

안트라퀴논계 초소수성 네이비 염료를 이용한 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 염색

Dyeing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fiber Using Anthraquinoid Super-hydrophobic Navy Dyes

*Corresponding author

Taekyeong Kim
(taekyeong@knu.ac.kr)

김태경*, 마희정
경북대학교 섬유시스템공학과

Taekyeong Kim* and Heejung Ma

Department of Textile System Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Received_May 16, 2019

Revised_June 13, 2019

Accepted_June 14, 2019

Textile Coloration and Finishing

TCF 31-2/2019-06/98-106

©2019 The Korean Society of

Dyers and Finishers

Abstract The dyeability and fastness properties of super-hydrophobic navy dyes having different length of alkyl groups were investigated on ultra high molecular weight polyethylene fabrics. Those dyes exhibited strong color strength in the wavelength of mainly 550~650nm, which meant that they were navy color. From the results accomplished under various dyeing conditions, it can be concluded that those dyes have higher affinity on the fibers at 130°C than at the lower dyeing temperature. Considering processing time and thermal damage of the fibers, one hour is good enough to obtain full strength of color. Maximum color strength was obtained at 2~3%owf of pure dyes. Except for the rub fastness under dry condition, all fastness such as to washing and light showed as good as of 4~5 ratings.

Keywords UHMWPE, hydrophobic dye, dyeing, navy, fastness

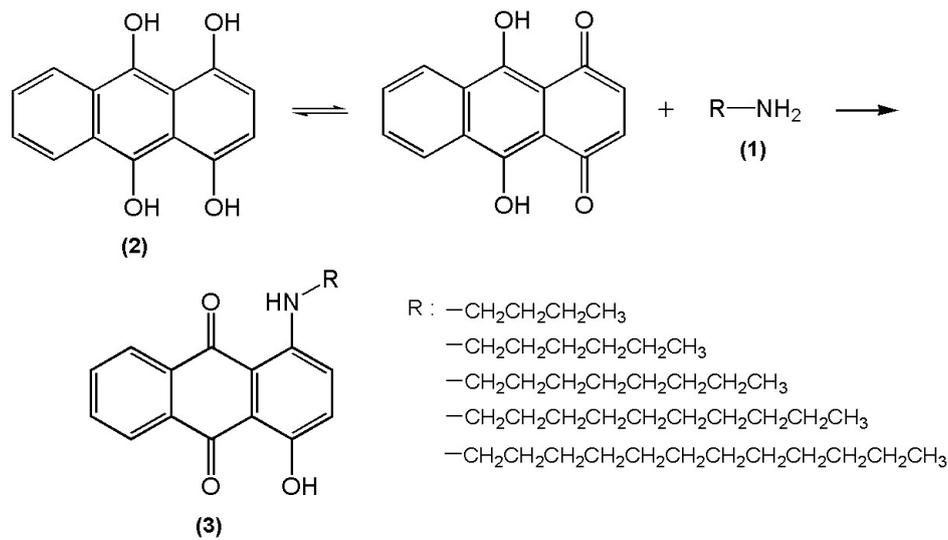
1. 서론

높은 강도와 경량성, 그리고 우수한 내화학성 등의 장점을 가지는 고강도 폴리에틸렌 섬유는 슈퍼섬유중의 하나로 비교적 최근 그 용도가 다양하게 전개되고 있다. 기존에는 주로 산업적 용도로 전개되는 것이 일반적이었으나 분자량과 방사공정의 조절을 통해 적절한 강도수준을 가지게 함으로써 산업용뿐만 아니라 보호복이나 보호장갑과 같이 착용하는 용도로의 전개도 지속적으로 이루어지고 있다^{1,2)}. 이러한 고강도 폴리에틸렌계 섬유는 폴리프로필렌 섬유와 마찬가지로 극도의 소수성과 높은 결정화도로 인해 기존의 염료로는 염색이 불가능한 것으로 인식되어 왔다³⁻⁵⁾.

이에 본 연구팀에서는 이들 섬유에 우수한 친화력을 가지는 염료를 새롭게 합성하고자 하였으며 여러 차례

의 연구결과를 통해 긴 알킬기를 색소모체에 도입하면 염료가 초소수성화가 되고 이로 인해 극도의 소수성을 가지는 폴리에틸렌계 또는 폴리프로필렌계 섬유에 높은 친화력을 가지게 됨을 확인하고 보고한 바 있다. 삼원색의 염료를 비롯하여 다양한 중간색을 가지는 염료는 합성하고 섬유에 대한 염착성과 견뢰도 등을 조사하여 보고하였다⁶⁻²³⁾. 실제 섬유에 색상을 발현시킴에 있어서 중요한 색상의 하나가 바로 네이비 색상인데, 황색, 적색, 청색의 삼원색 다음으로 요구빈도가 높은 색상이다.

따라서 일련의 본 연구에서는 네이비 색상을 가지는 초소수성 염료를 합성하기 위해 안트라퀴논계 색소모체에 다양한 길이의 알킬치환기를 도입하여 초소수성 네이비 염료를 합성하였으며, 이 염료를 사용하여 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성과 견뢰도를 조사하여 보



Scheme 1. Synthesis scheme of the dyes²⁴.

고 중에 있다²⁴.

본 논문에서는 이들 염료를 사용하여 초고분자량 폴리에틸렌(Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) 섬유에 대한 염착성과 견뢰도 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

실험에 사용된 섬유는 아무런 화학적 개질이 이루어지지 않은 초고분자량 폴리에틸렌 섬유인 Dyneema 60K 평직물(300g/m²)을 사용하였다. 염료의 합성과 분산 그리고 필요한 실험과정에 사용된 시약들은 모두 순도 95% 이상의 것들을 사용하였다.

2.2 염료의 합성²⁴

염료의 합성은 Scheme 1의 방법으로 이루어졌다. 우선 과량의 n-alkylamine(1, 0.015mole)을 leucoquinizarin(2, 0.01mole)과 함께 ethanol 65ml에 용해시킨 후 reflux한다. 이 합성반응에는 추가적인 촉매는 필요하지 않으며 반응시간은 알킬기의 길이에 따라 4~6시간의 범위 내에서 적절하게 조절되었다. 합성반응이 완료된 후 알킬기의 길이에 따른 적정량의 물을 반응용액에 첨가하여 합성된 염료(3)를 석출시킨다. 석출된 염료는 흡인여과하며 이 과정 중에 메탄올로 수회 세척을 실시하여 염료에 포함된 미반응물과 기

타 불순물들을 제거하였다. 이 과정만으로 높은 수준의 순도로 염료가 얻어지므로 추가적인 정제작업은 하지 않았다. 합성된 염료는 진공건조를 통해 분말로 얻어졌으며 최종 염료는 butyl, hexyl, octyl, decyl, dodecyl 치환기를 가지는 안트라퀴논계 염료 5종이 얻어졌다²⁴.

2.3 염료의 분석

합성된 염료의 구조 확인을 위해서 질량분석(GC/MS, Agilent 7890A-5975C GC/MS, USA)을 비롯해 핵자기공명분석(¹H-NMR, Bruker WIN-NMR, USA)을 실시하였다²⁴. Melting point기(MEL-TEMP 486 Laboratory devices INC, USA)를 이용해 합성된 염료의 melting point를 측정하였다.

2.4 염료의 분산

염료의 분산은 소량의 염료분산이 가능한 아래와 같은 방법을 사용하였다. 일정량의 염료를 tetrahydrofuran에 용해한다. 또한 분산제로 사용된 didodecyldimethyl ammonium bromide(DDDMAB)를 tetrahydrofuran에 완전히 용해시킨 후 혼합한다. 이를 감압 및 진공건조를 통해 tetrahydrofuran을 제거시킨다. 이러한 방법을 통해 염료와 DDDMAB의 균일한 혼합체를 형성시킨다. 이때 염료와 DDDMAB의 적정비율은 선행연구에서 중량비 1:2 정도임을 확인했으며, 본 실험에서도 이러한 비율로 분산시켰다. 이 염료

와 분산제의 균일혼합체에 일정량의 물을 첨가 후 초음파장치를 이용하여 적당한 시간동안 조사하면 DDDMAB의 분산작용으로 균일한 염료분산액이 만들어진다. 이와 같은 염료분산액을 필요한 양의 물을 욱비에 따라 첨가하여 염색에 사용하였다. 관련연구를 통해 이 분산법이 일반적 상용화 수준의 분산법과 실험 결과에서 거의 유사하다는 것을 확인하였다.

2.5 염색

초고분자량 폴리에틸렌 섬유 1.0g을 앞에서와 같은 방법으로 제조된 염료분산액을 이용하여 기본적으로 순수염료 5% owf로 욱비 1:50의 조건으로 130℃에서 1시간 동안 염색하였다. 염색조건은 필요에 따라 변화되었으며, 염색을 완료한 후 환원세정공정을 대신해 아세톤으로 수회 세척하였다. 아세톤 세척액이 무색투명한 상태가 될 때까지 상온에서 충분히 세척하였으며 선행 연구를 통해서 기존의 차아황산나트륨과 수산화나트륨을 사용하는 환원세정공정을 간편하게 대체할 수 있음을 확인하였다.

2.6 염색물의 색상 및 색상강도 측정

측색기를 이용하여 360~740nm의 파장범위에서 10nm 간격으로 단파장 표면반사율을 측정 한 후 Kubelka-Munk식(1)을 써서 염색물의 겉보기 색농도 값을 나타내는 K/S값을 산출하고, 시간분포에 따른 색상별 자극치를 적용하여 합산한 f_k value(식2)를 색상강도의 비교값으로 사용하였다²⁵⁻²⁷⁾. 이용된 측색장비는 Konica-Minolta CM-3600d spectrophotometer이며 D65 광원 10° 관찰자 시야각의 조건으로 측정하였다.

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \dots\dots\dots (1)$$

where,

K : Absorption coefficient

S : Scattering coefficient

R : Reflectance

$$f_k = \sum_{\lambda=360}^{740} (K/S)_\lambda (\bar{x}_\lambda + \bar{y}_\lambda + \bar{z}_\lambda) \dots\dots\dots (2)$$

where,

\bar{x} : Tristimulus value of blue

\bar{y} : Tristimulus value of green

\bar{z} : Tristimulus value of red

λ : Wavelength

2.7 견뢰도 조사

본 실험에 사용된 염료중 가장 긴 알킬기를 가지는 dodecyl 치환염료를 사용하여 순수염료농도 5% owf의 조건으로 130℃에서 1시간 염색한 시료에 대해 표준화된 방법으로 세탁(KS K ISO 105-C06 A1S), 마찰(KS K 0650), 일광(KS K ISO 105-B02)견뢰도 테스트를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 염료의 합성 및 분석

본 연구에서는 Figure 1의 방법에 따라 알킬기의 길이가 서로 다른 5종의 염료를 합성하였다. 알킬 길이를 다르게 합성한 이유는 염료의 소수성을 단계적으로 증가시켜 소수성의 증가에 따라 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대한 염착성의 변화거동을 조사하기 위한 것이다. 이러한 목적에 맞게 합성이 정상적으로 이루어졌음을 확인하기 위해 질량분석(Table 1)을 실시하였으며 예상되는 분자량이 정확하게 얻어졌음을 확인하였다.

Table 1. Mass analysis of the synthesized dyes²⁴⁾

Substituent	Molecular formula	Mass(m/z)	
		Calculated	Found
Butyl	C ₁₈ H ₁₇ NO ₃	295.12	295.1
Hexyl	C ₂₀ H ₂₁ NO ₃	323.15	323.1
Octyl	C ₂₂ H ₂₅ NO ₃	351.18	351.3
Decyl	C ₂₄ H ₂₉ NO ₃	379.21	379.2
Dodecyl	C ₂₆ H ₃₃ NO ₃	407.25	407.3

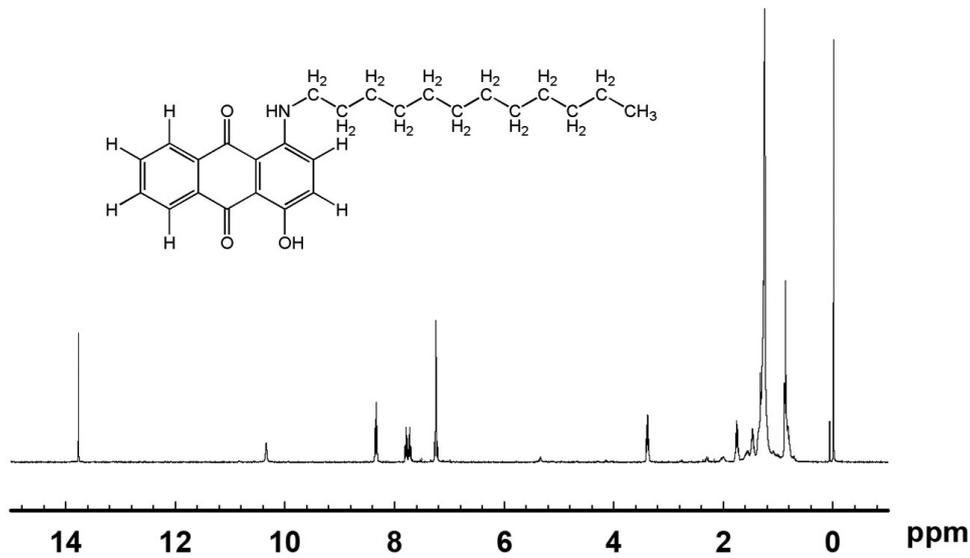


Figure 1. ¹H-NMR analysis of the synthesized dye(dodecyl)²⁴.

그리고 추가적으로 핵자기공명분석을 실시하였으며 이 경우는 알킬치환기의 길이가 가장 긴 dodecyl 치환 염료에 대해서만 제시하였다. 그 이유는 본 연구에서 합성된 5종의 염료는 알킬 길이의 변화에 따른 약 1~3ppm 근처의 피크 면적만 약간씩 변화할 뿐 나머지 피크의 위치나 면적은 거의 동일하게 나타나기 때문이다. 약 1~3ppm 근처의 지방족 탄소에 치환된 수소들과 7~8ppm 근처의 방향족 탄소에 치환된 수소원자들의 피크들이 정상적으로 잘 나타나고 있다. 이상의 합성과 분석결과는 폴리프로필렌 섬유에 대한 적용을 연구한 사례를 통해 이미 보고 중에 있다²⁴).

Figure 2에는 염료들의 용융점을 조사하여 나타내

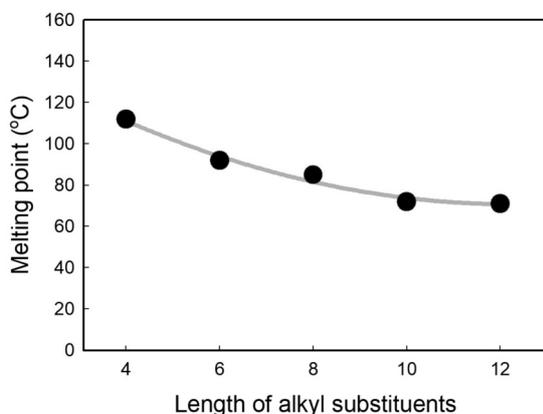


Figure 2. Melting point of synthesized dyes.

었다. Butyl기가 치환된 염료에서부터 알킬 치환기의 길이가 길어짐에 따라 염료의 용융점이 점차로 낮아지는 경향을 보이는데 이러한 현상은 자유회전이 가능한 긴 알킬치환기가 안트라퀴논 색소모체의 결정화를 방해하기 때문으로 이해된다.

일반적으로 폴리에스테르 섬유를 비롯하여 본 연구에서와 같은 폴리올레핀 섬유의 염색은 130°C 정도의 고온에서 충분한 염착이 이루어진다. 이와 관련하여 염료의 용융점 저하는 긍정적인 점으로 작용할 수 있는데 그 이유는 다음과 같다. 소수성염료는 물에 용해성이 거의 없는 것으로 이해되지만 사실상 염색온도에 해당하는 고온에서 분산제의 작용과 함께 약간의 용해는 일어나고 이렇게 용해된 단분자 상태의 염료가 섬유표면에 흡착한 후 섬유고분자의 비결정영역내로 열확산되기 때문이다. 이때 염료의 용융점이 염색온도보다 높다면 고온의 염색조건에서도 염료는 여전히 분산된 고체의 결정상태로 대부분 존재할 것이고 단분자 상태로 용해된 염료의 비율을 적어지게 되므로 섬유에 염착률이 낮아질 가능성이 크다.

그러나 염료의 용융점이 염색온도보다 낮다면 염색 과정에서 염료는 액상화가 되고 분산제의 작용에 의해 보다 쉽게 단분자화가 가능해지게 될 것이며 극도로 소수성인 섬유고분자 표면으로의 흡착과 섬유고분자의 비결정영역내로의 확산률 및 침투율도 크게 증가할 것이기 때문이다. 이런 측면에서 본 연구에 사용된 5종의

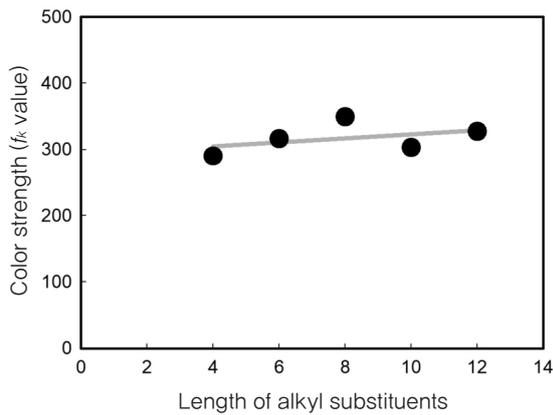


Figure 3. Color strength of UHMWPE fabrics dyed with the synthesized dyes according to length of alkyl substituents at 130°C for 1 hour.

염료가 모두 최적 염색온도에 해당하는 130°C 보다 낮은 점은 분명 염색에 유리하게 작용할 것으로 생각된다.

3.2 최적 알킬기 길이의 선정

앞서 언급한 바와 같이 본 연구 목적의 하나는 길이 가 다른 알킬치환기를 가지는 염료를 합성하고 이들 알킬치환기에 따른 염료의 소수성의 증가가 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대한 염착성에 어떤 영향을 미치는가 하는 것이었다. 따라서 합성된 5종의 초소수성 염료 5% owf를 사용하여 130°C에서 1시간 동안 염색하여 알킬치환기의 길이에 따른 색상강도를 조사하였다.

Figure 3에 제시된 바에 의하면 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대한 염착성이 알킬기의 길이가 길어짐에 따라 크지는 않지만 약간 증가하는 경향을 보였다. 현재 보고중인 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성의 경향은 알킬치환기의 길이의 영향을 비교적 크게 받는 것으로 나타났으나 본 연구에서 사용된 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대해서는 알킬 길이별 영향이 크게 나타나

지는 않았다. 하나의 원인으로 설명은 어렵지만 원인중의 하나라고 생각되는 것은 짧은 알킬기만으로도 섬유에 충분히 우수한 친화성을 나타내기 때문이며 동시에 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 결정화도가 아주 높아서 알킬 길이의 길어짐에 따라 염료의 분자크기가 증가하여 섬유고분자내로 침투가 점점 어려워지기 때문으로 추측된다.

다시 말해 알킬기로 인한 소수성의 증가에 의한 염착성 증가와 염료의 분자크기의 확대에 의한 침투성의 저하가 비슷하게 상쇄되기 때문으로 생각된다.

실제로 염색된 섬유를 Figure 4에 제시하였는데, 5종의 염료 모두 아주 진한 농색으로 염색된 것을 알 수 있다. 알킬 길이별 염착성에 대한 영향이 크지는 않다고 하더라도 본 연구에서의 최대 길이에 해당하는 dodecyl의 경우가 상대적으로 다소 높은 색상강도를 보이므로 본 연구에서는 최적의 알킬 길이를 dodecyl로 결정하고 이후의 실험을 진행하였다.

본 연구에서 합성하고자 하는 염료의 색상은 네이비였다. Figure 4의 염색시료로도 확인이 가능하지만 해당 염료 중 알킬기의 길이가 가장 긴 dodecyl기로 치환된 염색된 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 파장별 K/S를 Figure 5에 나타내어 이를 명확히 하였다.

Figure 5를 보면 주로 550~650nm 파장 부근의 색상강도가 강하게 나오는 것과 동시에 가시광선의 전체 파장의 대부분 영역인 약 450nm부터 거의 700nm 가까이까지 흡수를 보이는 것으로 보아 염색된 시료가 어둡고 진한 네이비 색상을 띠는 것을 알 수 있다.

3.3 조건별 염색성

최적 알킬 길이로 결정된 dodecyl기를 가지는 염료를 사용하여 염색온도, 염색시간, 염료농도에 따른 염착성을 조사하였다. 우선 100~130°C의 온도에서 염

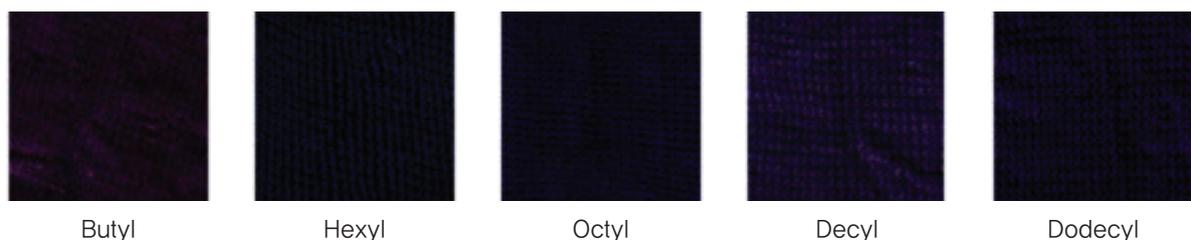


Figure 4. UHMWPE fabrics dyed with the synthesized dyes according to length of alkyl substituents at 130°C for 1 hour.

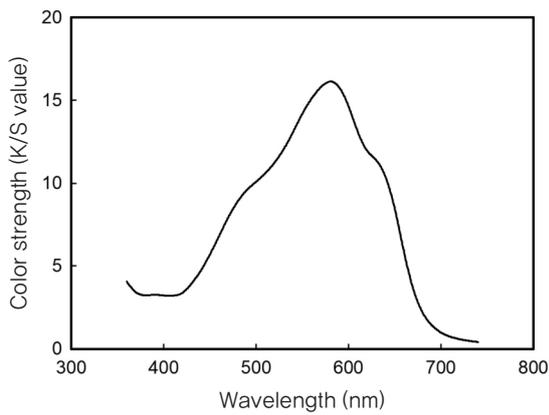


Figure 5. K/S values of UHMWPE fabrics dyed with the dodecyl-substituted navy dye at 130°C for 1 hour.

색된 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 색상강도를 Figure 6에 나타내었다. 관련연구에서 얻어진 경향과 동일하게 염색온도가 100°C에서 130°C로 증가함에 따라 염착량이 급격히 증가하여 100°C에 비해 130°C에서의 색상강도가 거의 4배 가까이 증가했음을 확인하였다. 온도의 증가에 의해 섬유내부로 침투가 가능한 단분자 상태의 염료분자수의 증가, 염료의 확산속도의 증가, 그리고 섬유고분자 비결정영역의 확장 등의 영향으로 나타난 당연한 결과라고 판단된다.

Figure 7에는 염색시간에 따른 색상강도를 나타내었다. 색상강도의 증가는 약 2~3시간까지 증가하기는 하나 대부분 1시간 정도에서 거의 최대염착량에 근접하는 것으로 확인되며 선행연구 등을 통해서 초고분자

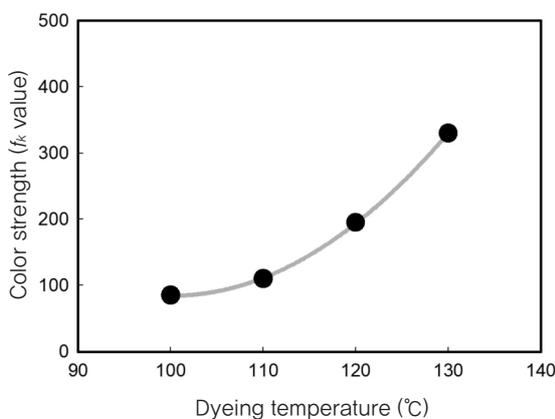


Figure 6. Color strength of UHMWPE fabrics dyed with the dodecyl-substituted navy dye according to dyeing temperature for 1 hour.

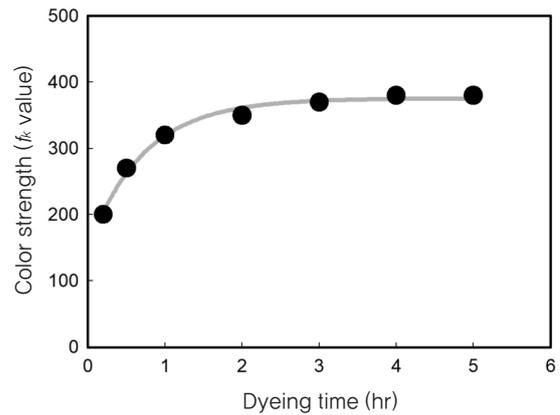


Figure 7. Color strength of UHMWPE fabrics dyed with the dodecyl-substituted navy dye according to the dyeing time at 130°C.

량 폴리에틸렌 섬유가 130°C에서 염색시간이 1시간을 넘어서면 강도의 저하가 무시할 수 없는 수준으로 발생한다는 점을 감안하면 최적 염색시간은 1시간으로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

염색의 빌드업 특성을 나타내는 염료농도별 그래프 Figure 8을 보면, 약 2~3% owf 정도까지는 색상강도가 증가하다가 더 이상의 염료농도에서는 증가하지 않는 경향으로 보아 빌드업 특성은 다소 부족한 것을 알 수 있다. 그러나 앞서 Figure 4의 시료색상이나 Figure 5의 파장별 K/S 등에서 알 수 있었던 바와 같이 이미 5% owf 농도의 염색조건에서 충분한 색상강도를 나타내고 있으므로 빌드업 특성이 다소 낮은 것이 큰 문제가 되는 것은 아니라고 생각된다.

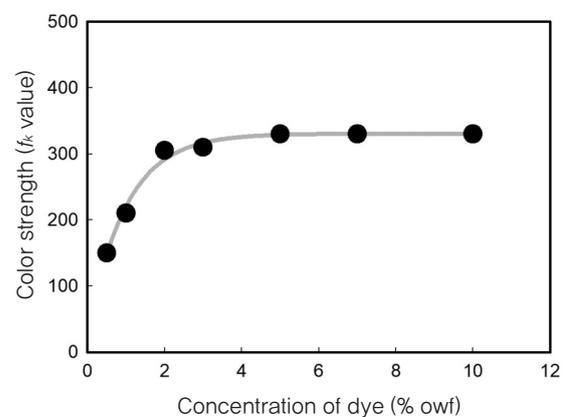


Figure 8. Color strength of UHMWPE fabrics dyed with the dodecyl-substituted navy dye according to the concentration of dye at 130°C for 1 hour.

Table 2. Color fastness of UHMWPE fabrics dyed with the dodecyl-substituted navy dye

Color fastness		Ratings	
	Change in color	4-5	
Washing	Staining	Acetate	4-5
		Cotton	4-5
		Nylon	4-5
		PET	4-5
		Acrylic	4-5
		Wool	4-5
Rubbing	Staining	Dry	3-4
		Wet	4-5
Light	Change in color	4-5	

3.4 견뢰도 분석

마지막으로 dodecyl기가 치환된 염료로 염색된 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 세탁, 마찰, 일광견뢰도를 조사하였으며 그 결과는 Table 2에 정리하였다. 건조 조건하에서의 마찰견뢰도가 3~4급인 것을 제외하면 모든 견뢰도가 4~5급으로 아주 우수한 견뢰도 특성을 나타냄을 확인하였다.

관련된 선행연구들의 결과를 보면 알킬기가 치환된 초소수성 염료들의 경우 세탁과 마찰견뢰도는 우수한 반면 일광견뢰도는 다소 부족한 것이 일반적인 경향이었으나 본 연구의 염료에서는 일광을 포함한 대부분의 견뢰도가 아주 우수함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 안트라퀴논의 색소모체에 서로 다른 길이를 가지는 알킬치환기를 도입한 네이비 염료 5종을 사용하여 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대한 염색성과 견뢰도를 조사하였다. 염료는 주로 550~650nm에서 강한 색상을 나타냄으로써 계획한 바와 같이 네이비 색상이 잘 얻어졌음을 확인하였다. 염색온도, 염색시간, 염료농도에 따른 염색성 시험에서는 100℃에서 130℃로 염색온도가 증가함에 따라 색상강도가 급격히 증가하여 예상대로 고온염색법이 적용됨을 확인하였고, 적절한 염색시간은 1시간으로 결정하는 것이 타당함을 알 수 있었다. 염료의 빌드업 특성은 다소 부족한 점이 있기는 하지만 충분한 강도의 농색염색이 가능

함을 확인하였다. 세탁, 마찰, 그리고 일광견뢰도를 조사한 결과 건조마찰의 경우를 제외하면 모두 4~5급으로 우수한 견뢰도를 나타냄을 확인하였다.

References

1. M. An, H. Xu, Y. Lv, Q. Gu, and Z. Wang, Structural Difference of Gel-spun Ultra-high Molecular Weight Polyethylene Fibers Affected by Cold Drawing Process, *Fibers and Polymers*, **18**(3), 549(2017).
2. M. Bartusch, R. D. Hund, H. Hund, and C. Cheri, Surface Functionalisation of UHMW Polyethylene Textile with Atmospheric Pressure Plasma, *Fibers and Polymers*, **15**(4), 736(2014).
3. I. S. Cho, D. S. Jang, B. Y. Seo, S. J. Park, K. M. Cho, and Y. B. Shim, "Practical Dyeing", Hyungseul Publish Co., Seoul, pp.397-399, 2000.
4. M. Ahmed, "Polypropylene Fibers-Science and Technology", Elsevier Scientific Publishing Co., New York, pp.462-501, 1982.
5. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, pp.497-498, 1984.
6. T. K. Kim and S. H. Jeon, Coloration of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fibers Using Alkyl-substituted Monoazo Yellow and Red Dyes, *Fibers and Polymers*, **14**(1), 105(2013).

7. T. K. Kim and C. H. Lee, Synthesis and Application of Novel High Light Fastness Red Dyes for Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fibers, *Fibers and Polymers*, **15**(2), 248(2014).
8. T. K. Kim, J. S. Jung, S. I. Son, S. H. Yoon, M. Kim, and J. S. Bae, Synthesis and Application of Alkyl-substituted Disazo Yellow Dyes for Unmodified Polypropylene Fiber, *Fibers and Polymers*, **9**(5), 538(2008).
9. T. K. Kim, J. S. Jung, K. J. Jang, S. H. Yoon, and M. K. Kim, Synthesis and Application of Alkyl-substituted High Chroma Yellow Dyes for Unmodified Polypropylene Fiber, *Fibers and Polymers*, **10**(2), 148(2009).
10. T. K. Kim, K. J. Jang, and S. H. Jeon, Calculation and Analysis of Hydrophobicity of the Dyes Synthesized for Unmodified Polypropylene Fibers Using Molecular Descriptors, *Textile Coloration and Finishing*, **21**(5), 21 (2009).
11. T. K. Kim, K. J. Jang, and S. H. Jeon, Synthesis of Red Disperse Dyes with Various Diazo Components and Coloration of Unmodified Pure Polypropylene Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **22**(1), 1(2010).
12. T. K. Kim, K. J. Jang, and S. H. Jeon, Synthesis and Application of Alkyl-substituted Red Dyes for Unmodified Polypropylene Fiber, *Fibers and Polymers*, **12**(2), 174 (2011).
13. D. S. Kwak and T. K. Kim, Synthesis of Diamino-anthraquinoid Blue Disperse Dyes Having Alkyl Substituents Longer Than Pentyl Group and Their Dyeability Toward Pure Polypropylene Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **24**(2), 106(2012).
14. D. S. Kwak and T. K. Kim, Dyeing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fibers with Diamino-anthraquinoid Blue Disperse Dyes Having Linear Alkyl Substituents, *Textile Coloration and Finishing*, **24**(3), 180(2012).
15. T. K. Kim, S. H. Yoon, J. P. Hong, H. J. Kim, and J. S. Bae, Coloration of Pure Polypropylene Fiber with Super Hydrophobic Dyes, *Textile Coloration and Finishing*, **18**(5), 30(2006).
16. T. K. Kim and Y. R. Chae, Synthesis and Application of Anthraquinoid Magenta Dyes for Pure Polypropylene Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(2), 102 (2013).
17. T. K. Kim and C. H. Lee, Synthesis of a Super Hydrophobic Violet Dye for Pure Polyolefin(PP/UHMWPE) Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(3), 165 (2013).
18. T. K. Kim, J. S. Jung, S. H. Yoon, M. K. Kim, and Y. A. Son, The Coloration Properties of Alkyl-substituted Anthraquinoid Dyes for Pure Polypropylene Fiber, *Textile Coloration and Finishing*, **19**(6), 28(2007).
19. T. K. Kim and M. H. Ryu, Synthesis of Super Hydrophobic Orange Dyes Having Maximum Absorption at 450-500nm for Pure Polyolefin Fibers, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(3), 165(2014).
20. S. A. Lee and T. K. Kim, Characteristics and Application of the Highly-Durable and Highly-Sensitive Super Hydrophobic Acid-gas Sensing Dye, *Textile Coloration and Finishing*, **27**(2), 105(2015).
21. S. A. Lee and T. K. Kim, Synthesis and Application of Acid-gas Sensing Dyes Having Alkyl Groups Symmetrically Substituted on Monoazo Chromophore, *Fibers and Polymers*, **16**(10), 2106(2015).
22. T. K. Kim, J. H. Park, J. H. Lee, and T. K. Kim, Dyeing of High Strength and High Molecular Weight Polyethylene Fiber Using Super Hydrophobic Fluorescence Dyes, *Textile Coloration and Finishing*, **29**(4), 223 (2017).
23. T. K. Kim, J. H. Lee, J. H. Park, and T. K. Kim, Dyeing of High Strength and High Molecular Weight Polyethylene Fiber Using Super Hydrophobic Red Fluorescence Dyes, *Textile Coloration and Finishing*, **30**(4), 237 (2018).
24. J. H. Lee, H. J. Ma, and T. K. Kim, Synthesis of Super Hydrophobic Navy Dyes Having Long Alkyl Substituents and Their Dyeability onto Unmodified Polypropylene Fibers, *Fibers and Polymers*, under Review.
25. H. G. Volz, "Industrial Color Testing, Fundamentals and Techniques", VCH, New York, pp.93-98, 1995.
26. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, pp.566-569, 1984.

27. W. Baumann, B. T. Groebel, M. Kraye, H. P. Oesch, R. Brossman, N. Kleinmeier, and A. T. Leaver, Determination of Relative Colour Strength and Residual Colour Difference by Means of Reflectance Measurements, *JSDC.*, **103**, 100(1987).

Authors

김태경 경북대학교 섬유시스템공학과 교수
마희정 경북대학교 섬유시스템공학과 석사