

효모를 사용한 친환경 인디고 염색: 알칼리수용액 종류에 따른 환원력

Eco-friendly Indigo Dyeing using Baker's Yeast: Reducing Power according to Alkaline Solution Type

*Corresponding author

Younsook Shin
(yshin@jnu.ac.kr)

손경희, 신윤숙*

전남대학교 의류학과

Kyunghee Son and Younsook Shin*

Department of Clothing and Textiles/Human Ecology Research Institute, Chonnam National University, Gwangju, Korea

Received_November 21, 2019
Revised_December 06, 2019
Accepted_December 11, 2019

Abstract Baker's yeast(*Saccharomyces cerevisiae*) was used as a biocatalyst for eco-friendly indigo dyeing and the reducing power of yeast according to the alkaline solution type was compared. NaOH solution, lye, and buffer solution were used as alkaline solutions. The reducing power(K/S value, oxidation/reduction potential(ORP), pH) was monitored according to the elapsed time including the initiation of reduction, peak reduction, and the end of reduction. In all alkaline solutions, it was confirmed that yeast can be used reducing agent in indigo reduction dyeing. The pH stability and reducing power of buffer solution was better than that of NaOH alone. Although, pH and ORP stability of the reduction bath in lye were better than that of buffer solution, K/S value in buffer solution was higher compared to lye. The reducing power was different depending on the starting pH of the dye bath, and it was better when starting at pH 10.70 than at pH 11.30. Fastnesses to washing, rubbing, and light were relatively good with above rating 4. There was no significant difference in colorfastness depending on the type of alkaline solutions.

Textile Coloration and Finishing

TCF 31-4/2019-12/249-257

©2019 The Korean Society of Dyers and Finishers

Keywords baker's yeast(*Saccharomyces cerevisiae*), indigo reduction dyeing, alkaline solution, reducing power, colorfastness

1. 서 론

최근 친환경을 넘어 '필환경' 시대를 지향하는 소비 트렌드의 변화로 친환경염색에 대한 관심도 함께 증가하고 있다. 청색계열의 염료로 가장 중요한 인디고염료는 데넵과 진을 위한 면사 염색용으로 가장 많이 사용되고 있다^{1,2)}. 인디고염료는 분자구조 내의 카르보닐기를 지닌 불용성 인디고를 류코 인디고 형태로 바꾸는 환원과정이 필요하다. 류코 인디고는 알칼리 용액 중에 용해하여 섬유에 흡착되고 공기산화에 의해 처음의 불용성 착색화합물로 발색 전환 된다³⁾. 현재 산업적으로 sodium dithionite($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)와 같은 화학적 환원제

사용이 일반적이거나, 사용 과정에서 발생한 부산물이 환경과 인체에 매우 유해함은 잘 알려져 있다⁴⁾. 이를 대체하기 위한 친환경적인 환원공정으로 전기촉매에 의한 환원^{5,6)}, 환원당을 이용한 환원⁷⁻¹⁰⁾ 등이 연구되었으나 실용화를 위한 기술적인 난관들을 극복하지 못하고 있다. 환원당을 이용하는 경우에는 높은 염착량을 얻기 위해 강한 알칼리와 높은 온도 조건이 필요하다. 최근에는 미생물을 사용한 생물학적 환원으로 효소를 이용한 환원^{11,12)}, 박테리아 환원¹³⁻¹⁵⁾이 많은 주목을 받고 있다. 이들은 일상적인 온도에서 사용 가능하고 부산물을 발생시키지 않는 장점을 지닌다.

효모는 효소의 주된 source로 가장 널리 이용되고

있는 미생물로, 오래전부터 맥주나 와인 같은 알코올 음료제조, 제빵, 자이리톨 및 에탄올 생산에 이용되어 왔다¹⁶⁻¹⁸. 효모균주 *Saccharomyces cerevisiae*는 카르보닐기의 환원을 촉진시키는 aldo-keto reductase를 생산하는 것으로 알려져 유기합성의 환원반응에 biocatalyst로 이용되고 있다¹⁹⁻²¹. 한국의 전통적인 인디고 염색에서 발효 촉진을 위해 막걸리, 식혜, 단술 등이 사용된 것도 효모의 환원작용을 활용한 사례로 볼 수 있다²². 이에 주목하여 우리는 효모가 인디고 환원에 적용될 수 있는지 여부를 연구하였다. 막걸리와 제빵용 효모로부터 배양한 *Saccharomyces cerevisiae* 균주가 인디고에 작용하여 높은 환원력을 보임을 확인하였으며, 제빵용 효모로부터 얻은 균주의 환원력이 막걸리로부터 얻은 균주의 환원력보다 좀 더 우수함을 알았다²³.

인디고염색에 최대착색력을 주는 중요 요인 중의 하나는 알칼리이다. 인디고 염색은 환원상태가 유지되어 알칼리-류코 화합물이 안정된 상태에 있어야 한다²⁴. 선행연구에서도 환원조건들 중 pH가 최대환원력 구현에 매우 중요한 인자임을 확인하였다²³. 인디고 염색에 일반적으로 사용되고 있는 알칼리수용액은 sodium hydroxide, potassium hydroxide, calcium hydroxide, sodium carbonate, aqueous alkali metal salt, 그리고 buffer solution 등이다^{6,11,15,25,26}. 알칼리수용액 종류에 따라 효모의 인디고 환원력에 차이를 보일 것으로 여겨지나, 아직까지 알칼리수용액 종류에 따른 환원력을 검토한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 친환경 천연인디고 염색을 위해 biocatalyst로서 효모균주 대신 취급이 편리한 baker's yeast(*Saccharomyces cerevisiae*)를 환원제로 사용하였다. 또한 염색 pH의 안정성을 유지하기 위해 알칼리를 NaOH 수용액 이외에 전통적인 발효에 사용하고 있는 잣물, 그리고 NaHCO₃, Na₂HPO₄, NaOH로 제조한 완충용액을 사용하였고 알칼리수용액에 따른 효모의 인디고 환원력을 비교하였다. 완충용액을 사용한 경우에는 시작 pH에 따른 환원력도 살펴보았다. 환원력은 염색의 상등액으로 염색한 마직물의 표면염착량(K/S value)을 측정하여 정량적으로 평가하였고, 산화/환원전위(oxidation/reduction potential, ORP)와 pH도 함께 모니터링 하였다. 또한 각 알칼리 수용액에서 최대염착량을 지닌 시료들의 염색건뢰도를 살펴보았다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

Baker's yeast는 시중에 판매되는 제품들 중 건조효모 성분이 100%인 제품(Active Dry Yeast, Ottogi Co., Ltd, Korea)을 구매하여 사용하였다. 천연 인디고는 인도 및 남미 등에서 사용해온 *Indigofera tinctoria*로부터 추출된 분말 형태를 구입하여 사용하였다. 염색에 사용한 시료는 정련 표백된 100% 마직물(ramie)로, 그 특징은 Table 1과 같다.

알칼리수용액 제조에 사용한 sodium hydroxide (NaOH, Duksan Pure Chemicals, Korea), sodium bicarbonate(NaHCO₃, Duksan Pure Chemicals, Korea), 그리고 sodium phosphate dibasic anhydrous(Na₂HPO₄, Duksan Pure Chemicals, Korea)는 1급 시약을 그대로 사용하였다. 잣물은 콩대를 태운 재에 끓는 물을 여과시켜 pH 10.71의 용액을 얻었다. 염색한 직물의 중화에는 acetic acid(CH₃COOH, Daejung Chemicals and Metals Co., Ltd, Korea) 시약 1급을 사용하였다.

2.2 인디고 환원액 준비

환원액은 알칼리수용액 100mL에 인디고 1g과 baker's yeast 2g을 넣고 32°C의 인큐베이터에서 반응시켰다. 환원액 제조에 사용된 알칼리수용액은 1) NaOH 수용액(pH 11.35), 2) 완충용액(pH 10.70, pH 11.30), 그리고 3) 잣물(pH 10.71)이다. pH 10.70 완충용액은 NaHCO₃/NaOH 버퍼링 시스템으로, pH 11.30 완충용액은 Na₂HPO₄/NaOH 버퍼링 시스템으로 제조하였다.

먼저 100mL 용량의 뚜껑 있는 유리용기에 알칼리수용액 50mL를 넣고 인디고를 첨가한 후 인디고가 용액 내에서 고르게 분산되도록 볼텍스로 교반(2000rpm/30sec)하였다. 그리고 알칼리수용액 50mL에 과립상태의 baker's yeast가 완전히 용해되도록 교반한 후 인디고가 첨가되어 있는 용기에 혼합하였다. 두 용액이

Table 1. Characteristics of the ramie fabric used

Weave	Density (w×f/5cm ²)	Weight (g/m ²)	Thickness (mm)
Plain	118 × 90	118	0.32

잘 섞이도록 볼텍스로 교반(2000rpm/30sec)하고, 32℃의 인큐베이터에 넣어 반응시켰다.

2.3 환원특성 평가

환원특성 평가를 위해 반응개시일을 0일로 하여 하루에 한번씩 염욕의 pH와 ORP를 측정하고 마직물을 염색하였다. 염색 후에는 침전된 인디고가 균일하게 혼합되고 환원반응이 촉진되도록 염액을 잘 교반하여 주었다. 환원특성의 모니터링은 환원욕이 비활성화 될 때까지 하였으며, 환원특성을 측정하는 동안을 제외하고는 항상 용기의 뚜껑을 닫아 공기의 유입을 차단하였다.

pH와 ORP는 전극센서(InPro 3250i, Mettler-Toledo Co., Switzerland)와 계측기(M300 process, Mettler-Toledo Co., Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 전극이 환원액의 중앙에 위치하도록 하고 충분한 시간을 기다려 변화가 없을 때의 값을 기록하였다.

염색은 환원용액의 상등액에 마직물 0.5g을 넣고 뚜껑을 닫은 상태로 20분간 침지시킨 후 꺼내어 공기 중에서 충분히 산화시켰다. 산화된 직물은 0.1%(w/w) 아세트산 용액에서 10분 동안 중화시키고 수세, 건조하였다.

Baker's yeast의 인디고에 대한 환원력은 염색한 직물의 최대흡수파장에서의 염착량(K/S value)을 측정하여 정량적으로 평가하였다. K/S 값은 색차계(Color-eye 3100, Macbeth, USA)를 이용하여 D65 광원, 10° 시야 조건에서 측정하였다.

2.4 염색건뢰도 평가

세탁건뢰도는 세탁기헐기(Laundry-O-Meter,

Hanwon Soway Co., Ltd, Korea)를 사용하여 AATCC Test Method 61-1989 1A에 따라 40℃에서 45분간 세탁한 후, 변퇴색 판정용 그레이 스케일(gray scale)과 이염 판정용 스케일(chromatic transference scale)을 사용하여 평가하였다.

마찰건뢰도는 마찰건뢰도시험기(Crockmeter, DacLim Engineering, DL-2007, Korea)를 사용하여 AATCC Test Method 8-1989에 따라 건조 및 습윤상태에서 10초에 10회(하중 900g/1.5φ cm) 마찰시킨 후 오염판정용 스케일을 사용하여 평가하였다.

일광건뢰도는 AATCC Test Method 16-2004 Option 3에 준하여 Xenon Test Chamber(Q-SUN, Xe-1-B, Q-panel lab Products, USA)를 사용하여 20시간 광조사후 그레이 스케일을 사용하여 등급을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 NaOH 수용액과 완충용액을 사용한 경우의 환원력 (pH 11.30~11.35)

NaOH 수용액(pH 11.35)과 Na₂HPO₄/NaOH 완충용액(pH 11.30)에 인디고와 baker's yeast를 첨가하여 경과일에 따른 환원력을 측정하였다.

Figure 1은 경과일에 따른 K/S 값, ORP, 그리고 pH의 모니터링 결과이다. 그리고 환원개시일, 최대염착일, 환원종료일에서의 환원특성과 환원유지력을 비교하여 Table 2에 나타내었다.

K/S 값의 경우, 알칼리액 종류에 상관없이 증가를 보이다가 최대염착량을 보인 후에는 감소하는 경향이

Table 2. Comparison of reducing activity of baker's yeast in NaOH(pH 11.35) and buffer(pH 11.30) solutions

Reduction	Solution	K/S value(day)	ORP(mV)	pH	Duration(day*)
Start	NaOH	0.44(3)	-565	10.03	-
	Buffer	0.38(5)	-555	10.39	-
Peak	NaOH	12.75(6)	-575	8.88	-
	Buffer	14.68(11)	-571	9.31	-
End	NaOH	1.65(10)	-438	6.64	8
	Buffer	1.30(18)	-488	8.07	14

*elapsed time

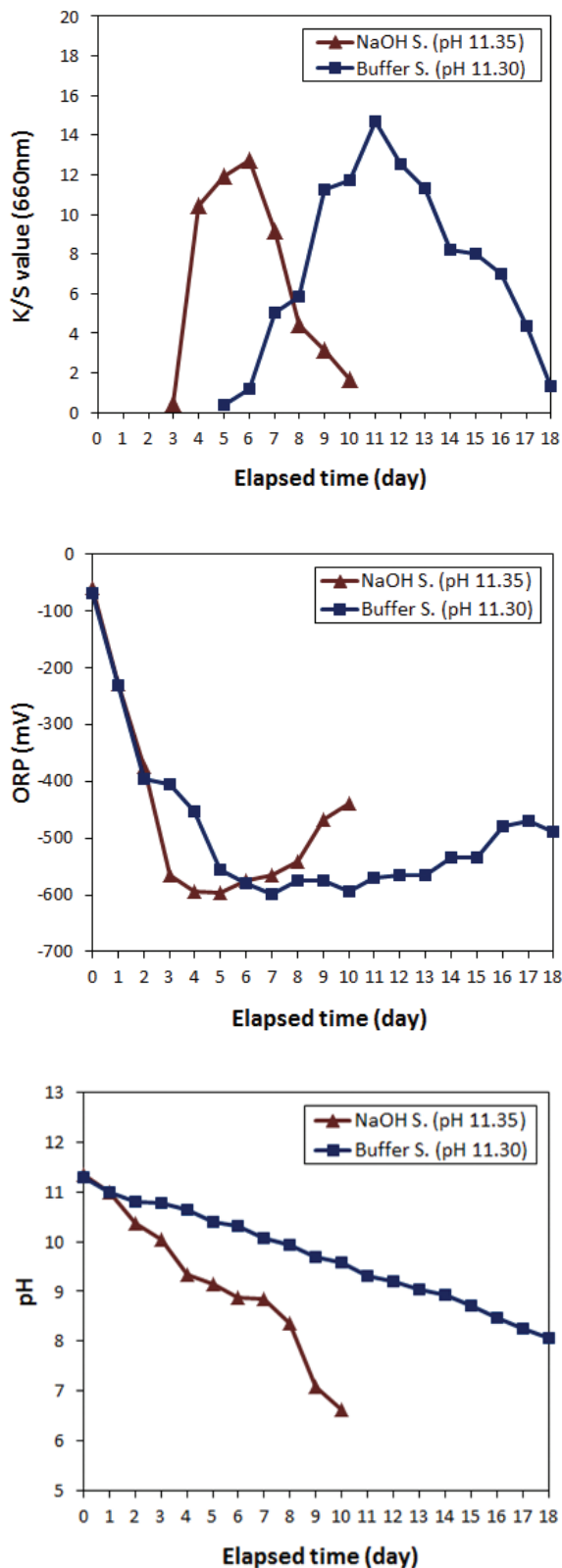


Figure 1. Change of K/S value, ORP, and pH according to the elapsed time using NaOH(pH 11.35) and buffer(pH 11.30) solutions.

었다. 제빵용 효모에는 카르보닐기를 히드록실기로 상당히 높은 수율로 환원시킬 수 있는 효소가 포함되어 있다²¹⁾. 즉, 불용성 인디고가 효모 안의 효소가 생산한 *aldo-keto reductases* 영향으로 수용성 인디고로 환원되어 염색이 되었음을 알 수 있다. 환원의 정도는 알칼리액 종류에 따라 차이를 보였다. NaOH 수용액을 사용한 염욕은 3일째부터 염색되기 시작하여 6일째 최대염착량을 보였고 10일째 환원이 종료되어 8일 동안 환원력이 유지되었다. 완충용액을 사용한 염욕은 5일째부터 염색되기 시작하여 11일째 최대염착량을 보였고 18일째 환원이 종료되어 14일 동안 환원력이 유지되었다. 즉, 환원개시는 NaOH 수용액에서 2일 더 빨리 나타났으나, 최대염착량은 완충용액을 사용한 경우가 14.68로 NaOH 수용액을 사용한 경우(K/S 값 12.75)보다 더 높은 환원력을 나타내었으며, 환원유지일도 완충용액을 사용한 경우가 6일정도 더 길었다. 모든 경과일에서의 염착량을 고려하여, K/S 값 4 미만은 담색, K/S 값 4이상과 12미만은 중색, 그리고 K/S 값 12 이상은 농색으로 보았을 때, 완충용액을 사용한 경우에 더 많은 중색 샘플을 얻을 수 있었다.

ORP의 경우 초기에는 급격한 감소를 보였으며, NaOH 수용액은 3일째에, 완충용액은 5일째에 -550mV 이하로 감소하였다. 이 경과일은 각 알칼리수용액에서 환원염색이 시작된 경과일과 동일하다. 즉 전압이 -550mV 부근까지 감소하면서 환원염색이 시작되었음을 알 수 있다. ORP는 용액의 산화/환원전위를 나타내는 것으로 용액의 환원상태를 알 수 있는 중요한 인자이다²⁷⁾. 즉, baker's yeast를 사용한 천연인디고 (*Indigofera tinctoria*)환원에서 환원이 개시되기 위해서는 $-555\sim-565\text{mV}$ 정도의 산화환원전위가 필요함을 알 수 있다. 박테리아 균주를 사용한 천연인디고 (*Polygonum tinctorium*)의 환원에서는 환원개시에 $-500\sim-540\text{mV}$ 의 산화환원전위가 소요되었다¹⁵⁾. 환원염색이 개시된 후에도 ORP는 계속 감소하여 각각 -596mV (NaOH 수용액), -599mV (완충용액)까지 감소하다가 조금씩 증가하여 환원종료 시점에서는 -438mV (NaOH 수용액), -488mV (완충용액)까지 증가하였다. 최저 ORP 값을 보인 이후에는 환원유지일이 더 짧았던 NaOH 수용액의 ORP 값의 상승 폭이 더 컸다. Baker's yeast의 환원제 역할로 반응초기에 전압의 감소가 매우 크게 나타났으며, 이후에도 지속적인

로 환원상태가 유지되다가 환원완료 시점으로 갈수록 전압이 점차 증가함을 알 수 있다. 단, 최대환원력을 보인 경과일에서의 ORP는 -575mV와 -571mV로 최저 전압에서 최대염착량이 얻어지지 않는 것이다.

염욕의 pH는 알칼리액 종류에 상관없이 1일 경과 후에 pH 4.98~5.75까지 크게 감소하였다. 배트염료는 NaOH농도가 너무 낮아지면 염료분자에 변화가 생겨 침전 또는 분자 내 전위가 일어나 염욕을 사용할 수 없게 된다²⁴⁾. 즉, 인디고 환원은 알칼리 조건에서 발생하므로 환원 욱의 pH가 너무 낮으면 환원 반응이 일어나지 않는다. 그러므로 두 수용액 모두 4M NaOH 수용액을 사용하여 pH를 11로 조절하였다. pH 조절 이후에도 모두 경과일에 따라 지속적인 pH 감소를 보였다. pH 값의 점진적 감소는 효모가 대사 과정에서 유기산을 생성함을 의미한다. 효모균주를 이용한 인디고 환원에서도 경과일에 따라 지속적인 pH 저하가 관찰되었다^{23,28)}. 최대환원력을 보인 경과일에서의 pH는 각각 8.88(NaOH 수용액), 9.31(완충용액)이었고, 최종환원일에서의 pH는 각각 6.64(NaOH 수용액), 8.07(완충용액)로, NaOH 수용액을 사용한 염욕에서 pH 감소 정도가 더욱 큼을 알 수 있다. 이는 완충용액에 비해 단독으로 NaOH만 사용한 경우에는 pH 안정성이 부족하여 더 많은 알칼리가 소모되었기 때문으로 생각된다.

Etters는 수산화나트륨의 사용량을 조절하는 단순한 방법이 아닌 완충능력이 충분한 알칼리 시스템을 사용하는 것이 인디고 염색의 품질관리에 중요한 요인이라 하였다^{29,30)}. 즉, 완충용액을 알칼리수용액으로 사용하는 경우에는 그 구성성분의 평형 때문에 특정 pH를 유지하는 능력이 커서 인디고 환원에 상승효과를 부여할 것으로 생각된다.

이로부터, pH 11.30~11.35부근의 알칼리수용액에서 baker's yeast를 사용하여 인디고를 환원염색하는 경우, NaOH 수용액을 단독으로 사용하는 것보다는 완충용액을 사용하는 것이 pH 안정성이 더 우수하고 환원력도 더 좋음을 확인하였다.

3.2 잿물과 완충용액을 사용한 경우의 환원력 (pH 10.70~10.71)

잿물(pH 10.71)과 NaHCO₃/NaOH 완충용액(pH 10.70)을 사용하여 baker's yeast에 의한 인디고환원을 행하였다.

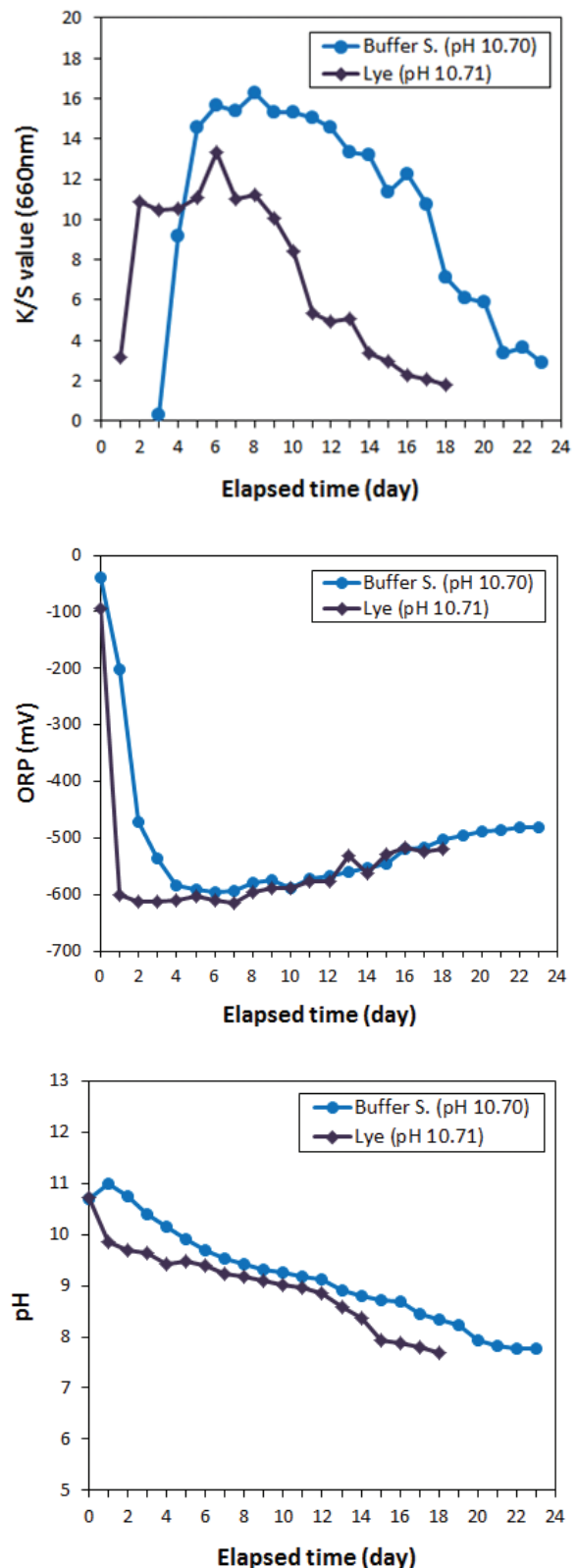


Figure 2. Change of K/S value, ORP, and pH according to the elapsed time using lye(pH 10.71) and buffer(pH 10.70) solutions.

Figure 2는 경과일에 따른 K/S 값, ORP, 그리고 pH의 모니터링 결과이다. 알칼리수용액 종류에 상관 없이 시간이 경과함에 따라 K/S 값은 최고점까지 증가하고 그 후 천천히 감소하였다. 전압은 환원초기에 급격히 감소하였고 최대염착량을 보인 1~2일 이후부터는 점차 완만한 증가를 보였다. pH 값은 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소하였다.

젯물을 사용하는 경우, 1일째부터 -600mV 이하의 전압을 보이면서 환원염색 되기 시작하였으며 9일째까지 10이상의 높은 K/S 값을 유지하다가 18일째에 환원이 종료되었다. 완충용액을 사용한 경우에는, 3일째에 전압이 -500mV 이하로 감소되면서 환원염색이 개시되어 4일째부터 9이상의 K/S 값을 보였고 17일째까지 10이상의 K/S 값을 유지하다가 23일째에 환원이 완료되었다. 환원개시는 완충용액에서보다 젯물에서 더 빨리 나타났으나 5일째부터는 완충용액에서의 환원력이 더 높게 나타남을 알 수 있다. 완충용액은 1일째부터 pH가 6.11로 크게 감소하여 11로 조절하였으나, 젯물은 초기의 급격한 pH 감소 없이 환원이 진행됨에 따른 pH 감소만 나타나 완충용액에 비해 pH가 매우 안정적임을 알 수 있었다. 젯물을 사용한 경우에는 대부분 K/S 값 4~12 정도인 중색 샘플이 많이 얻어졌고, 완충용액을 사용한 경우에는 중색과 함께 K/S 값 12 이상의 농색 샘플도 많이 얻어졌다.

젯물(pH 10.71) 및 완충용액(pH 10.70)을 사용한 인디고 환원에서 환원개시일, 최대염착일, 그리고 환원종료일에서의 환원특성과 환원유지력을 비교하여 Table 3에 나타내었다. 젯물을 사용하는 경우는 1일째부터 좀 더 빠르고 활발하게 환원반응이 시작(K/S 값

3.15)된 반면, 완충용액에서는 3일 후에 천천히 그리고 약하게 환원반응이 시작(K/S 값 0.27)되었다. 젯물에서의 최대염착량은 6일째에 K/S 값 13.30이었고, 완충용액에서의 최대염착량은 8일째에 K/S 값 16.26이었다. 완충용액을 사용한 환원욕이 최대염착량을 얻는데 시간은 더 소요되었으나 환원력은 더 높게 나타났으며, 환원유지력도 젯물에서보다 완충용액에서 3일 정도 더 길게 유지되었다.

따라서 pH 10.70 부근의 알칼리수용액을 사용하여 인디고를 환원염색하는 경우, 젯물 보다는 완충용액을 사용하는 것이 더 나은 환원력이 부여됨을 알 수 있었다.

pH 10.70 및 pH 11.30부근의 알칼리수용액 종류에 따른 천연인디고에 대한 효모의 환원력을 확인한 결

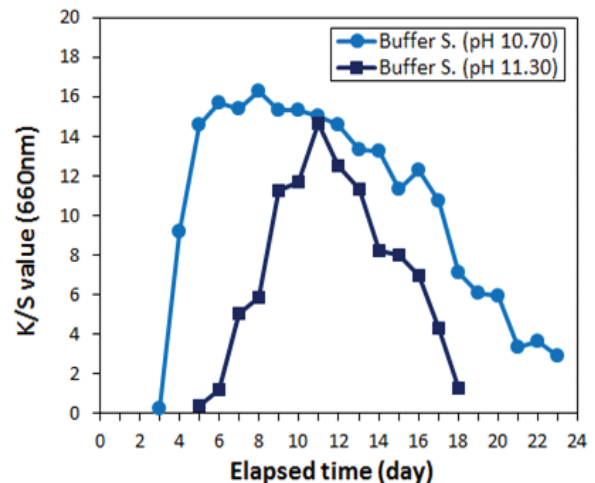


Figure 3. Change of K/S value according to the elapsed time using buffer solutions(pH 10.70, pH 11.30).

Table 3. Comparison of reducing activity of baker's yeast in lye(pH 10.71) and buffer(pH 10.70) solutions

Reduction	Solution	K/S value(day)	ORP(mV)	pH	Duration(day*)
Start	Lye	3.15(1)	-600	9.84	-
	Buffer	0.27(3)	-536	10.39	-
Peak	Lye	13.30(6)	-610	9.40	-
	Buffer	16.26(8)	-578	9.43	-
End	Lye	1.78(18)	-520	7.69	18
	Buffer	2.88(23)	-481	7.78	21

*elapsed time

Table 4. Colorfastness of fabrics with maximum dye uptake according to the alkaline solutions

Solution	K/S value	Washing			Rubbing		Irradiation (20hr)
		Color change	Stain		Dry	Wet	
			1st	2nd			
NaOH	12.75	4-5	5	5	4-5	4	4-5
Lye	13.30	4-5	5	5	4-5	4	4-5
Buffer(pH 11.30)	14.68	4-5	5	5	4-5	4	4-5
Buffer(pH 10.70)	16.26	4	5	5	4	4	4-5

과, 모두 완충용액을 사용한 경우의 환원력이 좀 더 우수하였다. 이에 완충용액을 알칼리수용액으로 사용한 경우, 시작 pH에 따른 환원력을 비교해보았다(Figure 3). pH 11.30의 염욕에서보다 10.70 염욕에서 환원개시가 2일 더 빠르고 최대염착량도 K/S 값 1.26정도 더 높았으며 환원유지력도 7일 더 길게 나타났다. pH 10.70 염욕에서는 초기 염착량 증가도 매우 커서 5일째 14.54의 K/S 값을 보였으며, 이는 11일째 보여진 pH 11.30 염욕의 최대염착량(K/S 14.68)과 비슷한 환원력이다. 전체적으로 모든 경과일에서 pH 10.70 염욕의 염착량이 pH 11.30 염욕에서보다 더 높음을 알 수 있다. 환원개시, 최대염착일, 그리고 환원종료일에서의 ORP와 pH 경향은 비슷하였다(Table 2~Table 3). 한편, pH 11.30 염욕에서는 대부분 중색 샘플이 얻어졌으며, pH 10.70 염욕에서는 중색과 농색 샘플을 고르게 얻을 수 있었다. 이로부터, 완충용액을 사용한 경우에도 환원액의 시작 pH에 따라 환원력이 다르게 나타나며, pH 11.30의 염욕보다는 pH 10.70에서 환원력이 더 우수함을 확인하였다.

3.3 염색견뢰도

알칼리수용액 종류를 달리하여 환원염색한 시료들 중 최대염착량을 지닌 직물들에 대한 염색견뢰도를 평가하여 Table 4에 나타내었다. NaOH 수용액, 잿물, 그리고 pH 11.30의 완충용액을 사용한 경우, 세탁견뢰도는 4-5등급(오염은 5등급), 건조시 마찰견뢰도는 4-5등급, 습윤시 마찰견뢰도는 4등급, 그리고 일광견뢰도는 4-5등급으로 매우 우수하였으며, 알칼리수용액 종류에 따른 견뢰도의 차이를 보이지 않았다. 한편, K/S 값이 16.26으로 가장 높은 시료인 pH 10.70 완

충용액을 사용한 경우에, 세탁견뢰도와 건조시 마찰견뢰도가 0.5등급씩 낮게 나타났다.

4. 결론

친환경 인디고 염색을 위해 생촉매로 baker's yeast를 사용하였고, 알칼리수용액 종류에 따른 효모의 환원력을 비교하였다. 알칼리수용액으로는 NaOH 수용액, 잿물, 그리고 완충용액을 사용하였으며 환원개시, 최대환원, 환원종료를 포함한 경과일에 따른 환원력(K/S 값, ORP, pH)을 모니터링 하였다. 또한 각 알칼리수용액에서 최대염착량을 지닌 시료들의 염색견뢰도를 평가하였다.

세 종류의 알칼리수용액 모두에서 효모를 사용한 인디고의 환원염색이 가능함을 확인하였다. NaOH를 단독으로 사용하는 것보다는 완충용액을 사용한 경우의 pH 안정성이 더 우수하였고 환원력도 더 높았다. 잿물을 사용한 경우에는 환원욕의 pH 및 ORP 안정성이 완충용액을 사용한 경우보다 더 좋았으나, 환원력(K/S 값) 측면에서는 완충용액을 사용하는 것이 더 효과적이었다. 또한, 환원염욕을 셋팅 할 때 시작 pH를 10.70로 하는 것이 pH 11.30에서보다 더 좋은 환원력을 나타내었다. 세탁, 마찰, 일광견뢰도 모두 4등급 이상으로 매우 우수하였으며, 알칼리수용액 종류에 따라 염색견뢰도에 유의한 차이는 보이지 않았다.

감사의 글

이 논문은 정부(MSIP)의 재원으로 한국연구재단(KRF)의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1

A2B4009555).

References

1. R. H. Clark, C. J. Cooksey, M. A. M. Daniels, and R. Withnall, Indigo, Woad, and Tyrian Purple: Important vat Dyes from Antiquity to the Present, *Endeavour*, **17**(4), 191(1993).
2. R. S. Blackburn, T. Bechtold, and P. John, The Development of Indigo Reduction Methods and Pre-reduced Indigo Products, *Color. Technol.*, **125**(4), 193(2009).
3. J. M. Lee and G. J. Kim, "Dyeing Chemistry", Hyungseol Publisher, Daegu, pp.346-348, 1996.
4. S. Park, J. Y. Ryu, J. Seo, and H. G. Hur, Isolation and Characterization of Alkaliphilic and Thermotolerant Bacteria that Reduce Insoluble Indigo to Soluble Leuco-indigo from Indigo Dye Vat, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, **55**(1), 83(2012).
5. A. Roessler, D. Crettenand, O. Dossenbach, W. Marte, and P. Rys, Direct Electrochemical Reduction of Indigo, *Electrochimica Acta*, **47**(12), 1989(2002).
6. A. Roessler, O. Dossenbach, and P. Rys, Electrocatalytic Hydrogenation of Indigo: Process Optimization and Scale-up in a Flow Cell, *J. Electrochemical Soc.*, **150**(1), D1(2003).
7. Y. Shin, A. Cho, and D. I. Yoo, Natural Indigo Dyeing by using Glucose Reduction, *J. of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **21**(3), 10(2009).
8. A. Vuorema, P. John, M. Keskitalo, M. A. Kulandainathan, and F. Marken, Electrochemical and Sono-electrochemical Monitoring of Indigo Reduction by Glucose, *Dyes Pigm.*, **76**(2), 542(2008).
9. A. Vuorema, P. John, M. Keskitalo, M. F. Mahon, M. A. Kulandainathan, and F. Marken, Anthraquinone Catalysis in the Glucose-driven Reduction of Indigo to Leuco-indigo, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **11**(11), 1816 (2009).
10. A. Vuorema, P. John, M. Keskitalo, and F. Marken, Electrochemical Determination of Plant-derived Leuco-indigo after Chemical Reduction by Glucose, *J. Appl. Electrochem.*, **38**(12), 1683(2008).
11. M. Božic, V. Kokol, and G. M. Guebitz, Indigo Dyeing of Polyamide using Enzymes for Dye Reduction, *Tex. Res. J.*, **79**(10), 895(2009).
12. M. Božic, M. Diaz-Gonzalez, T. Tzanov, G. M. Guebitz, and V. Kokol, Voltametric Monitoring of Enzyme-mediated Indigo Reduction in the Presence of Various Fibre Materials, *Enzyme Micro. Technol.*, **45**(4), 317 (2009).
13. S. Park, J. Y. Ryu, J. Seo, and H. G. Hur, Isolation and Characterization of Alkaliphilic and Thermotolerant Bacteria that Reduce Insoluble Indigo to Soluble Leuco-indigo from Indigo Dye Vat, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, **55**(1), 83(2012).
14. E. S. Choi, E. B. Lee, H. A., Choi, K. Son, G. J. Kim, and Y. Shin, Analysis and Enrichment of Microbial Community Showing Reducing Ability toward Indigo in the Natural Fermentation of Indigo-plant, *Kor. Soc. Biotech. Bioeng. J.*, **28**(5), 295(2013).
15. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Indigo Dyeing onto Ramie Fabric via Microbial Reduction: Reducing Power, Evaluation of Some Bacterial Strains Isolated from Fermented Indigo Vat, *Fiber Polym.*, **17**(7), 1000(2016).
16. J. S. Lee, E. H. Park, S. Y. Kwun, S. H. Yeo, and M. D. Kim, Optimization of Pretreatment of Persimmon Peel for Ethanol Production by Yeast Fermentation, *Korean J. Microbiol. Biotechnol.*, **42**(2), 202(2014).
17. <https://en.wikipedia.org/wiki/Yeast>, 2019.11.12.
18. X. Chen, Z. H. Jiang, S. Chen, and W. Qin, Microbial and Bioconversion Production of D-xylitol and its Detection and Application, *Int. J. Biol. Sci.*, **6**(7), 834(2010).
19. K. S. Kim, J. O. Park, B. H. Ryu, and H. S. Choi, Reduction of Nitro and Nitroso Compounds by Glucose and Baker's Yeast, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **11**(6), 623(1996).
20. Y. Lee and K. Kim, Selective Reduction by Microbial Aldehyde Reductase, *J. Life Sci.*, **16**(3), 375(2006).
21. R. Csuk and B. I. Glaenger, Baker's Yeast Mediated Transformations in Organic Chemistry, *Chem. Rev.*, **91**(1), 49(1991).
22. K. C. Jung, "Korean Traditional Indigo Dyeing", Natural Dyeing Culture Center Press, Naju, pp.96-101, 2014.

23. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Using *Saccharomyces cerevisiae* Strains as Biocatalyst for Indigo Reduction, *Fiber Polym.*, **20**(1), 80(2019).
24. N. S. Kim, "Dyeing Chemistry", Gyomoon Publishers, Seoul, pp.330-331, 1996.
25. M. Božic and V. Kokol, Ecological Alternatives to the Reduction and Oxidation Processes in Dyeing with Vat and Sulphur Dyes, *Dyes Pigm.*, **76**(2), 299(2008).
26. M. Božic, S. Pricelius, G. M. Guebitz, and V. Kokol, Enzymatic Reduction of Complex Redox Dyes using NADH-dependent Reductase from *Bacillus Subtilis* Coupled with Cofactor Regeneration, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **85**(3), 563(2010).
27. S. Y. Lee, J. M. Oh, M. H. Baik, and Y. J. Lee, Change of Oxidation/reduction Potetial of Solution by Metal-reducing Bacteria and Roles of Biosynthesized Mackinawite, *J. Miner. Soc. Korea*, **24**(4), 279(2011).
28. Y. Shin, K. Son, and D. I. Yoo, Development of Eco-friendly Reduction Process for Indigo Dyeing: Using *Hansenula misumaiensis* Strain, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(3), 237(2014).
29. J. N. Etters and M. Hou, Equilibrium Sorption Isotherms of Indigo on Cotton Denim Yarn: Effect of pH, *Tex. Res. J.*, **61**(12), 773(1991).
30. J. N. Etters, Advances in Indigo Dyeing: Implications for the Dyer, Apparel Manufacturer and Environment, *Tex. Chem. Color.*, **27**(2), 17(1995).

Authors

손경희 전남대학교 의류학과 시간강사
신윤숙 전남대학교 의류학과 교수