

RTM 공정에 의해 생산된 GFRP 보강근의 콘크리트 부착특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Bond Characteristics of GFRP Rebar to Concrete Produced by RTM(Resin Transfer Molding) Process

박 지 선* 유 영 찬** 박 영 환** 유 영 준* 김 형 열** 김 공 환***

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

ABSTRACT

The bond characteristics 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 rebars 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 CSA S806-02 recommendations.

From the test results, it was found that deformed-type GFRP rod manufactured by RTM process showed the highest bond strength among test specimen. But, wave-type GFRP rod made by RTM process show the lowest value due to the splitting failure of concrete caused by the wedge action of waved surfaces on GFRP rods.

1. 서론

FRP 보강근은 자중이 가볍고, 비부식 재료로써 부식 환경에서도 자유롭게 사용할 수 있을 뿐만 아니라 구조적 성능 및 사용성 등에 있어서도 우수한 물성을 나타내기 때문에 철근의 대체 재료로써 사용범위가 점차 확대되고 있다. FRP 보강근의 주요 제조 공법으로는 인발성형(pultrusion), resin transfer molding(이하, RTM) 및 filament winding 등이 있으며 현재 상용중인 FRP 보강근은 주로 인발성형공정에 의해 제작되고 있다. 인발성형공정으로 생산한 제품의 경우, 비록 동일한 지름으로 생산되었다 할지라도 외피형상에 따라 각 제조회사별로 실제 직경에 다소 차이가 있는 것으로 파악되고 있다. 그러나 RTM 공정의 경우에는 외피형상을 포함하여 규격화된 금형을 통하여 가공되므로 이와 같은 재료의 규격화에 대한 문제점을 보완 할 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 GFRP 보강근의 생산방식 상의 문제점을 극복하기 위하여 RTM 공정을 이용한 GFRP 보강근을 개발하였으며, 개발된 GFRP 보강근의 콘크리트에 대한 부착성능을 평가하기 위한 시험을 실시하였다.

* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

2. RTM 성형공정

RTM 성형공정은 금형 내에 보강섬유(fiber)를 미리 위치시켜 놓고 외부에서 압력을 가해 수지를 함침시킨 후 경화시켜 제품을 생산하는 방법으로 간단한 성형 장비를 이용하여 경제적으로 생산할 수 있는 복합재료 성형공정의 하나이다. 본 제조방법은 저압, 저온의 환경하에서 공정이 진행되면서도 우수한 물성과 표면 상태 등 높은 품질의 제품을 짧은 시간 내에 성형할 수 있는 장점이 있다.

RTM 성형은 형상의 제약이 거의 없고 금형 비용도 매우 저렴하여 제품의 설계 변경 등에 신속히 대응할 수 있으므로, 모델 변경이 잦은 제품의 생산에 이상적이다. 이 공정을 이용하면 단면 형상이 원형뿐만 아니라 사각형인 보강근을 제조하는 데에 사용할 수가 있다. 그림 1은 RTM 성형의 공정을 나타낸 그림이다.

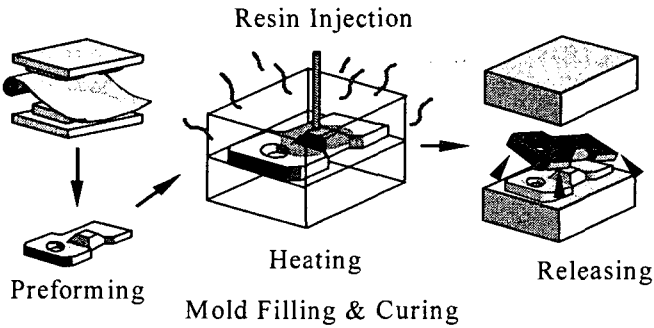


그림 1 RTM 성형공정

3. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 RTM 성형공정에 의하여 외피형상이 철근과 유사한 2종류의 GFRP 보강근(이하, 이형 GFRP 보강근)과 물결무늬의 웨이브 형태의 제품(이하, 웨이브 GFRP 보강근)을 개발하였다. 이중에서 이형 GFRP 보강근은 이형 마디와 코어재와의 부착 성능을 향상시키기 위하여 패브릭 수지침투 가공재(Fabric Prepreg)를 코어재(Core)의 외곽 부분에 나선형으로 감아 입힌 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하여 제작하였다. 이형마디에 패브릭 수지침투 가공재를 추가한 GFRP 보강근의 경우에는 시험체 이름에 'F'를 추가하여 구분하였다.

각각의 개발된 제품에 대하여 Canadian Standard Association(이하, CSA) 규준에서 제시하는 직접 인발 시험법에 따라 부착 성능을 파악하였다. 부착강도 시험체 계획시에는 기존의 인발성형 방식에 의해 생산된 기성제품과의 성능비교를 위하여 미국 Hugh Brother 사의 Aslan 100와 캐나다 Pultrac 사의 Isorod를 포함하였다. 여기서, Aslan 제품은 나선형의 단면을 지니고 있으며, Isorod는 표면에 규사가 코팅되어 있는 특징이 있다. 표 1은 다양한 GFRP 보강근의 물리적인 특성을 나타내며 그림 2은 본 연구에 사용한 GFRP 보강근의 종류이다.

모든 시험체는 CSA 규준에 따라 제작하였다. 시험편의 한 면의 길이가 150mm인 콘크리트 입방체에 1개의 GFRP 보강근을 수직방향으로 중심축에 매입하여 콘크리트를 타설, 양생하였다. 시험체의 문합 길이는 보강근의 공칭지름의 4배, $4d$ (50.8mm)로 하였다. 그림 3은 본 연구에서 부착 성능 평가를 위하여 제작한 시험체이다. 실험에 사용된 보강근은 동일 롯트에서 채취한 것이며, 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 는 30MPa이다.

표 1 GFRP 보강근의 물리적 특성

시험체명	공칭지름 (mm)	단면적 (mm ²)	수지종류	섬유함유량 (%)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	
RTM 공정	Deformed(F)	12.7	126.70	Vinyl Ester	75	594.53	36.91
	Deformed	12.7	126.70	Vinyl Ester	73	517.75	37.01
	Wave	12.7	126.61	Vinyl Ester	76	612.88	41.67
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

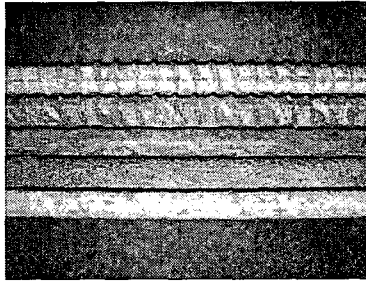


그림 2 GFRP 보강근

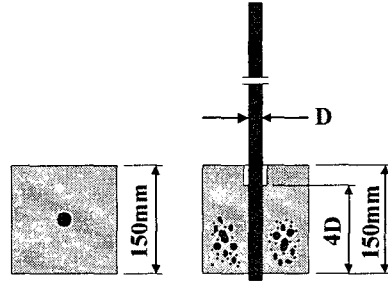


그림 3 부착 성능 시험체

4. 실험결과 및 고찰

그림 4는 RTM 공정에 의해 제작된 GFRP 보강근과 기성 GFRP 보강근의 평균 부착 응력 - 자유단 슬립의 관계를 비교한 것이다. 시험체의 자유단과 하중단에서의 슬립은 초기값에 다소 차이가 있을 뿐 거의 유사한 것으로 나타났다. 이형철근과 유사한 형태로 제작한 GFRP 보강근의 경우, 패브릭 수지침투 가공재를 코어(Core)의 외곽에 입힌 제품과 그렇지 않은 제품이 각각 0.435mm의 하중단 슬립에서 17.21MPa를 0.555mm의 하중단 슬립에서 19.28MPa의 최대 평균 부착 성능을 나타내었다. 전체적인 거동은 철근의 부착응력 - 슬립관계와 유사하게 취성적인 거동을 나타내었다. 이로 부터 RTM 공정에 의해 제작된 이형 GFRP 보강근의 경우는 수지 침투 가공재의 사용여부에 관계없이 마디부위와 코어재간에 충분한 부착력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

각 시험체의 부착강도를 비교해 보면, 수지침투 가공재를 사용하지 않은 이형 GFRP 보강근의 경우가 가장 큰 부착 응력을 발휘하는 것으로 나타났으며, 웨이브 형태의 GFRP 보강근이 가장 작은 부착 강도값을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 웨이브형 GFRP 보강근의 낮은 마디 높이로 인해 콘크리트와 보강근 사이의 췌기 작용이 발생되어 콘크리트 입방체에 쪼개짐 균열을 유도하였기 때문인 것으로 파악된다. 이에 대하여 Aslan 100의 경우, 자유단 슬립 5.265mm에서 최대 평균부착 응력 14.26MPa를 나타내었으며, 부착 거동은 최대응력의 도달 전후에서 완만하게 감소하였다. Isorod의 경우, 자유단 슬립 0.595mm에서 최대 평균부착 응력 18.381MPa를 발휘하였으며 취성적인 부착 거동을 나타내었다. 각 시험체의 최대 평균부착 응력과 최대 부착응력시의 자유단에서의 슬립을 나타내면 표 2와 같다.

표 2 다양한 보강근의 최대 평균부착 응력과 최대 평균부착 응력시의 하중단 슬립

단위: MPa

시험체명	Deformed(F)	Deformed	Wave	Alan 100	Isorod
최대 평균부착응력	17.21	19.28	6.32	14.26	18.81
하중 단부 슬립	0.453	0.555	3.520	5.262	0.595

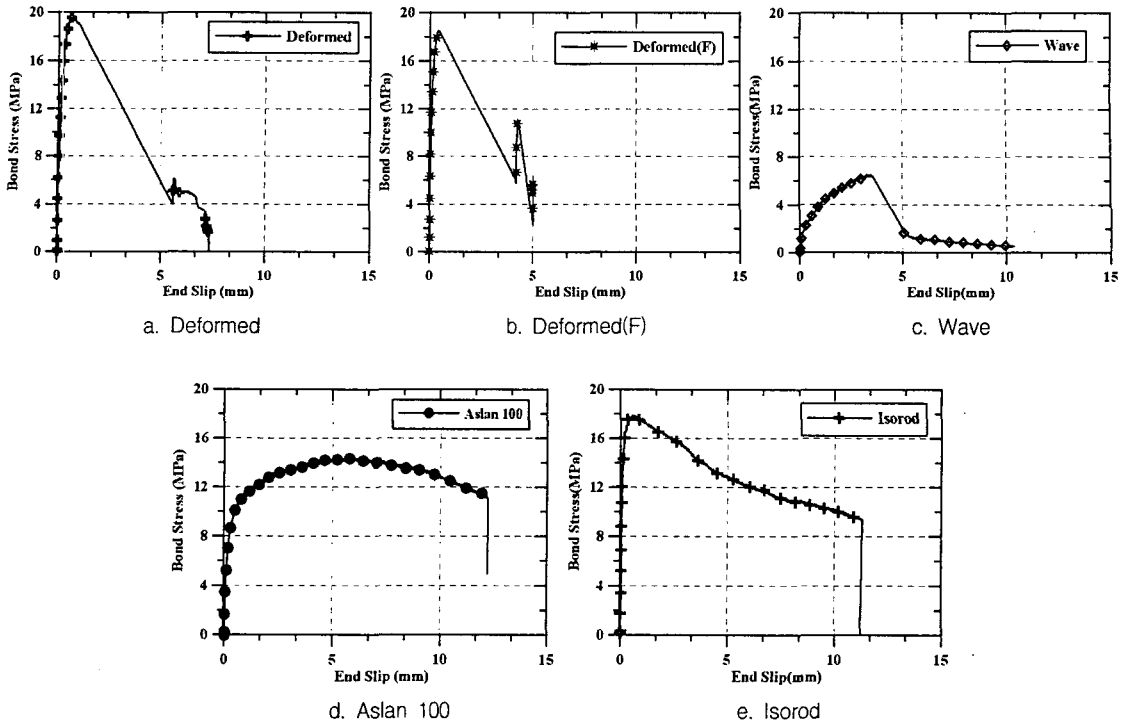


그림 4 보강근의 부착 응력-자유단 슬립 곡선

5. 결론

- (1) RTM 성형공정을 이용하여 제작된 이형 GFRP 보강근의 부착강도가 유사항 형태의 GFRP 보강근 중에서 가장 높은 부착강도를 나타내었다.
- (2) RTM 성형공정으로 제작된 이형 GFRP 보강근은 마디와 코어재와의 부착이 충분하여 마디와 코어재 사이의 부착증가를 위한 별도의 공정이 불필요하다고 판단된다.
- (3) 웨이브 형태의 GFRP 보강근은 마디형상에 따른 콘크리트와의 썩기 작용으로 인하여 콘크리트의 조개짐 파괴가 유도되어 가장 낮은 부착강도를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2004년도 정책연구사업의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발," 공공기술연구회, 2004.
2. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers," Canadian Standard Association, May, 2002.
3. L. Javier Malvar, "Tensile and Bond Properties of GFRP Reinforcing Bars," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.3, May-June, 1995, pp.276-285.