

Lyocell/Wood pulp 섬유를 활용한 Wet-laid Nonwoven 시트의 특성

권순완¹, 이용주¹, 이도영¹, 최정락², 김형진^{3†}

접수일(2024년 4월 10일), 수정일(2024년 4월 21일), 채택일(2024년 4월 23일)

The Characteristics of Wet-laid Nonwoven Sheet Using Lyocell/Wood Pulp Fibers

Soon Wan Kweon¹, Yong Ju Lee¹, Do Young Lee¹, Jeong Rak Choi², Hyoung Jin Kim^{3†}

Received April 10, 2024; Received in revised form April 21, 2024; Accepted April 23, 2024

ABSTRACT

Nonwoven fabrics are widely utilized in various industries due to their excellent bulk characteristics, productivity, and flexibility. With increasing global interests in environmental sustainability, there is a growing trend towards utilizing biodegradable and renewable raw materials in nonwoven production. In this study, we employed papermaking technology to fabricate wet-laid nonwoven fabric using Lyocell, a natural regenerated cellulose fiber, and wood fiber. We aimed to investigate the influence of fiber selection and mixing ratio on mechanical and surface properties. Mechanical property analysis revealed that the inclusion of wood fiber led to improve strength while reducing bulk due to the low density and smooth surface structure of Lyocell. To analyze surface characteristics, surface roughness and surface friction were analyzed, and as a result of analyzing each parameter, the coefficient of determination (R^2) of the two parameters was 0.02, which was analyzed as an independent variable. Therefore, it was judged that a complementary approach considering both variables was necessary. As a result of surface roughness analysis, it was difficult to identify significant differences due to increasing the ratio of lyocell to wood fiber. However, as a result of the surface friction analysis, the F -MAD of the wet nonwoven fabric made

1 국민대학교 과학기술대학 임산생명공학과(Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin University), 학생

2 한국섬유개발연구원(Korea Textile Development Institute), 책임연구원

3 국민대학교 과학기술대학 임산생명공학과(Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin University), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: hyjikim@kookmin.ac.kr (Address: Dept. of Forest Products & Biotechnology, College of Science and Technology, Kookmin Univ, Seoul, Republic of Korea)

only with Lyocell fiber showed a value of 0.043, and the value decreased when 50% wood fiber was mixed, confirming the possibility of improving softness. Furthermore, the analysis highlighted the influence of fiber length and width on softness, suggesting the importance of fiber characteristics in nonwoven fabrication. Overall, our findings suggest that incorporating wood fibers in wet-laid nonwoven manufacturing can enhance both strength and softness. These results provide insights for future nonwoven manufacturing technologies and quality control strategies.

Keywords: *Regenerated cellulose fiber, lyocell, wet-laid nonwoven, bulk, tensile index, surface profile, surface roughness, surface friction, profilometry*

1. 서론

경제 발전과 삶의 질 향상에 따른 편리성과 효율성을 추구하는 부직포(nonwoven)의 수요는 증가하는 추세이다. 부직포는 우수한 벌크 특성과 생산성, 유연성 등을 지닌 소재로 섬유와 섬유의 구성, 구조 및 성능에 따라 다양하게 제조되어 산업적으로 널리 사용되고 있다.¹⁻³⁾ 일반적으로 부직포 용도의 30% 이상은 위생용품에 사용되고 있으며, 건축 및 건축자재용은 17.9%, 가정 및 산업용 제품은 14.8%를 차지한다.⁴⁾ 부직포의 제조 원료로는 주로 polypropylene이며, polyester, viscose rayon 등 합성 및 무기재료로 생산된 인조 섬유 기반으로 제조되고 있다.^{4,5)} 부직포 수요 증가에 기인한 생분해 되지 않는 섬유의 사용량 증가는 환경 문제와 화학 제품의 유해성 문제가 초래되는 결과를 가져오게 된다. 따라서 환경에 대한 인식 향상과 지속 가능성 향상을 목적으로 부직포 생산에 더욱 많은 함량의 생분해성 및 재생 가능 원료를 사용하여 환경 문제 최소화를 실현하기 위한 관심이 높아지고 이에 따른 연구가 다수 보고되고 있다.⁶⁾

Kellie⁷⁾는 부직포 생산 기술에 친환경 소재의 접목을 실현하기 위해 대마 섬유와 셀룰로오스를 습식 부직포(wet-laid nonwoven) 생산 기술에 적용하여 티백 생산에 관한 연구를 진행한 바 있으며, Le 등⁸⁾은 대나무와 PLA를 이용한 부직 복합 막 지지체를 제조하여 인장강도 32.7-73.2 Mpa을 지닌 다공성 구조의 부직포 제조 연구를 진행한 바 있다. 이와 같이 다수의 연구를 통해 목재 및 비목재 섬유와 같은 친환경 셀룰로오스 소재의 응용은 부직포 산업에서 유용하게 사용될 수 있는 소재

임이 검증되었다.

목재 섬유는 지속가능한 자원이자 재생 가능한 자원으로 주로 종이, 보드 또는 위생용 티슈와 같은 부직포 산업에 사용된다.⁹⁾ 또한, 합리적인 비용과 수급의 용이성으로 인해 다양한 펄프 사용이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 하지만, 상대적으로 짧은 섬유장으로 인해 부직포 용도제품 응용 분야로의 접목에 한계가 있어 타 섬유와의 혼합이 요구된다. Lyocell은 재생 셀룰로오스 섬유로 완전 생분해 된다는 특징을 지니고 있다. 이는 목재 섬유를 가열한 N-methyl morpholine oxide(NMMO) 용액에 용해시킨 후 방사 및 세척하여 생산된다. 타 공정에 비해 폐쇄 루프 공정에서 펄프를 섬유로 변환하기에는 적은 화학물질을 필요로 하며^{1,10)} viscose rayon 섬유에 비해 친환경적인 공정을 통해 제조된다.¹¹⁾ 또한 Lyocell 섬유는 우수한 습윤강도와 흡수성을 지닐 뿐 아니라¹²⁾ 매끄러운 표면과 원섬유형 셀룰로오스 구조로 인하여 효율적인 웹을 형성할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 응용 분야로는 흡수성 부직포, 부직포 필터, 위생용 부직포, 의료용 부직포 등이 있다.¹³⁾

최근 목재 섬유와 Lyocell 섬유를 활용한 부직포 생산 기술 및 원료 배합 조건에 따른 제조 공정에 관한 연구가 진행된 바 있으며¹⁴⁾ 분산성 물티슈 개발을 위해 목재 섬유 70%, Lyocell 28%, Bicomponent 섬유 2%를 혼합하여 웹 형성 및 결합 공정에 대한 연구도 보고되었다.^{15,16)} 또한, 습식 부직포 공정에 목재 섬유와 Lyocell 섬유 적용시 섬유 상호간 2차원 통합 리본형 구조 형성에 따른 구조적 우수성이 밝혀진 바 있다.¹⁷⁾ 이와 같이 목재 섬유와 Lyocell 섬유를 혼합하여 부직포 시트 형성 시

방면에서 이점을 지닐 수 있지만 섬유 혼합 비에 기반하여 표면 특성을 규명하기 위한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 제지 기술을 활용하여 천연 재생 셀룰로오스 섬유인 Lyocell과 목재 섬유를 이용한 습식 부직포 생산 가능성을 조사하였다. 또한, 섬유의 적절한 선택과 섬유 혼합 비율에 기인한 영향을 탐색하기 위해 다양한 섬유 배합비를 갖는 습식 부직포를 생산하였으며 물리적 특성과 표면 특성 분석을 통하여 섬유 배합비에 따른 영향을 탐색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 목재 섬유

연구에 사용된 목재 펄프는 국내 M사에서 침엽수 표백 크라프트 펄프(Sw-BKP)와 활엽수 표백 크라프트 펄프(Hw-BKP)를 시트 형태로 분양 받아 사용하였다. 섬유의 혼합 고해를 가정하여 각 펄프는 실험실용 펄프 해리기(Pulp disintegrator, L&W, Sweden)로 해리 시킨 후 Valley beater를 이용하여 각각 30분씩 고해하여 사용하였다. 이때 여수도 측정기(CSF Tester, Lorentzen & Wettre, Sweden)를 이용하여 여수도를 측정한 결과 여수도는 각각 640 CSF mL, 400 CSF mL였다.

2.1.2 Lyocell 섬유

Lyocell은 Austria L사에서 구매하여 사용하였으며 섬유장 4 mm인 Lyocell을 수령한 그대로 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 섬유 분석

ISO 16065-2에 의거 Fiber tester(Fiber Tester Plus, Lorentzen & Wettre, Sweden)를 이용하여 실험에 사용된 각 섬유에 대한 평균 섬유장(average fiber length)과 평균 섬유폭(average fiber width)을 측정하였으며 측정시료는 물 200 mL에 섬유 0.1 g을 사용하였다. 또한, 200 mesh 스크린이 설치된 DDJ(Dynamic Drainage Jar)를 이용하여 각 섬유의 미세분 함량을 측정하였다.

2.2.2 습식 부직포 제조

습식 부직포 제조 시 Sw-BKP와 Hw-BKP를 각각 Lyocell과 상이한 비율로 배합하여 펄프 배합에 따른 sheet 형성 효과를 분석하였다. 섬유 배합비의 상세 내용은 Table 1에 나타났다. 배합된 섬유를 WEPS(wet end process simulator, SAMBO, Korea)를 이용하여 평량 100 g/m²의 단일 겹 습식 부직포를 제조하였으며 습식 웹 형성 후 auto press(Hantech Co., Ltd., South Korea)를 이용하여 410 kPa의 압력으로 5분간 압착 처리하였고, 이후 drum dryer(GIST Co., Ltd., South Korea)로 130℃에서 1 cycle 동안 건조하여 부직포 sample을 제

Table 1. Pulp mixing ratio compositions of wet-laid nonwoven fabric

Sample code	Pulp	Lyocell blend ratio, %	Basis weight, g/m ²
S50	Sw-BKP + Lyocell	50	100
S60		40	
S70		30	
S80		20	
S90		10	
S100		0	
H50	Hw-BKP + Lyocell	50	
H60		40	
H70		30	
H80		20	
H90		10	
H100		0	
L100	Lyocell	100	

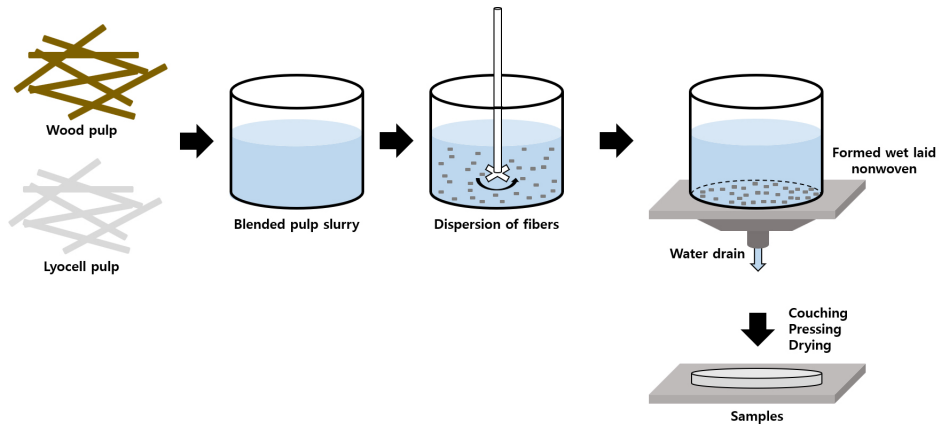


Fig. 1. The schematic illustration of wet-laid nonwoven manufacturing process.

작하였다. Fig. 1은 습식 부직포 제조 과정을 시각화한 것이다.

2.2.3 형태학적 특성 측정

FE-SEM(JEM-2100F, JEOL Ltd., Japan)을 이용하여 제조된 습식 부직포의 형태학적 특성 분석을 실시하였다. SEM 이미지 분석 시 부직포 sample의 전기 전도성 향상을 위해 30초 간 플라티늄(platinum, Pt)으로 코팅하였으며, 가압전압은 3 kV로 설정하였다.

2.2.4 물리적 특성 측정

KS M ISO 187에 의거하여 제조된 습식 부직포의 물리적 특성 분석을 위해 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 2\%$ 의 표준 대기조건에서 48 h 이상 조습 처리 후 시험을 진행하였다. 평량은 KS M ISO 536, 밀도 및 벌크는 KS M ISO 534에 따라 분석하였다. 각 조건의 시트에 대한 인장강도는 KS M ISO 1924-3에 의거 인장강도 측정기(tensile tester, L&W, Sweden)를 이용하여 분석하였다.

2.2.5 표면 특성 측정

습식 부직포의 표면 특성 분석을 위해 직접측정법의 surface tester(KES-SESURU, Kato Tech Co., Ltd., Kyoto, Japan)를 이용하여 표면 거칠기(R)와 표면 마찰(F) 프로파일을 추출하였다. 프로파일 추출을 위해 single wire type의 탐침을 사용하였으며, 측정 조건은 접촉 하중(contact force) 5 gf, 스캔 길이(scan length) 20 mm,

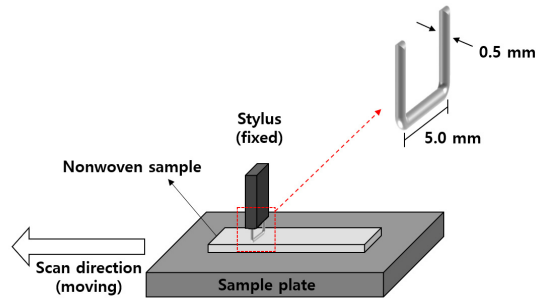


Fig. 2. Configuration of the surface tester and geometry of single wire type stylus.

스캔 속도(scan speed) 1.0 mm/s로 설정하였다.¹⁸⁾ 아울러, 탐침의 분해능을 data logger(Midi logger GL900, Graptec, Japan)를 활용하여 기존 surface tester 보다 10배 증폭된 2,000개의 데이터를 추출하였다. 데이터는 10회 반복 측정하여 추출된 프로파일의 평균 값을 이용하였으며 측정 장비의 구성 및 형상을 Fig. 2에 도시하였다.

추출된 표면 프로파일 데이터(Fig. 3)는 Table 2의 계산식을 이용하여 데이터 분석을 진행하였다. 데이터는 표면 거칠기의 평균(the average of roughness, R_a)과 평균절대편차(the mean absolute deviation from R_a , R -MAD) 또한, 표면 마찰(coefficient of friction, COF)의 평균(the average of COF, μ)과 평균절대편차(the mean absolute deviation from μ , F -MAD)를 계산하여 분석을 진행하였다. 또한, 각 프로파일 데이터는 데

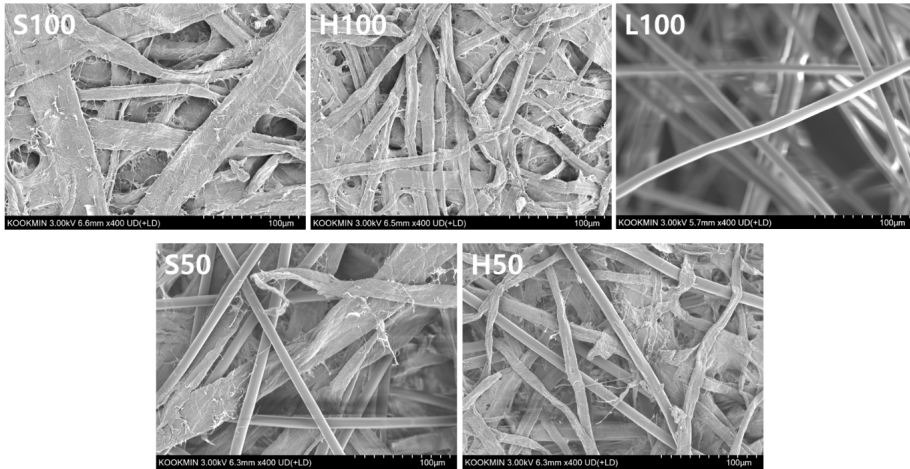


Fig. 4. SEM images of wet-laid nonwoven sample.

Table 3. Fiber analysis results

Fiber	Average fiber length, mm	Average fiber width, μm	Aspect ratio of fiber, %	Fines contents, %
Sw-BKP	2.046	33.2	6.16	4.88
Hw-BKP	0.772	18.8	4.11	8.80
Lyocell	3.847	20.8	21.14	-

유의 경우 Lyocell에 비하여 형태적 균일성이 낮으며 큰 섬유폭을 보유한 것으로 관찰되었으며 이러한 형태학적이질성이 물리적 및 표면 특성에 영향을 줄 것으로 사료된다.

3.3 습식 부직포의 물리적 특성 분석

Fig. 5(a)는 각 시트의 벌크(bulk) 특성 결과로, Lyocell 섬유만으로 제조된 습식 부직포는 $4.113 \text{ cm}^3/\text{g}$ 의 값을 나타냈으며, 목재 섬유의 첨가 비율이 증가할수록 벌크는 감소하였다. 이는 섬유 특성에 기인한 결과로 여겨진다. 목재 펄프의 경우 건조 공정을 통과하며 마이크로피브릴 배향 특성에 영향하여 폭방향으로 수축(micro-compression)이 발생하는 반면¹⁹⁾ Lyocell의 경우 섬유 수축에 의한 치수안정성이 목재 섬유에 비해 안정적이다.²⁰⁾ 따라서 Table 3에서 확인하였듯 초기 목재 섬유폭이 Lyocell에 비해 컸음에도 건조에 의한 수축으로 목재 섬유 첨가 비율이 증가될수록 벌크가 감소한 것으로 사료된다. 또한 목재 섬유의 밀도는 약 $1.79 \text{ g}/\text{cm}^3 - 1.90 \text{ g}/\text{cm}^3$ 인 반면 Lyocell 섬유의 밀도는 약 $1.50 \text{ g}/\text{cm}^3$ 인 것을

문헌²¹⁻²³⁾을 통해 확인할 수 있었다. 따라서 섬유 자체 밀도 역시 상기 결과의 원인이 될 수 있을 것이라 판단된다.

Fig. 5(b)는 인장강도(tensile strength) 결과로, Lyocell 섬유에 대한 목재섬유 비율 증가에 따라 인장강도는 증가하였다. 이는 Web 형성 특성에 기인한 결과로 목재 섬유의 경우 고해 과정에서 섬유 표면에 형성된 마이크로 피브릴이 bonding area의 증가를 야기하여 Lyocell에 비하여 web 형성 시 보다 높은 강도적 특성을 형성하는 반면 Lyocell 섬유의 경우 Fig. 4에서 확인하였듯이 매끄러운 표면 구조로 인하여 섬유 사이의 접촉 면적이 낮아 섬유간 결합 형성에 제한이 있어^{24,25)} 강도의 발현이 보다 어려웠을 것으로 판단된다.

Fig. 5(c)는 신장률(elongation) 측정 결과로 신장률은 인장하중에 대한 신장력 특성을 뜻하며 인장강도와 반비례하는 경향을 지닌다.²⁶⁾ 하지만, 본 연구에서는 Lyocell 섬유의 첨가 비율 증가에 따라 신장률은 감소되는 경향이 관찰되었다. 이는 Lyocell 섬유 특성에 의해 섬유간 결합력 저하와 섬유 자체의 유연성이 목재 섬유보다 낮기 때문으로 판단된다.

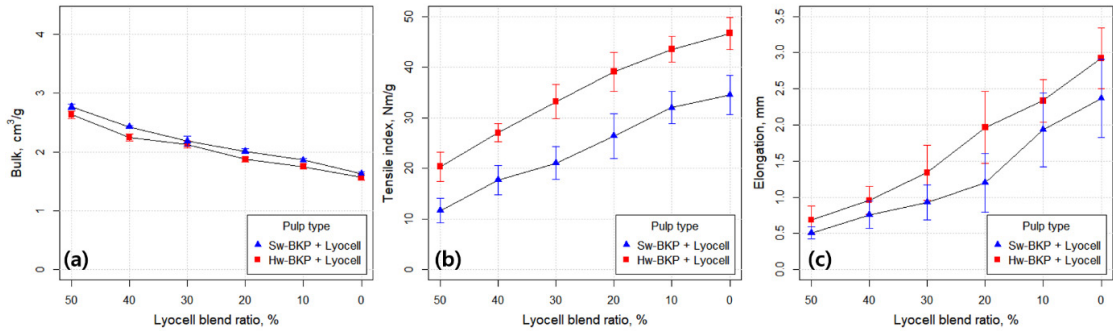


Fig. 5. Changes in physical properties of wet nonwoven fabric according to pulp mixing ratio (a: bulk; b: tensile index; c: elongation).

물리적 특성 분석 결과 공시 재료의 섬유 특성과 형태학적 특성이 web의 강도발현에 영향을 미친 것으로 판단된다. Lyocell 섬유의 첨가 비율 증가에 따라 기계적 물성이 감소하는 결과를 참조하였을 때 wet-laid 부직포 제조 시 목재 및 Lyocell 섬유 혼합비에 대하여 목적성에 따른 상호보완적 적용이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 습식 부직포의 표면 파라미터 분석

위생용 및 의료용 부직포 등 일부 용도 제품에서는 부직포의 거칠기 및 마찰 특성이 중요하게 작용된다. 이에 본 연구에서는 제조된 부직포의 표면 분석을 위해 표면 거칠음도와 표면 마찰 파라미터 특성을 분석하였다.

Table 4는 Table 2의 Eqs에 의해 계산된 표면 거칠음도 파라미터 R_a 와 R -MAD를 나타낸 것이다. 이때 COV는 10회 반복 측정에 대한 변동계수를 표기한 것이다. Table 4의 결과로부터 R_a 와 R -MAD 파라미터 중 R -MAD의 측정 재현율의 안정성이 보다 우수함을 확인할 수 있다. Fig. 6(a)는 R -MAD와 R_a 를 비교한 결과를 도시한 것으로 작성된 회귀선의 결정계수(R^2)가 0.80, 기울기는 0.15로 분석되었다. 이의 결과로부터 두 파라미터의 상관관계가 높음을 확인할 수 있음과 동시에 표면 특성의 정량적 평가 시 R_a 파라미터의 가변성을 파악할 수 있었다. Fig. 6(a)의 회귀선의 기울기가 0.15로 작성되었다 함은 R_a 가 100%의 변위를 나타낼 때 R -MAD는 15%만의 변위를

Table 4. Testing results for roughness

Code	R_a		R -MAD	
	Mean, μm	COV, %	Mean, μm	COV, %
H50	2.23	28.1	0.518	16.3
H60	2.25	23.8	0.551	12.7
H70	2.46	14.0	0.554	14.1
H80	2.64	32.4	0.569	8.8
H90	2.40	17.9	0.542	8.7
H100	2.16	17.4	0.510	10.2
S50	2.03	17.5	0.492	8.1
S60	2.16	22.7	0.518	13.5
S70	2.59	29.7	0.554	20.2
S80	2.52	23.9	0.604	10.7
S90	2.62	17.0	0.588	12.4
S100	2.22	15.5	0.497	23.0
L100	1.99	17.6	0.476	12.5

보유한다고 해석할 수 있으며 이는 R_a 가 측정 장비와 환경에 따른 변동성이 큰 파라미터라고 보고된 선행 연구 결과에 부합한다.²⁷⁾ R -MAD의 경우 계산 시에 R_a 가 각 스캔 영역(R_s)에서 상수로 취급되어 뺄셈 처리된다. 즉, 측정 조건으로부터 기인되는 가변성이 각 데이터 포인트에서 제거됨에 따라 스캔 길이 내에서 시료 자체의 편차를 보다 명확하게 대별하게 된다.²⁸⁾

Table 5는 Table 2의 Eqs에 의해 계산된 표면 마찰 파라미터(average COF)와 F -MAD를 나타낸 것이다. 거칠음도 파라미터 계산 시와 동일하게 COV는 10회 반복 측정에 대한 변동계수를 나타냈다. 앞선 거칠음도 파라미터 결과와 유사하게 평균절대편차를 통한 파라미터의 계산이 마찰 특성에서도 더 안정적인 측정 재현성을 나

타냈다. Fig. 6(b)는 F -MAD와 COF를 비교한 결과를 도시한 것이다. 두 파라미터의 결정계수(R^2) 0.29로서 상관성이 상대적으로 낮은 것을 분석되었다. 이는 각 데이터 포인트(μ_i)에서의 힘(force)의 변동을 나타내는 F -MAD와 스캔 영역 전체 마찰 프로파일의 평균의 나타내는 두 파라미터 간의 독립성을 설명하는 지표로 해석할 수 있다. F -MAD 역시 계산 시 average COF가 각 데이터 포인트(μ_i)에서 상수로 취급되어 제거되면서 측정 영역 내의 시료 자체의 변위를 나타내게 된다. 따라서 표면 거칠음도 및 마찰 특성의 평가 시 평균절대 편차(MAD) 파라미터의 사용이 보다 유용할 것으로 사료된다.

Fig. 6(c)는 R -MAD와 F -MAD의 파라미터 비교 결과를 도시한 것이다. 두 파라미터의 결정계수(R^2)는 0.02

Table 5. Testing results for friction

Code	COF		F -MAD	
	Mean	COV, %	Mean	COV, %
H50	0.12	28.2	0.032	14.1
H60	0.14	18.7	0.033	11.3
H70	0.14	23.1	0.033	15.5
H80	0.14	27.0	0.035	14.4
H90	0.16	11.8	0.036	12.2
H100	0.18	24.8	0.039	19.0
S50	0.13	23.7	0.031	11.3
S60	0.12	25.3	0.033	17.8
S70	0.13	26.9	0.036	19.9
S80	0.13	28.8	0.037	14.0
S90	0.11	29.3	0.037	11.9
S100	0.14	27.8	0.042	23.5
L100	0.25	18.1	0.041	15.8

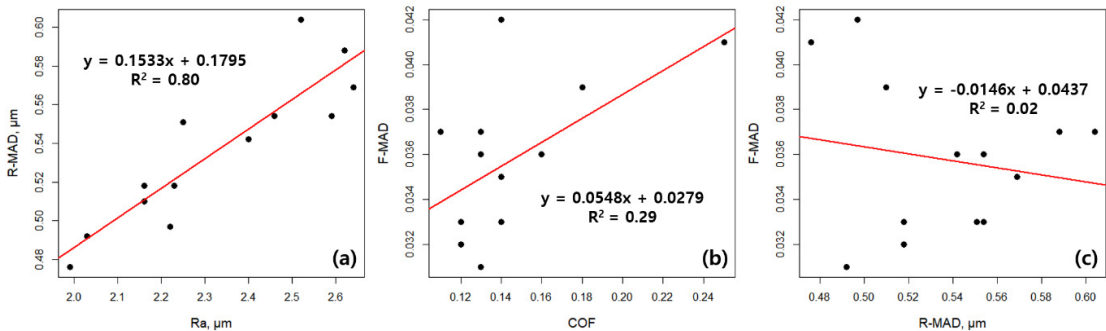


Fig. 6. Correlation analysis between surface parameters (a: R -MAD vs. R_a ; b: F -MAD vs. COF; F -MAD vs. R -MAD).

로서 상호간 완전 독립적인 것을 확인하였고, 이는 선행 연구 결과에 부합한다.²⁷⁾ 따라서 부직포 제품의 표면 특성화 시 표면 거칠기 및 마찰의 정량화가 동시에 수반되어야 할 것으로 판단된다.

3.5 습식 부직포의 표면 특성 분석

Fig. 7은 상기 분석한 파라미터 분석 결과를 반영한 섬유의 혼합 비율에 따른 습식 부직포의 R -MAD 및 F -MAD 분석 결과를 도시한 것이다. 본 연구에서 R -MAD는 표면 거칠음을 나타내는 지표로서 사용되었으며, 값이 낮을수록 표면 거칠음이 적은 것을 의미한다. Fig. 7(a)의 결과는 목재 섬유에 대한 Lyocell 섬유 비율 증가에 따른 표면 거칠음도의 비교로서 오차범위 내에서의 뚜렷한 차이를 확인하기에는 다소 무리가 있었다.

표면의 부드러움 특성은 제품을 만졌을 때 느껴지는 softness로써 이는 표면 마찰과 상관관계가 있으며²⁹⁾, 이러한 특성에 따라 표면 마찰은 제품의 부드러움을 나타내는 주요한 구성요소 중 하나이다. 본 연구에서는 표면 부드러움 특성을 표면 마찰 값인 F -MAD를 지표로 사용하였으며, 측정 결과를 Fig. 7(b)에 나타냈다. 해당 값은 낮을수록 표면 마찰이 적어 부드러운 것을 의미한다. Lyocell 섬유로만 제조된 습식 부직포의 F -MAD는 0.043의 값을 나타냈으며, 목재 섬유 50% 배합 시 F -MAD 값이 감소하는 것을 확인하였다. 하지만 표면 거칠음도 분석 결과와 마찬가지로 목재 섬유에 대한 Lyocell 섬유 비율 증가에 따른 오차범위 내에서의 유의미한 차이는 없었다. 다만, Sw-BKP 섬유의 배합 시 Hw-BKP 섬유에 비해 전반적으로 다소 높은 값을 나타냈으며, 이

는 Fig. 4의 결과에서 확인할 수 있듯이 섬유 특성에 기인한 것으로 판단된다. Sw-BKP 섬유의 평균 섬유폭은 $33.2 \mu\text{m}$ 인 반면 Hw-BKP는 $18.8 \mu\text{m}$ 으로 약 2배가량 넓은 섬유폭으로 인하여 표면 부드러움 요소에 영향을 준 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 이전 연구를 통해 보고된 바 있으며, Assis 등³⁰⁾은 세포벽이 얇은 단섬유는 제품에 우수한 부드러움 특성을 부여할 수 있음을 제시한 바 있다. 또한, Park 등³¹⁾은 종이의 표면특성에 섬유장 및 섬유폭이 미치는 영향에 대해 밝힌 바 있다.

종합적으로 Lyocell 섬유에 대한 목재 섬유의 배합 비율이 습식 부직포 표면 거칠음도에는 유의미한 영향을 미치지 못하였으나 표면 마찰 측정 결과 목재 섬유 배합 시 부드러움 특성을 부여할 수 있었으며 시트 제조에 사용되는 섬유의 섬유장 및 섬유폭에 기인한 영향도 있는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 제지 기술을 활용하여 습식 부직포 제조 시 섬유 종류 및 배합에 따른 특성 분석을 시도하였다. 천연 재생 셀룰로오스 섬유인 Lyocell 섬유와 목재 섬유의 혼합 비율을 다양하게 하여 습식 부직포를 제조하였으며, 물리적 특성 및 표면 특성 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 벌크 분석 결과 목재 섬유와 달리 Lyocell 섬유는 섬유 자체의 낮은 밀도와 micro-compression 현상에 대한 치수안정성으로 인해 목재 섬유의 배합

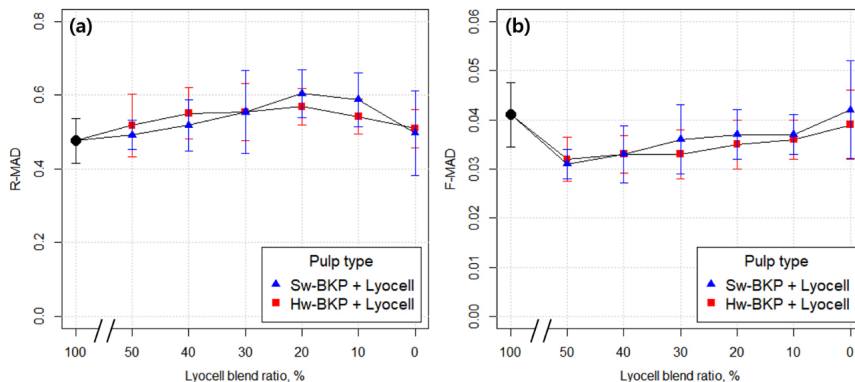


Fig. 7. Surface properties measurement results (a: surface roughness; b: surface friction).

비율 증가에 따른 습식 부직포의 벌크 감소 현상이 분석되었다.

- 2) 인장강도 분석 결과 Lyocell 섬유유의 경우 매끄러운 표면구조를 지녀 결합 강도 발현이 어려웠으며 web 형성 시 목재 섬유는 섬유 표면의 마이크로 피브릴이 bonding area의 증가를 야기하여 Lyocell 섬유에 비해 높은 강도적 특성을 형성한 것으로 분석되었다.
- 3) 표면 파라미터 분석 결과 표면 거칠기와 표면 마찰은 각각 높이의 변이와 힘의 변이를 반영한 독립적인 매개변수임을 확인하였으며, 거칠음도 분석 결과 목재 섬유에 대한 Lyocell 섬유 비율 증가에 따른 유의미한 차이를 확인하기에는 다소 무리가 있었다. 다만, 마찰 분석 결과 Lyocell 섬유와 목재 섬유 배합 시 표면 마찰 감소에 따른 부드러움 특성의 향상 가능성을 확인하였으며, 시트 제조에 사용되는 섬유의 섬유장 및 섬유폭이 부드러움 특성에 미치는 영향이 있음을 확인하였다.

이상의 결론을 통해 습식 부직포 제조 시 목재 섬유 활용에 따른 강도 및 부드러움 특성 향상 효과를 기대할 수 있다고 판단되며, 습식 부직포 제조 기술 및 품질 관리의 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 대부분의 습식 부직포 용도 제품은 높은 벌크 특성을 요구하므로 향후 목재 섬유와 Lyocell 섬유를 활용한 습식 부직포의 벌크 향상을 위한 첨가제 혹은 제조 과정 등에 관한 연구가 추가적으로 검토될 필요가 있다고 사료된다.

사 사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(RS-2023-00301889)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Literature Cited

1. Farrington, D. W., Lunt, J., and Davies, S., Poly (Lactic acid) fibers, In: Blackburn RS (ed) Biodegradable and sustainable fibres, pp. 191–220 (2005).
2. Wilson, A., The formation of dry, wet, spunlaid and other types of nonwovens, In: Chapman R (ed) Applications of nonwovens in technical textiles, pp. 3–17 (2010).
3. Pourmohammadi, A., Nonwoven materials and joining techniques, In: Jones I, Stylios GK (eds) Joining textiles: principles and applications, pp. 565–581 (2013).
4. Sengupta, S. and Debnath, S. Study on needle punched jute nonwoven as an artificial medium for germination of seed: Effect of bulk density, Journal of Natural Fibers 16(4):494–502 (2019).
5. Sengupta, S. and Debnath, S., Development of sunnhemp (Crotalaria juncea) fibre based unconventional fabric, Industrial Crops and Products 116:109–115 (2018).
6. Bhat, G., and Parikh, D. V., Biodegradable materials for nonwovens, In: Chapman R (ed) Applications of nonwovens in technical textiles, pp. 46–62 (2010).
7. Kellie, G., Developments in the use of nonwovens in packaging, In: Kellie G (ed) Advances in technical nonwovens, pp. 423–442 (2016).
8. Le, P. H., Izzati, A. N., and Blanford, C., Nonwoven membrane supports from renewable resources: bamboo fiber reinforced poly(lactic acid) composites, ACS Sustain Chem Eng 7: 11885–11893 (2019).
9. Czibula, C., Seidlhofer, T., Ganser, C., Hirn, U., and Teichert, C., Longitudinal and transverse low frequency viscoelastic characterization of wood pulp fibers at different relative humidity, Materialia 16:101094 (2021).
10. White, C., Wet-laid web formation, In: Russell SJ (ed) Handbook of nonwovens, Cambridge, pp. 112–142 (2007).
11. Dipayan, D., Arun, K. P., Chattopadhyay, R., and Singh, S. N., Composite Nonwovens, Textile Progress 44(1):1–84 (2012).
12. Shen, S., Henry, A., Tong, J., Zheng, R., and Chen, G., Nat. Nanotechnol. 5, p. 251 (2010).
13. Slater, A., Lenzinger Ber. 84, p. 36 (2005).
14. Melani, L. and Kim, H. J., The surface softness and mechanical properties of wood pulp-lyocell

- wet-laid nonwoven fabric, *The Journal of The Textile Institute* 112(8):1191-1198 (2021).
15. Zhang, Y., Xu, Y., Zhao, Y., Huang, C., and Jin, X., Effects of short-cut fiber type and water-jet pressure sum on wet strength and dispersibility of wood pulp-based wetlaid/spunlace wipes, *European Journal of Wood and Wood Products* 77(1):33-43 (2019).
 16. Zhang, Y., Deng, C., and Wang, Y., A new dispersible moist wipe from wetlaid/spunlace nonwoven: development and characterization, *J Ind Text* 48:1136-1150 (2019).
 17. Zhang, Y., Deng, C., Qu, B., Zhan, Q., and Jin, X., A study on wet and dry tensile properties of wood pulp/lyocell wetlace nonwovens, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 241(1):1-4 (2017).
 18. Ko, Y. C., Park, J. Y., Melani, L., Park, N. Y., and Kim, H. J., Principles of developing physical test methods for disposable consumer products, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 34(1):75-87 (2019).
 19. Henry, W. and Haslach, J., A model for drying-induced microcompressions in paper: buckling in the interfiber bonds, *Composites Part B: Engineering* 27(1):25-33 (1996).
 20. Dadashian, F., Yaghoobi, Z., and Wilding, M. A., Thermal behavior of lyocell fibers., *Polymer Testing* 24(8): 969-977 (2005).
 21. Carrillo, F., Colom, X., and Canavate, X., Properties of regenerated cellulose lyocell fiber-reinforced composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 29(3):359-371 (2010).
 22. Popescu, C. M., Bulk and surface characterization of unbleached and bleached softwood kraft pulp fibres, *Cellulose Chemistry and Technology* 42:525-547 (2008).
 23. Researcher, S. and Materials, P., Relation between wood density and paper properties (2008).
 24. Zhang, S., Chen, C., Duan, C., Hu, H., Li, J., Liu, Y., Ma, X., Stavik, J., and Ni, Y., Regenerated cellulose by the lyocell process, a brief review of the process and properties, *BioResources* 13:1-16 (2018).
 25. Ketoja, J. A., Paunonen, S., Jetsu, P., and Paakkonen, E., Compression strength mechanisms of low-density fibrous materials, *Materials*, 12(3):384 (2019).
 26. Jang, D. W. and Park, J. M., Changes of hand-sheet's physical properties depending on mixing ratio of bagasse pulp for replacement of hardwood bleached kraft pulp, *Journal of Korea TAPPI* 49(1):3-8 (2017).
 27. Ko, Y. C., Melani, L., Park, N. Y., and Kim, H. J., Surface characterization of paper and paperboard using a stylus contact method, *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 35(1): 78-88 (2019).
 28. Lee, Y. J., Ko, Y. C., Moon, B. G., and Kim, H. J., The surface characterization of paper products by profilometry with a fractal dimension analysis, *BioResources* 18(2):3978-3994 (2023).
 29. Hollmark, H., Evaluation of tissue paper softness, *Tappi Journal* 48:63-64 (1983).
 30. Assis, T. D., Pawlak, J., Pal, L., Jameel, H., Venditti, R., Lee, W., Kavalew, D., and Gonzalez, R. W., Comparison of wood and non-wood market pulps for tissue paper application, *BioResources*, 14:8781-6810 (2019).
 31. Park, J. Y., Melani, L., Lee, H. G., and Kim, H. J., Effect of pulp fibers on the surface softness component of hygiene paper, *Holz-forschung* 74(5):497-504 (2020).