

리사이클 어패럴 트림의 품질 향상 및 분광분석

이호영*, 김종훈

*한국섬유소재연구원

e-mail:nanotag@koteri.re.kr

Quality Improvement and Spectral Analysis of Recycled Apparel Trims

Hoyoung Lee*, Jonghoon Kim

*Korea High Tech Textile Research Institute

요약

지속 가능한 발전과 환경 보호에 대한 사회적 요구가 증가함에 따라, 패션 산업은 리사이클 섬유를 활용한 친환경 부자재 개발에 주력하고 있다. 본 연구에서는 재생 폴리에스터 방적사를 이용해 다양한 조직을 갖는 끈 구조의 의류용 부자재를 개발하고, 이를 생산하기 위해 유직기 부품을 개선하여 제조 공정의 품질과 생산성을 향상시키고자 했다. 또한, 초분광 이미징(Hyperspectral Imaging, HSI)을 활용하여 제품의 스펙트럼 데이터를 분석함으로써 조직의 물리적·화학적 특성을 구분하고 평가했다. HSI를 통해 수집한 스펙트럼 데이터는 조직의 밀도와 구조에 따라 피크의 이동과 세기 변화를 나타냈으며, 이를 바탕으로 조직 분류와 품질 평가의 새로운 방법을 모색하는 가능성을 제시한다.

1. 서론

환경에 대한 사회적 책임과 지속 가능한 발전에 대한 요구가 증가함에 따라, 패션 산업은 환경친화적 소재 개발에 집중하고 있다. 패션 의류를 넘어 리사이클 섬유를 활용한 의류 부자재(Apparel Trim) 제품의 연구와 상용화가 활발히 이루어지고 있으며, 이는 자원순환과 환경 보호에 기여하는 중요한 전략으로 자리매김하고 있다.

지속 가능성을 추구하는 산업의 요구에 따라 섬유 분야에서도 초분광 이미징 기술에 대한 관심이 높아지고 있으며, 재활용 섬유의 물리적·화학적 특성 분석을 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 초분광 이미징(Hyperspectral Imaging, HSI)은 각 픽셀의 연속적인 스펙트럼 데이터를 수집하여 물질의 고유한 스펙트럼 특징을 분석할 수 있는 기술이다. 기존의 RGB나 다중분광 이미징이 몇 개의 넓은 밴드를 캡처하는 것과 달리, 초분광 이미징은 수백에서 수천 개에 이르는 좁은 밴드의 연속적인 스펙트럼을 수집한다. 이로 인해 물질의 세부적이고 정밀한 구분이 가능해지며, 물체의 화학적·물리적 특성을 파악하는 데 유리하다.

본 연구는 재생 폴리에스터 방적사를 비롯하여 다양한 조직을 갖는 끈(String) 구조를 갖는 의류용 부자재를 제작하기 위해 유직기의 신규 부품을 교체 및 탑재하여 생산 시 발생하

는 불량이슈를 줄이고 생산성을 높이는 것을 비롯하여, 제품의 초분광 이미징 분석을 통해 스펙트럼 정보를 활용하여 조직에 따른 분광 데이터를 가공 및 분석하는 방법을 탐구한다.

2. 연구방법

2.1 의류 부자재(Apparel Trim) 개발

의류 부자재의 경우 선 염된 재생 폴리에스터 방적사 20's를 사용하여 구조에 따른 합사 및 내외부 구조를 설계하기 위해, Spindle 위치와 개수 등의 배치 조건과 장력공정을 달리하여 5 가지 조직의 스트링 부자재를 개발하였다.

[표 1] 선 염 재생 폴리에스터 섬유 부자재(스트링)

No.	개발 규격	원사 (Count, Ply)	속심 (Count, Ply)	Loss
1	16 spindle Tubular	20's x 6	10's x 2	±10
2	16 spindle Tubular	20's x 12	10's x 2	
3	32 spindle Tubular	20's x 3	10's x 4	
4	32 spindle Flat	20's x 7	-	
5	48 spindle Flat	20's x 3	-	



[그림 1] 공정장비 Braid knitting(좌), Cord knitting(우)

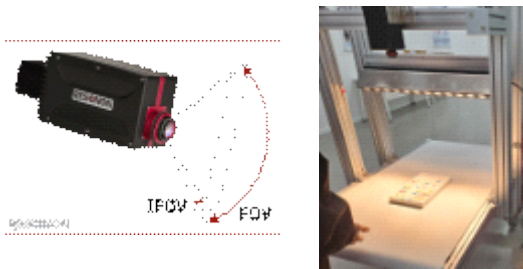
3. 결과

3.1 유직기 공정 개발 부품 특성

신규 개발을 수행하기 위해 유직기의 부품인 보빈, 전자가락, 사도 베어링, 속도제어 시스템을 탑재 및 교체하여 품질 및 작업환경이 개선된 제조공정을 확립하였다. 제조공정으로는 Bobbin winding, Braiding, Hot drum, Inspection, Spool winding 순으로 작업절차가 선행되었다.

2.2 데이터 수집 및 전처리

초분광 영상 데이터 수집을 위해 미국 Resonon사의 PIKA-IR 모델(320개의 공간 픽셀, 168개의 스펙트럼 채널)을 사용하였다. 이 장비는 880~1700 nm의 근적외선(NIR) 영역을 측정할 수 있다. 데이터 취득 환경은 WD :70 cm, FOV: 29 cm, Resolution: 0.9 mm이고, 취득한 데이터의 전처리와 분석은 제조사에서 제공하는 Spectronon V3.4.11 소프트웨어를 통해 수행되었다. 분석 과정에서는 900~1,100 nm 범위를 대상으로 하여 데이터를 Crop 처리하고, Savitzky-Golay 필터를 사용해 Smoothing을 적용하였다. 또한, 데이터의 일관성을 유지하기 위해 정규화(RMS)와 1차 미분 처리를 진행하였다.



[그림 2] Resonon PIKA-IR 카메라 및 Workbench

2.3 유사도 분석

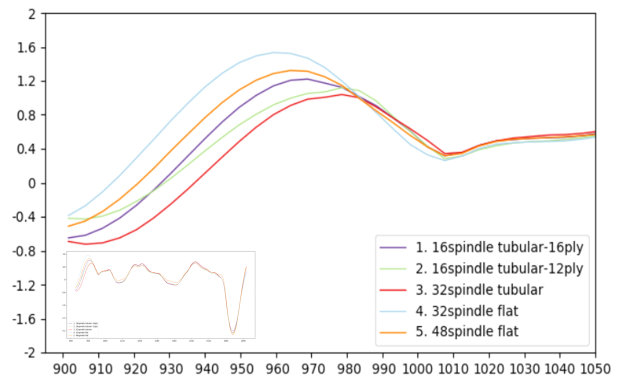
전처리를 완료한 후, 유사도 분석을 위해 이미지의 접힘이나 말림이 없는 중심부를 기준으로 분석 영역을 수동 및 자동 지정하였다. 각 영역에서 평균 반사율(Mean Spectrum)을 수집하여 유사도 분석을 수행하였다. 유사도 분석은 SAM 혹은 Eludien 기법을 사용했으며, 이 과정에서 조직에 따른 분석 영역 중 가장 높은 선별 성능을 보이는 영역의 분광 정보를 기반으로 관별에 기여하는 주요 파장대를 도출하였다.

[표 2] 유직기 공정 신규부품 개발현황

No.	기존	개발(안)	실물
1			
보빈 길이			
2			
전자가락			
3			
상판사도 베어링			
4			
속도제어시스템			

3.2 초분광 이미지 스펙트럼 해석






동일 소재 및 조성을 갖는 섬유(표 1)이므로 모든 스펙트럼의 형태는 유사하지만, 물리적인 밀도에 의한 차이로 식별이 가능한 파장대인 900~1100 nm임을 확인하였다. 전처리를 완료한 스펙트럼 그래프는 그림 3과 같다.



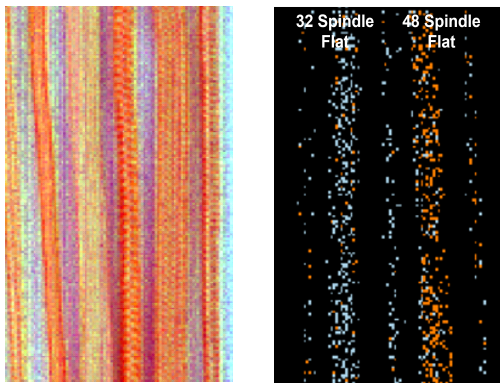
[그림 3] 브레이드 조직구조에 따른 Spectral plot

표 3에 따라 No.1~3 샘플의 경우 속심이 지지하고 있는 튜브 형태의 끈 구조이며, No. 4~5 샘플의 경우 플랫폼 형태의 테이프 구조를 특징으로 하고 있다. 16 spindle 규격에서 pick/in 및 Braid angle 특성에 따라 스펙트럼 피크가 긴 파장영역으로 이동하는 경향을 반영하고 있다. 동일 규격에서의 형태(튜브 혹은 플랫폼)에 따라, 동일 형태에서 다른 규격(32 spindle, 48 spindle)에 따라 피크의 이동뿐만 아니라 세기도 변화하는 경향을 반영하고 있다.

[표 3] 재생 폴리에스터 기반 섬유 부자재 정보

No.	규격	사진
1	16 spindle Tubular-16ply	
2	16 spindle Tubular-12ply	
3	32 spindle Tubular	
4	32 spindle Flat	
5	48 spindle Flat	

5종 부자재에 대한 전처리 후 flat 조직에 대한 스펙트럼을 추출하여 유사도 분석 결과 라인 스캔한 5종에 대한 부자재 가운데 32 spindle, 48 spindle 규격의 flat 조직만을 분류하는 경향을 확인하였다.



[그림 4] 부자재 Spindle flat 조직 분류(전처리, 유사도 분석)

4. 결론

의류 부자재 공정을 통하여 다양한 개발규격(Spindle, End)을 갖는 재생 폴리에스터 선형 끈 5 종을 개발하였다. 본 연구를 통해 기존 장비에 신규 부품을 디자인하고 탑재 및 교체함으로써 불량이슈를 줄이고 생산성을 높인 공정을 기대할 수 있다. 개발한 동일 소재 및 조성의 부자재 5 종은 초분광

이미징 분석기법을 활용하여 조직구조에 따른 스펙트럼 분석을 수행하였다. 섬유의 물리적 형태와 조직에 따라 스펙트럼 피크의 이동 및 세기의 변화가 발생하였다. 이는 조직이 치밀해질수록 피크가 더 긴 파장영역(적색 방향)으로 이동하는 경향을 반영하고 있어, 빛의 산란과 흡수가 증가한 것으로 추정된다. 이러한 특성은 선형 및 다양한 조직을 갖는 구조의 스펙트럼 변화 분석에 중요한 단서가 될 수 있을 것이다.

5. Acknowledgments

본 연구는 경기도경제과학진흥원 섬유분야 기술개발사업(과제번호:2424003) 지원으로 수행된 연구결과임

참고문헌

[1] M. M. Islam, P. Perry and S. Gill, "Mapping environmentally sustainable practices in textiles, apparel and fashion industries: a systematic literature review," *Journal of Fashion Marketing and Management*, vol. 25, (2), pp. 331-353, 2021.

[2] M. S. Lee, K. S. Kim, G. Min, D. H. Son, J. E. Kim, and S. C. Kim, "Recent Trends of Hyperspectral Imaging Technology," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 34, no. 1, pp. 86 - 97, Feb. 2019.

[3] 김대용, 조병관 and 김영식. "초분광 영상을 이용한 송이토마토의 비파괴 품질 예측" *Korean Journal of Agricultural Science* 39, no.3 (2012) : 413-420

[4] 안유빈, 조하진 and 이명성. "가시-근적외선(VNIR) 초분광 영상을 활용한 흑색오염물 세척효과 비교 고찰" *보존과학회지* 38, no.5 (2022) : 509-519.

[5] Liu, Y., Tao, F., Yao, H. et al. Feasibility study of assessing cotton fiber maturity from near infrared hyperspectral imaging technique. *J Cotton Res* 6, 21 (2023).

[6] Pei, Z.; Huang, Y.M.; Zhou, T. Review on Analysis Methods Enabled by Hyperspectral Imaging for Cultural Relic Conservation. *Photonics* 2023, 10, 1104