

리사이클 나일론 원단에 대한 소재 선별기술 개발에 관한 연구

박성빈*, 이호영*, 우종형*

*한국섬유소재연구원

e-mail:linus007@koteri.re.kr

Research on the development of Textile identification using Hyperspectral imaging for Recycle Nylon Fabric

Seongbin Park*, Hoyoung Lee*, Jonghyung Woo*

*Korea High Tech Textile Research Institute

요약

본 연구는 리사이클 나일론 및 나일론 원사로 제작한 원단을 비롯하여 이를 포함하여 혼섬하여 제작된 원단을 대상으로 초분광 이미징 측정을 통해 분광라이브러리를 확보하고 유사도를 분석함으로써 소재 선별에 필요한 기술을 확보하는데 목적을 둔 연구이다. 이를 위해 나일론 100%, 리사이클 나일론 100% 및 나일론/리사이클 나일론이 포함된 6종의 원단을 대상으로 NIR 영역인 900~1,700nm에서 초분광 이미지를 획득, 전처리 과정을 통해 원데이터를 보정하였으며 자동 영역지정 및 육안으로 분석 범위를 지정하였다. 지정된 각 영역으로부터 추출한 분광정보는 유사도 분석 및 임계값 조정을 통해 측정 대상별로 적합한 분광정보를 분광라이브러리를 선정하였다. 또한 분광라이브러리를 대상으로 서로 다른 섬유 조성의 원단을 대상으로 유사도를 분석하였다. 그 결과 나일론 100% 및 리사이클 나일론 100%, 나일론/리사이클 나일론 혼섬 원단에 대한 관별관여 과장대에 대한 차이를 확인하였으며 유사도 분석에 따른 선별 정도를 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 초분광 이미징 분석을 이용한 의류의 섬유조성별 선별/분류에 필요한 기술 개발 시 활용될 것이다.

1. 서론

탄소중립, 저탄소 등 환경보호에 대한 소비자의 관심과 기업의 노력이 더해지면서 PET와 같은 다른 용도의 제품으로부터 섬유화하여 의류 용도로 재활용하는 바와 같이 다양한 리사이클 제품이 판매되고 있다. 리사이클 제품의 경우 재활용 소재 증명에 대한 이슈도 함께 증가하고 있는데 이는 리사이클 제품에 함유된 재활용 원료의 유효성을 확인하는 인증 기법 등과 함께 재활용/의류 선별 공정 등의 경우 해결수단으로써 초분광 이미징에 대한 기술 개발이 요구되고 있다. 초분광 이미징은 각 이미지 픽셀을 조밀한 연속적인 스펙트럼 정보로 표현, 객체의 상태, 구성, 특징, 변이를 도출하여 객체를 식별하거나 객체의 결합 정도를 측정할 수 있다. 특히 디지털 제조에 대한 이슈가 증가하면서 머신 비전에 대한 기술 발전과 함께 최근에는 식품에 대한 품질 검수나 재활용품 분류에 목적을 둔 시스템도 개발되고 있는 실정이다.

섬유와 관련한 연구의 경우 Blanch-Perez-del-Notario 외 [1]의 연구에 의하면 폴리에스터 및 면, 울, 실크 및 레이온 원단에 대해 초분광 이미징 분석을 통해 선별하는 기술을 개발

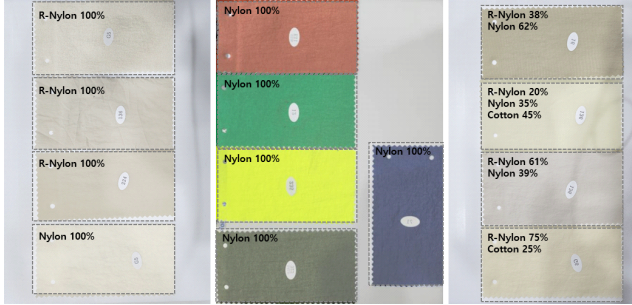
하였으며 Moroni, Mei는 생분해성 및 일반적인 플라스틱 고분자에 대해 초분광 이미징 분석을 비롯하여 PET 및 PVC를 빠르게 선별할 수 있음을 밝혔다[2][3]. 또한 2018년 EU에서 SPECIM이 후원하는 연구에 따르면 면/나일론 혼섬 원단을 포함하여 흐름 공정상에서 직물을 빠르고 정확하게 선별하기 위한 초분광 이미징의 유효성에 대한 연구가 공개된 바 있다[4]. 본 연구는 나일론/리사이클 나일론 원사로 개발된 의류용 원단을 비롯하여 이를 포함하여 제작된 의류용 원단을 대상으로 초분광 이미징 분석을 통해 수집한 분광정보를 이용하여 의류에 대한 선별/분류에 필요한 기술을 확보하는데 목적을 둔 연구이다.

2. 연구방법

2.1 측정 원단 선정

나일론 100%, 리사이클 나일론 100%를 비롯하여 이에 대한 혼섬, 면이 포함된 서로 다른 혼용율을 가지는 원사로 개발된 아웃도어용 의류의 제작에 목적을 둔 평직으로 제작된

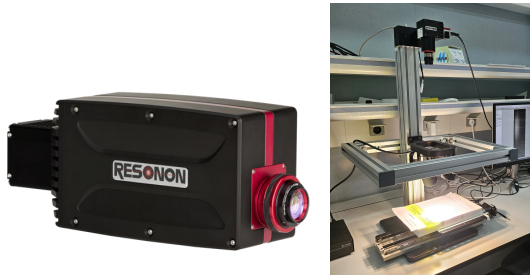
원단 6종을 대상으로 하였으며 이 중 나일론 100%의 경우 서로 다른 색상 6종으로 하였으며 리사이클 나일론 100% 원단의 경우 3종으로 수행하였다(그림 1).



[그림 1] 측정 원단 및 이에 대한 혼용율 현황

2.2 데이터 수집 및 전처리

데이터 수집을 위한 초분광영상은 미국 Resonon에서 개발한 PIKA-IR(320 spatial pixels, 168 spectral channels) 모델로써 해당 장비에 의해 측정되는 분광범위는 880~1,7200nm으로 NIR 영역으로 하였다(그림 2).



[그림 2] Resonon PIKA-IR 카메라 및 workbench

데이터 분석을 위한 전처리 및 분석은 제조사인 Resonon에서 제공하는 소프트웨어인 Spectron V3.4.11을 사용하였다.

전처리는 Crop wavelengths를 통해 900~1700nm영역을 대상으로 하였으며 Smoothing을 통해 보정하였다. Smoothing은 초분광 이미징 분석에서 Savitzky-golay Filter 및 1차 미분하였으며 또한 데이터 범위를 일치하기 위해 정규화(RMS)를 실시하였다.

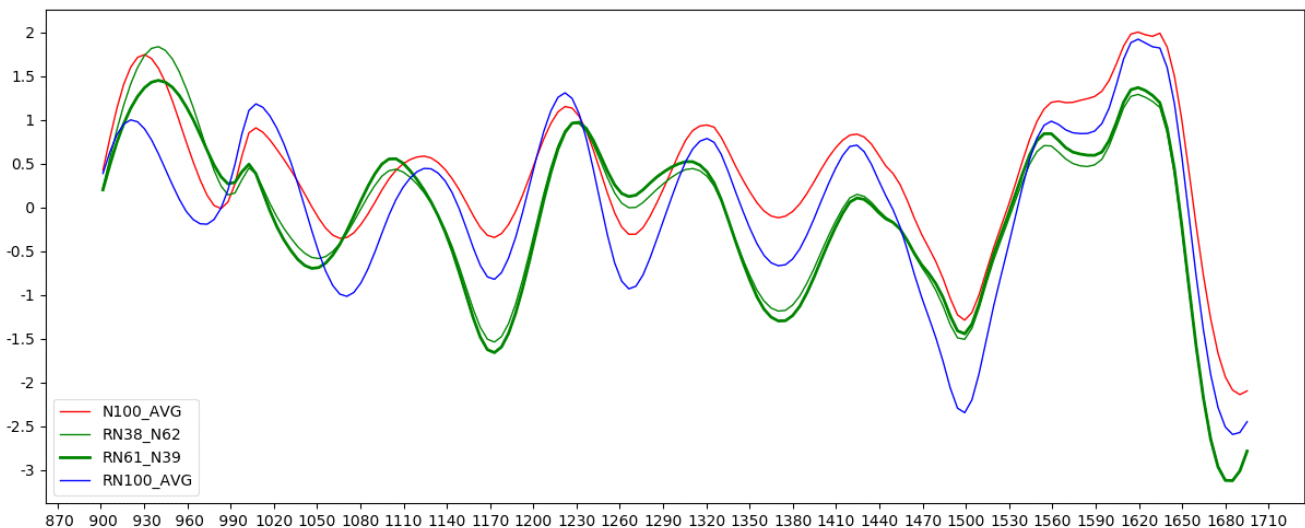
2.3 유사도 분석

전처리된 초분광 이미징 데이터는 유사도 분석을 위해 원단의 모서리 부분이나 라벨링을 위한 스티커 부위를 제외하여 좌측 및 우측, 좌-우측의 영역을 위주로 3곳 이상을 분석 영역을 지정한 후 평균 반사율(Mean Spectrum)을 수집하고 유사도 분석을 수행하였다. 유사도 분석은 SAM(Spectral Angle Mapper) 알고리즘을 사용하였으며 각각의 분석 영역 중 동일한 임계값(Threshold)에 대해 가장 많은 선별 영역을 가지는 분광정보를 대표 분광라이브리리로 사용하였다.

3. 결과

3.1 판별 관여 파장대 분석

리사이클 나일론 100%(그림 3의 RN100_AVG)의 경우, 3종에 대해 동일한 영역의 파장대에서 변곡점이 나타났으며 임계점에 대해서는 일부 차이를 보임으로써 판별 관여 파장대를 추정할 수 있었다. 나일론 100% 원단(N100_AVG)의 경우 1300nm 이하의 파장대에서는 변곡점이 관찰되는 파장대가 서로 다르게 나타났지만 1200nm 이후의 유사하게 진행된다가 1300nm 이후는 변곡점이 관찰되는 파장대가 동일하게 나타남을 확인하였다. 나일론/리사이클 나일론 혼성한 원단의

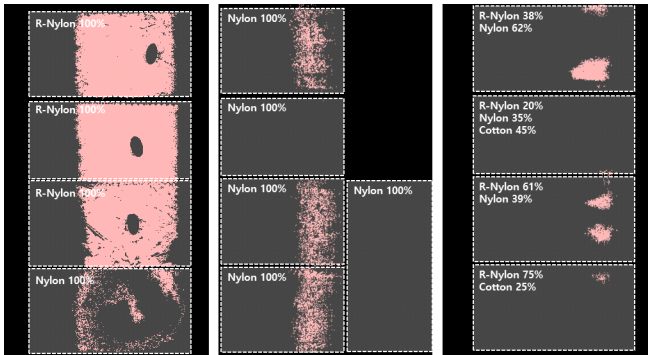


[그림 3] 나일론 100%(N100_AVG), 리사이클 나일론(RN100_AVG) 및 이를 혼용한 원단에 대한 평균 분광정보

경우 각각 비율이 나일론 38%/리사이클 나일론 62%, 나일론 39%/리사이클 나일론 61%로 약 1/3의 비율로 혼성되어 있는데 혼용율이 서로 다름에도 불구하고 변곡점은 거의 유사하며 임계점에 대한 차이는 다소 있지만 판별관여 파장대가 유사함을 확인하였다(그림 3).

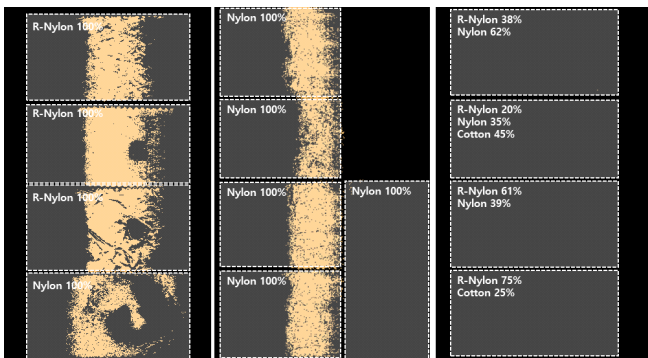
3.2 선별을 위한 유사도 분석

리사이클 나일론 100% 원단에 대한 유사도 분석결과 리사이클 나일론 100% 원단 3종 모두 0.5의 임계값(threshold) 범위에서 원단의 상단 및 하단 부위, 라벨링 영역을 제외한 영역을 나타냄을 확인하였다. 단 나일론 100% 원단 6종에 대해서는 선별 영역이 상대적으로 약하게 나타났으며 나일론/리사이클 나일론 및 면 혼방에서도 매우 낮은 영역으로 유사성을 나타냄을 확인하였다(그림 4).



[그림 4] 리사이클 나일론 100% 분광정보에 대한 유사도 분석 결과

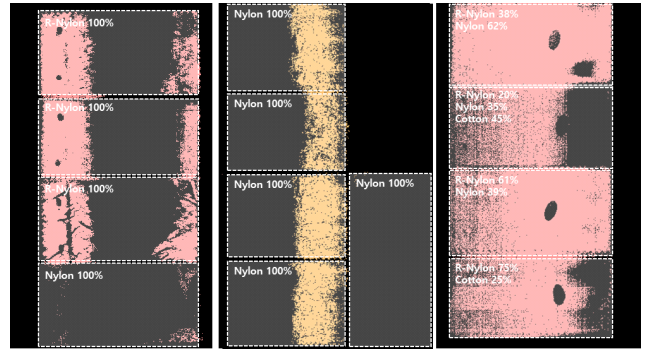
나일론 100% 원단의 경우 동일한 0.5의 임계값에서 20~50% 영역에 대한 유사성을 나타내었는데 특히 나일론/리사이클 나일론 혼섬/면 혼방에 대해서는 거의 감지되지 않았으며 나일론 100% 1종에 대해서도 감지하지 못함을 확인하였다. 이는 조명에 대한 간섭으로 추정되며 보다 자세한 원인 분석을 위한 후속연구가 요구된다(그림 5).



[그림 5] 나일론 100% 분광정보에 대한 유사도 분석 결과

나일론/리사이클 나일론 혼섬의 경우, 혼용율과 상관 없이 50% 이상의 선별이 가능하게 나타났다. 이는 나일론 비율이

높거나(62%) 낮더라도(39%) 거의 유사하게 나타났으며, 면의 비율이 높은 경우, 반대에 비해 더 높은 선별력을 확인할 수 있었다. 또한 리사이클 나일론 100% 원단 및 나일론 원단 100%에 대해서도 일부 선별이 가능함을 나타내었지만 나일론 100%와 동일하게 일부 원단에서는 선별력이 현저히 낮게 나타남을 확인하였다(그림 6).



[그림 6] 나일론/리사이클 나일론 혼섬 분광정보에 대한 유사도 분석 결과

4. 고찰 및 결론

나일론 100%, 리사이클 나일론 100%를 비롯하여 혼섬 및 면 혼방 원단을 대상으로 한 초분광 이미징 측정 및 분석한 결과 분광정보를 토대로 한 판별 관여 파장대에 대해서는 유사성을 확인할 수 있었으며 특히 동일한 섬유 조성의 분광정보에서는 그 차이가 매우 적음을 관찰하였다. 또한 나일론 100%의 경우, 상승곡선에서 임계점이 다른 원단에 비해 높게 형성됨을 확인하였지만 리사이클 나일론의 함유량에 따라 임계점에 미치는 영향에 대해서는 유의한 트렌드는 관찰되지 않았다. 예를 들어 나일론 원사의 비율이 가장 적은 리사이클 나일론 100%의 분광정보에서 1050nm 및 1500nm에서의 임계점이 가장 낮게 형성되었지만 나일론 원사의 비율이 30% 이상 함유된 1170nm 및 1360nm, 1680nm 대에서는 리사이클 나일론 100%가 더 높은 임계점을 나타낸 것으로 확인되었다. 만일 나일론 소재에 대해 나일론 100% 혹은 리사이클 나일론 원사의 비율을 추정하고자 할 경우, 후속 연구가 필요할 것이다. 유사도 분석의 경우, 동일한 혼용율에 대해서는 서로 다른 원단이라도 동일한 수준의 선별 수준이 나타남을 확인하였다. 그러므로 동일한 원료임에도 혼용율에 대한 차이가 있을 경우, 각각에 대해 분광라이브러리를 확보함으로써 선별력을 높일 수 있음을 시사한다. 하지만 나일론 100%의 경우 일부 원단에 대해서 동일한 원사임에도 불구하고 선별 수준에 대한 차이를 보였는데 이는 조명을 비롯하여 색상 등 다양한 원인이 있을 것으로 추정된다. 예를 들어 나일론 100%로 제작된 원단 5종의 경우(그림 1의 중간) 동일한 제작방법과 가공에 대해 염색만 상이한 차이를 가지고 있지만 1종에 대해서

만 선별에 대한 차이가 나타났으며 나머지 4종에 대해서는 유사한 선별 수준이 나타남에 따라 촬영 시 위치에 따른 조명의 영향으로 추정되는 바이다. 이는 초분광 이미징 측정 시 환경 변수의 관리가 매우 중요함을 의미한다.

본 연구는 나일론 및 리사이클 나일론 원단에 대해 분광정보를 수집하고 유사도 분석을 통해 소재 선별기술 개발을 위한 연구결과를 확보하였다. 향후 동일 원단에 대해 염색 및 조명에 대한 차이, 원사 함유량을 비롯하여 제직 혹은 편직 등 원단 제작에 대한 차이 등을 고려한 분광라이브리리 개발과 같은 후속연구를 통해 원단의 품질검수나 의류 등에 대한 선별 및 분류 시스템 개발이 가능할 것으로 기대된다.

5. Acknowledgments

본 연구는 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업(과제번호:RS-2023-00218797) 지원으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- [1] Carolina, Blanch & Saeys, Wouter & Lambrechts, Andy. Hyperspectral imaging for textile sorting in the visible - near infrared range. *Journal of Spectral Imaging*. 8. 10.1255/jsi.2019.a17, 2019년
- [2] Monica Moroni, Alessandro Mei, "Characterization and Separation of Traditional and Bio-Plastics by Hyperspectral Devices". *Applied Sciences*. 10. 2800. 10.3390/app10082800, 2020년
- [3] Monica Moroni, Alessandro Mei, Alessandra Leonardi, Emanuela Lupo, Floriana La Marca, "PET and PVC Separation with Hyperspectral Imagery". *Sensor*. 15., 2205-2227, 10.3390/s150102205, 2015년
- [4] Esko Herrala, "Textile identification and sorting using hyperspectral imaging", Specim, Spectral Imaging Ltd., Finland, April, 2020년