

지속가능한 비목질계 재생 셀룰로오스 섬유 소재 개발 동향

저자 | 윤석한 섬유 PD KEIT
권미경 전임 DGIST
이세근 책임 DGIST
김현진 책임 KEIT

- 요약**
- 환경위기 심화에 따라 섬유업계에서도 지속가능한 생분해 소재로의 전환이 요구되고 있다. 그러나 너무나 완벽했던 석유계 난분해성 섬유 소재를 대체할 생분해성 섬유 소재를 발굴하는 일은 쉽지 않다. 난분해성 섬유와 같이 연속방사 공정을 통해 제조되는 재생 셀룰로오스 섬유는 현재 개발된 생분해성 섬유 중에서 그나마 비슷한 강도를 기대할 수 있다.
 - 재생 셀룰로오스 섬유는 셀룰로오스 고유 특성으로 인해 가공 난이도가 높아 오랜 개발 역사에도 불구하고 상용화에 성공한 소재는 한정적이다. 그 결과 세계 재생 셀룰로오스 섬유산업은 여전히 초기 시장 선점에 성공한 기술 우위 국가들에 의해 좌우되고 있다. 재생 셀룰로오스 섬유에 대한 국내 섬유업계의 수입 의존도는 굉장히 높고, 美·中 패권 경쟁과 EU의 목재 사용 감축 계획에 따른 공급망 위기는 이미 예견되고 있었다.
 - 이러한 와중에 '비목질계'라는 키워드가 새롭게 등장했다. 이는 재생 셀룰로오스 섬유의 주원료인 목재를 지속가능한 비목질계 자원으로 대체하자는 것이다. Canopy와 같은 비영리단체가 이끌어 오던 새로운 흐름은 이제는 오스트리아의 친환경 섬유 기업 Lenzing, 인도의 대표적 섬유·의류업체 Aditya Birla 등 글로벌 업체들이 뛰어들 만큼 개발 수요가 높아졌다. 비목질계 재생 셀룰로오스 섬유 시장이 새롭게 오픈되었지만, 다행히 아직까진 시장 선점에 성공한 업체는 없다.
 - 본고에서는 비목질계 재생 셀룰로오스 섬유 개발 동향을 분석하고 비목질계 원소재, 펄프화 공정 및 방사 공정에 대한 지속가능성에 대해 고찰하였다. 본고를 통해 비목질계 재생 셀룰로오스 섬유 소재 개발에 대한 국내 투자가 활성화되길 기대한다.

1 개괄

수입 의존도가 높은 재생 셀룰로오스 섬유

- 재생 셀룰로오스 섬유는 정제된 셀룰로오스 용해 펄프로부터 섬유소를 재생시켜 만든 섬유로, 천연섬유가 아닌 준합성 고분자 섬유로 간주되어 셀룰로오스계 인조섬유(Man-made Cellulosic Fiber, MMCF)로 불린다. 재생 셀룰로오스 섬유는 방사 공법에 따라 구분되며, 비스코스 레이온(Viscose rayon), 모달(Modal), 큐프라(Cupra), 라이오셀(Lyocell) 등이 있다.
- 스테이플(Staple) 형태로 얻어지는 천연 셀룰로오스 섬유는 방적 공정을 통해 絲를 형성하는 반면, 재생 셀룰로오스 섬유는 용액 방사를 통해 필라멘트(Filament) 형태로 제조된다. 생분해성을 지니면서 바이오매스로부터 제조되는 재생 셀룰로오스 섬유는 PET 등 기존의 非분해성 석유계 필라멘트 섬유의 대체 소재로 개발되고 있다.
- 세계 재생 셀룰로오스 섬유 시장의 규모는 2022년 기준 195억 3000만 달러였으며, 연평균 7.8%씩 성장하여 2028년에는 306억 달러 규모에 이를 것으로 예상된다[1].

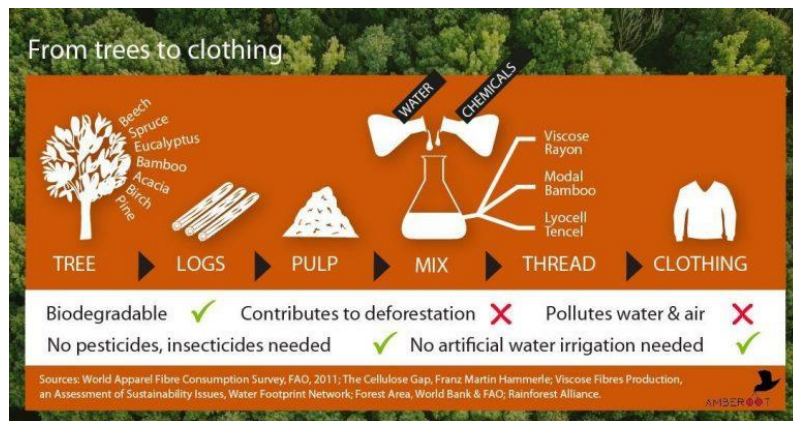


그림 1.

나무로부터 재생 셀룰로오스 의류가 만들어지는 과정[2]

- 먼저, **비스코스레이온**은 폴리에스터와 면에 이어 세계에서 세 번째로 많이 사용되는 섬유이다. 실크 같은 촉감 때문에 인견(人絹)이라 불리며 드레이프성(drape性), 흡습성, 통기성, 염색성 등의 장점을 지니고 있다. 그러나 비스코스레이온은 1993년 원진레이온의 이황화탄소 중독 사태 이후 국내에서의 생산이 완전히 중단되었다. 현재는 세계 비스코스레이온 생산량의 65%가 중국에서 생산되고 있으며[3], **국내**는 **전량 수입**에 의존하고 있다.
- **라이오셀**은 단면이 원형에 가까워 비스코스레이온에 비해 식물 감촉과 드레이프성이 우수하다. 또 결정의 크기가 크고 결정화도 및 배향도가 높아 건조 강도(dry tenacity)가 비스코스레이온과

모달보다 높고 습윤 조건에서도 건조 강도의 85%까지 유지된다고 알려져 있다[4]. 무엇보다도 라이오셀은 용제로 사용하는 NMMO(N-methylmorpholine-N-oxide)가 자체 독성이 매우 적고 99% 이상 회수/재사용되기 때문에 친환경 섬유로 평가된다. 오스트리아 Lenzing(1997년)에서 대량 생산을 시작한 이후 중국의 Greccell(2016년), Hi-Tech Fiber Group(2014년) 등이 시장에 뛰어들었다. 국내에서도 효성첨단소재와 코오롱인더스트리에서 타이어코드용 라이오셀 필라멘트 제조 기술을 보유하고 있으나, 아직까지는 연간 30만 톤의 생산 능력을 보유한 **Lenzing이 전 세계 시장의 75% 이상을 점유하고 있다**[5].

- 구리암모늄 공법은 1901년 독일 J. P. Bemberg가 구리암모늄 용액에서의 연신(延伸) 방식을 통해 미세 필라멘트 생산에 성공한 이후 1950년대까지 유행했다. 그러나 고속 방사 및 용해제 회수 등의 어려움으로 인해 현재는 일본 **Asahi Kasei(旭化成)만이 유일하게 큐프라(cupra) 생산하고 있다**. 또한 1974년 Asahi Kasei는 습식 스펠본드(Spunbond) 공정을 통해 큐프라 소재의 스펠본드 부직포 Bemliese™를 개발하여 상품화했으며, 재생 셀룰로오스 섬유 소재로 된 스펠본드 부직포는 현재까지 Bemliese뿐이다[6].

세계 경제 및 국제 정세 변화에 따른 수입 원자재 공급망 불안정

- **(세계 경제 변화)** 2011년, 중국 내수 경기가 급격히 활성화되면서 면, 양모, 화섬 원료할 것 없이 섬유류 원부자재 가격이 천정부지로 치솟았다. 당시 다른 부문의 원자재에서도 수입 가격 상승이 나타났으나 섬유 원료의 상승률(7.18%)이 가장 높았다. 당시 레이온 絲의 경우에는 폭등한 가격에도 원료를 구하지 못해 오퍼를 중단하는 상황까지 벌어졌으며, 국내 섬유산업은 심각한 타격을 피할 수 없었다[7~9].
- **(국제 정세 변화)** 2022년 6월, 중국 신장산(産) 원자재가 포함된 상품 등을 수입 금지하는 미국 법률 「위구르족 강제노동 금지법」이 발효됐다. 신장은 비스코스레이온 섬유의 중국 최대 생산지로, 국내 의류업계는 신장산 비스코스레이온을 대체할 새로운 공급망을 찾아내야 하는 상황이다[10~11].



그림 2.

세계 경제(左) 및 국제 정세(右) 변화에 따른 수입 원자재 공급망 불안정 관련 기사[7~9, 12]

산림 바이오매스 사용의 단계적 감축 - EU의 「제3차 신재생 에너지 지침」 개정안(RED III)

- 유럽연합(EU)은 2022년 9월 14일에 통과된 「제3차 신재생 에너지 지침(Renewable Energy Directive, RED III)」 개정안에서 목재를 태워 에너지를 생산하는 **산림 바이오매스의 사용을 단계적으로 감축**하기로 결정했다[13, 14].
 - EU의 재생에너지 보조금 대상에서 1차 목질계 바이오매스 제외
 - 2017~2022년 평균 이용량에 상한을 두고 단계적으로 감축
 - 고부가 가치 장수명 상품으로 사용될 수 없는 목재만 바이오매스로 활용 가능

* 1차 목질계 바이오매스(Primary woody biomass): 숲에서 벌채된 원목, 자연적으로 발생한 나뭇가지 등을 의미
- 650명 이상의 세계 과학자들이 참여한 '컷카본낫포레스츠(Cut Carbon Not Forests) 캠페인'은 2022년 12월 7일 캐나다 몬트리올에서 열린 제15차 유엔 생물다양성협약 당사국 총회에서 총 7개국 정상들에게 산림 바이오매스의 사용 중단을 촉구하는 성명을 발표했다. 그들은 **"많은 국가가 산림 바이오매스가 '탄소중립적'이라는 잘못된 생각 때문에 Net-zero 목표를 달성하고자 산림 바이오매스에 의존하고 있으며, 이는 숲을 가장 필요로 하는 지금에 오히려 숲을 파괴하는 것"이라** 지적했다[15, 16].



그림 3.

EU의 「신재생 에너지 지침(RED)」 로드맵(左) 및 산림 바이오매스 사용 제한 관련 기사[14, 15(右)]

비목질계 재생 셀룰로오스 섬유를 추구하는 새로운 흐름

- Canopy는 캐나다의 산림 보호 비영리 환경단체로, 재생 셀룰로오스 섬유 생산 중에 이루어지는 무분별한 산림 훼손에 대해 알리고 산림 보호의 관점에서 셀룰로오스 섬유 제조사들을 분석/평가한 핫버튼 순위(Hot Button Ranking)를 공개했다. 이를 통해 재생 셀룰로오스 섬유업계 전반에서 차세대 원료(Next Generation Solutions)로의 소재 전환을 주도하고 있다.

- Canopy의 보고서에 따르면 1톤의 레이온 섬유를 만드는 데 평균적으로 2.5~3톤의 나무가 사용되고, 매년 약 1억 5천만 그루의 나무가 비스코스 제품 생산을 위해 벌목되고 있다. 2019년 세계 비스코스 식물 생산량은 650만 톤으로, 이 중 절반(330만 톤)은 탄소 저장소 역할을 하는 인도네시아의 이탄습지(泥炭濕地), 캐나다의 오래된 아한대(亞寒帶) 숲 등 멸종 위기의 산림으로부터 생산되고 있다[17].
- Canopy는 “Nature Needs Half”라는 캐치프레이즈를 가지고 **2030년까지 비스코스 식물 생산량의 50%(330만 톤)을 차세대 원료로부터 생산**하는 목표를 설정하였으며, 이를 위해 다음과 같은 세부 계획을 발표했다[18].
 - (차세대 원료 도입) **2021년 말까지**, 비스코스 식물의 20%에서 차세대 원료를 사용
 - (차세대 섬유 생산량 증가) **2025년 말까지**, 멸종 위기의 원시림에서 생산되는 비스코스 생산량의 90%를 대체할 수 있는 차세대 섬유(차세대 원료로부터 생산된 섬유)를 생산
 - (비스코스 원료에서 원시림 배제) **2030년까지** 세계 비스코스 생산량의 50%를 차세대 공급 원료로부터 생산
- Canopy에서 제시하고 있는 차세대 원료는 3가지로 ① **농업 부산물(Agricultural residues)** 및 **섬유 형태의 작물**[밀짚, 사탕수수 바게스(bagasse) 등], ② **폐면, 레이온 스크랩 및 헌 옷**, ③ **음식물 쓰레기에서 배양한 미생물 셀룰로오스 섬유**가 포함된다[17].
- CanopyStyle Initiative에는 현재 500개 이상의 브랜드 파트너가 참여하고 있으며, 이들의 연간 매출액은 미화 9,000억 달러 이상이다. 이들은 Canopy의 안내에 따라 브랜드 제품에서 목재 기반 비스코스 섬유를 제거했거나 점차적으로 제거할 계획을 수립 중이다[19].



그림 4.

Canopy의 차세대 원료 로고, 핫버튼 순위에서 사용되는 기호, CanopyStyle에 합류한 브랜드들(左) 그리고 원시림에서 생산되고 있는 비스코스 섬유 330만 톤에 대한 Canopy의 감축 계획(右)[17, 19, 20]

지속가능한 재생 셀룰로오스 섬유의 생산

- **(리그노셀룰로오스)** 식물 유래 바이오매스는 알파셀룰로오스(α -Cellulose), 헤미셀룰로오스(Hemicellulose)와 같은 Carbohydrate계 고분자와 리그닌(Lignin)과 같은 페놀계 고분자로 구성되어 흔히 리그노셀룰로오스(Lignocellulose)라 불린다. 직선형의 사슬 구조를 지니는 알파셀룰로오스는 높은 결정성 구조를 지니는 반면, 사슬 가지가 많은 헤미셀룰로오스는 결정화되지 않아 물에는 추출되지 않으나 약알칼리에 용해시킬 수 있다[21]. 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스가 식물을 구성하는 철근, 철사와 같은 지지대 역할을 한다면, 리그닌은 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 결합시키는 접착제로 리그노셀룰로오스에 내구성을 부여한다.
- **(펄프화 공정)** 펄프화는 식물 유래 바이오매스로부터 리그닌과 기타 추출물 등을 제거하여 양질의 셀룰로오스를 추출하는 과정으로, 증해(蒸解), 표백, 세척 등의 공정으로 이루어져 있다. 셀룰로오스를 가장 많이 사용하는 산업은 제지산업으로, 펄프 공장의 전체 목재 사용량 중 96%는 제지용 펄프 제조에 사용된다. 그리고 약 4% 정도만 용해용 펄프(재생 셀룰로오스 섬유용), 플러프 펄프(Fluff pulp; 위생제품용) 등 특수 펄프 제조에 사용된다. 제지용 펄프는 헤미셀룰로오스 잔존 시 오히려 종이 품질이 우수하고 펄프 수율이 높아지므로 알파셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 최대한 분해하지 않고 리그닌만 선택적으로 용출하는 반면, 용해용 펄프의 경우에는 헤미셀룰로오스가 최대한 제거된 고순도의 알파셀룰로오스가 요구된다.
- **(비목질계 식물 유래 셀룰로오스)** 벚짚, 왕겨, 사탕수수 바게스, 옥수수대, 담배 줄기, 대마 줄기, 케나프(Kenaf) 줄기 등과 같은 1년생 초본류(草本類) 식생 자원은 목재에 비해 리그닌 함량이 낮아 상대적으로 적은 양의 화학물질 및 에너지를 사용하여 셀룰로오스 추출이 가능하다. 그러나 자원별 성분 조성이 다르므로 이를 감안한 공정 조건 및 장치 설계가 필요하다.



그림 5.

비목질계 초본류 식생 자원(左) 및 식물 유래 바이오매스의 구성 성분(右)[22]

표 1. 비목질계 초본류 식생 자원 7종의 성분 조성

구분	벼짚[23]	왕겨[24]	면 린터 [25]	대나무 [26]	담배 줄기[27]	헴프(hemp) 줄기[28]		케나프 줄기[29]	
						Bast	Core	Bast	Core
a-cellulose	36	32.5	88.4	44.5	35.8	55	44	55	49
Hemicellulose	24	37.9	3.8	19.2	30.5	16	18	21.4	26.2
Lignin	15.6	10.7	6.2	31.2	17.2	4	28	12.7	18.2
Ash	18	18.2	1.6	1.6	8.6	4	2	5.4	1.9
Extractives	6.4	0.8	-	3.5	7.9	21	8	5.5	4.7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* 면 린터와 대나무 데이터의 경우, 참고문헌의 데이터를 건조함량으로 재가공

- **(지속가능한 원료)** 그림 6은 자원 재생에 걸리는 시간을 자원의 종류(초본류, 조림림, 원시림, 석유계)에 따라 비가역적인 기후 변화점과 비교하여 나타낸 것이다. 비가역적 기후 변화보다 자원 재생 속도가 빠른 초본류 식생 자원을 사용할 때 지속가능성이 높아진다.

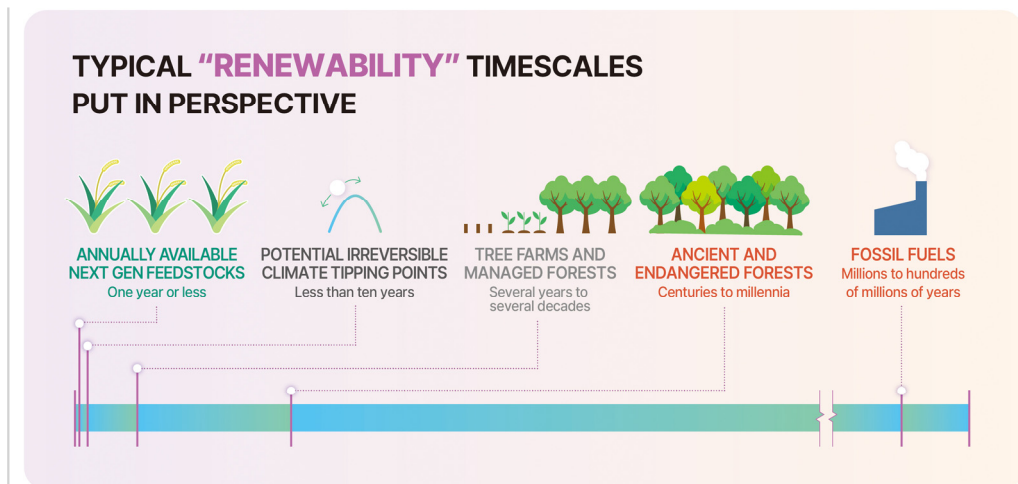


그림 6.

되돌릴 수 없는 기후 변화점과 자원 종류(초본류, 조림림, 원시림 및 석유계)에 따른 재생 시간 척도[30]

- **(비목질계 식물의 펄프화 공정)** 목재 원료의 탈리그닌화 기술은 40가지 정도 개발되어 있으나, 크라프트 공법, 소다 공법 등 몇 가지 알칼리 펄프화 공법만 상업적으로 사용되고 있다. 비목질계 식물의 펄프화 기술은 목재 펄프화와 구분되어 개발되고 있지 않으며, 주로 목재 펄프화 공법을 비목질계 식물의 특성에 맞게 변형하여 적용하는 방식으로 이루어지고 있다. 표 2는 비목질계 식물에 적용 가능한 펄프화 기술을 4가지 공법으로 분류하여 나타낸 것이다[31].
- 펄프화 공정의 지속가능성은 펄프화에 사용된 화학약품의 회수/재사용 가능 여부(폐쇄 루프 공정)와 물/에너지 소비량 감소를 통해 평가될 수 있다.

표 2. 비목질계 식물에 적용 가능한 펄프화 기술[31]

[구분 1] 알칼리 펄프화 공법

- 소다(Soda) 공법: 수산화나트륨(Sodium hydroxide) 수용액에 리그닌을 용해시켜 펄프화함.
- 소다-AQ 공법 또는 소다-산소 공법: 안트라퀴논(Anthraquinone, AQ) 또는 산소를 추가로 투입해 탈리그닌화 효율을 높인 변형된 소다 공법. 단, AQ 촉매는 회수 불가능함.
- 크라프트(Kraft) 공법: 수산화나트륨 외에 황화나트륨(Sodium Sulfide)을 함께 펄프화 약액으로 사용하는 공법으로, 목재의 경우 고강도 펄프를 얻을 수 있어서 세계 목재 펄프 사용량의 75%가 이 공법으로 생산되고 있음.
- 그러나 크라프트 공법은 황을 포함한 악취 가스가 발생하기 때문에 고가의 화학적 회수 설비가 필요함. 그러므로 생산 규모가 충분히 크지 않으면 경제성이 떨어짐. 상대적으로 소다 공법의 화학적 회수 장치는 비교적 간단히 구성할 수 있음.

[구분 2] 아황산염(Sulfite) 펄프화 공법

- 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등 알칼리 존재 하에서 이산화황(Sulfur dioxide) 수용액을 투입함. 그 결과, 설포네이트(Sulfonates)가 생성되고 원료가 여기에 수화(Hydration)되어 섬유질이 팽창하면서 알칼리에 의한 리그닌 제거가 더 효과적으로 일어남.
- 다만 강하게 이온화된 술폰산은 리그닌의 페놀 부분 사이의 축합 반응을 일으켜 일부 불용성 중합체를 생성하거나 알파셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 비결정 영역을 분해하는 부반응을 일으킴.
- 아황산염 공법은 크라프트 공법과 달리 악취가 발생하지 않고 탈리그닌화 효율이 높지만, 섬유의 품질이 낮고 에너지 소비가 높으며 화학약품의 회수율이 낮음.
- 부드럽고 흡수성이 있으면서 강도가 좋아야 하는 위생용품, 티슈용 펄프 생산에 사용됨.

[구분 3] 오가노솔브(Organosolv) 펄프화 공법

- [구분 1]과 [구분 2]의 펄프화 공법에서 물 대신 알코올, 유기산 등의 유기용매를 사용함.
- 종류로 쉽게 회수할 수 있는 저비점 용매(메탄올, 에탄올, 아세톤 등)를 사용하거나 낮은 압력에서 사용 가능한 고비점 용매(에틸렌글리콜, 에탄올아민 등)를 사용하기 때문에 기존 공법에 비해 펄프화 비용이 감소.
 - 저비점 용매 - 증해 시 높은 압력과 온도가 요구되나 화학물질 회수 비용이 적게 들.
 - 고비점 용매 - 증해 시 대기압 정도의 낮은 압력과 온도가 요구되어 에너지 사용량 감소.
- 고순도로 쉽게 회수 가능한 유기 시약을 사용하기 때문에 부산물에서 헤미셀룰로오스, 리그닌 등을 추출하여 활용할 수 있음.

[구분 4] 화학-기계적 펄프화 공법 및 그 외 공법

- 화학-기계적 펄프화 공법(Chemical-mechanical pulping, CMP): 화학적 전처리 후 기계적으로 펄프화(상압 분쇄) 함. 에너지 사용량이 적고 화학적 회수 시스템이 필요하지 않음.
- 화학-열기계적 펄프화 공법(Chemical-thermomechanical pulping, CTMP): 화학적 전처리 후 압력을 가하여 기계적 분쇄. CMP 공법에 비해 전처리 시 화학약품을 적게 사용할 수 있음.
- 그 외 화학-기계적 펄프화 공법: 증기폭발 펄프화 공법, 압출 펄프화 공법 등
- 바이오 펄프화 공법: 리그노셀룰로오스를 분해하는 백색부후균을 통해 선택적 탈리그닌화

- 원재료로부터 재생 셀룰로오스 섬유를 생산하는 과정은 원재료로부터 셀룰로오스를 추출하는 펄프화 공정과 추출된 셀룰로오스로부터 재생 셀룰로오스 섬유를 제조하는 방사 공정으로 구성된다. 그러므로 재생 셀룰로오스 섬유의 지속가능성은 ① 원재료의 지속가능성과 함께, ② 펄프화 공정의 지속가능성, ③ 방사 공정의 지속가능성을 통해 평가된다.

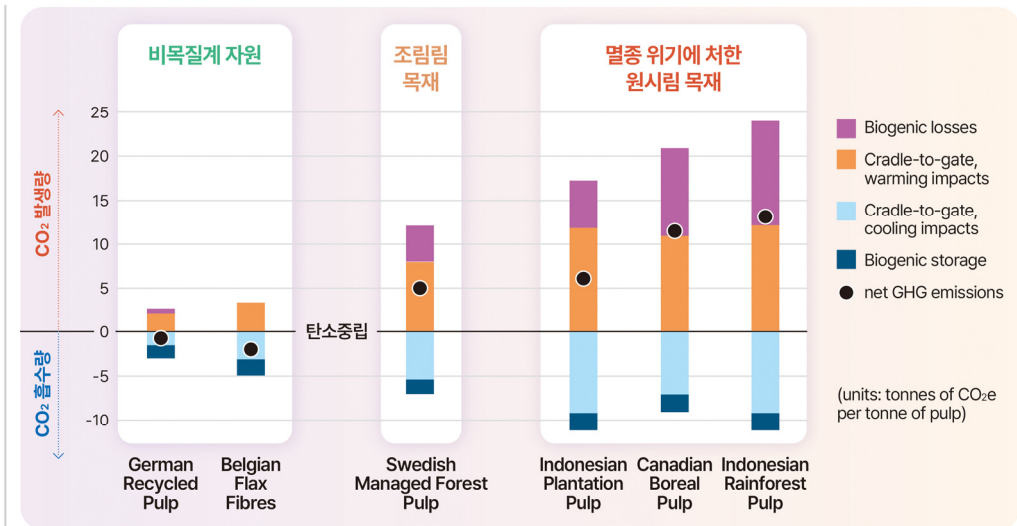


그림 7.

사용 원료와 생산 공정이 다른 재생 셀룰로오스 섬유의 탄소 중립성 비교[30]

2 주요 기술 개발 동향

[기존의 비목질계 원료] ① 면 린터: Asahi-Kasei의 큐프라(Cupra) 섬유, Bemberg

- 면 린터는 일반 목재 펄프보다 중합도가 높기 때문에 방사 용액 제조 시 점도가 높다. 이러한 특성은 큐프라 섬유 생산에 유리하게 적용된다.
- 큐프라 공법은 구리 암모늄(Cuprammonium) 용액을 방사 용액으로 사용하여 다른 재생 셀룰로오스 섬유와 달리 응고(coagulation) 단계와 재생(regeneration) 단계를 분리할 수 있다.
- 방사 구멍에서 토출된 방사 용액은 고온수에서 약 100배 연신되어 미세 필라멘트를 형성한다. 응고는 방사 용액의 암모니아가 물로 확산되면서 이루어지는데, 면 린터 방사 용액의 높은 점도로 인해 암모니아가 점진적으로 제거되어 충분한 연신이 가능하고, 그 결과로 고배향의 다공성 필라멘트 섬유가 얻어진다. Gel과 같이 응고된 섬유는 묽은 황산으로 잔류 구리와 암모니아를 완전히 제거하고 물로 세척하면 재생 완료된다.

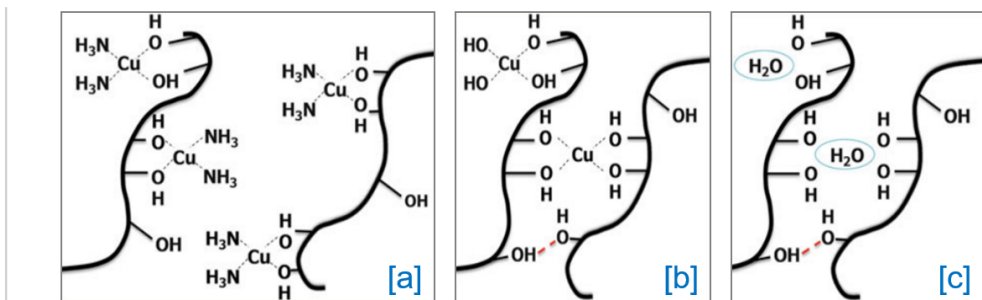


그림 8.

응고 단계([a]→[b]: De-Ammonia)와 재생 단계([b]→[c]: De-Copper)[6]

- 이러한 특성으로 인해 큐프라는 재생 셀룰로오스 섬유 중 유일하게 스펀본드 부직포 제조가 가능하다. 방사 용액을 초저압 water jet으로 방사하고 컨베이어 네트(conveyer net)를 진동하여 필라멘트들이 곡선으로 라미네이트(laminate) 되도록 한다. 이때 라미네이트된 필라멘트에서는 응고와 함께 자기 결합(self-bonding)에 의한 스펀본딩이 일어난다. 이후 재생 공정을 거치면 스펀본드 부직포가 얻어진다. 2014년 Asahi-Kasei는 이를 Bemliese™라는 상품명으로 출시하였으며, 현재까지 전 세계에 독점 공급 중이다.
- 강한 수압의 water jet으로 미세 필라멘트 간의 엉킴을 유도하는 스펀레이스(Spunlace) 공법과 달리, 큐프라 스펀본드 부직포에서 water jet은 단순히 균일한 다공 구조를 설계하는 목적으로 사용된다. 그러므로 시트 성형 시 균일성을 위한 표면 계면활성제를 따로 첨가하지 않기 때문에 큐프라 스펀본드 부직포는 산업용 와이퍼 용도로 사용 가능하다.

- 쿠프라 스펠본드 부직포는 절단면에서도 필라멘트 간의 분리가 적어 보풀이 적게 발생한다. 또한 쿠프라 스펠본드 부직포는 다공 구조와 함께 연신 공정에 의해 비정질 영역의 수소결합이 끊어진 상태로 필라멘트가 배열된 Cellulose II 구조를 가지기 때문에 자체 무게 대비 10배 이상의 높은 수분 보유력을 지니고 메디컬용 부직포, 마스크팩 등의 용도로 사용된다.

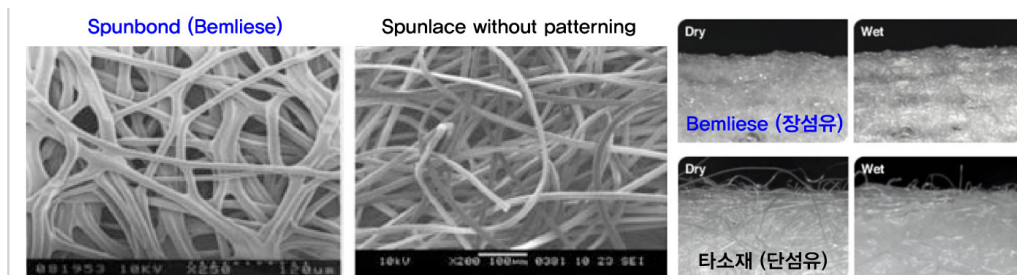


그림 9.

가공 방법이 다른 두 부직포의 SEM 사진(左) 및 보풀 발생 정도(右)의 비교[6, 32]

- 쿠프라 외에도 면 린터 펄프 기반 라이오셀(Lyocell) 섬유도 개발되었으며, 코오롱인더스트리에서 특허를 보유 중이다[33]. 면 린터를 사용한 라이오셀 섬유는 목재 펄프 기반 라이오셀 섬유에 비해 피브릴(fibril) 형성이 적은 장점을 가지지만, 면 린터의 가격이 목재 원료보다 비싸서 사업화되지 않은 것으로 보인다.
- **(원재료의 지속가능성)** 세계자연보호기금(World Wide Fund for Nature)을 통해 세계 농약과 살충제의 무려 35%가 목화밭에 뿌려지고 있다는 통계가 발표되었다. 그만큼 일반적인(Non-organic) 목화 재배는 심각한 환경오염을 야기하고 생물다양성의 보존을 위협한다[34]. 그러므로 지속가능성 측면에서 일반적인 면 린터의 사용은 부적합하다. 쿠프라 방사 공정을 고려했을 때 면 린터만큼 고중합도인 비목질계 셀룰로오스 원료의 발굴이 필요하다.
- **(펄프화 공정의 지속가능성)** 면 린터는 리그닌 함량이 매우 적고 알파셀룰로오스 함량이 매우 높아서 (표 1 참고) 펄프화 시 화학물질 및 에너지 소비량이 적고 펄프화 수율이 높다.
- **(방사 공정의 지속가능성)** 방사 공정 중에 유해한 쿠프라암모늄 용액을 사용하지만, 회수/재사용하는 폐쇄 루프 시스템이기 때문에 방사 공정의 환경 영향성은 적다고 볼 수 있다[35].

[기존의 비목질계 원료] ② 대나무: 대나무 비스코스(Bamboo Viscose) 섬유

- 대나무는 비료나 물을 주거나 다시 심을 필요가 없어 재배가 수월하며, 성장 속도가 빨라 헥타르당 연간 생산량이 최대 20~36톤이다. 이는 너도밤나무의 2~3배에 해당하는 양이다. 이러한 장점 때문에 면과 함께 비목질계 원료로 일찍부터 사용되었다.

- 대나무 비스코스는 2002년 중국 Jigao Chemical Fiber에서 처음 개발하였으며, 대나무 기반 섬유(천연 섬유, 대나무 비스코스, 대나무 라이오셀) 중에서 가장 큰 시장 점유율을 가지고 있다. 현재는 Aditya Birla, Jilin Chemical Fiber, TangShan Sanyou Chemical Fiber, Xinxiang Chemical Fiber 등에서 생산되고 있다[4,36].
- 참고문헌 상에 소개된 목재 기반 비스코스와 대나무 비스코스의 생산 공정 비교표(표 3)에서 목재의 경우 준비 단계에서 펄프화를 진행한다. 그러나 대나무는 기계적 분쇄만 하여 사용하고 있다. 대나무는 일반적으로 목재에 비해 리그닌 함량이 낮으며, 비목질계 식생 자원은 부위에 따라 성분 조성에 차이가 난다. 즉, 대나무 잎과 부드러운 대나무 속껍질을 탈리그닌화 없이 사용한다는 것은 그만큼 해당 부위의 리그닌 함량이 낮다는 의미다.

표 3. 목재 기반 비스코스 섬유와 대나무 비스코스 섬유의 생산 공정[4,37]

구분	목재 기반 비스코스레이온 생산 공정	대나무 비스코스레이온 생산 공정
준비 = 펄프화	증해: Calcium bisulphate 사용 표백: Sodium hypochlorite 사용 → 화학 펄프화를 통한 리그닌 제거, 셀룰로오스 90~94%의 펄프 수득	대나무 잎과 부드러운 속껍질을 기계적으로 분쇄
침지	펄프를 Sodium hydroxide 용액에 침지 → 알파셀룰로오스를 알칼리 셀룰로오스로 변환, 헤미셀룰로오스 용해	분쇄된 대나무 셀룰로오스를 Sodium hydroxide 용액에 침지 → 알파셀룰로오스를 알칼리 셀룰로오스로 변환
압착/분쇄	압착을 통해 알칼리 셀룰로오스에서 과량의 Sodium hydroxide 용액 제거 분쇄를 통해 알칼리 셀룰로오스의 표면적 증가	

- 2021년 Lenzing은 대나무 비스코스 및 대나무 라이오셀에 대한 연구 결과를 발표했고, 해당 자료에서는 표 3과 달리 전가수분해 크라프트(Prehydrolysis-Kraft) 또는 소다-AQ 공법으로 탈리그닌화를 진행했다.
- 특히 해당 자료는 대나무 비스코스의 천연 항균성에 대해 비판하고 있다. 대나무는 천연 제초제 및 살충제처럼 작용하는 생화학 물질을 생산하여 질병으로부터 자신을 능동적으로 보호하는 타감작용 식물(Allelopathic plant) 중 하나로, 많은 대나무 비스코스 생산업체들은 이러한 생화학 물질에 의한 항균성을 주장하고 있다. 그러나 대나무 원료 내 추출물(Extractives)은 펄프화 과정에서 대부분 용출되기 때문에 대나무 원료의 천연 항균성이 대나무 비스코스에서 그대로 발현될 수는 없다[36, 38].
- **(원재료의 지속가능성)** 대나무는 기후변화점 대비 자원 재생 시간이 짧은 초본류 식생 자원이며, 재배 과정에서 면과 같은 환경오염을 유발하지 않는다.
- **(펄프화 공정의 지속가능성)** Lenzing에서 진행한 소다-AQ 공법의 경우 AQ가 회수되지 않으므로 폐쇄 루프 공정에 해당하지 않는다. 황을 사용하는 크라프트 공법은 초고가의 화학적 회수 설비가 필수적인데, 현재 목재 펄프의 4%에 불과한 용해 펄프 사용량을 고려했을 때 크라프트 공법에 의한 펄프화는 현실적으로 적용 불가능하다.

- **(방사 공정의 지속가능성)** 이황화탄소(Carbon disulfide)를 사용하는 등 환경에 유해한 기존 비스코스 공법을 거의 동일하게 적용하고 있다.

[차세대 비목질계 원료] ① 폐면, 레이온 스크랩 및 헌 옷:

먼저 양산화에 성공한 폐직물 기반 재생 셀룰로오스 섬유

- **(폐직물 재활용 공정)** 폐직물 재활용 공정은 기계적 재활용과 화학적 재활용으로 구분된다^[39].
- 기계적 재활용 공정은 화학물질을 사용하지 않고 직물을 다시 섬유로 재활용하는 방법으로, 파쇄(Shredding) 및 카딩(Carding) 가공을 통해 직물에서 섬유를 추출하고 이를 방적하여 실을 제조한다. 그러나 기계적 재활용 공정으로는 혼합 직물을 분리할 수 없기 때문에 Pure Waste Textile, Mud Jeans 등은 재활용 원료를 자사 제품으로 제한하거나 제품의 판매부터 회수, 재활용까지 공급망에 포함함으로써 원료를 철저히 통제하여 사용하고 있다.
- 화학적 재활용 공정은 기본 섬유 한 종에 대한 화학반응을 바탕으로 기술 개발이 이루어지므로 적용 기술에 따라 원료로 사용 가능한 직물이 정해진다. 현재는 폐면 직물에 대한 재활용 기술과 폴리-면 혼방 직물에 대한 재활용 기술이 개발되어 있다. 현재 화학적 재활용 기술 중에서는 폐면 직물을 원료로 사용하는 기술만 양산화에 성공하였으며, 재활용 펄프와 vergin 펄프를 혼합 방사한 제품이 출시되어 있다.

표 4. 재활용 원료에 따른 생산업체 및 폐직물 재활용 특징^[40~47]

재활용 원료 및 업체		폐직물 재활용 특징
원료 통제	Pure Waste Textiles	<ul style="list-style-type: none"> • 기계적 재활용에 가장 적합한 면 100% 티셔츠 제품을 판매 • 자사 제품만 회수하여 재활용 원료로 사용 • 산업 후 폐직물/소비 후 폐직물 모두 재활용
	Mud Jeans	<ul style="list-style-type: none"> • 소비자에게 제품을 판매하는 것으로 끝나지 않고 청바지를 회수하고 재활용 제품의 생산 과정까지 공급망에 포함 • 산업 후 폐직물/소비 후 폐직물 모두 재활용
단일 면	Birla Cellulose	<ul style="list-style-type: none"> • 순수한 면직물을 해중합하여 펄프로 만든 후 비스코스(Birla Cellulose, Tangshan Sanyou) 또는 라이오셀(Lenzing) 섬유 제조
	Lenzing	<ul style="list-style-type: none"> • 화학적 재활용으로 virgin 제품과 비슷한 수준의 품질
	Tangshan Sanyou	<ul style="list-style-type: none"> • 목재 펄프와 폐직물 펄프를 혼합 사용하여 제품 출시 <ul style="list-style-type: none"> - Birla Cellulose의 Liva Reviva: 산업 후 폐직물 20% 사용 - Lenzing의 Refibra: 산업 후 폐직물/소비 후 폐직물 30% 사용 - Tangshan Sanyou의 ReVisco: 소비 후 폐직물 50% 사용
폴리면 혼방	HKRITA	<ul style="list-style-type: none"> • 열, 물 그리고 15% 미만의 녹색 화학물질을 사용하여 혼방 내 면을 액체 셀룰로오스로 변환 • 수득 형태: 폴리에스터 섬유와 액체 셀룰로오스(건조 분말화)
	Worn Again Technologies	<ul style="list-style-type: none"> • 고온에서 폴리에스터 섬유를 용매에 녹임 • 수득 형태: 고상의 셀룰로오스와 폴리에스터 용액
	PurFi	<ul style="list-style-type: none"> • 산업 후 폐직물 사용

- 화학적 재활용의 경우 폐직물의 분류와 세척 등이 제대로 이루어지지 않으면 재활용 공정에서 반응이 불균일하게 일어나기 때문에 단일 소재인 폐면 직물만 원료로 사용하더라도 표 5와 같은 엄격한 기준을 만족하는 직물만 원료로 사용이 가능하다.
- 이처럼 폐직물 재활용 기술은 원료에 요구되는 조건이 매우 까다롭기 때문에 업체들은 폐직물을 산업 후 폐직물(Post-industry textile wastes)과 소비 후 폐직물(Post-consumer textile wastes)로 구분하여 사용하고 있다. 산업 후 섬유 폐기물은 완제품 제조 시 발생하는 폐기물로 폐기물 관리 시스템을 통해 오염 없이 제공받을 수 있으므로 가장 순수한 형태의 폐기물로 간주된다. 반면에 소비 후 섬유 폐기물은 섬유 완제품의 유효 수명 이후에 생성되는 폐기물이다. 이러한 폐기물은 오염 물질로 가득 차 있고 폐직물 원료로 사용하기 위해선 많은 비용이 추가되는 엄격한 분류/세척/분리 등의 공정을 거쳐야 한다.

표 5. 재활용 원료로 사용 가능한 폐 면직물의 기준^[43]

- ① **100% 면의 재활용만 가능하며**, 다른 섬유는 사용할 수 없음.
- ② 폐기물에 오염이 없어야 함(비스코스, 폴리에스터, 스판덱스 등과 같은 이물질 섬유 또는 종이, 먼지, 테이프 등과 같은 기타 물질 등이 오염에 해당).
- ③ **흰색 면직물**은 해중합의 화학 작용을 방해하는 형광 증백제를 포함하고 있으므로 **재활용 불가**.
- ④ **선염 및 인쇄 직물** 또한 여러 화학 성분을 포함하므로 **재활용 불가**.
- ⑤ **단색으로 염색된 직물만 재활용 가능**하나 어두운 색조의 직물에는 염료 입자가 많으므로 밝거나 중간 색조의 직물이 선호됨.
- ⑥ 세탁, 개봉, 분리 공정, 오염 제거, 탈색 등 전처리로 인해 비용이 발생함.

- **(원재료의 지속가능성)** 재활용 폐직물은 Canopy에서 제시한 차세대 원료 중 하나이지만, 실제로 재활용 가능한 폐직물은 표 5와 같이 너무나 한정적이다. 폐직물 재활용 기술이 상용화되기 위해서는 제품의 생산 단계에서 소재 분류 작업 등의 재활용 공정까지 고려하는 노력이 필요하다.

[차세대 비목질계 원료] ② 농업 부산물 및 섬유 형태의 작물:

Lenzing의 헴프 부스러기(Hemp Shive) 기반 라이오셀 섬유




- 2020년 Lenzing은 헴프 가공 시 발생하는 헴프 부스러기(Hemp shive)를 셀룰로오스 원재료로 사용한 연구 결과를 발표했다. 대마는 인피(Bast)와 속대(Core)의 리그닌 함량 차가 크고 섬유장이 긴 헴프 인피는 천연섬유로 사용되지만, 속대는 animal bedding 등으로 활용되거나 폐기된다. 황마(Jute) 등 인피 식물의 속대를 사용하여 용해 펄프를 생산하고자 하는 노력은 꾸준히 있었다^[48]. 이번에 발표된 Lenzing의 결과는 AQ를 사용하지 않는 무황 알칼리 펄프화 공법과 무염 표백을 통해 헴프 부스러기 펄프를 생산하고 라이오셀 섬유를 제조하여 펄프화 공정과 방사 공정 모두가 친환경적이라는 데 의미가 있다. 현재 펄프화 공정은 2L autoclave와 10L 증해기 규모까지 scale-up 테스트가 진행되었으며, 양산화 이전 단계다. Lenzing은 헴프 부스러기 기반 라이오셀 섬유를 Lyohemp[®]로 상품명 등록했다^[49, 50].

표 6. 헴프 부스러기로부터 제조된 펄프 특성[50]

Parameter	Unit	Hemp pulp sample 1 2-Liter-autoclave	Hemp pulp sample 2 10-Liter-digester
Cuoxam-DP		632	624
a-cellulose content	%	89.6	87.7

- **(원재료의 지속가능성)** 초본류 식생 자원이며 현재 폐기되고 있는 자원을 활용하므로 지속가능성 면에서 우수하다.
- **(펄프화 공정의 지속가능성)** 회수 불가능한 AQ 촉매를 사용하지 않는 무황 알칼리 펄프화 공법을 채택한 폐쇄 루프 공정에 해당하며, 후처리 공정에서도 무염 표백 등 친환경적인 방법을 사용하고 있다.
- **(방사 공정의 지속가능성)** 라이오셀 공법은 대표적인 친환경 폐쇄 루프 공정이다.

표 7. Hemp shive 펄프로부터 제조된 방사 용액과 라이오셀 섬유의 특성[50]

Dope characteristics	Unit	Small lab spinning test	Large lab spinning test	Lyocell fibres from wood pulp ^[51]
Zero shear viscosity(85℃)	Pa s	10,620	13,270	
Cellulose concentration	%	11.6	11.9	
Fibre testing				
Fineness	dtex	1.8	1.7a/1.6b	≤1.7
Fibre tenacity. cond.	cN/tex	36.0	39.7a/51.5b	40~42
Elongation. cond.	%	16.3	12.3a/7.2b	15~17
Loop tenacity	cN/tex	17.8	13.0a/n.m.b	
cuoxam-DP		623	560	560~620
Photos of prepared fibres/filaments 				

* a: staple fibre / b: filament, single fibre testing

[차세대 비목질계 원료] ② 농업 부산물 및 섬유 형태의 작물:

Fortum과 Spinnova의 밀짚 기반 셀룰로오스 섬유

- 2016년 핀란드 Chempolis는 바이오 용제를 사용해 리그노셀룰로오스를 선택적으로 분별(fractionation)하는 기술을 개발했다. 핀란드 국유 에너지 기업 Fortum은 Chempolis와 투자 협약을 맺고 이를 formico 기술이라 명명했다. 해당 기술은 유기산을 사용한 Organosolv 공법으로, 제지용/용해용 셀룰로오스 펄프 외에도 무황 리그닌, 푸르푸랄(furfural), 아세트산, 에탄올 등의 생화학 물질까지 추출 가능하다는 장점을 지닌다. 그러므로 Fortum의 홈페이지에서는 이를 다중 제품 플랫폼 기반 바이오 리파이너리(Bio-Refinery) 기술이라고 언급하고 있다.
- 아래는 Chempolis 홈페이지에서 발췌한 기술 소개글이다.
“기존의 펄프화 기술은 원료의 기계적 분쇄와 비선택적 가수분해로 공정 수율이 낮은 증기 폭발 펄프화를 기반으로 하며, 크라프트 펄프화의 경우 비선택적 분별(unselective fraction)로 인해 헤미셀룰로오스 조각들이 리그닌과 함께 에너지로 연소되는 문제가 있다. 반면에 Chempolis 공정은 바이오 용제를 이용해 선택적으로 분별하기 때문에 원료의 모든 구성 성분을 거의 완전한 수율로 고부가 가치 제품화할 수 있다.”
- 이 경우 셀룰로오스 외에 다른 성분들도 모두 제품화할 수 있으므로 공정 수율(~90%)이 높아 경제성을 지닐 수 있다. 또한 짚, 사탕수수 바게스, 옥수수대, 대나무, 침엽수, 활엽수 등 다양한 식생 자원을 원료로 사용할 수 있다는 장점이 있다.
- Fortum은 인도 아삼(Assam)에 상업용 공장을 구축 중이며, 2023년 내 가동을 시작할 계획이다. 이 공장은 연간 300kton의 대나무를 활용하여 바이오에탄올, 푸르푸랄, 아세트산 및 바이오석탄을 생산하는데, 이 양산화 프로젝트에 용해 펄프 생산은 포함되어 있지 않다. 다만 Fortum 홈페이지 상에 셀룰로오스 펄프에 대한 2단계 프로젝트가 소개되어 있고, 그 구체적인 시기 및 투자 계획은 언급되어 있지 않다.

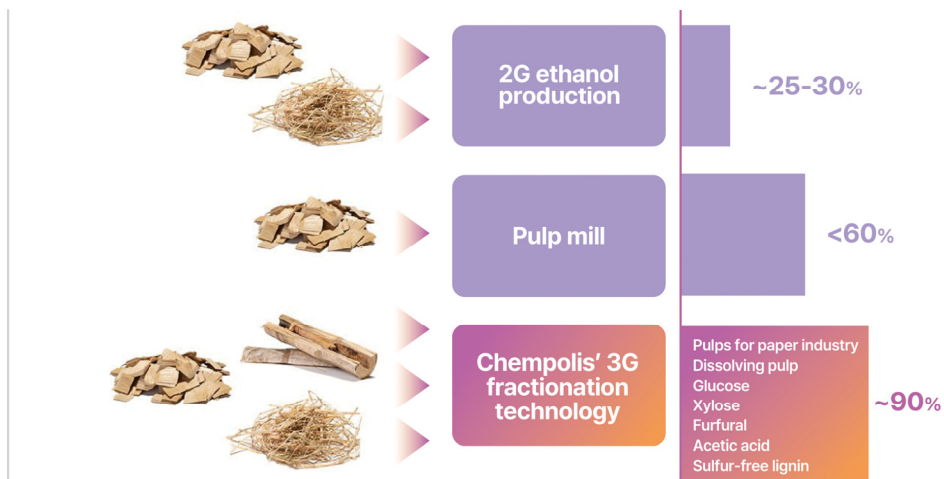


그림 10.
Chempolis의 다중 제품 플랫폼 기반 formico 기술[52]

- Fortum은 2019년 10월 밴쿠버에서 열린 Textile Exchange Sustainability Conference에서 핀란드 Spinnova와 함께 밀짚으로 만든 의류를 선보였다. Spinnova는 지속가능성을 추구하는 셀룰로오스 기반 섬유 제조업체로, 용해 공정과 같은 유해한 화학 공정 없이 기계적으로 마이크로피브릴화 셀룰로오스(Microfibrillated cellulose)를 직접 섬유로 전환하는 기술을 보유하고 있다. 해당 기술은 「타임」지에서 2022년 최고의 발명품 목록 중 하나로 선정되었다.
- 아래는 Spinnova의 홈페이지에서 발췌한 기술 소개이다.
 “Spinnova가 특허를 받은 섬유 생산 공정은 유해한 화학물질을 사용하지 않고 용해 공정을 필요로 하지 않으며, 폐기물이나 미세 플라스틱을 생성하지도 않는다. 기존 면화 생산에 비해 CO₂ 배출량이 74% 적고 물 사용량 또한 99.5% 적다. 그 결과, 브랜드와 소비자의 엄격한 환경 및 성능 요구사항을 모두 충족하는 면과 같은 천연섬유가 탄생했다.”



그림 11.
Fortum과 Spinnova의 밀짚 기반 셀룰로오스 의류[53]

- **(원재료의 지속가능성)** 밀짚은 세계적으로 가장 많이 폐기되고 있는 초본류 농업 부산물이다. 지속가능성 측면뿐만 아니라 충분한 양의 자원 확보가 가능하기 때문에 산업 확장성 면에서도 우수하다.
- **(펄프화 공정의 지속가능성)** Organosolv 공법에 해당하므로 일반적인 알칼리 공법에 비해 에너지 사용량이 적을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 친환경적인 폐쇄 루프 공정인지에 대한 언급은 나와 있지 않다. 그러나 모든 추출물을 제품화 가능하고 펄프화 수율이 높으므로 자원 활용도가 높고 타 펄프화 공정에 비해 경제적일 것으로 생각된다.
- **(방사 공정의 지속가능성)** 셀룰로오스의 용해/재생 공정이 아니므로 지속가능성 면에서는 매우 우수하다. 그러나 구체적인 섬유 물성이 제시되어 있지 않아 재생 셀룰로오스 섬유의 대체 가능 여부는 아직 판단할 수 없다.

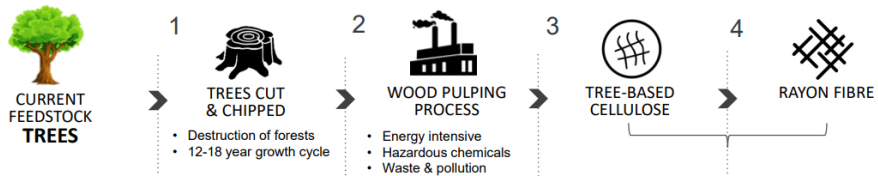
[차세대 비목질계 원료] ③ 음식물 쓰레기에서 배양한 미생물 셀룰로오스:

Birla Cellulose와 Nanollose의 미생물 셀룰로오스 기반 라이오셀 섬유

- 호주 Nanollose는 음식물 쓰레기를 활용하여 미생물 셀룰로오스를 제조하는 기술을 개발했다. *Actobacter xylinum*과 같은 미생물은 배양 시 배양액 계면에 흰색 피막을 형성하는데, 이는 높은 기계적 강도를 가진 3차원 미세 망상 구조의 셀룰로오스로 알려져 있다. 이러한 미생물 셀룰로오스는 식물 유래 리그노 셀룰로오스와 달리 순수한 셀룰로오스만으로 이루어져 있어 추출 공정이 따로 필요하지 않다. Nanollose는 액체 형태의 음식물 쓰레기를 사용한 배양액에서 미생물을 배양함으로써 셀룰로오스를 생산하고 있으며, 배양 기간은 18일로 소개되어 있다[54, 55].

THE NANOLLOSE ADVANTAGE

TRADITIONAL RAYON - PRODUCTION PROCESS



NANOLLOSE TREE-FREE FIBRE - PRODUCTION PROCESS



그림 12.

목재 기반 재생 셀룰로오스 섬유와 미생물 셀룰로오스 기반 라이오셀 섬유의 생산 과정[55]

- 인도 Aditya Birla 그룹의 계열사인 Birla Cellulose는 2021년 호주 Nanollose와 함께 미생물 셀룰로오스로 만든 고강도 라이오셀 섬유에 대한 공동 특허를 출원했다[56]. 그리고 2022년 3월, 미생물 셀룰로오스를 20% 함유한 친환경 차세대 라이오셀 섬유(Nullarbor-20™)의 파일럿 규모 방사까지 성공적으로 완료했다고 발표했다[57].



그림 13.

Birla Cellulose와 Nanollose의 Nullarbor-20™의 파일럿 방사 사진[50]

- **(원재료의 지속가능성)** Canopy에서 제시한 차세대 원료 중 하나인 미생물 셀룰로오스를 사용하고 있다.
- **(펄프화 공정의 지속가능성)** 미생물 셀룰로오스이므로 펄프화 공정이 불필요하다.
- **(방사 공정의 지속가능성)** 친환경 폐쇄 루프 공정인 라이오셀 공법을 채택했다.

3 결론

- 섬유 소재는 패션 의류처럼 소재 자체가 주 제품이 되는 경우도 있지만, 전혀 다른 산업에서 제품의 차별성을 부여하는 핵심 부자재로 사용되기도 한다. 그러므로 어떤 소재에 대한 개발의 필요성은 당장 예측되는 시장 규모보다 해당 소재의 시장 독점성과 대체 불가능성을 통해 판단하는 것이 바람직하다. 다시 말해, “**왜 우리는 30년째 그 소재를 수입하여 사용하고 있는가? 어떻게 해야 국산화가 가능한가?** 그리고 **어떠한 키워드를 가지고 기존 소재를 넘어서는 것인가?**”에 주목해야 한다.
- 이러한 관점에서 비목질계 재생 셀룰로오스 섬유 소재의 개발은 선진국에서 30년째 독점해 온 섬유 소재를 지속가능한 비목질계 소재로 전환함으로써 더 높은 가치의 섬유 소재로 업그레이드함과 동시에 자립화를 실현하는 매우 중요한 도전이라 할 수 있다.
- 비목질계 식생 자원은 오랫동안 천연섬유 개발에 주로 사용되어 왔다. 천연섬유의 경우 방적 공정을 통해 실을 형성하지만, 재생섬유는 분자 스케일에서 엉킴이 일어나므로 천연섬유의 기준에서 폐기되던 농업 부산물을 다양하게 활용해 볼 수 있다.
- 물론 비목질계 식생 자원을 원재료로 사용하기 위해서는 몇 가지 난관을 해결해야 한다. 초본류 식생 자원은 목재 자원과 달리 한시적으로 수확이 이루어지기 때문에 수확 후 보관/운송 작업이 필요하다. 그러므로 각 원료의 활용 가능성 평가는 연간 발생하는 농업 부산물의 건조 중량(자원 발생량)과 함께 원료가 보관 중에 부패하지 않도록 건조/분쇄하는 펄핑화 공정의 편의성을 비교하여 판단해야 한다.
- Canopy에서는 산림 보존을 위한 차세대 원료 계획을 재생 셀룰로오스 섬유용 대체 원료 개발과 종이 포장재용 대체 원료 개발의 두 가지 방향으로 진행하고 있다. 현재의 목재 기반 펄핑화 산업은 시장 규모가 큰 제지업체들이 선두가 되어 기술 발전을 이끌어 왔다. 재생 셀룰로오스 섬유산업은 제지산업에 비해 규모는 작지만 이러한 산업 패러다임의 전환 과정에서는 새로운 기술을 도입하고 실증화하고 先검증하는 역할을 수행할 수 있다.
- 현재 비목질계 펄프를 100% 사용한 재생 셀룰로오스 섬유를 개발한 업체는 아직 없으며, 20~50%의 비목질계 펄프를 virgin 펄프와 혼합하여 생산하는 수준이다. 그러므로 비목질계 펄프 기술 개발에 성공할 경우 시장을 선점하고, 더 나아가 재생 셀룰로오스 섬유의 글로벌 공급망을 재편할 수 있을 것이라 사료된다.
- 환경 문제가 심화됨에 따라 목재 등 산림자원 원료에 대한 사용 규제는 더욱 강화될 것이다. 따라서 비목질계 식생 자원을 기반으로 한 친환경 펄핑화 기술 개발은 많은 기술적 난제들이 존재하지만, 반드시 넘어야 할 과제로 정부 차원

출처 및 참고자료

- 2022 Business research insights, Rayon fibers market report overview:
<https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/rayon-fibers-market-102052>
- 2021.07.29. 포스트 매거진 : <https://ppss.kr/archives/241803>
- 2020.02.10. 한국화학섬유협회, 세계 비스코스 섬유산업 현황:
http://www.kcfa.or.kr/bbs/board.php?bo_table=info&wr_id=7479
- 2017 Subramanian Senthilkannan Muthu, Sustainable Fibres and Textiles
- 2018 윤석한 외, 「친환경 라이오셀(Lyocell) 섬유 산업 동향」(KEIT PD Issue Report)
- 2016 The society of fiber science and technology, Japan, High-Performance and Specialty Fibers
- 2011.01.05. 한국섬유신문: <http://www.ktnews.com/news/articleView.html?idxno=68939>
- 2011.01.25. 뉴스와이어: <https://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=523865>
- 2011.03.09. 철강금속신문: <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=270105>
- 2022.06.23. 연합뉴스TV: <https://m.yonhapnewstv.co.kr/news/MYH20220623014500038>
- 2022.06.22. 연합뉴스: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20220622131300009>
- 2022.06.21. JTBC: <https://v.daum.net/v/20220621203307776?f=p>
- 2022.09.19. 조선미디어: <https://futurechosun.com/archives/68420>
- 2022.09.20. 내일신문: https://m.naeil.com/m_news_view.php?id_art=435912
- 2022.12.07. 뉴스펄크: <https://www.newspenguin.com/news/articleView.html?idxno=12955>
- 2022.12.11. 디지털비존: <http://www.digitalbizon.com/news/articleView.html?idxno=2331060>
- Canopy, Survival: A plan for saving forests and climate – A pulp thriller 2020
- Canopy 홈페이지: <https://canopyplanet.org/campaigns/canopystyle/canopystyle-next-generation-vision-for-viscose/>
- Canopy 홈페이지: <https://canopyplanet.org/campaigns/canopystyle/>
- Canopy 홈페이지: <https://hotbutton.canopyplanet.org/>
- 2020 임형규 외, 「대마섬유의 정련 방법에 관한 비교 연구」(한국의류산업학회지)
- 2012 Alonso et al., Bimetallic catalysts for upgrading of biomass to fuels and chemicals (Chemical Society Reviews)
- 2013 Lesschen et al., Rice straw and wheat straw – Potential feedstocks for the biobased economy (The Netherlands Programmes Sustainable Biomass)
- 2020 조혜민 외, 「크라프트펄프화법을 이용한 왕겨 섬유의 펄핑 적성 평가」(펄프·종이기술)
- 2017 Bezerra et al., Processing and properties of PCL/cotton linter compounds (Materials Research)
- 2020 Ma et al., Liquefaction of bamboo biomass and production of three fractions (Journal of Bioresources and Bioproducts)
- 2019 Wu et al., Evaluation of the potential of tobacco stalk pulp to substitute hardwood pulp for tobacco sheet preparation (Cellulose Chemistry and Technology)
- 1995 Vignon et al., Steam explosion of woody hemp chènovotte (International Journal of Biological Macromolecules)
- 1991 Tsoumis, Science and Technology of Wood: Structure, Properties and Utilization
- Canopy, Taking the pressure off irreplaceable forests – Climate-smart solutions for paper, packaging, and textile fibres
- 2021 Bajpai, Nonwood Plant Fibers for Pulp and Paper
- Asahi Kasei 홈페이지: <https://www.asahi-kasei.co.jp/bemliese/en/>

33. 특허 등록번호: 10-1716470, 특허명: 라이오셀 방사용 도프, 이를 이용한 라이오셀 필라멘트 섬유 제조 방법 및 이로부터 제조되는 라이오셀 필라멘트 섬유
34. 2018.04.02. 뉴스 탭: <http://www.newstap.co.kr/news/articleView.html?idxno=68070>
35. 대한방직의 레이온 & 큐프라 브로셔: <http://www.thtc.co.kr/pdf/rayonandcupra.pdf>
36. 2021 Schild, Viscose and lyocell fibers from bamboo dissolving pulp – A scientific review on claimed properties (Lenzinger Berichte)
37. 2010 Gericke and Pol, A comparative study of regenerated bamboo, cotton and viscose rayon fabrics (Journal of Family Ecology and Consumer Sciences)
38. 2015 Sugesty et al., Bamboo as raw materials for dissolving pulp with environmental friendly technology for rayon fiber (Procedia Chemistry)
39. 2020.07.19. BBC News 코리아: <https://www.bbc.com/korean/53461066>
40. 2020.08.19. Textile Recycling – What It Is and the Need of Textile Recycling: <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/08/textile-recycling-what-it-is-and-need.html>
41. 2020.08.21. Textile Recycling – Companies Pioneering in Recycling Technologies: <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/08/textile-recycling-companies-pioneering.html>
42. 2020.08.23. Textile Recycling – The Mechanical Recycling of Textiles Wastes: <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/08/textile-recycling-mechanical-recycling.html>
43. 2020.08.25. Textile Recycling – The Chemical Recycling Process of Textiles: <https://www.onlineclothingstudy.com/2020/08/textile-recycling-chemical-recycling.html>
44. 2022.11.22. JustStyle: <https://www.just-style.com/news/arvind-purfi-collaborate-to-build-textile-waste-facilities/>
45. HKRITA 홈페이지: <https://www.hkrita.com/en/our-innovation-tech/projects/green-machine-phase-2>
46. Tangshan Sanyou 홈페이지: <http://www.ts-sanyou.com.cn/syhx/contents/1928/63356.html>
47. Worn Again Technologies 홈페이지: <https://wornagain.co.uk/weaving-a-network-of-circularity/>
48. 2015 Matin et al., Dissolving pulp from jute stick (Carbohydrate Polymers)
49. 2020 Kosan et al., Innovative dissolving pulps for application in cellulose MMF production (Lenzinger Berichte)
50. 2022 Thümmel et al., Lyohemp™ fibres from hemp shive dissolving pulp (Lenzinger Berichte)
51. 2003 Harms, Lenzing LYOCELL: chances of a new generation of man-made fibres (Material Science & Engineering technology)
52. Chempolis 홈페이지: <https://chempolis.com/>
53. Fortum 홈페이지: <https://www.fortum.com/>
54. 2013 전세라 외, 「박테리아 셀룰로오스의 제조와 활용 분야」(공업화학 전망)
55. Nanollose 홈페이지: <https://nanollose.com/technology/>
56. 특허 출원번호: WO2022153170A1, 특허명: High Tenacity Lyocell Fibres From Bacterial Cellulose and Method of Preparation Thereof
57. 2022.03.26. Chemical Industry Digest: <https://chemindigest.com/birla-cellulose-completes-pilot-spin-of-lyocell-fibres>