

원공을 갖는 복합적층판 및 혼합적층판의 좌굴 및 진동해석

구경민*, 홍도관, 김동영(동아대 대학원 기계공학과),
안찬우, 한근조(동아대 기계산업시스템공학부)

Buckling and Vibration Analysis of Laminated Composite Plate and Hybrid Composite Plate with a Hole.

K. M. Gu, D. K. Hong, D. Y. Kim(Mech. Eng. Dept., Dong-A Univ.),
C. W. Ahn, G. J. Han(Mech. & Ind. Syst. Eng. Div., Dong-A Univ.)

ABSTRACT

This paper deals with the buckling and vibration analysis of plate with a hole. We knew that in this paper, as aspect ratio rises in design parameter, the buckling strength and the natural frequency of laminated composite plate decrease and as diameter of hole for width of plate rises, the buckling strength decrease but the natural frequency increase. Also this paper compared the CFRP laminated composite plate with the hybrid composite plate, and proposed that the hybrid composite plate is stronger than the CFRP composite plate.

Key Words : Laminated composite plate (복합적층판), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic : 탄소섬유강화 플라스틱), Buckling strength (좌굴강도), Natural frequency(고유진동수), Hybrid composite plate(혼합적층판)

1. 서론

현재까지 기계구조물의 기본요소로 사용되는 사각형판의 정적, 동적해석이 수행되어져 왔으나, 기계구조물의 형상이 점점 복잡화되고 경량을 요구함에 따라 초기에 가장 단순한 경우의 해를 구하고, 그 후 실제적이고 복잡한 설계에 있어서 단순한 해를 기초로 하여 발전시키는 공학적 접근방법이 필요하게 되었다. 실제 설계에서는 불연속부가 존재하는 구조물을 대상으로 하기 때문에 원공이 있는 평판을 환기구, 정비용 구멍 등의 기능적 요구와 연료선, 전기선 등이 통할 수 있는 용도로 자동차, 항공기, 우주선, 건축 구조물 및 토목 구조물 등에 구조적 요소로 광범위하게 사용되고 있으며 그에 대한 연구들도 활발하게 전개되어 왔다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾

이에 대해 Kim⁽⁴⁾ 등은 보강구조에서 다양한 형태의 방정식에 대한 연구를 하였고, Crawley⁽⁵⁾와 이영신⁽⁶⁾ 등은 실험과 FEM을 통해서 CFRP 외팔보판과 혼합적층판의 고유진동수와 모드형상을 구하였다.

본 연구에서는 원공을 뚫은 평판을 여러판 적층하였을때 원공의 직경과 평판의 종횡비(Aspect ratio) 그리고 적층각을 변화시키면서 구조물의 강성에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 또한, CFRP 만의 고유진동수와 좌굴강도가 아니라 알루미늄을 첨가한 혼합 복합적층판을 해석하였다.

2. 유한요소 해석

2.1 모델링

본 연구에서 사용된 모델은 원공이 있는 CFRP 섬유강화 복합재료와 AL/CFRP/AL, AL/GFRP/AL 혼합적층 복합재료로써, 재료의 모델은 CFRP의 경우 T300 탄소섬유 프리프래그(T300 carbon fiber prepreg)를 사용하였고, 혼합적층 복합재료는 CFRP와 GFRP(E-glass 유리섬유 프리프래그 : E-glass fiber prepreg)에 알루미늄이 각각 외판에 덮인 재료를 사용하였다. Fig. 1은 종횡비가 b/a 인 정방형 복합재료 평판과 복합적층 재료의 적층구조를 나타내며, 물성치와 치수는 Table 1~2에 나타내었다.

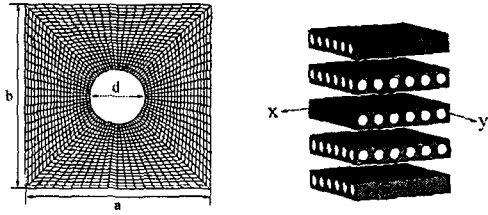


Fig. 1 Structure of plate and laminated construction

Table 1 Mechanical properties of plates

Mechanical property	Description	
	T300 carbon fiber prepreg	Aluminum
ρ [kg/m ³]	1480	2770
E_1 [GPa]	106.20	72.40
E_2 [GPa]	6.86	
G_{12} [GPa]	3.57	28.00
ν_2	0.33	0.30

Table 2 Dimensions of structures

Item list	Description (mm)
Length of structure (b)	1000~2000
Width of structure (a)	1000
Diameter of hole (d)	100~800
Thickness of plate (t)	2.5

2.2 유한요소해석

2.2.1 하중 및 경계조건

경계조건은 좌굴의 경우 판의 밀변을 완전고정하고 윗변에 하중을 가하여 좌굴이 일어나도록 하였으며, 진동해석의 경우는 판의 4변을 완전 고정하여 해석을 수행하였다. 구조물의 형태를 나타내는 변수들은 무차원화 하였으며, 모든 모델링과 해석은 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 5.7에서 이루어졌다. 해석에 사용한 요소의 수는 1600개이고 절점의 수는 4690개를 사용하였으며, 각각의 자유도는 6 자유도($U_x, U_y, U_z, Rot_x, Rot_y, Rot_z$)를 가진다.

2.2.2 좌굴 및 고유진동수 해석

좌굴해석과 고유진동수해석에는 솔리드 모델과 셸 모델에 많이 적용되는 Block lanczos method를 이용하였으며 1 차에서 10 차까지의 고유치와 고유벡터를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 CFRP 적층판

3.1.1 CFRP의 좌굴해석

원공을 갖는 복합적층판의 종횡비(b/a) 3가지와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비(d/a) 8가지 및 적층각 변화에 따른 4가지를 고려하여 총 96가지 경우에 대한 좌굴해석을 실행하였다. Fig. 2~4은 복합적층판의 종횡비와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비 및 적층각에 따른 좌굴강도를 나타내었다. 종횡비와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 커질수록 좌굴강도는 감소하였으며, 섬유방향의 영향에 있어서는 $[0/90]_{10T}$ 의 적층형태가 가장 큰 것을 알 수 있다. $[0/90]_{10T}$ 이외의 좌굴강도는 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 0.5이하에서는 $[45/-45]_{10T}$, $[0/0]_{20S}$, $[45/45]_{20S}$ 의 순으로 나타났으나 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 0.6 이상일 경우 $[0/0]_{20S}$, $[45/-45]_{10T}$, $[45/45]_{20S}$ 의 순으로 나타났다.

특이한 것은 종횡비가 1일 경우 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 0.3, 0.4에는 $[45/-45]_{10T}$ 가 가장 크게 나타났으며, 0.7, 0.8에서는 $[0/0]_{20S}$ 가 가장 크게 나타났다.

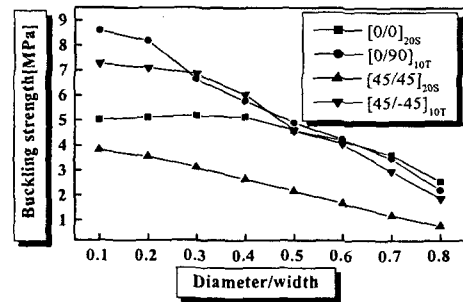


Fig. 2 Buckling strength according to angle-ply at $b/a = 1$

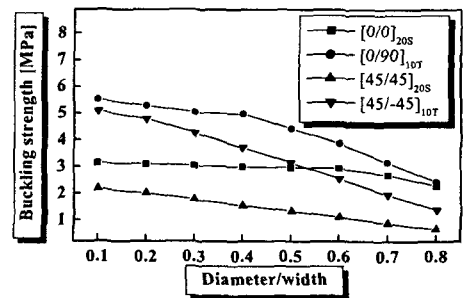


Fig. 3 Buckling strength according to angle-ply at $b/a = 1.5$

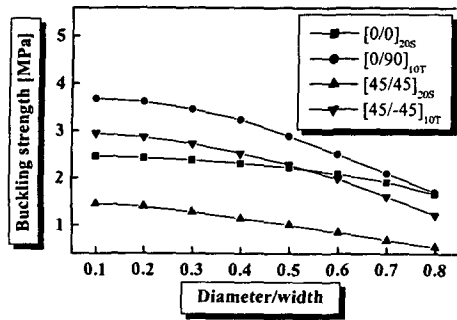


Fig. 4 Buckling strength according to angle-ply at $b/a = 2$

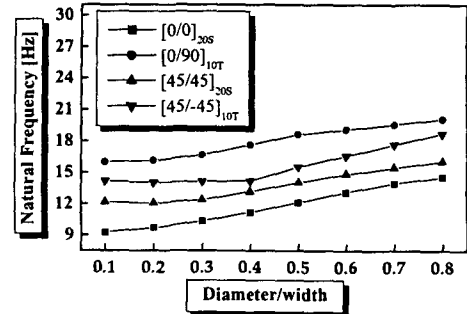


Fig. 7 1st natural frequency according to angle-ply at $b/a = 2$

3.2.2 CFRP의 진동해석

진동해석의 경우에도 3.1.1과 동일하게 해석하였다. Fig. 5~7은 직경비(d/a)와 적층각에 따라 고유진동수가 증가하는 경향을 나타내며, 복합적층판의 종횡비에 대해서는 고유진동수가 감소하는 것을 알 수 있다. 섬유방향의 영향은 단일방향 적층형태인 $[0/90]_{10T}$ 에서 가장 크게 나타났으며, $[45/45]_{10T}$, $[45/45]_{20S}$, $[0/0]_{20S}$ 의 순으로 나타났다.

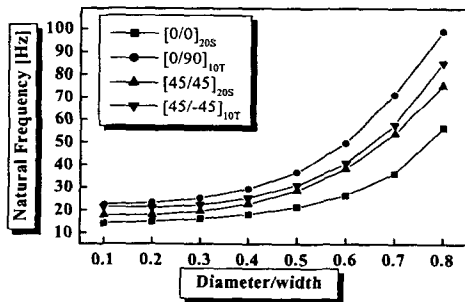


Fig. 5 1st natural frequency according to angle-ply at $b/a = 1$

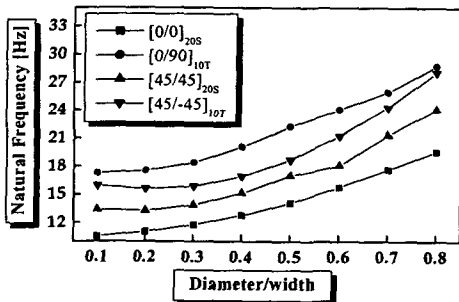


Fig. 6 1st natural frequency according to angle-ply at $b/a = 1.5$

3.3 Hybrid 적층판

3.3.1 Hybrid의 좌굴해석

혼합적층 복합재료는 각각 CFRP와 GFRP를 $[0/0]$ 로 10판을 적층하고 적층판 외벽에 알루미늄 판을 적층하여 종횡비(b/a) 6가지와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비(d/a)를 8가지로 변화시켜가면서 좌굴해석을 하였다. Fig. 8에는 $AL/(0^{\circ}C)_{10}/AL$ 와 $AL/(0^{\circ}GL)_{10}/AL$ 의 좌굴강도에 대하여 나타내고 있으며 종횡비(b/a)가 1일 때 좌굴강도가 큰 것을 알 수 있다.

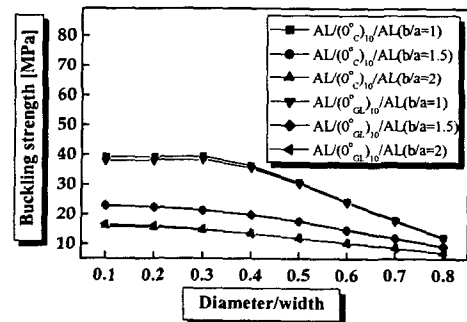


Fig. 8 Buckling strength according to aspect ratio

3.3.2 Hybrid의 진동해석

고유진동수 해석의 경우도 좌굴해석과 동일 환경에서 해석을 수행하였다. Fig. 9에는 $AL/(0^{\circ}C)_{10}/AL$ 와 $AL/(0^{\circ}GL)_{10}/AL$ 의 고유진동수에 대하여 나타내고 있으며 종횡비(b/a)가 1이고 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비(d/a)가 커질 때 고유진동수가 증가하는 것을 알 수 있다.

또한 Table 4에서는 CFRP의 종횡비와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비(d/a)에 따른 모드형상과 혼합적층 복합재료의 종횡비에 따른 모드형상을 나타내고 있다.

Table 4 Mode shape of laminated composite and hybrid composite plate according to aspect ratio

Analysis Aspect ratio	Buckling			Vibration		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
b/a=1						
b/a=1.5						
b/a=2						
AL/(0°c) ₁₀ /AL						
AL/(0°GL) ₁₀ /AL						

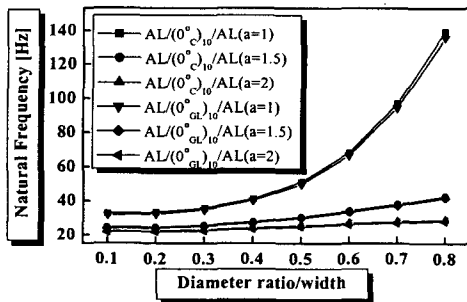


Fig. 9 1st natural frequency according to aspect ratio

4. 결론

본 연구에서는 CFRP 복합적층판과 혼합적층 복합재료 설계파라미터에 대해 치수를 변화시켜가면서 해석을 수행한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 원공이 있는 CFRP 복합적층판의 좌굴 해석을 수행하여 적층판의 중횡비와 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 증가할수록 좌굴강도는 감소하였다.
2. 원공이 있는 CFRP 복합적층판의 고유진동수 해석을 수행하여 밀변의 길이에 대한 원공의 직경비가 증가함에 따라서 고유진동수는 증가하였으나 적층판의 중횡비가 증가할수록 고유진동수는 감소하였다.

3. 중횡비가 1, 1.5, 2인 경우 중 중횡비가 1인 원공을 가진 혼합적층판이 CFRP 적층판의 좌굴강도와 고유진동수가 가장 큰 경우 보다 좌굴강도의 경우는 약 4.7배 크며, 고유진동수의 경우 약 1.4배 크게 나타났다.

참고문헌

1. Young, D., 1950, "Vibrations of Rectangular Plates by the Ritz Method," Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics, Vol. 17, pp. 48-453.
2. Leissa, A.W., 1973, "The Free Vibration of Rectangular Plates," Journal of Sound and Vibration, Vol. 31, pp. 257-293.
3. F. Meraghni, F. Desrumaux, M. L. Benzeggagh, 1990, "Mechanical behaviour of cellular core for structural sandwich panels," Journal of Composite, Part A 30, pp. 767-779.
4. Beomkeun Kim, Richard M. Christensen, 2000. "Basic two dimension core types for sandwich structure," International Journal of Mechanical Science, Vol. 42, pp. 655-676.
5. Crawley, E. F., 1979 "The Natural Modes of Graphite / Epoxy Cantilever Plates and Shells," Journal of Composite Materials, Vol. 13, pp. 195-205.
6. 이영신, 최명환, 1994 "의팔형 복합재료 및 혼합적층 사각판의 자유진동해석," 대한기계학회논문집, 제18권, 제8호, pp. 1899-1909.