인발성형 FRP의 Wrapping에 의한 기계적 특성

박효열, 강동필, 한동희, 안명상
한국전기연구소

Mechanical Properties of Pultruded FRP rod with Wrapping

Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, Dong-Hee Han, Myeong-Sang Ahn
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The properties of FRP usually depends on the fabricating method. The fiber orientation of FRP is also depends on the fabricating method. The fiber orientation in FRP has a great effect on the strength of FRP because the strength of FRP mainly depends on the strength of fiber. In this study, compressive and bending strength of FRP rods were investigated. Inner part of FRP was made unidirectionally by pultrusion method and outer part of FRP was made by wrapping method. The size effect was also investigated with pultruded FRP rods.

1. 서 론

전기절연성과 기계적 강도 등이 우수한 FRP는 전기절연재의 구조재료로서 많이 사용되고 있다. FRP에서 유리섬유는 기계적 강도를 부여한다. 수지는 각각의 섬유에 인가된 스트레스를 분산시키고 섬유를 각각 분리하여 유지시켜주며 외부환경 및 기계적인 마모로부터 섬유를 보호하는 역할을 한다. FRP의 기계적 강도가 거의 보강재 섬유에 의존하기 때문에 섬유의 배향이 기계적 강도에 크게 영향을 미친다.

FRP의 제조방법은 매우 다양하다. 제조방법에 따라서 FRP의 특성은 크게 좌우되므로 용도에 따라서 제조방법은 결정된다. 경제성이 있고 대량생산성이 좋은 인발성형법(pultrusion)의 경우 주로 봉으로 생산하는데 인장강도와 압축강도가 우수한 특성을 나타낸다. wrapping 방법은 시편의 지름을 크게 할 수 있고 형상의 제약은 많지 않다. 인발성형법과 wrapping에 의하여 제조된 FRP는 서로 섬유의 배향이 차이가 나므로 주어진 응력에 대하여 작용하는 응력의 분포는 차이가 날 것으로 예상된다.

본 연구에서는 wrapping과 시편의 크기에 따른 강도의 변화를 이해하기 위하여 시편을 제작하여 강도를 측정하였다. wrapping에 따른 강도의 변화를 조사하기 위하여 인발성형법으로 일축방향(unidirectional)의 연속섬유로 된 FRP rod를 제작하고 인발성형된 FRP rod에 일정한 두께로 wrapping하였다. 제작된 시편의 압축강도와 굽힘강도를 측정하여 wrapping에 따른 강도의 변화를 조사하였다. 시편의 크기에 따른 강도의 변화를 조사하기 위하여 몇 가지의 지름을 가진 FRP rod를 인발성형법으로 제작하여 압축강도와 굽힘강도를 측정하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 FRP 시편제작

FRP rod 시편의 제작에는 평균지름 23 ㎛의 E-glass 섬유와 novolac epoxy modified vinylester 수지를 사용하였다. 인발성형방법으로 일축방향의 유리섬유로 된 지름 32 mm의 FRP rod를 제작하였다. 이때 유리섬유의 비율은 78%(무게비)가 되도록 하였다. wrapping에 의한 강도의 변화를 고찰하기 위하여 일축방향의 섬유로 구성된 인발성형한 FRP rod의 표면에 일정한 두께로 wrapping하였다. wrapping은 2 가지의 prepreg를 사용하여 2 가지의 시편을 제작하였다. 첫 번째 시편은 경사와 위사로 구성(경사:11 μm, 위사:9 μm)된 prepreg를 wrapping 하여 지름 35.7 mm로 제작하였다. 두 번째 시편은 경사와 위사로 구성된 prepreg와 일축방향으로만 구성된 UD prepreg를 사용하여 제작하였다. wrapping을 먼저 한 순서대로 (내부로부터 지름을 기준으로) 설명하면 1 mm의 두께로 경사와 위사로 구성된 prepreg로 wrapping하고 그 위에 UD (unidirectional) 층을 1.2 mm의 두께로 wrapping하고 다시 그 위에 1.5 mm의 두께로 경사와 위사로 구성된 prepreg로 wrapping하였다. 두 번째 시편의 지름도 35.7 mm이다.

시편의 크기(지름)에 따른 강도의 변화양상(size effect)[1, 2]을 조사하기 위하여 지름 16, 22, 32 mm의 FRP rod를 인발성형법으로 제작하였다.

2.2 기계적 강도 측정

2.2.1 압축강도 측정

압축강도(compressive strength)는 압축응력에 의하여 파괴될 때 나타나는 최대의 압축응력을 말한다. 압축강도 측정시편의 형태는 높이를 지름의 2배로 하였다. 압력을 가하는 속도는 1.3 mm/min[3]으로 하였고, 사용한 장비는 Shimadzu UH-100, Universal Testing Machine이었다.

압축강도는 다음의 식으로 계산하였다.

$$M = F_m / \pi D^2$$

M = compressive strength (MPa)
F_m = maximum force (force at fracture) (N)
D = diameter of rod (mm)

2.2.2 굽힘강도 측정

굽힘강도(bending strength)는 굽힘응력에 의하여 파괴될 때 나타나는 최대 응력을 말한다. FRP는 상당히 취성이 강한 재료이기 때문에 3점 가압방식(3-point bending)으로 압력을 가하였고 장비는 Instron 8516 Series IX을 사용하였다. 굽힘강도를 측정할 때 support span은 시편지름의 15배가 되도록 하였다.

가압속도는 다음의 식에 의하여 결정하였다[4].

$$R = ZL^2/6d$$

R = rate of cross head motion (mm/min)

원통형의 rod에 대해서 굽힘강도는 다음의 식으로 나타내어진다[5, 6].

$$M = 8F_mL/\pi D^3$$

M = bending strength (MPa)
F_m = maximum force (force at fracture) (N)
L = support span (mm)
D = diameter of rod (mm)

3. 결과 및 고찰

3.1 Wrapping에 따른 강도

3.1.1 압축강도

그림 1에 wrapping에 따른 압축강도의 변화를 나타내었다. 시편의 종류 중에서 wrap(1층)으로 된 것은 경사와 위사로 구성(경사:11㎛, 위사:9㎛)된 prepreg로만 wrapping 한 것이고 wrap(3층)으로 된 것은 wrapping을 먼저 한 순서대로(내부로부터) 1mm의 두께로 경사와 위사로 구성된 prepreg로 wrapping하고 그 위에 UD(unidirectional) 층을 1.2 mm의 두께로 wrapping하고 다시 그 위에 1.5 mm의 두께로 경사와 위사로 구성된 prepreg로 wrapping한 것이다. 그림 1에 표시된 UD는 wrapping을 하지 않고 pultrusion 방법으로만 rod를 제작한 것이다.

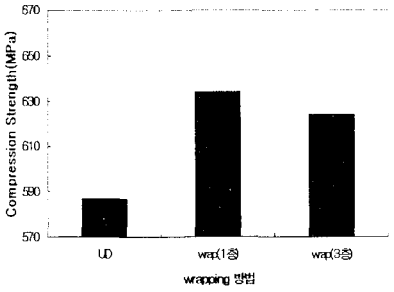

그림 1. wrapping에 따른 압축강도의 변화

압축강도는 UD의 바깥 층에 wrapping을 함으로서 더 증가함을 알 수 있다. 이것은 바깥 층의 보강에 따라서 압축을 받을 때 바깥 층은 오히려 인장응력을 받게 되므로 압축강도가 증가하는 현상을 나타내는 것으로 보인다. 1층으로 wrapping한 시편이 3층으로 wrapping한 시편보다 압축강도의 값이 더 높게 나타났는데 그 차이는 크게 나타나지 않았다.

3.1.2 굽힘강도

그림 2에 wrapping에 따른 굽힘강도의 변화를 나타내었다.

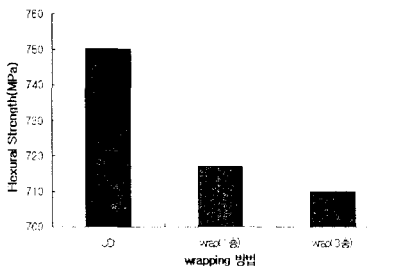

그림 2. wrapping에 따른 굽힘강도의 변화

wrapping을 하지 않고 UD 만으로 구성하였을 경우에 굽힘강도가 가장 높게 나타났다. 굽힘응력이 가해질 때 rod에는 인장응력과 압축응력이 작용되는데 UD만으로 구성될 경우 유리섬유의 인장응력이 우수하기 때문에 UD의 굽힘강도가 크게 나타난 것으로 보인다. wrapping의 방법에 의한 굽힘강도의 차이는 크게 나타나지는 않았다.

3.2 크기효과(size effect)

3.2.1 압축강도

지름이 16, 22, 32 mm인 시편에 대하여 압축강도 측정을 한 것을 그림 3에 나타내었다. 모든 시편은 인발성형방법으로 제작한 것이다.

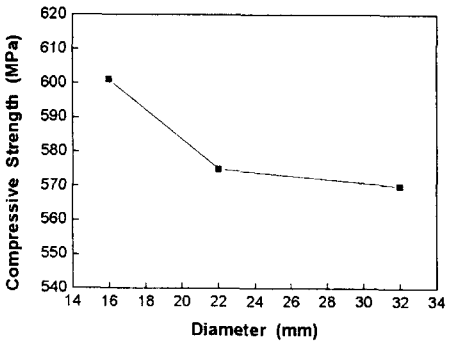

그림 3. 시편의 지름에 따른 압축강도의 변화

그림 3에서와 같이 약 10% 정도의 크기효과가 있으며 지름이 22 mm와 32 mm 사이에는 그 효과가 크지 않음을 알 수 있다. 이러한 크기효과는 시편이 커질수록 제작 중에 생길 수 있는 기공, 불균질성 등이 주된 원인으로 알려져 있다.

3.2.2 굽힘강도

지름이 16, 32 mm인 시편에 대하여 실험을 하였다. 모든 시편은 인발성형방법으로 제작한 것이다.

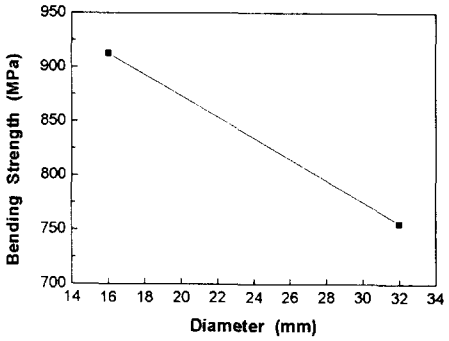

그림 4. 시편의 지름에 따른 굽힘강도의 변화

그림 4에 나타난 바와 같이 약 25% 정도의 크기효과가 나타남을 알 수 있다.

4. 결 론

1) wrapping에 따른 강도특성

일축방향의 섬유로만 구성된 인발성형한 FRP에 wrapping 함에 따라서 압축강도는 향상되고 굽힘강도는 감소하였다.

2) 크기효과

FRP rod의 지름이 증가함에 따라서 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 지름이 16 mm에서 32 mm로 증가함에 따라서 압축강도는 약 10%, 굽힘강도는 약 25% 감소하였다.

[참 고 문 헌]

[1] M.R. Wisnom, "Statistical aspects of failure of fibre-reinforced composites", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 212 Part G, pp189-192, 1997

[2] M.R. Wisnom and M.I. Jones, "Size effects in interlaminar tensile and shear strength of unidirectional glass fibre epoxy", J. Reinforced Plastics and Composites, Vol. 15, pp2-15, 1996

[3] ASTM D695-91, "Standard test method for compressive properties of rigid plastics"

[4] ASTM D790-93, "Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials"

[5] ASTM C674-88, "Standard test methods for flexural properties of ceramic whiteware materials"

[6] R.P. Brown, "Handbook of plastics test methods(3rd edition)", pp139-151, Longman Science & Technical, 1988