

〈研究論文(學術)〉

알칼리 감량 폴리에스테르 섬유의 기공도와 염색성

김병인 · 김태경 · 임용진 · 조광호* · 조규민**

경북대학교 공과대학 염색공학과

*삼일염직(주) 연구소

**영남이공대학 텍스타일시스템계열

(2000년 8월 29일 접수)

The Porosity and the Dyeability of Polyester Fiber Treated with Sodium Hydroxide Aqueous Solution

Byung In Kim, Tae Kyung Kim, Yong Jin Lim,
Kwang Ho Cho*, and Kyu Min Cho**

Department of Dyeing and Finishing, College of Engineering,

Kyungpook National University, Taegu, Korea

**Sam-Il Dyeing and Finishing Co. Ltd., Research Center, Taegu, Korea*

***Division of Textile system, Yeungnam College of Science & Technology, Taegu, Korea*

(Received August 29, 2000)

Abstract—The porosity of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution was investigated using a nitrogen porosimeter, and the dyeability of the treated fibers was discussed in terms of the porosity.

In pore distribution, the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution were characterized by higher amount of pores below 10Å than those of the untreated fibers, and by shift of the pore size having maximum accumulated volume from 10Å for the untreated fibers to 5~6Å.

As the weight loss of the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution increased, BET surface area and total pore volume increased linearly, but average pore size, showing some different aspect, increased steeply at earlier stage and then approached the maximum value.

The dye uptakes of the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution increased with the BET surface area, the total pore volume and the average pore size. The alkali treatment increased the surface area of polyester fibers, so that the chance of contact between the fiber and dye molecules increased. In addition, the pores created on the surface of polyester fibers by alkali treatment might act as pathways for dye molecules into the polyester fibers.

1. 서 론

폴리에스테르 섬유의 물성 및 염색성을 개선하

기 위한 방법이 많이 알려져 있으나, 그 중 대표적인 것이 견섬유와 유사한 촉감과 태를 가지게 하는 알칼리 감량가공이다. 그러나 알칼리 감량의 경

우 대부분 폴리에스테르 섬유의 유연화에 따른 촉감과 태의 개선이라는 관점에서 연구되었을 뿐¹⁻³⁾ 염색성과의 상관성에 대해 보고된 예는 거의 없다.

알칼리감량에 의한 폴리에스테르 섬유의 구조 분석을 위해서는 X-ray, DSC 등에 의한 결정성 분석과⁴⁻⁵⁾ SEM에 의한 표면분석⁶⁾이 주로 이용되고 있다. SEM에 의한 표면관찰은 시료의 극히 일부분만을 관찰, 분석하므로 이를 시료전체의 상태로 평균적으로 설명하기는 어려우며, 또한 미세기공의 표면적 및 크기별 절대분포량 등을 나타내는 것은 원리적으로 불가능하다. 그러나 최근 porosimeter를 이용하여 섬유표면의 미세구조를 분석하려는 시도가 이루어지고 있다⁷⁾. Porosimeter에는 수은의 침투를 이용한 mercury porosimeter와 질소기체의 물리적 흡착을 이용한 nitrogen porosimeter가 있으나, mercury porosimeter의 경우 최고 수만 psi까지의 높은 압력이 가해지므로 시료에 따라서는 변형도 우려된다. 이에 비해 nitrogen porosimeter는 77K로 냉각된 시료에 질소기체를 흡착 또는 탈착시키고, 각 압력하에서의 질소기체의 흡착량을 구하며 이로부터 시료의 표면적과 미세기공의 크기별 절대량과 분포 등을 계산할 수 있다.

본 연구에서는 nitrogen porosimeter를 이용하여 여러 가지 농도의 수산화나트륨 수용액으로 처리한 폴리에스테르 섬유의 감량률에 따른 표면적 변화와 형성된 기공의 총 부피 그리고 기공의 평균 크기 등을 조사하고, 이들 기공도와 염색성과의 상호관계를 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 시료 및 염료

시료로는 정련된 폴리에스테르 평직물(75D/36F, 176×82 fil./in.)을, 염료는 시약용 분산염료인 C. I. Disperse Violet 1(1,4-diaminoanthraquinone)을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1 알칼리 처리

6, 12, 15, 22, 25%의 수산화나트륨 수용액을 사용하여 욕비 1:100의 조건으로 80℃에서 1시간동

안 처리한 후 상온의 증류수로 수회 세척하고, 다시 0.1% 초산용액으로 중화하여 수세 건조하였다. 처리 전후의 건조무게를 측정하여 감량률을 계산하였다.

2.2.2 SEM을 이용한 표면관찰

알칼리 처리에 의한 시료의 표면상태 변화를 주사전자현미경(JSM-5800LV, JEOL Co., Japan)을 사용하여 2000배의 배율로 관찰하였다.

2.2.3 염색성

알칼리 처리한 시료와 미처리 시료 각 0.03g을 3% o.w.f.의 염료를 사용하여 욕비 1:4,500의 조건으로 40℃에서 130℃까지 60분에 걸쳐 승온하고, 130℃에서 60분간 염색하였다.

2.2.4 염색속도

알칼리 처리한 시료와 미처리 시료 각 0.01g을 0.01g의 염료를 사용하여 욕비 1:5,000의 조건으로 각각 100℃와 130℃에서 염색속도를 조사하였다. 염색에 사용한 기기는 고온고압염색기인 Auto-textile Dyeing Machine(고려과학산업)이었다.

2.2.5 염착량 측정

염색 후 진공 건조된 폴리에스테르 섬유 일정량의 무게를 정확히 측정된 후 100% N,N-dimethylformamide로 95℃에서 완전히 추출하고, 분광광도계(UV-Vis. Spectrophotometer, UV-2100, Shimadzu)를 사용하여 이의 흡광도를 측정하고 미리 작성된 검량선으로부터 염착량을 계산하였다.

2.2.6 기공도 분석

질소흡착형 미세기공분석기인 Micromeritics사의 Accelerated Surface Area and Porosimetry System(ASAP 2010)을 사용하였다. 알칼리 처리 및 미처리 시료 약 7g 정도를 porosimeter의 sample tube에 넣고 이 tube 내의 압력이 $2\mu\text{m Hg}(2 \times 10^{-3} \text{ Torr})$ 가 유지되도록 상온에서 약 10시간 이상 감압하여 시료내부에 존재하는 수분과 불순물을 제거하였다. 전처리가 끝난후 시료를 포함하는 sample tube의 무게를 다시 측정하여 순수한 시료만의 무게를 계산하여 측정하였다.

시료가 들어있는 tube는 액체질소가 들어있는 bath내에 담겨짐으로써 tube와 시료는 액체질소의

온도까지 냉각된다. 냉각된 진공상태의 tube내로 질소기체가 미리 정해진 여러 단계의 압력으로 주입되고 이때 질소기체의 일부가 시료표면에 흡착됨으로써 흡착되기 전의 tube내의 압력과 흡착후의 압력에는 차이가 발생하는데, 이 압력의 차이는 흡착량과 비례하게 되므로 이로부터 각 압력에서의 흡착량을 얻을 수 있다. 결국 이 흡착량으로부터 시료의 표면적과 기공의 총 부피 그리고 기공의 평균크기 등을 정량적으로 얻게 된다. 압력은 액체질소의 포화증기압(P_0)에 대한 흡착전의 tube내 압력(P)의 비인 상대압력(P/P_0)으로 나타내는데, 본 실험에서는 $0.003125 \sim 0.995 P/P_0$ 의 구간 내에서 측정하였으며, 계산에 사용되는 기공의 직경은 $4 \sim 3000 \text{ \AA}$ 으로 제한하였다. 그 이유는 질소기체 한 분자의 직경이 약 4 \AA 정도이므로 그 이하의 직경은 측정이 무의미하며, 3000 \AA ($0.3 \mu\text{m}$) 이상은 거대기공으로써 섬유 필라멘트 사이의 공간이나 물리적인 결합에 의해 발생한 기공을 포함할 가능성이 있으므로 제외시키는 것이 타당하기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

욕비 1:100으로 하여 80°C 에서 1시간 알칼리 감량한 폴리에스테르 섬유의 수산화나트륨 수용액의 농도에 따른 감량률을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 수산화나트륨의 농도가 증가함에 따라 감량률이 직선적으로 증가하여 25%의 수산화나트륨 농도에서는 50% 이상의 감량이 일어남을 알 수 있었다.

Table 1. The weight loss of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour

Conc. of NaOH (%)	6	12	15	22	25
Weight loss (%)	10	23	31	44	54

Photo 1은 각 농도에 따라 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 표면상태를 주사전자현미경(SEM)으로 촬영한 사진이다. 미처리 폴리에스테

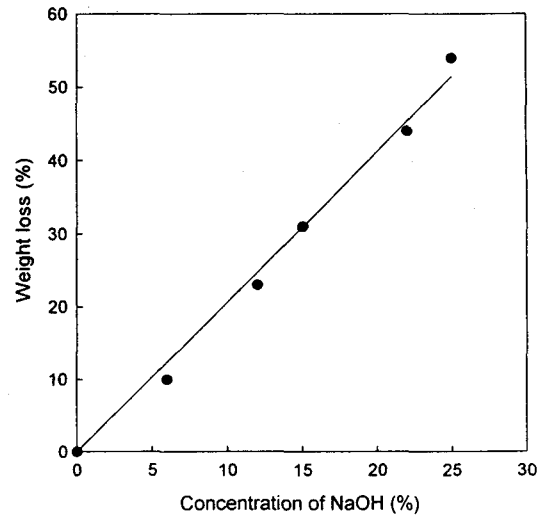


Fig. 1. Relationship between the concentrations of sodium hydroxide and the weight loss of polyester fibers at 80°C for 1 hour.

르 섬유의 경우 비교적 평활한 표면을 가지고 있으나, 알칼리 감량이 진행됨에 따라 많은 기공이 형성됨을 확인할 수 있었다. 수산화나트륨의 농도가 증가함에 따라 폴리에스테르 섬유의 가수분해가 심해짐으로써 기공의 수와 크기가 더욱 증가하며, 30% 이상 감량된 경우 섬유의 손상이 심각하였다. SEM에 의한 표면관찰은 시료의 극히 일부 분만을 관찰, 분석하므로 이를 시료전체의 상태로 평균적으로 설명하기는 어려우며, 또한 미세기공의 표면적 및 크기별 절대분포량 등을 나타내는 것은 원리적으로 불가능하다.

이러한 시료의 기공도를 정량적으로 나타내기 위해 nitrogen porosimeter를 이용하여 알칼리 감량 전후 폴리에스테르 섬유의 기공도의 분포변화를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 전체적으로 알칼리 감량 후의 기공의 부피가 처리농도에 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 저자들의 연구에서 플라즈마 처리한 폴리에스테르 섬유의 경우에는 주로 $200 \sim 1000 \text{ \AA}$ 크기의 기공이 현저하게 증가하는 경향을 보였으나⁸⁾ 알칼리 감량의 경우는 이 영역에서만 특별한 증가는 관찰되지 않았다. 그러나 플라즈마 처리에서와 유사한 점은 약 10 \AA 이상의 큰 기공인 mesopore나 macropore에 비해 10 \AA 이

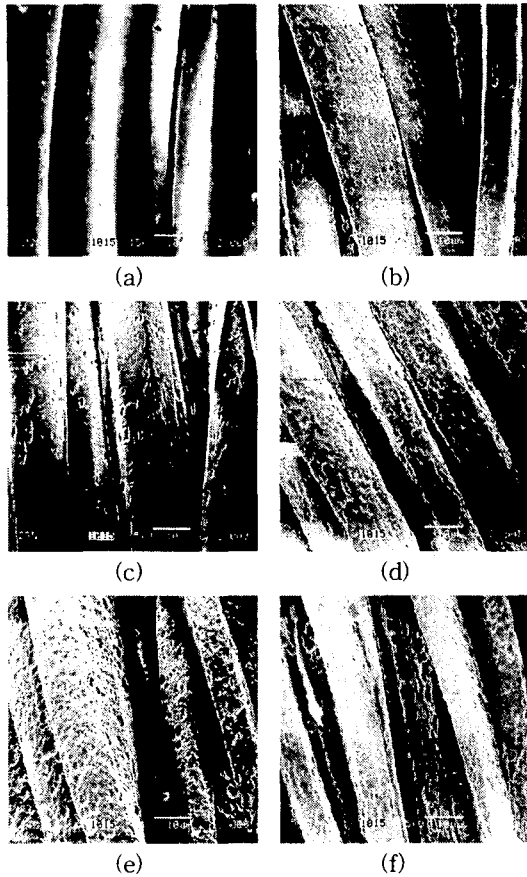


Photo. 1. SEM photographs($\times 2000$) of the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

하의 작은 기공인 micropore가 현저하게 증가한다는 점이다. 여기서 고려해야 할 점은 그래프의 y 축은 시료 1g 내에 존재하는 해당 크기의 기공의 총 부피를 나타내는 것으로, 기공의 크기별 곡선의 상승치가 유사하다 하더라도 형성된 기공의 수는 큰 기공에 비해 작은 기공의 수가 기하급수적으로 많다는 것이다. Fig. 2에서도 알 수 있는 바와 같이 미처리 폴리에스테르 섬유에 비해 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 경우 10\AA 이하의 micropore가 아주 많이 형성되는 것으로 보아 수직적인 면에서는 이 정도 크기의 pore가 사실상 대부분이라고 볼 수 있다. 또 한가지 특이한 점은 미처리의 경우 Fig. 2의 기공분포곡선에서 최대점을

나타내는 기공의 크기가 약 10\AA 이나 알칼리 감량후에는 약 $5\sim 6\text{\AA}$ 정도가 되는 것을 알 수 있다. 이것은 부피를 가장 많이 차지하고 있는 기공의 크기가 미처리의 경우에는 약 10\AA 이지만 알칼리 감량에 의해 약 $5\sim 6\text{\AA}$ 정도로 작아짐을 의미한다.

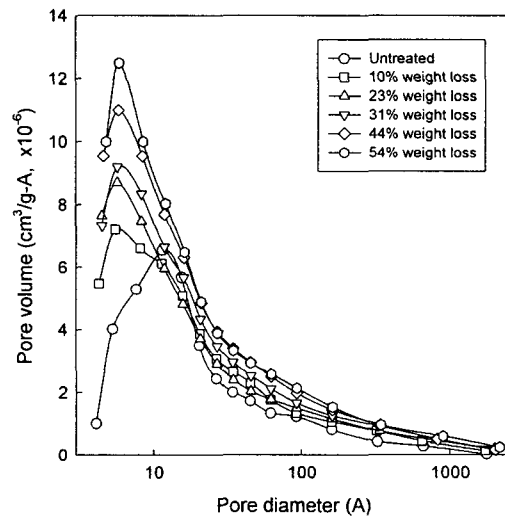


Fig. 2. The pore distribution of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

섬유와 같이 비평면성 시료의 경우 SEM에 의한 관찰에서는 해상도가 주로 μm 단위로서 거시적 관찰만이 유효하나 nitrogen porosimeter의 경우는 질소기체 분자의 흡착에 의해 분석이 이루어지므로 기존의 SEM으로는 사실상 관찰이 불가능한 부분까지의 미시적 분석이 가능하다.

이러한 기공분포의 변화를 더욱 명확히 살펴보기 위해 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 감량률에 따른 비표면적(BET Surface Area), 총 기공의 부피(Total Pore Volume) 그리고 기공의 평균 크기(Average pore size)를 Fig. 3, 4, 6에 각각 나타내었다. 감량률이 증가함에 따라 비표면적과 기공의 총 부피는 거의 직선적으로 증가하나, 기공의 평균크기는 초기에는 급격하게 증가하다가 감량률이 커짐에 따라 증가폭이 완만해짐을 알 수 있었다.

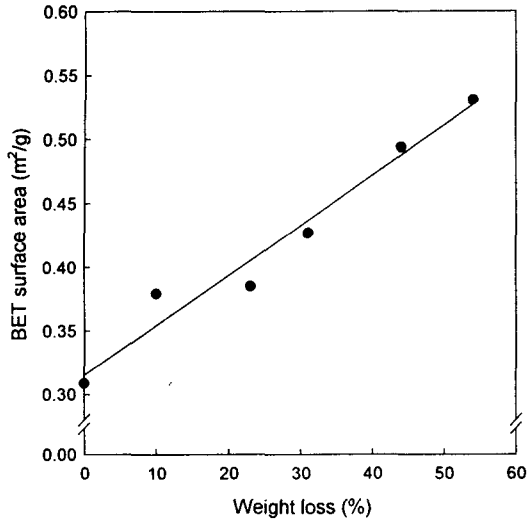


Fig. 3. The BET surface area of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

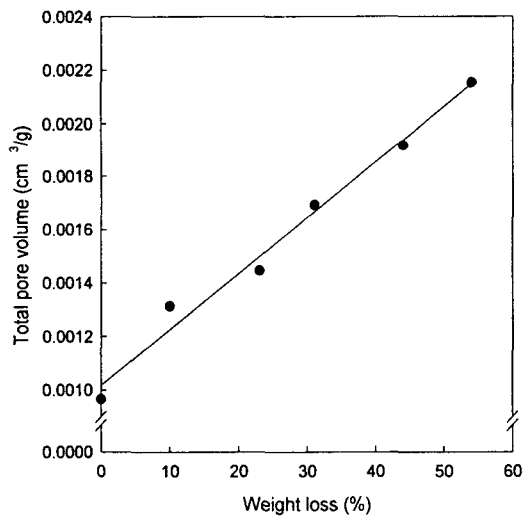


Fig. 4. The total pore volume of the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

먼저 비표면적에 있어서는, 미처리 시료가 0.31m²/g이던 것이 54%로 감량된 후 0.53m²/g으로 71%의 비표면적 증가율을 나타냈다. 이는 비교적 평활하던 폴리에스테르 섬유 표면이 알칼리 감량에 의해 미세요철이 발생하기 때문이다.

비표면적의 증가는 모든 크기의 기공에 기인하기는 하나, 하나의 큰 기공보다는 상대적으로 작은 다수의 기공에 의해 더욱 크게 증가한다. Fig. 2에서도 알 수 있는 바와 같이 미처리 시료에 비해 알칼리 감량된 시료의 경우 10Å 이하의 micropore의 양이 아주 크게 증가함으로써 이들이 비표면적의 증가에 주로 기여한 것으로 생각된다.

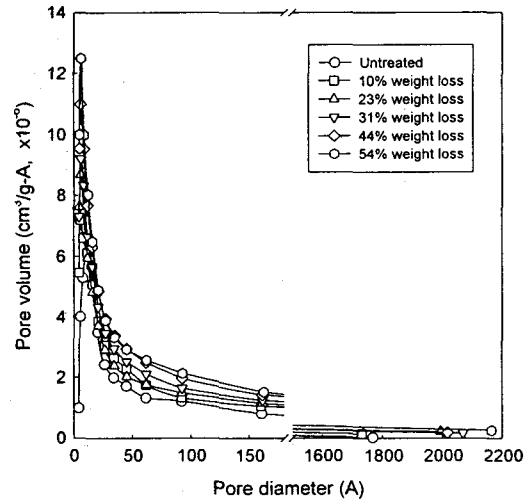


Fig. 5. The pore distribution of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

기공의 총 부피에 있어서는, 미처리 시료의 경우 9.6×10^{-4} cm³/g이던 것이 54% 감량된 후 21.5×10^{-4} cm³/g으로 124%의 총 기공 부피 증가율을 나타냈으며, 이러한 기공의 총 부피 증가 역시 알칼리 감량에 의해 형성된 기공에 의한 것이다. 비표면적의 경우 하나의 큰 기공에 비해 다수의 작은 기공의 기여도가 큰 반면, 부피에 있어서는 반대로 큰 기공일수록 총 부피 증가에 더욱 크게 기여한다. Fig. 2에서 기공의 총 부피는 곡선 아래 부분의 면적에 해당하는 값으로서, 앞에서 언급한 사실과는 반대로 작은 기공이 차지하는 부피가 많은 것처럼 보이나, 그래프의 x축이 logarithmic scale로써 실질적인 그래프면적은 큰 기공쪽으로 갈수록 더욱 많이 차지한다. Fig. 2의 x축을 linear scale로 나타낸 것이 Fig. 5로서 Fig. 2에서 대부분의 그래프 면적을 차지하던 10Å 전후의 기공의

부피가 전체 기공의 총 부피에 기여하는 정도는 극히 미미함을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 전체 기공의 평균크기를 나타낸 것으로 미처리 시료의 경우 약 125Å이던 것이 54% 감량된 후에는 162Å으로 증가하였다. 평균 기공의 크기 역시 기공의 총 부피와 마찬가지로 작은 크기의 기공보다는 큰 기공의 기여도가 더욱 컸다. Fig. 2에서 미처리 시료에 비해 알칼리 감량된 시료에 있어서 10Å 이하의 작은 크기의 기공이 현저하게 많이 생성되었음에도 불구하고 평균기공의 크기가 증가한 것은 평균 기공의 크기에 대한 기여도가 작은 기공보다는 큰 기공이 더욱 크다는 것을 잘 나타내 주는 결과이다.

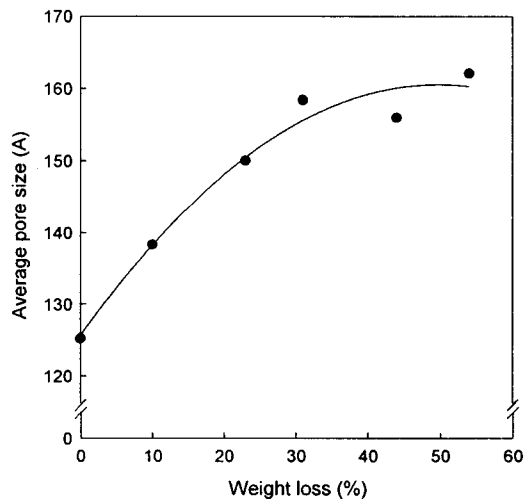


Fig. 6. The average pore size of the polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

비표면적과 기공의 총 부피는 감량률에 따라 거의 직선적으로 증가하는데 비해 기공의 평균크기는 낮은 감량률에서는 급격히 증가하다가 감량률이 커짐에 따라 완만해지는 양상을 나타내는 것이 특이하였다. 이는 감량률이 커지면 폴리에스테르 섬유가 요철 형성의 단계를 넘어서 섬유 필라멘트의 전부분에 걸쳐서 가수분해가 진행되어 섬유가 가늘어짐으로써 기공의 평균크기 증가에는 한계점에 근접하게 되나, 감량이 진행됨에 따라 시료의 중량은 계속 감소해가므로 시료 1g당으로

환산된 비표면적과 기공의 총 부피는 지속적으로 증가하기 때문이라고 생각된다.

Nitrogen porosimeter를 이용하여 조사한 알칼리 감량 폴리에스테르 섬유의 기공도는 주로 수 Å~수천Å(수백nm 이하) 단위로써 기존의 SEM을 통한 관찰로는 사실상 불가능한 영역에서도 아주 큰 변화가 있음을 알 수 있었다. 폴리에스테르 섬유의 알칼리 감량과정은 폴리에스테르 고분자쇄 내의 에스테르기에 대한 알칼리 가수분해 과정으로써^{9,10)}, 감량에 의해 생성되는 기공의 수준이 일차적으로는 폴리에스테르 고분자쇄의 올리고머 정도라는 것을 확인할 수 있었다.

알칼리 감량가공은 직물상태의 폴리에스테르 섬유를 가수분해시켜 직물의 조직을 이완시킴으로써 silk와 같은 촉감과 드레이프성 등을 부여하는 가공이다^{9,10)}. 그러므로 알칼리 감량가공에 관한 연구는 대부분 폴리에스테르 섬유의 유연화에 따른 촉감과 태의 개선이라는 관점에서 연구되었을 뿐 염색성에 대해 조사, 보고된 예는 찾아보기 어렵다.

알칼리 감량이 폴리에스테르 섬유의 염색성에 미치는 영향에 대해서 살펴보기 위해 앞의 조건으로 감량된 폴리에스테르 섬유를 C. I. Disperse Violet 1으로 130°C에서 염색한 후, 각 시료의 염착량을 폴리에스테르 섬유의 감량률에 대해서 나타내었다. Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이 감량률과 염착량은 거의 직선적으로 비례하였다. 이들을 기공도의 관점에서 살펴보기 위해 비표면적, 기공의 총 부피 그리고 기공의 평균크기에 대해 plot하여 각각 Fig. 8~10에 나타내었다. 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 비표면적과 기공의 총부피의 증가에 따른 염착량은 거의 직선적으로 증가하나 기공의 평균크기에 따른 염착량은 기공의 평균크기가 커질수록 염착량은 더욱 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

염색시 염료분자는 염액에서 섬유의 표면을 통해 섬유내부로 확산되어 들어간다. 알칼리 감량에 의해 폴리에스테르 섬유 표면에 기공이 형성됨으로써 섬유의 표면적이 넓어지면 그만큼 섬유와 염료분자와의 접촉기회가 많아지므로 염색속도가 빨라질 수 있다. 따라서 앞의 조건으로 감량된 폴리에스테르 섬유의 염색속도를 조사하여 130°C의 경

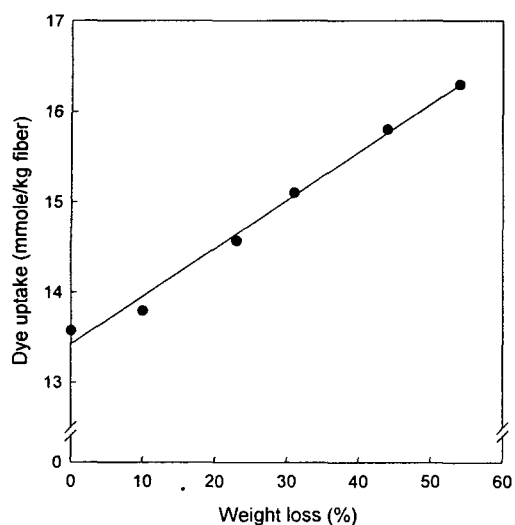


Fig. 7. Relationship between the weight loss of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour and the dye uptakes of C. I. Disperse Violet 1 on the alkali-treated fibers at 130°C.

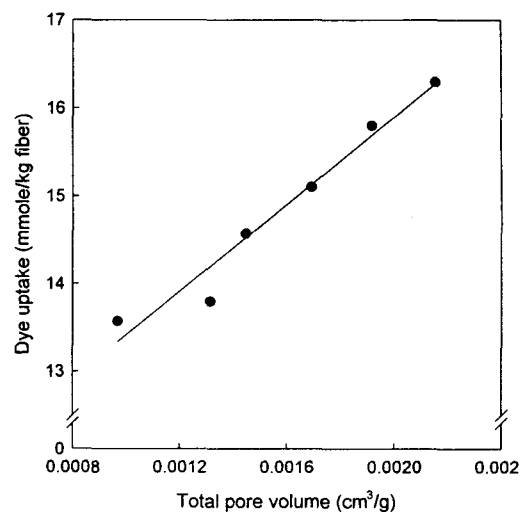


Fig. 9. Relationship between the total pore volume of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour and the dye uptakes of C. I. Disperse Violet 1 on the alkali-treated fibers at 130°C.

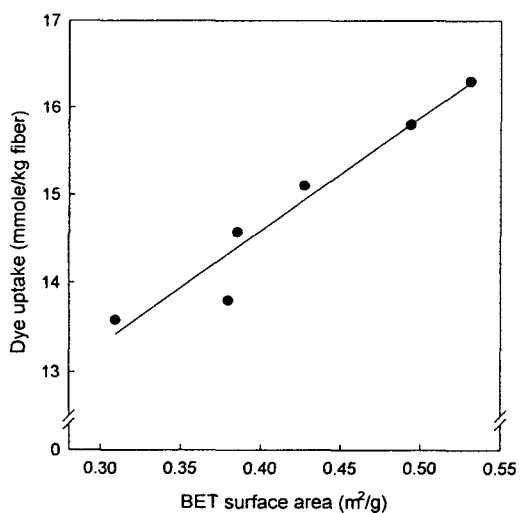


Fig. 8. Relationship between the BET surface area of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour and the dye uptakes of C. I. Disperse Violet 1 on the alkali-treated fibers at 130°C.

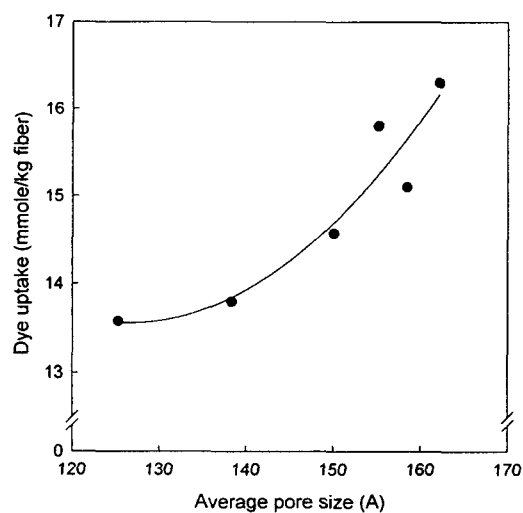


Fig. 10. Relationship between the average pore size of polyester fibers treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour and the dye uptakes of C. I. Disperse Violet 1 on the alkali-treated fibers at 130°C.

우를 Fig. 11에, 그리고 100℃의 경우를 Fig. 12에 나타낸 결과, 감량률이 클수록 염색속도가 빨라짐을 확인할 수 있었다.

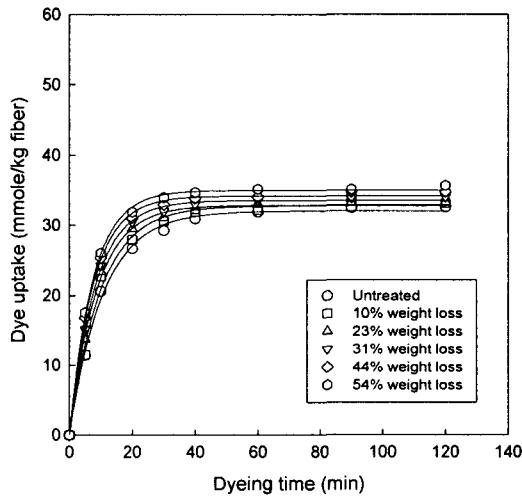


Fig. 11. Dyeing rate of C. I. Disperse Violet 1 on the polyester fibers at 130°C, which were treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

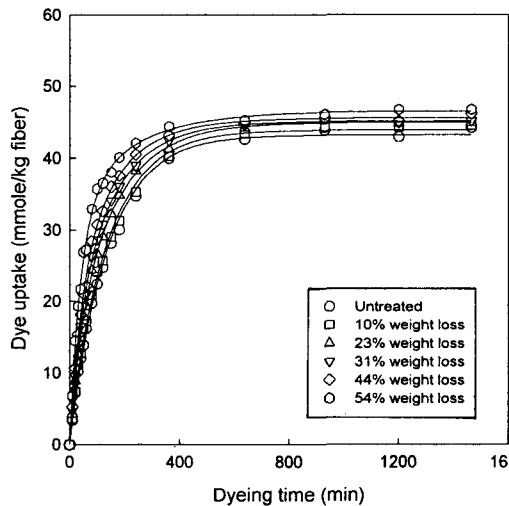


Fig. 12. Dyeing rate of C. I. Disperse Violet 1 on the polyester fibers at 100°C, which were treated with sodium hydroxide aqueous solution at 80°C for 1 hour.

알칼리 감량은 폴리에스테르 섬유의 표면중에서도 비결정영역부터 우선적으로 가수분해 반응이 진행되어 가는 것으로 알려져 있다³⁾. 일단 가수분해 반응에 의해 섬유가 침해를 받으면 그 부분의 표면적은 증가할 것이다. 표면적이 증가된 부분은 알칼리의 공격에 보다 많이 노출됨과 동시에 또 다시 결정성이 약한 부분이 침해됨으로써 폴리에스테르 섬유는 표면에서 점차 내부로 침해가 진행되어 갈 것이며, 이러한 과정이 계속 반복됨으로써 섬유의 표면에서 내부로 이르는 통로가 생성될 가능성이 있다. 구조가 치밀한 폴리에스테르 섬유에 기공이 많이 형성되고 또 이 기공이 내부로의 통로 역할을 하게 되면 비표면적의 증가와 함께 염료분자의 침투가 가속화되고 또 폴리에스테르 섬유 내부에 새로운 염착공간이 형성될 가능성도 있으므로 결국 비표면적과 기공의 총 부피의 증가에 따른 염착량의 증가는 이러한 관점에서 이해될 수 있다(Fig. 8, 9).

Fig. 10의 기공크기의 관점에서는 Fig. 6에서도 살펴본 바와 같이 감량률이 큰 경우에는 기공크기의 증가는 완만해지므로 이 영역에서는 기공의 평균크기는 유사하다 하더라도 알칼리에 의한 감량률은 큰 차이를 보이며 따라서 비표면적과 기공의 총 부피 변화는 여전히 크므로 염착량의 증가는 기공의 평균크기가 작을 때보다 더욱 크게 증가하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Nitrogen porosimeter를 이용하여 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 감량률에 따른 비표면적 변화와 형성된 기공의 총 부피 그리고 기공의 평균 크기 등을 조사하고, 이들 기공도와 염색성과의 상호관계를 고찰하였다. 수산화나트륨의 농도가 증가함에 따라 감량률이 직선적으로 증가하여 25%의 수산화나트륨 농도에서는 50% 이상의 감량률을 나타내었다.

기공의 분포에 있어서는, 미처리 폴리에스테르 섬유에 비해 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 경우 10Å 이하의 micropore가 아주 많이 형성되었다. 이러한 기공분포의 변화를 더욱 명확히 살

펴보기 위해 알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 감량률에 따른 비표면적, 총기공의 부피 그리고 기공의 평균크기를 살펴본 결과, 감량률이 54%로 증가함에 따라 비표면적은 $0.31\text{m}^2/\text{g}$ 에서 $0.53\text{m}^2/\text{g}$ 으로, 기공의 총부피는 $9.6 \times 10^{-4}\text{cm}^3/\text{g}$ 에서 $21.5 \times 10^{-4}\text{cm}^3/\text{g}$ 으로 거의 직선적으로 증가하였으며, 기공의 평균크기는 125Å에서 162Å으로 증가하였다.

알칼리 감량된 폴리에스테르 섬유의 기공도와 염색성과의 관계에 있어서, 비표면적과 기공의 총부피의 증가에 따른 염착량은 거의 직선적으로 증가하였으며, 기공의 평균크기에 따른 염착량은 기공의 평균크기가 커질수록 더욱 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 알칼리 감량에 의한 염색속도를 조사한 결과 감량률이 클수록 염색속도가 증가하였다.

참고문헌

1. E. M. Sanders and S. H. Zeronian, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 4477(1982).
2. 田中博, *染色工業*, **25**, 350(1997).
3. T. Toda, *Jap. Res. Ass. Text.*, **21**, 473(1980).
4. T. Kiyotsukuri, and Y. S. Cho, *Sen-i Gakkaishi*, **39**, 331(1983)
5. C. Sawatari, N. Abumiya, K. Inoue, and M. Matsuo, *Textile Res. J.*, **53**, 783(1983).
6. T. Takata, and M. Furukawa, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, 142(1990)
7. S. K. Lee, J. I. Yuck, C. W. Joo, and T. J. Kang, *J. Kor. Fiber Soc.*, **33**, 376(1996).
8. 김병인, 김태경, 조규민, 임용진, *한국염색가공학회지*, **11**, 339(1999).
9. 장병호, 박병기, 박수민, 김광수, 탁태문, 류동일, "섬유가공학", 형설출판사, p.178(1996).
10. 한국섬유공학회, "인조섬유", 형설출판사, p.373(1996).