

# Ramie의 최적 펄핑 조건 및 위생용 ramie/면 부직포의 물리적 특성 연구

최시혁 · 김현철<sup>†</sup>

접수일(2014년 11월 11일), 수정일(2014년 12월 7일), 채택일(2014년 12월 9일)

## Studies on the Optimum Pulping Condition of Ramie and the Mechanical Properties of Ramie/Cotton Non-woven Fabric as Hygienic Uses

Si-Hyuk Choi and Hyun-Chel Kim<sup>†</sup>

Received November 11, 2014; Received in revised form December 7, 2014; Accepted December 9, 2014

### ABSTRACT

This study was investigated in optimum condition of pulping of ramie and the mechanical properties of non-woven fabric for the performance of ramie/cotton panty liner. The result of pulping condition on ramie was most suitable for type I (mixed NaOH with Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in 30%:70%). The sample (I) was showed yield value of 68.2% and the best fibrillation and lignin removal rate. The non-woven fabrics of ramie/cotton were made in range of ramie content of 0, 15 and 30%. As ramie content increased, so were increased in air permeability, compressive strength and compression recovery rate. But surface roughness and compressional energy were decreased. Therefore, the non-woven fabrics of ramie/cotton are very suitable in hygienic goods for female panty liner. The ramie panty liner showed a little decrease in absorption and strength, as increasing the amount of ramie. But the performance of ramie panty liner was appeared beyond standard values used by usual panty liner.

**Keywords:** *Ramie, non-woven, hygienic uses, pantyliner, scouring*

### 1. 서론

모시는 췌기풀(Ulticaceae)과에 속하는 모시풀

(ramie)에서 얻는 인피섬유로써 아열대 지방에서 재배되어 왔으며 모시풀(ramie) 또는 저마(苧麻)라고 불린다. 국내의 모시는 백엽종(학명: *Boehmeria Nivea*)에

• 청운대학교 이공대학 패션디자인섬유공학과(Chung-Woon University, Hongseong, 350-701, Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: adhckim@hanmail.net

속하는 재래종으로 잎 뒤에 흰털이 밀생하고 있어 백색으로 보이며, 품질이 우수하고 추위에 견디는 힘이 강하며 습기의 흡수와 발산이 좋고 비단 같은 광택이 있고 내수력과 내구력이 강해 여름용 옷감으로 애용되고 있다. 서천군은 우리나라 모시 생산량의 2/3 이상을 차지하고 있는 주요 재배지로서 3,000 ha 이상에서 모시 풀을 재배하고 있고,<sup>1,2)</sup> 특히 한산면에서 생산되는 한산모시는 품질이 좋아 특상품으로 알려져 있다.

최근 환경 친화적인 생활패턴과 생활수준의 향상으로 기능성 섬유제품의 수요가 늘고 있음에도 불구하고 한산모시는 모든 공정이 전통적인 가내수공업의 형태로 특산물화, 고급화되어 대량생산에 한계가 있어 가격이 비싸고, 단일색상과 단순조각으로 인하여 폭넓게 활용 및 보급화 되지 못하고 있어 한산모시의 소비량은 점차 감소하고 있는 추세<sup>3)</sup>이다. 이는 저가 외래 모시의 수입 증가, 여름용 의류와 침구류 등의 한정된 용도, 수작업에 의한 높은 가격 등으로 분석되지만 이 중 가장 큰 문제는 한정된 용도(여름용 의류, 침구)로 한산모시의 새로운 용도창출과 상품개발이 시급한 실정<sup>4)</sup>이다.

부직포는 섬유 집합체 또는 FILM을 물리적, 화학적, 기계적 또는 수분이나 열로 처리하여 섬유 상호간을 결합시킨 웹으로, 보통 위생용에 사용되는 부직포는 유해성 등을 고려하여 접착제 및 수지를 사용하지 않은 워터펀칭을 이용한 스펀 레이스 방식<sup>5)</sup>으로 제조된다. 부직포는 가볍고 통기성과 보온성이 있으나 신축성이 없고 뻣뻣하며 강도와 내구성이 약해 대부분 1회용 제품에 사용<sup>6)</sup>되고 있다.

매년 90만 톤 이상의 섬유가 부직포 제품에 이용되고 있다고 보고되고 있고 앞으로도 부직포의 수요는 꾸준히 증대<sup>7)</sup>될 것이다. 하지만 현재 일회용으로 사용되

고 있는 생리대, 기저귀, 일회성 포장재등과 산업폐기물의 원료섬유인 합성섬유는 환경오염의 주원인<sup>8)</sup> 중 하나로 식물계 셀룰로오스 섬유를 부직포 소재로 활용하는 연구 등<sup>9)</sup>이 활발히 진행되고 있으며, 특히 ramie 나 organic cotton과 같이 환경 친화적이고 기능성을 보유한 천연원료의 최적 펄핑을 통한 화이버 제어 연구에서부터 부직포 개발 및 위생용도<sup>10-12)</sup> 개발이 필수적이다.

이에 본 연구에서는 가장 효율적인 모시풀의 최적 펄핑 조건을 연구하여, 최적 조건으로 제조된 모시 화이버를 면(organic cotton) 화이버와 복합하여 위생용도에 적합한 부직포를 제조하여 물성을 분석하고, 이와 같이 제조된 부직포를 활용하여 팬티라이너 제품 제작 후 성능을 평가하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

공시재료로 모시풀에서 목질부와 흑피가 제거된 태모시(서천군 한산모시관)를 사용하였고, 모시 정련은 직접 설계하여 제작한 장치를 이용하였다. Fig. 1에 사용된 태모시와 정련 장치 그리고 정련장치를 이용한 펄핑 ramie와 개선했 ramie 화이버를 나타내었다.

습식 부직포 제조를 위해 ramie 및 면 화이버의 섬유장을 25 mm로 절단 후 분섬장치(부영모방 보유, 특허: 한국/1013063310000)를 활용하여 분섬된 모시 화이버를 부직포 제조에 사용 하였으며, ramie 화이버 함량을 0, 15, 30%로 변화시키며 수압에 의한 워터펀칭으로 웹 결합력을 높인 후 건조온도 80~100℃로 건조하여 습식부직포((주)태봉)를 제조하였다. Fig. 2에는 위



Fig. 1. The pulping machine for scouring of ramie material and ramie fiber.

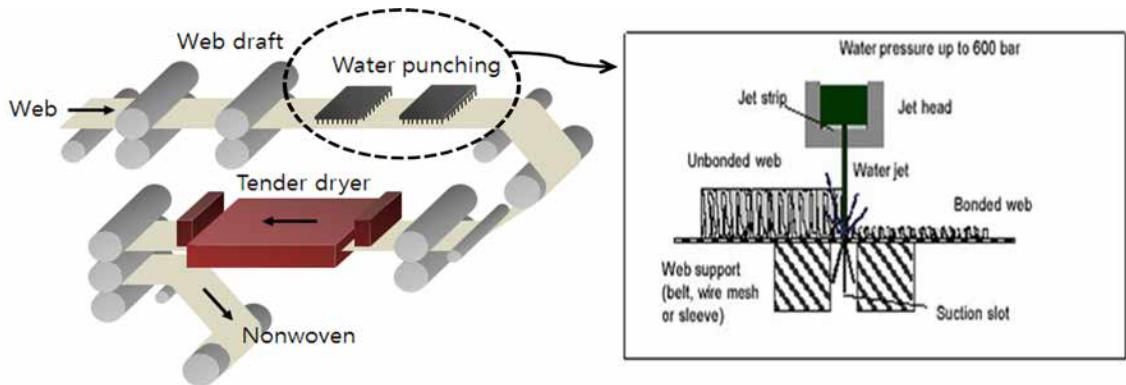


Fig. 2. The manufacturing process of ramie/cotton wet laid non-woven.

터편칭을 이용한 습식 부직포 제조 공정을 나타내었다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 Ramie 펄핑 조건

Choi<sup>13)</sup>와 Kim 등<sup>14)</sup>의 연구결과를 참고하여 ramie의 펄핑 조건을 설정하였으며 본 연구에서는 ramie 정련을 위해 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, NaOH 그리고 NaClO<sub>2</sub>를 사용하여 약품 함량, 온도 및 시간을 변화시켜 최적의 펄핑 조건을 실험하였다. Table 1에 ramie의 펄핑 조건을 나타내었고 액비는 1:10으로 통일하였다. 펄핑된

ramie 화이버는 외관, 수율 그리고 IR 분석을 진행하였다.

펄핑 상태는 육안 및 사진을 통하여 피브릴화 여부를 관찰하였고, 수율은 펄핑된 시료를 건조 후 함수율과 무게를 측정하여 분석하였으며, IR분석에는 Thermo Nicolet의 AVATAR 370 FT-IR 장비를 사용하여 측정하였다.

### 2.2.2 Ramie/면 부직포 물성분석

최적조건으로 펄핑된 ramie를 면과 혼합하여 부직포를 제조하였으며, ramie/면 부직포의 평량은 60 g/m<sup>2</sup>

Table 1. The experimental conditions for pulping of ramie

Experimental conditions			
Temperature		Chemical	Type
60 minutes at 100 °C	NaOH	10%	A
		15%	B
		20%	C
		25%	D
		30%	E
		35%	F
	NaOH + Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Uniform 20% alkali content)	50% : 50%	G
		70% : 30% (NaOH : Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	H
		30% : 70% (NaOH : Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	I
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 100%	J
		NaOH 100%	K
		CH <sub>3</sub> COOH 100%	L
30 minutes at 100 °C	CH <sub>3</sub> COOH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 100%	M
		50% : 50%	N
		30% : 70% (CH <sub>3</sub> COOH : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	O
		70% : 30% (CH <sub>3</sub> COOH : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	P
142 hours at room temperature		50% : 50%	Q



Fig. 3. The fibrillation of ramie by experimental conditions.

으로 통일하였고 면과 ramie 화이버는 면 100%, 면 85%+ramie 15%, 면 70%+ramie 30% 총 3가지 조건으로 제조하여 기본적인 물성을 분석하였다.

물성분석은 외관 특성(영상현미경), 두께(KS K ISO 9073-1), 인장강도(KS K ISO 9073-3), 공기투과도(Frazil-type Auto air permeability tester), 표면 거칠기와 압축특성(KES-FB system) 등 총 6가지 항목을 측정하였다.

### 2.2.3 Ramie/면 팬티라이너 성능평가

팬티라이너의 기본구조는 피부와 직접 접촉하는 커버, 액체 흡수/분산 층, 액체 누수를 방지하는 백 시트로 이루어져 있으며, 피부와 직접 접촉하는 커버(top sheet)에 면과 ramie로 제조된 부직포를 활용하여 팬티라이너 3종을 제작하였다. 제작된 팬티라이너는 강력(팬티라이너 파열하중)과 중량(0.001 g까지 측정 후 반올림) 그리고 흡수량(KS M ISO 12625-8 응용)을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Ramie 펄핑 조건

#### 3.1.1 외관 분석

정련 장치를 이용하여 Table. 1에 설계된 조건으로 펄핑된 ramie의 외관 상태를 Fig. 3과 같이 관찰한 결과 A, B, J, L의 조건으로 처리한 ramie는 피브릴화가 일어나지 않았고 다른 조건의 ramie는 어느 정도 피브릴화가 있음을 알 수 있었다. 특히, 외관 분석결과 C 및 I 조건의 알칼리 농도 20%로 처리한 샘플의 외관이 가장

양호하게 나타났다.

#### 3.1.2 수율 분석

Fig. 4에 처리 조건에 따른 ramie의 수율 분석결과 피브릴화가 일어나지 않아 화이버로 활용 할 수 없는 J와 L의 수율이 가장 높게 분석 되었다. J와 L은 펄핑 과정에서 리그닌, 펙틴 등의 불순물이 충분히 제거 되지 않아 수율이 높게 측정 된 것으로 판단되며, ramie의 최적 펄핑 조건은 수율과 셀룰로오스 손상여부 그리고 리그닌 제거율을 종합하여 판단하는 것이 적합하다고 사료 된다.

#### 3.1.3 IR 분석

IR 분석은 수산화나트륨(NaOH) 약품만을 사용한 그룹과 수산화나트륨(NaOH)과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 약품을 동시에 사용한 그룹 그리고 아세트산(CH<sub>3</sub>OOH)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 약품을 사용한 그룹으로 구분하여 IR 분석 결과를 표시하였다.

Kwon<sup>15)</sup>의 연구결과에 따르면 대마의 FT-IR 스펙트럼 분석결과 1644cm<sup>-1</sup>피크는 aromatic C=C, lignin으로 625cm<sup>-1</sup>피크는 C-OH, cellulose로 구분하였으며, 1644cm<sup>-1</sup>부근의 피크가 줄어들면 리그닌의 구조가 분해되어 피크가 줄어들었다고 분석하였다.

수산화나트륨(NaOH)만을 사용한 그룹의 IR 분석 결과는 Fig. 5에 나타내었고, 분석결과 셀룰로오스 수치는 수산화나트륨을 20% 사용한 C의 시료에서 최대치를 보이다가 수산화나트륨 함량이 높아질수록 감소하는 현상을 관찰 하였다. 이는 수산화나트륨 함량이 약 21~24%를 넘어가면 ramie의 셀룰로오스 성분이 손상되는 것으로 판단된다. 그에 반해 리그닌 수치는 수

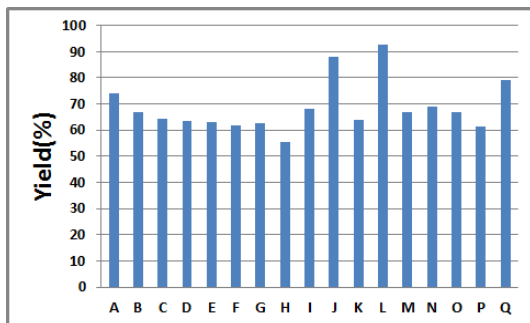


Fig. 4. The yield of ramie by experimental conditions.

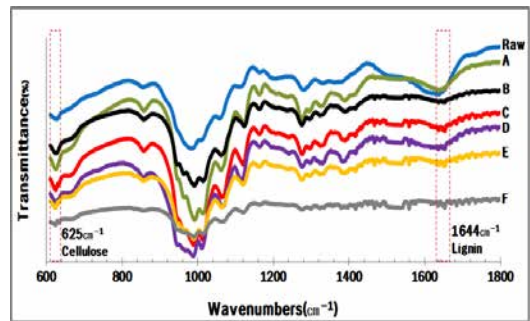


Fig. 5. Infrared spectra of pulp samples A~F.

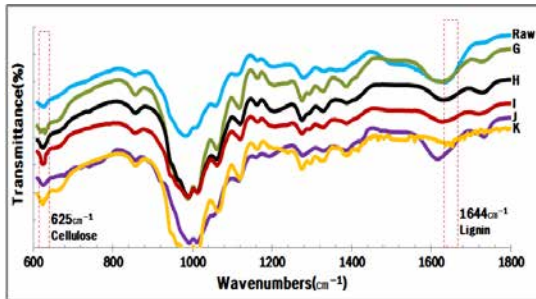


Fig. 6. Infrared spectra of pulp samples G~K.

산화나트륨 함량이 높아질수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 Choi<sup>13)</sup>의 연구결과에서도 동일 조건하에 수산화나트륨 약품 비율을 15%에서 20%로 올렸을 때 카파값이 낮아져 리그닌 수치가 감소하는 경향을 보여 본 실험 결과와 일치하였다.

수산화나트륨만을 사용한 그룹의 IR 분석결과 셀룰로오스 손상을 일으키지 않는 알칼리 함량은 20%로 판단되어, 수산화나트륨과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 사용한 ramie의 펄핑 실험에서는 알칼리 함량을 20%로 고정하였다.

Fig. 6은 수산화나트륨(NaOH)과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 사용한 IR 분석으로, 셀룰로오스 수치는 수산화나트륨과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 30%:70%로 혼합 사용한 I의 시료가 수산화나트륨만을 사용한 K의 시료보다도 높게 측정되었다. 반면에 I와 K의 리그닌 수치는 유사하였다.

수산화나트륨과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 사용한 그룹의 IR 분석결과 수산화나트륨만을 단독 사용(K)하는 것보다 수산화나트륨과 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 30%:70%로 혼합 사용(I)하는 펄핑 조건이 효과적이었다.

Fig. 7에 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 사용한 IR 분석으로, 아세트산과 과산화수소를 단독으로 사용한 시료보다는 혼합(50%:50%, 30%:70%, 70%:30%)하여 사용한 시료의 셀룰로오스 수치가 높게 측정되었다. 반면에 리그닌 수치는 아세트산과 과산화수소를 50%:50%로 혼합한 N의 시료가 가장 낮았다.

아세트산과 과산화수소를 사용한 그룹의 IR 분석결과 아세트산과 과산화수소를 50%:50%로 혼합한 N의 조건이 효과적이긴 하지만, 수산화나트륨과 탄산나트

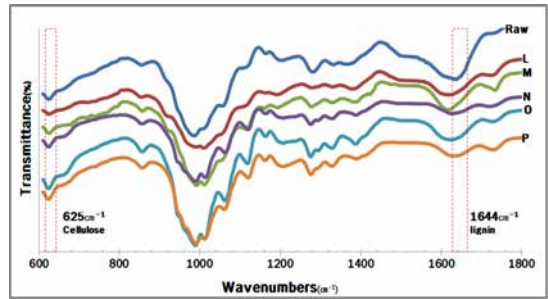


Fig. 7. Infrared spectra of pulp samples L~P.

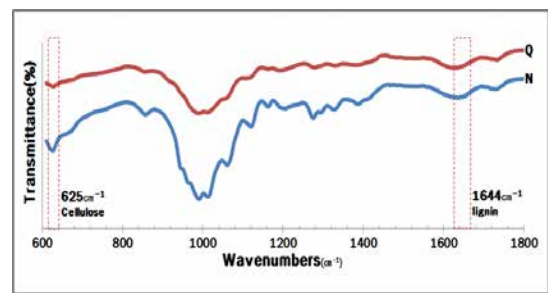


Fig. 8. Infrared spectra of pulp samples Q and N.

륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 30%:70%로 혼합한 I의 시료와 비교해 보면 셀룰로오스 수치는 N보다는 I의 시료가 높게 측정되었다.

Fig. 8과 같이 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 사용한 그룹 중 가장 효과적인 N의 조건과 동일한 조건에서 상온 142시간 처리한 Q의 시료를 비교하였을 때 리그닌 수치는 비슷하게 측정되었지만, 셀룰로오스 수치는 상온에서 처리한 Q의 시료가 낮게 측정되었다. 이는 필요 이상으로 시료(ramie)를 아세트산과 과산화수소 용액에 침지시켜 ramie의 셀룰로오스 성분이 손상되었다고 판단된다.

### 3.2 Ramie/면 부직포의 물성분석

#### 3.2.1 외관 특성

최적 펄핑으로 제조된 표백되지 않은 ramie(I)와 면으로 제조된 부직포를 Fig. 9와 Fig. 10에서 영상현미경을 활용하여 40배와 100배로 관찰하였으며, ramie의 함량이 30%인 부직포에서 ramie 화이버가 비교적 외측으로 노출된 반면, 15%인 시료는 ramie 화이버가 면 안쪽으로 대부분 존재함을 알 수 있었다.

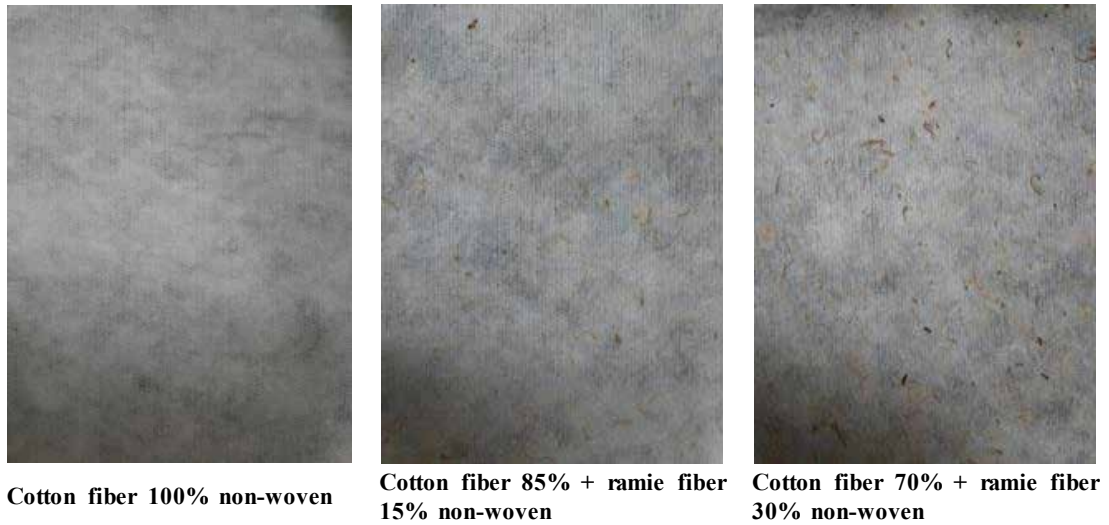


Fig. 9. The images of ramie/cotton wet laid non-wovens.

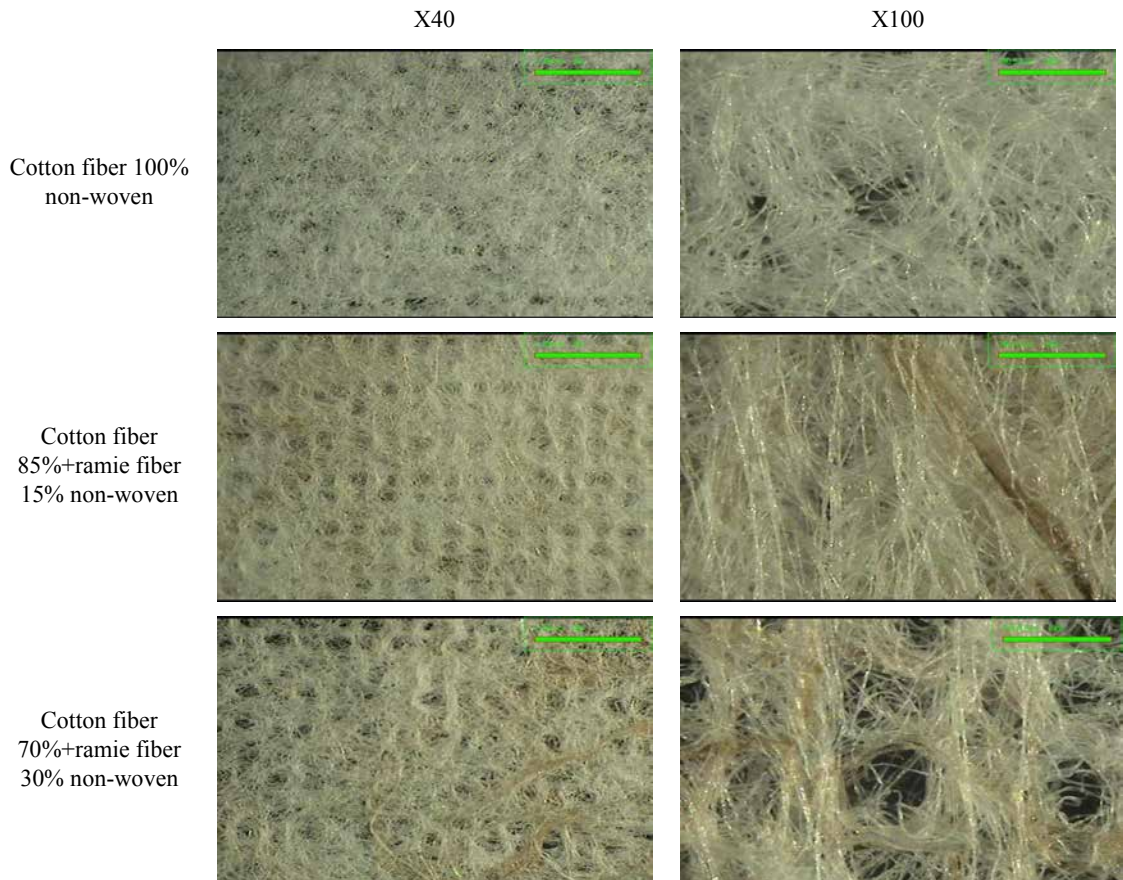


Fig. 10. The microscopy images of ramie/cotton wet laid non-wovens.

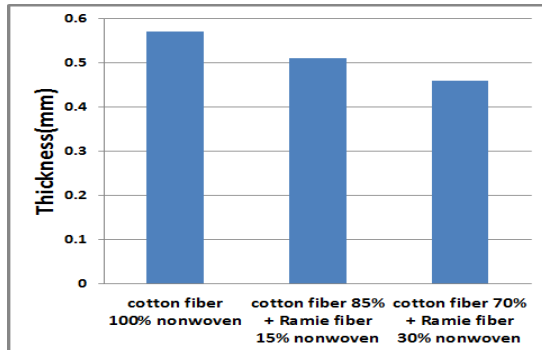


Fig. 11. The thickness contents of testing materials.

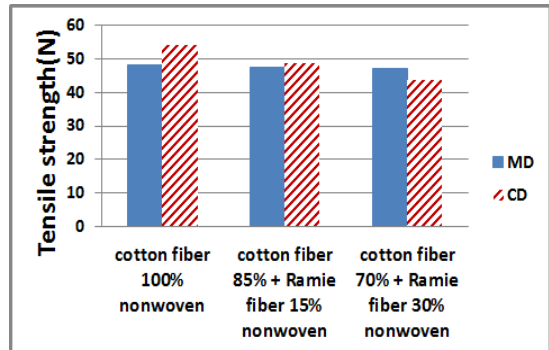


Fig. 12. The tensile strength contents of testing materials.

### 3.2.2 두께와 인장강도

Ramie/면 부직포의 두께와 인장강도를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다. Ramie 함량이 높아질수록 두께는 얇아지고, 인장강도는 낮아지는 것을 관찰하였으며 비교적 MD(길이)방향의 인장강도보다 CD(폭)방향의 인장강도 저하가 크게 나타났다. Lee 등<sup>16)</sup>의 연구결과에 따르면 어저귀와 칩이 함유된 니들펀칭 부직포의 경우 MD와 CD 방향의 인장강도가 2배 이상으로 차이

가 크지만, 본 연구에서 워터펀칭에 의한 wet laid 방식으로 제조된 부직포는 니들펀칭보다 터치감이 우수하고 MD와 CD 방향의 인장강도의 차이는 있지만 니들펀칭 방식에 비해 비교적 근소한 차이를 보인다.

### 3.2.3 공기투과도와 표면 거칠기, 압축특성

Fig. 13과 Fig. 14는 ramie/면 부직포의 공기투과도와 표면 거칠기를 나타낸 것으로, ramie 함량이 증가할

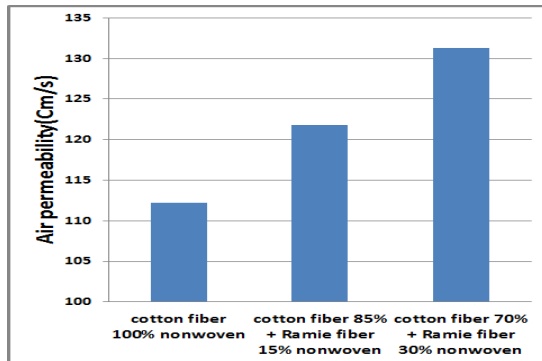


Fig. 13. The air permeability contents of testing materials.

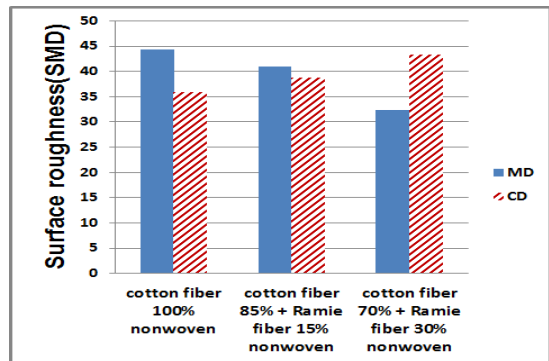


Fig. 14. The surface roughness contents of testing materials.

Table 2. The compression characteristics contents of testing materials

	LC	WC (g/cm <sup>3</sup> )	RC (%)
Cotton fiber 100% non-woven	0.160	0.180	34.16
Cotton fiber 85% + ramie fiber 15% non-woven	0.168	0.132	37.13
Cotton fiber 70% + ramie fiber 30% non-woven	0.178	0.125	40.3





Fig. 15. The images of panty-liner manufactured by ramie/cotton non-wovens.

수록 높은 공기투과도를 보유하는 것을 알 수 있었고, 표면 거칠기는 ramie 함량이 증가할수록 MD(길이)방향은 감소하였고 CD(폭)방향은 증가하였다. Ramie가 함유된 제품 전개 시 공기투과도가 우수하여 통기성이 예상되고 표면 거칠기는 면과 유사하여 ramie 30% 이내에서는 피부트러블이 없을 것으로 사료된다.

Table 2와 같이 ramie/면 부직포의 압축특성은 ramie 함량이 증가할수록 압축강도(LC)와 압축 회복율(RC)은 증가하는 반면 압축에너지(WC)는 감소하였다. 이는 평활성이 좋은 ramie가 혼용되면 부직포의 회복율이 우수하여 제품화 전개 시 형태안정성이 우수할 것으로 사료된다.

### 3.3 Ramie/면 팬티라이너 성능평가

Fig. 15는 3가지 타입으로 제조된 ramie/면 부직포를 활용하여 팬티라이너를 제조하였다. 제조된 팬티라이너

이너의 중량, 강도 그리고 흡수량을 Fig. 16에 나타내었고, ramie 함량이 증가할수록 팬티라이너의 중량은 증가하는 반면 강력과 흡수량(중량 대비)은 감소하였다. 그러나 ramie 화이버를 혼용한 팬티라이너 시료의 강력(적합기준 : 1 kg의 무게 시 1분내 절단 안 됨)과 흡수량(적합기준 : 중량의 5배 이상)은 팬티라이너 적합기준을 만족하는 수치를 나타내었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 ramie의 최적 펄핑 조건을 실험하여, 최적 펄핑 조건으로 제조된 ramie를 면(cotton)과 혼합하여 위생용도에 적합한 부직포를 제조하여 물성을 분석하였고, 나아가 제조된 부직포를 활용하여 팬티라이너 제품 제작 후 성능을 평가하였다.

Ramie의 펄핑 조건에 따른 피브릴화 정도와 수율, IR 분석을 비교한 결과 수산화나트륨(NaOH)와 탄산나트륨(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)을 30%:70%로 혼합한 실험조건이 ramie 펄핑에 가장 적합하였고, 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 사용한 펄핑 방법은 적정 처리 시간을 설정한다면 ramie는 상온에서 펄핑이 가능할 것으로 사료된다.

Ramie/면 부직포의 물성 분석 결과 ramie의 함량이 증가할수록 인장강도와 CD 방향의 표면 거칠기, 압축에너지는 감소하였으나, 공기투과도는 증가하고 MD 방향의 표면 거칠기, 압축강도, 압축 회복율은 증가하여, ramie/면 부직포는 공기투과도와 두께 등을 중요시하는 여성용 팬티라이너 등의 위생용품에 적용하기에 매우 적합한 소재로 위생용 제품에 활용이 가능할 것

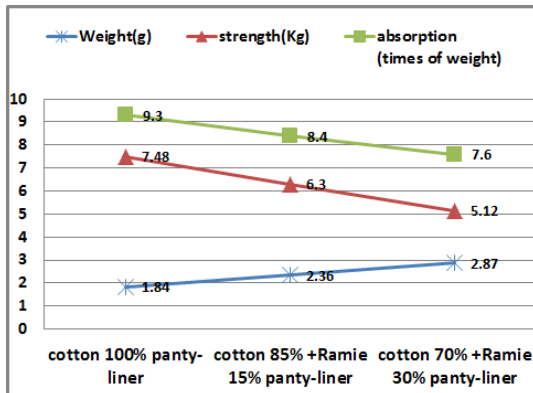


Fig. 16. The efficiency evaluation contents of panty-liner contained ramie.

로 사료된다.

Ramie/면 팬티라이너의 성능평가 결과 ramie의 함량이 증가 할수록 중량은 높아졌고 강력과 흡수량은 감소하였지만, ramie가 30% 혼합되어도 강력과 흡수량 모두 팬티라이너 적합기준을 만족하는 수치를 나타내었다.

향후 연구에서는 ramie/면 부직포의 속건성, 소취성, 쾌적성과 친환경 타 섬유소재와 혼합에 대한 연구를 추가적으로 진행하여 국내산 모시 소재가 위생용 및 다양한 부직포 제품에 활용이 증가할 것으로 기대된다.

## Literature Cited

- Choi, H. Y. and Lee, J. S., The effect of electron beam irradiation on physicochemical properties of Hansan ramie, *Textile Science and Engineering* 47(4):253-260 (2010).
- Han, H. Y., Regional development process of the Korean ramie handy craft -Based on Seochon-, *The Korean Association Professional Geographers* 29: 29-58 (1997).
- Cho, S. H., Park, J. J., Jung, M. H., Park, S. H., and Lee, M. C., Study of spinning technique development for mass production of Hansan-mosi, *Textile Science and Engineering* 43(2):70-77 (2006).
- Hong, J. H., A study on the development of daily Hanbok design and jacquard textile design using Hansan ramie spun-yarn, Thesis for doctoral degree, Wonkwang University Graduate School, pp. 1-17 (2009).
- Lee, S. K. and Joo, C. W., Studies on the manufacture of wet-laid nonwoven fabrics using high tenacity fibers (III) -Effect of processing conditions on web uniformity-, *Journal of the Korean Fiber Society* 36(10): 760-768 (1999).
- Jeong, I. S., Improved absorption of natural cotton-cellulose spunlace for study on the improvement of the structure, Thesis for master's degree, Chonnam University Graduate School, pp. 1-44 (2013).
- Tao, W., Moreau, J. P., and Calamari, T. A., Properties of nonwoven mats from kenaf fiber, *Tappi Journal* 78(8):165-169 (1995).
- Lee, H. J., Yoo, H. J., and Han, Y. S., The properties of kenaf/polyester blended nonwovens, *Journal of Korean Society of Clothing and Textiles* 31(7):1119-1127 (2007).
- Zhang, X., Investigation of biodegradable nonwoven composites based on cotton, bagasse and other annual plants, Unpublished doctoral dissertation, Louisiana State University, pp. 1-23 (2004).
- Jeong, W. Y., Park, J. W., and An, S. K., A study on the functional and comfort properties of footwear nonwoven fabrics, *Journal of the Korean Fiber Society* 39(3):354-361 (2002).
- Lee, J. M., Study on the environment-friendly textile-planning using hyaluronic acid and chitosan treatment, Thesis for doctoral degree, Ewha Womans University Graduate School, pp. 1-142 (2010).
- Lee, B. G., Heavy metal ion sorption of unmodified and modified lignocellulosic fibers, Thesis for doctoral degree, University of Wisconsin-Madison, pp. 1-198 (2001).
- Choi, M. S., Study on pulping methods and paper-making characteristics of *Miscanthus sacchariflorus*, Thesis for master's degree, Chonbuk University Graduate School, pp. 1-51 (2014).
- Kim, H. C., Kim, W. Y., Choi, C. Y., and Pak, P. K., A study on the mechanical and dyeing properties of ramie yarn manufactured by wet spun processing, *Textile Science and Engineering* 43(3):135-140 (2006).
- Kwon, K. K., Degradation of lignin and pectin in hemp by microorganism, Thesis for master's degree, Konkuk University Graduate School, pp. 1-20 (2009).
- Lee, H. J., Kim, N. E., and Yoo, H. J., The properties of plant fiber and polyester blended nonwoven fabrics, *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles* 33(11):1696-1706 (2009).