

RTM 공정에 의해 생산된 GFRP 보강근의 인장특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Tensile Properties of GFRP Rebar Produced by RTM(Resin Transfer Molding) Process

박지선* 유영찬** 박영환** 유영준* 김형열** 김궁환***

Park, Ji-Sun You, Young-Chan Park, Young-Hwan You, Young-Jun Kim, Hyeong-Yeol Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

The tensile properties of GFRP(glass fiber reinforced polymer) rods with various surface deformation produced by RTM(resin transfer molding) process were analyzed experimentally. Two types of GFRP rods with different surface deformation manufactured by RTM process in domestic area and two types of GFRP rods imported were considered in this study. All testing procedures including specimens preparation, set-up of test equipments and measuring devices were made according to the ASTM D3916-02 recommendations.

From the test results, it was found that wave-type GFRP rod made by RTM process showed the highest tensile strength due to the highest fiber volume ratio.

1. 서론

경량, 고강도, 고강성, 내식성, 내마모성 등의 장점을 지닌 FRP 보강근의 특성을 건설 분야에 활용하기 위한 연구가 국내에서 구조물의 보강 분야를 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 연구개발은 FRP 보강근의 물리적·역학적 특성에 대한 규명 뿐 만 아니라 내구성 평가를 위한 단계로까지 진전되고 있다.

복합 재료의 제조 방법에는 여러 가지가 있으나 건설 분야에 적용될 수 있는 공정으로는 인발성형(pultrusion), resin transfer molding(이하, RTM) 및 filament winding 등을 들 수 있다. 이 중에서 인발성형 공정이 FRP 보강근의 역학적 특성 및 경제성 측면에서 유리하기 때문에 현재 국내외에서 상용 중인 FRP 보강근의 생산에 주로 이용되고 있다. 그러나 인발성형 공정으로 생산한 제품의 경우, 비록 동일한 지름으로 생산되었다 할지라도 외피형상에 따라 각 제조회사별로 실제 지름에 차이가 발생하여 역학적 성능의 정량화에 문제가 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 대하여, RTM 공정은 성형원리상 섬유를 프리폼(preform)화하는 것에 의해 섬유배향, 섬유 함유율을 제어할 수 있으므로 균질한 품질의 제품을 얻을 수 있는 장점이 있다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부

따라서 본 연구에서는 기존의 GFRP 보강근의 생산방식 상의 문제점을 극복하기 위하여 RTM 공정을 이용한 GFRP 보강근을 개발하고, 구조재료로써 요구되는 다양한 역학적 특성치 중에서 가장 기본적으로 선행되어야 하는 인장특성 분석을 위한 시험을 실시하였다. 또한 개발된 제품의 인장 특성치에 대한 상대적인 비교를 위하여 pultrusion 공정에 의해 생산된 기성제품을 동일한 조건에서 시험하여 비교·고찰하였다.

2. FRP 보강근 성형방법의 장·단점 분석

2.1 인발성형(Pultrusion)

인발성형 공정은 함침된 연속섬유를 금형(mould)을 통하여 인발하면서 원하는 단면의 부재를 연속적으로 제작하는 복합 소재 제조 기법의 하나로서, 섬유의 집적을 높일 수 있으며 섬유 직진성의 확보가 용이하여 강도 및 강성 측면에서 유리하다. 그러나, 콘크리트와의 부착력 증진을 위해 요구되는 외피를 별도의 공정을 통하여 성형해야 하며, 외피와 코어재와의 부착력 증진에 대한 세심한 배려가 요구된다.

2.2 Resin Transfer Molding(이하, RTM)

RTM 성형공정은 성형 품(preform)안에 섬유를 배치하고, 수지를 주입·충진하여 FRP 보강근을 제조하는 방법으로서, 콘크리트와의 부착력 증진을 위해 요구되는 리브(rib), 마디(deformation) 등을 코어재(core)와 일체적으로 성형하는 것이 가능하기 때문에 부착강도를 크게 증진시킬 수 있는 장점이 기대된다. 그러나, 섬유의 집적을 및 직진성이 불충분할 경우에는 인장특성치의 저하가 예상되므로 이를 검증하기 위한 시험이 요구된다.

3. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 RTM 공정으로 생산한 제품과 기존의 pultrusion 공정에 의해 생산한 기성 제품의 인장 특성을 비교·고찰하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 GFRP 보강재는 모두 공칭 지름이 13mm 이며 섬유함유량은 약 70~76% 사이에 분포한다. RTM 공정에 의해 생산된 제품의 외피형상은 이형철근 또는 웨이브 형태를 기본으로 하였으며, 이 중에서 이형철근 형상의 제품은 보강재의 마디 부분과 코어재 사이에 Fabric Prepreg를 나선형으로 감아 입힌 경우와 그렇지 않은 경우로 구별하여 제작하였다. 기성제품으로는 Pultrusion 성형으로 생산된 미국 Hugh Brother 사의 Aslan 100와 캐나다 Pulltral 사의 Isorod를 선정하였다. 인장시험은 ASTM D3916-02에서 제안하는 방법에 따라, 최대 100tf 용량의 만능 시험기를 사용하여 가력하였다. 하중 가력 속도는 5mm/min.으로 하였으며, 시편의

표 1 기성 GFRP 보강재의 물리적 특성

시험체명	공칭지름 (mm)	단면적 (mm ²)	수지종류	섬유함유량 (%)	설계인장강도 (MPa)	탄성계수(GPa)	
RTM 공정	Deformed(F)	12.7	126.70	Vinyl Ester	75	-	-
	Deformed	12.7	126.70	Vinyl Ester	73	-	-
	Wave	12.7	126.61	Vinyl Ester	76	-	-
인발성형 공정	Aslan 100	12.7	144.85	Vinyl Ester	70	690	40.8
	Isorod	12.7	129.00	Vinyl Ester	70	617	42.0

중앙부의 양편 반대쪽으로 2개의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다. 표 1은 본 연구에 사용한 기성 GFRP 보강근의 물리적인 특성을 나타낸다.

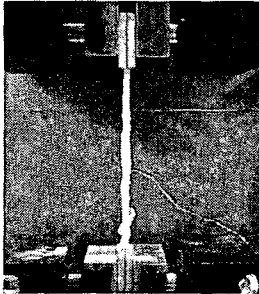


그림 1 시험체 설치 현황

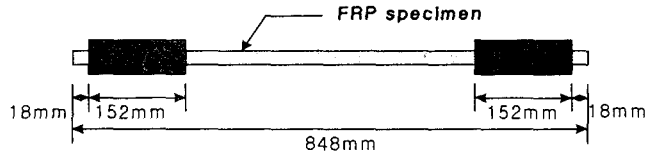


그림 2 인장 특성 평가 시험체

4. 실험결과 및 고찰

4.1 RTM 공정 제품군의 특성치 분석

다양한 GFRP 보강재의 인장특성치 시험결과를 나타내면 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이, RTM 공정으로 생산한 제품의 인장강도는 섬유함유율의 증가에 따라 약 520~610 MPa 정도의 범위를 나타내었으며, 탄성계수도 약 37~42 GPa 정도 값을 보이는 것으로 파악되었다. 이 중에서, 섬유함유량 약 75%의 웨이브형 외피를 갖는 GFRP 보강근이 인장강도와 탄성계수가 각각 612.88MPa, 41.67GPa으로 가장 높은 값을 나타내었다. 실제적으로 GFRP 보강근의 인장특성치는 주로 섬유 함유량과 함유된 섬유의 직진성에 따라 좌우되기 때문에 마디 부분과 코어와의 부착 성능 향상을 위한 수지침투 가공재의 유·무는 인장성능에 영향을 끼치지 않은 것으로 판단된다.

4.2 제조 공정별 제품의 특성치 분석

RTM 공정으로 생산된 제품의 인장특성치를 인발성형으로 생산된 기성제품과 비교해 보면, 섬유함유량이 약 70%인 기성 GFRP 보강근의 인장특성치가 RTM 성형 제품과 거의 유사한 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 인발성형 공정이 섬유의 직진성 확보가 유리하므로 RTM 성형으로 생산한 제품의 인장특성치보다 다소 높은 값을 나타낸 것으로 판단된다. 그러나 웨이브형 RTM 성형 제품과 기성 제품을 비교하였을 때, 성형법에 의한 인장강도의 영향이 그다지 크게 작용하지 않는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 인발 성형된 Aslan 100과 Isorod의 경우도 유사한 섬유 함유량을 지니지만 인장강도의 차이가 다소 발생하였으며, RTM 공정으로 생산된 제품군의 경우도 섬유함유량에 비례하여 인장강도가 증가하는 현상이 관측되었다. 따라서, RTM 공정에 의해 고품질의 GFRP 보강근 생산이 가능할 것으로 판단된다.

표 2 GFRP 보강근의 인장특성치 실험결과

시험체명	인장강도 (MPa)	최대 인장 변형율(%)	탄성계수(GPa)	비고	
RTM 공정	Deformed(F)	594.53	1.689	36.91	파단
	Deformed	517.75	1.459	37.01	"
	Wave	612.88	1.410	41.67	"
인발성형 공정	Aslan 100	605.22	1.618	38.90	"
	Isorod	570.42	1.335	42.10	"

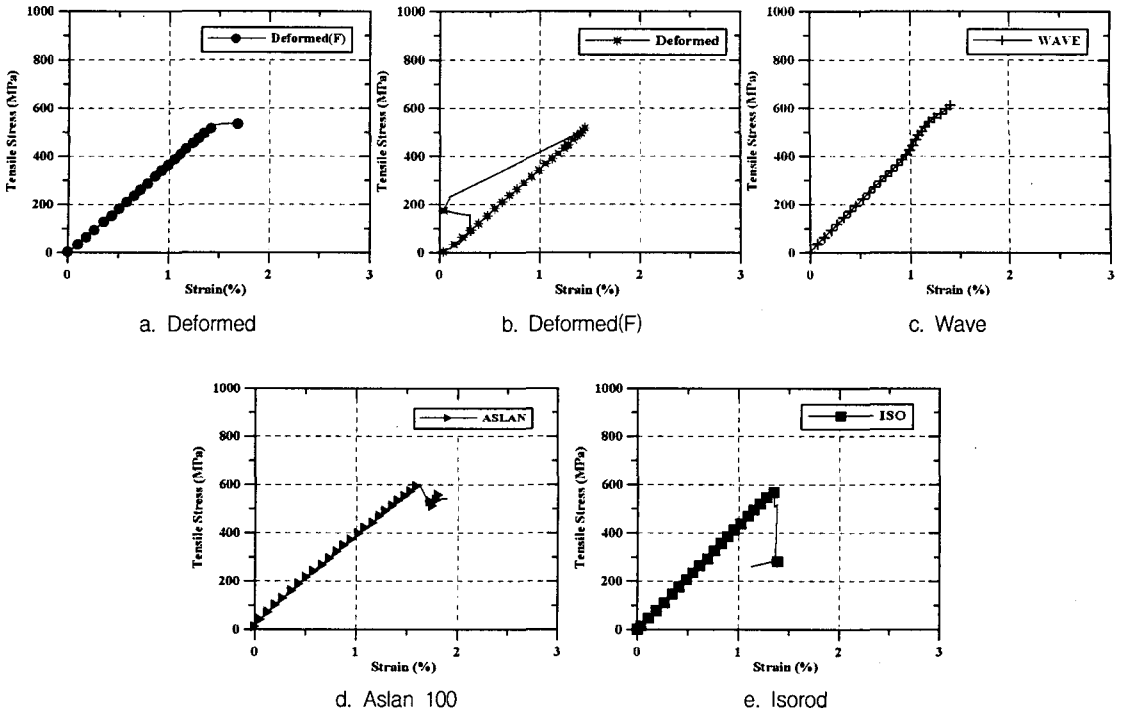


그림 3 GFRP 보강재의 인장 응력-변형률 관계

5. 결론

- (1) RTM 공정에 의해 생산된 GFRP 보강재의 인장강도 및 탄성계수는 인발성형 공정에 의해 생산된 기존의 GFRP 보강재와 동등한 성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.
- (2) RTM 공정에 의해 생산된 제품군에서는 웨이브 형태의 외피를 갖는 GFRP 보강재의 인장강도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이로부터, 이들 제품들의 섬유 함유량 차이가 1~3% 정도인 것을 고려하면, 웨이브 형상의 preforming이 수치주입 및 섬유의 직진성 측면에서 가장 유리할 것으로 판단된다.
- (3) 마디 부분과 코어와의 부착 성능을 향상을 위한 수치침투 가공재의 유·무는 인장 성능에 영향을 끼치지 않으며, 단지 섬유 함유량의 차이에 따라 인장특성치의 차이가 나타난 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2004년도 정책연구사업인 “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발”의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod(ASTM D3916-02),” Annual Book of ASTM Standards , Vol 08.03, 2002.
2. 이성우, “건설 분야에서의 FRP 이용 기술,” 콘크리트학회지, 제12권, 6호, 2000, pp.44-52.