

<연구논문(학술)>

순수 폴리프로필렌 섬유용 안트라퀴논계 마젠타 염료의 합성과 응용

김태경[†] · 채유리

경북대학교 섬유시스템공학과

Synthesis and Application of Anthraquinoid Magenta Dyes for Pure Polypropylene Fibers

Taekyeong Kim[†] and Yuri Chae

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

(Received: May 29, 2013 / Revised: June 18, 2013 / Accepted: June 19, 2013)

Abstract: A new series of anthraquinoid magenta dyes having alkylphenyl substituents was synthesized and applied toward pure polypropylene fibers. The affinity of the dyes toward polypropylene fibers was increased gradually with the increase of the length of alkyl substituents. The optimum length of alkyl group was determined as heptyl substituents from the practical point of view. The color values of the dyes on polypropylene fabrics displayed slight bluish red, namely magenta which is more practical than primary red in color matching. The good fastness ratings to washing, rubbing and light were obtained for the dyes having longer alkyl groups than hexyl substituents. Especially they exhibited ratings 4 of light fastness, which is higher than primary red dyes previously reported.

Keywords: polypropylene, disperse dyes, anthraquinoid dyes, magenta, hydrophobicity

1. 서 론

폴리프로필렌 섬유는 많은 우수한 특성에도 불구하고 염색이 불가능한 단점으로 인해 용도의 확대가 제한되고 특히 의류용으로는 전개가 크게 이루어지지 못했다. 이를 극복하기 위해 원착사를 제조하거나 염색이 가능한 다른 고분자 성분을 혼합하여 어느 정도 염색성을 부여한 사례가 있으나 상용화에 있어서 많은 단점이 있다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다¹⁻³. 염색이 되지 않은 백색 그대로의 원사를 사용하기는 하나 이중직의 안쪽 면에만 사용되는 등 극히 활용성이 떨어진다.

일련의 본 연구에서는 이러한 순수 폴리프로필렌 섬유를 염색하기 위하여 섬유와 고도의 친화성을 가지는 알킬치환기가 도입된 초소수성의 삼원색 염료를 합성하여 이의 염색성을 검토해 왔다^{4,12}. 이들 삼원색 염료중 적색의 염료는 모노아조계의 염료로서 색농도가 깊은 장점은 있으나 일광견뢰도가

3급으로 상대적으로 낮은 문제점이 있었다. 이와는 별도로 컬러매칭 시 보다 폭넓은 색상 구현을 위해서는 자주빛을 가지는 마젠타 계열의 색상이 유리한데 기존에 합성된 원색의 적색계는 순수한 적색계로서 이런 점에서 다소 부족한 점이 있었다.

본 연구에서는 기존에 합성된 삼원색 염료 중 적색계를 일부 보완하는 염료를 합성하기 위해 안트라퀴논 색소모체에 길이가 다른 알킬페놀이 치환된 마젠타 염료를 합성하고 이들 염료의 순수 폴리프로필렌 섬유에 대한 염색성과 견뢰도, 그리고 색상 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

실험에 사용된 소재는 개질하지 않은 순수 폴리프로필렌 섬유로서 편직물(130g/m²)의 형태로 사용하였으며, 염색전 아세톤으로 3회 세척하였다. 염료의 합성 그리고 기타 실험에 사용된 시약은 모두 순도 95% 이상의 1급 시약을 사용하였다. 염료 분산

[†]Corresponding author: Taekyeong Kim (taekyeong@knu.ac.kr)
Tel.: +82-53-950-5639 Fax.: +82-53-950-6617
©2013 KSDF 1229-0033/2013-06/102-109

에는 Didodecyldimethyl ammoniumbromide(DDDMAB)를 사용하였다.

2.2 염료합성¹³⁾

염료는 안트라퀴논계 색소모체에 메틸페닐기에서부터 노닐페닐기까지 길이별 알킬치환기가 도입된 9종이 Figure 1에 따라 합성되었다. 탄산칼륨(0.01mole)을 알킬페놀(2, 0.1mole)에 첨가하고 80~85°C에서 2시간 동안 교반한다. 이어서 1-amino-2-bromo-4-hydroxyanthraquinone(1, 0.01mole)을 다시 첨가하여 150°C에서 반응시킨다. 이때 적정 반응시간은 알킬페놀의 종류에 따라 2시간에서 14시간으로 달라진다. 반응이 종료된 후 합성된 염료(3)를 침전시키고 동시에 과량으로 사용된 알킬페놀과 기타 불순물을 제거하기 위해 일정비율의 물/에탄올을 혼합용매 500ml를 추가한다. 이때 물과 에탄올의 비율은 알킬페놀의 종류에 따라 4:6~6:4로 달라진다. 침전된 염료는 흡인여과로 분리되고 건조한 후 사용한다. 이때 염료의 합성수율은 알킬치환기의 길이에 따라 다소 차이가 있으나 약 60~80%였다.

2.3 염료의 분석¹³⁾

합성된 염료의 구조를 분석하기 위하여 질량분석(GC/MS, Agilent 7890A-5975C GC/MS), 핵자기공명분석(¹H-NMR, Bruker WIN-NMR) 및 원소분석(EA, Thermo- Fisher Flash 2000)을 이용하였다. 핵자기공명분석에는 TMS가 0.03% 포함된 CDCl₃를 용매로

사용하였다. 분광흡수스펙트럼분석을 위해서는 UV-Visible spectrophotometer가 사용되었다.

2.4 염료의 분산

염료를 염색에 사용하기 위해 염료를 분산시키는 과정이 필요하며, 그 과정은 아래와 같이 간이분산법을 사용하였다. 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. 이때 일반적으로 염료와 DDDMAB는 1:2 weight ratio가 가장 적절함을 선행연구들을 통해 확인하였으며, 본 실험에서도 이와 같은 비율로 분산되었다. 이 염료-분산제 복합체에 일정량의 물을 첨가한 후 초음파 조사장치를 사용하여 1~2시간 조사하면 DDDMAB의 분산작용에 의한 염료의 균일하고 안정한 염료분산액이 형성된다. 이 염료분산액을 염색에 사용하였으며, 욕비에 따라 필요한 양의 물이 첨가되었다.

2.5 염색

기본적으로 미개질 순수 폴리프로필렌 섬유 1.0g을 앞서 제조한 염료 분산액을 사용하여 순수 염료 5% owf를 기준으로 욕비 1:50의 조건으로 130°C에서

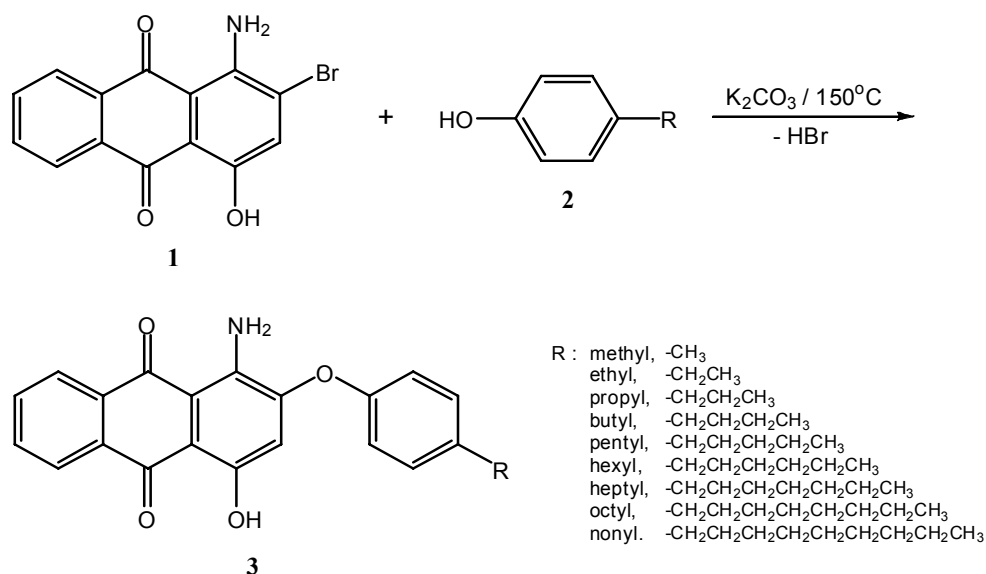


Figure 1. Synthesis scheme of alkylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dyes.

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 색상강도 측정

측색기를 이용하여 가시광선 파장범위(400~700nm)에서 10nm 간격의 단파장 표면반사율을 측정한 후 Kubelka-Munk식(식1)을 이용하여 겉보기 농도 값을 나타내는 K/S값을 산출하고, 이 K/S값에 시감분포에 따른 색상별 자극치를 각 파장별로 적용하여 합산한 f_k value(식2)를 본 연구에서는 색상강도로 나타내었다¹⁴⁻¹⁶. 염색물의 반사율을 얻기 위해 측색기 Konica-Minolta CM-3600d spectrophotometer를 사용하여 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

최적 알킬기를 가지는 염료를 선정하기 위한 간이 세탁견뢰도는 Sodium Lauryl Sulfate 0.1% 수용액에서 욕비 1:100의 조건으로 40°C에서 약 30분간 다섬교직포와 함께 테스트되었다. 최종적으로 얻어진 견뢰도는 합성된 염료 9종 전체에 대하여 염료 농도 5% owf, 염색시간 1시간, 염색온도 130°C의 염색조건으로 염색 및 환원세정한 후, 염색된 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

염료는 1-amino-2-bromo-4-hydroxyanthraquinone과 길이별 알킬페놀을 사용하여 메틸페닐기에서부터 노닐페닐기까지 알킬치환기가 도입된 9종이 합성되었다. 또한 합성된 염료들은 질량분석(GC/MS, Agilent 7890A-5975C GC/MS), 핵자기공명분석(¹H-NMR, Bruker WIN-NMR), 그리고 UV-Visible spectrophotometer에 의한 분광흡수스펙트럼분석을 통해 합성이 정상적으로 이루어졌음과 이들 염료의 광학적 특성을 이미 확인하였다¹³.

추가로 원소분석(EA, Thermo- Fisher Flash 2000)이 시행되었으며 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Elemental analysis of the synthesized dyes

| Substituents | Elemental analysis | |
|--------------|--------------------|---------|
| | Calculated | Found |
| methylphenly | C 73.03 | C 72.42 |
| | H 4.38 | H 4.34 |
| | N 4.06 | N 3.89 |
| ethylphenly | C 73.53 | C 73.06 |
| | H 4.77 | H 4.71 |
| | N 3.90 | N 3.81 |
| propylphenly | C 73.98 | C 73.48 |
| | H 5.13 | H 5.07 |
| | N 3.75 | N 3.60 |
| butylphenly | C 74.40 | C 73.07 |
| | H 5.46 | H 5.32 |
| | N 3.62 | N 3.48 |
| pentylphenly | C 74.79 | C 73.65 |
| | H 5.77 | H 5.67 |
| | N 3.49 | N 3.39 |
| hexylphenly | C 75.16 | C 73.63 |
| | H 6.06 | H 5.93 |
| | N 3.37 | N 3.29 |
| heptylphenly | C 75.50 | C 75.75 |
| | H 6.34 | H 6.40 |
| | N 3.26 | N 3.27 |
| octylphenly | C 75.82 | C 75.71 |
| | H 6.59 | H 6.79 |
| | N 3.16 | N 2.88 |
| nonylphenly | C 76.12 | C 75.75 |
| | H 6.83 | H 6.99 |
| | N 3.06 | N 2.95 |

3.2 알킬치환기의 길이에 따른 염착성

메틸페닐에서 노닐페닐까지 길이별 알킬치환기를 가지는 9종의 염료들의 순수 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성을 조사하여 Figure 2에 나타내었으며, 알킬치환기의 길이가 길어짐에 따라 실험의 구간 내에서는 지속적으로 염착성이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 수차례의 선행연구에서도 밝힌 바와 같이 폴리프로필렌 섬유는 전기음성도가 거의 유사한 탄소와 수소로만 이루어져 있어서 극성을 전혀 띠지 않는 구조를 가지고 있어서 섬유자체가 고도의 소수성을 나타내고 있는데 이러한 극소수성의 섬유에 염료가 친화력을 가지기 위해서는 염료 또한 고도의 소수성, 즉 초소수성을 가져야 한다. 9종의 염료들은 동일한 색소모체에 알킬체인 길이만이 다른 구조를 가지고 있으며 따라서 알킬 길이가 길어짐에 따라 염료의 소수성이 단계적으로 그리고 지속적으로 증가하는 경향을 보이게 된다. 이러한 염료의 소수성의 증가는 결국 극소수성인 폴리프로필렌 섬유와의 친화력의 증가를 가져오게 되므로 염료의 염착성이 높아지게 되는 것으로 이해할 수 있다. 그러나 선행연구 결과의 일부에서 보고한 바에 따르면 알킬 길이가 너무 길어져서 염료의 분자크기가 너무 커지게 되면 오히려 결정성이 큰 섬유내부의 침투가 어려워져서 염착량이 다시 감소하는 경향을 보이는 사례도 있었으나¹²⁾ 본 실험의 알킬 길이 구간 내에서는 그러한 경향은 나타나지 않았다.

염료에 치환된 알킬치환기의 최적의 길이를 결정하는데 있어서는 몇가지 요소가 고려될 수 있다. 섬유에 대한 친화력, 견뢰도, 그리고 염료의 상용화 가능성 등이 그것이다.

섬유에 대한 친화력과 견뢰도 측면에서만 본다면 알킬 길이가 길어지는 것이 대부분의 경우 유리하다고 볼 수 있으나 염료의 상용화 가능성 측면에서는 그렇지 못한 경우가 일반적이다. 그 이유는 알킬 길이가 긴 치환기일수록 염료중간체의 가격이 비싸지고 합성과 정제가 까다로워지기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 친화력, 견뢰도, 경제성 등을 총체적으로 고려하고자 하였다. 따라서 친화력에 이어 견뢰도 특성을 조사하고 이를 근거로 최적의 알킬치환기를 결정하였다. 우선 가장 기본이 되는 세탁견뢰도를 조사하였다. 최적알킬기를 선정하기 위한 세탁견뢰도는 표준화된 방법은 아니며 우선 간이세탁견뢰도로 조사하였다. 9종의 염료 각 5% owf를 사용하여 130°C에서 1시간 동안 염색된 후 환원세정한 폴리프로필렌 섬유를 대상으로 조사하였으며 그 결과는 Figure 3에 나타내었다.

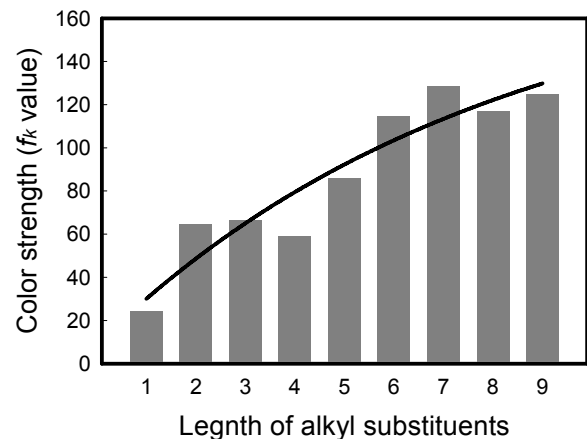


Figure 2. Effect of length of alkyl substituents of dyes on color strength of pure polypropylene fabrics at 130°C for 1 hours.



Figure 3. Wash fastness of the synthesized dyes on pure polypropylene fabrics.

메틸페닐에서 헥실페닐까지는 다섬 교직포에 대한 오염이 상당히 발생하였으나 헵틸페닐기 이상에서는 거의 오염이 일어나지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 헵틸페닐기 이상의 알킬치환기에서는 염료의 소수성이 극도로 높아져 폴리프로필렌 섬유와의 친화력이 향상되었을 뿐 아니라 염료의 물에서의 용해성도 더욱 낮아져 세탁 시 세탁액으로 빠져나오지 않기 때문으로 이해할 수 있다.

섬유에 대한 친화성이나 염착성의 측면에서만 본다면(Figure 2) 가장 긴 알킬기를 가지는 노닐페닐기가 최적의 염료로 볼 수도 있으나 견뢰도와 상용화 가능성의 측면에서 본다면 약간의 색상감소가 발생하더라도 헵틸페닐기의 사용이 보다 유리할 것으로 판단하여 본 연구에서는 최적의 알킬길이로서 헵틸페닐기를 선정하였으며 이후의 염색조건별 실험에서는 헵틸페닐기만을 사용하여 조사하였다.

3.3 염색조건별 염색특성

앞서의 실험에서 선정된 헵틸페닐기 치환염료를 사용하여 염색온도, 염료농도 및 염색시간에 따른 염색특성을 조사하였다. Figure 4는 온도별 염착성 변화를 나타낸 것으로 100~130°C의 범위에서 조사하였다. 온도가 상승함에 따라 색상강도가 일정하게 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 온도가 더욱 상승하면 색상강도의 증가가 예상되지만 용점이 낮은 폴리프로필렌 섬유의 물성저하를 고려하여 130°C 이상의 고온은 적용하지 않았다.

Figure 5는 염료의 build-up 특성을 조사한 것으로 염료농도에 따른 색상강도로 나타내었다. 최대 색상강도가 순수염료기준 약 3~5% owf 정도에서 얻어졌으며, 이는 분산제가 다량 포함되어 있는 분산 염료와 비교한다면 약 5~10% owf 정도까지 염착성이 증가하는 것으로서 양호한 build-up 특성을 보이는 것으로 생각된다. 130°C에서의 염색속도를 나타내는 Figure 6의 경우, 130°C로 승온 과정 중에 이미 상당한 양의 염료가 염착됨으로써 130°C에 도달한 후에는 사실상 거의 최대 염착에 도달하였으며, 이후의 시간은 균염에 필요한 시간으로 볼 수 있다.

3.4 염색물의 색채값

본 연구의 목적 중의 하나는 기존의 삼원색 중의 적색계를 보완하기 위한 마젠타 색상의 염료를 합성하는 것이었다.

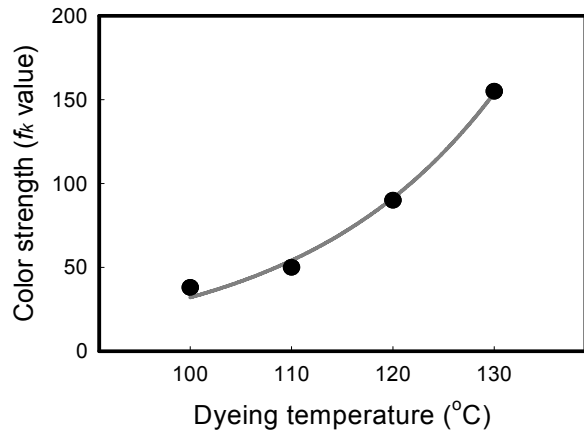


Figure 4. Effect of dyeing temperature on color strength of pure polypropylene fabrics dyed with 5% owf of heptylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dye for 1 hours.

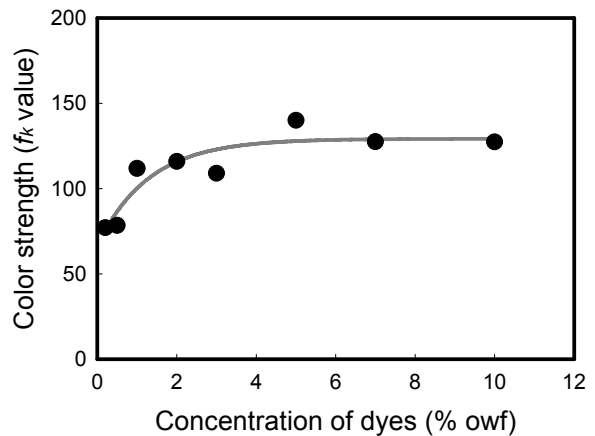


Figure 5. Build-up property of heptylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dye onto pure polypropylene fabrics at 130°C for 1 hours.

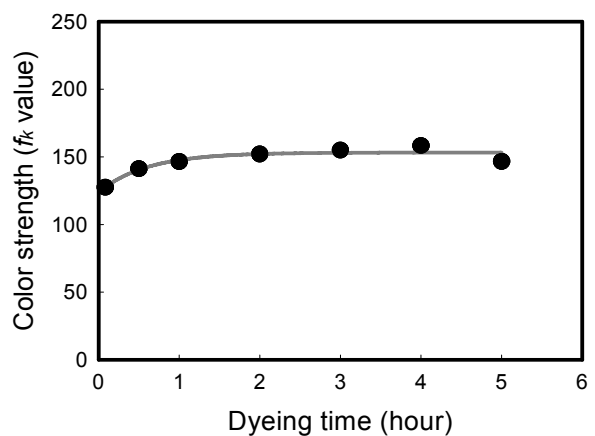


Figure 6. Dyeing rate of 5% owf of heptylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dye onto pure polypropylene fabrics at 130°C.

따라서 합성된 9종의 염료들의 폴리프로필렌 섬유상에서의 색상을 측정하여 Table 2에 나타내었다. 측색값은 $L^*a^*b^*$ 와 Yxy 로 표시하였다. 또한 Figure 7과 같이 Yxy 좌표계를 이용하여 기존에 보고된 삼원색(황색, 적색, 청색)과 함께 본 연구에서 합성된 9종의 염료들의 색좌표 범위를 나타내었다. 그 결과 기존의 삼원색 중 적색염료는 전형적인 원색 적색인 것에 비해 본 연구에서 합성된 9종의 염료들은 모두 자주빛을 띠는 마젠타 계열임을 확인할 수 있다.

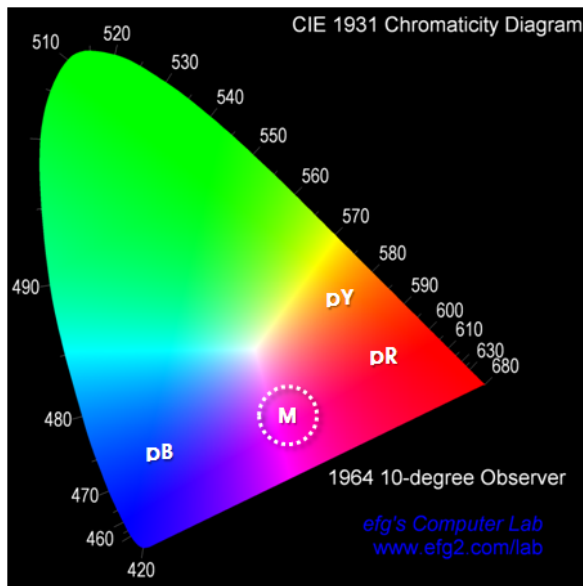


Figure 7. Color coordination of pure polypropylene fabrics dyed with 5% owf of alkylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dyes at 130°C for 1 hour.

pY, pR, pB : primary yellow, red and blue dye (from previous studies)
 M : magenta dyes of this study

3.5 견뢰도 분석

합성된 9종의 염료들로 염색된 순수 폴리프로필렌 섬유의 견뢰도를 표준화된 방법으로 조사하였다. 순수한 염료기준 5% owf로 염색된 폴리프로필렌 섬유를 대상으로 세탁, 마찰, 일광 견뢰도 조사를 실시하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 앞서 간이 세탁견뢰도에서 본 결과와 유사하게 메틸페닐에서 헥실페닐기까지는 섬유에 대한 오염이 일부 일어나고 있으나 최적염료로 선정된 헵틸페닐기 이상의 염료에서는 거의 완벽한 세탁견뢰도를 나타내고 있다. 마찰견뢰도도 최하 4급 이상으로 우수한 결과를 나타내고 있다. 서론부분에서 언급한 바에 의하면 선행연구에서 합성된 삼원색 중 적색염료의 경우 일광견뢰도가 3급으로 상대적으로 낮았으나 본 연구의 마젠타 염료는 일광견뢰도에 있어서도 4급으로 더욱 향상된 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

순수 폴리프로필렌 섬유용의 삼원색 염료중 적색계를 보완하기 위해 안트라퀴논계 색소모체에 길이별 알킬페닐기가 치환된 9종의 마젠타 염료를 합성하였으며 이들 염료의 염착성과 견뢰도 특성을 조사하였다.

실험에 사용된 9종의 염료 범위 내에서는 알킬치환기의 길이가 길어짐에 따라 폴리프로필렌 섬유에 대한 염착성이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 섬유에 대한 친화력과 견뢰도, 그리고 상용화 가능성 등을 전체적으로 고려하여 최적의 염료

Table 2. Color values of pure polypropylene fabrics dyed with 5% owf of alkylphenyl-substituted anthraquinoid magenta dyes at 130°C for 1 hour

| Substituents | L^* | a^* | b^* | Y | x | y |
|--------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| methylphenyl | 63.04 | 21.44 | -11.97 | 31.64 | 0.3235 | 0.2841 |
| ethylphenyl | 47.21 | 37.55 | -20.25 | 16.18 | 0.3337 | 0.2389 |
| propylphenyl | 48.19 | 42.97 | -16.87 | 16.95 | 0.3562 | 0.2436 |
| butylphenyl | 50.76 | 38.32 | -14.20 | 19.06 | 0.3537 | 0.2564 |
| pentylphenyl | 46.38 | 45.98 | -12.32 | 15.55 | 0.3799 | 0.2495 |
| hexylphenyl | 44.74 | 44.41 | -11.04 | 14.35 | 0.3825 | 0.2521 |
| heptylphenyl | 44.43 | 49.44 | -8.46 | 14.14 | 0.4040 | 0.2530 |
| octylphenyl | 44.68 | 48.87 | -8.40 | 14.31 | 0.4025 | 0.2539 |
| nonylphenyl | 44.27 | 53.86 | -4.04 | 14.02 | 0.4310 | 0.2583 |

Table 3. Color fastness of pure polypropylene fabrics dyed with 5% owf of heptylphenly-substituted anthraquinoid magenta dyes at 130°C for 1 hour

| Color fastness | | Alkyl substituents | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|--------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-----|
| | | methyl | ethyl | propyl | butyl | pentyl | hexyl | heptyl | octyl | nonyl | |
| Washing | Change in color | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | |
| | Staining | Acetate | 4 | 3 | 3 | 2~3 | 3~4 | 3 | 4~5 | 4~5 | 4 |
| | | Cotton | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4 | 4~5 | 4~5 | 4~5 |
| | | Nylon | 4 | 2~3 | 2~3 | 2 | 3 | 2~3 | 4~5 | 4~5 | 4 |
| | | PET | 4~5 | 3~4 | 3 | 3 | 3~4 | 3~4 | 4~5 | 4~5 | 4 |
| | | Acrylic | 5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 5 | 5 | 4~5 |
| | | Wool | 4~5 | 4 | 4~5 | 4~5 | 3~4 | 3~4 | 4~5 | 4~5 | 4 |
| Rubbing | Staining | Dry | 5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 4 | |
| | | Wet | 5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | 5 | 4~5 | 4~5 | 4~5 | |
| Light | Change in color | 2~3 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |

는 헵틸페닐기를 가지는 염료로 결정하였다.

염색물의 색채값 분석을 통해 삼원색의 적색계에 비해 자주빛이 가미된 전형적인 마젠타 색상을 가지는 것도 확인하였다.

견뢰도의 경우에도 마찬가지로 알킬치환기의 길이가 길어질수록 모든 견뢰도가 향상되는 것으로 나타났으며 최적의 염료로 결정된 헵틸페닐기 치환 염료의 경우 세탁, 마찰견뢰도는 모두 4~5급 이상이었으며, 일광견뢰도의 경우에도 4급을 나타내어 견뢰도 전반에 걸쳐 우수한 특성을 보이는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

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, pp.397-399, 2000.
2. M. Ahmed, "Polypropylene Fibers - Science and Technology", Elsevier Scientific Publishing Co., New York, pp.462-501, 1982.
3. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, pp.497-498, 1984.
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 Diazo 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 Y. R. Chae, Synthesis and Application of High Light Fastness Red Dyes for Ultra High Molecular Weight Polyethylene Fibers, *Fibers and Polymers*, under Review.
 14. H. G. Völz, "Industrial Color Testing, Fundamentals and Techniques" VCH, New York, pp.93-98, 1995.
 15. E. R. Trotman, "Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres", Wiley-Interscience, New York, pp.566-569, 1984.
 16. 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).