

<연구논문(학술)>

알킬아닐린을 디아조성분으로 활용한 디스아조계 초소수성 적색염료의 합성

김태경[†] · 류명화 · 장영재

경북대학교 섬유시스템공학과

Synthesis of Super Hydrophobic Disazo Red Dyes Using Alkylanilines as Diazo Components

Taekyeong Kim[†], Myeonghwa Ryu and Youngjae Jang

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

(Received: February 6, 2015 / Revised: March 5, 2015 / Accepted: March 9, 2015)

Abstract: Novel super hydrophobic disazo red dyes were synthesized to improve light fastness of the primary monoazo red dye of previous study on polyolefin fibers such as polypropylene and ultra high molecular weight polyethylene fibers. 4-Alkylanilines were diazotized and then coupled to 2,5-dimethylaniline to produce dye intermediates which were then further used to synthesize final disazo red dyes by diazoization and coupling to β -naphthol. Considering both affinity of the dyes toward both polyolefin fibers and color fastnesses, the decyl-substituted dye was determined as the optimum dye. The decyl-substituted disazo red dye exhibited good dyeability on both polyolefin fibers and almost the same color values as the previous primary monoazo red dye. Light fastness on ultra high molecular weight polyethylene fibers was improved up to rating 3-4 compared to rating 2-3 of the previous primary monoazo red dye.

Keywords: polypropylene, UHMWPE, disazo dye, red color, hydrophobicity

1. 서 론

폴리프로필렌 및 초고분자량 폴리에틸렌과 같은 폴리올레핀계 섬유는 경량성, 내화학성 등의 다양한 장점에도 불구하고 기존의 염료군에서는 실용적 수준에서 적용가능한 염료들을 확보할 수가 없는 문제점으로 인해 의류용 소재로의 활용이 제한적이었다¹⁻³⁾. 특히 초고분자량 폴리에틸렌 섬유는 고강도 특성으로 인해 보호복이나 기타 산업용의 용도로 전개되고 있으며 이 경우에도 후염법에 의한 다양한 색상구현이 가능할 경우 용도의 확대가 이루어질 수 있다.

이에 본 연구팀에서는 폴리올레핀 섬유에 친화력이 높고 견뢰도 특성도 우수한 다양한 색상의 알킬치환 초소수성 염료들을 합성하여 적용해 오고

있으며, 황색, 적색, 청색 등의 삼원색을 이미 확보하였고 추가적으로 중간색에 대한 연구를 진행한 바 있다⁴⁻¹⁶⁾. 그러나 이들 삼원색 염료 중 적색염료의 경우는 모노아조계 염료로서 섬유상에서의 색상강도는 높으나 특히 초고분자량 폴리올레핀 섬유상에서의 일광견뢰도가 2급으로 실용적 수준에 미치지 못하였다¹³⁾. 이러한 점을 개선하기 위해 안트라퀴논계 색소모체를 가지는 적색염료를 신규로 합성한 결과 초고분자량 폴리올레핀 섬유에 대한 일광견뢰도가 4급으로 양호한 결과를 얻었으나, 색상강도가 농색에 미치지 못하고 중색 정도에 불과한 것으로 나타났다¹⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대해 색상강도도 높고 일광견뢰도도 우수한 적색염료를 새롭게 합성하고자 길이별 알킬기를 가지는 알킬아닐린을 디아조성분으로 사용하여 다양한 염료의 합성을 시도하였으며 그중에서 일광견뢰도가 우수한 디스아조계 초소수성 적색염료를 선정

[†]Corresponding author: Taekyeong Kim (taekyeong@knu.ac.kr)
Tel.: +82-53-950-5639 Fax.: +82-53-950-6617

©2015 KSDF 1229-0033/2015-3/27-34

하여 염색성과 견뢰도 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

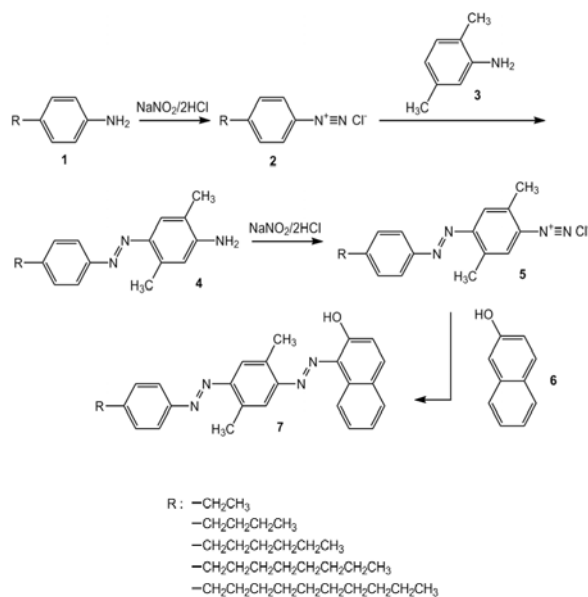
소재는 초고분자량 폴리에틸렌 섬유인 Dyneema 60K 평직물(300g/m²)이었으며, 추가적으로 순수 폴리프로필렌 섬유 편직물(130g/m²)도 함께 사용되었다. 이들 섬유소재는 아세톤으로 3회 세척한 후 사용하였다. 염료의 합성에 사용된 중간체를 비롯한 모든 약은 순도 95% 이상의 1급 시약을 사용하였다.

염료의 분산에는 실험의 편의를 위해 Didodecyl dimethyl ammonium bromide(DDDMAB)가 사용되었다.

2.2 염료의 합성

신규 디스아조계 적색염료는 Scheme 1에 따라 합성되었다. 4-알킬아닐린(1, 0.01mole)을 아세톤과 증류수 1:1의 혼합용매 50ml에 용해시킨 후 ice-bath를 이용하여 0~5°C로 냉각시키고, 아질산나트륨(NaNO₂, 0.01mole)을 아세톤과 증류수 1:1 혼합용매 20ml에 용해시킨 것을 첨가한다. 이 용액에 염산(0.021mole)을 온도를 유지하면서 첨가하여 디아조화 반응에 의해 알킬아닐린의 디아조늄염(2)을 형성한다. 별도로 2,5-디메틸아닐린(3, 0.01mole)을 아세톤 20ml에 용해시킨 후, 위의 알킬아닐린 디아조늄염 용액에 0~5°C로 유지한 상태에서 첨가하고 1시간 동안 반응을 유지하여 모노아조계 중간체(4)를 합성한다. 반응이 완료된 후 고체상으로 석출되는 모노아조계 중간체를 물과 메탄올 혼합용매로 세척하면서 흡인여과하고 건조한다. 이때의 합성수율은 알킬기의 길이에 따라 약간의 차이는 있으나 약 70~80% 수준이었다.

합성된 모노아조계 중간체(4, 0.01mole)을 다시 위와 같은 방법으로 디아조화(5)시킨다. 커플러로 사용되는 β-나프톨(6, 0.01mole)을 수산화나트륨 수용액 20ml에 용해시켜 모노아조 디아조늄염(5) 용액에 첨가하고 온도를 0~5°C로 유지하면서 1시간 동안 반응시킨다. 반응이 종료된 후 석출된 고체상의 디스아조계 적색염료(7)를 물과 메탄올 혼합용매로 세척하면서 흡인여과하고 진공 건조한다. 이때의 합성수율은 역시 알킬기 길이에 따른 차이는 있으나 약 65~75% 수준이었다.



Scheme 1. Synthesis scheme of super hydrophobic disazo red dyes

2.3 염료의 분석

염료가 합성되는 과정의 단계별 모니터링과 최종적으로 얻어진 염료의 순도분석을 위해서 HPLC(Waters 510, column : C18, 5 μ m, 4.6 \times 150mm, flow : 100% methanol 1.0ml/min)가 사용되었다. 신규로 합성된 디스아조계 적색염료들의 구조 확인을 위해서는 질량분석(GC/MS, Agilent 7890A-5975C GC/MS)을 비롯하여 핵자기공명분석(¹H-NMR, Bruker WIN-NMR) 및 원소분석(EA, Thermo- Fisher Flash 2000)이 이용되었다. 핵자기공명분석에는 TMS가 0.03% 포함된 CDCl₃를 용매로 사용하였다. 분광흡수스펙트럼분석을 위해서는 UV-Visible spectrophotometer가 사용되었다.

2.4 염료의 분산

본 연구에서와 같은 초소수성의 염료가 염색에 사용되기 위해서는 분산과정이 필요한데, 실험의 편의성을 위해서 다음과 같은 간이분산법을 사용하였다. 필요량의 염료를 일정량의 테트라하이드로퓨란에 용해시킨다. 이와는 별도로 일정량의 DDDMAB를 테트라하이드로퓨란에 완전히 용해시킨 후 두 용액을 혼합한다. 이를 감압증류 및 진공건조를 통해 테트라하이드로퓨란을 완전히 제거시킨다. 이러한 과정을 통해 염료와 분산제로 사용된 DDDMAB의 균일혼합체가 형성된다. 염료와 DDDMAB의 적정비율은 선행연구를 통해 중량비로 1:2 정도임을

확인한 바 있으며 본 실험에서도 이와 같은 비율로 분산되었다. 이 염료-분산제 균일혼합체에 필요량의 물을 첨가한 후 초음파장치를 사용하여 수시간 조사하면 DDDMAB의 분산작용에 의해 균일한 염료분산액이 만들어진다. 이 염료분산액에 욱비에 따라 필요한 양의 물을 첨가하여 염색에 사용하였다. 이미 여러 차례의 관련연구를 통해 이러한 간이분산법이 일반적인 상용화 수준의 분산법과 실험 결과면에서 큰 차이가 나지 않음을 이미 확인하였다.

2.5 염색

폴리프로필렌 섬유 및 초고분자량 폴리에틸렌 섬유 1.0g을 앞서 제조한 염료 분산액을 사용하여 순수 염료 5% owf를 기준으로 욱비 1:50의 조건으로 130°C에서 1시간 동안 염색하였다. 필요에 따라 염색조건은 변화되었으며, 염색이 끝난 후 sodium hydrosulfite 2g/l와 sodium hydroxide 2g/l, 그리고 비이온계면활성제 5g/l를 사용하여 70°C에서 10분간 환원 세정하였다.

2.6 염색물의 색상 및 색상강도 측정

일반적인 측색장비를 사용하여 400~700nm의 파장범위에서 10nm 간격의 단파장 표면반사율을 측정 후 Kubelka-Munk식(식1)을 활용하여 염색물의 겉보기 색농도 값을 나타내는 K/S값을 산출하고, 여기에 시감분포에 따른 색상별 자극치를 적용하여 합산한 f_k value(식2)를 색상강도의 비교값으로 사용하였다¹⁷⁻¹⁹⁾. 사용된 측색장비는 Konica-Minolta CM-3600d spectrophotometer였으며 D65 광원 10° 관찰자 시야각의 조건으로 측정하였다.

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

K : Absorption coefficient
 S : Scattering coefficient
 R : Reflectance

$$f_k = \sum_{\lambda = 400}^{700} (K/S)_{\lambda} (\bar{x}_{\lambda} + \bar{y}_{\lambda} + \bar{z}_{\lambda}) \dots\dots\dots (2)$$

\bar{x} : Tristimulus value of blue
 \bar{y} : Tristimulus value of green
 \bar{z} : Tristimulus value of red
 λ : Wavelength

2.7 견뢰도 조사

순수 염료의 농도 5% owf를 사용하여 130°C에서 1시간 염색하고 환원세정한 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

Scheme 1에 따라 에틸기에서 데실기까지 단계적으로 알킬기의 길이가 길어지는 디스아조계 적색염료 5종이 합성되었다. 알킬기를 도입하는 이유는 여러 선행연구를 통해 확인된 바와 같이 염료에 소수성을 단계적으로 높여 고도의 소수성을 보이는 폴리올레핀 섬유에 대한 친화력과 견뢰도를 높이기 위한 것이다. 합성된 염료의 순도 확인을 위해 HPLC 분석을 실시하였다.

Figure 1에서 알 수 있는 바와 같이 합성된 신규 적색염료 5종 모두 약 2분 정도에 나타난 용매의 피크를 제외하면 거의 단독으로 염료의 피크만이 관찰되며, 이외의 불순물은 거의 무시할 수 있는 수준임을 확인하였다.

또한 본 연구에 사용된 HPLC 컬럼은 전형적인 소수성 역상컬럼인 C18 컬럼이었으며 그 결과 합성된 신규 적색염료의 알킬치환기가 길어짐에 따라 염료의 소수성이 점진적으로 증가하여 C18 컬럼에서의 retention time(RT)도 크게 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다.

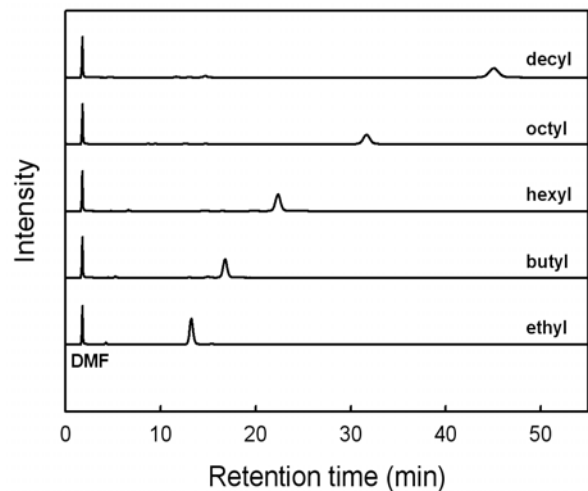


Figure 1. HPLC analysis of super hydrophobic disazo red dyes.

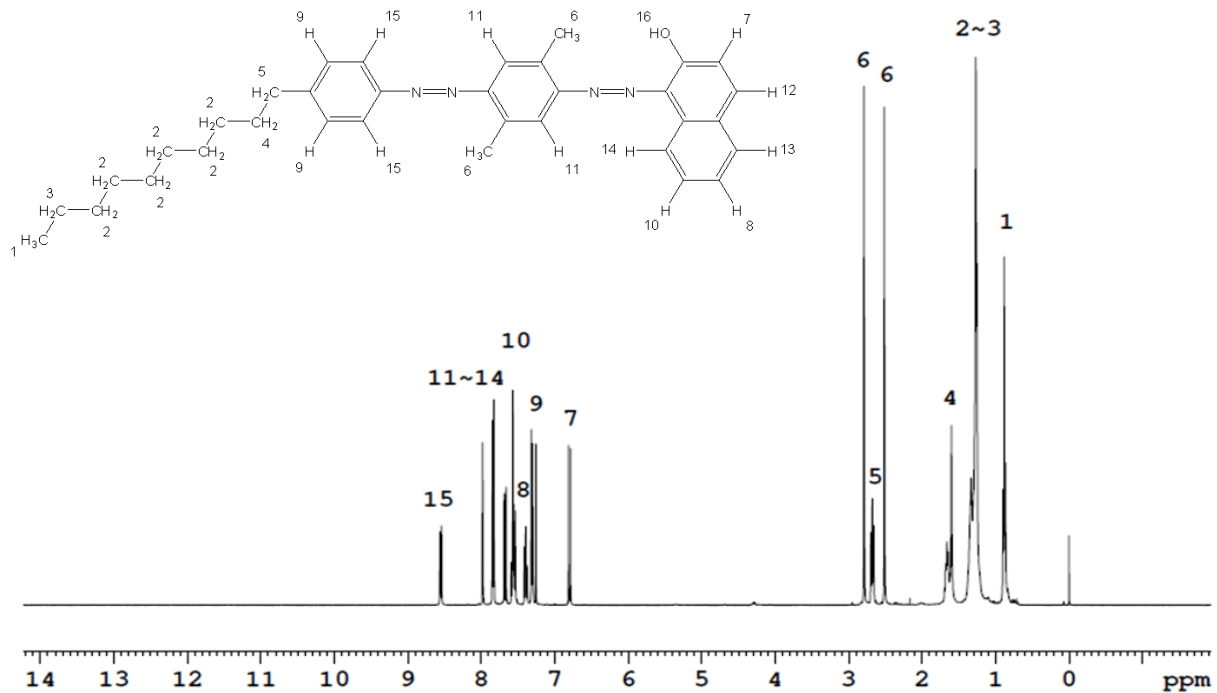


Figure 2. $^1\text{H-NMR}$ analysis of the decyl-substituted disazo red dye.

이러한 염료의 소수성의 증가는 폴리올레핀 섬유에 대한 친화력을 높이고 견뢰도 또한 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

순도 높게 합성 및 정제된 신규 적색염료 5종의 구조 확인을 위해 질량분석을 먼저 실시하였다. Table 1은 질량분석 결과를 정리한 것으로 5종의 염료 모두 계산을 통해 예측된 값과 측정값이 정확히 일치함을 확인하였다.

본 연구에서 합성된 5종의 염료는 동일한 색소 모체에 알킬치환기의 길이만이 단계적으로 길어지게

되므로 원소분석(EA)과 핵자기공명분석($^1\text{H-NMR}$)의 결과는 약간씩의 차이를 제외하면 유사하게 나타난다. 따라서 원소분석과 핵자기공명분석은 알킬치환기가 가장 긴 데실기 치환염료에 대해서만 제시한다. 계산을 통해 예측된 데실치환 염료의 원소별 중량비율은 탄소 78.42%, 수소 7.74%, 질소 10.74%였으며, 측정결과 얻어진 값은 탄소 78.16%, 수소 7.93%, 질소 10.19%로 거의 일치함을 확인하였다. 핵자기공명분석 결과는 Figure 2에 나타내었다. 합성된 염료에는 크게 알킬기에 의한 수소와 벤젠환에 도입된 수소, 그리고 나프톨환에 결합된 페놀성 수소 등 약 3종의 수소가 존재한다.

Figure 2의 결과에서도 약 1~3ppm에서 전형적인 aliphatic proton에 의한 피크가 나타나고 있으며, 약 7~9ppm 영역에서 aromatic proton에 의한 피크들이 다수 나타나고 있다. 이는 예상되는 결과와 거의 일치하고 있다. 페놀성 수소의 경우 수소결합이나 수소교환 등에 의해 다양한 위치에서 나타날 수 있으며 그 강도 또한 강하지 않으므로 본 결과에서도 두드러진 피크를 관찰할 수는 없었다.

Figure 3은 합성된 5종의 적색염료들의 분광흡수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 5종의 색소가 모두 동일한 색소모체에 알킬치환기의 길이만 다른 구조를

Table 1. Mass analysis of super hydrophobic disazo red dyes

Substituents	Molecular formula	Mass(m/z)	
		Calculated	Found
Ethyl	$\text{C}_{26}\text{H}_{24}\text{N}_4\text{O}$	408.20	408.3
Butyl	$\text{C}_{28}\text{H}_{28}\text{N}_4\text{O}$	436.23	436.3
Hexyl	$\text{C}_{30}\text{H}_{32}\text{N}_4\text{O}$	464.26	464.3
Octyl	$\text{C}_{32}\text{H}_{36}\text{N}_4\text{O}$	492.29	492.4
Decyl	$\text{C}_{34}\text{H}_{40}\text{N}_4\text{O}$	520.32	520.5

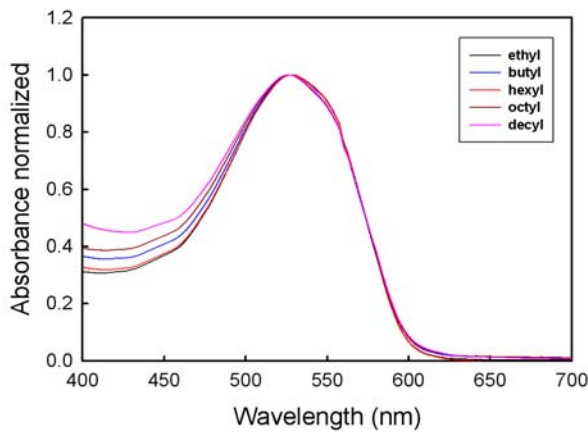


Figure 3. UV-Visible spectra of super hydrophobic disazo red dyes.

가지고 있으므로 기대한 바와 같이 분광흡수스펙트럼도 거의 동일한 상태를 나타내고 있어 사실상 염료의 색상은 모두 동일함을 알 수 있다. 이러한 특성은 염료의 응용에 유리하게 작용하는 것으로 색상과 같은 광학적 특성은 변화시키지 않으면서 소수성만을 증가시켜서 폴리올레핀 섬유에 대한 친화력과 견뢰도만 달라지게 할 수 있음을 의미한다. 합성된 염료의 최대흡수파장은 530nm로서 전형적인 적색을 나타낼을 알 수 있다.

3.2 최적 알킬기 길이의 선정

합성된 5종의 디스아조계 적색염료 중에서 폴리올레핀 섬유에 최적의 성능을 보이는 염료를 선정하기 위해 섬유에 대한 알킬 길이별 색상강도와 세탁견뢰도 특성을 비교하였다. 순수 염료 5% owf를 사용하고 130°C에서 1시간 동안 염색한 결과를 Figure 4에 나타내었다.

폴리프로필렌 섬유와 초고분자량 폴리에틸렌 섬유 모두에 있어서 알킬치환기의 길이가 길어짐에 따라 염착량(색상강도)이 지속적으로 증가하고 본 실험에서의 최대 길이인 데실기 치환 염료가 가장 높은 색상강도를 나타내어 알킬치환기의 도입에 의해 염료가 초소수성화되고 그 결과 폴리올레핀 섬유에 대한 친화력이 증가하였음을 확인하였다.

데실기가 치환된 염료의 경우 폴리프로필렌 섬유에 대한 색상강도는 약 185 정도의 f_k value를 나타내고, 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대해서는 약 370 정도의 f_k value를 나타내는데 이 정도의 색상강도는 최대흡수파장에서의 단파장 K/S로 환산하면 각각 16과 22 정도의 높은 값으로 진한 농색염

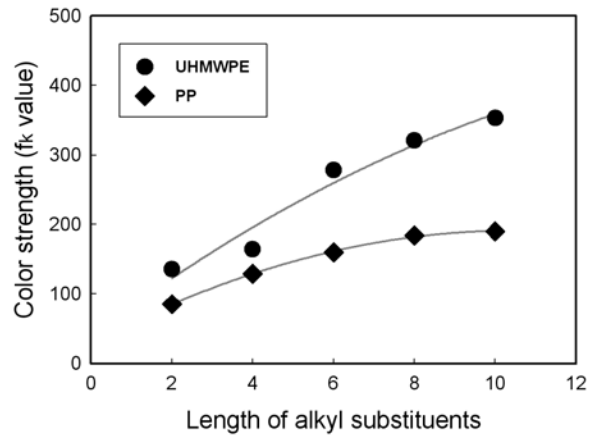


Figure 4. Effect of length of alkyl substituents of super hydrophobic disazo red dyes on color strength toward polyolefin fibers.

색이 이루어졌음을 의미한다.

폴리프로필렌 섬유에 비해 초고분자량 폴리올레핀 섬유에서의 색상강도가 더 높게 나타난 것은 다른 선행연구와는 다소 다른 점으로 섬유의 구조가 더욱 치밀한 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에 대한 염착량이 상대적으로 다를 것이라는 예상과는 다소 차이가 있다. 이점에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

합성된 염료가 효과적으로 응용되기 위해서는 색상강도도 중요하지만 섬유상에서의 견뢰도도 중요하다. 따라서 5종의 염료가 염색된 폴리프로필렌 섬유와 초고분자량폴리에틸렌 섬유의 세탁견뢰도를 조사하였다.

Figure 5의 결과에 의하면 합성된 5종의 염료 모두 폴리올레핀 섬유상에서의 세탁견뢰도는 우수한 것으로 나타났다.

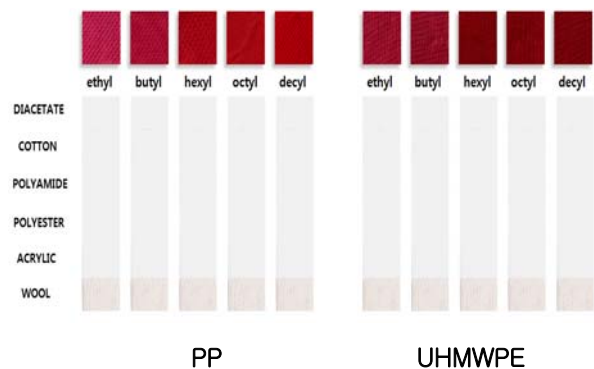


Figure 5. Wash fastness of super hydrophobic disazo red dyes according to the length of alkyl substituents on polyolefin fibers.

결과적으로 섬유상에서의 색상강도와 세탁견뢰도를 종합해 보면 본 연구의 최대 알킬길이인 데실기 치환염료가 가장 우수한 염료로 생각할 수 있으며 차후의 조건별 염색실험에서는 데실기 치환염료를 사용하였다.

3.3 조건별 염색성

최적 염료로 선정된 데실기 치환 적색염료를 사용하여 각 염색조건별 염색성을 조사하였다. 우선 염료의 빌드업 특성을 알아보기 위해 염료의 농도를 최대 10%까지 변화시켜가며 색상강도를 조사하여 Figure 6에 나타내었다.

두 섬유 모두 약 5% owf까지는 색상강도가 비교적 크게 증가하나 그 이상의 농도에서는 포화염착에 이르는 것을 알 수 있으며 이는 분산제가 다량 포함되어 있는 일반 분산염료와 비교하면 약 10% owf 수준까지 색상강도가 증가함을 의미하여 비교적 양호한 빌드업성을 나타냄을 알 수 있다.

Figure 7은 염색온도에 따른 색상강도의 변화거동을 나타낸 것으로 일반적인 분산염료와 같이 100°C에서 130°C로 염색온도가 증가할수록 색상강도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 다만 폴리프로필렌 섬유에 비해 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 경우 온도의 변화에 더욱 급격히 증가하는 양상을 보이는 것으로 보아 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 고도의 치밀한 구조적 특성이 고온일수록 상대적으로 염료의 침투라는 측면에서 큰 영향을 끼치기 때문으로 생각된다.

Figure 8은 염색속도 결과를 나타낸 것으로 두 가지 섬유 모두 130°C의 온도에서 약 1시간 안에 평형염착에 거의 도달함을 확인하였다.

3.4 염색물의 색상

본 연구의 목적 중 하나는 기존 삼원색의 적색 염료가 초고분자량 폴리에틸렌 섬유상에서의 일광견뢰도가 불량하여 이를 대체하는 것이었으므로 기존의 삼원색의 적색염료와 색상값이 동일하거나 거의 유사한 수준이어야 한다. 따라서 기존 삼원색의 적색염료와 본 연구의 디스아조계 적색염료의 섬유상에서의 색상값을 측색을 통해 비교하여 xy 표색계로 조사하였다.

그 결과 초고분자량 폴리에틸렌 섬유상에서 기존 삼원색의 적색염료의 xy 값이 각각 0.55와 0.32

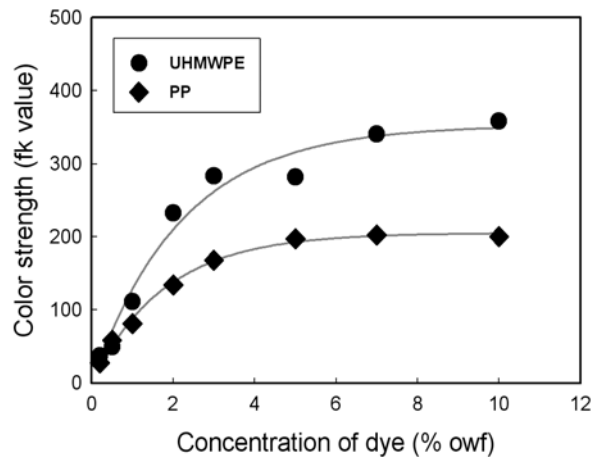


Figure 6. Build-up property of decyl-substituted disazo red dye onto polyolefin fabrics at 130°C for 1 hours.

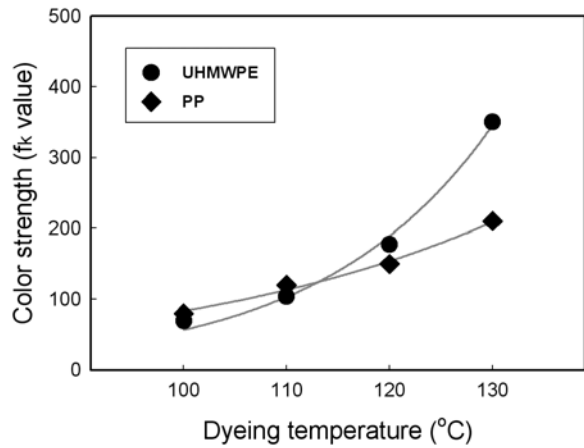


Figure 7. Effect of dyeing temperature on color strength of polyolefin fabrics dyed with 5% owf of decyl-substituted disazo red dye for 1 hours.

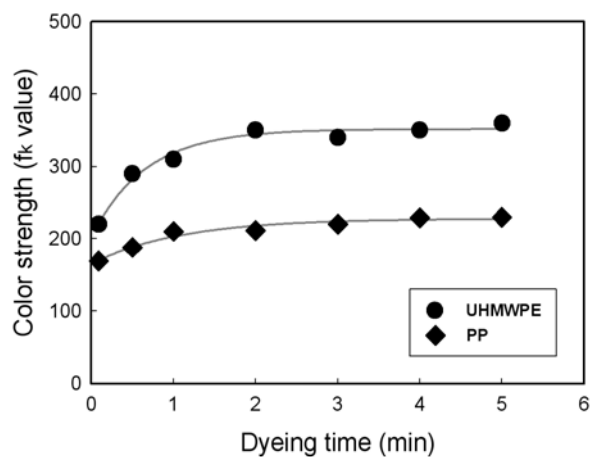


Figure 8. Dyeing rate of 5% owf of decyl-substituted disazo red dye onto polyolefin fabrics at 130°C.

였으며, 본 연구의 디스아조계 적색염료의 경우는 각각 0.52 및 0.30인 것으로 나타나 사실상 거의 유사한 색상값을 보임을 알 수 있었다.

3.5 견뢰도 분석

데실기가 치환된 염료 5% owf를 사용하여 130°C의 온도에서 1시간 염색한 폴리프로필렌 섬유와 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 각종 견뢰도를 조사하여 Table 2에 나타내었다.

세탁과 마찰견뢰도는 두 가지 섬유 모두에 있어서 4-5급으로 우수한 결과를 보였다. 그러나 일광견뢰도에 있어서는 폴리프로필렌 섬유의 경우에는 2-3급으로 다소 낮은 견뢰도를 보였으나 초고분자량 폴리에틸렌 섬유에서는 3-4급으로 양호한 결과를 보였다.

앞서 언급한 바와 같이 본 연구의 목적은 선행 연구를 통해 합성되었던 적색염료중 모노아조계 적색염료는 초고분자량 폴리에틸렌 섬유상에서의 일광견뢰도가 2급 수준으로 낮고, 안트라퀴논계 적색염료는 폴리올레핀 섬유에 대한 색상강도가 농색에는 미치지 못하고 중색정도로 낮은 것이었다.

그러나 본 연구를 통해 합성된 디스아조계 적색염료는 색상강도가 두 가지 폴리올레핀 섬유 모두에 대해 농색 수준의 높은 값을 보일 뿐만 아니라 초고분자량 폴리에틸렌 섬유상에서의 일광견뢰도도

개선되었음을 확인하였다. 다만 폴리프로필렌 섬유상에서의 일광견뢰도는 다소 약간 낮아지는 결과를 보였으므로 사용하는 섬유에 따라 기존 선행연구의 적색염료와 본 연구의 적색염료를 선택해서 사용할 필요는 있다고 판단된다.

4. 결 론

기존 삼원색의 모노아조계 적색염료가 초고분자량 폴리에틸렌 섬유상에서의 일광견뢰도가 불량한 점을 개선하기 위해 새로운 디스아조계 알킬치환 적색염료를 합성하였다.

알킬길이별로 합성된 염료의 폴리올레핀 섬유에 대한 친화력과 견뢰도 특성 등을 고려한 결과 데실기가 치환된 염료가 최적염료로 결정되었으며 조건별 염색성을 조사하였다. 염색물의 색상은 기존 삼원색의 적색염료와 유사하면서도 색상강도는 단파장 K/S로 환산한 경우 폴리프로필렌과 초고분자량 폴리올레핀 섬유상에서 각 16과 22 정도의 높은 값으로 비교적 농색염색이 이루어졌음을 확인하였다.

여러 가지 견뢰도 특성을 조사한 결과 두가지 섬유 모두에 대해서 세탁과 마찰견뢰도는 모두 4-5급으로 우수한 결과가 얻어졌으며 일광견뢰도의 경우는 초고분자량 폴리올레핀 섬유상에서는 3-4급으로 양호하게 나타났으나 폴리프로필렌 섬유상에서는 2-3급으로 다소 낮게 나타났다.

따라서 폴리프로필렌 섬유에 적용하기 위해서는 기존 삼원색의 모노아조계 적색염료가 유리하고 초고분자량 폴리올레핀 섬유에 적용하기 위해서는 본 연구에서 합성된 디스아조계 적색염료가 유리하다고 생각되므로 대상소재에 염료를 선택할 필요가 있다고 생각된다.

References

1. 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, p.397, 2000.
2. M. Ahmed, "Polypropylene Fibers - Science and Technology", Elsevier Scientific Publishing Co., New York, p.462, 1982.
3. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, p.497, 1984.

Table 2. Color fastness of pure PP and UHMWPE fabrics dyed with 5% owf of decyl-substituted disazo red dye at 130°C for 1 hour

Color fastness		PP	UHMWPE	
Washing	Staining	Change in color	4~5	4~5
		Acetate	4~5	4~5
		Cotton	4~5	4~5
		Nylon	4~5	4~5
		PET	4~5	4~5
		Acrylic	4~5	4~5
		Wool	4~5	4~5
Rubbing	Staining	Dry	4~5	4~5
		Wet	4~5	4~5
Light	Change in color	2~3	3~4	

4. 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).
5. 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).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. 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).
10. 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).
11. 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).
12. 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).
13. 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).
14. 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).
15. 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).
16. 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).
17. H. G. Völz, "Industrial Color Testing, Fundamentals and Techniques" VCH, New York, pp.93-98, 1995.
18. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, p.566, 1984.
19. 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).