

나노 셀룰로오스



데이터분석본부 수도권지원 선임기술원 **조상훈** Tel: 02-3299-6098 e-mail: scho@kisti.re.kr

KEY FINDING

1. 나노 셀룰로오스는 천연 고분자로서 우수한 기계적 강도와 친환경 소재에 대한 필요성 증가로 시장 규모의 성장이 전망되는 기술로서 세계 시장 규모는 2021년 기준 약 346.9백만 달러이며, 2021년부터 연평균 22.7 %로 성장해 2026년 약 963.0백만 달러까지 확대될 것으로 전망된다.
2. 나노 셀룰로오스는 마이크로 섬유화 셀룰로오스(MFC), 나노 섬유화 셀룰로오스(NFC), 나노 결정질 셀룰로오스(NCC)로 구분된다. 기계적 전단 방식으로 대량 생산이 용이한 MFC와 NFC의 시장이 상대적으로 빠른 성장세를 보일 것으로 예상되며, 2018년 119.3백만 달러에서 연평균 23.0 %로 성장해 2026년 680.7백만 달러에 이를 것으로 예상된다.
3. 나노 셀룰로오스 시장은 상용화 초기 단계로서 대표적인 참여자는 독일, 일본, 스웨덴 등 선진국에 분포되어 있으며, 기술 개발을 위해 참여자 간 협업하고 있으며, 시장에서의 위치를 공고히 하기 위해 파트너십 등의 전략을 펼치고 있다.
4. 나노 셀룰로오스는 ESG 관련 사회적 관심 증가와 바이오, 경량 소재에 대한 수요 확대로 높은 시장 성장이 기대되나, 대량의 저비용 생산을 위한 기술이 필수적이며, 이를 위해 적극적인 연구개발과 투자가 필요할 것으로 전망된다.

1) 시장의 개요

셀룰로오스는 자연에서 얻을 수 있는 가장 풍부한 천연 고분자 물질로서 생분해성이고 기계적 강도가 우수하다. 나노 셀룰로오스는 셀룰로오스 다발이 뿔뿔히 결합하는 나노 크기의 막대 형태 섬유인 천연 고분자로서 식물 세포벽으로부터 기계적 처리나 화학적 처리로 얻을 수 있어 생체 안정성과 생분해성이 뛰어나고 열안정성이 높다. 물리적 특성이 좋아서 엔지니어링 플라스틱 케블라(Kevlar)와 인장 탄

성 계수가 비슷하므로 나노 셀룰로오스가 포함된 강화 복합 소재 분야에 활용성이 주목받고 있다. 또한 비표면적이 넓기 때문에 바이오 기반 나노 소재로서도 관심이 집중되고 있어 포장, 제지, 여과 장치, 인공 피부, 화장품 등 다양한 분야에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

나노 셀룰로오스는 <표 1>과 같이 크기, 물성, 제조 방법에 따라 다양한 종류로 나눌 수 있는데, 주로 기계적 전단에 의해서 만들어지는 마이크로 섬유화 셀룰로오스(Microfibrillated Cellulose, MFC)와 나노 섬유화 셀룰로오스(Nanofibrillated Cellulose, NFC), 산의 가수

분해를 통해서 만들어지는 나노 결정질 셀룰로오스(Nanocrystalline Cellulose, NCC)로 대별할 수 있다.

표 1 대표적인 나노 셀룰로오스의 제조 방법 및 물리적 특성

구분	마이크로 섬유화 셀룰로오스, 나노 섬유화 셀룰로오스 (microfibrillated & nanofibrillated cellulose)	나노 결정질 셀룰로오스(nanocrystalline cellulose)
제조법	기계적 전단 (고압균질기 등)	화학적 처리 (산 가수분해 등)
폭	5~100 nm	2~20 nm
길이	~ μ m	100~600 nm
중량비	>200	~50
주요 특징	기계적 전단으로 생산수율이 높고 에너지 생산 비용이 높음.	액체 결정으로 활용 가능하고, 수율이 낮으며, 표면 개질이 어려움.

출처 : 한국산업기술평가관리원, 나노 셀룰로오스 기술 및 응용산업 동향, 2017 및 KISTI 재구성

MFC와 NFC는 1~2 wt% 농도의 셀룰로오스와 증류수 혼합액을 고압 균질기를 통해 생산하고 있으며, 고압으로 섬유들이 나노화되는 것을 특징으로 한다. MFC와 NFC 등의 섬유화 셀룰로오스는 중량비와 강도가 높아 바이오 복합재에서 강도를 향상시키는데 활용하는 것이 연구되고 있다. 또한 열적 안정성이 좋고, 금속과 유리보다 밀도가 낮기 때문에 경량의 복합재를 제조하는 데 주로 활용된다. 반면에 NCC는 화학적 처리로 만들어지는데 결정과 비결정 영역이 섞여 있는 셀룰로오스 사이에 강산(염산, 황산, 인산 등)으로 이온을 침투시키고, 가수분해해 결정 부분만 남기는 방법으로 제조한다.

나노 결정질은 생체 적합성이 높아 항균제 합성, 의료용 소재, 환경 촉매, 바이오 센싱, 약물 전달체 등으로서의 활용이 연구되고 있으며, 상대적인 분산성이 뛰어나 다양한 유기물, 무기물과의 복합 재료를 형성할 수 있어 나노페이퍼, 배리어 필름, pH 센서 등으로 활용될 수 있다. 다만 나노 셀룰로오스는 생산 과정에서 대량 균질 생산이 어렵고 수율이 떨어지며, 강산 등 화학 물질을 과다하게 사용해 이를 제거하는데 많은 에너지가 소비된다. 그리고 표면에 있는 작용기를 제거하기 힘들고 표면 특성에 변화를 주기 어려우므로 응용처가 제한되는 단점이 있다. 이를 극복하고자 다양한 연구가 진행되고 있으며, 친환경 소재, 생분해성 소재 등에 대한 시장의 확장을 대비해 지속적인 연구개발과 투자가 진행된다면 높은 성장이 기대되는 시장이다.

2) 정책 및 규제 현황

나노 셀룰로오스는 생분해가 가능해 친환경적이고 자동차, 화학, 의료 등 다양한 분야에 활용이 가능한 첨단 소재로서 미국, 일본 등

선진국이 선점하기 위해 노력하고 있다.

일본은 나노 셀룰로오스를 미래 4대 소재로 지정하고 경제산업성에서 나노 셀룰로오스 포럼을 개최하는 등 소재의 연구개발과 산업화를 정부 차원에서 적극적으로 주도하고 있다. 최근 2019년 도쿄 모터쇼에서는 나무에서 추출한 나노 셀룰로오스를 복합 소재로 적용한 자동차를 선보인 바 있고, 자동차 중량 10 % 이상의 경량화를 목표로 차체, 엔진 등 중요한 재료에 나노 셀룰로오스를 접목하는 프로젝트를 진행하고 있다.

미국은 '피스리나노(P3Nano)' 라는 민간 파트너십 성격의 프로젝트를 만들어 기업, 정부 및 학계가 협업할 수 있는 플랫폼을 구축하였고, 미국 농무부는 기업에 지원금을 주는 등 나노 셀룰로오스의 상업화에 예산을 투입하고 있다. 실제로 미국 일부 대학에 하루 300 kg 생산 능력의 시험 제조 설비를 구축하였고, 이를 활용해 포름알데이드가 함유된 합성수지 없이 친환경 파티클 보드를 제조하는 기술을 개발한 바 있다.

유럽 국가 중에서 펄프와 제지 산업이 발달한 스웨덴, 노르웨이, 핀란드 등도 2000년대 중반부터 정부와 산업계가 나노 셀룰로오스 산업화를 위해서 연구 기관에 상당한 투자를 이어오고 있다. 스웨덴의 경우 발렌버그목재과학센터(Wallenberg Wood Science Centre)를 중심으로 산림 원료의 특수 화학 물질에 대한 기초 연구, 지식 및 역량을 구축하고 있으며, 국가 연구 플랫폼 형태로 공개 연구 환경을 조성해 산학 협력을 하고 있다. 노르웨이는 PFI(Paper and Fibre Research Institute)를 중심으로 포장재, 석유 산업 등을 연구하며 노르웨이 나노 셀룰로오스 기술 플랫폼 프로젝트를 통하여 상업화를 목표로 정책 지원 및 투자를 이어오고 있다.

국내에서는 초창기 임업 중심의 연구개발을 진행하였으며, 국립산림과학원을 중심으로 연구와 상용화를 진행해 왔다. 2014년 나노 셀룰로오스 관련 보고서에서 목재에 관한 연구 방향을 제시한 바 있고, 2020년 나노 셀룰로오스 산업화 전략 포럼 개최 등 지속적인 교류와 연구가 이루어진 것으로 파악된다. 또한 국가기술표준원, 한국표준협회에서 제시한 2016 표준 기반 R&D 로드맵에서 고성능 전기 전자용 친환경 소재 분야에 나노 셀룰로오스가 포함되었으며, 국가 과제로서 소재 원천 기술 개발 사업 등을 통해서 나노 셀룰로오스의 개발 및 상용화를 위한 투자와 관련 정책을 지원하고 있다.

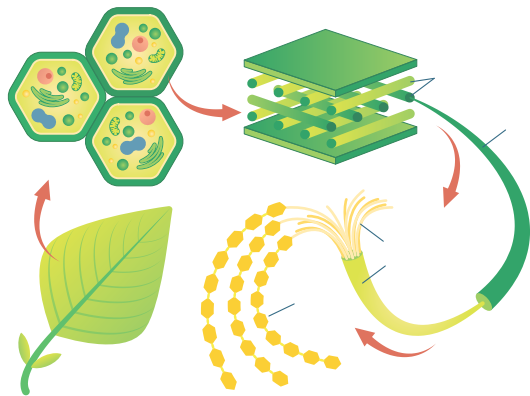


표 2 나노 셀룰로오스의 종류별 세계 시장 규모 및 전망(2018~2026)

(단위: 백만 달러)

종류	2018	2019	2020	2021	2026	CAGR(%) (2021~2026)
마이크로 섬유화 셀룰로오스(MFC), 나노 섬유화 셀룰로오스(NFC)	119.3	156.3	188.8	242.0	680.7	23.0
나노 결정질 셀룰로오스(NCC)	43.9	56.8	68.0	86.3	233.8	22.0
기타	9.8	12.5	14.8	18.6	48.5	21.1
계	173.0	225.7	271.6	346.9	963.0	22.7

출처 : Marketandmarket, Nanocellulose Market, 2022

나노 셀룰로오스 시장을 용도별로 분류하면, 펄프와 제지 산업이 가장 주요한 용도로 사용되며, 복합 재료, 바이오메디컬 및 의약품, 전자재료 및 센서로 구분할 수 있다. 특히 펄프와 제지 산업이 차지하는 비중은 2020년 기준 70.6 %로 매우 높은 편이며, 2021년 245.4 백만 달러에서 2026년 685.9백만 달러로 CAGR이 22.8 %로 예상된다. 나노 셀룰로오스는 냅킨 등에 흡수율을 높이는 데 도움을 주고

3) 시장동향

| 시장 규모 및 전망

나노 셀룰로오스의 세계 시장 규모는 2018년 173.0백만 달러, 2021년 346.9백만 달러에서 2026년 963.0백만 달러로 연평균성장률(CAGR) 22.7 %의 성장이 예상되는 시장이다. 높은 시장 성장률에 대한 기대는 지속 가능한 소재에 대한 사회적인 요구와 이에 따른 활용 산업의 다양화 때문이다. 고분자 수지의 강도를 증가시키기 위한 필러, 강화 필름, 전자 제품내 필름 등에 대한 사용 가능성을 보여 주었다. 최근에는 연료의 효율성을 증대시키기 위한 제품 경량화 소재와 생체 적합성을 이용한 약물 전달체 등에 대한 활용 가능성이 입증되면서 수요가 확대되고 있다.

세부적으로 볼 때 섬유화 셀룰로오스 중 MFC는 화학적 처리 없이 기계적 공정을 통해 생산되며, 주로 재료의 강도를 향상시키기 위한 첨가제로 사용된다. 또한 NFC는 생분해성이고, 산소 차단이 뛰어나 식품 포장 분야에 활용될 수 있다. 특히 생산 용이성과 활용성이 높아 나노 셀룰로오스 시장 중에서 MFC와 NFC는 급성장하는 시장이 될 것으로 예상된다.

섬유의 결합 강도를 향상시키는 특성이 있어 점진적으로 사용처가 넓어지고 있다. 두 번째로 큰 시장인 복합 재료 분야는 2021년 53.4백만 달러에서 2026년 155.7백만 달러로 연평균 23.9 %로 성장할 것으로 분석되었다. 고분자 매트릭스에 포함되어 코팅 필름, 발포 폼, 페인트, 포장재 등에 활용될 수 있어 경량 소재로 차량, 항공체 등의 연비 향상을 위해 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

표 3 나노 셀룰로오스의 용도별 세계 시장 규모 및 전망(2018~2026)

(단위: 백만 달러)

용도	2018	2019	2020	2021	2026	CAGR(%) (2021~2026)
펄프와 제지	121.7	159.1	191.8	245.4	685.9	22.8
복합 재료	25.9	34.1	41.4	53.4	155.7	23.9
바이오메디컬과 제약	10.7	13.8	16.5	20.9	54.9	21.3
전자와 센서	8.5	10.9	12.8	16.1	40.1	20.1
기타	6.5	7.8	9.0	11.2	26.3	18.6
계	173.0	225.7	271.6	346.9	963.0	22.7

출처 : Marketandmarket, Nanocellulose Market, 2022

나노 셀룰로오스의 지역별 시장으로 분류하면, 유럽이 가장 주요한 시장으로 2021년부터 연평균성장률 23.6 %로 가장 빠르게 성장할 것으로 예상된다. 이는 지속 가능한 소재에 대한 관심과 우수한 비즈니스 환경, 엄격한 규제를 가진 국가들이 많고, 또한 관련 주요 기

업이 유럽 지역에 위치하기 때문이다. 현재는 펄프와 제지 산업에 수요가 집중되어 있지만, 바이오메디컬과 제약, 전자 소재 등으로 응용 분야가 확대될 것으로 예상된다.

표 4 나노 셀룰로오스의 지역별 시장 규모와 전망(2018~2026)

(단위: 백만 달러)

용도	2018	2019	2020	2021	2026	CAGR(%) (2021~2026)
북미	75.6	98.6	118.6	151.6	419.5	22.6
유럽	80.9	106.4	129.0	166.2	479.7	23.6
아시아태평양(APAC)	92	11.7	13.7	17.0	39.9	18.6
기타	7.2	8.9	10.2	12.1	24.0	14.6
계	173.0	225.7	271.6	346.9	963.0	22.7

출처 : Marketandmarket, Nanocellulose Market, 2022

| 경쟁 현황

나노 셀룰로오스 시장은 상용화 초기 단계의 역동적인 시장이지만, 제품이 상용화 단계에 이르기까지 초기 단계에 원천기술과 투자가 필요해 신규 업체의 시장 진입이 어렵기 때문에 시장 경쟁이 높지 않은 시장이다. 시장을 주도하는 대표 기업으로는 독일의 파이버린테크놀로지(FiberLean Technologies), 일본의 닛폰페이퍼그룹(Nippon Paper Group), 스웨덴의 스웨덴연구소연합회(Research

Institutes of Sweden Innventia, RISE), 노르웨이의 보레가드(Borregaard), 미국의 아메리칸프로세스(American Process), 핀란드의 스토라엔소(Stora Enso), 캐나다의 셀루포스(Celluforce) 등이 있다. 특히 셀루포스, 아메리칸프로세스, 스토라엔소와 같은 나노 셀룰로오스 시장의 기존 참여자들은 주요 R&D를 협업에 의존하고 있어 경쟁의 강도가 상대적으로 낮은 것으로 확인되며, 타 제조업체 또한 시장에서 자신의 위치를 유지하기 위해 확장하거나 파트너십을 맺는 등 다양한 전략을 펼치고 있다.

표 5 나노 셀룰로오스 관련 주요 기업 현황

기업	제품 종류	개발 전략 / 파트너십	인수 합병/신제품 현황
파이버린테크놀로지	MFC	-	2021년3월 베르한그룹(Werhahn KG)이 인수 합병
보레가드	MFC	유럽 기업 및 연구 기관들이 28백만 달러 지원	페인트, 코팅용 셀룰로오스 판매
닛본페이퍼그룹	NFC	2021년9월 코카콜라와 지속 가능 사회 협력	2021년6월 음료 포장 회사인 엘로팩(Elopak ASA)의 주식 취득
셀루포스	NCC	2022년9월 나노 셀룰로오스 기반 화장품 계약	-

출처 : Marketandmarket, Nanocellulose Market, 2022, KISTI 재구성

파이버린테크놀로지는 프랑스의 아이머리(Imerys S.A)와 스위스의 오미아(Omya AG)의 조인트 벤처로서 2016년에 설립된 MFC의 리더 기업이며, 종이, 포장, 엔지니어링 솔루션 등 다양한 산업에 제품을 공급하고 있다. 미국, 인도, 영국 및 프랑스에 4개 이상의 국가에서 제조 공장을 보유하고 있으며, 최근에는 건축 자재, 소비재, 금융 서비스 등을 영위하는 베르한그룹에 인수 합병되었다

보레가드는 친환경 바이오 케미컬, 소재 등을 주요 분야로 다루고 있으며, 바이오 소재 분야에서 나노 셀룰로오스를 포함한 비즈니스를 운영하고 있다. 대표 브랜드로 엑실바(Exilva)를 출시하였으며, 페인트, 코팅용 나노 셀룰로오스를 출시하는 등 사업을 확장하고 있다.

닛본페이퍼그룹은 아시아태평양지역에서 나노 셀룰로오스의 선도적인 제조업체 중 하나로 종이, 생활용품, 목재 제품, 건축, 에너지 등의 사업을 운영하고 있으며, 화장품, 펄프, 종이 타이어 등에 사용되는 나노 셀룰로오스 제품을 제공하고 있다. 연간 560 톤의 생산 규모로 북미, 남미, 유럽, 아시아 등 전세계에 걸친 시장을 확보하고 있다.

국내에서는 제지 회사를 중심으로 나노 셀룰로오스를 연구개발하고 있으며, 제지 회사인 무림피앤피에서는 셀룰로오스 나노파이버를 개발해 보습용 화장품, 배리어 필름, 식품과 의약품 포장재 등으로 활용하기 위한 계획이 진행되고 있고, 최근에는 건축 자재 회사인 케이씨씨와 MOU를 체결해 친환경 페인트 개발에 나서는 등 사업 다각화에 나서고 있다. 한솔제지도 2018년 나노 셀룰로오스 소재 브랜드인 듀라클을 출시하고 아모레퍼시픽 등과 친환경 화장품, 노루페인트와 친환경 페인트에 활용되는 나노 셀룰로오스 원재료를 공동으로 개발하고 있다.

4) 애널리스트 인사이트

자연에 가장 풍부한 천연 고분자인 셀룰로오스를 나노 크기로 만

든 나노 셀룰로오스는 주변에서 구하기 쉽고, 우수한 기계적 성질, 단위 중량당 높은 강도, 탄성 및 생분해 특성을 가진 환경 친화적인 신소재로서 주목받고 있다. 또한 미래에 자원 부족과 환경 오염이 심각해지는 상황에서 화장품, 건축 자재, 전자 소재, 포장 재료, 포장용 배리어 필름 등에 사용되는 핵심 소재로서 적용 분야가 넓어 파급력이 높을 것으로 예상되는 원천 소재이다.

나노 셀룰로오스는 기계적인 처리를 통해서 얻어지거나 황산 등 강산을 사용한 가수분해로 생산하는 것이 일반적이며, 최근 기술의 향상으로 생산 비용이 급격하게 하락하고 있다. 이에 상용화가 활발해질 것으로 전망되나, 여전히 강산을 사용하거나 균질도가 떨어져 생산 효율이 높지 않고, 나노 셀룰로오스 표면의 작용기 조절이 어려워 최종 제품의 가공성이 떨어지는 문제를 안고 있다. 2030년까지 30조 원 규모의 시장이 전망되는 나노 셀룰로오스의 제품 상용화를 위해 일본, 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 연구개발이 진행되고 있으며, 다양한 제도적 지원 및 재정적인 지원을 하고 있다. 우리나라도 산림과학원을 중심으로 학술적인 연구가 진행되다 최근에는 제지업체들이 관심을 보이면서 다양한 응용 분야의 기업들과 MOU를 체결해 상용화를 연구하는 등 관련 산업의 발전이 기대되고 있다.

나노 셀룰로오스 관련 주요 시장은 상용화 초기 시장으로 경쟁 강도가 높지는 않으나, 주요 시장 참여자들끼리 다양한 협력을 하고 있어 역동적인 시장으로 분석된다. 아시아태평양지역의 나노 셀룰로오스 시장은 상당한 성장세를 보일 것으로 예상되며, 높은 경제성장률과 환경 규제 등이 관련 시장의 성장을 가져올 것으로 기대된다. 따라서 급성장하는 시장에 진입할 수 있는 경쟁력 있는 제품의 개발과 생산이 중요할 것으로 보이고, 친환경 제품과 동시에 경량 저비용 소재에 대한 수요가 높으므로 적극적인 연구개발을 통한 저비용 양산 기술과 특성 최적화 등 원천 기술의 확보가 시장 진입자에게 필요할 것이다.

그림 1 나노 셀룰로오스 시장의 신사업 기회 분석



나노 셀룰로오스 기술의 시장 특성을 기반으로 신규 시장에 진출하려는 기업이 고려해야 할 사업화 전략은 다음과 같다.

① 시장 진출 전략 수립

나노 셀룰로오스는 상용화 초기 단계로서 기술 보안을 위해 추가적인 연구개발이 필요하다고 볼 수 있어 본격적인 시장 확대에는 다소 시간이 소요될 수 있다. 따라서 표면 개질 및 균일한 품질의 대량 생산 기술을 확보함으로써 가격 경쟁력 및 강도, 탄성, 내구성, 제품 생산 용이성 등의 적합한 특성을 확보한 고부가가치 사업으로 진출하는 전략의 수립이 필요하다.

② 최종 수요자의 니즈에 기반한 기술 차별화 전략

나노 셀룰로오스의 최종 수요자는 매우 다양해 요구하는 특성이 모두 다르다. 예를 들어 차량용 제품 수요처는 목표에 부합하는 정도의 강도와 경량성, 바이오메디컬 수요처는 생체 적합성이 필요하므로 나

노 셀룰로오스를 적합하게 설계할 수 있는 기술을 보유할 필요가 있다.

③ 적극적인 공동 R&D 투자

대량 생산을 위한 연구는 여전히 진행중이며, 고가의 기계와 장비가 필요하다. 높은 초기 투자가 필요할 것이 예상되므로 기술을 보유한 일부 기업과 연구소 등 광범위한 협력을 통해 원천 생산 기술, 파일럿 장비, 데모 플랜트 등을 구축하는 공동 R&D를 진행할 필요가 있다.

④ 환경 규제 대응

나노 셀룰로오스는 천연 고분자인 셀룰로오스로부터 생산해 환경 친화적인 물질로서 알려져 있지만, 나노 물질 대부분에 대한 환경 규제는 이루어지고 있으며 나노 셀룰로오스 또한 인체와 환경에 대한 영향을 지속해서 연구하고 시장에 진입할 때 정부의 환경 규제에 대응해 사업화할 필요가 있다. [Asti](#)