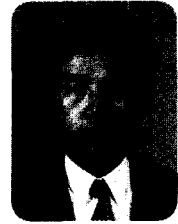


# FRP복합재를 이용한 건설신기술의 전망

The Future Prospect of Composite Materials in Construction Industry



朴 原 浩\*  
Park, Won Ho

목	차
1. 서론	4. 복합재의 성장 배경
2. FRP복합재의 구성	5. 복합재의 사용상 제약과 활용 모색
3. 복합재와 인프라 시설	6. 복합재의 전망(결론)

## 1. 서론

FRP복합재(Composite)<sup>\*)</sup>는 섬유보강플라스틱(FRP:Fiber-Reinforced Plastics)으로 만들어지는 재료의 총칭(이하 복합재)으로서 이 재료가 갖는 공학적인 장점으로 인해 건설시장에서의 점유율이 날로 증가 추세에 있다.

복합재의 공학적인 특성을 살펴보면,  
첫째, 강철처럼 부식하지 않는다.  
둘째, 콘크리트처럼 부서지지(취성파괴) 않는다.  
셋째, 나무처럼 부식되지 않는다.

넷째, 재료의 자중에 비해 강도가 크다.(비강도가 크다.)(<표 1>참조)

<표 1> 재료별 비강도표(강도/비중) 단위:kg · f/cm<sup>2</sup>

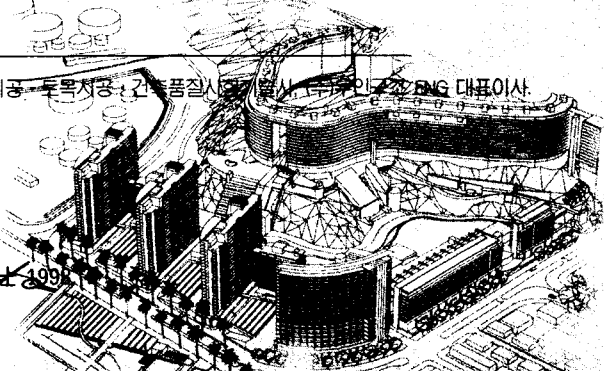
구분	CONCRETE	FRP	STEEL	비 고
강도	5~15	200~450	400~800	FRP:유리섬유경유*
비중	70~120	600	-	

미국의 경우, 복합재 시장의 점유율 면으로 보면, 건설산업은 자동차산업에 비해 아직은 2위 자리이다. 하지만 지난 10년간 통계에 의하면, 건설분야에서 복합재의 신장율이 무려 43%에

### 주 1)

FRP복합재는 섬유보강복합재료(Fiber-Reinforced Plastics)의 총칭이나 당초 유리섬유(Fiber Glass)로 보강재를 널리 사용함으로써 지금은 FRP하면 거의 유리섬유보강복합재에 한정된 의미로 사용된다. 그러나, 탄소섬유, 아라미드섬유 등의 개발로 인해 보다 포괄적인 의미에서 섬유보강복합재료는 복합재(Composite Materials)라는 용어로 구분하여 사용하고 있다.

\*건축시공·토목시공·건축품질시공(합산)주요인자간 FRG 대표이사



이를 정도로 성장을 계속하고 있다. 현재까지는 대부분의 물량이 주택건설자재, 옥상물탱크, 주방 및 욕실 구성품들이 주종이었지만, 인프라시장에서의 구조부재로 활용이 되면서 점유율이 높아가고 있다.(<그림 1>)

## 2. FRP복합재의 구성

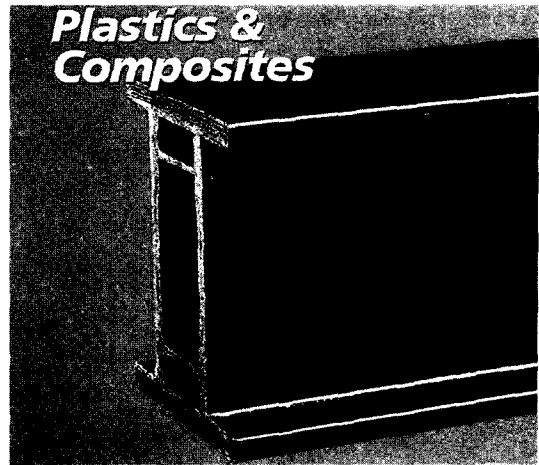
수지(Resin)에 추가적인 강도나 특정성능을 내기 위해 섬유(fiber)쉬트 또는 섬유조직과 적층방식으로 하여 복합재를 제조하는데, 주로 이용하는 섬유는 유리섬유(E-Glass), 탄소섬유(Carbonfiber), 아라미드섬유(Aramid fiber) 등이고, 이들 섬유를 매트릭스(Matrix)로 하여, 혼합제를 첨가하여 보강한 재료를 FRP복합재로 정의한다. 즉, 섬유보강형태로 된 열경화성수지, 열가소성수지를 말한다. 여기서 매트릭스를 구성하는 주요섬유(Fiber)를 살펴보자.

### 유리섬유(glass fiber)

유리섬유는 유리의 원료를 녹인 유리액을 압축공기로 비산(飛散)시켜 가는 섬유모양으로 만든 것이다. 유리섬유의 최고 안전 사용온도는 300℃ 정도, 비중은 0.1 이하, 인장강도는 200kg/cm정도이다. 탄성이 작고 인장강도·전기절연성·내화성·단열성·흡음성·내식성·내수성 등이 우수하며 경량이다. 그러나 굴곡에 약한 점과 집속(集束)된 것은 모세관현상에 의하여 흡수성이 있다는 결점이다.

### 탄소섬유(carbon fiber)

탄소섬유는 1959년에 미국 UCC회사가 처음 개발했고, 그 후 급속한 발전을 하여 근래에는



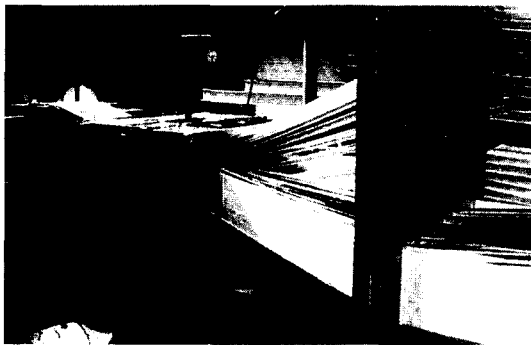
<그림 1> FRP복합재로 만든 I-Beam 강성을 높이기 위한 WEB의 설계가 특징

우주·항공 재료로써 많이 이용되고 있다. 탄소섬유는 폴리아크릴로니트랄(PAN)계, 피치계, 레이온계로 분류된다. PAN계의 탄소섬유는 우주·항공 분야에서 70% 이상 이용되고 있으며 스포츠, 레이저분야에서도 많이 이용되고 있다. 피치계는 팬계에 비해 값이 싸고 패키징재, 단열재 등의 용도로 이용되면 콘크리트 보강용 재료로도 이용된다. 탄소섬유의 특징은 강성 및 피로 강도가 높으며 이러한 탄소섬유보강 콘크리트는 역학적 성질이 우수할 뿐만 아니라 열에도 강하고 부식하지 않는다.

### 아라미드 섬유(aramid fiber)

아라미드섬유는 1970년에 미국의 듀퐁(DuPont)사가 개발한 유기합성섬유로 탄소섬유보다 비강도가 높고 내충격성도 우수한 이점을 가지고 있다. 아라미드섬유의 60% 이상이 자동차 타이어 보강재로도 이용되고 있으며 방호복(防護服), 로프 등의 용도로 이용된다. 건설분야에서는 단섬유를 모르타르나 콘크리트에 혼입한

ARFC(아라미드섬유 보강 콘크리트), 아라미드 섬유를 에폭시수지로 굳힌 봉재(棒材) 등의 용도 개발이 진행되고 있다. 특히, 아라미드섬유의 고장력, 낮은 영계수의 특성을 살려서 프리스트레스트 콘크리트의 긴장재로써 이용하는 연구가 수행되고 있다. 이것은 프리스트레스트의 하중을 줄여 긴장재의 총량을 적게 할 수 있고, 염분에 의한 부식, 응력부식의 우려가 없는 등의 장점이 있기 때문에 그 연구 개발이 주목되고 있다.



〈그림 2〉 FRP복합재의 제조과정 적층방식(fiber sheet 사이에 Resin을 도포하는 방식)

### 3. 복합재와 인프라시설

FRP하면 통상적으로 유리섬유(Fiber Glass)를 주보강재로하여 불포화 폴리에스터 주지(Unsaturated Polyester Resin)를 합친 가공한 복합구조재로서 알루미늄보다 가볍고 철보다 강한 내식, 내열 및 내부식성이 우수한 반영구적인 소재로 매우 큰 강도를 지니고 있으며, 전산업분야에서 응용분야가 확대되고 있다.(<표 2>참조)

인프라시설에 복합재를 처음 사용했을 때는 계단시설, 작업발판, 핸드레일, 가드레일이 주종이었다. 현재는 FRP로 성형하여 만든 교량상판, 해양구조물용 파일, 부두의 안벽, 건물의 기둥,

〈표 2〉 FRP 생산 가능 품목

건축 조경분야	채광판, 내외장재, 물탱크, 사료탱크, 테코레이션 그레이팅, 인공폭포, 인공암, 정원조경석, 부조
해양 부문	보트, 요트윈드서핑, 카누, DOOR, 윈도우박스, 등대 오닝카바, NAME PLATE, FUNNEL MARK, BUOY
수송기기	철도차량내장판, 냉동차, 보온벽재, 운반조지동차 및 항공기 부품
기타	천문대돔, 성좌실, 미끄럼틀, POOL, 실내외조경물, 전기재료(절연판), 이동식화장실, 내식기기(반응조, 냉각탑 등) 공해방지시설

보, 화학공장의 저장 용기, 철근대체, PS강선대체 철로긴결재(레일), 상하수도용관 등으로 용도를 급격히 넓혀 가고 있다. 또한, 복합재는 전파를 통과시키기 때문에 건물 옥상에 안테나를 지지하는 재료로도 사용하고, 비자성체로서 병원의 자기공명진단실(MRI)건물을 FRP로 지을 수도 있다. 이 분야에서 선두를 달리고 있는 듀퐁사에 의하면 미해군의 부두시설 보수보강공사, 종합병원옥상의 헬기착륙장공사(기존시설들에 콘크리트로서 헬기 착륙장을 설치할 경우, 설계중량초과로 불가능하다)도 최근 들어 수행했다고 한다.

특히, 충격에 약한 콘크리트구조물의 보수보강 재료는 이미 그 활용도가 상당수준에 올라있는데, 보수보강재로 그치는 것이 아니라, 천연골재 등의 부족으로 인한 콘크리트에 대한 대체재로써 막강한 교체선수(?)로 그 활용이 증대되고 있다.

여기서 인프라시설에 FRP복합재를 적용한 몇 가지 사례를 소개한다.

#### 복합재로 만든 교량 상판

최근에 미국의 West Virginia에 FRP복합재로 된 교량을 설치하였는데, 그 설치시간이 불과 5 시간 반 정도이고, 유지관리비가 거의 안 들

고 교량의 내용연수도 최소 40년이라고 한다. 이 교량에서는 특수한 단면 설계와 복합재를 구성하는 각 요소별 조합기술에 의해 비강도가 최대가 되도록 하였다고 한다. 특히 교량상판의 경우, 단면형상이 8각형과 사다리꼴의 조합으로 성형가공하여 차량의 운행방향에 교차하게 함으로써 최대한의 하중부담이 콘크리트 교량 상판의 무게에 비해 1/5밖에 안된다. 단, 사하중(dead load)은 감소하지만 활하중(live load)의 증가에 따른 강성(stiffness)의 확보가 문제일 수 있다.(<그림 3>참조)



<그림 3> 복합재로 제작(성형)된 교량상판의 설치장면  
- 상판의 자중이 불과 22 lb/ft<sup>2</sup>(약 107kg/m<sup>2</sup>)

한 전문가는 복합재 교량 상판의 진정한 이점은 단면의 표준설계에 의해 대량생산이 가능하게 하고 최종적으로 대형창고의 선반에서 수요자의 입맛대로 골라 쓰도록 하는 것이라고 강조한다.

#### 건물의 구조재로 이용된 복합재

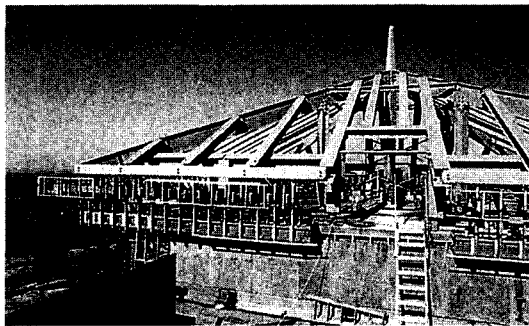
옥상물탱크, UBR(조립식옥실), 더 나아가 보수보강용이나 거푸집용 정도로만 활용되던 복합재가 토목분야에서 교량의 상판 등에 구조재로서 활용도가 높아 가는 것과 동시에, 건축물에서도 가벼우면서도 강도가 큰 장점과 특히 염분이나 습기에 부식이 안되는 특징으로 인해 기둥,

보, 대형 SPAN에 FRP복합재가 속속 등장하고 있는 실정이다.(<그림 4, 5>참조)

#### 복합재 하수관로 시스템

복합재 배수 파이프는 종전의 강철파이프처럼 부식이 되지 않고 염분에 심한 노출이나 휘발유 등에 잠겨 있어도 손상이 되지 않는 장점들로 인해 하수관로용으로도 활용도가 점점 높아가고 있다.

복합재 파이프시스템의 최대장점은 선가공이 가능하고, 방향전환, 현장접합, 소제구 접합 등이 용이한 점이다.



<그림 4> Stone Mountain Park, GA놀이공원의 지붕골조에 이용된 FRP복합재 I-Beam

둘째, 접합시 용접이나 납땀 같은 복잡한 기술이 요구되지 않고 접착제에 의해 쉽게 작업할 수 있는 점이다.

셋째, 극저온에서 취성파괴가 없고, 고온에서 이상팽창도 없는 점이다.

## 4. 복합재의 성장 배경

구 소련의 와해와 함께 냉전체제가 붕괴됨에 따라, 방위산업분야의 거인, 듀퐁(Du pont)社나 록히드마틴社 같은 회사들이 전투기, 수송기, 군

합의 제작 같은 방위산업분야의 시장고갈에 대한 대책으로 국제규모의 인프라시설분야에 눈을 돌리고 있다. 즉, 도시기반시설들은 갈수록 노후화의 문제가 심각하고, 유지관리를 위한 보수보강공사가 증대되고 있다는데 착안한 것이다. 사람들은 자연히 복합재의 신기술에 주목하게 되었는데 기존 구조물에 복합재료를 덧씌우기 형태로서 작업하는 시공의 용이성과 또한 가볍고, 높은 강도로 인해 보강재로서 역할을 훌륭히 할 수 있는 점이 있다.

특히, 철근콘크리트 교량상판에 비해 복합재로 된 성형상판을 사용할 경우, 엄청난 경제적 효과를 기대할 수 있다. 실례를 들면, 미국 오하이오주의 버틀러 카운티에서 2차로의 교량상판보수공사에서 기존의 노후한 강철제 대신에 24ft폭의 복합재 상판을 설치했는데 구조자체의 비용은 기존재료에 비해 비싸지만, 설치비와 내용연수를 고려한 총비용(Life Cycle Cost)을 고려할 때 오히려 경제적이 된다. 즉, 30,000lb무게의 상판을 설치하는데 단지 수공구로 설치가 가능하고, 안전사고율로 1/8로 감소되고 내하력에 있어서도 M-1탱크가 통과해도 충분히 견딜 수 있다고 한다.

## 5. 복합재의 사용상 제약과 활로모색

복합재의 사용이 늘어가는 추세인데도 불구하고 시험사용에 대한 위험부담이 여전히 장애로 남아있다. 이를테면, 복합재가 구조재료로서 과연 강철처럼 50년 정도를 견딜 수 있는가에 대한 성능 검증이 없다는 것이다.

### 표준화의 문제

그동안 항공분야, 소비재산업, 전자장비산업에만 열중이었던 복합재 생산업체들이 건설업에 있어서는 판매경험이 없다는 점이다.

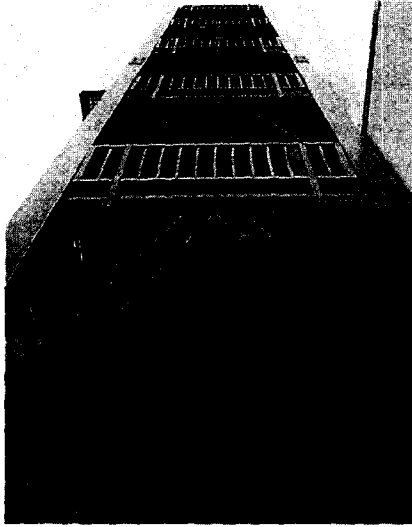
현재, 미국에서는 복합재의 내진 성능 평가 프로그램이 진행중이다. 즉 지진에 대한 기존 구조물의 내구성향상을 위해 복합재를 사용할 경우, 그 효과를 평가하는 것이다. 미연방고속도로국과 민간회사들이 진행중인 이 시험은 재료에 대한 여러 가지 요구성능 중에서도 1000, 3000, 10,000시간 내구성 시험과 같은 것인데 기둥에 대한 내진 성능을 향상시키기 위해 복합재를 보강했을 경우, 적용방법에 따라 엄청난 차이가 있다는 것이다. 결과적으로 강철은 그 물성이 명확하게 규명되어 있지만, 복합재는 사용된 재료의 조합에 따라 천차만별의 성능을 갖기 때문에 표준화작업에 상당한 문제가 있는 것이다.

### 새로운 방향 모색

복합재 사용에 적극적인 사람들도 국가적인 표준이 없고, 여전히 위험부담 때문에 많은 발주처와 기술자들이 사용을 기피하는 점을 안타까워하고 있다.

복합재의 채택을 위해서는 설계시방작성에 필요한 재료의 기본 물성 즉, 기계적·물리적 성능에 대한 보다 많은 정보들이 요구되는 실정이다. 일부전문가들은 복합재는 구성요소들이 수지의 종류, 섬유와 섬유구성들이 거의 무한하기 때문에 상세한 재료시방서를 갖기는 거의 불가능할 것이라고 비관적으로 전망하는 사람들도 있다.

복합재의 사용을 넓혀 가는데 가장 큰 장애물은 비용인데, 탄소섬유가 철에 비해 파운드당 20~30불이 비싸고, 유리섬유 또한 3불 정도가 비싼 것이 근본적인 제약이라 할 수 있다.



<그림 5> 미해군 훈련기지의 계단타워 : FRP복합재로 만든 부재를 사용하여 골조완성

#### 일본의 적용 사례

일본은 복합재의 사용이 훨씬 더 널리 보급되어 있고, 특히 1995년 고베지진 이후 지진 피해 복구용으로 폭넓게 사용되고 있다.

일본 정부가 복합재를 연구 개발하는 회사들에게 세금감면혜택을 주고 있는 것이 기술발전에 촉매제역할을 하고 있는 것이다.

많은 전문가들이 미국에서는 세금감면혜택을 당장 기대할 수 없지만 시간이 갈수록 비용이 싸지고, 복합재를 생산하는 회사들의 이익이 증대될 것이라고 전망한다. 곧 2~3년 이내에 보다 발전된 복합재가 강철, 목재, 콘크리트와 같이 우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 건설재료가 될 것이라고 전망하고 있다.

### 6. 복합재의 전망(결론)

위에서 살펴본 바와 같이, 건설산업에 있어

FRP복합재의 활용전망은 실로 무궁무진하다 할 수 있다. 특히 인프라시설에 적용할 경우, 대량생산, 대량소비가 가능하며 공장생산에 의한 표준화가 용이해지고, 기존의 철강재에 비해 재료단가가 훨씬 비싸다는 제약사항도 쉽게 해결이 될 것이다.

또한, 이윤추구를 제일로 하는 서구식 상업주의의 물량공세방식과 인프라분야의 수요가 절묘(?)하게 조화가 될 것이다.

인프라시설분야의 현재 수행중인 공사에서 어느 정도 내구성에 대한 검증이 될 경우, 건축물의 주요구조재로 - 이를테면 기초파일(내부콘크리트충진), 철근대체재, 기둥부재, 보부재, 바닥판 등 - 시간문제일 것이다.

국내의 경우, 아직 FRP복합재의 생산업체가 영세하여, 인프라시설이나 건축공사의 구조부재를 설계, 제작하기에는 기반 여건이 너무나 취약한 상태라는 것은 자명한 현실이다.

현재까지는 복합재분야의 연구수준은 정부기관, 대학연구소, 민간건설연구소 등에서 신소재개발 단계에 있어 건설산업의 실용화를 위한 보다 체계적인 연구를 서둘러야 할 때라고 생각한다.

#### 참고자료

1. Composites Astound & Confound (ENR/SEP.15.1997)
2. Composites Enter the INFRASTRUCTURE MARKET (ENR/ Special Advertisement Edition/ENR, SEP. 29, 1997)
3. 건설재료학(문한영/동명사)
4. 건축재료학(조준현/기문당)  
(원고 접수일 1998. 3. 17)