

〈研究論文(學術)〉

알칼리 감량에 의한 폴리에스테르 섬유의 심색화와 표면구조분석

김태경 · 임용진 · 석정달* · 조광호**

경북대학교 공과대학 염색공학과

* (주)명진섬유

** 삼일염직(주) 연구소

(1999년 7월 30일 접수)

Increase in Color Depth of Polyester Fiber by Alkali Treatment and Analysis of the Surface Structure

Tae-Kyung Kim, Yong-Jin Lim, Jung-Dal Seok*, and Kwang-Ho Cho**

Dept. of Dyeing and Finishing, Kyungpook National University, Taegu, Korea

** Myeong-Jin Textile Co., Ltd., Taegu, Korea*

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

(Received July 30, 1999)

Abstract—The increase in color depth of polyester fiber dyed with black disperse dyes was investigated with respect to the kinds of resins and alkali treatment. The color depth of the dyed polyester fiber increased continuously according to the concentration of resins coated onto the fabrics. The alkali treatment to polyester fiber before dyeing also enhanced the color depth. It was thought that the polyester fiber was hydrolyzed by alkali resulting micropores on the sample. And the following treatment with a resin, Jet Black T-101, to the polyester fiber increased the color depth much higher.

The successive process of alkali treatment, dyeing and Jet Black T-101 treatment could give the best color depth to polyester fiber. Although the alkali treatment reduced the tensile strength of polyester fiber, the color depth of polyester fiber enhanced sufficiently within the range of practically acceptable weight loss and strength.

To analyze the micropore on the polyester fiber formed by alkali treatment, nitrogen porosimeter was used. As the weight loss of polyester fiber treated with alkali increased, the BET(Brunauer-Emmett-Teller) surface area, total pore volume, and average pore size of the sample increased.

1. 서 론

폴리에스테르 섬유는 의류용 섬유 중 가장 많이 생산, 판매되고 있는 합성섬유로서, 최근의 신탐섬의 출현으로 기능성과 패션성에서 더욱 그 가치를 인정받고 있다. 그러나 의류소재의 가장 중요한 요소의 하나인 색상의 표현, 특히 심색화가 어렵다는 것이 문제점으로 지적되어 폴리에스테르 섬유에 있어서 이 분야의 연구가 계속 진행되어 오고 있다¹⁻⁵⁾.

폴리에스테르 섬유의 심색화가 어려운 이유는, 타섬유에 비해 결정구조가 치밀하고 소수성이므로 염색이 어려울 뿐 아니라 분산염료의 흡광계수가 다른 종류의 염료들에 비해 상대적으로 낮기 때문이다. 또한 폴리에스테르 섬유의 굴절률(1.725)이 Kevlar[®] 섬유(2.267)를 제외한 다른 섬유들의 굴절률(1.47~1.60)에 비해 크므로⁶⁾ 색의 깊이나 선명성이 낮으며, 또 섬유의 표면이 평활하여 빛의 정반사가 많이 일어나므로 동일한 양의 염료가 염착된 다른 섬유에 비하여 담색으로 보이게 된다. 특히 black 염색의 경우 양모나 아세테이트 섬유 등에 비해 매우 열등하다¹⁻⁴⁾.

이러한 폴리에스테르 섬유의 심색성을 향상시키기 위한 연구로는 크게 섬유자체의 개질을 통한 방법과 후처리에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 먼저 폴리에스테르 섬유의 원사 자체의 개질을 통한 방법으로서 카티온염료 가염화법과 단면의 모양을 불규칙하게 하는 방법이 있다. 카티온염료 가염화법에 의해 제조된 폴리에스테르 섬유는 상압염색이 가능하며, 분산염료에 비해 카티온염료의 흡광계수가 크므로 보다 심색의 염색물을 얻을 수 있고, 불규칙한 단면형성에 의해 제조된 폴리에스테르 섬유는 빛의 난반사를 일으켜 심색성을 향상시킬 수 있다. 후처리에 의한 방법으로는 섬유의 표면에 저굴절률의 수지를 코팅시키는 방법⁷⁾과 알칼리 감광^{8,9)}, 저온플라즈마 처리¹⁰⁻¹⁵⁾ 또는 sputter etching^{16,17)}에 의해 섬유표면에 미세한 요철을 발생시켜 빛이 정반사하지 않고 섬유표면의 요철부분에서 반복적인 반사와 흡수를 일어나게 함으로써 심색화하는 방법 등이 알려져 있다.

본 연구에서는 7종의 black용 분산염료와 2종의 심색제를 사용하여 폴리에스테르 섬유에 대한 염

료와 심색제의 종류별 심색성능과 이에 대한 알칼리 감광효과, 그리고 이들 방법의 복합사용에 대해서 검토하였다. 또한 표면의 미세기공의 형성에 의한 비표면적의 변화와 기공의 부피 및 크기를 질소흡착형 porosimeter를 사용해 정량적으로 분석하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

2.1.1 시료

정련된 폴리에스테르 평직물(75D/36F, 176×82 fil./inch)을 사용하였다.

2.1.2 염료

Foron Black RD-3G, Resolin Black K-BLS, Resolin Black GW, Resolin Black GS, Terasil Black MAW, Terasil Black RWL, Black DERF 등 7종의 black용 분산염료를 사용하였다.

2.1.3 심색제

일본의 大日工業(株)의 Jet Black T-101과 Pantex DSP의 2종을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 염색

정련된 폴리에스테르 직물을 7종의 black용 분산염료 및 1 g/l 농도의 분산균염제와 초산을 각각 사용하여 욕비 1:10의 조건으로 40℃에서 130℃까지 90분간 승온한 후, 130℃에서 40분간 고압 pot 염색기(고려과학산업, Auto Textile Dyeing Machine)에서 염색하였다. 염색한 시료는 2 g/l 농도의 NaOH와 Na₂S₂O₄, 그리고 1 g/l 농도의 분산제를 사용하여 욕비 1:20의 조건으로 60℃에서 20분간 환원세정하고, 다시 증류수로 수세한 후 진공건조하였다.

2.2.2 심색제 처리

Jet Black T-101과 Pantex DSP를 75~80%의 pick-up으로 시료에 padding 및 squeezing하고, 이를 120℃에서 90초간 pre-drying 한 후, 다시 170℃에서 45초간 Tsujii Dyeing Machine MFG. Co. Ltd.(Japan)의 High-Temperature Steamer

HT-3을 사용하여 curing하였다.

2.2.3 알칼리 감량

욕비 1:20의 5, 10, 20%의 수산화나트륨 수용액을 사용하여 70°C에서 2시간동안 감량하였다. 감량된 시료는 상온의 증류수로 수세한 후, 다시 0.1% 초산용액으로 중화하고, 수세 건조하였다.

2.2.4 명도(Lightness)

각 조건에 따라 염색된 시료의 심색성을 비교하기 위해 Milton Roy사(USA)의 Diano Match Scan II spectrophotometer를 사용하여 명도를 측정하였다.

2.2.5 중량감소율

각 조건에 따른 폴리에스테르 직물의 처리 전후의 건조무게를 측정하여 중량감소율을 구하였다.

2.2.6 인장강도

각 조건에 따라 처리된 폴리에스테르 직물의 경사를 동일시료의 여러 부분에서 한 가닥씩 분리한 후 3 cm의 길이로 하여 각 조건당 5회씩 측정하고 평균하였다. 기기는 Shimadzu사(Japan)의 인장강도시험기 Autograph AGS-500A를 사용하였으며, 5 kg의 load cell을 cell range를 20으로 하여 최대측정하중이 250 gf가 되도록 하였으며, 인장속도는 100 mm/min였다.

2.2.7 기공도 분석

질소흡착형 미세기공분석기인 Micromeritics사의 Accelerated Surface Area and Porosimetry System, ASAP 2010을 사용하여 기공도를 분석하였다. 알칼리 감량된 시료 약 5g 정도의 무게를 정확히 측정 후, 이를 porosimeter의 sample tube에 넣고 2 μ mHg (2×10^{-3} Torr)의 진공으로 상온에서 약 6시간이상 감압처리하여 시료내부에 존재하는 수분과 불순물을 완전히 제거하였다. 감압처리가 끝난 후 시료를 포함하는 sample tube의 무게를 다시 측정하여 순수한 시료만의 무게를 계산하여 측정하였다.

시료가 들어있는 tube를 액체질소가 들어있는 bath내에 담구어 tube와 시료를 액체질소의 온도까지 냉각시켰다. 냉각된 진공상태의 tube내로 질소기체를 미리 정해진 여러 단계의 압력으로 주입하고 이때 질소기체의 일부가 시료표면에 흡착되

면 흡착되기 전의 tube내의 압력과 흡착후의 압력에는 차이가 발생하는데, 이 압력의 차이는 흡착량과 비례하게 되므로 이로부터 각 압력에서의 흡착량을 얻을 수 있다. 이것이 여러 세산과정을 거침으로써 결국 시료의 표면적과 기공의 부피 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 0.003125~0.995 P/P_0 의 구간 내에서 측정하였으며, 계산에 사용되는 기공의 직경은 4~3000Å으로 제한하였다. 그 이유는 질소기체 한 분자의 직경이 약 4Å정도이므로 그 이하의 직경은 측정이 무의미하며, 3000Å(0.3 μ m) 이상은 거대기공으로써 섬유 필라멘트 사이의 공간이나 물리적인 결합에 의해 발생한 기공을 포함할 가능성이 있으므로 제외시키는 것이 타당하기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

먼저 실험에 사용한 7종의 black용 분산염료의 심색성을 알아보기 위해 각 염료의 사용농도에 따라 염색한 폴리에스테르 직물의 명도를 조사하였다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 Foron Black RD-3G, Resolin Black K-BLS, Resolin Black GW, Terasil Black MAW, Black DERF는 4% owf 정도의 염료농도에서 이미 최저 명도를 나타내고 있으며 Resolin Black GS와 Terasil Black RWL의 경우는 약 6% owf 정도에서 최저 명도를 나타내고 있다. 염료에 따라 조금씩 차이는 있으나 전자의 5종류의 염료는 서로 유사한 값을 보이고 있으며 후자의 2종류의 염료보다는 상당히 낮은 명도를 나타내고 있으므로 전자의 5종류의 염료가 심색성이 보다 우수함을 알 수 있다. 전체적으로 볼 때 본 실험에서 사용한 black용 분산염료들은 6% owf에서 최대 심색효과를 나타내며 그 이상의 염료는 심색화에 도움을 주지 못함을 알 수 있다.

염색물에 심색효과를 부여하기 위해서 사용되는 방법중의 가장 보편적인 방법이 저굴절률의 수지를 염색물에 처리하는 것이다. 사용한 7종의 분산염료의 경우 염료 단독으로 사용하는 경우 모두 6% owf에서 최대의 심색효과를 가지므로 6%

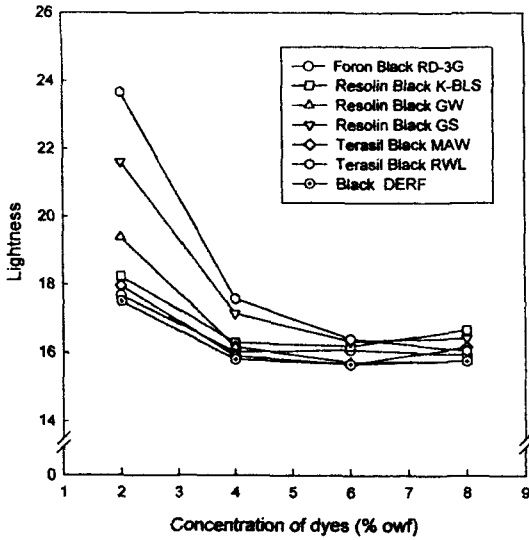


Fig. 1 Lightness of the dyed polyester fiber according to the concentration of 7 disperse dyes.

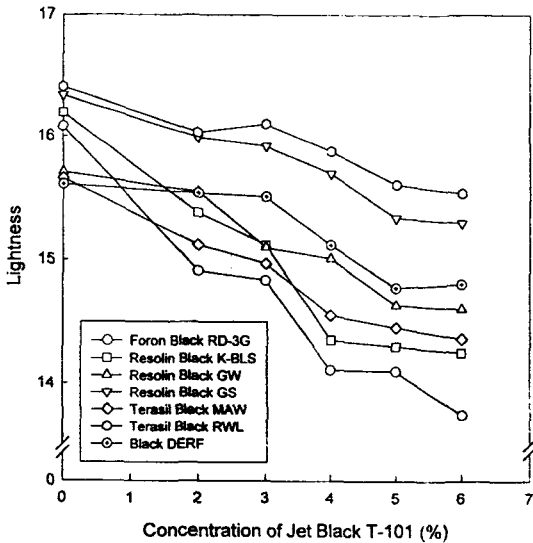


Fig. 2 The effect of treatment with Jet Black T-101 on the lightness of polyester fiber dyed with 6% owf of 7 disperse dyes.

owf의 염료로 염색한 폴리에스테르 직물을 각각 Jet Black T-101과 Pantex DSP를 농도에 따라 처리한 후, 명도의 변화를 검토하였다. Fig. 2는 Jet Black T-101로 처리한 경우의 명도이고, Fig.

3은 Pantex DSP로 처리한 경우이다. 실험에 사용한 심색제의 농도구간내에서는 7종의 염료 모두 심색제의 사용농도에 따라 지속적으로 심색효과가 증가하는 것을 알 수 있다. Jet Black T-101로 처리한 경우는 7종의 염료들간의 명도차이가 비교적 크게 나타나나 Pantex DSP로 처리한 경우는 앞의 염료단독사용의 경우와 유사하게 Foron Black RD-3G, Resolin Black K-BLS, Resolin Black GW, Terasil Black MAW, Black DERF의 5종과 Resolin Black GS, Terasil Black RWL의 2종간에 차이가 크게 나타난다. 전자의 5종간에는 심색제 4% owf까지는 유사한 값을 보이나 그 이상의 농도에서는 서로간의 차이가 커지는 것이 특이하다. 두 종류의 심색제의 경우 모두 최대 심색효과를 나타내는 염료는 Foron Black RD-3G로서 6%의 Jet Black T-101로 처리한 경우는 미처리에 비해 14.5%의 심색효과를 보이며, 6%의 Pantex DSP로 처리한 경우는 미처리에 비해 12.6%의 심색효과를 나타냈다. 염료에 따라 다소 차이는 있으나 전체적으로 Jet Black T-101이 Pantex DSP보다 다소 높은 심색효과를 나타냄을 알 수 있다. 염료단독으로 사용한 경우에 최대심색효과를 나타내는 염료는 Black DERF인데 비해, 심색제를 처리한

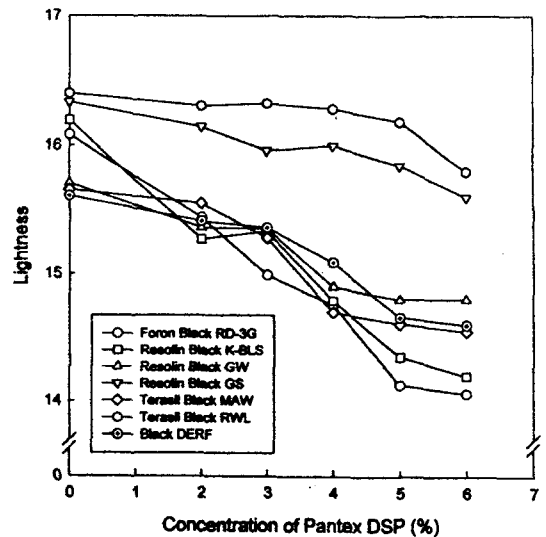


Fig. 3 The effect of treatment with Pantex DSP on the lightness of polyester fiber dyed with 6% owf of 7 disperse dyes.

경우에는 오히려 Foron Black RD-3G가 최대심색 효과를 나타내는 것으로 보아 염료와 심색제간의 상용성에도 차이가 있음을 알 수 있다.

저굴절률의 수지를 처리하는 것 외에 염색물을 심색화하는 또다른 방법은 섬유표면에 미세한 요철을 형성시켜 입사광이 정반사하지 않고 난반사가 일어나도록 하고, 또 섬유표면에서 반복적인 반사와 흡수를 일으키므로써 염색물에 심색효과를 부여하는 것이다. 이러한 미세한 표면요철을 발생시키는 방법으로는 알칼리 감량법이나 저온플라즈마 처리법, 또는 sputter etching 등이 가능하며, 본 실험에서는 이들 방법중 알칼리 감량에 의한 심색효과를 검토하였다.

Fig. 4는 각 농도의 수산화나트륨 수용액을 사용하여 알칼리 감량을 한 후 6% owf의 Black DERF를 사용하여 염색하고 이를 다시 6%의 Jet Black T-101의 처리유무에 따라 심색효과를 나타낸 것이다. 수산화나트륨의 농도가 증가함에 따라 폴리에스테르 섬유의 가수분해에 의해 섬유표면에 미세한 요철이 다량 형성되고 또 섬유가 가늘어짐으로써 빛의 난반사가 많이 일어나기 때문에 심색효과가 증가한다. 20%의 수산화나트륨 수용액으

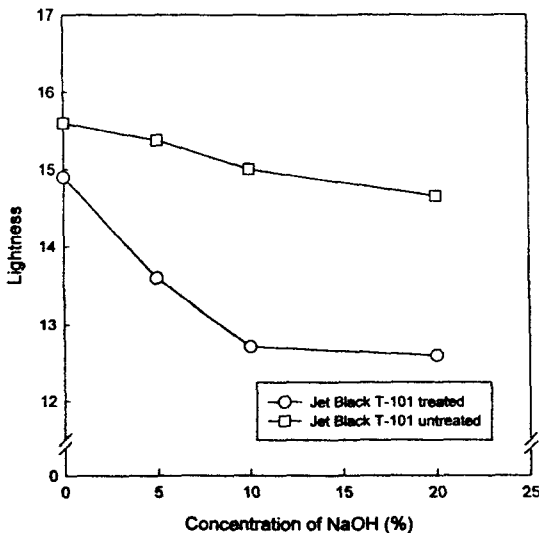


Fig. 4 The effect of alkali pre-treatment on the lightness of polyester fiber treated with 6% of Jet Black T-101 after dyeing with 6% owf of Black DERF.

로 감량한 후 염색만 한 경우는 감량하지 않은 경우에 비해 심색효과가 5.4% 증가하였으나, 6%의 심색제 Jet Black T-101을 추가로 처리한 경우는 감량과 심색제 처리를 하지 않은 경우에 비해 18.6%나 심색효과가 증가하였다. 알칼리 감량과 심색제 처리를 병행하여 사용함으로써 알칼리 감량만 한 경우에 비해 3배 이상의 심색효과를 나타낼 수 있다. 이는 폴리에스테르 섬유에 형성된 요철면 위에 다시 저굴절률의 수지가 코팅됨으로써 요철과 수지의 효과가 서로 보강되어 각각의 단독효과에 비해 월등히 우수한 심색효과가 나타나기 때문이다.

알칼리 감량에 의해 심색성은 향상되는 반면 중량감소로 인한 강도저하가 발생하므로 이를 검토하기 위해 알칼리 농도에 따른 감량률과 감량률에 따른 폴리에스테르 섬유의 인장강도를 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 70°C에서 2시간 동안 감량한 결과 알칼리 농도가 증가함에 따라 감량률이 직선적으로 증가하여 20%의 수산화나트륨 농도에서는 52%의 중량감소가 일어남을 알 수 있다. 감량된 폴리에스테르 섬유의 인장강도는 감량률이 증가함에 따라 급격히 감소하여 52%의 감량률에서는 강도저하율이 약 90% 정도가 된다. 감량에 의한 이러한 강도저하는 폴리에스테르 섬유 자체의 분해에 의한 것이므로 피할 수 없는 현상이다. 그러나 실제의 알칼리 감량가공에서도 일반적으로 약 10~25% 정도는 감량하므로¹⁸⁾, Fig. 5에서 보는 바와 같이 10%의 수산화나트륨 농도에서 22%의 감량이 일어나고, Fig. 4에서 Jet Black T-101로 처리한 경우에 10%의 수산화나트륨 농도까지 심색효과가 크게 증가하고 그 이상의 농도 또는 감량률에서는 거의 증가하지 않는 것으로 보아, 알칼리 감량과 심색제 처리를 병용하므로써 실용적인 인장강도 범위 내에서 보다 우수한 심색효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

알칼리 감량에 의한 폴리에스테르 섬유의 심색화는 표면의 미세요철의 형성에 의한 것이므로 이러한 미세요철의 크기와 분포를 정량적으로 조사하기 위해 질소흡착형 porosimeter를 이용하여 이들을 분석하였다.

지금까지는 알칼리 감량 및 저온플라즈마 처리 또는 sputter etching 등에 의한 섬유표면의 미세기

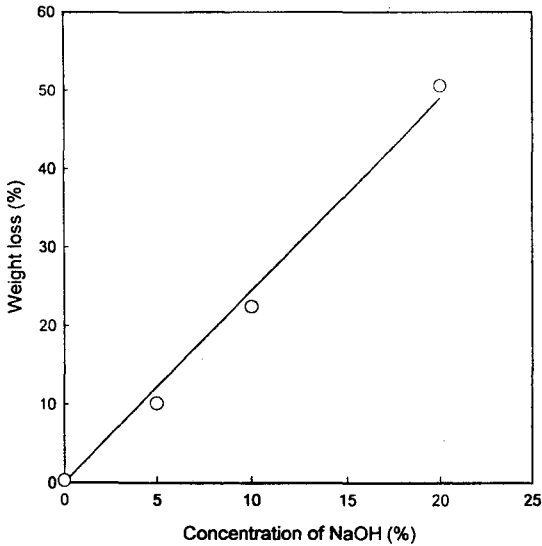


Fig. 5 Weight loss of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

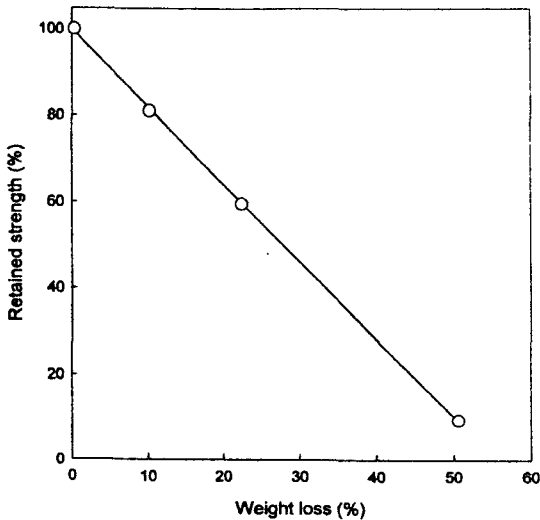


Fig. 6 The effect of weight loss on the tensile strength of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

공을 분석하기 위해 대부분 주사전자현미경(SEM)을 사용해 그 크기나 모양을 관찰하였다. 그러나 SEM의 특성상 시료의 극히 일부분만을 관찰, 분석하기 때문에 이것만으로 시료 전체의 상태를 평

균적으로 설명하는 것은 다소 무리일 수 있으며, 또한 미세기공들의 크기별 절대분포량 등을 나타내는 것은 원리적으로 불가능하다. 이러한 미세기공의 크기 및 분포 등을 정량적으로 분석하기 위해 최근에 수은침투형 porosimeter를 이용한 연구가 보고되어 있다¹⁹⁾. 수은침투형 porosimeter는 일정량의 수은 내에 시료를 넣고 외부에서 최고 수만 psi까지 압력을 가하는 것으로 각 압력에서 시료내부로 침투되는 수은의 양을 측정하는데, 이때 압력과 수은이 침투할 수 있는 기공의 크기 사이의 상관관계가 밝혀져 있으므로 결과적으로 미세기공의 크기별 수은의 침투량으로부터 기공의 부피를 구할 수 있게 된다. 이러한 기공의 부피로부터 기공의 면적을 구하는 것도 가능하다. 그러나 이 방법은 앞서 언급한 바와 같이 시료에 최고 수만 psi까지의 높은 압력이 가해지므로 섬유나 고분자와 같은 유연한 시료의 경우 시료자체의 변형이 일어날 가능성이 있으며, 얻어진 결과 또한 이미 변형된 시료로부터 측정된 것일 우려도 있다.

이에 비해 질소흡착형 porosimeter는 그 응용면에서는 수은침투형과 유사하나 원리적인 면에서는 다르다. 질소흡착형 porosimeter는 질소기체의 액화점인 77K로 냉각된 시료에 질소기체를 흡착 또는 탈착시키고 각 압력 하에서의 질소기체의 흡착량을 구하여, 이로부터 시료의 표면적 및 미세기공의 절대량과 분포 등을 계산한다. 질소흡착형에서는 수은침투형에서와 같은 시료의 변형은 우려하지 않아도 된다.

이러한 질소흡착형 porosimeter를 사용하여 알칼리 감람한 폴리에스테르 섬유의 표면의 미세기공을 분석하였다. Fig. 7은 앞에서 알칼리 감람한 시료표면의 미세기공분포를 나타낸 것이다. 전 범위에 걸쳐 미처리 폴리에스테르에 비해 알칼리 감람량이 클수록 기공의 양이 증가함을 알 수 있다. 곡선의 모양이 mesopore(20~200Å)나 macropore(200Å 이상)에 비해 micropore(20Å 이하)쪽이 더 높게 나타나는 것은, 하나의 micropore가 하나의 mesopore나 macropore에 비해 부피는 아주 작음에도 불구하고 그 수가 극도로 많음을 의미하는 것이다. 이는 기존의 SEM에서는 관찰할 수 없는 아주 작은 기공이 보다 많이 형성됨을 나타내고 있다. 또한 미처리 시료

의 경우 약 9Å 정도 크기의 기공이 가장 많은 부피를 차지하는데 비해, 감량률이 증가함에 따라 최대 부피를 나타내는 기공은 5~6Å 정도로 변화되었음을 알 수 있다.

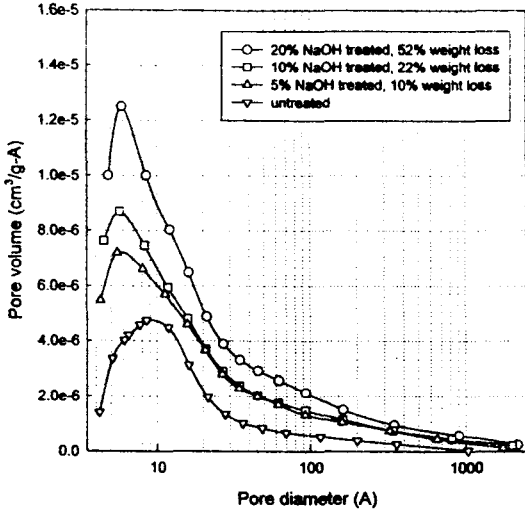


Fig. 7 Pore distribution of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

Fig. 8은 각각의 알칼리 감량률에 대한 시료의 비표면적의 변화를 나타낸 것으로 감량 전에 0.31 m²/g 이던 시료의 비표면적이 감량률이 증가함에 따라 점점 직선적으로 증가하여 52%의 감량률에서는 0.53 m²/g까지 증가하였다. 이는 알칼리 감량에 의해 상대적으로 평활하던 폴리에스테르 섬유 표면이 에칭되어 미세요철(기공)이 형성되었음을 의미하는 것이다. Fig. 9는 전체기공의 부피를 나타낸 것으로 비표면적에서와 마찬가지로 미처리의 경우 0.00095 cm³/g이던 총기공의 부피가 감량률이 증가함에 따라 점차 증가함을 알 수 있다. 한편 Fig. 10은 시료의 표면에 형성된 미세기공들의 평균크기를 감량률에 따라 나타낸 것으로 역시 감량률과 함께 평균기공의 크기도 증가하였다. Fig. 7에서 감량률이 커짐에 따라 크기가 작은 micropore가 상대적으로 크게 증가하는데도 불구하고 평균크기가 증가하는 것은, 작은 기공에 비해 큰 기공이 평균크기에 더욱 크게 기여하기 때문이다.

4. 결론

7종의 black용 분산염료와 2종의 심색제를 사용하여 폴리에스테르 섬유에 대한 염료와 심색제의 종류별 심색성능과 이에 대한 알칼리 감량효과 그리고 이들의 복합사용에 대해서도 검토하였다.

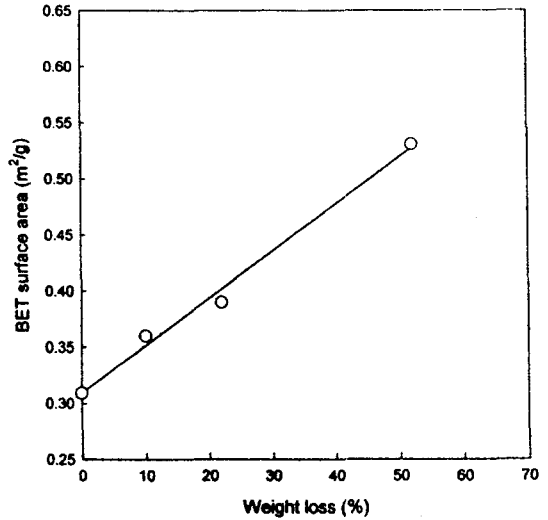


Fig. 8 BET surface area according to the weight loss of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

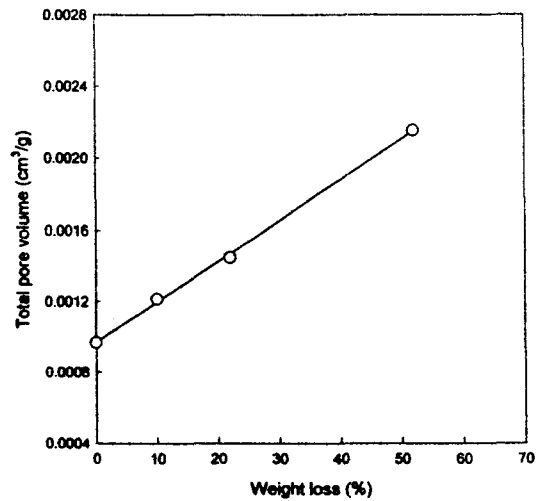


Fig. 9 Total pore volume according to the weight loss of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

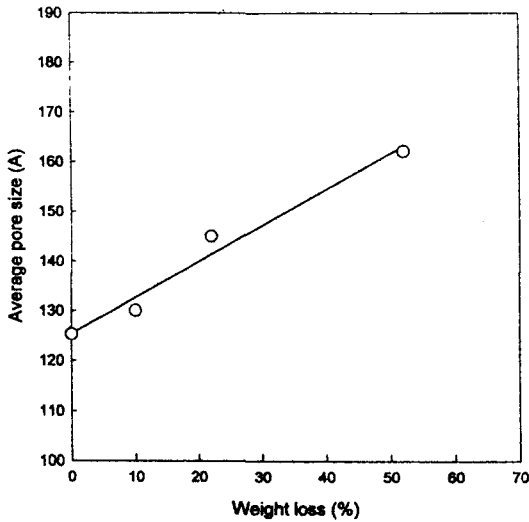


Fig. 10 Average pore size according to the weight loss of polyester fiber treated with NaOH solution at 70°C for 2 hours.

7종의 분산염료 단독처리의 경우 Foron Black RD-3G, Resolin Black K-BLS, Resolin Black GW, Terasil Black MAW, Black DERF는 4% owf 정도의 염료농도에서, Resolin Black GS와 Terasil Black RWL의 경우는 약 6% owf 정도에서 최대심색을 나타내었으며, 전자의 5종의 염료가 후자의 2종의 염료보다 우수한 심색효과를 나타내었다.

염색한 시료를 2종의 심색제로 처리한 경우 심색제의 농도에 따라 실험구간내에서 지속적으로 심색성이 증가하였고, Pantex DSP에 비해 Jet Black T-101이 보다 우수한 효과를 나타내었다.

알칼리 감량과 심색제 처리의 복합사용에서는, 알칼리 감량후 염색만 한 경우에 비해, Jet Black T-101로 추가처리한 경우는 서로의 효과가 보강되어 심색효과가 더욱 증가하였다. 알칼리 감량에 의한 강도저하는 필연적으로 발생하나 10~25% 정도의 일반적인 감량률에서 충분한 심색효과를 나타내므로 실용적인 강도범위내에서 효과가 큼을 알 수 있었다.

알칼리 감량한 폴리에스테르 섬유의 기공도를 분석한 결과, 감량률이 증가함에 따라 크기가 작은 micropore가 상대적으로 많이 형성되었으며 시료의 비표면적과 기공의 총부피 그리고 기공의 평

균크기 등이 모두 직선적으로 증가함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Y. R. Choi, K. P. Lee, Y. H. Han, S. Y. Kim, and S. K. Song, *J. Kor. Fiber Soc.*, **31**, 474(1994).
2. J. A. Yu and J. W. Kim, *J. Kor. Fiber Soc.*, **30**, 903(1993).
3. P. K. Park, M. C. Lee, and G. Y. Park, *J. Kor. Soc. Dyers and Finishers*, **8**, 158(1996).
4. Y. B. Shim and M. C. Lee, *J. Kor. Soc. Dyers and Finishers*, **9**, 15(1997).
5. 영남대학교, "PET직물의 심색화처리장치의 제작 및 심색화처리기술의 개발" p.17-21(1992).
6. Steven B. Warner, "Fiber Science", *Prentice-Hall, Inc.*, USA, p.217(1995).
7. 장병호, 박병기, 박수민, 김광수, 탁태문, 류동일, "섬유가공학", 형설출판사, p.403-404(1996).
8. 장병호, 박병기, 박수민, 김광수, 탁태문, 류동일, "섬유가공학", 형설출판사, p.178(1996).
9. 赤木孝夫, *加工技術*, **22**, 763(1987).
10. J. W. Park, J. H. Kim, and S. K. Song, *J. Kor. Fiber Soc.*, **33**, 790(1996).
11. K. Koo, T. Wakida, and M. Ueda, *J. Kor. Soc. Dyers and Finishers*, **7**, 223(1995).
12. T. Takada and M. Furukawa, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, 134(1990).
13. T. Goto, T. Wakida, and K. Koo, *Sen-i Gakkaishi*, **47**, 136(1991).
14. T. Takada, and M. Furukawa, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, 142(1990).
15. T. Goto, T. Wakida, and I. Tanaka, *Sen-i Gakkaishi*, **46**, 192(1990).
16. Y. C. Cho and K. Koo, *J. Kor. Fiber Soc.*, **34**, 598(1997).
17. B. S. Koo, Y. H. Kim, Y. C. Cho, K. H. Park, E. H. Won, K. Koo, and T. W. Son, *J. Kor. Soc. Dyers and Finishers*, **9**, 124(1997).
18. 조환, "최신섬유가공학", 형설출판사, p.236-237 (1987).
19. 이승구, 육종일, 주창환, 강태진, *한국섬유공학 회지*, **33**, 376(1996).