

# 섬유보강 콘크리트의 전망 및 필요성

## Prospect and Necessity of Fiber Reinforced Concrete



오 병 환\*

### 〈편집자 주〉

강섬유보강 콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete: SFRC)는 일반 콘크리트와 비교하여 응력하에서 강도 및 특히 인성이 증가함으로써 기존 콘크리트의 취약점이라고 할 수 있는 취성을 극복한다. 선진 외국의 경우, 일반 콘크리트에 대한 SFRC의 이러한 우수성이 인지되어 오래전부터 다양하게 현장에 적용되고 있으며 또한 재료의 물성, 기계적 성질, 그리고 구조체에서의 응용에 관하여 지금까지 거의 40년간 꾸준히 연구, 개발되고 있다.

국내의 경우에도 비교적 최근에 이르러 이러한 SFRC에 대한 재료적, 그리고 구조적인 측면에 대한 연구가 시행되어 왔으며 건설현장에서도 실제 적용되고 있기는 하나, 선진외국의 경우와 비교해 볼 때 여전히 SFRC에 대하여 부분적이고 상식적인 영역에서 SFRC가 이해되고 있음을 볼 수 있다.

따라서 이번 특집에서는 비록 개략적이기는 하나 SFRC의 제반 특성들을 살펴봄으로써 혹 아직 SFRC에 낯선 건설 기술인들에게 조금이나마 도움을 드리고자 하였다.

끝으로 바쁘신 중에도 원고를 심사숙고 집필해 주신 필자 여러분께 깊은 감사를 드린다.

(특집주간: 중앙대학교 건설대학 건축공학과 이차돈 교수)

### 1. 서 론

토목 및 건축공사의 건설재료로 널리 사용되고 있는 콘크리트는 인장 및 동적하중하에서 급작스런 파괴를 일으키는 취성을 띠고, 균열의 생성 및 성장을 억제하기 힘든 단점이 있다. 이러한 콘크리트의 제반 역학적 성질을 개선하는 방법으로서 철근으로 보강한 철근 콘크리트가 이용되고 있다.

콘크리트의 인장 저항 능력의 증대, 국부적 균열의 생성 및 성장을 억제하는 등 역학적 성질을 개선, 보강하기 위해서 불연속적이며 단상인 섬유질 재료를 콘크리트에 분산시켜 넣은 것을 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete : FRC)라 하며, 이때 사용되는 섬유의 종류로는 강(steel), 유리(glass), 나이론(nylon), 폴리프로필렌(polypropylene), 석면(asbestos), 탄소(carbon) 등이 있다.

강섬유보강 콘크리트는 압축강도의 증진 뿐만 아니라 인장강도 및 휨강도가 향상되어, 콘크리트의

\* 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

최대 약점인 낮은 인장강도를 개선할 수 있고, 또한 연성이 우수하여 외국에서는 도로 포장, 공항 활주로, 수리항만 구조물, 충격하중과 반복하중을 받는 구조물에 널리 사용되고 있다.

유리섬유 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 휨강도, 인장강도 및 충격에 대한 저항성이 현저히 개선되며, 경량화 및 조형성이 우수하여 건설재료로 널리 이용되고 있다. 현재 유리섬유 콘크리트는 구조부재에 활용되기보다 건축물의 내·외장재, 천장재 및 엑스태리어 등에 많이 활용되고 있으며, 최근에는 유리섬유의 단섬유로 생각되던 내구성 및 치수안정성을 크게 개선한 유리섬유 콘크리트 패넬 제조법 및 유리섬유에 적합한 저알칼리 시멘트의 개발 등으로 그 용도가 널리 확대되고 있는 실정이다.

탄소섬유는 역학적 특성, 내열성 및 화학적 안정성 등 역학적 성질이 유리섬유, 강섬유에 비하여 우수하여 콘크리트의 보강 섬유로서 국내외에서 많은 주목을 받고 있으며, 경량 고강도 및 고내구성의 신뢰성이 높은 건축재료로서의 연구개발이 이루어지고 있다.

이외에도 합성섬유(synthetic fiber)인 폴리프로필렌, 비닐론, 아라미드, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온 섬유 등 다양한 소재의 섬유가 개발되어 사용단계에 이르렀다.

따라서 본 소고에서는 구조부재에 가장 많이 적용되고 있는 강섬유보강 콘크리트를 중심으로 섬유보강 콘크리트의 역사와 개념, 다양한 섬유보강 콘크리트의 특성 및 활용예를 고찰하여 향후 섬유보강 콘크리트의 전망과 연구개발의 방향 및 필요성에 대하여 서술하고자 한다.

## 2. 섬유보강의 역사 및 발전

섬유는 고대부터 흙벽돌의 보강재료로 잘게 썬 짚을 사용하거나, 석회 모르타르와 석회에 말뚝을 사용하여 취성 재료의 보강재로 사용하여 왔다. 1900년대에 들어 시멘트 페이스트에 석면섬유를 혼입하는 섬유보강의 개념이 시작되었으나 석면이 인체에 유해하여 다른 종류의 섬유에 대한 개발에 관심을 두게 되었다.

1950년대 러시아에서 처음으로 유리섬유가 개발

되었으나 시멘트의 알칼리 환경에서 침해를 받는 것으로 알려져 사용에 제약을 받았으나, 영국 건축연구소의 Majumdar에 의해 내알칼리성 유리섬유가 개발되어 건축용 소재로 사용하게 되었다.

강섬유의 보강은 1910년 손톱모양(nail), 철사조각(wire segment), 금속조각(metal chips) 등의 불연속 강섬유 보강의 형태에서 시작하여 1960년 미국의 Romualdi와 Bastson에 의하여 현재의 강섬유 보강이 시도되었다. 강섬유 형상의 보완으로 섬유와 시멘트 매트릭스간의 부착성을 개선하는 등의 다양한 실험 및 개발 연구를 통하여 여러 구조부재에 가장 많이 적용되는 섬유보강 콘크리트로서 그 위치를 확보하게 되었다.

초기의 비닐론, 폴리프로필렌 등의 합성섬유는 유리섬유나 강섬유에 비해 성공적이지 못하였으나, 새로운 제조기술과 유기섬유(organic fiber)의 개발로 자연섬유(natural fiber)와 함께 콘크리트 보강재로 사용하게 되었다.

이러한 섬유보강 콘크리트에 대하여 선진외국의 경우 새로운 섬유의 개발, 국제심포지움, 기술현황 보고서 등 활발한 연구가 수행되어 왔고, 1973년 ACI의 섬유보강 콘크리트 기술위원회의 지침서가 간행되었으며, PCI에서 유리섬유보강 패넬의 시공 추천 사항을 발표하였고, RILEM에서도 섬유보강 시멘트 복합체에 대한 위원회가 발족되어 체계적이고 다양한 연구를 수행하고 있다.

## 3. 섬유보강의 개념과 섬유보강 콘크리트의 응력 - 변형도 관계

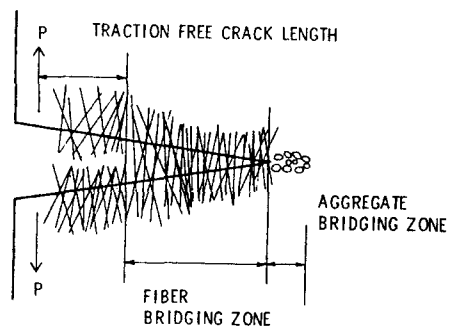


그림 1 섬유보강의 개념

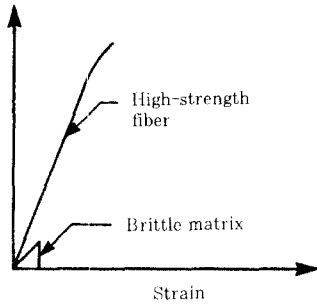


그림 2  
섬유와 취성  
매트릭스의  
응력-변형도  
곡선

콘크리트에 균열이 발생하면 철근이나 섬유 등의 보강이 없는 경우 균열은 급진전하며 파괴를 유발한다. 그러나 섬유로 보강된 콘크리트는 섬유와 매트릭스간의 부착을 통한 응력의 전달로 균열의 진전을 막고, 점차 재하하중이 증가하여 최대하중을 넘어서면 일부 섬유의 뽑힘과 단락이 발생하고 소성변형이 증가하여 최종적으로 파괴가 발생한다. 이를 도시하면 그림 1, 그림 4와 같다.

인장응력을 받는 섬유와 취성매트릭스의 응력-변형도 관계는 그림 2와 같다. 인장하중을 받을 때 취성 매트릭스 소재의 변형도는 섬유에 비해 상당히 작으므로, 섬유보강 콘크리트에서 매트릭스 소재가 먼저 균열을 일으키기 시작한다. 일단 균열이 발생하면 파괴형태는 다음의 세 가지 중 한가지 양상으로 발생한다.

- (1) 무근 콘크리트의 경우와 같이 전체적인 균열의 급성장으로 인하여 파괴가 발생하는 그림 3(a)와 같은 경우
- (2) 섬유-매트릭스 복합체의 인장강도는 증가하지 않지만 계속적으로 하중을 지지하는 그림 3(b)와 같은 경우, 균열후 저항(post-cracking resistance)이 주로 균열면에서 섬유가 뽑힘(pull-out)으로 발생한다. 인장강도의 증진은 미미하지만 인

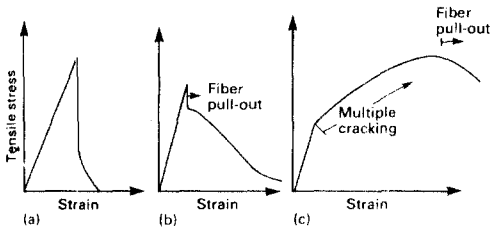


그림 3 섬유보강 콘크리트의 응력-변형도 관계



그림 4 강섬유보강 콘크리트의 파괴면

성의 증가는 매우 큰 경향을 보인다.

(3) 콘크리트와 섬유의 가장 적절한 상호관계로 매트릭스 소재의 균열 후에도 함유된 섬유로 인하여 인장강도를 증진시키고 최대 응력 및 변형도를 매트릭스 소재 자체의 그것보다 크게 증가시키는 그림 3(c)의 경우

## 4. 섬유보강 콘크리트의 특성 및 활용

### 4.1 섬유보강 콘크리트의 종류 및 물성

현재 시멘트계 복합재료로 이용되고 있는 섬유에는 강섬유, 유리섬유, 탄소섬유 등의 무기계 섬유와 아라미드섬유, 폴리프로필렌섬유, 비닐론섬유 및 나일론 등의 유기계 섬유로 분류할 수 있고, 이들 섬유의 물리적 특성을 살펴보면 다음 표 1, 2와 같다.

### 4.2 강섬유보강 콘크리트

강섬유보강 콘크리트는 불연속적이며 짧은 강섬유를 콘크리트 속에 분산시켜 넣음으로써 인장강도, 휨강도, 균열에 대한 저항성, 연성, 전단강도, 내충격성 등의 개선을 목적으로 한 복합재료이다.

강섬유는 일반적으로 길이 25~50mm, 직경 0.3~0.6mm, 형상비(Asspect Ratio)가 50~80 정도의 것이 사용되며 콘크리트 내의 혼입률은 부피비 1.5~2%(약 40~160kg/m<sup>3</sup>)이다. 그림 5는 다양한 강섬유의 형상을 보여 주고 있다.

표 1 각종 섬유유리의 물리적 특성

구분 섬유 종류	직경 (10 <sup>-3</sup> mm)	길이 (mm)	밀도 (10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	파괴시 변형률(%)
석면	크리스탈 청석면		2.55	167	2040~18400	2~3
			3.37	200		2~3
탄소섬유	PAN Pitch계		1.78	370	35700	≤ 0.5
			2.00	280		≤ 1.0
유리섬유	E-glass Cem-Fil	10~50	8~10	73.5	25000	4.8
			12.5	81.6	25000	3.6
강섬유		10~60	7.85	200	4000~20000	3.5
비닐론섬유			1.30	11~37	3100~7100	3~13
폴리프로필렌섬유			0.90	3.6~18	2600~7100	5~21
아라미드섬유			1.45	63~136	700~9200	2.1~2.7
나일론	>4	5~50	1.14	4.1	7650~9180	13.5
폴리에틸렌섬유			0.95	0.14~2.2	2000~29600	10~15
폴리에스테르섬유			1.40	8.1	7400~8800	11~13
PAN 섬유			1.18	17~19	3500~9500	9~11
레이온섬유			1.20	10.2	3100~5100	10~20

표 2 섬유보강 콘크리트의 배합 및 휨강도 특성

섬유종류	혼입량 (부피비:%)	매트릭스배합특성 (중량비)	휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
석면	8~16	포틀랜드시멘트만 사용 굵은 골재 없음	150~250
유리섬유	4~6	잔골재/시멘트 ≤ 0.5 물/시멘트 ≤ 0.3	200~300
강섬유	1~2	잔골재/시멘트 ≤ 2.0 물/시멘트 ≤ 0.45 혼화제 사용	80~120
폴리프로필렌섬유	4~8	잔골재/시멘트 ≤ 1.0 물/시멘트 ≤ 0.35 혼화제 사용	60~150

강섬유보강 콘크리트는 선재하는 내부 균열진전을 강섬유가 구속하기 때문에 균열발생에 대한 저항성을 가지게 되며, 따라서 인장강도도 강섬유 혼입률을 증가시킴에 따라 크게 개선된다. 또한 균열 발생 이후에도 균열을 횡절(橫切)하는 강섬유에 인

장응력이 전달되어 힘의 균형이 유지되기 때문에 외관의 소성변형이 증가하며 휨강도도 증가되지만 특히 인성이 현저히 증가된다.

섬유보강 콘크리트는 정적, 동적 인장강도, 에너지 흡수 특성, 피로강도의 이점을 고려하여 설계자

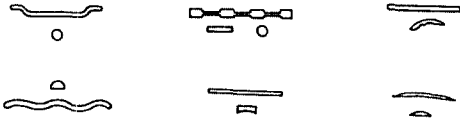


그림 5 여러가지 강섬유의 형상

와 시공자는 선택적으로 여러 종류의 구조물에 적용할 수 있다. 강섬유보강 콘크리트는 포장, 터널 라이닝, 덧씌우기, 팻칭, 수리구조물, 얇은 셸, 방파제, 암반의 경사안정, 내화콘크리트(refractories) 그리고 프리캐스트 제품 등에 널리 이용되고 있다. 강섬유보강 콘크리트의 구체적인 활용예는 다음과 같다. 현재까지의 연구진행 및 적용 상황을 정리하면 표 3과 같다.

표 3 강섬유 보강 콘크리트의 적용예

적용 단계	실험적 적용 단계	실험 단계
	도로포장 건설 및 보수	
	공항포장(활주로, 택시웨이, 에이프런)	
현장 타설	공장 바닥	
	댐 건설 및 보수	
	내화구조물(Refractory castables)	
	교량상판 건설 및 보수	
	저장조(Fluid containment)	
콘크리트	운하, 저장조 라이닝	
	광산 및 터널 라이닝	
	건물의 구조 부재	
	아치천강(vaults)	
	케이슨 및 파일 보수	
프리캐스트	철도 타이(Railroad ties)	
	파이프	
	지하 아치천강(vaults)	
	패널(Modular panel)	
	내화구조물(Refractory precast)	
콘크리트	구조부재(Structural precast)	
	방파제(Breakwaters)	
	그립 블록(Crib block)	
	기계 기초 및 프레임	

(1) 구조부재

1) 도로·공항포장 및 보수

- 1976년 Las Vegas McCarran 국제 공항의 비행기 주차지역 덧씌우기 보수(그림 6)
- 1980년 Nevada, Fallon에 위치한 Naval Air Station 보수공사
- 1980년 Nevada의 Reno에 위치한 Cannon 국제공항의 taxiway건설
- John F. Kennedy 국제공항의 활주로 건설
- 북부간선도로, 호남고속도로 보수 등
- 강릉, 사천 비행장 활주로

2) 암반 경사 안정화 - 강섬유 보강 숏크리트

- 스웨덴의 정련소와 워싱턴주의 Snake River의 대규모 사면 안정

3) 터널 라이닝 - 강섬유보강 숏크리트(그림 7)

- 미국, 유럽, 일본 등 다수의 광산, 도로터널 라이닝

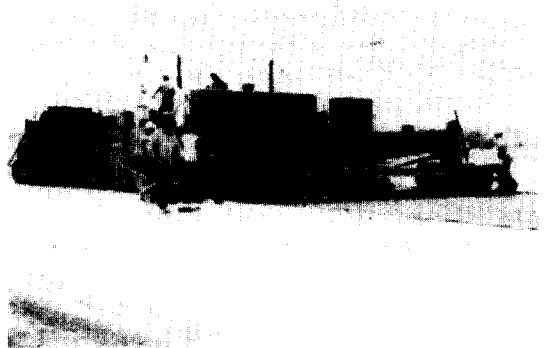


그림 6 Las Vegas McCarran 국제 공항의 슬립폼공법에 의한 덧씌우기

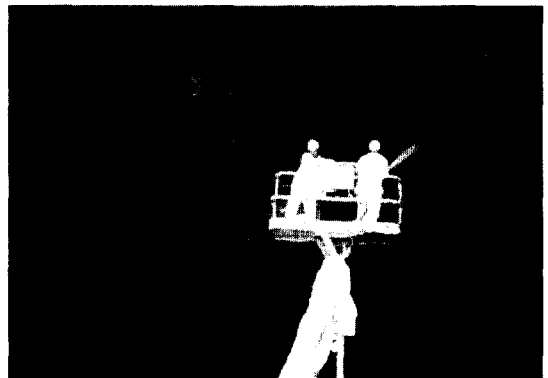


그림 7 강섬유보강 숏크리트 라이닝

- 서울 지하철 일부 공구

4) 기타

- 여천, 거제도 석유비축기지 - 강섬유보강 슛크리트
- 공장바닥 - 포항제철, 기아자동차 등의 공장 바닥
- 수리 구조물 - 공동화, 침식 방지
- 스코틀랜드 Dounreay의 원자력 발전소 지붕 - 전단강도 개선
- 콘크리트 파일, 콘크리트 파이프, 박층 콘크리트 패널, 발란싱유니트 구조물, 저장조 등

(2) 폭발저항 구조물

폭발에 저항하는 구조물의 설계시 설계자는 폭발에 의한 압력 흐름(compressive wave)에 저항할 수 있도록 설계하여야 한다. 갑작스런 폭발 하중은 압축, 인장, 전단에 있어서 복잡한 응력상태를 이루며, 섬유는 균일한 보강효과가 있고, 초기 균열 발생이후 우수한 연성을 보이므로 폭발저항 구조물에 널리 이용되고 있다.

(3) 내화구조물

온도구배가 2900°F(1595℃)까지 상승할 때 스테인레스 강섬유보강 내화콘크리트를 사용하는 것이 바람직하다. 온도구배가 1000°F(537℃)정도 상승할 경우 탄소강섬유(carbon steel fiber)가 사용될 수 있다.

(4) 해양 구조물

방파제, 부두갑판 등의 물과 접하여 충격하중을 받는 구조물에 강섬유보강 콘크리트가 사용되고 있다.(그림 8)

4.3 유리섬유보강 콘크리트

유리섬유를 시멘트 매트릭스에 혼입한 유리섬유보강 콘크리트는 1964년 러시아의 Biryukovich에 의해 처음으로 소개되면서 이 분야의 연구가 시작되었으며, 영국 건축연구소(Building Research Establishment)의 Majumdar에 의해 유리섬유의 가장 큰 단점인 알칼리 침해를 보완하기 위하여 지르코늄( $ZrO_2$ )을 함유한 내알칼리성 유리섬유인

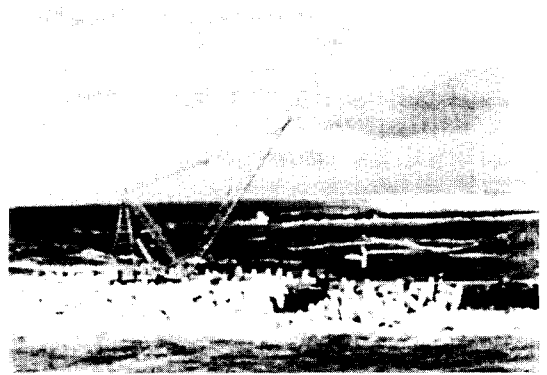


그림 8 해양구조물의 강섬유보강 콘크리트 적용 (방파제)

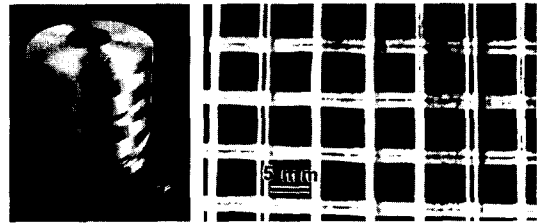


그림 9 유리섬유의 형상

Cem-Fil가 개발됨으로써 본격적인 건설 신소재로 부각되어 본격적인 상업 생산이 시작되었다. 그림 9는 생산되는 유리섬유의 형태를 보여 주고 있다.

유리섬유는 제조과정에서 매트릭스 내에 균일하게 분포하여야 하며, 휨, 인장, 충격강도의 증진과 더불어 경량 고강도 클래딩 패널(cladding panel)을 제조할 수 있어야 한다. 유리섬유 보강 콘크리트의 경량화는 고층건물, 연약지반의 공사비를 절감할 수 있다.

유리섬유 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 휨강도, 인장강도 및 충격에 대한 저항성이 현저히 개선되며, 경량화 및 조형성이 우수하여 건설재료로 널리 이용되고 있다. 현재 유리섬유 콘크리트는 구조부재에 활용되기보다 건축물의 내·외장재, 천정재 및 엑스테리어 등에 많이 활용되고 있으며, 최근에는 유리섬유의 단점으로 생각되던 내구성 및 치수안정성을 크게 개선한 유리섬유 콘크리트 패널 제조법 및 유리섬유에 적합한 저알칼리 시멘트의 개발 등으로 그 용도가 널리 확대되고 있는 실정이다.

유리섬유보강 콘크리트의 구체적인 활용에는 다음 표 4와 같다.

표 4 유리섬유 콘크리트의 활용

적용분야	적용예
건축	내외장재, 창틀, Unit, 천장재, 기둥커버, 보커버, 차단벽, 펜널복합판, 방음벽, 배란다, 영구형틀, 프리액세스플로아, 닥트, 커튼월, 외벽패널, siding재, 무석면보드 등
토목	방음벽, 케이블닥트, 하수관, 옹벽, 교량형 영구형틀 등
엑스테리어	난간, 펜스, 포울, 전화박스, 주택 및 상점의 비품 등
기타	선박내장재, 보온재, 내화피복재, 좌관용 균열방지재 등

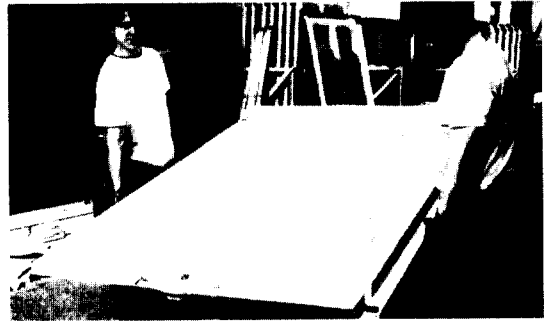
(1) 얇은 셸구조물

콘크리트에 섬유를 균일하게 분포시킴으로써 얻을 수 있는 균일한 강도 특성으로 인하여 평판, 또는 곡선부 구조요소의 두께를 감소시킬 수 있으므로 상당한 중량 감소를 이룰 수 있다. Stuttgart Federal Gardening의 셸구조물이 대표적인 예로, 두께 2.5cm, 중량 31ton의 얇은 셸 지붕을 건설하였다.

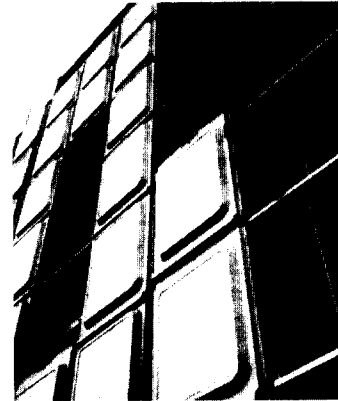
(2) 1980년, Snake River의 Lower Monumental Dam의 갑문설치벽(lock wall) 보수

(3) Ohio, Rossford의 철도 교차로 보수공사 등

(4) 경량 고강도 클래딩 패널(cladding panel) (그림 10)



(a) 패널 제조



(b) 패널 설치

그림 10 유리섬유보강 콘크리트를 이용한 프리캐스트 경량 클래딩 패널

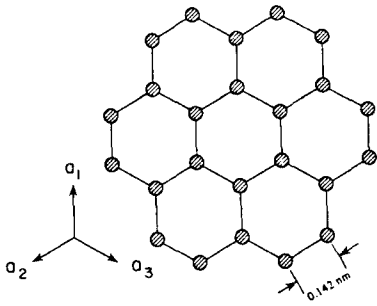
4.4 탄소섬유보강 콘크리트

탄소섬유는 역학적 특성, 내열성 및 화학적 안정성 등 역학적 성질이 유리섬유, 강섬유에 비하여 우수하여 콘크리트의 보강 섬유로서 국내외에서 많은 주목을 받고 있으며, 경량 고강도 및 고내구성의 신뢰성이 높은 건설재료로서의 연구개발이 이루어지고 있다. 그림 11은 탄소섬유의 구조를 보여주고 있다.

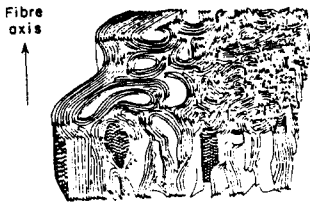
탄소섬유보강 시멘트 복합체에 관한 연구는 1970년대초 Waller, Sarker 등에 의하여 고탄성의 PAN계 탄소섬유보강 콘크리트에 관한 연구가 수행된 바 있으며, 1980년대초부터 Gunasekaran, Alkihana 등에 의하여 Pitch계 탄소섬유를 이용한 탄소섬유 콘크리트에 대한 연구가 시작되었다.

또한 Pitch계 탄소섬유는 PAN계 탄소섬유보다 가격이 저렴하고, 역학적 특성, 내알칼리성, 내수

성, 내화학적 안정성 및 내열성, 전기전도성 및 내마모성이 우수하여 건설 신소재로서의 연구개발 및 용도개발이 활발히 이루어지고 있다. 또한 탄소섬유 콘크리트는 지붕, 천장, 계단, 난간, 창틀 및 발코니 등의 비구조재 및 영구형틀 등에 이용되고 있으며, 우수한 주거성, 단열성을 이용하여 컴퓨터 및 OA룸의 상판재 및 내·외벽재, 타일내벽, 건축물의 전파 흡수제 및 각종 접지제로 널리 이용되고 있



(a) 탄소원자의 배열



(b) X선회절과 전자현미경에 의한 탄소섬유의 구조

그림 11 탄소섬유의 구조

다. 이외에도 고강도 흡판, 파이프 등 여러 분야에 이용되고 있다.

그러나 아직까지 탄소섬유는 다른 섬유에 비하여 고가의 재료이므로 활용에 제약이 있으나, 재료의 물리적 특성, 인장 및 휨강도, 충격 저항성 등의 역학적 특성은 물론 수밀성, 내구성, 장기변형 특성 등이 우수하므로 앞으로 수요의 증가와 대량 생산 체제로 경제성을 확보할 경우 주목할 만한 소재가 될 것으로 사료된다.

탄소섬유 콘크리트의 실용화의 예로 이라크 바그



그림 12 폴리프로필렌 섬유

다드의 Al Shaheed 기념관 건설시 경량 외장 패널을 사용하였으며, 일본 동경의 ARK빌딩에 탄소섬유 콘크리트가 커텐월에 적용되었다.

#### 4.5 폴리프로필렌보강 콘크리트

폴리프로필렌이 콘크리트의 보강재로 사용된 것은 1965년 Shell Chemical Co.에 의하여 시작되어 발전되어 왔다. 그림 12는 폴리프로필렌섬유의 형상을 나타낸 것이다. 폴리프로필렌은 낮은 탄성계수에 비해 높은 인장강도를 가지므로 상당한 소성변형을 부담할 수 있다. 그림 13은 폴리프로필렌보강 콘크리트의 파괴면으로 단부의 큰 소성변형이



그림 13 폴리프로필렌보강 콘크리트의 파괴면

발생한 것을 볼 수 있다.

폴리프로필렌 섬유는 알칼리 저항성이 크고, 재료의 가격이 싸므로 경제적이다. 화재에 대한 저항성, 탄성계수, 매트릭스와의 부착성 등이 다른 섬유에 비해 낮은 단점을 가지고 있다.

폴리프로필렌 섬유는 주로 충격저항성이 요구되는 비구조 부재에 사용되어 왔고, 그 활용예로서 여러 형태의 시멘트 슈트(cladding, flat and corrugated cement sheet), 공동 패널(cavity panel), 터널 라이닝 재료, 폭발 저항성 콘크리트, 부체(floatation unit), 강둑(river wall), 얇은 셀 콘크리트 지붕 재료 등이 있다.

#### 5. 향후 전망과 과제

본 소고에서는 구조부재에 가장 많이 적용되고



있는 강섬유보강 콘크리트를 중심으로 섬유보강 콘크리트의 역사와 개념, 다양한 섬유보강 콘크리트의 특성 및 활용예를 고찰하였으며, 이로부터 앞으로의 섬유보강 콘크리트의 전망과 연구개발의 필요성 및 발전 방향을 요약하면 다음과 같다.

(1) 섬유를 취급, 분산하는 장비의 개발 분야는 상당한 진보를 이루었으나, 개선의 노력이 필요한 분야이다. 섬유보강 콘크리트가 대량으로 사용되는 건설공사의 배척플랜트에서는 섬유의 취급과 분산 작업의 경제성을 확보하고 자동화를 이루는 개선된 방법이 요구된다. 또한 철근이 사용되는 구조물에 섬유를 보강하는 경우 작업성을 확보하고 타설기술에 대한 심도있는 검토가 이루어져야 한다.

(2) 설계자가 섬유보강 콘크리트를 적절하게 적용할 수 있도록 설계방법을 개선하고, 기존 설계방법과 시방규정을 수정하여야 한다.

(3) 철근 콘크리트 부재에서 섬유보강의 필요성과 효율성에 대한 연구가 이루어져야 한다.

(4) 연성 조인트(ductile joint)나 전단벽과 같은 구조부재에 대한 내진 설계방법을 개발하는 연구가 진행되어야 한다.

(5) 원자로 구조에 섬유를 보강함으로써 철근의 밀집을 해소할 수 있고 높은 인장응력을 부담하여 효율적인 균열제어를 기할 수 있으므로 이의 적용성 연구가 필요하다.

(6) 효과적인 품질관리를 이룩하고, 다른 연구자의 연구결과와 상호 관계를 규명할 수 있는 표준적인 시험방법에 대한 연구가 확립되어야 하고, 이를 위한 연구가 계속 진행 중에 있다.

(7) 다양한 섬유보강 콘크리트에 대한 합리적인 설계 방안을 확립하기 위한 기계적, 열적, 전기적 물성 실험자료와 환경조건에 따른 이들 물성의 변화에 대한 기초 연구가 계속 수행되어야 한다.

(8) 섬유와 콘크리트의 부착에 대한 깊이 있는 연구로 섬유의 단락(fiber failure)과 뽑힘(pull-out)현상을 규명할 수 있도록 해야 하며, 최근 들어 폴리머 함침 섬유보강 콘크리트에 대한 연구에서 강도와 섬유의 부착이 개선됨을 보여 주고 있다.

(9) 콘크리트의 알칼리 환경 하에서 유리섬유의 내구성에 대한 문제가 계속적으로 제기되고 있다. 내알칼리성 유리섬유의 개발로 유리섬유보강 콘크리트가 널리 이용되게 되었으나, 습한 시멘트 콘크리트의 고알칼리 환경에서는 내알칼리성 유리섬유 역시 일부 침해를 받아 취성화와 강도손실이 관찰된 예가 있다. 따라서, 이 분야 연구도 지속적인 발전이 필요하다.

(10) 끝으로 섬유콘크리트의 활성화를 위해서는 섬유의 가격이 저렴해지고 시공성이 양호해져야 하므로 이 분야의 검토가 계속 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Beaudoin, J. J., Handbook of Fiber Reinforced Concrete, Noyes Publications, 1990
2. Bentur, A. and Mindess, S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, 1990.
3. Shah, S. P., Handbook of Structural Concrete, Pitman Books, London, 1983
4. Oh, Byung hwan, Lee, H. J., Lim, D. H., Lee, S. K., "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Containing Steel Fibers, ACI SP128, 1992, pp.987-1000.
5. 오 병환, 이 형준, 강 영진, "섬유콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구," 대한토목학회 논문집, 제9권 제3호, 1989년 9월, pp. 49-56.
6. 오 병환, "섬유보강 폴리머콘크리트의 강도 및 역학적 특성," 콘크리트학회 논문집, 제4권 제3호, 1992년 9월, pp. 147-156.
7. 오 병환, 임 동환, 이 형준, "강섬유를 혼입한 철근 콘크리트부재의 전단거동 및 전단해석에 관한 연구," 콘크리트학회 논문집, 제5권 제2호, 1993년 6월, pp. 171-180. 