

섬유체적함유율의 영향에 따른 GFRP적층판의 기계적 특성에 관한 연구

국 중석*

A Study about Mechanical Properties of GFRP Laminates depending on Fiber Volume Fraction

Joong-Suk Kook

Key Words: GFRP Laminates, Mechanical Properties, Fiber Volume Fraction

Abstract

Domestic small and medium ship companies have lack of leisure boat technologies and especially they have a problem about its low performance because of the overweight of boat hull. So it is necessary to have alternative manufacturing process to improve the mechanical properties of composite material.

In this study, a vacuum curing system was developed as an alternative manufacturing process and then changed the fiber volume fractions of GFRP laminates. The properties of GFRP laminates such as void contents, Young's modulus and fracture toughness were determined for various fiber volume fractions.

1. 서론

우리나라는 3면이 바다로 둘러 싸여 있고, 21 세기에 접어들면서 국민생활 수준의 향상으로 해양레저산업이 크게 발전할 것으로 기대된다. 중소조선소에서는 많은 어선이 GFRP로 제작되어왔지만 어획감축으로 인하여 신조에 대한 수요가 감소되었고, 이에 따른 대체로서 레저보트가 대두되고 있는 실정이다. 그러나 국내 중소조선소의 레저보트기술은 매우 미흡한 상태로 특히 선체의 중량으로 인하여 성능저하가 문제로 되고 있다. 따라서 복합재료의 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 제작공정의 개선이 필요하다.

Solar⁽¹⁾는 GFRP적층판에 대하여 시편의 균열길이, 폭 및 두께의 영향을 고려하여 인장시험을 수행하여 기계적 특성을 연구하였다.

Agrwal⁽²⁾는 GFRP적층판의 종류 및 균열과 폭의 비에 따른 파괴인성시험을 수행하였다.

본 연구에서는 기존의 수적층공정을 개선하여 진공성형 시스템에 의한 방법을 사용하여 GFRP 적층판의 섬유 함유량을 변화시켰고, 이에 따른 Void 함유량 및 3점 굽힘시험에 의한 기계적 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 재료 및 적층방법

수지는 선박용 불포화 폴리에스테르(G-713, (주)대상)를 사용하였고, 유리섬유는 Chopped된

* 대불대학교

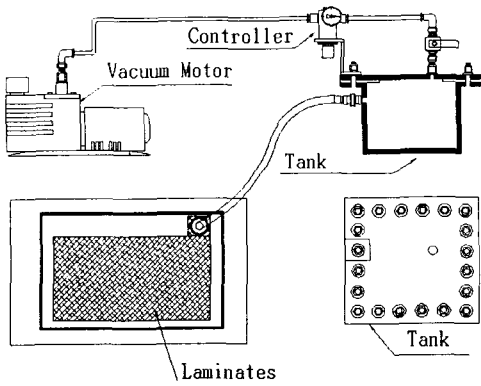


Fig. 1. Vacuum Curing System

메트 #450을 사용하였다. 경화제는 상온용 MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)를 사용하였다. 여기서 적층판을 제작하는 방법은 두 가지로 메트에 경화제와 혼합된 수지를 바르는 수적층 방법과 수적층 한 후 진공펌프를 사용하여 수지의 양을 줄이는 진공성형을 이용하여 제작하였다. 총 적층 수는 16ply로 하였다.

그림1은 진공성형 시스템을 나타낸 것으로 압력조절기로 진공압을 자동으로 조절할 수 있도록 하였다. 적층판의 주위에는 이형필립, 브레더, 실런트 테이프 등을 사용하였다.

2.2 섬유함유량 및 Void함유량

섬유함유량 V_f 를 측정하기 위하여 식(1)을 사용하였다.

$$V_f = \frac{W_f P_m}{W_m P_f + W_f P_m} \quad (1)$$

여기서 W_m, W_f 는 수지 및 유리섬유의 중량이고, P_m, P_f 는 수지의 비중 및 유리섬유의 비중이다.

표 1은 시편 제작 조건에 따른 섬유함유량이다. 기호 G1은 수적층한 시편으로 섬유함유량이 17.7%이고, G2에서는 25%, G3에서는 32%, G4에서는 41%이다.

Void 함유량 V_{void} 은 식(2)를 사용하여 계산하였다.

Table 1. Fiber volume fractions under curing process conditions

기호	메트크기 (mm x mm)	가동시간 (min)	진공압 (atm)	섬유함유량 (%)
G1	196x260	-	-	17.7
G2	200x260	10	-0.3	25
G3	198x259	10	-1.0	32
G4	197x256	30	-1.0	41

$$V_{void} = 100 - M_d \left(\frac{r}{d_r} + \frac{g}{d_g} \right) \quad (2)$$

여기서 M_d 는 측정된 복합재의 비중, d_r, d_g 는 수지와 유리섬유의 비중, r, g 는 수지와 유리섬유의 중량이다. 그림 2는 섬유함유량에 따른 Void 함유량의 변화를 나타낸 것이다. 시험 데이터의 편차가 있으나, 섬유 함유량에 따른 평균 Void 함유량은 증가하고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 시편을 절단한 후 두께단면을 연마하여 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 섬유함유량이 적어짐에 따라 기포의 크기가 커지고 있어 재료파손에 영향을 미칠 것으로 고려된다. 그림 4는 적층 단면을 연마하여 광학현미경으로 관찰한 사진이다.

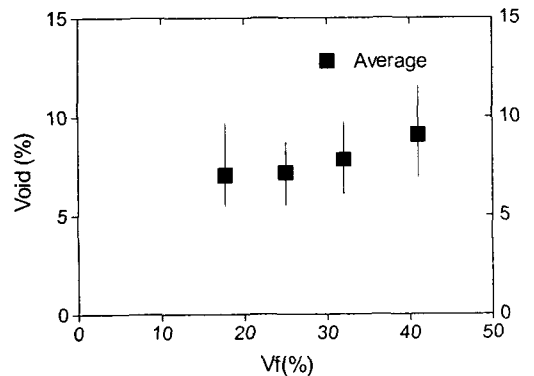


Fig. 2. Void content versus fiber volume fraction

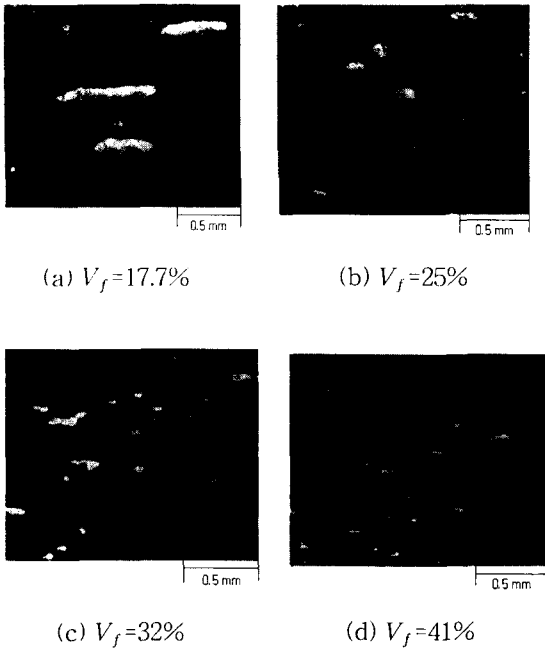


Fig. 3. Thickness cross-section of GFRP laminates

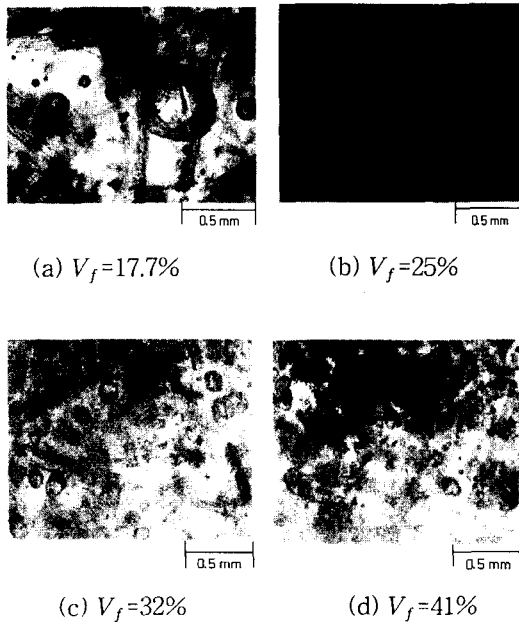


Fig. 4. Laminated cross-section of GFRP laminates

2.3 기계적 특성 시험

섬유함유량에 따른 탄성계수를 알아보기 위하여 시험편의 길이와 높이를 80mm x 20mm로 3점 굽힘시험을 수행하였다. 시험기의 변위제어속도는 0.005 mm/sec로 하였다.

ASTM D5045에 준하여 3점 굽힘시험에서 지지부의 영향을 고려하기 위하여, 그림 5와 같은 국부변형시험을 수행하였다.

그림 6은 3점 굽힘으로 인한 파괴인성시험을 나타내고 있다. 시험편의 크기는 3점 굽힘강도시험의 것과 같다. 파괴인성시험의 하중 및 변위선도는 지지부의 국부변형의 영향을 고려하여 보정하여 주었다. 파괴인성시험 K_{IC} ($\text{MPa m}^{1/2}$)는 다음과 같은 식을 사용하여 계산하였다.

$$K_{IC} = \left(\frac{F_Q L}{BW^{\frac{2}{3}}} \right) \times f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (3)$$

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = 3\left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{1}{2}} \times$$

$$\frac{1.99 - \left(\frac{a}{W}\right)\left(1 - \frac{a}{W}\right)\left[2.15 - 3.93\left(\frac{a}{W}\right) + 2.7\left(\frac{a}{W}\right)^2\right]}{2\left(\frac{1+2a}{W}\right)\left(\frac{1-a}{W}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

여기서 F_Q (kN)는 하중과 변위선도의 기울기의 95%에서 만나는 하중, L (cm)는 시험편의 길이, B (cm)는 시험편의 폭, W (cm)는 시험편의 폭, a (cm)는 균열길이이다.

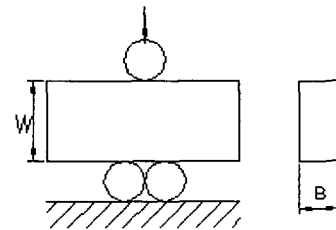


Fig. 5. Displacement correction

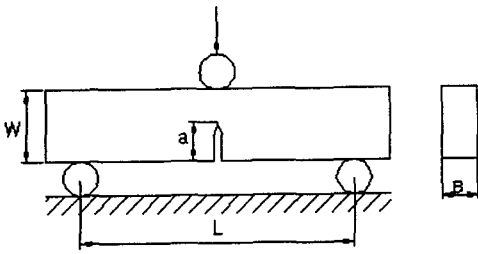


Fig. 6. Fracture toughness test

3. 시험 결과 및 고찰

그림 7은 3점 굽힘시험으로부터 측정된 섬유함유량에 따른 적층판의 탄성계수를 보여주고 있다. 섬유함유량이 17.7%에서는 탄성계수가 5.39 GPa를 나타내고 있지만 섬유함유량이 41%에서는 8.91 GPa로 증가하고 있다. 따라서 섬유함유량이 증가함에 따라 탄성계수가 커짐을 알 수 있다.

그림 8은 섬유함유량이 17.7%인 경우, 적층판의 파괴인성 시험의 하중-변위 선도이고, 지지부의 국부변형을 고려한 것이다. F_Q 는 하중과 변위선도 기울기의 95%에서 만나는 하중으로 약 1650 N이었다.

그림 9는 섬유함유량에 따른 적층판의 파괴인성을 나타낸 결과이다. 복합재료의 불균질성으로 인하여 시험 데이터의 편차가 있다. 섬유함유량 17.7%에서는 파괴인성이 $9 \text{ MPa m}^{1/2}$ 이었고, 섬유함유량 41%에서는 파괴인성이 $16.6 \text{ MPa m}^{1/2}$ 이었다. 따라서 섬유함유량이 증가함에 따라 파괴인성이 증가한다.

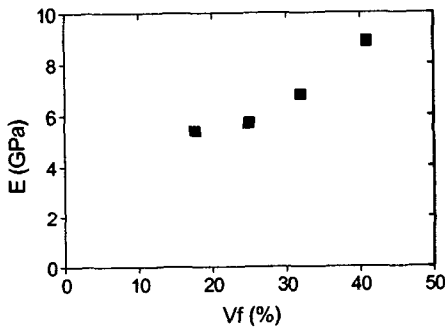


Fig. 7. Young's modulus versus fiber volume fraction

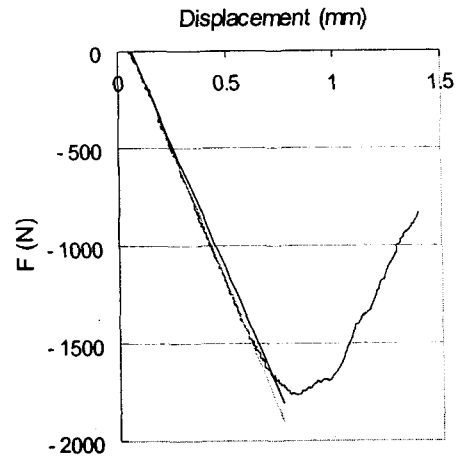


Fig. 8. Load and displacement diagram

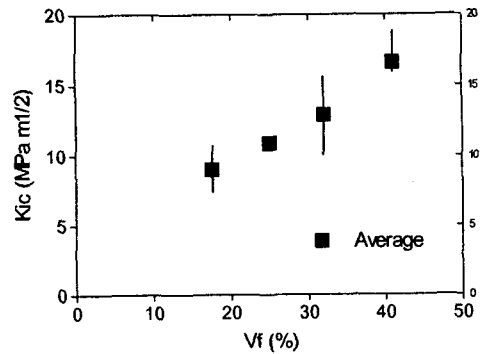


Fig. 9. Fracture toughness versus fiber volume fraction

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 적층판을 수적층에 의한 방법과 진공성형에 의한 방법을 사용하여 섬유함유량을 17.7%, 25%, 32% 및 41%로 변화시켰다.
2. 진공성형 시스템을 사용하여 섬유 함유량을 증가시키면 평균 Void 함유량은 증가한다.
3. 광학현미경으로 시편의 절단면을 관찰한 결과, 섬유함유량이 적어짐에 따라 Void의 크기가 커져 파손에 영향을 미칠 것으로 판단된다.
4. 적층판의 섬유함유량 증가함에 따라 탄성계수 및 파괴인성이 증가한다.

참고문헌

- (1) M.A. Solar and F.J. Belzunce, "Fracture Toughness and R-curves of Glass Fibre Reinforced Polyester", Composites, Vol.20, No2, 1989, pp120-124
- (2) B.D. Agarwal and K.K. Bajpai, " Fracture Toughness of Glass/Epoxy Laminates Through the J-integral Approach" Composite Structures, Vol.9, 1988, pp37-51