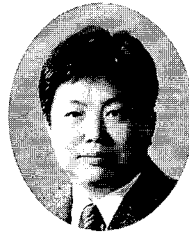


# 특 집 11

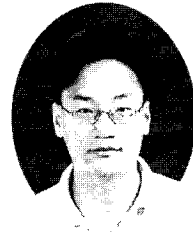
건설산업에서의 FRP

## 건설 분야에서의 FRP 활용

- Application of FRP in Construction -



심종성\*



김규선\*\*

### 1. 서 언

최근 건설 구조물에 있어서 기존의 건설 재료보다 경량화되고 인성을 가지면서 내구성을 가지는 신소재의 활용이 점진적으로 늘어나는 추세이다. 특히 고강도이면서 경량화 소재인 FRP(Fiber Reinforced Polymers)는 뛰어난 성형성으로 인해 다양한 형상으로 제작할 수 있으며 기존의 건설 재료에 비해 뛰어난 내구성을 가지고 있어 건설 재료로서 많은 장점을 가지고 있다.

폴리머 레진에 탄소 섬유, 유리 섬유 또는 아라미드 섬유 등을 혼입해서 제작되는 FRP는 철근 콘크리트 구조물의 경우 기존의 철근의 대체재로서, 프리스트레스트 콘크리트의 경우에는 긴장재의 대체재로서 활용될 수 있으며 쉬트 형태나 판 형태로 제작되어 노후화된 기존 콘크리트 구조물에 부착하여 내하력을 증대시키기 위한 보강 재료로도 활용되고 있다. 또한 FRP가

가지는 장점인 경량성과 내구성을 이용하여 교량 바닥판 또는 교량의 전체 구조체를 기존 재료에서 FRP로 대체하고자 하는 시도가 있어 왔으며 일부 국가에서는 실제 교량에 성공적으로 사용하고 있는 실정이다.

국내의 경우 FRP를 건설 재료로서 활용하려는 노력이 활발히 진행되고 있지만 아직은 초보적인 단계이며, 주로 콘크리트 구조물의 보강 재료로서 많이 활용되고 있는 실정이다. 저자들은 FRP가 21세기의 새로운 건설 재료로서 관심이 집중되고 있는 이 시점에서, FRP에 관련된 세계적인 건설 기술의 변화 추세에 능동적으로 대처하고 국내 건설 기술의 발전을 위해 FRP에 관련된 최근 현황을 정리해 보았다.

### 2. FRP의 개발 현황

인류가 만든 복합 재료는 원시적인 복합 재료로부터 시작해서 수 천년 동안 사용되어 왔지만 복합 재료로서 고차원 기술은 1964년 영국 왕립우주항공국(Royal Aircraft Establishment)에서 충분히 높은 인장 강도와 강성을 가진 탄소 섬유를 생산하면서부터

\* 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 교수

\*\* 정회원, 시설안전기술공단 과장

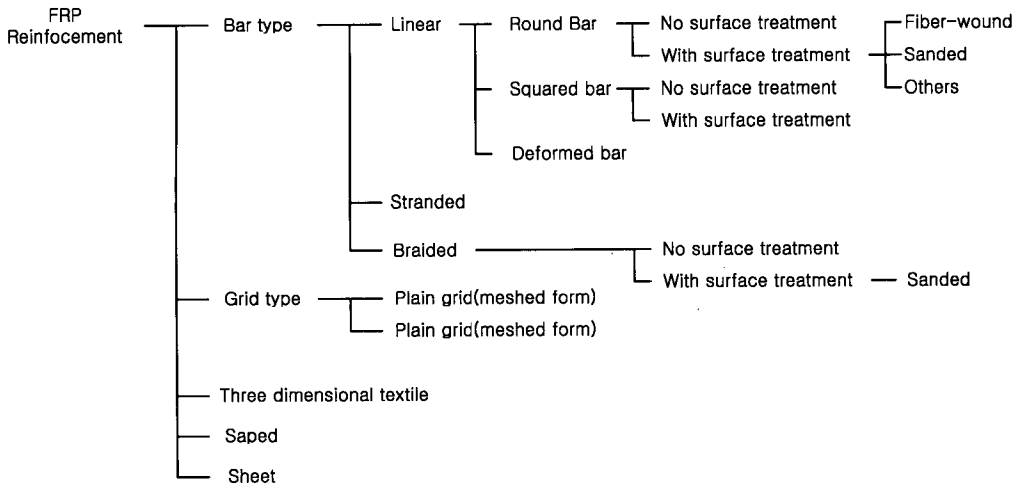


그림 1. 단면 형태에 따른 FRP 보강재의 분류

시작하여 우주항공산업에서 개발 초기에 사용하기 시작하였고 지금은 자동차, 군수 용품 등에서 적극적으로 활용되고 있으며 건설 분야에 대한 응용은 최근에 세계 각국에서 활발히 진행 중에 있다.

1970년대 초부터 일본에서는 수많은 실험을 토대로 시행착오 끝에 FRP 제조 기술을 개발해 왔으며 1980년대에 들어서는 극단적으로 미세한 섬유를 엮어서 인장 상태에서 결합재를 이용하여 함침시켜서 FRP를 제작하는 기술을 개발하였고 <그림 1>과 같은 형태의 단면을 가지는 건설 재료용 FRP를 개발하는데 성공하였다. 일본의 경우 FRP를 건설 분야에 크게 두 가지 범주에서 활용하고 있다. 첫번째로는 철근과 PC 긴장재를 대신하여 bar 형태나 격자형 형태로 콘크리트 내에 매입하여 사용하는 것이며 두번째로는 sheet 형태로 제작된 FRP를 사용하여 콘크리트 구조물을 보강하는 데 사용하는 것이다.

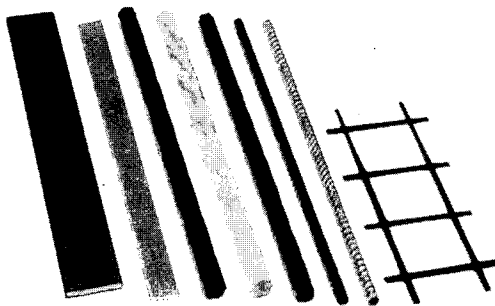


그림 2. 일본에서 생산되는 FRP 보강재

<그림 2>에는 일본에서 주로 사용되고 있는 FRP 보강재를 소개하였다. 현재 일본에서 가장 많이 사용되는 FRP는 탄소 섬유(carbon fiber)로 이루어진 FRP이며 그 다음이 아라미드 섬유(aramid fiber), 유리 섬유(glass fiber) 순으로 활용되고 있다.

유럽의 경우 1970년대 초 독일의 Stuttgart 대학교에서 시작된 GFRP로 만들어진 PC 긴장재에 관한 연구를 시작으로 FRP를 건설 분야에서 활용하기 위한 연구가 본격적으로 시작되었다. 1978년 경 독일의 Strabag-Bau와 Bayer가 GFRP로 만들어진 bar(직경 7.5 mm)와 포스트텐션용 정착 장치를 개발하여 독일과 오스트리아 있는 일부 교량에 시공한 바가 있으며, 1983년에는 네델란드의 AKZO와 HBG는 Arapree라고 불리는 AFRP(Aramid Fiber Reinforced Polymers)제품을 개발한 사례가 있다. 스위스의 경우 콘크리트 구조물의 외부에서 부착하여 구조물을 보강할 수 있는 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymers)판을 개발하였으며 CFRP판에 프리스트레스를 도입하여 구조물을 보강하는 새로운 개념의 공법이 제안되었으며 이와 관련된 구조적 거동과 해석 기법에 관련된 연구는 지금도 활발히 진행 중에 있다.

국내의 경우 1990년대에 들어서 FRP 제조 기술의 발전으로 인해 방위산업체 위주로 부분적인 연구가 진행 중에 있지만 건설 분야에서 FRP의 활용 실적은 미비한 실정이다. 대부분이 물탱크, 지하탱크 위주의 낮은 기술 수준이며 최근 콘크리트 구조물의 보강 재

료로 활용되고 있는 탄소 섬유 쉬트와 유리 섬유 패널 등이 국산화되어 활용되고 있지만 아직도 초보적인 단계에 있으며 대부분의 기술이 외국에서 도입되거나 재료를 수입하여 활용하고 있는 실정이다.

### 3. 긴장재로서의 FRP 활용

FRP는 비부식성, 비자기성 이외에 높은 인장 강도 및 경량성 등의 장점으로 인해 콘크리트 구조물에서 강재의 대체 재료로서 많이 활용되고 있지만 재료의 소성 결핍 및 낮은 전단 강도 등의 단점을 가지고 있다. <그림 3>에는 건설 분야에서 일반적으로 사용되는 FRP 긴장재를 소개하였다.

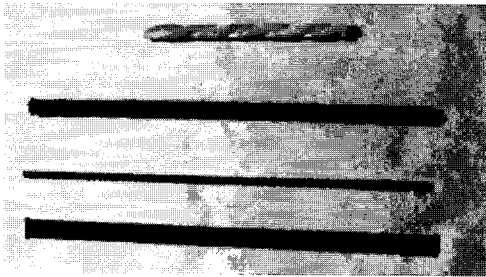


그림 3. FRP 긴장재

건설 분야에서 사용되는 FRP 긴장재는 고성능의 섬유와 모재(matrix)로 구성되며 모재는 폴리에스터, 비닐레스터 또는 에폭시로 이루어지게 된다. 실용적인 측면에서 FRP 긴장재의 인장 강도는 긴장재의 전단 면적을 기준으로 정의하게 되는데 전형적인 FRP 긴장재의 경우 섬유가 전체 단면적의 60~65% 정도이며 나머지는 모재로 구성되게 된다. 모재는 긴장재의 인장 강도에 크게 기여하지 않으며 일반적으로 인장강도 계산시 무시되게 되므로 긴장재의 평균 인장 강도는 긴장재에 포함되어 있는 섬유의 인장 강도에 비해 낮은 값을 나타내는 것이 일반적이다. 예를 들면 탄소 섬유의 경우 각 섬유의 인장 강도는 5.0 GPa 정도이지만 CFRP 긴장재의 경우 전체 단면에 대한 섬유혼입률을 고려할 경우 35% 정도 감소된 2.0~3.5 GPa의 인장 강도를 가지게 된다.

FRP에 사용되는 섬유는 파괴시까지 선형 탄성 거동을 하게 되므로 FRP 긴장재도 선형 거동을 하게 되며 이것은 FRP 긴장재가 취성 파괴한다는 것을 의

미한다. 따라서 설계시 구조물에 발생 가능한 변형량을 고려하여 FRP 긴장재의 변형량에 대한 안전율을 고려하여야 한다. 일반적인 섬유의 인장 변형률은 1.2~2.0% 정도이다. <그림 5>에는 강재 긴장재와 FRP 긴장재의 일반적인 응력-변형률 선도를 나타내었으며 <그림 6>에는 각각 강재와 FRP 긴장재를 사용하여 제작된 PSC 거더의 일반적인 하중-처짐 선도를 나타내었다.

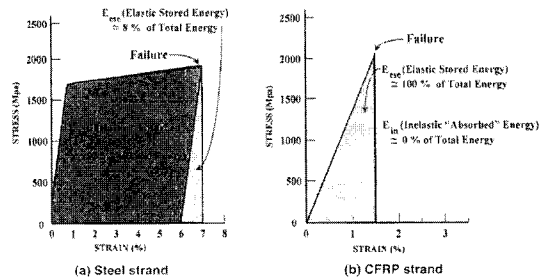


그림 4. 강재 스트랜드와 CFRP 스트랜드의 응력-변형률 곡선

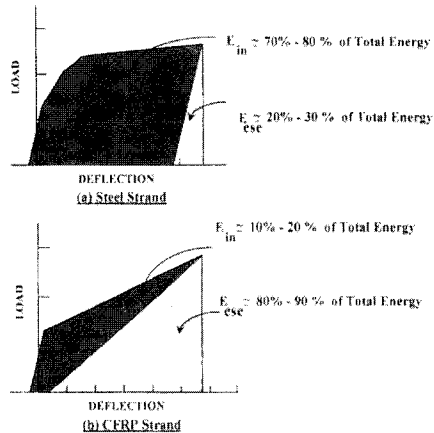


그림 5. 강재 스트랜드와 CFRP 스트랜드로 제작된 PSC 보의 하중-처짐 곡선

<그림 6>에 나타난 교량은 캐나다 Calgary에 위치한 교량으로서 1997년에 준공되었으며 FRP 긴장재를 사용한 교량이다. 교장은 164m이며 5경간으로 이루어져 있고 I형 프리캐스트 PSC 거더로 이루어져 있다. 이 거더는 CFRP 케이블로 긴장되어 있으며 스트립 또한 강재가 아닌 CFRP로 이루어져 있다. 특이한 점은 교량을 모니터링하기 위하여 FRP 긴장재 내에 광섬유 센서가 매입되어 있다는 점이다. 이러한 광섬



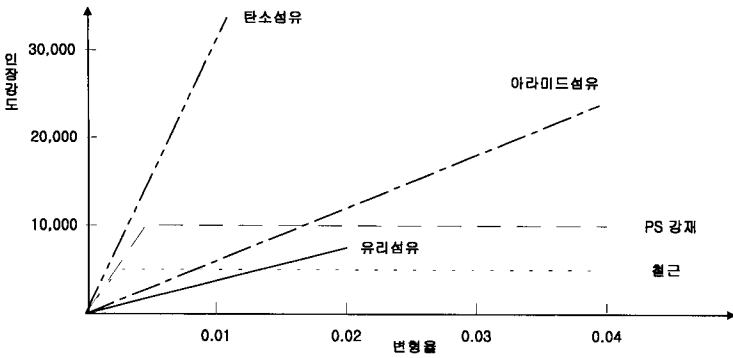


그림 9. FRP 재료의 응력-변형률 곡선

〈표 1〉에서는 보강재로 사용되는 일반적인 FRP 재료의 물성을 나타내었으며 〈그림 9〉에서는 FRP의 전형적인 응력-변형률 선도를 나타내었다.

〈그림 10〉에는 콘크리트 아치 교량의 바닥판의 휨 보강을 위해서 CFRP 부착 공법을 시공하는 진경을 소개하였다. 이 교량은 오스트리아에 위치한 Tannberg교로서 보강재는 스위스 SIKA에서 개발한 판 형태의 CFRP이다. 〈그림 11〉에는 내진 보강을 위해서 교각 부위에 유리 섬유를 감싸는 공법을 나타내었다. 대상 교량은 캘리포니아주의 Davis에 위치한 교량으로서 교각의 연성 및 휨 강도를 증진시키기 위하여 GFRP 보강 공법을 적용하였다.

우리나라의 실정은 주로 sheet 형태의 보강재가 널리 사용되고 있으며, 최근에는 sheet를 사용하는 경우 발생 가능한 시공 품질 저하를 최소화하기 위하여 판 형태의 보강재가 사용되기도 한다.



그림 10. 교량 바닥판의 FRP 보강

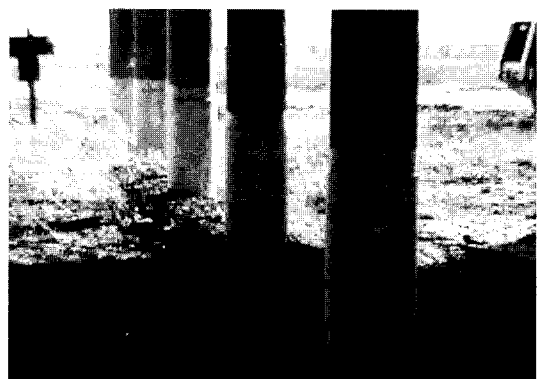


그림 11. GFRP를 이용한 교각의 내진 보강

## 5. 구조 요소로서의 FRP 활용

### 5.1 FRP 바닥판

일반적으로 거더 교량 형식의 바닥판은 구조 형식에 관계없이 현장 타설 콘크리트를 사용한 철근 콘크리트 바닥판을 주로 사용하고 있다. 현장 타설 콘크리트 바닥판은 성형성, 시공성, 경계성 및 유지 관리 상의 효율성 등의 이유로 꾸준히 사용되고 있다. 그러나, 바닥판은 차량 운하

중이 직접 작용하는 구조 부재로서 포장층에서 유입되는 제설제의 영향, 차량 하중으로 인한 피로 등의 영향으로 쉽게 열화가 발생하는 부재이다. 따라서 이러한 철근 콘크리트 바닥판을 내구성이 우수하고 경량이면서 공장 제작에 의해 현장에서 간단하게 시공할 수 있는 FRP 교량 바닥판으로 대체하고자 하는 노력이 있어 왔으며 일부 국가에서는 FRP 바닥판을 이용하여 교량을 신설하거나 기존의 철근 콘크리트 바닥판의 보강용으로 사용하고 있다. 〈그림 12〉에 제시된 FRP 바닥판은 미국 Strongwell사에서 제작한 AASHTO HS-25 차량 하중에 저항할 수 있도록 설계된 교량 바닥판으로서 1만 3,000대/일의 덤프트럭 하중에 견딜 수 있도록 설계되었으며 크레인을 이용하여 현장에서 신속하게 시공이 가능하다. 〈그림 13〉에는 웨스트버지니아대학교에서 연구한 FRP 교량 상판을 나타내었다.

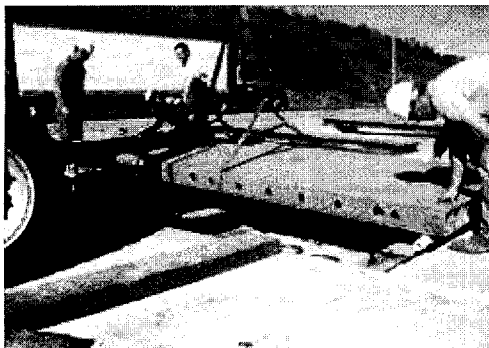


그림 12. FRP 교량 바닥판

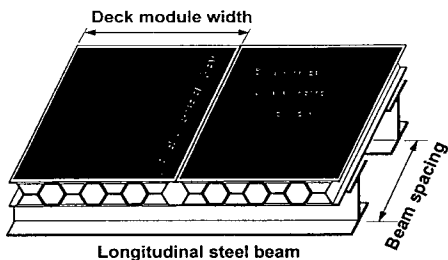


그림 13. 웨스트버지니아대학교에서 제안한 FRP 교량 바닥판

### 5.2 FRP 거더

FRP로 이루어진 인도교가 1975년 이스라엘에 처음 가설된 이후로 유럽과 미국, 아시아 일부 국가에 가설되어 왔다. 복합재료학회(The Composite Institute)의 자료에 따르면 현재 전세계적으로 FRP를 적용한 교량 시공이 80개 소 이상 이루어지고 있으며 미국 내에서 30개 소 정도가 진행 중에 있으며 최근 4년 간 26개의 FRP 교량이 시공되었다고 한다. 이들 교량의 대부분은 인도교 수준으로서 사장교 형식, 거더교 형식 등 다양한 교량 형식을 가지고 있다. <그림 14>에는 미국 Las Rusias에 위치한 폐수 처리장으로 이동하기 위해 가설한 FRP 교량을 나타내고 있다. 이 교량은 멕시코만으로부터 불어오는 염분이 다량 함유되어 있는 바닷바람으로 인하여 일반 강재 교량은 부식이 급속도로 이루어지기 때문에 프리캐스트 FRP I형 거더를 이용하여 시공하였고 나머지 부대 시설물들도 모두 FRP로 시공되었다. <그림 15>에 제시된 교량은 스코틀랜드 Aberfeldy에 위치한 사장교 형식의 인도교로서 1990년에 준공된 교량이며 교장은 371 ft로서 세계에서 가장 긴 FRP 교량이다.

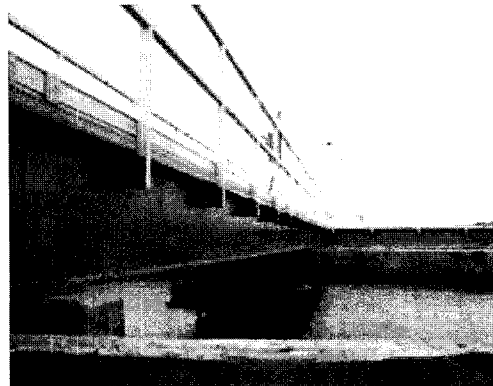


그림 14. FRP로 건설된 I형 거더 교량



그림 15. FRP로 건설된 사장교

또한 유리 섬유 FRP로 시공된 도로교가 1997년 11월에 미국 캔사스주에 건설되었다. 이 교량은 교장이 7.7m이며 교폭이 9m인 교량으로서 경량 크레인을 이용하여 10시간만에 가설하였으며 거더는 벌집모양(honeycomb)의 단면을 가지고 있다.

### 5.3 기타 구조물

1963년 이후 미국에서 FRP 지하 저장 탱크(tank)의 건설을 위해 1억 5,000만 kgf 이상의 수지가 사용되었으며 1993년 자료에 따르면 저장 탱크의 90%, 송유관의 50% 정도가 FRP 제품이 사용되고 있다고 한다(<그림 16, 17> 참조). 국내의 경우에도 유리 섬유 파이프의 탁월한 내부식성과 적절한 경제성으로 지하 상수도관, 송유관, 지하 저장 탱크와 같은 지하 시설물의 대체재로서 활용되고 있으며 향후 이러한 형태의 지하 시설물에 있어서 FRP의 활용도가 커

지게 될 것이다.

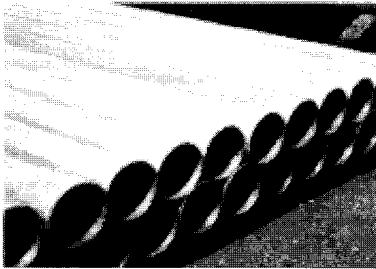


그림 16. GFRP 파이프



그림 17. 지하에 매설 중인 FRP 수로관

## 7. 향후 전망

이상에서 기술한 바와 같이 FRP는 21세기형 건설 재료로서 멀지 않은 미래에 건설 분야에서 가장 많이 사용될 재료로서 각광받게 될 것은 자명한 사실이다. 지금은 구조물의 부분적인 대체 재료로서 주로 사용되고 있지만 현재 과학의 발전 속도로 미루어 볼 때 가까운 미래에는 주요 부재로서 FRP가 그 역할을 담당할 수 있는 날이 올 것이다. 현재 세계 각국에서 건설 분야에 FRP를 실용화하기 위한 많은 연구가 진행 중에 있지만 아직 국내에서는 상대적으로 관심이 부족한 게 현실이다. 차세대 건설 재료로서 FRP에 대한 제작 기술 및 연구에 대한 투자는 아무리 강조해도 지나치지 않으며 산·학·연을 중심으로 정부의 적극적인 지원 하에 보다 체계적이고 단계적인 연구 개발에 관심을 기울여야 할 때이다. 그 성과물도 현장 중심의 활용을 목표로 하여 다각적인 노하우를 축적함으로써 이 분야에 기술 발전을 한층 앞당겨 나아갈 수 있을 것이다.

앞으로 건설 분야에서 FRP 사용을 활성화하기 위

해서 우선적으로 해결해야 할 문제는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- ① 치수 효과(Size effect)를 고려한 FRP의 적절한 파괴 이론의 확립
- ② 주요 부재의 예비 설계를 위한 간편한 해석법의 개발
- ③ FRP 재료에 적합한 최적설계법
- ④ 표준시방서의 개발

## 참고문헌

1. Kim, D. H.(1995), " Composite Structure for Civil and Architectural Engineering", E & FN SPON, Chapman & Hall, London
2. Benjamin Tang, & Walter Podolny, Jr(1998), "A Successfull Beginning for Fiber Reinforced Polymer(FRP) Composite Materials in Bridge Applications", FHWA Proceedings, International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, Dec.
3. Dolan, Charles W.(1999), "FRP Prestressing in the U.S.A."Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp. 21-22
4. Hiroshi Fukuyama(1999), " FRP Composites in Japan", Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp. 29-32
5. Luc R. Taerwe & Stijn Matthys(1999), "FRP for Concrete Construction : Activities in Europe", Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp. 33-36
6. Nabil F. Grace(1999), " Continuous CFRP Prestressed Concrete Bridges", Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp. 42-47
7. Nabil F. Grace and George A. Sayed(1998), "Ductility of Prestressed Bridges using CFRP Strands", Concrete International, Vol 21, No 10, Jun. pp. 26-30
8. Sami Rizkalla & Pierre Labossiere(1999), " Structural Engineering with FRP - Canada", Concrete International, Vol 21, No 10, Oct. pp. 25-28
9. 김덕현(1997), "건물과 사회간접시설의 보수와 재건을 위한 복합재료", 대한토목학회지, 제45권, 제4호
10. 박상렬(1998), "FRP를 사용한 프리스트레스트 콘크리트 보의 전단 텐션 파괴", 한국콘크리트학회지, 제10권, 제1호, pp.133-141.