

0.2 데니어급 Bio-PTT/Graphene 복합 기능성 원사기반 고감성 아우터용 섬유소재 개발에 관한 연구

조성훈*, 김혜준*, 이웅섭**

*한국섬유소재연구원

** (주)영텍스타일

e-mail:dyefin@koteri.re.kr

Development of High-Sensitivity Outer Textile Materials Based on 0.2 Denier Bio-PTT/Graphene Composite Yarn

Seong-Hun Cho*, Hye-Jun Kim*, Woong-Sup Lee**

*Korea High Tech Textile Research Institute

**Young Textile CO.,Ltd

요약

본 연구는 친환경 트렌드에 대응하기 위해 Bio-PTT와 미립화된 Graphene을 융합한 기능성 섬유소재를 개발하고, 아우터용 의류 적용 가능성을 평가하는 것을 목적으로 한다. Graphene의 분산성과 가염성 문제를 해결하기 위해 GMGP 기반 미립화 및 분산안정화 기술을 적용하였으며, Bio-PTT 기반 필라멘트 방사 및 제직·염색 공정을 통해 고감성 및 다기능 특성을 갖는 소재를 구현하였다. 그 결과 평균 Graphene 입자 크기 약 65 nm 수준을 확보하였고, 우수한 염색성 및 물성 안정성을 확인하였다. 또한 UV 차단, 원적외선 방사, 대전방지 등 기능성을 동시에 확보하여 친환경 고기능성 아우터 소재로의 적용 가능성을 입증하였다.

1. 서론

최근 글로벌 섬유산업은 친환경 소재와 기능성 의류에 대한 수요 증가에 따라 지속가능한 소재 개발이 핵심 이슈로 부상하고 있다. 특히 아웃도어 및 스포츠웨어 시장에서는 쾌적성, 기능성, 디자인을 동시에 만족시키는 고성능 소재가 요구되고 있다.

기존 Graphene 섬유는 우수한 전기적·열적 특성을 가지지만, 응집성으로 인한 분산성 저하와 가염성 문제로 인해 상용화에 한계가 존재하였다. 또한 친환경 요구 증가에 따라 재활용 소재 적용과 동시에 유해물질 저감 공정이 필수적으로 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 리사이클 폴리머와 Graphene을 결합한 복합소재를 기반으로, 분산 안정성과 가염성을 개선하고, Bio 기반 PTT 소재와의 융합을 통해 고감성 및 기능성을 동시에 갖는 아우터용 섬유소재를 개발하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험방법

2.1.1 Graphene 미립화 및 분산 공정

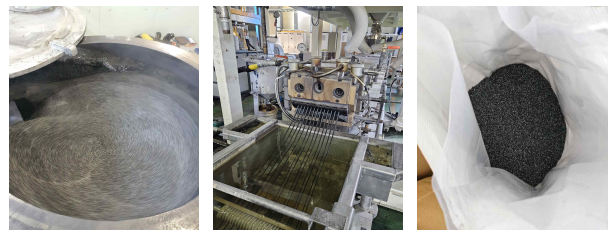
Graphene의 응집 특성을 개선하고 폴리머 내 분산성을 향

상시키기 위해 미립화 및 분산 안정화 공정을 수행하였다. Graphene 파우더에 대해 0.2 wt%의 스테아린산 아연 (Zn-st)을 첨가하여 표면 개질을 유도하였으며, 이후 고속 회전 믹서를 이용한 단계별 혼합 공정을 적용하였다.

혼합 공정은 1차(150 rpm, 20 min), 2차(300 rpm, 10 min), 3차(200 rpm, 10 min) 조건으로 수행하여 Graphene 응집체를 효과적으로 분쇄하고 균일한 입도 분포를 확보하였다. 또한 혼합 전 믹서 내부 온도를 약 80°C로 유지하여 폴리머 점도 안정화 및 초기 분산성을 향상시켰다.

이와 같은 공정을 통해 Graphene의 평균 입자 크기를 나노 수준으로 제어하고, 마스터배치 제조 시 재응집을 억제할 수 있는 분산 조건을 확보하였다.

[그림 1] Graphene 미립화 공정



2.1.2 필라멘트 방사 공정

미립화된 Graphene을 포함한 Bio-PTT 기반 마스터배치를 원료로 사용하여 필라멘트 방사를 수행하였다. 방사 대상

은 75D/72F 및 150D/144F 두 가지 사종이며, Graphene이 균일하게 분산된 상태에서 용융 방사가 이루어지도록 공정 조건을 설정하였다.

방사 공정에서는 약 275~282°C의 히터 온도 범위를 적용하였으며, 권취 속도는 75D/72F는 약 4,000 m/min, 150D/144F는 약 3,800 m/min으로 설정하였다.

또한 스핀빔 온도(268~275°C), 매니폴드 온도(269~278°C) 및 압출 압력 조건을 최적화하여 용융 안정성을 확보하였다. 방사 과정에서 노즐 막힘, 사절 증가 등의 문제 없이 안정적인 생산이 가능하도록 공정을 제어하였다.

2.1.3 제직 및 후가공

방사된 Graphene-PTT 필라멘트를 이용하여 Plain, Rip-stop, 2/1 Twill, Solar Twill 등 다양한 조직의 직물을 제직하였다. 제직 전 공정으로 합사, 연사(T/M 약 800), 정경 및 통경 공정을 수행하였으며, 경사 장력 및 밀도를 일정하게 유지하여 조직 균일성을 확보하였다.

제직 후 정련, 염색, 열세팅 및 기능성 가공 공정을 순차적으로 수행하였다. 특히 열세팅 공정은 메모리 효과 및 형태안정성을 결정하는 핵심 공정으로, 160~180°C의 온도 범위에서 30~60초 조건으로 처리하였다.

또한 Air Tumble(2.0~4.0 bar, 20~40 min) 및 Resin Finishing 공정을 통해 바디감 및 촉감 특성을 향상시켰으며, Peach Skin 가공 시에는 저속(약 14 m/min), 저압 조건을 적용하여 표면 손상을 최소화하면서 감성 품질을 확보하였다.

[표 1] 제직 및 열세팅 주요 공정 조건

공정	조건
연사	약 800 T/M
제직 RPM	500~550
열세팅 온도	160~180°C
열세팅 시간	30~60 sec
Air Tumble	2.0~4.0 bar, 20~40 min

2.1.4 염색시험 및 물성 평가

염색시험은 분산염료를 이용한 고온·고압 염색 방식으로 수행하였다. 염색 조건은 130°C에서 약 40분간 유지하였으며, 승온 속도는 2~3°C/min으로 제어하였다. 욱비는 1:20으로 설정하고 분산제 및 유연제를 첨가하여 균염성을 확보하였다.

염색 후에는 세탁견뢰도(KS K ISO 105-C06), 일광견뢰도(KS K ISO 105-B02), 대전방지성, UV 차단율 및 원적외선 방사율 등 다양한 기능성 평가를 수행하였다.

또한 염착 거동 분석을 위해 Dye-o-meter를 이용하여 시간에 따른 염착률 변화를 측정하였으며, 분광측색기를 활용하여 색상 균일성 및 색농도(L*, a*, b*)를 평가하였다.

2.2 실험결과

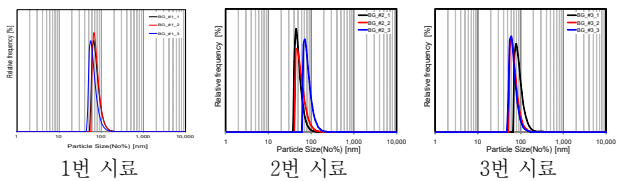
2.2.1 Graphene 미립화 및 분산 공정

Graphene 미립화 공정을 통해 제조된 시료 3종(BG#1, BG#2, BG#3)에 대해 입도 분석을 수행한 결과, 평균 입자 크기(D50 기준)는 각각 66.0 nm, 58.4 nm, 70.4 nm로 나타났으며, 전체 평균값은 약 64.9 nm 수준으로 확인되었다.

또한 D90 및 D99 값에서도 100 nm 내외의 분포를 나타내어 목표 기준(100 nm 이하)을 만족하였으며, 입도 분포가 D50 중심으로 집중되어 균일한 분산 특성을 확보한 것으로 판단된다.

이러한 결과는 고속 혼합 기반의 단계적 미립화 공정이 Graphene 응집체를 효과적으로 분쇄하고, 폴리머 내 재응집을 억제하는 데 유효함을 의미한다.

[그림 2] Graphene 소재의 입자 시험결과



2.2.2 필라멘트 방사 공정

Bio-PTT/Graphene 복합 필라멘트 방사 결과, 모든 공정에서 노즐 막힘, 사절 증가 및 필라멘트 불균일 등의 문제 없이 안정적인 방사가 가능하였다.

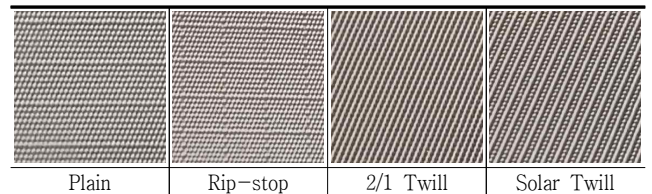
방사된 필라멘트의 물성 평가 결과, 75 데니어 원사는 인장강도 약 3.57 g/de, 신도 약 47.1%, 150 데니어 원사는 인장강도 약 3.41 g/de, 신도 약 48.5%로 나타나 목표 물성 범위를 만족하였다.

또한 데니어 균일성 및 권취 안정성에서도 우수한 결과를 보였으며, Graphene 혼입에 따른 방사 공정 저해 요소가 발생하지 않아 공정 적용성이 확보된 것으로 판단된다.

2.2.3 제직 및 후가공

Graphene-PTT 필라멘트를 적용한 직물은 Plain, Rip-stop, 2/1 Twill, Solar Twill 조직 모두에서 안정적인 제직이 가능하였으며, 조직별 특성에 따른 외관 및 촉감 차이가 확인되었다.

[그림 3] 본 연구에서의 개발원단



열세팅 및 후가공 결과, Solar Twill 조직에서 가장 우수한 바디감 및 외관 특성이 나타났고, 2/1 Twill, Rip-Stop, Plain 순으로 촉감 및 볼륨감 감소하는 경향을 나타내었다.

또한 Air Tumble 및 Resin Finishing 적용 시 섬유 간 공기층 형성에 따른 볼륨감 증가와 반발탄성 향상이 확인되었으며, 메모리 효과(형태 복원성) 또한 우수하게 발현되었다.

Peach Skin 가공 결과, 저속·저압 조건 적용 시 원단 손상 없이 균일한 표면 효과 및 부드러운 촉감이 확보되었으며, 고감성 아우터 소재로서 요구되는 외관 품질을 만족하였다.

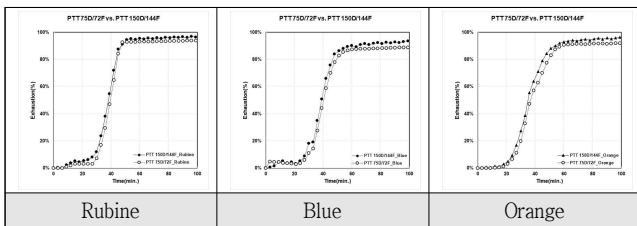
[표 2] 조직별 촉감 및 외관 평가 결과

조 직	바디감	Softness	외관	종합
Plain	△	△	○	보통
Rip-stop	○	○	○	적합
2/1 Twill	○	○	○	적합
Solar Twill	◎	◎	◎	매우 적합

2.2.4 염색시험 및 물성 평가

염색 결과, Graphene-PTT 소재는 약 90~97% 수준의 높은 염착률을 나타내었으며, 소재 간 염착 거동은 유사하게 나타나 균염성이 확보된 것으로 확인되었다.

[그림 4] 개발소재의 염료별 염착속도 측정결과



또한 세탁견뢰도는 전 시료에서 4~5급, 일광견뢰도는 4급 이상으로 나타나 우수한 염색 안정성을 확보하였다. 기능성 평가결과 UV 차단율 99% 이상, 원적외선 방사를 88% 이상, 대전방지성은 목표 기준 충족으로 나타났으며, 아우터용 기능성 소재로서 요구되는 성능을 만족하였다.

염색 색상 분석 결과(L*, a*, b*)에서도 조직 및 테니어 차이에 따른 미세한 색상 차이는 존재하였으나, 전체적으로 균일한 색상 발현이 가능하여 상업적 적용성이 높은 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 0.2 테니어급 Bio-PTT/Graphene 복합 기능성 원사를 기반으로 고감성 아우터용 섬유소재를 개발하고, 공정 안정성 및 기능성을 종합적으로 평가하였다.

Graphene 미립화 및 분산 공정을 통해 평균 입자 크기 약 65 nm 수준의 균일한 분산 특성을 확보하였으며, 이를 적용한 Bio-PTT 필라멘트 방사 공정에서는 노즐 막힘이나 사절 없이 안정적인 생산이 가능함을 확인하였다. 또한 방사된 원사는 인장강도 및 신도 등 주요 물성에서 목표 수준을 만족하였다.

제직 및 후가공 공정을 통해 다양한 조직의 직물을 제조하였으며, 열세팅 및 가공 조건 최적화를 통해 우수한 바디감과 메모리 효과를 발현하였다. 특히 조직 구조에 따라 촉감 및 외관 특성이 차별화되어 고감성 소재로서의 적용 가능성을 확인하였다.

염색 및 물성 평가 결과, 개발 소재는 높은 염착률과 우수한 균염성을 나타내었으며, 세탁견뢰도 및 일광견뢰도 또한 우수한 수준을 확보하였다. 더불어 UV 차단, 원적외선 방사, 대전방지 등 기능성을 동시에 만족하여 아우터용 기능성 섬유소재로서 요구 성능을 충족하였다.

[그림 5] 본 연구에서의 개발소재를 적용한 시제품

품번	257-09-009	257-09-013
제품 이미지		
아이템 특징	Memory effect, UV-CUT, 대전방지성, 원적외선 방출	Memory effect, UV-CUT, 대전방지성, 원적외선 방출
용도	OUTWEAR	OUTWEAR

본 연구에서 개발된 Bio-PTT/Graphene 복합 섬유소재는 친환경성과 기능성을 동시에 확보한 고부가가치 소재로, 향후 아웃도어 의류를 포함한 다양한 섬유제품 분야로의 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 또한 본 기술은 Graphene 기반 기능성 섬유의 상용화를 위한 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 조성훈, 김경미, 이용섭, “저결정화 폴리에스테르의 혼용 율에 따른 열처리 후 촉감 변화에 관한 연구”, 산학기술학회논문지, 제 24권, pp. 1-2, 2023년.
- [2] 박성준, 이재훈, 김태형, “그래핀 기반 기능성 섬유소재의 특성 및 응용에 관한 연구”, 한국섬유공학회지, 제 58권, 제 4호, pp. 210-218, 2021년.
- [3] 김영수, 정민호, 이지훈, “재활용 폴리에스터 기반 기능성 섬유소재 개발에 관한 연구”, 한국섬유공학회지, 제 57권, 제 2호, pp. 95-102, 2020년.

감사의 글

본 연구는 2023년 중소벤처기업부 기술혁신개발사업(과제번호:00220335)의 연구비로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.