

미국 캘리포니아 San Joaquin Valley 농업관개수에서 회수한 Sodium Sulfate의 균염성 염료 조제로의 재활용

정 지 윤[†]

부산교육대학교 실과교육학과 전임강사

Reuse of Sodium Sulfate Recovered from Farm Drainage Salt of San Joaquin Valley in California, U.S.A. as Dyeing Builder of Levelling Dyes

Ji-yoon Jung

Full-time Instructor, Dept. of Practical Arts Education, Busan National University of Education

(2003. 1. 22. 접수 : 2003. 5. 31. 채택)

Abstract

Agricultural drainage salt generated during irrigation of crops in San Joaquin Valley, California, exceeds 600,000 tons annually and cumulates in the field in a rapid rate. As a result, the waste is taking out more farmlands for salt storage and disposal, imposing serious concerns to environment and local agricultural industry. In searching for a potential solution to reduce or eliminate the waste, this research explored feasibility of producing a value-added product, sodium sulfate, from the waste and utilizing the product in textile dyeing. The results indicated that sodium sulfate could be produced from the salt and could be purified by a recrystallization method in a temperature range within the highest and lowest daily temperatures in summer in the valley. The recovered sodium sulfate samples, with purities ranging from 67% to 99.91, were compared with commercially available sodium sulfate in the dyeing of levelling dyes with nylon/wool fabrics. In nylon/wool fabrics, C.I. Acid Yellow 23 had similar exhaustions among Na_2SO_4 I, Na_2SO_4 II, Na_2SO_4 III and Na_2SO_4 V which had similar ratios of sodium sulfate and sodium chloride in recovered salts. Na_2SO_4 IV had low exhaustion which had low ratios of sodium sulfate and sodium chloride. In nylon/wool fabrics, C.I. Acid Blue 158 had similar exhaustions among Na_2SO_4 I, Na_2SO_4 II, Na_2SO_4 III, Na_2SO_4 IV and Na_2SO_4 V despite of Na_2SO_4 IV had low ratios of sodium sulfate and sodium chloride. Generally, the dyeing of levelling dyes using recovered salts from farm drainage has similar or low exhaustion than the dyeing of levelling dyes using commercial sodium sulfate.

Key words: farm drainage(농업관개수), levelling dyes(균염성 염료), nylon(나일론), sodium sulfate (황산나트륨), wool(양모).

I. 서 론

미국 캘리포니아의 San Joaquin 계곡의 물은 그 지역 농업관개수로 사용되고 있다. 이 농업관개수 속에는 다양한 수용성 염들이 녹아 있으며, 이들 염은

[†] 교신저자 E-mail : jyjung@bune.ac.kr

관개수의 반복적인 사용으로 환경오염을 가중화하고 있다^{1,2)}. 따라서 이 염들의 환경오염을 효과적으로 해결하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있으며^{3,3)}, 그 연구의 하나로 농업관개수 속의 염의 성분을 분석한 결과를 보면 그 주성분은 sodium, calcium, magnesium, potassium 이었으며, 약간의 sulfate, chloride, carbonate 등의 금속 염이었다²⁻⁵⁾. 전체 성분의 80~96%는 sodium과 sulfate 이온이었으며, 이 중에서 3~19%는 sodium chloride의 형태로 존재하며, 그 나머지 소량의 다른 성분이었다⁴⁻⁶⁾.

본 연구에서 재활용하고자 하는 황산나트륨의 미국내 소비량은 1.5 백만 톤 정도이며, 이 중에서 광산(22%), 화학공장(26%), 수입(52%)으로 수요를 충당하고 있다. 이들 황산나트륨은 비누와 합성세제의 조제(40%), 펄프와 종이 제조(25%), 직물산업(19%), 유리제조(5%), 그 밖의 용도(11%)로 사용되어지고 있다. 1996년 미국 생태조사⁶⁾에서는 직물가공 산업에서 다른 부식성 있는 염 대신에 황산나트륨을 사용하는 경향이 증가할 것이라고 예측하였다.

산성염료는 단백질 섬유와 나일론 등의 섬유를 염색하는 가장 중요한 염료 중의 하나이며, 산성염료 중에서도 균염성 염료는 분자용적이 작아 섬유 내부에의 확산이 쉽게 일어난다. 따라서 염색시 다량의 무기염류를 첨가하면 염착량이 감소하므로 균염성이 좋아진다⁷⁾.

황산나트륨은 35°C 이상의 물에서 높은 용해도를 가지며 15°C 이하의 온도에서는 낮은 용해도를 보인다. 염화나트륨 또한 캘리포니아 지역 관개수 중에 함유되어 있는 대표적인 염의 하나인데, 이는 온도의 변화에 따라 거의 변화가 없는 일정한 용해도를 가진다⁸⁾. 캘리포니아주(미국) Center Valley 지역의

일교차는 이른 아침에는 약 10°C 정도이며, 한낮의 경우는 30°C 이상이다.

본 연구에서는 미국 캘리포니아 지역의 일교차를 이용하여 관개수 중의 황산나트륨을 염화나트륨과 분리하여 순도 높은 황산나트륨을 얻고자 하였으며, 균염성 염료의 염색 조제로 회수된 황산나트륨을 사용함으로써 회수된 황산나트륨의 균염성 염료의 염색 조제로서의 활용 가능성을 염색성을 중심으로 연구하였다.

II. 실험

1. 시 료

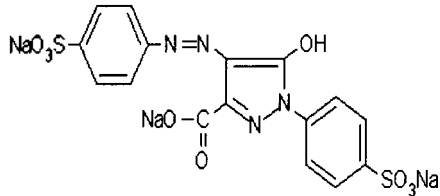
나일론포와 양모포(Testfabrics Co.)는 2g/l AAT-CC 표준세제로 80°C에서 30분간 욕비 100:1로 처리한 후 증류수로 충분히 수세하고 20±2°C, RH 65±10%의 항온항습실에서 항량시킨 것을 사용하였다.

염료는 Sigma-Aldrich Chemical사(Milwaukee, WI)의 것을 정제없이 사용하였으며, 염료의 구조는 <그림 1>과 같다.

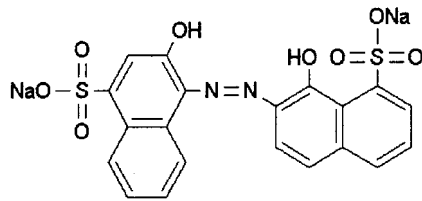
이 연구에 사용된 5종류의 황산나트륨은 다음과 같다:

- (1) 황산나트륨 I(Control): Aldrich Chemical사 제품의 황산나트륨.
- (2) 황산나트륨 II: Mendota(캘리포니아, 미국)지역의 농업관개수에서 재결정한 황산나트륨.
- (3) 황산나트륨 III: 황산나트륨 II를 다시 재결정하여 얻은 황산나트륨.
- (4) 황산나트륨 IV: Red Rock Ranch(캘리포니아, 미국)지역의 농업관개수에서 재결정한 황산나트륨.

- 1) R. Lal and B. A. Stewart, Ed., Soil process and water quality, Lewis Publishers, Ann Arbor(1994).
- 2) Technical Report, Agricultural drainage water treatment, reuse, and disposal in the San Joaquin Valley(1998).
- 3) Water quality; Agriculture's role, Task force report, Council for Agricultural Science and Technology(1992).
- 4) B. Jenkins, Research report on utilization of drainage salt, Salt utilization technical committee of San Joaquin Valley(1997).
- 5) K. K. Tanji, C. G. Ong, R. A. Dalgren and M. J. Herbel, "Salt deposits in evaporation ponds: an environmental hazard?", *California Agriculture*, Vol. 46, No 6, (1992), pp.18-21.
- 6) D. E. Westcot, J. E. Chilcott and G. Smith, Pond water, sediment and crystal chemistry. Management of irrigation and drainage systems; Integrated Perspectives, Proceedings of the 1993 National Conference on Irrigation and Drainage Engineering(1993), Park City, UT.
- 7) 조경래, *염색이론과 실험*, (서울:형설출판사, 1991)
- 8) The Merck Index(1996), Twelfth edition, Merck & Co., Inc



C. I. Acid Yellow 23



C. I. Acid Blue 158

〈그림 1〉 The structure of dyes.

(5) 황산나트륨 V: 황산나트륨 IV를 다시 재결정하여 얻은 황산나트륨.

2. 측정 기기

염료의 농도 측정에는 Hitachi-2000 double-beam UV/Vis photospectrometer(Japan)을 사용하였으며, pH meter는 Corning pH/ion meter 450 (U.S.A)를 이용하였다.

3. 재결정 방법

농업관개수로부터 황산나트륨의 추출은 태양열을 이용하여 건조된 상태의 염 300g에 대해 증류수 500ml의 비로 하여 40°C에서 30분간 추출하고 여과하여 불용성 물질을 제거하였다. 여과된 액 250ml를 40°C로 온도를 높인 후, 다시 10°C로 온도를 낮추어 재결정물을 생성하였다. 이 재결정물(황산나트륨)은 여과하고 진공건조하여 1차 재결정된 황산나트륨을 얻었다.

1차 재결정된 황산나트륨을 다시 40°C의 증류수에 용해시키고, 바로 10°C로 온도를 낮추어 2차 재결정된 황산나트륨을 얻었다. 2차 재결정된 황산나트륨 또한 여과하고 진공건조하였다.

1차·2차 재결정된 황산나트륨들은 진공건조 후 항온항습실에서 항량이 되도록 건조하여 실험에 사용하였다.

4. 염의 성분 분석

100ml의 증류수에 0.5g의 염을 용해하여 US EPA Methods 200.7 (ICP)과 200.8 (ICP/MS)를 이용하여 Perkin Elmer Elan-6000 ICP/MS spectrometer 로 분석하였다. 염속의 anionic ion의 분석은 EPA Methods 325.2 (Cl⁻), 375.2 (SO₄²⁻)와 4500-NO₃-F (NO₃⁻)를 이용하였다.

5. 염 색

나일론포의 염색은 pH 3, 욕비 30:1(w/w)의 염욕에 습윤시킨 나일론포를 넣고 20°C에서 염색을 시작하여 95°C까지 승온한 후, 60분간 더 진탕하면서 염색하였다. 염욕의 농도는 1, 3, 5 % (o.w.f.)로 하였으며, 황산나트륨은 염욕의 농도별로 5, 10, 20% (o.w.f.)를 조제로 첨가하였다. 염색된 포는 소우평한 후 건조하였다.

양모포의 염색은 pH 3, 욕비 50:1 (w/w)의 염욕에 습윤시킨 양모포를 넣고 40°C에서 서서히 승온하여 95°C까지 승온한 후, 60분간 더 진탕하면서 염색하였다. 염욕의 농도는 1, 3, 5 % (o.w.f.)로 하였으며, 황산나트륨은 염욕의 농도별로 10, 15, 20% (o.w.f.)를 조제로 첨가하였다. 염색된 포는 소우평한 후 건조하였다. 염욕의 pH는 Clarks와 Lubs의 buffer solution을 사용하였다.

염색성은 exhaustion (E)으로 하였으며, 각 조건은 3회 반복하였다. 이들 3회의 exhaustion 값들을 one way ANOVA와 Duncan의 사후검정으로 비교하였다. exhaustion(%)은 다음의 식 (1)과 같다.

$$E = [(A_o - A_d) / A_o] \times 100 \quad (1)$$

E : exhaustion(%)

A_o : 최대흡광도에서 염색 전 염욕의 흡광도

A_d : 최대흡광도에서의 염색 후 염욕의 흡광도

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 황산나트륨의 회수

실험에 사용된 두 가지 황산나트륨은 Mendota(캘리포니아, 미국) 지역과 Red Rock Ranch(캘리포니아, 미국)지역의 농업관개수를 태양열을 이용하여 건조

한 상태의 것을 이용하였으며, 건조된 상태의 염을 실험실에서 재결정하는 방법을 이용하여 황산나트륨을 정제하였다.

황산나트륨은 40°C의 물 100ml에 대해 약 50g의 용해성을 가지며, 10°C의 물에 대해서는 10g의 용해성을 가진다. 반면에 농업관개수 염들 중에서 또 다른 중요한 성분인 염화나트륨은 광범위한 온도 범위 (10~80°C)에서 거의 일정한 용해도를 보인다. 이런 온도에 따른 용해도의 차이를 이용하여 농업관개수에서 회수된 염으로부터 황산나트륨을 회수할 수 있었다.

회수된 황산나트륨의 순도는 재결정하는 방법을 반복할수록 높아졌으며, 황산나트륨의 재결정은 염의 농도가 높을 때 효율적이다. 즉, 염을 녹인 용액을 증발하고 재결정한 경우는 황산나트륨의 회수는 11.94% wt에서 14.16% wt로 비교적 높다. 반면에 염을 녹인 용액을 증발없이 그대로 재결정하여 얻은 황산나트륨의 회수는 3.38% wt에서 10.43% wt로 비교적 낮았다. 실제로 캘리포니아 지역에서는 대형 태양열 증발 시설을 갖추고 있으며, 본 연구의 결과를 바탕으로 경제적으로 태양열을 이용하여 농업관개수를 증발시켜 효율적으로 황산나트륨을 대량으로 회수하는데 이용되어지고 있다 <Table. 1>.

2. 회수된 황산나트륨의 조성

<Table 1> Recovery of sodium sulfate from drainage salt

Water (ml)	Drainage salt (gram)	Recovered Na ₂ SO ₄ (%)	
		Method I	Method II
700	300	12.98	3.38
500	300	14.16	6.14
400	300	11.94	8.25
300	300	12.61	10.43

Method I: solution was concentrated to precipitate sodium sulfate.

Method II: without concentration.

회수된 황산나트륨과 이로부터 재결정된 황산나트륨의 조성 성분들은 <Table 2>와 같다. 황산나트륨은 염들 중에서 가장 많은 이온이었으며, 다음으로 sodium과 chloride의 순이었다. 황산나트륨 I(control), 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 IV, 황산나트륨 V 중의 황산나트륨의 양은 sodium과 sulfate 이온을 합하여 볼 때 99.9, 98.83, 99.90, 67.15, 76.67%이었다. Mendota 지역의 염에서는 98%의 황산나트륨 함량을 보인 반면, Red Rock Ranch (RRR) 지역에는 chloride, nitrate, calcium, magnesium 등이 비교적 높은 함량을 보인다. Red Rock Ranch 지역 염에서의 황산나트륨의 함량은 67.14%에서 76.66%이

<Table 2> Elemental analysis of recovered sodium sulfate samples

Elemental composition (%)	Mendota		Red Rock Ranch	
	Sample II Recovered	Sample III Purified	Sample IV Recovered	Sample V Purified
B	0.0085	0.00176	0.147	0.002
Ca	0.31	0.02	9.02	0.025
Mg	0.088	0.0067	1.47	0.01
Na	31.59	31.22	23.82	35.56
Cl	0.75	0.063	18.71	23.23
SO ₄	67.24	68.68	43.33	41.11
NO ₃	0.00036	0.0002	3.49	0.068
Na ₂ SO ₄	98.83	99.90	67.15	76.67
NaCl+ Na ₂ SO ₄	99.58	99.96	85.86	99.90
Color	White	White	Light yellow	White
pH*	7.0~7.2	6.8~7.0	7.8~8.0	7.0~7.4

* Salt solution of 1g in 100ml of distilled water.

지만, sodium과 sulfate 그리고 chloride를 합한 함량은 85.86%에서 99.90%이다. Red Rock Ranch 지역으로부터 회수된 염들(황산나트륨 IV, 황산나트륨 V)은 Mendota 지역에서 회수된 염들(황산나트륨 II, 황산나트륨 III)보다 황산나트륨의 비율은 낮았으나, 염화나트륨의 비율은 높았다. 황산나트륨과 염화나트륨을 합한 비율의 경우 두 지역에서 회수한 염들에서 거의 비슷하게 나타났으나, 황산나트륨 IV는 가장 낮게 나타났다. 염색 조건에 따라 이 두 염의 상승효과를 기대해 볼 수도 있으며, 재결정을 반복함에 따라 불용성 물질의 양은 현저히 감소하고 순도가 높아짐을 보였다.

3. 균염성 염료의 염색에서 회수된 염에 따른 효과

균염성 염료 염색에서 황산나트륨은 섬유와 염욕 간의 염료 분배가 염욕에 유리하도록 작용하여 균염성이 개선되는데 기여한다. 균염성 염료의 조제로서 사용된 5종의 황산나트륨이 염색성에 미치는 영향은 다음과 같다.

(Table 3~4)는 나일론에 대한 균염성 염료의 조제로 5종의 황산나트륨을 사용하였을 때의 결과이다.

(Table 3)은 C. I. Acid Yellow 23의 나일론에 대한 염색에서 5종의 황산나트륨을 사용했을 때의 결과이다. Exhaustion의 평균을 비교해 볼 때, 황산나트륨 I(control), 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 V는 비슷한 exhaustion을 보이나, 황산나트륨 IV는

(Table 3) Dye exhaustion(%) of C.I. Acid Yellow 23 in nylon dyeing

Dye concentration	1%	3%	5%
Sodium sulfate			
Na ₂ SO ₄ I (Control)	79.80 ^{a)}	79.12 ^{a)}	56.48 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ II	81.01 ^{a)}	78.68 ^{a)}	55.66 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ III	81.20 ^{a)}	80.17 ^{a)}	56.16 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ IV	78.83 ^{a)}	78.17 ^{a)}	55.12 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ V	81.07 ^{a)}	81.17 ^{a)}	56.91 ^{a)}

1) Means with different superscript within columns are significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test (n=3).

(Table 4) Dye exhaustion(%) of C.I. Acid Blue 158 in nylon dyeing

Dye concentration	1%	3%	5%
Sodium sulfate			
Na ₂ SO ₄ I (control)	56.49 ^{a)}	48.98 ^{a)}	45.78 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ II	55.12 ^{a)}	46.14 ^{a)}	47.50 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ III	57.26 ^{a)}	47.60 ^{a)}	47.88 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ IV	56.20 ^{a)}	50.36 ^{a)}	46.23 ^{a)}
Na ₂ SO ₄ V	56.49 ^{a)}	51.20 ^{a)}	46.38 ^{a)}

1) Means with different superscript within columns are significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test (n=3).

보다 낮은 exhaustion을 보였다.

(Table 2)에서 보듯이 황산나트륨 IV가 황산나트륨 I, 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 V에 비해 황산나트륨의 비율이 낮으며, 다른 염들을 많이 함유하고 있는데 이 성분들에 의해 exhaustion이 영향을 받는 것으로 생각되어지며, 5종의 황산나트륨을 사용하여 얻은 exhaustion들의 Duncan's multiple range test 결과, 황산나트륨 IV를 제외한 다른 황산나트륨들간에 유의적인 차이가 없었다(p<0.05). C.I. Acid Yellow 23의 나일론 염색에서 2회까지의 재결정은 황산나트륨의 순도를 높였으며, 그 결과 시판되는 황산나트륨 I(control)의 순도에 근접하였으며, exhaustion도 같아짐을 보였다. 이는 염료의 농도가 증가하여도 같았다.

(Table 4)는 C. I. Acid Blue 158의 나일론에 대한 염색에서 5종의 황산나트륨을 사용했을 때의 결과이다. 황산나트륨 I(control), 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 IV, 황산나트륨 V의 exhaustion 평균은 다소 차이를 보이나, Duncan's multiple range test 결과 이들 간의 유의적인 차이는 없었다(p<0.05). 이는 C.I. Acid Blue 158의 경우 조제로서 황산나트륨의 순도가 염색성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었으며, 이는 염료의 농도가 증가하여도 같았다.

(Table 5~6)은 양모에 대한 균염성 염료의 조제로서 5종의 황산나트륨을 사용하였을 때의 결과이다.

〈Table 5〉는 C. I. Acid Yellow 23의 양모에 대한 염색에서 5종의 황산나트륨을 사용했을 때의 결과이다. Exhaustion들의 평균을 비교해 볼 때, 황산나트륨 I(control), 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 V에 비해 황산나트륨의 비율이 낮은 황산나트륨 IV가 낮은 exhaustion 평균을 보였는데, 이는 C.I. Acid Yellow 23의 양모 염색에서 황산나트륨의 순도가 exhaustion과 관계 있음을 보였다. Duncan' multiple range test 결과, 황산나트륨 IV를 제외한 다른 황산나트륨들간에는 유의적인 차이가 없었다($p < .05$). 이는 염료의 농도가 증가하여도 같았다.

〈Table 6〉은 C. I. Acid Blue 158의 양모에 대한

〈Table 5〉 Dye exhaustion(%) of C.I. Acid Yellow 23 in wool dyeing

Dye concentration	1%	3%	5%
Sodium sulfate			
Na ₂ SO ₄ I (Control)	77.44 ^{ab}	76.78 ^{ab}	60.66 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ II	77.55 ^{ab}	76.22 ^{ab}	60.04 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ III	77.70 ^{ab}	76.47 ^{ab}	60.83 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ IV	74.81 ^{ab}	75.97 ^{ab}	58.87 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ V	76.46 ^{ab}	76.79 ^{ab}	60.05 ^{cd}

1) Means with different superscript within columns are significantly different at $P < .05$ by Duncan's multiple range test ($n=3$).

〈Table 6〉 Dye exhaustion(%) of C.I. Acid Blue 158 in wool dyeing

Dye concentration	1%	3%	5%
Sodium sulfate			
Na ₂ SO ₄ I (Control)	94.06 ^{ab}	86.72 ^{cd}	83.73 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ II	93.88 ^{ab}	86.44 ^{cd}	82.66 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ III	94.32 ^{ab}	87.53 ^{cd}	83.07 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ IV	95.23 ^{ab}	84.36 ^{cd}	80.62 ^{cd}
Na ₂ SO ₄ V	95.35 ^{ab}	86.19 ^{cd}	81.22 ^{cd}

1) Means with different superscript within columns are significantly different at $P < .05$ by Duncan's multiple range test ($n=3$).

염색에서 5종의 황산나트륨을 사용했을 때의 결과이다.

황산나트륨 I(control), 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 IV, 황산나트륨 V의 exhaustion 평균은 다소 차이를 보이나, Duncan' multiple range test 결과 이들 간의 유의적인 차이는 없었다($p < .05$). 이는 C.I. Acid Blue 158의 경우 조제로서 황산나트륨의 순도가 염색성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있었으며, 이는 염료의 농도가 증가하여도 같았다.

IV. 결 론

미국 캘리포니아의 San Joaquin 계곡에서 회수한 염료로부터 회수한 황산나트륨의 조성과 이를 균염성 염료의 조제로 활용하였을 때의 효과를 연구한 결과는 다음과 같다.

회수한 염에서 sulfate의 비율이 가장 높았으며, 다음으로 sodium, chloride의 순이었으며, 그 외에 여러 가지 mineral들을 가지고 있었다. 회수한 염들의 황산나트륨 순도는 황산나트륨 II (98.83%), 황산나트륨 III (99.90%), 황산나트륨 IV (67.15%), 황산나트륨 V (76.67%) 이었다. 황산나트륨 IV의 경우 모든 염색에서 상당량의 불용성 물질을 가지고 있었으며, 황산나트륨 II와 황산나트륨 V의 경우에도 아주 약간의 불용성 물질을 가지고 있었다. 황산나트륨 I, 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 V에서는 황산나트륨과 염화나트륨을 합한 비율이 비슷하였으며, 황산나트륨 IV는 낮았다.

균염성 염료의 조제로서 5종의 황산나트륨을 사용한 결과는 다음과 같다.

C. I. Acid Yellow 23의 경우 나일론과 양모 염색 모두에서 황산나트륨 I, 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 V간에는 Duncan' multiple range test 결과 유의적인 차이가 없었으며, 황산나트륨 IV만이 유의적인 차이가 있었다($P < .05$). 이는 황산나트륨과 염화나트륨의 비율 즉, 회수한 염들의 불순물의 양과 관계가 있는 것으로 보인다. 이는 염료의 농도가 증가하여도 같은 경향을 보였다.

C. I. Acid Blue 158의 경우 나일론과 양모 염색 모두에서 황산나트륨 I, 황산나트륨 II, 황산나트륨 III, 황산나트륨 IV, 황산나트륨 V의 Duncan' multiple

range test 결과 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 이는 염료의 농도가 증가하여도 같은 경향을 보였다.

본 연구에서 2회까지의 재결정을 고려한 이유는 추가적인 재결정에 따른 비용을 시판되고 있는 황산나트륨의 가격과 비교해 볼 때 2회 이상의 재결정은 경제성이 떨어지므로 본 연구에서는 2회 재결정한 황산나트륨까지 만을 황산나트륨 시료로 사용하였으며, 본 연구의 결과 2회 정도의 재결정으로도 균염성 염료의 조제로서 충분한 역할을 할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 본 연구의 결과는 황산나트륨을 많이 사용하는 한국의 여러 산업공단의 폐수로부터 황산나트륨을 회수하여 재이용하는데 활용되어 질 수 있다.

참고문헌

- Lal, R. and Stewart, B. A., Ed.(1994). *Soil process and water quality*, Lewis Publishers, Ann Arbor.
- Technical Report(1998). Agricultural drainage water treatment, reuse, and disposal in the San Joaquin Valley. Water quality; Agriculture's role, Task force report(1992). Council for Agricultural Science and Technology.
- Jenkins, B.(1997). Research report on utilization of drainage salt, Salt utilization technical committee of San Joaquin Valley.
- Tanji, K. K., Ong, C. G., Dalgren, R. A., and Herbel, M. J.(1992). "Salt deposits in evaporation ponds: an environmental hazard?", *California Agriculture*, Vol. 46, No. 6.
- Westcot, D. E., Chilcott, J. E. and Smith, G.(1993). "pond water, sediment and crystal chemistry. Management of irrigation and drainage systems; Integrated Perspectives," *Proceedings of the 1993 National Conference on Irrigation and Drainage Engineering*, Park City, UT.
- 조경래(1991). *염색이론과 실험*. 서울:형설출판사.
- The Merck Index(1996). Twelfth edition, Merck & Co., Inc..