

플립칩 접합용 초음파 혼의 진동해석

Vibration Analysis of Ultrasonic Horn for Flip-Chip Bonding

김일광* · 홍상혁** · 이수일†

Il Kwang Kim, Sang Hyuk Hong and Soo Il Lee

Key Words : Ultrasonic Horn (초음파혼), Finite Element (유한요소), Vibration Analysis (진동해석).

ABSTRACT

Finite element model and the basic experimental method have been developed to help the design of the transverse ultrasonic horn for flip-chip bonding. With two types of design the horn performance and ultrasonic characteristics are verified by using laser vibrometer. These analysis and experiment results can be the fundamental data for ultrasonic horn design considering the vibration modes and performance.

1. 서 론

최근 플립칩(Flip-chip)을 포함한 초소형 전자 소자의 접합을 위해 초음파 접합(ultrasonic bonding) 공정이 널리 쓰이고 있다. 특히 부품 고 효율화, 장치의 소형화 등과 맞물려 정밀한 접합 공정의 중요성은 매우 중요한 화두가 되고 있다. 그러나 최근까지 플립칩의 초음파 접합과 관련한 연구결과들[1-2]은 대체로 실험 또는 공정 조건에 따른 접합 특성을 위주로 하는 것으로, 초음파 접합의 기본 거동이나 초음파 혼의 진동특성의 면밀한 분석을 통한 설계기술과 관련한 것은 여러 가지 이유로 발표가 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 플립칩 접합에 사용되는 초음파 혼을 효과적으로 분석하기 위하여 유한요소 해석 모델을 수립하고, 기본적인 진동특성 해석을 통하여 설계 안을 확정하여 기본 진동 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 또 이전의 이론적인 해석결과[3]와 더불어 실제적인 횡방향 해석의 설계에 적용이 가능한 수준으로까지 발전된 내용을 담고 있다.

2. 반파장 기본 초음파 혼 모델링

수평형 초음파 접합 시스템에 이용되는 횡방향

혼(transverse horn)의 형상은 일반적으로 Fig.1과 같다. 이러한 형태의 혼은 종방향(longitudinal direction) 피에조 가진기의 진동에너지를 진동모드에 따라 혼 끝단의 콜릿(collet)에 전달하여 칩(chip)과 범프(bump)를 기판(substrate)에 접합하게 된다. 횡방향 혼의 진동 모드는 최소한 혼 길이 L 을 반파장(half wavelength)으로 하는 cosine 함수의 모드를 가져야 하며 가진부와 출력부에서 최대의 진폭이 되어야 한다. 실제 이러한 진동 모드가 제대로 형성되는지 유한 요소 해석을 통하여 검증하였다.

Fig.2 는 콜릿을 가지는 횡방향 혼의 ANSYS 해석 결과이다. 모델에 적용한 수치와 파라미터는 Table1 에서와 같다. 혼의 길이 L 을 반파장으로 하는 cosine 모드에 대한 고유진동수는 43.6 kHz 이며 가진부에 대한 콜릿의 모달변위비(출력/입력)은 약 7.02 로 나타났다.

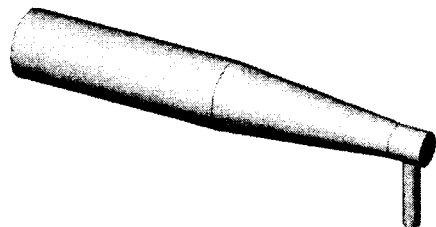


Fig. 1 Transverse type horn with collet

† 교신저자; 서울시립대학교 기계정보공학과
E-mail : leesooil@uos.ac.kr
Tel : (02) 2210-5667

.. 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과
.. 서울대학교 대학원 기계항공공학부

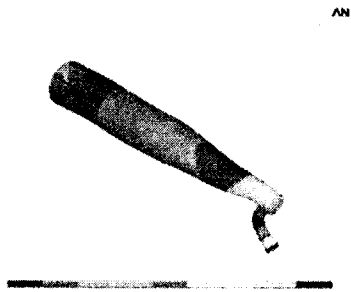


Fig. 2 Horn vibration mode (ANSYS result)

Table 1. Model Parameters

Description	Transverse type horn
Length (mm) L	124
Diameter (driving end)(mm)	20
Diameter (working end)(mm)	10
Collet length (mm)	25
Young's modulus (GPa)	117
Mass density (kg/m ³)	4430
Poisson's ratio	0.34

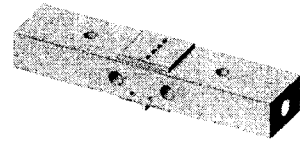
3. 전파장 초음파 혼 설계 및 진동모드 해석

2 절에서 모델링한 일반적인 횡방향 혼의 경우에 플립칩 접합의 경우 칩의 정밀한 얼라인먼트 등에 어려움이 많아, 전파장(full wavelength) 양 단지지로 대칭형을 이루며 사각형 단면형을 고려하게 되었다. 이러한 타입은 현재 일본 ESB 사 (www.esb-inc.jp)에서 주문에 의해 생산하는데 본 연구에서는 이에 대한 혼의 형상변경 및 자체 제작 피에조액추에이터의 특성을 비교 검토하였다.

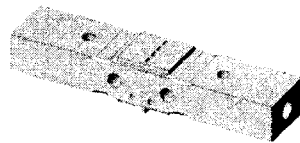
전파장 초음파 혼의 경우 칩은 혼 하단 중앙의 돌기된 부분에 진공압으로 고정되며 혼의 종진동을 이용하여 접합에너지를 공급받게 된다. 본 연구에서는 우선 Fig.3(a)의 UOS#1 을 기본 모델로 모델링한 후, Fig.3(b)와 혼의 위와 아랫면에 필렛을 주어 깎아낸 UOS#2 혼을 모델링 하였다. 또한 피에조 액추에이터를 포함한 Final 혼까지 모델링하였다.(Fig.3(c)) 전체 시스템에서 혼과 부스터 및 피에조 가진기는 각각 탭 볼트로 체결하는 형태이다.

다음으로 혼 모델을 ANSYS 를 이용하여 유한 요소 해석을 진행하였다. Fig.4 는 Final 혼의 결합된 각각의 요소를 나타내며, 각 요소의 물성치는 Table 2, 길이는 Table 3 에 나타낸 것과 같다. 각 모델을 자유단으로 진동 모드 해석을 한 결과 고유진동수는 UOS#1 경우 41.803kHz, UOS#2 경우 41.440kHz 로 혼 길이가 동일하더라도 단면적

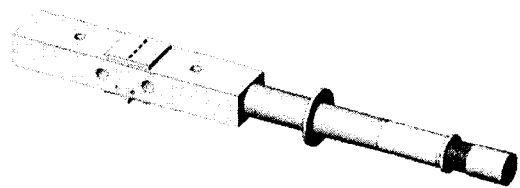
변화가 고유진동수 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 또 가진단 쪽의 단위 입력에 대한 출력단 쪽에서의 모달 변위비(출력/입력)를 환산하면 UOS#1 은 1.03, UOS#2 는 0.95 이다. 가진부까지 포함한 Final 혼의 경우 40.584kHz 의 고유진동수를 갖는다.



(a) UOS#1



(b) UOS#2



(c) Final horn with UOS#1

Fig. 3 Horn modeling

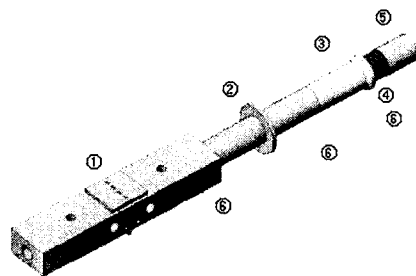


Fig. 4 Materials No.

Table 2
Materials properties

	No.	Materials	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Density (kg/m ³)
Horn	①	SUS440C	205	0.30	7750
Booster	②	Titanium	105	0.33	4940
	③	Duralumin	72	0.33	2800
Actuator	④	PZT502	71	0.31	7700
	⑤	SUS316	193	0.30	8000
Bolt	⑥	Steel	200	0.33	7850

Table 3

X-direction dimensions

	Dimensions (mm)
Horn	115
Booster + Actuator	132

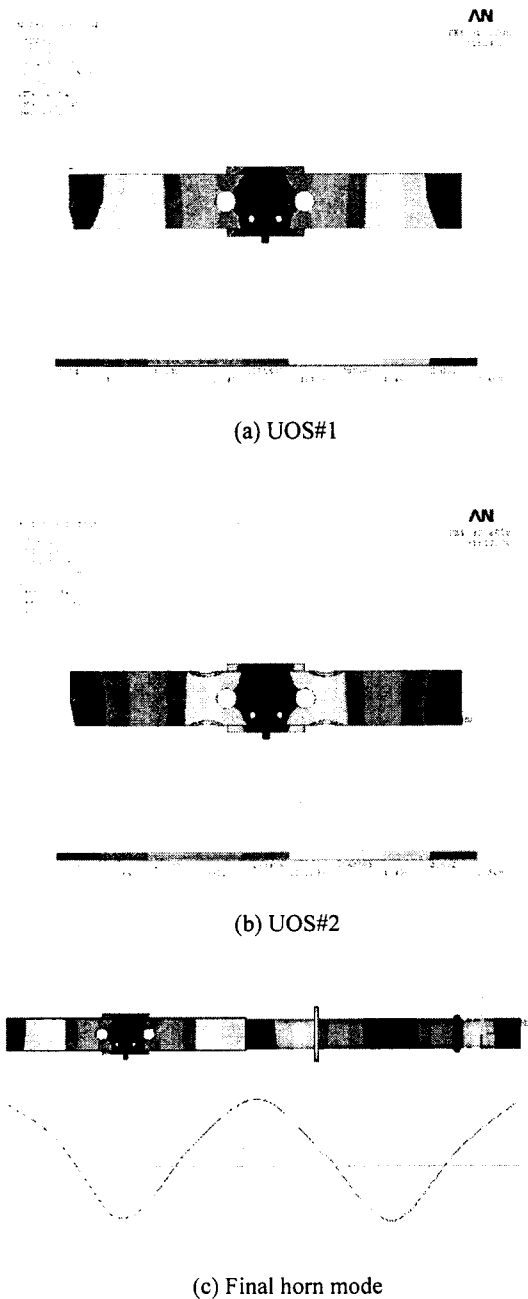


Fig. 5 Horn vibration mode (ANSYS result)

4. 초음파 혼 제작 및 성능실험

유한요소 모델의 타당성을 검증하고 초음파 혼의 실제 성능을 파악하기 위하여 UOS#1 및 UOS#2 에 대해 실제 제작하여 성능실험을 수행하였다. Fig.6 은 실제 제작한 초음파 혼과 가진부를 장착한 사진이다. 제작한 초음파 혼의 성능실험을 하기 위해 혼을 지그에 고정시키고 혼의 길이 L 에 해당하는 파장의 cosine 모드가 나타나도록 가진부 피에조 액추에이터에 정격전압을 가하였다. 레이저 진동계(Graphtec AT3700)를 이용하여 혼의 끝단과 접합부에서의 시간 신호 데이터를 획득하여, 주파수 분석과 변위를 측정하였다. Fig.7 은 초음파 혼의 성능실험 장치를 나타낸다.

Fig.8 은 레이저 진동계를 이용해 측정한 변위의 시간에 따른 값을 나타낸 것이다. UOS#1 과 UOS#2 를 비교해 보면 UOS#1 이 조금 큰 변위를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 실제 제작한 초음파 혼의 피에조 액추에이터의 출력 차이가 존재하기 때문으로 여겨진다.(실험에서 UOS#1 은 200watt 급, UOS#2 는 100watt 급 액추에이터 사용)

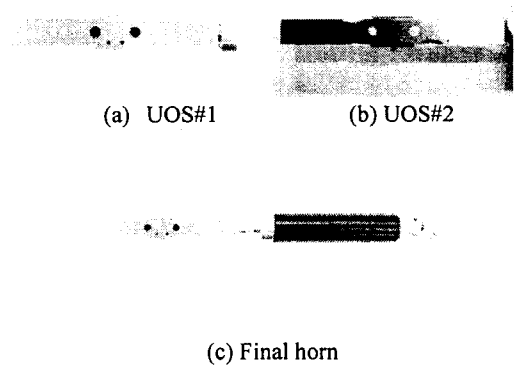


Fig. 6 Transverse type horn

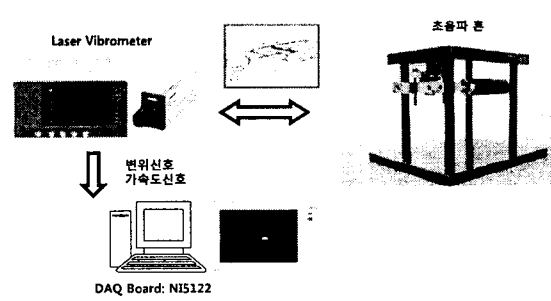


Fig. 7 Experimental setup

여기서 획득한 시간 신호를 이용하여 주파수 분석을 한 것을 Fig.9 에 나타내었다. 두 혼 모두 40kHz 근방에서 피크를 갖는 것을 확인할 수 있고, UOS#2 혼의 경우 고유진동수 피크 이외에도 고조파에서도 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig.10 과 Table 4 는 출력과 위치에 따른 초음파 혼의 변위를 측정하여 나타낸 것이다. 출력에 따른 초음파 혼의 변위를 비교해 보면 출력이 높을수록 큰 변위를 나타내면서 변위의 변화율은 줄어든다. 그리고 시간 신호에서 확인한 것처럼 액추에이터 출력이 큰 UOS#1 이 좀더 큰 변위를 나타낸다. 그리고 혼의 길이와 같은 파장을 갖는 cosine 모드로 가진하였기 때문에 끝 단과 한가운데 접합부의 변위 비율이 거의 1.0 에 가까움을 확인할 수 있다.

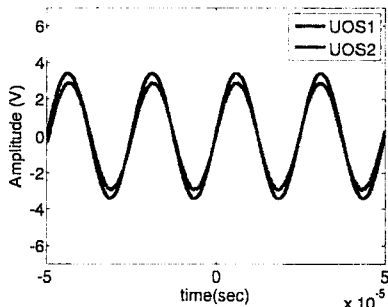


Fig. 8 Time signals

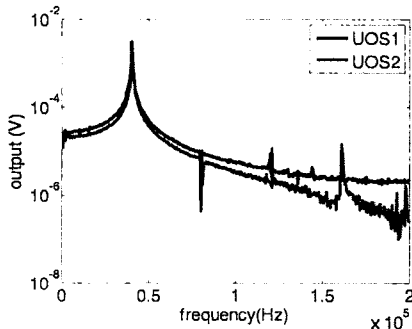


Fig. 9 FFT spectrum

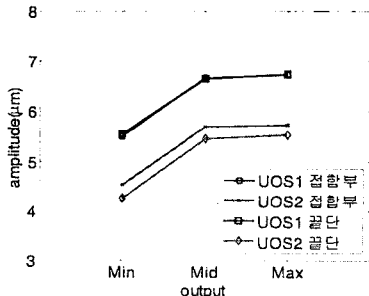


Fig. 10 Displacement of Ultrasonic Horns at the end and the bonding parts

Table 4. Model Parameters

		Amplitude(μm)			주파수 (kHz)
		min	mid	max	
UOS #1	접합부	5.502	6.654	6.720	40.04
	끝단	5.559	6.647	6.728	40.04
	접합부 / 끝단	0.99	1.00	1.00	
UOS #2	접합부	4.536	5.696	5.734	40.43
	끝단	4.271	5.460	5.538	40.43
	접합부 / 끝단	1.06	1.04	1.04	

5. 결 론

본 연구에서는 피에조 액추에이터의 초음파 가진을 통하여 플립칩 접합에 활용되는 초음파 혼의 유한요소 모델링과 해석, 그리고 실제 제작을 통하여 진동 특성과 성능을 검증하여 보았다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 초음파 혼의 유한요소 해석 결과와 실험 결과가 대체로 일치함을 확인하였다.

(2) 초음파 혼의 일부 형상 변화로도 접합에 활용될 수 있는 해당 진동모드의 고유진동수의 튜닝이 가능함을 보였다.

(3) 가진 액추에이터의 특성에 따라 다소 차이는 있으나 전파장 초음파 혼의 특성을 효과적으로 검증할 수 있었다.

이러한 결론을 바탕으로 다양한 초음파 혼을 설계할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다.

후 기

본 연구는 서울시 산학연협력사업의 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

(1) Li, H. L., Chan, L. W. and Liu, C. K., 2003, "Comparison of Bonding Defects for Longitudinal and Transverse Thermosonic Flip-Chip," Proceedings of IEEE 2003 Electronic packaging Technology Conference, pp 350-355.

(2) Kang, S. Y., Williams, P. M. and Lee, Y. C., 1995, "Modeling and Experimental Studies on Thermosonic Flip-Chip Bonding," IEEE Transaction on Components, Packaging and Manufacturing Technology - Part B, Vol. 18, No. 4, pp 728-733.

(3) Lee, S. I., Hong, S. H., "Nonlinear Vibration Analysis of Ultrasonic Horn Model for Flip-Chip Bonding," IEEE Proceedings on ICCAS' 07, pp2804-2807.