

유리섬유 보강콘크리트(GFRC)의 특성 및 이용

유진종합개발(주)

품질관리부장 : 박 성 호

1. 서 론

기존 콘크리트에 종래사용되었던 보강재로, 철근 및 강선, 강봉등이 있었으나 새로운 보강재로 등장한 것이 섬유인데 취성재료의 성질을 개선하기 위한 섬유는 현재 강섬유, 유리섬유, 유기물섬유, 석션섬유등 다양하게 개발되고 있다.

그중에서 유리섬유를 이용한 유리섬유콘크리트(이하 GFRC 라 한다)는 1960년대 영국에서 시작되어 구미 각국에서는 그 사용도가 널리 퍼져 있었다.

국내에서도 1985년부터 GFRC를 기술도입 및 연구개발하여 좋은 재료의 건축구조물로서 활발하게 제조시공되고 있다.

GFRC(Glass Fiber-Reinforced Concrete)란 시멘트 몰탈에 유리 섬유를 섞어만든 콘크리트제품의 일종으로 건축물의 중량을 줄이면서 콘크리트의 질감을 표현할 수 있는 이점 때문에 건물의 외벽, 처마, 천정등에 널리 사용될 수 있다.

그러므로 지금까지 사용되었던 PC(Precast Concrete) 및 기타재료로 설계되었던 조립식 구조물이 GFRC라는 새로운 신소재로 변화하고 있는 실정이다.

2. GFRC의 제조

2. 1. GFRC에 사용되는 유리섬유의 특성

시멘트몰탈에 유리섬유가 섞여서 강화될 경우 유리섬유는 보다 높은 인장강도와 탄성계수가 요구된다.

시멘트 몰탈자체의 인장강도는 20-40kg/cm²이며 탄성계수는 1.5-3.0×10⁵ kg/cm²이다. 반면에 유리섬유는 표-1에서 보듯이 보강재로 쓰기에 충분할 만큼 수치가 높다.

하지만 여기에 한가지 큰 문제가 있다. 어떻게 시멘트몰탈의 알칼리성분을 유리섬유가 저항 할 수있는가 하는 것이다.

GFRC의 구성요소는 주로 포틀랜드시멘트이다. 그러므로 시멘트에 물을 첨가하면 수화작용에 의하여 Hydrated Calcium Hydroxide (mCaO : nSiO₂ : xH₂O)의 혼합체가 되는데 이 Calcium Hydroxid는 PH 12.5-13.0까지의 강알칼리성을 띠게 만든다.

단위중량에 비해 많은 표면적을지닌 일반유리섬유(13미크론 지름의 섬유가 약 1200cm²/g 인 경우)가 이러한 강알칼리에 접하게 되면 급속한 표면파괴가 이루어지게 된다. 따라서 FRP에 쓰이는 일반 E-GLASS가 GFRC에 쓰일 경우에는 짧은시간내에 파괴가 진행되어 시멘트몰탈보강재료로서의 역할을 잃게된다.

표 1

유리섬유의 성질

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

결과적으로 GFRC에 사용되는 유리섬유는 강알칼리에 견딜수있는 내알칼리성 유리섬유가 사용되어야 한다.

이러한점은 유리섬유의 성분에 달려있는데 즉 ZrO₂, SnO₂ 나 La₂O₃등의 화학성분이 들어감으로 내알칼리성을 갖게하며 그림-1에 잘 나와있다.

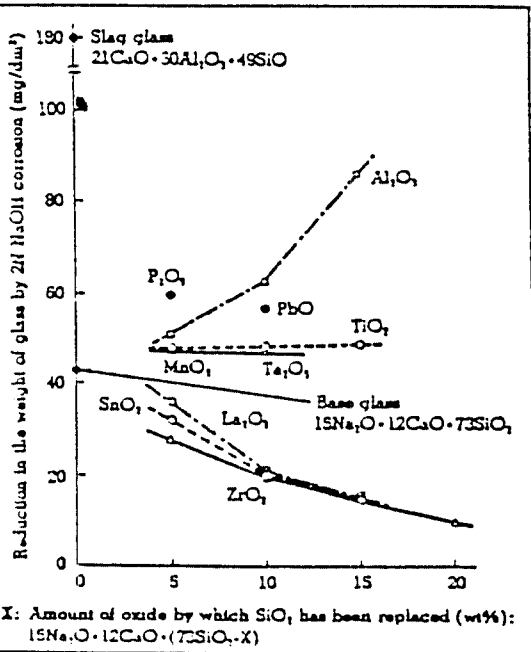


그림 1 SiO₂의 양과 NaOH용액에 의해 부식한 유리섬유량의 관계

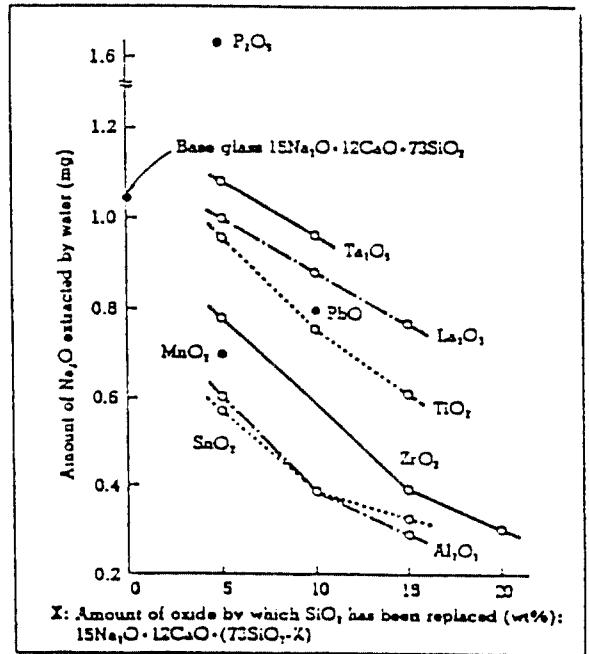


그림 2 SiO₂의 양과 내수성 관계

GFRC에 쓰이는 유리섬유는 내알칼리일뿐 아니라 물에 대한 저항성도 커야한다.

내수성을 향상시키는 성분은 AL₂O₃가 그림-2에서보듯이 상당히 좋은성분이나 이것은 내알칼리성을 저하시키므로 사용하는것이 바람직하지 못하다. 따라서 내알칼리성과 내수성

을 동시에 만족시킬수 있는 수산화물이 필요한데 실제에서는 ZrO_2 가 쓰이고 있다.

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

2. 2 GFRC의 제조방법

2. 2. 1 직접 분사공법(Direct Spray 공법)

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

GFRC제조방법중 비교적 간단한공정의 공법이며 형틀이 가변성이거나 주문제작에 알맞은 형태이며 직접분사공법의 제조공정은 그림 3과 같다.

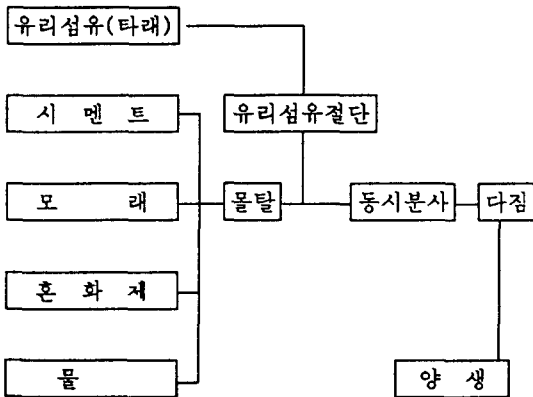


그림 3 Direct Spray 공법의 제조공정도



사진 1 직접분사공법의 제조광경

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 일반규격품에 적합하다.

2. 2. 3 유리섬유와물탈을 미리 비벼서 타설하는공법(Premix 공법)

시멘트물탈과 미리절단된 유리섬유가 믹서에 의해 배합이되어 일반콘크리트와 동일한 방법으로 형틀에 타설되며 제조공정은 그림 4와 같다.

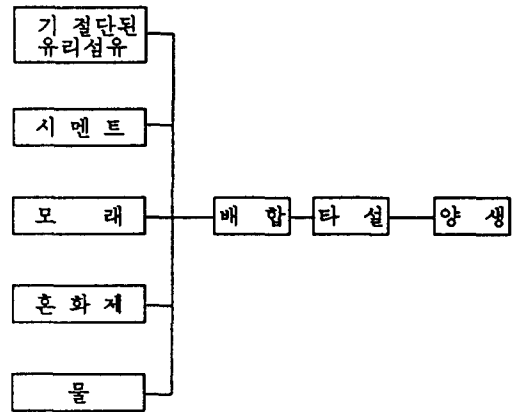


그림 4 Premix 공법의 제조공정도

2. 2. 4 유리섬유와물탈을 미리 비빈후 압착타설하는공법(Premix 압착공법)

일정량의 시멘트물탈과 유리섬유의 혼합체가 형틀에 놓여진 다음 압착이되어 제품을 제작하게 된다. 일반포틀랜드시멘트물탈의 경우에는 타설후 즉시 탈형할 정도의 강도를 내지 못하므로 특수시멘트 물탈을 사용하여 형틀에서 탈형을 할 수 있는 강도를 내게한다.

2. 2. 5 물탈주입공법

유리섬유 매트를 일정한 길이만큼 절단하여

표 2 세굴재의 물리적성질

산지	비중	단위용적 중량 (kg/m ³)	조립율	공극율 (%)	실적율 (%)	흡수율 (%)	유기물 순물
한강산 (미사리)	2.56	1,480	2.27	51	49	1.37	양호

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 ARFIBRE 를 사용하였다.

3. 3 GFRC의 휨특성에 대한실험

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
시료수	12개
양생방법	증기양생후 수중양생
재령	28일
SPAN	20cm
재하방식	중앙집중
재하속도	2mm/Min

표 4 배 합 비

구분 종별	모래시멘트비 (S/C)	물시멘트비 (W/C)%	유리섬유혼입율 (%)
G F R C	1/1.5	33	5
MORTAR	1/1.5	33	0

3. 3. 2 실험결과

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

표 5 실험 결과

구분 종별	휨강도(kg/cm ²)	압축강도(kg/cm ²)
G F R C	330	654
MORTAR	128	761

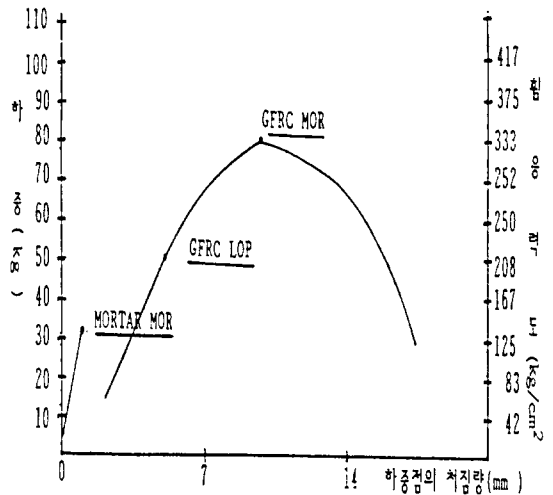


그림 8 GFRC 및 MORTAR의 휨특성

3. 3. 3 시험결과 분석

그림 8은 시험체 25×5×1.2cm의 평판시험체를 중앙집중하중을 가하였을때 GFRC 및 MORTAR의 휨의 변형특성을 종축을 하중, 횡축을 하중점의 처짐량으로 표시한것이다. 그림 8에서 나타낸바와 같이 GFRC는 일반 MORTAR와 달리 휨하중을 받을경우 비례한계를 넘은후에도 유리섬유의 Bridging 작용으로 인하여 서서히 파괴되는 현상을 나타낸다. MORTAR는 명확한 LOP를 표시할수 없고 MOR까지 직선적으로 변형하며 GFRC에 비하여 41%의 MOR을 나타내었다. 이상과같이 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 특성에 많은변화를 가져온다. 그러므로 실험특성상 유리섬유 혼입율시험(씻기분석시험) 및 휨강도시험을하여 GFRC의 강도특성을 알아보며 실험방법은 표 6과 같다.

표 6 GFRC의 강도 특성변화시험 방법

구 분	개 요
시료크기	25×5×1.2(THK)cm
시료수	혼입율 수준별(63개)
양생방법	증기양생후 수중양생
재령	28일
SPAN	20cm
재하방식	중앙집중
재하속도	2mm/Min
유리섬유 혼입율시험	씻기시험 방법

3. 4. 2 배합비

GFRC의 강도특성 변화실험에 사용한 배합비는 표 7과 같다.

표 7 GFRC의 배합비

구분 시험No	유리섬유 혼입율(%)	모래시멘트비 (S/C)	물시멘트비 (W/C)(%)
G-1	0	1/1.5	33
G-2	2.5	1/1.5	33
G-3	3.0	1/1.5	33
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 9와 같이 치수 600×600×12mm의 실험부재를 직접분사 방법에 의해 생산한후 부재가 양생되기전에 유리섬유 혼입율시험에 필요한 시편(150×150×12mm)을 2개이상 채취하여 씻기시험을 시작하고 3시간동안 전양생을 한후 증기양생을 시작한다. 약12시간정도의 증기양생이 완료되면 GFRC의 탈형강도 시험을 하고 나머지 6개는 수중양생을하여 재령7일 및 재령28일의 휨강도시험을 한다.

단위 : mm

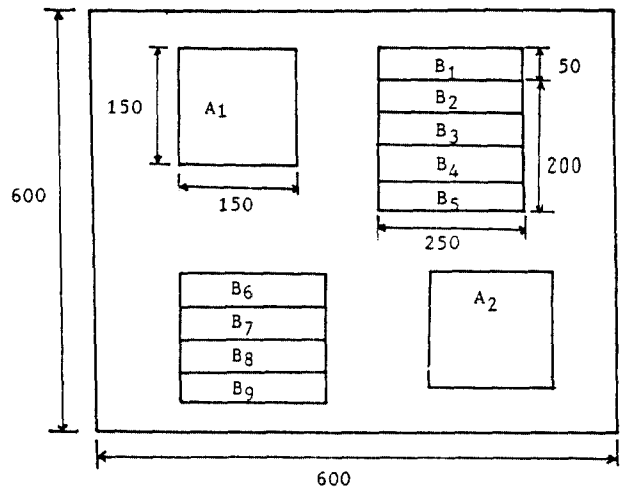


그림 9 시료채취 방법

3. 4. 4 실험결과

상기방법에 의해 나타난 실험결과는 표 8 및 그림 10과 같다.

표 8 실험결과표

구분 시험No	씻기시험 결과에 의한 유리 섬유혼입율(%)	휨강도 (kg/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

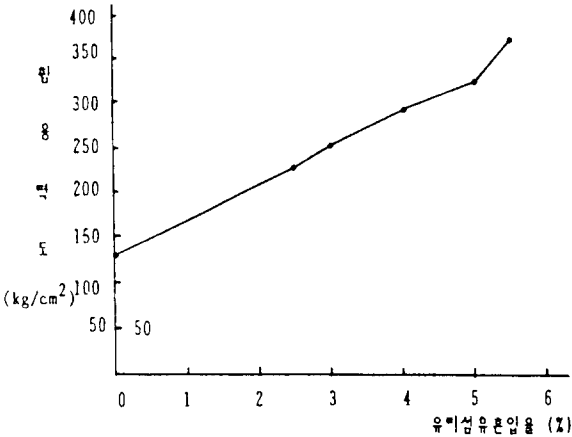


그림 10 유리섬유 혼입율에 따른 GFRC 휨강도 변화

표 9 회귀식 및 상관계수

회귀식	$y = 121.58 + 44.23x$
상관계수	$r = 0.997$

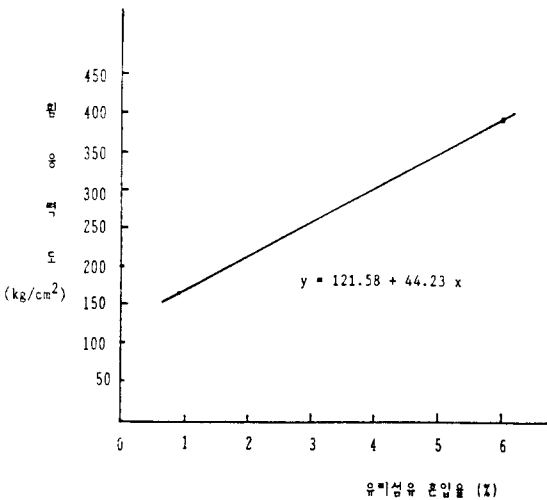


그림 11 회귀식에 의한 직선그래프

3. 4. 5 실험결과분석

GFRC의 혼입율에 따른 실험결과를 상관관계 및 회귀식을 구하면 표-9 및 그림-11과 같다.

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

4. GFRC를 이용한 시공사례

국내에서 GFRC로 시공된 건축구조물을 사진과 함께 나타내었으며 사진중 G라고 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, 양생, 주두, 취두, 용마루등이며 화재사고로 FRP로 시공되었던 창방부분이 GFRC로 변경 시공되었다.

특히 용마루부분의 스카이라인(Sky Line)을 형성할때는 현장에서 제품을 절단하여 시공하였고 건축물의 자중을 줄이는데 GFRC가 기여했다고 하겠다.

4. 2 무역센타 전시동 내부벽

Rib 판넬방법으로 설계하여 시공된 제품으로 신축의 영향에 대처하기 위한 Joint Detail로 처리하였고 소음처리를 하기 위하여 제품명사이에 구멍을 내어 흡음판의 역할을 할수 있도록 설계시공 하였다.

4. 3 예술의 전당

예술과의 조화로써 이루어진 건물로 GFRC의 특성을 크게 살리면서 오디토리움, 내부천정, 외부처마, 주두등에 사용되었다. 내부천정 외부처마의 GFRC판은 곡선미와 자중을 줄이는데 기여했으며 또한 한옥집의 처마와같은 질감을 GFRC로 표현하였다.



사진 2 독립기념관 본관건물



사진 3 무역센터 전시동 내부벽

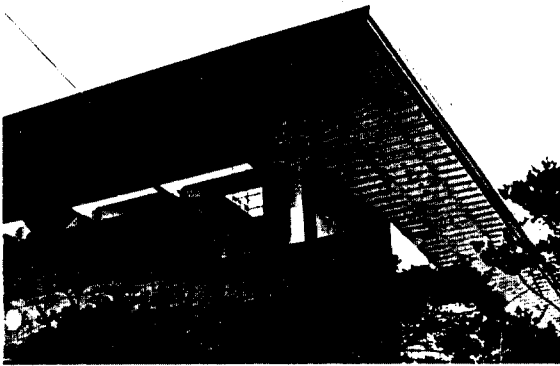


사진 4 예술의 전당 전경
(공사기간 : 87년 4월 - 87년 7월)



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

4. 4 올림픽 상징조형물

서울올림픽 상징기념탑으로 전세계평화의 문이기도한 이건물은 기본골조는 철골구조이고 외부마감은 석재 및 GFRC로 처리하였다. 구조물의 구조상 천정은 중량이 가벼워야하고 표면은 웅장한 콘크리트 질감을 나타낼수 있는 부재 즉 GFRC가 적합하다고 인정되어 GFRC로서 조형물의 날개를 시공하였다.

5. 결 론

GFRC제품은 실험적 DATA가 증명하듯이 유리섬유 보강콘크리트로서의 기능이 충분하여 유리섬유 혼입율에 따라 두께 12mm의 고강도제품을 생산할수 있으므로 건물의 처마, 천정, 지붕, 외벽, 내벽 등 건축물의 필요한부위에

모두 적용가능해졌다.

특히 GFRC의 장점을 열거한다면

- 1) 디자인의 자유로움
- 2) 공간의 활용
- 3) 경량화
- 4) 내화성
- 5) 내부마감 이용가능
- 6) 공기단축

등이 있는데 GFRC의 장점중에서 제품의 경량화는 건물구조자체에 부담을 주지않기 때문에 지진의 영향에도 효과적으로 대처할 수 있고 구조설계에서도 유리하다.

앞으로 유리섬유 보강콘크리트는 공장 제품 뿐만아니라 현장 및 레미콘에서도 사용 가능하도록 연구개발하여 신소재로서의 유리섬유 보강콘크리트가 널리 이용되었으면 한다.