

纖維콘크리트의 特性과 利用

吳 炳 煥

〈서울大 土木工學科教授·工學博士〉

〈차 례〉

1. 머리말
 - 1.1 纖維콘크리트의 定義
 - 1.2 纖維콘크리트의 歷史
2. 纖維콘크리트의 製造
 - 2.1 纖維의 種類
 - 2.2 纖維콘크리트의 配合과 타설
3. 纖維콘크리트의 力學的 特性
 - 3.1 압축강도
 - 3.2 인장강도
 - 3.3 휨강도
 - 3.4 動的強度
 - 3.5 疲勞強度
 - 3.6 耐久性
 - 3.7 纖維의 부식문제
 - 3.8 크리프동 및 기타
4. 纖維콘크리트의 利用
 - 4.1 水理 및 항만구조물
 - 4.2 도로 및 공항포장
 - 4.3 터널
 - 4.4 폭발저항구조물
 - 4.5 고온구조물
 - 4.6 건축구조물
 - 4.7 섬유콘크리트의 構造的 利用
 - 4.8 기타
5. 纖維콘크리트에 대한 종합검토와 展望

1. 머리말

1.1 纖維콘크리트의 定義

纖維콘크리트란 콘크리트의 제반 力學的 性質을 改善 및 補強하기 위하여 不連續的이며 短狀의 纖維材料를 不規則한 배열로 콘크리트속에 分散시켜 넣은 것을 말한다.

1.2 纖維콘크리트의 歷史

취성재료의 성질을 개선하기 위하여 纖維를 사용하기 시작한 것은 아주 오래전부터의 일이다. 흙벽돌에 짚을 넣어 사용하거나, 말총등이 사용된 것이 그러한 예가 된다.

A. Berard는 콘크리트속에 강재부스러기를 혼입함으로써 섬유콘크리트에 대한 최초의 특허를 얻었다. 그후 1918년 Alfsen은 작고 긴 섬유를 콘크리트속에 균일하게 혼합함으로써 인장강도를 증가시킬 수 있는 공정을 개발하였다. 그후에도 각 나라에서 많은 노력이 이루어졌으며 섬유의 종류도 다양하게 개발되어 왔다. 유리섬유는 1950年代 후반 소련에서 처음으로 시도 되었으며, 영국에서는 알칼리에 저항성이 있는 유리섬유를 생산하게 되었다. 鋼섬유는 1910년부터 시작하여 1960년대 초 미국의 Romualdi와 Batson에 의하여 주요한 利用可能性이 제시되었다. 즉, 최근의 섬유콘크리트의 개발은

1960년대부터 급속도로 발전되기 시작한 것이다.

2. 纖維콘크리트의 製造

2.1 纖維의 種類

(1) 鋼纖維

圓形鋼纖維는 0.25~0.76mm의 직경을 가진 wire를 잘라서 생산하며 平形鋼纖維는 두께 0.15~0.41mm, 幅 0.25~0.90mm 정도의 薄板을 자르거나 wire를 펴서 제작한다.

(2) 유리섬유

유리섬유는 보통 0.005~0.015mm의 직경을 가지며 0.013~1.3mm로 생산하기 위하여 몇개를 결합하기도 한다. 시멘트풀이 알칼이성이므로 化学적으로 불안정하여 시간에 따라 强度의 손실을 초래할 수도 있다. 따라서 알칼리저항 유리섬유를 사용하거나 유기물로 코팅하여 사용하기도 한다. 전형적인 유리섬유의 인장강도는

1035~4000MPa이며 탄성계수는 69,000MPa정도이다.

(3) 有機物 섬유

나일론, 폴리에틸렌, 폴리에스터, 레이온 등으로 대략 직경이 0.02~0.38mm이다. 가볍고 화학적으로 安定하며, 가격면에서 저렴하지만 結合력이 약하고, 탄성계수가 낮다. 그러나 충분한 混入率(volume ratio 7%정도)만 얻을 수 있다면 광물성 및 금속성의 섬유를 대체할 수도 있다.

(4) 石綿 섬유

포틀란트 시멘트와 훌륭하게 섞여져 섬유보강 콘크리트의 하나인 石綿 시멘트로서 가장 널리 利用되고 있다. 석면의 부존량이 풍부하고, 값이 싸며, 기계적 열역학적 및 化学적으로 安定하여 보편적이지만, 섬유의 길이가 짧아 (10mm 정도), 脆性 거동을 하며 충격강도가 낮은 편이다.

여러 종류의 섬유들에 대한 諸般性質들을 비교하면 표1과 같다.

표 1. 各種 섬유의 諸般特性

纖維 種類	직 경 (μm)	比 重	탄 성 계 수 (GPa)	인 장 강 도 (GPa)	파괴시변형도 (%)
貴 橄 欖 石	0.02 ~ 20	2.55	164	3.1	2 ~ 3
青 石 綿	0.1 ~ 20	3.37	176	3.5	2 ~ 3
폴 리 프 로 필 렌	20 ~ 200	0.09	5 ~ 10	0.5	10 ~ 20
나 일 론	> 4	1.14	4	0.9	~ 15
사 이 살 草	10 ~ 50	1.5	5 ~ 10	0.8	~ 3
유 리	9 ~ 15	2.6	80	2 ~ 4	2 ~ 3.5
鋼	5 ~ 500	7.8	200	1 ~ 3	3 ~ 4

2.2 纖維콘크리트의 配合 및 타설

纖維콘크리트의 配合는 作業의 要求 條件과 可用한 설비능력에 따라 플랜드벳취작업, 레미콘 또는 용량이 작을 경우 手作業으로 配合할 수 있다. 配合時 무엇보다도 重要한 것은 섬유를 고르게 분산시키는 것이며 섬유의 재료분리나 뭉치는 것을 방지하도록 해야 한다.

섬유의 배합에 영향을 미치는 要求로는 aspect ratio(섬유의 길이와 직경의 比), 섬유량, 조골재의 크기, 골재의 粒度 및 量, 물-시멘트 比 그리고 配合方法等이다. 즉, aspect ratio, 섬유량 및 골재크기가 커질수록 혼합물이 뭉칠 가능성이 커지게 된다. 균질한 配合를 위해서 aspect ratio가 100이하가 되는 것이 바람직하며, 섬유량도 2%이하일 때 배합이 용이하다. 바람직한 配合를 위해서는 물-시멘트 比가 0.4~0.6%가 적당하며, 시멘트량은 250~430kg/m³가 섬유혼합을 좋게 한다. 섬유콘크리트의 전형적인 配合表가 表 2에 表示되어 있다.

표 2. 섬유콘크리트의 전형적인 配合例

시멘트	250~430kg/m ³
W/C 比	0.4~0.6
모래-골재 比	0.5~1
최대골재치수	10mm
공기량	6~9%
섬유량	0.5~2.5%

섬유의 혼입을 고르게 할 수 있는 배합의 일반적인 순서는 다음과 같다.

먼저 잔골재와 굵은골재를 믹서안에서 섞은 다음에 섬유를 섞는다. 섬유를 넣을 때의 배합속도는 12rpm정도가 적당하다. 섬유를 넣은 후에는 시멘트와 물을 함께 넣든가 또는 시멘트를 먼저 넣고 물을 넣는다. 또다른 배합방법으

로는 섬유와 골재를 믹서에 넣기전에 콘베어벨트 위에서 섞은 다음에 믹서에 넣는 방법이다. 상기의 방법들 이외에도 골재와 배합수의 일부를 넣은 다음에 섬유를 혼합하고 그후에 시멘트와 나머지물을 넣어 혼합하는 방법을 사용하기도 한다. 실험실에서 작은 양을 배합할 경우에는 섬유를 철망태에 넣어 흔들므로써 섬유를 분산시켜 배합할 수도 있다. 섬유를 혼합하는 작업을 할 경우에는 보호용 장갑과 안경을 착용하는 것이 좋으며 작은 갈퀴와 막대기를 준비하여 섬유의 엉킴을 풀어주어야 한다.

섬유콘크리트는 타설시 다짐을 위하여 내부진동보다는 외부진동을 주는 것이 섬유의 재료분리를 방지하는데 효과적이다. 섬유 콘크리트의 타설작업시 섬유의 존재로 인하여 삽의 사용이 어려우며 따라서 포크나 갈퀴로 작업하는 것이 용이하다. 섬유콘크리트의 마감작업을 할 때에는 섬유가 끌려나오지 않도록 주의해야 하며 특히 burlap으로 표면을 처리할 때 섬유가 뿜어나오기 쉽다.

섬유량이 1%이하일 때는 펌핑에 의하여 섬유콘크리트를 쉽게 타설할 수 있으나, 섬유량이 많을 경우에는 특별한 고려를 하여야 한다. 포장용콘크리트를 타설할 때에는 슬릿폼을 이용

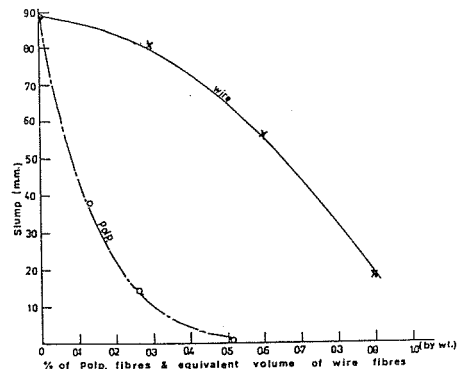


그림 1. 섬유량에 따른 슬럼프의 변화

하여 타설할 수 있으며, 물론 고정된 거푸집도 사용되고 있다. 섬유 혼입율이 많아질수록 일반적으로 워커빌리티는 감소하게 된다. 그림 1은 폴리프로필렌섬유와 와이어섬유를 사용했을 때 섬유 혼입율이 많아짐에 따라 슬럼프가 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 폴리프로필렌섬유를 사용한 경우가 슬럼프손실이 더욱 큼을 알 수 있다.

3. 纖維콘크리트의 力學的 特性

섬유콘크리트는 섬유의 혼입으로 인하여 보통 콘크리트보다 일반적으로 개선된 역학적 특성들을 지니고 있다. 이러한 力學的 性質에 영향을 미치는 因子들로는 纖維의 混入率, 섬유의 形狀 및 分布뿐만 아니라 물-시멘트比, 密度 등 여러 變數들로 알려져 있다.

섬유콘크리트의 일반적인 거동은 하중의 증가에 따라 변형이 선형으로 증가하는 比例限度部分과 그후에 균열의 발생으로 인하여 非線型 거동을 하는 2個의 구간으로 나누어 생각할 수 있다. 初期균열강도를 예측하기 위하여 그동안 두가지의 概念이 제안되고 있다. 그 하나는 섬유의 간격을 개념으로 하는 理論과, 또 하나는 섬유의 量, 方向 및 aspect ratio에 근거를 둔 混合體概念이다. 섬유콘크리트의 극한강도는 섬유간격에 의해서는 별 영향을 받지 않으나, 섬유량과 aspect ratio에는 영향을 많이 받는다.

Romualdi & Batson은 모르타의 인장강도를 증가시키기 위하여 와이어의 간격을 조밀하게 하여 균열의 전파를 억제하는 효과를 얻는 연구를 수행하였다. 그림 2는 와이어간격이 작아짐에 따라 초기균열강도가 커지고 있음을 보여주고 있다.

섬유와 콘크리트가 混合되어 있다고 생각하는 合成材料概念은 部材의 最大荷重을 예측하는데 적절하며, 또 실제로 섬유의 混入量과 aspect ratio가 이 最大荷重에 직접적인 영향을

준다. Aspect ratio가 150이하에서는 aspect ratio가 증가할수록 最大荷重을 증가시킨다. 이러한 실험결과에 근거한 合成材料의 極限強度 계산은 다음식에 의하여 계산할 수 있다.

$$S_c = AS_m(1 - V_f) + BV_fL/d \dots \dots \dots (1)$$

여기서, S_c 는 섬유콘크리트의 응력이고, S_m 은 매트릭스 즉, 모르타르나 콘크리트의 응력이며, V_f 는 섬유의 체적률, L 은 섬유의 길이, d 는 섬유의 직경을 뜻한다. A 와 B 는 실험자료로부터 얻어지는 계수이며 A 의 最大값은 1이다. B 는 섬유와 콘크리트사이의 부착강도에 따라 달라진다.

섬유콘크리트의 탄성계수는 다음식에 의해 계산될 수 있다.

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \dots \dots \dots (2)$$

여기서 E_c , E_f , E_m 은 각각 섬유콘크리트, 섬유, 그리고 매트릭스(콘크리트)의 탄성계수이며 V_m 은 매트릭스의 체적률이다.

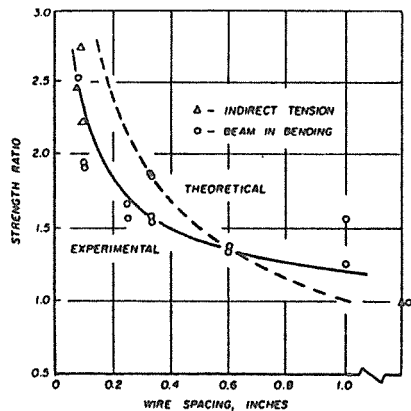


그림 2. 섬유간격에 따른 強度의 比

3.1 압축강도

섬유의 混入率이 증가함에 따라 일반적으로 압축강도가 현저히 증가한다. 그림 3은 鋼섬유 혼입량에 따른 압축강도의 증가현상을 보여주고 있다. 여기서 Series No.1은 모르타이고,

표 3. 各 Series 別 配合表

Series Number	Cement (lbs.)	Aggregate (lbs)			Water (lbs.)	W/C	Slump (in.)
		Sand	3/8 in. max.	3/4 in. max.			
1	794	2,282	0	0	484	0.61	6~7 in
2	950	1,368	912	0	522	0.55	9
3	955	1,375	0	917	516	0.54	4

註 : 1 lbs = 0.4536 kg, 1 in = 25.4 mm

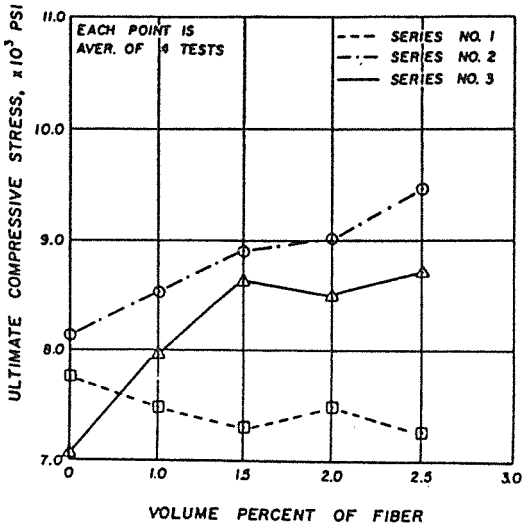


그림 3. 鋼纖維 증가량에 따른 압축강도의 변화

Series No.2 는 굵은골재의 최대치수가 9.5mm이고, Series No.3 는 굵은골재의 최대치수가 19mm인 콘크리트를 意味한다(表 3의 배합표를 참조요망).

이 그림 3에서 볼 수 있는 특징은 모르타린 경우 섬유혼입에 따라 압축강도가 오히려 감소하는 추세가 있다는 사실이다. 그러나 9.5mm 정도의 작은 골재를 사용한 경우 섬유량에 따라 강도가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 모르타린 경우 강도가 감소된 원인은 물-시멘트비

가 높기때문일 가능성이 크다. 즉, 물-시멘트비가 증가함에 따라 강도증가율이 현저하게 감소하게 된다. 섬유의 혼입에 따른 또 한가지 특징은 최대응력부분에서 콘크리트의 延性을 증가시킨다는 사실이다. 이것은 다음의 인장 및 휨 강도부분에서도 토의되겠지만, 연성의 증가는 콘크리트구조물의 효용성을 높여주는 좋은 성질인 것이다.

3.2 引張強度

섬유의 分布와 方向은 인장강도보다도 균열전파에 대한 저항에 더 큰 영향을 미친다. 작용 응력에 수직으로 배열된 섬유는 매트릭스 素材의 인장강도가 초과된 후에 전혀 저항을 하지 못하며, 平行하게 배열된 섬유는 불규칙하게 분포된 것 보다는 30% 정도의 증대된 인성을 나타낸다.

引張荷重을 받을 때 脆性매트릭스材料의 변형도는 섬유에 비해 상당히 작으므로 매트릭스 소재가 먼저 균열을 일으키기 시작한다. 이 경우에 콘크리트는 전체적인 균열전파가 일어나거나 [그림 4 (a)의 경우], 또는 균열면에서 섬유가 뿔힘으로 인한 後龜裂저항이 생겨, 인장강도의 증가는 없지만 콘크리트 韌性(toughness)이 상당히 증가한다[그림 4 (b)의 경우]. 그러나 콘크리트와 섬유와의 가장 적절한 상호작용

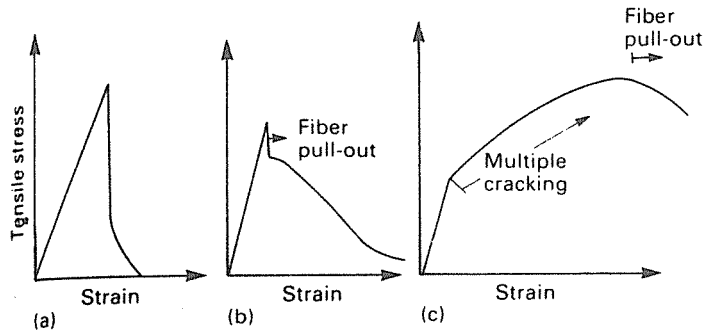


그림 4. Three possible composite stress-strain curves for fiber reinforced brittle matrices

은 매트릭스素材의 균열後에도, 함유된 섬유로 인하여 인장강도를 증대시키고 最大應力 및 最大變形度를 매트릭스素材自體의 그것들 보다 크게 높이는 경우가 할 수 있다. [그림 4 (c)의 경우]

그림 5는 鋼섬유혼입량의 증가에 따른 인장강도의 증가현상을 보여주고 있다. 즉, 섬유량이 많아짐에 따라 그리고 aspect ratio가 커짐에 따라 인장강도가 증가하고 있다. 그림 6은 aspect ratio가 커짐에 따라 引張強度가 증가하는 현상을 보여주고 있다. 이러한 引張強度 증가현상과 유사하게 최대應力에서의 變形度도 섬유량이 증가함에 따라 증가하게 된다.

그림 7은 鋼섬유의 간격이 줄어들에 따라 인

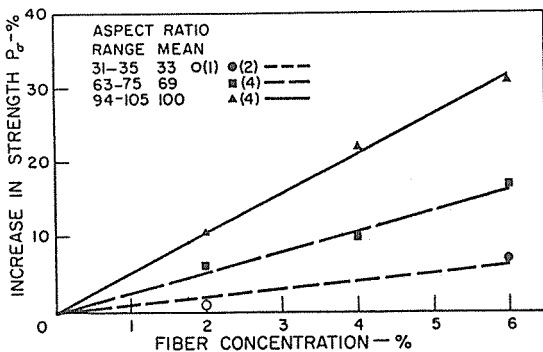


그림 5. 강섬유혼입량에 따른 인장강도의 증가 현상

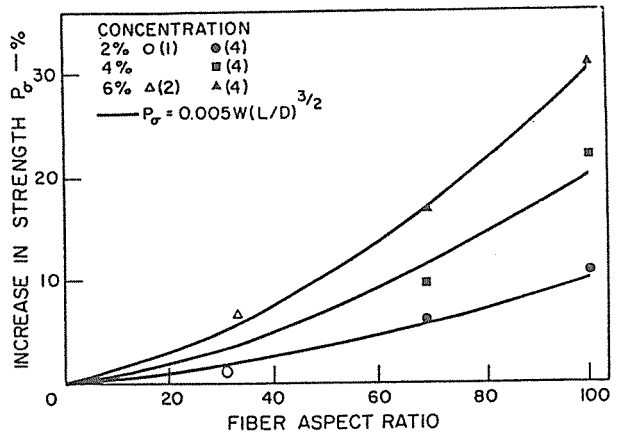


그림 6. 鋼纖維의 Aspect ratio에 따른 引張強度의 증가 현상

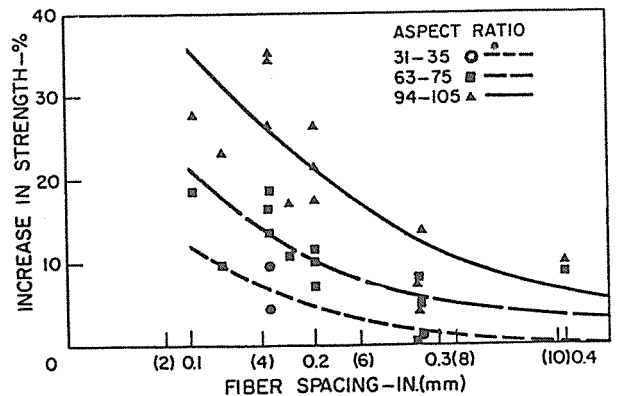


그림 7. 鋼纖維간격에 따른 引張強度의 變化

장강도가 증가하는 현상을 보여주고 있다. Griffith의 理論에 있어서도 간격을 줄이는 것은 限界 흠(critical flaw)을 줄이며 인장강도를 증가시키는 것으로 나타나 있다. 그러나 그 영향은 작은 간격보다는 큰 간격일 때 더욱 크며 25mm 보다 작은 간격에 대해서는 영향이 거의 없다. 이는 시멘트풀로 섬유표면을 고루 덮을 수 없고, 또한 치밀하고 均一한 組織을 얻기가 어렵기 때문이다.

3.3 휨강도

纖維의 混入率을 증가시키면 強度와 靱성이 증가되는 것은 前述한 바와 같다. 특이할 만한 사실은 1.25%의 鋼纖維혼입율에 대하여 강도에 있어서는 무근콘크리트의 약 2배 정도의 증가를 가져오는 반면에 인성에 있어서는 약 20배의 증가를 가져온다. 그러나 혼입율 3%까지는 휨강도의 증대를 볼 수 있으나 4.5% 이상이 되면 오히려 감소하는 경향이 있다.

Asbesto 섬유는 콘크리트체적의 2~16%까지 혼입함에 따라 약 1.6배까지의 강도증가를 가

져온다. 이 asbestos 섬유는 건강에 해로운 것으로 알려져 있으므로 작업시 주의를 요하도록 해야 한다.

유리섬유콘크리트에 대한 연구도 많이 수행되어 왔으며 콘크리트의 품질을 개선하는 것으로 알려져 있다. 유리섬유의 한가지 문제점은 콘크리트내에 존재하는 알칼리성분으로 인하여 化學적으로 불안정해진다는 점이다. 따라서 알칼리저항성 유리섬유가 개발되어 사용되고 있다 또는 유리섬유를 코팅하여 알칼리에 저항하도록 하기도 한다.

그림 8은 유리섬유콘크리트의 휨強度를 실험한 결과인데, 유리섬유량이 많아짐에 따라 휨강도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 중량백분률로 0.75%의 유리섬유량을 첨가했을 때 최대강도가 나타나는 현상을 볼 수 있다. 즉 유리섬유의 혼입이 어느정도 이상을 넘으면 그 효과가 감소함을 알 수 있다.

그림 9는 유리섬유의 혼입량에 따른 콘크리트 압축강도의 변화양상을 보여주고 있다. 여기서도 휨의 경우와 유사한 경향을 보여주고 있다.

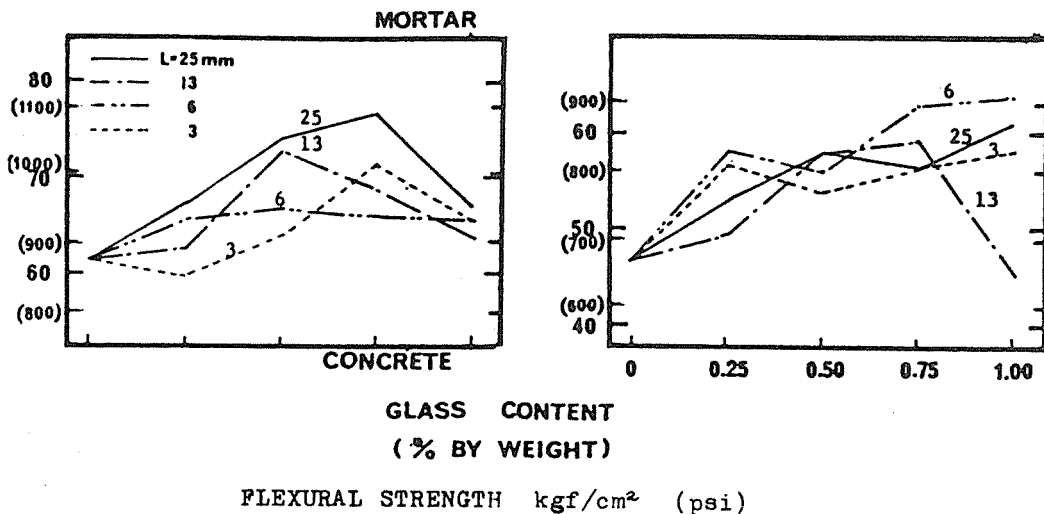


그림 8. 유리섬유 혼입량에 따른 휨강도의 변화

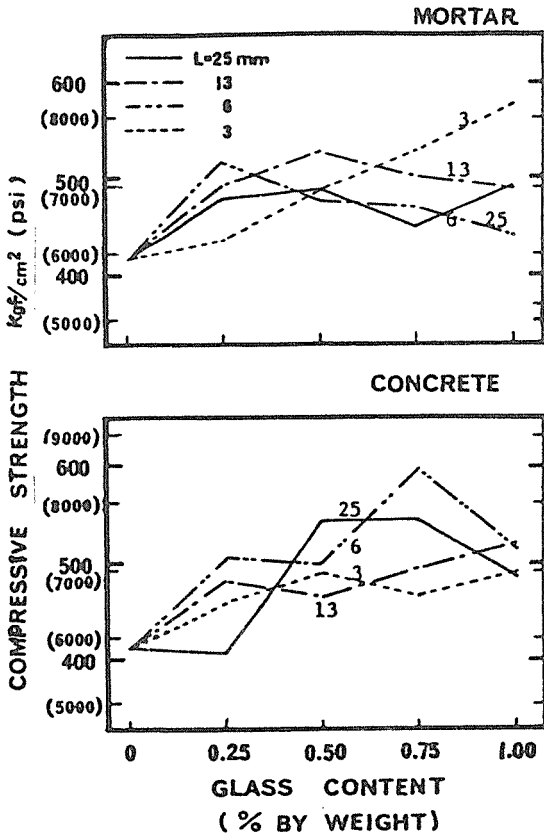


그림 9. 유리섬유 혼입량에 따른 압축강도의 변화

3.4 動的 強度

纖維콘크리트의 動的強度는 일반적으로 보통 콘크리트의 그것에 비해 5배 내지 10배나 큰 것으로 나타나고 있다. 섬유의 存在로 인하여 파괴시까지 많은 에너지가 소요되므로 동적 및 충격강도를 크게 한다. 또한 섬유혼입으로 인해 콘크리트가 떨어져 나가는 가능성이 상당히 줄어 든다.

그림 10은 鋼섬유의 혼입량에 따른 충격강도의 상대적인 比를 보여주고 있다. 즉, 이 그림에서 보듯이 鋼纖維콘크리트의 충격강도는 無筋콘크리트의 그것보다 2~10배가 큼을 알 수 있다.

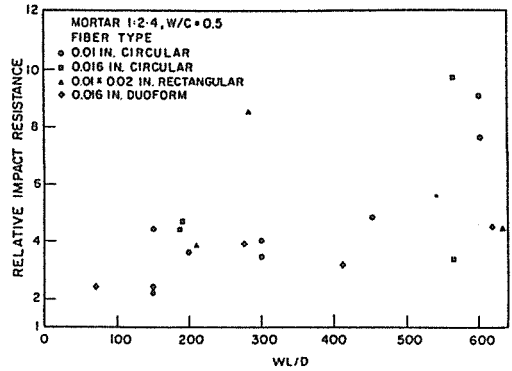


그림 10. 섬유량에 따른 충격저항의 變化

3.5 疲勞強度

일반적으로 鋼纖維의 혼입량이 증가함에 따라 피로강도가 증가한다. 鋼纖維콘크리트의 피로강도는 피로수명 2×10^6 cycle에서 정적강도의 90%이고, 10×10^6 cycle에서는 정적강도의 50%인 것으로 나타나고 있다. 이 경우 피로하중 형태는 nonreversal type이었으며, reversal type(逆荷重)의 荷重下에서는 2×10^6 cycle에서 정적강도의 73%로 나타났다. 상기 실험 결과들은 鋼纖維의 混入率이 2~3%일 경우에 나타난 결과들이다. 초기에 약간의 반복하중을 받고 난후의 정적하중도는 반복하중을 전혀 받

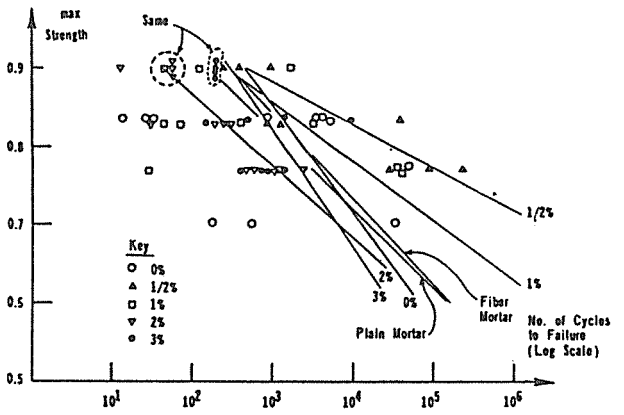


그림 11. Results of Low Cycle High Stress Fatigue Tests

지 않은 경우보다 오히려 약간 증가하는 것으로 나타나고 있는데, 그 理由는 이 반복하중이 초기에 건조수축으로 인해서 생긴 잔류 응력을 감소시키기 때문인 것으로 설명되고 있다.

그림 11은 원형와이어섬유로 混入한 콘크리트의 섬유량에 따른 피로강도실험결과를 보여주고 있다.

3.6 耐久性

鋼, 石綿, 有機物 纖維等은 시멘트풀 내에서 化學的으로 안정하다. 시멘트풀의 알칼리성으로 인하여 부식을 막아 주지만 균열이 발생할 경우 손상을 받을 수 있다.

유리섬유는 알칼리의 영향으로 化學的으로不安定하기 때문에 알칼리저항성 유리를 사용하거나 유리섬유를 코팅처리하여 사용한다.

3.7 纖維의 부식문제

鋼纖維콘크리트에 대한 부식문제에 대한 研究는 그리 많지 않은데, 몇가지 연구결과에 의하면, 2%의 강섬유를 사용한 경우 염분에 대해 부식이 별 문제가 되지 않음을 시사하고 있다. 강섬유콘크리트를 90일동안 포화염수속에서 회전시키며 담근후 휨강도실험을 수행한 결과 강도변화가 없음을 발견하였다.

3.8 크릴거동 및 기타

섬유보강콘크리트의 크릴거동은 그 研究事例가 극히 적은 편인데 지금까지의 研究結果로는 섬유로 인한 영향이 크지는 않은 것으로 나타나고 있다.

鋼纖維콘크리트의 熱전도율은 섬유량에 따라 약간 증가하는 것으로 보고되고 있다.

섬유콘크리트의 마모저항도 보통 콘크리트보다는 약간 큰 것으로 나타나고 있다. 또한 마찰 및 미끄럼저항도 섬유 콘크리트의 경우가 약간 큰 것으로 알려져 있다.

4. 纖維콘크리트의 利用

지금까지 서술한 바와 같이 섬유콘크리트는 여러가지 좋은 성질들을 가지고 있으며 이 특징적 성질에 따라 각 분야에 다양하게 利用되고 있다.

4.1 水理 및 항만구조물

纖維콘크리트는 우수한 충격저항, 인성, 인장강도 및 피로강도를 가지고 있기 때문에 高速의 水流 및 空洞現象에 훌륭하게 對應하며, 공기-수분의 상호작용에 의한 부식에도 강하기 때문에 댐, 배수로, 방파제 등에 널리 利用될 수 있다.

4.2 도로 및 공항포장

섬유를 콘크리트포장에 利用할 수 있으며 포장의 두께를 감소시킬 수 있고 포장슬래브의 연결길이를 보통경우보다 2~3배정도 증가시킬 수 있다.

그림 12는 鋼纖維콘크리트로 포장된 도로를 보여주고 있다.

그림 13은 주차장 슬래브콘크리트의 새포장을 섬유콘크리트로 시공하고 있는 광경이다.

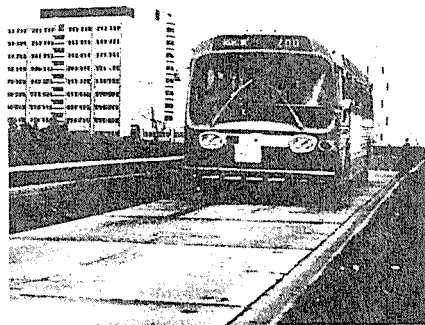


그림 12. 鋼纖維콘크리트포장

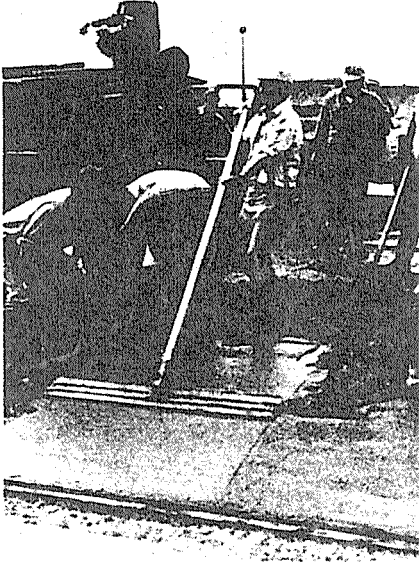


그림 13. 주차장 슬래브를 강섬유콘크리트로 시공하는 광경

4.3 터 널

새로 굴착된 터널의 암벽주위에 섬유콘크리트를 분무함으로써 암벽을 보강할 수 있다. 이러한 Shotcrete는 암석의 조인트나 균열간 곳들을 메꿈으로써 암벽을 강하게 한다.

그림 14는 터널을 Shotcrete로 Lining한 장면을 보여 주고 있다.

Shotcrete는 또한 斜面의 安定을 위하여 사

용되기도 한다. 그림 15는 암석으로 된 斜面을 鋼纖維콘크리트로 安定처리한 것을 보여주고 있다. 섬유콘크리트의 이러한 이용은 시공기간을 1/3까지 단축할 수 있으며, 비용면에서도 경제적이기 때문에 보강용 와이어메쉬의 대체재로도 이용된다.

4.4 폭발저항구조물

폭발에 의한 압력과(Pressure wave)는 構造物內에 아주 복잡한 應力狀態를 유발한다. 따라서 압축, 인장 및 전단등의 복잡한 응력상태에서는 이들을 効果的으로 받을 수 있는 섬유콘크리트가 적당하다. 특히 충격을 받는 구조물

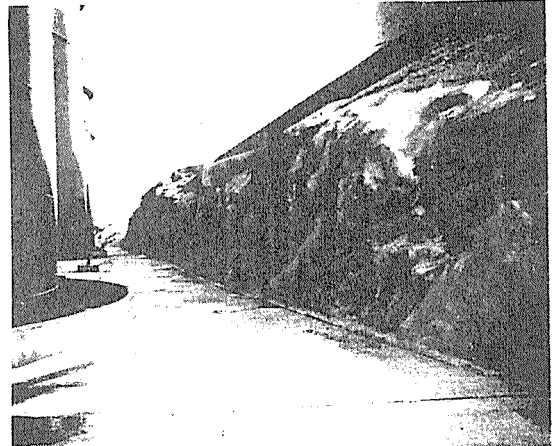


그림 15. 암석斜面을 섬유콘크리트로 lining 한 장면

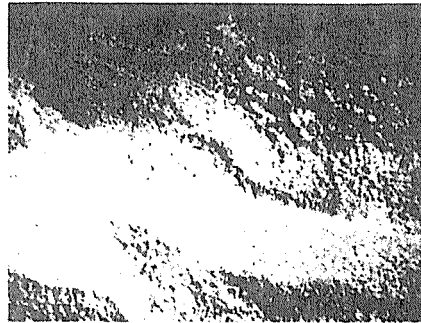


그림 14. 터널을 섬유콘크리트로 Shotcrete 하는 장면

은 충격에너지의 흡수력이 큰 섬유 콘크리트가 효과적으로 利用될 수 있다. 섬유콘크리트의 특징은 最大荷重에 도달된 後에도 상당한 變形까지 견딜 수 있다는 사실이며 즉, 이것은 에너지의 흡수력이 상당하다는 것을 意味한다. 따라서 섬유콘크리트는 연성과 인성이 크게 요구되는 각종 특수구조물에 적합하다.

4.5 高温 構造物

高温의 熱荷重을 받는 콘크리트구조물은 스테인레스섬유로 보강함으로써 균열 등에 저항하여 구조물의 파괴를 상당히 지연시킬 수 있다. 고온으로 인해 섬유가 산화되더라도 온도가 낮은 바깥쪽은 아직도 상당한 저항능력을 가지므로 균열의 전파를 억제하게 된다.

4.6 건축 構造物

섬유를 콘크리트내에 균일하게 분포시킴으로써 等方性的의 強度를 갖게 되므로 얇고도 평평한 구조물을 만들 수 있으며, 또한 휘어지거나 구부러진 曲面셴을 만들 수 있다. 이와같이 단면 두께가 줄어들음으로서 自重을 줄일 수 있는 二重의 效果가 있게 된다.

섬유콘크리트가 건물구조에 적용된 例는 상당히 많이 있다. 그림 16은 유리섬유콘크리트로 된 패넬을 부착한 건물을 보여주고 있다.

그림 17은 프리캐스트 벽패넬로서 철근 콘크리트에 합성섬유를 함께 넣어 창고의 바닥슬래브로 사용되는 것을 보여주고 있다. 이와 같은 섬유의 혼입은 충격과 균열에 저항력을 주어 내구성이 높은 부재를 만들게 된다.

그림 18은 폴리프로필렌섬유를 넣어 만든 지붕플레이용 부재를 보여 주고 있다.

4.7 纖維콘크리트의 構造의 利用

섬유콘크리트는 철근콘크리트構造部材에도 效果的으로 利用될 수 있다. 즉, 鋼纖維를 철근

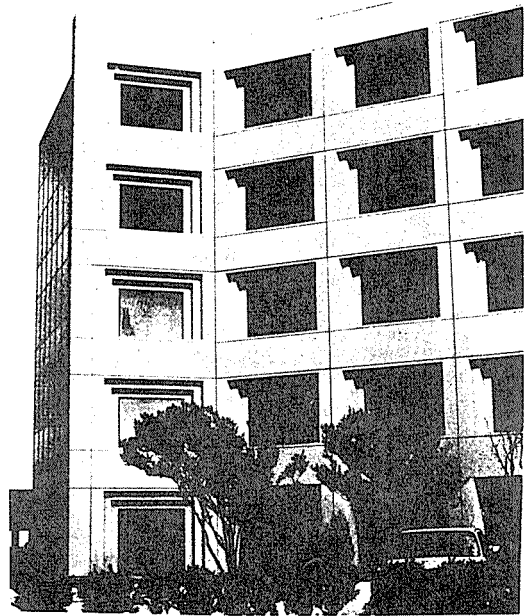


그림 16. 유리섬유 콘크리트로 만든 프리캐스트 패넬을 시공한 광경

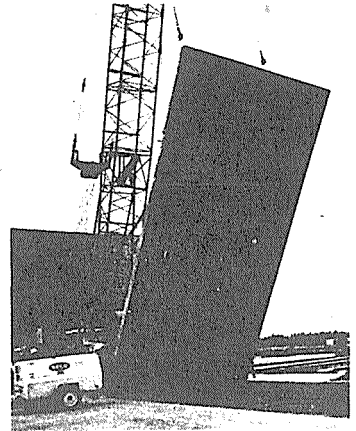
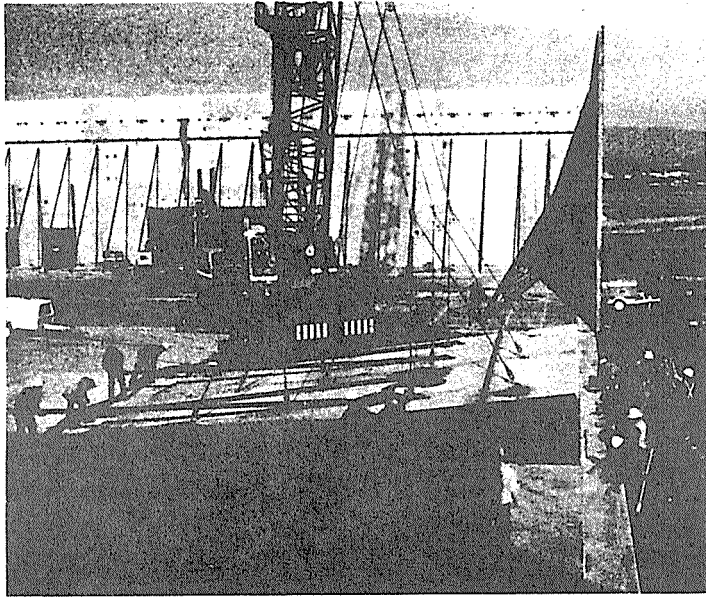
콘크리트部材에 混入함으로써 그 力學的 特性을 상당히 改善시킬 수 있다. 그림 19는 單鐵筋 및 複철근콘크리트에 섬유를 넣어 섬유를 넣지 않은 경우와 그 휨거동(flexural behavior)을 비교한 것이다. 이 그림에서 보듯이 단철근보인 경우 섬유를 넣음으로써 모멘트를 더 받을 수 있을 뿐만 아니라 처짐도 상당히 더 지탱할 수 있음을 보여 주고 있다. 複철근보인 경우에도 모멘트의 증가와 함께 휨부재의 연성이 상당히 증가함을 알 수 있다. 따라서 보나 기둥 등 構造部材에 섬유를 혼입함으로써 部材의 力學的 特性을 대폭 개선시킬 수 있다.

이러한 섬유의 혼입은 보의 전단사항 능력도 개선시키는 것으로 실험결과 나타나 있다.

4.8 기 타

纖維콘크리트는 그 외에도 여러가지 分野에서 다양하게 利用될 수 있다.

最近에는 섬유의 量을 多量으로 混入함으로써 特性을 더욱 개선시킬 수 있는 研究 結果가



Tilt-up wall panels were cast on the warehouse floor slab and lifted directly into position (left and above). The panels were reinforced with both fibers and conventional steel bars.

그림 17. 철근과 섬유로 보강된 Wall panel 시공 광경

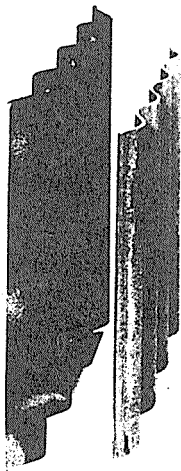


그림 18. Polypropylene 과 Cellulose 섬유로 보강된 지붕용 플레이트

발표되고 있다. 즉, 보통 鋼纖維콘크리트는 최대로 약 2% 정도의 鋼纖維를 넣을 수 있으나, Slurry Infiltrated Fiber Concrete는 강섬유를 약 18%까지 증가시킬 수 있다는 연구결과가 나오고 있다. 이 방법은 섬유를 미리 갈아

놓고, 잔골재로 이루어진 시멘트슬러리를 침투시켜 양생시키는 방법이다.

그림 20은 슬러리침투 섬유콘크리트의 제조과정과 그 실험결과를 보여 주고 있다. 휨하중을 재하했을 때 슬러리침투 섬유콘크리트의 재하능력이 보통의 鋼纖維콘크리트보다 6배이상

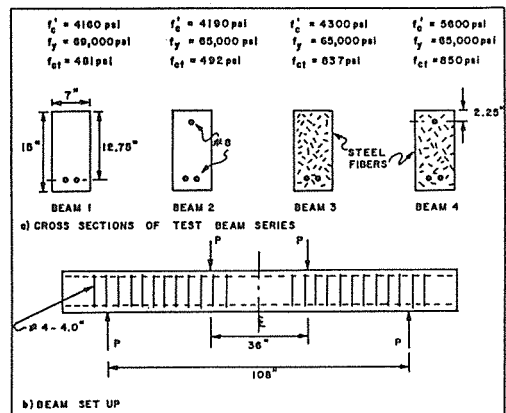


그림 19(a) Cross sections and beam arrangement for flexural tests on reinforced fiber concrete.

5. 纖維콘크리트에 대한 綜合檢討와 展望

섬유의 주요한 특징과 장점은 콘크리트 내에서 균열의 진전을 억제하고, 따라서 연성과 크게 하여, 소위 에너지흡수능력을 극대화하는 것이다.

아주 옛날에는 하중재하실험에서 단순히 파괴 하중만 측정하고 연성 (ductility)과 인성 (toughness)을 측정할 수 없었기 때문에 섬유콘크리트의 장점을 확실하게 알 수 없었으나 최근 실험측정장비의 개발로 이들에 대한 역학적 제반 특성이 확실하게 규명되고 있다.

섬유콘크리트는 강도의 증가뿐만 아니라 연성의 증가로, 지진의 영향을 받는 구조물, 충격하중을 받는 구조물, 마모작용이 큰 구조물, 고온 구조물, 방파제구조물, 건축물의 프리캐스트부재 등 여러곳에서 유효하게 利用될 수 있다.

現在로서는 섬유콘크리트가 철근콘크리트를 직접 대체한다는 概念보다는 철근콘크리트에 섬유를 混入함으로써 部材의 재하능력과 變形能力을 대폭 증진시킬 수 있다는 개념하에 연구되고 있다.

그러나 현재 섬유의 종류, 혼입량, 섬유의 형상등에 대한 연구가 꾸준히 진전되고 있고, 또 새로운 콘크리트타설 및 시공방법이 연구되고 있어 앞으로 인장강도가 큰 섬유콘크리트의 개발이 이루어질 것으로 전망된다. 즉, 콘크리트의 최대 弱點인 낮은 인장강도를 벗어나, 압축강도와 크기가 비슷한 인장강도를 얻을 수 있을 것이라는 기대가 이 分野의 研究者들에게 자리하고 있는 것이다.

새로운 건설재료, 특히 인장강도가 큰 재료의 개발은 오랜동안의 꿈이 되어 왔고, 이러한 꿈들이 앞으로 차차 가능해 질 것이며, 이것은 이 분야 研究者들의 꾸준한 연구에 의해서 접근될 것이다.

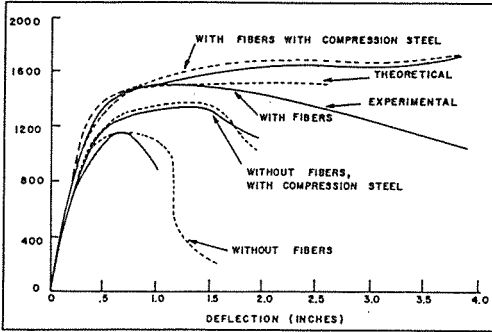


그림 19(b) Comparison of experimental and theoretical moment deflection curves for test beam series.

이나 큼을 알 수 있다. 압축강도시험에서도 같은 결과가 나온 것으로 나타났다.

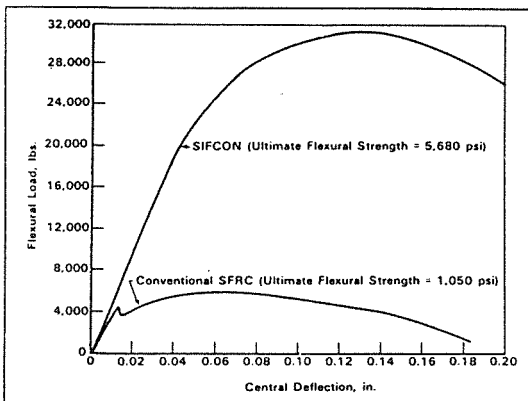


그림 20. Slurry Infiltrated Fiber Concrete(SIFCON)의 시공과정과 보통 강섬유콘크리트의 휨거동과의 비교