

오토클레이브 성형공정을 대체할 수 있는 진공가압식 성형장치 개발

박희관*·윤영기**·윤희석***

Development of Vacuum-Press Curing Equipment for the Substitution of Autoclave

Heui-kwan Park, Young-ki Yoon and Hi-Seak Yoon

Key Words: 복합재료, 성형장치, 진공가압식, 손상수리, VP성형장치

Abstract

This paper addresses the development of VP curing equipment for the substitution of autoclave which has several limits in application. This equipment adopt vacuuming and pressurizing processes similarly to the autoclave, but has flexible pressurizing and movable system. The experiments were pursued to determine and to compare specific properties of the specimens produced by three kinds of processes; autoclave, hotpress, and VP. The results show that the VP curing equipment can produce the useful composite material with a little inferior quality to the autoclave, but better than the hotpress. Considering the movability of VP curing equipment, it can be expanded its application to the areas of composite patch-repaired structure in large objects.

기호설명

v_f : volume fraction of fiber
 A_f : sectional area of fiber
 A_m : sectional area of matrix

1. 서론

경량, 고강도의 섬유강화 복합재료는 항공, 우주, 자동차 및 일반산업 등에 폭넓게 응용되고 있는 첨단소재로 이미 1970년대부터 그에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다[1]. 연구방향은 성능의 향상, 원가절감, 성형공정 등에 있으며 그 결과 원자재의 가격하락과 생산비용의 절감으로 응용범위가 확대되어, 산업전반에 걸쳐 이용되고

있다. 그러나 응용범위를 더욱 확대하기 위해서는 가격과 성능의 관계를 적절히 운용하고, 성형공정을 간소화하여야 한다. 또한, 운용되고 있는 제품에 손상이 발생하였을 경우 이를 수리하기 위한 성형방법의 연구가 절실히 요구되고 있다.

지금까지 고성능 복합재료는 Autoclave를 이용한 성형방법이 주종을 이루어 왔다. 그러나 이 방법은 제품별 생산단가가 높을 뿐 아니라 장비의 이동이 불가능하여 작업장소의 제약을 받기 때문에 그 운용에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여, 최근 선진국의 연구동향은 제품의 기계적 성질의 저하가 크지 않은 범위에서 Autoclave를 대체할 수 있는 성형방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[2][3].

본 논문에서는 복합재료 성형은 물론 항공기 날개와 같은 대형구조물의 표면에 발생한 국소적인 균열을 보수할 수 있는 장치를 개발하고 다른 성형공정과 비교하여 이 장치의 효용성을 규명하고자 한다.

* 성화대학 항공자동차정비과

** 전남대학교 대학원 기계공학과

*** 전남대학교 기계공학부

2. 성형장치 제작

2.1 장치 설계 요구조건

2.1.1 장치 개요

항공기 날개와 같은 대형 구조물의 외벽에 직접 부착하여 성형할 수 있도록 이동이 가능하고, 수리부분의 면과 장치사이에 기밀이 유지될 수 있도록 하며, 작업의 편의성을 도모하기 위해 크기와 무게를 소형, 경량으로 한다. 이를 바탕으로 진공가압식 성형장치(VP 성형장치)를 고안하였으며, 장치의 구성은 Fig.1과 같다. Fig.1에서 Silicone Plate는 Vacuum Bag의 기능을 하며 반영구적인 사용이 가능하다. 또한 다른 성형장치에서 이용되고 있는 Vacuum Film은 주름이 자주 발생된다는 단점이 있으나 Silicone Plate의 탄성을 이용하여 이 문제를 해결하였다. 그리고 Vacuum Port 내부에는 일정한 간격으로 구멍을 뚫은 Tube를 장착하여 진공압이 고르게 작용하도록 하였다. VP장치와 Base Plate사이의 기밀을 유지하기 위해서는 고열에서도 손상되지 않는 Sealant(Pensil 100, 동양실리콘)를 고착시켰다. 따라서 VP성형장치를 Base Plate에 얹고 진공압을 가하면 밀착되면서 기밀이 유지된다.

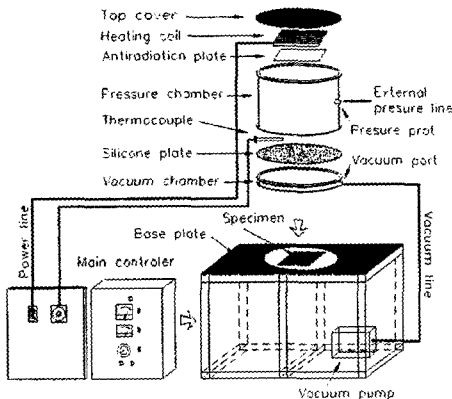


Fig.1. Sketch of Vacuum-Press Curing Equipment(VP Curing Equipment)

2.1.2 장치 성능

성형된 복합재료 내부의 결함을 최소로 하고 두께와 섬유방향이 균일한 제품을 성형하기 위한 '최적의 경화사이클'로, 유지될 수 있도록 자동/반자동 제어가 가능해야 한다. 또한 진공도는 최

대 0.2torr까지 가능하며, 가압 범위는 0~15psi로 하였으며, 온도는 최대 200℃까지로 하였다.

2.2 장치 제작

설계요구조건을 만족시키기 위하여 가압실의 크기는 지름 500mm로 하였으며, 가압력은 안전성을 고려하여 20psi까지 가할 수 있도록 Vacuum Port Flange폭을 30mm로 하였다.

이렇게 제작된 장치를 Base Plate위에 얹고, Vacuum Port와 Vase Plate사이에서 시편을 넣어서 성형한다. 제작된 VP성형장치는 Fig.2와 같다.

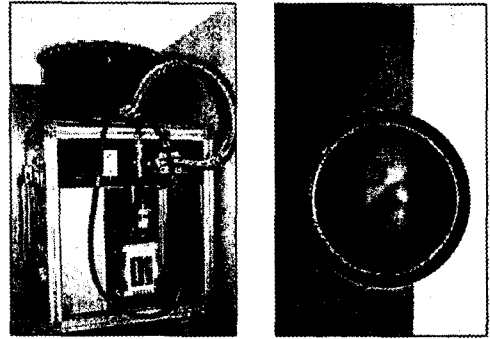


Fig.2. VP Curing Equipment

2.3 Carbon/Epoxy 시편 제작

본 연구에서는 한국화이바의 Carbon/Epoxy Prepreg CU125NS(Resin 함유율: 37%)를 선정하여 수행하였으며, Carbon/Epoxy Prepreg를 Fig.3과 Table 1에서와 같이 0° 방향으로 3Ply와 6Ply로 적층한 후 VP, Autoclave 및 Hotpress로 시편을 제작하고, 이들의 인장강도 및 Fiber Volume Fraction에 대한 특성을 비교하였다.

Fig.4는 경화를 위한 적층형태를 보여주고 있으며 경화사이클은 Fig.5와 같다.

3. VP 성형장치 성능평가

3.1 인장시험

시편을 규격(ASTM D3039)에 맞게 다이아몬드 커터를 이용하여 절단한 다음 양끝에 Tab을 붙이고[4], Instron사의 인장시험기(Model 8872)에 장착하고 위치제어방식에 의거하여 0.02mm/s의 속도로 시편이 파괴될 때까지 하중을 가하면서 변위를 측정하였다.

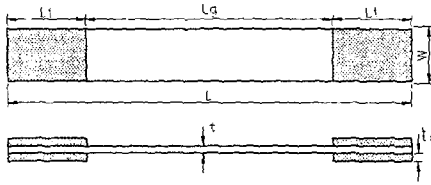


Fig.3. Dimension of tensile specimen

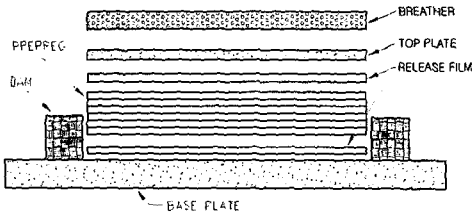


Fig.4. Lay up of Carbon/Epoxy Prepreg

Table 1 Size of specimen [mm]

| No. of ply | L | Lt | Lg | W | t | t _t |
|------------|-----|----|-----|----|------|----------------|
| 3 ply | 250 | 56 | 138 | 15 | 0.35 | 1.5 |
| 6 ply | 250 | 56 | 138 | 15 | 0.7 | 1.5 |

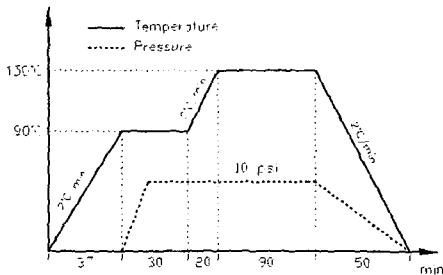
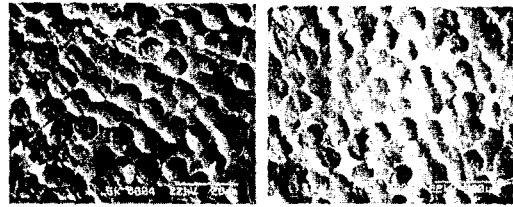


Fig.5. Curing cycle

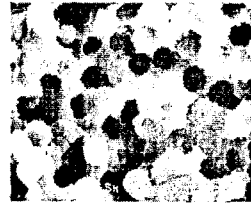
3.2 Fiber Volume Fraction 분석

Fig.6은 시편을 Fiber의 90°방향으로 절단한 다음, 전자현미경(Hitachi S-2400)을 이용하여 1500배 확대 촬영한 것이다. 여기서 다음 식을 이용하여 Fiber Volume Fraction (U_f)을 계산하였다.[5]

$$U_f = \frac{A_f}{A_f + A_m}$$



(a) VP Curing Equip' (b) Autoclave

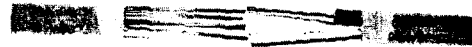


(c) Hotpress

Fig.6. SEM Photographs of Sectional Surface



(a) VP Curing Equipment



(b) Autoclave



(c) Hotpress

Fig.7. Shape of fractured specimen

3.4 시험결과 및 고찰

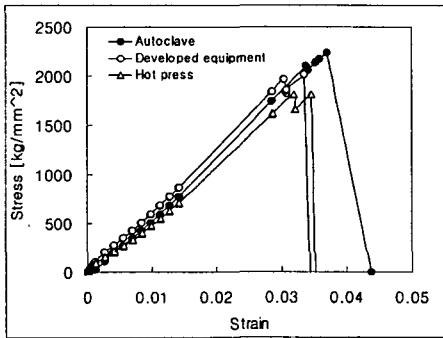
3.4.1 인장 시험

Fig.7은 인장시험 후 시편의 파괴형상을 보여 주고 있다, 시편은 최종 파괴에 도달하기 전에 국소적으로 층간 분리가 발생하여 부분적인 균열과 함께 파괴가 진행되었다. 이러한 현상은 Autoclave보다 Hotpress에서 더욱 심하게 나타났으며 VP성형장치에서는 중간정도의 특성을 보였다. Fig.8은 각각의 성형장치로 제작한 시편을 단순인장 시험한 결과이고, 인장강도는 Table 2에 정리하였다. 그 중에 Autoclave로 성형한 시편이 가장 높게 나타났으며 다음으로 VP성형장치, Hotpress순으로 나타났다.

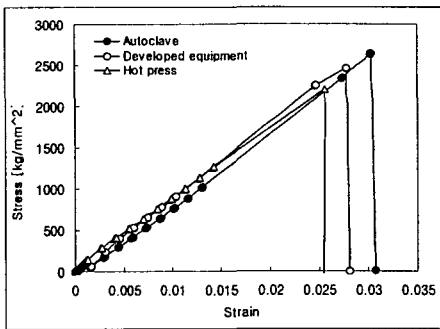
3.4.2 Fiber Volume Fraction

각각의 시편에 대한 Fiber Volume Fraction은 Table 2와 같으며 Autoclave로 성형한 시편이 가장 높고 다음으로 VP성형장치, Hotpress 순으로 나타났다.

VP성형장치와 Autoclave가 성능면에서 차이를 보인 원인 중에 하나는 가압력의 차이에서 비롯된 것이며, 이 차이를 극복하기 위한 방안은 Vacuum Port Flange를 좀더 크게 제작하여 30psi이상의 압력을 가하면 가능하다. 또한 VP성형장치의 경우 이동이 가능하고, Vacuum Film 부착하는 절차를 생략한다는 점에서 작업 절차의 간소화를 도모하였다.



(a) 0°, 3ply



(b) 0°, 6ply

Fig.8. Stress/Strain Diagram

Table.2. Specific Properties of Specimen

| Curing Method | Tensile stress (kg/mm ²) | U _t (%) |
|---------------|--------------------------------------|--------------------|
| VP | 2,463 | 68.5 |
| Autoclave | 2,641kg/mm ² | 71.9 |
| Hotpress | 2,207kg/mm ² | 66.7 |

4. 결론

본 연구에서는 VP성형장치와 기존의 장치를 이용하여 Carbon/Epoxy적층판을 제작한 다음 각각의 시편에 대한 인장강도 및 Fiber Volume Fraction을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) VP성형장치는 Autoclave에 비하여 성능이 다소 떨어지는 경향을 보였으나, Hotpress에 비해서는 더 나은 성능을 보여주었다.
- (2) VP성형장치는 이동이 가능하고 작업절차가 간소하여 활용범위를 확대할 수 있다.

이번 연구에서는 평면모양의 시편에 대한 연구가 수행되었으나, 향후 곡면모양 등 다양한 형상의 시편에 대한 연구를 수행하여 장치의 효용 가치를 더욱 높이고자 한다.

후기

본 연구는 성화대학 특성화 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 협조하여 주신 모든 분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) 전이진 외, "Autoclave 성형법 개발", 한국기계연구소 연구보고서, 1987.
- (2) James A. Frailey and Douglas W. Carter, "Rapid Repair of Large Area Damage to Contoured Aircraft Structures", 1995.
- (3) 이우일 외, "복합재료의 Autoclave 대체성형 기술 개발", 서울대학교 연구보고서, 1995.
- (4) ASTM, "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", 1995.
- (5) Mallick P. K., "Fiber reinforced composite", Marcel Dekker, Inc., PP. 81, 1993.