하였다. Fig 3-17은 측정된 파형의 모습이다. 채널 2와 연결된 부분에서 파형이 흐트러지는 모습을 보이나 이를 제외한 전체적인 파형이 비교적 고르게 나타나고 있으며 그 위상 또한 채널 2 방향을 제외하고는 규칙적으로 나타남을 알 수 있다. 렌즈2와 렌즈 3은 전체 탄성빔을 통과하는데 문제가 없었으나 렌즈 1과 렌즈 4는 이송거리가 150mm에 미치지 못함을 확인하였다.



(a) Wave of Flexural Beam

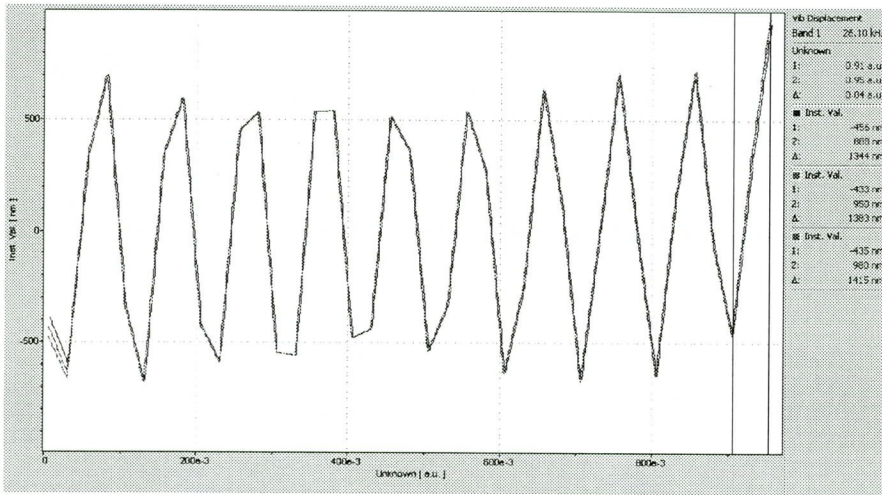


(b) Phase Shape of Flexural Beam

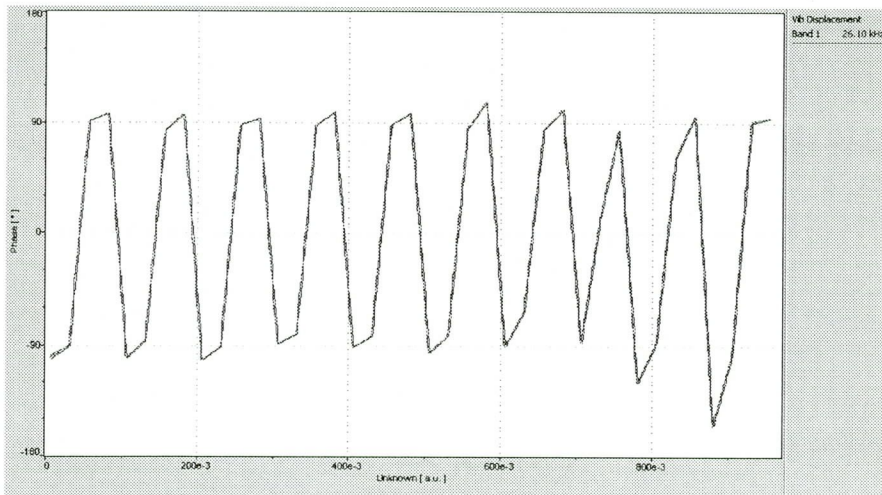
Fig. 3-17 Scanning of Flexural Beam for 26.0KHz

다. 주파수 26.1KHz에서의 진동특성

렌즈 3과 렌즈 4의 진행주파수 26.1KHz에서 측정된 파형의 모습을 Fig. 3-18에 나타내었다. 가운데 부분의 파형의 크기가 약간 작게 나타남을 보여주며 2절의 탄성빔에서 주파수 26.1KHz일 때 측정된 파형의 모습과 비슷함을 알 수 있다. 렌즈의 이송을 보인 주파수에서 볼 수 있었던 것처럼 일정 크기 이상의 파형이 반복적으로 나타남을 확인할 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam

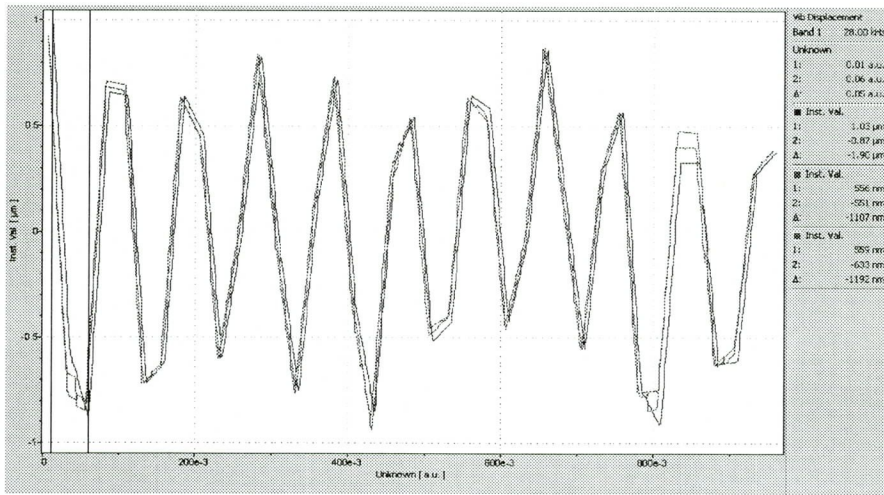


(b) Phase Shape of Flexural Beam

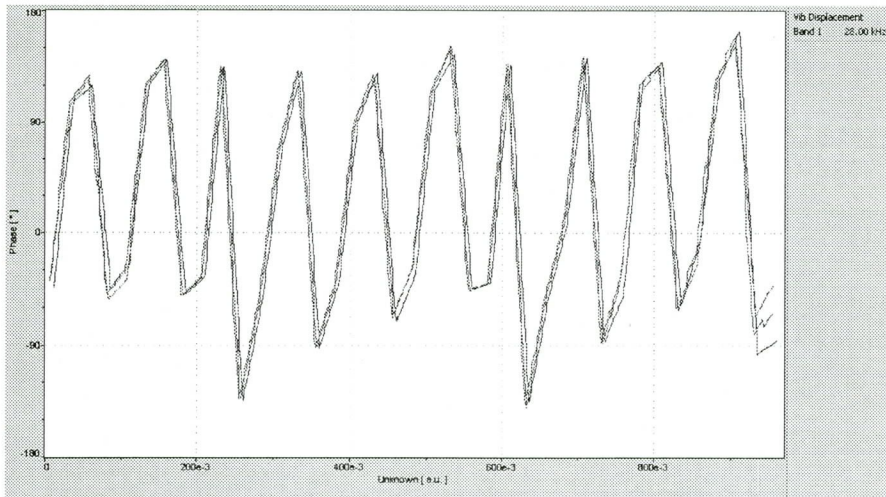
Fig. 3-18 Scanning of Flexural Beam for 26.1KHz

라. 주파수 28.0KHz에서의 진동특성

△형의 탄성빔에서 렌즈가 움직임을 보이지 않은 주파수 28.0KHz에서 측정된 파형의 모습을 Fig 3-19는 보여주고 있다. 렌즈가 이송될 때 보이는 파형의 규칙적인 모습과는 달리 파형이 각기 다른 크기와 형태로 발생함을 볼 수 있으며 위상 또한 불규칙하게 나타남을 알 수 있다. 측정된 세 곳의 파형과 위상이 일치하지 않음이 확인된다.



(a) Wave of Flexural Beam



(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-19 Scanning of Flexural Beam for 28.0KHz

제 4 절 렌즈 이송을 위한 \sqcap 형 탄성빔의 이송특성

1. \sqcap 형 탄성빔의 진행주파수

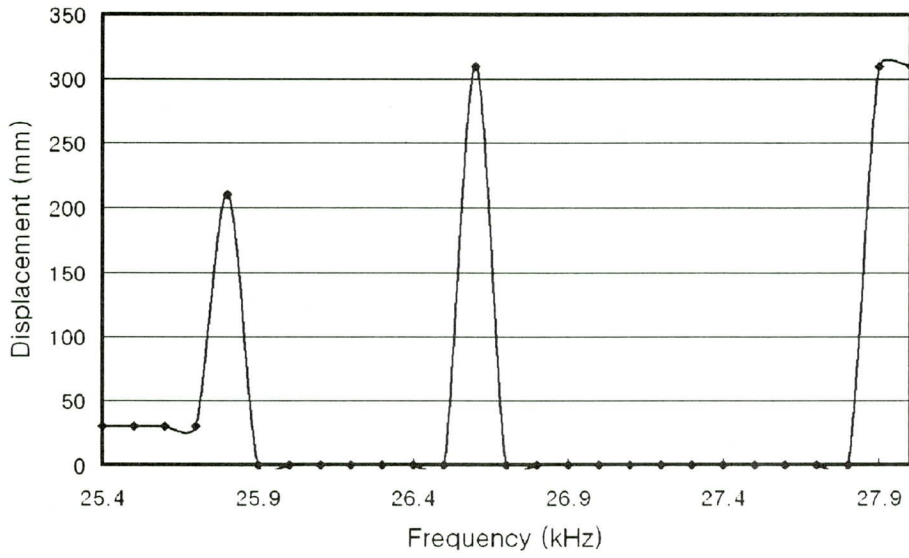
실험을 위하여 \sqcap 형의 탄성빔을 제작하여 시스템을 구성하였다. $350\text{mm} \times 14\text{mm} \times 3\text{mm}$ 의 크기의 직사각형에서 아랫면의 양 끝단에서 3mm 씩 0.5mm 두께만큼 컷팅을 한, 윗면이 긴 형태의 탄성빔이다.

실험을 통하여 측정된 주파수 변화에 따른 렌즈의 이송거리와 렌즈의 이송속도를 각각 Fig. 3-20과 Fig. 3-21에 나타내었다. Fig. 3-20을 통해 4개의 렌즈는 주파수 25.8KHz, 26.6KHz, 28.0KHz 부근에서 이송이 이뤄짐을 알 수 있다. 탄성빔에서 전체이송을 이룬 정확한 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, 26.6KHz로 측정되었다. Fig. 3-20과 Fig. 3-21에서 렌즈 3을 제외한 모든 렌즈가 공통적으로 주파수 26.6KHz에서 전체 탄성빔을 통과하며 가장 빠른 이송속도를 보임을 확인할 수 있었다. Fig. 3-20(c)와 Fig. 3-21(c)에서 렌즈 3은 주파수 26.6KHz에서 탄성빔에서 흐르는 진동을 받은 렌즈가 이송되지 못하고 탄성빔에서 튀어버리는 현상이 나타났기 때문에 데이터의 측정이 불가능 하였다.

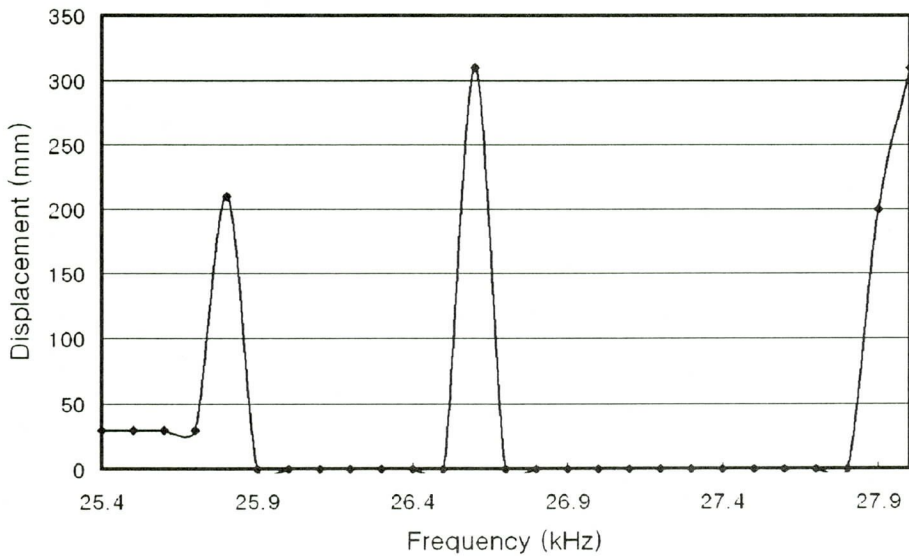
4개의 렌즈가 \sqcap 형의 탄성빔에서 가장 빠른 속도로 이송을 보인 진행주파수와 그에 따른 이송 속도를 Table 3-5를 통하여 나타내었다. Table 3-5를 통하여 렌즈 3을 이송시키기 위한 진행 주파수는 25.8KHz이며 렌즈 1과 렌즈 2 그리고 렌즈 4는 공통적으로 26.6KHz가 진행 주파수임을 알 수 있었다. 그리고 렌즈 2는 다른 탄성빔에서 측정된 이송속도와 비교했을 때 \sqcap 형의 탄성빔에서 가장 빠른 이송속도를 보임을 알 수 있다.

Table 3-5 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam \sqcap

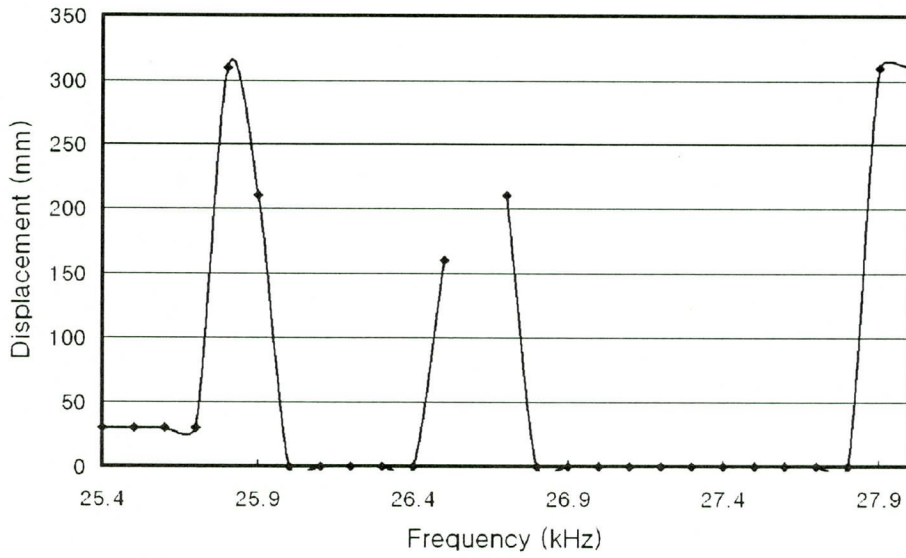
Lens No.	1	2	3	4
Frequency(KHz)	26.6	26.6	25.8	26.6
Speed(mm/s)	77.5	84.2	79.5	83.8



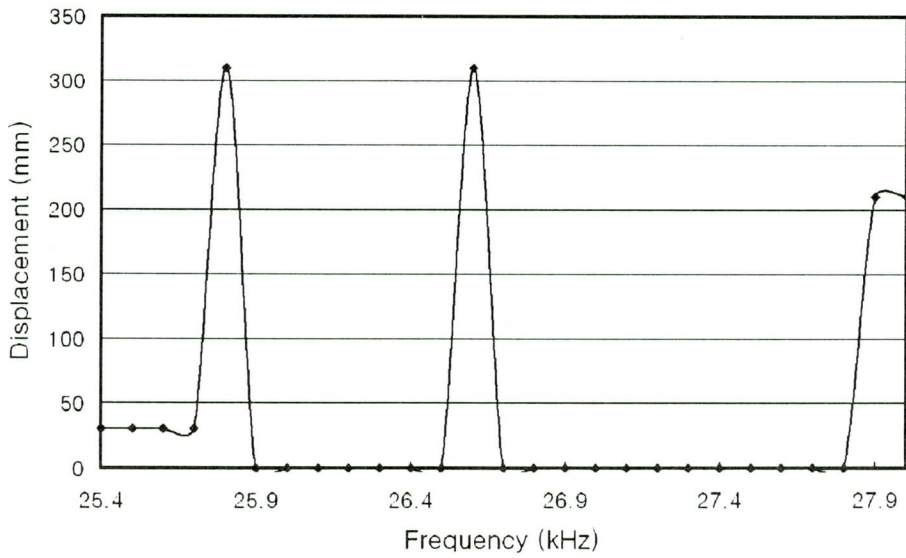
(a) Transported Displacement of Lens 1



(b) Transported Displacement of Lens 2

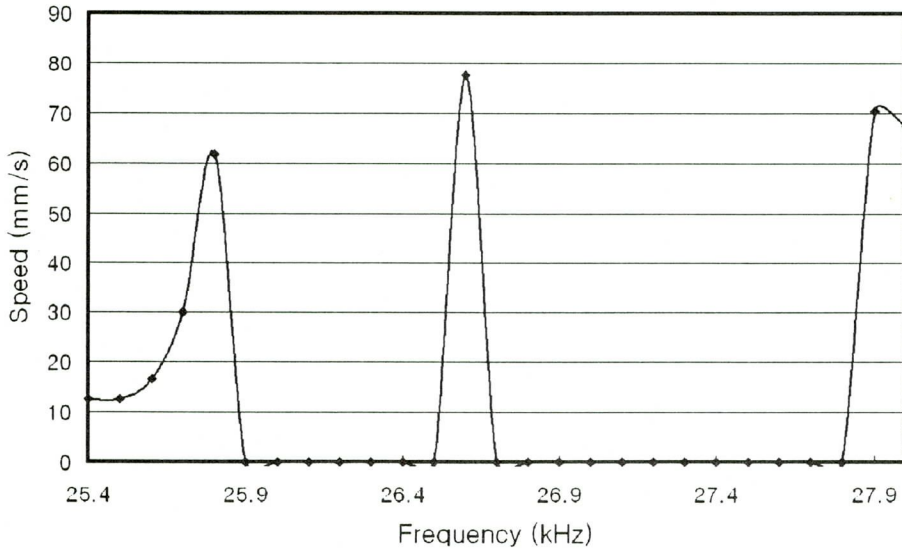


(c) Transported Displacement of Lens 3

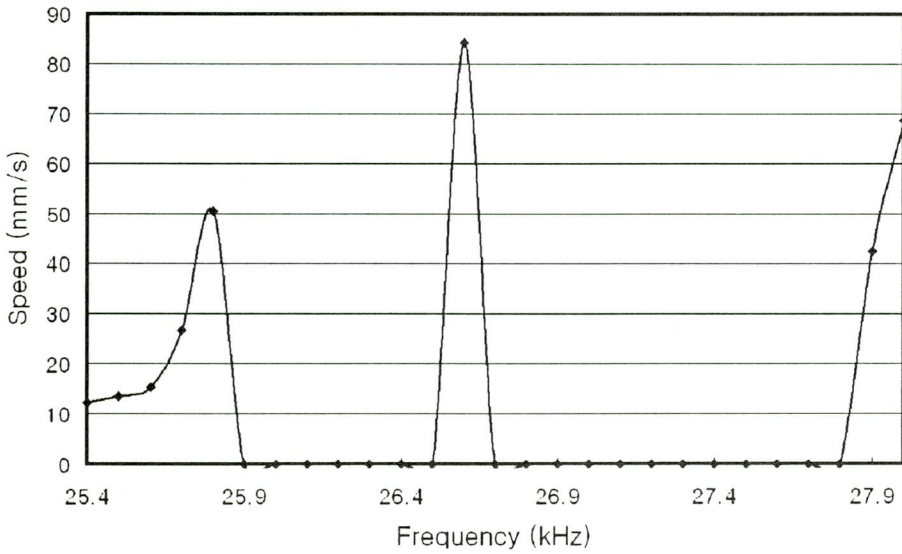


(d) Transported Displacement Lens 4

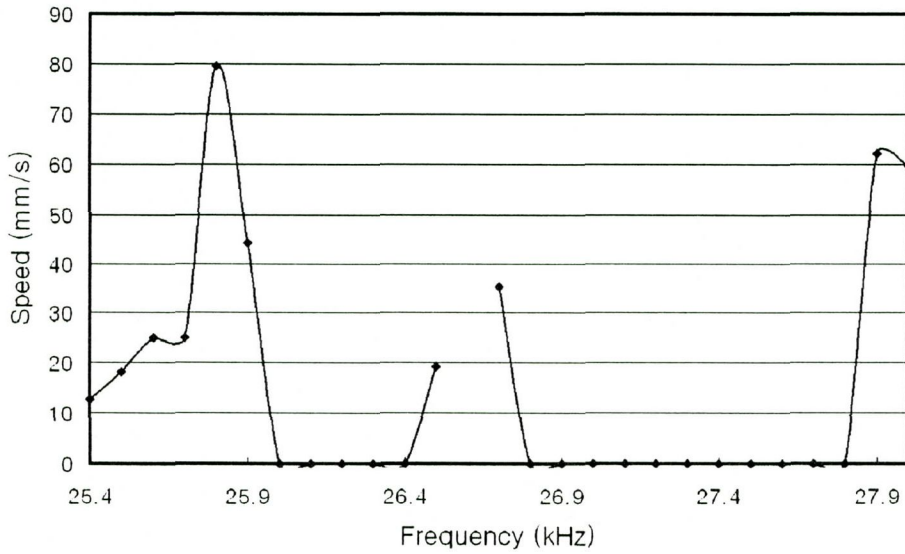
Fig. 3-20 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 



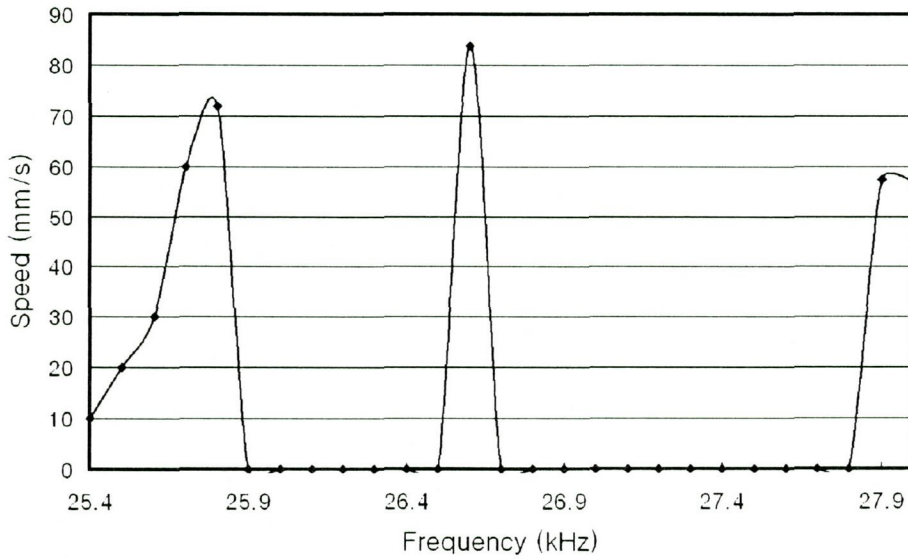
(a) Transport Speed of Lens 1




(b) Transport Speed of Lens 2



(c) Transport Speed of Lens 3



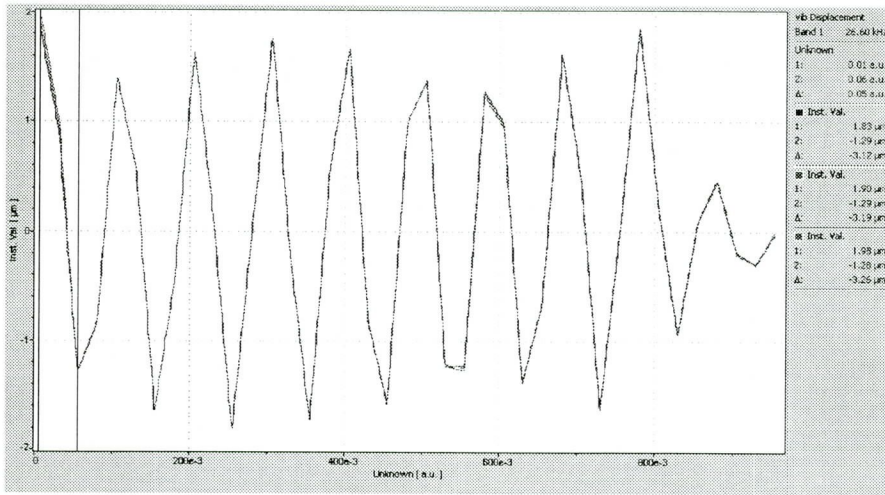
(d) Transport Speed of Lens 4

Fig. 3-21 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 

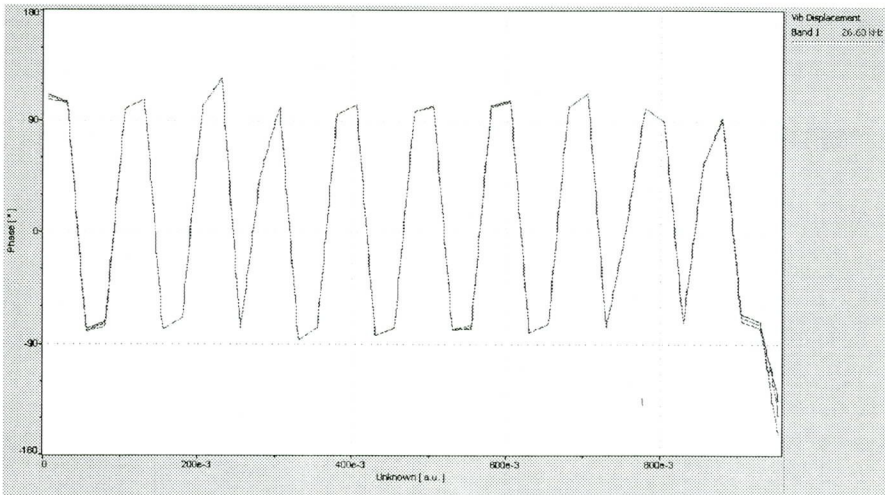
2. U형 탄성빔의 진동특성

가. 주파수 26.6KHz에서의 진동특성

렌즈 1과 렌즈 2 그리고 렌즈 4의 이송을 위한 진행 주파수 26.6KHz에서 측정된 파형과 위상의 모습을 Fig. 3-22에 나타내었다. 생성된 파형은 가장 큰 크기의 진폭을 나타내었으며 채널 2와 연결된 끝 부분에서 파형이 흐트러지는 모습을 보이고 있다. 3개의 렌즈는 아주 빠른 이송을 보였으나 렌즈 3은 공중으로 튀는 현상이 발생하였다.



(a) Wave of Flexural Beam

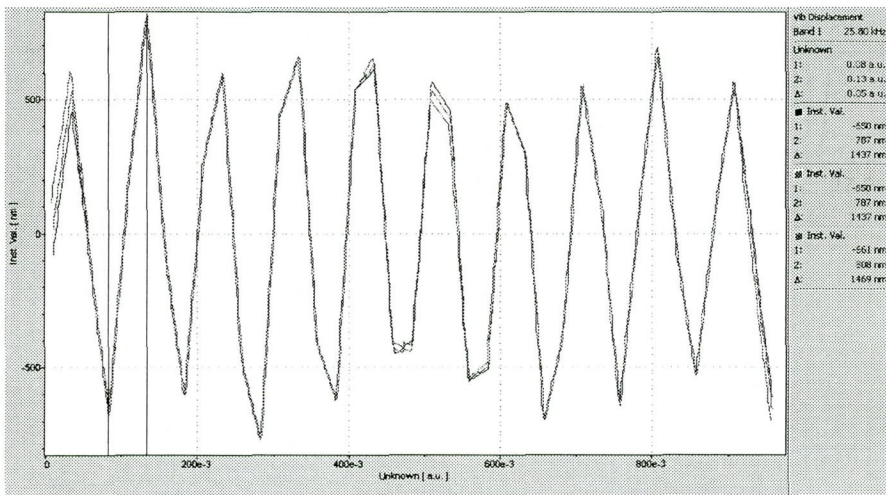


(b) Phase Shape of Flexural Beam

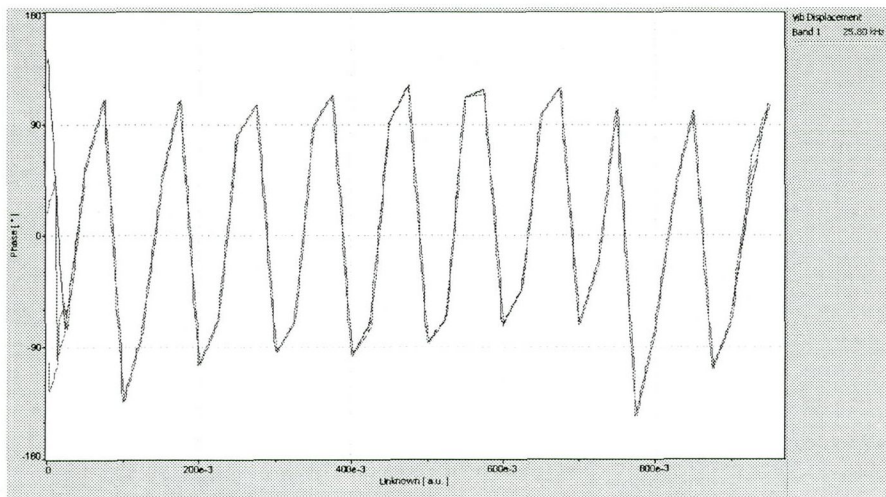
Fig. 3-22 Scanning of Flexural Beam for 26.6KHz

나. 주파수 25.8KHz에서의 진동특성

렌즈 3의 진행주파수 25.8KHz에서 측정된 파형과 위상의 형태를 Fig. 3-23에서 보여 주고 있다. 일정한 크기 이상의 파형이 반복적으로 나타나지만 파형의 형태가 가운데 부분에서 작아짐을 알 수 있고 채널 1방향 끝에서 약간 흐트러지는 모습을 보이고 있다. 위상 또한 채널 1끝부분에서 불규칙함을 알 수 있다. 렌즈 3은 전체 탄성범 위에서 원활한 이송을 보였다.



(a) Wave of Flexural Beam



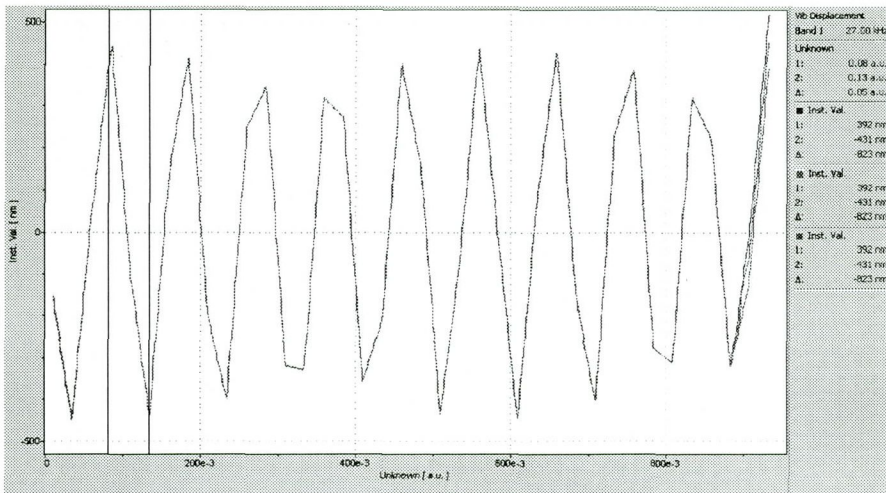
(b) Phase shape of Flexural Beam

Fig. 3-23 Scanning of Flexural Beam for 25.8KHz

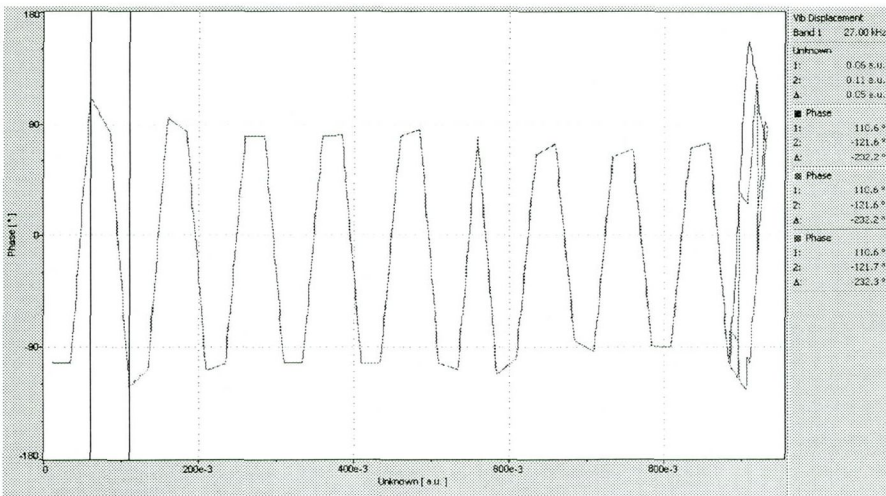
다. 주파수 27.0KHz에서의 진동특성

4개의 렌즈가 움직임을 보이지 않은 주파수 27.0KHz에서 진동 형태를 측정하였다.

Fig 3-24는 주파수 27.0KHz에서 이송이 이루어지지 않았을 때의 파형 모습이다. 다른 탄성빔에서 렌즈가 움직이지 않을 때 측정된 파형의 모습과는 다르게 측정된 세 곳의 파형과 위상이 일치하며 비교적 파형이 바르게 나타남을 알 수 있다. 하지만 렌즈가 움직일 때 측정된 진동의 크기보다는 상대적으로 그 크기가 작음을 확인할 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam



(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-24 Scanning of Flexural Beam for 27.0KHz

제 5 절 렌즈 이송을 위한 ㄷ형 탄성빔의 이송특성

1. ㄷ형 탄성빔의 진행주파수

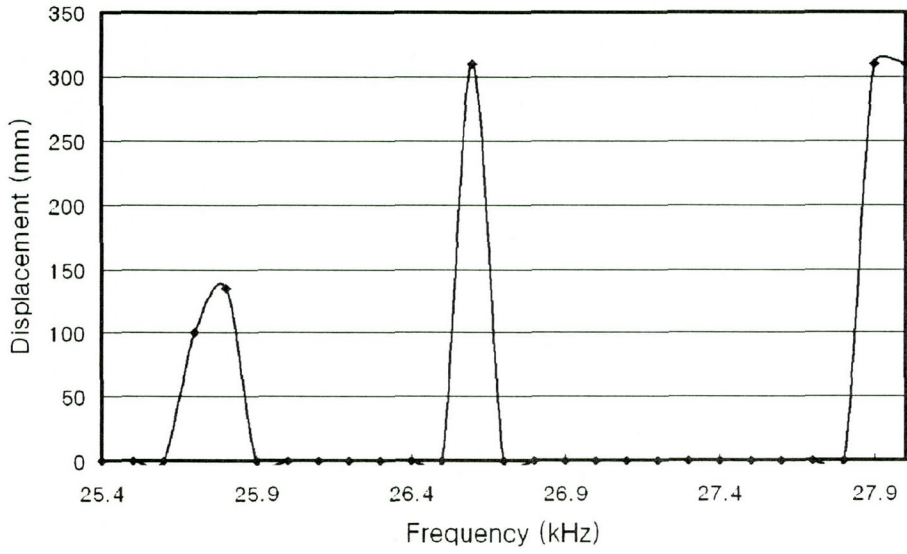
시스템을 구성하기 위하여 직사각형 윗면의 양 끝단에서 3mm씩 0.5mm 두께만큼 컷팅을 한, 아랫면이 긴 ㄷ형의 탄성빔을 제작 연결하였다.

Fig. 3-25는 실험을 통하여 얻어진 렌즈의 이송거리를 나타낸다. 4개의 렌즈가 탄성빔 전체 이송을 이룬 주파수는 렌즈 1과 렌즈 2의 경우 주파수 26.6KHz, 28.0KHz, 렌즈 3은 25.8KHz 부근임을 확인 할 수 있었다. 그리고 렌즈 4는 전체 탄성빔을 따라 이송되지 못하고 25.7KHz와 25.8KHz에서 100mm의 이송거리를 보임을 Fig. 3-25(d)를 통하여 알 수 있었다. Fig. 3-26은 주파수에 따른 렌즈의 이송속도를 나타낸다. 실험에서 렌즈 1이 비교적 빠른 이송 속도를 보였으며 렌즈 4는 전체 탄성빔을 따라 이송되지 못하였을 뿐만 아니라 측정된 이송속도도 현저히 낮음을 알 수 있었다.

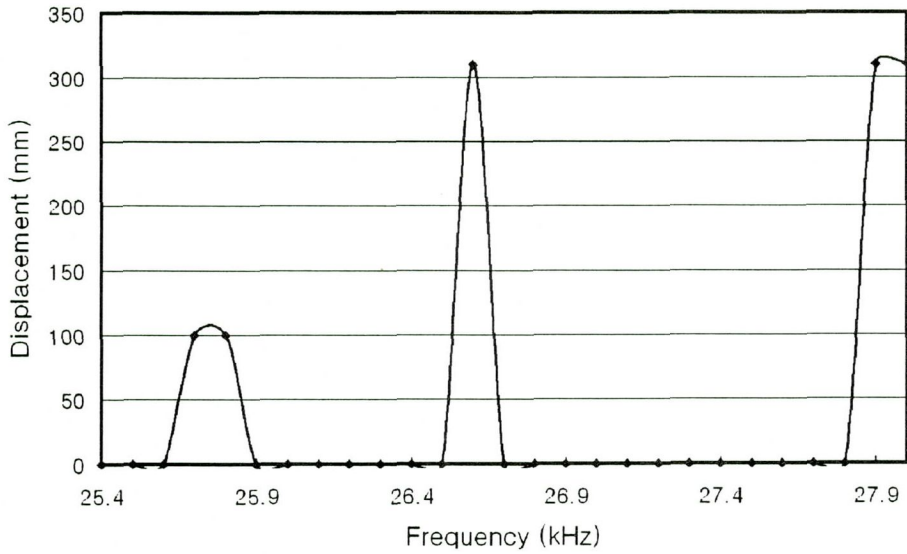
Table 3-6에 ㄷ형 탄성빔에서 실험한 각 렌즈가 가장 빠른 이송조건을 보인 진행주파수와 그에 따른 이송 속도를 나타내었다. 렌즈 4는 전체 탄성빔을 따라 이송되지 못하였기 때문에 제외 하였다. ㄷ형 탄성빔에서 진행 주파수 26.6KHz를 주었을 때 렌즈 1이 가장 빠른 이송 속도 85.4mm/s를 보임을 확인할 수 있었다.

Table 3-6 Good Transporting Frequency of Lenses at Flexural Beam ㄷ

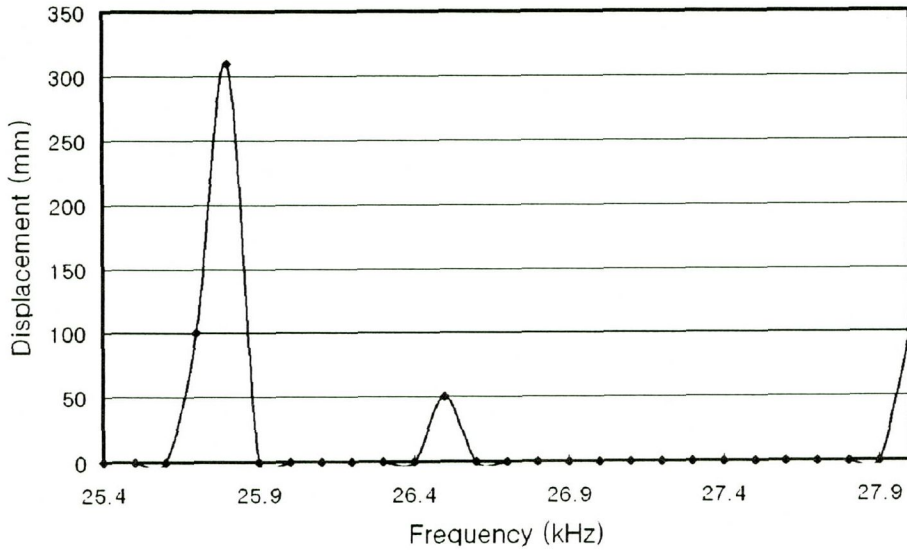
Lens No.	1	2	3
Frequency(KHz)	26.6	26.6	25.8
Speed(mm/s)	85.4	73.8	68.8



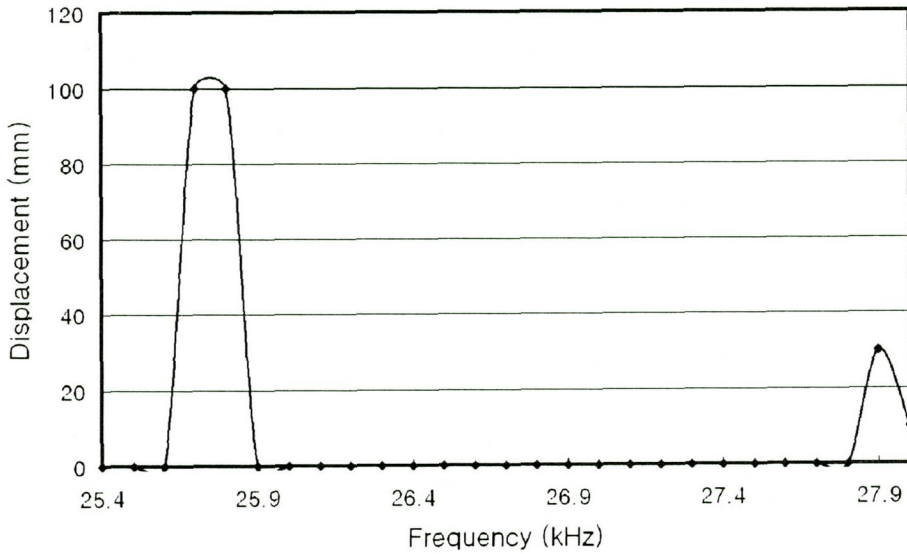
(a) Transported Displacement of Lens 1




(b) Transported Displacement of Lens 2

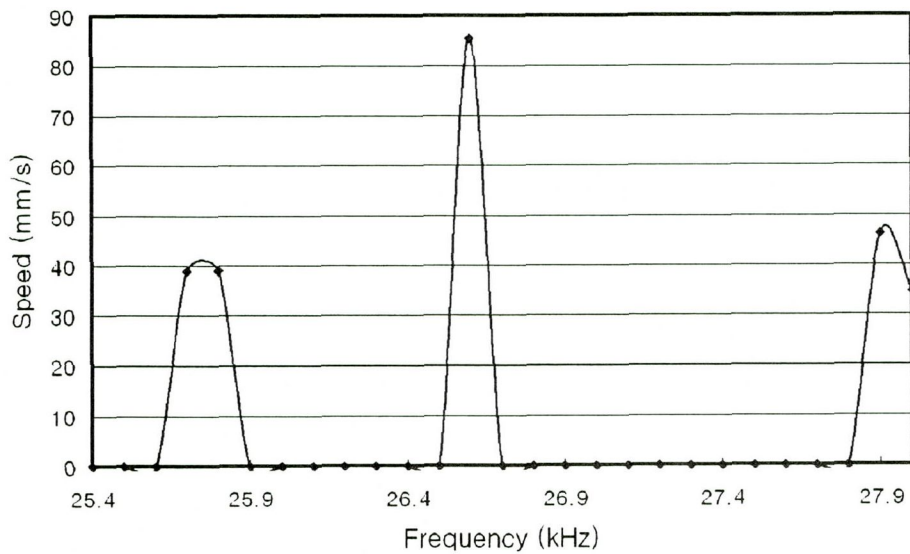


(c) Transported Displacement of Lens 3

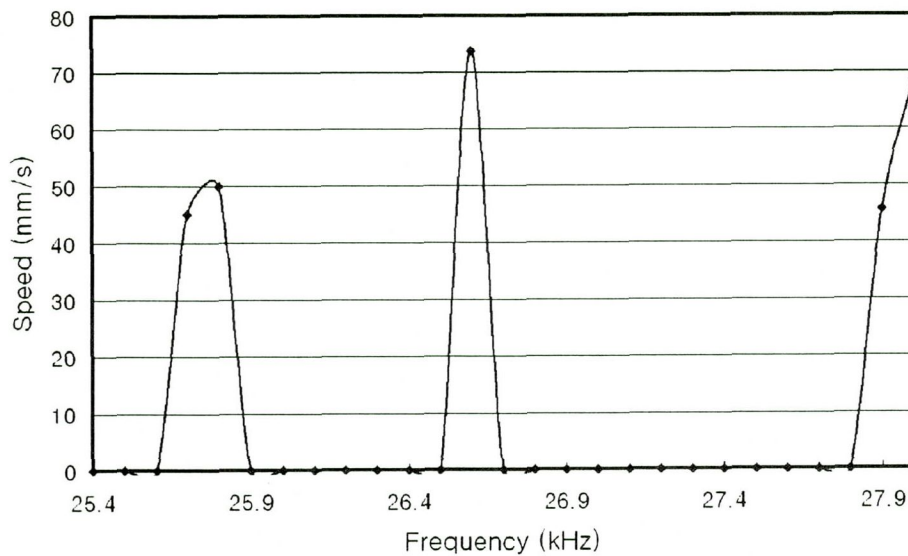


(d) Transported Displacement of Lens 4

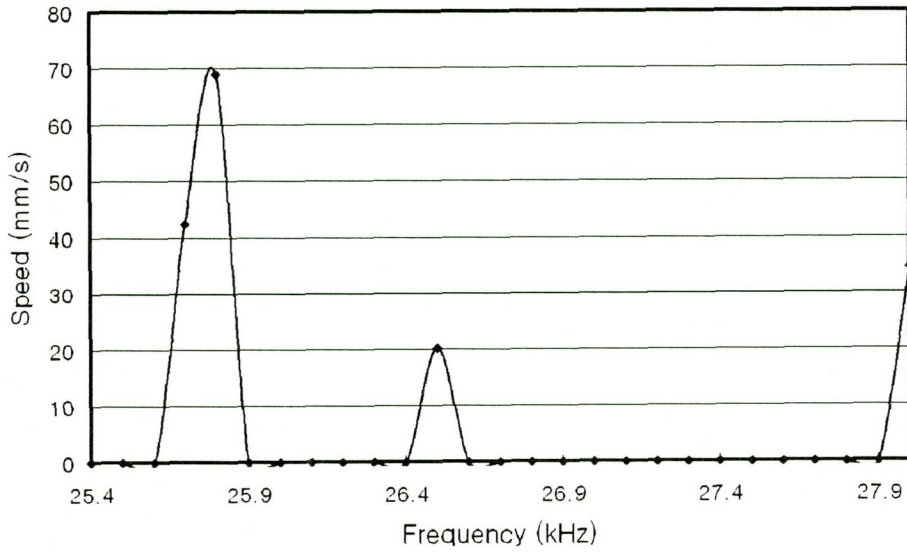
Fig. 3-25 Transported Displacement according to Frequency at Flexural Beam 



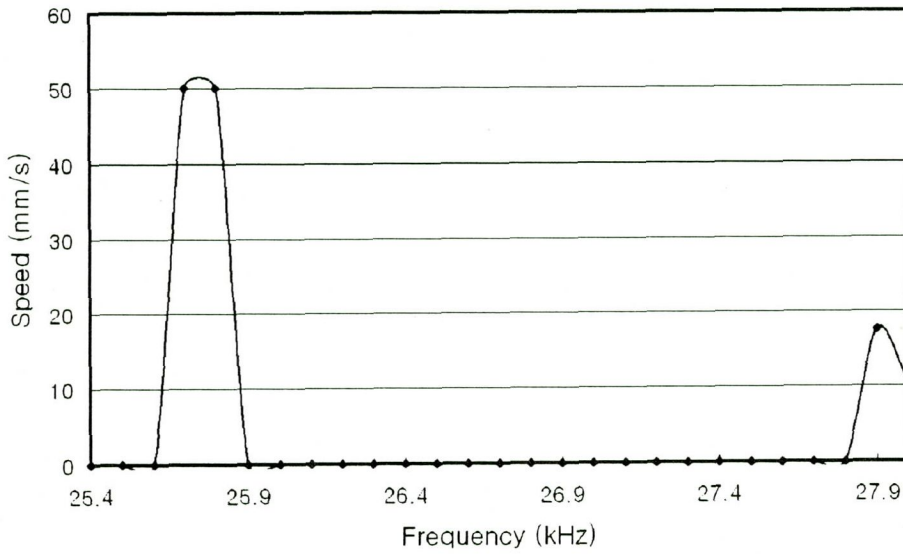
(a) Transport Speed of Lens 1




(b) Transport Speed of Lens 2



(c) Transport Speed of Lens 3



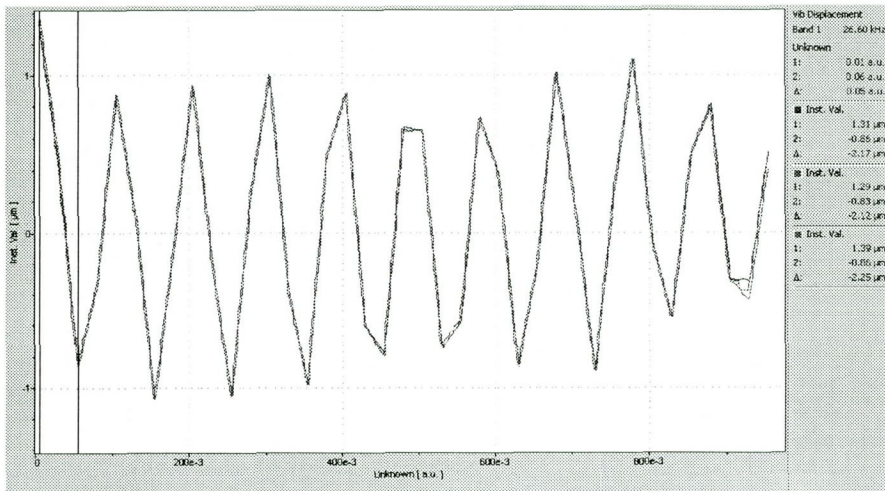
(d) Transport Speed of Lens 4

Fig. 3-26 Transport Speed according to Frequency at Flexural Beam 

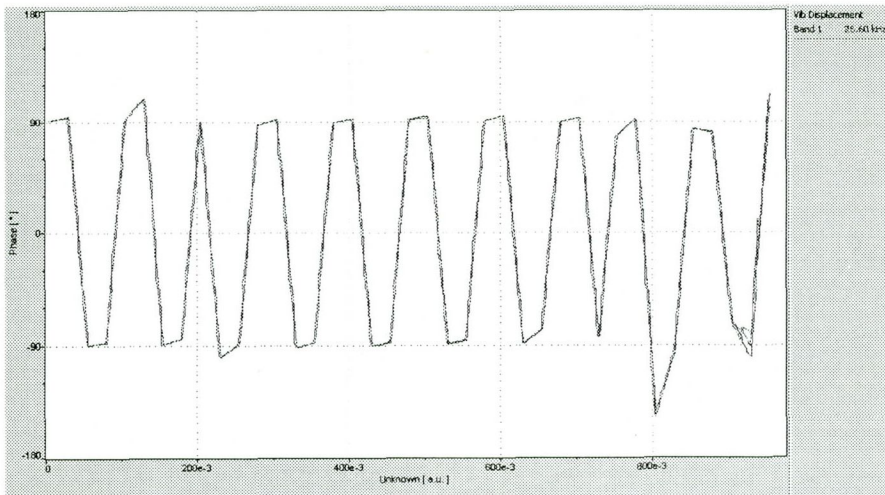
2. ㄷ형 탄성빔의 진동특성

가. 주파수 26.6KHz에서의 진동특성

Fig 3-27은 렌즈 1과 렌즈 2의 진행주파수 26.6KHz에서 측정된 파형의 모습이다. 채널 2의 초음파 발생장치와 연결된 부분과 가운데 부분의 파형이 상대적으로 작고 약간의 뒤틀림이 발생하고 있으나 비교적 큰 크기의 진폭이 반복적으로 나타난다. 위상 또한 채널 2 부분을 제외하고는 균일하게 나타남을 확인할 수 있다.



(a) Wave of Flexural Beam

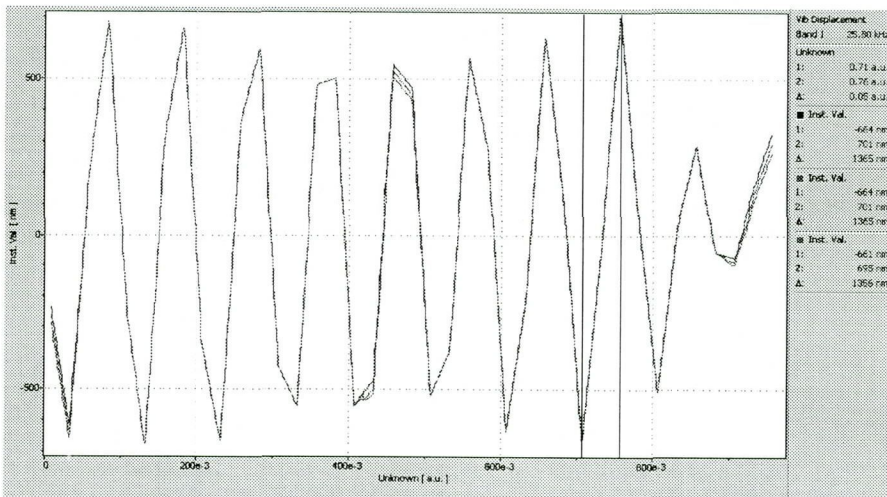


(b) Phase Shape of Flexural Beam

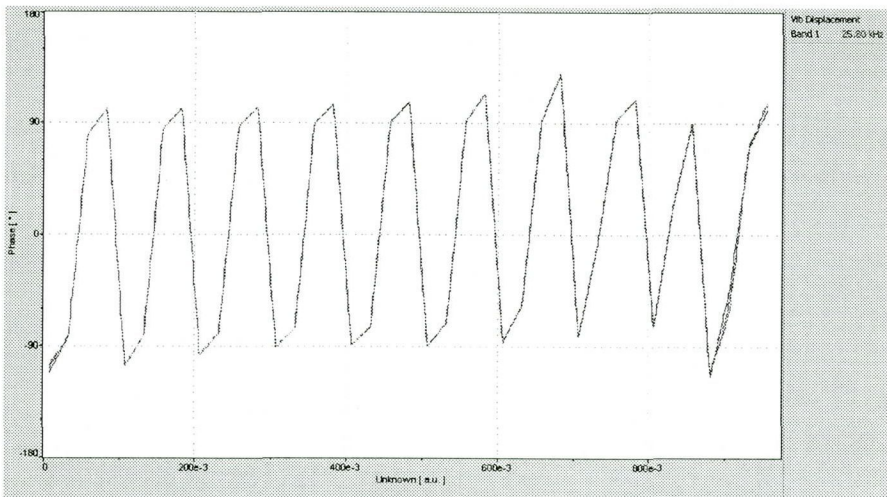
Fig. 3-27 Scanning of Flexural Beam for 26.6KHz

나. 주파수 25.8KHz에서의 진동특성

렌즈 3이 이송됨을 보인 주파수 25.8KHz에서 측정된 파형을 Fig. 3-28에 나타내었다. 저항과 인덕턴스와 연결된 채널 2의 끝부분에서 파형이 불안정하게 나타남을 알 수 있으며 이 부분을 제외한 전체적인 파형과 위상이 일정한 간격을 두고 커지고 작아짐을 알 수 있다. 주파수 26.6KHz보다는 작은 진폭이 생성되었다.



(a) Wave of Flexural Beam

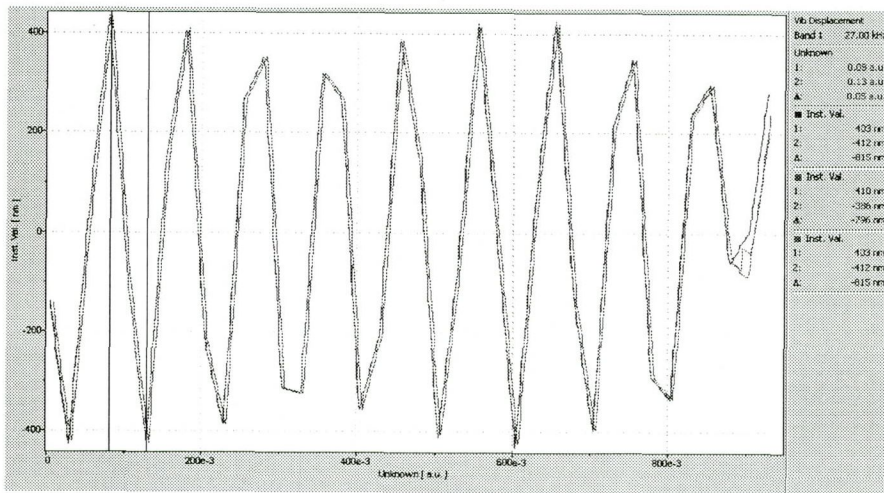


(b) Phase Shape of Flexural Beam

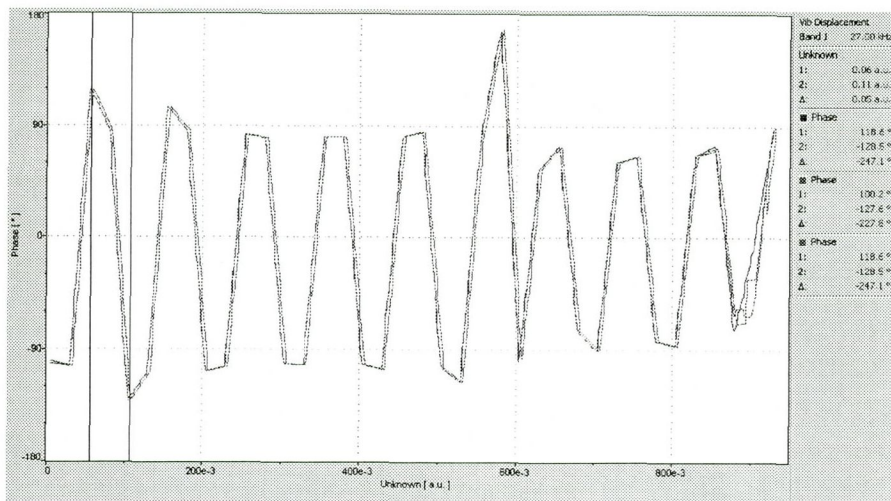
Fig. 3-28 Scanning of Flexural Beam for 25.8KHz

다. 주파수 27.0KHz에서의 진동특성

렌즈가 움직임을 보이지 않은 27.0KHz에서 측정된 파형의 모습을 나타내었다. 파형의 형태는 이송이 이루어질 때의 주파수의 파형과 유사하였으나 진폭의 크기가 매우 작았으며 렌즈가 이송을 시작하는 채널 2의 초음파 발생장치와 연결된 부분에서 파형의 뒤틀림이 발생하였다. 측정된 세 곳의 위상이 일치하지 않으며 불규칙한 모습을 보인다.



(a) Wave of Flexural Beam








(b) Phase Shape of Flexural Beam

Fig. 3-28 Scanning of Flexural Beam for 27.0KHz

제 6 절 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템의 결과 고찰

광소자를 이송시키기 위한 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템에서 광소자를 이송하기 위한 각기 다른 형태의 탄성빔을 개발하여 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템에서 각기 다른 형태의 4종류의 광학 유리렌즈를 이송하는 실험을 수행하였다.

Table 3-7 Good Transporting Frequency and Speed of Lenses according to Flexural Beam

Beam Type	Lens No.	1	2	3	4
	Freq (KHz)	26.2	26.2	25.4	26.2
	Speed (mm/s)	81.6	77.5	83.7	93.6
	Freq (KHz)	26.1	26.1	26.9	26.9
	Speed (mm/s)	41.3	31.0	91.9	93.9
	Freq (KHz)	26.9	26.0	26.1	26.1
	Speed (mm/s)	88.0	66.6	79.4	77.5
	Freq (KHz)	26.6	26.6	25.8	26.6
	Speed (mm/s)	77.5	84.2	79.5	83.8
	Freq (KHz)	26.6	26.6	25.8	
	Speed (mm/s)	85.4	73.8	68.8	

실험결과 서로 다른 형상의 탄성빔에서 이송하고자 하는 렌즈에 따라 진행주파수가 다를 수 있었다. Table 3-7은 각 탄성빔에서 렌즈가 가장 빠른 이송속도를 보였을 때의 이송 주파수와 그 속도를 나타내고 있다. □형 탄성빔에서 렌즈 1,2,4는 주파수 26.24KHz에서 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. ▽형 탄성빔의 경우 렌즈 1,2가 각각 41.3mm/s, 31.0mm/s의 이송속도를 보인 주파수 26.1KHz와 렌즈 3,4가 91.1mm/s, 93.9mm/s의 최고 이송속도를 보인 주파수 26.9KHz가 렌즈를 가장 빠르

게 이송시키는 진행주파수임을 확인할 수 있었다. △형 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. □형 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 보임을 알 수 있었다. 마지막으로 실험한 ▤형 탄성빔에서 렌즈 1,2가 주파수 26.6KHz에서 각각 85.4mm/s, 73.8mm/s의 최고이송속도가 측정되었고 렌즈 3은 주파수 25.8KHz에서 68.8mm/s의 최고이송속도를 보임을 알 수 있었다. 렌즈 4는 탄성빔 전체를 통과시키는 주파수를 찾을 수 없었다. 이로써 각기 다른 형태의 렌즈를 이송시키기 위한 가장 좋은 조건의 탄성빔과 그때의 진행 주파수를 찾을 수 있었다.

렌즈 1을 이송시키기 위한 가장 좋은 조건은 △형 탄성빔에서 진행주파수 26.9kHz를 주었을 때이며 렌즈 2는 □형 탄성빔에서 진행주파수 26.6KHz를 주었을 때이다. 렌즈 3은 ▽형 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz를 주었을 때, 렌즈 4는 ▽형 탄성빔에서 진행주파수 26.9KHz를 주었을 때 가장 좋은 이송 조건을 보였다. 결국 각각의 렌즈를 이송시키기 위한 가장 좋은 조건을 찾을 수 있었으며 ▤형 탄성빔을 제외한 다른 4가지 형태의 탄성빔에서 실험한 4개의 렌즈가 모두 안정적으로 탄성빔 전체를 통과하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 □형 탄성빔과 □형 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 띄고 있다. 측정된 세 곳의 파형은 각기 다른 크기와 형태로 발생하였으며 흐트러지는 모습을 보였다. 위상 또한 불규칙한 모습을 나타내었다. 이를 통하여 일정한 형상의 파형이나 일정 크기 이상인 파형의 진폭은

물체의 이송 속도와 관련이 있었으며, 진폭이 클수록 이송속도가 빨라진다는 것을 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.

제 4 장 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송시스템의 진동특성 파악

초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템을 개발하였다. 각기 다른 형상의 탄성빔으로 구성된 시스템에서 이송하고자 하는 반도체 디스크를 부상과 동시에 이송이 가능함을 알 수 있었다.

각기 다른 형상의 탄성빔에서 반도체 디스크가 이송될 때의 부상 높이와 이송 속도를 측정하여 탄성빔에 따른 시스템의 성능을 평가하였다.

각기 다른 형상의 탄성빔에서 3차원 레이저 진동측정기(Laser Scanning Vibrometer)를 사용하여 각 탄성빔의 진동형태를 분석하고, 반도체 디스크가 이송될 때 생기는 진동파가 어떠한 형상을 하고 있는가를 살펴봄으로써 이송 메커니즘을 파악하였다.

제 1 절 70mm 탄성빔의 진동특성

초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템은 초음파 발생장치가 20KHz의 연속된 신호를 받아서 진동을 발생시키게 된다. 탄성빔과 연결된 두 개의 초음파 발생장치 중 한 개의 초음파 발생장치(ch1)에는 제너레이터를 연결하였고 다른 한 개의 초음파 발생장치(ch2)에는 임피던스 매칭을 위한 저항($R=330\Omega$)과 인덕턴스($L=4.4mH$)를 연결하여 빔을 통해 전달되어지는 진동이 증폭되게 하였다.

구성된 시스템에서 부상되어 이송되어지는 물체는 지름 950mm, 14.5g의 무게를 갖는 반도체 디스크(Semiconductor Disk)를 사용하였다.

70mm 폭의 탄성빔에서의 부상되는 반도체 디스크의 부상높이를 측정하기 위하여 레이저 변위 센서(Laser Displacement Sensor)를 사용하였다. 레이저 변위 센서는 측정의 대상이 되는 곳에 레이저 신호를 보낸 후 측정대상의 변위의 변화를 반사되는 레이저 신호로 다시 받아들여서 변위의 차이를 전압으로 나타내어 주는 장치이다. Fig. 4-1은 반도체 디스크의 부상 높이를 측정하기 위하여 사용한 레이저 변위 센서의 구성도이다.

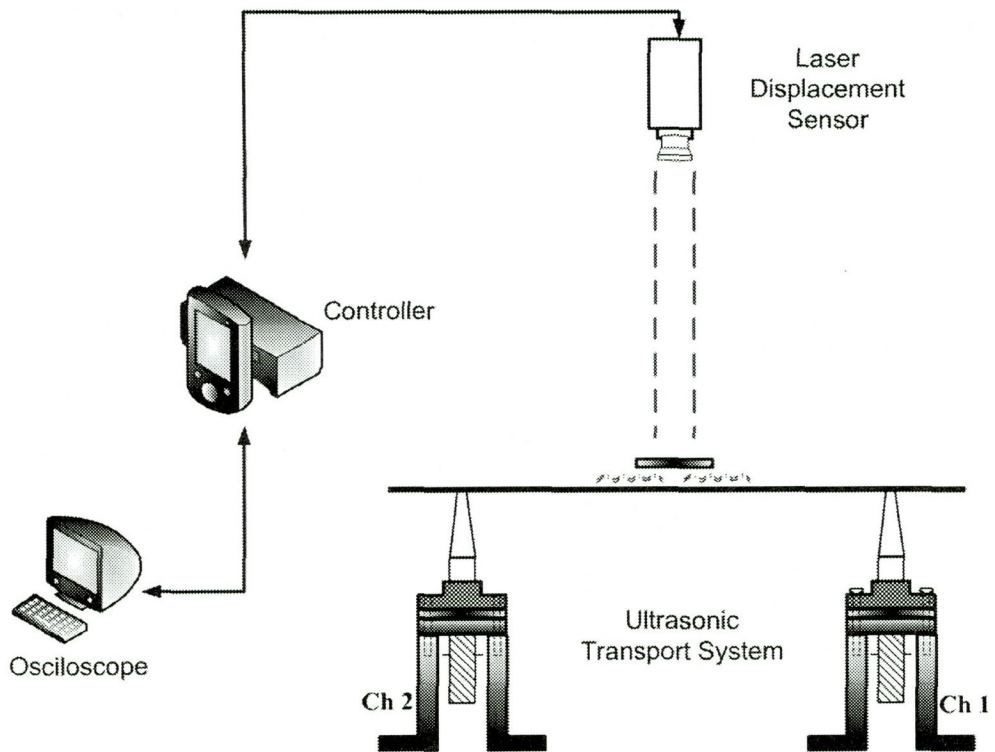


Fig. 4-1 Displacement Measurement Experimental Apparatus

1. 70mm 탄성빔의 성능평가

구성된 두 개의 초음파 발생장치와 연결되어 진동을 생성하여 반도체 디스크를 이송시키는 탄성빔은 두랄루민 재질의 550mm × 70mm × 3mm인 직사각형이며 이를 연결하여 시스템을 구성하였다. 실험은 구성된 시스템에서 초음파 발진기를 구동시켜 탄성빔에 진동을 준 후 반도체 디스크를 탄성빔 위에 올려놓아 부상되어 이송되게 하는 방법과 반도체 디스크를 탄성빔 위에 올려놓은 후 초음파 발진기를 구동시켜 탄성빔에 진동을 주어 반도체 디스크가 부상되어 이송되게 하는 방법으로 나누었다.

실험결과 두 가지 경우 모두 반도체 디스크의 부상과 이송이 시작되는 채널 1방향에서 부상과 동시에 이송이 되는 반도체 디스크가 오른쪽으로 약간의 치우침을 보였으나 복원력에 의하여 다시 탄성빔의 가운데 부분을 따라가는 안정적인 이송을 보였다. 또한 우려되었던 탄성빔과의 접촉도 발생하지 않았다. 70mm 폭의 탄성빔에서 측정된 반도체 디스크의 부상높이와 이송속도는 두 가지 방법 모두 일치하였으며 10회 측정결과 70mm 폭의 탄성빔에서 반도체 디스크는 평균 14.3cm/s의 이송속도와 1.27mm의 부상높이를 보임을 알 수 있었다.

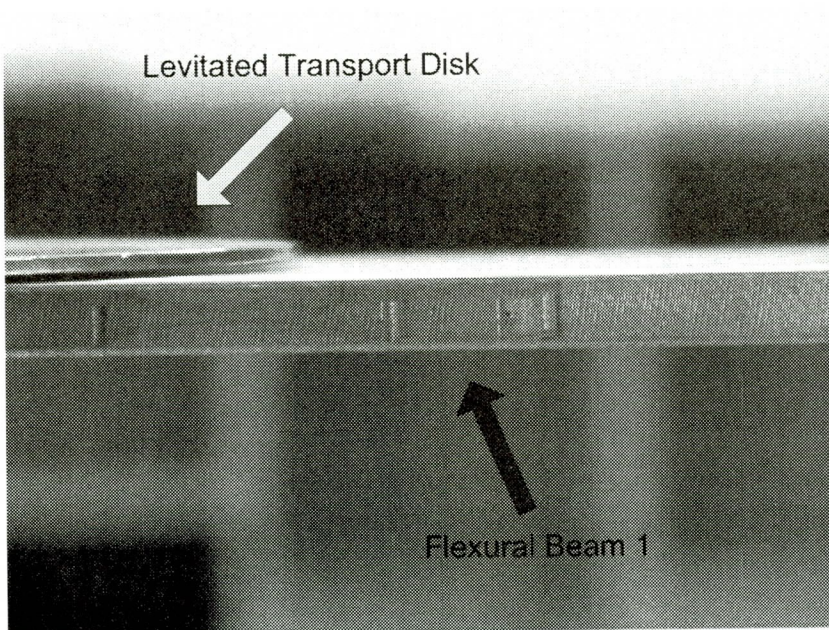
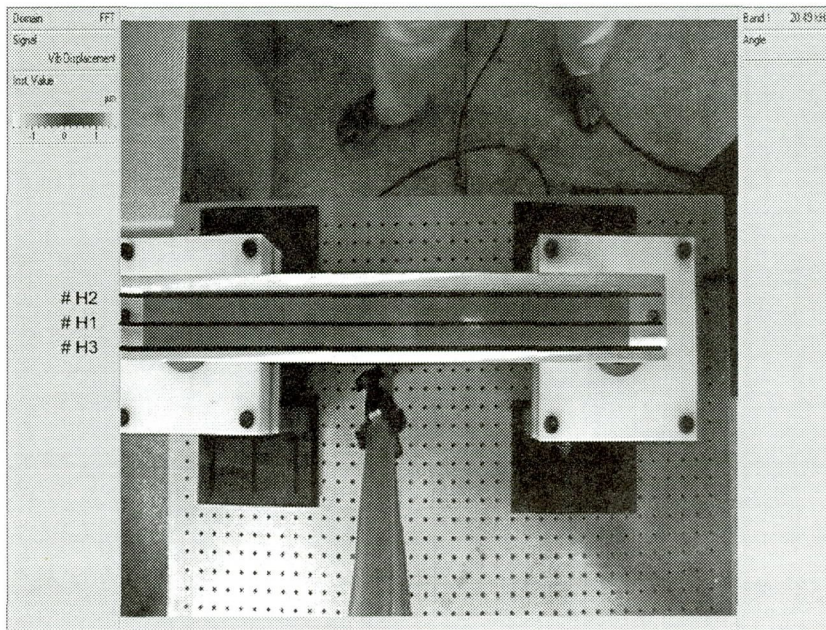


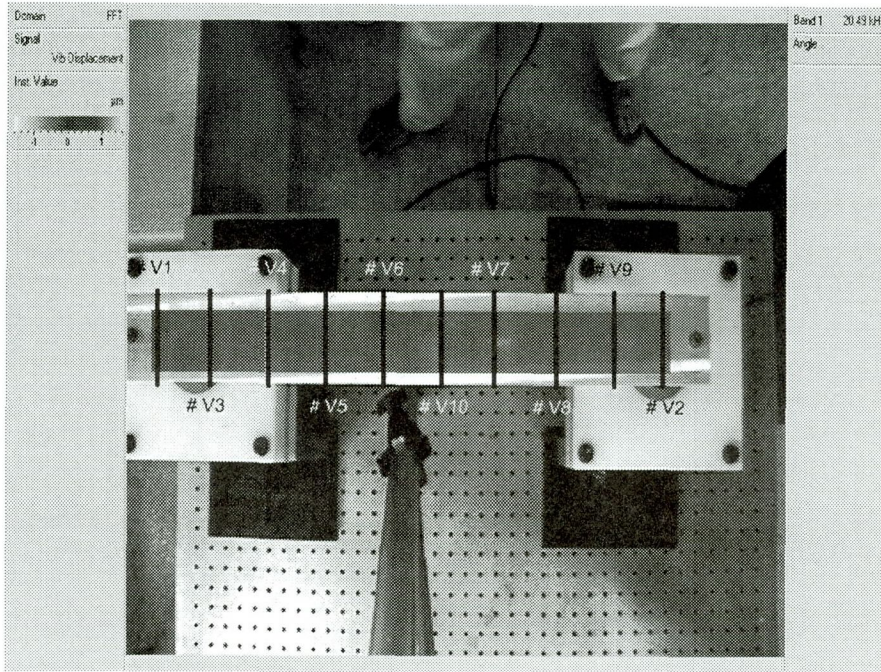
Fig. 4-2 Picture of Levitated Disk Transportation in Flexural Beam with 70mm Width

2. 70mm 탄성빔의 진동측정

70mm 폭의 탄성빔에서 발생하는 진동형태를 측정하기 위해 3차원 레이저 진동 측정기를 사용하였다. 탄성빔 위에서 물체의 부상과 이송이 동시에 이루어지므로 탄성빔을 가로방향과 세로방향으로 나누어 발생하는 진동을 측정하였다. 가로방향으로는 3.3cm 간격으로 양끝부분과 가운데 총 3부분의 진동을 측정하였으며, 세로방향으로는 5.6cm 간격으로 총 10부분의 진동을 측정하였다. Fig. 4-3은 폭 70mm 탄성빔이 가로방향과 세로방향에서 측정되는 부분을 나타낸 것이다.



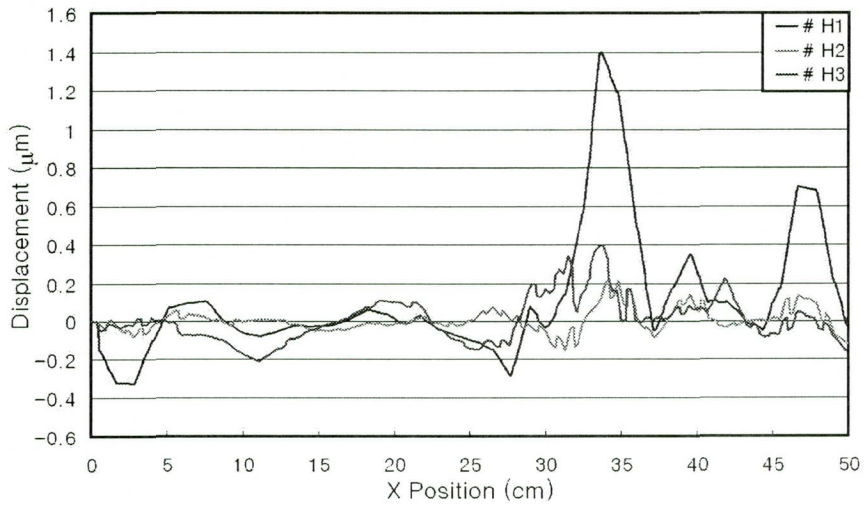
(a) Horizontal Division of Flexural Beam with with 70mm Width



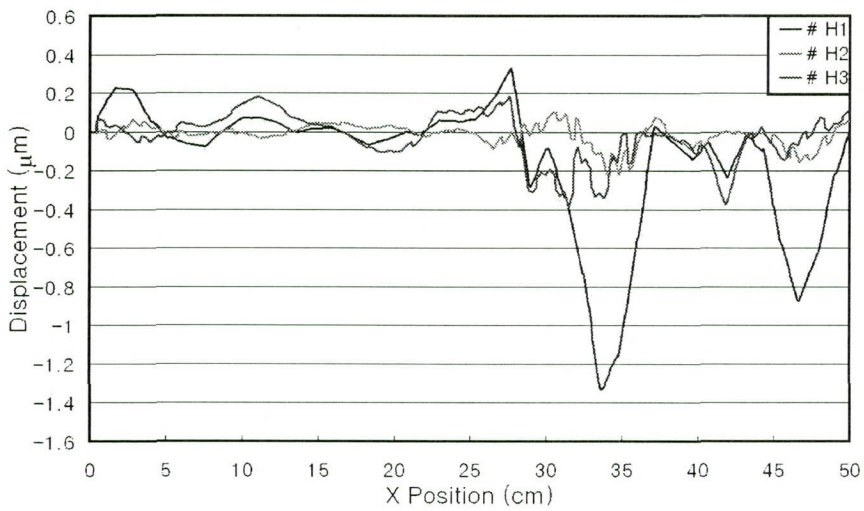
(b) Vertical Division of Flexural Beam with 70mm Width

Fig. 4-3 Measurement of Flexural Beam with 70mm Width using Laser Scanning Vibrometer

70mm 폭의 탄성빔과 체결된 초음파 물체부상 이송시스템에서 반도체 디스크의 부상 시작되며 이송될 때의 주파수는 20.49KHz로 측정되었다. Fig. 4-4는 탄성빔의 가로방향 진폭변화를 나타낸다. (a)는 최고점일 때 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸 것이다. 반도체 디스크가 이송을 시작하는 채널 1과 가까운 곳에서 측정된 가로방향 H1 변위의 크기가 다른 두 곳의 변위보다 크게 발생함을 알 수 있으며 진폭의 최대 최소 변위가 대칭되어 나타남을 알 수 있다. 가로방향 최대변위는 $\pm 1.39\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Fig. 4-5는 탄성빔의 세로방향 진폭변화를 나타낸다. (a)는 최고점을 나타낸 것이고 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸 것이다. 탄성빔의 세로방향 변위는 가운데 부분을 중심으로 대칭되어 나타나며 세로방향 V7에서 측정된 진폭이 가장 큼을 알 수 있다. 측정된 세로방향 최대 최소변위는 $\pm 1.09\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

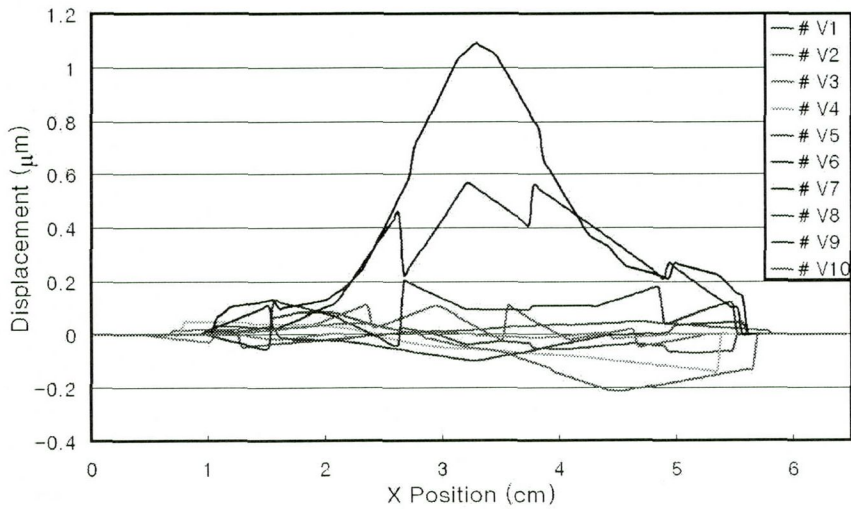


(a) Horizontal Maximum Amplitude of Flexural Beam

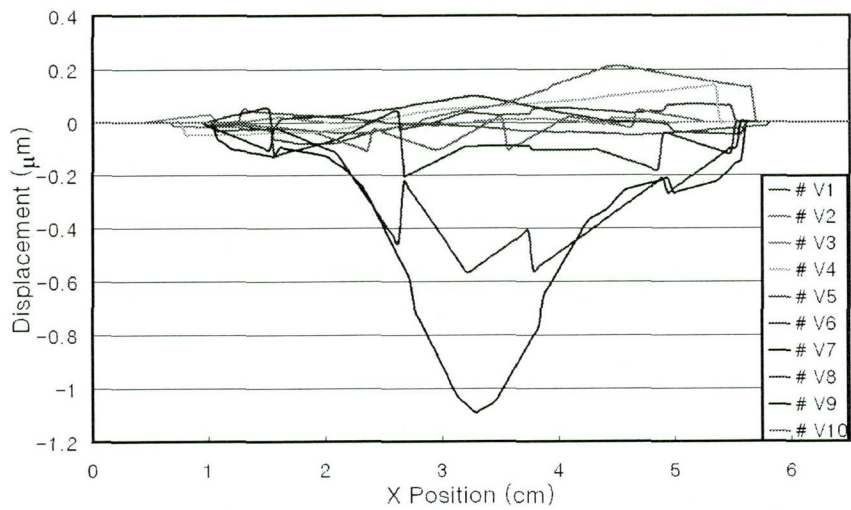


(b) Horizontal Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-4 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 70mm Width



(a) Vertical Maximum Amplitude of Flexural Beam



(a) Vertical Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-5 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 70mm Width

제 2 절 50mm 탄성빔의 진동특성

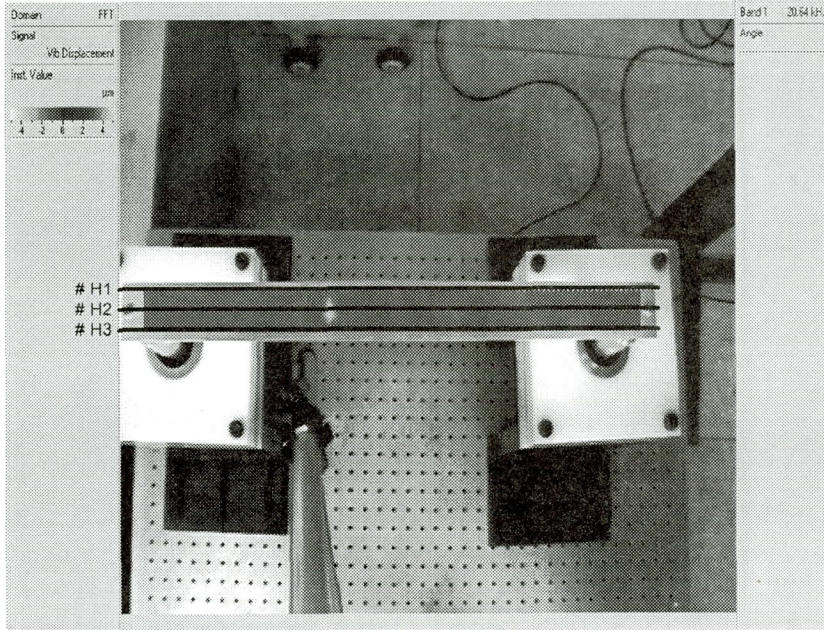
1. 50mm 탄성빔의 성능평가

두랄루민 재질의 $550\text{mm} \times 50\text{mm} \times 3\text{mm}$ 인 직사각형의 탄성빔을 연결하여 시스템을 구성 실험하였다.

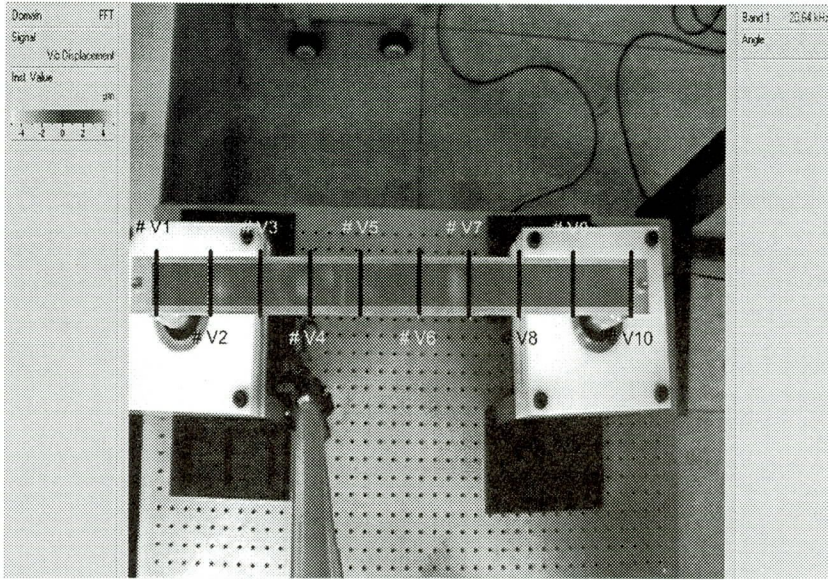
실험결과 폭의 크기가 50mm인 탄성빔을 따라 반도체 디스크가 부상되어 이송될 때 각기 다른 운동 모습을 보였다. 탄성빔에 진동이 발생하고 있을 때 올려진 반도체 디스크는 탄성빔을 따라 그대로 이송이 되는 모습을 보였지만 먼저 탄성빔 위에 반도체 디스크를 올려놓고 탄성빔에 진동이 발생한 경우에는 디스크가 이송하면서 왼쪽으로 회전하는 모습을 보였다. 하지만 반도체 디스크의 진행 중 회전함은 반도체 디스크가 탄성빔의 중앙을 따라가며 진행되었기 때문에 탄성빔의 한쪽으로 치우치거나 탄성빔과의 접촉은 발생하지 않았다. 이는 곧 반도체 디스크의 이송 중 보이는 회전현상이 부상과 이송에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 두 가지 방법으로 실험하여 측정된 데이터 값은 일치하였으며 측정된 부상높이와 이송속도는 10회 측정결과 평균 이송속도 16.6cm/s와 부상높이 1.83mm를 보였다.

2. 50mm 탄성빔의 진동측정

50mm폭의 탄성빔에서 발생하는 진동형태를 측정하기 위해 3.3cm 간격의 가로방향 3부분과 6.1cm 간격의 세로방향 10부분의 진동을 측정하였다. Fig. 4-6은 폭 50mm 탄성빔이 가로방향과 세로방향에서 측정되는 부분을 나타낸 것이다.



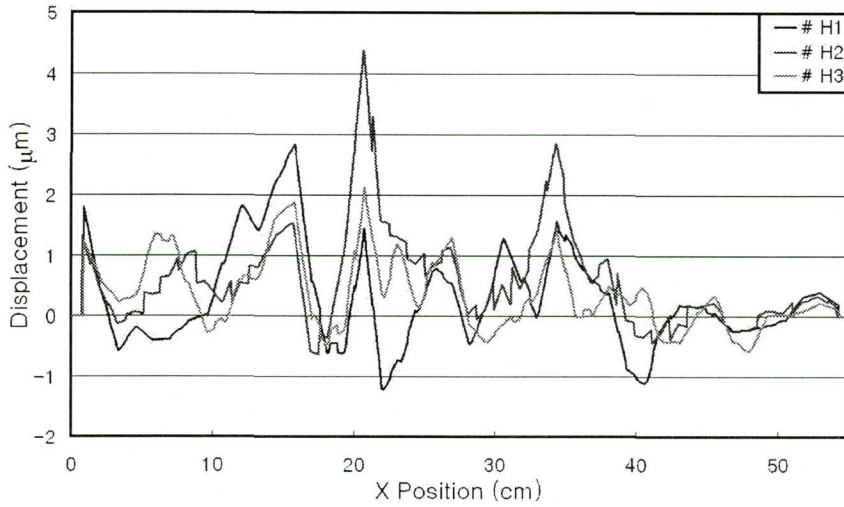
(a) Horizontal Division of Flexural Beam with 50mm Width



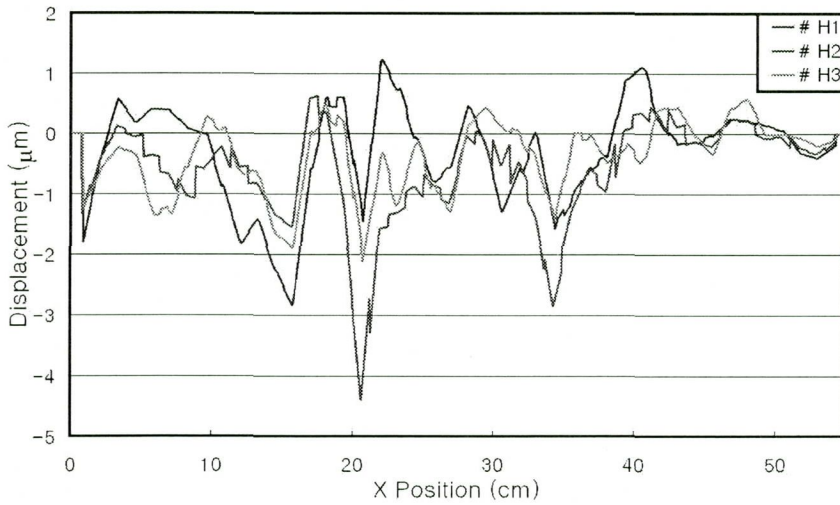
(b) Vertical Division of Flexural Beam with 50mm Width

Fig. 4-6 Measurement of Flexural Beam with 50mm Width using Laser Scanning Vibrometer

폭 50mm 탄성빔에서 반도체 디스크를 부상시켜 이송될 때의 주파수는 20.64KHz로 측정되었다. Fig. 4-7은 탄성빔의 가로방향 진폭변화를 나타내며 (a)는 최대변위, (b)는 최소변위를 나타낸 것이다. 채널 1에서 20cm되는 부분과 35cm되는 부분에서 H2의 진폭이 커짐을 알 수 있으며 가로방향 H3의 진폭의 크기가 H1, H2보다 작게 나타남을 알 수 있다. 탄성빔의 가로방향 최대변위는 $\pm 4.39\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Fig. 4-8은 탄성빔의 세로방향 진폭변화를 나타내며 (a)는 최대변위, (b)는 최소변위를 나타낸 것이다. 대부분의 진폭은 반도체 디스크가 진행될 때 탄성빔의 오른쪽보다 왼쪽에서 크게 나타났으며 V7의 진폭이 가장 크게 측정되었다. 탄성빔의 세로방향 최대 최소변위는 $\pm 3.72\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

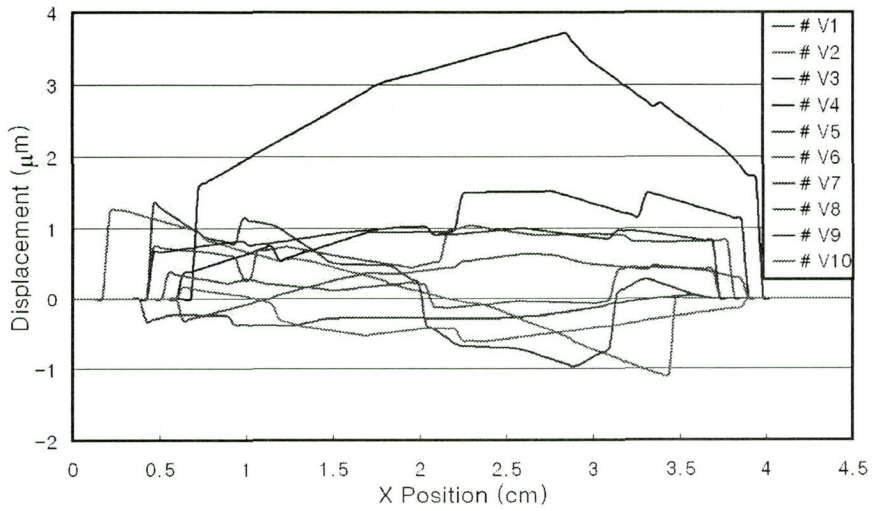


(a) Horizontal Maximum Amplitude of Flexural Beam

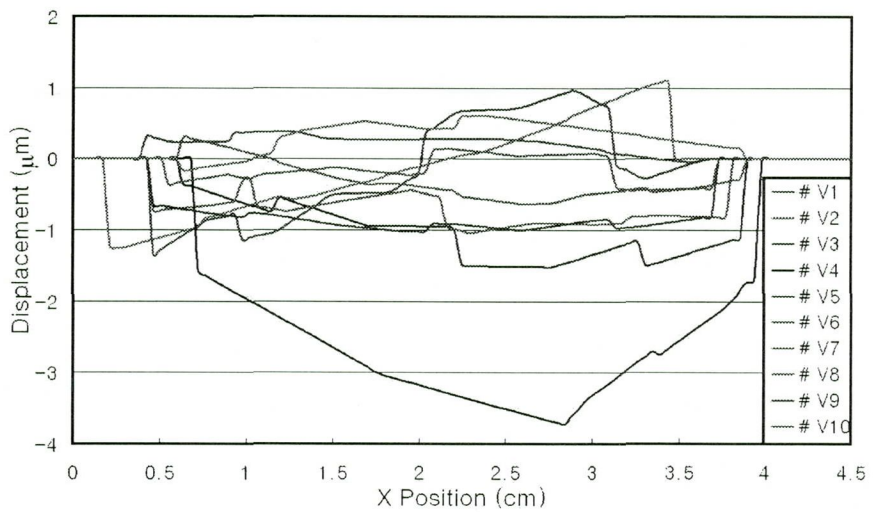


(b) Horizontal Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-7 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 50mm Width



(a) Vertical Maximum Amplitude of Flexural Beam



(a) Vertical Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-8 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 50mm Width

제 3 절 40mm 탄성빔의 진동특성

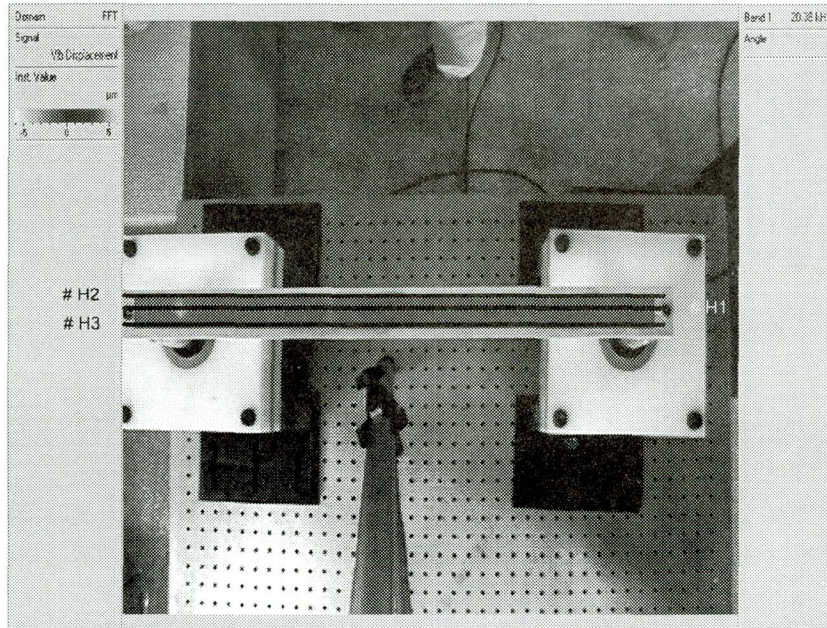
1. 40mm 탄성빔의 성능평가

시스템을 구성하기 위해 직사각형 모양의 550mm × 40mm × 3mm의 크기를 갖는 두랄루민 재료의 탄성빔을 연결하였다.

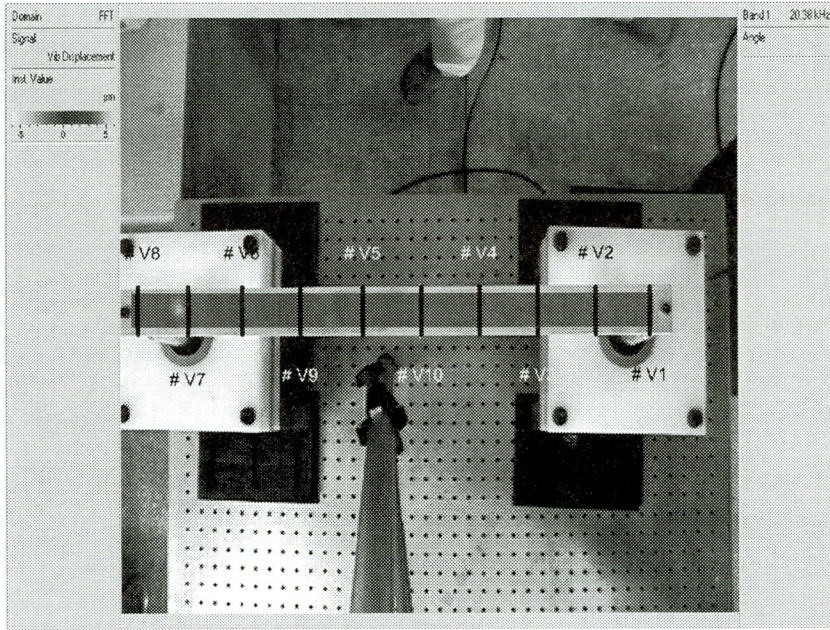
실험결과 탄성빔 위에 올려놓은 후 진동이 발생하였을 경우 반도체 디스크가 50mm 폭의 탄성빔에서 보인 것과 같이 반도체 디스크가 회전하는 모습을 보였다. 하지만 40mm 폭의 탄성빔에서 부상되어 이송되는 반도체 디스크는 50mm 폭의 탄성빔에서 보인 모습과는 달리 탄성빔에 진동이 발생된 후 제자리에서 부상되어 회전하는 모습을 보이다가 탄성빔을 따라 이송이 되어 가면서 차츰 안정적인 모습을 보였다. 폭 40mm 탄성빔에서 실험한 두 가지 경우 모두 반도체 디스크의 이송속도와 부상높이가 일치 하였으며 각각 평균 17.5cm/s와 2.10mm가 측정되었다. 40mm 탄성빔에서 부상되어 이송되어지는 반도체 디스크는 앞의 두 탄성빔으로 실험한 경우보다 훨씬 더 높은 부상 높이를 보이며 빠른 이송속도를 보임을 알 수 있었다.

2. 40mm 탄성빔의 진동측정

폭 40mm 탄성빔의 진동측정을 위해 1.4cm 간격으로 가로방향 3부분과 6.1cm 간격으로 세로방향 10부분의 진동을 측정하였다. Fig. 4-9는 폭 40mm 탄성빔이 가로방향과 세로방향에서 측정되는 부분을 나타낸 것이다.



(a) Horizontal Division of Flexural Beam with 40mm Width

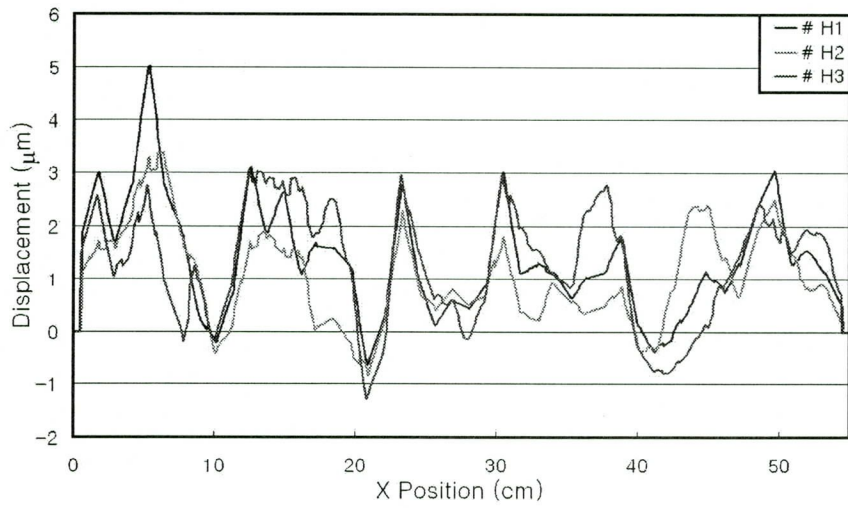


(b) Vertical Division of Flexural Beam with 40mm Width

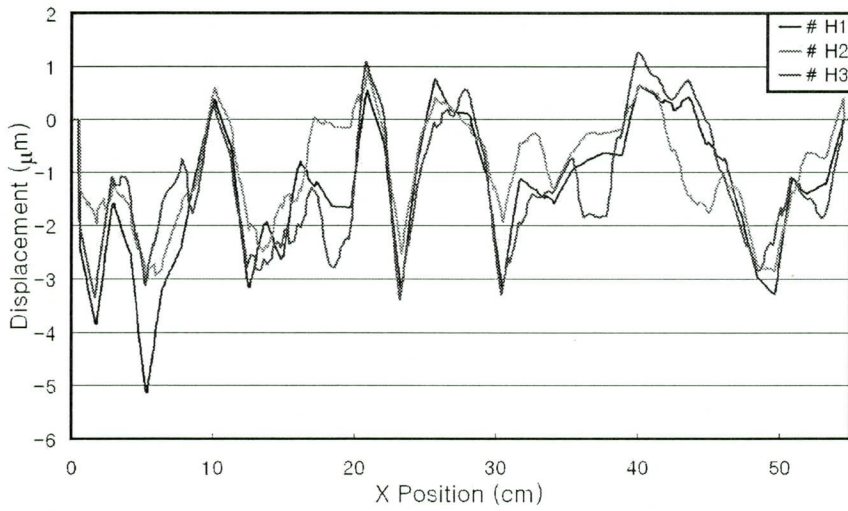
Fig. 4-9 Measurement of Flexural Beam with 40mm Width using Laser Scanning Vibrometer

폭 40mm 탄성빔에서 측정된 주파수는 20.38KHz 였다. Fig. 4-10은 40mm 탄성빔의 가로방향 진폭변화이며 (a)는 최대변위 (b)는 최소변위를 나타낸다. 가로방향의 세부분에서 측정된 진폭은 모두 앞의 두 탄성빔보다 탄성빔 전체에서 고르게 나타나며 보다 큰 진폭의 크기를 보임을 알 수 있다. 반도체 디스크의 진행이 끝나는 채널 2방향 5cm되는 지점에서 탄성빔의 가운데 부분인 H1의 진폭이 가장 크게 나타났다. 가로방향 최대 최소 변위는 $\pm 5.11\mu m$ 로 측정되었다.

Fig. 4-11은 40mm 탄성빔의 세로방향 진폭변화이며 (a)는 최대변위 (b)는 최소변위를 나타낸다. 세로방향에서 측정된 진폭 중 V7을 제외한 대부분에서 탄성빔의 왼쪽의 진폭이 오른쪽보다 크게 나타남을 보여준다. 세로방향 최대 최소변위는 $\pm 3.46\mu m$ 로 측정되었다. 세로방향에서 측정된 최대 최소변위는 50mm 탄성빔보다 작게 측정되었지만 평균 진폭의 크기는 50mm 탄성빔보다 더 크게 나타남을 알 수 있다.

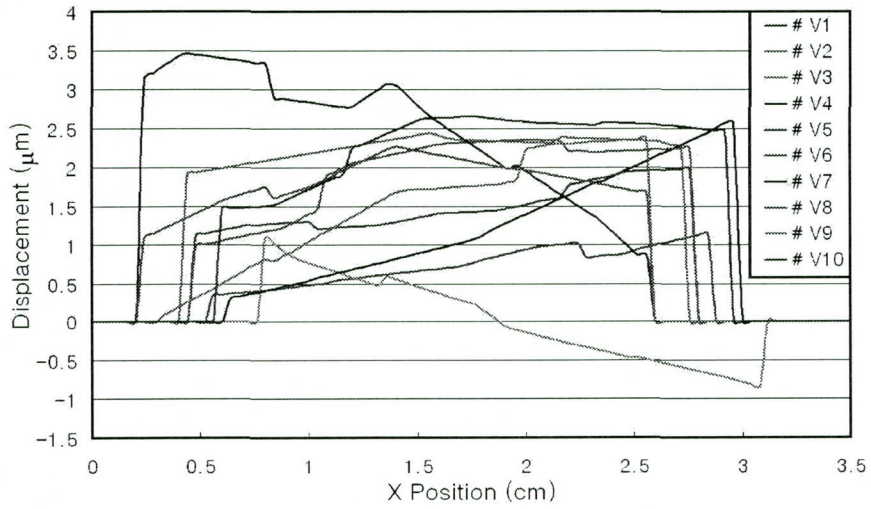


(a) Horizontal Maximum Amplitude of Flexural Beam

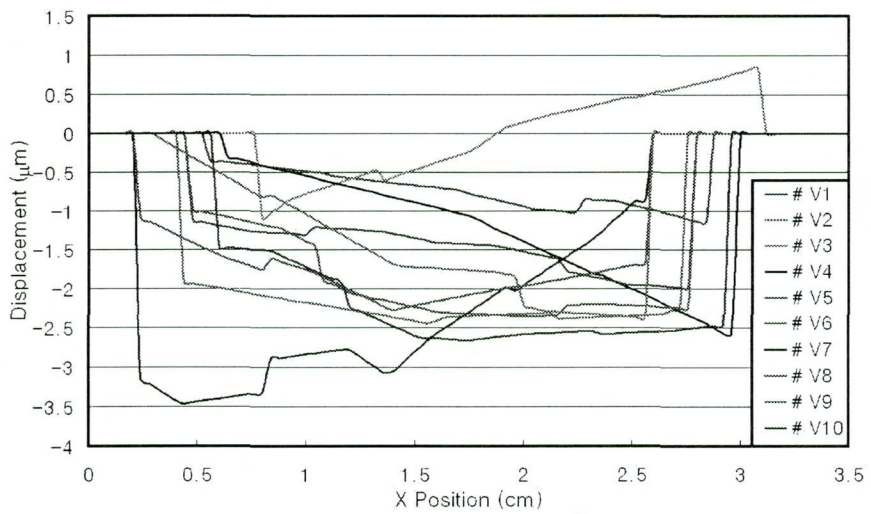


(b) Horizontal Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-10 Horizontal Vibration Characteristics of Flexural Beam with 40mm Width



(a) Vertical Maximum Amplitude of Flexural Beam



(a) Vertical Minimum Amplitude of Flexural Beam

Fig. 4-11 Vertical Vibration Characteristics of Flexural Beam with 40mm Width

제 4 절 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 결과 고찰

개발된 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템의 성능평가를 위해 서로 다른 형상의 탄성빔을 개발하였다. 개발된 탄성빔 위에서 반도체 디스크가 부상되어 이송되어지는 실험을 수행하였다. 실험은 개발된 3개의 탄성빔에 진동을 준 후 반도체 디스크를 올려놓은 경우와 반도체 디스크를 탄성빔 위에 올려놓은 후 진동을 준 경우 2가지로 나누었다. 레이저 변위센서를 사용하여 탄성빔 위에서 부상되는 반도체 디스크의 부상높이를 측정하였다.

실험결과 두 조건 모두 3개의 탄성빔에서 각각 같은 이송속도와 부상높이를 보임을 알 수 있었다. Table 4-1은 각 탄성빔에서 발생하는 진폭의 크기와 그에 따른 반도체 디스크의 이송속도와 부상높이를 보여주고 있다. 반도체 디스크는 폭 70mm 탄성빔에서 평균 14.3cm/s의 이송속도와 1.27mm의 부상높이를 보였으며 폭 50mm 탄성빔에서 평균 16.6cm/s의 이송속도와 1.83mm의 부상높이를 보였다. 폭 40mm 탄성빔에서의 반도체 디스크는 평균 17.5cm/s의 이송속도와 2.10mm의 부상높이를 보임을 알 수 있었다. 이로써 반도체 디스크는 개발된 3개의 탄성빔 위에서 모두 부상하여 이송되는 것을 알 수 있었으며 탄성빔의 폭의 차이에 따라 각각 다른 부상높이와 이송속도가 얻어짐을 알 수 있었다.

Table 4-1 Performance Evaluation according to Flexural Beam Width

Beam Width		70mm	50mm	40mm
Max&Min Amplitude (μm)	Horizontal	± 1.39	± 4.39	± 5.11
	Vertical	± 1.09	± 3.72	± 3.46
Transport Speed (cm/s)		14.3	16.6	17.5
Levitation Heights (mm)		1.27	1.83	2.10

개발된 시스템의 이송 메커니즘을 규명하기 위해 레이저 진동측정기를 이용하여 개발된 탄성빔의 진동형태를 측정하였다. 반도체 디스크를 부상하여 이송시키는 진동의

크기를 측정하기 위하여 가로방향 3곳과 세로방향 10곳으로 나누어 각 부분의 진폭의 크기를 측정하였다. 폭 70mm 탄성빔에서는 가로방향으로 최대 최소변위 $\pm 1.39\mu\text{m}$ 와 세로방향으로 최대 최소변위 $\pm 1.09\mu\text{m}$ 의 진폭의 크기가 측정되었으며 폭 50mm 탄성빔에서는 가로방향으로 최대 최소변위 $\pm 4.39\mu\text{m}$ 와 세로방향 최대 최소변위 $\pm 3.72\mu\text{m}$ 의 진폭의 크기가 측정되었다. 그리고 폭 40mm 탄성빔에서는 가로방향으로 최대 최소변위 $\pm 5.11\mu\text{m}$ 와 세로방향으로 최대 최소변위 $\pm 3.46\mu\text{m}$ 의 진폭의 크기를 보임을 알 수 있었다. 개발된 시스템의 진동 측정을 통하여 서로 다른 폭의 탄성빔에서 발생된 진폭의 크기가 탄성빔의 폭 변화에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

개발된 3개의 탄성빔으로 구성된 시스템에서 움직임을 보이는 반도체 디스크는 탄성빔과의 접촉이나 이탈을 보이지 않고 공중으로 부상되어 탄성빔을 따라 이송이 이루어짐으로써 반도체 디스크의 비접촉 이송을 위한 시스템임을 확인 할 수 있었다. 개발된 시스템에 결합된 각기 다른 폭의 크기를 갖는 탄성빔은 그 폭이 작아질수록 발생하는 진폭의 크기가 더 크게 측정됨을 확인할 수 있었다.

탄성빔에서 발생하는 진폭이 커짐에 따라 탄성빔 위에 올려진 반도체 디스크는 더 높은 부상 높이를 보이면서 빠른 이송속도를 보임을 알 수 있었다. 이로써 개발된 시스템에서 반도체 디스크의 부상과 이송을 확인할 수 있었으며 서로 다른 폭의 탄성빔에서 발생하는 진폭의 크기에 따라 이송되는 반도체 디스크의 부상높이와 이송속도가 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

제 5 장 광소자 자동 픽업 시스템의 메커니즘

초음파를 이용한 광소자 이송시스템을 이용하여 광소자를 운반하고, 운반된 광소자를 검사하는 공정을 위하여 광소자 자동 픽업 시스템을 개발하였다. 광소자 자동 픽업 시스템을 구성하기 위하여 광소자를 픽업하기 위한 픽업 장치와 픽업 장치를 제어하기 위한 컨트롤 장치를 개발하였다. 시스템을 제어하기 위한 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 광소자 자동 픽업 시스템은 초음파를 이용한 광소자 이송시스템을 통하여 이송된 광소자의 불량 여부를 판별할 수 있도록 광소자 자동 픽업 시스템의 이송 유닛과 검사 유닛을 일체화하였다.

제 1 절 광소자 자동 픽업 시스템의 구성

Fig. 5-1은 광소자 자동 픽업 시스템의 개략도이다. 광소자 자동 픽업 시스템은 초음파 발생 장치를 이용하여 광소자를 이송시키고, 이송되어진 광소자를 자동 픽업 장치를 이용하여 픽업과 동시에 불량 여부를 판별할 수 있도록 광소자 이송 속도와 검사 속도를 동일하게 하여 광소자를 다음 이송 시스템으로 연결하여 준다. 광소자 자동 픽업 시스템은 크게 제어부와 구동부로 나눌 수 있다. 제어부는 모터를 구동시키기 위한 보드와 컨트롤 박스, 그리고 검사 속도 및 이송 속도를 일치 및 인덱스화 할 수 있는 시스템 통합 프로그램으로 구성되어 있다. Visual C++을 이용하여 픽업장치를 구동시키는 소프트웨어를 개발하였다. Fig. 5-2는 컨트롤 장치의 제어를 통해 광소자 자동 픽업 시스템을 구동시키는 개발된 픽업 시스템 컨트롤 소프트웨어의 제어 화면을 나타낸다. 소프트웨어를 통해 구동되는 모터 컨트롤러는 FAS-3000 시리즈를 사용하였다. 구동부는 3개의 리니어 모터가 X-Y축 병진운동을 하여 광소자를 픽업하고 검사한 광소자를 다음 이송 시스템으로 옮길 수 있도록 회전 운동을 하는 5상 스텝 모터로 이루어져 있다.

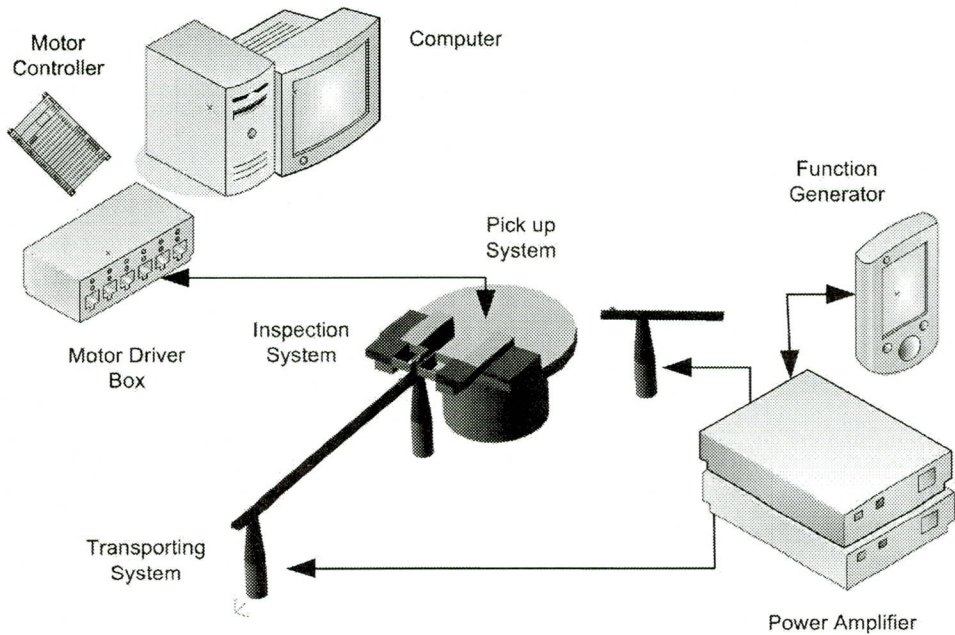


Fig. 5-1 Organization of Automatic Optical Element Pickup System

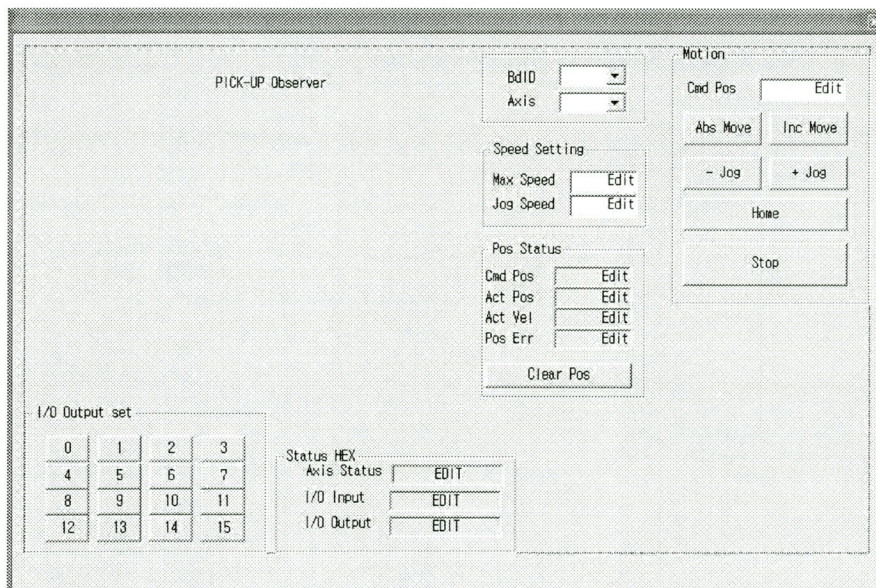
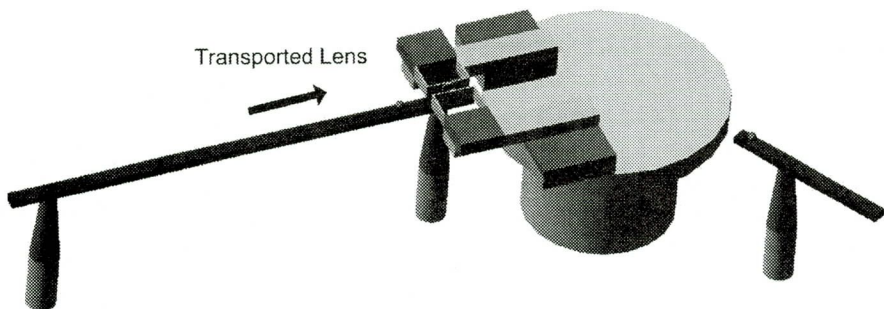


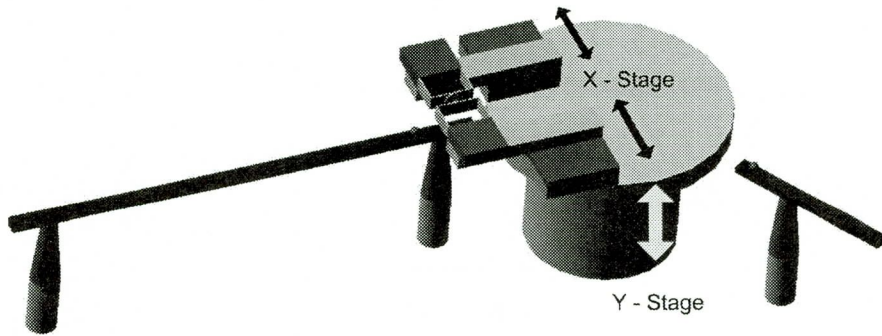
Fig. 5-2 Pickup System Control Software using Visual C++

제 2 절 광소자 자동 픽업 장치

광소자 자동 픽업 장치의 동특성을 파악하기 위해 Adams를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 5-3에 시뮬레이션의 연속된 동작을 나타내었다. 전체 시뮬레이션의 연속된 동작은 10초로 하였으며 그 성능을 평가하였다. Fig. 5-3(a)에서 생산된 광소자가 초음파 이송시스템을 따라 들어오게 된다. Fig. 5-3(b)에서 이송되어진 광소자를 픽업하기 위하여 픽업장치의 Y스테이지가 상하로 작동하여 광소자와 수평을 맞추게 된다. 그러면 두 개의 X스테이지가 좌우로 작동하여 그 끝에 있는 슬라이드가 집게처럼 광소자를 잡게 된다. Fig. 5-3(c)에서 픽업장치의 아랫부분에 위치한 회전스테이지가 회전을 하여 광소자를 다음 이송 시스템으로 연결하는 역할을 하게 된다. 회전스테이지는 잠시 동안 동작을 멈춰서 광소자의 불량 유무를 검사하게 되며 이상 유무를 판별한 후 Fig. 5-3(d)에서 다시 두 개의 X스테이지가 작동하여 광소자를 다음 이송 시스템으로 연결하게 된다. 광소자의 이송이 끝난 픽업 장치는 다시 Fig. 5-3(a)로 되돌아가게 된다.

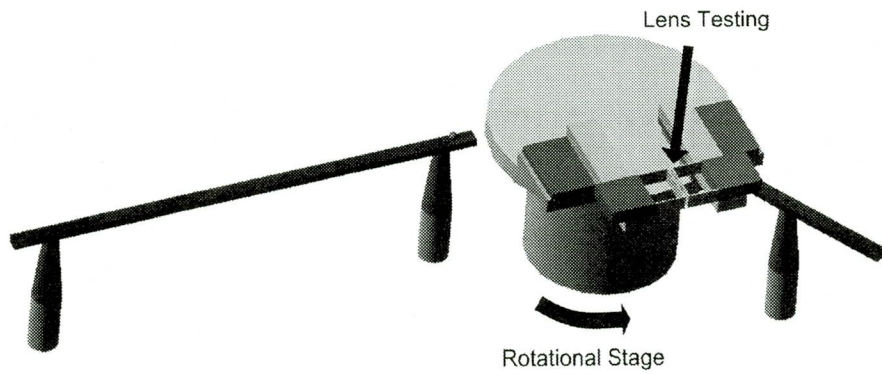


(a) Motion of Optical Lens Transportation



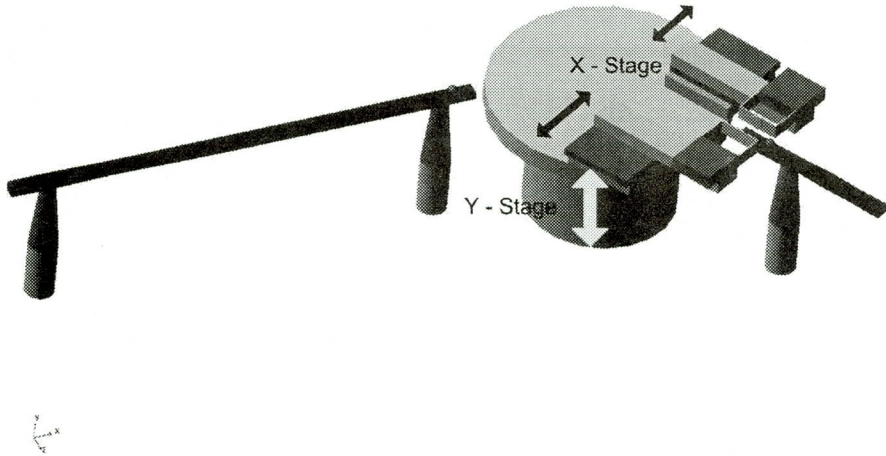
←

(b) Motion of Pick up Optical Lens



←

(c) Motion of Optical Lens Testing



(d) Motion of Shifting of Optical Lens

Fig. 5-3 Adams Simulation of Pickup System

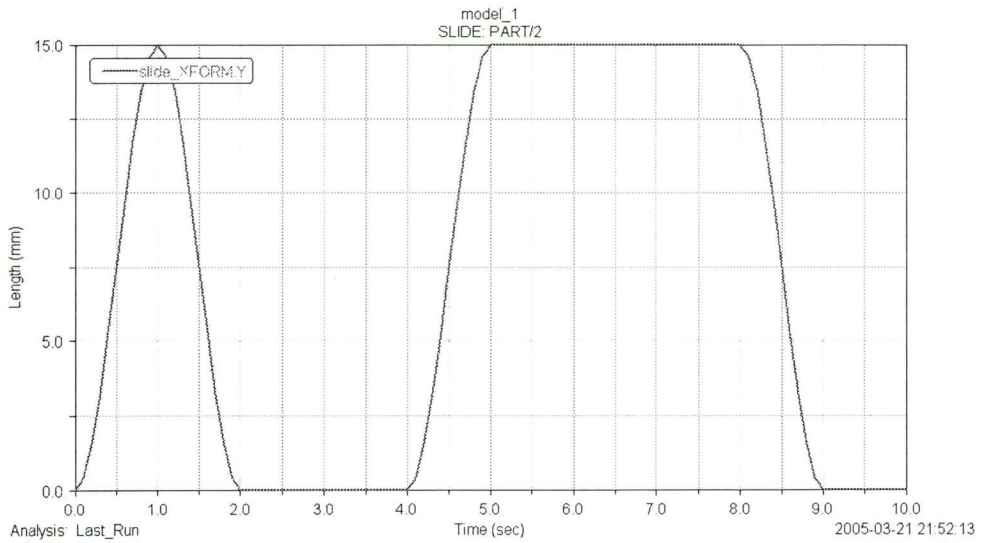


Fig. 5-4 Y-Stage Displacement in Adams Simulation

Fig. 5-4은 광소자와 수평을 맞추기 위해 시뮬레이션 한 픽업장치의 Y스테이지

의 운동 변위를 보여주고 있다. 광소자가 픽업장치 앞에 도착하면 Y축 스테이지가 바로 동작을 시작한다. 처음 2초 동안 이송되어진 광소자를 집기 위해 Y축으로 15mm 만큼 상승하였다가 하강하여 수평을 맞춘다. 다음 2초 동안 광소자를 집은 후 집게장치는 다시 15mm 상승하여 광소자를 소지한 채 5초되는 지점부터 회전을 시작한다. 8초 되는 지점에서 다음이송장치에 연결된 준비가 되면 1초 동안 Y축으로 15mm 하강하여 광소자를 놓게 된다.

Fig. 5-5는 시뮬레이션 한 픽업장치의 회전스테이지가 회전하는 각의 크기를 나타낸다. 초음파 이송시스템을 통해 이송되어진 광소자를 픽업장치가 잡은 후 5초되는 지점에서 회전스테이지가 작동하여 약 90°의 회전운동을 한다. 그리고 6초 되는 지점에서 광소자의 이상 유무를 판별하고 7초 지점에서 다시 회전운동을 하여 다음 이송 시스템으로 광소자를 연결시켜준다.

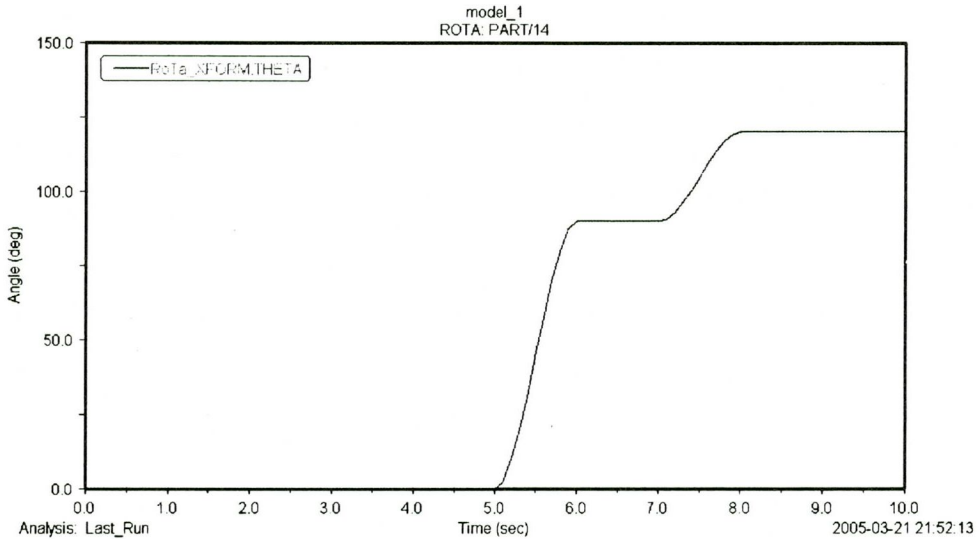
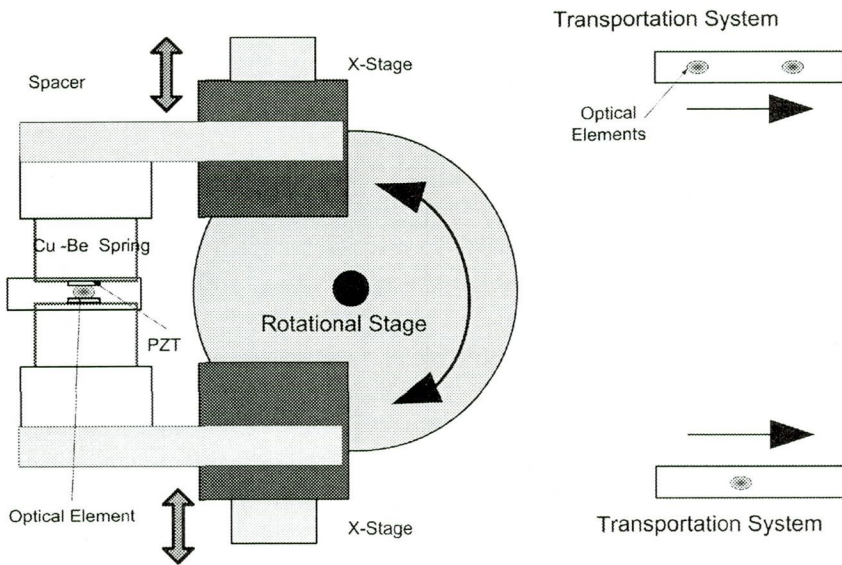


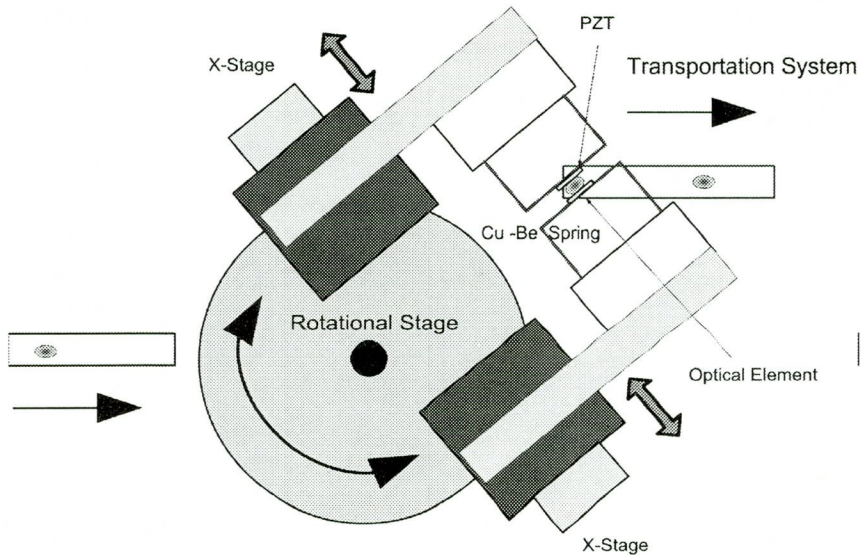
Fig. 5-5 Rotational Stage Angle in Adams Simulation

Fig. 5-6은 픽업 장치에 의해 광소자가 픽업되어 다음 단계로 전해지는 모습을 단계별로 보여주고 있다. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 통하여 이송된 광소자는 레이저 변위 센서를 이용하여 광소자의 위치와 속도가 검출되고 이 정보를 광소자 픽업 시스템에 전달되어 광소자가 픽업 시스템 직전에 위치할 때 픽업 시스

탭이 작동한다. 광소자를 불량 여부를 판별하고 다음 이송 시스템으로 연결시키기 위한 픽업 장치는 Y축 스테이지가 작동하여 광소자의 높이에 도달하면 양쪽의 X축 스테이지가 작동하여 광소자를 픽업한다. 픽업된 광소자는 수초 내에 불량 여부가 판별된다. 픽업된 상태로 판별이 된 광소자를 다시 Y축 스테이지가 작동하여 다음 이송 시스템으로 연결하기 위한 준비를 한다. 작동된 Y축 스테이지에 의해 광소자를 다음 이송시스템으로 연결할 준비가 되면 회전 스테이지(Rotational Stage)가 회전하여 정상품 혹은 불량품 이송부로 광소자를 놓게 된다. 이로써 하나의 광소자의 불량판별 및 다음 이송 시스템으로의 연결이 끝나면 회전 스테이지가 회전하여 두 번째로 이송된 광소자를 맞이하게 된다.



(a) Picking up



(b) Rotation

Fig. 5-6 Operating Steps of Pickup System

Fig. 5-7은 광소자를 옮기기 위한 픽업 장치 클램핑 스테이지의 활동범위를 보여준다. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템에 의하여 광소자가 검사 시스템 앞까지 이송되면 X-Y 스테이지에 의해 광소자 앞까지 검사 시스템이 이동하고 검사 시스템 하부에 있는 클램핑 스테이지가 작동되어 광소자를 클램핑한다. 그 후 다시 X-Y 스테이지가 작동하여 검사시스템이 이송시스템에 영향을 받지 않는 중립위치에 위치시킨 후 검사를 수행한다. 검사가 끝나면 정상품과 불량품을 판별되고 판별된 광소자는 다시 X-Y 스테이지에 의해 위와 같은 방법으로 정상품은 정상품 이송부로 불량품은 불량품 이송부로 각각 전달된다. 정상품 이송부 및 불량품 이송부 모두 초음파 여기를 이용한 이송시스템으로 구성되어있다.

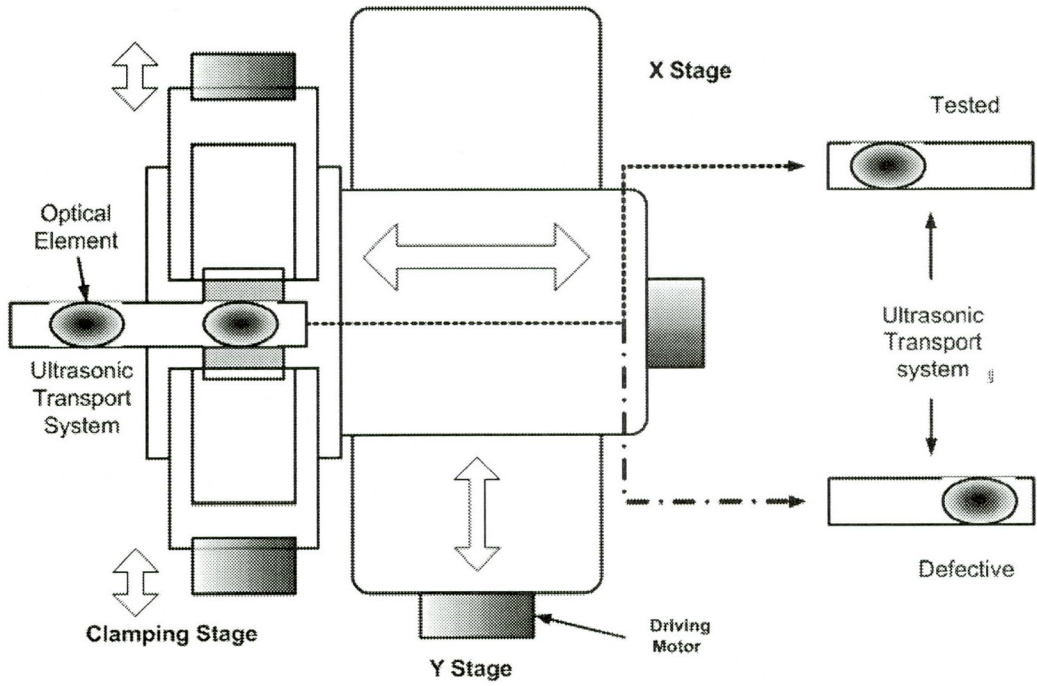
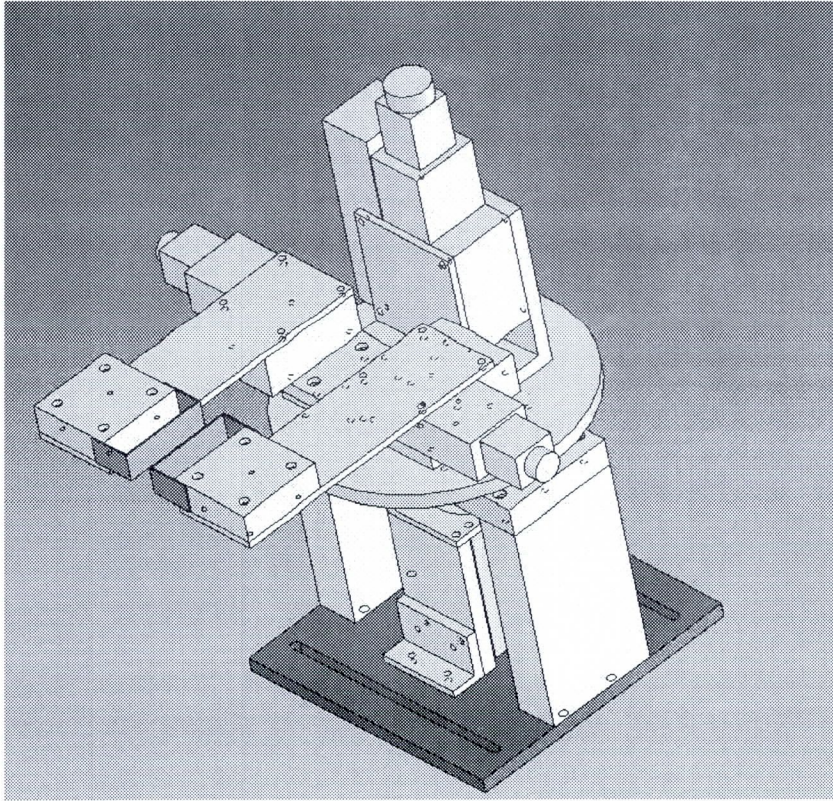
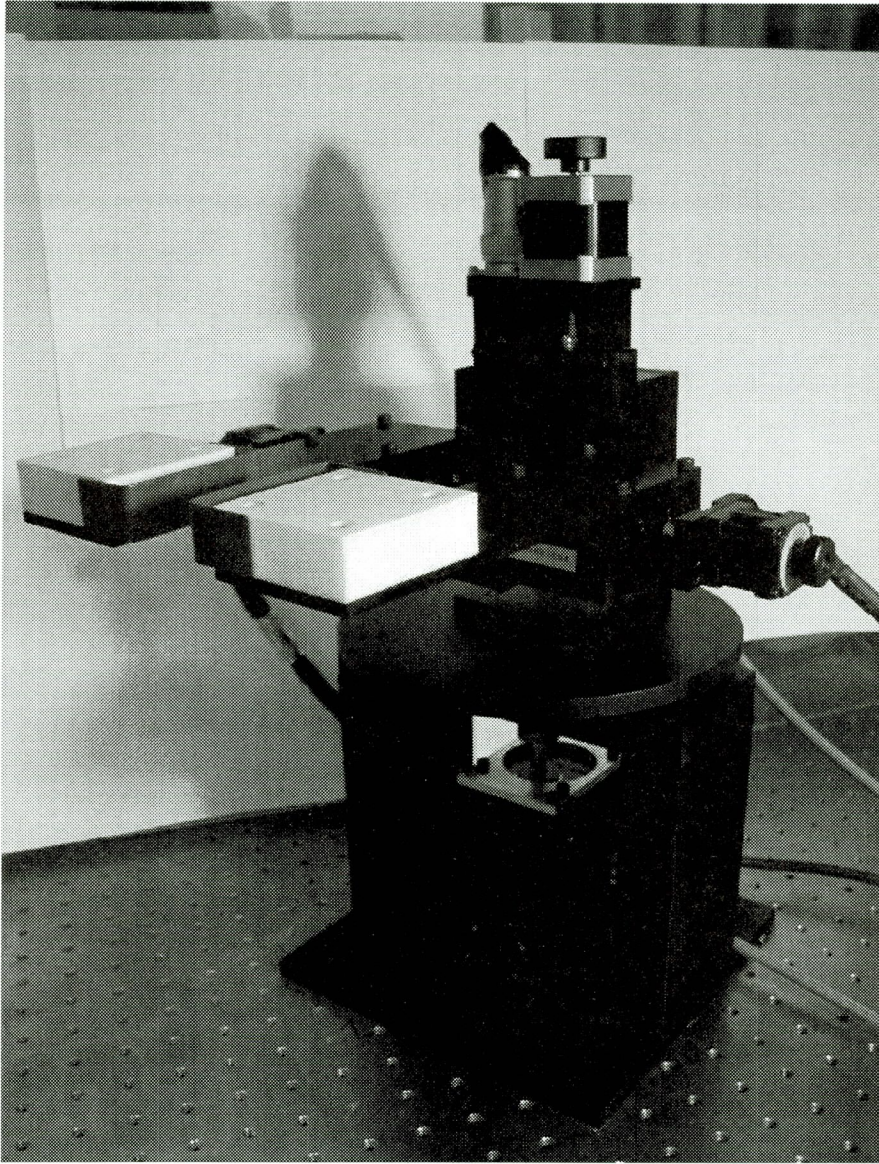


Fig. 5-7 Diagram of Automatic Optical Element Pickup Apparatus

Fig. 5-8은 이러한 운동을 수행하는 광소자 자동 픽업 장치를 설계하여 모델링한 모습과 실제 제작된 모습을 보여준다.



(a) Modeling of Pickup Apparatus



(b) Picture of Pickup Apparatus

Fig. 5-8 Modeling and Picture of Pickup Apparatus

제 3 절 광소자 자동 픽업 컨트롤 장치

완성된 광소자 자동 픽업 장치를 제어하는 광소자 자동 픽업 컨트롤 장치를 제작하였다. 광소자 자동 픽업 장치를 제어하기 위한 광소자 자동 픽업 컨트롤장치에서는 스텝모터를 구동하기 위해 출력되는 CW+, CW-, CCW+, CCW-의 4가지 신호를 사용하였다. 광소자 자동 픽업 컨트롤 장치에서는 모터 구동 공통 단자를 사용하여 이를 스텝모터 드라이버에 결선하였다. Fig. 5-9는 제작된 광소자 자동 픽업 컨트롤 장치의 모터 결선도이다. Fig. 5-10은 리미트 센서, 홈 신호와 터미널 결선도를 나타낸다. 컨트롤러의 포토커플러 접점은 PNP형태를 사용하여 ± 24 VDC를 공통 신호로 사용하고 (-)신호를 입력 신호로 사용하였다. 리미트 센서는 입력측 회전 스테이지에서 8개 출력측 회전 스테이지에서 8개가 입력된다. Fig. 5-11은 컨트롤 장치의 리미트 센서와 컨트롤러의 결선도이다.

Fig. 5-12는 광소자 픽업 컨트롤 장치의 사진을 나타낸 것이다. (a)는 컨트롤 박스의 외관이며 (b)는 내부 결선 모습이다.

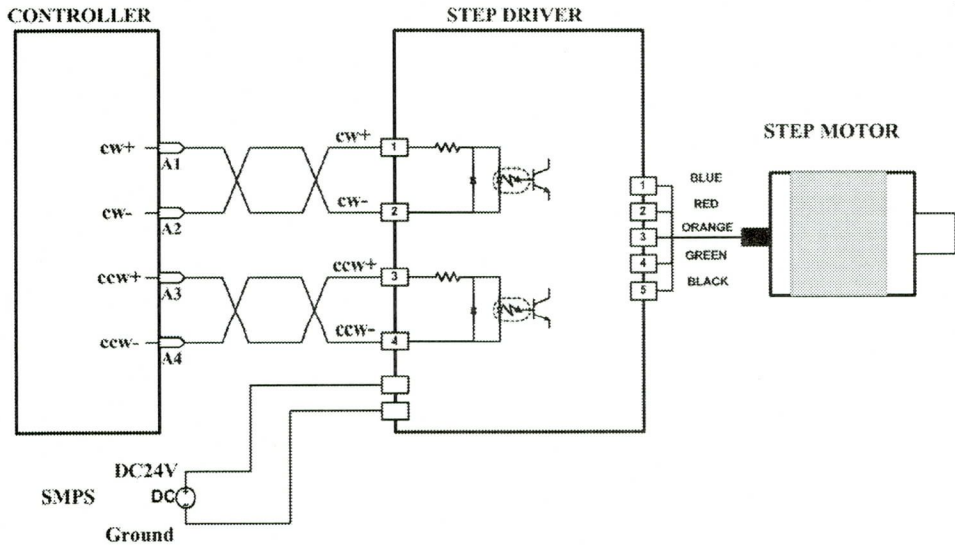


Fig. 5-9 Circuit of Motor

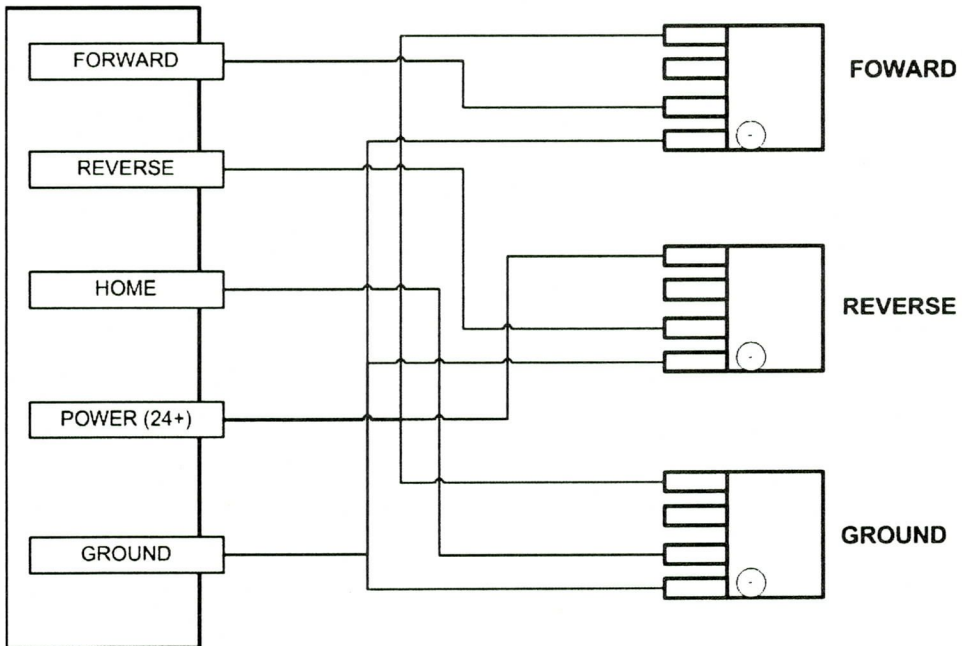


Fig. 5-10 Circuit of Limit Sensor, Home Signal and Terminal

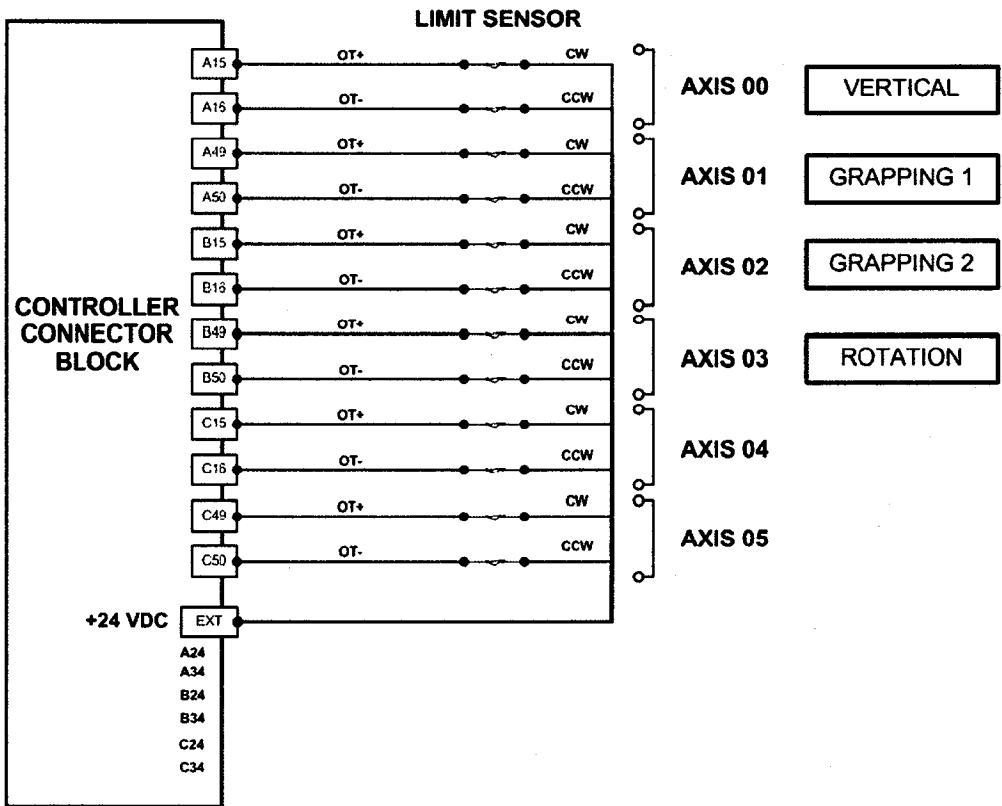
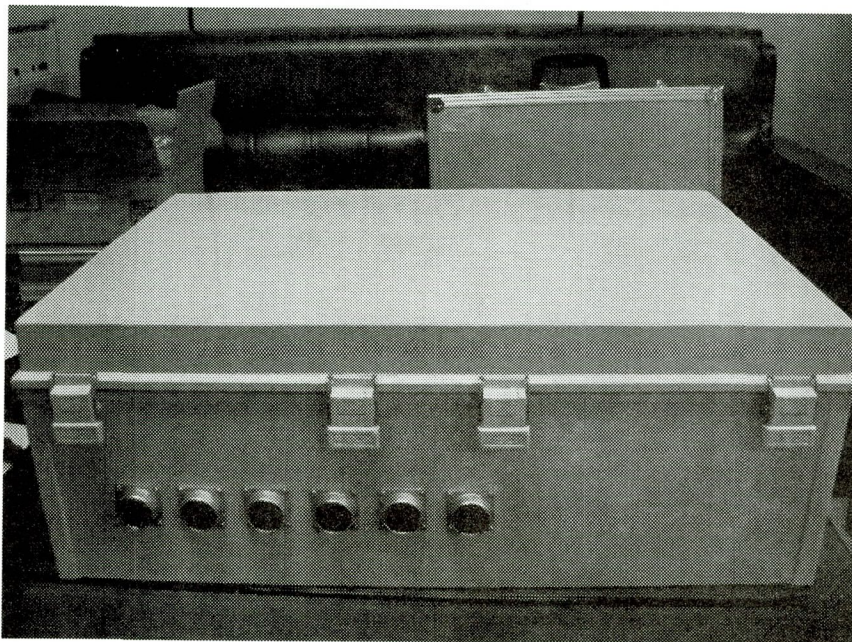
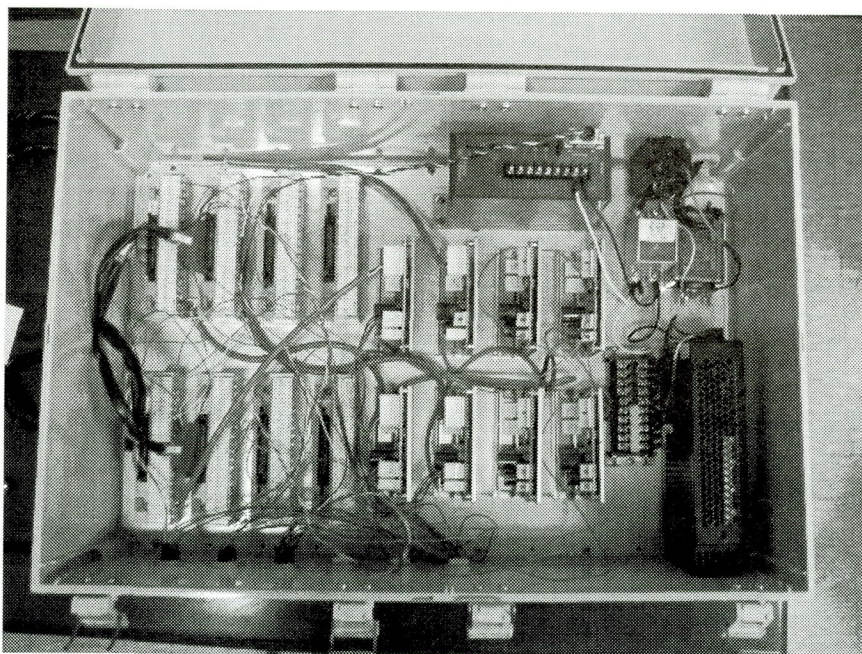


Fig. 5-11 Circuit of Limit Sensor and Controller



(a) Outfit



(b) Inner fit

Fig. 5-12 Control Box for Pickup System

제 6 장 결 론

본 연구에서는 광소자의 표면손상이나 반도체 디스크의 자기장에 의한 전자적 배열의 손상 등 기존의 이송 시스템의 단점을 보완하기 위해 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템을 개발하였다.

1. 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 개발하였다. 각기 다른 형상의 탄성빔을 제작하였으며 이를 가지고 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템에서 주파수에 변화를 주어 4종류의 광학 유리렌즈를 탄성빔 전체를 통과시키며 가장 빠른 속도로 이송시키기 위한 진행 주파수를 찾는 실험을 수행하였다. 그 결과 렌즈 1은 \triangle 형 탄성빔에서 주파수 26.9kHz를 주었을 때 가장 빠른 이송속도를 보였으며 렌즈 2는 \square 형 탄성빔에서 진행주파수 26.6kHz를 주었을 때 가장 빠른 이송속도를 보였다. 렌즈 3은 ∇ 형 탄성빔에서 진행주파수 26.9kHz를 주었을 때, 그리고 렌즈 4는 ∇ 형 탄성빔에서 진행주파수 26.9kHz를 주었을 때 최고 이송속도가 측정되었다. 3차원 레이저 진동 측정기를 사용하여 각 탄성빔에서 렌즈가 이송될 때와 렌즈의 이송이 이뤄지지 않을 때의 주파수에서 진동을 측정하였다. 렌즈의 이송이 이뤄졌을 경우에는 모든 탄성빔에서 일정한 크기의 파형이 반복적으로 생성되며 위상이 바르게 나타났다. 하지만 렌즈의 이송이 이뤄지지 않았을 때의 파형은 불규칙적이며 그 크기가 작음을 확인할 수 있었다. 그리고 위상이 흐트러지는 모습도 볼 수 있었다.

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 물체가 진행되지 않음을 규명하였다.

2. 초음파를 이용한 반도체 디스크 부상 이송 시스템을 개발 그 성능을 평가하였다. 탄성빔의 폭에 70mm, 50mm, 40mm로 변화를 주어 그에 따른 반도체 디스크의 특성을 파악하였다. 반도체 디스크를 탄성빔에 올려놓은 후 진동을 주었으며 반대로 탄성빔에

진동을 준 후 반도체 디스크를 올려놓았다. 두 경우 다 동일한 데이터를 보였으며 반도체 디스크는 70mm 탄성빔에서 14.3cm/s의 이송속도와 1.27mm의 부상높이를 보였으며 50mm 탄성빔에서 16.6cm/s의 이송속도와 1.83mm의 부상높이를 보였다. 그리고 40mm 탄성빔에서 반도체 디스크의 17.5cm/s의 이송속도와 2.10mm의 부상높이가 측정되었다.

3차원 레이저 진동 측정기를 사용하여 각 탄성빔에서 발생하는 진동을 측정하였다. 탄성빔에서 발생하는 진폭의 크기는 가로방향과 세로방향으로 나누어 각 부분의 진폭의 크기를 알 수 있었다. 70mm 탄성빔에서 가로방향 최대 최소변위 $\pm 1.39\mu\text{m}$ 와 세로방향 최대 최소변위 $\pm 1.09\mu\text{m}$ 의 진폭의 크기가 측정되었으며 50mm 탄성빔에서 가로방향 최대 최소변위 $\pm 4.39\mu\text{m}$ 와 세로방향 최대 최소변위 $\pm 3.72\mu\text{m}$ 의 진폭의 크기가 측정되었다. 그리고 40mm 탄성빔에서는 가로방향 최대 최소변위 $\pm 5.11\mu\text{m}$ 와 세로방향 최대 최소변위 $\pm 3.46\mu\text{m}$ 의 진폭이 발생함을 알 수 있었다.

실험을 통해 반도체 디스크는 구성된 시스템에서 부상과 동시에 이송이 이루어짐을 확인하였다. 구성된 시스템에서 탄성빔의 폭이 좁아짐에 따라 탄성빔에서 발생하는 진폭의 크기는 더욱 커졌으며 그에 따라 반도체 디스크는 더 빠른 이송속도와 높은 부상높이를 보임을 확인할 수 있었다.

3. 앞에서 개발된 광소자 이송 시스템을 통하여 전달받은 광소자를 다음 단계로 연결해 주는 광소자 자동 픽업 시스템을 개발하였다. Visual C++을 이용하여 시스템을 제어하기 위한 픽업장치 컨트롤 소프트웨어를 개발하였다. Adams를 이용한 시뮬레이션을 통하여 개발된 시스템의 동특성을 파악하였다. 광소자 자동 픽업 시스템을 구성하기 위하여 광소자를 픽업하기 위한 픽업 장치와 픽업 장치를 제어하기 위한 컨트롤 장치를 제작하였으며 개발된 광소자 자동 픽업 시스템은 초음파를 이용한 광소자 이송 시스템을 통하여 이송된 광소자의 불량 여부를 판별할 수 있도록 광소자 자동 픽업 시스템의 이송 유닛과 검사 유닛을 일체화하였다.

본 연구에서는 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템을 구성하기 위하여 각기 다른 세 가지의 시스템을 개발하였으며 그 성능을 평가하였다. 초음파를 이용한

시스템에서는 탄성빔의 형상 변화에 따른 이송특성 실험을 통해 탄성빔의 형태가 이송 특성에 가장 많은 영향을 미친다는 것을 규명하였다. 그리고 레이저 진동측정기를 이용하여 진동특성을 파악하였다. 연구를 통해 얻어진 데이터들은 각각의 응용분야에 따른 실제 산업현장에 적절히 적용될 수 있을 것이며, 더 뛰어난 성능의 이송 시스템의 설계 및 개발을 위한 정량적인 데이터를 얻을 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 초음파를 이용한 초정밀 부품 부상 이송 시스템은 실제 이송 공정에도 적용될 수 있으며, 특히 표면손상이 쉬운 광소자와 자기의 영향을 받는 반도체 소자의 이송에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. K. Nakamura, M. Kurosawa, H. Kurebayashi, and S. Ueha. "An Estimation of Load Characteristics of an Ultrasonic Motor by Measuring Transient Responses." IEEE Transactions on Ultrasonics. 38-5:481-485, 1991.
2. K. Nakamura, M. Kurosawa, and S. Ueha. "Characteristics of a Hybrid Transducer-Type Ultrasonic Motor." IEEE Transactions on Ultrasonics. 38-3:188-193, 1991.
3. M. Kuribayashi, S. Ueha, and E. Mori. "Excitation conditions of flexural traveling waves for a reversible ultrasonic linear motor." J. Acoust. Soc. Am. 77-4:1431-1435, 1985.
4. T. Sashida. *An Introduction to Ultrasonic Motors*, Oxford Univ. Press, 1994.
5. Y. Tomikawa, K. Adachi, H. Hirata, T. Suzuki, and T. Takano. "Excitation of progressive wave in a flexurally vibrating transmission medium." Proc. 10th Symp. Ultrason. Electron. 29-1:179-181, 1989.
6. M. Takasaki, N. Osakabe, M. K. Kurosawa, and T. Higuchi. "Miniaturization of surface acoustic wave linear motor." IEEE Ultrasonic Symposium. 1998.
7. J. Hu, K. Nakamura, S. Ueha. "An analysis of a noncontact ultrasonic motor with an ultrasonically levitated rotor." IEEE Ultrasonics. 35:459-467, 1997.
8. P. I. Ro, B. G. Loh. "Feasibility of using Ultrasonic Flexural Waves as a Cooling Mechanism." IEEE Transactions on Industrial Electronics. 48-1:143-150, 2001.
9. B. G. Loh, P. I. Ro. "Changing the Propagation Direction of Flexural Ultrasonic Progressive Waves by Modulating Excitation Frequency." Journal of Sound and Vibration. 238-1:171-178, 2000.
10. B. G. Loh, P. I. Ro. "An Object Transport System Using Flexural Ultrasonic Progressive Waves Generated by Two-Mode Excitation." IEEE Transactions on Ultrasonics. 47-4:994-999, 2000.
11. M. Kurosawa, S. Ueha. "High speed ultrasonic linear motor with high transmission efficiency." Ultrasonics. 27:39-44, 1989.

12. M. Kurosawa, K. Nakamura, T. Okamoto, and S. Ueha. "An Ultrasonic Motor Using Bending Vibrations of a Short Cylinder." *IEEE Transactions on Ultrasonics*. 36-5:517-521, 1989.
13. P. A. Juang and W. Brenner. "Vibration characteristics identification by experiment of a new disc-type ultrasonic stator." *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 12:598-603, 2002.
14. E. Matsuo, Y. Koike, K. Nakamura, S. Ueha, Y. Hashimoto. " Holding characteristics of planar objects suspended by near-field acoustic levitation. *IEEE. Ultrasonics*. 38:60-63, 2000.
15. V. Vandaele, P. Lambert, A. Delchambre. "Non-contact handling in microassembly : Acoustical levitation" *Precision Engineering*. 29:491-505. 2005.
16. S. Ueha, Y. Hashimoto, Y. Koike. "Non-contact transportation using near-field acoustic levitation." *IEEE. Ultrasonics*. 38:26-32, 2000.
17. S. Sherrit, B. P. Dlogin, Y. Bar-Cohen, "Modeling of Horns for Sonic/Ultrasonic Applications." *IEEE. Ultrasonics Symposium*. 1999.
18. S. Sherrit, S. A. Askins, M. Gradziol, B. P. Dolgin, X. B. Z. Chang, and Y. Bar-Cohen. "Novel Horn Design for Ultrasonic/Sonic Cleaning Welding, Soldering, Cutting and Drilling." *SPIE*. 4701-34:1-8. 2002.
19. T. Koyama, K. Takemura, T. Maeno. "Development of an Ultrasonic Clutch for Multi-Fingered Exoskeleton Haptic Device using Passive Force Feedback for Dexterous Teleoperation." *IEEE. RSJ. Intl. Conference*. pp. 2229-2234. 2003.
20. T. Ide, J. Friend, K. Nakamura, and S. Ueha. "A Non-contact Linear Bearing by Ultrasonic Levitation." *WCU. Paris*. 1577-1580. 2003.
21. T. Koyama, K. Takemura, T. Maeno. "Development of an Ultrasonic Clutch." *IEEE. Ultrasonic Symp*. 1141-1144. 2003.
22. K. T. Chang. "A novel ultrasonic clutch using near-field acoustic levitation." *IEEE. Ultrasonics*. 43:49-55. 2004.

23. W. C. Elmore. *Physics of Waves*, New York:McGraw-Hill, 1991, pp.5-13.
24. K. F. Graff. *Wave Motion in Elastic Solids*, New York:Dover Publication, pp.163, 167, 180-187.
25. S. S. Rao. *Mechanical Vibrations*, Reding, MA:Addison-Wesley, pp.527, 1995
26. S. H. Jeong, B. S. Shin. "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.
27. S. H. Jeong, H. U. Kim, K. R. Cha, S. B. Choi, S. Song. "A Study on the Dynamic Characteristics of Object Transport System using Ultrasonic Wave." KSPE. Vol.22. No.8. 2005.
28. S. H. Jeong, H. U. Kim, S. B. Choi, K. H. Kim, J. H. Park. "Flexural Beam Design of Ultrasonic Object Levitation Slide System." KSNVE Autumn Conference. pp.959-962. 2005.

감사의 글

많은 설렘을 가지고 대학원에 입학한 게 엇그제 같은데 벌써 졸업 논문 심사가 끝났습니다. 굳은 의지로 출발하였지만 도중에 많은 흔들림과 어려움도 있었습니다. 그때마다 저를 바른길로 인도해주신 많은 분들 덕분에 지금까지 올수 있었고 많은 것을 배우며 깨달음을 가지고 대학원 생활을 마치게 되었습니다. 그동안 제게 배워주신 그 분들께 지면으로나마 감사의 인사를 드리고자 합니다.

대학원 입학에서 실험실 적응하기까지 철없던 저를 항상 인자한 눈길로 따뜻하게 감싸 주시고 연구하는 자세부터 인생을 살아가는 자세까지 사랑의 말씀으로 지도 해주신 존경하는 정상화 지도교수님께 충심으로 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 시간을 내주셔서 논문을 심사해 주시고 지도와 조언을 아끼지 않으신 이규태 교수님과 장완식 교수님께 감사드립니다. 멀리 여수대학교의 김 훈 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 테크노센터 조교시절 따뜻하게 챙겨주신 정재강 교수님과 학부시절부터 예뻐해 주신 나기대 교수님께 감사드립니다.

졸업 후에도 항상 실험실 후배들을 아껴 주시는 류신호 박사님을 비롯한 여러 선배님들께 감사드립니다. 특히 실험실 후배들을 따뜻하게 챙겨주신 김상석 박사님께 졸업의 축하와 감사의 뜻을 전합니다. 항상 가족처럼 온정을 느끼게 해주시며 소중한 추억을 가지고 떠날 수 있게 해주신 시스템제어 실험실 식구들에게 감사의 말씀을 드립니다. 제가 지금까지 올 수 있도록 항상 다정다감하게 지도해 주시고 진정한 박사의 모습을 보여주시며 미국에서 연구하시는 차경래 박사님, 신이내린 발재간 김현욱 선배님, 특유의 섬세함으로 실험실 후배들을 챙겨주셨던 신병수 선배님, 포근한 마음으로 후배들을 안아주셨던 이경형 선배님, 응용역학 실험실의 김종태 박사님께 감사드립니다. 지난 2년 동안 많은 것을 함께하며 논문이 완성될 수 있도록 도와준 동기이자 소중한 인연인 두 친구에게도 졸업의 축하와 감사의 뜻을 전합니다. 코를 풀어가며 실험실 후배들에게 연구하는 모범이 될 김광호 선생님과 항상 유쾌한 실험실 분위기를 만들었던 박준호 선생님께 감사드립니다. 이제 대학원 생활을 시작하는 귀여운 판다곰 김주환, 수면 본능 신상문, 애정을 일본에 두고 온 이상희 후배님께도 감사의 말씀을 드립니다. 더불어 대학원 시절동안 저와 함께 했던 많은 선후배님들 덕구형, 상훈이, 민수, 한별이, 건일이, 상신이, 상륙이, 종수와 제어공학 실험실의 두 커피 중독자 관옹이와 동연이에게 감사의 뜻을 전합니다.

스무 해가 넘도록 어느 상황에서든 제 편에서 이해해주며 허물없는 두 친구 넓고 얇은 지식의 소유자 정선이와 어디로 될지 모르는 제3세계 귀염둥이 형수, 학부 때부터 지금까지 함께 즐거움과 괴로움을 함께한 두 친구 은근한 매력덩어리 성호와 전형적인 B형 인간 성록이에게 감사드립니다. 서울 올라갈 때마다 바쁜 척 하느라 못 뵈지만 항상 따뜻하게 챙겨주시는 얼큰이 브라더 정빈이형, 바쁜 와중에도 제 연구를 위해 시간을 쪼개어 도움을 준 전자공학도 경민이에게 진심으로 감사드립니다. 20여 년 동안 함께 스카우트 활동을 하며 봉사하고 즐거움을 나눌 수 있었던 제1대 효성스카우트 선후배 지도자분들과 사랑하는 우리 대원들에게 감사드립니다. 더불어 미국 캠프시절 함께 좋은 시간을 나누며 제가 이렇게 성숙할 수 있도록 도와준 Adam, Craig, Chris, Don, Ed, John, Stephen 등 이해심 많은 친구들에게 감사드립니다. 그리고 멀리서나마 챙겨주신 랫형님을 비롯한 땅콩마을 식구들에게도 감사를 드립니다.

어려울 때마다 저를 지켜주시며 의지할 곳이 되어주신 천국에 계신 외할머니와 꾀 이모님, 이국땅에서 조카를 위해 기도해주시는 덴마크 이모 이모부님, 언제나 저를 반겨주시는 부산 이모 이모부님께 감사의 말씀을 드립니다. 따뜻한 포근함을 느끼게 해주신 평화약국의 고모 고모부님, 저를 어른으로 탈피하게 해주시고 제 여드름과 약한 피부를 치료해주신 다나 피부과의 최봉석 원장님께도 감사의 인사를 드립니다. 언제나 좋은 길로 인도하고자 저를 챙겨주시고 좋은 말씀과 큰 도움을 주신 집안의 큰형 정희형님, 착하고 순수한 영구형, 민정이, 우영이 남매에게도 감사드립니다. 그리고 집안의 막내지만 피는 물보다 진하다는 걸 뜨거운 가슴으로 느끼게 해준 시카고의 재혁이에게도 감사의 뜻을 전합니다.

대학원 진학에서부터 졸업까지 많은 조언과 도움을 주시고 지금까지도 동생을 위해 항상 양보하고 챙겨주시며 머리가 좋다는 사람의 살아있는 표본이자 수학 과학 천재인 사랑하는 석환이형에게 감사의 인사를 드립니다.

마지막으로 지혜로운 마음으로 두 형제를 지금껏 영양 가득하게 잘 키워주시고 끝없는 이해와 후원을 아끼시지 않으시며 저의 철학과 인생의 나아갈 길을 바르게 만드는데 가장 큰 도움을 주심과 동시에 언제나 센스 만점이신 사랑하는 부모님께 이 작은 결실을 바칩니다.

2005년 마음 따뜻한 저울에
최 석 봉 드림