

카본블랙 저감을 위한 친환경 나노소재 보강 고무 소재 개발 및 특성 평가

금아람, 정용일

한국섬유기계융합연구원 셀룰로스 나노섬유소재 산업화센터

e-mail:arkeum@kotmi.re.kr

Eco-Friendly Nanomaterial-Reinforced Rubber: Development and Property Evaluation for Carbon Black Reduction

Aram Keum, Yong-il Chung
Cellulose Nanofiber Industrialization Center,
Korea Textile Machinery Convergence Research Institute

요약

본 연구에서는 식물 유래 나노셀룰로오스를 천연고무 라텍스와 수계 복합화하여 고함량 마스터배치를 제조하고, 이를 활용한 카본블랙 저감형 고무 컴파운드의 기계적 성능을 평가하였다. 나노셀룰로오스 적용 시 천연고무 대비 그린강도가 약 7,000% 이상 향상되었으며, 카본블랙 사용량을 80% 저감한 컴파운드에서도 인장강도, 압축줄음률, 반발탄성이 기존 수준과 동등 이상으로 나타났다. 본 결과는 나노셀룰로오스가 친환경 보강 소재로서 석유계 보강 재를 대체할 수 있는 가능성을 제시한다.

1. 서론

천연고무는 재생 가능한 자원으로 널리 활용되지만, 물성 및 내후성 향상을 위해 카본블랙과 같은 석유계 보강제 사용이 필요하다. 그러나 유로7 등 환경 규제 강화로 친환경 대체 소재 개발의 필요성이 증대되고 있다. 식물 유래 나노셀룰로오스는 강직한 섬유 구조를 바탕으로 적은 첨가량에서도 우수한 보강 효과를 발휘하며, 고무 마모로 인한 미세입자 배출 저감에도 기여할 수 있다. 또한 천연고무 라텍스와 수분산 상태에서 복합화가 가능하여, 균일한 분산과 우수한 기계적 특성을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 천연고무 라텍스를 이용해 고함량 나노셀룰로오스 마스터 배치를 제조하고, 이를 적용한 카본블랙 저감형 고무 컴파운드의 기계적 물성을 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 나노 셀룰로오스 제조

알파셀룰로오스 함량이 높은 면린터를 출발 원료로 사용하여, 효소 전처리 후 슈퍼 매스콜로이더(Super Masscolloider, Masuko Sangyo Co., Ltd., Japan)를 이용한 기계적 분쇄 공정을 통해 나노셀룰로오스를 제조하였다. 제조된 시료는 필름 형태

로 성형하여 결정화도를 분석하였으며, X선 회절분석 (X-ray Diffraction, XRD)을 수행하였다. Segal법^[1]으로 알려진 계산식에 의거하여 산출된 결정화도는 87.45%로 확인되었다.

2.2 나노 셀룰로오스 복합 마스터 배치 제조

나노셀룰로오스의 고형분 함량이 천연고무 라텍스 대비 50 wt%가 되도록 첨가한 후 교반 및 열풍 건조 과정을 거쳐 마스터 배치를 제조하였다. 이후 나노셀룰로오스 50 wt% 복합 천연고무 마스터배치와 100% 천연고무 라텍스를 각각 건조하여 고형물을 확보한 뒤, 이를 밀링하여 미가황 고무판을 제작하였다. 인장시험은 ASTM D412 표준 시험법에 따라 아령 3호 시편을 가공하여 수행하였다. 시험 결과, 나노셀룰로오스 50 wt% 복합 천연고무 마스터배치의 그린강도는 천연고무 대비 약 7,076% 향상된 것으로 확인되었다.

2.3 나노 셀룰로오스 복합 고무 컴파운드 제조

상기 나노셀룰로오스 복합 마스터배치를 활용하여 카본블랙 사용량을 80% 저감한 고무 컴파운드를 제조하고 물성을 평가하였다. 그 결과, 인장강도는 20 MPa, 영구압축줄음률(70 °C/22 h)은 15%, 반발탄성은 55%로 측정되었으며, 이는 기존 고무 컴파운드와 비교하여 동등 이상 수준의 기계적 성능을 확보한 것으로 확인되었다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 효소 전처리를 거친 나노셀룰로오스를 천연고무 라텍스와 수계 복합화하여, 고함량 나노셀룰로오스 기반 천연고무 마스터배치를 성공적으로 제조하였다. 제조된 마스터배치를 활용하여 컴파운드 배합 조건을 최적화한 결과, 카본블랙 사용량을 기존 대비 80%까지 저감하면서도 인장강도, 압축줄음률, 반발탄성 등 주요 물성이 기존 컴파운드와 동등 이상임을 확인하였다. 이는 나노셀룰로오스가 석유계 보강재를 대체할 수 있는 잠재력을 지님을 시사하며, 친환경 고무 소재로의 적용 가능성을 뒷받침한다. 향후 연구에서는 마운트부시 시제품을 제작하여 실제 구동 환경에서의 내구성 및 장기 신뢰성을 평가함으로써 산업적 활용 가능성을 검증 할 예정이다.

[후기]

이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원 연구비 지원에 의한 연구임('RS-2024-00431496')

참고문헌

- [1] Segal L., Creely, J. J., Martin A. E., and Conrad C. M., An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Textile Res. J.*, 29: 786–794 (1959)