

건설분야에서의 섬유보강 플라스틱(FRP) 복합재료의 활용



이승식, SK건설 연구소 선임연구원

1. 서론

복합재료(Composite materials)는 두 가지 이상의 재료조합을 통하여 생산된 제 3의 재료로 정의되며, 최종적인 복합재료는 각각의 원재료들보다 우수한 성질을 갖게 된다. 복합재료는 하중을 지지하는 보강섬유(reinforcing fibers)와 보강섬유를 보호하고 보강섬유간의 하중전달 역할을 하는 매트릭스(matrix)로 구성된다. 일반적으로 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유 등이 보강섬유로 사용되며, 폴리머계 수지(resin)들이 매트릭스로 사용된다. 이러한 재료의 조합으로 인하여 섬유보강 플라스틱(FRP, Fiber Reinforced Plastic)은 기존의 건설재료인 강재나 콘크리트에 비해 강도가 매우 높고, 가볍고, 내부식성이 뛰어나고, 피로에 대한 저항성이 크고, 전파의 흐름을 방해하지 않는 등의 장점을 갖게 된다. 그러나 유리섬유를 보강재로 사용한 경우에는 자외선에 의해 내구성이 저하되며, 산에는 강하나 알칼리에 약하며, 낮은 탄성계수로 인하여 변형이 쉽게 발생하고, 높은 온도에서 재료의 성질이 급변하며, 약 200℃ 이상의 온도에서는 매트릭스가 연소된다. 또한, 재료의 생산 초기단계에서 단면이 수축되기도 하므로 잔류응력이 발생할 수 있으며, 지속적

으로 재하되는 장기하중에 의해 크리프 변형이 발생할 수 있는 등의 단점도 가지고 있다.

복합재료는 우주항공산업, 군수산업 등 첨단산업분야에서 특수한 목적에 사용하기 위해 개발되었던 것으로서 생산, 해석, 설계 관련 기술들이 민간산업분야로 급속히 전환되면서 현재 건설분야에서도 이 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 유럽의 여러 나라, 미국, 일본 등 선진국에서는 연구결과를 이용하여 실제로 이 복합재료를 사용한 각종 구조물이 건설되어 사용 중에 있다.

따라서 본 고에서는 FRP 복합재료의 기본적인 성질과 건설분야에서의 FRP의 활용현황에 대해서 알아보려고 한다.

2. FRP 복합재료의 성질 및 생산

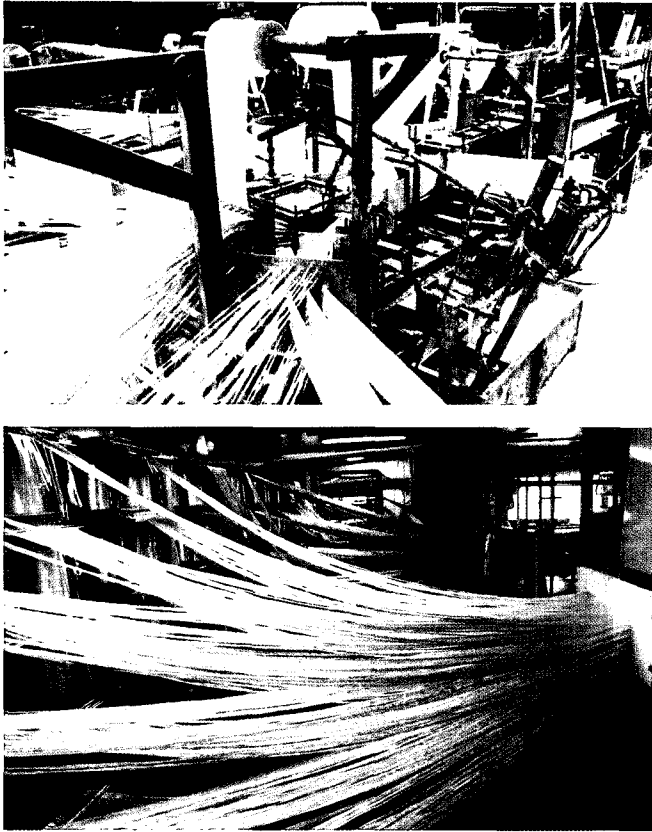
2.1 복합재료의 구성

일반적으로 구조용 복합재료는 보강섬유, 매트릭스, 필요유무에 따라 첨가되는 소량의 약품(fire retardant, etc.) 및 색소, 그리고 충전재(filler) 등으로 구성되어 있다.

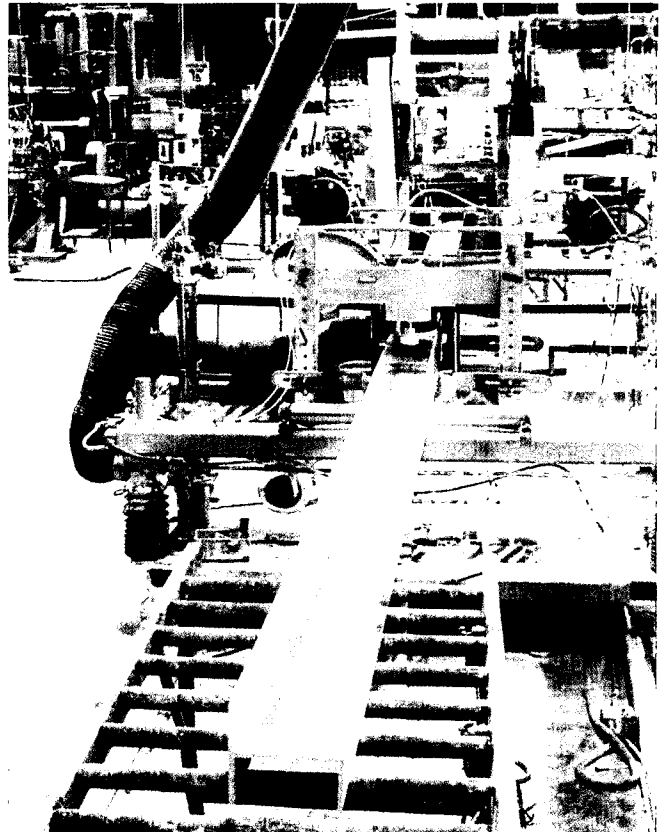
보강섬유의 종류에는 여러 가지가 있으며, 대표적인 것들을 나열하면, 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드 등이 있다. 이들은 각기 서로 다른 특징을 가지고 있으며, 이들 중 건설재료에 적합하고 많이 사용되는 보강섬유는 유리섬유와 탄소섬유인데 가격은 유리섬유가 더 저렴하다. 유리섬유는 E-glass와 S-glass로 크게 구분된다. E-glass는 가장 가격이 저렴해서 보편적으로 많이 사용되며 특히 화학적인 구성이 전기적인 절연에 유리하도록 구성되어 있는 장점이 있다. S-glass는 E-glass보다 강도가 높고 부식에 대한 저항성이 매우 크나 가격이 비싼 단점이 있다.

탄소섬유는 PAN(polyacrylonitrile), 역청수지 또는 레이온 원료를 사용하여 만들어진다. 탄소섬유 복합재료는 유리섬유나 아라미드섬유 복합재료보다 강도와 탄성계수가 높은 장점이 있으나 금속에 접촉하게 되면 금속표면에 전기부식(galvanic corrosion)을 일으키는 단점도 있다.

매트릭스는 보강섬유를 일체로 묶어주는 역할을 하며 건설 구조용 복합재료의 생산에 가장 많이 사용되고 있는 매트릭스는



(a) 보강섬유 공급 공정



(b) 완제품 생산 공정

그림 1. 인발성형 공정

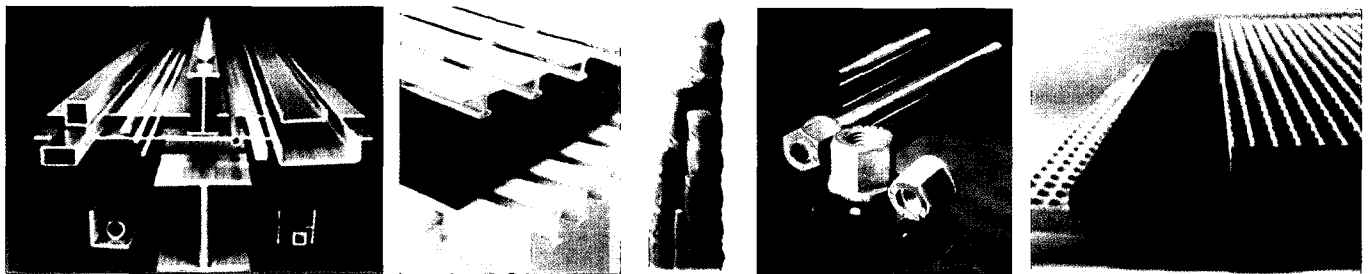


그림 2. 구조용 FRP 부재

열경화성 플라스틱(thermosetting plastics)으로서 개별적인 소재의 선택 시 양생온도와 양생기간, 열변화에 따른 변형정도, 사용온도 등을 고려해야 한다. 열경화성 플라스틱의 종류는 polyesters, vinylesters, epoxies, phenolics 등이 있고 이 중 폴리에스터수지는 가격이 저렴하고 취급이 용이하며 기계, 전기, 화학적인 특성이 뛰어나서 널리 사용되고 있다. 또한 폴리에스터 수지와 비교하여 비닐에스터 수지는 가격이 비싸지만 흡수와 수축이 적고 화학적인 저항성이 더 뛰어나서 화학적인 부식 환경과 높은 내습저항성이 요구되는 외부 구조물 등에 많이 사

용되고 있다. 에폭시수지는 폴리에스터 수지나 비닐에스터수지보다 더 고가이지만 일반적인 온도에서 건조수축이 작고 강성과 강도가 높으며 부식에 대한 저항성이 매우 높은 특징이 있다.

2.2 복합재료의 생산

일반적으로 복합재료는 원자재의 가격이 높은 이유도 있지만 고품질을 위해서 수작업 중심의 소량생산을 통하여 제작되기 때문에 기존의 강재나 알루미늄 등에 비해서 가격이 매우 비싼 단점이 있다. 그러나 여러 가지 생산방법 중에서 인발성형공정

(pultrusion process)을 사용할 경우 비교적 경제적으로 복합재료를 생산할 수 있다. 인발성형 공정은 일정한 단면을 가진 가열된 금속형틀 속으로 기계장치에 의해 다양한 형태의 보강섬유에 수지가 스며들게 한 후 연속해서 공급하여 성형된 제품이 작업대를 빠져나오면 필요한 길이로 자르는 방법으로 일정한 단면을 가진 부재를 생산하는 방법이다. 또한 금형 내부에 가열한 봉을 정착하여 속이 빈 부재나 복잡한 형상의 단면도 제작할 수 있고 여러 가지 변형을 통해 부재의 축이 곡선인 부재를 생산해 낼 수 있으나 대부분의 경우 직선의 제품을 주로 생산한다. 이 방법은 주로 축방향으로 보강섬유가 배치되므로 축방향의 강도와 강성은 높으나 그 직각방향, 즉 부재 횡방향의 강도와 강성은 낮은 단점이 있다. 그림 1은 인발성형 공정의 일부이며 그림 2는 인발성형으로 생산되어 상용화된 FRP 제품을 보여주고 있다.

2.3 복합재료의 강도와 역학적 성질

복합재료의 강도는 사용된 보강섬유의 종류와 매트릭스의 종류, 그리고 제조방법에 따라 다르다. 앞에서 설명한 바와 같이 복합재료를 생산하는 방법에는 여러 가지가 있으나 이를 구조용 부재로 사용함에 있어서는 펄트루전 공정이 대량생산에 가장 유리하다고 할 수 있다. 따라서 여기서는 펄트루전 공정을 통해 생산된 열경화성 플라스틱 구조용 복합재료를 중심으로 설명하고자 한다. 보강섬유의 종류에 따른 복합재의 강도와 여러 가지 역학적 성질을 살펴보면 각각 표 1과 같다.

표 1. 복합재료의 강도와 역학적 성질

Property Material	Density (kg/m ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)
High modulus carbon epoxy	1600	1000	180
Low modulus carbon epoxy	1600	1600	140
E-glass epoxy	1900	1000	40
Kevlar epoxy	1400	1400	75
Mild steel	7800	550	210
Aluminum alloy	2800	450	70

3. 토목구조용 FRP의 국내외 연구 및 활용현황

구조물에 요구되는 기능, 주변 환경과의 조화, 유지관리, 교통량의 폭발적인 증가 등 여러 가지 환경변화에 효과적으로 대처하기 위해 토목분야에서도 FRP와 같은 새로운 재료의 개발 및

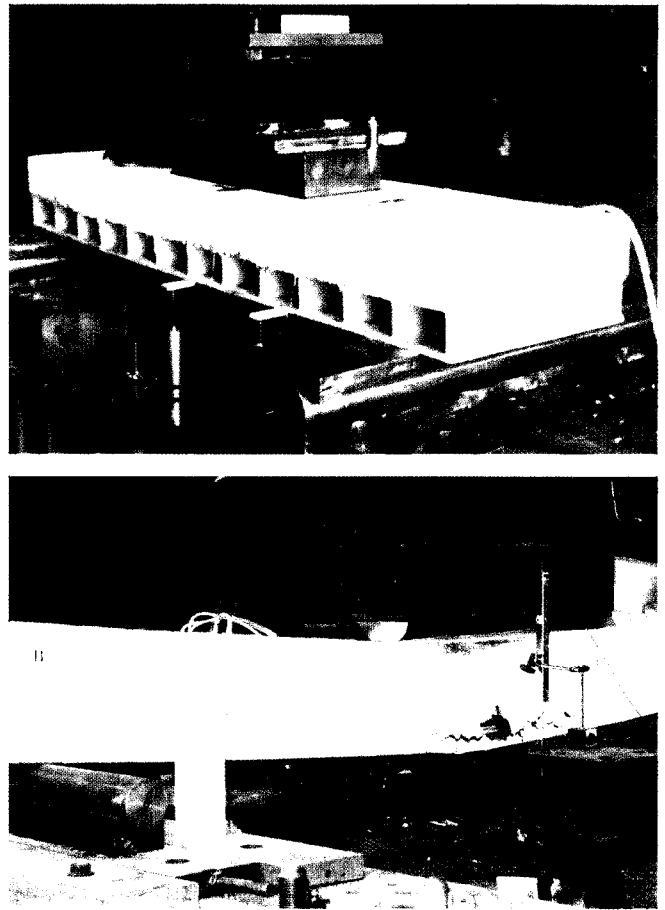
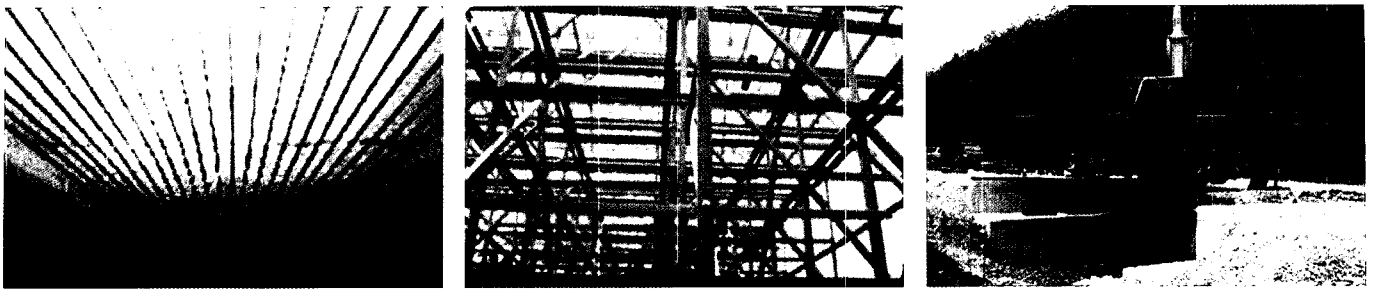


그림 3. FRP를 적용한 무강재 바닥판과 콘크리트 보

적용은 필수적이라 할 수 있다. 국내의 경우 1990년대 이후 FRP 제조기술이 급속히 발전함에 따라 토목분야에서도 FRP의 활용이 증가되고 있다. 강성이 우수한 탄소섬유 시트나 유리섬유 패넬 등을 사용하여 철근콘크리트 구조물의 균열제어, 방수 등 기초적인 보수 단계에서 벗어나 FRP Re-bar, sheet, grid를 사용한 구조물의 보강, FRP wrapping기술을 사용한 교각의 내진성능 향상 및 구속효과를 고려한 압축보강, 거더 외부 긴장재로서의 FRP 활용 등 다양한 기술이 연구 개발 중에 있으며 일부는 현재 상용화된 상태이다.

특히 건설재료로서 광범위하게 사용되고 있는 강재 및 철근은 부식으로 인해 구조물 전체의 기능을 저하시키고 있으며, 기존 연구결과에 따르면 1979년 미국의 경우 부식과 관련된 손실은 연간 약 820억 달러에 달한 것으로 보고되었다. 외부에 노출되어 있는 강재뿐만 아니라 콘크리트 속의 철근도 시간이 경과함에 따라 부식을 피할 수는 없다. 따라서 토목분야에서도 부식에 강한 FRP를 구조재로 사용하기 위한 이론적, 실험적 연구가 활발히 진행되고 있고, 콘크리트 내부의 철근을 FRP로 대체하기

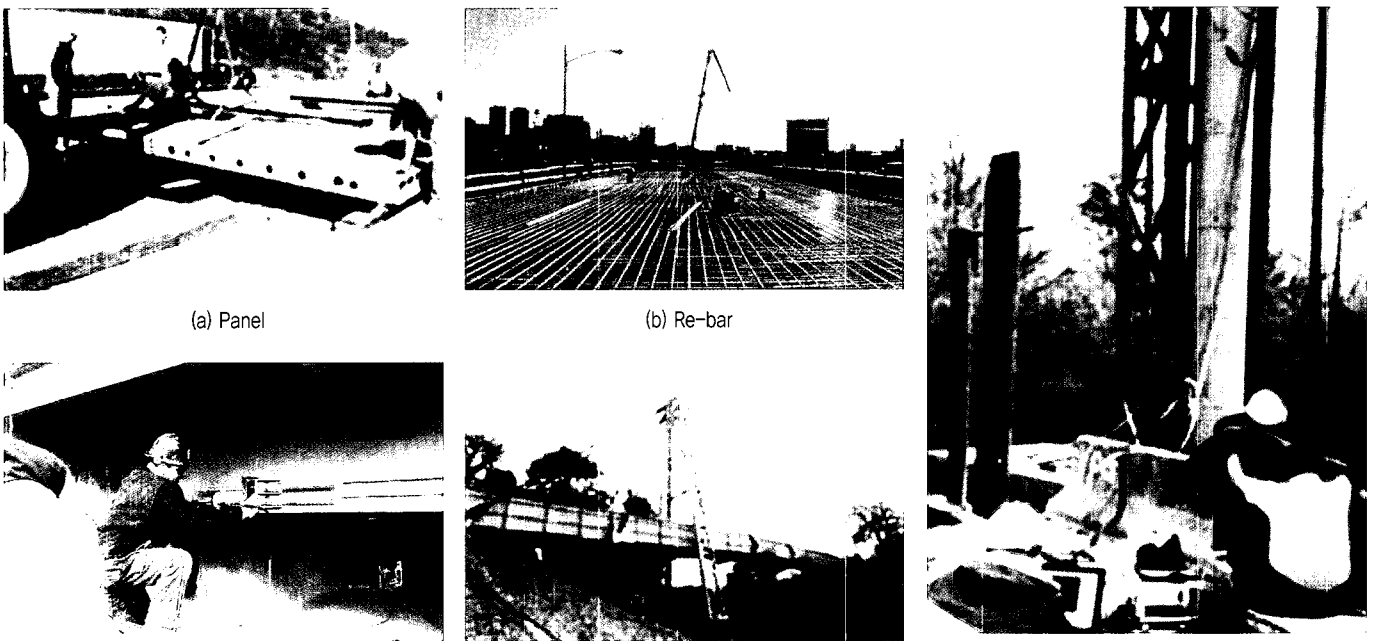


(a) Re-bar

(b) Shape

(c) Deck

그림 4. 국내의 FRP 활용



(a) Panel

(b) Re-bar

(d) Tendon Bar

(e) Bridge

(c) Pile

그림 5. 국외의 FRP 활용

위한 연구도 활발히 진행되고 있으며 소규모 교량에서는 FRP 바닥판이 가설되어 사용되기도 하였다(그림 3 참조).

미국, 캐나다, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 1970년대부터 이미 보수, 보강재로 FRP를 생산하여 사용하고 있다. FRP Re-bar, grid, sheet를 사용한 콘크리트 구조물의 보강뿐만 아니라 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic) 판에 프리스트레스를 도입하여 구조물을 보강하는 새로운 개념의 공법도 제안되어 실용화를 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 1990년대에 들어서면서 FRP를 사용한 교량이 시공되어 사용되고 있으며 특히, 교량의 구조 요소로서 FRP의 활용이 증대되고 있다. 현재는 구조재로서의 FRP의 거동 특성 및 제조기술과 더불어 시공된 FRP 구조물에 센서를 장착하여 교량의 장단기거동 및 교량의 유지관리에 필요한 자료 등을 수집하고 그 결과를 설계에 활용

하고 있는 단계에 있다. 건설분야에서 사용 중인 FRP의 예를 그림 4와 5에 나타내었다.

4. 결론

미국과 여러 선진국의 경우 업계와 학계에서 지속적으로 연구한 결과 FRP를 건설분야의 주요 구조재료 중의 하나로 사용하기 위한 기술축척이 상당부분 이루어지고 있다. 그러나 아직 국내에서는 체계적이고 지속적인 연구와 관심이 부족하여 FRP를 토목 분야에 활용하는 데에는 많은 시간과 비용이 필요한 상태이다. 따라서 차세대 건설 신소재인 FRP에 대한 보다 체계적이고 적극적인 투자와 연구개발에 관심을 기울일 필요가 있다고 판단된다.