

# 강섬유보강 콘크리트의 국내 및 국외의 현장적용 사례(Ⅱ)

## Domestic and Foreign Field Application of Steel Fiber Reinforced Concrete(Ⅱ)



주 대 원 \*



서 순 식 \*\*

### 1. 서 언

콘크리트는 그 경제성 및 작업성이 우수하여 오래 전부터 건설재료로 널리 사용되고 있으나 응력이 최대치에 이른 후에는 급작스런 취성과파괴를 일으키고, 특히 양생과정에서 발생하기 쉬운 균열의 생성 및 성장을 억제하기 어려운 단점이 있어 예로부터 그 보강으로 여러가지 대체재료가 연구되어져 왔다. 그 중 보강재로 강섬유를 개발 도입하여 상당한 성과를 보고 있는 추세에 있다. 강섬유보강 콘크리트란 강섬유가 콘크리트 모체내에 불규칙적으로 분산되어 3차원적인 보강이 가능하여 콘크리트의 물성을 연성으로 바꿀 수 있는 특성을 갖는다. 따라서 설계시 높은 파괴계수(MOR)를 적용할 수 있어 기존콘크리트보다 작은 단면으로 시공할 수 있으

며, 휨강도 증대, 피로저항성 증대, 충격에 대한 저항성 증대, 내열성, 동결 용해에 대한 저항성 증대 등의 특성을 갖는 고품질 콘크리트 시공이 가능케 되었다.

### 2. 적용분야

각 공종별로 그 적용 특징을 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.1 Slab on grade

##### (1) 공장바닥 포장공사

중량물 취급 공장에서는 중량장비, 낙하물에 대한 충격 등으로 초기설계연한보다 짧은 주기의 반복적인 하자보수로 인하여 많은 경비가 소모되고,

\* 벽산건설(주) 기술연구소 이사  
 \*\* 벽산건설(주) 기술연구소 선임연구원

크게는 하자보수로 인한 생산 line이 중단되는 경우가 허다하다. 이러한 이유로 강섬유보강 콘크리트로 시공된 공장은 기존공법 보다 같은 조건에서 약 2배 이상의 콘크리트 수명을 연장할 수 있는 장점이 있어 장기적으로 볼 때 상당한 원가절감을 할 수 있게 되었다.

## (2) 도로, 공항 포장공사

강섬유보강 콘크리트를 포장분야에 사용함으로써 ① 포장판의 耐荷力을 높이고, ② 균열 발생을 감소시킬 수 있으며, ③ 포장두께를 줄이고, ④ 조인트 간격을 길게 잡을 수 있고 ⑤ 재포장시까지 25년이나 되는 수명연장 등의 장점이 있다. 미육군 수로시험소의 보고에 따르면 강섬유보강 콘크리트를 사용하면 포장두께는 RC포장에 비하여 1/2로 줄일 수 있으며, 고속도로, 시가지도로, 지방도로, 활주로, 공장 바닥판, 주차장, 교량바닥판 등의 신설포장 뿐만 아니라 overlay 포장 등으로 현재 많이 적용되어 사용되고 있다.

재래식의 콘크리트 포장은 자동차, 항공기 등의 차량마퀴에 전달되는 하중으로 인하여 콘크리트 포장에 높은 휨응력이 발생하며, 또한 주야 온도차로 인한 수축변형의 양이 상당하다. 이러한 것을 방지하기 위하여 콘크리트 포장에서는 포장두께를 두껍게 하고 인장철근을 배치하고 있다. 이에 반해, 강섬유보강 콘크리트는 휨강도가 보통 콘크리트보다 1.3~1.8배로 상당히 크고, 피로특성과 균열 저항성 등에서도 월등히 우수하여 강섬유보강 콘크리트를 포장재료로 사용할 경우 포장두께를 1/2정도로 줄일 수가 있다. 또한 콘크리트 포장의 이음부 간격을 보면 대개 7.5~10m 정도로 너무 좁아 주행시의 쾌적성을 저하시키고 도로손상의 원인이 된다. 이 문제도 강섬유보강 콘크리트 포장에 의하여 강섬유가 팽창수축을 제어하여 이음부간의 간격을 50m 까지 늘릴 수 있게 한다. 교량바닥판, 활주로 등에는 급격한 衝擊荷重이 문제가 되어 왔고 이러한 부분에 강섬유보강 콘크리트를 사용하여 그 단점을 해결할 수 있다. 강섬유보강 콘크리트는 2%의 강섬유 혼입으로 보통콘크리트에 비하여 5~15배 이상으로 충격하중에 대한 저항성을 갖게 된다. 특히 활주로는 제트기가 분사하는 열기로 인하여

콘크리트 포장이 많이 손상되는데, 강섬유보강 콘크리트는 내열성이 강하여 공항포장에서 최적으로 평가받고 있다. 1976년 미국 Nevada의 McCaran 국제공항에 약 52,700m<sup>2</sup> 지역에 15cm정도의 두께로 강섬유 콘크리트를 overlay하였는데, 이는 재래의 보강콘크리트를 사용할 경우 약 37.5cm 정도의 두께가 소요되는 것이었다. 이러한 우수함 때문에 1979년 Parking Ramp를 새로 시공할 때는 약 17.5cm의 두께로 포장하였고, 길이 50mm, 직경 0.8mm의 강섬유를 50.4kg/m<sup>3</sup> 사용하였고, 특히 이형 강섬유를 사용한 이 공사는 종전에 요구되던 강섬유의 양을 1/2로 줄여 강섬유 콘크리트 기술의 중요한 발전을 보여준 것으로 평가되었다.

150×150×525mm의 보에 대해 28일 휨강도가 73.4kg/cm<sup>2</sup>이였으며, 이러한 포장들은 약 158,760~351,540kg에 이르는 DC-8, DC-10 및 Boring 747에 충분히 견디어 낼 수 있는 것이다.

강섬유보강 콘크리트공사를 할 경우 단지 5cm정도의 두께도 가능한데, 기존의 아스팔트 포장으로 할 경우는 적어도 1년에 한번씩 보수공사를 해야 하며, 기존 콘크리트로는 이와 같이 얇게 덮어씌우기를 할 수 없다.

이상에서 살펴본 몇가지 예와 같이 강섬유보강 콘크리트를 사용하여 콘크리트 공사를 할 경우 종래의 콘크리트에 비하여 똑같은 강도를 얻기 위해 훨씬 적은 양의 강섬유 콘크리트를 사용함으로써 비용절감의 효과를 얻을 수 있으며, 무엇보다도 중요한 것은 기존의 콘크리트의 취약점인 인장강도와 전단강도 및 쉐어인장강도 등을 강섬유로 보강시킴으로써 높일 수 있다는 점이다. 현재로는 도로의 경우 전노선을 강섬유보강 콘크리트로 신설 포장한 경우는 아직 드물고, 단지 부분적으로 집중하중이나 손상의 우려가 예상되는 부위에 많이 쓰이고 있다.

## 2.2 Shotcrete

강섬유보강 슛크리트작업에서의 특징은 비교적 두께가 얇고 넓은 지역의 광범위한 면적을 단시간 내 시공할 수 있다는 점이다. 강섬유보강 콘크리트를 슛크리트로 사용하는 경우에는 강섬유가 고가이므로 두께를 대단히 얇게 하고 전체적인 공사비와

의 경제성, 적용대가에 따라서 선택하여야 한다. 이러한 점에서 광산이나 터널의 라이닝, 경사진 암벽의 안정화, 콘크리트 표면의 손상보수, 철골구조의 방화피복, 얇은 아치나 돔구조물에 적합하다. 강섬유보강 슛크리트의 시공범위는 대개 아래 표 1과 같다.

표 1 강섬유보강 슛크리트에 의한 시공 예

分野	적용예
鐵道	터널의 슛크리트, 라이닝이나 보수, 비탈면 대책
道路	터널의 뿔칠시공 및 보수, 비탈면 대책, 기타 부분의 보수
發電·水力	스르터널, 지하발전소공사, 트류벽, 풍화방지 대책용, 댐주 변의수벽, 댐 서어지탱크, 수로 등의 보수, 보수, 굴착, 탱크 등의 라이닝 원자력 발전소 압력용기
河川·港灣	호안·수로 등의 콘크리트 라이닝 및 보수, 토류벽, 방파제, 침식 방지벽 공사
砂防	비탈면 예책, 급경사면 대책, 암사면 등의 대책
下水·上水道	대구경관의 라이닝, 시일드 공사, 고가수조의 PS콘크리트 라이닝
橋梁	각종 보수공사, 조인트
플랜트設備	굴뚝, 탱크류의 각종 콘크리트 라이닝
鑛山關係	抗道の 뿔칠시공과 지보공, 지하탱크의 라이닝
建築關係	건축물의 보수·보강, 각종 공동구의 라이닝 작업, 각종 건축 구조물의 외벽 보수

스�크리트 사용시는 보통길이 25mm, 직경 0.8mm 정도의 강섬유를 용적률 1~2% 정도로 섞어 사용할 때 보통 콘크리트보다 신장력과 인성이 대단히 높고, 휨강도는 50~100% 정도, 압축강도는 50% 정도 증가될 수 있으며, 또한 인성과 충격 저항력은 10배 이상이나 증가한다. 강섬유보강 슛크리트의 사용은 현재 일반적으로 사용되는 기존강비로도 할 수가 있으며, 혼합과 타설장비 역시 쉽게 이용할 수가 있지만, 단지 강섬유의 측정과 분산에 필요한 몇몇 장비가 특별히 필요한 경우도 있다.

강섬유 슛크리트가 1971년에 미국에서 최초로 실험된 이래 광산협회에서 지하매설 구조물에 대한 실험과 1973년에 Idaho Ririe 댐에 터널굴착에 최초로 시공한 이후 급격히 시공실적이 늘어나게 되었고, 그에 대한 연구도 활발히 진행되어 오고 있다. 슛크리트에 강섬유를 보강시킴으로써 인성, 충격저항, 전단력, 휨강도, 신장력, 疲勞強度 등이 개선되었고, 또한 파괴형태에 있어서도 강섬유를 사용함으로써 균열발생후에도 상당한 하중을 계속 유

지할 수 있다는 이점을 가지게 된다.

대표적인 강섬유 슛크리트의 혼합비율은 아래(표 2)와 같으며, 여기에서 섬유의 양은 타설하기 전의 양이며, 일반적으로 섬유의 반발도가 골재보다 크기 때문에 벽체에 사용할 때는 적은 용적률의 섬유를 사용해야 한다.

표 2 Shotcrete의 대표적인 강섬유의 혼합비율

재료	세골재 혼합(kg/m <sup>3</sup> )	10mm골재혼합(kg/m <sup>3</sup> )
시멘트	446-558	445
모래	1,679-1,483	880-697
10mm골재		700-875
강섬유	39-157	39-150
조강제	다양하게 변함	다양하게 변함
물·시멘트비	0.40-0.45	0.40-0.45

한편, 슛크리트 타설시에 발생하는 리바운드(rebound)를 감소시키는 가장 효과적인 방법은 타설시 공기압을 낮추고(노즐에서의 공기량과 속도), 더욱 미세하고 고운 粒度를 가진 골재를 사용하며, 짧고 굵은 섬유를 사용하면서 적절한 수분을 유지시키기 위해 미리 수분을 충분히 가한 상태에서 분산시키는 방법이 요구된다(최근 외국에서는 건식공법에서도 수분을 빨리 흡수하고 부착력 증대로 rebound 감소 및 shotcrete 수밀성 골재 분리 및 bleeding 방지 등을 위하여 micro silica를 강섬유와 함께 shotcrete에 사용하고 있음).

이와 같이 시공되는 슛크리트는 사면안정 및 지하매설 구조물, 터널 및 광산, 석유 비축기지 등에 널리 이용되며, 衝擊저항력, 에너지 흡수, 결합력, 신장력에서 훨씬 좋은 효과를 거두고 있다.

### 2.3 현장타설 콘크리트

강섬유보강 콘크리트를 현장타설이나 건축물에 이용하는 예는 아직 많지 않지만, 기계기초나 구조용 패널, 웰 구조, 사이로, 取水口, 耐爆, 내진구조물 등에 사용이 가능하다. 강섬유보강 콘크리트의 이용방법으로는 a) 강섬유보강 콘크리트 단독구조, b) RC와 강섬유보강 콘크리트의 조합구조, c) 케미컬 프리스트레스의 미시구조(※)를 기대하는 3가지 케이스로 생각할 수 있는데, 특히 전단강도나 코

너부분, 접합부 등에 RC와 강섬유보강 콘크리트를 병용하는 등의 검토가 많이 이루어지고 있다. 構造·部材로 이용할 때 강도개량, 인성증가, 균열 방지, 변형 억제 등의 효과를 얻을 수 있다.

한편, 건축물에서는 칸막이벽, 내화벽, 흡음벽, 계단 등에서 단독으로 이용할 수 있고, RC부재와의 조합에 의한 고려도 주목되었다. 주로 이용 가능한 부분을 열거하면 ① 피로나 충격이 예상되는 주차장 바닥판, ② 전단보강근을 생략하고 그 대신 강섬유보강 콘크리트로 보강한 기둥, 보의 접합부, ③ 原子爐壓力容器, 냉동창고 등에 사용되어 내열성의 특성을 이용할 수 있다.

\* 케미컬 프리스트레스의 미시 구속능력이란 팽창콘크리트의 팽창변형을 철근으로 구속하여 얻어지는 것으로 部材의 단부나 얇은 단면에 주로 이용되고 있는데, 강섬유의 혼입에 의하여 미시적인 구속능력이 상당히 유리해진다.

## 2.4 댐·수리 구조물

댐의 餘水路나 압력터널 등 高速水流에 의하여 손상을 많이 받는 곳, 또한 하천에 축조된 보나 砂防댐에 있어서 상류로부터의 土砂流나 岩石에 의하여 표면에 파괴될 우려가 있는 곳의 강도 증강이나 보수공법으로 매우 유리하다.

수리구조물에 강섬유보강 콘크리트를 사용하는 주된 이유는 충격저항, 인성, 인장변형이나 파괴에 대한 저항성에서 강섬유보강 콘크리트가 적합하다는 것이다. 1975년 미국 Lower Monumental 댐과 1976년 Little Goose 댐에 플립 립(Flip Lip)이 설치될 때, 표면에 飽和水蒸氣의 空洞이 형성되는 캐비테이션(Cavitation)과 침식을 방지하기 위하여 두께 약 38~45cm 정도의 강섬유로 표면처리를 하였다. 이때 0.25×0.56×25mm의 정사각형 모양의 시트(Sheet) 섬유를 84~131kg/m<sup>2</sup>씩 약 176m<sup>3</sup>에 대해 시공하였으며, 이중 한가지에는 최대 9.5mm의 골재를 사용하였고, 나머지 하나에는 최대 19mm의 골재를 사용하였으며 감수제와 AE제를 첨가하였다.

시험결과 28일의 휨강도는 750~1,025psi(52.7~72.0kg/cm<sup>2</sup>)였으며, 압축강도 6,390~7,240psi(449×509kg/cm<sup>2</sup>) 그 뒤 2년 후의 조사결과 침식이나 어떤 형태의 손상도 일어나지 않았다고 보고

되고 있다.

## 2.5 콘크리트 제품

강섬유보강 콘크리트를 공장제품화 하면 종래의 제품에서 얻기 힘든 성능을 가지게 되는데, 예를 들면 ① 단면을 얇게 하거나, 경량화하는 것 ② 강도를 증가시키는 것, ③ 인성이나 내력성을 높이는 것 등이다. 주요 제품으로는 관류, 파이프, 프리캐스트콘크리트판, 하수탱크, 맨홀, 칼버트, 침목, 계단, 주택의 구조재 등에 사용될 수 있다.

## 3. 국내현장 적용사례

### 3.1 현대중공업 울산 터빈발전기 공장 기계기초

#### ① 개요

현대 중공업에서 건설중인 울산에 터빈발전기 공장내 총 17개의 매스콘크리트중 가로 52.6m, 세로 14.4m, 높이 8.5m인 기계기초를 포함하여 3개의 기계기초에 강섬유보강 콘크리트를 적용하여 내구성, 내마모성, 내충격성 등의 설계조건을 만족시킴과 동시에 매스콘크리트의 온도 균열 제어방법으로 성공적 시공사례로 기록되었다.

#### ② 배합비

#### ③ 분산성 조절방법

당 현장은 상기한 바와 같이 대형 project로서 1

설계강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )							W/C (%)
	시멘트	물	자갈재	굵은골재	강섬유	혼화제		
240	350	193	907	814	39	35	55	

\* 주) 강섬유의 길이: 50mm

강섬유의 폭: 0.8mm(형상비 62.5)

강섬유의 모양: 전장에 걸쳐 주름이 있는 반구형

일 타설량이 2,000m<sup>3</sup>를 상회하는 물량으로 강섬유의 혼입에 예상치 못한 어려움이 많이 발생하였다.

특히 레미콘공장 배차프랜트의 골재운반용 콘베이어 벨트에 강섬유 분산기를 설치하여 1 배치용(3m<sup>3</sup>) 골재 투입시간인 19초안에 강섬유 117kg을 인력투입하는 과정에서 많은 인력이 필요하게 되었고, 초기 무리한 인력 작업으로 강섬유의 뭉침현상

(steel fiber balling)이 발생하는 시행착오를 겪은 바 있으나, 자체 기술력으로 제작한 강섬유 투입용 특수 콘베이어 벨트설치로 이를 완전히 해소하여 강섬유 적용에서 가장 중요한 고른 분산성을 보장하여 성공적인 콘크리트 타설을 하게 되었다.

④ 타설후 결과 및 경과

매스콘크리트 타설시 가장 우려하는 온도균열의 최소화를 위한 여러방안중 적극적 방법인 강섬유보강 콘크리트를 적용한 현장으로서 타설후 12일 습윤 양생후 거푸집을 제거하고 균열을 조사한 결과 수화열에 의한 온도균열은 발견되지 않았으며, 따라서 강섬유보강 콘크리트를 적용하여 수화열에 의한 온도균열을 최소화할 수 있었던 것으로 판단하고 있다.

3.2 서울경금속(주) 남동공장 신축현장 - 공장바닥포장

1) 개요

인천 남동공단내 부지 30,000㎡ 규모에 알루미늄 가공공장 신축현장 공장바닥 포장공사에 강섬유보강 콘크리트의 피로저항성 증대, 내충격성, 내마모성 및 내구성 증대 효과를 기대하고, (주)비인에서 적극 설계에 적용하여 (주)강산건설에서 시공을 하였다.

2) 배합비 및 강섬유의 종류

- ① 강섬유 혼입량 25kg/m<sup>3</sup>
- ② 사용 강섬유의 길이 50mm
- ③ 사용 강섬유의 두께 0.8mm(형상비 62.5)
- ④ 사용 강섬유의 모양 : 전장에 걸쳐 주름이 있는 반구형
- ⑤ 설계 요구강도 : 압축강도 240kg/cm<sup>2</sup>
- ⑥ 포장 두께 : 300mm

3) 분산성 조절방법

길이 8m의 콘베이어 벨트를 이용 30kg/min의 속도로 레미콘 트럭 hopper에 강섬유를 직접 투입하면서 믹서를 약 5분간 고속회전 시킨 후 펌프카를 이용하여 타설한 결과 고른 분산을 확인할 수 있었다.

4) 타설후 결과

콘크리트 타설후 진동스크리드를 이용하여 마감처리를 하였으며, 설계 당시 염려되었던 강섬유의 표면노출을 발견치 못하였으며, 하드너 미장 마감용 휘니샤 시공에 전혀 지장을 주지 않았다.

3.3 서울지하철 6-6공구 - 슛크리트 보강

1) 개요

쌍용건설(주)에서 시공중인 서울지하철 6-6 공구 내 살피재 역 대단면 지하굴착 보강 슛크리트 공사에 Wire-Mesh 보강 대신 강섬유를 적용 시공중에 있다. 이는 슛크리트공법의 대혁신으로 이미 유럽 및 미주 등지에서는 약 20여년 전부터 시공사례가 나오고 있는데 국내는 오히려 늦은 감이 있으나, 한국도로공사에서 1996년 발주공사부터는 강섬유보강 슛크리트 공법이 채택되어 중앙고속도로 전구간 터널공사에 적용되는 등 향후 국내 토목공사의 기술발전 및 고품질 시공이 기대된다.

계	요	건 식	습 식	비 고
시	멘	400~450	420~460	
자	갈	500	480	MAX 13mm
모	래	1,170	1,120	
강	섬	40~60	40~60	
W	/	0.4	0.45	
급	결	C의 5%	C의 5%	
유	동	-	4l~6l	
감	수	-	2l	

단, 현장에서 품질관리나 시공조건, 타설장비 여건 등을 고려하여 수시로 수정 배합 함으로써 목적달성을 위한 지속적인 품질관리가 요구된다.

2) 배합비 및 설계강도

① 표준배합비

② 강도 기준

- 압축강도(kg/cm<sup>2</sup>)

- 8시간 55kg/cm<sup>2</sup>이상
- 1일 100kg/cm<sup>2</sup>이상
- 3일 140kg/cm<sup>2</sup>이상
- 7일 210kg/cm<sup>2</sup>이상
- 28일 280kg/cm<sup>2</sup>이상

- 휨강도(kg/cm<sup>2</sup>)

7일 28kg/cm<sup>2</sup>이상

28일 42kg/cm<sup>2</sup>이상

### ③ 분산성 조절방법

초기 견식 슛크리트 시공시 길이 1.5m 콘베이어 벨트식 강섬유 분사기를 자체 제작하여 슛크리트기 Aliva 280에 부착하여 혼입하였으나 습식공법으로 변경시공함에 따라 현장에서 Car Mixer 장비를 이용하여 슛크리트 재료를 비빔으로 고른 분산성을 유지하고 있다.

단, car mixer에 재료 혼입순서를 간략하게 기술하면

1. 조골재를 먼저 혼입하고
2. 강섬유를 투입한 후 1-2분 믹서드럼을 회전시킨후
3. 모래 및 시멘트를 투입하고 다시 1-2분 믹서드럼을 회전시킨다.
4. 물과 유동화제를 넣고 약 20분 이내로 믹싱한다.

※ 단, 위 믹싱시간이 너무 길다고 느껴질 때 시공사는 점차 믹싱시간을 줄일 수 있으나 최소 10분 이내는 불가하다.

### ④ 타설후 경과

강섬유 보강스�크리트 공법에서 가장 염려하는 점은 타설후 표면에 강섬유의 노출로 인한 방수문제가 있으나 이는 마감면에 Flash Coat 슛크리트를 10mm ± 2mm 정도 시공함으로 해결할 수 있으나 이는 각 현장조건에 따라 무시하여도 무방하다.

또한 당 공구에서는 각 구간별 품질관리를 위하여 압축 및 휨강도 시험을 철저히 수행하고 있으며, 모두 기준설계값을 상회하고 있어 관련자 모두 매우 만족하고 있다.

## 4. 결 론

강섬유보강 콘크리트는 여러가지 우수한 특성을 갖는 건설 신소재이나 이의 우수한 특성을 효율적으로 확보하기 위해서는 강섬유보강 콘크리트 타설시 강섬유가 콘크리트 모체내에서 골고루 분산되어질 수 있어야 한다. 분산성이 보장되지 않을 경우 파생되는 여러 문제점으로 그동안 국내 보급에 상당한 장애요인이 있었던 것을 회고해 보면, 그 중요성이 인식될 수 있다. 필자는 강섬유의 골고른 분산을 위하여 자체 기술력으로 제작한 콘베이어 벨트를 실제현장에 설치하였으며, 그 결과 성공적인 강섬유의 분산확보와 강섬유 뭉침(steel fiber balling)을 피할 수 있었다.

초기 도입단계에 강섬유보강 콘크리트에 대한 인식이 미비하여 현장 실무자들과의 불협화음, 거부감 등이 많이 있었던 것은 사실이나 단기적인 이익제고보다는 장기적으로 우수한 건설 신소재를 만드실 국내에 적용, 활성화하고자 하는 실험정신으로 국내현장에서 수고하신 실무자들의 노력에 감사하며, 앞으로도 강섬유보강 콘크리트에 대한 체계적이고 실제적인 연구 및 현장 적용이 있기를 기대한다. □