

# 폐견섬유의 소면조건에 따른 카딩효율과 섬유절단메카니즘

이순근, 이래연, 주창환  
충남대학교 섬유공학과

## 1. 서론

섬유산업도 다른분야와 마찬가지로 자원의 절약 및 지구의 오염방지 차원에서 섬유의 재활용에 대한 관심이 증대되고 있으며 선진국에서는 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히, 보강 및 차음 기능의 자동차내장재, 여과기능의 각종 산업소재 등의 비의류용에 사용되는 섬유의 수요는 산업의 발달로 매년 급속한 증가추세이고, 생활수준의 향상으로 고급 섬유소재인 실크의 침장 및 실내장식용의 이용은 더욱 더 많을 것으로 예상되고 있다. 또한, 실크는 천연섬유 중에서 가장 촉감이 우수하며 비중이 적고 레질리언스(resilience)가 좋아 공기의 보유능력이 커 보온성 및 유체흡수력이 뛰어난 것으로 알려져 있다<sup>1-7)</sup>.

한편, 고급의류용 섬유소재로 사용되는 견(silk)은 제사, 방직, 제직, 염색가공 공정에서 발생하는 폐사 및 폐직물이 많아 이것의 처리가 큰 문제점으로 대두되고 있다. 일반적으로 견섬유는 필라멘트로 사용되기 때문에 방직의 원료로 사용하는 경우가 드물다. 따라서, 폐견 단섬유를 활용한 견 방직사 제조를 위해 최적의 카딩조건을 결정하는 것이 중요하다. 아울러, 섬유는 카딩시 침포에 접촉하여 복잡한 형태의 응력을 받으므로 접촉응력과 압축응력에 의한 섬유절단 메카니즘의 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 제조공정에서 발생하는 폐견과 의류용으로 사용된 견제품을 부가가치가 높은 침장 및 실내장식용 뿐만아니라 여과 흡수력이 우수한 산업용 섬유소재로 재사용하기 위한 최적 카딩조건을 결정하기 위하여 카딩조건 변화에 따른 견섬유의 절단메카니즘을 규명하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 탈색

본 실험에 사용된 폐견직물은 산성염료, 직접염료 등의 다양한 염료로 염색되어 있고 폴리에스테르 섬유와 교직(interlacing)되어 있어 순수 폐실크를 분리하고 NaOH로 처리한 후  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 를 처리하여 탈색하였다.

## 2.2 폐건의 카딩 실험

탈색한 폐건을 섬유장별(5cm 이하, 5~6cm, 6~7cm, 7~8cm, 8cm이상)로 구분하여 실온에서 24시간 건조한 후 전자저울(Precisa 300A, Switzerland)을 이용해 랜덤하게 시료 100g을 채취하여 샘플 플랫폼카딩기로 연속 3회 카딩하였다. 카딩 횟수에 따른 개섬효율을 알아보기 위하여 샘플채취를 1, 2, 3회로 구분하였으며 카딩시 웹공급 시간은 5분으로 일정하게 하였다.

한편, 카딩 처리후 섬유가 일부 침포안에 존재하기 때문에 다음 카딩시 섬유와 혼섬될 가능성이 있으므로 1, 2, 3회 카딩의 각 과정에서 일정시간(1min) 동안 웹이 빠져나가도록 한 다음 각각 20g의 웹을 채취하였다. 또한 공급섬유장별로 연속 3회 카딩한 후 테이커인과 실린더, 도퍼, 플랫폼 등의 커버를 분리하여 침포안에 존재하는 섬유와 잡물은 완전히 제거하였다.

## 2.3 형태학적 구조분석

섬유장과 카딩횟수에 따른 탈색 폐실크의 개섬 및 정섬효과를 알아보기 위해 탈색 폐건을 랜덤하게 0.03g을 채취한 다음, 공급섬유장별에 따라 광학현미경을 이용하여 사진촬영하였다. 한편, 섬유가 침포에 접촉하여 발생하는 섬유의 구조변화와 섬유절단구조형태는 SEM을 이용해 사진촬영하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 개섬력 이론

개섬력은 섬유집합체내의 섬유를 개섬하는데 요구되는 힘으로 섬유집합체 내의 섬유는 많은 다른 섬유와 접촉하고 있어 침포에 섬유가 파지되어 개섬될 때 Fig. 1에 나타낸 3가지 경우로 개섬작용을 받을 것으로 생각할 수 있다. 구체적으로, 섬유의 끝부분이 침포에 파지되어 개섬되는 경우와 침포에 파지된 점에서 섬유가 절단되는 경우 및 침포에 파지되지 않은 임의 다른점에서 섬유가 절단되는 경우로 구분할 수 있다. 따라서 섬유가 침포에 파지되어 개섬될 때 섬유상에 작용하는 개섬력(W)은 섬유와 섬유 사이의 마찰력 때문에 침포에서의 거리 만큼 지수적으로 감소하므로 식(1)과 같이 된다<sup>8,9</sup>.

$$W = \alpha(e^{kSc} - 1), \quad 0 \leq Sc \leq \frac{L}{2} \quad (1)$$
$$W = \alpha(e^{k(L-Sc)} - 1), \quad \frac{L}{2} \leq Sc \leq L$$

여기서, L은 섬유장이고, Sc는 침포와의 접촉점이며,  $\alpha$ 와 k는 상수이다.

또한, 섬유에 작용하는 장력(T)은 접촉점에서 작용하는 힘(F)과 개섬력(W)의 작용에 의해 식 (2)와 같이 된다.

$$T = F - W$$

(2)

### 3.2 개선효율

Fig. 2는 공급섬유장이 5cm 이하일 때 카딩횟수의 변화에 따른 개선효율을 알아보기 위해 광학현미경을 이용해 80배로 확대하여 나타낸 사진이다. 카딩횟수 1회시에는 대부분의 섬유가 분리되어 개선되지만 실의 형태를 유지하는 것을 보이고 있으며, 2회 카딩시에는 거의 완전하게 개선된 형태를 보인다. 또한, 3회 카딩시에는 완전히 개선된 것을 보이나 일부 넵(nep)이 존재하는 것을 알 수 있다.

한편, 공급섬유장이 증가함에 따라서는 카딩횟수가 증가할수록 우수한 개선형태를 보이거나 장섬유가 침포에 걸림으로서 섬유영킴에 의한 넵형성과 섬유절단이 많이 발생하는 것을 나타내었다.

### 3.3 카딩에 의한 형태학적 구조

카딩에 의한 폐견섬유의 형태학적 구조변화는 Fig. 3에 나타내었듯이 침포와 접촉하여 발생하는 섬유상 내부균열과 섬유굽힘, 섬유표면의 마모와 필링(pilling) 및 섬유절단형태가 관찰되었다. 섬유상 내부균열은 섬유가 침포에 파지되어 발생하는 접촉응력에 의해 섬유축 방향으로 발생하는 것을 알 수 있으며, 섬유굽힘형태는 침포에 섬유가 파지되는 점에서 발생하는 것으로 압축력효과에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 섬유표면의 마모와 필링형태는 침포돌레에서 발생하는 섬유미끄러짐에 의한 표면마모와 섬유축 방향으로 발생된 내부균열이 횡축방향으로 전개되어 나타나는 현상으로 생각되며, 섬유절단은 섬유와 침포 사이에서 발생하는 접촉응력과 압축응력의 복합적인 작용에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

#### 3.3.1 공급섬유장과 카딩횟수 변화에 따른 구조변화

Fig. 4는 공급섬유장을 5cm로 일정하게 하여 카딩횟수를 달리하였을 때 섬유의 균열발생 및 절단 형태를 SEM을 이용해 600배로 촬영하여 나타낸 사진이다. 1회 카딩시 섬유내부에서 섬유축 방향으로 미세균열이 발생하는 것을 보이고 있으며, 2회 카딩시에는 섬유표면부로 균열이 전개되어 표면층의 피브릴이 벗겨지는 필링형태를 보이고 있다. 또한, 3회 카딩시에는 새로운 피브릴층으로 균열이 전개되면서 섬유가 절단된 것을 나타내고 있다.

Fig. 5는 카딩횟수를 1회로 일정하게 하고 공급섬유장을 변화시켜 카딩하여 SEM을 이용해 사진촬영하여 나타낸 것으로 공급섬유장이 짧은 5cm 이하의 경우에는 섬유내부에서 미세균열이 발생하는 것을 보이고 있으며, 공급섬유장 6-7cm와 8cm이상에서는 섬유내부에서의 균열과 섬유표면의 필링현상을 보이고 있다. 따라서 섬유장이 길수록 섬유와 섬유사이의 마찰력과 섬유와 침포사이의 접촉응력이 증가함을 알 수 있다.

### 3.3.2 섬유절단 메카니즘

Fig. 6은 공급섬유장과 카딩횟수의 변화에 따른 섬유의 균열발생과 절단전개과정을 단계적으로 도식화하여 나타낸 그림이다. 카딩시 섬유는 칩포에 접촉하여 섬유축방향으로 내부 균열이 미세하게 발생하고(b) 연속적으로 칩포에 접촉하므로서 내부균열이 더욱 더 진행되며 결과적으로 경사각을 갖는 균열이 섬유표면부로 전개된다(c). 한편, 1차 절단된 피브릴은 응력이 다음층으로 전달되어 새로운 균열이 발생하며(d) 이러한 균열전파 메카니즘은 최초의 피브릴러 구성단위로 부터 섬유가 완전하게 절단될때까지 전달된다고 생각된다(e).

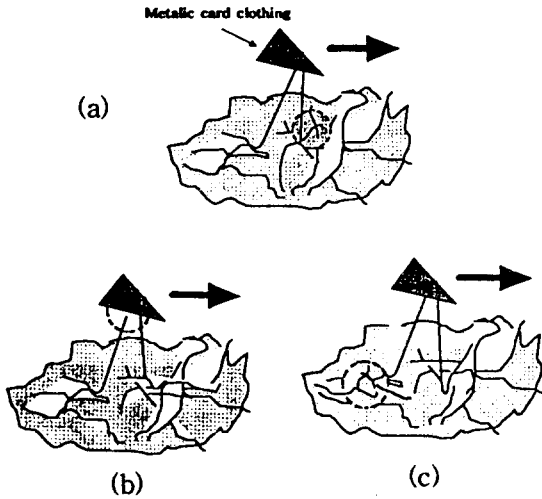


Fig. 1 Opening and breakage of fibers on metal clothing wire.  
 (a) opening  
 (b) fiber broken at the contact point  
 (c) fiber broken away from the contact point

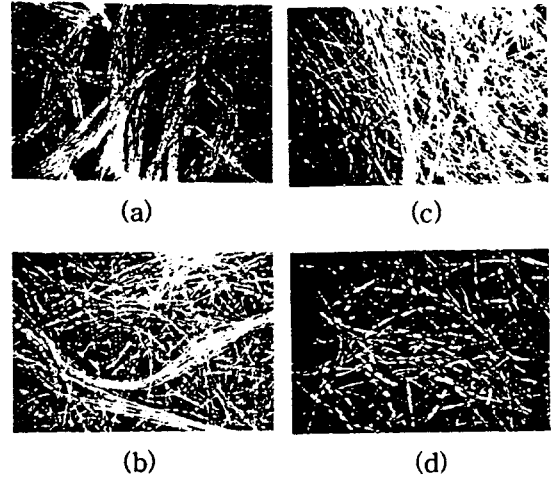


Fig. 2 Photographs of the decolorized waste silk with different number of carding.(fiber length :  $\leq 5\text{cm}$ )  
 (a)raw, (b) number of carding: 1  
 (c) number of carding: 2  
 (d) number of carding: 3

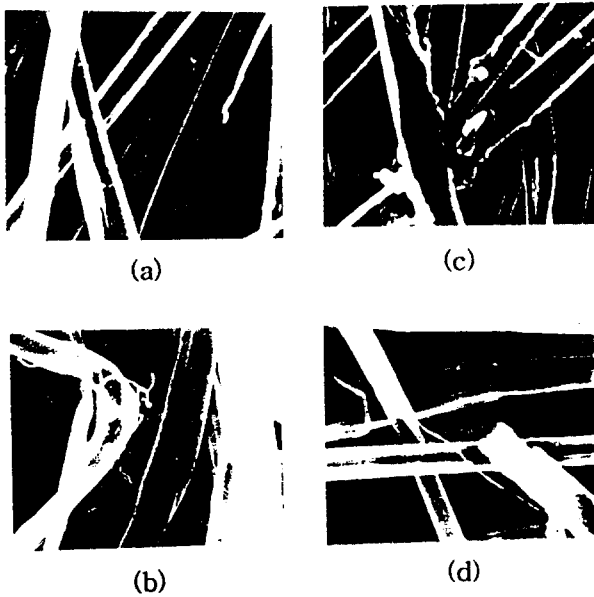


Fig. 3 SEM microphotographs of structure for the decolorized waste silk after carding.  
 (a) micro-cracks (b) fiber bending  
 (c) abrasion and pilling of fiber surface  
 (d) fiber broken

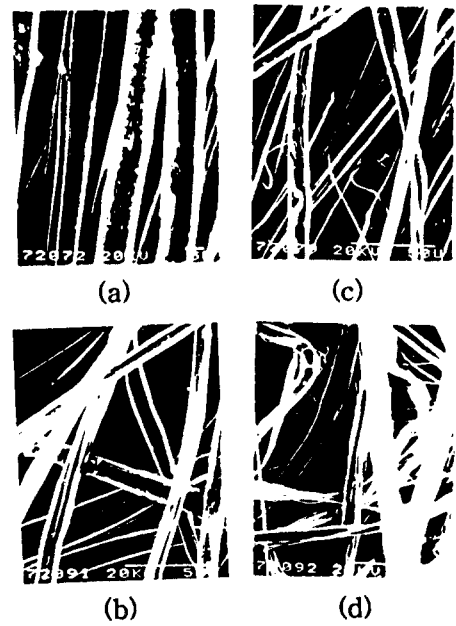


Fig. 4 Photographs of micro-cracks and failure for decolorized waste silk with different number of carding. (fiber length :  $\leq 5\text{cm}$ )  
 (a) raw (b) number of carding: 1  
 (c) number of carding: 2  
 (d) number of carding: 3

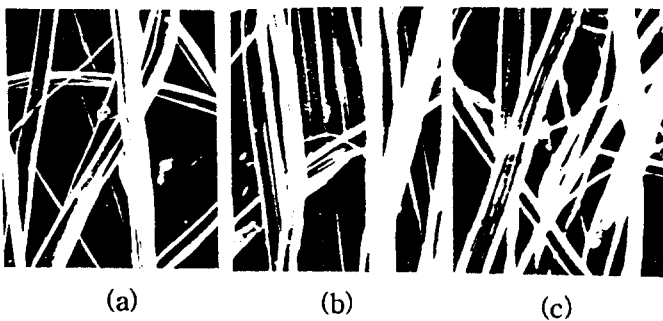


Fig. 5 Photographs of micro-cracks and failure for decolorized waste silk with different fiber length. (number of carding: 1)  
 (a)  $\leq 5\text{cm}$  (b) 6-7cm (c)  $8\text{cm} \leq$

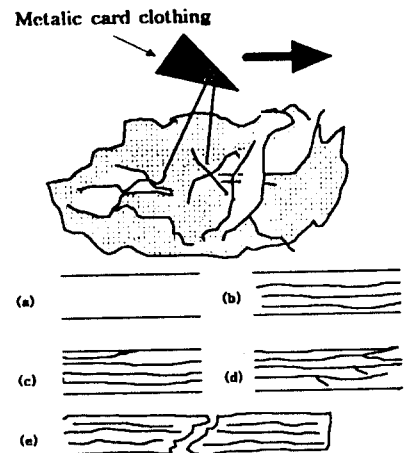


Fig. 6 The failure mechanism of decolorized waste silk by carding.

#### 4. 결 론

고가의 견제품 제조공정에서 발생하는 폐섬유를 재활용하기 위한 카딩조건 실험에서 공급섬유장과 카딩횟수의 변화에 따른 최적 카딩조건 및 섬유절단메카니즘은 아래와 같다.

- (1) 개선효율은 공급섬유장에 관계없이 3회 카딩시 우수한 개선효과를 나타냈으며, 공급섬유장이 증가할수록 섬유의 절단이 많이 발생함을 알 수 있었다. 따라서 본 실험 조건에서 최적카딩조건은 공급섬유장의 경우 5cm이하와 5~6cm, 카딩횟수는 넵발생 정도가 적은 2회가 가장 적합한 조건으로 판단된다.
- (2) 카딩에 의해 발생하는 섬유의 구조변화 형태는 섬유의 침포접촉에 의해 작용하는 접촉응력과 압축응력에 의해 섬유상 내부균열과 섬유굽힘, 섬유표면의 마모와 필링(pilling) 및 섬유절단구조가 관찰되었다.
- (3) 카딩에 의한 섬유절단은 섬유내부에서 섬유축 방향으로 미세균열이 발생한 후 섬유표면부로 균열이 전개되고 지속적인 침포접촉에 의해 새로운 피브릴층으로 균열이 전개되면서 섬유가 절단되는 것을 알 수 있었다.

감사의 말씀 : 본 연구는 충남대학교 공과대학 국채사업비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. M. Minagawa, "Science of Silk", Clothing Life Inst. of Kansai, Osaka, Japan, 334(1980)
2. R. Freedman and K. Smith, American Dyestuff Report, 34, 232 (1992)
3. M. Matsudaira, S. Kawabata, and M. Niwa, J. Text. Inst., 75, 267(1984)
4. R.E. Marsh and L. Pauling, Biochem. Biophys. Acta, 16, 1(1955)
5. F. Lucas and S.G. Smith, Biochem. J., 83, 164(1962)
6. B. Miller, H. Friedman, and R. Amundson, J. of Inda, 3(4), 16(1991)
7. B. Miller and I. Tyomkin, Textile Res. J., 54, 708(1984)
8. G.A. Carnaby, Textile Res. J., 54, 366(1984)
9. G.R.B. Claridge, Textile Res. J., 66, 141(1996)

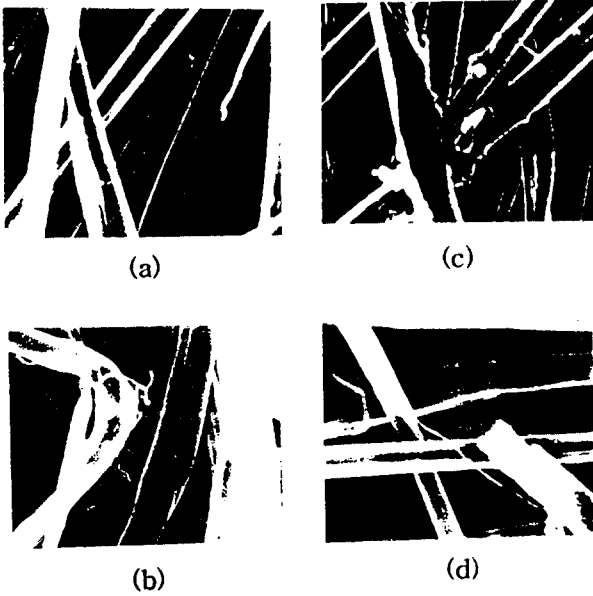


Fig. 3 SEM microphotographs of structure for the decolorized waste silk after carding.  
 (a) micro-cracks (b) fiber bending  
 (c) abrasion and pilling of fiber surface  
 (d) fiber broken

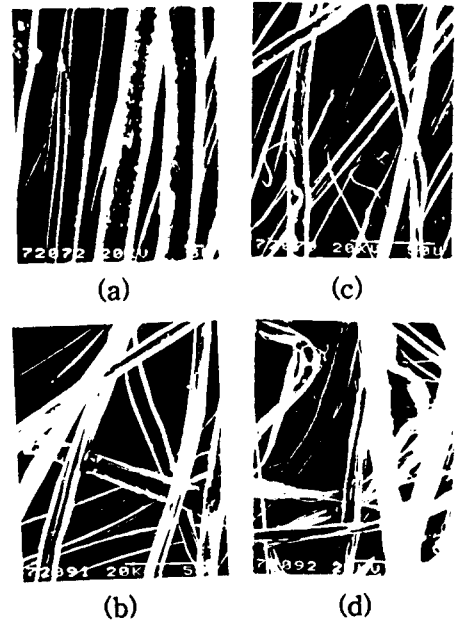


Fig. 4 Photographs of micro-cracks and failure for decolorized waste silk with different number of carding. (fiber length :  $\leq 5\text{cm}$ )  
 (a) raw (b) number of carding: 1  
 (c) number of carding: 2  
 (d) number of carding: 3

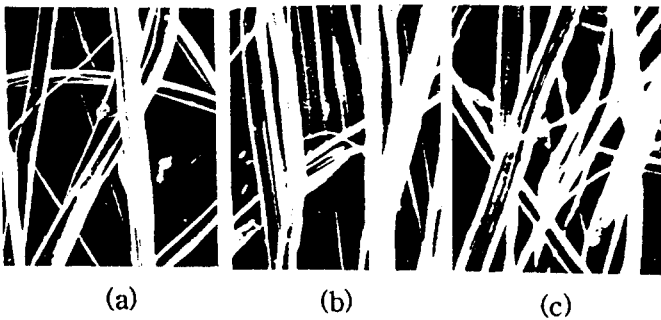


Fig. 5 Photographs of micro-cracks and failure for decolorized waste silk with different fiber length. (number of carding: 1)  
 (a)  $\leq 5\text{cm}$  (b) 6-7cm (c)  $8\text{cm} \leq$

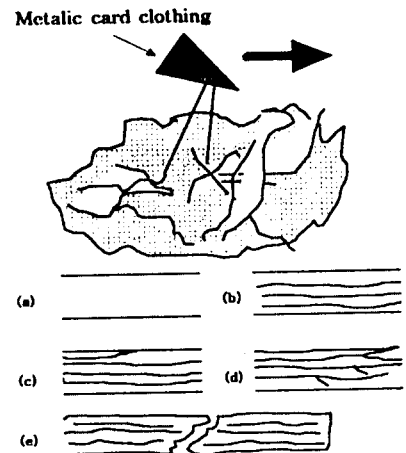


Fig. 6 The failure mechanism of decolorized waste silk by carding.

#### 4. 결 론

고가의 견제품 제조공정에서 발생하는 폐섬유를 재활용하기 위한 카딩조건 실험에서 공급섬유장과 카딩횟수의 변화에 따른 최적 카딩조건 및 섬유절단메카니즘은 아래와 같다.

- (1) 개섬효율은 공급섬유장에 관계없이 3회 카딩시 우수한 개섬효과를 나타냈으며, 공급섬유장이 증가할수록 섬유의 절단이 많이 발생함을 알 수 있었다. 따라서 본 실험 조건에서 최적카딩조건은 공급섬유장의 경우 5cm이하와 5~6cm, 카딩횟수는 넵발생 정도가 적은 2회가 가장 적합한 조건으로 판단된다.
- (2) 카딩에 의해 발생하는 섬유의 구조변화 형태는 섬유의 침포접촉에 의해 작용하는 접촉응력과 압축응력에 의해 섬유상 내부균열과 섬유굽힘, 섬유표면의 마모와 필링(pilling) 및 섬유절단구조가 관찰되었다.
- (3) 카딩에 의한 섬유절단은 섬유내부에서 섬유축 방향으로 미세균열이 발생한 후 섬유 표면부로 균열이 전개되고 지속적인 침포접촉에 의해 새로운 피브릴층으로 균열이 전개되면서 섬유가 절단되는 것을 알 수 있었다.

감사의 말씀 : 본 연구는 충남대학교 공과대학 국제사업비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. M. Minagawa, "Science of Silk", Clothing Life Inst. of Kansai, Osaka, Japan, 334(1980)
2. R. Freedman and K. Smith, American Dyestuff Report, 34, 232 (1992)
3. M. Matsudaira, S. Kawabata, and M. Niwa, J. Text. Inst., 75, 267(1984)
4. R.E. Marsh and L. Pauling, Biochem. Biophys. Acta, 16, 1(1955)
5. F. Lucas and S.G. Smith, Biochem. J., 83, 164(1962)
6. B. Miller, H. Friedman, and R. Amundson, J. of Inda, 3(4), 16(1991)
7. B. Miller and I. Tyomkin, Textile Res. J., 54, 708(1984)
8. G.A. Carnaby, Textile Res. J., 54, 366(1984)
9. G.R.B. Claridge, Textile Res. J., 66, 141(1996)