

# 설정된 주파수 및 모드에 대한 초음파 혼의 위상최적화 설계

## Topology Optimization on Targeting Frequency and Mode of Ultrasonic Horn for Flip-chip Bonding

김지수\* · 하창용\*\* · 이수일†  
**Ji Soo Kim, Chang Yong Ha and Soo Il Lee**

### 1. 서 론

초음파 혼을 이용한 플립칩 접합 기술은 마이크로 시스템 패키징 업계에서 널리 쓰이는 기술로 패키징 공정에서 최적화된 초음파 접합 혼(horn)의 체계적인 설계 방법은 다양한 형태의 플립칩 접합 효율을 높이는데 중요한 문제라고 할 수 있다. 본 연구에서는 초음파 접합 혼 설계에 지금까지 적용된 시행착오 방법에서 더욱 나아가 체계적인 설계 방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 3 차원 모델을 이용한 위상최적화 방법을 적용한 설계를 시도하였다.

위상최적화란 구조물의 초기 형상이 없이도 설계 목적 함수를 만족시키는 설계 기법이다<sup>(1)</sup>. 위상최적화는 Bendsoe 등<sup>(2)</sup> 이 1988 년에 균질화 법을 이용한 위상최적화 방법을 발표한 이래로 큰 관심을 받으며 꾸준히 연구되어 왔다. 이번 연구에서는 SIMP (Solid Isotropic Material and Penalization)법과 OC (Optimal Criteria) 업데이트 기법을 이용해서 초음파 혼의 주파수 모드에 대한 위상최적화를 하였다. 또한 목표로 설정된 길이방향의 진동 모드를 추적하기 위해서 MAC(Modal Assurance Criterion)을 이용하여 계산 단계 별로 조건식을 적용하였다.

### 2. 유한요소 모델링 및 위상 최적화

위상 최적화 기법을 적용하기 위하여 상용 프로그램인 MATLAB을 이용하여 초음파 혼 구조를 3차원 유한요소를 이용하여 정식화 하였다.(Fig. 1) 모델

은 8개의 절점을 가진 직육면체 요소를 사용하였다. 이때 계산 및 적용의 편리성을 위하여 등매개변수 정식화 방법을 사용하였다.

구조물의 위상최적화를 위해서 보편적으로 사용되는 방법이 SIMP 방법이다. 이는 각 요소의 상대적인 밀도를 0과 1사이의 값으로 나누어 밀도가 0인 곳은 재료가 없는 부분, 1인 곳은 재료가 존재해야 하는 부분으로 식(1a, b)와 같이 표현한다.

$$\mathbf{M}^e = (x^e)^p \times \mathbf{M}^0 \quad (1a)$$

$$\mathbf{K}^e = (x^e)^p \times \mathbf{K}^0 \quad (1b)$$

동적 문제에서의 위상최적화는 고유진동수의 최대화를 위한 목적 함수와 고유진동수 이동을 위한 목적 함수가 있다. 본 연구에서는 고유진동수를 목표 진동수로 이동 시키기 위한 목적함수를 사용하였다. 목적 함수는 식(2) 와 같다.

$$\min : F = \frac{(\omega_i^2 - \omega_t^2)^2}{\omega_i^2} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to : } & \frac{V(x)}{V_0} \geq f, \\ & : [\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}] \mathbf{v}_i = 0, \\ & : 0 < x_{\min} \leq x \leq 1. \end{aligned}$$

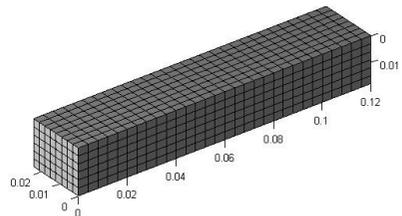


Fig. 1 Finite element model of ultrasonic horn

† 교신저자: 이수일, 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : 02-2210-5251, Fax : 02-2210-5575

\* 서울시립대학교 대학원 에너지환경시스템공학과

\*\* 현대자동차

설정된 모드와 일치 여부를 매 위상 최적화 과정에서 모드형상을 추적하여 그 형상의 주파수를 이동시켜야 하는데 이를 위해서 MAC (Modal Assurance Criterion)<sup>(3)</sup>을 사용하였다. MAC 값의 계산식은 식(3) 같은데 MAC값이 1이 나오면 동일한 모드, 0이면 직교하는 모드를 의미한다.

$$MAC(\Phi_{ref}, \Phi_{pre}) = \frac{|\Phi_{ref}^T \Phi_{pre}|^2}{(\Phi_{ref}^T \Phi_{ref})(\Phi_{pre}^T \Phi_{pre})} \quad (3)$$

이러한 과정을 통하여 설계 변수의 값을 개선하고 MAC값 추적을 통해 원하는 모드형상의 주파수를 최적화 한다.

Fig.4(a), (b)는 각각 고정 조건을 8mm(PF8), 16mm(PF16)로 했을 때 위상최적화 결과를 나타낸다. 이는 설정한 주파수와 모드를 갖도록 하면서 모델의 위상을 최적화하여 구한 결과로 3차원 모델에서만 구할 수 있는 특징이 잘 나타나 있다. 또한 Table 1 은 최적화 프로그램에서 최종적으로 계산된 형상의 고유진동수와 동일한 형상의 ANSYS모델에서 계산된 주파수를 비교한 것이다. 두 결과 모두 0.6% 이하 차이로 거의 동일한 결과를 얻을 수 있다.

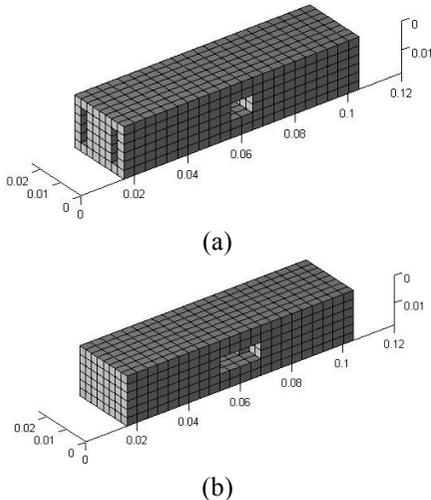


Fig. 4 Optimized model: (a) PF8, (b) PF16

Table. 1 Natural frequency of 3D optimized models by MATLAB and ANSYS

| Model | MATLAB Optimized Frequency(kHz) | ANSYS Frequency (kHz) | Difference of Frequency |
|-------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| PF8   | 59.135                          | 59.119                | 0.02%                   |
| PF16  | 58.868                          | 58.494                | 0.6%                    |

### 3. 결론

본 연구에서는 플립칩 접합 방식의 핵심 부품인 초음파 혼에 대하여 효과적인 3차원 위상최적화 기법을 적용하였다. 최적화의 목적함수는 사전에 설정된 목적주파수와 현재 주파수와의 차이를 최소화시키는 방향으로 정식화하였다. 또한 실제 제작을 고려하여 초음파 혼의 중앙 부분을 보존 영역으로 제한하였는데, 3차원 모델에서는 2차원 모델에서는 볼 수 없는 두께 방향으로의 형상 및 위상의 변화를 얻을 수 있었다. 특히 상용 유한요소 프로그램을 통한 주파수 계산결과 0.6% 이하의 차이로 잘 맞는 결과임을 알 수 있었다. 이를 통해 위상최적화를 통한 체계적인 초음파 혼 설계 및 제작이 가능하다는 것을 보였다.

### 후 기

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

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업(No.00045000-1)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Suzuki, K., Kikuchi, N., 1991, "A homogenization method for shape and topology optimization", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 93, pp. 291-318.
- (2) Bendsøe, M. P., Kikuchi, N., 1988, "Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 71, pp.197-224.
- (3) Yoon Young Kim, Tae Soo Kim, 1999, "MAC-based mode-tracking in structural topology optimization", Computers and Structure, Vol 74, pp.375-383.