

자연섬유를 이용한 복합재료 기술



변 준 형(KIMM 재료기술연구부)

- '76-'80 한양대학교 정밀기계공학과(학사)
- '80-'82 한국과학기술원 생산공학과(석사)
- '82-'86 한국과학기술연구원 기계공학부 연구원
- '86-'92 미국 Delaware대학교 기계공학과(박사)
- '92-'93 미국 Delaware대학교 복합재료 센터 연구원
- '93-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서론

대부분의 인공섬유는 값싸고 풍부한 석유로부터 합성한 것인데, 이런 화석연료에 대한 의존으로 말미암아 현재의 산업세계는 자연이 수십억 걸러 생성해온 천연자원을 급속히 소비하고 있다. 석유를 연소시킴으로써 많은 양의 공해가 대기중으로 방출되며 급격한 산업 개발로 산소를 공급하는 식물이 파괴되고 있기 때문에 천연자원은 위축되고 대기 상태는 악화되고 있다. 따라서, 자연 순환을 따르는 새로운 재료 체계를 개발할 필요가 있다.

많은 양의 재활용 가능한 자연섬유가 세계 여러 곳에서 생산되고 있는데, 합성섬유가 나타나기 오래 전부터 자연섬유는 도자기나 흙벽돌 등의 구조 재료로 사용되었다. 역사적으로 보면 고대 이집트인과 로마인들은 밀짚으로 보강된 흙벽돌을 건축물에 사용하였으며 벽돌 제조에 대해 성경이 시사하는 바에 따르면 이 밀짚은 길이가 최소 몇 인치 이상이며 섬유 체적율은 약 20% 이었다고 한다. 그 후 여러 문명에서는 아마, 황마 및 목화 섬유 같은 자연섬유가 진흙, 찰흙, 및 시멘트 등의 보강재로 사용되었으며, 현재까지도 사용되고 있다 [1]. 아마섬유로 보강된 고분자 복합재료는 2차 세계대전 중에 항공산업에서 응용되었는데, 영국은 전투기용 알루미늄 부품을 제조하는데 필요한 보오크사이트 광석 공급이 프랑스로부터 끊기게 되자 알루미늄의 대체 재료로서 복합재료를 사용하기 위한 가능성을 알아보기 위해 아마 섬유로 보강된 페놀을 사용하여 동체를 제작하였다. 이 복합재료 시작품은 모든 정적하중 시험을

통과하였으나 보오크사이트 광석이 다시 공급 가능해 지면서 이 프로젝트는 중단되었는데, 이것은 섬유강화 고분자 복합재료가 군사용 항공기에 광범위하게 사용되기 전 30년 전의 일이다. 그럼에도 불구하고 그 후에도 아마섬유, 아마포 및 견직류가 복합재료 분야에서 여전히 사용되고 있으며 자연섬유와 고분자 재료를 사용한 복합재료를 건축 구조물에 응용하기 위한 연구가 주로 개발도상국에서 수행되고 있다.

시멘트나 고분자 재료의 보강재로서의 자연섬유의 가장 큰 문제는 수분에 의한 특성 저하이다 [2, 3]. 인장 강도 및 강성도는 자연섬유가 뒤틀어지거나 연신율이 매우 크므로 복합재료의 손상허용치가 증가하며, 값이 싸다는 점과 결부되어 비교적 낮은 하중을 받는 주택건축 재료로 각광을 받고 있다. 현재, 자연섬유의 세계 시장은 감소 추세이며 풍부하고 재활용하는 자연섬유에 대한 새로운 응용 분야를 찾기 위하여 관심이 집중되고 있다. 자연섬유에 대한 대부분의 연구는 자원이 풍부한 나라에서 수행되고 있고, 고성능 복합재료 연구에 비해 체계적이고 종합적이지는 않지만 잠재력이 매우 큰 분야이다.

이 논문에서는 자연섬유의 일반적인 물리, 화학적 성질, 보강재로서의 잠재력, 구조용 복합재료에 의 현재 및 미래 응용 가능성에 대하여 알아본다.

2. 자연섬유의 장점 및 단점

자연섬유는 생산관점에서 볼 때 매우 에너지 절약적이다. 자연섬유를 생산하는 데 드는 에너지량은 합성섬유나 유리섬유에 비하여 미소하며, 경작물의 부산물을 이용하는 재사용 가능한 자원이다. 자연섬유는 밀도가 낮기 때문에 비강도가 뛰어나다. 예를 들어, 페놀수지에 톱밥을 50% 첨가하면 인장강도나 충격강도가 향상되며 크랙 진전을 억제하므로 파손 에너지가 약 105 J/m^2 로서 매우 높다 [4].

더 실제적인 자연섬유의 이점은 복합재료 성형과 관련되어 있다. 즉, 다른 보강재 보다 기계적

마모가 적고, 건강에 대한 위험도 적으며 섬유가 유연하므로 유리섬유와는 달리 제조과정 중 파괴가 일어나지 않는다는 점이다. 경질의 자연섬유는 기지 재료와 섞일 때 손상이 일어나는 것은 피할 수 없지만 유리섬유만큼 심각하지는 않다. 또한, 자연섬유의 증공 구조는 음향 절연 성질이 있으므로 특수 용도에 응용될 수 있다. 재료비 절감은 자연 섬유가 복합재료로 응용되는 가장 큰 이유 중의 하나이지만 경제 상황에 따라 그 비용은 다소 불안정한 면이 있을 수 있다.

자연섬유의 단점은 이미 지적되어 왔으며, 그 해결책이 최근에 많은 연구를 거듭하면서 제시되고 있다. 경질 자연섬유의 성질은 식물의 나이 및 자라는 기후 등에 의존되며 경작 조건과 수확에 대한 엄격한 통제가 중요하다. 수분 함유는 자연섬유의 가장 큰 문제이며 폴리비닐 아세테이트나 폴리비닐 알코올 등과 같은 고분자로 전 처리함으로써 이런 문제는 해결될 수 있다. 또한, 태양에 의한 성질 저하도 중요한 문제이다. 자외선이 가장 큰 손상을 초래하는데, 비록 복합재료의 무게를 증가시키기는 하지만 무기물 표면처리를 함으로써 이 문제는 해결될 수 있다. 생분해성은 자연섬유가 복합재료에 응용되는 데 가장 큰 문제로 지적되고 있다. 몇 가지 해결책이 시도되었으나 성공적이라고 보기는 아직 미흡하다. 염화아연의 첨가로 어느 정도 생분해는 방지할 수 있으며, 내 환경을 위하여 복합재료 표면을 유리섬유로 겹 코팅하는 것도 해결책이 될 수 있다.

3. 자연섬유의 종류 및 구조

자연섬유는 대부분 섬유소(cellulose), 반섬유소(hemicellulose) 및 목질소(lignin) 로 구성되어 있으며 미량의 다른 성분도 포함하고 있다. 표 1은 몇 가지 자연섬유의 성분을 나타내고 있다. 자연섬유는 경질의 섬유소가 연질의 목질소에 포함되어 있는 복합재료이며 고분자계 섬유보다도 더 높은 탄성률을 가지는 경질의 섬유소 골조로 인하여 상당히 높은 강도를 가진다. 자연섬유 필라

표 1. 자연섬유의 화학성분(무게 %)

Fiber	Cellulose	Hemicellulose	Pectins	Lignin	Water-soluble compounds	Fat and waxes
Sisal	73.1	13.3	0.9	11.0	1.4	0.3
Palm	50-60	24	-	16-24	-	-
Bagasse	46	30	-	15	7.0	2.0
Jute	71.5	13.4	0.2	13.1	1.2	0.6

멘트는 그림 1 (a) 및 (b)에 나타낸 바와 같이 여러 셀을 기본 구조로 하고 있으며, 목질소에 의해 미세 섬유층이 분리되어 있다 [5]. 각각의 셀 구조는 1차 벽, 외부 2차 벽, 중간 2차 벽 및 내부 2차 벽으로 이루어지는 동심 구조의 층으로 구성되어 있으며 그 두께, 성분 및 섬유소 방향이 각기 다르다.

자연 섬유는 여러 관점에서 분류될 수 있으나 식물에서 차지하는 부위와 성질에 따르면, 연질 종자섬유(soft seed fiber), 연질 줄기섬유(soft stem fiber), 및 경질 잎섬유(hard leaf fiber)로

나뉜다. 복합재료의 보강재로 사용되는 대부분의 섬유는 연질 줄기섬유와 경질 잎섬유이다. 아마섬유(flax)나 면섬유 등은 연질 줄기섬유이므로 직조를 할 수 있다. 경질 잎섬유 중 sisal, 마닐라삼(abaca), 카카오 열매껍질(coconut husk), henequen 섬유가 세계 생산량의 90% 이상을 차지하고 있으며, 그 외에 ixle, 황마(jute) 섬유 등이 있다. 최근의 통계에 의하면 경질섬유의 세계 연간 생산량 중 70%는 브라질, 필리핀, 스리랑카, 멕시코 및 탄자니아의 5개 국가에서 차지하고 있으며, 대부분(90%)의 생산량은 선진국에 수출되고 있다.

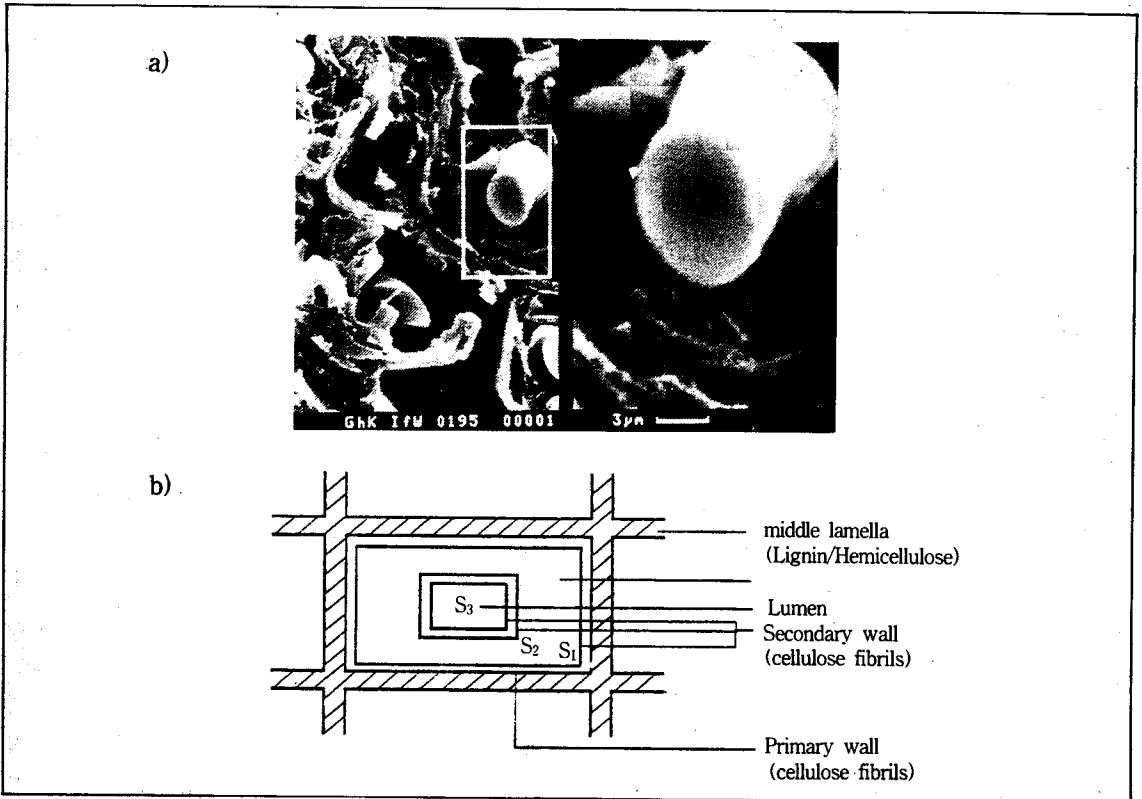


그림 1. 황마섬유의 단면 : (a) 전자현미경 사진 ; (b) 개념도

4. 자연섬유의 물리, 화학적 성질

중요한 자연섬유의 기본적인 물리, 화학적 성질이 표 2에 요약되어 있으며 [6] 여기서 알 수 있는 것은 모든 자연섬유는 합성 고분자 섬유처럼 밀도가 매우 낮으므로 비탄성을 및 비강도가 높다. 또한, 나무섬유를 제외하고는 복합재료에 사용되고 있는 대부분의 합성섬유에 비해 직경이 10 배 가량 크기 때문에 보강섬유의 임계 길이 값을 증가시켜야 한다. 자연섬유는 물리, 화학적 성질의 변화가 매우 심하여 50%의 표준 편차가 일반적이다. 또한, 복합재료 성형과 밀접한 특징으로서, 자연섬유는 중공의 lumen 구조로 인하여 기공이 많다는 점이다. 이 lumen 구조의 치수는 섬유종류에 따라 다르고 같은 섬유 내에서도 그 위치에 따라 변화한다. 예를 들어, 종려나무 섬유는 약 10%로서 유리섬유와 유사하나, 목화 섬유는 92%, henequen 과 sisal 섬유는 40% 정도이다.

열 특성은 기지 재료의 선정 및 복합재료 성형 온도의 한계를 결정하는 중요한 인자이다. 대부분의 자연섬유는 그림 2에 보는 것처럼 공기 중에서 온도가 올라감에 따라 성능이 저하된다 [6].

목질소는 약 200 °C 근처에서, 섬유소는 그 보다 더 높은 온도에서 성능이 저하되나 대부분의 자연섬유는 약 160 °C 근처에서 분해하기 시작한다. 점탄성 성질은 나무에 대해서는 많은 연구가 되어 있으나 섬유 자체에 대한 연구는 희박하다. 최근의 연구에 의하면 자연섬유의 응력 완화(stress relaxation)는 고결정 고분자의 양상을 따른다고 알려져 있다.

5. 자연섬유 추출

여기서는 복합재료용 자연섬유로 많이 응용하고 있는 아마 섬유의 추출법 (그림 3)을 소개한다 [7]. 이 추출법은 다른 연질 줄기섬유 추출법과 유사하다. 씨를 제거한 아마짚은 섬유를 둘러싸고 있는 성분을 분해하기 위하여 부분적으로 썩히게 되는데, 이 과정을 침수처리 (retting)라 한다. 이 침수처리는 섬유를 서로 결합하여 줄기를 이루고 있는 성분을 파괴하는 과정인데, 섬유가 아닌 결합 성분만을 선택적으로 분해하는 특수한 균이나 박테리아가 필요하다. 침수과정은 다음 세 가지가 있다.

표 2. 자연섬유의 물리적·기계적 특성

Fiber	Density (g cm ³)	Diameter (μm)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Sisal (A. sisalana)	1.5	10-280	507	16.7	2-3
Henequen (Agave fourcroydes)	1.49	20-370	580	12.8	3.5-5
Coir(husk) (Cocos nucifera)	1.5	-	270	23.7	16
Jute (C. capsularis)	-	30-140	900	24.1	1.5
Ixtle (Agave lechugilla)	-	-	405	2.6-5.2	17-24
Bagasse	1.5	-	24	4.7	-
Flax (Lin usitatissimum)	1.52	40-620	900	110	2-3
Palm (Yucca carnerosana)	1.4	150-250	545	13.7	3
Wood	0.6	35	400	13.5	-

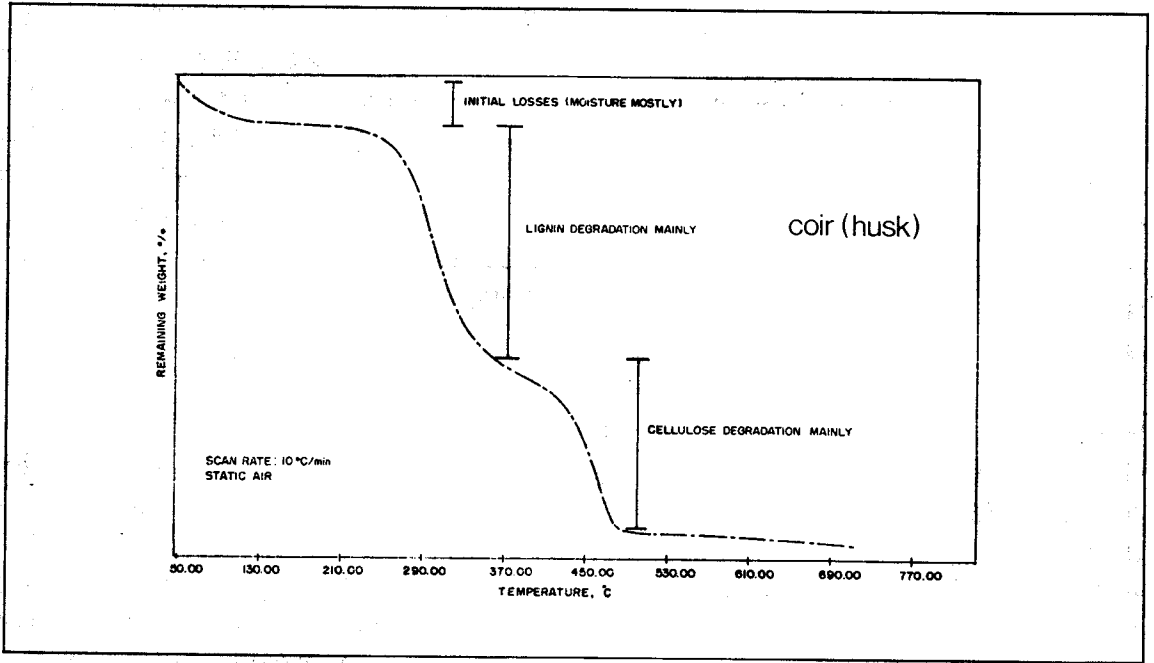


그림 2. 야자껍질 섬유의 열특성 변화

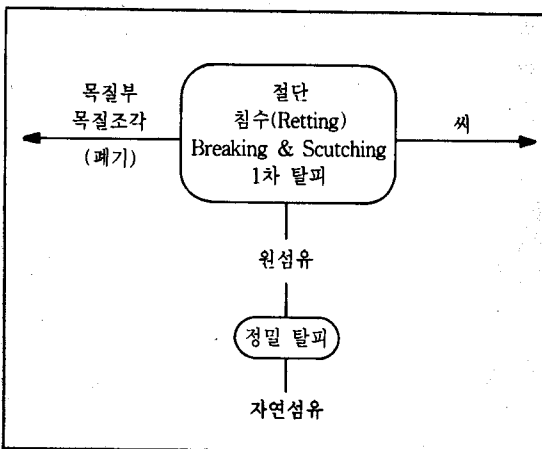


그림 3. 자연섬유 추출 과정

Dew retting : 서부 유럽에서 생산되는 대부분의 아마는 경작지에서 이슬에 의해 침수시킨다. 아마는 베어진 후 단으로 묶여 경작지에 방치되고 비, 이슬 및 토양에 존재하는 미생물의 작용으로 줄기 껍질은 느슨하게 된다. 이 과정은 날씨에 따라 약 1 - 3주 걸리며 침수 후 줄기를 제거하고 짙은 경작지에서 말려진다.

Water retting : 아마를 물 속에 약 6 - 20일간 담그는 이 방법은 수온이 낮을 때는 더 오래 걸리며 연못이나 큰 통, 혹은 증기 분위기에서 침수된다. Dew retting과 마찬가지로 박테리아 작용으로 줄기가 느슨해진다. 이 방법은 더 미세한 섬유를 만들 수 있으나 비용이 더 들기 때문에 미세한 섬유나 spun 섬유가 필요한 경우를 제외하고는 dew retting에 비해 선호도가 낮다.

Chemical retting : 여러 가지 방법이 개발되어 있으며, 그 중의 한 방법은 아마가 자라는 중에 제초제를 분무하는 방법이다. 만약 기후 조건이 알맞으면 retting은 식물이 서 있을 때 일어나며 건조된 아마 섬유를 바로 추출할 수 있으나, 기후 조건에 너무 의존하는 단점이 있다.

껍질을 느슨하게 하는 침수 과정을 거친 후 아마 짙은 세로 홈이 있는 롤러를 통과함으로써 부수고 (breaking) 두드리고 (scutching) 과정을 거쳐 줄기로부터 섬유를 분리한다. 추출한 장섬유 (line fiber)는 단섬유 (tow)로 절단하여 그대로 이용하거나 방직 과정을 거쳐 직물 성형에 이용한다.

6. 자연섬유 표면처리

자연섬유를 고분자나 시멘트 재료의 보강재로 응용하기 위해서는 섬유 표면처리가 필수적이다. 만약 자연섬유의 표면을 처리하지 않고 기지재료에 첨가시키면 그 섬유는 단지 충전재로서의 역할만 할 것이며 재료간의 결합력이 약하기 때문에 기존의 재료에 비하여 성능을 향상시킬 수 없다. 자연섬유의 수분 저항을 위해 표면 처리하는 시도는 금세기 초에 시작되었는데 주로 아세틸로 처리한 섬유를 직조하여 방수의류용으로 응용되었다. 이러한 방법을 복합재료에 응용하는 데는 한계가 있다. 왜냐하면, 기존의 단기능 처리는 방수는 되나 복합재료용 기지재료와의 결합을 어렵게 하기 때문이다. 최근에는 2중 기능의 표면처리제가 개발되어 분자의 한쪽 끝은 수분과 반응하는기와 결합하여 방수역할을 하며, 다른 쪽 끝은 기지재료와의 강한 결합을 하도록 되어 있다. 실제로 섬유와 기지재료 간의 결합력이 너무 크면 복합재료는 매우 단단하나 취성을 가지게 되므로, 단기(mono)와 2중기의 혼합처리가 필요한 경우도 있다.

자연섬유와 기지재료 간의 접착력을 향상시키기 위하여 기지재료에 접착 촉진제를 처리함으로

써 섬유 표면 처리를 대신하는 경우도 있다. 그림 4는 접착 촉진제의 종류 및 코팅 두께에 따른 아마섬유/폴리프로필렌 복합재료의 인장 강도 변화를 보여주고 있다[2]. 따라서, 섬유 표면처리제나 접착 촉진제 등의 사용량, 코팅 두께에 따라 복합재료의 성질이 변화하므로 복합재료 성형 시 이 모든 인자를 충분히 검토해야 한다.

7. 성형

7.1 복합재료용 섬유 및 프리폼 형태

자연섬유는 여러 형태로 제조될 수 있는데 장섬유, 단섬유, 펠트 및 패딩, 미세섬유 (fiber ultimate) 나 종이 형태 및 펄프 형태가 있다. 여기서, 미세섬유는 단면 직경이 약 $20\mu\text{m}$ 로서 직경이 약 $200\mu\text{m}$ 인 자연섬질 섬유와 구분된다. 다른 형태로는 미세섬유로 만든 crepe와 얇은 섬유 매트 등이 있다. 자연섬유의 최대 길이는 약 2m 이기 때문에 복합재료용 유리섬유와 같은 연속섬유 형태는 불가능하다. 기지재료와의 적합성을 좋게 하기 위해서는 굵은 섬유가 좋으나 고분자 재료의 경우 수지유동성을 향상시키려면 가늘수록 좋

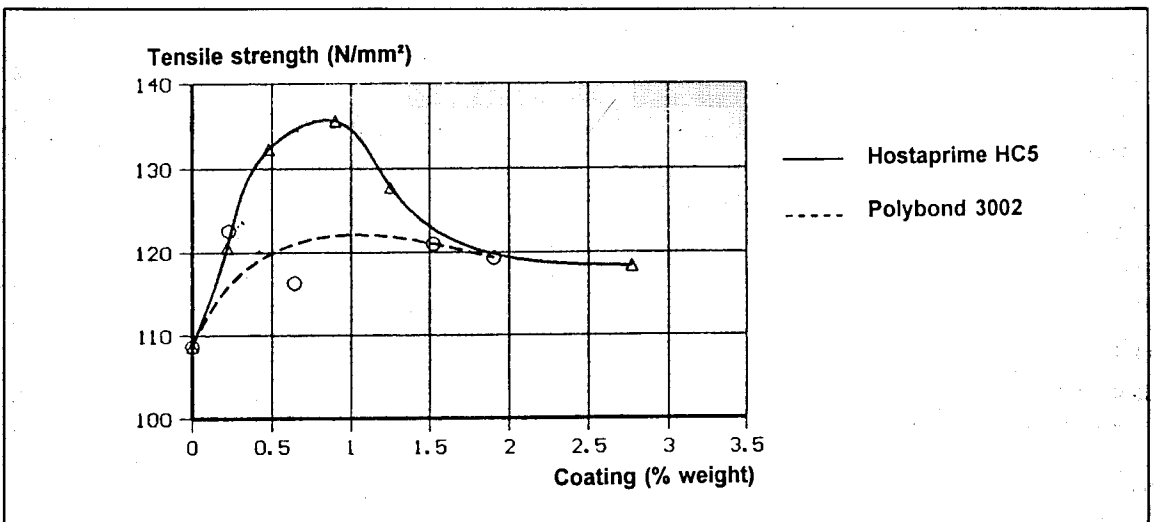


그림 4. 아마섬유/폴리프로필렌 복합재료의 섬유표면처리제 두께에 대한 인장강도 변화

다. 따라서, 자연섬유의 평균 길이는 50mm 이상이면 좋으나 혼합 (hybrid) nonwoven인 경우 30 mm 이상도 가능하다. 자연섬유의 제조 상 특징은 경질 섬유는 여러 제조 과정을 거치면서 손상을 입기 때문에 프리폼 형태는 일반적으로 섬유 형태보다 기계적 강도가 저하된다. Nonwoven 직물 성형에 있어서 고려해야할 문제는 바늘이 지날 때 자연섬유 층에 생긴 손상이나 stitch 밀도 등이 복합재료의 기계적 성능에 어떤 영향을 미치는가 하는 것이다[2]. 또한 nonwoven 직물의 경우 폭 방향이 길이 방향 보다 강도가 높게 나오기 때문에 이러한 재료 이방성이 복합재료 설계에 고려되어야 한다.

7.2 복합재료 성형 방법

자연섬유를 이용한 열경화성 수지 복합재료 성형법으로서는 대체로 자연섬유의 길이가 짧기 때문에 연속(continuous) 섬유를 사용하는 필라멘트 와인딩 성형법이나 상당한 섬유강도를 요구하는 인발성형법을 적용하기가 힘들다. 따라서, 주로 hand layup 법이나 단섬유를 사용한 가압몰드법으로 복합재료를 성형하고 있다. 그러나, 길이가 긴 섬유의 경우는 평판 혹은 실린더 맨드렐 위에 필라멘트 와인딩을 이용한 적층법을 사용할 수 있다. 현재, 복합재료의 세계적인 추세는 생산성이 뛰어난 성형법 개발인데 그 중 수지충진법 (RTM, Resin Transfer Molding) 이 가장 가능성 있는 성형법이라고 평가되고 있다. 이 성형법은 보강섬유를 어떤 일정한 형태 (프리폼, Preform)로 만들어 금형에 넣고 수지를 주입한 후 열을 가함으로써 복합재료를 성형하는 방법이다. 이 성형법을 자연섬유 복합재료에 적용하기 위해서는 stitching 이나 knitting과 같은 프리폼 제조 기술의 개발이 중요하며 수지 충진 과정에 대한 연구도 필요하다.

자연섬유를 이용한 열가소성 수지 복합재료 성형법에는 가열압착법 (hot-press lamination)과 압출법 (extrusion)으로 대별될 수 있다. 가열압착법은 고분자 분말을 자연섬유와 혼합한 펠트형태로

만들고 금형 내에서 열을 가하면서 압착하는 방법이다. 이 방법은 균질의 섬유분포를 위해 단섬유와 고분자 분말을 잘 섞는 것이 가장 중요하다.

압출법은 섬유보강을 한 방향으로 극대화시킬 수 있는 방법으로서 섬유의 강도가 고압에 견딜 수 있는 자연섬유를 사용해야 한다. 섬유나 입자를 사용한 판(board)인 wood-plastic composites (WPC)는 약간 다른 형태의 복합재료로서 나무판처럼 이미 형태가 갖추어진 판을 비닐 단량체(모노머)에 함침시킨 후 고분자화 함으로써 치수가 안정된 재료이다. 그 외에도 nonwoven 형태의 자연섬유에 폴리프로필렌 필름을 적층하는 방법과 혼합 nonwoven 으로서 고분자 재료를 섬유 형태로 자연섬유와 함께 직조하는 방법도 있으며, 이 모든 경우, 수지를 녹이는 과정과 압축하는 과정을 거쳐 복합재료로 성형한다.

8. 자연섬유 복합재료의 응용 분야

대부분의 자연섬유는 고무계, 열경화성 수지, 열가소성 수지 및 시멘트나 몰타르 등의 기지재료를 이용한 복합재료에 응용되고 있다. 열경화성 수지 복합재료의 예로서는 [4], 1940년대에 비행기의 레이더 돔 및 동체에 적용한 목화섬유/폐놀 복합재료를 들 수 있으며, 목화 섬유 직물/폴리에스터 복합재료는 항공기 연료 탱크용 판재에 응용되었다. 에폭시, 폴리에스터 및 폐놀을 기지재료로 한 황마섬유 복합재료는 저가의 주택건축 재료, 곡식저장 탱크, 소형 어선 등에서의 응용을 위하여 연구한 적이 있으며 바나나 섬유 및 목화 섬유를 이용한 폴리에스터 복합재료는 전압 안전 장치 케이스, 프로젝터 커버, 거울 프레임, paper weight 등에 응용되었다. 밀짚/폴리에스터 복합재료는 건축재료로 사용될 수 있으며, 섬유 무게 포함량이 50%까지 가능하다고 알려져 있다. 그 외에도, 벚짚이나 벼껍질을 압축하여 hardboard 로 만든 후 여러 종류의 고분자재료에 함침한 건축용 재료에 대한 연구도 수행된 적이 있다.

열가소성 수지 복합재료의 응용례를 들면 [6],

폴리에틸렌/henequen/모래 복합재료는 밀도가 비교적 낮고 기후에 대한 저항이 높고, 수분 흡수가 낮다고 알려져 있어서 건축재료로 응용할 수 있다. Ixtle/폴리에틸렌, 야자껍질 섬유/폴리에틸렌, 및 henequen/PVC 복합재료에 대한 연구도 진행되고 있으며, PVC/ixtle 복합재료는 기계적 성질이 우수하므로 지붕과 같은 건축 재료에 이러한 복합재료의 응용이 가능하다. 크라프트 펄프 종이/폴리에틸렌 적층 복합재료는 습도가 낮은 조건에서의 굽힘 특성이 좋기 때문에 건축이나 포장재로 응용할 수 있으며, 습도가 높을 때 야기되는 기계적 특성 저하는 섬유 표면을 적절하게 처리함으로써 해결될 수 있다. 전나무나 포플러 나무의 펄프섬유를 가열압착법에 의해 폴리스티렌과 결합시키면 섬유함유량을 증가시킬 수 있기 때문에 기계적 특성이 향상되며 저장용 상자부터 자동차용 부품에 이르기까지 다양하게 응용할 수 있다. 가소화한 PVC 와 셀룰로스 단섬유를 압출하여 성형한 복합재료는 탄성계수 및 항복강도 모두 현저한 증가를 가져다 줄 수 있으며 제품 생산성을 향상시키면 기존의 비닐호스를 대체할 수 있다.

구조물용으로서의 자연섬유 콘크리트의 잠재력은 크지 않으나 몇 가지 특수한 분야에서는 실제적이며 경제적인 면에서 가능성이 있다 [4, 8]. 가장 유망한 분야로서는, 자연섬유를 보강한 시멘트, 몰타르, 콘크리트 형태로서 다른 구조물의 외부 층으로 응용될 수 있다. 이 외부 층은 약한 내부 재료를 덮어서 강하고 인성도 뛰어난 영구적인 구조물이 될 수 있으며 장식의 효과도 낼 수 있다. 또한, 편평하거나 굴곡이 진 판 형태의 자연섬유 콘크리트 구조물은 무게가 가벼워 주택용 지붕, 천장, 벽 등에 사용 할 수 있으며 충격에너지를 흡수해야 하는 구조물이나, 지진에 견디는 구조물, 돌발적인 충격이 일어나는 공장 건물의 바닥, 기계 시설물의 기초 구조물 등에 응용될 수 있다. 다른 응용 분야로서는 기초 구조물의 빔, 도로포장, 지하수로, 파이프, 탱크, 곡식창고, 및 여

러 형태의 셀 구조물 등이 있다. 자연섬유 콘크리트의 잠재적인 응용은 설계자나 시공자의 독창성에 따라 구조물의 정적 혹은 동적인 강도특성, 에너지 흡수력, 음향적이거나 열적인 성능의 장점을 최대한 이용할 수 있으므로 무한하다고 볼 수 있다.

9. 결론

앞에서 본 바와 같이, 자연섬유는 천연자원의 재활용, 섬유 자체의 자연친화적인 재료 특성, 저가의 구조물 성형 가능성 등의 이점을 가지고 있기 때문에 자연섬유 복합재료의 잠재력이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 그러나, 이러한 가능성을 충분히 실현하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- 1) 자연섬유는 원하는 길이와 직조 형태로 얻기가 힘들기 때문에 요구하는 형태의 섬유 추출, 섬유 표면처리, 직조 등을 경제적이면서 효과적으로 할 수 있는 프로세스를 개발할 필요가 있다. 가격이 저렴하고 자연환경에 도움을 준다는 이점을 최대한 살리기 위해서는 현재의 생산라인에 추가할 수 있는 제조 공정이 중요하다.
- 2) 기지재료의 양을 줄이고 수분흡수를 최소화하기 위한 단순하고 경제적인 프로세스를 개발하여야 하며 공장은 경작물의 생산지와 가까운 곳에 설치하는 것이 좋다. 재료비가 싸고 자연섬유와의 적합성을 향상시킬 수 있는 기지재료 개발이 필요하며, 기존의 기지재료가 유리섬유나 카본섬유와 혼합될 수 있다고 해서 반드시 자연섬유와 적합한 것은 아니므로 어떻게 기지재료가 자연섬유와 상호작용하며 개개의 식물 세포벽을 침투해 가느냐 하는 메카니즘 규명도 중요하다.
- 3) 자연섬유는 수분흡수를 하기 때문에 수분에 의한 복합재료의 성능 저하가 구조물의 내구성에 큰 영향을 미친다. 열적 특성 변화도 중요

한 문제이므로 이러한 제한 조건을 최소화 할 수 있는 프로세스 개발이 필요하다.

- 4) 자연섬유 복합재료의 물리적, 기계적, 열적, 전기적, 광학적, 마찰, 마모 및 환경 특성을 완전히 평가하여 해양구조물, 토목, 건축 구조물, 생활용품 및 전기 부품 등 여러 분야에 응용될 수 있어야 한다. 또한 자연섬유의 공급을 소화할 수 있는 복합재료의 개발과 더불어 중요한 것은 생분해성의 여부이다. 때때로 어떤 재료는 단지 상당히 짧은 기간만 존재해야 할 필요가 있으므로 생화학성의 소멸 메카니즘을 규명하여 특수 용도의 복합재료 제품의 설계에 반영되어야 한다.
- 5) 자연섬유 복합재료는 혼합법칙에 따라 강성도나 강도를 예측할 수 있는 것이 아니므로 섬유와 기지재료의 계면 결합력과 같이 강도와 연관이 있는 인자나 재료의 파손기구에 대한 연구가 필요하며, 이는 자연섬유 복합재료의 응용 범위를 넓히기 위해서 반드시 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Bascom, W. D., "Other Continuous Fibers," Engineered Materials, Vol. 1, Composites, ASM International, Ohio, USA, p. 117, 1987.
- [2] Lutzkendorf, R., Mieck, K., and Reusmann, T., "Needle-punched Hybrid Nonwovens From Flax and PP Fibers - Textile Semi-finished Products for Fiber Composites,"

Techtextile Symposium 1995, No. 311, pp. 1 - 10, 1995.

- [3] Hanselka, T. and Herrmann, A. S., "Compostible Fiber Composite Components From Raw Materials," Techtextile Symposium 1995, No. 323, pp. 1 - 9, 1995.
- [4] Satyanarayana, K. G., Sukuraman, K., Kulkherjee, P. S., Parvithran, C. and Pillai, S. G. K., "Natural Fibre-Polymer Composites," Cement & Concrete Composites, Vol. 12, pp. 117 - 136, 1990.
- [5] Gassan, J. and Bledzki, A.K., "Influence of the Fiber Structure to the Properties of Nature Fibers," Techtextile Symposium 1995, No. 311, pp. 1 - 8, 1995.
- [6] Cruz-Ramos, C. A., "Natural Fiber Reinforced Thermoplastics," Chapter 3 in Mechanical Properties of Reinforced Thermoplastics, Editors, D. W. Cleggs and A. A. Collyer, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1986.
- [7] Tortora, P.G., Understanding Textiles, 4th ed., Macmillan Publishing Co., Chapter 5, 1992.
- [8] Ramaswamy, H.S, Ahuja, B.M, and Krishnamoorthy, S., "Behavior of Concrete Reinforced with Jute, Coir, and Bamboo Fibers," The Int. J. Cement Composites and Light Weight Concrete, Vol. 5, No. 1, pp. 3-13, 1983.