

순수 폴리프로필렌 섬유용 알킬치환 안트라퀴논계 염료의 색상발현 특성

김태경* · 정종석¹ · 윤석한² · 김미경² · 손영아³

경북대학교 공과대학 섬유시스템공학과 & 경북대학교 신경과학연구소

¹경북대학교 기능물질공학과, ²한국염색기술연구소

³충남대학교 바이오응용화학부 유기소재섬유시스템전공

The Coloration Properties of Alkyl-substituted Anthraquinoid Dyes for Pure Polypropylene Fiber

Taekyeong Kim*, Jongsuc Jung¹, Seokhan Yoon², Mikyung Kim² and Young-A Son³

Dept. of Textile System Engineering & Brain Science and Engineering Institute, Kyungpook National University, Daegu, Korea

¹Dept. of Advanced Organic Materials Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

²Korea Dyeing Technology Center, Daegu, Korea

³Dept. of Organic Materials and Textile System Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

(Received: November 13, 2007/Revised: December 10, 2007/Accepted: December 14, 2007)

Abstract— The optical and physical properties of alkyl-substituted anthraquinoid dyes were investigated in terms of dyeing of pure polypropylene fiber. The length of alkyl substituents of the dyes did not affect the molar extinction coefficient and maximum absorption wavelength of them. The use of a double-tailed cationic surfactant, didodecyldimethylammonium bromide(DDDMAB), could make the hydrophobic dyes dispersed in water effectively. As the amount of DDDMAB increased, the average particle size of dye dispersion decreased. Maximum color strength of the fabrics was shown in the case that 1.5 molar ratio of DDDMAB was used. As for the fastness properties, commercially acceptable result was obtained in general.

Keywords: polypropylene, hydrophobic dyes, cationic surfactant, dyeing, fastness

1. 서 론

폴리프로필렌 섬유는 4.5~9.0g/d 정도의 강도와 25~60% 정도의 신도를 가지는 섬유로서 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 폴리에스테르 섬유와 유사한 정도의 기계적 특성을 가질 뿐 아니라 내약품성도 뛰어난 우수한 섬유소재이다. 또한 섬유의 비중이 0.90~0.92 정도로서 모든 섬유 중에서 가장 비중이 낮아 물에 뜨는 섬유소재로도 알려져 있으며^{1~3)}, 최근 경량소재를 이용한 스포츠 의류용으로서의 전개도 기대되고 있다. 뿐만 아니라 수분율도 0.05% 이하의 낮은 값을 보이므로 용도 전개에 따라서는 속건

소재로서의 응용도 가능하며, 이외에도 0.12W/mK의 낮은 열전도율로 인해 보온성 소재로의 전개도 가능하다^{2,5)}.

그러나 잘 알려진 바와 같이 폴리프로필렌 섬유는 그 특유의 극단적인 소수성으로 말미암아 물을 매체로 하는 염색시스템에서 어떠한 염료를 사용하더라도 염색이 거의 불가능하여 난염성 섬유로 현재까지도 알려져 있다^{6~8)}.

이러한 폴리프로필렌 섬유를 염색하기 위해서는 현재 두 가지 정도의 착색법이 가능한데, 그중 하나는 방사시에 유색안료를 첨가하여 방사하는 원착법이며, 다른 하나는 폴리프로필렌에 염색이 가능한 다른 고분자를 혼합하는 고분

*Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5639; Fax.: +82-53-950-6617; e-mail: taekyeong@knu.ac.kr

자 블렌드 기법이나 폴리프로필렌을 여러 가지 방법에 의하여 화학적으로 개질하는 방법이 가능하다. 첫 번째의 원작법은 섬유의 방사시에 안료를 첨가함으로써 폴리프로필렌의 물성변화 없이 착색시키는 것이 가능하기는 하나 섬유 필라멘트의 색상이 방사시에 정해져 버리므로 후염색법에 비해 색상의 응용면에서 상당히 제한적이다. 두 번째 방법은 후염색법에 의해 색상발현이 가능하기는 하나 폴리프로필렌 소재를 화학적으로 변형시키므로 폴리프로필렌 고유의 특성을 필연적으로 변화시킬 수밖에 없는 근본적인 단점이 있다⁶⁻⁸⁾.

이에 비해 일련의 본 연구에서는 폴리프로필렌을 물리적 또는 화학적으로 전혀 변화시키지 않은 상태에서 폴리프로필렌에 친화력을 가지는 새로운 염료를 선정하고 이를 이용하여 기존의 공정과 같은 수계에서 폴리프로필렌을 염색하고자 하였다. 잘 알려진 바와 같이 폴리프로필렌 섬유는 극도의 소수성을 나타내므로 이러한 극소수성의 섬유에 염료가 친화력을 가지기 위해서는 염료 또한 극도의 소수성을 가질 필요가 있다. 따라서 기존의 분산염료보다도 더욱 소수성인 solvent dye 또는 oil dye를 사용하여 폴리프로필렌의 염색을 시도하였으며, 그 결과 안트라퀴논의 동일 색소모체에 알킬기가 치환된 염료가 순수 폴리프로필렌 섬유에 염착성이 있으며 알킬기의 길이가 길어짐에 따라 염착성도 증가한다는 결과를 보고한 바 있다⁹⁾.

본 실험에서는 이들 알킬치환 안트라퀴논 염료들의 알킬기의 길이에 따른 염료의 특성변화를 검토해 보고 이어 이들 염료를 수계 염색시키는데 있어 카티온 계면활성제를 분산제로 사용하고 이 분산제의 양에 따른 염색성과 견뢰도를 조사하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

실험에 사용된 소재는 100% 폴리프로필렌 섬유로서 평직으로 제직된 직물을 사용하였다. 염료는 동일한 안트라퀴논 색소모체를 가지며, 서로 다른 길이의 직쇄상 알킬치환기를 가지는 염료 4종을 선정하였으며, 이들의 화학구조와 염료명은 Fig. 1과 같다. 사용된 염료의 순도는 최소 97% 이상의 시약급으로서 별도의 정제없이

사용되었다.

염료의 수계분산을 위해서는 두 개의 장쇄알킬기를 가지는 4급 암모늄염 형태의 양이온 계면활성제(Didodecyldimethylammonium bromide(DDDMAB), 98%)를 사용하였다.

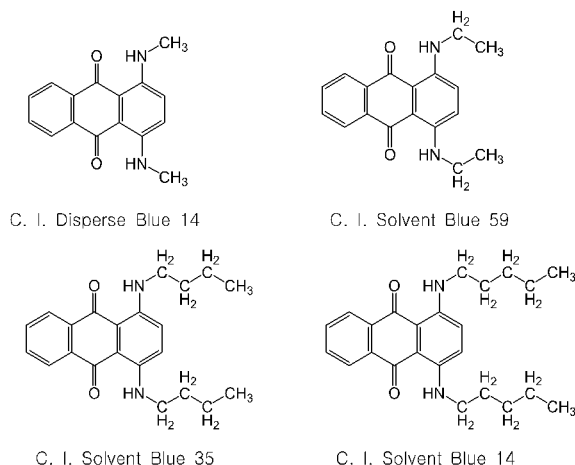


Fig. 1. Dyes used in the experiment.

2.2 염료의 특성 분석

본 실험에 사용된 초소수성 염료들의 광학적 특성 및 물성을 분석하기 위하여 UV-Vis. Spectrophotometer(Thermo Electron Corporation, Nicolet evolution 300)에 의해 몰흡광계수(ϵ)와 최대흡수파장($\lambda_{\max}$)를, Differential Scanning Calorimetry(Perkin Elmer, DSC 7)에 의해 용융온도(T_m)를, 그리고 Thermo-Gravimetry(Perkin Elmer, TGA 7)에 의해 기화온도(T_{vap}) 또는 승화온도(T_{sub}) 또는 분해온도(T_{dec})를 측정하였다. 이때 Thermo-Gravimetry에 의한 측정은 승온에 따른 중량감소 시작점을 측정하므로 이 온도가 기화온도인지 승화온도인지 또는 분해온도인지는 명확히 구분할 수가 없다는 점을 주지할 필요가 있다.

2.3 염료의 분산

일정량의 염료를 50ml의 tetrahydrofuran(THF)에 완전히 용해시킨다. 또한 일정량의 DDDMAB를 별도의 50ml의 THF에 완전히 용해시킨 후 두 용액을 혼합한다. 혼합액을 회전증발농축기를 사용하여 THF를 제거한 후에 추가로 24시간 동안 진공건조시켜 용매로 사용된 THF를 완전히 제거시킨다. 이 과정에서 염료와 분산제 DDDMAB의 균일한 복합체가 형성된다. 이 염료-분산제 복합체에 일정량의 물을 첨가한 후 초음파 조사

장치를 사용하여 1~2 시간 조사하면 DDDMAB의 분산작용에 의한 염료의 균일하고 안정한 염료분산액이 형성된다. 이 염료분산액을 염색에 사용하였다.

2.4 입도분석

입도분석기(Otsuka Electro, Electrophoretic Light Scattering, ELS 8000)를 사용하여 DDDMAB에 의한 염료 분산액의 평균입자크기를 조사하였으며, 평균입자의 크기에 따른 염색성의 변화를 검토하였다.

2.5 염색

기본적으로 폴리프로필렌 섬유 1.0g을 순수 염료 5% owf가 포함된 분산액을 사용하여 욕비 1:50의 조건으로 130℃에서 1시간 동안 염색하였다. 염료분산액의 제조시에 사용된 DDDMAB의 양은 염료에 대해 0.2~5.0 mole의 비율로 사용하였다. 염색이 끝난 후 염색물은 아세톤으로 3회 세척하여 표면에 단순 흡착된 염료를 제거하였다.

2.6 염색물의 색상강도 측정

염료의 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성은 염색물의 색상강도로 측정하였다. 측정범위는 400~700nm로 하였으며 10nm의 간격으로 반사율을 측정한 후 K/S로 나타내었다. 측정에 사용한 장비는 Konica Minolta Spectrophotometer CM-3600d였다.

2.7 견뢰도 조사

가장 염착성이 우수한 C. I. Solvent Blue 14를 순수 염료 3% owf가 포함된 염료분산액을 사용하여 염색한 시료에 대해서 견뢰도를 조사하였다. 이때 DDDMAB의 상대적인 양에 의해 견뢰도 특성이 달라지는지를 검토하기 위해 염료에 대해 DDDMAB의 상대적인 mole 수를 0.2, 1.0, 1.5, 3.0 5.0 mole로 달리하여 제조한 염료 분산액으로 염색한 시료에 대해 각각 조사하였다. 염료에 대한 세탁견뢰도는 KS K 0430 A-1법, 마찰견뢰도는 KS K 0650법, 그리고 일광견뢰도는 ISO 015 B02법(63℃, 20hrs, water-cooled xenon-arc lamp, continuous light)을 사용하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 알킬치환기의 길이에 따른 염착강도

4종의 소수성 염료에 대해 염료의 알킬기의 길이에 따른 폴리프로필렌 섬유에 대한 염색성을 조사하였다. 소수성 염료의 경우 수계에서 염색하기 위해 염료를 안정하게 분산시키는 것이 중요하며, 이를 위해 본 연구에서는 두 개의 장쇄 알킬기를 가지는 양이온 계면활성제(DDDMAB)를 사용하였다. 이러한 형태의 계면활성제는 다른 계면활성제나 분산제와는 달리 유기용제에서의 용해성이 우수하므로 염료와 DDDMAB의 균일혼합용액을 통해 염료-DDDMAB 복합체를 만드는 것이 가능하며, 이 복합체에 물을 첨가하여 초음파 조사함으로써 일종의 자기조립과정을 통해 세포막과 같은 안정한 소포체(vesicle)를 형성하는 것으로 알려져 있다. 이 소포체의 특징은 안정성이 우수하여 내부에 포획하고 있는 물질을 오랫동안 담지하고 있는 것이 가능하며¹⁰⁻¹²⁾, 본 실험에서는 분산이 극히 어려운 초소수성 염료를 소포체 형성 방식을 통해 안정하게 분산시켜 사용하였다.

염료별 염색성을 조사하기 위한 실험에서는 순수 염료 5% owf에 대해 DDDMAB를 1.5mole ratio로 사용하여 제조한 염료 분산액을 욕비 50:1의 조건으로 130℃에서 1시간 동안 염색하였다. 그 결과를 파장별 K/S로 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 의하면 염료의 치환기인 알킬기의 탄소수가 길어짐에 따라 폴리프로필렌에 대한 염착성이 기하급수적으로 증가하고 있음을 알 수 있다⁹⁾.

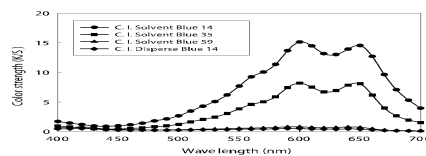


Fig. 2. Effect of alkyl substituents of dyes on color strength(K/S) of polypropylene fabrics.

이는 염료의 알킬기가 길어짐에 따라 염료의 소수성이 극도로 증가하여 기존의 분산염료보다도 더욱 소수성이 큰 초소수성의 염료로 되기 때문으로 생각되며, 특히 알킬기의 탄소수가 5개인 C. I. Solvent Blue 14의 경우에는 색상강도를 나타내는 전 파장 K/S의 합이 220 정도로서 농색에 가까운 색상을 나타내었다. 이러한 결과는 폴리프로필렌 섬유가 염색되기 위해서는 기존의 분산염료보다 더욱 소수성이 큰 초소수성의 염료가 요구됨을 의미하며, 이러한 염료에 의해 폴리프로필렌 섬유도 충분히 염색될 수 있음을 알 수 있다.

3.2 알킬치환기의 길이에 따른 염료특성

본 연구에 사용된 염료는 동일한 안트라퀴논 색소모체를 가지고 있으며 치환된 직쇄상 알킬기의 길이만 다른 구조를 가지고 있으므로 이로 인해 염료의 광학적 특성이나 물성이 단계적으로 변할 것으로 예상된다. 따라서 이를 조사하기 위해 염료의 몰흡광계수(ϵ)와 최대흡수파장($\lambda_{\max}$)을 비롯하여 용융온도(T_m), 기화온도(T_{vap}) 또는 승화온도(T_{sub}) 또는 분해온도(T_{dec})들을 조사하여 Table 1에 나타내었다. 앞에서도 언급한 바와 같이 여기서 기화온도(T_{vap}), 승화온도(T_{sub}) 또는 분해온도(T_{dec})는 승온에 따른 중량감소 시작점을 측정하여 얻어지므로 이 온도가 기화온도인지 승화온도인지 또는 분해온도인지는 명확히 구분할 수가 없다는 점을 다시 한번 밝힌다.

Table 1에 나타난 바와 같이 치환된 알킬기의 탄소수가 점점 길어짐에 따라 분자량이 일정량씩 증가하는 것은 당연하다. 이에 비해 열적특성을 나타내는 온도들은 점점 낮아지는 경향을 보이고 있는데, 이는 자유회전이 가능한 결합으로 이루어진 알킬쇄들이 평면상의 안트라퀴논 모체의 효과적인 회합 결정 형성을 방해하는 요인으로 작용하기 때문으로 생각된다.

그러나 이에 비해 몰흡광계수나 최대흡수파장과 같은 광학특성들은 알킬기의 길이에 무관한 것으로 보이며, 의미 있는 차이는 보이지 않고 있다. 이는 염료의 색소모체가 안트라퀴논이고, 색상의 발현과 관련된 전자적 영향과 HOMO, LUMO의 에너지 준위에 알킬기의 길이가 큰 영향을 미치지 않는 것을 나타낸다. 염료의 분광흡수곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 4종의 염료 모두 임의의 농도로 측정한 분광흡수곡선에서 알 수 있는 바와 같이 흡수 패턴이 거의 유사한 것으로 보아 염료의 분광학적 흡수특성은 알킬기의 길이에 영향을 받지 않음을 다시 한번 확인할 수 있다.

3.3 DDDMAB의 양에 따른 입도변화 및 염착특성

본 연구에서는 초소수성 염료의 분산을 위해서 DDDMAB를 사용하였다. 따라서 DDDMAB의 상대적인 사용량에 따른 염료 분산액의 평균 입자와 염색성의 관계에 대해서 검토하였다. Fig. 4는 가장 염착성이 우수한 C. I. Solvent Blue 14를 사용하여 염료에 대한 DDDMAB의 상대적인 사용량을 변화시켜가며 제조한 염료 분산액내의 염료의 평균입자크기를 나타내었다.

Fig. 4에서도 알 수 있는 바와 같이 DDDMAB의 상대적인 mole수가 증가함에 따라 염료분산액의 염료의 평균입자의 크기가 작아짐을 알 수 있다. 이렇게 하여 제조된 서로 다른 평균입자크기를 가지는 염료분산액을 사용하여 폴리프로필렌 섬유를 염색하였으며, 그 염색물의 색상강도를 Table 2에 나타내었다. Table 2를 살펴보면, 최대 염착량을 보이는 점이 염료에 대해 DDDMAB가 1.5mole ratio로 사용된 경우임을 알 수 있다. 이러한 현상은 DDDMAB의 양이 너무 적으면 염료의 안정하고 균일한 분산이 불가능해지고 염료입자가 크게 뭉쳐 있으므로 염

Table 1. Optical and thermal properties of dyes

Dye	Alkyl substituent	Molecular weight (g/mole)	T_m (°C)	$T_{\text{sub}}, T_{\text{vap}}, T_{\text{dec}}$ (°C)	Molar ϵ	$\lambda_{\max}$ (nm)
C. I. Disperse Blue 14	methyl	266.29	220~222	246	18,079	643~645
C. I. Solvent Blue 59	ethyl	294.35	215~217	237	18,144	643~645
C. I. Solvent Blue 35	butyl	350.45	120~122	210	18,451	643~645
C. I. Solvent Blue 14	pentyl	378.51	112~114	202	18,184	643~645

색이 원활히 이루어지지 않기 때문이며, 반대로 DDDMAB의 양이 너무 많아서 염료입자가 너무 작아지면 염료의 물에 대한 안정성이 너무 증가하여 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성은 오히려 감소하기 때문인 것으로 생각된다^{9,13-14}.

또한 이들 염색물의 색상값 분석을 통해 분산액의 염료입자크기가 최종 염색물의 색상에 어떤 영향을 끼치는지를 조사하였다. 염색물의 채

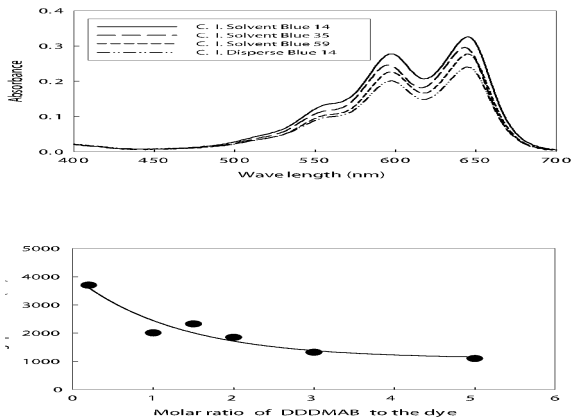


Fig. 3. UV-Visible spectrum of dyes.

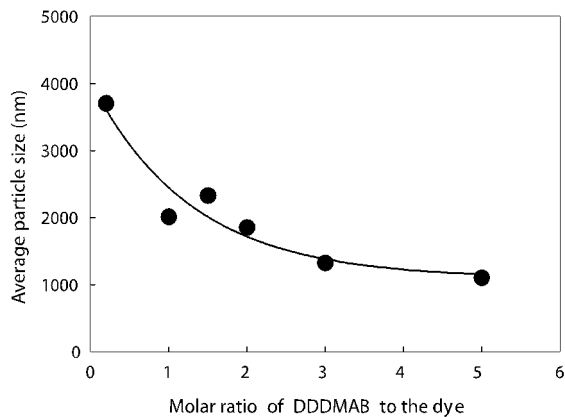


Fig. 4. Effect of molar ratio of DDDMAB on average particle size of C. I. Solvent Blue 14 dispersions.

Table 2. Effect of molar ratio of DDDMAB on color strength(K/S) of polypropylene fabrics dyed with C. I. Solvent Blue 14

Molar ratio of DDDMAB to the dye	Color strength (K/S at 600nm)
0.2	13.6
0.5	14.1
1.0	14.5
1.5	15.1
2.0	14.1
3.0	13.9
5.0	13.7

도(chroma)를 나타내는 Fig.5와 색상(Hue)을 나타내고 있는 Fig.6을 보면, 염색물의 색상(Hue)은 DDDMAB의 몰수에 따른 차이가 크지 않으나 채도(chroma)는 DDDMAB 몰수가 약 1~3 정도일 때 상대적으로 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 채도는 색상의 선명도를 나타낸다고 볼 수 있는 색채값인데 DDDMAB의 몰수가 아주 적은 경우와 아주 많은 경우에 비해 약 1~3몰 정도에서 염색물의 색상이 선명해지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 DDDMAB의 양이 너무 적은 경우에 염료입자의 크기가 크기 때문에 염색물에 있어서도 이러한 큰 입자의 표면흡착이 상대적으로 많아져 색상이 탁해진 결과라고 생각되며 또한 DDDMAB의 양이 너무 많은 경우에는 염료의 흡착 및 침투 자체가 감소함으로써 색상이 연해지고 따라서 염료자체의 색상을 충분히 나타내지 못하기 때문으로 생각된다.

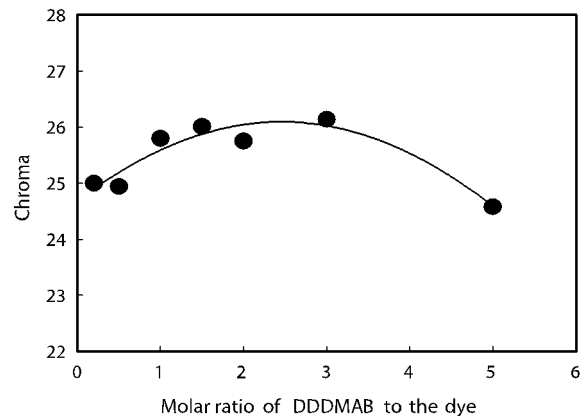


Fig. 5. Effect of molar ratio of DDDMAB on the chroma of polypropylene fabrics dyed with C. I. Solvent Blue 14.

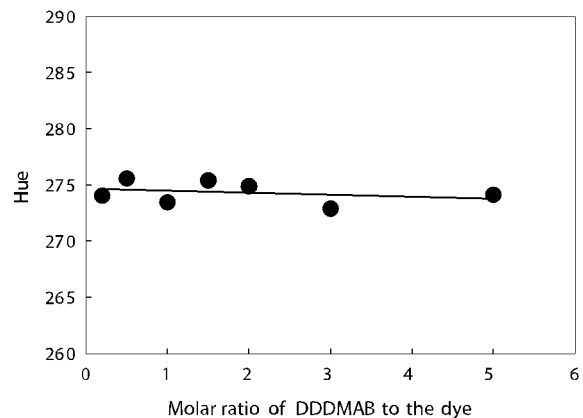


Fig. 6. Effect of molar ratio of DDDMAB on the Hue of polypropylene fabrics dyed with C. I. Solvent Blue 14.

Table 3. Color fastness of C. I. Solvent Blue 14 according to the molar ratio of DDDMAB

Color fastness			Molar ratio of DDDMAB to the dye				
			1:0.2	1:1.0	1:1.5	1:3.0	1:5.0
Washing	Change in color		4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
	Staining	Acetate	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
		Cotton	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
		Nylon	3~4	3~4	3~4	3~4	3~4
		PET	4	4	4	4	4
		Acrylic	4~5	4~5	4~5	4~5	4~5
Light	Change in color		3	4	4	4	3~4
	Staining						
Rubbing	Staining	Dry	5	5	5	5	5
		Wet	5	5	5	5	5

C. I. Solvent Blue 14으로 염색한 직물의 염색견뢰도를 조사하였다. 세탁, 마찰 및 일광견뢰도를 조사하였다. 이때 DDDMAB의 상대적인 양에 의해 견뢰도 특성이 달라지는지를 검토하기 위해 염료에 대해 DDDMAB의 상대적인 mole 수를 0.2, 1.0, 1.5, 3.0 5.0 mole ratio로 달리하여 제조한 염료 분산액으로 염색한 시료에 대해 각각 조사하였다. Table 3에 의하면 모든 폴리프로필렌 염색물의 변색은 4~5급이며, 오염의 경우 나일론이 3~4급인 것을 제외하면 최소 4급 이상으로 우수한 세탁견뢰도를 나타낸다. 나일론의 경우 오염이 다소 발생하는 것은 염료구조내에 있는 치환기인 알킬기와 나일론에 있는 알킬기와 친화력이 다소 있기 때문으로 생각되나 그 정도가 심하지는 않다. 마찰견뢰도의 경우 건조 및 습윤견뢰도가 모두 5급 이상으로 아주 우수한 것으로 나타났다. 그러나 일광의 경우는 3~4 또는 4급 정도로 다소 낮기는 하나 충분히 가능성은 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

현재 염색이 불가능한 것으로 알려져 있는 순수 폴리프로필렌 섬유의 염색을 위해 4종의 초소수성 염료를 사용하였다. 4종의 염료는 동일한 색소모체에 알킬치환기의 길이가 다른 염료들로서 알킬기의 길이에 따라 소수성이 급격히 증가하는 염료들이다.

알킬기의 길이가 길어짐에 따라 폴리프로필렌 섬유에 대한 염색성이 기하급수적으로 증가하여 알킬기의 탄소수가 5개인 C. I. Solvent Blue 14의 경우에는 농색에 가까운 색상농도가 얻어졌다.

염료의 분광학적 특성에 있어서는 치환된 알킬기의 길이가 길어짐에 따른 최대흡수파장의 이동이나 색상의 변화는 관찰되지 않았으며 이로부터 알킬치환기의 길이가 염료의 색상에는 큰 영향을 끼치지 않음을 확인하였다. 염료의 물성면에서는 알킬치환기가 길어짐에 따라 열적특성은 변화하여 점차 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.

염료에 대한 DDDMAB의 양은 1.5mole ratio 일 때의 염색성이 가장 우수하였다. 염색물의 견뢰도는 일광이 다소 낮은 점을 제외하면 대부분 우수한 견뢰도를 나타내었다.

참고문헌

1. S. B. Warner, "Fiber Science", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp.123~143, 1995.
2. R. W. Moncrieff, "Man-Made Fibres", The Whitefriars Press Ltd., London, pp.609~627, 1975.
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., pp.451~458, 2000.
4. R. Shishoo, "Textiles in Sport", Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, pp.1~11, 2005.
5. S. B. Warner, "Fiber Science", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, pp.230~244, 1995.
6. I. S. Cho, D. S. Jang, B. Y. Seo, S. J. Park, K. M. Cho, and Y. B. Shim, "Practical Dyeing", Hyungseul Publish Co., pp.397~399, 2000.
7. M. Ahmed, "Polypropylene Fibers - Science and Technology", Elsevier Scientific Publishing

- Co., New York, pp.462~501, 1982.
8. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, pp.497~498, 1984.
 9. 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, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **18**(5), 30~34(2006).
 10. K. Holmberg, "Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry", John Wiley & Sons Ltd., England, pp.45~52, 2002.
 11. R. Arshady, "Microspheres Microcapsules & Liposomes, Vol. 2", Citrus Books Ltd., London, pp.436~544, 1999.
 12. M. J. Rosen, "Surfactants and Interfacial Phenomena, 3rd Ed.", John Wiley & Sons Ltd., New Jersey, pp.415~427, 2004.
 13. S. M. Burkinshaw, "Chemical Principles of Synthetic Fibre Dyeing", Blackie Academic & Professional, England, pp.1~70, 1995.
 14. S. W. Nam, B. Y. Seo, and D. S. Lee, "Dye Chemistry", Bosung Publishing Co., pp.303~371, 2004.