

원형 플레이트 형태에 따른 초음파 부상 장치의 진동특성에 관한 연구

정상화*, 최석봉+, 차경래+, 김현욱+, 김광호**, 박준호+

A Study on the Vibration Characteristics in Ultrasonic Levitation System according to the Circular Plate

SangHwa Jeong*, SukBong Choi+, KyoungRae Cha+, HyunUk Kim**, GwangHo Kim+, JuneHo Park+

Abstract

In the semiconductor and optical industry the non-contact transportation is required for reducing the damages. The ultrasonic levitation is the solution of the problem. In this paper, the ultrasonic levitation system and 3 disk-type stator for levitation various object are proposed. The vibration modes of disks are analyzed with FEM and designed with the analysis results. The 3D vibration profiles of the disks are measured by Laser scanning vibrometer for verifying the vibration characteristics of the system. The amplitudes of the disks and the levitation heights of object are measured for evaluating the performance.

Key Words : Ultrasonic Levitation, Vibration Characteristics, Ultrasonic Transducer, Mode Analysis, Laser Scanning Vibrometer

1. 서론

최근 들어 반도체 산업 및 정보통신 산업이 발달함에 따라 반도체 부품이나 광소자부품을 손상 없이 안전하게 이송하는 시스템이 요구되고 있고 이러한 요구에 따라 물체를 부상시켜 이송하는 방법이 제시되고 있다. 반도체의 경우 반도체 내부의 전자적 배열이 변하지 않아야 하며, 렌즈

의 경우 접촉력에 의한 표면 손상으로부터 안전해야 한다. 이러한 조건을 충족시킬 수 있는 이송 방법이 초음파를 이용하여 물체를 부상 시켜서 이송하는 방법이다. 초음파를 이용한 이송에 대한 연구는 80년대 말부터 일본을 중심으로 초음파 모터 개발에 관한 연구로 시작되었고 90년대 말부터는 두 개의 초음파 발생장치와 빔을 이용하여 물체를 이송하는 방법이 Paul I. Ro에 의해 제시되었다.^{4,5}

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

+ 조선대 기계공학과
++ 조선대 광응용공학과

본 연구에서는 초음파를 이용하여 물체를 무접촉으로 이송하기 위한 초음파 부상 시스템을 개발하였다. 부상하고자 하는 물체에 따라 발생하는 파형이 달라야 하므로 세가지 원형 플레이트를 고안하고 진동 모드 특성을 해석하였다. 해석에 의해 얻은 데이터를 토대로 원형 플레이트를 설계하였다. 개발된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 3차원 레이저 진동 측정장치를 이용하여 플레이트 표면의 진동을 측정하였고 플레이트 중심부의 진폭은 정전용량형 센서를 이용하여 측정하였다. 또한 플레이트 형별로 부상특성을 실험하기 위해 물체의 부상된 변위를 레이저 변위센서를 이용하여 측정하였다.

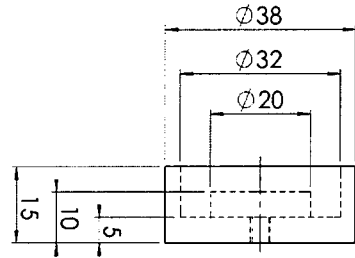


Fig. 1. Circular Plate

2. 유한요소 해석을 이용한 플레이트 진동해석

부상시키고자 하는 물체에 따라 파형이 달라야 하므로 본 연구에서는 세가지 원형 플레이트를 고안하고 진동 모드 해석을 하였다. 진동 모드 해석을 통해 초음파 발생장치와 같은 공진주파수를 설정하였고 그 주파수에서의 진동모드 형태를 파악할 수 있었다.

플레이트의 재질은 두랄루민이고 진동 해석을 위한 구속 조건은 볼트탭 위치에서 고정하고 윗부분의 원판에서 원판과 법선 방향으로 2,000N을 입력하였다. Fig. 1은 고안된 플레이트의 형상이다. 플레이트 형태는 내경과 외경의 길이 그리고 플레이트의 두께를 변화시켰다. Table 1에서 보는 것처럼 유한요소 해석 결과 플레이트 1은 12차 모드에서 27.885 kHz, 플레이트 2는 12차 모드에서 26.878 kHz, 그리고 플레이트 3는 10차 모드에서 26.946 kHz로 초음파 발생장치와 가장 근접한 주파수를 나타냈다. Fig. 2는 유한요소 해석한 결과로서 플레이트 3의 모드형태를 나타낸 그림이다.

Table 1 Mode in 28 kHz

	Plate 1	Plate 2	Plate 3
Mode	12	12	10
Frequency	27.885kHz	26.878kHz	26.946kHz

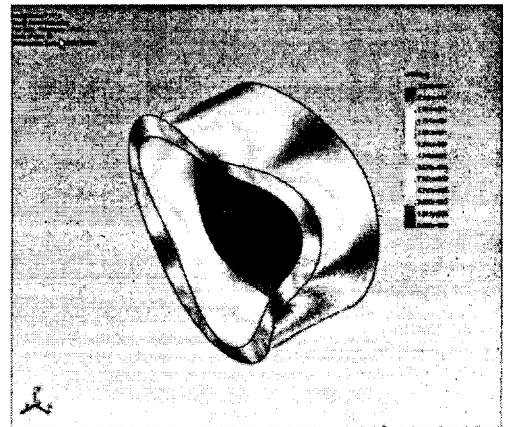


Fig. 2. Frequency Analysis of Plate 3

3. 플레이트의 진동 측정

3.1 3차원 레이저 진동측정기를 이용한 진동 측정

제작된 원형 플레이트 표면에서 발생하는 진동 형태를 측정하기 위해 3차원 레이저 진동측정기를 사용하였다. 실험 장치의 구성도는 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 것처럼 초음파 발생장치에 원형 플레이트를 장착하였고, 입력은 함수발생기에서 공진 주파수를 중심으로 0.1 kHz씩 변화시켰다. 부상이 시작되는 시점에서 물체에 진동을 전달하는 부분인 내부 원형판의 진동을 레이저 진동측정기를 이용하여 측정하였다. Fig. 4는 레이저 진동측정기를 이용하여 플레이트의 진동 전달부를 측정한 것을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 원판을 4개의 직선으로 분할하였고 분할 선상의 진동 특성을 플레이트 형태별로 5개의 주파수대별로 측정하였다.

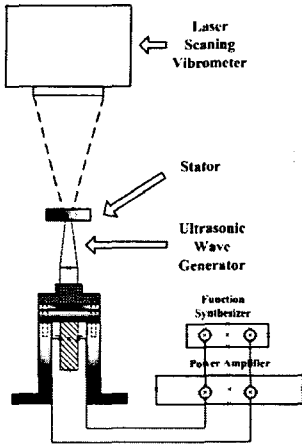


Fig. 3. Experimental Apparatus for Ultrasonic Levitation

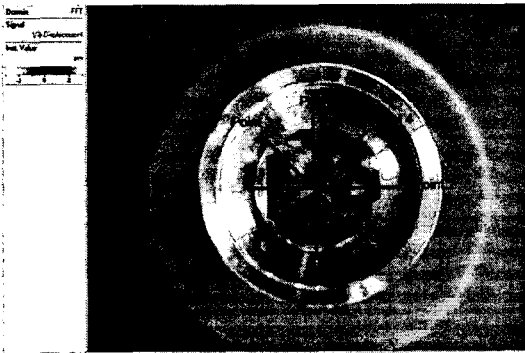


Fig. 4. Measurement of Circular Plate using Laser Scanning Vibrometer

3.2 측정결과

3차원 레이저 진동 측정기로 플레이트 진동 전달부인 내부 원판을 측정된 결과 Plate 1의 경우 28.9 kHz에서 최대변위가 검출되었고 Plate 2의 경우 27.8 kHz에서 Plate 3의 경우는 29.2 kHz에서 최대 진폭이 검출되었다.

3.2-1 플레이트 1의 진동특성

플레이트 1의 진동특성을 측정하기 위해 28 kHz를 중심으로 0.1 kHz씩 증가, 감소시키면서 물체의 부상여부를 관찰하였다. 부상이 되는 시점은 28.7 kHz이고 28.9 kHz에서 가장 많은 부상을 보였으며 다시 주파수가 증가할수록 물체의 부

상 높이가 감소되었다.

Fig. 5는 부상이 시작된 시점에서부터 주파수를 0.1 kHz 단위로 변화시켰을 때 측정된 플레이트 내부 원판의 진폭 변화를 나타낸 것이다. 최대 진폭은 28.9 kHz에서 $4.5\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Fig. 6은 최대 진폭을 나타낸 28.9 kHz에서 Fig. 4와 같이 4분할된 선상에서의 진폭변위를 나타낸 것이다. Fig. 6의 (a)는 최고점을 나타낸 것이고 (b)는 최소점일 때의 변위를 나타낸 것이다. 그때의 최대 변위는 $4.5\mu\text{m}$ 그리고 $-4.5\mu\text{m}$ 이다. 결과에서 보는 것처럼 원판 영역 전체에서 진폭이 상승하고 감소하는 것을 볼 수 있고 최고 변위도 대칭적으로 나타남을 알 수 있다.

3.2-2 플레이트 2의 진동특성

Plate 2에서는 27.8 kHz에서 가장 높은 부상을 나타냈다. 레이저 진동측정기로 측정된 결과 27.8 kHz에서 가장 큰 변위 $\pm 6\mu\text{m}$ 가 측정되었다. Fig. 7은 부상이 시작되는 27.6 kHz에서 부상이 확인되지 않는 28 kHz까지의 진폭 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 8은 최대 진폭을 나타낸 27.8 kHz에서의 분할 영역별 진폭을 나타낸 것이다. (a)에서는 최고진폭이 $5.95\mu\text{m}$ 그리고 (b)에서는 최저진폭이 $-5.84\mu\text{m}$ 임을 나타내고 있다.

3.2-3 플레이트 3의 진동특성

Fig. 9는 Plate 3의 진폭변화를 나타낸 그래프이다. 결과에서 보는 것처럼 가장 큰 변위는 29.2kHz에서 시작되었다. Fig. 10은 가장 큰 변위가 나타난 28.8kHz에서의 각 분할구간별 진폭의 형태를 나타낸 것으로 약 $\pm 2.34\mu\text{m}$ 의 변위를 나타냄을 알 수 있다.

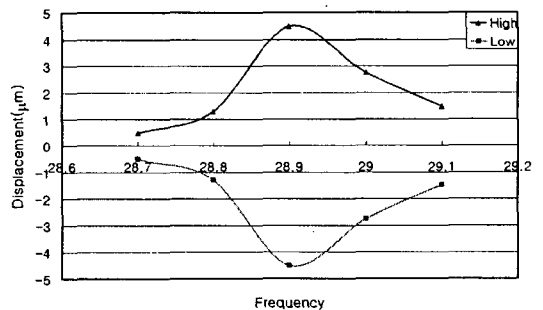
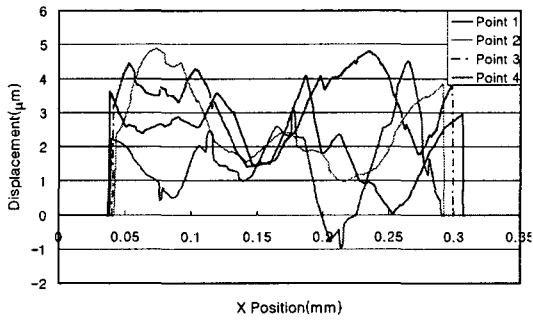
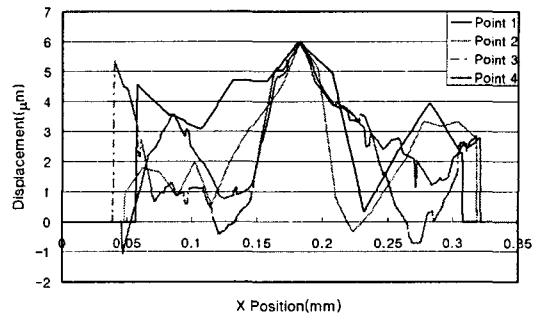


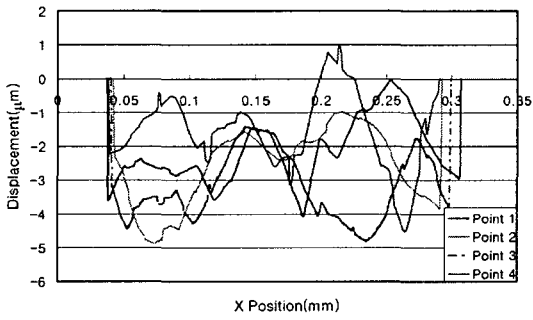
Fig. 5. Change of Bandwidth according to Frequency in Plate 1



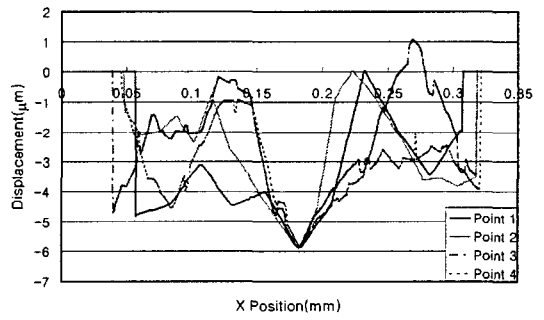
(a) Maximum Amplitude



(a) Maximum Amplitude



(b) Minimum Amplitude



(b) Minimum Amplitude

Fig.6 Vibration Characteristics of Plate 1 in 29.0kHz

Fig. 8 Vibration Characteristics of Plate 1 in 27.8kHz

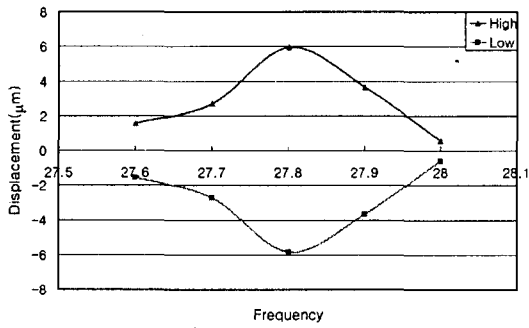


Fig. 7. Change of Bandwidth according to Frequency in Plate2

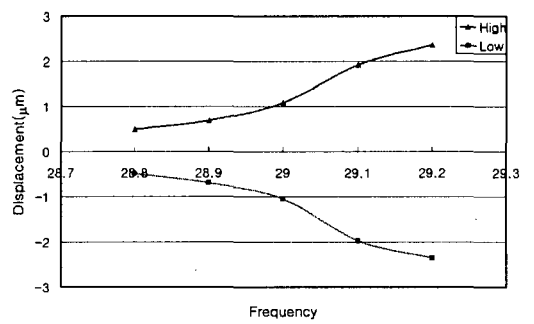
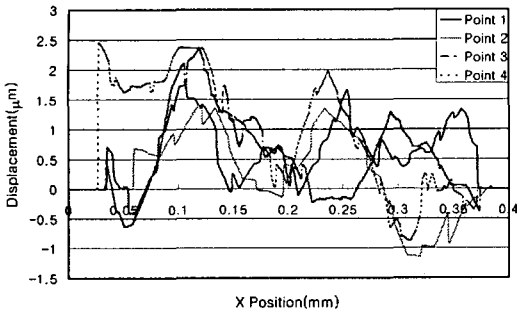
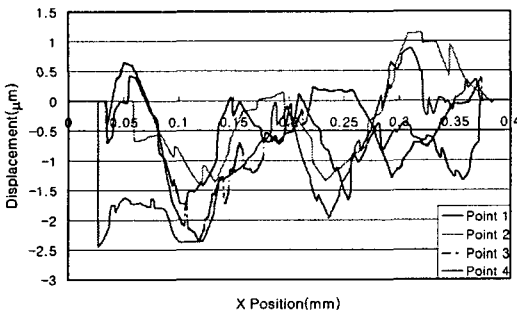


Fig. 9. Change of Bandwidth according to Frequency in Plate3



(a) Maximum Amplitude

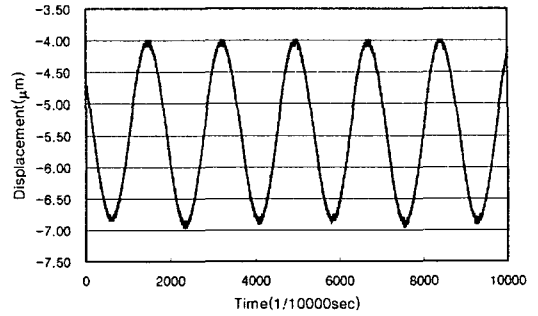


(b) Minimum Amplitude

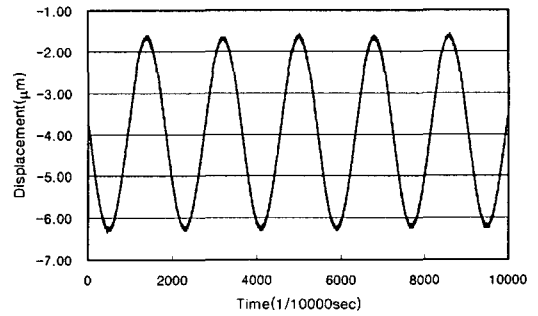
Fig. 10 Vibration Characteristics of Plate 1 in 29.2kHz

4. 정전용량형 센서에 의한 플레이트 진폭측정

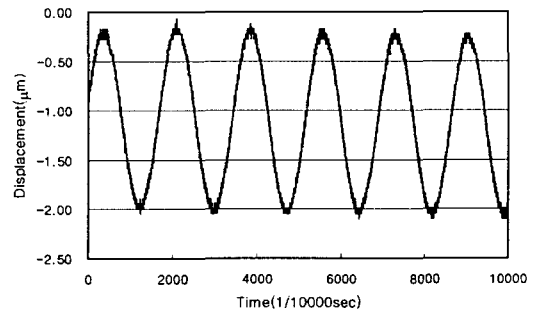
초음파가 발생될 때 플레이트의 진동 및 주기를 측정하기 위해 정전용량형 변위 센서를 사용하였다. 측정위치는 플레이트 내부원판의 중심이다. Fig. 11(a)는 플레이트 1의 측정결과를 나타낸 것이다. 발생변위는 28.8 kHz에서 $2.96\mu\text{m}$ 로 최대로 나타났다. Fig. 11(b)는 플레이트 2 중심부의 진동형태를 나타낸 것이다. 27.8 kHz에서 최대값 $4.8\mu\text{m}$ 를 나타냈다. Fig. 11(c)는 플레이트 3의 진동형태를 나타낸 것으로 28.8 kHz에서 $2.03\mu\text{m}$ 를 나타냈다.



(a) Plate 1



(b) Plate 2



(c) Plate 3

Fig. 11 Vibration in Center of Plate

5. 부상 높이 측정

초음파로 물체가 부상될 때 플레이트 형태별로 최대 부상 높이를 측정하였다. 측정센서는 레이저 변위센서를 이용하였다. 사용된 물체는 0.25g의 알루미늄 원판이다. Plate 2에서 4mm로 가장 큰 부상높이를 나타냈으며 Plate 1에서 2.5mm, Plate 3에서 1.5mm로 측정되었다.

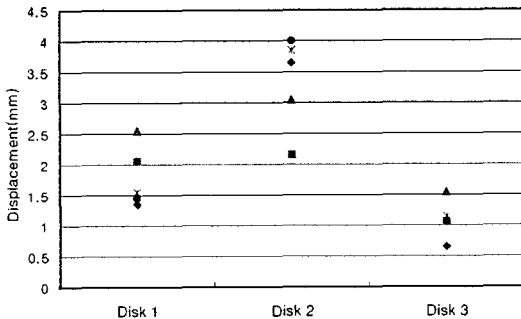


Fig. 12. Levitation Heights according to the Circular Plate

6. 결론

본 연구에서는 반도체 소자나 광소자의 무접촉 이송에 이용하고자 초음파 부상 장치에 대해 연구하였다. 초음파 발생 장치의 초음파를 집중시켜 이송 물체를 부상시키는 원형 플레이트를 고안하였고 유한요소해석을 통해 진동 모드를 파악하였다. 유한요소해석 결과를 토대로 부상물체에 따라 발생 파형이 달라야 하므로 세가지 형태의 원형 플레이트를 설계하였다. 물체가 부상될 때 진동 특성을 평가하고자 원형 플레이트 표면의 진동형태를 3차원 레이저 진동측정기를 사용하여 측정하였다. 측정결과 플레이트 1에서는 28.9 kHz에서 최대 진폭을 나타냈으며 플레이트 2에서는 27.8 kHz, 그리고 플레이트 3에서는 29.2 kHz에서 가장 큰 진폭을 나타냈다. 그리고 플레이트 내부 원판의 진동 프로파일을 파악할 수 있었다. 플레이트의 중심부 변위는 정전용량형 센서를 이용하여 측정하였다. 측정결과 중심부의 변위의 최대값은 플레이트 1의 경우 $2.96\mu\text{m}$, 플레이트 2의 경우 $4.8\mu\text{m}$ 그리고 플레이트 3의 경우 $2.03\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 물체 부상높이는 레이저 변위센서를 이용하여 측정되었는데 플레이트 2에서 가장 높은 부상높이 4mm를 보였고 플레이트 1에서

2.5mm, 플레이트 3에서 1.5mm의 부상높이를 나타냈다. 이로서 부상높이는 발생하는 진폭의 크기와 비례함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음

참 고 문 헌

- (1) S. H. Jeong., B. S. Shin., 2003, A Study on the Relationship between Flexural Beam Shape and Transport Characteristics for the Ultrasonic Transport System, Proc. KSMTE Autumn Conference, pp. 25-29
- (2) S. H. Jeong., T. H. Kim., B. S. Shin., and K. R. Cha., 2003, A Study on Object Transport System using 2-Mode Ultrasonic Wave, Proc. KSPE Spring Conference, pp. 1170-1173
- (3) E. Matsuo., Y. Koike., K. Nakamura., S. Ueha., Y. Hashimoto., 2000, Holding characteristics of planar objects suspended by near-field acoustic levitation, Ultrasonics 38, pp. 60-63
- (4) B. G. Loh., and P. I. Ro., 2000. Changing The Propagation Direction Of Flexural Ultrasonic Progressive Waves By Modulating Excitation Frequency, Journal of Sound and Vibration, 238(1), pp. 171-178
- (5) Byung-Gook Loh., and Paul I. Ro., 2000, An Object Transport System Using Flexural Ultrasonic Progressive Waves Generated Two-Mode Excitation, IEEE Transactions On Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 47, pp. 994-999