

알루미늄 하니콤 샌드위치 패널구조의 강도 및 진동특성

배동명 · 최철은

부경대학교

(2002년 3월 22일 접수)

Strength and Vibration Characteristic of Aluminum Honeycomb Sandwich Panel Structure

Dong-Myung BAE and Chul-Eun CHOI

Pukyong National University

(Received March 22, 2002)

Abstract

The aluminum honeycomb sandwich panel (AHSP) structure not only have high flexural rigidity and strength per density but also excellence in vibration and noise properties. The AHSP structure are very useful for railway, airplane and high speed ship which need lighter-weighted and more strengthened elements.

In this paper, from comparison the AHSP with the equivalent aluminum single plate (EASP) structure on the result of analysis, it was shown that the AHSP is 5 times lighter weight to the same stiffness than the EASP. And the AHSP structure have high bending rigidity and small shear rigidity in the direction of the thickness. Also, to the characteristics of vibration for the AHSP and EASP, which the stiffness is larger than the EASP, are higher than EASP.

서 론

산업발전에 따른 경제규모의 확대와 소득향상으로 여객과 화물의 운송에 있어 시간적 가치는 더욱 높아지고 있다. 이와 함께 국내 연안여객 및 화물 수송뿐 아니라 국가간 수송도 신속한 체제의 구축이 요구되고 있으며 이 같은 요구를 만족하기 위해서는 선박의 초고속화가 필수적이다¹⁾.

초고속선의 구조설계에 있어 가장 중요한 요소 중의 하나는 구조의 경량화이며, 이를 위해서는 선체구조 재료 및 구조방식의 선정이 극히 중요하다. 초고속선의 구조재료로는 복합재료(FRP/GRP), 알루미늄 합금재 및 고장력강 등이 사용되고 있으며, 초고속선의 선각재료로 알루미늄 합금재가 90% 이상의 우위를 차지하고 있다²⁾.

알루미늄 합금의 비중은 일반강의 약 34%에 지

나지 않으며, 내식성, 인성 및 저온 충격특성이 우수하여 구조물의 경량화 측면에서 아주 유리하기 때문에 초고속선박, 항공기, 자동차 및 초고속 전철 객차체 등 경량구조물의 주요 구조재료로 주목을 받고 있다³⁾.

초고속선이나 항공기, 고속전철 등과 같은 대형 경량수송 시스템의 구조설계의 경우 그 구조경량의 경감이 필수적으로 요구되고 있다. 이러한 측면에서 가장 주목받고 있는 것이 바로 알루미늄 하니콤 샌드위치 패널(Aluminum Honeycomb Sandwich Panel, AHSP)구조이다.

AHSP 구조는 정육각형의 하니콤 코어와 두 개의 얇은 판으로 구성되어 있으며, 다른 재료에 비해 중량대 강도가 크고, 제조시 접착제를 이용하므로 용접변형이 없으며, 우수한 절연성과 에너지 흡수성, 내화구조 및 피로 저항성, 설계상의 융통

성 등과 단면 2차 모멘트의 증가로 인하여 높은 굽힘강성을 갖는 뛰어난 구조적 효율성을 갖고 있다³⁾.

AHSP 구조를 등가 알루미늄 평판(Equivalent Aluminum Single Plate, EASP) 구조와 비교해 볼 때 일정 크기의 평판에 있어 동일한 강성을 얻는 데 필요한 재료의 중량에서 샌드위치 구조가 5배 이상의 경량화를 얻을 수 있다²⁾.

본 논문에서는 삼성 중공업(주)에서 건조하고 그리이스와 이태리 사이의 지중해 연안을 운항하고 있는 Cruiser 선(길이 198m, 선속 28.4 knots)의 bridge deck 상에 설치된 shelter 구조⁵⁾의 루프(roof) 부재에 적용된 AHSP를 해석 대상으로 하여, 면재와 심재로 구성된 AHSP 구조의 우수성을 입증하기 위하여 동일한 질량을 가지는 EASP 구조를 질량의 증가에 따른 강도 및 강성의 증가를 확인하고, 심재로서 육각형 모양을 갖는 셀(cell)의 한변의 길이(H)와 두께(T) 변화에 따른 구조강도의 특성에 대해 검토하고자 한다.

그리고 AHSP를 적용하고 있는 항공기나 고속철도 차량과 같은 고속 운반체들에서 야기되고 있는 심각한 진동과 소음문제 논의의 일환으로 본 논문에서는 AHSP와 EASP 구조에 대한 고유진동수와 고유모드를 비교·검토하였다.

알루미늄 하니콤 샌드위치 패널 구조²⁾

AHSP는 프랑스의 고속전철인 TGV의 Double Deck Car와 같은 철도 차량에의 적용이 급증하고 있는데, 이는 구조의 경량화가 주원인이며 이 밖에도 내화구조(Fire-Retardant Structures), 피로저항성 및 우수한 에너지 흡수력 등이 원인이다.

항공 우주분야에서의 AHSP 구조의 적용사례는 구조부재에서 부품에 이르기까지 아주 다양하며, 육상 교통수단에서는 AHSP 구조의 충격에 대한 탁월한 에너지 흡수 능력 때문에 특히 자동차의 범퍼에 적용되고 있다. 또한, 건축부문에서도 각종 내장재, 칸막이, 천정, 바닥 등 경량 고강도를 요하는 곳에 그 사용빈도가 늘고 있다.

AHSP의 구조형식은 Fig. 1과 같이 심재인 하니콤 코어와 얇은 면재인 알루미늄 합금이 접착된 복합 샌드위치 패널 구조의 한 형태로서 두 개의 면재가 중립축으로부터 멀리 떨어지게 됨으로써 단면 2차 모멘트가 크게 되어 구조의 강성

을 증가시킬 수 있는 효과적인 경량화를 위한 구조 형식이다.

구조적으로 AHSP는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 H빔과 유사하여 AHSP의 면재는 인장과 압축시 H빔의 플랜지와 같이 굽힘하중에 저항하는 역할을 하며, 하니콤 코어부분은 H빔의 웹 역할로써 전단하중을 감당하는 동시에 상하면재의 기하학적 형상을 유지시키는 역할을 한다.

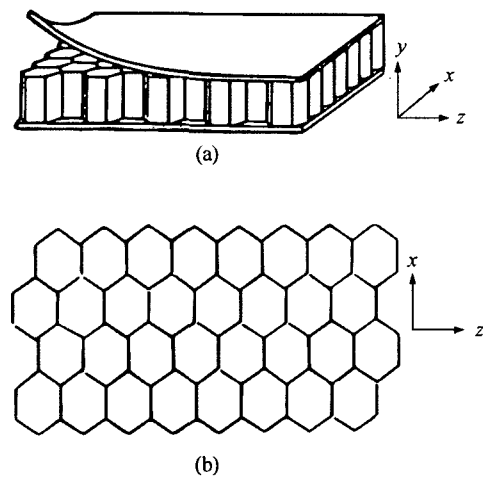


Fig. 1. Configuration of aluminum honeycomb sandwich panel (AHSP).

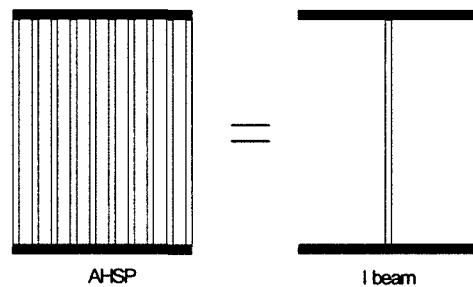


Fig. 2. Equivalent H beam to AHSP.

AHSP의 면재로 사용되는 재료로는 알루미늄 합금 50 및 60계열로써 A1100-H12, A5005-H34, A5052-H34, A5083-H321, A5086-H34, A5086-H116/H32 및 A6061-T6 등이 주로 사용되고 있

으며, 이러한 재료중에서 A5083-H321이 가장 우수하다. 하니콤 코어는 단면형상이 정육각형 벌집형상으로 주로 전개방식(Expansion Process)에 의해 제작되고 있다.

수치해석 및 결과 고찰

1. 해석대상 구조

1.1 알루미늄 하니콤 샌드위치 패널 (AHSP)

그리스와 이태리 사이의 지중해 연안을 운항하고있는 Cruiser선의 bridge deck상에 설치된 shelter구조물의 roof 부분에 적용한 AHSP를 포함한 전체 shelter 구조물의 모델링을 Fig. 3에 보인다.

면재와 심재의 샌드위치 패널로 구성되는 AHSP 구조의 FEM 모델은 Fig. 4에 나타내며, Fig. 5는 하니콤 코어부분을 확대하여 나타낸다. AHSP 구조의 물성치는 Table 1에 보여주고 있다.

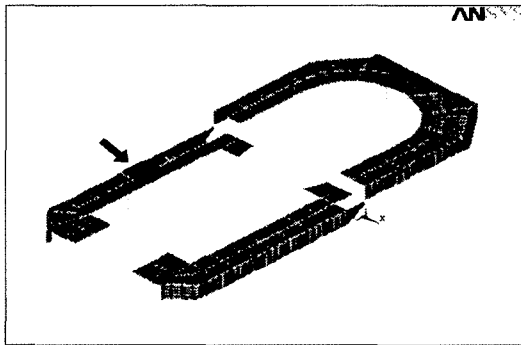


Fig. 3. Modeling of the overall shelter structure.

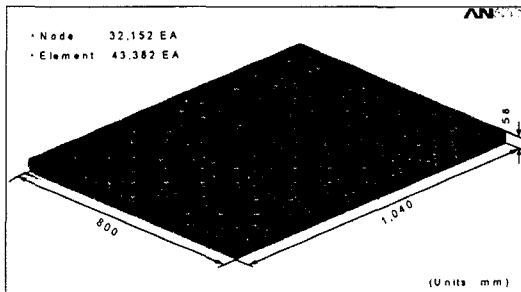


Fig. 4. Modeling of aluminum honeycomb sandwich panel (AHSP).

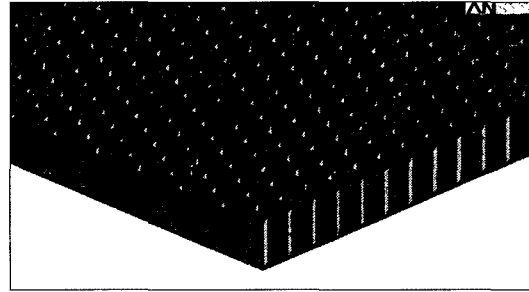


Fig. 5. Zooming of honeycomb core parts.

Table 1. Material properties of AHSP

Item	Material	Property	
Face	A5083 -H321	Young's Modulus	70.3 GPa
		Shear Modulus	26.4 GPa
		Density	2660 Kg/m ³
		Poisson's ratio	0.33
Core	A3003 -H19	Young's Modulus	69 GPa
		Shear Modulus	25 GPa
		Density	2730 Kg/m ³
		Poisson's ratio	0.33

1.2 등가 알루미늄 평판 (EASP)

AHSP 구조를 동일한 질량을 가지는 EASP 구조로 등가하여 해석을 수행하였다. Fig. 6은 EASP의 유한요소 모델을 나타내고 있다.

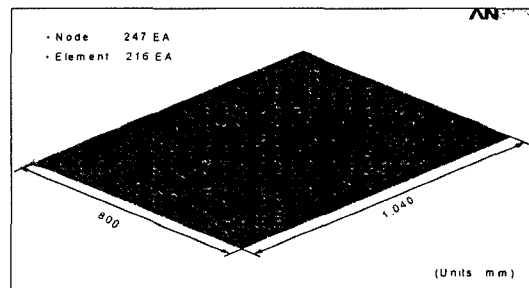


Fig. 6. Modeling of equivalent aluminum single plate (EASP).

2. 결과 고찰

2.1 셀 치수 변화에 따른 특성

본 논문에서는 AHSP 구조의 특성을 검토하기 위해서, 코어의 셀 크기(H)와 두께(T)를 변수로

하여, 셀크기를 15, 17.5, 23 및 30 mm의 4경우로 하고, 코아 두께를 20, 28, 40 및 58 mm의 4경우에 대한 해석을 수행하였으며, 이때 적용한 경계 조건은 4변 단순지지이고, 셀 크기(H)와 코아의 두께(T)는 Fig. 3, 5에 나타낸다. 이들 2그룹의 변수에 대한 상관관계를 검토하기 위해서 무차원 H/T값을 비교해 보았다. 적용하중은 분포하중으로서 AHSP의 두께 20 mm에서, H/T비가 가장 낮은경우의 허용응력(σ_a)를 만족하고, 가장 근접한 하중으로서 15.700(N/mm²)을 적용하였다. 여기서 허용응력이라 함은 조선소에서 구조해석시 일반적으로 적용하고 있는, 항복응력의 58%를 의미한다. 이들 해석결과를 Table 2와 Fig. 8에 보이며, H/T비가 1.5, 0.821, 0.438 그리고 0.259일 때의 최대응력은 각각 Fig. 9~11, Fig. 12~14, Fig. 15~17 그리고 Fig. 18~20에 나타낸다.

여기서 H/T비가 낮아질수록 응력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 셀 크기가 작아지면서 응력이 감소하는 것보다는 코어의 두께가 두꺼워지면서 더 높은 응력 감소를 보임을 알 수 있다.

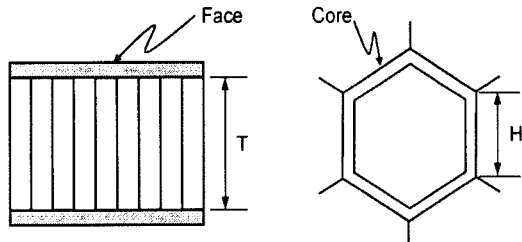


Fig. 7. Configuration of cell size(H) and core thickness(T).

Table 2. Maximum stress to variation of H/T

H \ T	20		28		40		58	
	H/T	Stress (MPa)	H/T	Stress (MPa)	H/T	Stress (MPa)	H/T	Stress (MPa)
15.0	0.750	77.7	0.536	53.9	0.375	36.8	0.259	27.9
17.5	0.875	83.9	0.625	58.8	0.438	40.2	0.302	31.5
23.0	1.150	105.0	0.821	73.6	0.575	50.5	0.397	34.8
30.0	1.500	127.0	1.070	89.2	0.750	61.3	0.517	44.6
Note	· Yield Stress : $\sigma_y = 220$ (MPa) · Allowable Stress : $\sigma_a = 0.58 \cdot \sigma_y = 127.7$ (MPa)							

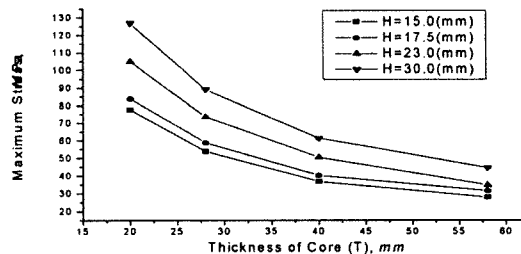


Fig. 8. Maximum stress by variation of H/T.

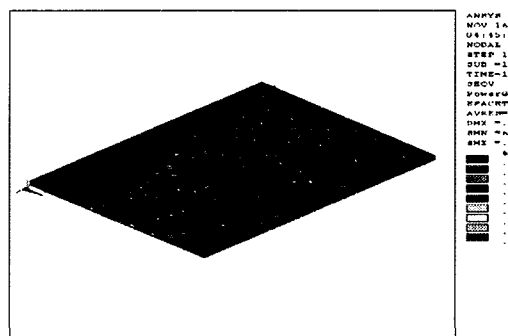


Fig. 9. Stress contour plot (H/T=1.5).

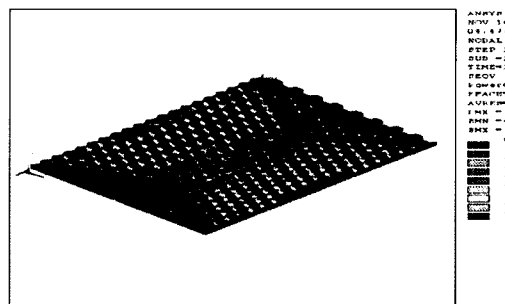


Fig. 10. Stress contour plot of AHSP core (H/T=1.5).

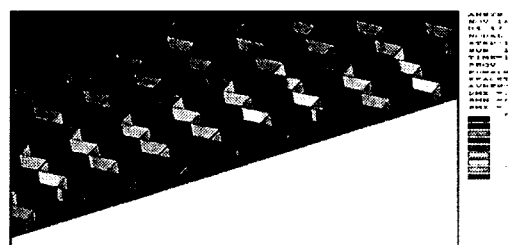


Fig. 11. Zooming of stress contour plot (H/T=1.5).

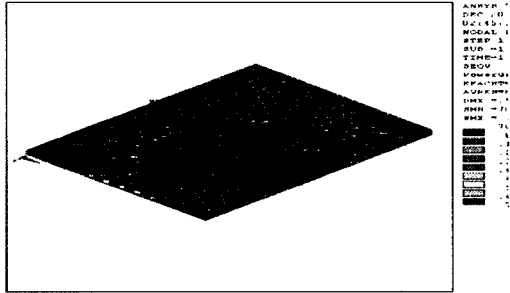


Fig. 12. Stress contour plot (H/T=0.821).

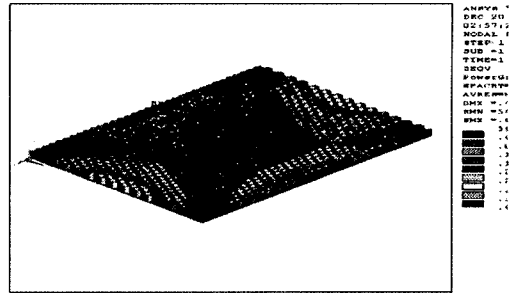


Fig. 16. Honeycomb core of stress contour plot (H/T=0.438).

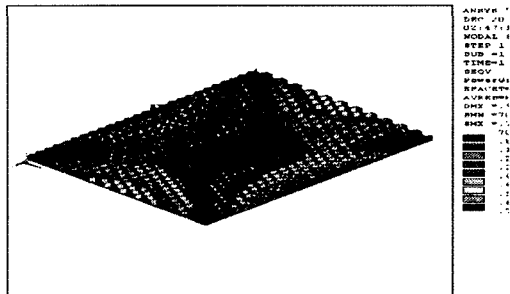


Fig. 13. Honeycomb core of stress contour plot (H/T=0.821).

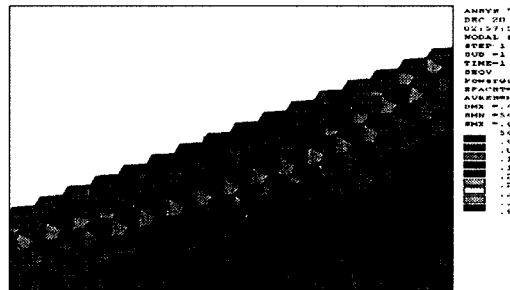


Fig. 17. Zooming of stress contour plot (H/T=0.438).

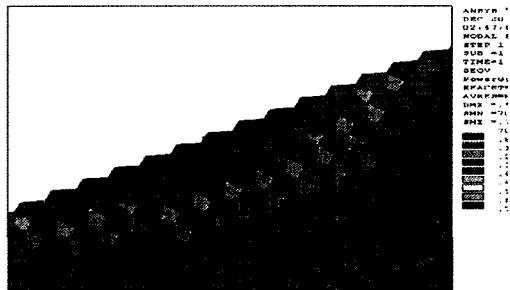


Fig. 14. Zooming of stress contour plot (H/T=0.821).

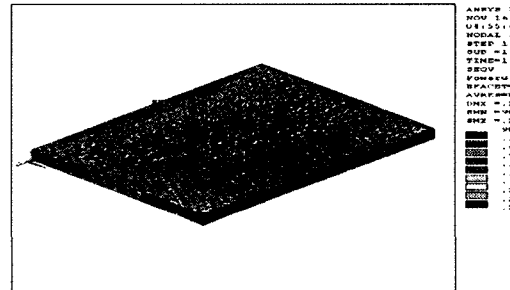


Fig. 18. Stress contour plot (H/T=0.259).

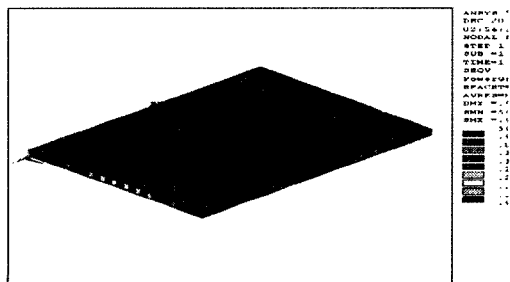


Fig. 15. Stress contour plot (H/T=0.438).

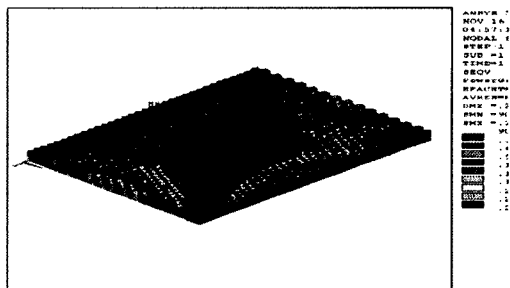


Fig. 19. Honeycomb core of stress contour plot (H/T=0.259).

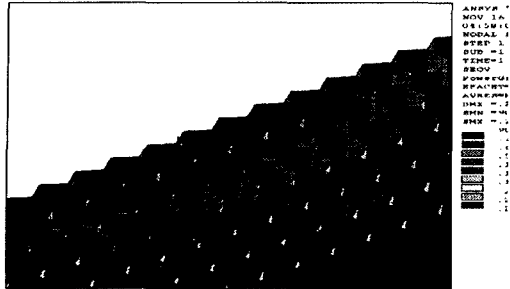


Fig. 20. Zooming of stress contour plot (H/T=0.259).

2.2 질량 변화에 따른 특성

AHSP 구조는 셀 크기와 코어의 두께변화에 따라 질량이 변하게 된다. 각각의 경우에서 가장 낮은 질량을 가지는 경우의 최대응력을 상대값(relative value) 1로 두고, 질량이 증가하면서 응력이 1을 기준으로 얼마만큼 감소하는가를 Table 3에 보이며, EASP는 AHSP와 같은 질량으로 증가할때 응력변화를 Table 4에서 보인다. 그리고 Fig. 21은 두 경우에 대한 최대응력의 변화를 상대값으로 표현하였다. AHSP 구조가 동일한 질량에서부터 증가하면서 EASP 구조에 비해 2.5~6.0 배 정도의 높은 강도를 보인다. AHSP 구조가 면재의 두께나 심재의 두께 증가로 인해 질량이 증가하지만, 면재와 심재의 두께 중 어느 쪽을 증가시켜야 적은 질량에서 더 큰 강도를 얻을 수 있을 것인가에 대해 알아본다.

Table 3. Relative value to mass increasing of AHSP

Total Mass (kg)	Max. Stress (MPa)	Relative Value	Total Mass (kg)	Max. Stress (MPa)	Relative Value
3.01	127	1	3.67	44.6	0.351
3.12	105	0.827	3.82	40.2	0.317
3.24	83.9	0.661	4.06	36.8	0.290
3.36	61.3	0.483	4.34	27.9	0.220
3.59	50.5	0.398	4.70	21.5	0.169

이를 위해 면재의 두께를 0.6 mm로 고정시켰을 때 하나씩 심재의 두께를 20 mm, 28 mm, 40 mm, 58 mm로 변화시켰을 때의 결과를 Table 5에 보이며, Table 6은 하나씩 심재의 두께를 28 mm로

고정시켰을 때 면재의 두께에 따른 결과로서 각각의 경우에 대한 질량 및 응력을 나타낸다. 또 면재의 두께를 일정하게 유지하면서 심재의 두께를 변화시켰을 때와 심재의 두께를 일정하게 유지하면서 면재의 두께를 변화시켰을 때의 응력변화를 보면, 전자의 경우가 후자의 경우보다 적은 질량의 증가로 훨씬 큰 응력이 감소함을 알 수 있다.

Table 4. Relative value to mass increasing of EASP

Total Mass (kg)	Max. Stress (MPa)	Relative Value	Total Mass (kg)	Max. Stress (MPa)	Relative Value
3.01	317.2	1	3.67	213.4	0.673
3.12	295.0	0.930	3.82	196.9	0.621
3.24	273.7	0.863	4.06	174.2	0.549
3.36	254.6	0.803	4.34	152.6	0.481
3.59	223.0	0.703	4.70	130.0	0.410

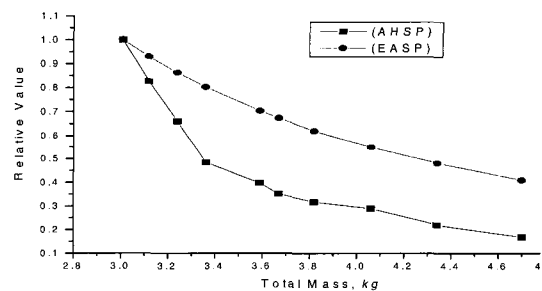






Fig. 21. Relative value to variation of total mass.

Table 5. Mass, stress and relative value to core thickness

	21.2	29.2	41.2	59.2
Face thick. (mm)	0.6	0.6	0.6	0.6
Core thick. (mm)	20	28	40	58
Mass (rel. value)	3.01 (1)	3.15 (1.047)	3.36 (1.116)	3.67 (1.219)
Stress (rel. value)	127 (1)	89.2 (0.702)	61.3 (0.483)	44.6 (0.351)

Table 6. Mass, stress and relative value to face thickness

				
Face thick. (mm)	0.3	0.6	1.0	1.2
Core thick. (mm)	28	28	28	28
Mass (rel. value)	1.82 (1)	3.01 (1.65)	4.92 (2.70)	5.80 (3.19)
Stress (rel. value)	182 (1)	127 (0.698)	84.7 (0.465)	83.4 (0.458)

2.3 자유진동해석

AHSP 구조와 EASP 구조의 고유진동수는 Table 3, 7에 보이며, 고유모드는 Fig. 22~29에서 각각 비교한다. AHSP는 밀도대 강성비가 크므로 EASP보다 고유진동수가 크며, 진동 모드 사이의 차도 크게 나타나는 반면 EASP의 경우는 AHSP보다 차수별 고유진동수도 작고 모드 사이의 고유진동수의 차도 상대적으로 적음을 알 수 있다.

Table 7. Comparison of natural frequencies

	Natural Frequencies (Hz)			
	1st mode (1,1)	2nd mode (1,2)	3rd mode (2,1)	4th mode (2,2)
AHSP	328.26	531.85	703.23	860.53
EASP	94.39	199.50	272.33	376.80

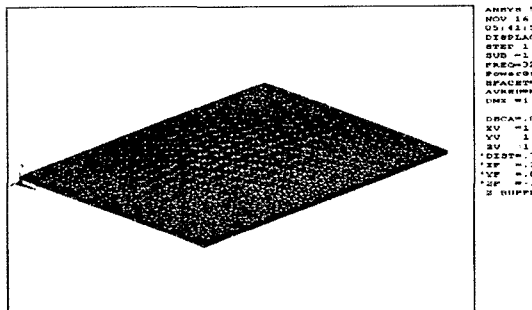


Fig. 22. Natural mode of AHSP (1st 1,1).

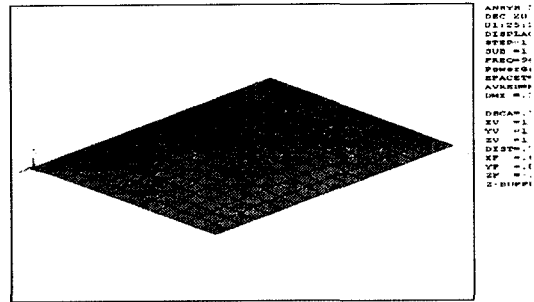


Fig. 23. Natural mode of EASP (1st 1,1).

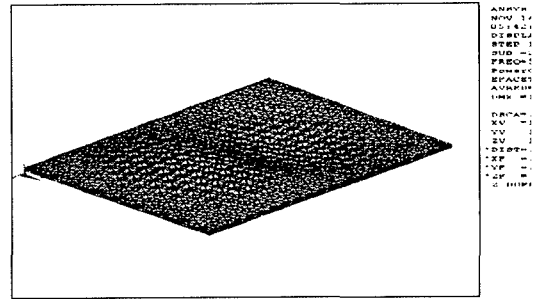


Fig. 24. Natural mode of AHSP (2nd 1,2).

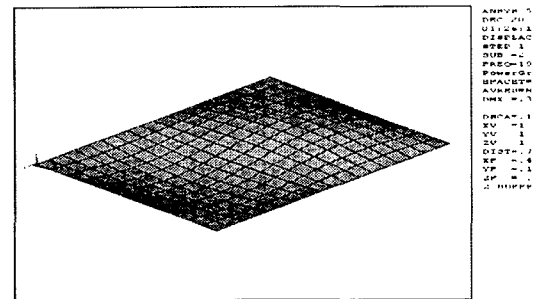


Fig. 25. Natural mode of EASP (2nd 1,2).

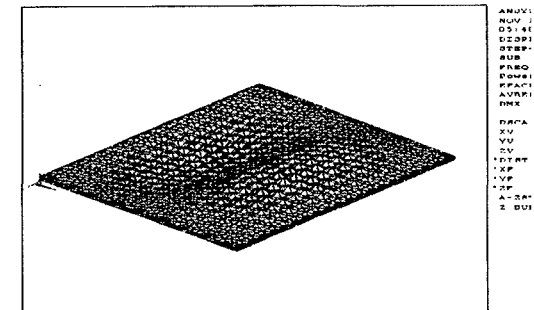


Fig. 26. Natural mode of AHSP (3rd 2,1).

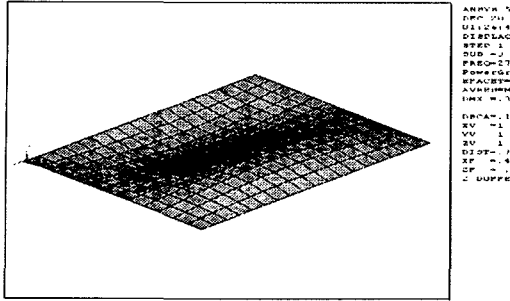


Fig. 27. Natural mode of EASP (3rd 2,1).

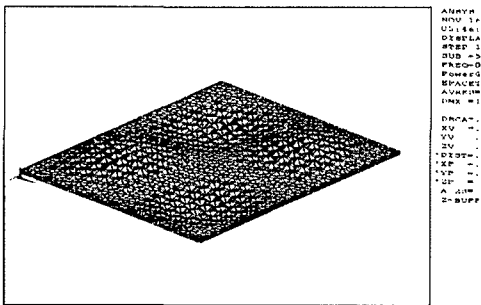


Fig. 28. Natural mode of AHSP (4th 2,2).

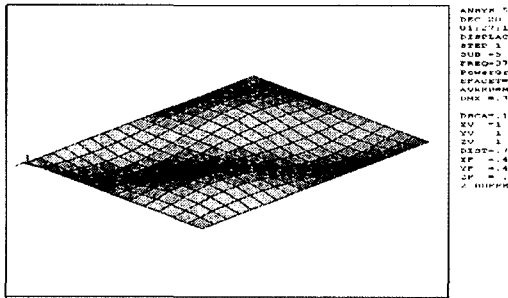


Fig. 29. Natural mode of EASP (4th 2,2).

결론

본 논문에서 알루미늄 하니콤 샌드위치판 구조 (AHSP)의 특성에 대해 해석한 결과는 다음과 같다.

- 1) AHSP의 H/T비가 낮아질수록 응력이 감소하며, 셀 크기(H) 보다는 코어의 두께(T)가 두꺼워질수록 강도와 강성이 증가함을 알 수 있다.

- 2) AHSP 구조가 동일한 질량에서부터 증가하면서 EASP 구조에 비해 2.5~6.0배 정도의 높은 강도를 보이는 것을 알 수 있다.
- 3) AHSP의 면재의 두께변화는 AHSP 전체의 강성에 별로 영향을 미치지 못했으나, 심재의 두께가 증가할수록 단면 2차 모멘트의 값이 커지기 때문에 AHSP의 강성이 매우 커짐을 알 수 있다.
- 4) EASP보다 강성이 큰 AHSP의 고유진동수가 크며, 진동 모드 사이의 차도 커짐을 알 수 있다.
- 5) 비교연구 결과 AHSP 구조가 EASP 구조보다 적은 질량으로 훨씬 더 높은 강성을 갖는, AHSP 구조의 우수성이 입증된다.

따라서 중량경감이 가장 중요한 문제 중의 하나인 초고속선 및 대형선의 경우 AHSP 구조가 높은 굽힘강성을 갖고 다른 재료에 비해 상대적으로 적은 중량이 필요하므로 구조 재료로서의 적합성을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) 손충열 · 김익태 · 백진성(1996) : 알루미늄 하니콤 코어를 갖는 샌드위치 평판의 진동특성에 관한 연구, SNAK, Seoul, 7~8, 413~416.
- 2) 이용욱 · 백점기(1999) : 초고속 대형선의 선가 재료 및 구조에 관한 고찰.
- 3) 손충열 · 임호준 · 김익태(1998) : 알루미늄 하니콤 심재를 갖는 샌드위치 평판과 보강판의 동적 최적설계 및 진동특성에 관한 비교연구, SNAK, Inha, 436~441.
- 4) 김규성 · 이용욱 · 백점기(1999) : 알루미늄 하니콤 샌드위치판의 구조강도 해석, SNAK, Koje, 22~23, 336~339.
- 5) 부경대학교 산업과학기술연구소(2000) : Strength Analysis of Shelter Structure and Joint part of the on Open Deck for Cruiser, Minoan Line.
- 6) Satto, T., Parbery, R. D., Okuno, S. and Kawano, S.(1997) : Parameter Identification for Aluminum Honeycomb Sandwich Panels based on Orthotropic Timoshenko Beam Theory, J. of Sound and Vibration, 271~287.

알루미늄 하니콤 샌드위치 패널구조의 강도 및 진동특성

- 7) Zenkert, D. "The Handbook of Sandwich Construction", 79~90.
- 8) Clough, R. W. & Penzien, J. (1994) : Dynamics of Structures.
- 9) Burto, W. S. and Noor, A. K.(1997) : Assessment of continuum models for sandwich panel honeycomb cores, Com. Methods Appl. Mech. Eng. 145, 34 1~460.
- 10) Zhang, Q. J. and Sainsbury, M. G. (2000) : The Galerkin element method applied to the vibration of rectangular damped sandwich plates, Com. & Structures 74, 717~730.