

# Silicone Rubber-Filled 허니콤 샌드위치 복합재료의 댐핑 특성

김동욱<sup>\*·</sup> 조치룡<sup>\*\*·</sup> 황호<sup>\*\*</sup>

## Damping Characteristic of Silicone Rubber-Filled Honeycomb Sandwich Composite

Dong-Uk Kim<sup>\*·</sup>, Chee-Ryong Joe<sup>\*\*</sup>, Huang Hao<sup>\*\*</sup>

### Abstract

In this paper a new sandwich composite is developed by injection silicone rubber into the honeycomb core. This composite material is designed to have a improved damping performance. For verification damping tests were conducted to the specimens with different stacked USN125 carbon/epoxy prepreg laminate facesheets, [0/90]<sub>4s</sub>, [0/45/-45/90]<sub>2s</sub>, [45/-45]<sub>4s</sub>. Frequency response, displacement response and damping ratio were checked and compared for the both groups of specimens, with and without rubber fillings. The experimental results provided a good agreement with our original material design concept.

**Key Words :** Sandwich composite, Silicone rubber, Carbon/epoxy prepreg, Damping

### 1. 서론

샌드위치 복합재료는 그것의 재료 중량에 대한 강성과 강도가 높기 때문에 항공기와 우주 산업에서 많이 이용되고 있다. 일반적인 샌드위치 복합재료는 얇고 강한 facesheets와 가벼운 코어를 접착하여 만든다. 이 복합재료의 각 성분은 비교적 약하고 유연하지만 같이 조합될 때 고강성, 고강도의 아주 강하고 가벼운 구조를 만든다.

샌드위치 복합재료는 에너지 흡수, 무선주파수 차폐, 음향차단[1]등의 특성을 가지므로 그러한 목적을 필요로 하는 곳에 주로 적용된다. 최근에 샌드위치 복합재료는 진동 및 소음 제어, 댐핑 등의 용도로 많은 연구자들의 주의를 끌었다. 진동 흡수 목적을 위한 샌드위치 복합재료 구조의

재료 구성 중 한 방법은 점탄성 특성을 지닌 코어를 사용하는 것이다. 이와 관련된 이론적인 접근은 Shyh-Chin Huang 그리고 다른 사람들[2-3]의 연구에서 살펴 볼 수 있다. 그들의 논문에서 얇은 적층판과 점탄성을 지닌 코어가 있는 구조의 원형 플레이트에 대한 진동응답, 댐핑 효과에 대해 연구했다.

댐핑 효과는 외팔보의 고유진동수를 변화시키지 않고 진폭을 줄이는 데 있어서 효과적이라는 것을 알아냈다. U.K. Vaidya 외 다른 사람들[4]은 폼에 3차원 Z편을 끼워 넣고, 허니콤 셀을 폼으로 채우고, 빈 공간에 Z편을 넣는 방법 등으로 코어를 보강한 형태로 샌드위치를 구성했다. 이런 구성은 횡방향에 대한 강성 증가, 요구 조건에 부합되는 진동, 충격 특성 등의 이점을 제공한다.

본 연구에서 허니콤 코어의 셀에 점탄성 물질을 넣은 샌드위치 복합재료를 만들었다. 허니콤 코어는 전체 복합재료 구조의 강성을 높이고, 코어 셀에 삽입된 silicone rubber는 좋은 에너지 흡수 특성을 제공할 수 있으며, 이와 같이 결합된 샌

<sup>\*·</sup> 창원대학교 기계설계공학과,  
교신저자(E-mail : kdumoon@changwon.ac.kr)  
<sup>\*\*</sup> 창원대학교 기계설계공학과

드위치 복합재료 구조물은 시스템의 댐퍼 역할을 수행할 수 있다.

## 2. 실험

### 2.1 시편 제작

이 연구에서 샌드위치 복합재료의 facesheets는 USN125 carbon/epoxy prepreg를 16-ply로 적층한 것이고, 오토클레이브에서 성형되었다. 허니콤 코어는 Hexcel사에서 생산된 Nomex-5/32-2.4이다. 선택한 허니콤 코어의 셀크기는 5/32in, 코어의 두께는 10mm, 밀도는 2.4 pcf (pounds per cubic foot)이다. facesheets와 허니콤 코어의 접착을 위한 접착제는 Cytec Industries Inc.에서 생산된 FM 73 접착 필름을 사용하였다. Face-skin은 USN125 carbon/epoxy prepreg를 판상 모양으로 절단하고 두께 1 mm로 적층했다. Fig. 1에 나타난 curing cycle 조건으로 오토클레이브를 사용하여 [0/90]4s, [0/45/-45/90]2s, [45/-45]4s 적층 구조로 제작했다. 성형 후 150mm × 100mm × 12mm로 절단하여 facesheets를 만들었고 허니콤 코어는 facesheet 판의 절단 후 치수를 고려하여 잘랐다. 첫 번째 그룹은 미리 성형되어진 facesheets를 FM73 접착필름을 이용하여 Nomex 허니콤과 접착한다. G클램프에 의해 고정된 후 시편들은 챔버에서 경화되었다. facesheets와 허니콤이 결합된 구조물은 대기온도에서 121℃까지 3℃/min으로 가열한 뒤 2시간을 유지하고 다시 대기온도까지 3℃/min의 속도로 1시간의 냉각시간을 가진다.

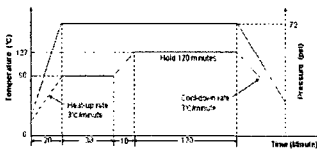
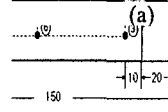
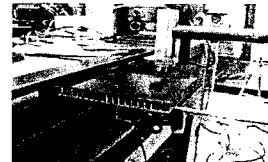


Fig. 1 Curing cycle of facesheet

두 번째 그룹은 facesheets의 한면에 허니콤 코어를 접착하고 허니콤 코어 셀 안에 silicone rubber를 주입한 뒤 나머지 한면의 facesheet를 코어면에 접착한다. 본 연구에서 ShinEtsu Silicone에서 생산된 Liquid Silicone Rubber(LSR)를 사용하였다. 이 silicon rubber는 일반의 제품보다 점성이 약한 액체 상태로 밀봉되어져 있다.

### 2.2 시험

진동 시험은 수평 테이블 위에 시편을 놓고 충격망치법을 이용하여 행해졌다. 시편은 Fig. 2(a)에 보여진 것과 같이 시편 끝단 100mm × 20mm의 면적이 캔틸레버 상태로 고정되었고 갱센서는 4mm 간격을 두고 시편 아랫면에 놓여졌다.



(b)

Fig. 2 (a) Test settings (b) Dimensions of test points

B&K Type 8202 impact hammer를 이용하여 캔틸레버 상태로 고정된 샌드위치 패널에 충격을 가한다. 충격힘의 범위는 300N~1000N이고, 주파수 범위는 0~2000Hz이다. 충격망치, 갱센서는 신호분석기 B&K Signal Analyzer Unit Type 2035의 두 개 채널에 각각 연결되고 실시간으로 신호를 받아들인다. Fig. 2(b)에 표시된 9개 지점들에 충격망치로 충격을 가한다. 코히어런스 그래프를 통해 보여지는 그림을 참고하여 신뢰도 높은 신호를 선택하고 그때의 변위와 주파수를 컴퓨터에 저장한다. 시험결과 얻은 데이터들을 Vibrant Technology Inc.의 ME'Scope Visual Modal Pro. 소프트웨어를 사용하여 주파수 응답을 구한다.

## 3. 시험결과 및 해석

먼저 각 시편들에 대한 주파수 응답을 구했다. 편의성을 위해 facesheet의 적층순서가 같은 시편을 서로 비교했다. Fig. 3은 [0/90]4s facesheets를 가지는 시편의 주파수 응답 커브이다. Fig. 3(a)는 일반적인 샌드위치 패널 형태의 주파수 응답이고, Fig. 3(b)는 고부가 채워진 형태의 샌드위치 패널의 주파수 응답 그래프를 나타내고 있다.

이러한 형식으로, [0/45/-45/90]2s 적층순서를 가지는 facesheets 시편의 주파수 응답은 Fig. 4에

나타나고, [45/-45]<sub>4s</sub> 적층순서를 가지는 facesheets 시편의 주파수 응답은 Fig. 5에 나타나 있다.

Fig. 3~5에서 보여진 것과 같이, 9개 지점에서의 피크 점들은 거의 비슷하게 나타났다.

이 피크점의 값은 각 복합재료 샌드위치 패널 시편들의 위치점에 따른 First natural frequency이다. 각 시편들의 결과를 볼 때, 허니콤 코어 속에 고무를 채운 시편들의 고유진동수가 고무를 채우지 않은 시편들에 비해 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 주파수 경향은 고무질량이 샌드위치 패널에 더해지면서 전체 구조물의 밀도 변화를 가져오기 때문에 발생한다.

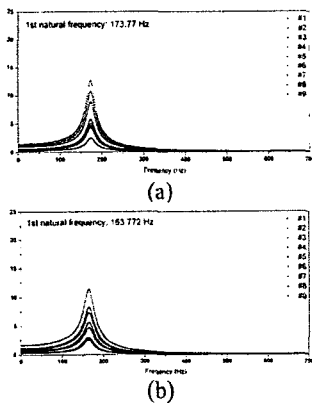


Fig. 3 Frequency response of sandwich composite panels with [0/90]<sub>4s</sub> facesheets (a) No rubber filled (b) Rubber filled

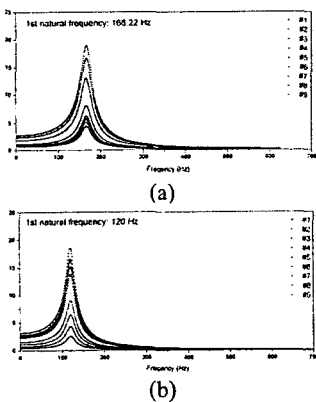


Fig. 4 Frequency response of sandwich composite panels with [0/45/-45/90]<sub>2s</sub> facesheets (a) No rubber filled (b) Rubber filled

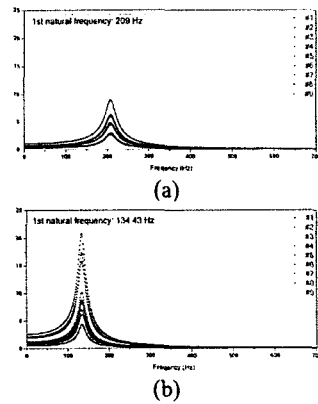


Fig. 5 Frequency response of sandwich composite panels with [45/-45]<sub>4s</sub> facesheets (a) No rubber filled (b) Rubber filled

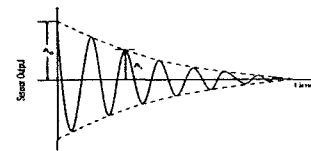


Fig. 6 Schematic graph for damping ratio calculation

Fig. 6에서 보여지는 것과 같이 일반적인 댐핑 시스템의 자유진동에서 진폭은 시간이 흐름에 따라 급격하게 감소한다. 감소비는 감쇠율을 결정한다. 많은 시스템에서 보여지는 가장 일반적 경우의 그림이다. 허니콤 코어 셀 속에 고무를 채운 샌드위치 패널과 그렇지 않은 시편들의 댐핑 특성에 대한 분석을 수행했다.

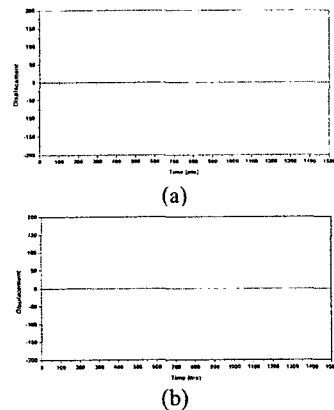
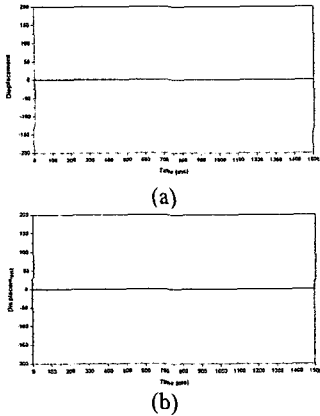
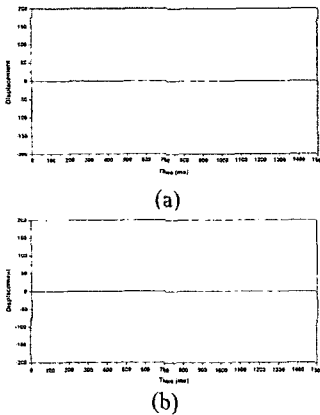


Fig. 7 Displacement response of sandwich composite panels with [0/90]<sub>4s</sub> (a) No rubber filled (b) Rubber filled



**Fig. 8** Displacement response of sandwich composite panels with  $[0/45/-45/90]_{2s}$   
 (a) No rubber filled (b) Rubber filled



**Fig. 9** Displacement response of sandwich composite panels with  $[45/-45]_{4s}$   
 (a) No rubber filled (b) Rubber filled

Fig. 7~9에서  $[0/90]_{4s}$ ,  $[0/45/-45/90]_{2s}$ ,  $[45/-45]_{4s}$ 로 적층된 각각의 시편들에 대한 시간흐름에 따른 감쇠를 보여준다. 그래프를 통해 고무를 넣은 시편이 그렇지 않은 시편에 비해 변위가 빠르게 0으로 감으로 감쇠 시간이 짧다는 것을 알 수 있다. 일반적인 샌드위치 패널의 감쇠 시간은 약 600ms, 허니콤 코어 셀 속을 고무로 채운 샌드위치 패널의 감쇠 시간은 약 300ms 정도로 나타났다.

#### 4. 결론

샌드위치 복합재료의 코어 속에 점탄성 재료를 채운 실험적 연구는 댐핑 효과에 대한 관심을 가지고 수행되었다. 시험결과로부터 몇 가지 결론을 얻을 수 있다.

허니콤 코어 속에 고무를 채운 시편들의 고유진동수가 고무를 채우지 않은 시편들에 비해 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 주파수 경향은 고무질량이 샌드위치 패널에 더해지고 전체 구조물의 밀도 변화를 가져오기 때문에 발생한다.

허니콤 코어 속에 고무가 채워진 샌드위치 패널의 감쇠 시간은 약 300ms, 그렇지 않은 샌드위치 패널은 약 600ms였다. 허니콤 코어 속에 고무가 채워진 샌드위치 패널은 외부충격에 대한 응답 시간이 허니콤 코어를 채우지 않은 샌드위치 패널에 비해 짧게 나타난다. 따라서, 허니콤 코어 속이 고무로 채워진 샌드위치 복합재료는 구조물의 진동 흡수에 있어 좋은 특성을 가진다.

#### 참고문헌

- (1) Huang Wen-chao and Ng Chung-fai, "Sound Insulation Improvement using Honeycomb Sandwich Panels", *Applied Acoustics*, Vol. 53, No. 1-3, 1998, pp. 163-177
- (2) Yuh-Chun Hu, Shyh-Chin Huang, "The frequency response and damping effect of three-layer thin shell with viscoelastic core", *Computers and Structures* 76 (2000) 577-591
- (3) Shann-Chewn Yu, Shyh-Chin Huang, "Vibration of a three-layered viscoelastic sandwich circular plate", *International Journal of Mechanical Sciences* 43 (2001) 2215-2236
- (4) U.K. Vaidya, S. Nelson, B. Sinn, B. Mathew, "Processing and high strain rate impact response of multi-functional sandwich composites", *Composite Structure* 52 (2001) 429-440