

〈研究論文(學術)〉

폐견직물의 재활용을 위한 탈색과 개섬조건의 최적화

이윤웅* · 이순근** · 주창환¹

충남대학교 공과대학 섬유공학과
*삼성정밀화학(주), 기술연구소
** (주)백산린텍스, 기술연구소

Optimization of Decolorizing and Carding Condition for Recycle Materials of Colored Waste Silk Fabrics

Youn Eung Lee*, Sun Kun Lee** and Chang Whan Joo¹

Dept. of Textile Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

*Samsung Fine Chemical Co. Ltd., R & D Center, Daejeon, 305-380, Korea

**Baiksan Lintex Co., Technical Development Center, Siheung, 429-912, Korea

(Received June 8, 2005/Accepted November 16, 2005)

Abstract—Silk fabrics are widely used as high quality cloth, interior, quilting and bedding materials because of having excellent touch, drape, resilience and low specific gravity characteristics. But, many waste silk materials are produced during the reeling, spinning, weaving, dyeing and finishing processes. From this fact, the recycle of waste silks is interested in studying for the application of industrial textile materials such as filter, oil absorbent and wound protector. Thus, this research has surveyed the decolorizing and carding characteristics in order to recycle the colored waste silk materials. As the results, the carding condition of waste silk fabrics was optimized with different fiber lengths and carding passage. In addition, the fiber failure mechanism from the wasted silk microdamage caused by carding process was investigated. Also it was found that longitudinal and transverse cracks, abrasion and pilling were formed on the surface of wasted silk fibers.

Keywords : waste silk, carding action, recycle material, microdamage

1. 서 론

최근 비의류용 섬유의 수요가 증가추세에 있는 섬유산업도 다른 분야와 마찬가지로 자원의 절약 및 지구의 오염방지 차원에서 섬유의 재활용에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히, 웰빙시대에 향상된 생활수준으로 침장과 실내장식용

으로 사용이 증가되고 있는 고급 섬유소재인 실크(silk)는 천연섬유 중에서 촉감과 광택이 우수하고, 특히 공기의 보유능력이 높아 보온성과 흡수력이 뛰어난 것으로 알려져 있다^{1,4)}.

한편, 고급의류용 섬유소재로 사용되는 견은 제사, 방직, 제직 및 염색가공 공정에서 폐사 또는 폐직물이 많이 발생하여 이들의 처리가 큰 문제점으로 대두되고 있다. 따라서, 폐견섬유를 재활용하기 위한 방법으로는 방적을 통해 실을 제조하는 것과 개섬(carding)에 의해 웹(web)을

¹Corresponding author. Tel. : +82-42-821-6619 ; Fax.: +82-42-822-0822 ; e-mail : changjoo@cnu.ac.kr

제조하여 부직포화하는 것이 고려되고 있다. 그러나 견섬유는 거의 필라멘트로 사용되기 때문에 방적원료로 사용하는 경우가 극히 적다. 따라서, 폐견 단섬유를 활용한 견방적사와 부직포 제조를 위해서는 필수적인 공정으로 최적의 개섬조건을 결정하는 것이 중요하다. 또한 견섬유는 개섬시 침포에 접촉하여 생기는 불균일한 장력에 의한 섬유절단이 빈번히 발생하여 이에 대한 메카니즘의 규명이 요구된다. 아울러, 폐견섬유의 재활용을 위해서는 다양한 색상으로 염색된 폐견의 탈색이 반드시 선행되어야 한다.

단백질계 섬유인 견에 관한 연구는 화학적 처리에 의한 구조분석, 누에의 섬유형성 메카니즘, 염색시 섬유와 염료간의 결합메카니즘 및 직물의 축감과 회복성 등의 물성에 관한 연구가 대부분이다^{5,6)}. 한편, 견섬유에 대한 개섬연구는 아주 미흡하여 동일계통인 양모섬유의 경우를 살펴보면, Carnaby^{7,9)}는 개섬공정에서 모섬유의 섬유절단에 따른 섬유장 분포의 변화를 섬유개섬력 이론에서 추론하였으며, Johnson¹⁰⁻¹²⁾은 개섬력 측정장치를 이용한 양모섬유의 개섬력은 섬유집합체의 형태에 의존하며 섬유절단은 섬유와 침포의 접촉에 의해 발생한다고 하였다. 또한, 양모의 카딩(carding)공정에서 발생하는 섬유의 미세손상을 형태별로 분류하였으며, Claridge¹³⁾는 개섬시 섬유절단에 대한 이론적인 모델을 전개하였고, 섬유절단이 침포형태에 영향을 받는다고 제안하였다.

이상의 연구결과를 종합해 보면, 견섬유의 화학적 구조와 축감, 광택과 같은 견섬유의 고유 특성에 관한 것이 대부분으로 폐견의 재사용을 위한 탈색과 방적사 또는 부직포로 재활용을 위한 개섬에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 제조공정에서 발생하는 폐견과 의류에 사용된 견제품을 부가가치가 높은 침장 및 실내장식용 뿐만아니라 산업용 섬유 소재로 재사용하기 위한 기본적인 연구로 견방적사 및 부직포 제조를 위한 폐견직물의 탈색조건과 개섬조건 및 개섬작용에 의한 견섬유의 절단메카니즘을 규명하고자 한다.

2. 실험방법

폐견의 탈색은 처리온도, 농도, 시간 등의 조

건변화에 따른 탈색도를 통해 최적의 탈색조건을 결정하고, 최적의 개섬조건은 공급섬유장과 개섬횟수에 따른 섬유장의 변화 및 넵(nep) 발생빈도를 조사하기 위해 아래와 같은 실험을 실시하였다.

2.1 재료 및 시약

본 실험에 사용된 폐견직물은 산성염료, 직접염료 등의 다양한 염료로 염색되어 있고 폴리에스테르 섬유와 제직되어 있어 순수 폐견을 분리한 후 실험하였다. 탈색실험은 탈색된 염료가 견에 재염착되는 것을 방지하기 위해 전 처리제로 NaOH(Sodium Hydroxide)를 사용하여 처리한 후, 탈색제로 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (Sodium Hydrosulfite)를 이용하였으며, 최적탈색조건은 아래와 같이 온도, 농도, 처리시간을 변화시켜 실험하였다.

2.1.1 온도의 변화

견은 85℃ 이상 처리하면 광택이 저하되고, 또한 탈색제로 사용한 Sodium Hydrosulfite도 80℃ 이상에서는 분해되어 환원력이 감소되므로 탈색온도를 80℃ 이하로 하였다. 전처리로 사용한 NaOH 농도는 0.1g/l 하여 65℃, 70℃, 75℃ 온도에서 5분간 중탕가열 처리하였다. 한편, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 처리농도는 6g/l로 65℃, 70℃, 75℃ 온도에서 10분간 중탕가열 처리하였다. 탈색 처리된 시료를 70℃의 물에 충분히 수세한 후 오븐에서 충분히 건조시켰다.

2.1.2 농도와 처리시간의 변화

온도의 영향과 동일하게 NaOH 처리와 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 처리의 2단계로 분리하여 실험하였으며, 처리온도는 75℃로 일정하게 하여, NaOH 처리농도를 0.1, 0.3, 0.55g/l로 처리시간은 5분과 10분으로 나누어 실험하였다. 탈색은 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 농도를 6, 8, 10g/l로 10, 20, 30, 40분으로 각각 처리하였다.

2.1.3 탈색도

탈색된 폐견의 탈색정도는 우선적으로 사진촬영을 통해 현상학적으로 조사하였으며, 또한 폐견직물로부터 탈색정도를 조사하기 위해 백도를 측색기(Nippon Denshoku Kogyo, Japan)를 이용해 3회 측정하여 평가하였다.

2.2 개섬 실험

탈색된 폐견을 섬유장별(5cm이하, 5~6cm, 6~7cm, 7~8cm, 8cm이상)로 구분하여 실온에서 24시간 건조한 후 전자저울(Precisa 300A model, Switzerland)을 이용해 랜덤하게 시료 100g을 채취하여 샘플 플랫폼(Daiwa-Kiko 사, Japan)로 연속 3회 개섬하였다. 개섬횟수에 따른 개섬효율을 조사하기 위하여 샘플채취를 1, 2, 3회로 구분하였으며, 개섬시 웹공급 시간은 5분으로 일정하게 하여 각각 20g의 웹을 채취하였다.

2.3 형태학적 구조분석

공급섬유장과 개섬횟수에 따른 폐견의 개섬효과를 알아보기 위해 폐견을 랜덤하게 0.03g을 채취한 다음, 섬유장에 따라 광학현미경을 이용하여 사진촬영하였다. 한편, 섬유가 침포에 접촉하여 발생하는 섬유의 구조와 절단형태는 주사전자현미경(SEM)을 이용해 사진촬영하여 관찰하였다.

2.4 섬유장 변화

폐견의 개섬조건에 따른 섬유장 변화는 각 개섬조건별로 0.1g의 섬유를 랜덤하게 채취하여 섬유장분포 모형판 위에 섬유를 배열한 후 섬유장곡선(staple diagram)을 작도하였다. 그리고 섬유장 분포곡선에서 섬유함유량 50%에 해당하는 섬유의 길이를 측정하여 평균섬유장으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐견 탈색

Table 1은 처리온도에 따른 탈색된 폐견의 종합적인 백도를 나타내었으며, Fig. 1은 처리온도의 변화에 따라 탈색처리된 폐견을 사진촬영한 것이다. 75℃에서 가장 우수한 탈색도를 나타내며 탈색 처리하기 전에 16.8이던 백도가 처리온도가 증가함에 따라서 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 고온의 탈색액이 섬유를 쉽게 팽윤시켜 섬유내부로 NaOH와 Na₂S₂O₄의 확산이 용이해짐과 아울러 Na₂S₂O₄의 환원작용에 의해 발

Table 1. Whiteness of decolorized waste silks with different temperature.(pretreatment: NaOH(1%), 5min, decolorizing: Na₂S₂O₄(60%), 20min)

Temperature (°C)	Untreated	65	70	75
Whiteness	16.8	18.6	24.3	29.5

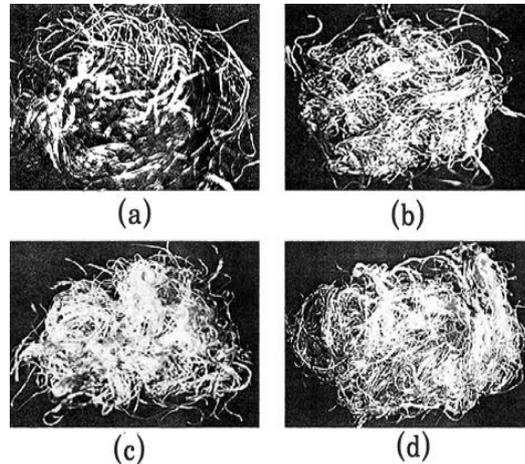


Fig. 1. Photographs of decolorized waste silks with different temperature.(pretreatment:NaOH 1%, 5min, decolorizing: Na₂S₂O₄ 60%, 20min (a) raw material (b) 65 °C (c) 70 °C (d) 75 °C

색단이 절단되어 소색되거나 또는 직접성이 낮아져서 염료가 탈락되기 때문이다.

Table 2는 농도와 처리시간에 따른 탈색된 폐견의 백도를 나타낸 것으로 전반적으로 Na₂S₂O₄의 농도와 처리시간이 증가함에 따라 탈색된 폐견의 백도도 증가함을 보인다. 이는 처리시간과 Na₂S₂O₄의 농도가 증가함에 따라 Na₂S₂O₄의 환원작용에 의해 견에 염착된 발색단의 절단이 증가되어 염료의 탈락이 용이해지기 때문이다. 한편, 동일농도의 NaOH에서 처리시간을 5분에서 10분으로 달리한 경우에는 Na₂S₂O₄의 농도와 처리시간의 변화에 따라 백도의 증가경향이 유사하나 10분간 NaOH 처리한 폐견이 일반적으로 더 탈색된 것을 나타낸다. 이는 NaOH 처리 시간이 증가하면서 탈색된 색소의 재염착 방지 및 Na₂S₂O₄의 환원반응을 촉진시키기 때문이다.

또한, NaOH의 농도가 각각 3%와 5%인 경우에는 NaOH 농도가 1%인 경우 각 탈색조건에 따라 유사한 경향을 보이거나 NaOH 3%와 5%에서

보다 우수하게 탈색되는 것을 나타낸다. 특히, 3% NaOH를 10분 처리 후 80% Na₂S₂O₄에서 30분 처리한 것이 가장 우수하게 탈색을 나타내므로 이를 최적 탈색조건으로 결정하였다.

Table 2. Whiteness of decolorized waste silks

NaOH		Na ₂ S ₂ O ₄ Conc (g/ℓ)	Time(min)			
Conc. (g/ℓ)	Time (min)		10	20	30	40
0.1	5	6	15.1	18.4	19.4	19.5
		8	17.5	20.1	26.8	29.2
		10	19.4	36.9	41.8	42.2
	10	6	40.8	42.0	42.7	44.9
		8	41.0	45.0	46.5	46.8
		10	43.1	46.5	46.5	47.2
0.3	5	6	38.6	41.5	44.3	44.1
		8	39.5	42.0	44.4	45.3
		10	41.6	43.6	44.8	47.8
	10	6	41.1	43.3	44.2	47.2
		8	42.3	47.6	49.3	49.2
		10	41.7	45.8	48.1	47.6
0.5	5	6	38.4	40.0	42.6	44.3
		8	39.5	40.8	43.9	44.2
		10	40.2	42.7	43.2	42.6
	10	6	38.0	40.9	42.8	45.5
		8	42.5	43.0	45.2	45.9
		10	42.7	44.2	45.1	47.9

3.2 개섬효율

Fig. 2와 Fig. 3 및 Fig. 4는 공급섬유장별 개섬횟수에 따른 섬유의 분리현상과 넵(nep)형성을 나타낸 사진이다. Fig. 2에 나타낸 공급섬유장이 5cm 이하인 경우 개섬횟수 1 회시에는 대부분 섬유가 분리되어 개섬되지만 부분적으로 미분리된 실 형태를 유지하는 것으로 관찰된다. 2회 개섬은 개섬상태가 더욱 안정된 형태를 보이며, 3회 개섬시에는 완전히 개섬된 것을 나타낸다.

Fig. 3은 공급섬유장이 6~7cm인 경우 개섬횟수에 따른 개섬효율을 나타낸 사진으로 공급섬유장이 5cm 이하인 경우와 유사한 경향이며, 2회 개섬시에 넵이 발생하는 것을 보이고 있다.

특히, Fig. 4에 나타낸 공급섬유장이 8cm 이상인 경우는 연속 3회 개섬에도 완전한 개섬형태

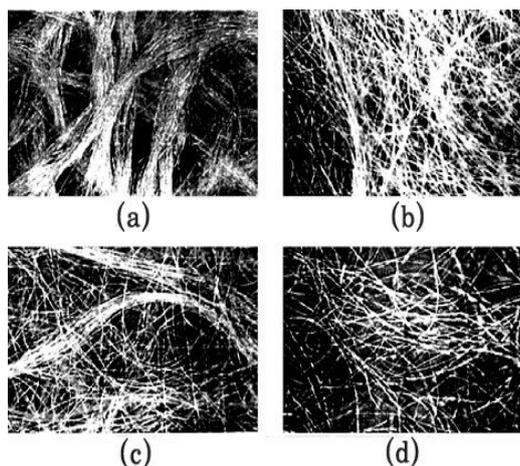


Fig. 2. Photographs of carded waste silks(fiber length: ≤5cm) with different number of carding. (a) raw (b) 1 (c) 2 (d) 3

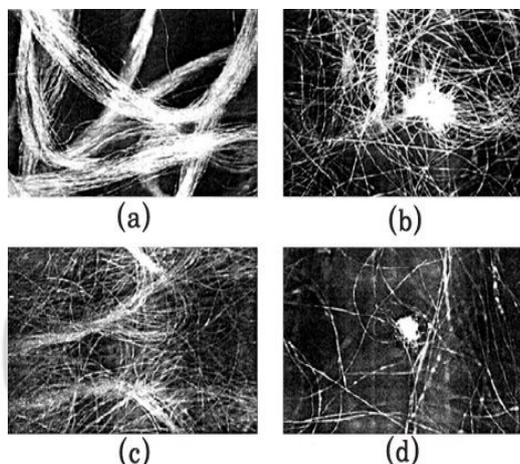


Fig. 3. Photographs of carded waste silks(fiber length: 6~7cm) with different number of carding. (a) raw (b) 1 (c) 2 (d) 3

는 아니고 일부 실 형태를 유지하는 것을 나타내며, 2회 개섬시 넵이 형성되는 것이 관찰된다.

이는 개섬공정을 거치면서 장섬유가 침포에 걸림으로서 섬유절단과 섬유압힘에 의해 넵이 생성되어 개섬효율이 저하되는 것으로 판단된다.

결과적으로 공급섬유장 변화에 따른 최적의 개섬효율은 섬유장이 증가할수록 개섬횟수를 증가하여야 한다. 공급섬유장이 8cm 미만인 경우는 3회 개섬횟수로 완전개섬이 가능하지만 8cm 이상의 공급섬유장을 갖는 섬유는 개섬횟수가 증가함에 따라 개섬효율은 증진되지만 섬유절단

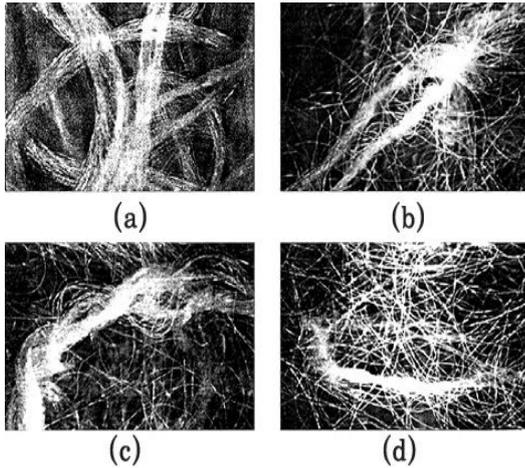


Fig. 4. Photographs of carded waste silks(fiber length: $\geq 8\text{cm}$) with different number of carding. (a) raw (b) 1 (c) 2 (d) 3

에 의해 넵(nep)형성이 증가하는 경향이 있다. 한편, 개섬과정에서 섬유거동 메카니즘을 분석해보면, 섬유집합체에서 섬유를 분리하는 개섬력은 침포에 섬유가 파지되어 개섬될 때 Fig. 5에 나타난 3가지 경우로 개섬작용을 받는다. 즉, 섬유집합체에서 섬유가 침포에 파지되어 개섬되는 경우와 침포에 파지된 위치에서 섬유가 절단되는 경우 및 침포에 파지되지 않은 임의위치에서 섬유가 절단되는 것으로 구분된다.

섬유의 개섬은 Fig. 5(a)에 나타난 섬유가 침포에 파지되어 섬유상에 작용하는 개섬력(W)이 섬유와 섬유사이의 마찰력 때문에 침포에서의 거리만큼 지수적으로 감소한다. 섬유가 침포와 접촉하는 위치에서 짧은 부분이 개섬되기 위해서는 침포가 작용하는 힘이 개섬력보다 크거나 같을 때 섬유는 개섬작용이 일어난다. 한편, 섬유가 침포와 접촉하는 위치에서 긴 부분의 개섬은 섬유와 침포사이에 작용하는 마찰력이 개섬력보다 크거나 같을 때 개섬된다.

개섬작용에 의한 섬유의 절단은 Fig. 5(b)와 (c)에 나타난 것과 같이, 침포와 섬유가 접촉하는 위치에서 절단되는 경우와 임의의 위치에서 절단되는 경우로 구분할 수 있다. 따라서 섬유에 작용하는 장력(T)은 침포가 접촉하는 섬유위치에서 침포의 마찰력(F)과 개섬력(W)에 영향을 받으므로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

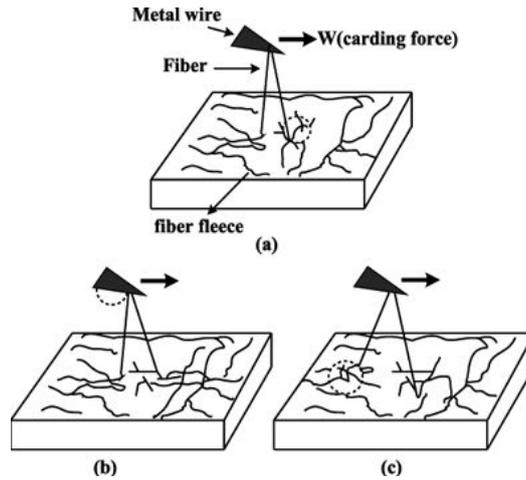


Fig. 5. Opening and breakage mechanism of silk fibers. (a) opening (b) fiber broken at contact point (c) fiber broken away from the contact point

$$T = F - W_{\text{short}}, \quad T = e^{\mu\pi} F - W_{\text{long}}$$

여기서, W_{short} 는 섬유가 침포와 접촉점을 중심으로 나누어지는 길이에서 짧은 부분에서 개섬력이고, W_{long} 은 길이가 긴 부분에서 개섬력이며, μ 는 섬유와 침포 사이의 마찰계수이다.

3.3 공급 섬유장의 영향

개섬에 의한 균제한 슬라이버를 얻기 위해서는 섬유절단에 의한 섬유장의 변화없이 개섬하는 것이 매우 중요하다. Fig. 6과 Fig. 7 및 Fig. 8은 공급섬유장별 개섬횟수에 따른 섬유장 분포의 변화를 조사하기 위해 섬유장분포의 모형판상의 섬유위에 투명한 종이를 올려놓고 분리배열된 섬유상단 끝부분을 따라 작성한 스테이플 곡선을 각각 나타낸다.

공급섬유장 5cm 이하의 섬유를 스테이플 곡선으로 나타낸 Fig. 6은 개섬횟수의 증가에 따라 섬유절단이 발생하여 섬유장이 약간 감소함을 나타내나 전체적인 섬유장의 변화는 비교적 적다. 반면에 Fig. 7에 나타난 공급섬유장이 6~7cm인 경우 1회 개섬시 스테이플 변화곡선의 경사가 급격하여 섬유절단이 많이 발생하는 것을 나타내며, 1회 개섬 이후에는 개섬횟수 증가에 따른 섬유의 절단빈도수가 크게 달라지지 않는다.

Fig. 8은 공급섬유장이 8cm 이상인 경우로 1회

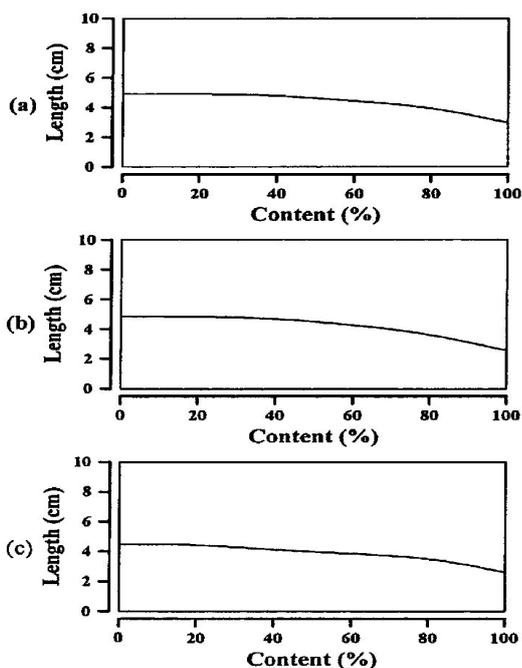


Fig. 6. Staple diagram of carded waste silks(fiber length: ≤ 5 cm) with different number of carding. (a) 1 (b) 2 (c) 3

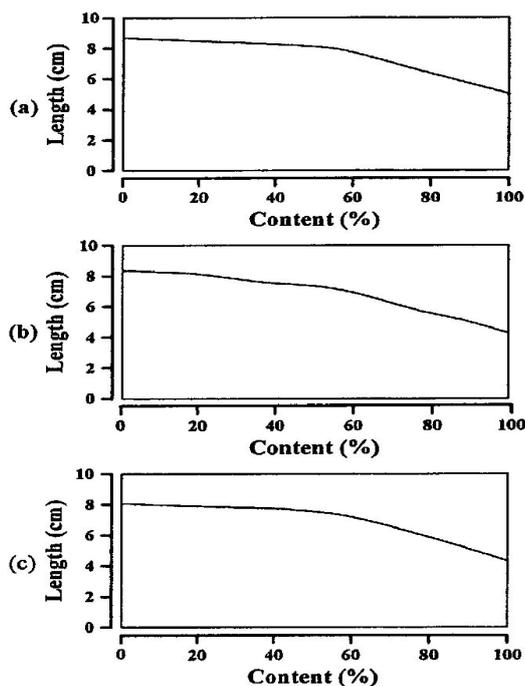


Fig. 8. Staple diagram of carded waste silks(fiber length: ≥ 8 cm) with different number of carding. (a) 1 (b) 2 (c) 3

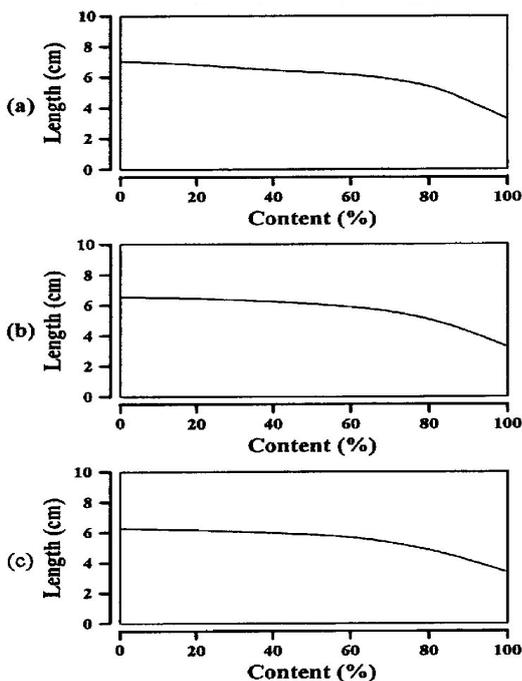


Fig. 7. Staple diagram of carded waste silks(fiber length: 6~7cm) with different number of carding.(fiber length: 6~7cm) (a) 1 (b) 2 (c) 3

개섬시 섬유함량 60% 이후 섬유장 변화곡선의 경사가 매우 급경사를 이루고 있어 섬유절단에 의한 섬유장 감소가 매우 큼을 알 수 있다. 또한, 단섬유장의 섬유장분포와는 달리 8cm 이상의 장섬유장에서는 개섬횟수의 증가에 따라 스테이플 곡선의 형태가 크게 변화되어 섬유절단률이 급격히 증가되는 것을 알 수 있다.

특히, 공급섬유의 섬유장 분포곡선에서 섬유함량 80% 이후의 개섬횟수 증가에 따른 섬유장 변화를 살펴보면, 공급섬유장이 증가할수록 섬유장 곡선의 경사가 급격한 것으로 공급섬유장이 길수록 개섬횟수 증가에 따라 섬유장 변화가 큰 것을 알 수 있다. 이는 침포조건의 영향으로 단섬유 조건에서는 적절한 개섬력과 파괴력에 의해 개섬이 이루어져 침포에 의한 섬유절단이 적게 발생하나, 장섬유는 조밀한 침포밀도에 적합하지 못하므로 침포에 섬유결립이 발생하여 파괴력에 의해 절단섬유가 많기 때문에 섬유장 변화가 큰 것으로 생각된다.

또한, 개섬횟수가 증가함에 따라 공급섬유장이 짧은 섬유장보다는 긴 섬유장에서 많은 량이

발생하며, 이는 침포밀도, 침포길이, 침포굵기 등의 동일 침포조건에서 단섬유장보다는 장섬유장에서 침포에 섬유결림이 많이 발생하는데 기인하여 섬유절단에 의한 섬유엄힘이 증가하기 때문이다.

Fig. 9는 공급섬유장과 개섬횟수에 따른 평균 섬유장을 3차원적으로 종합적으로 도식화하여 나타낸 것이다. 개섬횟수의 증가에 따른 평균 섬유장은 전반적으로 감소하는 경향이며, 구체적으로 공급섬유장이 5cm 이하인 경우 1회 개섬시 평균 섬유장은 3.9cm인데 2회 개섬시에는 3.7cm로 약 5.1%의 감소율을 보이며, 2회에서 3회 개섬시에는 3.6cm로 약 2.7%의 감소율을 나타낸다. 한편, 공급섬유장이 5~6cm, 6~7cm, 7~8cm, 8cm 이상인 경우에는 개섬횟수가 1회에서 2회로 증가하였을 때 각각 6.3%, 5.8%, 5.6%, 4.6%의 평균 섬유장 감소를 보이는데 2회에서 3회 개섬에는 각각 6.8%, 6.2%, 6%, 8%의 감소율을 나타낸다. 따라서 공급섬유장과 개섬횟수가 증가할수록 섬유절단이 많이 발생함을 알 수 있다.

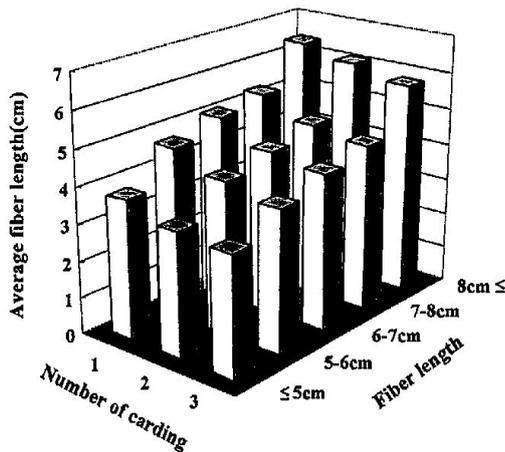


Fig. 9. Effect of the number of carding on average fiber length of waste silks.

3.4 형태학적 구조

Fig. 10은 개섬에 의한 폐견섬유의 형태학적 구조를 나타낸 사진으로 침포와 접촉하여 발생하는 섬유상 내부균열과 섬유굽힘, 섬유표면의 마모와 필링(pilling) 및 섬유절단형태가 관찰되었다. 섬유상 내부균열은 섬유가 침포에 파지되

어 충격을 받을 때 섬유상 미세결점부에서 응력 집중을 받아 균열이 발생되며, 아울러 섬유굽힘 형태는 침포에 섬유가 파지되는 점에서 발생하는 것으로 개섬요소 주변에 섬유가 굴곡되어 받는 압축력 효과에 기인하는 것으로 판단된다.

또한 섬유표면의 마모와 필링형태는 침포둘레에서 발생하는 섬유미끄러짐에 의한 표면마모와 섬유축 방향으로 발생된 내부균열이 횡축 방향으로 전개되어 표면 피브릴층이 벗겨지는 현상이고, 섬유절단은 섬유와 침포사이에서 발생하는 접촉응력과 압축응력의 복합적인 작용에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 공급섬유장을 5cm 이하로 개섬횟수를 달리하였을 때 섬유의 균열발생 및 절단형태를 나타낸 것으로 1회 개섬시 섬유내부에서 섬유축 방향으로 미세균열을 나타내며, 2회 개섬시에는 섬유표면부로 균열이 전개되어 표면층의 피브릴이 벗겨진 필링형태를 보이고 있다. 또한, 3회 개섬시에는 새로운 피브릴층으로 균열이 전개되면서 섬유가 절단된 것을 나타내고 있다.

한편, 공급섬유장이 6-7cm인 경우 섬유의 균열발생 및 절단형태는 공급섬유장 5cm와 유사한 경향이지만 심한 균열발생을 나타낸다. 또한, 공급섬유장이 8cm 이상인 경우는 다른 공급섬유장에 비해 매우 심한 균열형태를 보이고 있다. 이는 섬유가 개섬작용을 받을 때 공급섬유

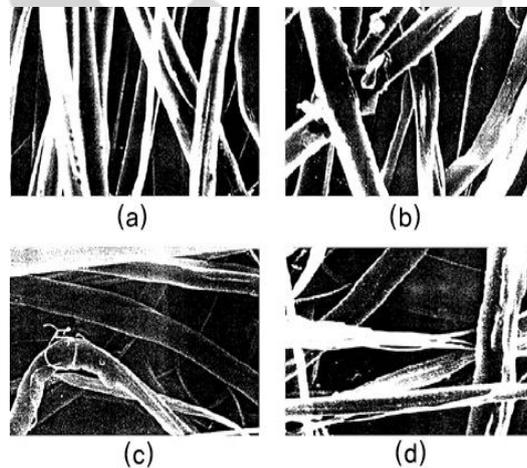


Fig. 10. SEM microphotographs of structure for waste silks after carding action. (a) micro-cracks, (b) fiber bending, (c) fiber abrasion and pilling, (d) fiber broken

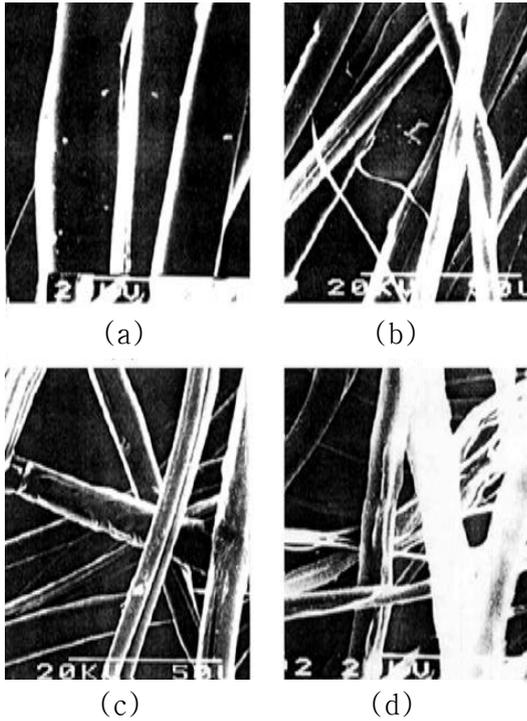


Fig. 11. SEM microphotographs of micro-cracks and failure for waste silks(fiber length: ≤ 5cm) with different number of carding. (a) raw (b) 1 (c) 2 (d) 3

장이 길수록 요구되는 개섬력이 증가하여 섬유가 받는 장력이 보다 크기 때문이다.

3.5 섬유절단 메카니즘

Fig. 12는 공급섬유장과 개섬횟수의 변화에 따른 섬유의 균열발생과 전개과정을 단계적으로 도식화하여 나타낸 것이다. 개섬시 섬유는 침포에 접촉하여 미세결점부에서 균열이 발생하고 개섬작용에 의해 신장되어 섬유축 방향으로 내부균열이 전개되고(b), 이후 연속적으로 침포에 접촉하므로써 내부균열이 더욱 진행되어 결과적으로 경사각을 갖는 균열이 섬유표면부로 전개된다. 아울러 섬유 미끄러짐에 의해 표면 마모층과 접촉하여 1차 피브릴층의 파단이 일어난다(c). 한편, 1차 절단된 피브릴은 응력이 다음층으로 전달되어 새로운 균열이 발생하며(d) 이러한 균열전파 메카니즘은 최초의 피브릴 구성단위로부터 섬유가 완전하게 절단될 때까지 진행된다고 생각된다(e).

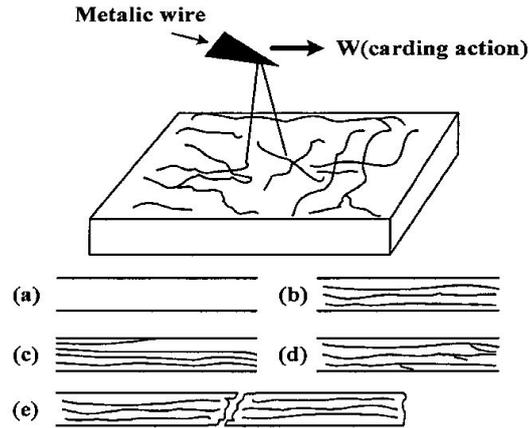


Fig. 12. Failure mechanism of the waste silk by carding action.

4. 결 론

견직물 제조공정에서 발생하는 폐견섬유를 재활용하기 위한 최적 탈색조건과 공급되는 섬유장 및 개섬횟수에 따른 최적의 개섬조건과 소면작용에 의한 섬유의 절단메카니즘을 조사한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 탈색 처리온도는 본 실험조건 중 75℃에서 우수한 탈색효과를 나타냈으며, 탈색용액의 농도와 처리시간은 3% NaOH로 10분 처리 후 80% Na₂S₂O₄로 30분 처리하였을 때 우수한 탈색을 보였다.
- (2) 공급되는 섬유장에 관계없이 3회 개섬시 우수한 개섬효과를 나타냈으나 섬유장이 8cm 이상은 완전한 개섬이 이루어지지 않았다. 한편, 섬유장이 5cm이하, 5~6cm인 경우는 3회 개섬시 넵(nep)이 발생하지만, 6cm이상의 섬유장에서는 2회 개섬시 넵이 발생하는 것으로 나타났다.
- (3) 섬유장이 5cm 이하인 경우 개섬횟수 증가에 따른 섬유장 감소는 적었으며, 공급섬유장이 증가할수록 섬유절단이 많이 발생한다. 이는 아래에 나타낸 침포조건과 원료섬유 조건에 따른 섬유상에 작용하는 장력과 관계식으로 해석된다.

$$T = F - W_{\text{short}}, \quad T = e^{\mu\pi} F - W_{\text{long}}$$

따라서, 본 실험조건에서 최적의 개섬조건

- 은 공급섬유장의 경우 5cm이하와 5~6cm, 카딩횟수는 뱀발생 정도가 적은 2회가 가장 적합한 조건으로 판단된다.
- (4) 개섬에 의한 견섬유의 구조변화는 섬유와 침포사이에 작용하는 접촉응력과 압축응력에 의해 섬유상 내부균열과 섬유굽힘, 섬유표면의 마모와 필링(pilling) 및 섬유절단형태가 관찰되었다.
- (5) 개섬과정에서 침포에 의한 섬유절단의 거동은 섬유내부에서 섬유축 방향으로 미세균열이 발생한 후 섬유 표면부로 균열이 전개되고, 계속적인 침포접촉에 의해 새로운 피브릴층으로 균열이 전개되면서 결과적으로 섬유가 완전히 절단되는 메카니즘으로 진행된다.

참고문헌

1. Y. Matsumoto, I. Tsuchiya, K. Toriumi, and K. Harakawa, A Study of Throstle-spun Silk/Raw Silk Core-spun Yarns, *J. Text. Inst.*, **81**(1), 48-58(1990).
2. M. Matsudaira, S. Kawabata and M. Niwa, The Loss of Crimp and Crimp Recovery of Wool Fibers during High-Speed Worsted Spinning, *J. Text. Inst.*, **75**(4), 267-272(1984).
3. M. Matsudaira and S. Kawabata, A Study of the Mechanical Properties of Woven Silk Fabrics. Part I: Fabric Mechanical Properties and Handle Characterizing Woven Silk Fabrics, *J. Text. Inst.*, **79**(3), 458-475(1988).
4. M. Matsudaira and S. Kawabata, A Study of the Mechanical Properties of Woven Silk Fabrics. Part II: Analysis of the Shearing Properties of Woven Silk Fabric, *J. Text. Inst.*, **79**(3), 476-489(1988).
5. U. Mayer, J. Z. Wang, Y. Xia, J. Z. Yang, and H. Zollinger, Dye-Fiber Bond Stabilities of Some Reactive Dyes on Silk, *J. Soc. Dyers Colour*, **102**(1), 6-11(1986).
6. Y. Xia, Surface Barrier Effects in Silk Dyeing, Part II: Studies of Surface Barrier and Bulk Diffusion Using a Radioactively Labelled Dye, *J. Soc. Dyers Colour*, **99**(2), 56-63(1983).
7. G. A. Carnaby, Compressional Energy of the Random Fiber Assembly, *Textile Res. J.*, **62**(4), 185-191(1992).
8. G. A. Carnaby and G. R. B. Claridge, Carding of Tender Wool. Part I: Theory, *Textile Res. J.*, **66**(2), 90-98(1996).
9. G. A. Carnaby, P. J. Moss, R. G. Djaja, and A. J. Carr, Finite Element Modeling of an Oriented Assembly of Continuous Fibers, *Textile Res. J.*, **62**(8), 445-447(1992).
10. B. Li, N.A.G. Johnson and X. Wang, The Measurement of Fiber-Withdrawal Forces in Simulated High-Speed Carding, *J. Text. Inst.*, **87**(2), 311-320(1996).
11. A. A. Gharehaghaji and N. A. G. Johnson, Wool Fiber Microdamage Caused by Opening Processes. Part I: Sliver Opening, *J. Text. Inst.*, **84**(3), 336-347(1993).
12. A. A. Gharehaghaji and N. A. G. Johnson, Wool Fiber Microdamage Caused by Opening Processes. Part II: A Study of the Contact Between Opening Elements and Wool Fiber in Controlled Extension, *J. Text. Inst.*, **86**(3), 402-414(1995).
13. G. R. B. Claridge, Carding of Tender Wool. Part II: Evaluation of the Model, *Textile Res. J.*, **66**(3), 141-150(1996).