

纖維補強 콘크리트의 特性과 最近의 技術(其 V)

아라미드 및 비니론섬유 보강 콘크리트

朴 承 範

(忠南大學校 土木工學科 教授)

제 V 장 아라미드섬유 보강 콘 크리트(AFRC)

5. 1 아라미드섬유 (Alamide Fiber)

1. 아라미드 섬유의 종류

아라미드 섬유는 나일론과 같은 아라미드결합-CONH-을 갖는 합성섬유로써, 그 골격이 방향족 폴리아미드 섬유로 美연방통상위원회에서 아라미드(Alamide)라고 하는 명칭을 붙여 종래의 나일론과 구별하였다. 나일론이 타이어, 어망, 카펫트, 스타킹등 범용섬유로서 대량 소비되고 있는데 비하여, 아라미드는 타이어, 벨트, 플라스틱등의 각종 보강재와 방탄조끼, 내화복등의 특수의류 및 석면대체등 산업용 특수섬유로써 사용되고 있다.

아라미드섬유에는 Para결합형태와 Meta결합형태의 두종류가 있는데, Para결합형태로는 듀퐁社의 KEVLAR와 최근 日本帝人(주)가 개발한 Technora등이 있고, Meta결합 형태로는 듀퐁사의 NOMEX와 帝人(주)의 TEIJIN CONEX등이 있다. Meta계 아미드섬유는 그 분자구조로부터 보통 수준의 강도와 영계수를 가져 시멘트보강재로 적당하지 않지만, Para계 아미드섬유는 고강도·고탄성의

로써 고무, 플라스틱, 무기물등 각종 매트릭스의 보강재로 적당하다. 특히 Technora는 그 분자의 고리중에 일부 에텔결합을 함유한 공중합체(共重合體)인 것이 KEVLAR섬유와 다르지만, 양섬유 모두 고강도·고탄성·고내열성의 특성을 공유한 아라미드섬유로써, 특성상의 가장 큰 차이는 그 분자구조와 제조법의 차이에 따른 화학약품에 대한 안정성이다. 특히 시멘트보강재로서의 Technora섬유는 시멘트등의 강알칼리에 대한 저항성 및 오토클래브 양생에 필수인 내습열성이 KEVLAR보다 대단히 우수하여, E-Glass에 대한 내알칼리 GF와 마찬가지로, Technora는 KEVLAR등의 아라미드섬유에 대한 내알칼리성 아라미드라고 할 수 있으며, FRC용 보강섬유로서 대단히 적절한 재료로 기대되고 있다.

2. 아라미드섬유의 특성

(1) 기계적 성질

Technora의 기계적 성질, 특히 인장강도 및 인장탄성계수는 표 1에 나타난 것처럼 보강용 섬유중에서 PAN계 CF와 함께 최고수준을 나타낸다. Technora의 인장강도는 시멘트의 약 1,000배 정도이고, 극히 소량 혼입에 의해서도 높은 보강효과를 기대할 수 있다. 각종 섬유의 인장강도-변형관계를 그림 1에 나타

표 1. 각종 섬유유 의 기계적 특성

	무 기 계				유 기 계				
	강섬유	내알칼리 유리섬유	탄소섬유		폴리에틸렌 섬유	폴리프로필렌 섬유	비니론 섬유	아라미드 섬유	
			PAN계	Pitch계				Kevlar	Technora
비 중 (g/cc)	7.80	2.50	1.80	1.65	0.96	0.9	1.30	1.45	1.39
직 경 (μm)	500	12	7	18	800~1,000	100~1,000	14	12	12
인장강도 (kg/mm ²)	40~130	130~250	350	60	20	31	150	280	310
탄성계수 (kg/mm ²)	21,000	7,000~8,000	24,000	3,000	250	360	3,700	13,300	7,700
파괴변형율 (%)	2~20	3~4	1.4	20	15	25	8	2.1	4.4

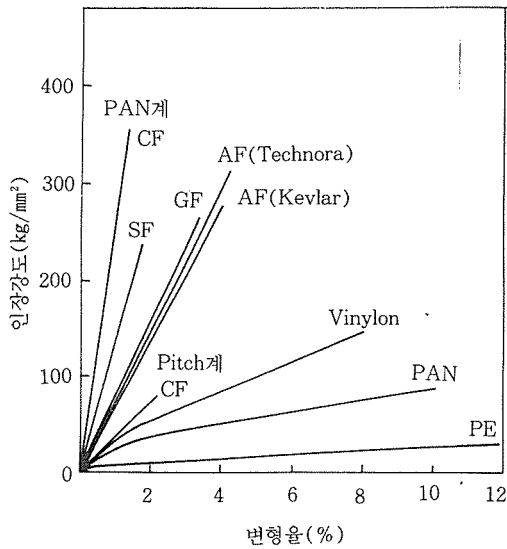


그림 1. 보강섬유의 인장강도 - 변형곡선

내었다.

Technora의 기계적 성질중 또하나의 특징은 다른 섬유에 비해 내충격성이 대단히 우수한 것으로, 이런 내충격성을 활용한 AF직물

은 경량 방탄조끼로 사용되고 있다. 또한 FRC용 섬유중 장섬유상으로 고강도·고내충격성을 가진 것은 아라미드섬유뿐으로, 장섬유보강 FRC는 대단히 높은 충격성을 기대할 수 있다. 그리고 Technora의 인장강도는 인장속도의 증대에 따라 급격이 증대하고, 습윤강도는 건조강도와 거의 비슷하며, FRC의 습윤특성도 건조특성과 유사하다고 보고되고 있다.

(2) 내열성

FRC에 요구되는 내열성은 크게 나누어 두 가지로, 성형양생시의 가열과 제품사용시 고온폭로상태에서 장기간의 내열성 및 화재시 제품의 내열성이다.

Technora의 공기중 내열성은 그림 2에 나타난 것처럼, 유기재료중에서는 대단히 높고, 또한 200°C이하에서는 열수축도 없다고 하므로, 일반적인 사용조건하에서는 Technora의 열화 및 길이변화는 우려할 필요가 없다. 그리고 Technora섬유의 연소성은 유기재료중에서는 비교적 우수해 잘 연소되지 않으나, 화재시의 온도에서는 이들 유기재료는 모두 열분해를 일으키고 연소하기 때문에 이들 FRC유기재료에 있어서는 연소열과 사용량 실적이 중요하며, 이점에서 Technora는 대단히 유리하다.

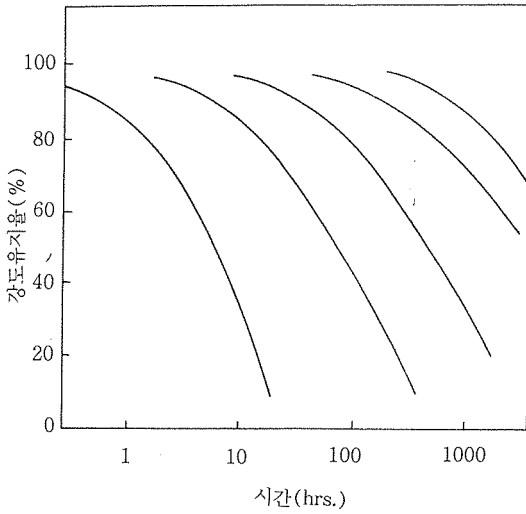


그림 2. AF(Technora)의 내열성

(3) 내화학약품성

FRC에서 대단히 중요시되는 문제로서, 내알칼리 GF는 오토클래브 양생 및 장기간 사용중에 열화가 일어나고, 또 철골은 시멘트매

트릭스의 중성화 및 해사에 의해 녹발생의 위험성을 가지고 있다. 이들 내시멘트성을 화학 반응면에서 보면, 오토클래브 양생에 견디는 내습열성, 오토클래브 양생 및 장기간 사용시 시멘트에 대한 내알칼리성, 그리고 시멘트의 중성화 및 해사에 의한 내부식성(내산화, 내염소이온성)의 3가지로 대별된다.

① 내습열성

그림 3에 나타낸 것처럼 포화수증기중에서의 내습열성은 150°C이하에서는 거의 문제가 되지 않으나 170°C이상에서는 열화가 크게 된다. 이로부터 Technora의 오토클래브 양생은 통상 180°C에서는 무리이지만 150°C이하이면 충분히 가능하다고 판단된다. 또한 오토클래브 양생에 의해 제품의 치수안정성을 크게 개선할 수 있다고 보고되고 있다.

② 내알칼리성

그림 4에 나타낸 것처럼, Technora섬유의 내가성소다성, 내시멘트성 모두 KEVLAR 및 내알칼리 GF보다 현저히 높고, FRC로서의 장기간 사용에도 충분히 견디는 것으로 판단

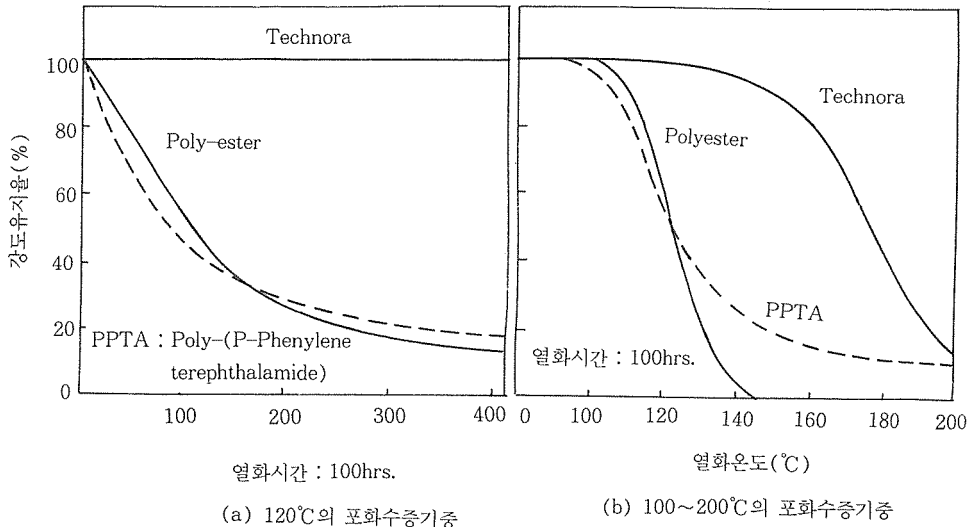


그림 3. 각종섬유의 내습열성

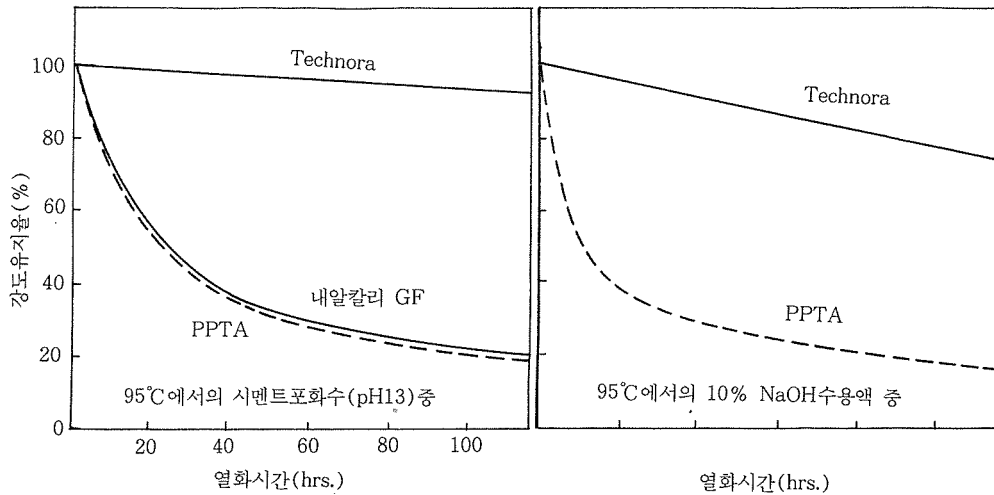


그림 4. 각종 섬유 내알칼리성(내시멘트성)

된다.

③ 내부식성

유기재료인 Technora는 금속에서 보여지는 녹의 발생은 없으나, FRC로 사용한 경우에는 시멘트의 중성화(탄산염화)와 약품탱크(특히 산), 활성오니탱크(부식성 탄산)등에 있어서 내산성 및 해사사용과 해양구조물에 있어서 내염해성의 문제를 고려할 필요가 있으며, 이 점에서도 Technora는 우수한 특성을 나타낸다. 그리고 Technora는 고농도 유황산이나 염산에도 견디는 내산성을 가지며, 또한 해수중에서의 가열축진 시험에서도 거의 열화하지 않고, 심해를 가상한 600기압까지의 가압수중 시험에서도 거의 열화하지 않는 것이 확인되고 있다. 이는 해양구조물로서의 사용가능성을 기준하는 것이다.

(4) 시멘트 친화성

Technora는 분자중에 친수성의 아미드결합 및 에텔결합을 가지고 있지만, 소수성(疎水性)의 벤젠고리 및 고분자배향성 때문에 전체적으로는 소수성에 가까워 시멘트와의 친화성은 불충분하다. 따라서 FRC용 Technora섬유

는 유리섬유등에서와 같은 표면처리를 하는 것이 좋고, 이들 처리제에 의해서 시멘트와의 친화성을 부여할 수 있다. 그러나 이 같은 처리를 실시하지 않아도 혼화제 및 골재의 종류를 선택하고, 또한 섬유분산용 Omni-Mixer 사용에 의해 상당한 분산성을 얻을 수 있다. 또한 섬유가 가늘어도 믹싱중에 절단되지 않고, 높은 아스펙트(예; 12mm길이의 단섬유의 경우 $l/d=1,000$)를 갖기 때문에 시멘트와의 사이에 상당한 밀착력을 일으킨다.

(5) 내후성

Technora섬유의 내후성은 다른 유기재료와 마찬가지로 시멘트 무기물에 비교하면 불충분하고 직사광선하에서는 1년후의 강력은 절반 이하로 되지만, 이 열화는 빛에 의한 것으로 시멘트중에 섬유를 보강한 경우 광열화는 실용상 문제는 없다고 판단된다.

(6) 안전성

건강에 대한 안정성은 석면의 경우처럼 섬유상의 미분진(예를 들면, 직경 3μ 이하, 최대 10μ)이 문제로 되는데, Technora는 단섬유도

직경 12μ , 길이가 수 mm로 별 문제가 없다. 또한 극히 고강력이기 때문에 FRC제품의 파 단시에도 미분진이 발생할 우려는 없는 것으로 판단된다.

5. 2 AFRC의 특성

아라미드섬유는 인장강도가 통상 철근의 5 배이상이고, 영계수도 상당히 높지만 무게는 약 1/5 정도로 가볍고, 녹슬지도 않으며 내열 성도 유기섬유로서는 최고수준에 있다(열분해 온도 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$).

따라서 AFRC도 경량·고강도이고 내구성이 풍부한 특성을 가져 새로운 FRC로서 기대 되는 재료이다. AFRC의 일반적인 특성을 요약하면 다음과 같다.

(1) 고강도화 및 경량화

아라미드의 우수한 강도특성에 의해 AFRC도 고강도화할 수 있고, 이에 따라 필요한 단 면적을 종래보다 대단히 작게 할 수 있어 경량 화할 수 있다. 이 같은 고강도화에 의한 부재 의 경량화는 건물이 고층화할수록 지진입력의 저감등 큰 장점이 있다.

(2) 콘크리트 구조물의 내구성 향상

최근 여러 측면에서 콘크리트의 내구성이 문제되고 있지만, 알칼리 골재반응등 특별한 경우를 제외하고는 일반적으로 콘크리트의 중 성화에 따른 내부철근의 부식이 큰 요인으로 되고 있다. 만일 아라미드섬유를 철근과 같은 보강재로 사용하면, 구조물의 수명을 대단히 길게 할 수 있고 해사등 염분을 다량 함유한 골재를 사용하는 것도 가능하다.

(3) 가혹한 환경하에서의 구조물의 건전성 유지

(4) 균열방지

FRC의 주된 목적의 하나로 균열의 분산효과가 있다. 균열이 하나로 집중되면 균열폭이 크게 되고, 미관상으로 보기 좋지 않으며, 또 내부로 물이 침투해서 철근에 녹을 발생시킬 우려가 있으나, 섬유를 혼입함에 의하여 다수의 미세균열로 분산할 수 있다.

(5) 새로운 분야에의 적용

이상과 같은 고부가가치와 콘크리트가 가진 다양한 형상에 대응할 수 있는 성질을 조합하면, 지금까지 콘크리트가 사용되지 않았던 새로운 분야에도 적용할 수 있다. 그러므로 이 같은 특성을 충분히 발휘시키기 위해서는 콘 크리트에 대한 섬유의 형상을 고려해 적절한 보강법을 확립해야 하는데, 아라미드섬유는 직경이 12μ 로 대단히 가늘기 때문에 이처럼 가는 섬유에 대하여 어떻게 힘을 균등하게 전달 하는가 하는 것이 보강시의 초점이다. 왜냐하면, 섬유는 철근과 달리 연신율이 작고, 또 균 등하게 힘이 가해지지 않으면 섬유가 각기 파 단되기 때문이다.

콘크리트의 보강방법으로서는 단섬유와 장 섬유 보강의 두가지가 있다. 단섬유는 콘크리트 및 모르타르중에 균등하게 분산시켜 혼입 하며, 이때 섬유의 길이로는 $5\sim 20\text{mm}$ 정도이지만 콘크리트 및 모르타르의 믹싱상태에 따라 적절한 길이를 선택하는 것이 바람직하다. 모르타르중에 섬유가 균등 분산되면 AFRC의 휨강도는 상당히 크게 된다. 일부 보고에 의하면 단섬유를 2% 정도 혼입하면 휨강도가 2배 정도 증가하고 섬유혼입을 증가에 따라 안정된 값을 나타낸다고 한다. 그런데 여기서 중요한 것은 가는 섬유를 어떻게 콘크리트 및 모르타르중에 균등 분산시켜서 확실하게 부착시키느냐 하는 것이다. 따라서 콘크리트 및 모르타 르는 가능한 한 밀실한 조성을 가지는 것이 바람직하고, 이를 위한 효과적인 제조방법으로서 는 가압성형 및 탈기식 압출성형법등이 고려 되고 있으며, 이중 탈기식 압출성형기는 장섬 유의 경우도 보강용으로 매입할 수 있고, 그 제조방법을 그림 5에 나타내었다.

한편, 장섬유는 filament를 필요본수로 집속 하여 rod상이나 Mesh상 또는 각종 직물상으로 하여 이용한다.

현재까지 실용화되고 있는 아라미드 장섬유로는 두 종류가 있다. 하나는 KEVLAR 장섬유를 끈상태로 엮어짜 그것을 예폭시 수지로

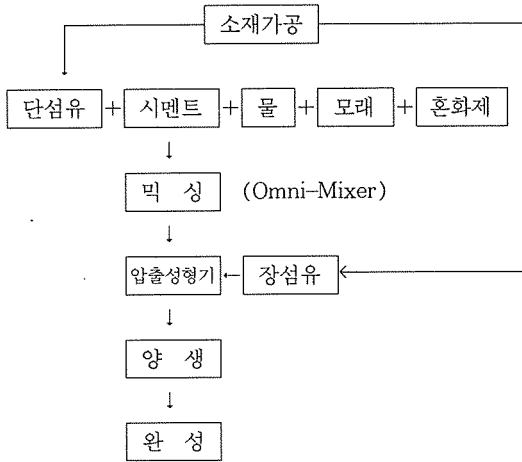


그림 5. 압출성형법에 의한 부재의 제조과정

굳힌 FIBRA로서, 끈모양으로 엮어짜는 방법을 개발함으로써 각 섬유에 균등하게 힘을 전달시킬 수 있어 rod상의 인장강도 및 영계수가 filament 이론값의 80% 이상 확보되고 있으며, 독특한 표면형상 때문에 콘크리트와의 일체성이 양호하다 FIBRA에는 KEVLAR 단독의 것과 중심부에 철심을 넣어 High bride로 한 것이 있으며, Spiral상등 직선이외의 형상도 가능하고 이음에 의한 접합도 가능하다.

또 하나는 Nephmark로써, 이는 컴퓨터 제어에 의한 성형기로 아라미드섬유 및, 탄소섬유, 유리섬유등을 여러 형상의 Mesh근 및 입체배근으로 일체성형하여 제조한다. 구조는 장섬유의 속(Tow)을 직선상으로 나란히 한 후 비닐에스테르 수지로 굳혀 만든 것으로, 여러 섬유의 조합이 가능하고, 사용용도에 따라 Case by case로 여러 특성을 발현시킬 수 있어, 이들 장섬유는 철근의 대체재료로서 사용할 수 있다. 또한 최근에는 FIBRA 또는 Pultrusion시킨 아라미드섬유를 비닐에스테르 수지등으로 굳힌 rod를 PC용 긴장재로서 적용하는 연구도 이루어지고 있는데, 아라미드섬유의 Creep성상 및 Relaxation의 정량적 파악이 이루어지면, 항복점이 없고 연신율도 거의 없는 아라미드섬유의 특성을 활용한 방법

으로 대단히 유효한 것으로 판단된다.

5. 3 AFRC의 적용

아라미드섬유는 여러 형태를 갖기 때문에 FRC의 성형법에도 여러가지가 있으며, 이를 표2에 나타내었다.

표 2. AFRC의 성형법

섬유의 형상	성 형 법
장섬유	Filament Winding법 Prepressing법 Hand lay-up법
FRP rod 로 프	철골보강(추철근 및 전단철근) PC 긴장
Mesh 주직포	Hand lay-up법 Prepressing법 압출성형법
단섬유 펠 프	Spray-up법 유입성형법 프레스성형법 압출성형법 초조법

장섬유 또는 그 가공품을 이용한 성형법은 Technora섬유가 가진 고강도·고탄성 및 고인성을 최대한으로 발휘시키는 방법이다. 예를 들면, 종래의 철근 및 금속 Mesh를 FRC로 대체해 장섬유에 의한 Filament Winding법과 Prepressing법 및 Mesh에 의한 Hand lay-up법에 의해 얻어지는 FRC는 아라미드섬유를 극히 소량사용하여 동등의 성능을 발휘할 수 있다. 특히 PC긴장재로서의 고강력 철근에 FRP rod에 의한 보강으로 대체하는 것도 검토되고 있는데, 이 FRP rod는 종래의 피아노 선과는 달리 응력부식등이 없기 때문에 해수 및 해사에 의한 우려가 거의 없어 새로운 용도 전개가 기대된다. 또한 단섬유 혹은 펄프로서의 이용에는 다른 종류의 섬유보강법과 같은 성형법을 적용할 수 있다.

1. 시멘트 단섬유 보강

(1) 양생조건의 영향

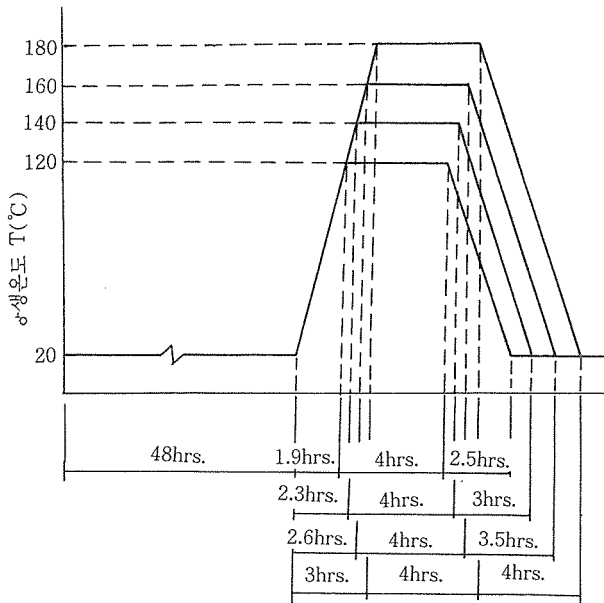


그림 6. 오토클래브 양생의 온도-시간 관계

Plain에 비해 AFRC는 대폭적인 휨강도 증가 경향을 보이며, 140°C까지의 오토클래브 양생의 경우 기건양생에 비하여 휨강도는 현저히 증대하지만, 150°C를 초월한 오토클래브 양생에서는 기건양생에 비하여 $6b.max(Auto)/6b.max(Air) < 1.0$ 으로 되고 섬유 열화를 일으키기 때문에, AFRC의 경우 오토클래브 양생은 140°C 정도가 바람직하다.(그림 6)

(2) 섬유요인에 따른 영향

1) 섬유길이

Flow값은 섬유길이가 1mm와 3mm 사이에서 급격히 저하하고, 단위용적중량은 섬유길이의 증가와 함께 감소하는데, 이는 섬유혼입에 의해 연행공기량이 증대하기 때문으로 판단된다.

또한 그림 7에 나타난 것처럼 AFRC의 휨강도는 섬유가 길수록 증대하지만, 인장강도는 섬유길이가 1mm와 3mm 사이에서 급격히 증대하고 그 이상에서는 강도증진이 완만하다. 이런 경향은 섬유의 아스펙트비에 의한 것이지만 시멘트와 섬유의 믹싱방법 개선에 따른 섬유의 분산상태에 관해서도 검토가 요망된다.

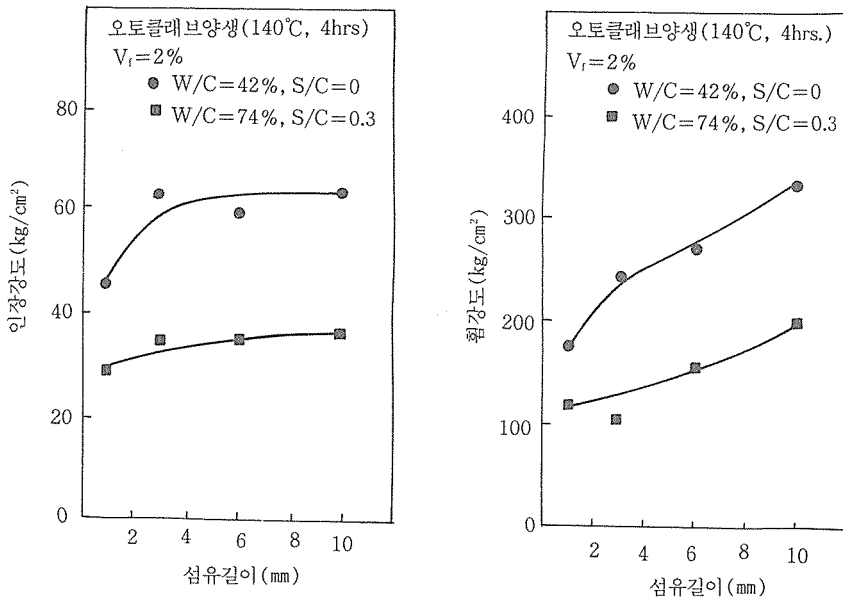


그림 7. 섬유길이와 인장강도 및 휨강도 관계

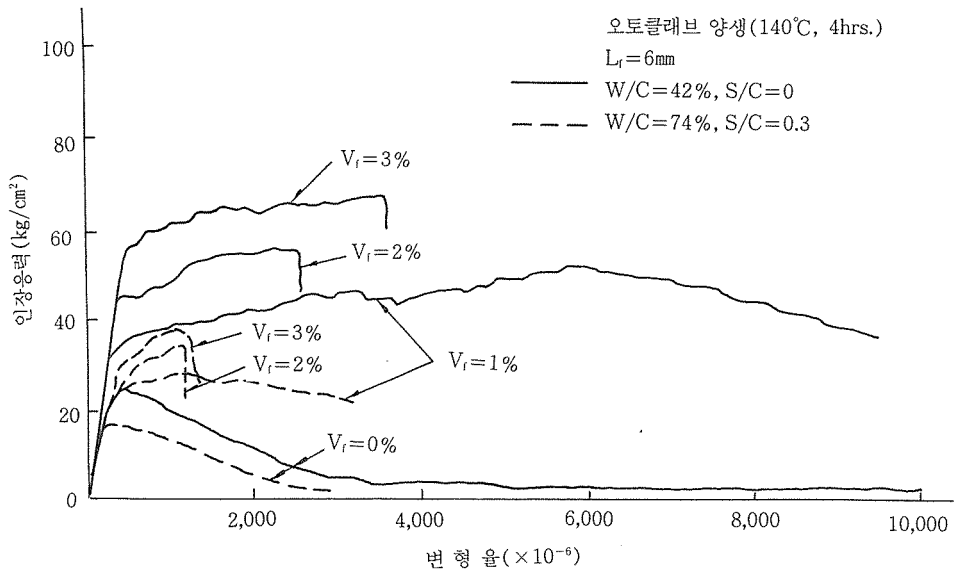


그림 8. 인장응력 - 변형곡선

2) 섬유혼입율

Flow값은 AF를 소량 혼입함에도 급격히 저하하고, 섬유혼입율이 증가함에 따라 저하율은 점차 작아진다. 그림 8의 FRC의 $\sigma-\epsilon$ 곡선에서 보는 바와 같이, 섬유혼입에 의해 강도증가와 함께 곡선은 현저한 bi-linear의 형상을 나타내었다. 또한, 경량 모르타 매트릭스의 경우는 섬유혼입율 증대에 따라 인장강도도 증가하지만, 시멘트 매트릭스의 경우는 $V_f=2\%$ 이상에서는 강도증가율이 저하한다고 보고되고 있다.

단섬유로 보강한 FRC의 인장강도 추정식은 다음과 같다.

$$\sigma_{t,max} = \alpha \cdot \sigma_{fu} \cdot V_f$$

여기서, α : 섬유의 유효계수

σ_{fu} : 섬유의 인장강도

V_f : 섬유의 체적

α 는 섬유혼입율 증가에 따라 급격히 저하하고, η_1 (섬유배향계수)와 η_2 (섬유길이계수)의 곱으로 표현되며, 또한 3차원배향 FRC에서는 α 의 이론값이 0.41이다.

AFRC에서는 다른 유기섬유에서는 보이지 않는 소량의 섬유혼입율에 의해 인장강도의 큰 개선이 확인되고 있다.

또한 α 의 개선대책(믹싱방법의 개선, Technora섬유의 시멘트에의 친화성 개선 및 Technora 장섬유 Mesh보강등으로 섬유 직선강도의 유효한 보강방법 적용 등)에 대한 검토가 기대된다.

한편, AFRC의 압축강도는 그림 9에 나타난 것처럼, $V_f=0\sim2\%$ 까지는 증가하는 경향이 있지만, 그 이상에서는 강도의 증가는 거의 없는데, 이는 인장특성과 거의 일치하고 있고, 이들이 휨강도에도 크게 영향을 미치고 있다고 판단된다.

(3) 내구성 및 치수안정성

폭로조건에 따른 폭로일수와 휨강도의 관계에 관한 연구보고에 의하면, Technora섬유의 장기재령에서의 강도저하는 거의 일어나지 않고, 열화현상도 거의 나타나지 않으며 구조물의 수명증가에 크게 유효하다고 한다. 또한 140°C 에서 4시간 오토클레브 양생을 행한 공

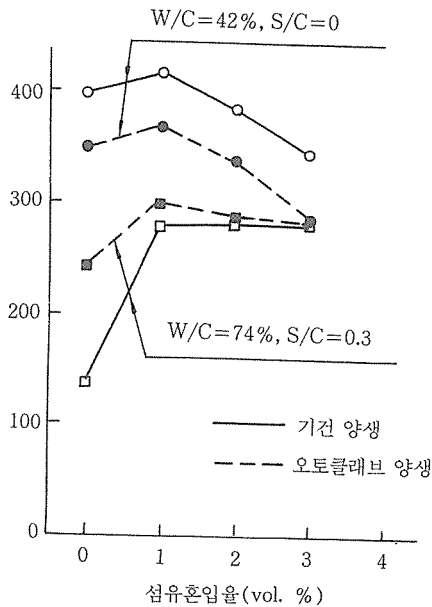


그림 9. 섬유혼입율과 압축강도의 관계

시체의 건조수축율은 기건양생을 실시한 경우의 약 37% 수준을 나타내어, Technora 섬유보강 FRC의 길이변화율도 현저히 개선된다고 보고되고 있다.

2. Mesh보강 시멘트

Technora장섬유를 보강재로 사용하는 경우, 섬유의 직선강도를 그대로 활용해 매트릭스를 보강하는 방법은 다른 보강법에 비해 경제적으로 유리한 방법이다.

프리악세스 플로어(FAF 판)에서 요구되는 특성으로는 ① 경량이고, ② 충분한 강도와 인성을 가지며, ③ 정전기 방지효과가 있어야 하며, ④ 자유롭게 절삭가공이 가능한 것들을 들 수 있다.

FAF판의 휨내력을 측정하기 위하여 4점지 지 중앙재하 휨시험에 의하면, Technora장섬유 Mesh보강 FAF판은 CFRC제 FAF판과 비교하여 휨내력은 거의 비슷하지만, 처짐능력이 3~4배 우수하여 탁월한 고강도·고인성을 가지고 있다고 보고되고 있다.

또한 FAF판 중앙에 강구낙하에 의하여 상판중앙의 처짐이 20mm를 초과하거나 FAF판이 파단되기까지의 낙하회수를 측정한 충격시험결과에 의하면, Technora장섬유 Mesh보강 FAF판은 CFRC제 FAF판에 비하여 내충격성이 대단히 우수하고, 특히 AF장섬유 Mesh를 2층으로 매입하고 pitch계 CF를 소량 혼합한 경우가 AF Mesh 1층 매입의 경우나 CF를 혼합하지 않은 경우에 비하여 월등한 내충격성을 나타낸다고 보고되고 있다.

한편, AF장섬유 Mesh를 보강한 FAF판의 70°C 항온수조에서 열화축진시험을 실시하여 아르레니우스 식에 기초한 수명추정시험을 행한 결과, GF단섬유 또는 GF net만을 사용한 GRC는 20년 경과후에 열화하는 경향을 나타내지만, Technora섬유 Mesh보강의 경우는 경년열화가 거의 완전히 소실하여 우수한 성능을 발휘한다고 보고되고 있어 GRC판의 대체재료로서 기대되고 있다.

3. FRP rod보강 콘크리트

해수 및 해사에 의한 강재부식의 문제가 세계 여러 나라에서 Close-up되어 큰 사회문제로 되고 있는데, PC강재의 경우도 예외는 아니다. 따라서 이에 대한 대책이 크게 요구되고 있으며, 이런 측면에서 Technora섬유의 FRP rod는 PC강재의 대체재료로서 새로운 용도전개가 기대되고 있다.

FRP rod를 PC용 긴장재로 이용하려는 시도는 이미 1950~'60년대에 걸쳐 미국, 영국 및 소련에서 연구가 행하여져 왔으나 실용화된 것은 없으며, 그 이유는 정적피로(FRP rod에 인장하중을 계속해서 가할때 rod중의 각 섬유에 발생하는 인장응력이 균등하지 않기 때문에 시간경과와 인장내력이 저하하는 현상)문제와 긴장 및 정착장치에 문제가 있기 때문이다. 그러나 Technora섬유를 비닐에스테르 수지로 굳혀 Pultrusion방식으로 FRP rod를 성형한 경우 정적피로의 문제점을 대폭 개선할 수 있고, 또한 최근 日本東大小林研에

의해 개발된 FRP rod용 압축마찰형 Grip을 이용해 FRP rod의 인장응력 시험을 실시한 결과보고에 의하면, 혼합칙에 의한 이론강도의 약 91% 정도의 값을 얻을 수 있으며 파단된 곳도 rod의 중앙부분이었다고 하므로, 이 Grip을 이용해 FRP rod를 긴장·정착할 수 있다.

그리고 하한응력을 정적피로강도의 10%로 하여 피로시험을 행한 결과, 100만회 피로강도가 정적인장강도의 약 45%라고 하는 결과를 나타내어 PC강선과 거의 동등하다고 보고되고 있으나, rod표면의 Spiral상 보강섬유와 축방향섬유사이에서 Sliding이 일어나 rod가 파단되는 예가 보여져, 양섬유사이의 부착을 개선하면 피로특성을 크게 개선시킬수 있을 것이다.

한편 FRP rod를 PC강재의 대체로서 콘크리트에 보강한 경우의 각종 연구보고 결과를 종합해 요약하면, 재료수준뿐만 아니라 시공, 실용수준에 있어서도 FRP rod를 PC용 강재로 사용해도 기본적으로 큰 문제가 없으며, 30년 후의 유효프리스트레스는 PC강선을 이용한 경우와 거의 같았고, 또한 FRP rod는 항복점이 없기 때문에 보의 정적과괴시에 처짐이 급격하게 증가하지 않으며, 축에 직각방향의 섬유와 축방향섬유의 부착을 개선함에 따라 시공성, 안정성을 높게 할 수 있다고 한다.

5.4 AFRC의 용도개발

최근의 콘크리트 보강용 섬유의 보강방법으로는 5~20mm정도의 단섬유를 사용하는 경우와 Filament를 가공해 철근과 같은 rod상 또는 mesh상 장섬유를 사용하는 두가지가 있다. 특히 탄소섬유 및 아라미드섬유와 같이 고강도·고탄성의 소재를 장섬유로 사용하는 경우는 새로운 구조재의 형상을 얻을 수 있다.

따라서 녹이 문제로 되는 경우를 중심으로 철근의 대체재로서 그 사용이 기대되며, AF 장섬유는 a) 끈모양으로 엮어짠 섬유를 수지

로 굳힌 것, b) Mesh근 및 입체배근으로 일체성형시킨 것, c) 기둥의 지진보강, d) 프리스트레스용 rod와 같은 것들이 적용되고 있다.

또한, 단섬유를 이용하는 것으로서는 대표적인 것으로 압출성형 판넬이 있다.

그러나 아라미드섬유는 cost면이나 열에 대하여 다소 과제를 남기고 있으며, 가공성이 대단히 좋기 때문에 여러가지 용도에의 적용이 검토되고 있다.

앞으로는 고강도·경량·고내구성등의 고성능 건재에 대한 요구에 따라 실용화를 위한 AFRC의 개발이 한층 더 활발해질 것이다.

한편, Technora는 AR-Alamide 섬유로서 최근 수년간 주목을 받으면서 실용화를 위한 각종 성형법이 적용되어 기초검토가 이루어지고 있다. Technora섬유의 특징은 고강도, 고탄성, 고충격성과 함께 형태자유도(시공성)가 우수하고, 아울러 내습열성, 내알칼리성, 내부식성등이 우수하여, 금후 광범위한 분야에서 실용화가 진행될 것으로 기대된다. 표 3에 AFRC로 적용할 수 있는 구조 및 비구조용의 적용예를 나타내었다.

표 3. AFRC의 적용 예

적용 분야	용 도 예
건 축	영구형틀, 커텐월, 셸등의 경량 벽재, OA용 보드, 칸막이벽, 판넬(전파흡수판넬, 내식성·내마모성 판넬, 단열판넬, 방음판넬, 외벽판넬 등), 상판, 천정재, 타일, 기와, 슬래트판 등
토 목 및 기타분야	보·기둥용 철골대체, RC구조물의 보강근, 非磁性 보강근, PC용 긴장재, 콘크리트 보수, 소파블록 등의 해양구조물, 보, Tension rod, PC 교량판넬, 흡관, 파이프(상·하수도관, 전기용 케이블 닥트용, 보링용 케이싱파이프 등), 흡관, 각종 탱크 등

제 VI 장 비니론섬유 보강 콘크리트(VFRC)

6. 1 비니론 섬유(Vinylon Fiber)

1. 비니론의 일반적 특성

고분자 과학의 발달에 따라 최근 아라미드 섬유로 대표되는 High-Tech섬유를 비롯하여 많은 합성섬유가 개발되었으나, 비니론은 가장 먼저 공업화된 것의 하나로서 이미 약 40년동안 다방면에 걸쳐 용도개발이 진행되어 왔다. 비니론은 원료수지 그 자체이고 또한 그 독특한 방법으로 제조되기 때문에 다른 합성수지와 비교하여 고강력·저신도·고탄성이고, 내후성(내자외선), 친수성 및 내산·내알칼리성이 우수하며, 또한 섬유표면의 복잡한 주름에 의해 우수한 접착성을 나타낸다. 이와 같은 특징에 따라 비니론은 일찍부터 산업재료로서의 용도를 전개해 왔으며, FRR(고무보강), FRP(플라스틱보강), FRA(아스팔트보강) 등의 보강분야에서 많은 적용예를 가지고 있다. 특히 FRP에 대해서는 비니론의 기계적 성질이 대단히 유효하게 활용되어 자동차의 Oil brake hose를 비롯하여 각종 고압 hose, 대형 Conveyer-belt, Radial tire 등의 넓은 시장을 가지고 있다. 이 분야에서는 비니론의 고강력, 저신도, 고탄성등의 기계적 특성뿐만 아니라 매트릭스인 고무에 대한 우수한 접착성이 높게 평가되고 있다. 또한 Mesh직물을 주로하는 농업자재, 해태양식용 망을 중심으로 하는 어업자재, 건설, 토목, 스포츠분야에 이용되는 각종 캔버스등은 비니론의 자외선, 온·습도 등에 대한 장기내구성등이 높게 평가되어 이용되고 있는 분야이다. 또한 최근에는 비니론의 우수한 친수성을 이용한 산업용 제지분야에 적용하여 알칼리전지의 격리판(Separator)으로 널리 활용되고 있다.

2. 섬유 보강효과

시멘트등 취성재료 보강용 비니론의 개발을

위하여 섬유에 요구되는 물성을 구명하기 위한 보강 Mechanism을 모델화하려는 시도가 오래전부터 행하여져 왔으며, 그런 섬유특성을 비니론에 부여해 이들 섬유의 보강효과를 실험적으로 확인한 후 FRC용 비니론을 개발해 왔으며, 그 보강기구에 대해 간단하게 서술한다.

불연속한 단섬유로 보강시킨 취성복합체가 파괴에 이를 때까지 외력을 작용시켰을 때, 파괴에는 섬유의 인발과 섬유파단의 2가지를 고려할 수 있다. 시멘트계 복합체에 단순 인장력이 작용할 때 그 힘이 작은 경우에는 탄성체로 거동하고, 큰 힘이 작용하면 매트릭스에 미세균열이 발생하여 전체적으로는 연성적인 상태를 나타내기 때문에 힘은 매트릭스에서 섬유로 전파된다. 복합체에 외력이 작용할 때 매트릭스에 미세균열이 발생한 단계에서 섬유와 매트릭스 사이의 계면결합력이 섬유의 탄성한계시 응력보다도 약해지면, 그림 10에서 보는 것처럼 섬유는 응력의 전파를 받지 않고 빠져나가서 보강용으로 적합하지 못하다. 이 계면결합력이 섬유의 항복점보다 높은 경우에는 섬유에 “Necking”현상이 일어나 가늘어지고 계면결합이 파괴되기 시작한다. 이 경우, 섬유의 매입길이(접착면적)와 섬유자신의 파단강력이 상대관계로부터 섬유는 빠져나가던가(그림중의 B₁) 파단(B₂)의 경로를 따라간다. 따라서 시멘트계 복합체의 강도, 인성에 의해 계면결합력은 큰 작용을 끼친다는 것을 알 수 있다. 이 모델에서 보강섬유에는 매트릭스와의 강력한 계면 결합력과 섬유자체의 높은 파단강력이 요구된다는 것을 알 수 있다. 실제 섬유보강시에는 매트릭스중에 소량의 섬유를 혼입하는 것이 일반적이기 때문에, 각종 섬유를 보강재로써 1~2% 보강하였을 때의 휨응력-처짐관계를 모델적으로 그림 11과 같이 나타내었다.

SF 및 PAN계 CF등의 고탄성 섬유의 경우 매트릭스에 미세균열이 발생하기 까지의 영역에서 섬유와 매트릭스 각각의 탄성계수 가성성(加成性)을 가져 작용하기 때문에 균열

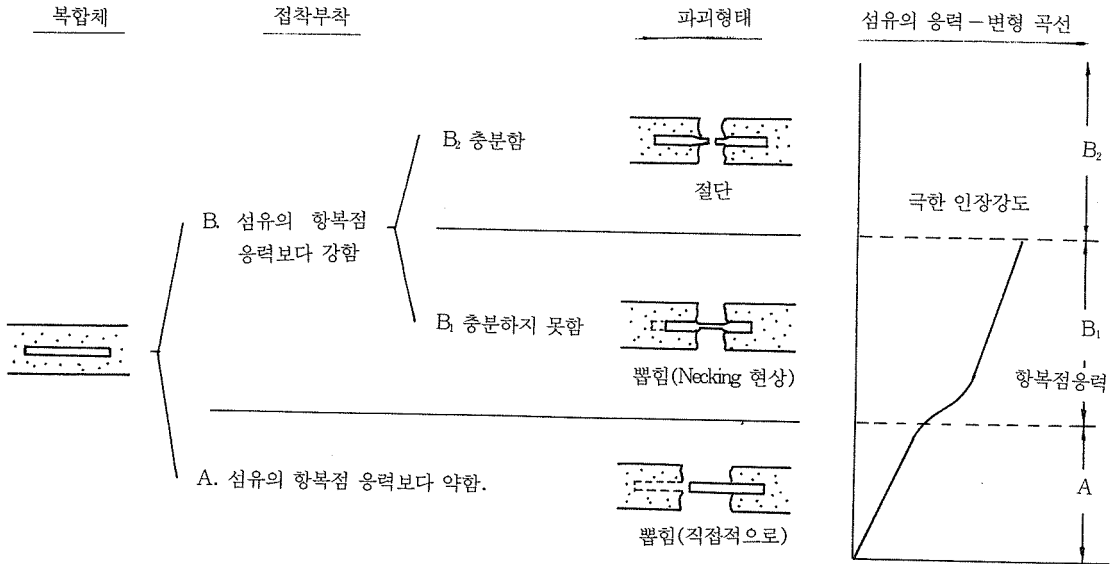


그림 10. 복합체의 파괴 메카니즘

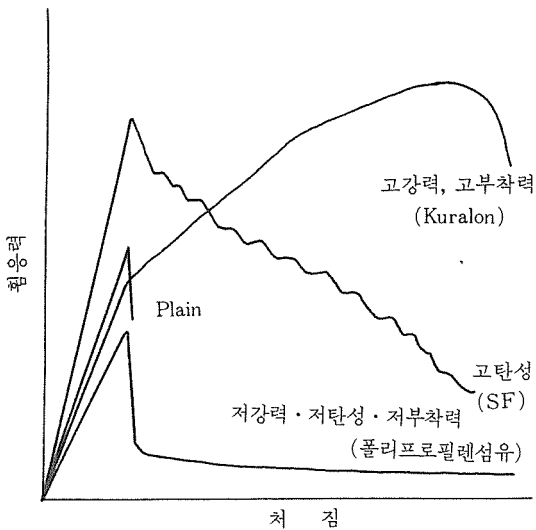


그림 11. 각종 섬유 보강시의 휨응력-처짐 곡선

강도의 향상에 기여할 수 있다. 그러나 탄성계수가 낮고 시멘트에의 접착력이 부족한 폴리프로필렌과 같은 섬유에서는 복합체로서의 탄

성계수가 저하하고 균열강도도 저하한다. 따라서 경량·고탄성·고강도이고 접착력이 우수한 섬유를 보강재로서 이용하면 균열강도, 파괴강도의 향상을 기대할 수 있다.

한편, 합성섬유를 보강재로서 고려하는 경우 경제성도 함께 고려해 이들의 밸런스를 어느 정도 가진 것을 공급할 수 있는가 하는 것이 중요하다. 균열강도(LOP)의 향상에는 고탄성 섬유를 가급적 많이 혼입해 사용하는 것이 좋고, 파괴강도의 향상에는 고강력·고접착력의 섬유를 이용하는 것이 유효하다. 유기계 합성 섬유는 무기질 섬유와 비교해 일반적으로 탄성계수가 낮으므로 이 경우에는 LOP 이후 미세균열이 발생될 때부터 보다 높은 응력의 MOR에 도달할 때까지의 보강효과를 발휘시킬 수 있고, 균열폭은 섬유의 탄성계수가 클수록 미소하게 된다. 일반적으로 단섬유 보강 시멘트 복합체의 기계적 강도는 전술한 것처럼 섬유의 기계적 물성(강도, 영계수), 섬유와 매트릭스의 계면결합력(임계 섬유길이)에 크게

지배되지만 섬유혼입율, 섬유배향등에 따라서 도 크게 영향된다.

3. FRC용 비니론의 특성

시멘트 보강용 섬유로서의 요구성능은 전술한 것처럼 그 기계적 물성, 특히 섬유의 인장강도와 시멘트에의 접착력이다.

이런 사실에 기초하여 종래 비니론보다 진일보한 FRC용 비니론 Kuralon을 최근 일본 등지에서 개발하였다. FRC용 비니론은 월등한 고강도를 가지고 있고 또한 탄성계수는 다른 섬유와 비교해 압도적으로 크기 때문에 다른 조건(예를 들면, 접착성등)들이 만족되면, 보다 우수한 보강효과를 기대할 수 있고, 또한 비교적 작은 섬유혼입에 의해서도 높은 보강효과를 발현할 수 있다.

한편, 시멘트 보강을 전제로 하는 경우 이들의 기계적 특성과 함께 내알칼리성이 중요한 채용기준이 되는데, 비니론의 시멘트의 강알칼리성에 대해 충분한 내성을 가지며, 또한 시멘트 매트릭스 보강은 섬유혼입율이 크게 영향을 미치기 때문에 GF, SF등의 무기계 섬유보다 비중이 작은 유기계 섬유가 유리하다. 그리고 슬레트 제조에서 이용되는 Hatschek법(초조법)등의 생산공정에서는 섬유표면과 시멘트 슬러리 사이의 문제가 대단히 중요하고, 섬유를 균등분산시키는 것이 필요하다. 이에 대해 비니론은 폴리비닐 알콜(Poly vinyl alcohol)을 원료수지로 해 제조되기 때문에 친수성이 우수할 뿐만 아니라 강알칼리성의 시멘트 슬러리 중에서 유효하게 효력을 나타내도록 계면활성제 처리를 하고 있고, 또 섬유자신이 강한 접착력을 가지기 때문에 단섬유 사용이 가능하고 섬유분산성이 대단히 우수하다.

(1) 시멘트에의 접착성

비니론은 원료인 폴리비닐 알콜에 OH기를 함유하여 친수성이 대단히 우수한 섬유이기 때문에 시멘트와 같은 수경성 물질에 대해 친화성이 좋다. 또한 습식이나 건식방사법으로 섬유성형이 가능하기 때문에 섬유표면에 미소

한 주름을 만들 수 있으므로 화학적·물리적으로 비니론은 시멘트에의 접착성이 우수하다. 시멘트 매트릭스의 파단면에 관한 SEM관찰결과에 의하면 폴리프로필렌 섬유표면은 완전하게 드러난 상태인데 비하여 비니론 섬유에서는 표면에 시멘트 결정물이 강고하게 부착되고 있어 다른 섬유혼입시 그 파단면에서 섬유의 끝단이 대단히 길게 뽑히는 현상을 나타내고 있는데 비해 비니론에서는 그 길이가 50~60 μ m 정도로 거의 절단되어 있음이 보고되고 있다.

또한 각종 섬유로 보강한 슬레트판의 경우에 섬유강도의 측면에서 보면 아라미드섬유, 내알칼리 GF는 비니론 섬유이상의 보강효과를 나타내고 있으나 접착력이 충분하지 못하기 때문에 충분한 보강성을 얻을 수 없는데 비하여 비니론에서는 강도가 이들 섬유보다 낮음에도 불구하고 접착력이 우수하기 때문에 섬유가 파단될 때까지 이용할 수 있는 우수한 보강성을 나타낸다.

(2) 내알칼리성

시멘트는 강한 알칼리성 물질로 물의 존재 하에서 경화한다. 그래서 시멘트 제품의 보강재로 사용되는 섬유는 강알칼리성(경우에 따라서는 경화의 발열반응에 따라 70~90 $^{\circ}$ C의 분위기)에 놓여 있고, 또한 경화후의 시멘트 제품도 장기간에 걸쳐서 알칼리성을 유지하고 있기 때문에 장기간에서의 내알칼리성이 크게 요구되는데, 비니론은 이미 광범위한 산업자재 분야에서 많은 실적을 쌓을 정도로 내약품성, 내후성능에 관해서 높게 평가되고 있다.

(3) 안전성

세계 여러 나라에서 시멘트 제품으로서 널리 이용되어온 석면은 인체에 장해를 일으키기 때문에 그 사용이 금지되고 있다. 석면의 위험성에 관한 여러가지 보고에 의하면 미세한 석면가루가 폐에 흡입되는 것이 문제가 되는데, ILO(국제노동기구)의 기준에 의하면 석면섬유의 기하학적 치수가 3 μ m이하의 직경을 가지고 그 길이가 직경의 3배이하의 섬유질 물질이 문제로 되고 있다. 그러나 FRC

용 비니론은 직경이 14 μm 의 섬유이고 그 길이도 수 μm 의 크기를 가지기 때문에 이것은 폐에 흡입·부착하는 일은 없고 또한 GF등과 다르게 가공 및 시공시에 가늘어지지 않는다. 습식조조법으로 제조한 슬레트중의 섬유형태는 석면의 경우 미세한 가는 섬유상으로 쉽게 쪼개지는데 비해 비니론은 파편상으로 분쇄되어 세분화되는 것이 없다. 폴리비닐 알콜 및 비니론은 미국의 F.D.A에서 식량관계의 제조 공정, 포장등에 사용을 허용하고 있고, 또한 인공신장, 인공혈관 및 수술용 봉합사등 의학 용에도 이용되고 있다.

한편, 시멘트 제품은 건재로서 내장·외장에 이용되는 용도가 많고, 유기섬유를 그 보강재로 이용하는 경우 화재시 유독가스의 발생에도 주의할 필요가 있는데, 비니론은 탄소, 수소, 산소만으로 된 폴리비닐 알콜을 원료로 하기 때문에 연소시에 암모니아등의 질소계 혹은 아황산가스등의 황산계 유독가스를 발생하지 않는다.

6. 2 VFRC의 적용

1. 비니론에 의한 석면대체

(1) 비니론에 의한 석면대체

습식 슬레트의 대표적인 것이 석면슬레트이고, 시멘트와 석면을 원료로 한 슬러리를 성긴 망으로 여과해서 평판 또는 파판상으로 성형하는 Hatschek법이 일반적으로 이용되고 있다. 이 석면을 다른 소재로 대체한다고 하는 경우 그림 12에 나타난 것처럼 많은 요인·특성을 고려해야 하고 이를 만족하거나 Balance를 이루기·이전에는 대체품으로의 가치를 가진다고 말할 수 없다. 석면은 시멘트 경화체의 기계적 물성을 향상시키는 것은 물론이지만 제조단계에서 시멘트입자의 포착·적층시의 층간 박리 방지, 생판의 강도향상 등의 공정 통과성의 부여라고 하는 중요한 역할을 갖고 있다. 단순히 시멘트 경화체의 기계적 물성을 보장하는 것

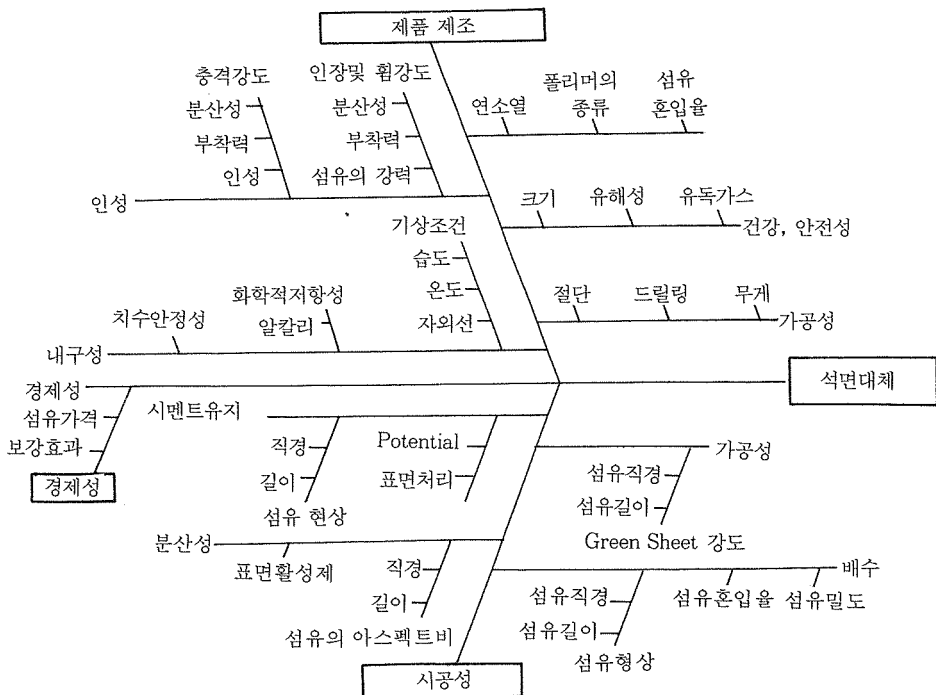


그림 12. 석면대체를 위한 FRC로서의 섬유의 고려할 요인

만이 석면의 역할이 아니기 때문에 그 대체에는 대단한 어려움이 따른다. 비니론을 이용하면 시멘트판의 물성은 충분히 석면대체로 할 수 있지만, 섬유 평균 직경이 $14\mu\text{m}$ 의 봉상이기 때문에 Hatschek법에서는 시멘트의 포착성이 역시 불충분하고 안전하게 연속운반을 계속하기 위해서는 문제가 있다. 또한 초조시의 수분증발이 빠르기 때문에 생판의 수분 함유량이 낮게 되는 경향이 있고 적층생판의 층간 접착력이 부족한 경우가 있어 초조 조제와의 적당한 조합에서 공정통과성도 부드럽게 이루어져 얻을 수 있고 제품물성도 만족한 것을 얻을 수 있다. 그러나 초조 조제는 예를 들어 펄프 첨가에 의한 불연성, 형태 안정성의 불량화가 보여지는 등의 마이너스 면도 약간 남아 있다. 슬레트 제작사에서는 초조법을 공통으로 채용하지만 원료의 조합법, 운반기술 등은 여러가지이고 각社 각각의 know-how와 기준을 가지고 있다. 따라서 우리가 개개의 Case에 완전한 대응을 하는 것은 불가능하지만 초조 조제는 석면 대체시에 일어나는 Hatschek법에서의 문제점에 대한 공통의 해결방향을 나타낸 것으로써 유용하다. Hatschek법에 의한 석면을 보강재로 하는 슬레트판의 조제법은 이미 80여년의 역사를 가지고 완성시킨 기술로 석면을 사용하는 경우의 설비로도 불려지는 것이다. 여기서 단순히 석면을 다른 섬유로 치환한다면 전술한 것처럼 공정 통과성 제품 물성면에서 여러 가지 문제점이 일어나게 된다. 따라서 단순대체에 가깝게 되도록 개발한 것이 FRC용 비니론으로서 이 비니론은 고강도이고 형태적으로도 종래 비닐론에 비해서 미세하며 특수한 섬유표면을 가지고 있기 때문에 거의 초조 조제 없이도 초조가 가능하며 또 시멘트 경화체의 물성도 우수한 것을 얻을 수 있는 획기적인 석면 대체 비니론이다.

(2) 비니론 보강 초조 슬레트의 물성

종래의 석면슬레트에 비해 VFRC의 경우 섬유혼입량 2% 정도로서 석면 15%제품과 동등한 휨강도를 얻을 수 있으며, 그림 13의 혼

입량의 변화에 따른 슬레트판의 휨응력-처짐 곡선에서와 같이 석면제품에 비해 파단시의 처짐이 크게 되고 있는 것이 특징이다. FRC용 비니론 보강 슬레트는 종래 비니론에 비해 휨

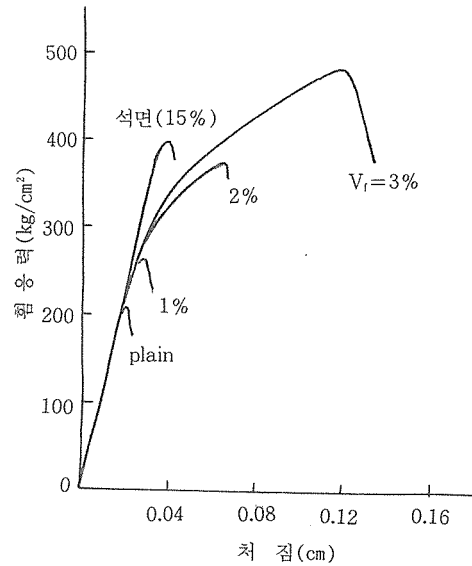


그림 13. Kuralon 보강 FRC sheet의 휨응력-처짐곡선

강도가 대단히 높고, 섬유직경이 가늘어짐에 따른 비표면적 증가로 매트릭스에 대한 계면 접착력이 향상되고, 파단시의 처짐이 석면제품에 가깝게 된다. 또한 비니론의 보강 효과는 석면에 비해 현저하여 섬유파단신도가 석면보다 큰것이나 파단시 처짐이 큰 것(toughness大)이 효과적이다. 한편, 비니론은 산업용 섬유소재로서 많은 실적을 가지고 있고, 농업, 토목, 수자원재 등 장기 내구성을 크게 요하는 분야에서 미가공의 상태로 사용되어 높은 평가를 받아 왔다. 그림 14는 60°C에서의 건습 반복에 의한 열화축진 실험결과를 나타낸 것으로, 1년후에도 석면슬레트와 같이 휨강도에 큰 변화는 나타나지 않고 있고, 자연상태하에서 3년간 폭로후에도 열화는 보이지 않고 있

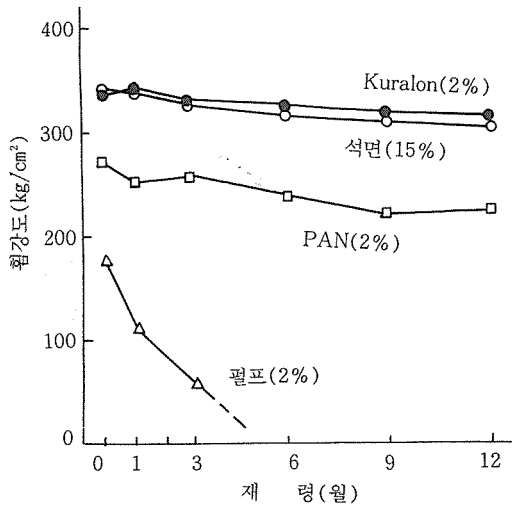


그림 14. 각종 섬유 보강 시멘트 Sheet의 내구성

다. 또한 한랭지에 있어서는 동결에 의한 열화가 중요한 문제로 되며, $-17^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ 에서의 동결·융해 시험결과에 의하면, 펄프보강의 경우는 150cycle 경과 후 자연발생된 균열에 의해 완전히 파손되는데 비하여 VFRC 슬레트에서는 450cycle후에도 파손되는 일이 없고, 휨강도도 열화하지 않는다고 보고된다.

그리고, 비니론에 Mica를 병용하면 동결융해를 반복해도 휨강도저하는 없고, 충격강도는 펄프시멘트, 석면시멘트 공히 Cycle수와 함께 큰 폭으로 저하하는데 비해 비니론 및 비니론·Mica 병용 슬레트에서는 전혀 저하하지 않고 VFRC의 우수한 내동해성이 관찰된다고 한다. 석면시멘트판에서는 일반적으로 원료소재가 무기질이기 때문에 내구성에 큰 문제는 없다. 그러나 Non-Asbesto化를 목표로 하는 경우 유기계 섬유(천연, 합성섬유)를 보강재로 하면, 이것이 가연성이기 때문에 복합체로서의 불연성이 우려된다. 비니론의 발열량은 보통 540kcal/kg 정도로 셀룰로즈펄프와 동일하다. (펄프+비니론)의 합계가 5% 이내이면 발열량면에서 문제가 없으나, 5% 이상인 경우에

는 수산화알루미늄 등의 첨가에 의해 발열 속도를 조절함에 따라 해결할 수 있고, 표면에 대해서는 Mica, Rockwool 등의 첨가에 의해 균열발생을 조절할 수 있다.

(3) 비니론 보강 경량판

일반적으로 경량판은 다량의 석면을 함유하고 있어 이의 대체를 검토하고 있는데, 일본에서는 비니론을 보강재로 하여 경량화에는 Perlite를, 초조성확보를 위해 진술한 Non-Asbesto 슬레트의 경우와 마찬가지로 셀룰로즈펄프 또는 극히 가는 비니론을 이용하여 무기질 입자와의 병용으로 종래 경량판의 특징인 우수한 형태안정성 및 톱질, 못박기 등의 가공성을 가진 고강도의 제품을 Hatschek법으로 제조하는데 성공하였다. 또한 Mica첨가는 형태 안정성, 불연성 부여에 필요한 것으로 첨가율이 많을수록 형태안정성에의 기여는 크다.

2. 모르타르·콘크리트의 보강

(1) 모르타르·콘크리트 보강을 위한 조건

모르타르 혹은 콘크리트의 경우 성형물의 제조법은 초조법에 의한 Sheet상 물질의 경우와 제조방법이 다르고, 또한 여러가지 방법이 고려된다. 「물 슬러리」의 농도는 초조법 슬레트와는 전혀 다르고 성형물의 제조상 및 유동물성이 중요한 문제로 된다. 그래서 집속系 Soft type은 모르타르·콘크리트의 원료조합시 물을 첨가 하기전 Dry상태로 혼합해 분산시킨 후 물 첨가에 의해 단섬유가 분직되어 매트릭스 중에 균일분산하는 것이고, Hard type은 어느 단계에서 혼합해도 집속을 풀수 없고 집속체의 상태로 분산하는 것이다. 초조법의 경우와 달리 모래, 자갈 등의 골재를 함유하기 때문에 보강섬유의 형태에 의해서는 각종 구성체의 입자크기와의 상대관계가 대폭적으로 다르고 입자의 체적 최대치수가 크게 되는 등 큰 골재입자 사이의 섬유상호작용이 크게 된다. 따라서 Soft type은 모르타르 보강에, Hard type은 콘크리트 보강에 적당하다.

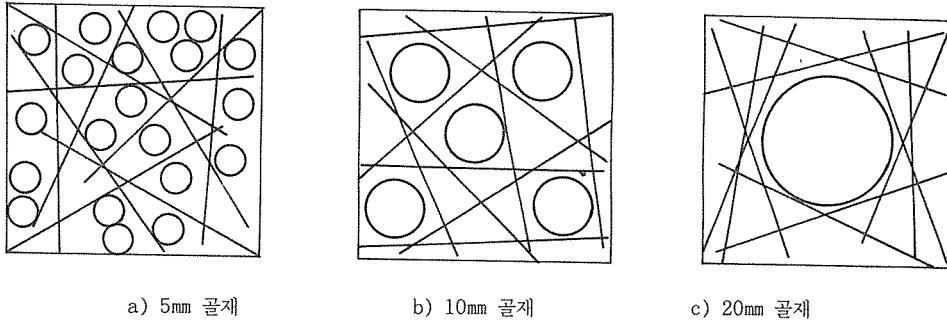


그림 15. 골재의 크기가 섬유분포에 미치는 영향

또한 성긴 부직포는 $20\mu\text{m}$ 직경의 Mono filament의 랜덤으로 조직체 한 것이고 진동성형에 의한 몰드 성형물, 법면보강 등에 이용되며 Mesh상 조직체는 型樑構法에 의한 판상물의 보강, 모르타르 벽의 균열발생방지 등에 이용된다. 전술한 Soft type, Hard type 등 단섬유 형태의 비니론은 모르타르 콘크리트 조합, 믹싱시 통상의 방법에서는 양호한 분산상태를 갖지만, 정량공급하는 것은 어렵다. 특히 Spray공법 등의 경우, 연속적으로 보강섬유를 정량적으로 공급해 계속하는 것은 비니론에 한하지 않고, SF등에서도 여러가지 검토가 행해지고 있으며, 이 문제를 해결하기 위하여 공급, 혼합법을 검토해 왔으며, 공급법으로서 진동형 Bowlfeeber가 개발되었으며, 이 장치를 이용하면 Fiberball을 형성하지 않고 정량적으로 비니론을 공급할 수 있다고 하며 또한 혼합법으로서 Omni-mixer가 최적으로써, 다른 Mixer에서는 믹싱중에 Fiberball을 형성·분산불량, 섬유손상에 의한 보강성 저하 등이 일어나는 경우가 있다.

(2) 비니론 보강의 효과

모르타르·콘크리트에서는 배합요인, 양생 조건등에 의해서 강도는 크게 다르다.

1) 단섬유상 비니론의 보강효과

비니론은 SF에 비하여 파단시 뿔힘이 많은 데 비하여 휨강도에 대한 보강성은 크다. Plain에 비해서 파단까지의 처짐이 대단히 크고 또한 혼입율에 따라 MOR의 향상이 현저하다. 휨과괴 단계에서는 plain제품이 하나의 균열발생으로 부터 한꺼번에 파단에 도달하는데 비해 VFRC에서는 섬유보강특유의 미세균열이 무수하게 발생한 stickness의 파괴양상을 나타낸다. 또한 투입하는 섬유의 길이가 길수록 공급방법, 믹싱방법 등에 곤란이 따르게 되며, 그 보강효과에는 한계를 보인다.

2) 일축 방향 보강

각종 FRC용 비니론을 일축방향으로 배치했을 때 균열강도는 plain 모르타르의 2배로 되고 평판의 파단강도는 4배 이상이며, 또한 인성이 현저히 향상된다. 기본적으로는 비니론의 종류에 관계 없이 보강효과를 얻을 수 있지만 시공상의 관점에서 선택할 필요가 있다.

3) 무정형 부직포 보강

단섬유 무정형, 일축 방향 필라멘트 및 부직포상 무방향 배열 필라멘트 등의 비니론을 보강한 시멘트 평판에서의 일축방향 보강은 섬유와 직각방향의 휨에는 큰 보강성을 나타내지만 이것과 직각방향에서의 보강은 기대할 수 없다. 이른바 이방성인 것에 비하여 부직포

는 등방성 보강체로서 유효하게 작용한다.

3. 경량 모르타르의 보강

저비중 충전재 및 발포제를 첨가해 제작한 경량시멘트판에서 저비중시멘트에서는 보강재를 사용하지 않은 경우 10~20kg/cm²의 휨강도 밖에 나타내지 않지만, 비니론을 소량 혼입함에 따라 휨강도 및 인성은 대폭적으로 향상된다고 보고되고 있다. 또한 경량화재의 경우, 매트릭스 자체의 응집력이 작기 때문에 섬유와 매트릭스 사이의 계면결합의 파괴보다도 매트릭스 자신의 파괴가 먼저 일어나 섬유의 보강효과가 나타나지 않는 경우가 많다. VFRC

의 경우에도 매트릭스의 응집력을 더욱 향상하면, 보다 우수한 고강력 복합체를 얻을 수 있을 것이다.

4. VFRC의 용도개발

비니론 섬유는 합성섬유 중 가장 먼저 공업화 된 것의 하나로 오랜 기간에 걸쳐 다방면에 많은 실적을 가지고 있으며, 주요 용도로는 석면 대체의 고급슬레트, 균열방지를 위한 모르타르 보강, 석면대체 압출성형품 및 측도 블록의 콘크리트 제품 및 콘크리트 보강용 옥외 계단 등에 이용되고 있으며, 앞으로도 많은 적용이 기대되고 있다.

기술서적 출간

혼 화 재 료

회원사의 기술정보 보급을 위하여 다음과 같은 책을 발간하였습니다. 내용은 혼화 재료의 사용목적, 발전, 분류, 구비조건 사용절차, 품질규정과 용도, 주의사항 등 혼화재료의 전반적인 내용이 실려 있어 실무자에 많은 도움이 될 것으로 믿습니다.

- 책 명 : 혼화재료
- 편저자 : 변근주 교수(연세대 토목공학)
- 면 수 : 국판 230면
- 발 행 : 한국레미콘공업협회
- 보급가 : 5,000원(우송료 포함)
- 문 의 : 서울 강남구 역삼동 832-2
우덕 B/D 8층
한국레미콘 공업협회 기획과
TEL. (02)566-7162, 7164 FAX. (02)554-7420