미래선도기술
이슈분석보고서

나노 셀룰로오즈 보강 복합재료

나노 셀룰로오즈 보강 복합재료의 제조, 특성 및 응용

한성옥, 동향정보분석팀

KISTI 한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information
www.kisti.re.kr

미래선도기술 이슈분석보고서는 혁신형 중소기업 정보분석 지원사업의 일환으로 작성된 보고서로서, 유망 기술에 대한 이슈분석을 통해 국내 기업들이 자사에 적합한 사업아이템 발굴 기회를 극대화 하는데 목적이 있다. 이슈 분석 대상은 글로벌 동향 브리핑(GTB) 사업에서 축적한 약 10년간의 글로벌 모니터링 정보를 키워드 빈도분석 후 수요 조사를 통해 정하였다. 또한 국내외 연구개발동향, 산업동향 및 기술/실용화/파급효과 등의 측면에서의 이슈제기 및 분석을 해당분야 전문가와 공동으로 수행함으로서 수요자 중심의 보고서가 되도록 노력하였다.

2006 미래선도기술 이슈분석보고서

• 나노셀룰로오즈 보강 복합재료	• 광촉매 박막제조기술
• 차세대 하드디스크 HAMR	• 산업용 무선 필드버스
• 멀티페로익스(Multiferroics)	• P2P 네트워크
• 탄소나노튜브	• 센서네트워크 기술
• 휴대용 연료전지	• 온라인 게임
• 칩내장형 임베디드 기술	• 임베디드 기술
• 유전자 치료	• 십진 부동소수점 연산기
• 열화학적 복합전환 공정	• 게임산업
• 자기 냉장고	• 나노소재를 이용한 전자소자
• 유기 반도체 태양전지	• 유기반도체(Organic Semiconductors)
• 중전기기용 나노절연재료	• 공기오염센서
• 무선 통신망간의 간섭	• 위성항법시스템 시험장(GATE)
• 이동통신-무선랜 통합망의 보안	• 위성합법시스템 소프트웨어 수신기
• 해외선진국 반도체장비 기술동향	• 광촉매의 성능 및 응용 기술 현황
• 동유럽의 VoIP 사업현황	• 해외 선진국의 DMB/DAB 기술동향
• 지능형 자동차에 사용되는 텔레매틱스 기술동향	• 신약개발을 위한 RNAi 제품 현황
• 주요 선진국의 냉동•공조 기술 현황	• 해외 선진국의 위성항법 시스템 기술 동향
• 영상진단기기 및 초음파영상진단기기 제품 현황	• 최근의 게임시장 동향
• 해외 주요국의 디지털 전자제품 동향	•해외 주요국의 디지털 전자제품 동향

Contents

1 서론

나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 개요 — 05
나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 특성 — 07
나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 산업적 응용분야 — 10
이슈 분석의 필요성 — 12

2 산업 시장분석

바이오 복합재료의 국내외 연구개발 동향 — 14
나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 연구개발 동향 — 17
나노셀룰로오즈 보강 복합재료 개발 정책동향 — 18
나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 국내외 산업동향 — 24

3 이슈분석

이슈제기 — 26
나노셀룰로오즈 보강재의 효율적인 제조방법은 무엇인가? — 27
나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위한 기술적인 문제점은? — 29
나노셀룰로오즈 복합재료의 실용화에 의한 파급 효과는? — 31

참고 문헌 — 32

서론

1

- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 개요
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 특성
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 산업적 응용분야
- 이슈 분석의 필요성

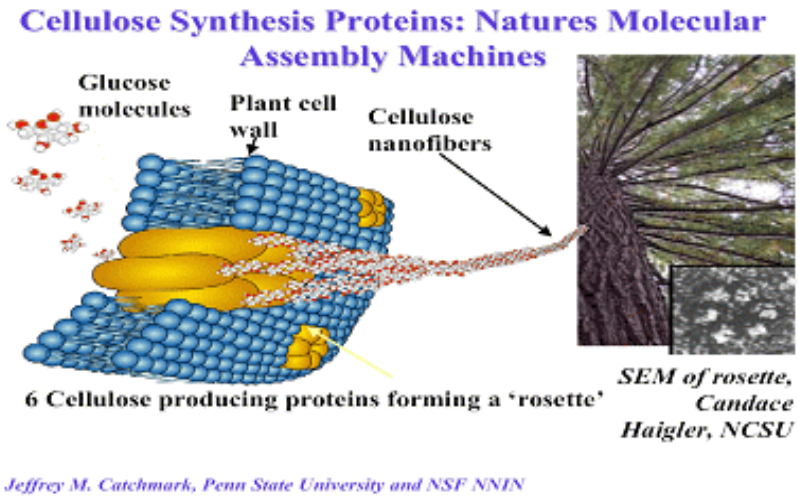
1 서론

나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 개요

○ 최근 기후변화협약, 환경규제 강화 등에 의해 우수한 성능과 함께 친환경 특성을 가진 복합재료를 개발하기 위한 노력이 세계적으로 추진되고 있으며 특히, 천연소재를 기반으로 하는 복합재료 개발이 학문적으로나 산업적으로 많은 관심을 끌고 있음.

○ 바이오복합재료(biocomposite)는 마, 면, 실크 등의 천연섬유를 보강제로 사용한 고분자복합재료로서 현재 자동차 및 건축 산업의 내·외장재 등 다양한 분야에 사용되고 있는 유리섬유 강화 고분자복합재료 (GFRP: Glass Fiber Reinforced Polymer Composite)를 대체할 수 있는 첨단신소재임.

○ 바이오복합재료의 보강제로 사용되는 천연섬유 중에서 식물성 섬유는 셀룰로오즈가 주요 구성성분으로 셀룰로오즈는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 글루코오즈를 기본 단위로 하여 나노크기를 가지는 셀룰로오즈 섬유 다발로 구성되어 있음.



[그림 1] 나노셀룰로오즈 합성 기구도

자료 출처: Phil Jones, PIMA Leadership Conference 2005, June 26-29
(Nanotechnology in the forest products industry)

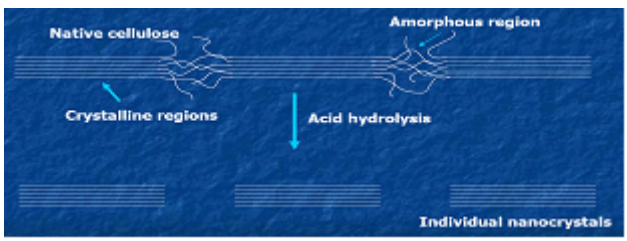
○ 셀룰로오즈는 분자들이 수소결합에 의해 측면으로 안정화된 마이크로 섬유의 다발들로 되어 있으며 마이크로 섬유는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 무정형 영역과 이에 의해 연결된 단결정 셀룰로오즈 영역으로 구성되어 있음.

○ 마이크로 섬유는 산 가수분해에 의해 무정형 부분을 따라 횡단으로 갈라져 결정성 나노셀룰로오즈를 생성하며 거의 완전한 결정성배열에 의해 높은 탄성률을 가진 이 나노셀룰로오즈는 복합재료의 우수한 보강제로 사용될 수 있음. 셀룰로오즈 단결정 섬유의 지름은 5~10 나노미터이며 길이는 식물의 종류에 따라 100 나노미터에서 수 마이크로미터로 다양함.

○ 나노복합재료는 매우 적은 양의(~5 wt%)의 보강제 첨가에 의해서도 일반 복합재료에 비해 열적, 기계적, 장벽 등의 특성이 우수하며 또한, 우수한 생분해성과 경량 특성을 가지므로 나노셀룰로오즈를 보강제로 사용한 복합재료는 일반 바이오복합재료에 비해 보다 향상된 친환경 및 경량 특성을 기대할 수 있음.

○ 따라서 유럽, 북미에서는 나무, 천연섬유 등의 바이오소재로부터 유도한 나노셀룰로오즈 개발기술과 이를 이용하여 다양한 산업재료로 활용할 수 있는 고성능, 고기능성 나노셀룰로오즈 보강 복합재료 개발연구가 활발히 진행중임.

(a)



(b)

[그림 2] 나노셀룰로오즈 제조공정

자료 출처: Woodfiber05 (a)Norway의 K. Oksman & kvien,
(b) Simonsen 발표자료

1 서론

나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 특성

○ 식물성 천연섬유는 유리섬유에 비해 가격이 저렴하고, 밀도가 낮으며, 인성이 좋고, 비강도가 우수하고, 에너지 회수율이 높으며, 인체에 무해하다는 등 많은 장점을 가지고 있음. 이러한 우수한 장점에 의해 식물성 천연섬유를 보강제로 사용한 바이오복합재료도 유리섬유 강화 고분자복합재료에 비해 에너지 혹은 환경적인 면 등에서 많은 장점을 가지고 있음.
- 바이오복합재료의 경량 특성으로 자동차 연비 향상에 의한 에너지절약
- 자동차 내장재에 적용시에 방음효과, 충돌 시에 산산조각이 나는 현상 방지
- 천연섬유의 친환경 특성에 의해 사용자에게 안락함 제공
- 유리섬유가 작업자들에게 피부 및 호흡기에 나쁜 영향을 주는 반면에, 천연 섬유는 복합재료
  제조공정에서도 인체에도 상대적으로 안전한 소재임.
- 폐기 소각 시에 유리섬유 보강 복합재료에 비해 인체 유해물질인 PAH, 이산화탄소 배출량이
  35-45% 감소하여 친환경적이며 또한 생분해성이 좋음.

○ 식물성 천연섬유로부터 제조된 나노셀룰로오즈는 <표 1>에 나타난 바와 같이 일반 천연섬유 혹은 유리섬유나 탄소섬유에 비해 우수한 기계적 특성을 보이며 또한, 다른 나노 보강제와 비교하였을 때 <그림 3>에 비교한 바와 같이 경량, 단열 및 인장강도에서 우수한 특성을 보임.

○ 또한, 천연섬유 보강제 대신 나노셀룰로오즈 보강제를 사용하면 보강제의 크기가 작아짐에 따라 입자 당 결점(defects)도 감소하며 기계적 특성이 향상되기 때문에 기존 바이오복합재료의 장점을 모두 가지면서 기계적 성능이 보다 우수한 바이오복합재료 개발이 가능함. 따라서 나노셀룰로오즈를 보강제로 사용한 복합재료는 바이오복합재료의 거의 모든 장점을 가지면서 보다 향상된 기계적 특성 등을 기대할 수 있는 신소재임.

[표 1] 나노셀룰로오즈 섬유와 합성섬유의 특성 비교

	밀도 (g/cm³)	지름	섬유 평균 길이 (mm)	인장강도 (MPa)	Young's 탄성률 (GPa)
아마(Flax) 섬유 다발	1.5	20 ㎛	30	345-1100	100
대마(Hemp) 섬유 다발	1.3-1.4	22 ㎛	20	690	69
나노셀룰로오즈 섬유	-	10-70 nm	-	7500	130
유리섬유	2.5	9 ㎛	-	1700	70
탄소섬유	1.7	70-500 nm	-	3445	230-240

자료 출처: http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/hemp/bko07s02.html and other sources

Nanoreinforcement Multifunctionality

	Exfoliated Clay	Carbon Nanotube VGCF	Exfoliated h-BN BN Nanotubes	Cellulose Nanowhisker	Graphite NanoPlatelets
PHYSICAL STRUCTURE	Platelet ~1nm x 100nm	Cylinder NT ~1nm X 100nm VGCF ~20nm X 100um	Layer	Needle-Whisker	Platelet ~1nm X 100nm
CHEMICAL STRUCTURE	SiO_2, Al_2O_3, MgO, K_2O, Fe_2O_3	Graphene (chair, zigzag, chiral)	Boron Nitride	Cellulose	Graphene
INTERACTIONS	Hydrogen bond Dipole-Dipole	π - π	Hydrogen bond	Hydrogen Bond	π - π
TENSILE MODULUS	0.17 TPa	NT 1.0-1.7 TPa VGCF 0.25-0.5 TPa	~1 TPa	~ 130 GPa	~1.0 TPa
TENSILE STRENGTH	~1 GPa	(NT 180 GPa) VGCF 3-7 GPa	?	10 GPa	~(10-20 GPa)
ELECTRICAL RESISTIVITY	$10^{10} – 10^{16}$ Ω cm	NT ~ 50 x 10^{-6} Ω cm VGCF 5-100 x 10^{-3} Ω cm	insulator	$10^{10} – 10^{16}$ Ω cm	~ 50 x 10^{-6} Ω cm ∥ ~ 1 Ω cm ⊥
THERMAL CONDUCTIVITY	6.7 x 10^{-1} W/m K	3000 W/m K (NT) 20-2000 W/m K (VGCF)	conductor	insulator	3000 W/m K) ∥ 6 W/m K ⊥
COEF. THERMAL EXP.	8 – 16 x 10^{-6}	~1 x 10^{-6}	~1 x 10^{-6}	8 – 16 x 10^{-6}	~1 x 10^{-6} ∥ 29 x 10^{-6} ⊥
DENSITY	2.8 – 3.0 g/cm^3	NT 1.2 – 1.4 g/cm^3 VGCF 1.8-2.1 g/cm^3	~2.0 g/cm^3	1.2 g/cm^3	~2.0 g/cm^3

[그림 3] 나노셀룰로오즈 휘스커와 다른 나노입자와의 특성비교

자료: L.T.Drzal(MSU) 세미나 발표자료

○ 나노셀룰로오즈는 아래와 같은 일반적인 장점을 가지며 식물성섬유 원재료에 따라 <표 2>에서 볼 수 있는 바와 같이 다양한 크기와 특성을 가진 나노셀룰로오즈의 제조가 가능함,

- 나노셀룰로오즈 공급원인 삼림자원은 재생자원임.
- 셀룰로오즈는 자연계에서 가장 풍부한 자기조립 재료임.
- 나노 크기의 셀룰로오즈 섬유를 셀룰로오즈 기본 단위로부터 얻을 수 있음.
- 삼림자원에서 얻어지는 많은 재료들이 자연에서 복합재료 형태임.
- 삼립자원 관련 산업부문은 성숙된 전통산업으로 나노기술의 상업화를 위해 가장 빠른 길의 제시가 가능함.
- 삼림자원의 종류에 따른 나노셀룰로오즈 특성과 응용분야는 다양함.

[표 2] 삼림자원의 종류에 따라 제조된 나노셀룰로오즈 결정의 특성

셀룰로오즈 원시료	지름	섬유 평균 길이 (mm)	Aspect ratio
외피식물(tunicate)	10-20 nm	100 nm - ㎛	5 to > 100 (high)
떡갈나무 열매(Algal)	10-20 nm	> 1000 nm	50 to > 10 nm (high)
박테리아	5-10 X 30-50 nm	100 nm - ㎛	2 to > 100 (medium)
목면	5 nm	200 - 350 nm	20 to 70 (low)
나무	3-5 nm	100 - 300 nm	20 to 50 (low)

자료 출처: Beck-Candannedo, et. al. Biomacromol. (2005) 6:1048-1054

1 서론

나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 산업적 응용분야

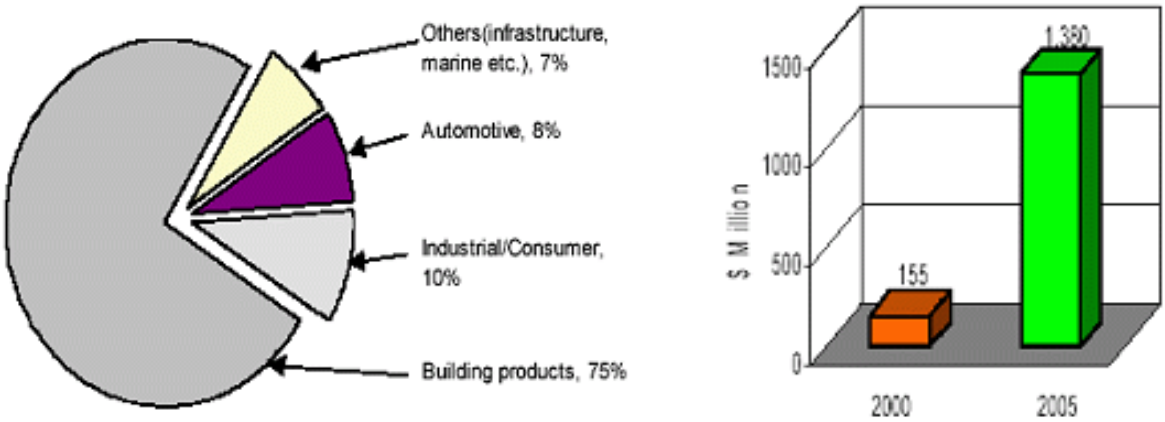
○ 바이오복합재료는 현재 주로 자동차와 건축물의 내장재와 외장재, 산업체의 인프라 구조물 및 산업재료 등에 사용되고 있으며 바이오복합재료의 사용량은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 5년 동안에 약 10배 증가하는 빠른 성장을 보이고 있음.

○ 바이오복합재료는 경량화가 필요한 분야로서 자동차의 내장재와 외장재뿐만 아니라 항공우주 부품 중에서 고분자복합재료가 사용되고 있는 모든 분야에 대한 적용이 가능한 것으로 분석되어 유럽에서는 최근 항공우주용 부품으로의 연구개발도 추진 중임.

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료는 현재까지 산업적으로 응용된 경우는 보고된 바 없으며 나노셀룰로오즈의 제조방법과 이를 이용한 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 제조방법에 대한 연구가 학계, 연구계를 중심으로 활발하게 진행 중임.

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 응용분야는 기존 바이오복합재료의 고성능화 이외에도 생체적합성, 생분해성, 우수한 기계적 강도, 화학적 개질이 가능, 자기 조립능 등의 장점을 이용하여 부가적인 새로운 산업분야에 응용될 수 있는 잠재성을 가지는 것으로 보고되고 있음.

○ 현재 나노셀룰로오즈 보강 복합재료 개발은 초기단계로서 이의 실용화에 따라 응용분야는 다양한 산업으로 더욱 확대될 것으로 판단됨.
- 자동차, 주택산업의 내·외장재
- 항공우주 재료
- 분리막: 연료전지, 신장 투석, 역삼투막, 단백질 분리, 투과증발막
- 센서, 전자부품
- 방위산업 재료
- 첨단 직물 섬유
- 바이오의학: 조직공학(심장밸브, 인공뼈 재료)



[그림 4] 미국에서의 바이오복합재료 주요 사용처 및 성장률

자료 출처: 코네틱리포트 제684호, 2005

1 서론

이슈 분석의 필요성

○ 많은 국가에서 국가 에너지 문제를 모든 에너지기술의 핵심기술인 에너지소재 개발에 의해 해결하기 위해 정부주도로 에너지소재 개발과 관련된 대형 프로젝트를 운영하고 있으며 특히, 미국, 캐나다, 유럽에서는 2005년부터 정부주도로 친환경 소재 개발을 위해 바이오자원을 이용한 에너지원 확보와 첨단신소재 연구개발을 위해 로드맵을 작성하는 등 적극적인 연구개발을 추진하고 있음.

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료 개발기술은 세계적으로 2000년대부터 처음 시작된 최첨단 기술로서 그 응용분야도 매우 다양하며 파급효과도 매우 크기 때문에 세계적으로 빠른 연구개발이 진행되고 있음.

○ 따라서 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 효율적인 연구개발을 위해 현재 가장 큰 이슈가 되고 있는 나노셀룰로오즈 보강재의 효율적인 제조방법, 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위한 기술적인 문제점 및 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화에 의한 파급효과를 검토하고자 함.

본론

2

- 바이오 복합재료의 국내외 연구개발 동향
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 연구개발 동향
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 개발 정책 동향
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 국내외 산업동향

2 본론

바이오 복합재료의 국내외 연구개발 동향

○ 바이오복합재료 개발연구는 환경문제를 가장 큰 이슈로 삼고 있는 유럽에서 가장 먼저 시작되었으며 현재 유럽, 북미, 아시아 등 세계적으로 실용화와 고성능화 연구가 활발하게 추진되고 있음.

○ 유럽에서는 경량화 및 이산화탄소 배출 저감을 위해 바이오복합재료를 주로 자동차 부품에 적용하는 연구가 많이 진행되고 있으며 북미에서는 풍부한 삼림자원을 이용하여 산업체 인프라 구축, 자동차 부품 등 다양한 분야에 응용하기 위한 연구가 추진 중임.

○ 아시아는 2000년 중반부터 유럽, 북미와 바이오복합재료 개발을 위한 국제협동연구 추진, 자동차, 전자부품 분야에 실용화하기 위한 연구개발을 진행하고 있음.

○ 바이오복합재료 개발연구를 추진하고 있는 세계 여러 기관의 현황을 <표 3>에 정리하였음. 표에 제시된 기관 이외에도 세계의 많은 연구기관, 대학 및 산업체가 바이오복합재료 개발연구를 진행하고 있음.

가. 유럽

○ 유럽에서 바이오복합재료의 연구는 실용화와 고기능화 단계에 있음. 유럽에서의 진행되는 바이오복합재료 연구의 특징은 유럽공동체가 학,연,산 공동으로 개발연구를 추진하며 기업체에서 바이오복합재료의 실용화 추진, 국가연구기관과 대학에서 바이오복합재료의 고기능화 연구를 추진하고 있음.

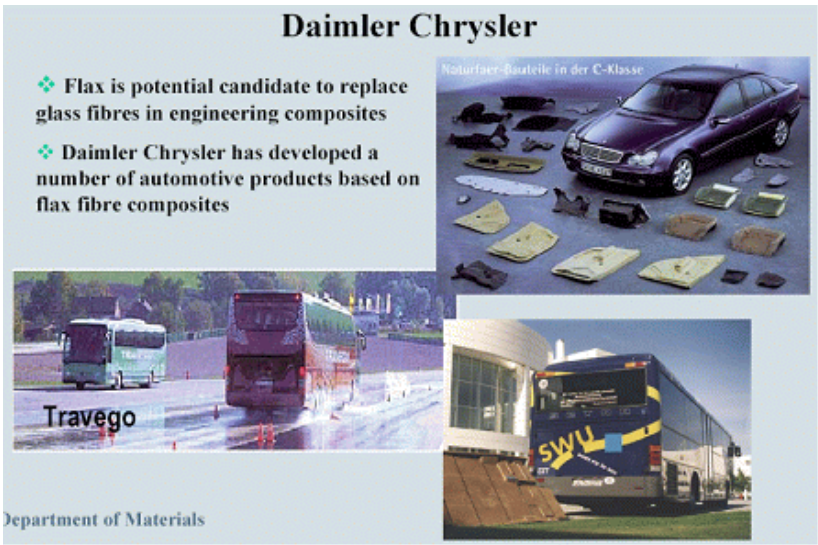
○ 현재 바이오복합재료가 가장 많이 실용화된 부문은 자동차의 내장재와 외장재로서 고성능의 바이오복합재료를 개발하기 위해 유럽의 자동차 관련 산업체는 연구기관과 함께 EU Growth project에서 협동연구를 수행하고 있음.
- 특히, 이 중에서 프로젝트 “ECOFINA(http://www.ecofina.org)"는 현재 고분자 재료와 함께 자동차 부품 제조에 사용되고 있는 무기 충진제 혹은 무기섬유를 천연소재로 대체하기 위한 연구를 목표로 추진되고 있음.

○ 바이오복합재료 개발과 실용화의 선두주자인 독일 DLR(The German Aerospace Center)에서는 현재 바이오복합재료를 유리섬유 강화 복합재료가 사용되고 있는 모든 분야, 예를 들면 항공우주 및 풍력발전을 위한 풍차날개 등 대체에너지 분야에도 적용하기 위한 연구를 수행 중임.

○ 또한, 독일 자동차 회사인 다임러크라이슬러 사에서는 바이오복합재료를 <그림 5>에서 보는 바와 같이 승용차의 내장재 및 외장재에 실제로 적용연구가 수행되고 있으며 최근 버스, 전철 등에 적용하는 연구도 추진 중임.

[표 3] 바이오복합재료 주요 연구기관

국가	주요 기관	연구개발 내용	현황
미국	o 미국 USDA(Pobert H. Falk) o 미시간주립대(L.T. Drzal) o 위스콘신대(A. Sanadi) -워싱턴주립대, Ford사 -Futuresoft Technologies Inc. -North Wood Plastic Inc. 외 다수	o 천연섬유-열가소성 바이오복합재료의 응용(미국 USDA) o 천연섬유 보강 복합재료의 다양한 응용 및 연구 (미시간주립대) o 케나프 섬유를 이용한 복합재료 응용 (위스콘신대)	응용 연구, 실용화적용 단계
유럽	o 영국(런던대. T.Peijs) o 독일(드레스덴대. B.kretzschmar) o 이탈리아(페루자대. C.Bernal) o 네덜란드(TNO Institute of industrial Technology사, S.Fisher) o 벨기에(Owens Coring Fiberglas사, J.L.Thomason) o 스페인, 핀란드, 덴마크 등	o 복합재료 제조를 위한 마섬유의 물성 및 응용분야연구(영국) o PP/Clay 바이오복합재료 연구(독일) o Jute-PP 복합재료 연구(이탈리아) o 천연고분자/나노입자 Combination (네덜란드) o 자동차에 대한 NFRP응용(벨기에)	응용 연구, 실용화적용 단계
일본	o 쿄토대(H. Hamada) o 아키타대(Y. Kikuchi)	o 대나무 이용 생분해성 바이오복합재료 연구 o 삼나무, 모과나무를 이용한 생분해성 복합재료 연구	응용연구 실용화 타진단계
기타	o 인도(L.A.Pothan) o 중국(Madiscn, WI) o 호주(호주국립대 Kate E.Semple) o 브라질, 싱가포르, 말레이시아 등	o 바나나섬유를 이용한 복합재료 연구 o 천연/나무섬유 복합재료의 응용	기초 연구



[그림 5] 독일 다임러크라이슬러 사에서 실용화 연구 중인 바이오복합재료

자료 출처: http://www.daimlerchrysler.com/

나. 미국

○ 미국에서 바이오복합재료 개발연구는 국립과학재단(National Science Foundation: NSF), 농림부(United State Department of Agriculture: U.S.D.A.), 에너지부(Department of Energy: DOE), 환경부(Environmental Protection Agency: E.P.A) 등 정부 각 부처의 지원과 함께 활발하게 진행되고 있음.

○ 미국에서는 아이오와 주립대학, 워싱톤 주립대학, 미시간주립대학, 오레곤 주립대학, 루이지애나 주립대학, 위스콘신 대학, 메인 대학, 노스캐롤라이나 주립대학, 펜실베이니아 주립대학, 테네시 대학, 델라웨어 대학 등 많은 대학에서 바이오복합재료 개발과 관련된 기초연구를 수행하고 있음. 이들 대학에서 는 단백질을 매트릭스로 하는 바이오복합재료, 목분과 천연섬유를 보강제로 사용한 바이오복합재료, 생분해성 고분자를 매트릭스로 하는 바이오복합재료 등 바이오복합재료 개발 및 특성분석과 관련된 기초연구가 진행되고 있음.

○ 또한, USDA Forest Products Lab 등 국립연구기관에서 바이오복합재료의 내구성 및 생분해성과 관련된 연구를, 오웬 코닝 회사, 노스 우드 플라스틱 회사(North Wood Plastics Inc.) 등 기업체에서 바이오복합재료 실용화를 위한 연구를 수행하고 있음.

○ 미국에서 수행되는 바이오복합재료는 응용분야가 주택, 교량 등 건축 산업과 기반시설 인프라 구축 및 자동차 분야 등 다양함. 특히, 바이오복합재료가 미국 건축 산업의 차세대에 중요한 역할을 할 수 있는 첨단 신소재로 간주되고 있으며 각 정부부처에서 연구개발을 적극적으로 지원하고 있음.

다. 아시아

○ 아시아에서는 약 5년 전부터 바이오복합재료 관련 기초연구를 시작하여 주로 한국, 일본, 중국, 인도에서 연구가 진행되고 있으며 이중에서 일본이 가장 활발하게 연구개발과 실용화를 추진하고 있음.

○ 바이오복합재료의 실용화에 대해서는 일본 토요다 자동차회사에서는 케나프와 폴리유산(poly lactic acid)으로 만들어진 바이오복합재료를 처음으로 승용차 내장재로 적용하였다는 보도를 2005년 3월 29일자로 한 바 있음.

○ 중국은 1980년대 중반부터 바이오복합재료 연구가 시작되어 1999년부터 바이오복합재료 제조공장이 설립되기 시작하였으며 2003년에는 중국 내에 바이오복합재료 관련 연구가 8개 대학과 연구원 및 50 여 곳의 기업체에서 이루어지고 있음.

○ 중국 국가 "863계획(하이테크 계획)" 가운데 중요한 프로젝트인 "목질(木質) 기반 복합재료 선진 제조기술"을 실시하여 목재와 합성 고분자 화합물 복합재료, 금속, 무기비금속, 대나무재료, 농작물 줄기 섬유 계면 변성 및 복합기술 혁신 분야에서 많은 성과를 획득한 것으로 보고되고 있음.

○ 반면, 한국은 바이오복합재료에 대한 인식이 상대적으로 부족하며 산업체에서의 바이오복합재료 연구개발은 거의 진행되고 있지 않으며 현재 일부 연구기관과 학계에서 바이오복합재료와 관련된 기초연구를 수행하고 있음.

2 본론

나노 셀룰로오즈 보강 복합재료의 국내외 연구개발 동향

가. 유럽

○ 유럽에서 나노셀룰로오즈 개발 및 이를 이용한 바이오복합재료 개발연구와 관련된 대한 가장 우수한 개별연구팀으로는 스위스 EMPA연구소의 Tanza Zimmermann 박사와 노르웨이과학기술대학의 K. Oksman이 있음.

- Tanza Zimmermann 박사는 스위스 Top-nano-21 feasibility 연구를 통해 지름이 100 nm 미만의 고강도, 다기능성 등의 특성을 가진 보강재로서 나노셀룰로오즈를 제조하고 이를 바이오복합재료의 보강재로 사용하여 기존 바이오복합재료의 특성을 향상시킬 수 있는 연구를 수행하고 있음.
- K. Oksman은 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위해 나노셀룰로오즈의 우수한 분산, 압출성형 등과 관련된 연구를 추진 중임.

나. 미국

○ 나노셀룰로오즈 복합재료를 연구하는 가장 대표적인 연구기관은 농림부 삼림제품 연구실(USDA Forest Products Lab), 퍼시픽 노스웨스트 국립실험실(Pacific Northwest National Laboratory), 뉴욕 주립대학, 버지니아 텍, 조지아 텍, 테네시 주립대학, 오레곤 주립대학 등이 있으며 이들 연구기관에서는 나노셀룰로오즈 휘스커 제조와 특성연구 및 다양한 고분자와 함께 나노셀룰로오즈 보강 복합재료를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있음.

○ 나노셀룰로오즈를 분말, 섬유 형태로 제조하는 연구, 고분자매트릭스와 접촉을 좋게 하기 위해 나노셀룰로오즈에 기능성을 부여하는 연구, 고분자매트릭스 내에 나노셀룰로오즈를 우수하게 분산하는 연구, 나노셀룰로오즈 보강제와 이를 이용한 복합재료의 나노-기계적 특성을 분석하기 위한 나노인덴테이션 분석방법, 원자 힘 현미경 이용 특성분석 등의 연구가 진행되고 있음.

다. 아시아

○ 아시아에서는 최근까지 나노셀룰로오즈 보강제 및 이를 이용한 복합재료에 관한 연구가 보고된 바 없음.

2 본론

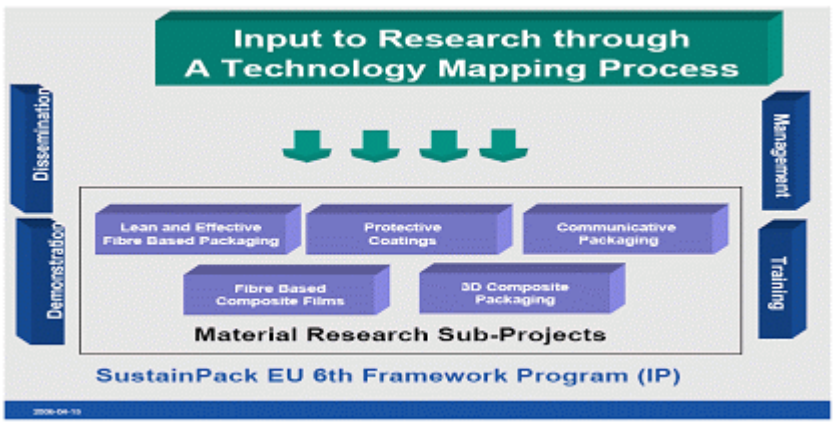
나노 셀룰로오즈 보강 복합재료의 개발 정책 동향

가. 유럽

○ 유럽공동체에서는 STFI-Packforsk에서 EU 6th Framework Program의 특별연구개발 프로그램 구조(the framework of the specific research and technological development programme integrating and strengthening the ERA(contract No NMP2-CT-2003-505247) 내에서 "삼림 제품 산업을 위한 나노기술 로드맵(A nanotechnology roadmap for the forest products industry: NaNoForest)을 작성하고 삼림자원으로부터 나노셀룰로오즈의 제조와 이를 이용한 복합재료 개발연구를 적극적으로 추진하고 있음.

○ NanoForest의 전체적인 목적은 산림제품 분야를 실제적으로 응용하는데 적합한 관련분야와 나노기술에서의 첨단 하이브리드 분야를 개발하고 지원하는 것임. 또한, NanoForest의 중요한 임무는 연관성이 있는 유럽공동체 상호간의 연구, 네트워킹 및 산림제품 산업체와 나노기술과 과학 관련 분야 사이의 협동을 유도하기 위한 국제협력연구를 찾는 것임.

○ SustainPack EU 6th Framework Program (IP)의 재료연구 관련프로젝트를 <그림 6>에 보였으며 이중에서 삼림제품 부분에서 나노기술이 적용될 수 있는 주요 분야는 나노복합재료/복합재료 셀룰로오즈 재료와 나노코팅 분야임.



[그림 6] NanoForest Roadmap 발표자료

자료 출처: 2006 International Conference on Nanotechnology(TAPPI) 발표자료
(Tom Liderstorm, STFI-Packforsk/KTH, 2006. April 26-28)

○ 나노복합재료/복합재료 셀룰로오즈 재료 분야에서는 셀룰로오즈 마이크로섬유/나노점토를 이용한 복합재료, 포장 재료에서 셀룰로오즈 마이크로 섬유의 이용에 대한 내용을, 나노코팅 분야에서는 셀룰로오즈 마이크로섬유/나노점토를 이용한 나노코팅으로 가스, 오일, 날씨, 자외선에 대한 저항성 향상 및 초소수성을 가진 나노구조화된 표면 개발의 내용을 포함하고 있음.

○ 유럽에서 삼림제품 부문의 나노기술 정책동향에 대한 일반적인 고찰은 다음과 같음.
-과학적인 호기심 보다는 산업체의 필요(예를 들면, SustainPack)에 의해 현시점에서 연구비가 지원되고 있음.
-장기 패러다임 이동 기술에 대한 새로운 관심으로 산업체의 큰 관심이 있음.
-유럽공동체는 나노기술을 첨단기술 산업뿐만 아니라 기반산업이라는 점에서 적극적인 지원을 하고 있음.
-현재까지는 bottom-up이기 보다는 top-down 접근으로 진행되었음.

나. 미국

○ 미국에서의 바이오 복합재료 개발연구는 각 정부부처의 지원을 받고 있으며 응용분야도 교량, 주택 등 건축 산업과 기반시설 인프라 구축 및 자동차 분야 등 다양함. 특히, 바이오복합재료를 미국 건축 산업의 차세대에 중요한 역할을 할 수 있는 첨단 신소재로 간주하고 각 정부부처에서 연구개발을 적극적으로 지원하고 있음.

○ 미국국립과학재단(National Science Foundation: NSF)에서는 NSF-PREMISE grant, NSF-EPA program 등의 지원을 통해 바이오복합재료 제조, 특성분석 및 LCA (Life Cycle Assessment) 연구 지원을 하고 있음. 미국 에너지부(Department of Energy: DOE)에서는 "Energy Efficiency and Renewable Energy"의 “Biobased Chemicals and Materials (http://www.eere.energy.gov/RE/bio_chemicals. html" 분야에서, 미국농림부(United State Department of Agriculture: U.S.D.A.)에서는 ” U.S.D.A. Certificated Biobased Product"로 바이오를 기반으로 하는 바이오복합재료의 개발과 실용화를 지원하고 있음.

○ 또한, 바이오자원으로부터 나노재료를 개발하기 위한 연구를 정부 각 부처에서 적극적으로 지원하고 있음.
- 에너지부(Department of Energy: DOE)와 농림부(United State Department of Agriculture: USDA) 공동으로 2004년 10월에 “천연 리그노셀룰로오즈 자원의 나노화 기술”과 관련한 워크샵에서 천연소재로부터 나노셀룰로오즈 나노재료의 제조 및 이를 이용한 다양한 첨단 에너지재료 개발에 이용하기 위한 국가기술지도를 작성하였음. 이 국가기술지도에는 나노셀룰로오즈를 이용한 바이오복합재료를 제 1주제로 선택하여 바이오복합재료의 중요성을 알리고 있음.

○ 또한, 2006년 6월에는 American Forest &Paper Agenda 2020 Technoligy Alliance와 DOE의 Office of Energy Efficiency and Renewable Energy(Industrial Technologies Program)의 지원으로 “Forest Products Industry Technology Roadmap" 최종판을 발표하였음. (http://www.nanotechforest.org/documents/RoadmapFinalDraft.pdf)

○ 최종판에는 2004년 워크샵에서 도출된 나노기술 연구개발 요약내용을 포함하고 있으며 이중 첫 번째 내용인 고분자복합재료 및 나노 보강 재료에 대한 목표, 결과 & 영향 및 연구개발 순위를 <그림 7>에 나타내었으며 주요 연구개발 목표는 다음과 같음.

- 목질 및 비목질계를 기반으로 한 나노재료의 개발 및 활용연구와 이를 이용한 제품의 성능 향상(필름, 코팅, 보강제, 매트릭스, 염료, 첨가제 및 섬유)
- 목질계 리그노 셀룰로오즈 및 리그노셀룰로오즈 나노섬유들의 물리, 화학, 기계, 광학, 자기 및 전자적 특성 분석
- 목질계의 리그노셀룰로오즈로부터 나노 크기의 셀룰로오즈 섬유 분리
- 목질계 나노섬유를 탄소나노튜브, 나노튜브 및 나노와이어로 변환하는 기술
- 리그노셀룰로오즈 나노재료 특성과 제품의 특성향상과의 상호연관 관계 분석
- 목질 및 목질을 기반으로 하는 재료를 최종제품으로 전환하는 효율성을 향상시키는 기술
- 예를 들면 원재료 수요를 줄이는 방법 혹은 제조공정 에너지를 감소하는 방법 등-에 대한 나노 재료들과 나노기술의 활용, 개발 및 연구조사

○ 또한 정부부처, 연구기관, 대학 및 국제연구기관 사이에 공동연구를 위한 역할과 임무를 <그림 8>과 같이 정하고 삼림자원으로부터 나노재료를 개발하고 이를 응용한 연구를 수행하기 위한 계획과 실행을 추진하고 있음.

Summary of Nanotechnology R&D Needs for the Forest Products Industry

(As identified in the October 17-19, 2004 "Nanotechnology Workshop for the Forest Products Industry")

FOCUS AREA	R&D OBJECTIVES	OUTCOMES & IMPACTS	R&D PRIORITIES
Polymer Composites and Nano-Reinforced Materials	• Utilize, develop, and investigate novel wood-based and non-wood-based nanoscale materials with enhanced properties (e.g., films, coatings, fillers, matrices, pigments, additives, and fibers). • Determine the physical, chemical, mechanical, optical, magnetic, and electronic properties of nanoscale lignocellulosic structures and lignocellulosic nanofibrils in wood. • Liberate nanodimensional cellulose fibrils from the lignocellulosic matrix existing in wood. • Investigate the ability of wood nanofibrils to be converted into carbon nanotubes, nanotubules, and nanowires. • Understand the interrelationships between lignocellulosic nanoscale material characteristics and resulting end-use property improvement. • Utilize, develop, and investigate use of nanoscale materials and nanotechnology to improve conversion efficiencies of wood and wood-based materials to final products such as by reducing raw material needs and process energy consumption.	• Value-added, durable products and products with improved properties that would benefit the consumer (for example, the addition of nanoscale fillers to polymeric materials yields dramatic strength increases even at low addition levels (<5 percent). If strength properties of wood, wood composites, paper, and paperboard could be dramatically improved, the material content of products could be decreased by up to 60 percent without losing end-use performance). • Improved water removal processes and other processing efficiencies in paper products nanotechnology that would lower energy costs by 50 percent (and, thus enhance environmental sustainability). Water removal (typically accomplished via thermal drying process) usually constitutes the biggest portion of the energy costs required to produce wood, wood-based composites, pulp, paper, and paperboard products. Modification of water absorption leading to faster draining fibers and 100 percent solid coatings would minimize the energy required and maximize the productivity of paper and wood products converting and finishing processes.	• Develop and investigate novel materials with enhanced properties (e.g., films, coatings, fillers, matrices, pigments, additives, and fibers – especially lignocellulosic nanofibrils). • Develop and investigate novel materials for processing equipment. • Develop and understand the interrelationships between nanoscale material characteristics and the resulting product end-use property improvements. • Determine the best way to implement new materials. • Develop economic and life-cycle models for forest-based nanoscale materials and products.

[그림 7] 고분자복합재료 및 나노 보강재료 관련 로드맵 요약문

자료 출처: http://www.nanotechforest.org/documents/RoadmapFinalDraft.pdf

National Science Foundation	• Develop programs around basic research needs • Focus on precompetitive research • Provide funding for university basic research and education • Work with/coordinate with other federal agencies, industry, and research institutes/laboratories • Disseminate science and technology information
Department of Energy (DOE) and DOE National Laboratories	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Conduct basic and applied research • Provide access to user facilities by other researchers • Provide funding and other resources for basic and applied research • Collaborate with/coordinate with other federal agencies, universities, research institutes/laboratories, and industry • Disseminate science and technology information
USDA Forest Service	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Conduct basic and applied research • Provide funding and other resources for basic and applied R&D • Provide access to facilities by other researchers • Collaborate with/coordinate with other federal agencies, universities, research institutes/laboratories, and industry • Disseminate science and technology information
USDA Cooperative State Research Education and Extension Service (CSREES)	• Develop programs to meet basic and applied research needs • Provide funding for basic and applied R&D • Collaborate with/coordinate with other federal agencies, universities, research institutes/laboratories, and industry • Disseminate science and technology information
Industry (Forest products companies and their suppliers)	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Collaborate with/coordinate with federal agencies, research institutes/laboratories, and universities • Provide partial funding for R&D • Help guide R&D into fruitful commercial product areas • Implement nanoscale science and technology as appropriate • Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs
Universities with materials nanotechnology programs	• Conduct basic and applied research • Provide access to facilities by other researchers • Train students in nanotechnology • Collaborate with/coordinate with other universities, federal agencies, research institutes/laboratories, and industry • Link with universities with forest products and pulp/papermaking programs • Disseminate science and technology information
Universities with forest products and pulp/papermaking programs	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Link with basic science nanotechnology researchers at other universities, research institutes/laboratories, and national laboratories • Conduct basic and applied R&D • Provide access to facilities by other researchers • Leverage resources as appropriate • Engage graduate and undergraduate students in the research • Train students in nanotechnology • Disseminate science and technology information
Research Institutes and Research Laboratories	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Conduct basic and applied research • Provide funding and other resources for basic and applied R&D • Provide access to facilities by other researchers • Collaborate with/coordinate with other federal agencies, universities, other research institutes/laboratories, and industry • Disseminate science and technology information
International Research Organizations	• Participate in multidisciplinary and multi-institutional R&D programs • Conduct basic and applied research • Provide funding and other resources for basic and applied R&D • Provide access to facilities by other researchers • Collaborate with/coordinate with other researchers, universities, research institutes/laboratories, and industry • Disseminate science and technology information

[그림 8] 미국의 삼림제품 산업을 위한 나노기술 연구개발 협동기관 및 내용

자료 출처: Gen Publisher Inc. A Mary Ann Liberty Inc. Industrial Biotechnology Fall 2005, vol. 1. no.3. pp.166-184.

○ 미국에서는 미국삼림제지협회와 미국에너지부의 에너지효율 및 재생에너지 산업기술 프로그램에서 2006년 6월에 ‘삼림자원을 이용한 산업기술 로드맵“의 최종판을 발간하였으며 그 내용으로서 삼림자원을 활용한 기술의 산업과 사회에 대한 잠정적인 가치를 <그림 9>와 같이 제시함.

다. 아시아

○ 일본은 “Green Composite"라는 제목으로 바이오복합재료 관련 국제전문학회를 2001년부터 매년 개최하고 있으며 캐나다와 함께 매 2년마다 개최하는 Canada-Japan Workshop에서 "Bio-Eco-Nano Composite" Division을 따로 운영하여 바이오복합재료 연구개발 성과발표와 정보교류를 활발히 진행 중임.

Technology Platform	Net New Revenue ($million)	Reduced Energy Consumption (millions of barrels per year)	Reduced CO_2 Emissions (millions of tons per year year of CO_2 equivalents)	New Jobs (thousands)
Advancing the Forest “Biorefinery”[2]	8.849	175.72	153.70	166.70
Technologically Advanced Workforce	2.180	16.56	7.60	2.18
Breakthrough Manufacturing Technologies	16.895	313.02	41.74	-10.00
Positively Impacting the Environment	0.416	39.98	14.00	0.00
Wood Products Revolution	4.902	13.67	0.00	20.00
Fiber Recovery and Utilization	1.200	13.66	10.00	0.00
Overall	**34.442**	**572.621**	**227.04**	**376.70**

[1] Source: AF&PA/DOE/Gensight analysis, 2005.
[2] Includes the value of the Sustainable Forest Productivity Technology Platform.

[그림 9] 삼림자원을 활용한 기술의 산업과 사회에 대한 잠정적인 가치

자료: Forest Products Industry Technology Roadmap, final draft, 2006.6

2 본론

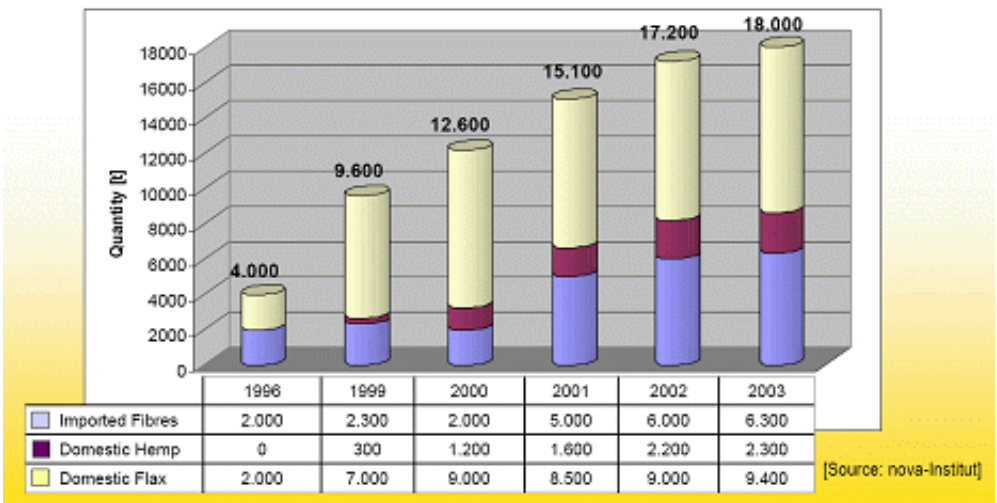
나노 셀룰로오즈 보강 복합재료의 국내외 산업동향

○ 유럽에서 자동차 부품용 복합재료에 사용된 천연섬유는 1996년에 4,000-5,000톤에서 2000년 28,000 톤 이상으로 4배 이상 증가하였으며 5년 이내에 사용량이 50,000-100,000톤으로 증가가 예상됨.
- 현재 유럽 자동차 생산업체들은 내장재에 바이오복합재료를 실제로 적용하고 있으며 모든 승용차에는 차 한대당 평균 5-10Kg의 천연섬유가 사용되고 있음.

○ 바이오복합재료 연구와 실용화가 가장 활발하게 진행되는 나라는 독일로서 <그림 10>에서 보는 바와 같이 바이오복합재료 보강제로서 천연섬유 사용량은 매년 빠르게 증가하고 있음.

○ 자동차산업에서는 친환경 특성을 가진 소재의 사용과 연비 향상을 위한 경량화를 위한 연구가 적극적으로 진행되고 있어 바이오복합재료의 응용잠재성은 매우 크며 바이오복합재료를 외장재로까지 사용하는 경우에 자동차산업에서의 바이오복합재료 성장전망은 매년 50% 이상이 될 것으로 예측되고 있음.

○ 미국에서는 특히, 주택산업에서 친환경 특성을 바이오복합재료의 사용이 증가되고 있으며 주택산업과 자동차산업에서의 바이오복합재료의 성장전망은 매년 60% 이상이 될 것으로 예측되고 있음.



[그림 10] 독일의 자동차 산업에 대한 천연섬유 사용현황(1996-2003)

자료: Woodfiber2005 Otremba 발표자료

이슈 분석

3

|이슈제기

|나노셀룰로오즈 보강재의 효율적인 제조 방법은 무엇인가?
|나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위한 기술적인 문제점은?
|나노셀룰오즈 복합재료의 실용화에 의한 파급효과는?

3 이슈분석

이슈제기

○ 환경규제 강화 등에 의해 세계적으로 친환경 소재를 개발하기 위한 연구가 적극적으로 진행되고 있으며 이중에서 천연자원인 바이오재료로부터 고부가가치인 나노셀룰로오즈를 제조하고 이를 활용하여 제품의 특성을 향상시키기 위한 연구가 활발하게 진행 중임.

○ 기계적 강도 등 다양한 우수한 특성을 가진 나노셀룰로오즈를 목질계, 비목질계 바이오 재료로부터 제조하는 방법과 이를 활용하는 기술은 아직 세계적으로 초기연구단계로서 앞으로 기술개발에 의해 다양한 응용분야에서의 복합재료의 성능향상, 새로운 응용분야 개발 등 그 파급효과가 지대하므로 현 기술개발 상태에서 나노셀룰로오즈 복합재료 관련 기술과 관련된 기술의 문제점을 다음과 같이 제시하고 해결방안 및 파급효과를 분석하고자 함.
- 나노셀룰로오즈 보강재의 효율적인 제조방법은 무엇인가?
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위한 기술적 문제점은 무엇인가?
- 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화에 의한 파급효과는 무엇인가?

3 이슈분석

나노 셀룰로오즈 보강재의 효율적인 제조방법은 무엇인가?

가. 나노셀룰로오즈 보강제 제조방법과 그 문제점

○ 나노셀룰로오즈의 제조는 셀룰로오즈 섬유다발로부터 화학적 및 기계적 펄프 공정에 의해 셀룰로오즈 나노섬유를 분리하는 공정으로서 주로 미국, 유럽, 캐나다의 대학에서 수행되고 있음.
- 현재까지는 나노셀룰로오즈를 제조하기 위해 주로 분쇄와 같은 기계적 공정을 많이 사용하였음.

○ 나노셀룰로오즈를 제조하는데 있어 화학적 및 기계적 방법 이외에도 박테리아 혹은 전기방사장치를 이용하여 나노셀룰로오즈 섬유형태로 제조하고 있으나 이들 방법은 비경제적이며 특히 박테리아로 나노셀룰로오즈를 제조하는 방법은 오염의 위험이 커서 순수한 나노셀룰로오즈를 얻기 어려움.

○ 나노셀룰로오즈를 제조하는데 사용된 기존방법은 다음과 같음.
- 순수한 기계적 방법: 매우 미세한 섬유의 제조가 어려움
- 일차 세포벽으로부터의 제조: 원재료의 선택에 한계가 있음
- 박테리아 셀룰로오즈 나노섬유: 비경제적이며 오염의 위험이 큼
- 표면 조절 셀룰로오즈 나노섬유: 순수한 셀룰로오즈 제조의 어려움

○ 미국, 캐나다, 노르웨이를 포함한 일부 유럽국가에서는 나노셀룰로오즈의 제조방법과 원시료로 사용된 천연섬유의 종류에 따라 제조된 나노셀룰로오즈의 생산 효율과 특성을 비교분석하는 연구도 수행하고 있음.

나. 나노셀룰로오즈 보강제의 효율적인 제조방법

○ 현재까지 나노셀룰로오즈를 대량으로 경제적인 방법에 의해 제조한 경우는 보고되고 있지 않으며 나노셀룰로오즈를 효율적으로 제조하기 위한 다양한 방법이 시도되고 있음.

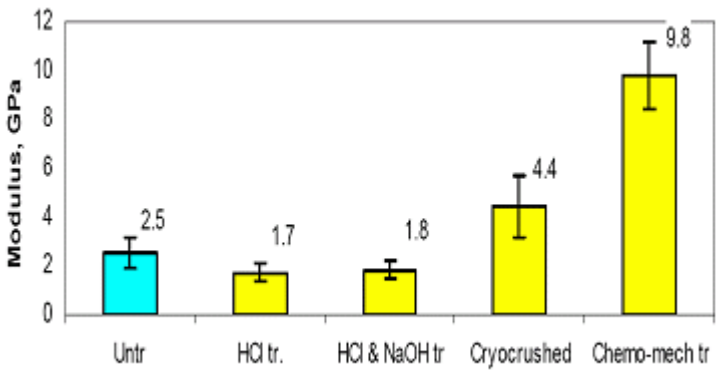
○ 최근 캐나다 대학의 Sain 교수팀은 나노셀룰로오즈를 효율적으로 제조하기 위해 기존 방법인 물리적, 화학적 방법을 하이브리드한 제조방법을 적용하고 대마섬유를 원시료로 하여 각 제조단계에서의 얻어진 나노셀룰로오즈의 물성을 <그림 11>과 같이 비교분석한 바 있음.

○ Sain 교수팀이 적용한 나노셀룰로오즈의 효율적 제조방법은 다음과 같음.
- 방법 1:
  열처리에 의한 나노셀룰로오즈 섬유 분리: 열처리 - 볼 밀링 - 알칼리용액 처리(리그닌, 여분의 펙틴 및 헤미셀룰로오즈 제거) - 냉동분쇄(세포벽에서 마이크로 섬유의 분리) - 기계적 처리(defibrilation) - 셀룰로오즈 나노섬유 제조(대마 줄기 섬유에서 제조된 나노셀룰로오즈 섬유의 수율은 25%임.)

- 방법 2:
  화학-기계적 방법에 의한 제조: 아마 장섬유 다발의 전처리(팽윤) - 가수분해(펙틴과 헤미셀룰로오즈의 제거: 수율 50%) - 알칼리 처리(리그닌, 여분의 펙틴과 헤미셀룰로오즈 제거: 수율은 40%) - 냉동분쇄(세포벽에서 마이크로 섬유의 분리) - 기계적 처리(defibrilation) - 셀룰로오즈 나노섬유 제조(아마 줄기 섬유에서 나노셀룰로오즈 섬유의 수율은 20%임.)

○ 염산을 사용하여 제조된 마이크로결정성 셀룰로오즈는 현재 약 $7/kg이며 나노결정성 셀룰로오즈는 주로 황산을 사용하여 제조하며 약 $2/kg을 목표로 하고 있음.

○ 또한, 바이오섬유 원시료를 달리하였을 때 얻어진 나노셀룰로오즈는 원시료의 결정성 셀룰로오즈의 특성에 따라 다른 특성을 보이기 때문에 원시료를 달리하여 얻어진 나노셀룰로오즈 보강 복합재료에 대한 특성분석도 필요하며 이에 대한 Sain 교수팀의 연구결과를 참고로 <그림 12>에 제시하였음.



[그림 11] 나노셀룰로오즈 보강 필름의 저장탄성률 비교

자료 출처: Woodfiber05 A. Bhatnagar and M.Sain 발표자료

3 이슈분석

| 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위한 기술적인 문제점은?

○ 성능이 우수한 특성을 가진 나노셀룰로오즈 보강 복합재료를 제조하는데 필요한 기술은 다음과 같이 크게 3가지의 기술로 분류될 수 있음.
- 우수한 특성의 나노셀룰로오즈 보강제의 경제적인 제조기술
- 나노셀룰로오즈의 우수한 분산이 가능한 고분자매트릭스 선정 및 분산기술
- 나노셀룰로오즈 보강재와 고분자매트릭스 사이의 우수한 접합 및 분석기술

가. 나노셀룰로오즈 보강재의 경제적인 제조를 위한 고려사항

○ 우수한 특성의 나노셀룰로오즈 보강재 제조 및 경제적인 제조기술은 나노셀룰로오즈의 특성이 원시료, 제조방법 등에 따라 다른 특성을 나타내기 때문에 가장 우수한 결정성 나노셀룰로오즈가 많이 포함된 바이오섬유를 선정하여야 함.

○ 또한, 나노셀룰로오즈를 효율적으로 제조하기 위해 경제적이며 수율이 높은 제조방법을 개발하여야 함.
- 이 과정을 수행하는 데에는 많은 시간과 노동력이 필요하므로 이를 해결하기 위한 방안으로 나노셀룰로오즈를 포함한 바이오소재 재료특성 뱅크(bank) 설치 등을 고려할 수 있음.

○ 그러나 현재까지 나노셀룰로오즈 관련 기술은 기초단계로서 기술개발과 함께 단계적으로 추진하는 것이 바람직한 것으로 여겨지며 구체적으로 고려되어야 할 항목들은 다음과 같음.
- 나노셀룰로오즈 제조를 위한 출발재료의 순도가 필요한가?
- 화학적 방법으로 제조하는 경우 사용된 산 용액의 회수가 가능한가?
- 산 용액 안에 포함되어 있는 부산물의 용도를 찾을 수 있는가?
- 경제적으로 일정한 특성을 가진 나노셀룰로오즈의 생산이 가능한가?

나. 나노셀룰로오즈의 우수한 분산이 가능한 고분자매트릭스의 선정 및 분산기술

○ 나노셀룰로오즈의 우수한 분산이 가능한 고분자매트릭스의 선정 및 분산기술은 나노재료 보강제를 사용하는 복합재료 개발에서 항상 문제가 되는 기술로서 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되고 있음.

○ 나노셀룰로오즈 보강제가 고분자매트릭스 내에 분산이 잘 되어야 일정한 특성을 가진 복합재료의 제조가 가능함. 일반적으로 나노셀룰로오즈를 물 혹은 용매에 분산시켜 첨가하는 방법을 사용하고 있으나 이러한 방법으로 우수한 복합재료의 특성을 얻는데 어려움이 있음.

○ 최근 나노셀룰로오즈의 실란 반응 이용, 나노셀룰로오즈를 계면활성제와 현탁액을 만든 후 동결건조 시키고 다시 유기 용매에 분산하는 방법 등 다양한 방법들이 시도되고 있음.

○ 나노셀룰로오즈는 분자 내에 극성 기(polar group)를 가지고 있기 때문에 극성을 가진 고분자 매트릭스 내에서의 분산은 상대적으로 용이하지만 폴리올레핀과 같은 고분자에서의 균일한 분산은 극히 어려움.

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 염두에 두고 추진된 가장 최근의 방법은 노르웨이과학기술대학의 Oksman팀으로 대량의 나노셀룰로오즈 보강 복합재료를 제조하기 위한 공정개발로서 나노셀룰로오즈를 팽창/분리하기 위해 0.5 wt% LiCl이 포함된 DMAc(N,N-Dimethyl acetamide) 용액으로 나노셀룰로오즈 현탁액을 만들고 이 현탁액을 폴리유산의 용융컴파운딩(melt compounding)시 분산시키는 방법임.

○ 이와 같이 일정한 특성을 가지는 복합재료를 제조하기 위해 나노보강제를 골고루 분산시킬 수 있는 방법은 기존의 다른 나노 보강 복합재료에서 시도되었던 방법을 참고로 하여 나노셀룰로오즈 보강 복합재료에서도 앞으로 계속 연구개발이 추진되어야 할 분야임.

다. 나노셀룰로오즈 보강재와 고분자매트릭스 사이의 우수한 접합 및 분석기술

○ 복합재료의 특성이 우수하기 위해서는 보강제와 고분자매트릭스 사이의 접합이 우수하여야 하며 이를 위해 나노보강제의 개질 혹은 고분자 재료의 개질이 필요함.

○ 또한, 고분자매트릭스/나노 보강제 사이의 계면특성을 분석할 수 있는 기술도 함께 개발되어야 함.

○ 계면 특성분석 기술로는 나노인덴테이션, 전자주사현미경, 원자 힘 현미경에 의한 표면분석 등의 방법이 있으나 나노셀룰로오즈의 특성에 적합한 새로운 분석기술이 개발될 필요성이 있음.

라. 기타

○ 이외에도 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화를 위해 해결되어야 할 기술적인 문제점으로는 고강성도와 고강도를 가진 나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 응용분야 확보, 나노재료의 장점을 살린 복합재료의 인텔리젼트 디자인을 위한 지식 향상 등을 들 수 있음.

3 이슈분석

나노셀룰로오즈 보강 복합재료의 실용화에 의한 파급효과는?

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료 개발기술은 BT/NT/ET 등이 하이브리드된 기술로서 각 기술들의 융합에 의해 새로운 재료의 특성과 기술적인 면에서 시너지 효과를 기대할 수 있음.

○ 바이오복합재료는 바이오 소재를 새로운 산업용 소재로 사용한다는 점에서 새로운 고부가가치 재료의 개발과 관련된 산업인 농업과 임업산업의 소득 증대에도 기여할 수 있음.

○ 나노셀룰로오즈 보강 복합재료는 바이오섬유를 보강재로 한 친환경 소재로서 주택과 자동차 산업 등에 적용되어 쾌적한 환경 조성으로 인간의 생활환경 향상에 기여할 수 있음.

참고문헌

1. Phil Jones, PIMA Leadership Conference 2005, June 26-29(Nanotechnology in the forest products industry)
2. http://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/hemp/bko07s02.html
3. L.T.Drzal(MSU) 세미나 발표자료
4.코네틱리포트 제684호, 2005
5. http://www.daimlerchrysler.com/
6. www.N-FibreBase.net (Woodfiber2005 otremba 자료)
7. http://www.most.gov.cn/kjbgz/t20060809_35326.htm, "목질기반 복합재료 선진제조기술 연구", 2006.8.10
8. http://www.nanotechforest.org/documents/FPNano2005Final.pdf
9. Gen Publisher Inc. A Mary Ann Liberty Inc. Industrial Biotechnology Fall 2005, vol. 1. no.3. pp.166-184.
10. Otremba, 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites 발표자료, May 7, 2003: Wood Fiber and Natural Fiber Plastic Composites in China: Opportunities and Obstacles
11. Forest Products Industry Technology Roadmap, final draft, 2006.6
12. (a) K. Oksman & kvien, (b) Simonsen, 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites 발표자료, May 7, 2003: Wood Fiber and Natural Fiber Plastic Composites in China: Opportunities and Obstacles 발표자료
13. http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/22289/---/l=2
14. A. Bhatnagar and M.Sain, 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites 발표자료, May 7, 2003: Wood Fiber and Natural Fiber Plastic Composites in China: Opportunities and Obstacles
15. T.Corbiere-Nicollier, B.Gfeller Laban, L. Lundquist, Y. Leterrier, J.A.E. Manson, O. Jolliet, *Resources, Conservation and Recycling*, 2001, vol.33, 267
16. 10th European Conference on Composite Materials, June 3-7, 2002, Brugge, Belgium, "ECOFINA: Ecoefficient Technologies and Products Based on Natural Fibre Composites", Debora Puglia, Jerico Biagiotti and Jose M.Kenny (University of Perugia, Italy)
17. U.Riedel, J. Nickel, 7th International Conference on Woodfiber- Plastics Composites, 2003, May 19-20: Biocomposites State-of-the- Art and Further Perspectives
18. http://www.eere.energy.gov/RE/bio_chemicals. html
19. Wayne (Wening) Song, Duanhua Weng, 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites 발표자료, May 7, 2003: Wood Fiber and Natural Fiber Plastic Composites in China: Opportunities and Obstacles
20. 4th International Wood and National Fibre Composites Symposium, TRIP Report, Kassel, Germany, 2002, April 10-11
21. Nanoforest: A nanotechnology roadmap the forest products industry, STFI-Packforsk report no.48, September 2005
22. William gacitua E., Aldo Ballerini A., Jinwen Zhang, "Polymer nanocomposites: Synthetic and natural fillers a review", Maderas. Ciencia y technologia 7(3): 159-178, 2005.

저자소개

➢한 성 옥

- 화학 박사
- 현, 한국에너지기술연구원 책임연구원

➢한국과학기술정보연구원 동향정보분석팀