

纖維補強 콘크리트의 特性과 最近의 技術(其 VI)

폴리프로필렌 및 천연섬유 보강 콘크리트

朴 承 範

<忠南大學校 土木工學科 教授>

제 VIII 장 폴리프로필렌 섬유 보강 콘크리트(PFRC)

7. 1 폴리프로필렌 섬유 (Poly-propylene Fibre)

건축재료로서의 폴리프로필렌 섬유가 최초로 등장한 것은 1965년 미국에서 콘크리트에 대한 보강재로서 고려되기 시작하면서부터이다. 그 후 영국을 중심으로 많은 연구가 행해져, 최근에는 Net상 폴리프로필렌 섬유가 개발되어 이를 이용한 박판제조방법이 개발됨으로써, 가격이 저렴하고 내구성이 우수하며 적당한 강도와 인성을 가진 시멘트제품이 제작되기에 이르렀으며, 덴마크에서도 콘크리트 보강재로서의 성능을 본질적으로 개량하기 위한 연구를 통해 압출테이프를 Separate(잘라서 찢은)한 형상의 것을 연신 및 열처리를 실시한 새로운 형태의 폴리프로필렌 섬유를 개발하여 생산·실용화하고 있다. 또한 일본에서도 Mono-filament 폴리프로필렌 단섬유가 개발되어 실용적으로 공급할 수 있는 단계에 들어섰으며, 이 섬유를 모르타르에 혼입하면 압축강도는 섬유혼입을 증가에 따라 감소하는 경향이 있으나, 인장·할렐·휨강도 및 인성 등의 역학적 거동은 다소 개선됨이 확인되었

으며, 또 1년간의 옥외폭로실험 및 알칼리 용액중에서의 촉진실험에서도 열화의 징후는 나타나지 않았다고 보고되고 있다.

이상과 같이 폴리프로필렌 섬유를 대별하면, Film 섬유와 Mono-filament 섬유의 두 종류로 나뉘어진다. 그리고 Film 섬유에는 다시 치밀한 小纖維의 束상으로 된 것과 Net상으로 된 것이 있으며, 이들은 현재의 섬유제조기술을 이용하여 제조되기 때문에 비교적 간단하게 생산할 수 있어 값이 저렴하다. 또 Mono-filament는 직경이 1mm 전후의 비교적 단단한 1본으로 된 것 또는 두께 0.02~0.04mm, 폭 0.1~1.0mm의 압출테이프로 된 것을 일정한 길이로 자른 단섬유로써, 모르타르의 Premix가 가능하기 때문에 시공이 용이해 현장타설할 수 있는 장점이 있는 반면, 섬유의 배향성 및 분산성에 다소 문제가 있어 보강효과의 신뢰성이 약간 결여되는 결점이 있다.

또한 束상 Film 섬유도 Mono-filament와 같이 단섬유로 하여 이용하는 것이 많은데, 이 섬유는 치밀한 실상태의 섬유가 束상으로 되어 있으므로 동일체적률의 경우 Mono-filament에 비해 섬유의 본수는 훨씬 많아져 워커빌리티는 다소 떨어지나 시공에 충분한 주의 기울여 분산성을 개선시킴으로써 상당한 보강효과를 기대할 수 있다. 따라서 치밀한

실상태의 섬유가 충분히 풀어져 떨어지기 쉽고 절단되지 않도록 믹싱시 믹서의 각도를 조절하고 너무 장시간동안 믹싱하지 않는 것이 좋다. 이러한束상의 Film 섬유 단섬유는 1960년대 후반부터 영국에서 원통형 말뚝, 외장판넬 등의 Precast 공장에서 0.5% 전후의 낮은 섬유혼입율의 제품을 생산하고 있는데, 엄중한 품질관리에 의해 신뢰성있는 보강효과가 얻어지고 있다.

한편, Net상 Film 섬유는 일반적으로 연속 섬유로 이용되기 때문에 보강효과는 충분히 기대할 수 있으나, 단섬유에 비해 설비가 대단히 크기 때문에 생산 Cost가 높고 현장시공이 곤란해 Precast 제품에 한하여 사용된다.

7. 2 폴리프로필렌 섬유의 특성

일반적으로 폴리프로필렌은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

① 고도의 결정성과 탄소고리의 입체규칙적 배열성을 갖고 있으므로 인장강도가 크다.

② 고융점(165℃)을 가져 단시간에 100℃ 이상의 온도에서도 사용할 수 있다.

③ 여러 화학약품에 대해 불활성을 나타내어 폴리프로필렌 섬유 보강 모르타르가 화학약품에 접하게 되면, 모르타르가 먼저 열화되기 때문에 폴리프로필렌 섬유는 산 및 알칼리에 대한 충분한 저항성이 있다.

한편, 일본에서 생산되고 있는 Mono-filament 섬유 “플라스트론”은 상술한 특성외에도 단섬유상으로 했을때 시멘트 페이스트에서 습윤되지 않는 疎水性 표면은 fiberball의 형성을 방지하고, 표면에凹凸 등의 가공을 함으로써 섬유의 부착성능은 크게 개선되지만, 가연성이기 때문에 화재발생시 콘크리트가 다공질로 되고, 섬유의 탄성계수가 낮기 때문에 고탄성섬유에 비하여 균열구속능력이 작은 결점이 있다. 또한 일본에서 생산중인 또 다른 Mono-filament인 “터프라이트”는 섬유표면이 특수한 형상을 하고 있어 표면적이 대단히

크고, 인장탄성계수 및 인장강도가 크며, 섬유의 원주방향의 수축이 거의 없다. 또한 특수 처리에 의해 시멘트 및 콘크리트중에서의 분산성이 개선되고, 섬유의 단면이 장방형으로 그 불규칙한 측면에 연해서 무수히 가는 Fibril(가지상 섬유)을 가지고 있어 섬유형태가 본질적으로 앵커효과를 발휘해 섬유와 매트릭스와의 부착이 파단될 때까지 비교적 양호하게 보존된다.

그리고 Film상 섬유로써 영국과 이탈리아의 공동연구에 의해 생산되고 있는 RETI-FLEX Net는 새로운 Net상 폴리프로필렌 섬유로 시멘트 및 석고 등 수화작용에 의해 경화되는 재료의 보강재로서 이용할 수 있으며, 이 Net는 얇은 Net상 섬유를 층상으로 겹쳐 제조한 것으로 치수안정성, 밀실성이 양호하고 경량·다공질이므로 작업성이 우수하다. 또 Mesh를 격자상으로 하여 필요로 하는 보강방향에 바르게 매입할 수 있으며, 이 격자의 크기는 매트릭스 크기에 의해 변화시킬 수 있다. 그리고 우수한 기계적 성질과 물에 대한 저항성이 있고 고내구성 및 내화학안정성이 있어 건설재료로서 사용이 적절하며, 생산도 소비자요구에 따라 폭 1~1.4m, 길이 1~2km로 공급되어 NETCEM 박판제조에 유효하다.

7. 3 폴리프로필렌 섬유 보강 콘크리트의 특성

폴리프로필렌 섬유 보강 콘크리트는 섬유가 가연성이므로 내구성을 요하는 부재에 사용할 수 없고, 또 저탄성 섬유이기 때문에 큰 보강효과를 기대할 수 없으므로 각 방면에서의 적극적인 기초 및 응용연구가 이루어지지 못해 그리 널리 이용되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 녹의 발생이 없고 내알칼리성, 내약품성이 우수하며, 비중이 낮아 동일한 섬유혼입율로 한 경우 섬유중량이 아주 작기 때문에 다른 무기계 섬유에 비해 경제적이고, 또 단

섬유의 경우 시공성도 양호한 특징을 가지고 있어 활발한 연구개발 및 용도전개가 이루어질 것으로 기대된다.

1. 압축특성

섬유길이 및 섬유혼입율에 의한 PFRC의 압축강도는 섬유길이 $l_f=25\sim 30\text{mm}$ 의 경우 섬유혼입율 증가에 따라 감소하는 경향이 있으나, $l_f=20\text{mm}$ 에서는 전체적으로 Plai 모르타르에 비해 증가하는 경향이 있고, $l_f=40\text{mm}$ 이상에서는 $v_f=3\%$ 까지는 큰 변화가 없고 그 이상의 섬유혼입시 압축강도는 저하한다고 보고되고 있다. 또한 강도의 변동은 섬유혼입율에 관해서는 큰 영향을 받지 않으나 섬유길이에 의한 영향을 크게 나타내어 섬유길이 작은 경우($l_f\leq 25\text{mm}$)는 압축강도의 변동은 작지만 섬유길이 긴 경우 ($l_f\geq 30\text{mm}$)는 강도의 변동이 크다.

2. 인장특성

인장강도는 섬유의 아스펙트비 및 혼입율에 크게 좌우된다. 일반적으로 섬유혼입량이 증가하면 인장강도는 증가하고, 특히 $l_f\leq 25\text{mm}$ 의 단섬유의 경우 섬유의 배향성이 크게 영향되어 v_f 가 증가할수록 강도가 크게 변동하지만, $l_f\leq 25\text{mm}$ 이하의 단섬유는 섬유혼입율이 작은 범위에서 보강효과에 대한 유효성을 나타내어, 일반적으로 실제 적용하는 섬유의 혼입율은 경제성 및 시공상의 문제로부터 1% 전후가 많다.

한편, 그림 1의 인장응력-변형관계로부터, $v_f=2\%$ 까지는 균열발생하중은 크지만 그 이후는 하중이 그다지 증가하지 않고 섬유가 인발되기 때문에 변형만 증대되지만, v_f 가 3% 이상으로 되면 균열발생하중은 작지만 그 이후는 균열구속효과가 크게 나타나 하중과 변형이 현저히 증가한다. 이는 $v_f\leq 2\%$ 의 경우 섬유가 시멘트 매트릭스와 양호하게 부착하여 미세균열의 진전을 억제하는 효과가 크기 때

문에 미세균열의 발생하중을 증대시키기 때문으로 판단된다.

이상으로부터 단섬유를 blend함에 의하여 비교적 낮은 섬유혼입율을 가진 섬유콘크리트의 인장강도 및 인성을 개선할 수 있음이 확인되었다.

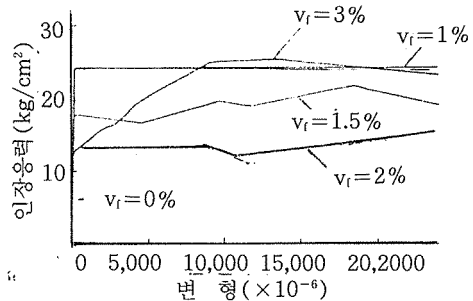


그림 1 PFRC의 인장응력-변형곡선

3. 휨특성

섬유콘크리트의 휨강도는 인장강도에 의존하지만 인장강도가 전단면에 혼입된 섬유에 영향되는데 비해 휨강도는 인장축에 함유된 섬유만이 유효하기 때문에 섬유의 배향, 분산성에 크게 영향된다.

휨강도의 경우도 인장강도와 마찬가지로 $v_f=1\%$ 에서 $l_f=25\text{mm}$ 이하의 단섬유보강에 대한 유효성이 나타나고, 40mm 이상의 경우 섬유혼입율이 증가하면 휨강도도 현저히 증가된다. 특히 $l_f=10\text{mm}$ 이하의 단섬유의 경우 섬유배향에 크게 좌우되며, 이때 30mm 이상의 단섬유를 혼합하여 사용하면 현저한 보강효과를 나타낸다.

한편, 그림 2에 나타낸 휨응력-처짐관계로부터, 휨응력도가 최대에 달한 후 시멘트 매트릭스에 있어서 미세균열의 진전에 수반해 섬유가 균열에 대해 저항하기 때문에 응력은 다시 섬유가 인발될 때까지 증가하고, 그 이후 섬유의 인발과 함께 감소하는 경향을 나타낸다. 특히 섬유혼입율이 낮은 경우 최대응력

도가 높게 되고 그 후의 인발응력도는 낮은 값을 나타내며, 또한 blend 섬유유 함량도는 섬유혼입율이 1%를 넘으면 거의 증가하지 않는다.

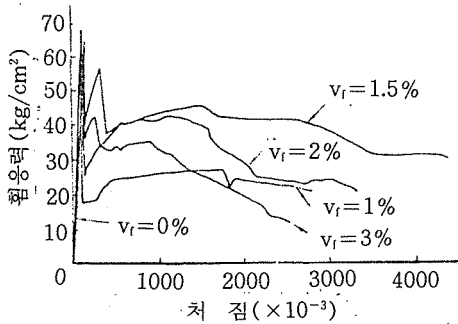


그림 2 PFRC의 인발응력-처짐곡선

4. 내구성 및 내화성

시멘트 매트릭스중에 Mono-filament 섬유를 혼입할 때 문제가 되는 것은, 시멘트가 지닌 강알칼리성에 대한 내구성 유지인데, 전술한 것처럼 폴리프로필렌은 내알칼리성 및 내산성을 가지고 있으므로 알칼리성에 대해 안정하다고 판단된다. 실제로 모르타르 판넬에 Mono-filament 섬유를 혼입시켜 옥외폭로시험 및 강한 알칼리용액에 섬유를 침적한 촉진 실험을 행한 후, 모르타르 판넬중의 섬유를 채취해 SEM관찰을 행한 결과에 의하면, 섬유 표면에는 시멘트 페이스트가 부착해 있으나 열화현상은 거의 보이지 않고 건조수축에 의해 약간 가늘어지는 경향이 있으며, 강알칼리 용액중에서도 섬유표면은 전혀 열화현상을 나타내지 않는다고 보고되고 있다.

또한, Plain 모르타르의 경우 전면에서 여러 개의 긴 수축균열이 발생하고 있으나 Mono-filament 섬유를 $v_f=1\%$ 혼입한 판넬의 경우는 일부에 소수의 짧은 수축균열밖에 발생하지 않고 발생된 미세균열의 분포도 균일하다. 이것은 모르타르를 섬유로 보강하면 완전한 수축균열의 발생은 방지하지 못하더라도, 균

열발생시 섬유유 균열구속효과에 의해 상당히 억제된다.

한편, 폴리프로필렌 섬유 콘크리트는 내화성에 다소 문제가 있으나, 섬유유를 1.25%(wt.%) 혼입한 판넬의 경우 30분의 내화등급평가가 얻어지고, 온도가 높은 곳에서는 폴리머의 특성이 나타나 여러 개의 가는 골과 구멍이 형성되고, 판넬은 완전하게 그 형태를 유지한다고 보고되고 있다.

이들 특성이외에도 PFRC는 Plain 콘크리트에 비하여 동결융해시 중량감소가 대단히 작고 내동해성이 우수하며, 충격에 대한 저항성도 섬유혼입율이 증가함에 따라 크게 증대하여 내충격성이 개선도 유효하다고 보고된다.

7. 4 NETCEM의 특성 및 제조방법

1. NETCEM의 특성

종래 건축재료로 사용되던 석면시멘트의 대체재로 등장한 NETCEM은 전술한 Net상 폴리프로필렌 섬유 RETIFLEX를 이용한 시멘트 박판의 상품명으로, 석면시멘트 및 다른 재질의 박판이 제조될 수 없었던 분야에도 적용할 수 있다. 이 새로운 제조법은 영국 Surrey 대학에서 고안되어 특허권을 취득한 이래 현재는 유럽 및 호주 등지에서 상업생산되고 있다.

NETCEM 제조법은 모르타르와 같은 취성 재료중에 치밀한 Mesh상 폴리프로필렌 Film 섬유를 여러 층으로 깔아 넣은 것이다. 폴리프로필렌은 고결정성 Film상 물질로 가공된 화학적 불활성 탄화수소중합체이고, RETIFLEX는 치밀한 Mesh상 폴리프로필렌 Film 섬유로 NETCEM 박판의 특성을 충분히 발휘시켜 준다. 또한 RETIFLEX는 시멘트 구조물에 양호한 영향을 미치는데 강성은 석면시멘트 이상으로 나타내고 균열의 발생을 억제하며, 또한 충격과 같은 초과하중이 가해진 경우 박판을 파괴하중을 흡수하기 때문에 다

수의 미세균열을 발생시키고, 하중이 제거된 후에는 Net상 섬유 특성상 섬유의 인발에 저항하기 때문에 균열은 폐합된다. 이미 균열이 발생한 경우의 거동은 시멘트 매트릭스의 강도 및 밀도에 의존하지만, 나중에 발생한 균열은 섬유의 혼입율·기계적 성질·표면의 성상 등에 의존하는데, 이 RETIFLEX는 파관, 원통형 등의 형태로 성형가능하다.

그리고 NETCEM은 다른 섬유시멘트와는 달리 자연폭로상태 및 수년간의 수중하에서도 Stickiness(점성)가 존재하고, 30년 이상의 충분한 내구성을 가지며, 석면시멘트판과 마찬가지로 양호한 내동해성을 나타낸다. 또한 일반적인 휨강도는 항복점이 100kg/cm^2 , 최대응력도 300kg/cm^2 정도이고, 균열발생후 하중을 제거하면 판은 재하시 변형의 1/3 정도의 잔유처짐이 발생하며, 탄성계수는 일반적으로 $2\sim 3.5 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 정도이고 방수성이 우수하다.

한편, 파형박판은 RETIFLEX에 의해 제조된 평판이 생산라인에서 나온 후 그것을 사용 목적에 적합한 곡면을 가진 형틀에 넣어 제조

하는데, 그림 3에 나타난 것처럼, NETCEM 파관은 석면시멘트파관에 비해 큰 인성을 가지고, 파괴하중에 이를때까지의 변형이 크게 되기 때문에 에너지 흡수능력이 월등히 크다.

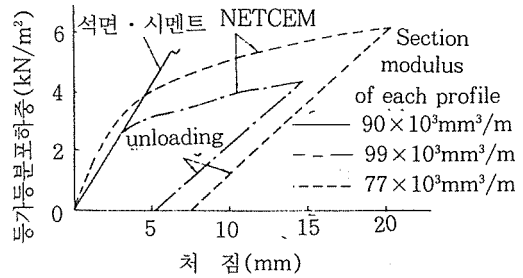
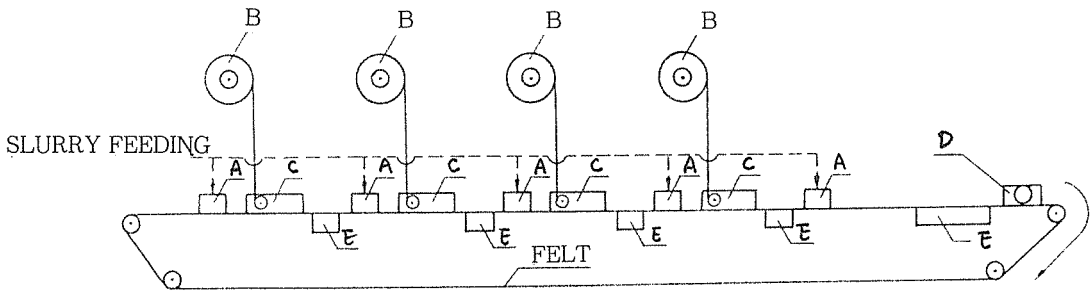


그림 3 NETCEM의 하중-처짐 곡선

2. NETCEM의 제조방법

NETCEM 박판 제조기체는 Moplefan S.P. A社에 의해 개발되었는데, RETIFLEX Net를 그림 4와 같이 여러층(최고 4층)의 샌드위치상으로 제조하는 방법으로서, 그 제조공정은 다음과 같다.



A : 시멘트페이스트 주입 및 타설장치, B : RETIFLEX NET
C : RETIFLEX Net를 펴 넣는 장치 및 특수진동장치, D : 최종압축장치, E : 탈수장치

그림 4 NETCEM판 제조장치

① 시멘트 페이스트는 가공단면이 얻어지도록 충전재와 함께 연속적으로 공급한다.

② 시멘트 페이스트는 형틀에 유입시켜 작은 돌기사이로 연속된 벨트위에서 정확하게

일정한 두께로 타설한다.(그림 중의 A)

③ RETIFLEX Net는 특별한 유입 및 타설장치에 의해 시멘트 페이스트를 미리 타설한 후 그 위에 깔아 넣는다.(그림 B)

④ Net상 섬유가 시멘트에 충분한 친화성을 갖도록 하기 위해 특수한 진동장치와 탈수장치에 의해서 mesh에 시멘트 페이스트가 꼭 차도록 한다.(그림 C)

⑤ 그위에 새로운 시멘트 페이스트를 채워 넣는다.

⑥ 요구하는 판두께가 얻어질 때까지 ①~⑤의 공정을 반복한다.

⑦ 그림 4에 나타낸 E에서 여분의 물을 탈수한다.

⑧ 표면이 평평한 박판을 그림의 D의 작은 구멍틈새로 벨트위에서 압축시켜 완성한다.

7. 5 PFRC의 용도개발

콘크리트중에 폴리프로필렌 섬유를 혼입하면, ① 우수한 내충격성, ② 낮은 섬유혼입에 의한 보강효과, ③ 저렴한 섬유가격, ④ 우수한 내구성, ⑤ 단섬유 사용시 시공의 단순성 등의 특성을 나타내어, 이들 특성을 활용한 적용예로서는 폴리프로필렌 단섬유를 매트릭스중에 랜덤배향시켜, 해안부근 목조주택의 모르타르, 지하의 표면마무리용 모르타르, 고층빌딩에서 물이 순환하는 부분의 모르타르, 창고·기둥 및 벽의 내장 모르타르, 지붕상판의 마무리용 모르타르 등 현재까지는 대개 건물의 내·외장 모르타르에 적용되고 있으나, 균열구속방지 및 박리방지 등의 특성을 이용해 콘크리트 2차제품에의 적용도 기대되고 있다.

또한 영국, 이탈리아 등지에서 개발된 RETIFLEX Net에 의한 NETCEM은 지붕·벽·펜스 등의 파판, 평판기와, 수조, 외장판넬 및 우수통, 하수 및 배수관, 장식기둥 등에 적용되는데, 이외에도 toughness가 크고 균열발생후 하중이 제거되면 이를 폐합시키는 능력 및 stickiness가 있는 등의 성질을 이용해 영구형틀, 화장실·창고부재 및 여러 형상의 방음벽과 수중에서의 안정성을 이용해 Cooling tower내벽, 물이 새는 곳에서의 Sheet panel, 해중 파이프라인의 외축 등지에 사용

되고 있다.

그러나 압력이 작용하는 관과 같이 구조적으로 중요한 분야에 관해서는 아직 NETCEM 부재를 사용할 수 없으며, 현재의 Net상 폴리프로필렌 섬유보다 강하고 강성을 지닌 섬유가 제조되면 그 사용도 가능하여 영국 등지에서 많은 연구가 이루어지고 있다.

한편, 속상의 치밀한 소섬유를 길이 40mm 정도로 절단한 Film 섬유는 원통형 말뚝, 부유 Unit, 호안보수용 모르타르 등에 이용되고 있으며, Mono-filament 섬유는 장식용 외장판넬, 목재대체재, 맨홀 등에 이용되고 있고, 덴마크 등의 북유럽에서는 석면대체재, Housing Unit, "Scandinavia Today 미술박람회장" 수조Unit성형법의 성형법, 코펜하겐의 "왕립 Fine Art 미술관" 정면의 13개 세라믹상의 동형벽 등에 적용되어 콘크리트제품, 시멘트제품 등에 응용되고 있다.

제 VIII 장 천연섬유 보강 콘크리트

8. 1 천연섬유

최근 콘크리트보강용 섬유로써 천연섬유(석면을 제외한 식물섬유)가 많은 관심을 끌고 있는데, 이는 천연섬유가 세계 여러지역에서 풍부하게 생산되고 있고, 이종은 개발도상국에서 많이 생산되며 섬유제조과정이 합성섬유와 같은 고도의 기술을 필요로 하지 않아 일반적인 합성섬유와 등가체적(또는 중량)으로 비교하면 제조에 필요한 에너지는 거의 없고 비용도 거의 들지 않는다.

또한 콘크리트중에 천연섬유를 혼입하는 제조공장에 있어서 소수의 훈련을 받은 인력을 필요로 하는 정도의 기술로도 가능하며, 이들 섬유를 이용하여 품질이 좋고 Cost가 낮은 건축자재를 얻을 수 있기 때문에 숙련공 및 자본이 부족한 개발도상국에는 매력적인 동시에

선진국에서도 크게 주목되고 있다.

한편, 토벽중에 짚을 넣기도 하고 석회와 진흙을 반죽한 것에 말의 털을 넣는 등 천연 섬유에 의한 보강은 역사적으로 오래전부터 행하여지고 있고, 이들은 현재까지 기술적인 것보다는 전통적으로 이용되고 있다.

콘크리트의 보강재로서는 각종 연구결과 석면시멘트 제조의 특성과 유사하여 천연섬유 보강 시멘트의 제조가 가능한 것으로 밝혀져, 중앙아메리카, 아프리카, 아시아, 호주 및 유럽 여러나라에서 급격히 천연섬유 보강 콘크리트 및 지붕 그리고 벽판 등의 제품제조방법이 확립되기 시작하였다. 이때에 콘크리트 보강재로 이용되는 경우의 천연섬유에 요구되는 조건은 고인장강도, 고탄성계수 및 충분한 부착강도, 내약품성 및 내구성 등인데, 이런 조건을 만족하는 천연섬유로서는 야자, 사이잘麻, 사탕수수, 삼나무, 대나무, 종려나무, 黃麻 등의 식물섬유가 있으며, 그 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1 각종 천연섬유의 물리적 성질

섬유의 종류	비 중	인장강도 (N/mm ²)	탄성계수 (kN/mm ²)
야 자	1.12~1.15	120~200	19~26
사이잘麻	—	280~568	13~26
黃麻	1.02~1.04	250~350	26~32
사탕수수	1.20~1.30	170~290	15~19
대나무	1.52	442	37
종려나무	—	1000	100
象草	—	178	50

8. 2 천연섬유 보강 콘크리트의 특성

천연섬유 보강 콘크리트는 종래의 강섬유 혹은 합성섬유 보강 콘크리트와 동일한 균열 구속효과 및 역학적 거동을 나타낸다. 즉, 취성매트릭스내에 섬유를 분산시켜 혼입함에 의해 인장·휨강도, 인성, 피로 및 충격강도 등

의 역학적 성질이 개선된다. 천연섬유 보강 콘크리트의 가장 큰 특성은 섬유가 그 지역 특유의 것을 사용하고 제조가 간단하여 Cost가 낮고 숙련공을 그다지 많이 필요로 하지 않기 때문에 섬유보강제품도 비교적 저렴하다는 것이다.

1. 경화전의 천연섬유 보강 콘크리트의 특성

섬유의 믹싱은 강제식 판믹서 및 패들믹서를 이용하며, 시멘트 및 골재를 넣어 비빈 후 일정한 길이로 절단한 섬유를 필요한 만큼 혼입해 믹싱한다. 믹싱후의 운반, 타설, 진동 등이 경화후의 특성에 큰 영향을 주는 것은 일반적인 콘크리트와 동일하다. 천연섬유를 다량으로 혼입한 경우의 워커빌리티에 대해 주위를 기울일 필요가 있다. 일반적으로 보통콘크리트의 워커빌리티를 측정하는 슬럼프시험이 이용되고 있지만, 섬유콘크리트의 경우 섬유량이 많게 되면 충분히 진동을 가해도 슬럼프가 0에 가깝게 되는 경우가 있어 부적절하다. 천연섬유를 혼입하면 워커빌리티는 감소하고 공기량이 증가한다. 이 기포의 증가는 유동성이 악화되어 밀실성이 결여되기 때문이다. 또한 섬유가 길고 아스펙트비가 100이상의 경우 균등하게 분산되지 않고 Fiberball이 형성되는 경향이 있으며, 이 같은 Fiberball의 형성에 의해 혼입하는 섬유량에는 한계가 있는데, Fiberball은 굵은골재를 저감함으로써 어느 정도 방지할 수 있으나 섬유의 형상 및 성질, 믹싱방법 등에 의한 영향이 커 섬유량에는 한계가 있다.

워커빌리티를 개선하기 위해서는 일반적으로 압축강도가 다소 감소하더라도 w/c비를 증가하고 적당한 혼화재료를 이용하면 워커빌리티를 개선할 수 있으며, 이것에 의해서도 워커빌리티가 악화되는 경우에는 모르타르와 함께 섬유를 뿔어붙이는 Direct Spray법에 의해서 섬유가 양호하게 분산되어 밀실한 콘크리트의 제조가 가능하다.

2. 경화후의 천연섬유 보강 콘크리트의 특성

(1) 강도특성

파괴강도는 일반적으로 섬유유 의 형상, 길이, 혼입량 및 매트릭스 구성재의 배합요인에 의한다. 黃麻섬유 보강 콘크리트의 경우 인장강도는 섬유길이가 증가하면 최초 증가하는 값이 최대값에 달한 후 감소하고, 휨강도 및 충격강도에 관해서도 같은 경향을 나타낸다. 또 섬유길이를 25mm로 한 경우의 섬유혼입율에 의한 영향은 인장 및 휨강도는 2~3%에서 최대로 되고, 그 이상의 섬유혼입율에서는 감소하며, 또 충격강도는 섬유혼입을 증가와 함께 증가한다.

또한 黃麻섬유 보강 콘크리트의 응력-변형곡선은 그림 5에 나타낸 것처럼, 섬유길이가 25mm로 일정한 경우 $V_f=3\%$ 에서, 그리고 $V_f=2\%$ 로 일정히 한 경우는 $L_f=18\text{mm}$ 에서 최대강도를 나타낸다.

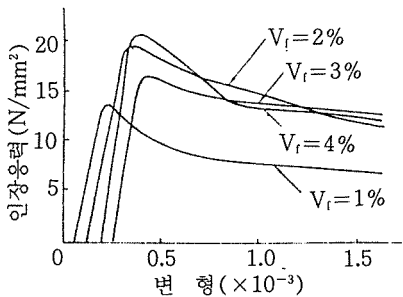


그림 5 黃麻섬유 보강 콘크리트 인장응력-변형곡선

한편, 부착강도에 대하여 천연섬유의 경우 강섬유 및 합성섬유에 비해 좋지 않으며, 이는 천연섬유는 흡수율이 크고 경화전에 물을 함유해 팽창하며, 경화후에는 건조수축이 크게 발생하기 때문이다. 그렇지만 타설후 압력을 가함에 의해 부착성능의 개선이 가능하고 휨 및 인장강도도 향상되는데, 야자섬유 보강 시멘트판의 경우 그림 6과 같이 휨강도는 압력의 영향을 크게 받는 것으로 보고되고 있

다.

이상에 나타낸 것은 천연섬유의 일부를 나타낸 것이지만, 다른 천연섬유 보강 시멘트도 거의 같은 양상을 보이며, 인장·휨 및 충격강도의 증대가 확인된다고 보고되고 있다.

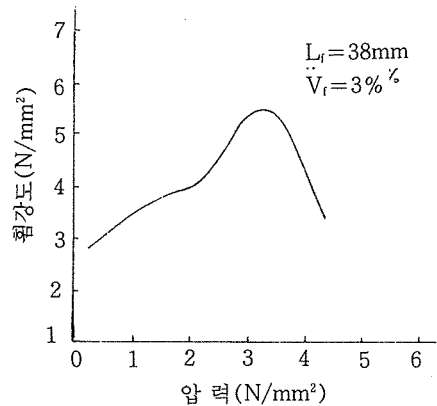


그림 6 야자섬유 보강 콘크리트판의 휨강도-압력관계

(2) 균열구속 및 에너지 흡수 특성

섬유가 균등하게 분산되어 비표면적이 큰 섬유유 의 경우 균열구속효과는 크다. 일반적으로 섬유혼입율이 2~4%의 섬유혼입의 경우 균열이 발생할 때의 변형은 Plain 시멘트 및 Plain 모르타르와 다소 다르다. 이것은 천연 섬유 보강 콘크리트의 초기균열하중을 증대시킨다. 또한 균열구속과 섬유유 가 인발되는 경우 에너지 흡수능력이 Plain 콘크리트에 비해 인성 및 충격강도를 증대시킨다. 야자, 黃麻섬유를 혼입함에 의해 Plain 콘크리트에 비해 급격히 인성은 증가하고, 충격강도도 Plain 콘크리트에 비해 약 3배정도 증가한다.

(3) 열특성(단열효과)

천연섬유 보강 콘크리트 제품의 열특성은 장기간에 걸친 여러 환경하에서 중요한데, 열특성의 가장 기본적인 요소로는 열전도율, 열확산율, 비열 및 열팽창을 등이 있다. 야자섬

유 보강 콘크리트판의 경우 석면시멘트판에 비해 열전도율은 상당히 우수하고, 象草섬유 보강 지붕판의 열팽창율과 열전도율은 석면시멘트판과 거의 비슷하여, 이들로부터 천연섬유 보강 콘크리트제품은 석면시멘트판과 거의 동등 또는 그 이상의 단열효과가 있는 것으로 보인다.

4. 음향특성

건축부재의 음향특성(특히 흡음 및 음전도성)은 대단히 중요하다. 象草섬유보강 지붕판의 음전도성은 석면시멘트판과 거의 비슷하고, 야자섬유 보강 콘크리트판의 흡음율은 1000Hz 이하에서는 거의 5% 정도이나 2000Hz 이상으로 되면 10~40% 정도 증가하며, 이 흡음율은 판의 두께, 섬유혼입량에는 그다지 영향되지 않는 것으로 보고된다. 또한 $V_f=3\%$ 혼입한 두께 10mm의 야자섬유 보강 파판의 주파수에 대한 흡음율은 고주파로 되면 흡음율이 급격히 상승한다고 보고되고 있어, 천연섬유를 이용한 시멘트제품은 고유의 상당히 우수한 차음성을 가지고 있다.

5. 투수, 흡수, 팽창 및 수축특성

섬유보강 콘크리트의 투수성은 방수를 필요로 하는 액체저장 구조물의 경우 중요한 요소로, 콘크리트중에 습기가 침투하는 투수성은 단열효과에 큰 영향을 미친다. 천연섬유 보강 콘크리트의 투수성은 천연섬유의 종류 및 특성, 섬유혼입량에 따라 다르지만, 일반적으로 약 $3 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 정도이고, 흡수율은 일반적으로 15~30%의 범위이지만 표면을 도장 처리한 경우에는 2~7%로 저감된다고 보고되고 있는데, 천연섬유중에는 수분을 잘 흡수하는 것이 있고 이 수분은 콘크리트 경화시 팽창, 수축을 일으키는 원인이 되기 때문에, 섬유표면에 방수제를 발라줌에 의해 섬유의 흡수율은 저하되고 콘크리트의 팽창, 수축 및 섬유의 부착강도를 개선할 수 있다.

8. 3 천연섬유 보강 콘크리트의 용도개발

천연섬유 보강 콘크리트는 구조재에 대한 적용에는 한계가 있으며, 구조재로 적용하는 경우에는 보강재로서 피복하는 방법이 있는데, 이 피복에 의해 강도가 증가하고 표면의 변형을 억제시켜 균열 및 균열폭을 감소시키는 효과가 있기 때문에 보, 기둥 등의 표면보강에 적용할 수 있다.

그러나 일반적으로 천연섬유 보강 콘크리트는 평판 및 파판 등의 박판제조에 이용되고, 주택의 지붕 및 천정재, 벽재 등에 이용되고 있다. 사이잘麻섬유 보강 콘크리트는 타일, 파형 지붕판, 관, 가스탱크, 수조 및 사일로 등에 아프리카 여러나라에서 적용되고 있으며, 호주에서는 나무 및 사이잘麻의 섬유보강 콘크리트 판넬이, 잠비아에서는 象草섬유 보강 시멘트판이 주택의 벽, 지붕, 천정재로서 적용되고 있다.

이들 섬유외에도 다른 천연섬유 보강 시멘트재는 칸막이벽, 마루, 처마 등의 차음, 단열재로서 여러나라에서 이용되고 있으며, 우수한 에너지 흡수성, 내충격성 및 진동에 대한 저항성을 이용하여 기계의 기초, 공장의 플로어 등에도 이용되고 있다.

參 考 文 獻

1. Neville, A. M., "Properties of Concrete", Pitman, 1977
2. D. J. Hannant, "Fibre Cements and Fibre Concrete", John Wiley & Sons, Ltd., 1978
3. Holister, G. S., Thomas, C., "Fibre-reinforced Materials", Elsevier, Amsterdam, 1966
4. Cox, H. L., "The elasticity and strength of paper and other fibrous materials", British Journal of Applied Physics, 3,

- pp. 72~79, 1952
5. Krenchel, H., "Fibre Reinforcement", Akademisk Forlag, Copenhagen, 1964
 6. Aveston, J., Mercer, R. A., and Sillwood, J. M., "Fibre-reinforced cements-scientific foundations for specifications composites standards testing and design", National Physical Laboratory Conference Proceedings, April 1974, pp. 93-103
 7. Aveston, J., Mercer, R. A., and Sillwood, J. M., "The mechanism of fibre-reinforcement of cement and concrete", National Physical Laboratory Report, No. SI, No. 90/11/98, Part 1, Jan. 1975; Part 2, DMA 228, Feb. 1976
 8. Argon, A. S., and Shack, W. J., "Theories of fibre cement and fibre concrete", Fibre-reinforced cement and concrete, RILEM Symposium, 1975, pp. 39-55
 9. Swamy, R. N., Mangat, P. S., and Rao, S. V. K., "The mechanics of fibre reinforcement of cement matrices", Fibre-reinforced Concrete, ACI Pub. SP-44, pp. 1-28
 10. Hughes, B. P., and Fattuhi, N. I., "Fibre bond strengths in cement and concrete", Magazine of Concrete Research, 27(92), pp. 161-170, Sept. 1975
 11. Krenchel, H., "Fibre spacing and specific fibre surface", Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium, 1975, Construction Press Ltd., pp. 69-79, Vol. 2, 1976, pp. 511-513
 12. Romualdi, J. P., and Batson, G. B., "Mechanics of crack arrest in concrete", Proc. of ASCE, Vol. 89, No. EM 3, June 1963, pp. 147-168
 13. Shah, S. P., and Rangan, B. V., "Effects of reinforcement on ductility of concrete", Proc. of ASCE: J. of the Structural Division, June, 1970, pp. 1167-1184
 14. 横谷榮次, "纖維補強セメントの特徴とその用途", 建築士と實務, 1982. 11
 15. 小林一輔, "複合とコンクリート技術", コンクリート工學, Vol. 21, No. 5, 昭和58年
 16. T. Nakagawa and A. Yanagisawa, "Production of Steel Fiber by Machining Process for SFRC", FRC 86, RILEM Sympo. 1986
 17. Edgington J., "Steel-fibre-reinforced concrete", Ph. D Thesis, Univ. of Surrey, 1973
 18. Naanan, A. E., and Shah, S. P., "Bond studies on orientated and aligned steel fibres", Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Sympo. pp. 171-179, Construction Press Ltd., 1975
 19. Snyder, J. M., and Lankard, D. R., "Factors affecting the Flexural strength of steel fibrous concrete", J. of ACI, Title No. 69-9, Feb. 1972, pp. 96-100
 20. Edgington, J. Hannant, D. J. and Williams, R. I. T., "Steel-fibre-reinforced concrete", Building Research Establishment Current Paper cp 69/74, July, 1974
 21. ACI Committee 544, "State of the art report on fibre-reinforced concrete", ACI Journal, Title No. 70-65, pp. 729-744, Nov. 1973
 22. Swamy, R. N., "The technology of steel-fibre-reinforced concrete for practical applications", Proc. Institution of Civil Engineers, Paper No. 7694, pp. 143-159, 1974
 23. Nishioka, K., Kakimi, N., and Yamakawa, S., "Effective applications of steel

- fibre reinforced concrete”, Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Sympo. pp. 425–433, 1975
24. Hibbert, A. P., “Impact resistance of fibre concrete”, Thesis submitted for Consideration for the Award of Ph. D., Univ. of Surrey, 1978
 25. Johnston, C. D., and Coleman, R. A., “Strength and deformation of steel fibre reinforced mortar in uniaxial tension”, Fibre Reinforced Concrete, ACI Publication, SP-44, pp. 177–193
 26. Marsden W. A., “The Diversifying Applications of Steel Fibre Reinforced Concrete in Australia”, RILEM sympo. FRC '86, Vol. 2, 1986
 27. 일본土木學會, “鋼纖維補強コンクリートの設計施工指針(案), 1983
 28. 坂井, “鋼纖維補強コンクリートの利用—その現状と今後の課題”, 建築技術, No. 410, 1985
 29. 大久保, 石渡, 古律, 田代, 町田, “鋼纖維補強コンクリートの使用状況, 日本コンクリート工學協會, FRC Symposium. 1984
 30. Biryukovich, K. L., Biryukovich, Yu. L. and Biryukovich, D. L., “Glass-fibre-reinforced Cement”, Pub. by Budivel'nik, Kiev, 1964, CERA Translation, No. 12, Nov. 1965
 31. Majumdar, A. J., “The role of the interface in glass-fibre-reinforced cement”, B. R. E. Current Paper, CP 57/74, May 1974
 32. Majumdar, A. J., and Nurse, R. W., “Glass-fibre-reinforced Cement”, B. R. E. Current Paper, Cp 79/74, Aug. 1974
 33. Ali, M. A., Majumdar, A. J., and Singh, B., “Properties of glass-fibre cement—the effect of fibre length and content”, B. R. E. Current Paper, CP 94/75, Oct. 1975
 34. B. R. E., “A study of the properties of CEM-FIL/OPC Composites”, B. R. E. Current Paper, CP 38/76, June 1976
 35. Oakley, D. R., and Proctor, B., “Tensile stress-strain behaviour of glass-reinforced cement composites”, Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Sympo. 1975, pp. 347–359
 36. Larner, L. J., Speakman, K., and Majumdar, A. J., “Chemical interaction between glass-fibres and cement”, J. of Non-crystalline Solids, 20, pp. 43–74, 1976
 37. Allen, H. G., “Glass-fibre-reinforced cement—strength and stiffness”, CIRIA Report, 55
 38. Stucke, M. S., and Majumdar, A. J., “Microstructure of glass fibre-reinforced cement composites”, J. of Materials Science, 11, 1976, pp. 1019–1030
 39. Cohen, E. B., Diamonds, S., “Validity of flexural strength reduction as an indication of alkali attack on glass in fibre-reinforced cement composites”, Fibre-reinforced Cement and Concrete, RILEM Sympo. 1975, pp. 315–325
 40. Marsh, H. N., Clarke, L. L., “Glass fibres in concrete”, ACI Pub. SP 44, Fibre-reinforced concrete, 1974, pp. 247–264
 41. Ryder, J. F., “Glass-fibre reinforced gypsum plaster. Prospects for fibre-reinforced construction materials”, Proc. of an International Building Exhibition Conference, London, Nov. 1971
 42. Nawy, E. G., Newserth, G. E. and Phillips, J., “Behaviour of fibre glass rein-

-
- forced concrete beams”, *J. of ASCE, Structural Division* 97, Sep. 1971, pp. 2203–2215
43. Ali, M. A., Majumdar, A. J., and Rayment, D. L., “Carbon-fibre reinforcement of cement”, *Cement and Concrete Research*, 2(2), 1972, pp. 201–202
44. Waller, J. A., “Carbon-fibre-cement composites”, *Civil Engineering and Public Works Review*, April 1972, pp. 357–361
45. Briggs, A., Bowen, D. H., and Kollek, J., Paper 17, *Proc. 2nd International Carbon Fibre Conference*, The Plastics Institute, London, 1974
46. Sarkar, S., Bailey, M. B., “Structural properties of carbon fibre reinforced cement”, *Fibre-reinforced Cement and Concrete*, RILEM Sympo. 1975, London, Vol. 1, pp. 361–371
47. Waller, J. A., “Carbon-fibre cement composites”, *Fibre-reinforced concrete*, ACI Pub. SP 44, 1974, pp. 143–161
48. Goldfein, S., “Plastic fibrous reinforcement for Portland cement”, Technical Report 1757-TR, US Army Engineer Research and Development Lab., Fort Belvoir, Virginia, Oct. 1963
49. S. B. Park, “Development and applications of fiber reinforced concrete”, *J. of KCI*, Vol. 2, No. 1, pp. 11–19, 1990
50. S. B. Park, “A study on the engineering properties of carbon fiber reinforced cement composites”, *J. of KCI*, Vol. 1, No. 1, pp. 95–104, 1989
51. S. B. Park, E. S. Yoon, “A study on the shrinkage and freeze thawing resistance of CFRC”, *J. of KSCM*, Vol. 2, No. 1, 1989, pp. 62–68
52. S. B. Park, “An experimental study on the development and application of CFRC for high strength”, *J. of KSCM*, Vol. 1, No. 1, 1988, pp. 34–42
53. S. B. Park, “Rheological behavior of cement-slurry suspended with short carbon fiber”, *J. of KSCM*, Vol. 1, No. 1, pp. 34–42, 1988
54. S. B. Park, Burt, I. L., “Engineering properties of carbon fiber reinforced cement composites”, *Int. J., Cement and Concrete Research*, Vol. 21, No. 4, 1991, pp. 589–600
55. S. B. Park, Burt, I. L., “Mechanical & Physical properties of carbon fiber reinforced cement composites”, *High Pressure & High Temperature*, London, pp. 67–79, Dec. 1990
56. S. B. Park, Experimental study on the engineering properties on the CFRC”, *International Sympo. on Concrete Engineering*, Nanjing, China, NIT, Vol. 3, pp. 327–331, 1991
57. S. B. Park, Burt, I. L., “Fabrication of carbon & vinilon fiber reinforced cement composites”, *Proc. of FRC materials*, '90 MRS Fall meeting, Vol. 211, pp. 146–152, Pittsburgh, Nov. 1990
58. S. B. Park, E. S. Yoon, “An experimental study on the freeze-thaw durability and mechanical properties of fiber reinforced concrete by the fiber types”, *J. of ITRI, CNU*, Vol. 5, No. 2, pp. 74–82, 1990
59. Walton, P. L., Majumdar, A. J., “Properties of cement composites reinforced with kevlar fibres”, *J. of Material Science*, 13, May 1978, pp. 1075–1083
60. K. L. Litherland, D. R. Oakley, and B. A. Proctor, “The Use of Accelerated Ageing Procedures to Predict the Long

- term Strength of GRC Composites”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 11, 1981, pp. 455–466
61. Zonsveld, J. J., “The marriage of plastics and concrete”, *Plastica*, 23, pp. 474–484, Oct. 1970
62. Spencer—Smith, J. L., “Microfibril-matrix theory of drawn polypropylen”, *Plastics and Rubber, Materials and Application*, 1976, pp. 74–80
63. Hearle, J. W. S., “The structural mechanics of fibres”, *J. of Polymer science, Part C*, 20, 1967, pp. 215–251
64. Capaccio, G., Crompton, P. A., and Ward, I. M., “Ultra-high modulus of elasticity polyethylene by high temperature drawing”, *Polymer*, 17, 1976, pp. 644–645
65. Zonsveld, J. J., “Polypropylene fibre concrete”, *Fibre Cement and Fibre Concrete Course Notes for Practising Civil Engineers*, Univ. of Surry, April, 1976
66. Walton, P. L., Majumdar, A. J., “Cement-based composites with mixtures of different types of fibres”, *Current Paper CP 80/75, BRE*, Sept. 1975
67. Zonsviold, J. J., “Properties and testing of concrete containing fibres other than steel”, *Fibre-reinforced Cement and Concrete*, RILEM Sympo. London, 1975, Construction Press Ltd., pp. 217–226
68. Ritchie, A. G. B., Mackintosh, D. M., “Selection and rheological characteristics of polypopylene fibres”, *Concrete*, pp. 36–39, Aug. 1972
69. Dardare, J., “Contribution to the study of the mechanical behaviour of concrete reinforced with polypropylene fibres”, *Fibre-reinforced Cement and Concrete*, RILEM Sympo., London 1975, pp. 227–236
70. Fairweather, A. D., “The use of polypropylene fibrillated fibres to increase impact resistance of concrete”, *Proc. of an International Building Conference, Prospects for fibre-reinforced construction materials*, Nov. 1971, pp. 41–44
71. R. N. Swamy, “New Reinforced Concretes”, *Concrete Technology and Design*, Vol. 2, Surry Univ. Press
72. Bailey, J. E., Barker, H. A. and Urbanowicz, C., “Alumina filament reinforced cement paste”, *Transactions and J. of the British Ceramic Society*, 71(7), Nov. 1972, pp. 203–210
73. Aveston, J., Cooper, G. A., and Kelly, A., “Single and multiple fracture”, *Proc. of Conference on the Properties of Fibre Composites*, N. P. L., 1971, pp. 15–26
73. Williamson, G. R., “Response of fibrous-reinforced concrete to explosive loading”, *Technical Report No. 2–48*, US Army Corps of Engineers, Ohio River Division Lab. Cincinnati, Ohio, Jan. 1966
74. Monfore, G. E., “A Review of fibre reinforcement of Portland cement paste, mortar, and concrete”, *PCA Development Lab.*, Sept. 1968
75. Krenchel, H., Hejgaard, O., “Discussion of Paper 7.4: Can Asbestos be completely replaced one day?”, *Fibre-reinforced Cement and Concrete*, RILEM Sympo., 1975, Vol. 2, pp. 607–610
76. Building Research Station, “Poor outlook for sisal”, *Building Research Station News*, No. 14, Aut. 1970, pp. 25
77. Gilson, J. C., “Health hazards of asbestos”, *Composites*, Vol. 3, No. 2, March, 1972, pp. 57–59