

인장하중에 따른 Carbon/Carbon복합재의 진동특성

오승규*, 광이구⁺, 김홍건⁺⁺

(논문접수일 2011. 07. 15, 수정일 2011. 09. 06, 심사완료일 2011. 09. 07)

The Vibration Characteristic of Carbon-Carbon Composite Material due to Tensile Loading

Seung Gyu Oh*, Lee Ku Kwac⁺, Hong Gun Kim⁺⁺

Abstract

Carbon-carbon composite material is the reinforced carbon fiber. Because of its high strength, elasticity and the excellent heat-resisting property in high temperature, carbon-carbon composite material has been used in many fields such as aerospace and automotive industries, etc. Especially, aircraft brake discs used at aerospace can be cracked due to its fatigue and vibration under various loading condition. This research is focused on the influence of the vibration of carbon-carbon composite material by using accelerometer with impact hammer excitation. And the change of vibration mode will be known by applying tensile loading test.

Key Words : Carbon/Carbon Composites(탄소/탄소 복합재), Tensile load(인장 하중), frequency(진동수), Vibration(진동)

1. 서론

Carbon/Carbon 복합재료란 탄소섬유로 이루어진 다공성 섬유 구조에 모재로 탄소를 충전시킨 복합재료로 2500°C 이상의 고온에서도 상온에서의 강도가 유지되면서 밀도가 낮고 열 충격 저항성과 열전도도 및 마찰 마모 특성이 우수하기 때문에 항공기의 브레이크 디스크와 같은 우주항공 재료로 널리 사용되고 있다. 이러한 Carbon/Carbon 복합재료를 항공기용 브레이크 재료로 사용될 경우 금속계

마찰재료에 비해 무게를 40%절감 시킬 수 있으므로 경량화에 따른 연료절감효과도 얻을 수 있다⁽¹⁾. 하지만 Carbon/Carbon 복합재료의 preform 제작 시 여러 개의 적층판으로 이루어지

며 적층되는 배향각도에 따라 복합재료의 기계적 특성은 전혀 다르게 나타난다. 또한 항공기 디스크 브레이크의 경우 이륙 및 착륙 시 제동 장치에서 의한 인장하중과 동시에 많은 마찰과 진동이 일어나게 되는데 이때 발생하는 진동은 인장하중을 받지 않을 때와 진동모드가 다르게 나타난다. 그렇기 때문에 디스크 브레이크에 인장하중이 작용하고 있을 때 진동모드 변화는 실제 항공기 디스크브레이크에 사용되고 있는 Carbon/Carbon 복합재료에 대한 안전성을 입증하기 위해서는 꼭 필요하다.

현재 인장과 진동특성을 동시에 고려하여 해석하기에는 대상물의 실제 거동을 정확히 표현을 하기에 한계가 있으므로 레이저의 비접촉 특성을 이용한 ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry)를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다^(2,3). 하

* 전주대학교 기계공학과

+ 전주대학교 탄소나노부품소재학과

++ 교신저자, 전주대학교 기계자동차공학과 (hkim@jj.ac.kr)

주소: 560-790 전주시 완산구 효자3가 1200

지만 ESPI기법은 위상과 광속을 이용하기 때문에 측정하는 장소의 사람의 움직임이나 작은 진동에 큰 영향을 받는다. 따라서 이러한 점을 보완하고자 측정하고자 하는 물체에 직접 가속도 센서를 부착하여 진동특성을 확인한다.

본 논문에서는 현재 항공기 디스크브레이크의 소재로 쓰이는 Carbon/Carbon 복합재의 시험편을 ASTM(American society for testing and materials)의 기준법에 의해 제작하여 인장시험을 통해 복합재의 최대인장강도를 확인하고 가속도 센서를 이용하여 인장하중이 작용하고 있을 때의 복합재의 진동모드변화를 관찰하여 실제 이론식을 통해 알 수 있는 인장하중이 증가됨에 따라 진동수가 증가하는 것을 실험을 통해 확인하고 FEM 해석을 통해 실험데이터를 비교하여 디스크 브레이크의 신뢰성을 확인하고자 한다.

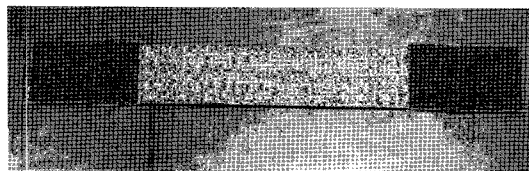
2. 실험방법

실험은 Carbon/Carbon 복합재의 인장하중이 받는 동안의 복합재의 진동모드의 변화를 알기 위한 실험으로 인장시험은 ASTM 3039에 의해 실시되며 인장시험은 만능시험기(Universal Testing Machine)를 사용하였다. 진동측정은 인장하중에 따라 01b-Metravib를 이용하여 측정하였다. FEM해석은 ANSYS Workbench V12를 사용하였다.

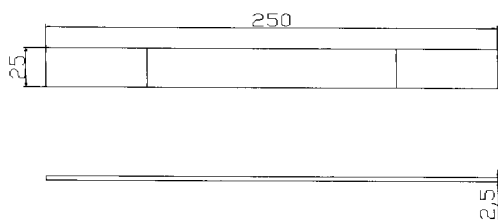
2.1 인장시험

Carbon/Carbon 복합재의 인장시험은 ASTM 3039에 의거해 실시하였으며 시험에 사용된 시험편은 Fig. 1에 나타났다.

인장시험편은 탄소가 0°/90° 반복 배향 구조를 가지고 있으며 Grip부분은 Fiber가 random배향을 가지고 있기 때문에 사포를 사용하였다. 인장시험의 속도는 변위 값으로 2mm/min으로 실험을 시행하였다⁽⁴⁾.



(a) Real specimen



(b) Sketch of specimen (mm)

Fig. 1 Carbon/carbon composite specimen

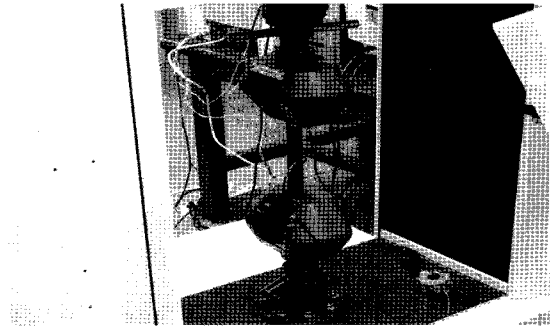


Fig. 2 Experiment for vibration mode

2.2 진동실험

진동실험은 인장시험을 통해 최대인장강도를 확인 후 시편이 파괴되기 직전까지의 인장력을 확인하여 0kN, 2kN, 3kN, 4kN, 4.3kN, 4.6kN, 4.9kN, 5.1kN로 나눠서 측정하였다. Fig. 2는 인장시험 중 가속도 센서를 이용하여 진동 측정하는 장면을 나타냈다.

2.3 FEM 해석

FEM해석은 ANSYS Workbench V12를 이용하였으며 Static Structural와 Modal 해석을 연계하여 해석하였다. 시험편의 양쪽 Grip부분에 구속조건을 주었으며 한쪽은 움직이지 않도록 고정을 시키고 다른 한쪽은 X방향은 움직일 수 있도록 하고 Y, Z방향으로는 고정을 시킨 후 X방향으로 힘을 0kN, 2kN, 3kN, 4kN, 4.3kN, 4.6kN, 4.9kN, 5.1kN 씩 적용하여 각각의 진동모드를 관찰하였다.

3. 결과 및 도찰

3.1 인장시험

인장시험은 9개의 시험편중 파단이 유효면에 있는 시험편 3개를 Fig. 3에 나타냈으며 이 시험편들의 인장시험 결과를 Table 1과 Fig. 4에 나타냈다.

Table 1에서 시험편의 1,2,3은 Fig. 3에서 제일 위에 있는 시험편을 1번으로 지정하고 아래 순서대로 2번, 3번으로 칭하였다.

인장시험 결과 3개 시험편 최대인장강도가 다르므로 제일 낮은 인장강도를 적용하여 5.28kN이후에 파단이 발생할 수 있다.

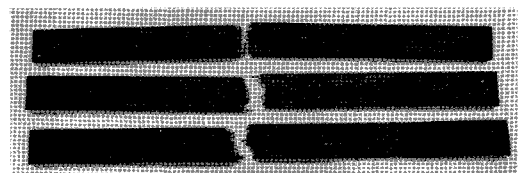


Fig. 3 Failure of the specimens

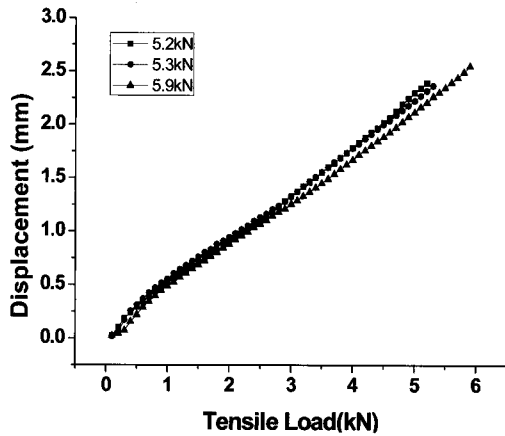


Fig. 4 The result obtained from tensile testing

Table 1 Maximum tensile strength Vs Displacement

Specimen	Maximum tensile strength (kN)	Displacement (mm)
1	5.35	2.403
2	5.9	2.917
3	5.28	2.243

그렇기 때문에 진동해석을 하기 위해서는 5.28kN이내의 인장강도만을 주어야 한다.

3.2 진동모드해석

3.2.1 FEM 해석

FEM 해석 결과는 Table 2에 인장하중에 따른 각각의 Frequency 수치를 나타냈다. 결과를 살펴보면 인장하중이 증가됨에 따라 각각의 진동모드의 값이 증가됨을 알 수 있었다. 인장강도를 전혀 받지 않는 0kN과 5.1kN의 차이는 1차 모드가 565.53, 2차 모드가 1005.63, 3차 모드가 1325, 4차 모드가 3274.2의 차이를 보였다.

Table 2 Tensile load Vs Frequency

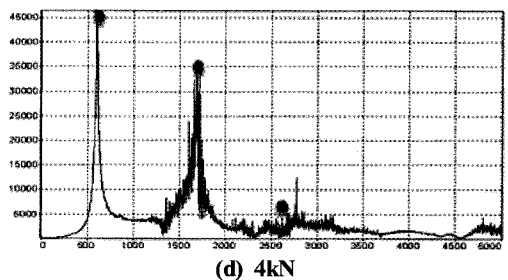
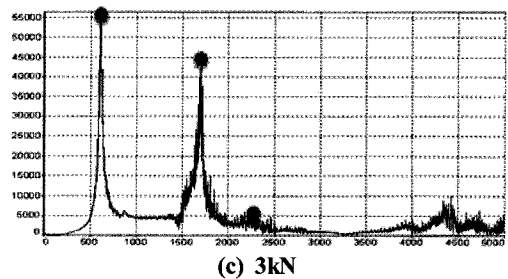
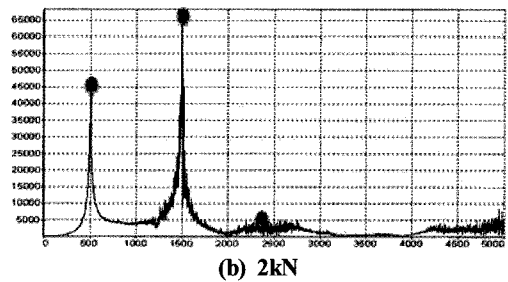
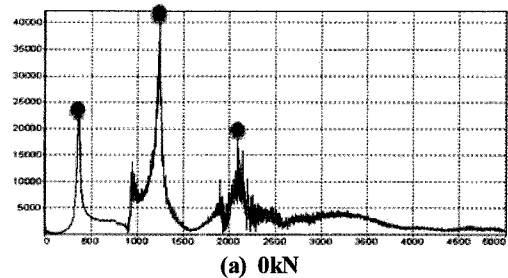
	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4
0kN	215.69	593.27	1161.1	1915.9
2kN	527.6	1116.3	1813.1	2647.5
3kN	622.62	1294.7	2057.6	2941.2
4kN	703.31	1448.7	2273.1	3205.4
4.3kN	725.52	1491.4	2333.4	3280
4.6kN	746.97	1532.7	2392	3352.7
4.9kN	767.73	1572.8	2449	3423.7
5.1kN	781.22	1598.9	2486.1	3470.1

3.2.2 진동 실험 해석

인장강도를 받고 있는 시험편의 진동 주파수는 Table 3에 나타냈으며 진동모드의 그래프는 Fig. 5에 나타냈다.

Table 3 Frequency Vs Tensile loads

Tensile load (kN)	Mode 1 (Hz)	Mode 2 (Hz)	Mode 3 (Hz)
0kN	368.75	1250	2101
2kN	507.81	1490	2210
3kN	565.63	1589.06	2309
4kN	606.25	1717.19	2462
4.3kN	612.50	1740.69	2451
4.6kN	640.63	1785.94	2440
4.9kN	646.88	1796.88	2353
5.1kN	664.06	1803.13	2504



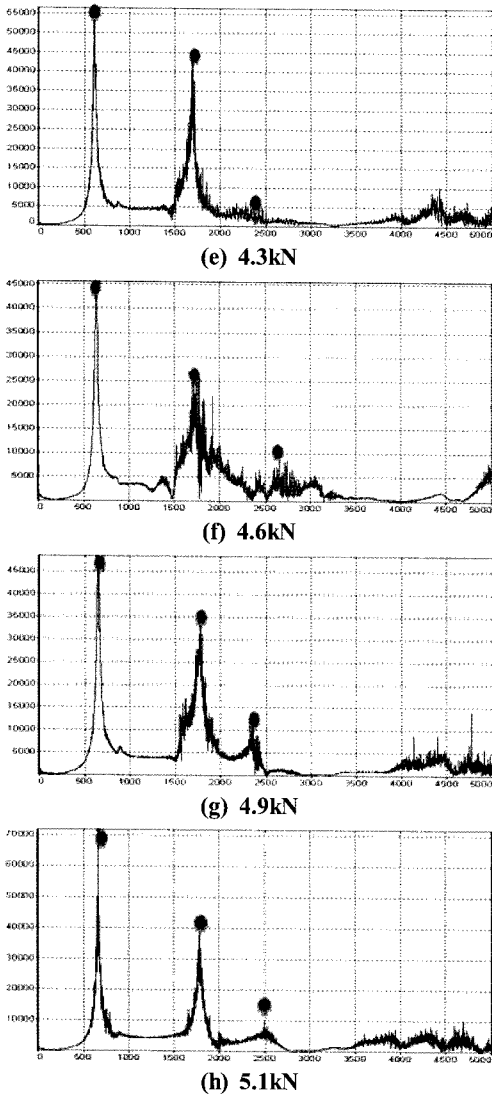


Fig. 5 The graph of vibration mode

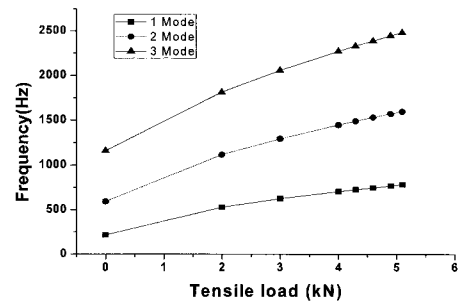
위 결과로 인장강도에 따라 진동모드가 변하는 것을 알 수 있으며 인장강도가 증가되면 고유진동수가 쉬프트 되는 것을 관찰할 수 있다.

이러한 이유는 아래 식을 통해 확인할 수 있다.

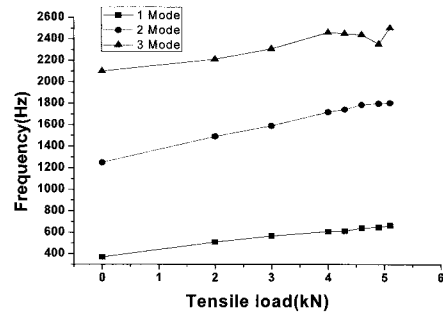
$$\omega_n = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A} \left(n^4 + \frac{n^2 P l^2}{\pi^2 EI} \right)^{1/2}} \quad (1)$$

여기서, ω_n =고유진동수(Hz), E=탄성계수, I = 단면 2차 모멘트, ρ =밀도, A= 단면적, l=부재 길이, P는 힘을 나타내며 인장강도(P)가 증가하면 인장력이 보의 강성을 크게 함에 따라 고유진동수가 증가한다⁽⁵⁾. 이러한 결과는 실제 이론식을 실험을 통해 다시 한번 입증할 수 있는 결과이다.

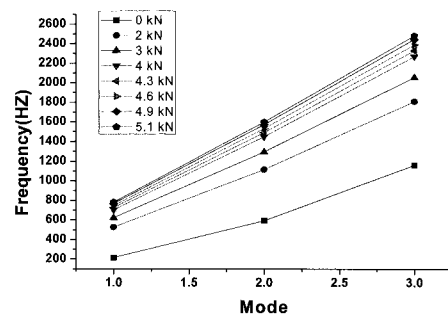
FEM해석과 시험편의 진동수에 대한 인장하중과 진동모드의 비교를 Fig. 6에 나타내었다.



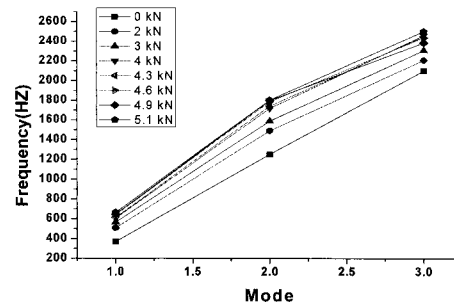
(a) Vibration mode Vs tensile load Obtained from FEM analysis



(b) Vibration mode Vs tensile load obtained from tensile testing



(c) Frequency Vs Mode obtained from FEM analysis



(d) Frequency Vs Mode obtained from tensile testing

Fig. 6 The result of FEM analysis and tensile loading

인장강도에 따른 진동모드와 FEM 해석을 비교해 보면 Fig. 5에서 실험에서 3차 모드까지 밖에 나타나지 않은 이유는 인장강도가 계속 작용됨에 따라 시험편의 진동을 방해하는 것으로 사료된다.

Fig. 6을 보면 FEM 해석에서의 진동수와 대한 인장하중과 모드의 관계가 시험편의 작용하는 진동수에 대한 인장하중과 진동모드의 패턴이 흡사함을 알 수 있다.

4. 결론

- (1) Carbon/Carbon 복합재 시험편의 최대인장강도 5.1kN에서 진동수는 664.06(1차), 1803.13(2차), 2504(3차)Hz로 인장강도가 작용하지 않을 때(0kN)의 진동수 368.75(1차), 1250(2차), 2101(3차)(Hz)보다 300~500Hz정도 진동수가 증가하였다.
- (2) Carbon/Carbon 복합재 시험편에 인장강도가 작용되면 복합재의 진동수는 달라지며 인장강도가 높아지면 진동모드의 주파수가 증가함을 알 수 있었다.
- (3) 인장강도가 작용될 때 진동모드가 변화하는 이유는 인장강도에 의한 강성과 응력의 변화 때문인 것으로 추정된다.
- (4) 실제 Carbon/Carbon 복합재가 디스크 브레이크에 사용될 경우 회전 중 인장하중이 가해지며, 강성과 인장응력 변화가 발생하여 고유진동수 변화가 있을 것으로 사료된다.

후 기

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2011-0014149)

참 고 문 헌

- (1) Seong, T. W., 1993, "Friction and Wear Behavior of Carbon/Carbon Composites for Aircraft Brake Material," *Journal of the KSLE*, Vol. 9, No. 1, pp. 62~69.
- (2) Yang, S. P., and Kim, K. S., 1999, "A Study under Behavior of Tensile and Vibration in Composite Plate by ESPI Method," *Journal of the KSMTE*, Vol. 8, No. 4, pp. 106~111.
- (3) Kang, Y. J., and Kim, D. W., 1999, "A Study on Vibration Mode Shape Measurement of Disk Brake by using Time-averaged ESPI," *Journal of the KSMTE*, Vol. 8, No. 4, pp. 79~86.
- (4) Tuttle, M. E., and Brinson, H. F., 1984, "Resistance-foil Strain-gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol. 24, No. 1, pp. 54~65.
- (5) Singiresu, S. R., 2004, *Mechanical Vibrations 4st edition*, Pearson Education Inc. State of Texas, pp. 648~649.