

Sprayed FRP 공법에 의한 콘크리트 구조물의 보수·보강법 개발에 관한 연구

- Sprayed FRP를 구성하는 재료특성에 관한 연구 -

Repair and Strengthening Methods for Concrete Structures using Sprayed Fiber Reinforced Polymers

- Material Property of Sprayed FRP -

이 리 형^{*} 이 강 석^{**} 손 영 선^{***} 변 인 희^{****} 임 병 호^{*****} 나 정 민^{*****}
Lee, Li-Hyung Lee, Kang Seok Son, Young-Sun Byeon, In Hee Lim, Byung-Ho Na, Jung-Min

ABSTRACT

The main purpose of this study is to develop a Sprayed FRP repair and strengthening method, which is a new technique for strengthening the existing concrete structures by mixing carbon or glass shot fibers and the epoxy or vinyl ester resins with high-speed compressed air in open air and randomly spraying the mixture onto the concrete surface. At present, the Sprayed FRP repair and strengthening method using the epoxy resin has not been fully discussed.

In order to investigate the material property of Sprayed FRP, this study carried out tensile tests of the material specimens which are changed with the combinations of various variables such as the length of shot fiber and mixture ratio of shot fiber and resin. These variables are set to have the material strength equal to one layer of the FRP sheet. As a result, the optimal length of glass and carbon shot fibers were derived into 3.8cm, and the optimal mixture ratio was also derived into 1:2 from each variable. And also, the thickness of Sprayed FRP to have the strength equal to one layer of FRP sheet was finally calculated.

1. 서론

보수·보강을 필요로 하는 콘크리트 구조물의 안전성 검토 및 적절한 유지관리를 위한 콘크리트 구조물의 보수·보강방법으로 최근 내구성이 우수한 탄소·유리·아라미드섬유 등의 경량의 복합신소재를 이용한 FRP 보강법 등이 널리 사용되어 지고 있다. 그러나 FRP 보강법은 이방성 문제, 사전표면처리 작업, 고가의 소재로 인한 경제적인 문제가 야기되고 있어 향후 시공성 및 경제성이 탁월한 새로운 보수·보강기술의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구의 주목적은 탄소 및 유리 단섬유(Short Fiber)와 에폭시 및 비닐에스테르 수지(Resin)를 의

* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터(ERC) 연구조교수, 공학박사

*** 정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과 석사과정

**** 정회원, GS건설(주) 선임연구원, 공학박사

***** 정회원, 상영엔지니어링(주) 대표이사, 공학박사

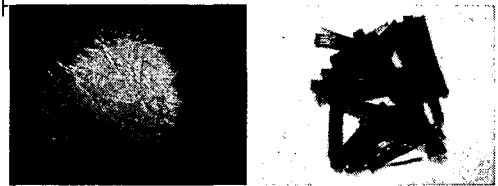
기에서 혼합하여 요철이 많은 콘크리트 표면에 고속의 압착공기로 랜덤하게 분사하여 기존의 콘크리트 구조물을 보강하는 새로운 공법 즉, Sprayed FRP 보수·보강공법을 개발하고자 한다. 본 재료시험에서 Sprayed FRP 공법의 구조성능 평가 실험에 앞서 탄소 및 유리단섬유 길이 및 에폭시 및 비닐에스테르 수지, 섬유와 수지의 배합비율 등을 주요변수로 설정하여 인장시험을 실시하여, Sprayed FRP를 구성하는 재료특성을 파악함과 동시에, Sprayed FRP 보수·보강을 위한 최적의 재료 물성치를 제시하였다.

2. 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 유리 및 탄소단섬유(그림 1 참조)와 에폭시 및 비닐에스테르 수지의 배합비율, 단섬유의 길이 등 각종 재료 물성을 파악하여 현행 FRP Sheet 1겹의 강도를 발휘하는데 필요한 각종 최적의 물성치 제안을 목표로 재료시험을 수행하였다. 재료시험에 사용된 변수는 표 1에 나타낸 바와 같이, 유리 및 탄소단섬유의 길이 즉 1.4, 2.8, 3.8, 5.6cm와 섬유와 주제의 배합비율이며, 본 재료시험결과를 바탕으로 최적의 Sprayed FRP 두께를 제안하고자 한다.

표 1 재료시험 변수

단섬유의 종류	단섬유길이 (cm)	수지의 종류 및 배합비율	
		에폭시	비닐에스테르
유리섬유	1.4, 2.8, 3.8, 5.6	1:3, 1:2.5, 1:2	1:4, 1:3, 1:2
탄소섬유	2.8, 3.8	1:2.5, 1:2	1:3, 1:2



(1) 유리단섬유

(2) 탄소단섬유

그림 1 단섬유 종류

3. 재료시험

3.1. 사용재료 및 보강기자재

일반적으로 Sprayed FRP 공법에는 분사 후 숙경화가 이루어지는 비닐에스테르 수지가 주로 사용되고 있으나, 본 연구에서는 비닐에스테르 수지에 비해 고강도인 에폭시 수지를 사용하여 보강강도를 증진시켜 분사두께 낮추고 Sprayed FRP 공법의 시공성을 향상시키고자 비닐에스테르뿐만 아니라 에폭시 수지도 이용하여, 재료시험을 실시하였다. 실험에 사용된 보강재료는 로빙(Roving)타입 유리 및 탄소섬유, 강도비교용 시트타입의 유리 및 탄소섬유와 에폭시 및 비닐에스테르 수지로서 각각의 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2 섬유 및 수지의 물리적 특성

종류	로빙타입	시트타입(고강도)		J사의 에폭시	J사의 비닐에스테르
	M사의 탄소섬유	C사의 유리섬유	S사의 탄소섬유		
인장강도(kgf/cm ²)	39200	5000	35500	450	300
탄성계수(kgf/cm ²)	2.35×10 ⁶	2.5×10 ⁶	2.35×10 ⁶	-	-

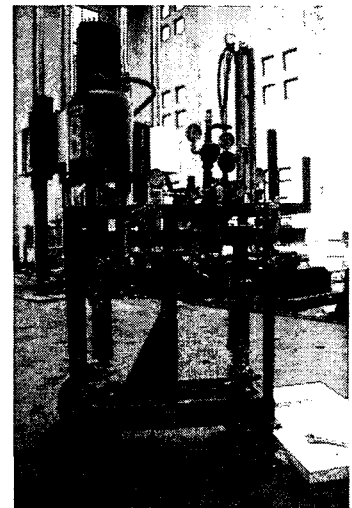


그림 2 Sprayed FRP 보강용 기자재

3.2. 시험편 계획

현재 Sprayed FRP 공법은 연구단계로 재료시험에 관한 규격이 따로 명시되어있지 않은 상황이다. 따라서 본 재료시험에서는 기존의 KS M 3381 및 JIS K7054 유리섬유 강화 플라스틱의 인장시험방법에 준하여 시험편을 각 변수를 이용하여 표 3에 나타난 재료시험편 일람과 같이 계획하였다. 유리단섬유의 경우 Sprayed FRP 보강용 기자재의 Cutter Gun에서 절단 가능한 모든 단섬유의 길이를 고려하여 각 변수당 5개씩 총 120개의 시험편을 제작하였다. 탄소단섬유를 이용한 재료시험의 경우 유리단섬유 재료시험의 경험을 바탕으로 시공성 및 성능을 고려하여 2.8, 3.8cm의 단섬유 길이를 사용하여 총 40개의 시험편을 제작하였다. 시험편의 양생기간은 25℃의 의기에서 7일간의 경화로 완전경화가 이루어졌다고 가정하였다. 시험편 중심에 Strain Gauge를 붙여 5ton 용량의 소형만능시험기를 사용하여 인장강도를 측정하였다. 시험 속도는 규준에서 명시한 속도 A 1±0.5min/mm를 사용하였다.

표 3(1) 유리단섬유 재료시험편 일람표

case	No.	사용재료	길이	배합비율	case	No.	사용재료	길이	배합비율	case	No.	사용재료	길이	배합비율
case ①	G1.4:E=1:3.0	유리섬유 +에폭시	1.4	1:3	case ②	G1.4:E=1:2.5	유리섬유 +에폭시	1.4	1:2.5	case ③	G1.4:E=1:2.0	유리섬유 +에폭시	1.4	1:3
	G2.8:E=1:3.0		2.8			G2.8:E=1:2.0		2.8						
	G3.8:E=1:3.0		3.8			G3.8:E=1:2.0		3.8						
	G5.6:E=1:3.0		5.6			G5.6:E=1:2.0		5.6						
case ①	G1.4:VE=1:4.0	유리섬유 +비닐에스테르	1.4	1:4	case ②	G1.4:VE=1:3.0	유리섬유 +비닐에스테르	1.4	1:3	case ③	G1.4:VE=1:3.0	유리섬유 +비닐에스테르	1.4	1:3
	G2.8:VE=1:4.0		2.8			G2.8:VE=1:3.0		2.8						
	G3.8:VE=1:4.0		3.8			G3.8:VE=1:3.0		3.8						
	G5.6:VE=1:4.0		5.6			G5.6:VE=1:3.0		5.6						

표 3(2) 탄소단섬유 재료시험편 일람표

case	No.	사용재료	길이	배합비율	case	No.	사용재료	길이	배합비율
case ①	C2.8:E=1:2.5	탄소섬유+에폭시	2.8	1:2.5	case ②	C2.8:E=1:3.0	탄소섬유+에폭시	2.8	1:3
	C3.8:E=1:2.5		3.8			C3.8:E=1:3.0		3.8	
case ①	C2.8:VE=1:2.0	탄소+비닐에스테르	2.8	1:2	case ②	C2.8:VE=1:3.0	탄소+비닐에스테르	2.8	1:3
	C3.8:VE=1:2.0		3.8			C3.8:VE=1:3.0		3.8	

4. 실험결과 분석

4.1. 파괴 양상

각 변수별로 동일한 5개의 시험편으로 인장시험을 수행한 결과 파괴양상은 시험편의 중심에서 양쪽으로 40mm내에 위치하는 평행부분 파단 및 물럼부분의 압괴가 나타났으며 평행부분 내에서 파단이 되는 시험편의 값을 최종 실험결과로 사용하였다. 시험편의 형상 및 파단모습은 그림3과 같다.

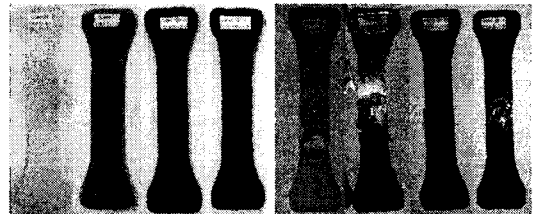


그림 3 시험편 형상 및 시험편 파단

4.2. 실험결과

Sprayed FRP 공법의 최적재료물성을 파악하기 위한 재료시험을 수행한 결과 단섬유의 길이가 길수

록, 섬유와 수지의 배합비율에서 섬유의 양이 증가할수록 인장강도가 증가하였다. Sprayed FRP 보강용 기소재의 Spray-Cutter Gun의 성능 및 시공성을 고려하여 강도가 높으면서 섬유의 엉킴이 가장적다고 판단되는 최적의 단섬유길이 3.8cm 및 배합비율 1:2를 각각 파악되었다. 대표적인 최적 재료시험변수의 응력-변형도 곡선을 그림 4 및 5에 나타내었다. 유리단섬유를 사용한 시험편은 연성능력이 우수하고, 탄소단섬유를 사용한 시험편은 유리단섬유에 비해 고강도인 것이 판단되었다. 한편, 표4에는 재료시험결과를 나타낸 것으로서, 이 결과를 바탕으로 FRP Sheet의 1겹의 강도를 발휘하기 위한 Sprayed FRP의 보강 두께 · 산정하여 표4의 우측에 나타내었다.

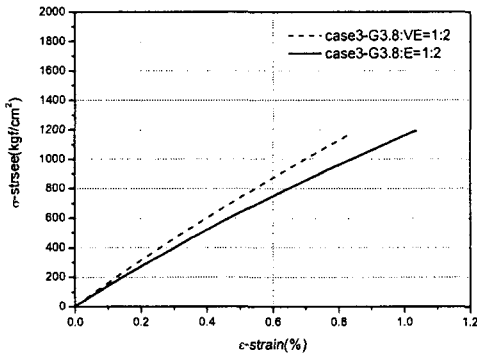


그림 4 유리단섬유 응력-변형도 곡선

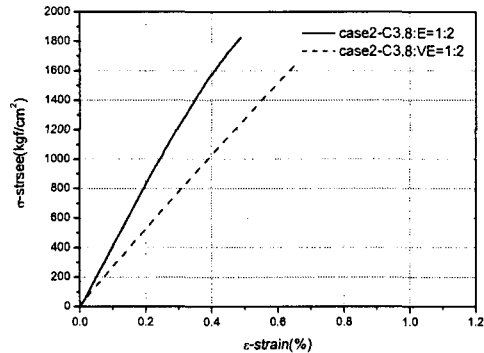


그림 5 탄소단섬유 응력-변형도 곡선

표 4 실험결과 및 Sprayed FRP 보강 두께

case	No.	사용재료	ϵ_t (kgf/cm ²)	σ_t (kgf/cm ²)	보강두께(mm)
case③	G3.8:E=1:2.0	유리단섬유+에폭시	0.833	1170.5	4.2
case③	G3.8:VE=1:2.0	유리단섬유+비닐에스테르	1.036	1193.05	4.4
case②	C3.8:E=1:2.0	탄소단섬유+에폭시	0.488	1823.85	3.0
case②	C3.8:VE=1:2.0	탄소단섬유+비닐에스테르	0.657	1668.25	4.0

5. 결론

- 1) 재료시험결과 단섬유의 길이가 길수록, 섬유와 수지의 배합비율에서 섬유의 양이 증가할수록 인장강도가 증가하였다.
- 2) 유리단섬유 시험편은 연성능력이 뛰어나고, 탄소단섬유 시험편은 유리단섬유에 비해 고강도의 성질을 나타내었다.
- 3) 재료시험을 통한 Sprayed FRP의 최적 물성치는 유리 및 탄소단섬유의 길이 3.8cm, 섬유와 수지의 배합비율 1:2로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 GS건설(주)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 연구에 많은 도움을 주신 상영엔지니어링(주), 정도이엔피(주) 및 한국건설기술연구원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Toshiyuki Kanakubo, Tomoki Furuta, Keisuke Takahashi and Takeshi Nemoto "SPRAYED FIBER-REINFORCED POLYMERS FOR STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES". URL <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/kanakubo/>.