

친환경 셀룰로오스 나노섬유 필름의 연속 제조와 응용 가능성

김수진*, 정용일*

*한국섬유기계융합연구원 셀룰로스 나노섬유소재 산업화센터
e-mail:kimsj@kotmi.re.kr

Continuous Production and Application Prospects of Sustainable Cellulose Nanofiber Films

Su-Jin Kim*, Yong-Il Chung*

*Korea Textile Machinery Convergence Research Institute Cellulose Nanofiber
Industrialization Center

요 약

본 논문에서는 연속공정을 통해 셀룰로오스 나노섬유 필름을 제조하고 기계적·광학·표면 특성을 평가하였다. 필름은 높은 강도와 투명성, 개선된 소수성과 가스 배리어성을 확보하여 플라스틱 필름 대체 가능성을 제시한다.

1. 서론

셀룰로오스는 지구상에서 가장 풍부하게 존재하는 천연 고분자로, 재생 가능성과 생분해성을 동시에 지닌 대표적인 친환경 소재이다. 특히 이를 나노 크기로 분쇄하여 얻은 셀룰로오스 나노섬유(Cellulose Nanofiber, CNF)는 기존 셀룰로오스에 비해 매우 높은 비표면적과 종횡비를 확보할 수 있으며, 기계적 강도, 열적 안정성, 가스 배리어성, 투명성 등 우수한 물성을 동시에 갖는다. 이러한 특성으로 인해 CNF는 플라스틱 기반 필름을 대체할 수 있는 차세대 친환경 필름 소재로 주목받고 있으며, 최근 전자 디스플레이, 태양광 패널, 식품 포장재, 광학 필름 등 고부가가치 산업 분야에서 활용 가능성이 활발히 논의되고 있다.

기존 연구에서는 주로 배치(batch) 공정을 통해 CNF 필름을 제조하였으나, 이는 공정 효율이 낮고 대면적 필름 제조에 한계가 존재한다. 따라서 산업적 응용을 위해서는 연속공정을 통한 대량생산 기술 확보가 필수적이며, 동시에 제조된 필름의 기계적·광학적·표면적 특성을 정밀하게 평가하여 응용 적합성을 검증하는 과정이 요구된다.

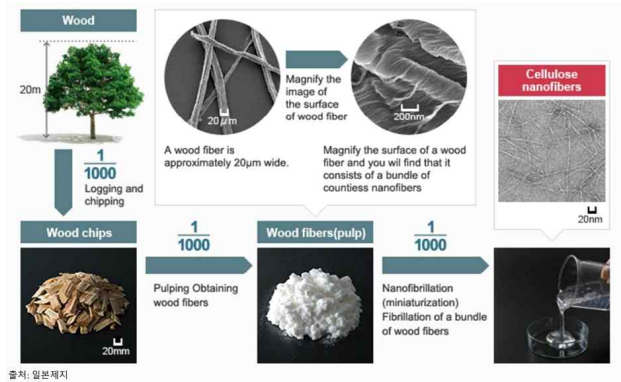
2. 본론

본 연구에서는 연속공정을 기반으로 CNF 투명 필름을 제조하고, 다양한 첨가제 조성 및 공정 조건에 따른 물성 변화를 체계적

으로 분석하였다. 우선 기계적 특성 측면에서는 인장 강도 및 탄성률을 측정하여 연속 제조된 필름의 구조적 안정성을 평가하였고, 열분석(TGA)을 통해 열적 안정성 및 분해 거동을 확인하였다. 그 결과, CNF 단독 필름은 우수한 투명성과 강도를 확보하였으나, 수분에 의한 물성 저하가 관찰되었으며, 이에 첨가제 도입을 통해 내습성을 개선하였다. 특히 첨가제 함량을 조절할 경우 표면 접촉각(contact angle)이 크게 증가하여 소수성이 부여되었으며, 이는 필름의 실사용 안정성 향상으로 이어질 수 있음을 확인하였다.

광학적 특성 분석에서는 자외선(UV), 가시광선(VIS), 근적외선(NIR) 영역에서의 투과율을 측정하였다. 제조된 CNF 필름은 기존 플라스틱 기반 필름(OPP, PET 등)과 비교했을 때 높은 투명도를 유지하면서도 자외선 차단 효과를 일부 나타내어, 전자재료 및 포장재 응용에서 유리한 특성을 확보하였다. 또한, 기체 투과도 측정 결과 CNF 필름은 OTR(산소투과율) 값이 10 이하 수준으로 측정되어, 우수한 가스 배리어 특성을 나타냈다. 이는 식품 포장재 및 전자 부품 보호 필름으로 적용될 가능성을 높이는 결과라 할 수 있다.

특히, 본 연구에서는 연속공정의 장점을 활용하여 대면적 필름을 안정적으로 제조할 수 있었으며, 이는 향후 산업적 스케일업(scale-up) 적용에 있어 중요한 기반 기술이 될 것으로 기대된다.



[그림 1] 셀룰로오스 나노섬유

3. 결론

본 연구를 통해 연속공정 기반의 CNF 투명 필름 제조 기술을 확립하였으며, 제조된 필름은 기계적 강도, 열적 안정성, 가스 배리어성, 광학적 특성에서 우수한 성능을 나타냈다. 특히 첨가제 조성을 최적화함으로써 내습성과 표면 소수성을 개선할 수 있었으며, 이는 기존 CNF 필름의 한계를 극복하는 중요한 결과로 판단된다.

따라서 본 연구에서 개발한 CNF 연속 필름은 친환경성과 기능성을 동시에 확보한 소재로서, 플라스틱 대체재로서의 가능성을 충분히 입증하였다. 향후 연구에서는 공정 최적화 및 기능성 첨가제 다양화를 통해 전자 디스플레이, 태양광 패널, 포장재, 광학 필름 등 고부가가치 산업 전반으로의 응용 확대를 목표로 하고자 한다. 또한, 대면적 연속 생산 공정의 안정성 확보와 더불어, 장기 내구성 및 산업 현장 적용성을 검증하는 후속 연구를 통해 상용화를 가속화할 예정이다.