

플립칩 접합용 초음파 혼의 진동 해석 및 설계

Vibration Analysis and Design of Ultrasonic Horn for Flip-Chip Bonding

*하창용¹, 김일광¹, #이수일¹

*C. Y. Ha¹, I. K. Kim¹, #S. I. Lee(leesooil@uos.ac.kr)¹

¹ 서울시립대학교 기계정보공학과

Key words : Ultrasonic Horn, vibration, bonding

1. 서론

IT산업의 발전은 최근 반도체의 크기와 무게를 더욱 작고 가벼워지는 방향으로 이끌고 있다. 특히 크기와 무게가 작은 패키지를 요구하는 휴대용 멀티미디어 기기 및 통신기기 시장이 급속히 확장됨에 따라 고집적의 새로운 반도체 패키지 기술의 수요가 늘어날 것을 알리고 있다. 이러한 패키지 시장에서는 최근 플립칩 접합 등의 초소형 반도체 접합에 있어 초음파 접합 공정이 점차적으로 확산되고 있다.

열초음파(Theromosonic) 접합은 열에너지와 초음파 진동 에너지를 동시에 가하여 접합을 하는 방식으로 기존의 열압착(Theromocompression) 접합 방식 등에 비하여 접합 온도, 접합 시간 등을 큰 폭으로 줄일 수 있어 많은 관심을 받고 있는 접합 방식이다.

이러한 열초음파 접합 공정에서 전기적인 에너지를 피에조 액추에이터를 이용하여 기계적 에너지로 바꾸는 장치인 초음파 혼(Ultrasonic Horn)에 관한 연구가 국내·외에서 활발하게 진행되고 있다. 플립칩 접합용 초음파 혼은 이용하는 진동방향에 따라 크게 종방향(longitudinal direction)과 횡방향(transverse direction) 타입으로 나눌 수 있다.[2] 각각 이용방향에 따라 접합력 또는 안정성 면에서 장단이 존재하는 것이 알려져 있으며[1] 각 타입의 거동에 대한 실험 및 해석에 대한 연구가 여러 방향으로 진행 중이다.[3~4] 초음파 혼의 설계에 있어서도 여러 가지 방법론이 제시되어져 있다. 최근 가장 많이 사용되어지고 있는 방법은 이론적인 계산을 통해 초음파 혼의 길이 등의 개략적인 값을 얻은 후, FEM 해석을 통해 전체 형상을 결정하는 방법으로[5] 이번 연구에서도 이와 같은 방법으로 초음파 혼 설계를 수행하였다.

본 논문에서는 60kHz 부근의 공진주파수를 가지며 3/4파장의 진동모드를 이용하는 플립칩 접합용 초음파 혼을 설계 및 제작하여 그 성능을 평가하고자 한다. 일반적인 이론식을 통해 혼의 개략적인 제원을 파악한 후 ANSYS를 이용한 FEM 해석을 통해 설계를 완성한다. 또 초음파 혼의 고정단의 경계조건에 있어 기존과는 다른 방식으로 접근하여 다양한 방식의 초음파 혼 설계가 가능함을 보이고자 한다.

2. 초음파 혼의 설계 및 제작

이번 연구에서는 60kHz 부근의 고유진동수를 가지며 3/4파장의 진동모드를 이용한 플립칩 접합용 초음파 혼을 설계 및 제작하였으며 그 형상은 Fig. 1 과 같다. 일반적인 플립칩 접합용 초음파 혼의 경우 진공압을 통해 칩을 혼에 고정시키기 위한 구멍 및 접합 시 열원(Heater)를 부착시키기 위한 구멍 등이 뚫려있으나 이러한 형상들이 전체 고유주파수를 크게 변동시키지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 진공압 및 열원을 위한 구멍을 고려하지 않고 설계를 진행하였다.

길이방향 진동 모드를 이용하는 초음파 혼의 일반적인 길이 결정식은 다음과 같다.

$$l = \frac{c}{f} \tag{1}$$

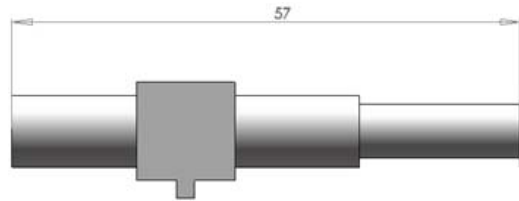


Fig. 1 Ultrasonic horn model

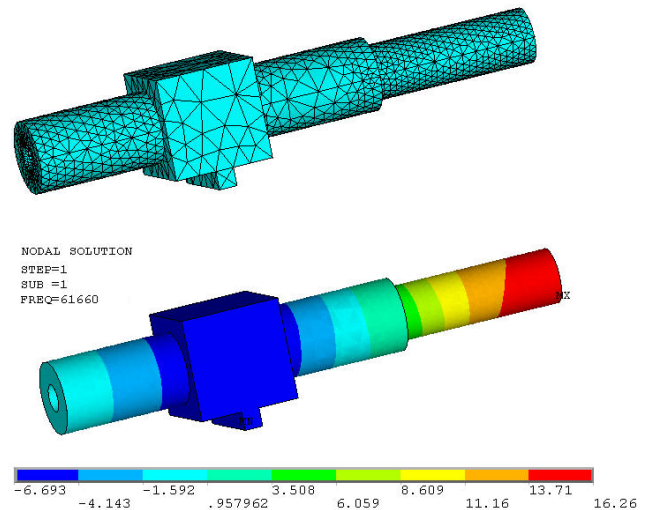


Fig. 2 FEM model and longitudinal mode

위의 식에서 f 는 혼의 고유진동수, c 는 초음파 혼 매질 내의 음속을 나타내며 음속은 또한 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{2}$$

여기서 E 는 초음파 혼 매질의 탄성 계수(modulus of elasticity), ρ 는 밀도를 나타낸다. 본 연구에서 설계하는 초음파 혼의 재질은 SUS440C 이며 그 물성치는 Table 1에 나타내었다. Table 1의 물성치 및 위의 식들을 이용하여 대략적인 초음파 혼의 길이를 결정할 수 있었으며, 그 값을 설계 시에 참고하였다.

전파장을 이용하는 일반적인 플립칩 접합용 초음파 혼의 경우 진동모드에서 생기는 2개의 노드점(nodal point)에 구멍을 뚫어 볼트 등을 조임으로서 혼을 고정한다. 그러나 이와 같이 혼을 고정할 경우 고정단의 위치가 어긋나면 혼의 성능을 저하시킬 우려가 있다. 이번 연구에서는 Fig. 3에서 보듯이 혼의 오른쪽 고정단을 끼워맞춤을 통해 고정함으로써, 기존의 문제점을 해결 하였다. 또한 혼의 왼쪽 고정단에서 왼쪽 부분을 잘라냄으로써 3/4파장을 형성하도록 하였으며, 왼쪽 고정단은 외부 holder와의 볼트 체결로 완전 고정 상태의 경계조건을 형성하였다.

또한 이번 연구에서는 기존의 초음파 혼과는 다르게 단면이 변하는 부분을 두고 혼을 설계하였다. 오른쪽 고정단의 끼워맞춤 된 부분에서는 혼의 오른쪽 부분의 단면 원의 지름을 줄여 피에조

Table 1 Material Properties of SUS440C

	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)
SUS440C	200	0.30	7800

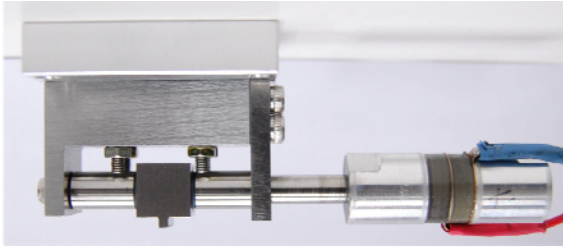
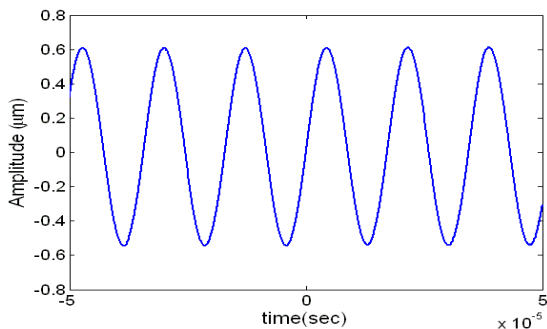


Fig. 3 Ultrasonic Horn

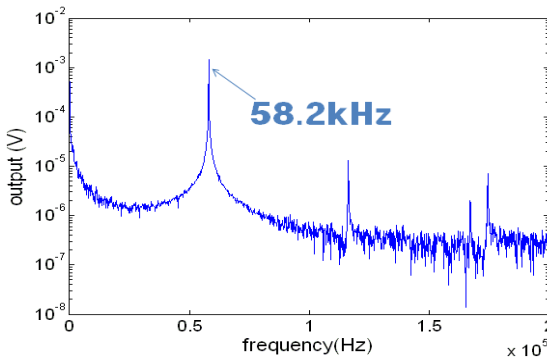
액츄에이터로부터 전달되는 에너지의 집중효과를 생성하였다. 혼의 접합부 부분은 좌우의 단면의 원과는 다르게 사각형의 단면을 가지고 있으며 그 단면적 또한 좌우의 원의 단면적보다 크다. 이는 혼의 접합부의 질량을 높여 진동 시에 상하 불균형이 적은 안정적인 혼의 움직임을 가질 수 있게 한다.

결정된 길이와 재질, 형상 등을 토대로 FEM 모델을 만들었으며 ANSYS를 사용하여 이를 해석하였다. FEM 모델의 element는 SOLID45를 사용하였다. FEM 모델 및 해석 결과는 Fig. 2와 같다.

ANSYS 해석 결과 횡방향 진동모드를 가지는 고유진동수는 61.660Hz 인 것으로 나타났다. 실제 혼 제작 시에 피에조 액츄에이터 및 외부 holder 와의 결합 등으로 고유진동수가 약간 떨어지는 경향이 있다. 이번 해석 모델을 제작 결과 고유진동수가 감소하여 58kHz 근방에서 길이방향 진동 모드를 가지는 것을 관찰할 수 있었다. 제작 모델은 Fig. 3 과 같다.



(a) Time signal



(b) Frequency spectrum

Fig. 4 Time signal & Frequency spectrum

3. 초음파 혼의 성능 실험

실제 제작된 초음파 혼 모델의 성능 실험을 실시하였다. 초음파 혼 모델의 성능은 Laser vibrometer(Graphtec AT3700) 을 통하여 종진동 모드 생성 확인 및 진동 변위 측정으로 평가하였다.

Laser vibrometer를 이용하여 측정한 데이터를 처리하여 시간 신호 및 FFT 에 대한 그래프를 얻었다. 그래프는 Fig. 4와 같으며 각각의 그래프를 통해 안정적인 모드가 생성됨은 물론 설계 목표대로 60kHz 근방에서 공진주파수가 발생함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 60kHz 대의 공진주파수를 가지며 3/4 파장의 진동 모드를 이용하는 플립칩 접합용 초음파 혼을 설계 및 제작하였다. 실제 제작된 초음파 혼의 진동 특성을 테스트하여 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

(1) FEM 모델에서 얻을 수 있는 공진주파수와 실제 제작된 초음파 혼의 공진주파수는 약 5% 의 오차를 보였으며 경계조건에 따라 해석과 실험에 차이가 있을 수 있다.

(2) 기존의 초음파 혼과는 달리 3/4 파장 모드를 이용한 초음파 혼도 안정적인 진동모드를 생성한다. 또한 각각의 nodal point에 적용한 경계조건은 볼트 고정 등의 기존의 방법과 다른 형식으로도 초음파 혼의 지지가 가능함을 보여, 다양한 형식의 초음파 혼 설계가 가능함을 보였다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10890)의 지원으로 이루어 졌음.

참고문헌

1. Tan, Q., Zhang, W., Schaible, B., Ju, T. H., and Y. C., "Theromosonic Flip-Chip Bonding Using Longitudinal Ultrasonic Vibration," IEEE Trans-CMPT-B, Vol. 21, No.1, 53-58, February 1998.
2. Li. H. L., Chan. L. W. and Liu. C. K., "Comparison of Bonding Defects for Longitudinal and Transverse Theromosonic Flip-chip," IEEE Electronic packaging Technology Conference, 350-355, 2003
3. Lee. S. I., Hong. S. H., "Ninlinear Vibration Analysis of Ultrasonic Horn Model for Flip-Chip Bonding," IEEE Proceeding on ICCAS, 2804-2807, 2007
4. 김일광, 홍상혁, 이수일, "플립칩 접합용 초음파 혼의 진동해석," 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집,363-367,2008
5. 이봉구, 김광래, 김강은, "유한요소법을 이용한 초음파 진동 공구혼 설계에 관한 연구," 한국공작기계학회논문집,Vol.17., 63-70, 2008