

지반보강용 FRP관 개발 및 적용사례(I)

-FRP관의 개발과정 및 특성-



이상백 (Sang-Baek Woo) 정회원 | 대원토질 주식회사 상무 | wsoil@hanmail.net

1. 서론

유리섬유 보강 플라스틱(Fiberglass Reinforced Plastic, FRP) 복합재는 최근 선진국 뿐만아니라 국내에서도 기초보강분야, 대규모 굴착 및 토공분야, 댐 및 터널보강분야, 비탈면 보강분야등에 널리 이용되고 있으며 현재 토목구조용 재료로서의 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다.

FRP 복합재는 제조과정에서 섬유와 수지의 함량비, 섬유의 방향성과 품질이 복합재의 역학적인 특성을 좌우하게 된다. FRP관은 균일한 단면과 거친 표면으로 이루어

진 신소재 유리섬유강화플라스틱 복합재로서 인장, 전단 강도가 강함은 물론 절단 및 가공이 쉽고 중량이 가벼워 취급이 용이하며 내화특성과 내부식성이 우수하여 토목 구조용 재료로서 강재보다 뛰어난 장점을 가지고 있다.

2. FRP의 일반적 특성

FRP는 유리섬유(Fiber Glass)를 주 보강재로 하여 불포화 폴리에스테르 수지(Unsaturated Polyester Resin)을 함침·가공한 복합 구조체로서 강도가 알루미늄보다 크며, 내열성 및 내부식성이 매우 우수한 반영구적인 소재이다.

표 1. 토목분야 FRP의 활용

해상파일	교량상판	이탈리아 터널 보강용 FRP관	
			

FRP 복합 구조체는 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- (1) 내산성, 내 알칼리성, 내식성이 우수하다.
- (2) 비중이 철의 약 1/5, 강도가 철의 약 2/3 이상으로 가볍고 튼튼하기 때문에 제작, 설치, 운반등이 훨씬 용이하다.
- (3) 열전도율이 철의 약 1/180로 보온, 보냉성이 우수하기 때문에 실내용 저장탱크, 물탱크 등에 적합하다.

- (4) 열변형율이 낮다.
- (5) 전기절연성이 우수하여 전기를 전혀 통하지 않기 때문에 전기접합단자부의 봉입용 등에 적합하다.
- (6) 설계, 가공이 어떠한 형태이든 자유롭고 간편하다.
- (7) 반투명이므로 액면계가 필요없다.
- (8) 접착성이 강하기 때문에 타 재질과의 혼성이 용이하다.

표 2. FRP와 각종재료의 물성비교

구 분		Filament Winding	Carbon Steel (SS41)	Stainless Steel (SUS316L)	Aluminum	PVC
물	비 중	1.8~2.2	7.91	8.00	2.84	1.45
	인장강도(kg/mm ²)	20~70	46.4	59.6	8.5	5.0~6.0
	Young율(kg/mm ² ×102)	28.0~31.6	211.0	197.0	70.0	2.4~4.2
성	항복점(kg×mm ²)	20~70	23.2	24.6	2.8	5.0~6.0
	온장계수(cm/cm×105)	2.2	1.2	1.6	2.4	7.0
	열전도율	0.22	41.5	14.0	199.5	0.13

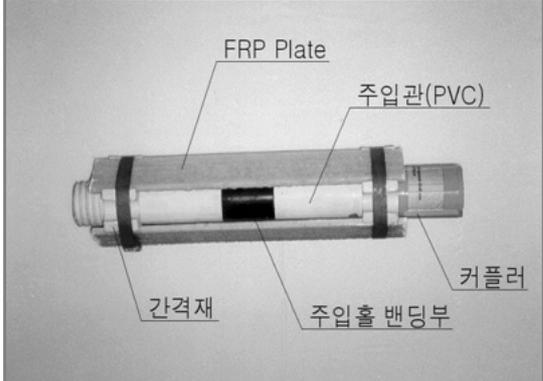
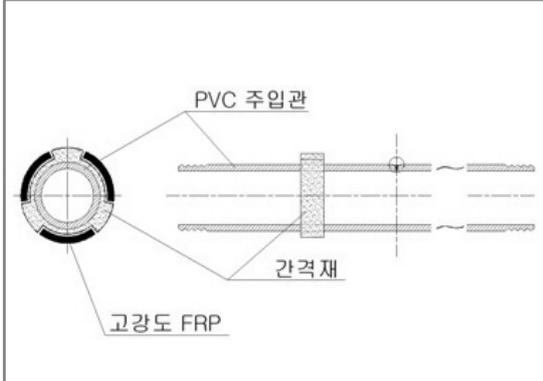
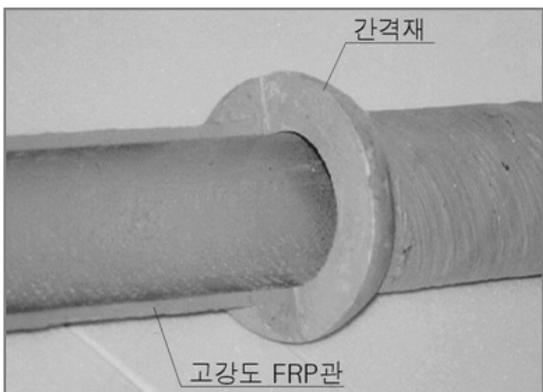
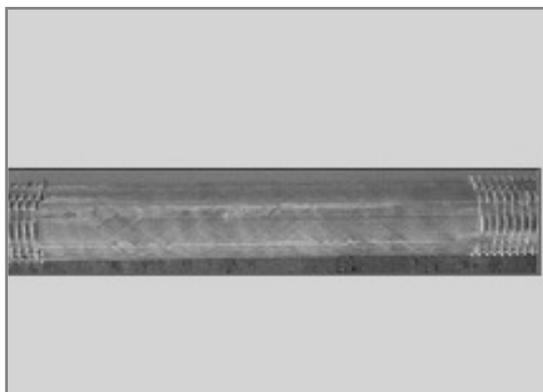
3. FRP관의 개발

현재 국내에서 주로 토목구조용 또는 지반보강용으로 사용되는 재료들은 주재료가 Steel Pipe 또는 Steel bar 형태로 길이가 길어지게 되면 중량이 비례적으로 증가하여 시공성 및 안정성이 떨어지게 되며, 부식에 의한 강도 저하의 우려가 있다. 또한 Steel pipe의 경우 겉 표면이 매끄럽고 요철이 없어 주면마찰저항을 필요로 하는 지반보강용으로는 취약한 단점을 가지고 있다. 이와 같은 단점을 보완하고자 타 재료에 비해 가볍고 부식이 없으며, 겉표면의 요철에 의한 주면마찰력의 증대등이 우수한 FRP 관이 개발되었다.

4. FRP관의 발달과정

FRP관이 본격적으로 적용되기 시작한 것은 이탈리아 로써 FRP 관 형태의 보강재를 터널 보강재로 사용하였다. 국내에서는 1992년에 한국건설기술연구원에서 PVC 주입관과 고강도 FRP관을 이용한 제품을 개발하였으며, 그 후 Uni direction Mat +Filament Winding 복합제조방법으로 생산된 고강도 FRP 관이 지반보강 재료로 사용되었다. 현재는 기존 FRP 관보다 강도가 높은 우레탄 수지를 사용한 FRP 관이 연구되어 실용화되고 있는 상태이다.

표 3. 고강도 FRP관의 발달 과정

<p>이탈리아 개발제품 : 1980년 중반</p> 	<p>한국건설기술연구원 : 1992.2</p> 
<p>고강도 FRP 관 : 2000년대 초반~중반</p> 	<p>우레탄 수지를 사용한 고강도 FRP 관 : 현재사용</p> 

5. FRP관의 제조방법 및 제조방법에 따른 특성

5.1 FRP의 제조방법

5.1.1 핸드레이업법(HAND LAY UP METHOD)

HAND LAY UP법은 상온에서 가압하지 않고 경화시킬 수 있는 UP의 특성을 살린 성형방법이며, 유기 또는 무기섬유를 미리 이형처리시킨 몰드(MOLD)에 사람의 손으로 수지를 붓거나 ROLLER로 함침시키고 또 탈포시키면서 소정의 두께까지 적층하여, 경화한 후 성형품을 얻는 방법이다.

이 방법은 다품종 소량생산에 적합하여 대형제품을 만들 수 있으며 복잡한 제품의 성형이 가능하다. 또한 수지 및 강화제의 조합이 자유로우며 Stiffener등에 의한 국부보강이 용이하고 착색이 자유롭다.

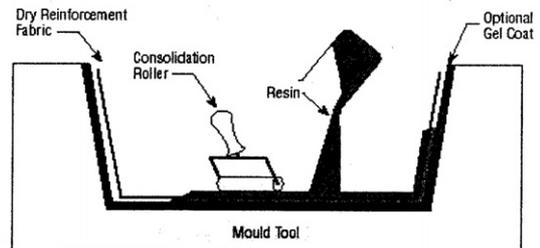


그림 1. Hand lay up 방법 개요도

5.1.2 인발(Pultrusion)성형법

Pultrusion 방법은 충분한 강도를 가질 정도로 강화재와 수지의 혼합재를 경화한 후에 가열된 금형을 통과 하면서 연속적으로 성형하는 방법이다. 이를 위해서는 요구하는 강도 특성에 맞춰서 Chopped Strand Mat, Roving, Cloth 등의 강화재를 정열하고 이것에 수지를 함침시킨다. 함침된 재료를 성형품의 횡단면과 동일한 형상을 한 금형에 넣고, 강화재와 수지의 혼합 배합 비율을 조정하여 금형 내 또는 금형로부터 나온 직후에는 충분히 보형성(保形性)을 가질 정도로 경화(예비성형이라고도 함)시킨다. 보형성을 유지할 정도로 경화가 되면 최종 경화하여 연속적으로 성형하는 방법이 인발 성형법이다.

이 방법은 성형속도가 매우 빠르며 수지의 함량이 정확하게 조절될 수 있고 강화 섬유는 직조 가공이 필요없어 가공비가 작은 장점이 있다. 또한 강화 섬유의 함량이 높아서 기계적 특성이 우수하며, 수지함침 과정에서 유해성분으로 인한 작업자 피해가 적다.

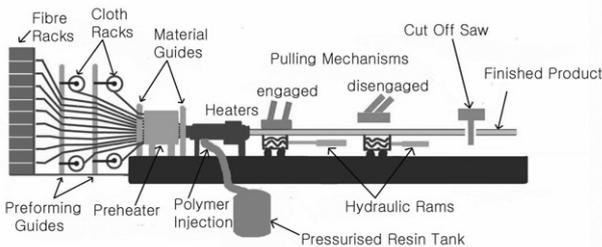


그림 2. Pultrusion 방법 개요도

5.1.3 FILAMENT WINDING법

Filament winding 방법은 연속된 강화재를 1~수분씩 정리하고 MATRIX를 함침시키면서 회전하는 금형(MANDREL) 위에 규칙적으로 감아서 정해진 두께에 도달한 후, 금형에서 탈형까지 성형하는 방법이다. 감는 방법에는 나선형감기, 평행 혹은 후프(HOOP)감기, 레벨(인프레인)감기, 포라감기의 4가지 종류가 있다. 가장

많이 사용되는 것이 나선형감기와 후프 감기이며, 다른 두가지는 특수한 경우에 사용된다.

이 방법은 강도가 매우 우수하고 경화시 수축이 적어 Crack 발생이 없으며, 고압 대형 Tank의 제작이 가능한 장점이 있고 대량생산이 가능하다.

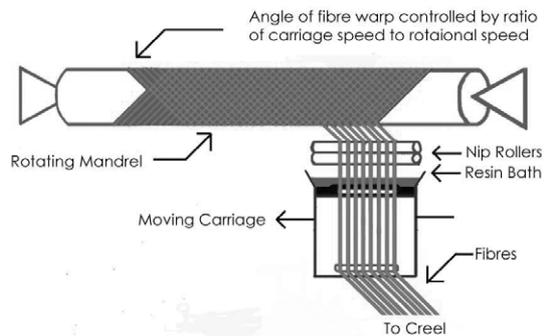


그림 3. Filament winding 방법 개요도

5.1.4 래핑(Wrapping)과 필라멘트 와인딩(Filament Winding)의 일체화 공법

Wrapping+Filament winding 방법은 FRP 소재의 인장을 향상시키는 일방향성 보강섬유를 열경화성 수지에 함침시켜 파이프 형상의 형틀에 소정의 균일한 두께에 이를 때까지 래핑(Wrapping)한 후, 이 래핑된 일방향성 보강섬유의 상부에 소재의 내압을 향상시킨 보강 섬유를 필라멘트 와인딩(Filament winding)하는 두 개의 주요공법을 거치게 된다. 이 복합공법을 일관공정으로 거친 재료를 형틀과 함께 가열하여 열경화성수지를 경화시킨 후 경화된 성형품을 탈형하고 탈형된 성형품을 필요한 두께로 절단하는 공정으로 제조된다.

이 방법은 복합공정에 의해 제조된 섬유강화플라스틱 파이프는 신소재 강화 플라스틱 복합재료써 인장, 전단 강도가 강함은 물론 절단 및 가공이 쉽고 중량이 가벼워 취급이 용이하며, 내화화성과 내부식성이 우수한 제품으로 부식과 변질이 되지 않는 장점이 있다.

5.2 FRP관의 제조방법에 따른 특성

FRP관의 제조방법은 크게 Pultrusion 방법, Filament winding 방법, Uni direction mat에 의한 wrapping 방법, Wrapping + Filament winding 방법이 있다. Pultrusion방법을 적용하여 FRP관을 제작한 결과 내압강도와 부착강도가 크게 떨어졌으며, 시험시 쪼개짐이 발생하였다. Filament winding 방식은 휨강도와 내압강도는 우수하나 인장강도가 부족한 것으로 나타났고, Wrapping에 의한 방법은 휨강도가 떨어지는 것으로 나타났다. 각 방법의 단점을 보완하고자 Filament winding 방법과 Wrapping 방법을 병행하여 FRP관을 제작하였으며 두가지 방법을 병행하였을 때 인장강도 · 휨강도, 내압강도 · 부착강도가 양호한 것으로 나타났다.

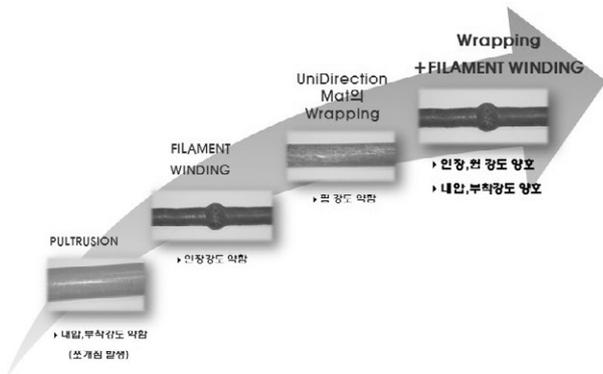


그림 4. FRP관 제조방법에 따른 구조적 특성

6. 결론

FRP는 내 부식성과 적은 단위중량, 고강도의 강도 특성으로 인해 시공성과 적용성이 뛰어나 국내에서 FRP의 효용가치가 점차 증가하고 있는 추세이며, 기존 Steel을 대체하는 신소재로서 토목구조용과 지반보강용으로 다양하게 적용되고 있고 더불어 다양한 연구개발이 이루어지고 있다.

FRP관은 1980년대 중반 유럽에서 먼저 개발되었으

며, 국내에서 본격적으로 개발이 이루어진 것은 1999년에 와서이다. 그 이후로 다양한 방법으로 개발이 이루어져 현재는 초기모델에 비해 월등한 강도의 FRP관이 현장에 적용되고 있다.

FRP관의 제조방법에는 크게 4가지가 있으며, 다음장에서 기술하게 될 강도시험결과에서 보듯이 Wrapping+Filament winding 방식이 가장 큰 강도를 나타내는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. FRP 보강 그라우팅 공법의 설계기법 연구 (2002) 서울대학교 공학 연구소, 한국도로공사 도로연구소
2. FRP 그라우팅의 보강효과에 관한 연구보고서 (2001) 아주대학교 토목기술연구센터
3. 터널보강재로서 FRP재료의 적용성 검토 (2001) 한국 터널 공학회 논문집
4. FRP 보강 그라우팅 공법의 개발 연구보고서(2000) 한국지반공학회