

# 유리섬유 보강콘크리트 (GFRC)의 특성 및 이용

朴 成 浩

〈佑林콘크리트工業(株) 品質管理室 室長〉

目 次

1. 서론	3.4 유리섬유 혼입율에 따른 GFRC의 강도특성변화 실험
2. GFRC의 제조	4. GFRC를 이용한 시공사례
2.1 GFRC에 사용되는 유리섬유의 특성	4.1 독립기념관
2.2 GFRC의 제조방법	4.2 무역센터 전시동내부벽
3. GFRC의 역학적 특성실험	4.3 예술의 전당
3.1 실험개요	4.4 올림픽 조형물
3.2 사용재료	5. 결 론
3.3 GFRC의 휨특성에 대한 실험	

## 1. 서 론

기존 콘크리트에 종래사용되었던 보강재료, 철근및 강선, 강봉 등이 있었으나 새로운 보강 재료 등장한것이 섬유인테 취성재료의성질을 개선하기위한 섬유는 현재 강섬유, 유리섬유, 유기물섬유, 석선섬유등 다양하게 개발되고 있다. 그중에서 유리섬유를 이용한 유리섬유콘크리트(이하GFRC라한다)는 1960년대 영국에서

시작되어 구미 각국에서는 그 사용도가 널리 퍼져 있으며 국내에서도 1985년부터 GFRC를 기술도입 및 연구개발하여 좋은 재료의 건축구조물로서 활발하게 제조시공되고 있다.

GFRC(Glass Fiber-Reinforced Concrete)란 시멘트 몰탈에 유리섬유를 섞어만든 콘크리트 제품의 일종으로 건축물의 중량을 줄이면서 콘크리트의 질감을 표현할수 있는 이점 때문에 건물의 외벽, 처마, 천정등에 널리 사용될수 있다. 그러므로 지금까지 사용되었던 PC(Precast

(표-1) 유리섬유의 성질

		ARFIBRE	ARFIBRE-SUPER	E-Glass	
Physical Properties	Density	2.78	2.91	2.54	
	Tensile strength(kg/cm <sup>2</sup> )	25,000	25,000	25,000	
	Elastic modulus(kg/cm <sup>2</sup> )	7.5×10 <sup>5</sup>	7.7×10 <sup>5</sup>	7.4×10 <sup>5</sup>	
Alkali Resistance	Percentage of diamenters reduction in 100°C alkali solution(%)	1N-NaOH, 1.5hrs	5 max	3max	59
		Saturated Ca(OH) <sub>2</sub> solution, 4 hrs	1 max	0.5max	9

Concrete) 및 기타채료를 설계되었던 조립식 구조물이 GFRC라는 새로운 신소재로 변화하고 있는 실정이다.

## 2. GFRC의 제조

### 2.1 GFRC에 사용되는 유리섬유의 특성

시멘트 몰탈에 유리섬유가 섞여서 경화될 경우 유리섬유는 보다 높은 인장강도와 탄성계수가 요구된다.

시멘트 몰탈 자체의 인장강도는  $20 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ 이며 탄성계수는  $1.5 \sim 3.0 \times 10^9 \text{ kg/cm}^2$ 이다. 반면에 유리섬유는 (표-1)에서 보듯이 보강재로 쓰기에 충분할 만큼 수치가 높다.

하지만 여기에 한가지 큰 문제가 있다. 어떻게 시멘트몰탈의 알칼리 성분을 유리섬유가 저항 할수 있는가 하는것이다.

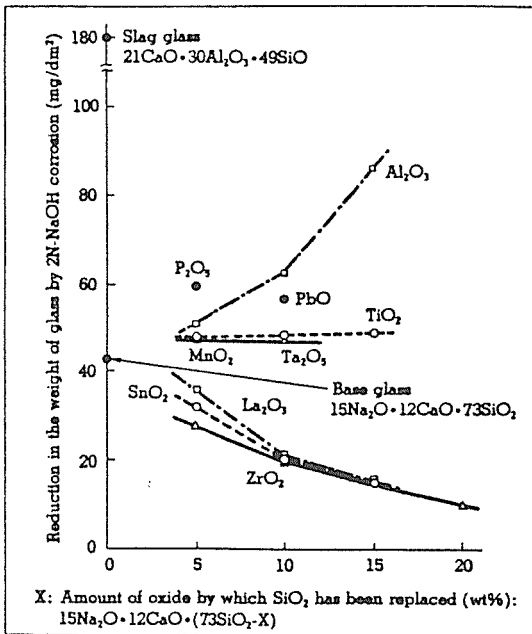
GFRC의 구성요소는 주로 포틀랜드시멘트가

다. 그러므로 시멘트에 물을 첨가하면 수화작용에 의하여 Hydrated Calcium Hydroxide ( $m\text{CaO} : n\text{SiO}_2 \cdot X\text{H}_2\text{O} : m, n, X$ 는 시간에 따라 변함)와 Calcium Hydroxid ( $\text{CaO}, \text{H}_2\text{O}$ )의 혼합체가 되는데 이 Calcium Hydroxid는 PH 12.5~13.0까지의 강알칼리성을 띠게 만든다.

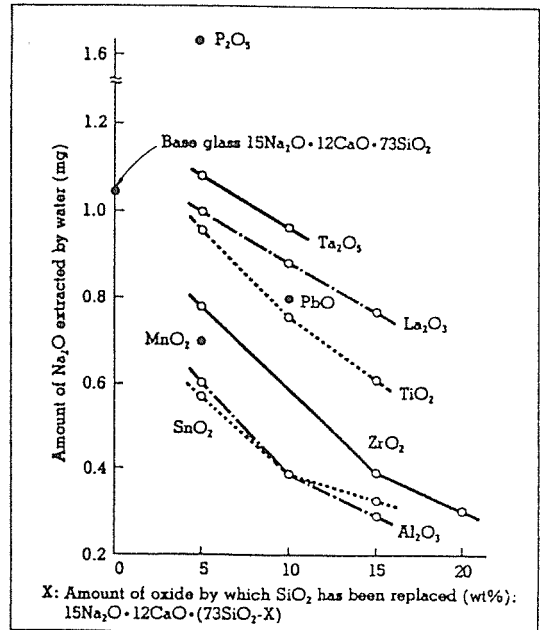
단위중량에 비해 많은 표면적을 지닌 일반유리섬유(13미크론 지름의 섬유가 약  $1200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 인 경우)가 이러한 강알칼리에 접하게 되면 급속한 표면파괴가 이루어지게 된다. 따라서 FRP에 쓰이는 일반 E-GLASS가 GFRC에 쓰일 경우에는 짧은 시간내에 파괴가 진행되어 시멘트 몰탈보강재로서의 역할을 잃게된다.

결과적으로 GFRC에 사용되는 유리섬유는 강알칼리에 견딜수 있는 내알칼리성 유리섬유가 사용되어야 한다.

이러한 점은 유리섬유의 성분에 달려있는데 즉  $\text{ZrO}_2, \text{SnO}_2$ 나  $\text{La}_2\text{O}_3$ 등의 화학성분이 들어감으로 내알칼리성을 갖게하며(그림-1)에 잘 나와 있다.



(그림-1) SiO₂의 양과 NaOH용액에 의해 부식한 유리섬유량의 관계



(그림-2) SiO₂의 양과 내수성 관계

GFRC에 쓰이는 유리섬유는 내알카리일뿐 아니라 물에 대한 저항성도 커야한다. 내수성을 향상시키는 성분은  $Al_2O_3$ 가 (그림-2)에서 보듯이 상당히 좋은 성분이나 이것은 내알카리성을 저하시키므로 사용하는것이 바람직하지 못하다. 따라서 내알카리성과 내수성을 동시에 만족시킬수 있는 수산화물이 필요한데 실제에서는  $ZrO_2$ 가 쓰이고 있다.

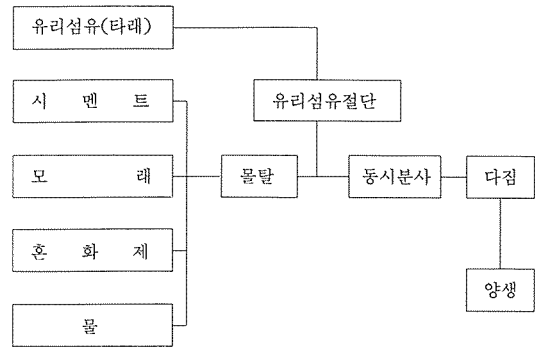
내알카리성 유리섬유의 화학성분은 이러한 관점에서 검토되어야 하며(표-1)에서 보듯이  $ZrO_2$ 가 포함된 ARFIBRE가 쓰이며 여기에  $La_2O_3$ 와 Rare-Earth Oxides가 함유된 ARFIBRE-SUPER가 더 나쁜 조건에 쓰이는 경우에 적합한 유리섬유이다.

## 2.2 GFRC의 제조방법

### 2.2.1 직접 분사공법(Direct Spray 공법)

공기압력으로 인해 시멘트물탈과 유리섬유를 자르는 기계(Chopper-Gun)에 의해 미리 잘려진 유리섬유가 동시에 형틀에 뿌려진다.

GFRC제조방법중 비교적 간단한 공정의 공법이며 형틀이 가변성이거나 주문제작에 알맞은 형태이며 직접분사공법의 제조공정은 (그림-3)과 같다.



(그림-3) Direct Spray 공법의 제조공정도

### 2.2.2 분사 흡입공법(Spray Suction 공법)

공법의 기본개념은 직접분사공법과 같으나 구분을 한다면 탈수에 편하도록 형틀모양이 다른것이다.

직접분사공법이 다양한 모양의 주문제작에 적합한 반면 이공법은 대량생산의 일반규격에 적합하다.

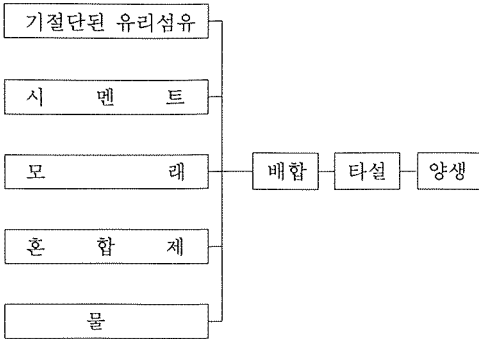
### 2.2.3 유리섬유와 물탈을 미리 비벼서 타설하는 공법(Premix 공법)

시멘트물탈과 미리절단된 유리섬유가 믹서에 의해 배합이되어 일반콘크리트와 동일한 방법



(사진-1) 직접분사공법의 제조광경

으로 형틀에 타설되며 제조공정은 (그림-4)와 같다.



(그림-4) Premix공법의 제조공정도

#### 2.2.4 유리섬유와 몰탈을 미리 비빈후 압착타설하는 공법(Premix 압착공법)

일정량의 시멘트몰탈과 유리섬유의 혼합체가 형틀에 놓여진 다음 압착이되어 제품을 제작하게 된다. 일반포틀랜드시멘트몰탈의 경우에는 타설후 즉시 탈형할 정도의 강도를 내지못하므로 특수시멘트 몰탈을 사용하여 형틀에서 탈형을 할수있는 강도를 내게한다.

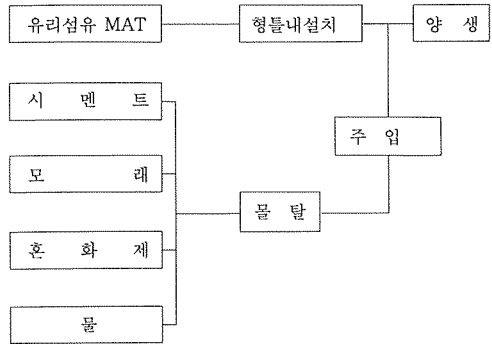
#### 2.2.5 몰탈주입공법

유리섬유 매트를 일정한 길이만큼 형틀에 정착한후 시멘트 몰탈을 주입하게 되는데 다음의 특성이 있다.

(1) 유리섬유 매트가 규정된데로 제자리에 위치하여 생산이되면 분사공법에 의한것보다 일정한 수준의 품질을 얻을 수 있다.

(2) 주입시 손실이 발생하지 않으므로 높은강도와 생산성이 보장된다.

(3) 분사공법에서는 한쪽면만이 깨끗이 마감되나 이 주입방법은 양면을 깨끗이 마감할수 있다.

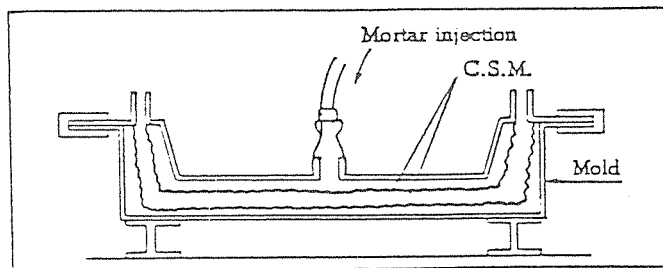


(그림-5) 몰탈주입공법의 제조공정도

### 3. GFRC 역학적 특성실험

#### 3.1 실험개요

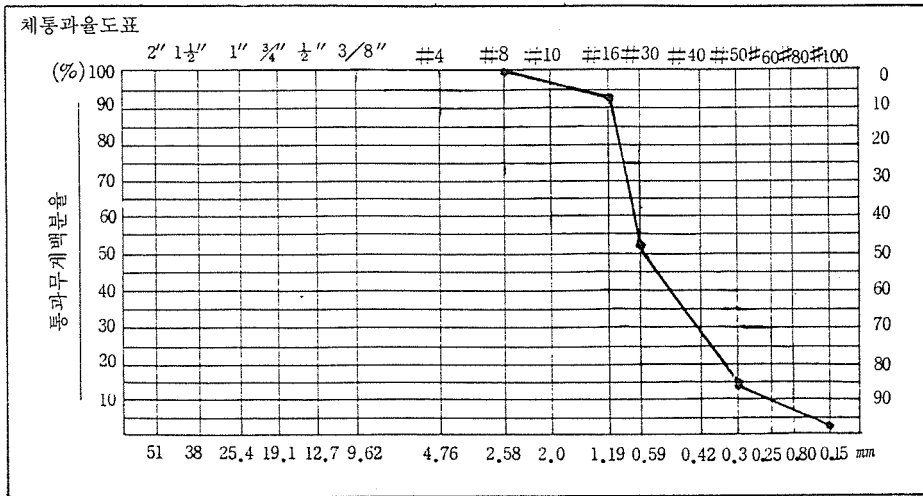
GFRC 제품은 보통판상 또는 곡상의 제품으로 이용되며 휨하중을 받는 일이 많다. GFRC의 역학적 특성을 단적으로 표현하는 것은 GFRC가 휨하중을 받을때의 거동이다. 그러므로 휨시험은 GFRC의 시험중 가장중요한 시험이므로 GFRC의 휨특성과 유리섬유의 혼입율에 따른 휨특성 변화를 실험을 통하여 알아보하고자 한다.



(그림-6) 몰탈주입공법의 제조방법

(표-2) 세골재의 물리적 성질

산 지	비 중	단위용적 중량 ( $kg/cm^3$ )	조립율 (%)	실적율 (%)	공극율 (%)	흡수율 (%)	유기불순물
한강사(미사리)	2.56	1,480	2.37	51	49	1.37	양 호



(그림-7) 세골재의 체가름곡선

### 3.2 사용재료

#### 3.2.1 시멘트

시멘트는 제1종 보통포틀랜드시멘트로서 밀폐된 사이로에 저장한 풍화되지 않은 시멘트를 사용하였다.

#### 3.2.2 세골재

세골재는 산지가 미사리인 천연상 강모래로서 유기불순물을 포함하지 않은 깨끗한 모래를 사용하며 체눈크 2mm를 통과한 F.M(조립율)이 2.37인 모래를 사용하였으며 세골재의 물리적 성질 및 체가름곡선은 (표-2) 및 (그림-7)과 같다.

#### 3.2.3 혼화제

일반적으로 GFRC에 쓰이는 혼화제는 고성능감수제 또는 폴리마를 이용하나 여기에서는 Naphtalene-Pormaldehyde를 주성분으로한 고성능감수제를 사용하였다.

#### 3.2.4 유리섬유

2.1항에서 설명한 내알카리성 유리섬유인 ARFIBRE를 사용하였다.

### 3.3 GFRC의 휨특성에 대한 실험

#### 3.3.1 실험방법

GFRC의 휨특성을 알아보기 위하여 동일배합비의 몰탈에 유리섬유를 보강한 GFRC와 유리섬유를 혼입하지 않은 몰탈을 (표-3) 및 (표-4)와 같은 방법으로 단순비교 시험을 하여 GFRC의 휨특성을 나타내었다.

(표-3) 시험방법의 개요

구 분	개 요
시험체 크기	25×5×1.2cm
시 료 수	12개
양 생 방 법	증기양생후 수증양생

재 령	28일
S P A N	20cm
재 하 방식	중앙집중
재 하 속도	2mm/Min

(표-4) 배합비

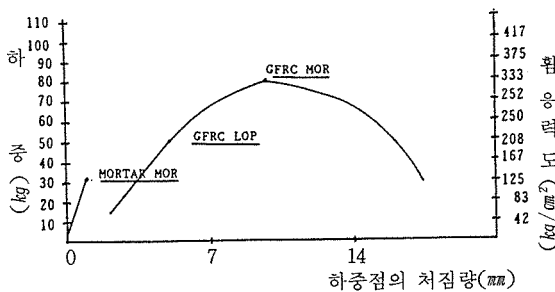
구분	모래시멘트비 (S/C)	물시멘트비 (W/C)%	유리섬유혼입율 (%)
GFRC	1/1.5	33	5
MORTAR	1/1.5	33	0

### 3.3.2 실험결과

(표-3) 및 (표-4)와 같은 방법으로 실험한 결과 (표-5) 및 (그림-8)과 같은 결과를 나타내었다.

(표-5) 실험결과

구분	휨강도(kg/cm <sup>2</sup> )	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )
GFRC	330	654
MORTAR	128	761



(그림-8) GFRC 및 MORTAR의 휨특성

### 3.3.3 시험결과 분석

(그림-8)은 시험체 25×5×1.2cm의 평판시험체를 중앙집중하중을 가하였을 때 GFRC 및 MORTAR의 휨의 변형특성을 종축을 하중, 횡축을 하중점의 처짐량으로 표시한 것이다. (그림-8)에서 나타낸바와 같이 GFRC는 일반 MORTAR와 달리 휨하중을 받을 경우 비례한계

를 넘은후에도 유리섬유의 Bridging 작용으로 인하여 서서히 파괴되는 현상을 나타낸다. MORTAR는 명확한 LOP를 표시할수 없고 MOR까지 직선적으로 변형하며 GFRC에 비하여 41%의 MOR을 나타내었다. 이상과 같이 GFRC의 휨특성은 LOP 및 MOR의 변화에 따른 특징을 표시할 수 있는데 LOP는 주로 Matrix의 역학적 성질에 의해 영향을 받고 MOR은 유리섬유의 혼입율에 의해 큰영향을 받는다.

## 3.4 유리섬유 혼입율에 따른 GFRC의 강도 특성 변화실험

### 3.4.1 실험방법

GFRC는 유리섬유 혼입율에 따라 GFRC의 휨강도 특성이 많은 변화를 가져온다. 그러므로 실험특성상 유리섬유 혼입율시험(씻기분석 시험) 및 휨강도시험을 하여 GFRC의 강도특성을 알아보며 실험방법은 (표-6)과 같다.

(표-6) GFRC의 강도특성변화시험 방법

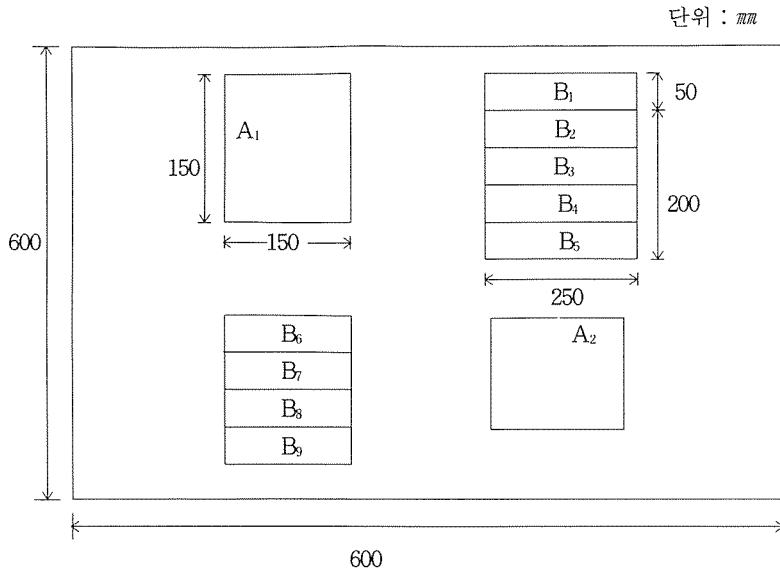
구 분	개 요
시료크기	25×5×1.2(THK)cm
시 료 수	혼입율 수준별(64개)
양생방법	증기양생후 수중양생
재 령	28일
SPAN	20cm
재하방식	중앙집중
재하속도	2mm/Min
유리섬유 혼입율시험	씻기시험 방법

### 3.4.2 배합비

GFRC의 강도특성 변화실험에 사용한 배합비는 (표-7)과 같다.

(표-7) GFRC의 배합비

구분	유리섬유 혼입율(%)	모래시멘트 비 (S/C)	물시멘트비 (W/C)(%)
시험 No			
G-1	0	1/1.5	33
G-2	2.5	1/1.5	33
G-3	3.0	1/1.5	33



(그림-9) 시료채취 방법

G-4	4.0	1/1.5	33
G-5	4.5	1/1.5	33
G-6	5.0	1/1.5	33
G-7	5.5	1/1.5	33

### 3.4.3 실험부재의 생산방법

(그림-9)와 같이 치수  $600 \times 600 \times 12\text{mm}$ 의 실험부재를 직접분사 방법에 의해 생산한후 부재가 양생되기전에 유리섬유 혼입율시험에 필요한 시편( $150 \times 150 \times 12\text{mm}$ )을 2개이상 채취하여 췌기시험을 시작하고 3시간동안 전양생을 한후 증기양생을 시작한다. 약 12시간 정도의 증기양생이 완료되면 GFRC를 탈형하여 시험편의 치수( $250 \times 50 \times 12\text{mm}$ )에 맞게 시료를 9개이상을 채취한후 3개는 즉시 탈형강도 시험을 하고 나머지 6개는 수증양생을 재령7일 및 재령 28일의 휨강도 시험을 한다.

### 3.4.4 실험결과

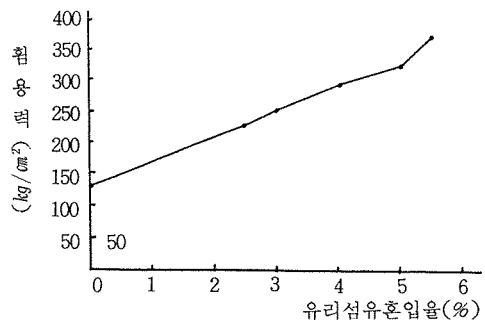
상기방법에 의해 나타난 실험결과는 (표-8) 및 (그림-10)과 같다.

### 3.4.5 실험결과 분석

GFRC의 혼입율에 따른 실험결과를 상관관

(표-8) 실험결과표

구분 시험 No	췌기시험 결과에 의한 유리 섬유혼입율(%)	휨강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
G-1	0	128
G-2	2.5	224
G-3	3.1	252
G-4	3.9	295
G-5	4.5	321
G-6	5.1	345
G-7	5.5	372

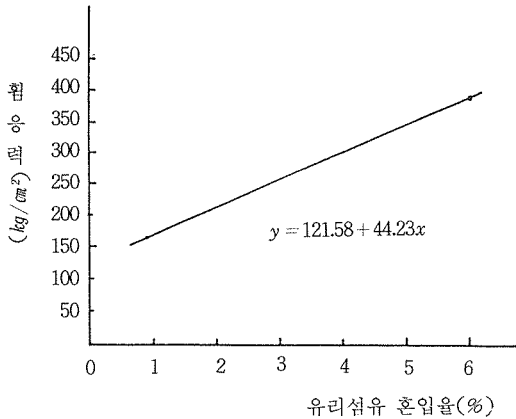


(그림-10) 유리섬유혼입율에 따른 GFRC 휨강도변화

계 및 회귀식을 구하면 (표-9) 및 (그림-11)과 같다.

(표-9) 회귀식 및 상관계수

회 귀 식	$y = 121.58 + 44.23x$
상 관 계 수	$r = 0.997$



(그림-11) 회귀식에 의한 직선그래프

GFRC의 유리섬유혼입율과 휨응력과는 상관계수가 0.997로서 상관관계가 매우 크다는 것을 실험결과로 나타낸다.

#### 4. GFRC를 이용한 시공사례

국내에서 GFRC로 시공된 건축구조물을 사진과 함께 나타내었으며 사진중 ㉔ 라고 표시된 부분이 GFRC로 처리된 부분이다.

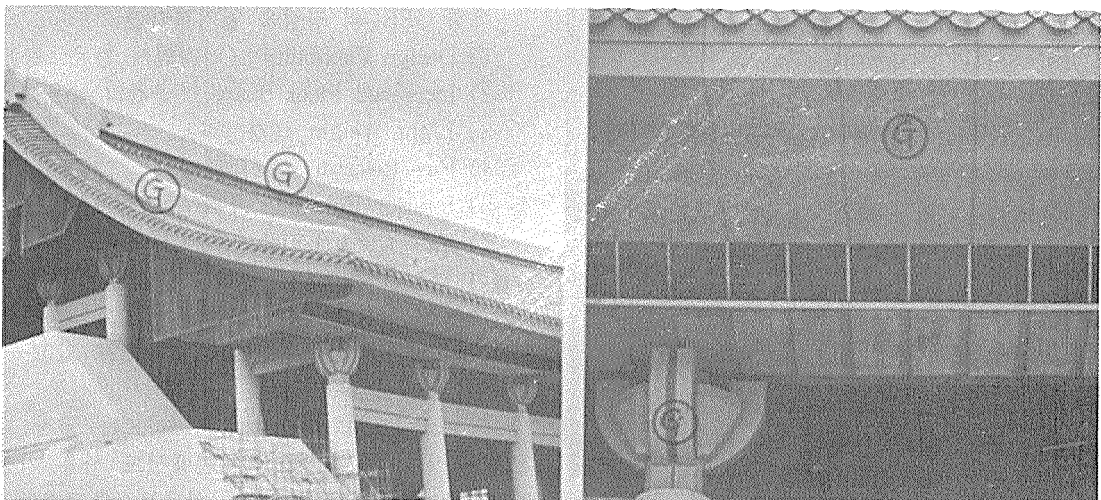
##### 4.1 독립기념관

큰 의미를 지닌 초대형 기념관 건물로 국내에서 처음으로 GFRC를 사용하였고 초기 GFRC의 많은 문제점을 해결함으로써 GFRC의 사용에 대한 가능성을 심어준 공사였다. 1차 시공 부위는 환회의장내부천정, 본건물의 처마, 너새, 양성, 주두, 취두, 용마루등이며 화재사고로 FRP로 시공되었던 창방부분이 GFRC로 변경시공되었다.

특히 용마루부분의 스카이라인(Sky Line)을 형성할 때는 현장에서 제품을 절단하여 시공하였고 건축물의 자중을 줄이는 GFRC가 기여했다고 하겠다.

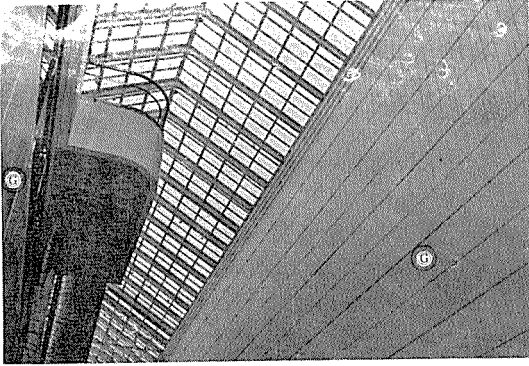
##### 4.2 무역센터 전시동 내부벽

Rib판넬방법으로 설계하여 시공된 제품으로

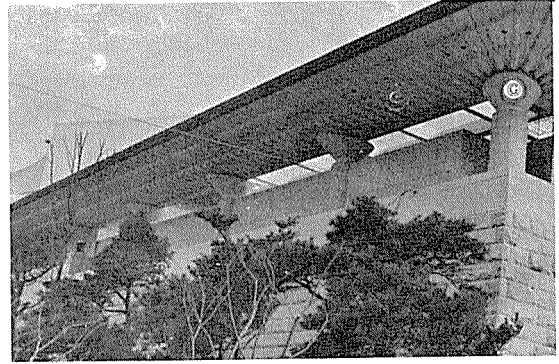


(사진-2) 독립기념관 본관건물





(사진-3) 무역센터 전시동 내부벽  
(공사기간 : 87년 4월~87년 8월)



(사진-4) GFRP로 시공된 예술의 전당전경  
(공사기간 : 87년 4월~87년 7월)

신축의 영향에 대처하기 위한 Joint Detail로 처리하였고 소음처리를 하기위하여 제품면사이에 구멍을 내어 흡음판의 역할을 할수 있도록 설계 시공 하였다.

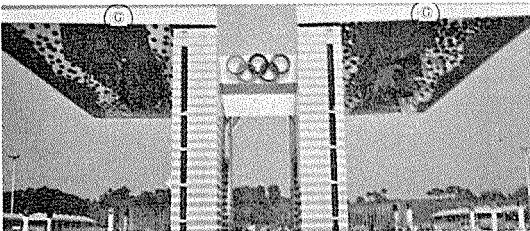
#### 4.3 예술의 전당

예술과의 조화로서 이루어진 건물로 GFRP의 특성을 크게 살리면서 오디오리움, 내부천정, 외부처마, 주두등에 사용되었다.

내부천정 외부처마의 GFRP판은 곡선미와 자중을 줄이는데 기여했으며 또한 한옥집의 처마와 같은 질감을 GFRP로 표현하였다.

#### 4.4 올림픽 상징조형물

서울올림픽 상징기념탑으로 전세계평화의 문이 기도한 이 건물은 기본골조는 철골구조이고 외부마감은 석재및 GFRP로 처리하였다. 구조



(사진-5) 올림픽 상징조형물 전경  
(공사기간 : 88년 3월~88년 6월)

물의 구조상 천정은 중량이 가벼워야하고 표면은 웅장한 콘크리트 질감을 나타낼수 있는 부재 즉 GFRP가 적합하다고 인정되어 GFRP로서 조형물의 날개를 시공하였다.

### 5. 결 론

GFRP제품은 실험적 DATA가 증명하듯이 유리섬유 보강콘크리트로서의 기능이 충분하며 유리섬유 혼입율에 따라 두께 12mm의 고강도 제품을 생산할수 있으므로 건물의 처마, 천정, 지붕, 외벽, 내벽 등 건축물의 필요한 부위에 모두 적용가능해졌다.

특히 GFRP의 장점을 열거한다면

- 1) Design Flexibility (디자인의 자유로움)
- 2) Increased Floor Space (공간의 활용)
- 3) Light Weight (경량화)
- 4) Fire Resistance (내화성)
- 5) Interior Finishing (내부마감 이용가능)
- 6) Fast Construction (공기단축)

등이 있는데 GFRP의 장점중에서 제품의 경량화는 건물구조자체에 부담을 주지않기때문에 지진의 영향에도 효과적으로 대처할수 있고 구조설계에서도 유리하다.

앞으로의 유리섬유 보강콘크리트는 공장 제품뿐만아니라 현장및 레미콘에서도 사용 가능하도록 신소재로서의 유리섬유보강콘크리트가 널리 이용되었으면 한다. \*