

안트라퀴논계 3원색 염료로 염색한 리사이클 폴리에스터 직물의 염색성, 색특성 및 견뢰도

이정은¹ · 최지혜² · 구본학³ · 강유정³ · 송선혜³ · 심지현³ · 최세진^{1,2†}

¹부산대학교 유기신소재연구소, ²부산대학교 유기소재시스템공학과, ³다이텍연구원

Dyeing Properties, Color Characteristics, and Fastness of Recycled Polyester Fabrics Dyed with Anthraquinone-Based Three Primary Color Dyes for Automotive Interiors

Jung Eun Lee¹, Jihye Choi², Bonhak Koo³, Yoo Jung Kang³, Sun Hye Song³, Jee Hyun Sim³, and Sejin Choi^{1,2†}

¹Institute of Advanced Organic Materials, Pusan National University, Busan 46241, Korea

²Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

³Korea Dyeing & Finishing Technology Institute, Daegu 41706, Korea

Abstract: This study investigated the dyeing properties, color characteristics, and fastness of recycled polyester fabrics dyed with anthraquinone-based primary color dyes (Solvent Yellow 163, Disperse Red 86, and Disperse Blue 54). Dyeing was carried out at a total dye concentration of 3% (o.w.f.) with a liquor ratio of 1:10, and benzotriazine type light fastness enhancers were added at concentrations of 2% and 4%. The results showed that dye combinations with a higher proportion of yellow dye exhibited higher K/S values and superior light fastness. In particular, the Y:R (Y2:R1) combination achieved a light fastness rating of grade 3–4 under 126 MJ/m² xenon arc exposure with 4% enhancer. Abrasion resistance, washing fastness, and rubbing fastness were generally rated above grade 4, indicating excellent durability. These findings confirm the applicability of recycled polyester fabrics dyed with anthraquinone-based dyes for automotive interiors, and further optimization is expected to enhance light fastness performance.

†Corresponding Author: Sejin Choi
E-mail: sejin@pusan.ac.kr

Received September 23, 2025

Revised October 17, 2025

Accepted October 20, 2025

© 2025 The Korean Fiber Society

Keywords: anthraquinone-based dyes, three primary color dyes, recycled polyester, dyeing properties, light fastness, automotive interiors

1. 서 론

국제적으로 기후 위기 대응의 중요성이 커지고, 탄소 중립 사회로의 전환이 전 세계적 트렌드로 자리 잡음에 따라 각국 정부는 모빌리티 분야에 있어서도 배출 규제를 강화하고 다양한 탄소중립 시나리오를 제시하고 있다[1–4]. 이러한 규제와 정책 변화에 대응하기 위해 글로벌 자동차산업은 제품에서 생산공정에 이르기까지 산업생태계 전반의 전환을 추진하고 있으며, 특히 전기차와 수소연료전지차 등 전기동력차의 보급 확대, 차량 경량화를 통한 연료 효율성 향상, 환경 친화적 소재와 공정기술 개발 등에 대한 연구

를 진행중에 있다[5–10].

자동차 내장재 분야에서도 기존에 천연피혁과 석유계열 소재로 제작되던 부품을 비건 가죽 및 친환경·재활용 섬유 소재로 대체하려는 시도가 이루어지고 있다[11–15]. 이 중 리사이클 폴리에스터(recycled polyester)는 폐 PET병을 기계적·화학적 방법으로 재생산한 섬유로, 석유 사용량 절감, 전력 소모 및 이산화탄소 배출량 저감 등의 이점을 지니며 자동차 산업에서는 시트, 카펫, 도어 암레스트, 헤드라이너 등 다양한 실내 인테리어 내장재로 폭넓게 활용되고 있다[16–20].

자동차 내장재로 사용되기 위해서는 적합한 물성과 성능

이 요구되며, 특히 장시간 광 노출 환경에서도 열화와 변색을 최소화하는 우수한 내광성이 요구되고 있다[21–23]. 리사이클 폴리에스터와 같은 소수성 섬유는 내광성을 향상시키는 방법으로 고내광 염료를 사용하거나 자외선 흡수제를 병용하여 염색하는 방법이 활용되고 있다[23–25]. 이와 같이 내구성이 우수한 내장재 적용과 더불어 자동차 제조사들은 고객들의 스타일과 취향을 반영하는 맞춤형 옵션 중 하나로 시트를 포함한 다양한 내장재 색상을 선택할 수 있도록 제공하기도 한다. 이 경우, 고객이 요구하는 색맞춤을 위해 염료를 조합해서 사용하는 경우가 일반적으로 이는 단색 염색의 결과와 달리 일광견뢰도가 증가하거나 감소하는 특성을 보이는 경우가 있다.

따라서 본 연구에서는 광안정성이 높은 발색단을 가진 안트라퀴논계 3원색 염료를 사용하여, 염료조합과 일광견뢰도 증진제 농도 변화에 따른 리사이클 폴리에스터 직물의 K/S 값, 색특성 및 견뢰도(내광성, 내마모성, 세탁견뢰도, 마찰견뢰도)를 평가하였다. 이를 통해 자동차 내장재 평가기준 중 가장 엄격한 크세논광 126 MJ/m² 조사 시 내광성 3급의 자동차 내장재 시험 규격에 부합하는 염색조건을 확립하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시료 및 시약

본 연구에 사용한 직물은 (주)동우의 리사이클 폴리에스터 원사를 (주)두올에서 제직한 것으로 그 특성을 Table 1과 같다.

염료는 자동차 내장재 직물 염색용으로 사용되고 있는 안트라퀴논계 구조를 가진 Solvent Yellow 163, Disperse Red 86, Disperse Blue 54(Archroma Co., Ltd., Swiss)를 사용하였다. 각 염료의 분자 특성 및 구조는 Table 2와 같다. 분산·균염제는 Sunsolt RM-340S (NICCA KOREA Co., Ltd., Japan)를 사용하였으며, 빙초산은 CH₃COOH(SAMIL Co., Ltd., Korea) 시약을 사용하였다. 일광견뢰도 증진제는 Table 3과 같이 염료와 동일한 제조사에서 시판중인 Benzotriazine type의 Fadex[®] TS liq(Archroma Co. Ltd., Swiss)를 사용하였다. 환원세정에는 환원제 Sera Con M-FAS (DyStar[®], Singapore)와 NaOH (SAMIL Co. Ltd., Korea) 알칼리를 사용하였다.

2.2. 염색

Solvent Yellow 163(이하 Yellow or Y), Disperse Red 86(이하 Red or R), Disperse Blue 54(이하 Blue or B)의 3원색 염료를 사용하여 Figure 1과 같이 염색 및 환원 세정 공정을 진행하였다. 염액은 리사이클 폴리에스터 시료 10 g을 액비 1:10 조건으로 하여 염료의 총 농도가 3% (o.w.f.)가 되도록 3원색을 조합하였다. 이후 2% 분산제(Sunsolt RM-340S)와 5% 빙초산(CH₃COOH)을 첨가하여 pH가 4.3–4.5가 되도록 조정된 뒤, 일광견뢰도 증진제(Fadex[®] TS liq)를 각각 2% (o.w.f), 4% (o.w.f)를 첨가하였다. 염색은 Infrared Dyeing Machines(DL-6000, Daelim Starlet Co., Korea)을 사

Table 2. Characteristics of the three primary dyes (Yellow, Red, and Blue) used in this study

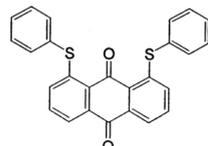
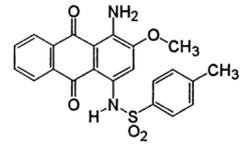
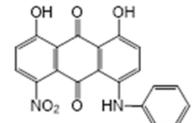
C.I. Generic name	Molecular formula	Molecular weight (g/mol)	Chemical structure
C.I. Solvent Yellow 163	C ₂₆ H ₁₆ O ₂ S ₂	424.54	
C.I. Disperse Red 86	C ₂₂ H ₁₈ N ₂ O ₅ S	422.46	
C.I. Disperse Blue 54	C ₂₀ H ₁₂ N ₂ O ₆	376.32	

Table 3. Characteristics of light fastness enhancer used in this study

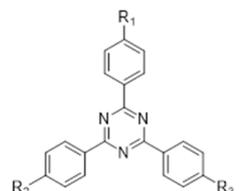
Commercial name	Type	Chemical structure
Fadex [®] Ts liq	Benzotriazine	

Table 1. Characteristics of fabrics used in this study

Fabric type	Composition	Yarn spec. (Warp & Weft)	Weave	Fabric count (Threads/25 mm)		Size (mm)	Weight (g)
				Warp	Weft		
Woven fabric	100% recycled PET	DTY 300d/96f	Twill	110	90	130×230	10

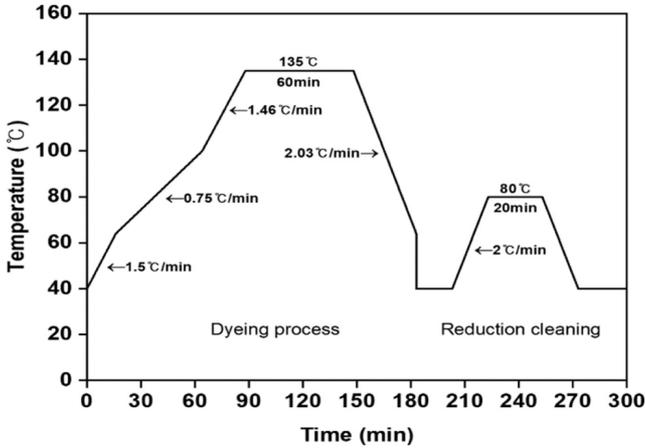


Figure 1. Dyeing and reduction cleaning process profile of the specimens.

용하여 40 °C→64 °C(16분), 64 °C→100 °C(48분), 100 °C→135 °C(24분)의 3단계 승온 과정을 거쳐 135 °C에서 60분간 진행하였다. 염색 이후 시료 표면의 잔존염료를 제거하기 위해 액비 1:10 조건으로 Sera Con M-FAS 4g/l와 알칼리 NaOH 2g/l를 넣은 후 80 °C에서 20분간 환원세정을 실시하였다. 수세 후, 시료는 건조기(OF4-P, JeioTech, Korea)를 사용하여 100 °C에서 10분 동안 건조하였다. 건조된 시료는 미니테터(DHE-54694, Werner Mathis AG, Switzerland)를 이용하여 180 °C에서 60초간 열처리(heat-setting)를 실시하였다.

2.3. K/S 및 색특성 측정

분광측색기(Colormate, SCINCO Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 정반사를 제외한 조건(SCE), 광원 D65, 관측 시야 10°의 조건의 360-740 nm 파장 범위에서 20 nm 간격으로 분광반사율을 측정하였다. 이후 최대 흡수파장에서의 표면 반사율(R)을 Kubelka-Munk식(식 (1))에 따라 K/S 값을 산출하여 염색성을 평가하였다. 색특성은 Munsell 표색계의 H(Hue)와 CIE 1976 L*a*b* 표색계의 L*, a*, b*를 측정하여 평가하였으며, C*와 h° 값은 식 (2), 식 (3)으로 계산하였다.

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

K: Absorption coefficient, S: Scattering coefficient, R: Reflectance coefficient

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \tag{2}$$

$$h^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*) \tag{3}$$

a*: redness (positive)-greenness (negative), b*: yellowness (positive)-blueness (negative)

2.4. 입도분석

Yellow, Red, Blue 염료의 입도 크기 및 입도 분포는 입도 분석기 LS 13 320(laser scattering particle size analyzer, Beckman Coulter, U.S.A)을 사용하여 측정하였다. 분산매질은 1차 증류수를 사용하였으며, 초음파 처리는 수행하지 않고 51 s(run length) 조건에서 분석하였다. 입도 분포의 폭을 나타내는 Span은 식 (4)를 이용하여 산출하였다.

$$(D90 - D10) / D50 \tag{4}$$

where,

D90, D10, D50 corresponding to the percentages 90%, 10%, and 50% of particles under the reported particle size

2.5. 견뢰도 평가

염색한 리사이클 폴리에스터 직물의 견뢰도는 자동차 내장재 평가 방법인 MS 300-32에 따라 내광성, 내마모성, 세탁견뢰도, 건-습식 마찰착색성을 다음과 같이 평가하였다. 내광성은 고내광 조건인 126 MJ/m²로 조사한 후, 동일 시료의 미조사품과 비교하여 변퇴색의 차를 Gray Scale로 판정하여 급을 구하였다. 내마모성은 시험편을 취하여 그 중앙부에 직경 약 6 mm의 구멍을 뚫고, 마모시험기에 장착하여 CS-10 마모륜, 4.9 N 하중의 조건으로 1000회(100 rate/min) 시험한 후 표면 마모상태를 판정 기준에 따라 급을 구하였다. 세탁견뢰도는 시험편과 동일한 크기의 백면포를 60±2 °C 조건으로 0.5% 세제액을 넣어 10분간 세탁 및 70-75 °C에서 건조 후 시험편의 변퇴색 및 백면포 오염에 대해 판정 기준에 따라 급을 구하였다. 건-습식 마찰착색성은 마찰시험기의 시험대에 시험편을 고정된 후 4.9 N (500 kgf)의 하중으로 시험편의 표면을 왕복 100회(30회/분, 이행거리 100 mm) 마찰하여 오염용 Gray Scale로 급을 평가하였으며, 습식 마찰착색성은 실험 전 백면포를 인공 땀 액에 10분간 침적한 후 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 염료 입도 분석

분산염료는 염료의 소수성으로 인해 분산 상태로 염색되며 특히, 분산염료의 용해도는 폴리에스터 섬유에 염색에서는 매우 중요한 요인으로 일반적으로 염료의 입자 크기가 증가할수록 용해도는 감소하며 염색 속도에 영향을 미치며 결과적으로 염착량이 낮아진다고 알려져 있다[26].

본 연구에서 사용한 3원색 염료의 입도 크기를 Table 4에, 입도 분포를 Figure 2에 나타내었다. 3원색 염료인 Yellow, Red, Blue의 평균 입도 크기는 각각 0.776 μm, 0.442 μm, 0.914 μm이었으며, 3원색 염료의 입도 크기의 범위는 0.422-0.941 μm로 나타났다. 이는 전형적인 분산염료의 입도 크

Table 4. Particle size analysis of Yellow, Red, and Blue dyes

Dye	Mean. (μm)	Span	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)
Yellow	0.776	2.714	0.284	0.501	1.644
Red	0.442	1.322	0.257	0.326	0.688
Blue	0.914	1.446	0.336	0.833	1.571

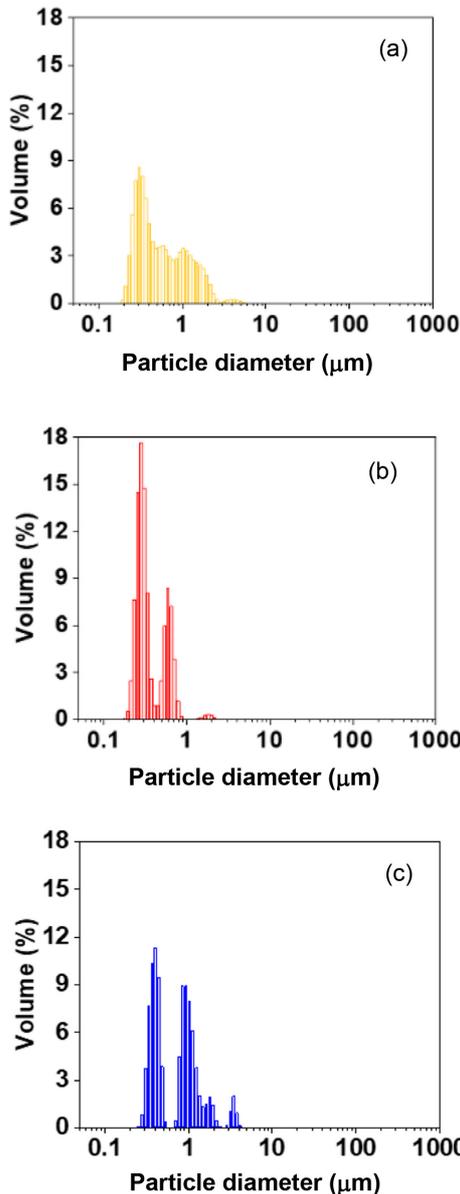


Figure 2. Particle size distribution of (a) Yellow, (b) Red, and (c) Blue dyes.

기인 0.1–1 μm 범위에 들어가는 것을 확인하였다.

Yellow, Red, Blue 염료의 입도 분포 폭을 나타내는 Span은 Red (1.322) < Blue (1.446) < Yellow (2.714)의 순으로 Yellow 염료의 입도 분포 폭이 가장 넓었다. 이는 Yellow 염료가 0.501 μm 이하의 미세입자와 1.644 μm 이상의 상대

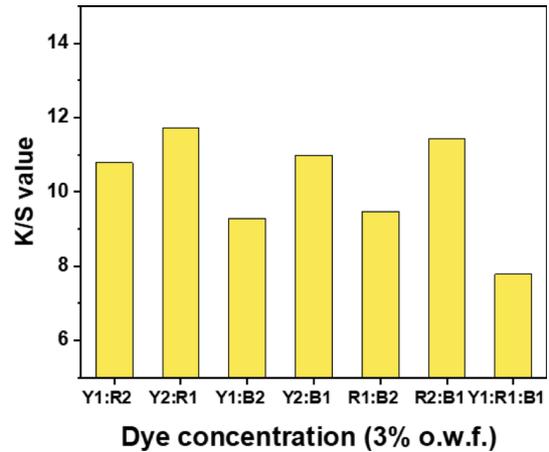


Figure 3. K/S values of recycled polyester fabrics dyed with 3% dye combination concentrations.

적으로 큰 입자를 동시에 포함하기 때문으로 판단된다. Red 염료의 경우 입자의 대부분이 0.257 μm에서 0.688 μm 구간에 집중되어 입도 분포의 폭이 가장 좁았으며, Blue 염료 입자는 0.833 μm에서 1.571 μm 구간에 밀집하여 Yellow 염료에 비해 상대적으로 큰 입자가 많이 분포하고 있음을 확인하였다.

3.2. 3원색 염료 조합으로 염색한 리사이클 폴리에스터 직물의 K/S 값 및 색특성

안트라퀴논 구조는 다양한 염료 화합물 중에서도 햇빛에 강한 안정성과 높은 흡수성을 가지는 대표적인 발색단이다 [27]. 이러한 특성으로 인해 안트라퀴논 구조를 가진 염료는 고내광성을 필요로 하는 직물의 염색에 사용되고 있으며, 대표적인 종류로는 안트라퀴논계 분산염료와 솔벤트 염료 등이 있다. 이 중 안트라퀴논계 분산염료는 특히 자동차 내장재와 같이 장기간의 광노출과 내구성이 요구되는 용도에서 주요하게 사용되고 있으며, 솔벤트 염료는 일반적으로 플라스틱(PS, PMMA, PVC, ABS), 도료, 페인트 착색에 주로 활용되고 있으나, 안트라퀴논계 솔벤트 염료는 안트라퀴논 발색단을 모체를 가지고 있어 높은 내광성과 내열성을 필요로 하는 폴리에스터 등의 합성섬유 염색에도 사용되고 있다[28,29].

Figure 3은 염료조합 농도 3%의 겉보기 색농도 K/S 값을 나타낸 것이다. K/S 값은 Y1:B2 (9.28) < R1:B2 (9.47) < Y1:R2 (10.79) < Y2:B1 (10.99) < R2:B1 (11.42) < Y2:R1 (11.73)의 순으로 R2:B1와 Y2:R1의 K/S 값이 높게 나타났다. 또한, Y:R (Y1:R2, Y2:R1)과 Y:B (Y1:B2, Y2:B1)의 염료조합에서는 Yellow 농도가 높을수록 K/S 값이 높게 나타났으며, R:B (R1:B2, R2:B1)의 조합에서는 Red의 농도가 높을수록 K/S 값이 높게 나타났다. 특히 Blue 염료의 함량이 높은 Y1:B2와 R1:B2 시료의 경우, Blue 염료는 폴리에스터 섬유와의

Table 5. Colorimetric data of recycled polyester fabrics dyed with 3% dye combination concentrations

Dye combination concentration (% o.w.f)	CIE L*C*h°system					Munsell hue	Apparent colors	
	L*	a*	b*	C*	h°			
Y:R	Y1:R2	49.79	59.90	36.64	70.22	31.45	7.5R	
	Y2:R1	54.64	53.36	50.33	73.35	43.33	10R	
Y:B	Y1:B2	34.77	-17.04	2.09	17.17	173.01	10G	
	Y2:B1	40.53	-15.57	24.13	28.72	122.83	6GY	
R:B	R1:B2	29.09	8.40	-22.75	24.16	290.27	7PB	
	R2:B1	29.54	21.16	-15.06	25.97	324.56	8P	
Y:R:B	Y1:R1:B1	32.63	7.16	3.71	8.06	27.39	8R	

소수성 상호작용이 상대적으로 약한 구조적 특성으로 인해 섬유 내부로의 염착량이 낮아지고, 그 결과 K/S 값이 감소하는 것으로 판단된다. 이는 분산염료와 소수성 폴리에스터의 염착성을 가지기 위해서는 적절한 hydrophobic interaction을 가져야 한다는 보고와도 일치한다[30].

Yellow, Red, Blue 3 종류의 조합으로 염색한 Y1:R1:B1 시료의 경우 3종의 염료가 동시에 사용됨에 따라 입도 크기, 분포 및 화학 구조의 차이가 복합적으로 작용하여 다른 조합 시료보다 겉보기 색농도 K/S 값이 가장 낮게 나타난 것으로 생각된다.

CIE 1976 L*C*h° 표색계에서 L*, a*, b*, C* 및 h°색 공간은 색을 측정하는 데 가장 널리 사용되는 방법으로 L*는 밝기(0=검은색, 100=흰색), a* 값은 적색과 녹색, b* 값은 황색과 청색을 의미한다. C*는 채도(chroma)로 색의 선명도, h°는 원의 좌표에서 360°의 각으로 색상(hue)을 표현하며 0°(적색), 90°(황색), 180°(녹색) 및 270°(청색)를 의미한다.

Table 5는 3원색 염료를 3% 농도로 조합하여 염색한 리사이클 폴리에스터 직물의 L*, a*, b*, C* 및 h° 값과 같은 색특성과 표면 색상 이미지를 나타낸 것이다.

Y:R 염료 조합(Y1:R2, Y2:R1)은 h° 값이 31.45-43.33 범위로 전형적인 적색을 나타냈으며, a* 값과 b* 값의 범위에서 적-황색 경향이 명확하게 확인되었다. Y:B 염료 조합(Y1:B2, Y2:B1)에서는 h° 값이 122.83-173.01 범위로 청록-황록 계열에 해당하며, a* 값은 음수, b* 값은 양수로 나타나 청-황색이 혼합된 녹색 계열로 나타났다. R:B 염료 조합(R1:B2, R2:B1)에서는 h° 값이 290.27-324.56 범위로 보라색 영역에 분포하였으며, a* 값은 양수, b* 값은 음수로 적색이 가미된 청보라색을 나타내었다. 마지막으로 Y:R:B 염료 조합(Y1:R1:B1)에서는 h° 값이 27.39, C* 값은 8.06으로 낮은 채도를 보였으며 갈색계열로 나타났다.

명도(L*)는 Y2:R1의 농도 조합에서 54.64로 가장 높게 나

타나 밝은 적색 계열이었으며, 반면 R1:B2 조합에서 29.09로 가장 낮게 나타나 어두운 보라색 계열을 보였다. a* 값은 Y1:R2의 농도 조합에서 59.90로 가장 높았으며, Y1:B2는 -17.04로 가장 낮았다. b* 값은 Y2:R1의 농도 조합에서 50.33으로 가장 높았으며, R1:B2의 농도에서 -22.75로 가장 낮게 나타났다. C* 값은 Y:R 염료 조합 및 Y:B 염료 조합에서는 Yellow 염료의 성분이 많아질수록, R:B 염료 조합에서는 Red 염료의 성분이 많아질수록 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

표면색상의 이미지는 KS A 0011의 먼셀표색계 색상 범위에 의하면 Y1:R2 농도 조합은 빨강(R), Y2:R1은 주황(YR), Y1:B2은 녹색(G), Y2:B1은 연두(GY), R1:B2은 남색(PB), R2:B1은 보라(P), Y1:R1:B1은 갈색(Br)으로 3원색 염료 조합에 의해 다양한 색상이 구현됨을 알 수 있었다.

3.3. 3원색 염료 조합으로 염색한 리사이클 폴리에스터 직물의 견뢰도

내광성: 자동차 내장재로 사용되는 직물은 일광에 장시간 노출되기 때문에 퇴색에 대한 높은 내성을 필요로 한다. 일반적으로 자동차에 사용되는 염료의 대부분은 높은 내광성을 갖추고 있으나, 염료만으로 일광견뢰도를 향상시키기에는 물성자체에 한계가 있기 때문에 이를 보완하기 위해 자외선 흡수제(UV Stabilizer) 등을 첨가하여 염색을 실시하고 있다[24]. 일광견뢰도 증진제로 사용하고 있는 자외선 흡수제는 광화학 반응의 발단이 되는 자외선(300-400 nm)을 흡수하여 자외선 차단효과에 의해 내광성을 향상시키며 benzotriazole, benzophenone 및 benzotriazine type 등으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 안트라퀴논계 3원색 염료를 Y:R, Y:B, R:B로 조합하여 benzotriazine type 일광견뢰도 증진제의 농도를 각각 2% (o.w.f), 4% (o.w.f)를 첨가하여 염색을 실시하였다.

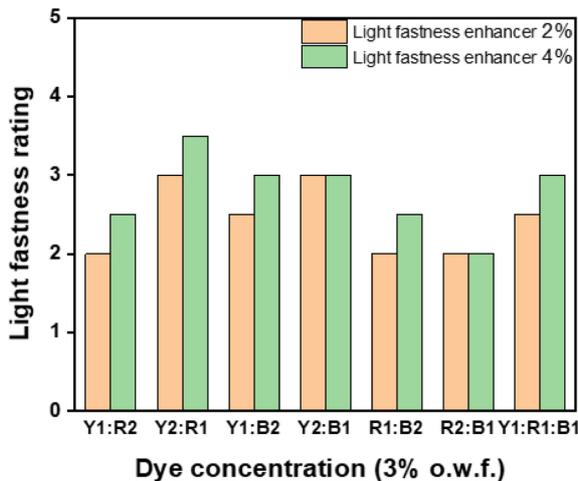


Figure 4. Light fastness of dyed recycled polyester fabrics according to dye combination and light fastness enhancer concentrations.

Y:R 염료 조합(Y1:R2, Y2:R1), Y:B 염료 조합(Y1:B2, Y2:B1), R:B 염료 조합(R1:B2, R2:B1), 및 Y1:R1:B1로 조합한 염액에 일광견뢰도 증진제를 2% (o.w.f), 4% (o.w.f) 첨가한 내광성 결과를 Figure 4에 나타내었다. 모든 염료조합에서 일광견뢰도 증진제의 농도가 2%에서 4%로 증가함에 따라 일부 동일한 경우를 제외하고 대부분의 염료조합에서 내광성이 증가하는 경향을 나타내었다. Yellow 염료 농도가 높은 Y:R 염료 조합에서는 Y2:R1의 조합에서 일광견뢰도 증진제를 2% 첨가하였을 경우 3급, 4% 첨가하였을 경우 3-4급의 높은 내광성을 나타내었다. Y:B의 염료조합에서도 Yellow 염료 농도가 높은 Y2:B1의 조합에서 일광견뢰도 증진제 2% 이상 첨가 시 모두 3급 이상의 우수한 내광성을 나타내었

으며, Blue 농도가 높은 Y1:B2의 조합에서는 일광견뢰도 증진제 4% 첨가 시에 3급의 내광성을 나타내었다. 반면, R:B 염료조합은 일광견뢰도 증진제 4% 첨가 시에도 2급 혹은 2-3급의 낮은 내광성을 나타내어 염료 조합농도 및 일광견뢰도 증진제 농도를 변경하여 내광성을 향상시킬 수 있는 염색조건의 재설정이 필요하다고 생각된다. 본 연구의 범위인 염료조합 농도 3%, 일광견뢰도 증진제 농도 2% (o.w.f), 4% (o.w.f)의 경우에 Blue 염료의 조합에서 내광성이 낮게 나타나는 이유 또한 앞서 고찰한 Blue 염료의 화학 구조에 기인한 낮은 K/S 값과도 관련이 있을 것으로 생각되어진다. Y:R:B 염료 조합(Y1:R1:B1)에서는 일광견뢰도 증진제 4% 첨가 시에 3급의 내광성을 나타내었다.

내마모성, 세탁견뢰도, 마찰견뢰도: Table 6은 리사이클 폴리에스터 10 g을 1:10 액비의 조건에서 2% 분산제(Sunsolt RM-340S) 0.7 ml, 5% 빙초산(CH3COOH) 0.4 ml, 안트라퀴논구조를 가진 고내광 3원색 염료를 조합하여 3%의 농도가 되도록 한 뒤 일광견뢰도 증진제(Fadex®Ts liq)를 2%, 4% (o.w.f) 넣어 135 °C에서 60분간 염색한 후 욕비 1:10, 알칼리 NaOH 2 g/l, 환원제 Sera Con M-FAS 4 g/l 용액에 80 °C에서 20분간 환원세정 한 후 내마모성, 세탁견뢰도, 마찰견뢰도를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

예상한 바와 같이 일광견뢰도 증진제의 농도는 내마모성, 세탁견뢰도 및 마찰견뢰도에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

내마모성은 R:B의 염료조합에서 Blue 농도가 높은 R1:B2에서 비교적 낮은 3급을 나타내어 Red와 Blue 염료를 조합한 경우 색소 분자의 안정성과 내구성이 타 색상의 조합보다 상대적으로 낮은 안정성을 보였으며, 특히 청색 염료가

Table 6. Fastness properties of recycled polyester fabrics according to dye combination and light fastness enhancer concentrations

Dye combination concentration (% o.w.f)	Light fastness enhancer concentration (% o.w.f)	Abrasion resistance	Washing fastness		Rubbing fastness		
			Material	Cotton	Wet	Dry	
Y:R	Y1:R2	2%	4	4	4-5	4-5	
		4%	4	4	4-5	4-5	
	Y2:R1	2%	4	4	4-5	4-5	
		4%	4	4	4-5	4-5	
Y:B	Y1:B2	2%	4	4	4-5	4-5	
		4%	4	4	4-5	4-5	
	Y2:B1	2%	4	4	4-5	4	
		4%	4	4	4-5	4	
R:B	R1:B2	2%	3	4	4	4-5	4
		4%	3	4	4	4-5	4
	R2:B1	2%	4	4	4	4	4
		4%	4	4	4	4-5	4
Y:R:B	Y1:R1:B1	2%	4	4	4	4-5	4-5
		4%	4	4	4	4-5	4-5

외부 환경의 영향을 쉽게 받는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 앞서 고찰한 K/S 값과 내광성 결과와도 일치하는 것으로 나타났다.

세탁견뢰도는 모든 염료의 조합에서 비교적 높은 4급을 나타냈으며, 습식마찰착색성은 염료조합농도 3%의 R2:B1에서 4급을 나타내었고 이외에는 모두 4-5급으로 높게 나타났다. 건식 마찰착색성은 염료조합농도 3%의 Y1:R2, Y2:R1, Y1:B2 농도에서 4-5급으로 높게 나타났으며, 이 외에는 모두 4급으로 평가되어 건·습식 마찰착색성은 우수한 내구성을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구는 안트라퀴논계 3원색 염료를 조합하여 염색한 리사이클 폴리에스터 직물을 자동차 내장재로 적용하기 위해서 국내 자동차 내장재 시험규격 중 가장 엄격한 크세논 광 126 MJ/m² 조사 시 내광성 3급을 나타내는 염색 조건을 확립하기 위한 연구이다. 염료로는 Solvent Yellow 163, Disperse Red 86, Disperse Blue 54를 사용하였으며, 3원색 염료의 조합은 염료 농도 3%로 고정하여 Y:R 염료 조합(Y1:R2, Y2:R1), Y:B 염료 조합(Y1:B2, Y2:B1), R:B 염료 조합(R1:B2, R2:B1), 및 Y:R:B 염료 조합(Y1:R1:B1)으로 하였다. 일광견뢰도 증진제로는 benzotriazine 계열의 Fadex[®] Ts liq를 농도 2% (owf), 4% (owf)로 하여 사용하였으며, 염색한 직물의 K/S 값, 색 특성, 및 각종 견뢰도를 측정하여 고찰하였다.

3원색 염료인 Yellow, Red, Blue의 평균 입도 크기는 각각 0.776, 0.442, 0.914 μm 를 나타내었으며, 입도 분포의 폭을 나타내는 span은 각각 2.714, 1.322, 1.446이었다. 겉보기 색 농도를 나타내는 K/S 값은 염료 내에 친수성기를 함유하고 있는 Blue 염료 함량이 많은 Y1:B2, R1:B2 시료를 제외하고는 높은 K/S 값을 나타내었으며, 염료조합을 다르게 하여 높은 K/S 값을 나타낼 수 있음을 확인하였다. 안트라퀴논계 3원색 염료의 조합에 의해 빨강(R), 주황(YR), 녹색(G), 연두(GY), 남색(PB), 보라(P), 갈색(Br)의 다양한 색상을 나타내었으며, 염료조합을 다르게 하여 다양한 색상을 나타낼 수 있음을 확인하였다. 내광성은 일광견뢰도 증진제의 농도가 2%에서 4%로 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 내광성이 3급에 미치지 못하는 시료는 염료 조합 및 증진제 조건 최적화를 통해 개선될 수 있을 것으로 기대된다. 내마모성, 세탁견뢰도 및 마찰견뢰도는 R1:B2 염료 조합 시료를 제외하고는 4급 이상의 우수한 견뢰도를 나타내었다.

이상의 결과로부터 안트라퀴논계 3원색 염료조합으로 염색한 리사이클 폴리에스터 직물은 다양한 색상과 높은 K/S 값, 그리고 자동차 내광성 시험규격에 부합하는 3급 이상

의 내광성을 지니는 자동차 내장재 적용 가능성을 확인하였다.

감사의 글: 본 논문은 산업통상자원부 한국산업기술진흥원의 소재부품기술기반혁신사업 가상공학플랫폼구축사업의 지원으로 수행되었음. (과제번호 : P0022335)

References

1. S. Bouckaert, A. F. Pales, C. McGlade, U. Remme, B. Wanner, L. Varro, D. D'Ambrosio, and T. Spencer, "Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector", International Energy Agency (IEA), 2021.
2. S. Schlacke, H. Wentzien, E. M. Thierjung, and M. Köster, "Implementing the EU Climate Law via the 'Fit for 55' package", *Oxf. Open Energy*, 2022, **1**, 1–13.
3. L. Chen, G. Msigwa, M. Yang, A. I. Osman, S. Fawzy, D. W. Rooney, and P. S. Yap, "Strategies to Achieve a Carbon Neutral Society: A Review", *Environ. Chem. Lett.*, 2022, **20**, 2277–2310.
4. H. W. Lim, Y. G. Kim, H. S. Choi, D. W. Shin, Y. K. Yang, and Y. W. Choi, "A Study on Policy Directions of the Transportation Sector for 2050 Net Zero Strategy", Korea Environment Institute(KEI), 2022.
5. G. Harper, R. Sommerville, E. Kendrick, L. Driscoll, P. Slater, R. Stolkin, A. Walton, P. Christensen, O. Heidrich, and S. Lambert, "Recycling Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles", *Nature*, 2019, **575**, 75–86.
6. E. Oh, M. M. Godoy Zúniga, T. B. Nguyen, B. H. Kim, T. Trung Tien, and J. Suhr, "Sustainable Green Composite Materials in the Next-generation Mobility Industry: Review and Prospective", *Adv. Compos. Mater.*, 2024, **33**, 1368–1419.
7. H. Ahmad, A. Markina, M. Porotnikov, and F. Ahmad, "A Review of Carbon Fiber Materials in Automotive Industry", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, **971**, 032011.
8. K. Karunakaran, R. Pugazhenthii, G. Anbuezhiiyan, R. Saravanan, and M. V. Reddy, "Experimental Investigations on Synthesis and Characterization of Tamarind Seed Powder Reinforced Bio-composites", *Mater. Today Proc.*, 2022, **64**, 760–764.
9. M. Z. Rahman, M. Rahman, T. Mahbub, M. Ashiquzzaman, S. Sagadevan, and M. E. Hoque, "Advanced Biopolymers for Automobile and Aviation Engineering Applications", *J. Polym. Res.*, 2023, **30**, 106.
10. S. Weise, M. Droß, S. Blömeke, K. Dröder, and C. Herrmann, "Life Cycle Assessment of an Automotive Hybrid-filled Recycled PET Lightweight Component", *Procedia CIRP*, 2025, **135**, 1277–1282.
11. E. Oh, M. M. G. Zuniga, and J. Suhr, "Trends and Perspective for Eco-friendly Composites for Next-generation Automobiles", *Compos. Res.*, 2024, **37**, 115–125.
12. H. Cho, J. E. Lee, J. W. Ko, and S. G. Lee, "Dyeing Properties of Grey Vegan Suede based on r-PET and PCT", *Text. Sci. Eng.*, 2024, **61**, 262–268.

13. W. S. Heo, J. E. Lee, S. H. Yu, H. S. Son, and S. G. Lee, "Dyeing and Fastness Properties of Recycled PET Fabrics Dyed with Black and Grey Disperse Dyes for Automobile Interior", *Text. Sci. Eng.*, 2023, **60**, 1–7.
14. J. Raman, D. S. Kim, H. S. Kim, D. S. Oh, and H. J. Shin, "Mycofabrication of Mycelium-based Leather from Brown-rot Fungi", *J. Fungi*, 2022, **8**, 317.
15. G. Kang, M. J. Yun, S. J. Jung, H. M. Lee, Y. J. Cha, S. D. An, S. H. Cho, J. Y. Ko, J. H. Song, and H. R. Choi, "Eco-friendly Artificial Leather for Interior of Automobile and Manufacturing Method Thereof", *US Patent*, US10676863B2 (2020).
16. H. Y. Syn, "A Study on a Framework to Achieve the Sustainability of Apparel Brands", *J. Korean Soc. Costume*, 2010, **60**, 136–149.
17. C. S. Park, Y. D. Kang, D. E. Kim, J. Y. Lee, J. Y. Jo, Y. I. Hong, and Y. J. Chae, "A Comparison of Physical and Visual-Tactile Properties between Virgin and Recycled Polyester Woven Fabrics", *J. Hum. Ecol.*, 2022, **26**, 15–25.
18. G. Albin, V. Brunella, B. Placenza, B. Martorana, and V. Guido Lambertini, "Comparative Study of Mechanical Characteristics of Recycled PET Fibres for Automobile Seat Cover Application", *J. Ind. Text.*, 2019, **48**, 992–1008.
19. K. Chan and A. Zinchenko, "Design and Synthesis of Functional Materials by Chemical Recycling of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic: Opportunities and Challenges", *J. Clean. Prod.*, 2023, **433**, 139828.
20. Z. O. Schyns and M. P. Shaver, "Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review", *Macromol. Rapid Commun.*, 2021, **42**, 2000415.
21. H. Cho, J. E. Lee, A. R. Kim, Y. J. Kang, S. H. Song, J. H. Sim, and S. G. Lee, "Predicting Dyeing Properties and Light Fastness Rating of Recycled PET by Artificial Neural Network", *Fibers Polym.*, 2024, **25**, 3493–3502.
22. B. Milligan, "The Degradation of Automotive Upholstery Fabrics by Light and Heat", *Rev. Prog. Color. Relat. Top.*, 1986, **16**, 1–7.
23. E. Y. Kang and C. M. Park, "New Developments in High Light fastness Disperse Dyes for Automotive Seats", *Text. Technol. Ind.*, 1998, **2**, 217–225.
24. E. G. Tsatsaroni and I. C. Eleftheriadis, "UV-absorbers in the Dyeing of Polyester with Disperse Dyes", *Dyes Pigments*, 2004, **61**, 141–147.
25. J. H. Park, K. S. Lee, J. S. Koh, J. S. Bae, and S. D. Kim, "Dyeing and Fastness Properties of Red Disperse Dyes from Heterocyclic Compounds", *Text. Sci. Eng.*, 2005, **42**, 310–315.
26. W. J. Lee and J. P. Kim, "Effect of Particle Size of Disperse Dyes on Their Dyeing Properties", *Text. Color. Finish.*, 1998, **35**, 100–104.
27. J. Cervantes González, D. A. Vosburg, S. E. Mora-Rodriguez, M. A. Vázquez, L. G. Zepeda, C. Villegas Gomez, and S. Lagunas Rivera, "Anthraquinones: Versatile Organic Photocatalysts", *ChemCatChem*, 2020, **12**, 3811–3827.
28. J. H. Choi, "Dyeing of High Light Fastness Solvent Dyes on Polyester Fiber", *Text. Color. Finish.*, 2003, **15**, 50–58.
29. J. H. Sim, S. H. Yu, J. H. Lee, and J. Y. Kim, "Method Of High?Fastness Dyeing High Tenacity Polyethylene Textiles Using Solvent Dye", *KR Patent*, 1024402100000 (2022).
30. S. M. Burkinshaw, "Chemical Principles of Synthetic Fibre Dyeing", Chapman & Hall, London, 1995, p.13.