

# 양모용 염료의 염모제 적용성 연구

## Application of Wool Dyes for Hair Dyeing

### \*Corresponding author

Joonseok Koh  
(ccdjko@konkuk.ac.kr)

채다은, 이은교, 김예원, 서동완, 오나현, 고준석\*  
건국대학교 유기나노시스템공학과

Da Eun Chae, Eunkyo Lee, Yewon Kim, Dongwan Seo, Nahyun Oh, and Joonseok Koh\*

Department of Organic and Nano System Engineering, Konkuk University, Seoul, Korea

Received\_March 13, 2020  
Revised\_March 19, 2020  
Accepted\_March 20, 2020

### Textile Coloration and Finishing

TCF 32-1/2020-3/27-37

© 2020 The Korean Society of Dyers and Finishers

**Abstract** Low temperature dyeing properties of wool with reactive dyes and acid dyes were investigated for the feasibility study of their application to hair dyeing. The low temperature(30°C, 40°C) dyeing achieved light depth of shade in wool dyeing and reactive dyeing exhibited relatively higher color strength and chroma values than acid dyeing. Leveling agent slightly improved the levelness of the wool dyeing and the leveling properties of dyed wool at low temperature were good to excellent, irrespective of the dyes applied. Color loss during the repeated shampooing was in the range of 9.6~22.2% for reactive dyes and -7.4~31.5% for acid dyes and in some cases, the color fastness to shampooing was reasonable level. The overall experimental results showed that the application of low temperature wool reactive dyeing to hair dyeing is sufficiently feasible in terms of dyeability and color fastness to shampooing.

**Keywords** hair dyeing, reactive dyes, acid dyes, levelness, color fastness to shampooing

## 1. 서 론

외모가 사회적 경쟁력의 중요한 요소로 인식되면서 사회생활을 하는 중장년층의 흰머리 염색과 더불어 젊은 세대를 중심으로 한 패션 아이템으로써의 모발 염색에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다<sup>1)</sup>.

헤어의 구조는 피질과 모수질, 큐티클로 이루어져 있으며, 피질과 큐티클 사이에는 cell membrane complex(CMC)가 존재한다. 헤어 염색 시 염료가 내부로 들어갈 수 있는 가능한 경로는 헤어 구조에 수직으로 들어가는 경로(transcellular diffusion)와 피질과 큐티클 사이의 CMC를 통해 들어가는 경로(intercellular diffusion)가 있으며 이 중에서도 후자의 가능성이 더 클 것으로 받아들여지고 있다<sup>2)</sup>(Figure 1).

염모제는 내구성 측면에서 영구 염모제(permanent hair dye)와 일시/반영구 염모제(temporary/semi-permanent hair dye)로 나뉘며 국내에서는 영구 염모제는 의약외품, 일시/반영구

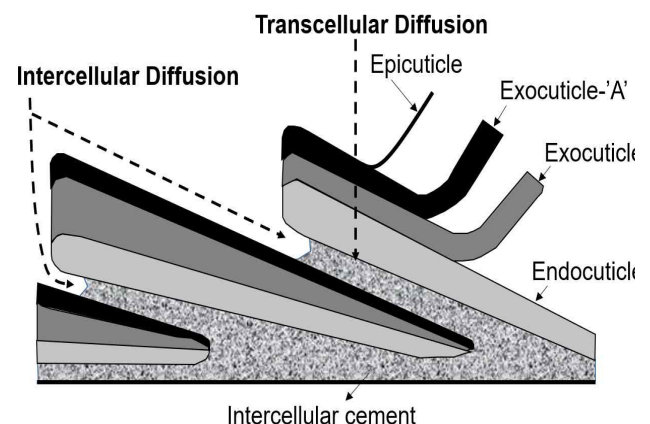


Figure 1. Dye penetration pathway in hair dyeing<sup>2)</sup>.

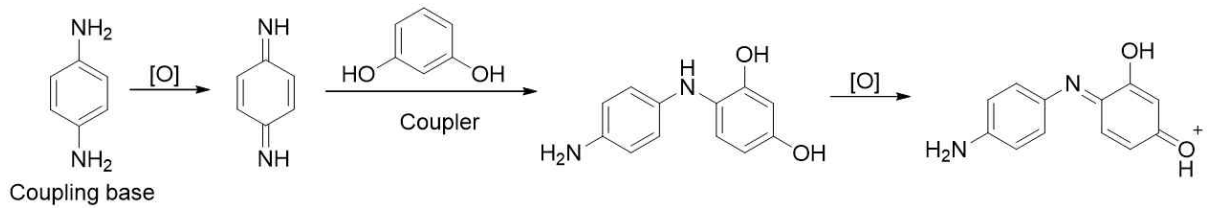


Figure 2. Chemical reaction of permanent hair dyeing.

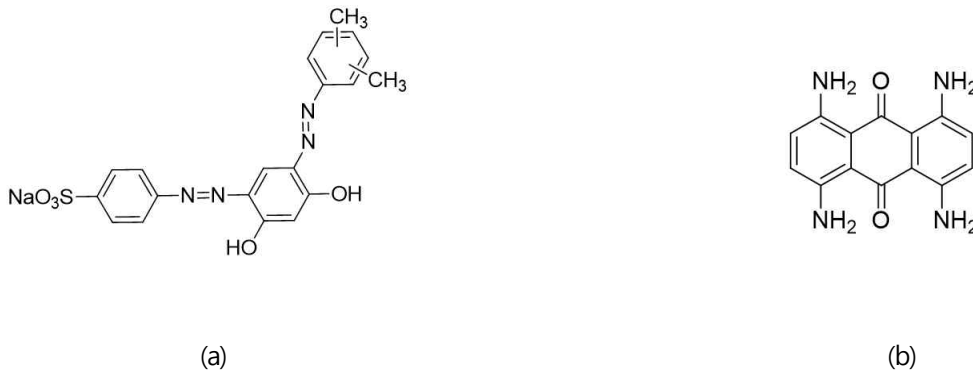


Figure 3. Temporary/semi-permanent hair dyes (a) Disazo acid dye, (b) Anthraquinone dye.

염모제는 화장품으로 각각 분류된다. 영구적 염모제는 크기가 작은 분자인 커플링 베이스와 커플러가 헤어 내부로 각각 침투해 들어간 후 내부에서 반응하여 분자 크기가 커지면서 밖으로 빠져 나오지 않게 하여 내구성을 부여하는 방식으로 염색되는 원리이다(Figure 2).

그러나 주성분인 파라페닐렌디아민(p-phenylenediamine, PPD)의 독성 문제가 지속적으로 제기되면서 이를 대체할 저자극성 영구염모제 개발 노력이 진행되고 있다<sup>3-5)</sup>. 반면 일시적/반영구적 염모제는 인체 부작용이나 모발 손상이 없으며 분자 크기가 커서 헤어 내부로 침투가 불가능하며 주로 외부에 부착되므로 일상적인 몇 차례의 샴푸에 의해서 색이 쉽게 빠지며,

트렌드에 따라 헤어 색을 자주 바꾸는 용도로 헤어스프레이나 칼라스프레이 등에 사용되고 있다<sup>2)</sup>(Figure 3).

전통적인 양모 섬유 염색 방법은 산성 염료와 반응성 염료를 이용한 방법을 주로 사용한다. 산성 염료를 이용한 방법은 산성 조건에서 양모의 폴리아미드 구조가 양이온화가 되고 여기에 음이온을 가진 산성 염료가 이온 결합을 함으로써 염색되는 원리이다(Figure 4).

양모의 반응성 염색은  $\alpha,\beta$ -dibromopropionylamide(1) 구조를 갖는 반응성 염료가 염색중 가수분해되어 이중결합이 형성(2) 된 후 부가반응과 치환반응을 통해 양모와 공유결합(5, 6)을 이루므로써 이루어 지는 것으로 알려져 있다<sup>6,7)</sup>(Figure 5).

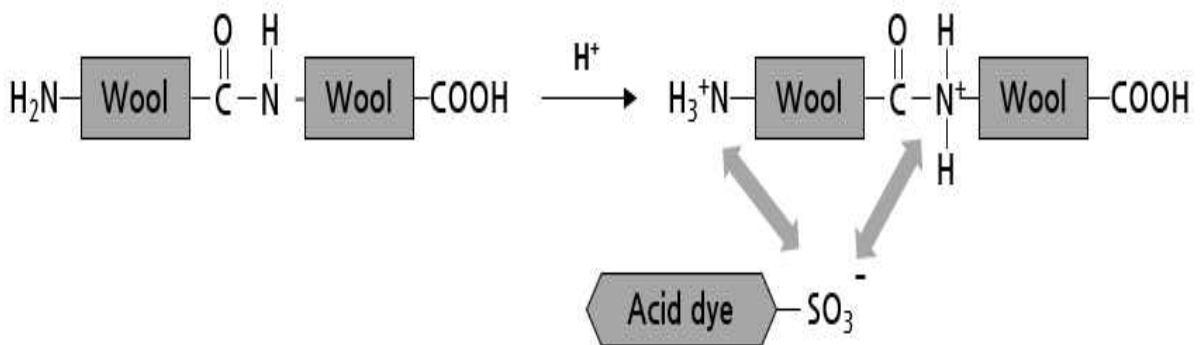


Figure 4. Acid dyeing principles in wool dyeing.

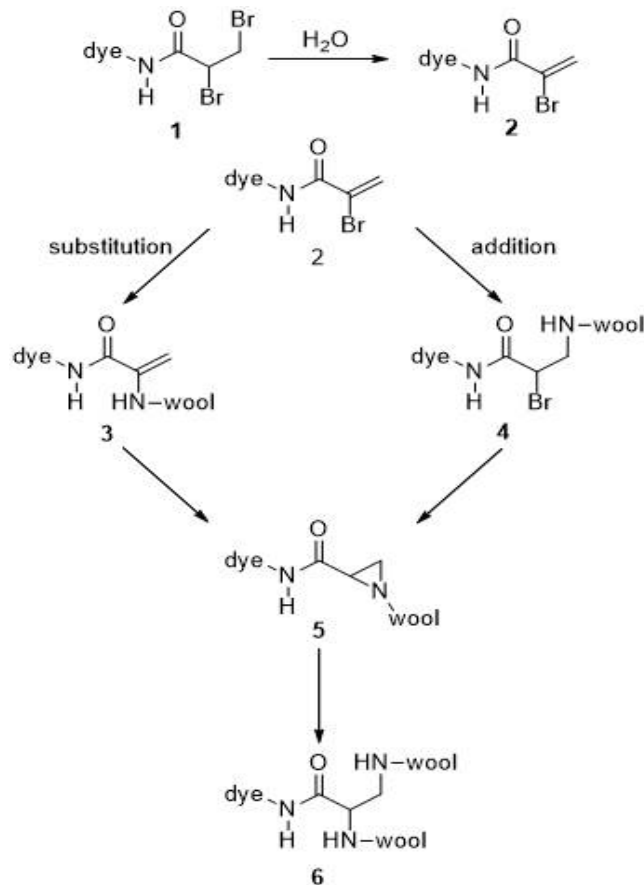


Figure 5. Reactive dyeing mechanism of wool dyeing.

이번 연구에서는 양모 섬유 염색에 사용되고 있는 반응성 염료와 산성염료를 염모제로서의 적용 가능성을 알아보고자 하였다. 모발과 유사한 구조를 가진 양모에 대해 저온 염색 조건으로 사용했을 때의 염색성, 균염성 및 삼푸에 대한 내구성 등을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

피염물로는 염색견뢰도 시험용 첨부백포(KS K 0905)를 사용하였다. 반응성 염료는 Lanazol Yellow 4G(C.I. Reactive Yellow 39), Lanazol Red 6G(C.I. Reactive Red 84), Lanazol Blue 3G(C.I. Reactive Blue 69)의 3종을 사용하였으며 산성 염료는 Lanaset Yellow 2R(C.I. Acid Yellow 220), Lanaset Red G, Lanaset Blue 2R(C.I. Acid Blue 225)의 3종을 각각 사용하였다(Table 1).

pH 조절제로는 반응성 염색에서는 Ethyl lactate를 사용하고, 산성 염색에서는 아세트산나트륨(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub>)/아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)의 버퍼 용액을 사용하여 pH 4.5의 조건을 맞추어 사용

하였다. 균염제로는 반응성 염색에는 Albegal B, 산성염색에서는 Albegal SET을 한국생산기술연구원으로부터 제공 받아 각각 사용하였다. 삼푸 견뢰도 시험을 위하여 시중에서 판매하는 올뉴TS 삼푸(TS Trillion Co., Ltd., Korea)를 사용하였다.

### 2.2 염색

염색은 Figure 6의 반응성 염색 프로파일(Figure 6a)와 산성 염색 프로파일(Figure 6b)에 따라 실험실용 적외선 염색기(DLS-6000, Daelim Starlet Co., Ltd., Korea)를 사용하여 실시하였다.

#### 2.2.1 반응성 염색

3종의 반응성 염료에 대해 염색 온도의 영향과 균염제의 영향을 각각 살펴보기 위한 염색 실험을 진행하였다. 40ml의 염액(액비 1:20)에 ethyl lactate(0.20ml/L), 망초 10%omf, Albegal B(1.0%omf)를 넣고 2g의 양모 시료를 투입하였다. 이때 균염제(Albegal B) 영향을 고찰하기 위하여 균염제를 넣지 않은 염액을 마찬가지로 제조하여 비교 실험하였다. 또한, 염색 온도별 염색성 변화를 살펴보기 위해 30°C, 40°C, 80°C의 세 가지 온도 조건에서 염색을 각각 진행하였다.

**Table 1.** Chemical structures of reactive dyes and acid dyes used in this study

Color	Yellow	Red	Blue
Reactive dyes			
Acid dyes			

**2.2.2 산성 염색**

3종의 산성 염료에 대해 염색 온도의 영향과 균염제의 영향을 각각 살펴보기 위한 염색 실험을 진행하였다. 40ml의 염액(액비 1:20)에 망초 10%mf, Albegal SET(1.0%mf)를 넣고 아세트산나트륨(4.0g/L)/아세트산 버퍼 용액을 이용하여 pH 4.5를 맞춘 후 2g의 양모 시료를 투입하였다. 이때 균염제(Albegal SET) 영향을 고찰하기 위하여 균염제를 넣지 않은 염액을 마찬가지로 방법으로 제조하여 비교 실험하였다. 또한, 염색 온도별 염색성 변화를 살펴보기 위해 30°C, 40°C, 98°C의 세 가지 온도 조건에서 염색을 각각 진행하였다.

**2.2.3 색 특성 및 색강도 평가**

염색 후 염색물은 측색기(X-Rite 8000 Series, X-Rite, Inc., USA)를 이용하여 CIELAB L\*, a\*, b\* 값과 가시광선 영역에서의 반사율 값을 측정하였다. 염색물의 색강도는 다음의 식(1)을 이용하여 평가하였다<sup>(8,9)</sup>.

$$f_k = \sum_{\lambda=400}^{700} (K/S)_\lambda (\bar{x}_{10,\lambda} + \bar{y}_{10,\lambda} + \bar{z}_{10,\lambda}) \quad (1)$$

where,

$\bar{x}_{10,\lambda}$ ,  $\bar{y}_{10,\lambda}$ , and  $\bar{z}_{10,\lambda}$  : color matching functions for the f0 standard observer at each wavelength(ISO 7724/1-1984)

$(K/S)_\lambda$  : Color strength calculated from Kubelka-Munk theory

**2.3 균염성 평가**

균염성 시험은 염색한 피염물의 24곳을 편중되지 않도록 측정 후 Li와 Yang이 제안한 균염성 파라미터(Levelness par

ameter, L)를 계산 방법으로 평가하였다. 다만, 견뢰도 등급과 마찬가지로 최대값이 5로 한정될 수 있도록 L값 계산방법을 보완하여 사용하였다. 즉, U값이 0.3114보다 큰 경우에는 원래의 식(2)을 사용하고, 나머지 구간에 대해서는 별도의 식(3)을 제안하여 사용하였다<sup>(10,11)</sup>.

$$L = 1.2 \times (2.0 - \ln U) \quad (U \geq 0.3114) \quad (2)$$

$$L = 5.0 - 1.2 \times \exp(7/6) \times U \quad (U \leq 0.3114) \quad (3)$$

where,

$$U = \sum_{400}^{700} S_r(\lambda) \times V(\lambda)$$

$S_r(\lambda)$  : Relative sample standard deviation of  $(K/S)_\lambda$

$V(\lambda)$  : Spectral luminous function

$(K/S)_\lambda$  : Color strength calculated from Kubelka-Munk theory

**2.4 삼푸에 대한 컬러 내구성 평가**

2g/L 농도의 삼푸 용액에 염색한 피염물과 함께 steel ball 10개를 넣고 Figure 6 (c)의 삼푸 프로파일에 따라 삼푸를 실시하였다. 총 5회의 삼푸를 실시하였으며 매 삼푸 후 건조시키고 측색기를 이용해 색강도를 측정하였다. 5회의 삼푸 후에는 최종적으로 다음의 식(4)에 의해 색 강도 감소율을 계산함으로써 삼푸 내구성을 비교 평가하였다.

$$\text{Color loss (\%)} = \frac{f_{k,0} - f_{k,5}}{f_{k,0}} \times 100 \quad (4)$$

where,

$f_{k,0}$  :  $f_k$  value before shampooing

$f_{k,5}$  :  $f_k$  value after 5th shampooing

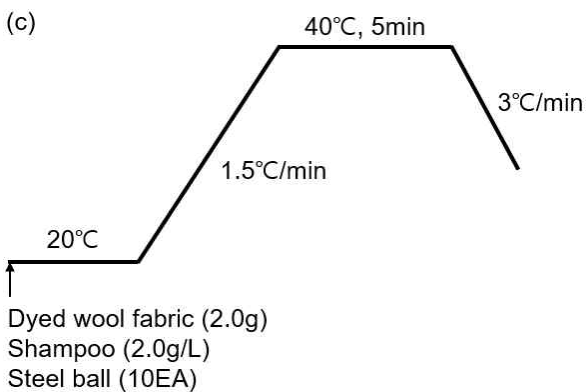
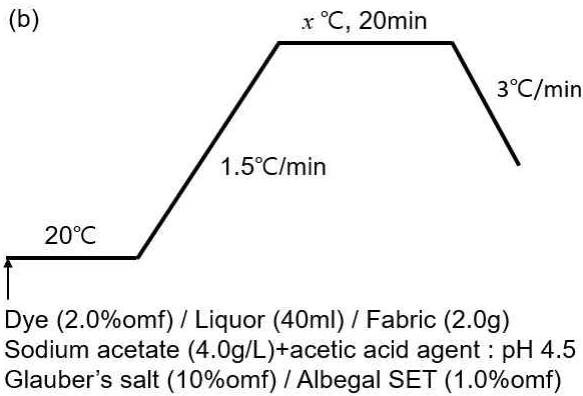
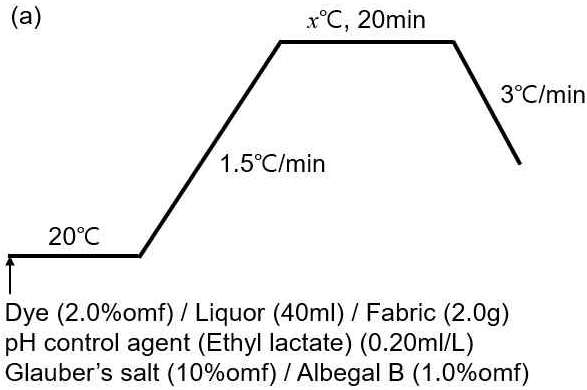


Figure 6. Dyeing profiles and shampooing profile; (a) reactive dyeing profile, (b) acid dyeing profile, (c) shampooing profile.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 염색성

##### 3.1.1 염색 온도 효과

세 가지 염색 온도 조건에서 반응성 염료와 산성 염료 각 3종으로 2.0%omf 농도로 염색했을 때의 염색성을 비교 평가하였다. 염색 온도 조건은 염모제의 현실적인 사용 온도를 감안하여 30°C와 40°C의 두 가지 온도에서 실시하였다. 또한, 이 염료들의 염모제 적용 가능성을 확인하기 위하여 통상적인 양모 반응성 염색 온도인 80°C 조건에서의 염색과 통상적인 양모의 산성 염색 온도인 98°C 조건에서의 염색을 실시한 결과와 함께 비교하였다(Figure 7, Table 2). 반응성 염료와 산성 염료 모두 통상적인 염색 온도 조건에서 염색한 경우에 비해 30°C와 40°C에서의 염색성은 매우 낮은 수준이었으나 육안으로 보기에 파스텔 톤 수준의 염색이 가능한 것을 확인할 수 있었다(Table 2).

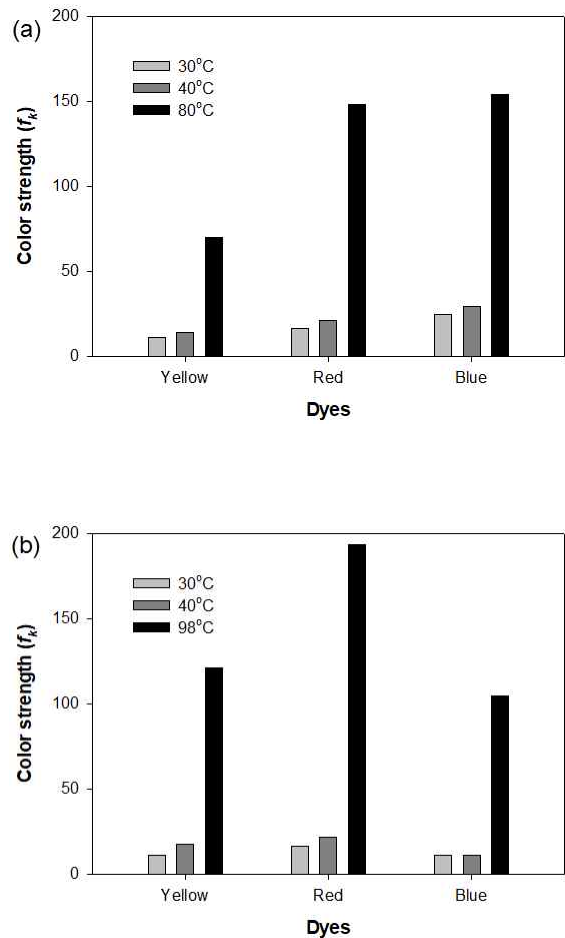


Figure 7. Dyeing temperature effect on dyeing properties of wool fibers(2.0%omf dyeing); (a) reactive dyeing, (b) acid dyeing.

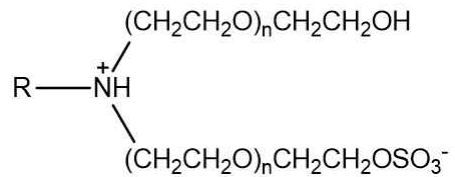
**Table 2.** Dyeing temperature effect on dyeing properties of wool fibers

Dyes	Dyeing temp.	Yellow	Red	Blue
Reactive dyes	30°C			
	40°C			
	80°C			
Acid dyes	30°C			
	40°C			
	98°C			

40°C 염색 조건에서의 반응성 염료와 산성 염료의 염색성을 비교해 보면 큰 차이는 아니지만 반응성 염료가 yellow와 blue에서 산성 염료보다 다소 높은 색강도를 나타내었다.

**3.1.2 균염제 효과**

양모 염색에 사용되는 균염제는 일반적으로 양이온과 음이온 좌석을 모두 가진 polyethoxylate 구조를 가지며 양모의 모단과 모근 간의 색차를 줄여 염색불량 문제(tippy dyeing skitt-dyeing, skitteriness) 해소시킴으로서 균염성을 부여하는 것으로 알려져 있다<sup>12)</sup>(Figure 8).



**Figure 8.** Chemical structure of typical leveling agent in wool dyeing.

반응성 염색과 산성 염색에서 균염제를 첨가하였을 때와 첨가하지 않았을 때의 색강도를 Figure 9에 비교하여 나타내었다.

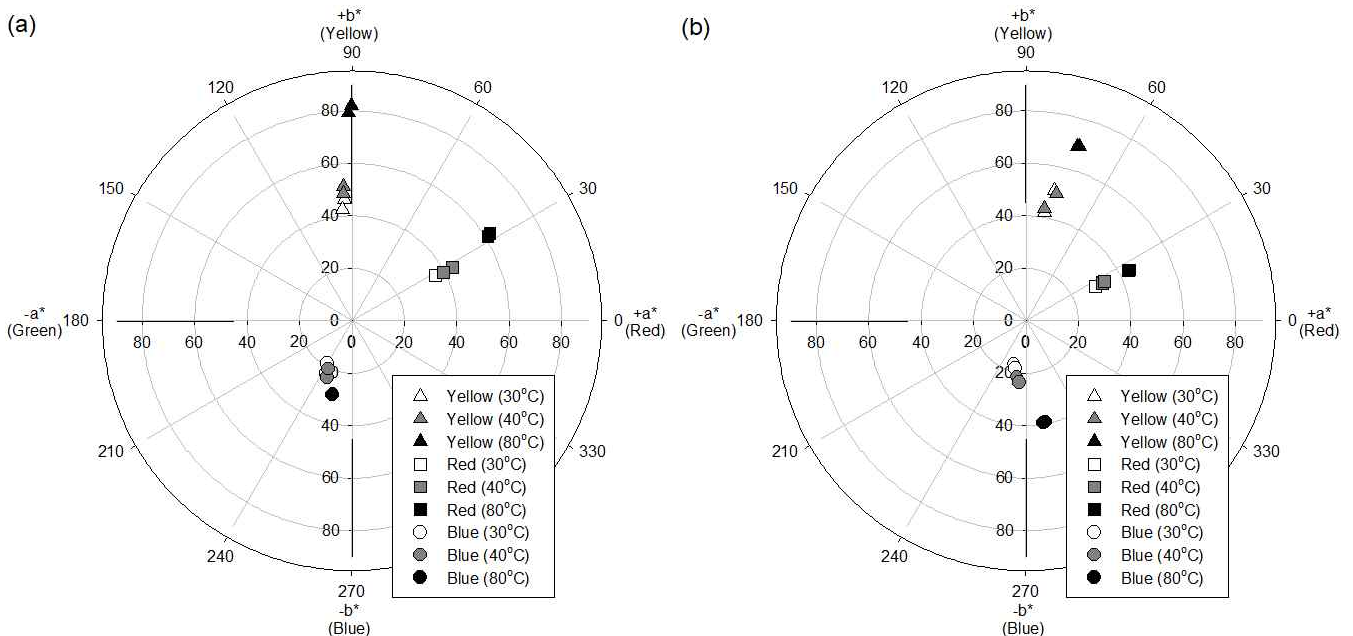
실험 결과 반응성 염색에서는 같은 염색 온도 조건에서 균염제를 첨가하는 경우가 균염제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 대체로 색강도가 증가하는 반면, 산성 염색에서는 균염제 첨가시 오히려 색강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

**3.1.3 색 특성**

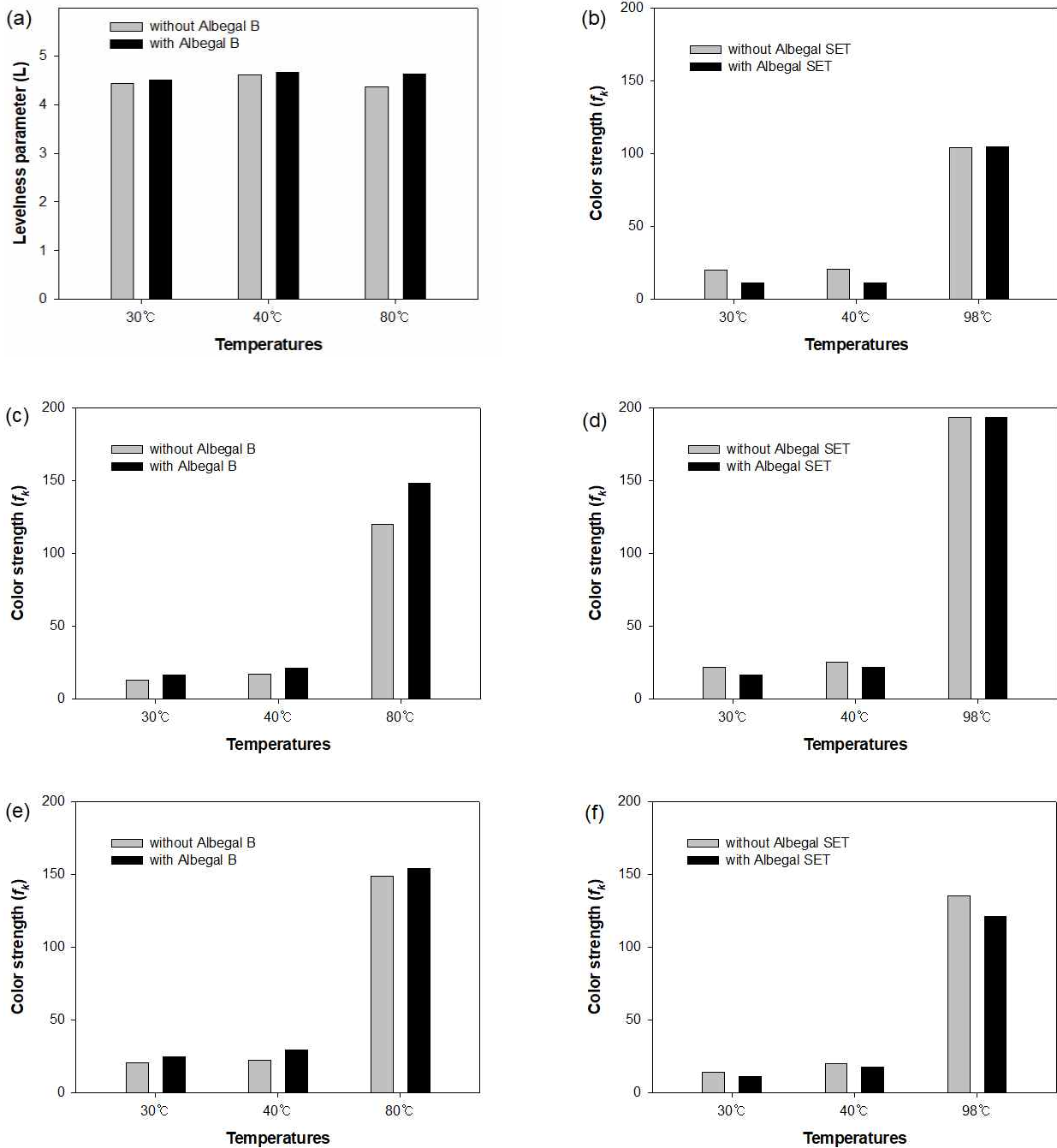
반응성 염색과 산성 염색한 양모의 색 특성을 CIELAB 색좌표계를 이용하여 Figure 10에 나타내었다.

반응성 염색과 산성염색 모두 Red와 Blue는 유사한 색상 각도(hue angle) 영역에 나타나는 반면 Yellow의 경우에는 다소 차이를 나타냈다.

반응성 yellow 염색은 90.0~90.6도 부근에 분포하는 반면 산성 yellow 염색은 73.0~81.0도 영역에 나타나 상대적으로 다소 Orange에 가까운 색상 특성을 나타내는 것으로 나타났으며 이는 Table 2에 나타난 결과와 일치하는 경향이다.



**Figure 10.** CIELAB color coordinates(a\* and b\*) of the dyed wool fibers with reactive dyes and acid dyes; (a) reactive dyeing, (b) acid dyeing.



**Figure 9.** Leveling agent effect on dyeing properties of wool fibers (2.0%*omf* dyeing); (a) yellow reactive dye, (b) yellow acid dye, (c) red reactive dye, (d) red acid dye, (e) blue reactive dye, (f) blue acid dye.

채도를 비교해 보면 반응성 염색이 산성 염색에 비해 대체로 유사하거나 높은 채도를 나타냈으며 염색 온도가 높을수록 높은 채도에 도달하였다. 색상별로는 Yellow가 가장 높고 Red가 중간, 그리고 Blue 가장 낮은 값을 보였다(Table 3, Figure 11).

### 3.2 염색의 균염성

반응성 염색과 산성 염색에서의 균염제 첨가 여부에 따른 균

염성을 비교 평가한 결과를 Figure 12에 나타내었다.

균염성 파라미터(L)은 통상적인 견뢰도 등급과 마찬가지로 최대 5.0의 값을 가지며 5.0의 값에 근접할수록 우수한 균염성을 나타낸다. 균염성은 대체로 4.5~5.0의 값을 나타냄으로써 염색 온도 및 염료의 종류에 상관없이 대체로 우수한 결과를 나타내었다. 다만, 실험실 규모의 염색 조건에서 염색 시험인 관계로 큰 차이는 아니지만, 균염제를 사용한 경우가 균염제를 사용하지

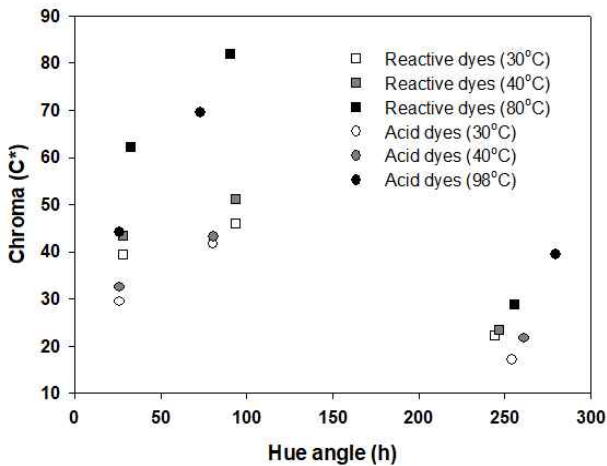


Figure 11. Chroma values(C\*) of the dyed wool fibers with reactive dyes and acid dyes.

지 않은 경우에 비해 약간 높은 균염성 값을 나타냄으로써 양 쪽성 계면활성제가 균염성 향상 측면에서 어느 정도 효과를 발휘하는 것으로 확인되었다. 또한, 염색 온도가 높은 경우가 균염성이 다소 낮은 결과를 나타냈는데, 이는 고온에서 많은 양의 염료가 흡진되면서 양모의 급격한 흡착으로 인해 염료의 균일한 분포가 이루어지지 않았기 때문으로 해석된다. 균염성 측

면에서의 양모의 반응성 염색과 산성 염색간의 유의미한 차이는 관찰되지 않았다.

### 3.3 삼푸에 대한 컬러 내구성

30°C와 40°C의 온도 조건에서 반응성 염료와 산성 염료로 각각 염색된 양모에 대해 5회의 삼푸를 실시하는 과정에서 탈색에 의한 색 강도 저하 정도를 비교 평가하였다(Figure 13).

Reactive Yellow 염료와 Acid Blue 염료를 제외하고는 모두 첫 번째 삼푸 후 색 강도 저하가 가장 크게 나타났고 이후 2회~5회까지는 색 강도 저하가 크지 않았다. 반응성 염색의 경우 색강도 감소율이 9.6~22.2%로 나타난 반면 산성 염색의 경우 색강도 감소율이 -7.4~31.5%로 더 큰 폭의 변화를 나타냈다. Reactive Yellow 염료는 5회의 삼푸 과정에서 점진적인 소폭의 저하를 보이며 삼푸에 대한 내구성이 우수한 결과를 나타내었다. 특히, Acid Blue 염료의 경우에는 삼푸 후 색 강도가 저하되지 않고 오히려 약간 증가하는 결과를 나타냈다.

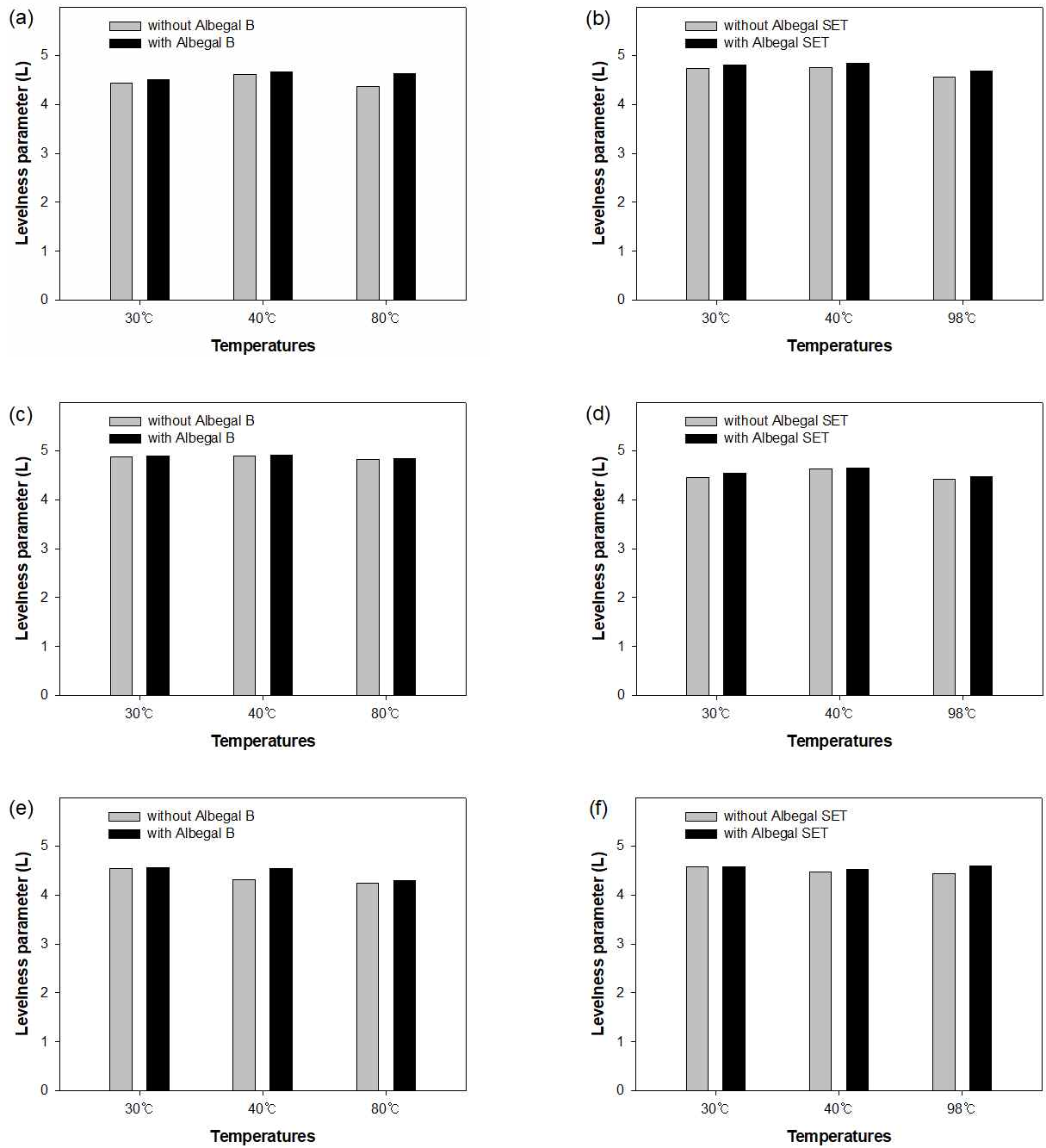
## 4. 결 론

이번 연구에서는 섬유산업에서 양모 섬유 염색에 사용하고 있는 반응성 염료와 산성 염료를 사용하여 저온에서의 양모의 염색성과 삼푸에 대한 색 내구성을 비교해 봄으로써 이들 염료

Table 3. Colorimetric data and visual appearance of dyed wool fibers with reactive dyes and acid dyes

Dyes	Temp.	L*	a*	b*	C*	hab	Color on wool fibers	
Reactive dyes	Yellow	30°C	83.50	-2.87	46.05	46.14	93.57	Light yellow
		40°C	82.93	-3.19	51.21	51.31	93.57	Light yellow
		80°C	80.54	-0.05	82.05	82.05	90.04	Vivid yellow
	Red	30°C	65.48	34.79	18.53	39.41	28.05	Deep pink
		40°C	62.71	38.38	20.23	43.38	27.79	Deep pink
		80°C	43.13	52.65	33.21	62.25	32.24	Strong red
	Blue	30°C	54.13	-9.8	-19.99	22.26	243.89	Moderate greenish blue
		40°C	51.84	-9.3	-21.68	23.59	246.78	Moderate blue
		80°C	30.42	-7.32	-28.04	28.98	255.38	Dark blue
Acid dyes	Yellow	30°C	78.90	6.94	41.11	41.7	80.41	Moderate orange yellow
		40°C	79.62	6.92	42.59	43.15	80.77	Moderate orange yellow
		98°C	61.79	20.25	66.52	69.54	73.07	Deep orange yellow
	Red	30°C	62.78	26.51	12.94	29.50	26.02	Dark pink
		40°C	59.17	29.19	14.3	32.51	26.1	Deep pink
		98°C	32.30	39.68	19.37	44.15	26.02	Dark red
	Blue	30°C	63.89	-4.68	-16.5	17.16	254.17	Pale blue
		40°C	57.84	-3.38	-21.43	21.69	261.03	Light blue
		98°C	32.25	6.61	-38.96	39.51	279.63	Strong blue





**Figure 12.** Leveling agent effect on leveling properties of wool fibers(2.0%omf dyeing); (a) yellow reactive dye, (b) yellow acid dye, (c) red reactive dye, (d) red acid dye, (e) blue reactive dye, (f) blue acid dye.

의 염모제로서의 적용 가능성을 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 반응성 염료와 산성 염료 모두 통상적인 염색 온도 조건에서 염색한 경우에 비해 30°C와 40°C에서의 염색성은 낮은 수준이었으나 육안으로 보기에 파스텔 톤 수준의 염색이 가

능한 것을 확인할 수 있었다. 40°C 염색 조건에서의 반응성 염료가 yellow와 blue에서 산성 염료보다 다소 높은 색강도를 나타내었다.

2. 균염제 첨가 여부에 따른 색강도 비교 결과 반응성 염색에서는 같은 염색 온도 조건에서 균염제를 첨가하는 경우가 균염제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 대체로 색강도가

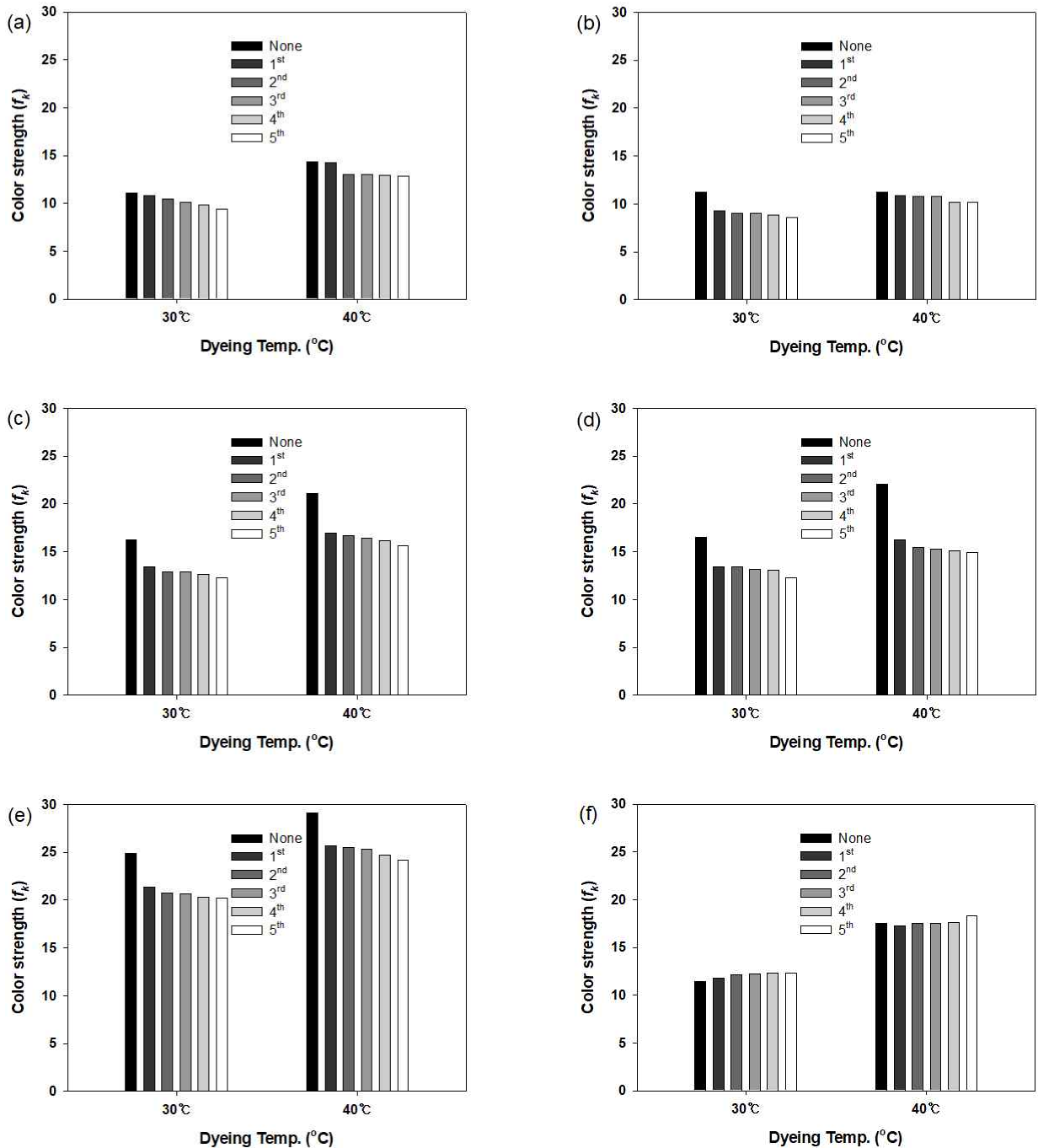


Figure 13. Color fastness to repeated shampooing of dyed wool fibers; (a) yellow reactive dye, (b) yellow acid dye, (c) red reactive dye, (d) red acid dye, (e) blue reactive dye, (f) blue acid dye.

증가하는 반면, 산성 염색에서는 균염제 첨가시 오히려 색강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 반응성 염색을 한 경우가 산성 염색을 한 경우에 비해 대체로 유사하거나 다소 높은 채도를 나타냈으며 염색 온도가 높을수록 높은 채도에 도달하였다.

4. 균염성은 대체로 4.5~5.0의 값을 나타냄으로써 염색 온도 및 염료의 종류에 상관없이 대체로 우수한 결과를 나타내었다. 균염제를 사용한 경우가 균염제를 사용하지 않은 경우에 비해 약간 높은 균염성 값을 나타냄으로써 양쪽성 계면활성제가 균염성 향상 측면에서 어느 정도 효과를 발휘하는 것

으로 확인되었다. 균염성 측면에서의 양모의 반응성 염색과 산성 염색간의 유의미한 차이는 관찰되지 않았다.

- 30°C와 40°C의 온도 조건에서 반응성 염료와 산성 염료로 각각 염색된 양모에 대해 5회의 샴푸를 실시하는 과정에서 탈색에 의한 색 강도 저하 정도를 비교한 결과 대 부분 첫 번째 샴푸 후 색 강도 저하가 가장 크게 나타났고 이후 2회~5회까지는 색 강도 저하가 크지 않았다. 샴푸에 대한 내구성이 평가 결과, 반응성 염료중에는 Lanazol Yellow 4G, 산성 염료중에는 Lanaset Blue 2R이 각각 가장 우수한 결과를 나타내었다. 샴푸에 대한 내구성 측면에서는 반응성 염색과 산성 염색 간의 유의미한 차이는 관찰되지 않았다.

이상과 같이 섬유산업에서 양모 섬유의 염색에 사용하고 있는 반응성 염료와 산성 염료 저온 염색성과 샴푸에 대한 색 내구성을 시험해 본 결과 반영구 염모제로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 다만, 실제 모발에 적용하기 위해서는 염색 조제 사용이나 열처리 방법 등에 의한 색강도 개선 연구와 더불어 인체 유해성 평가 및 상업화를 위한 염색용 제제 포مول레이션 개발 등이 추가적인 연구 과정이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0012770, 2020년 산업혁신인재성장지원사업).

### References

- E. B. Kim and S. N. Lim, Hair Changes with the Use of Mist during Hair Bleaching, *Textile Coloration and Finishing*, **30**(4), 304(2018).
- C. R. Robbins, "Chemical and Physical Behavior of Human Hair", Springer-Verlag, USA, pp.233-261, 2001.
- C. Boga, C. Delpivo, B. Ballarin, M. Morigi, S. Galli, G.Micheletti, and S. Tozzi, Investigation on the Dyeing Power of Some Organic Natural Compounds for a Green Approach to Hair Dyeing, *Dyes and Pigments*, **97**(1), 9(2013).
- P. Boonsong, N. Laohakunjit, and O. Kerdchoechuen, Natural Pigments from Six Species of Thai Plants Extracted by Water for Hair Dyeing Product Application, *J. of Cleaner Production*, **37**, 93(2012).
- C. Jung, Y. Shin, and D. I. Yoo, Expansion of Color Space in Hair Dyeing by Using Mixed Natural Colorants and Mordanting Technique, *Textile Coloration and Finishing*,

- 29**(4), 268(2017).
- D. M. Lewis, "Wool Dyeing", Society of Dyers and Colourists, UK, pp.222-253, 1992.
- J. S. Church, A. S. Davie, P. J. Scammells, and D. J. Tucker, Chemical Interactions of  $\alpha$ -bromoacrylamide Reactive Dyes with Wool, *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, **29**, 85(1999).
- W. Baumann, B. T. Groebel, M. Krayner, 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, *J. Soc. Dyers Colour.*, **103**, 100(1987).
- J. H. Nobbs, Kubelka-Munk Theory and the Rediction of Reflectance, *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, **15**, 66(1985).
- Y. Yang and S Li, Instrumental Measurement of the Levelness of Textile Coloration, *Textile Chemist and Colorist*, **25**(9), 75(1993).
- J. Koh, G Sim, and J. Kim, pH Control in the Dyeing of Polyamide with Acid Dyes, *Coloration Technology*, **117**, 156(2001).
- A. K. R. Choudhury, "Textile Preparation and Dyeing", Science Publishers, USA, pp.675-676, 2006.

### Authors

<b>채다운</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 석사과정 학생
<b>이은교</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 석사과정 학생
<b>김예원</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 석사과정 학생
<b>서동완</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 석사과정 학생
<b>오나현</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 석사과정 학생
<b>고준석</b>	건국대학교 유기나노시스템공학과 교수