

하니콤 샌드위치 구조물의 수리 시 반복 경화에 따른 강도 특성 평가

손영준*·이기현*·김국진**·한중원**·김윤해***

Evaluation of Strength Characteristics of HoneyComb Sandwich Structure Due to the Repeated Curing Cycle in Repair Process

Y-J Son*, K-H Lee*, K-J Kim**, J-W Han** , Y-H Kim***

Key Words: Honeycomb sandwich structure, Delamination, Thermal aging, Flatwise tensile, Drum peel, Long beam flexural strength

Abstract

Aerospace industries are widely using honeycomb sandwich structures that it has high specific strength and stiffness, chemical material resistance and fatigue resistance. But, in repairing process of damaged areas, one of the problems is that delamination can be occurred in the sound areas during and/or after the exposure to the elevated curing temperature in case that the repair process is repeated. Therefore, this study was conducted Flatwise tensile, Drum peel and Long beam flexural strength tests to evaluate the degree of degradation of mechanical properties of the honeycomb sandwich structures by affecting thermal aging. As the results, the decrease of mechanical strength was observed at the specific specimen which is exposed over 50hrs at 127°C.

1. 서 론

복합재료는 경량화 및 고기능화를 요구하는 공업 구조물에 다양하게 사용되고 있으며 계속적으로 그 활용이 크게 기대되는 재료이다. 특히 구조 부재에서 샌드위치 구조물은 무게에 비하여 높은 강성 및 강도를 지니고 있으며, 비압축성, 내부식성, 흡열 및 흡음 특성을 지니고 있기 때문에 우주 비행선, 항공기 구조, 선박, 기차, 차량, 냉동 컨테이너, 건물의 내장재, 소형 보트의

패널(panel) 로 사용이 증대되고 있다.[1-5]

이러한 샌드위치 구조물은 저밀도의 코어(core)와 얇은 면재(face plates)로 구성되어 있으며, 구조재로 사용되는 I-beam과 유사한 기계적 특성을 갖는 경량의 구조재이다. 이때 면재는 알루미늄, 티타늄 등의 금속재 또는 유리섬유, 탄소섬유 등의 복합재가 주로 사용되며 축방향의 하중을 담당하는 역할을 하고, 코어는 목재, 폼 형태의 발포재, 하니콤 등이 주로 사용되며 전단하중을 담당하고 변형에너지를 흡수하는 역할을 한다.[6]

샌드위치 구조물 부품은 가공중 화학적 반응에 의한 경화를 수반하는 열경화성 수지인 에폭시(epoxy)수지가 사용되어 경화 공정에 따른 열노출 정도에 따라 그 품질이 크게 좌우된다. 경화공정이라 함은 처음 부품이 사용되기 위해 경화시키

* 한국해양대학교 대학원

** 대한항공 항공우주산업본부

*** 한국해양대학교 교수

는 것과 구조물의 결합이나 파손에 의한 수리 (repair)를 위해 경화시키는 것으로 크게 구분할 수 있다.[7]

하니콤 구조의 특징상 코어와 표피가 분리되는 박리현상(Delamination)은 실제 항공기나 기타의 사용용도에서 그 현상이 두드러지게 나타나는 것이 현실이다. 이러한 박리현상의 최소화를 위해서 수지의 경화사이클(Cure Cycle)의 횟수와 경화 조건의 조절등을 통하여 그 수명을 향상시킬 수 있다.[8]

실제로 부품의 생산 시의 공정이나 기술은 일정한 방법으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 그러나 금속재료와 달리 복합재료는 반복적인 수리로 인한 열간노출에 대한 물성변화에 대해서는 자료가 부족하여 그 방법을 고찰해보고자 한다. 따라서 본 시험은 항공기용 복합재료로 쓰이는 샌드위치 구조물품에 대한 수리와 수리시 발생하는 열간노출에 따른 기계적인 특성변화를 파악하고자 한다.

2. 시험재료 및 시험방법

2.1 시험재료 및 시편제작

본 실험에서는 샌드위치 구조재의 프리프 레그로 CYTEC FIBERITE사에서 제조한 고온경화용 glass/epoxy 프리프레그 ST7781과 ST220을 사용하였고, 하니콤 코어로는 HEXCEL사에 제조한 유리섬유 하니콤을 사용하였다. 그리고 Test block 접합재는 3M사의 Paste type adhesive(scotch-weld EC 2216 A/B)를 사용하였다.

Table 1 Properties of ST 7781 ST 220

Test Item	Material Type	
	ST220	ST7781
Tensile Strength(MPa)	402.7	530.9
Tensile Modulus(GPa)	21.17	23.44
Compressive Strength(MPa)	471.6	543.3
Compressive Modulus(GPa)	19.79	27.58
Resin Solid Content(%)	42	39
Gel Time(min)	4	4

표1에서 보시는 바와같이 인장강도는 각각 402.7, 530.9MPa이고, 수지함유율은 42%, 39%인 프리프레그를 사용하였고 표2에서는 하니콤 코어에 대한 물성치를 보여주고 있다.

표1과, 표2의 물성치를 가진 재료를 가지고 시험편을 제작하기 위하여 오토클레이브 성형법을 사용하였으며, Fig.1과 같이 제조회사에서 제시한 경화사이클에 의한 온도 조건과 압력을 적용하였다.

Table 2 Properties of fiberglass honeycomb core

Test Item		
Density(kg/m ³)		123
Ribbon Direction	Shear Strength(kPa)	3592
	Shear Modulus(MPa)	144.7
Warp Direction	Shear Strength(kPa)	3019
	Shear Modulus(MPa)	137.5

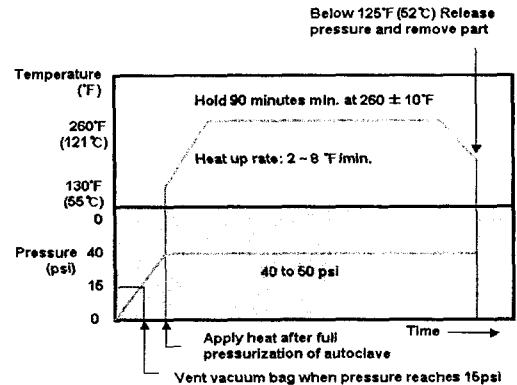


Fig.1 Autoclave cure cycle

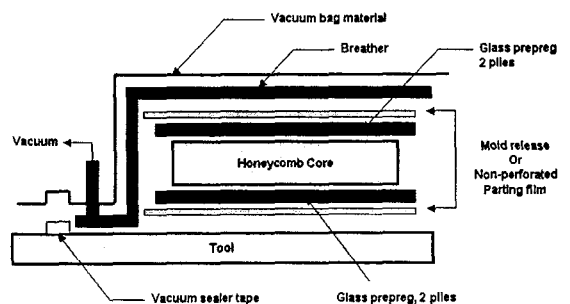
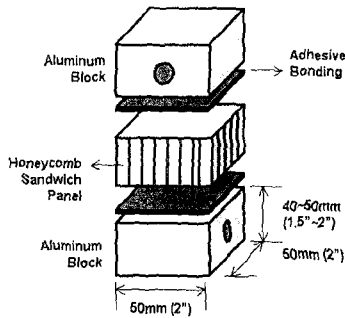
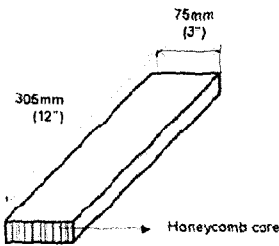


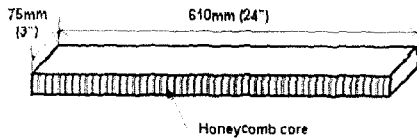
Fig.2 Lay-up for sandwich structure



(a) Flatwise specimen



(b) Drum peel specimen

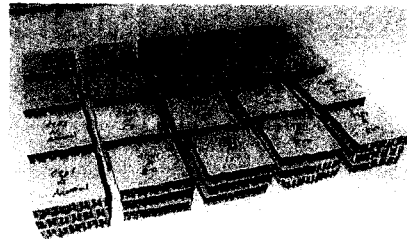


(c) Long beam flexural specimen

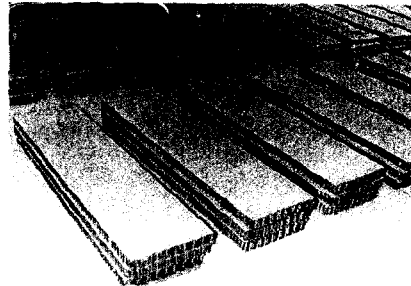
Fig. 3 Classification of test specimens

이 시험편을 제작하기 위해 사용된 오토클레이브는 고온(127℃), 고압(200psi)의 일정한 경화사이클 하에서 진공상태로 면재와 심재를 일체성형법으로 제작할 수 있는 미국의 TEC사에서 제조한 오토클레이브를 사용하였다.

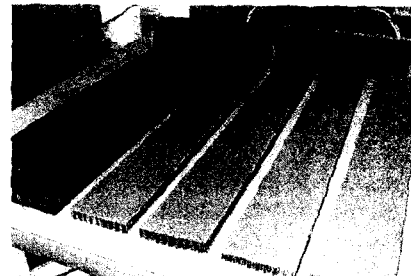
Sandwich specimen을 제작하기 위한 적층과정을 모식화 한 것이 Fig.2이며, 면재에 해당하는 프리프레그는 각각 2 플라이(Ply)를 적층하였으며, 그 사이에 Fiberglass honeycomb 코어를 삽입하였다.



(a) Flatwise specimen



(b) Drum peel specimen

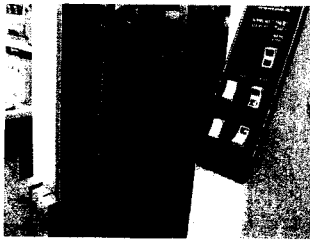


(c) Long beam flexural specimen

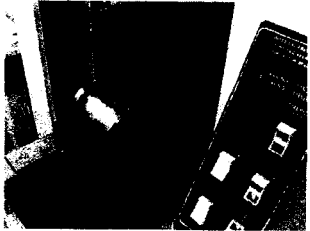
Fig. 4 Configuration of test specimen

2.2 시험방법

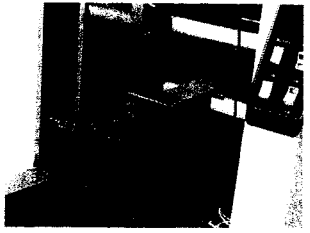
하니콤 코어로 보강된 복합재료 시험편은 오토클레이브 성형법을 이용해 Fig.3과 같은 형상으로 제작하였다. (a)는 Flatwise tension 시험편모양이며, (b)와 (c)는 Drum peel 시험편과 Long beam flexural 시험편을 나타낸다. Flatwise tension 시험편과 알루미늄 블록과의 접촉은 3M 2216 Adhesive Film을 사용하였으며, 상온에서 24시간 경화 후, 70℃에서 1시간 경화접착 하였다. Fig.3과 같은 시험편을 제작하기 위하여 diamond saw에서 가공하여 완성된 시험편을 Fig.4에 나타내었다.



(a) Flatwise tensile



(b) Drum peel strength



(c) Long beam flexural

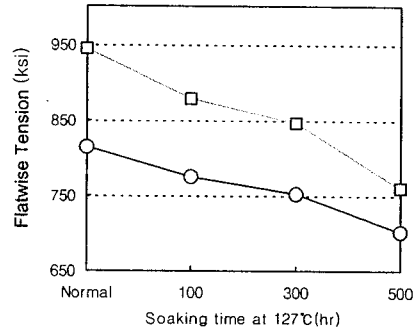
Fig.5 Honeycomb Testin

제작된 시편을 aging하기 위하여 127°C의 건조로에서 100, 300, 500 시간의 노출을 주었다. Fig.1에서 보는 바와 같이 치음 시험편의 경화의 시간이 90분임을 생각한다면 100시간의 aging은 약 66회에 걸친 수리의 경화를 진행한 것과 같은 조건을 나타낸다. 시험조건은 Drum peel시험시 Cross head speed 가 7.3mm/min으로 하였고, Flatwise tension 시험[9]과 Long beam flexural 시험에서는 Cross head speed를 최대 파단하중이 3 ~ 6분 사이에 일어날 수 있는 범위로 정하였다. Flatwise tensile, Drum peel 및 Long beam flexural strength의 시험장면을 Fig. 5에 나타내었다.

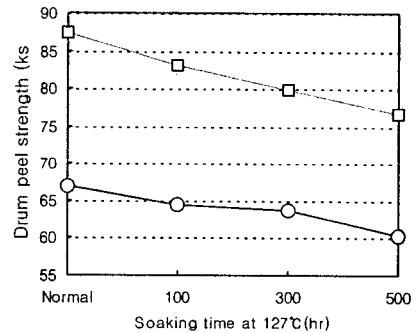
3. 시험결과 및 고찰

본 연구는 하니컴 샌드위치가 열에 반복적으로 노출 되었을 때의 접착강도를 측정함으로써 열간

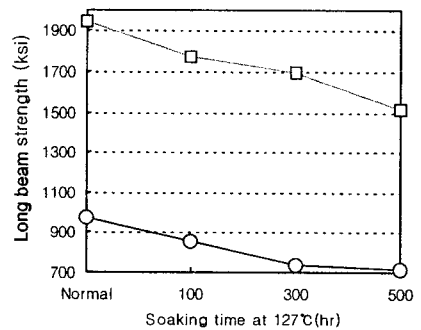
재노출이 물성변화에 어떤 영향을 미치는가를 분석하고자 하였다. 하니컴 샌드위치의 Flatwise tension, Drum peel, long beam flexural 강도값을 Fig. 6에 나타내었으며, 열간노출시간이 길어짐에 따라 강도값은 감소하는 경향을 보여주고 있다.



(a) Flatwise tensile strength



(b) Drum peel strength



(c) Long beam flexural strength

Fig. 6 Honeycomb panel test Curve of average data

에폭시 수지의 경화는 Fig. 1에 나타낸 바와같은 경화사이클로 열을 가함으로서 이루어진다. 이러한 경화사이클은 제작사에서 프리프레그가 일정한 성능 - 통상 1000psi의 lap shear strength - 을 나타내기 위한 온도조건으로 정해진다. 경화사이클에서 온도가 증가함에 따라 실제 경화온도에 도달하기 전에 겔화가 시작되며 고분자반응이 진행된다. 최대온도에서 약90분간의 유지 시간중에 고분자 사슬간의 가교결합(cross-linkage)이 이루어지며, 일반적으로 에폭시는 이 시간내에 완전하게 가교반응이 되지 않지만 95%정도의 가교반응이 일어난다. 따라서 Fig. 1의 경화사이클을 완료한 후에 수지시스템에 미 반응 가교결합이 잔류하게 된다. 여기에 반복되는 경화사이클에 의해 경화온도에 재노출되게 되던 네트워크 구조를 가진 분자간 결합이 온도에너지를 받음에 따라 그의 진동에너지가 커지고 따라서 분자간의 Mobility가 증가하게 되는데 이러한 증가된 Mobility의 결과 수지내에 잔류되어 있는 미반응 가교결합의 반응이 진행되어 가교결합을 100%에 가깝게 한다. 이와 유사한 연구에 따르면 열간 노출시간이 길어짐에 따라 수지시스템의 유리전이온도(Tg)점이 상승함을 볼 수 있었다. 그러나 가교밀도가 증가함에 따라 수지시스템이 더욱 brittle하게 되어 하니컴 샌드위치의 코아와 skin사이의 peel strength가 감소함에 따라 전체적인 기계적 강도값이 감소하는 것으로 사료된다.

4. 결론

- (1) 대부분의 수리는 작은결합이나 손상의 수리를 위해 구조물 전체를 경화시키는 것으로 인해 열간노출에 의한 박리현상이 두드러지는 것을 알 수 있었다.
- (2) 이러한 박리현상이 하니컴 구조물의 물성치를 저하시키는 요인이 되는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 물성저하의 원인으로는 반복적인 열의 노출에 의해 수지부의 경화도가 증가하여 수지표면이 거칠어져 면재와 코아재간의 계면접착력이 떨어지는 것으로 사료된다.
- (4) 이러한 물성저하를 최소화하기 위해서는 손상 부위의 국부적인 수리가 필요하다고 사료되며, 최소한의 경화온도에 대한 재노출은 보다

나은 조건과 박리현상의 지연을 가져올 수 있다는 것을 알 수 있었다.

- (5) 위와 같은 문제를 해결하고 경제적인 수리방법으로 Heat blanket이나 E-Beam cure 등을 이용한 국부적인 경화방법을 적용해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Gibbson, R. F., Principles of Composite Material Mechanics, McGraw-Hall Inc., 1994, pp. 1~33.
- (2) Burchardt, C., "Fatigue of Sandwich Structures, with Inserts", Composite Structures, Vol. 40, Nos.3 ~4, 1998, pp. 201~211.
- (3) Sheno, R. A., Clark, S. D., and Allen, H. G., R. "Fatigue Behavior of Polymer Composite Sandwich Beams", Journal of Composite Materials, Vol. 29, No. 18, 1995, pp. 2423~2445.
- (4) Judawisastra, H., Ivens, J., and Verpoest, I., "The Fatigue Behavior and Damage Development of 3D Woven Sandwich Composites", Composite Structures, Vol. 43, 1998. pp. 35~45.
- (5) 김재훈, 이영신, 박병준, 김덕희, 김영기 "우레탄 폼 코아 샌드위치 구조물의 정적 및 피로 특성" 한국복합재료학회지, 제12권, 제6호, 1999. pp. 74~82.
- (6) 윤성호, 이상진, 조세현 "고나하추 충격시험기를 이용한 스티칭된 샌드위치 복합재의 저에너지 충격거동 연구".54~64.
- (7) 한국복합재료학회지, 제12권, 제5호, 1999, pp 공군군수사령부 항공기술연구소 "Advance Composite Repair" 2000. pp.63
- (8) 제갈영순, 이원철, 권오혁, 윤남균, 임길수, 안종기, 박경준, "케블라/에폭시 프리프레그의 경화특성에 관한 연구" 한국복합재료학회지, 제14권, 제2호, 2001, pp. 1~7.
- (9) Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions, Annual book of ASTM C297-94