

허니컴 샌드위치 패널을 이용한 보 구조물의 경량화에 관한 연구

성활경*

Weight Minimization of a Beam Structure Using a Honeycomb Sandwich Panel

Hwal Gyeong Seong

ABSTRACT

In machine tool design, fast traversing cannot be achieved without reducing mass of the moving part. Honeycomb sandwich panel is extremely lightweight, and relatively rigid at the same time. We can reduce much weight when we selectively utilize honeycomb sandwich panels as stiffeners on machine tool structures. Feasibility of reducing weight is studied using a beam structure with both ends fixed.

Key Words : Weight Minimization, Honeycomb Sandwich, Genetic Algorithm

기호설명

- t_b : Thickness of the base plate
- t_f : Thickness of the face sheet
- t_c : Thickness of the face core
- E_{11}, E_{22}, E_{33} : Young's Modulus
- $\nu_{12}, \nu_{23}, \nu_{31}$: Poisson's Ratio
- L : Length of the beam
- w : Width of the beam
- h : Height of the beam
- Δ_{max} : Maximum displacement
- σ'_a : Allowable von Mises stress
- $\tau_{xz,a}, \tau_{yz,a}$: Allowable shear stress

1. 서론

공작기계의 생산성을 제고시키기 위하여 이송부의 이송속도 증대에 대한 요구는 끊임없이 계속되어 왔다. 재래식 구조 및 재질에 의한 해결방안은 중량에서 크게 한계를 갖게되며 비강도(Stiffness-to-weight Ratio)가 높은 특수재질은 가격 또는 가공성에서 문

제를 가지고 있다. 재래식 구조 및 재질은 사용할 때 고정밀도를 유지시키기 위하여 이송부의 중량은 크게 되며, 큰 중량의 이송부를 고속으로 운동시키려면 큰 원동력이 요구되고, 결과적으로 사정은 더욱 어렵게 된 뿐이다. 따라서 정밀도를 희생시키지 않으면서 이송부의 중량을 감소시킬 수 있는 방안으로 복합구조물이 고려될 수 있다. 구조물의 기본 골격은 강철재로 하고, 그 위에 알루미늄 Face Sheet와 Nomex Hexagonal Honeycomb Core를 갖는 Honeycomb Sandwich Panel을 부착시켜 강도를 보강시킨다면 정밀도 유지 및 경량화를 달성시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 중실구형 강철재 보를 비교를 위한 기준 구조물로 정한 후 앞에서 설명한 대로 강철로 된 Base Plate 위에 알루미늄 Face Sheet와 Nomex Hexagonal Honeycomb Core를 갖는 복합구조 보를 Fig. 1과 같이 구성하여 기준 구조물과 비교하였다. 강철재로 된 Base Plate 의 두께 및 알루미늄으로 된 Face Sheet 의 두께 그리고 Nomex로 된 Core 부분의 두께를 변화시켜 응력에 관한 조건을 만족시키면서, 동시에 강철재 보의 변위를 초과하지 않도록 최적화 시켰다. 최적화를 위해서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)이 사용되었다.

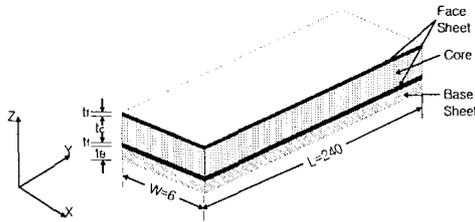


Fig. 1 Composite Structure

2. 해석

복합구조물을 수치적으로 해석하는 방법[1,2,3,4]으로는 (i) 3차원 요소를 이용하는 방법, (ii) 2차원 요소와 3차원 요소를 함께 사용하는 방법 및 (iii) 2차원 요소만을 이용하는 방법이 있다. 3차원 요소를 사용하면 자유도의 수가 크게 증가하여 해석시간이 증가한다. 반면 2차원 요소를 사용하면 해석시간은 적게 걸리지만, 작용하중의 종류에 제한이 있을 수 있고, 각 부에 작용하는 응력을 상세하게 알 수 없게 된다. 본 연구에서는 3차원 요소만을 사용하여 Fig. 2 와 같이 요소망을 구성하였다. 요소 각변의 길이는 대략 1mm가 되도록 하였으며, 따라서 설계치가 바뀔 때 따라 절점의 수 및 요소의 수는 변화게 된다. 사용된 재질은 Table 1과 같고, 해석에 사용된 각 재질의 물성치는 Table 2와 같다. Core에 관한 물성치는 Hexcel Composite 사에서 제공된 자료[5]를 사용하였다.

Table 1 Material Used

Part	Material
Base Plate	Steel
Face Sheet	Aluminum
Core	Nomex Hexagonal

Table 2 Material Properties [단위 : Pa]

	Base Plate	Face Plate	Core
E ₁₁			-
E ₂₂	20.7×10 ⁹	6.09×10 ⁹	-
E ₃₃			600×10 ⁶
G ₁₂			-
G ₂₃	7.96×10 ⁹	2.34×10 ⁹	69.0×10 ⁶
G ₃₁			115.0×10 ⁶
ν ₁₂			-
ν ₂₃	0.3	0.3	-
ν ₃₁			-

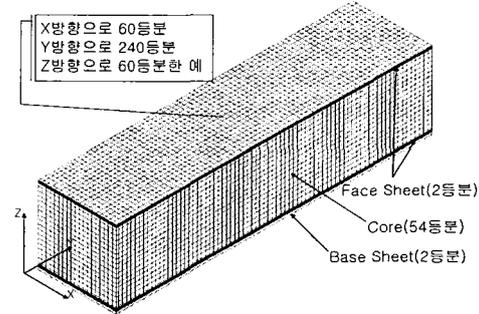


Fig. 2 FE Analysis Model

3. 설계변수

Fig.1 에서 구조물의 길이(L) 및 폭(W)은 고정이며, 두께는 Base Plate 두께(t_b), Face Sheet 두께(t_r) 및 Core 두께(t_c)의 합에 의해 결정되며 가변이다. 따라서 설계변수는 t_b, t_r 및 t_c 의 3개이며, 각기 Table 3의 값 중에서 선택된다.

Table 3 Design Variable [단위:mm]

설계변수	선택 가능 수치
t _b	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7
t _r	1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5
t _c	22.00, 22.25, 22.50, 22.75, 23.00, 23.25, 23.50, 23.75, 24.00, 24.25, 24.50, 24.75, 25.00, 25.25, 25.50, 25.75, 26.00, 26.25, 26.50, 26.75, 27.00, 27.25, 27.50, 27.75, 28.00, 28.25, 28.50, 28.75, 29.00, 29.25, 29.50, 29.75,

4. 최적설계 문제

Fig. 3에 기준구조물인 강철제 보를 보였다. 강철제 보의 길이(L) 및 폭(W)는 복합 구조물의 길이 및 폭과 같고 높이는 6mm이다. 이 강철제 보에도 2400N의 균일 분포하중이 작용하면 중앙에서 최대의 변위 Δ_{max}(0.5797×10⁻²m)가 발생한다. Δ_{max}를 이용하여 다음과 같은 최적설계 문제가 정의된다.

즉,

목적함수 : 복합구조물 중량

설계구속식 :

- 각 절점의 수직변위 $\leq \Delta_{max}$
- Base Plate 에서의 von Mises stress $\leq (\sigma'_a)_{steel}$
- Face Plate 에서의 von Mises stress $\leq (\sigma'_a)_{Aluminum}$
- Core 에서의 $|\tau_{xz}| \leq \tau_{xz,a}$

$$|\tau_{yz}| \leq \tau_{yz,a}$$

이며, $(\sigma'_a)_{steel}$ 및 $(\sigma'_a)_{Aluminum}$ 의 값으로는 강철 및 알루미늄의 항복강도가 사용되었고 $\tau_{xz,a}$ 및 $\tau_{yz,a}$ 로는 Hexcel Composite사의 자료가 사용되었으며 각 값은 Table 4 와 같다.

Table 4 Upper Bound [단위:MPa]

항 목	기 준 값
$(\sigma'_a)_{steel}$	861.8
$(\sigma'_a)_{Aluminum}$	165.0
$\tau_{xz,a}$	1.9
$\tau_{yz,a}$	3.5

설계는 t_b , t_r 및 t_c 를 변화시켜 모든 설계 구속식을 만족시키면서 목적함수를 최소화하는 설계지를 탐색하게 된다.

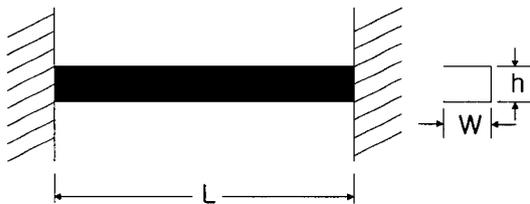


Fig. 3 Metal Beam

탐색방법으로 2진수 유전자 알고리즘(Binary Genetic Algorithm)을 사용하였으며, t_b 를 나타내기 위하여 3 Bits를, t_r 를 나타내기 위하여 4 Bits를 그리고 t_c 를 나타내기 위하여 5 Bits가 각기 사용되었다. 따라서 개체의 유전정보를 나타내기 위하여 총 12 Bits의 2진수가 사용되었다. 교배를 위하여서는 1점 교차(One Point Crossover)를 채택하였다.

5. 결론

유전자 알고리즘(GA)을 수행하기 위하여 Table 5의 System Parameter들이 사용되었다. 모집단 내의 개체의 수는 10으로 하였다.

Table 5 GA System Parameters

항 목	사용된 값
교차 확률	85%
돌연변이 확률	1.5%
모집단 내의 개체 수	10
염색체 길이	12

각 세대에서 얻어진 목적함수의 이력곡선이 Fig. 4에 주어졌으며, 주어진 조건 하에서 신속하게 최적화로 수렴하였다. 최적화 과정을 5회 반복수행하였고, 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

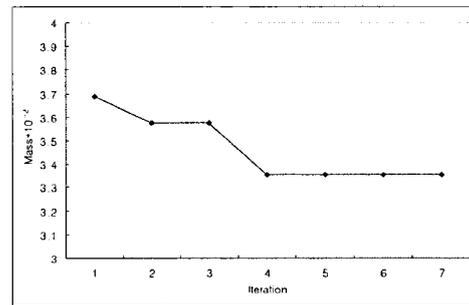


Fig. 4 Design History

최적화된 복합구조물의 설계치는 Table 6과 같고, 이때의 질량이 0.033556kg이고 최대변위는 $-0.4576 \times 10^{-2}m$ 이다.

Table 6 Optimum [단위:mm]

설계변수	설계 값
t_b	1.0
t_r	2.4
t_c	23.5

강철제 보와 최적화된 Honeycomb Sandwich Panel에 의해 보강된 보와의 질량을 비교해보면 Table 7과 같다. Honeycomb Sandwich Panel을 사용

함으로서 약 47.6% 정도의 질량을 감소시킬 수 있었다.

Table 7 Comparison [단위:kg]

구 분	질 량
강철재 보	0.06782
Honeycomb Sandwich Panel 복합 보	0.03556
비 교	47.58% 감소

Honeycomb Sandwich Panel을 사용하므로 강도 및 강성을 저하시키지 않으면서 총 질량을 약 47.6% 감소시킬 수 있었다. 그러나 보의 체적은 약 4.5배 증가되었음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Ding, Yuliang, "Optimum Design of Sandwich Construction", Computer & Structures, Vol. 25, No.1, pp. 51-68, 1987
2. Ding, Yuliang, "Optimum Design of Honeycomb Sandwich Constructions with Buckling Constraints", Computer & Structures, Vol. 33, No.6, pp. 1355-1364, 1989
3. Shi, Guangyu, and Tong, Pin, "Equivalent Transverse Shear Stiffness of Honeycomb Cores", Int. J. of Solids structures, Vol. 32, No.10, pp. 1383-1393, 1995
4. Paydar, N., and Libove, C., "Bending of Sandwich Plate of Variable Thickness", J. Appl. Mech., Vol. 55, pp. 419-424, 1988
5. Design Handbook for Honeycomb Sandwich Structures, Hexcel, 1990