

## 特輯

“건설분야에서의 복합재료 응용기술”(총 7편) 중 - 제 5편

## 섬유복합재료(FRP)의 건설 적용 사례 연구 (건축편)

한복규\*, 권영진\*\*, 박성우\*\*\*, 홍건호\*\*\*\*

## Application Technologies of Fiber Reinforced Composites on the Building Structure

Bog-Kyu Han\*, Young-Jin Kwon\*\*, Sung Woo Park\*\*\*, Geon-Ho Hong\*\*\*\*

## ABSTRACT

In the past, the technology of strengthening structures using FRP composites was still in its infancy, with very few publications on the technology available. However, recently strengthening of Reinforced concrete (RC) and other structures using advanced fibre-reinforced polymer/plastic(FRP) composites has become very popular in the last few years. As the well-known advantages of FRP composites including both good corrosion resistance and ease for site handling due to their light weight, also its design methods have been ensured the safe and economic use of this new technology, FRPs have been used widely and demonstrated in the field of aero industries etc.

The purpose of this paper is to report the examples of the many diverse applications of Fiber Reinforced Plastic in construction materials of structures.

**Key Words** : FRP, FRP composites

## 1. 서론

국내 건축물의 주된 구조재료는 철근 콘크리트로서 경제성, 시공편이성, 내구성 등에서 만족할만한 성능을 나타내고 있다. 철근 콘크리트 구조물은 시공과 유지관리를 철저히 한다면 수백년의 내구성을 가질 수 있는 훌륭한 건설 구조물이다. 하지만, 설계시공 상의 결함이나 수명에 따른 노후화와 사용환경의 변화, 각종 열화 환경에서 조기에 내구성이 저하될 수 있으므로 지속적인 유지관리가 반드시 필요하다. 노후화 등으로 내력이 감소된 철근콘크리트 구조물은 안전진단을 통하여 구조물의 균열조사, 원인분석에 따른 구조물 보수보강의 필요여부 등을 판정하여 적절한 보수보강공법을 채택하여 유지관리하여야 한다. 서울특별시 1997년 12월에 콘크리트 구조물의 부식상태 및 방지대책 수립을 위한 조사를 실시하였으며, 이 결과에 따르면 서울시에서 관리하는 콘크리트 구조물의 약 20%정도가

이미 균열이나 콘크리트의 박리·박락현상이 두드러지게 발생된 것으로 조사되었다. 본 조사결과로부터 기타 주요도시의 결과를 유추해 보면 훨씬 심각한 상태일 것으로 예상된다. 기존 콘크리트 건축물의 보수보강공법으로는 철근, PC강재, 강판 등과 같은 각종 보강재를 이용하거나 단면을 증가시키는 방법이 주로 이용되어 왔으며, 최근에는 신소재를 섬유형태로 가공한 섬유시트보강공법과 복합재료(FRP)를 이용한 복합재료판 보강공법 등의 다양한 보강공법들도 이용되고 있다. 섬유시트의 경우 탄성계수와 같은 재료 역학적 성질은 비교적 강재와 유사한 성질을 가지고 있으면서, 동시에 내식성, 내화성, 경량성 등의 강재에 없는 특성을 함께 가지고 있기 때문에 최근에는 건축물에 구조물 보강방법으로 많이 활용되고 있는 실정이다.

본고에서는 섬유복합재료의 국내의 건축 구조물 적용사례를 소개함으로써 향후 복합재료(FRP)의 다양한 활용가능성을 제시하고자 하였다.

\* (주)한국소본드건설 과장

\*\* 호서대학교 소방방재학과 교수

\*\*\* 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

\*\*\*\* 호서대학교 건축공학과 교수, 교신저자(E-mail:honggh@office.hoseo.ac.kr)

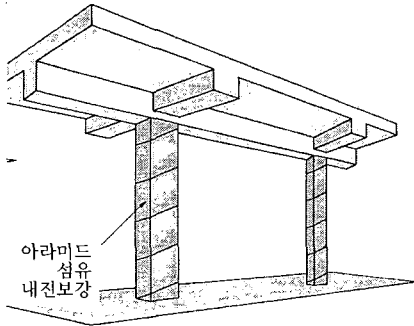


Fig. 1 섬유내진보강 기법-I.

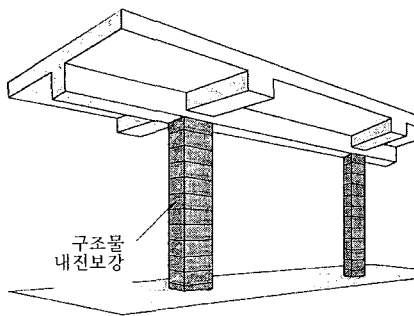


Fig. 2 섬유내진보강 기법-II.

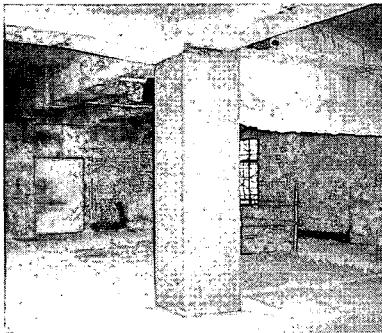


Fig. 3 내진보강 사례(고베).

2. 복합재료의 건축구조물 적용방법

섬유복합재료(FRP)를 건축구조물에 활용하는 보강 기법으로는 일반적으로 휨보강을 통한 구조물의 강도와 강성을 크게 향상시키는 방법과 복합재료(FRP)의 피로하중에 대한 저항성이 크다는 특징을 이용하여 구조물의 내진보강 재료로 활용하는 방법 등으로 구분할 수 있다. 이외에도 고성능 섬유를 시멘트 콘크리트의 배합 시에 첨가하여 보통 콘크리트

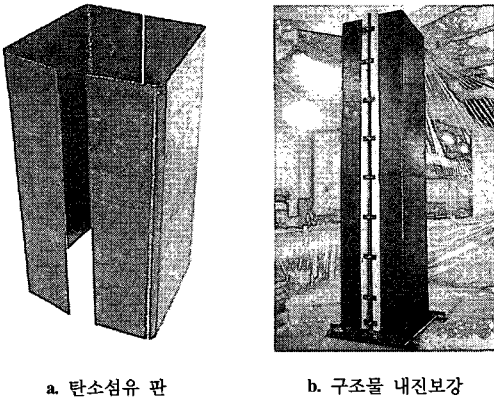
와 달리 재료의 변형을 증가와 동시에 응력도 함께 증가하는 변형강화의 특성을 가지는 섬유강화 시멘트로서 활용하기도 한다. 토목구조물에서는 GFRP의 가격이 다른 재료에 비해 상대적으로 낮은 장점으로 인하여 80%이상 사용하고 있는 것에 비해, 건축구조물에서는 높은 인장강도와 부식성, 시공성이 뛰어난 CFRP를 주로 사용하고 있다. 탄소섬유(CFRP)는 고강도, 경량재료이며 내구성이 우수하고 이형철근과 비교하여 인장강도가 약 8~10배, 탄성계수가 거의 동등한 특성을 나타내기 때문에 철근 콘크리트 슬래브 및 보의 하부면에 CFRP를 이용하여 휨보강하는 경우 최적의 구조물 보강재료로 활용 할 수 있다.

3. 복합재료의 건축구조물 활용 사례

복합재료의 건축구조물 활용 사례를 살펴볼 때 국내와 외국(일본, 미국 등)의 주요 사용용도에는 다소 차이를 보이고 있다. 국내에서는 섬유접착공법 적용목적이 노후화된 구조물이나 부실시공된 구조물에 주로 적용함으로써 설계강도가 미흡한 경우에 설계강도를 회복시키는데 주 목적이 있으나, 일본 등지에서는 교각 등의 구속효과를 증가시킴으로서 지진시에 부재의 소성능력을 제고시키는데 주 목적으로 사용하고 있다. 일본 등지에서 사용하는 설계 및 시공기준은 국내에 직접 적용하는데 다소 문제점이 있을 수 있으나, 기본적인 보강원리는 동일하므로 섬유접착공법을 콘크리트 구조물 보강공법에 적용하는데는 큰 문제점이 없을 것으로 사료된다. 섬유복합재료를 건축 구조물에 활용한 사례는 다음과 같다.

3.1 내진보강(lapping)재료로 사용

섬유복합재료(FRP)의 내진보강재료로서의 활용은 지난 고베 지진 후에 일본에서 구조물 내진보강용으로서 공법에 대한 연구가 활발히 진행되어 설계 및 시공기준이 정비되면서 부터라고 할 수 있다. Fig 1과 2는 아라미드섬유 및 탄소섬유(CFRP)의 뛰어난 피로하중에 대한 저항성을 이용하여 섬유재료의 접합방법에 따른 건축구조물의 기둥에 대한 내진보강을 실시하는 방법을 나타내고 있으며, Fig 3은 아라미드 섬유를 이용하여 내진보강한 사례를 보여주고 있다. Fig 3은 고베지역에 위치한 콘크리트 구조물로서 1995년도에 발생한 고베지진으로 인하여 구조물 손상(기둥)이 발생하였고, 이에 따른 구조물 보수 및 보강이 필요하게 되었다. 보다 효과적인 콘크리트 구조물 보수보강 공법의 선정을 위하여 추후에 발생할 수 있는 지진에 대비하기 위하여 내진보강과 함께 병행하여 기둥보강을 실시하는 것으로 계획하였으며, 검토결과 아라미드 섬유를 이용한 구조물(기둥) 내진보강을 Fig 3과 같이 실시하였다. 본 공법에 적용된 아라미드 섬유는 섬유의 특성상 압축강도가 낮은 단점이 있으나, 인장강도가 매우 높으며, 일반적인 유기섬유에 비해 인장탄성률 및 강도가 우수한



a. 탄소섬유 판                      b. 구조물 내진보강

Fig. 4 탄소섬유 판을 이용한 내진보강.

특성을 나타내고 있다. 뿐만 아니라, 섬유시트의 피로하중에 대한 저항성이 매우 커 구조물 내진보강재료로서 이상적인 특징을 가지고 있다. 최근 국내에서의 신축건축물에 대한 내진설계가 강화되었으나, 기존구조물에 대하여는 아직까지 지진에 대비한 방안이 마련되어 있지 않은 실정이다. 최근 국내에 사람이 감지할 수 있을 정도의 지진이 자주 발생하고, 발생빈도가 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 국내에서 그 동안 적용된 보수보강재료 및 공법은 일부 재료와 보강방법으로 한정되어 있어 다양한 재료 및 방법의 비교·검증이 미흡한 상태이다. Fig 4는 현재 일반적으로 사용하는 Lapping형태의 섬유 접착공법의 단점을 보완하고자 섬유접착공법의 적용이 어려운 구조물에 대해서 탄소섬유 판을 이용하는 구조물 내진보강공법의 예를 나타내고 있다.

### 3.2 구조물의 휨, 전단 및 접합부 보강

섬유복합재료(FRP)를 이용한 구조물의 보강기법은 이미 설명한 바와 같이 섬유복합재료는 강재 혹은 콘크리트처럼 부식하지 않을 뿐 만 아니라, 나무처럼 썩지 않고 높은 강성을 유지할 수 있기 때문에 구조물 보수 및 보강 시 점점 그 사용 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 뿐만 아니라, 국내에서 현재 이루어지고 있는 보수 및 보강 관련 연구의 70%이상이

복합재료를 이용한 구조물의 휨, 전단보강에 대한 연구로서 그 활용분야가 높다 할 수 있다. Fig 5에서는 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 구조물 전단보강과 슬래브 또는 보(Beam)의 휨보강에 관하여 나타내었으며, 최근에 많은 연구 결과를 바탕으로 활용하고 있는 구조물 접합부 보강에 대해서도 나타내었다. 접합부 보강과 관련하여 미국에서는 1998년부터 기존 보-기둥 접합부의 성능을 향상시키기 위하여 섬유복합재료(FRP)로 제작된 슈트를 이용 부착하는 공법에 대한 많은 연구를 진행하였으며, 현재 구조물 적용을 눈앞에 두고 있다. 섬유복합재료(FRP)가 구조물 접합부에 적극적으로 이용되는 이유는 건축물 사용을 계속하면서 간편하게 시공할 수 있고, 인건비가 적게 들며, 부재의 크기를 증대시킬 필요가 없다는 일반적인 특징 뿐 만 아니라, FRP 보강공법이 목적에 맞게 변화될 수 있다는 장점 때문이다. 즉, FRP 보강은 보강목적인 강도증진, 구속력 증진, 혹은 두 가지 모두의 목적에 의하여 섬유 양과 형태를 조정할 수 있는 우수한 장점에 의하여 기존 구조물의 보-기둥 접합부에 적용할 수 있는 우수한 공법이다. Fig 6과 7에서는 GFRP로 보-기둥 접합부를 보강한 시험체를 보여주고 있다. 그림과 같은 보강 공법은 구조물 접합부 보강에 보다 효율적인 방법을 찾기 위한 실험으로 진행되었다. 많은 실험결과를 통하여 섬유복합재료를 접합부에 적용할 경우 구조물 접합부의 전단강도를 개선시키고 파괴를 연성적인 보의 힌지 메커니즘으로 변경시킬 수 있는 것으로 나타났다.

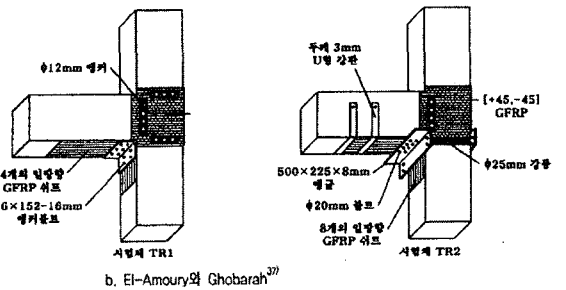


Fig. 6 GFRP로 보강된 시험체.



a. 전단보강                      b. 슬래브 휨 보강                      c. 구조물 힌지 보강

Fig. 5 복합재료를 이용한 구조물 보강.

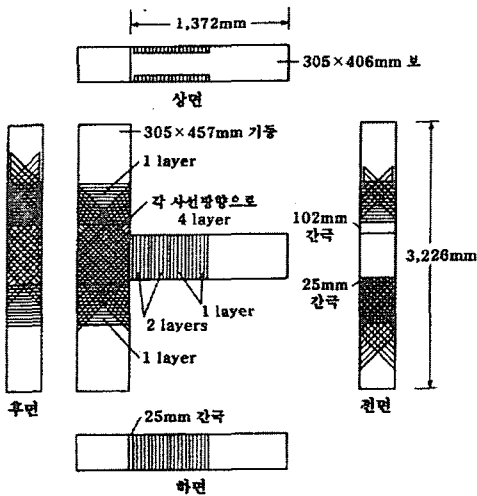


Fig. 7 접합부 보강공법 예.

### 3.3 콘크리트의 균열제어

건축물의 슬래브와 같이 넓은 면적이 노출되는 부내는 콘크리트의 건조수축과 같은 재료적인 특성으로 인하여 균열이 발생하게 되며, 이러한 균열은 현실적으로 마감재 하자 등과 연결되어 많은 문제점을 야기하게 된다. 국내에서는 이와 같은 균열발생의 저감을 위하여 시공이 난이하고 효과가 미흡한 WIRE MESH를 관례적으로 설치하고 있는 실정이지만, 선진 외국에서는 이러한 문제점을 해결하고자 WIRE MESH를 사용하지 않고 셀룰로오스 섬유를 초기균열과 건조수축 균열 감소 등의 목적으로 사용하고 있다. 국내에서도 최근에는 섬유강화 시멘트 복합재료에 대한 많은 연구와 발전이 있었으며, 구조물에 일부 활용되고 있다. Fig 8에서는 섬유 강화 시멘트 복합재료를 수원에 위치한 농산물 도매시장에 적용한 예를 보여주고 있다. 본 공사는 최초 균열방지를 위하

여 WIRE MESH를 매입하게 되어 있었으나, 시공 시 피복 유지의 어려움 등으로 인하여 균열 방지 효과를 기대할 수 없는 것으로 예상되어 섬유 보강재를 사용하여 콘크리트의 건조 수축에 따른 균열 발생을 억제하도록 하였다. 공법의 적용결과는 미소균열 발생의 최소화와 작업성을 향상시킬 수 있는 것으로 판명되어 공법의 가능성을 확인할 수 있었다. 섬유를 이용한 시멘트 강화 복합재료는 현재 국내에서 건축 구조물의 슬래브 구조물(지하주차장, 누름콘크리트 등), 벽체 및 바닥미장 모르타르와 그 외 콘크리트 포장 구조물(고속도로, 교량상판, 농로 등)에 사용되고 있으며, 토목구조물에서도 터널라이닝, 해양 구조물 등 콘크리트 균열이 예상되는 부분에 다수 활용되고 있다. 섬유강화 시멘트는 사용 섬유에 따라 많은 특징을 가지고 있으나 일반적으로 섬유는 콘크리트 혼화 재료와도 강한 접착력을 이룰 수 있는 특성을 이용하여 단위 면적당 섬유 수가 많아 미세균열의 발생과 진행을 효과적으로 제어 함으로서 시멘트 복합체의 품질향상을 도모할 수 있다. Table 1에서는 기존 와이어메쉬와 섬유 강화시멘트 복합재료의 장·단점을 비교 정리 하였다.

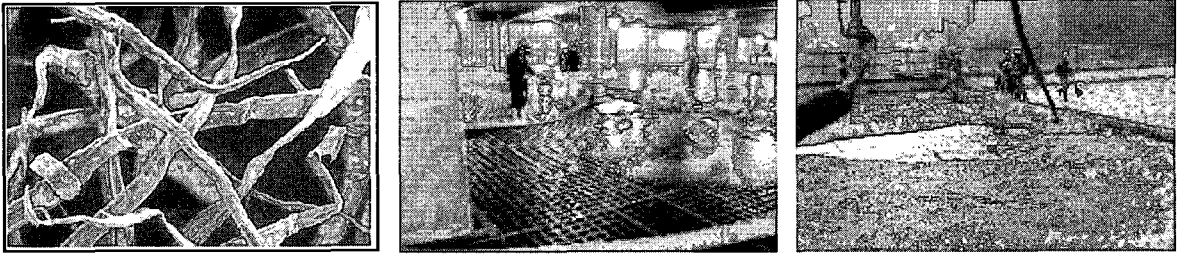
### 3.4 건축물 구조재로서의 활용

복합재료의 건축물 구조재로서의 활용은 현재까지 시험적인 단계에 적용하고 있으나, 복합재료의 많은 장점을 최대한 이용한다면 발전가능성은 여전히 높은 것으로 알려져 있다. Fig 9와 10과 같이 복합재료(FRP) 구조물들의 실험적인 적용을 세계 여러나라에서 찾아볼 수 있다.

Fig 9는 미국 캘리포니아 디즈니랜드에서 설립된 Monsanto Haus로서, 1957년 미국의 화학회사 Monsanto가 GFRP를 이용한 구조물의 가능성을 실험하기 위하여 건설한 실 구조물이다. 또한, Fig 10에서는 1999년 스위스에 건축된 5층 규모의 사무실 건축물로서 본 건물은 철골부재와 GFRP 부재가 병행하여 세워졌으며, 건물의 주요 골조가 순수 GFRP로 만들어진 트러스 기둥 골조이다. GFRP는 재료의

Table 1 균열제어공법 비교

구 분	섬유 강화 시멘트 복합재료	일반 와이어 메쉬 보강공법
보강형태	입체적 보강	평면적 보강
물 성	친수성	비 친수성
내화화성	내산성 및 내알칼리성	내산성 불량
시 공 성	취급용이, 마감성 양호	취급용이, 부식발생 우려
사용효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건조 수축균열 등에 탁월한 효과가 있다.</li> <li>- 골재 침하현상 감소</li> <li>- 동결융해 저항성 증대 및 투수성 감소</li> <li>- 장기적 내구성 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평면적 인장 효과 기대</li> <li>- 경제성</li> <li>- 균열억제 효과 미흡</li> <li>- 장기적 내구성 저하(철근부식등)</li> </ul>
특 징	섬유가 많아 시멘트골과의 부착강도가 높고 밀실하며, 견고한 콘크리트를 만들 수 있다.	소수성이며 평면보강 효과가 가능하다. 국내에서 일부 사용하고 있음



a. 섬유 강화 시멘트 복합재료

b. 지하주차장 적용

c. 옥상 층 적용(한강로 아파트)

Fig. 8 섬유 강화 시멘트 복합재료 적용 (수원 농산물 도매시장).

특성상 철에 비해 열전도성이 현저히 낮기 때문에, 본 건축물은 특별한 보온 설계 없이 건물의 파사드(Facade)에 직접적으로 구조부재를 설치하였다.

### 3.5 건축물 내외장재로서의 활용

섬유복합재료(FRP)의 건축구조물 내장재로서의 활용은 현재 폭넓게 사용하고 있다. Fig 11에서 보논바와 같이 일반적으로 섬유는 열변형 온도가 높아 내열성이 좋으며, 용도에 따라 난연화와 불연화가 가능한 특징을 이용하여 각 분야에 알맞은 건축 내장재로서의 활용하고 있다. 하지만, 복합재료 건축 내장재의 경우 내화성이 우수하나 복합재료가 화재에 노출되었을때 발생하는 유독가스로 인하여 많은 문제점이 발생하였지만, 최근 복합재료의 기술개발 향상에 따라 이와 같은 문제점을 해결하였으며, 유리섬유로 만들어진 벽지 등으로 활용하고 있는 실정이다. 건축물은 화재로부터 생명과 재산을 보호하기 위하여 건축물의 내외장재를 난연재료 사용하도록 규정하고 있는 것이 세계적인 추세이다. 이와 같은 요구조건을 만족할 수 있는 복합재료는 난연 고밀도 섬유판재 등을 개발하여 단독주택 및 극장 등의 내외장재로 활용하고 있으며, 앞으로 많은 발전이 있을 것으로 기대된다.

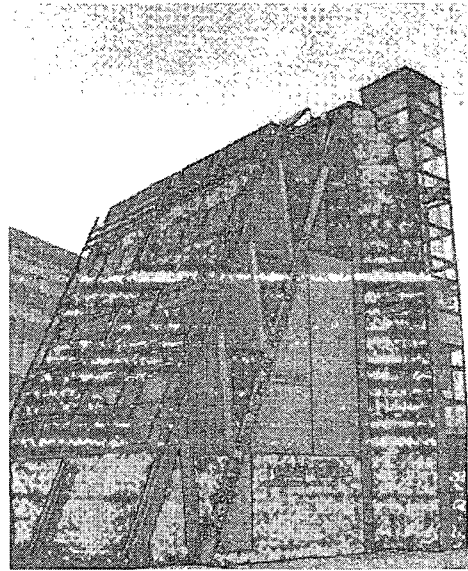


Fig. 10 Eyecatcher 빌딩(스위스).

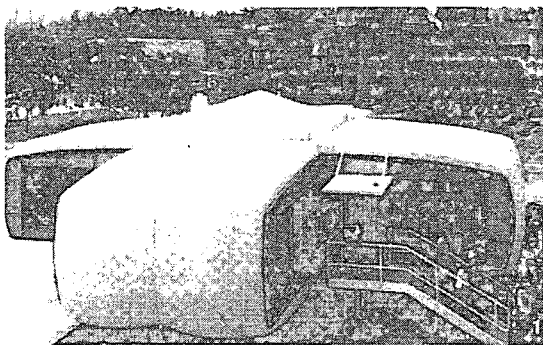
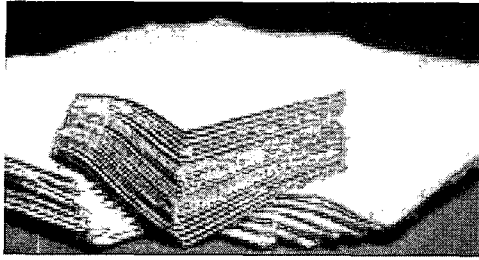


Fig. 9 Monsanto Haus (미국 캘리포니아).

### 4. 복합재료의 건축구조물 적용 시 해결과제

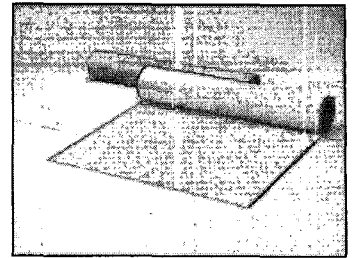
복합재료의 건축구조물 적용 시 가장 큰 문제점은 콘크리트 부재에 대한 보강재로서 FRP재료를 사용하기 위해서는 급작스러운 파괴로부터 충분한 안전율을 확보할 수 있는 설계절차의 향상이 필요하다. 복합재료는 탄성적으로 거동하며 강도가 높은 재료이나, 항복하지 않고 취성파괴하는 특성이 있어 이 부분에 대한 많은 연구가 반드시 이루어져야 한다. 뿐만 아니라, 대부분의 건축 구조물 보강에 사용되는 복합재료들은 고온에서 양생되는 고품질의 매우 우수한 재료 특성을 가지고 있어 건축분야에 적용하기에는 생산 원가가 매우 높은 실정이다. 따라서, 이에 대한 효율적이면서 내구성이 우수한 수지의 합성 방법에 대한 연구가 요구된다.



a. FRP 건축 내장재(폐차장, 실험실 등)



b. 유리섬유 벽지



c. 방화방염내장재(공장 등)

Fig. 11 복합재료의 건축 내장재 활용.

## 5. 결론

국내 건축 구조물의 복합재료 활용은 사용분야가 매우 다양하며, 복합재료의 일반적인 장점이외에도 구조물 보강 혹은 사용목적에 따라 섬유 양과 모양의 변화를 자유롭게 할 수 있는 특징에 의해서 향후 발전가능성이 매우 높다 할 수 있다. 하지만, 섬유복합재료(FRP)를 이용한 건축 구조물의 보강은 재료자체가 경량이며, 고강도, 시공성이 우수한 장점을 지니고 있지만, 시공환경에 많은 영향을 받는 문제점이 있다. 현재 국내에서는 복합재료에 대한 명확한 기준이 마련되어 있지 않아 외국의 사례 혹은 지침서를 바탕으로 활용하고 있지만, 외국에서 사용하는 설계 및 시공기준은 국내 시공환경과 다소 다른 부분이 존재하며, 직접 적용하는 데는 다소 문제점이 있는 것으로 사료된다. 이에 복합재료를 활용한 건축 구조물의 보강은 국내 실정에 맞는 보다 폭넓은 연구와 실험이 선행되어야 할 문제점을 가지고 있다.

## 감사의 글

본 연구는 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의해 이루어진 것입니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 明嵐政司 外, “纖維強化プラスチックの土木構造材料への適用に関する共同研究報告書(I)”, 建設省土木研究所, 1998.
- 2) Wei Ling Lin, “Toughness Behavior of Fiber Reinforced Concrete,” *Fiber Reinforced Cement and Concrete*. Edited by R. N. Swamy, RILEM, 1992.
- 3) Balaguru, Perumalsamy N., and Shah, Surendra P., “Fiber Reinforced Cement Composites,” *New York*, McGraw-Hill, Inc., 1992.

- 4) Benjamin Tang and Walter Podolny, Jr., “A Successful Beginning for Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composite Materials in Bridge Applications”, *FHWA Proceedings*, International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, 1998.