

## 부상공정을 이용한 염색폐수의 색도 제거에 관한 연구

노성희, 김선일\*  
 조선대학교 화학공학과  
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

## A Study on the Colour Removal of Dyeing Wastewater Using Flotation Process

Sung-Hee Roh, Sun-Il Kim\*  
 Dept. of Chemical Engineering, Chosun University  
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

서론

폐수 중 색의 존재는 심미적으로 바람직하지 않을 뿐만 아니라 대부분의 염료와 안료는 비활성이거나 난분해성 물질로서[1] 폐수처리 공정에서 2차 오염에 영향을 미친다. 또한 이러한 염료의 일부는 바이오 축적, 동물과 인간의 건강에 관한 장기적인 영향에 대해서는 아직까지는 명확히 알려진 바가 없으며 특히 새로운 타입의 염료는 생분해성이 매우 낮다[2]. 그러므로 염색 폐수를 배출하기 전에 폐수 중에 존재하는 착색 물질을 제거하는 것은 필수 불가결하다.

색 제거에 응용되는 기술로는 응집침전법, Fenton 산화법[3], Ozone 처리법[4], 전자빔에 의한 처리법[5], 활성탄 흡착에 의한 처리법[6], 막분리법[7-8], 미생물 처리법[9] 등이 있다. 일반적으로 생물학적 처리공정은 폐수중의 BOD와 부유물질을 감소시킬 수 있다 하더라도 색을 제거시키는데는 비효과적이며[9], 콜로이드 플럭은 밀도가 매우 낮고 침전속도가 느려서 침전공정에는 오히려 비효과적이다. 염색폐수의 처리는 한 가지 방법에 의해서는 해결하기 어렵기 때문에 오염원의 정확한 특성과 약 및 기존처리 시설과의 연계처리 문제, 경제성 등을 고려하여 신중하게 결정되어야 한다. 아직까지도 국내에서는 염색폐수의 색 제거에 대한 뚜렷한 처리방법이 제시되고 있지 않은 상태이므로 선정 방법에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대부분의 염색공정에 사용되는 염료가 수용성이고, SS의 비중이 물과 거의 비슷하기 때문에 공기를 주입해 미세한 기포로 겹보기 비중을 작게 하여 착색 물질을 제거하는 비교적 간단한 부상공정(flotation process)을 이용하여 염색폐수의 색도를 제거하고자 하였다. 부상공정에서 염료의 소수성을 유도하기 위해 collector라 명명한 계면활성제(surface-active agents)를 수용액에 첨가하여 실험실 규모의 장치로 아민류 계면활성제(collector)와 염료 수용액의 몰 농도비에 따른 색 제거율을 조사하였다. 그리고 collectors의 투여량과 용액의 pH에 따른 색 제거율에 미치는 거동을 파악하여 아민류 collector들 중에서 가장 색 제거율이 우수한 collector를 선정하여 pH 변화에 의존하지 않는 임계투여량(critical dosage)에 대하여 알아보았다.

실험

부상(flotation) 실험은 내경 3.0 cm, 높이 30 cm인 실험실 규모의 column을 제작하여 사용하였으며, 세공 크기가 10  $\mu\text{m}$ 인 원통형 세라믹 gas diffuser로 공기를 주입하였다. 모든 실험에서 column 내부에 주입한 공기량은 100 mL/min으로 일정하게 유지하였으며, collector로 Aldrich Chemical 사의 1-hexadecylamine(순도 99%), dodecylamine(순도 99%) 및 octylamine(순도 99%)을 사용하였다. 착색 수용액을 제조하기 위하여 Sigma 사의 반응성 염료인 Direct Red 81을 사용하였으며, 염료의 농도 측정은 Shimadzu 사의 UV

spectrophotometer를 사용하여 최대흡광도( $\lambda_{max}$ ) 508 nm(DR)에서 표준검량선을 작성한 후 측정하였다.

Direct Red 81의 색 제거에 사용된 아민류 collector들은 1-hexadecylamine, dodecylamine 및 octylamine이다. 염료용액은 1,000 mg/L로 매일 stock solution을 제조한 후 희석하여 실험에 사용하였다. 초기 색 농도를 50 mg/L로 하였고, 아민류들은 수용액에 불용성이므로 염료용액에 대하여 0.1%(v/v)의 에탄올에 용해시켜 주입하였다. Collector를 첨가한 용액은 10분 동안 교반한 후 300 mL를 취하여 column에 넣고 색 제거 실험을 행하였다. Collector들의 투여량이 색 제거율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 pH를 4.0으로 동일하게 유지시키고 투여량을 0~20 mg/L로 다양하게 변화시키면서 실험을 수행하였다. 또한 수용액의 pH가 색 제거율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 pH를 4.0~8.0으로 변화시키면서 dodecylamine의 투여량을 0~20 mg/L까지 증가시켜 pH에 따른 최대 제거율의 변화를 관찰하였다.

### 결과 및 토론

Collector들의 투여량이 색 제거율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 pH를 4.0으로 동일하게 유지시키고 투여량을 0~20 mg/L로 다양하게 변화시키면서 실험을 수행한 결과를 Figure 1에 나타내었다. PH 4.0의 수용액에 9 mg/L의 collector를 첨가한 색 제거 실험에서 octhylamine과 dodecylamine을 첨가하였을 때 8분 이내에 최대 제거율은 각각 60% 및 65%로 나타난 반면, 1-hexadecylamine을 첨가한 경우 최대 제거율은 30% 정도로 매우 낮게 나타났다. 한편 동일한 pH 4.0의 수용액에 아민류의 투여량을 9 mg/L에서 14 mg/L로 증가시킨 실험에서 색 제거율을 비교하면, octhylamine은 60%에서 97%로, dodecylamine은 65%에서 99%로 증가한 반면, 아민류 중 가장 긴 사슬을 가진 1-hexadecylamine을 투여할 때의 제거율은 30%에서 63%로 증가하였다. 따라서 Figure 1의 실험결과에 의하면 아민류 중 가장 색 제거 효율이 좋은 것은 dodecylamine임을 알 수 있었다.

아민류의 첨가량에 따른 색 제거에 미치는 영향을 보다 세밀히 관찰하기 위해 pH를 4.0과 6.0으로 일정하게 유지시키고, 색 제거 효율이 가장 우수한 dodecylamine의 투여량을 변화시켜 실험한 결과를 Figure 2에 나타내었다. PH 4.0의 용액에서는 dodecylamine의 투여량이 2 mg/L, 5 mg/L 및 9 mg/L일 때 최대 제거율은 각각 35%, 50% 및 65%로 투여량이 증가할수록 증가하였으며, 14~20 mg/L 이상의 많은 양을 첨가할 경우에 최대 제거율이 모두 99%로 아주 높게 나타나 투여량이 색 제거율에 커다란 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 pH 6.0의 용액에서는 dodecylamine의 투여량이 2 mg/L, 5 mg/L 및 9 mg/L로 증가할수록 최대 제거율은 각각 28%, 35% 및 60%로 증가하였으며, dodecylamine의 투여량이 14~20 mg/L일 때 최대 제거율은 99%로 나타났다. Dodecylamine의 투여량이 2 mg/L, 5 mg/L 및 9 mg/L이고, 용액의 pH가 4와 6일 때 각각의 제거율 변화는 35%에서 28%, 50%에서 35% 및 65%에서 60%로 pH가 증가할수록 제거율이 감소하였으며, 14 mg/L 이상을 첨가하였을 경우에는 제거율이 pH에 관계없이 모두 99%로 나타났다.

Figure 3에 나타낸바와 같이 2 mg/L를 첨가하였을 때는 pH가 4에서 8로 증가함에 따라 최대 제거율은 35%에서 20%로, 5 mg/L를 첨가하였을 경우에 50%에서 27%로, 9 mg/L를 첨가할 때는 65%에서 53%로 감소하여 투여량이 2~9 mg/L에서는 색 제거율이 pH에 의존하는 것으로 나타났고, 14 mg/L 이상을 첨가하였을 때에는 pH에 의존하지 않고 pH4~8 범위에서 모두 99%의 제거율을 나타내었다. Figure 2, 3의 결과로 보아 색 제거에 있어서 dodecylamine의 임계투여량(critical dosage)은 14 mg/L라는 것을 알 수 있었고, 임계투여량 이하에서는 색 제거율이 pH에 의존한 반면, 그 이상에서는 pH에 의존하지 않는다는 것을 알 수 있었다[10]. 임계투여량인 14 mg/L는 collector와 색농도의 몰비가 거의 1.0에 해당하므로 Direct Red 81(DR)과 아민류가  $DR + RNH_2 \rightarrow DR-RNH_2$ 의 형태로 반응하여 응집되어 색이 제거되는 것으로 생각할 수 있다[11]. Figure 4에 나타낸바와 같이 두 물

질의 몰비가 거의 1.0 이상일 때 모든 pH범위에서 가장 높은 색 제거율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

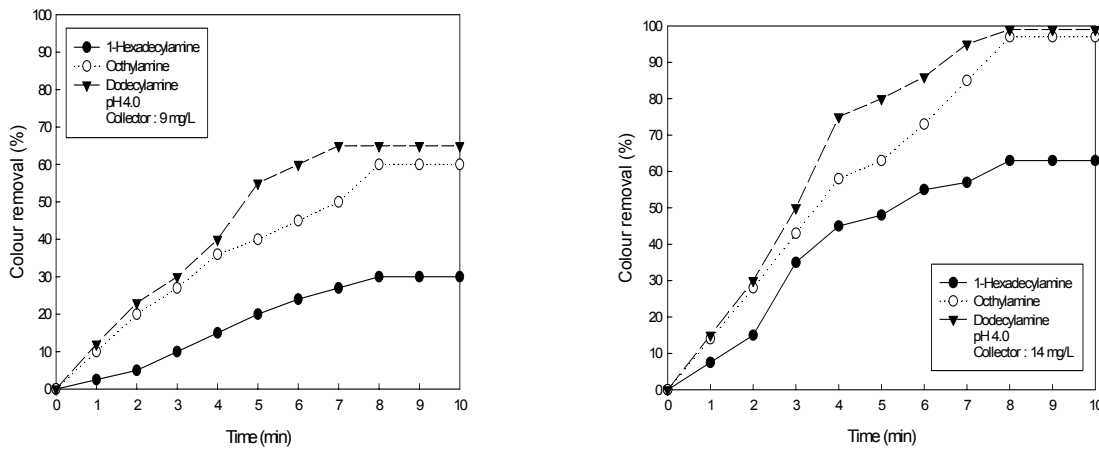


Figure 1. Colour (Direct Red 81) removal by flotation with various amines as collector.

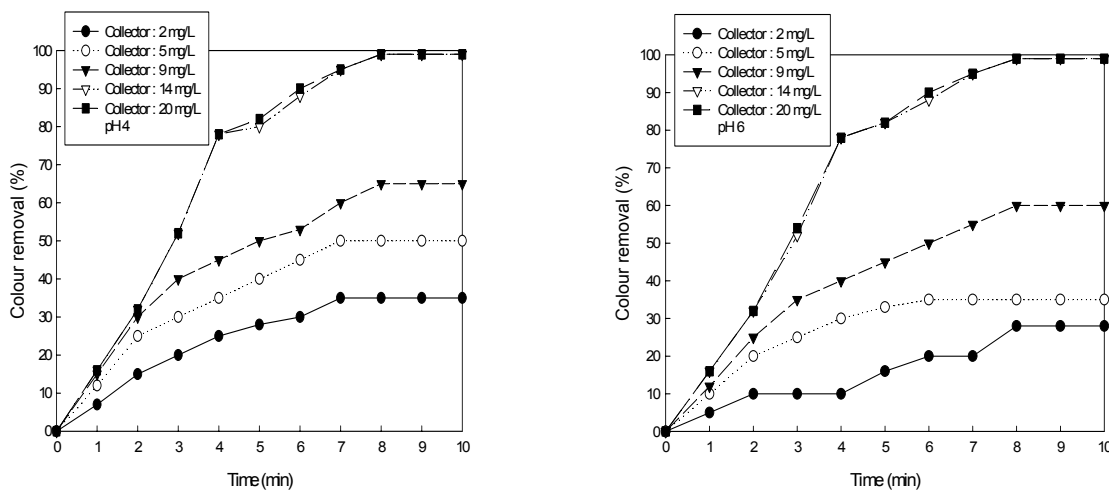


Figure 2. Colour (Direct Red 81) removal by flotation with dodecylamine.

**결론**

부상공정에 3종의 아민류 collector를 첨가하여 Direct Red 81 색 제거를 위한 실험에서 dodecylamine으로 처리한 경우 색 제거율(99%)이 가장 우수하게 나타났으며, collector 투여량과 색 농도의 몰비가 1.0미만에서는 pH에 의존하였으나 그 이상인 경우에는 pH에 의존하지 않음을 알 수 있었다. Dodecylamine과 색 농도의 몰비 1.0, 즉 임계 투여량인 14 mg/L에서 가장 효율적으로 색이 제거되었으며, 이것은 Direct Red 81(DR)과 아민류가  $DO + RNH_2 \rightarrow DO-RNH_2$ 의 형태로 반응하여 색이 제거되는 것으로 사료된다.

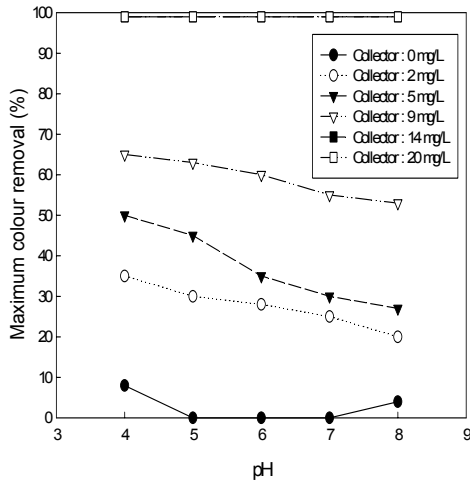


Figure 3. Effects of pH and a dosage of dodecylamine on colour (Direct Red 81) removal by flotation.

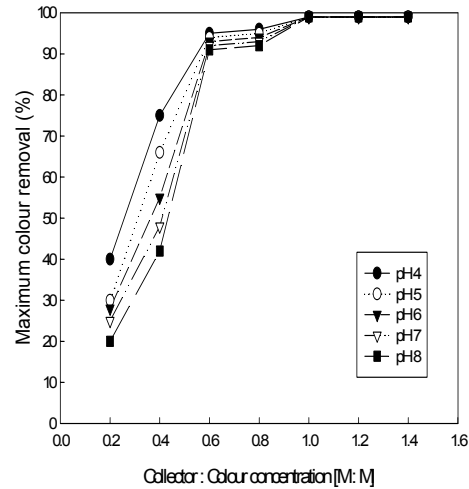


Figure 4. Effect of collector (dodecylamine) concentration on colour (Direct Red 81) removal by flotation.

### 참고문헌

1. I.G. Laing, *Rev. Prog. Coloration*, **21**, 56 (1991).
2. W. Hatton and A.M. Simpson, *Environ. Technol. Letts.*, **7**, 413 (1986).
3. W.G. Kuo, *Water Research*, **26**, 881(1992).
4. E.H. Shinder and J.J. Porter, *J. WPCF*, **46**, 884 (1974).
5. C.P.C. Poon and B.M. Vittimberga, "UV Photodecomposition of Color in Dyeing Wastewater", Proceedings 13th Mid-Atlantic Industrial Waste Conference, ed. by C. P. Huang, Ann Arbor, MI, 427 (1981).
6. S.N. Gaeta and U. Fedles., *Desalination*, **83**, 183 (1990).
7. M.N. Katarzyna, K.K. Malgorzata and W. Tomasz, *Desalination*, **105**, 91(1996).
8. S.I. Kim and Y.J. Yun, *J. of the Kor. Envir. Sci. Soc.*, **7**(1), 74 (1998).
9. S.I. Abo-Elela, F.A. El-Gohary, H.I.Ali and R.Sh. Abdel Wahaab, *Environ. Technol. Letts.*, **9**, 101(1988).
10. K. Ananthpadmanabhan, P. Somasundaran and T.W. Healy, *Trans. Soc. Min. Engrs.*, **266**, 2003(1979).
11. P. Mavros, A.C. Danilidou, N.K. Lazaridis and L. Stergiou, *Environ. Technol.*, **15**, 601(1994).