

# 플립칩 접합용 초음파 혼 진동의 위상최적설계

## Topology Optimization of Ultrasonic Horn for Flip-Chip Bonding

하창용\* · 이수일†

Ha Chang Yong and Lee Soo Il

### 1. 서 론

플립칩 접합(Flip-chip bonding)은 패키징 시장에서 많은 주목을 받고 있는 기술이다. 초음파 혼은 플립칩 접합 방식 중 하나인 열초음파(Thermosonic) 방식에서 접합부에 진동에너지를 전해주는 장비로써 플립칩 접합의 핵심 장비이다. 기존의 초음파 혼 설계 방식은 설계자의 경험에 의존한 반복 설계가 대부분이었다. 본 논문에서는 위상최적화(Topology optimization) 기법을 적용하여 체계적인 초음파 혼 설계를 가능하게 하였다.

초음파 혼에 위상최적화 기법을 적용하여 구동주파수를 최대화하였다. 플립칩 접합 시에 사용되는 초음파 혼의 진동모드에 해당하는 고유진동수를 추적하기 위하여 MAC(Modal Assurance Criterion)을 이용하였다. 또한 2차원 모델에 대하여 서로 다른 목적함수로 위상최적화를 적용, 그에 따른 차이를 보였다.

### 2. 위상최적화 설계

#### 2.1 위상최적화 정식화

위상최적화의 목적은 40kHz 근처에서 발생하는 초음파 혼의 길이방향 cosine 진동모드를 60kHz 대역에서 생성되도록 고유진동수를 상승시키는 것이다. 초음파 혼의 고유진동수를 상승시키면 상대적으로 작은 변위에서도 진동에너지를 크게 할 수 있어 다양한 크기의 칩에 대응할 수 있는 장점이 있다.

주어진 위상최적화 문제의 목적함수 및 제한조건의 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\text{Maximize} \quad : \quad F = \frac{(\omega_{obj} - \omega_i)^2}{\omega_{obj}^2} \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad : \quad \frac{V(x)}{V_0} \geq f, \quad (2)$$

목적함수  $F$ 의  $\omega_{obj}$  와  $\omega_i$  는 각각 목표주파수 및 현재의 주파수이다.  $V(x)$ 는 최적화 진행 후의 전체 체적,  $V_0$ 는 초기 체적이며  $f$  는 제약조건으로서 설계자가 지정해주는 값으로 본 논문에서 사용한 값은 0.7이다.

위상최적화의 목적은 접합 시에 사용되는 진동 모드와 고유진동수를 최적화하는 것이다. 고유진동수 최적화 문제에서 본 논문과 같이 고주파의 진동 모드에 대하여 최적화를 시키는 경우에는 특정 모드에 대한 추적이 필수적이다. 최적화할 모드를 추적하기 위하여 MAC을 사용하였다. MAC 값의 정의는 식 (3)과 같다[1]. 식 (3)의  $\psi$ 는 모드벡터를 나타낸다.

$$MAC(\psi_a, \psi_b) = \frac{|\psi_a^T \psi_b|^2}{(\psi_a^T \psi_a)(\psi_b^T \psi_b)} \quad (3)$$

최적화 과정 동안 설계변수가 되는 상대밀도를 업데이트 하기 위해 목적함수를 설계변수에 대하여 미분하는 감도해석이 이루어져야만 한다. 고유진동수  $\omega$ 에 대한 미분식은 식 (4)와 같다.

$$\frac{\partial \omega_i^2}{\partial x_e} = \frac{u_i^T \left( \frac{\partial K}{\partial x_e} - \omega_i^2 \frac{\partial M}{\partial x_e} \right) u_i}{u_i^T M u_i} \quad (4)$$

#### 2.2 위상최적설계

위상최적화의 고유치 문제에서는 고유진동수를 상승시키기 위하여 업데이트를 반복하다 구조체를 모두 없애버리는 결과를 초래할 수 있으므로 합당한 제한조건을 설

\* 서울시립대학교 대학원 기계정보공학과

† 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : (02) 2210-5667, Fax : (02)2210-5575

정해주어야 한다. 본 논문에서는 실제 제작 및 소멸해의 방식을 위하여 혼 모델의 중앙부분의 상대밀도를 업데이트 하지 못하게 설계 제한조건을 설정하였다[2].

본 논문에서는 초음파 혼의 40kHz 주파수 영역대의 길이 방향 cosine 진동모드를 60kHz 대의 주파수 영역으로 끌어올리기 위한 주파수 최대화 위상최적화를 실시하였다. 먼저 목적함수의 적합성을 보장하기 위하여 2차원 상에서의 목적함수를 단순한 주파수 최대화를 목적으로 한 것과 목표주파수가 있는 2가지 경우에 대하여 위상최적설계를 실시하였다. 각각의 경우 모드를 판단하는 MAC 값을 수렴기준으로 삼아, 지나치게 MAC 값이 떨어지는 시기부터 계산을 멈추었다. 계산결과를 Table 1에 정리하였다. Fig 1은 각각의 경우 MATLAB 상에서 최종적으로 최적화된 형상을 나타낸 것이다.

Fig 2는 MATLAB에서 최적화된 결과를 상용소프트웨어인 ANSYS를 사용하여 해석한 결과이다. Gray 패턴이 나온 부분은 해당하는 부분의 단면적이 비례하는 형식으로 모델링을 하여 해석을 하였으며 결과는 MATLAB 결과와 잘 맞는다. 또한 설계자가 원하는 진동모드를 나타낸다.

Table 1. Comparison Target Frequency Optimization with Frequency Maximization

		Frequency Maximization	Target Frequency
Iteration		10	15
Natural Frequency	MATLAB	55.7kHz	57.2kHz
	ANSYS	54.8kHz	56.1kHz
MAC		8.9	9.2
Optimized length		98[mm]	104[mm]
Modal displacement ratio (center/edge)		0.965	0.959

#### 4. 결 론

이번 연구에서는 플립칩 접합용 초음파 혼에 위상최적화를 적용하여 설계자가 원하는 주파수 영역에서 원하는 진동모드를 일으킬 수 있음을 보였다. 그리고



Fig. 1 Optimization result : (a) Frequency Maximization (b) Target Frequency

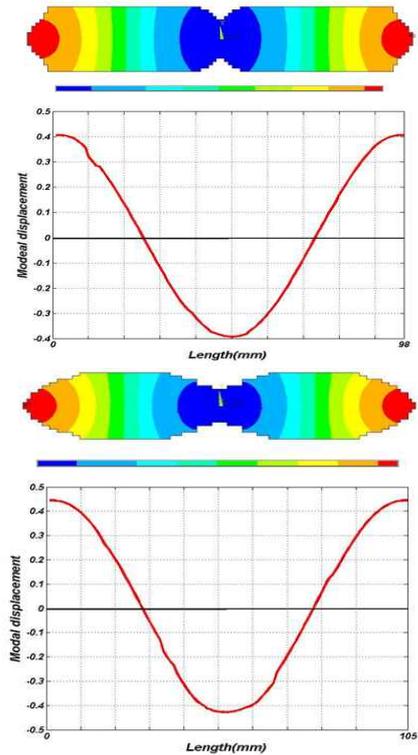


Fig. 2 FEM analysis of optimization results

위상최적화 기법을 적용함에 있어 단순한 고유주파수 최대화와 설계자가 원하는 주파수로 지정하여 최적화를 실시해 비교하여 보았으며, 그 결과는 설계자가 목적주파수를 지정하여 최적화를 실시하는 것이 더 유용함을 입증하였다.

#### 후 기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10890)의 지원으로 이루어졌음.

#### 참고문헌

- [1] Ewins, D.J., 2000. "Modal Testing". Research Studies Press Ltd.
- [2] Bendsøe, M. P., Sigmund, O., 1995, "Topology Optimization Theory, Methods, and Applications," Springer.