

이온 및 흡착콜로이드부상의 거품분리기술을 이용한 수용액 중의 Direct Blue 제거

최연홍 · 이주동 · 최상준[†]

경북대학교 공과대학 환경공학과
(1996년 1월 26일 접수, 1996년 9월 25일 채택)

Removal of Direct Blue from Aqueous Solution by the Foam Separation Techniques of Ion and Adsorbing Colloid Flotation

Yun Hong Choi, Ju Dong Lee and Sang June Choi[†]

Dept. of Env. Eng., Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
(Received 26 January 1996; accepted 25 September 1996)

요 약

수용액 중의 Direct Blue 제거를 위하여 이온 및 흡착콜로이드부상의 두 가지 거품분리기술을 이용하여 행하였다. 이온 부상법에서는 초기농도 25 ppm의 Direct Blue 수용액을 3분처리 후 잔존 Direct Blue의 농도를 0.5 ppm 미만으로 낮출 수 있었으며, 흡착콜로이드부상에서는 2분처리 후 잔존 Direct Blue의 농도를 0.1 ppm 미만으로 낮출 수 있었다. 수용액 중의 Direct Blue의 제거를 위한 최적 pH는 이온부상에서는 pH 4이고 흡착콜로이드부상에서는 pH 3-5였다. Direct Blue 제거효율에 영향을 미치는 인자들인 계면활성제, 외부이온, Al(III) 첨가 등의 영향에 대해 조사하였다. 아울러 수용액 중의 Direct Blue의 제거에 있어서 이온부상법과 침전부상법의 흡착기구 및 분리메카니즘을 비교하여 관찰하였다.

Abstract—Experimental investigations on the removal of Direct Blue from an aqueous solution were carried out through two foam separation techniques: ion flotation and adsorbing colloid flotation with Fe(III). The residual concentration of Direct Blue can be lowered to below 0.5 ppm in 3 minutes by ion flotation and below 0.1 ppm in 2 minutes by adsorbing colloid flotation from the aqueous solution containing 25 ppm of Direct Blue. The optimum pH for the removal of Direct Blue was found to be 4 for the ion flotation and 3-5 for the adsorbing colloid flotation. The effects of surfactant, foreign ions, and Al(III) addition on the removal of Direct Blue are discussed. The adsorption and separation mechanism on the removal of Direct Blue by the foam separation techniques of ion and adsorbing colloid flotation were also observed.

Key words: Foam Separation, Ion Flotation, Adsorbing Colloid Flotation, Dye, Wastewater

1. 서 론

염색폐수는 염색공정에서 발생하는 다량의 염료들을 포함하고 있다. 염료는 미생물에 독성을 유발시키거나 심각한 피해를 일으키는 생물학적으로 분해가 어려운 난분해성 물질이다. 특히 염색폐수는 1 ppm 미만의 아주 낮은 농도에서도 색상을 나타내어 빛의 투과도를 감소시킴으로써 강이나 호수의 식물을 고사시켜 생태계의 변화를 초래한다[1, 2]. 그리고 azo와 diazo 염료의 발암성이 문제가 되고 있다[3]. 또한 날이 갈수록 일반인들의 환경에 대한 관심이 커지면서 폐수 배출 기준치를 만족하는 염색폐수 처리수라 하더라도 색상을 띠는 경우 처리수의 수질을 의심 받게 되는 시각적인 문제를 가지고 있다.

염색폐수에 대한 처리방법으로는 흡착, 응집, 생물학적인 분해, 화학적인 분해, 광화학적 분해 등이 있다[1]. 활성탄 흡착의 경우 폐활성탄의 재생이 경제성을 좌우하며, 응집공정은 분산염료와 같은 불용성 염료에는 효율적인 공정이나 직접염료나 산염료와 같은 수용성 염료에는 효율적이지 못하다. 생물학적인 처리는 대부분의

염료가 미생물에 대하여 독성을 가지기 때문에 사용하기가 곤란하다. 염소나 오존에 의한 산화방법은 제거효율면에서는 효과적인 방법일 수 있으나 가격이 비싸고, 폐수에 다른 불순물이 있을 때 많은 양의 산화제가 요구된다는 단점을 가지고 있다. 이러한 방법들은 염색폐수의 종류 및 농도 등에 의존하여 장단점을 가지고 있다. 특히 수용성의 염료를 포함하고 있는 경우 기존의 방법에 의한 처리에 한계가 있어서 새로운 처리방법에 대한 필요성이 절실하다.

거품분리기술(foam separation techniques)은 용액 중에 녹아 있는 희박한 농도의 물질이나 부유물질을 분리 또는 제거하는 기술이다. 거품분리기술은 희박한 농도의 폐수처리에 이용하는 경우 조작이 빠르고, 좁은 공간에서도 조업이 가능하고, 다양한 규모의 여러 가지 폐수에 적용이 가능하며, 비교적 싼 가격으로 조업이 가능한 점 등 여러 장점이 있다. 거품분리기술에 대한 훌륭한 많은 총설이 있으며[4-7], 거품분리기술의 폐수처리에의 적용에 대한 많은 연구가 이루어졌다[8-11]. 그리고 본 연구그룹에서도 폐수 중의 중금속이온을 제거하기 위하여 침전과 흡착콜로이드부상기술을 연구한 바 있다

[12, 13].

거품분리기술은 기체-액체 계면에 계면활성물질이 흡착하는 성질을 이용하여 용액 중으로 기포를 상승시켜 계면활성물질을 상승하는 기포에 흡착시켜 용액으로부터 분리시킨다. 제거하고자 하는 물질이 계면활성인 경우에는 용액 중에 계면활성물질을 가하여 계면활성물질과의 결합 또는 흡착에 의해 계면활성을 띄게 한 다음 여기에 기포를 부상시킴으로써 수용액 중으로부터 분리시킨다.

거품분리기술에는 녹아 있는 형태로 분리시키는 거품분별법(foam fractionation)과 불용성의 물질을 분리시키는 거품부상법(froth flotation)이 있다. 거품부상법에는 용액 중의 제거물질 또는 농축대상 물질에 따라 이온부상법(ion flotation), 침전부상법(precipitate flotation), 흡착콜로이드부상법(adsorbing colloid flotation) 등으로 구분된다. 이온부상법은 용액 중의 이온을 포말의 계면, 즉 기체-액체의 계면을 계면활성제로 활성화시켜 이온이 포말 계면에 흡착되도록 하거나, 이온이 계면활성제와 결합하여 소수성을 띄게 하여 포말에 흡착되도록 한 다음 포말을 회수하는 기술이며, 침전부상법은 용액 중의 이온을 침전물의 형태로 만들어 그 침전물의 표면을 계면활성제로 소수성이 되게 한 다음 포말에 흡착시켜 그 포말을 회수하는 것이다. 또한 흡착콜로이드 부상법은 용액내에 Fe(III)나 Alum 등을 첨가하여 흡착콜로이드를 만들어서 이 흡착콜로이드의 표면 위에 용액 중의 이온이나 부유물을 흡착 또는 공침시킨 다음 계면활성제를 사용하여 흡착 또는 공침된 침전물의 표면을 소수성으로 만들어 상승하는 기포의 계면에 흡착시켜 제거시키는 방법이다.

거품분리기술을 이용한 분리기술은 폐수처리를 위하여 많은 연구가 이루어졌지만 염색폐수 중의 염료를 제거하기 위한 연구는 별로 이루어지지 않았다. Karger와 공동연구자[14-16] 및 다른 연구자들[17]은 여러 가지 염료를 non-foaming bubble separation 기술인 solvent sublation을 행하였는데 수용액의 pH에 의존하고 90% 이상의 제거효율을 보였다. 그러나 solvent sublation에서 기포의 발생을 없애기 위하여 사용한 파라핀오일의 첨가에 의한 효과가 없어서 solvent sublation 방법은 이온부상법보다 염료제거에서는 장점이 없는 것으로 보인다. Huang과 공동연구자들[18-20]은 Fe(OH)₃와 sodium lauryl sulfate를 이용하여 수용액 중의 Magaret와 산성염료를 제거하였다. 최적 제거에 대한 최적 pH가 존재하고 외부이온이 존재하는 경우 제거효율에 영향을 미치는 것으로 연구하였다.

지금까지 거품분리법을 이용한 Direct Blue에 대한 이온부상과 흡착콜로이드부상에 대한 비교 연구가 이루어지지 않았고, 또한 수용액 중에 존재하는 다른 이온 및 pH 영향 등에 대한 연구가 부족하다. 본 연구에서는 수용액 중의 Direct Blue를 이온부상법과 흡착콜로이드부상법을 동시에 행하여 pH, 계면활성제 농도, 외부이온 등의 영향을 비교 검토하고 아울러 각각의 방법에 따른 분리메커니즘을 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 시약

염료수용액은 수용성 직접염료인 Direct Blue[C₃₄H₂₄N₆O₁₀S₄Na₄]를 탈이온화된 증류수에 녹여서 만들었다. 이온부상법에서는 계면활성제로 시약급의 양이온 계면활성제 hexadecyltrimethylammonium bromide(HTAB)를 사용하였다. 흡착콜로이드부상에서는 계면활성제로 시약급의 음이온 계면활성제인 sodium lauryl sulfate(SLS)를 증류수에 녹여서 사용하였다. 응집제로는 시약급의 Fe(NO₃)₃·9H₂O와 Al(NO₃)₃·9H₂O를 증류수에 녹여 사용하였다. 이온부상법과 흡착콜로이드부상법에서 외부 중성염의 영향을 보기 위한 실험에서는 시약급의 NaNO₃, Na₂SO₄, Ca(NO₃)₂를 증류수에 녹여 사용하였다.

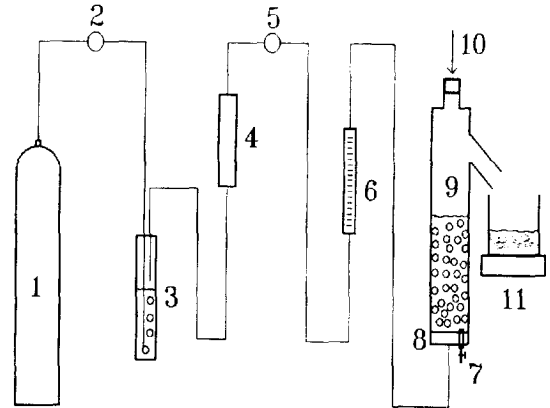


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Air tank | 7. Sample outlet |
| 2. Valve | 8. Sparger |
| 3. Humidifier | 9. Flotation column |
| 4. Glass wool column | 10. Inlet |
| 5. Needle valve | 11. Discharge foam |
| 6. Air flowmeter | |

2-2. 실험장치

Fig. 1에 본 실험에 사용된 실험장치를 나타내었다. 거품컬럼은 pyrex glass로 만든 직경 4.5 cm, 높이 90 cm의 것을 사용하였다. 거품은 질소가스를 사용하여 소결한 유리스파저를 통하여 만들었다. 질소가스는 실험 도중 수용액의 증발현상을 방지하기 위하여 물로 포화시킨 다음 함유된 입자나 액체를 glass wool column을 통과시켜 불순물을 제거한 다음 사용하였다.

2-3. 실험방법

25 ppm 농도의 Direct Blue 용액을 stock solution(500 ppm)을 이용하여 만들어서 이온부상법과 흡착콜로이드 부상법에 사용하였다.

이온부상법의 경우, 우선 250 mL 용기에 Direct Blue와 계면활성제 HTAB을 넣고 NaOH 용액을 첨가해 원하는 pH로 맞추었으며, 약 5분 정도 교반을 시켜 착물을 형성시킨 다음 용액의 부피가 250 mL가 되도록 조정하였다. 원하는 공기 유속으로 고정된 다음, 준비된 실험용액을 컬럼 상부로 주입하여 이온부상실험을 행하였다. 주입과 동시에 시간을 측정하여 정해진 시간에 5 mL씩 시료를 채취하였다. 이와 같이 채취된 시료의 분석은 계면활성제인 HTAB와 Direct Blue가 착물을 형성함에 따라 Direct Blue 원래의 최대 파장과 최대 파장에서의 흡광도가 변화하였으며 최대 파장에서의 흡광도의 변화 정도는 Direct Blue에 대한 투입 HTAB의 몰비(molar ratio)에 따라 달라졌다. 따라서 채취된 시료의 측정방법으로는 Direct Blue와 HTAB의 불용성 착물을 해리시키기 위하여 2 mL의 acetone을 시료 4 mL와 혼합하였다. 시료-acetone 혼합용액에서 착물이 완전히 해리된 후 UV/VIS spectrophotometer(HP 8452A)로 시료-acetone 혼합용액의 흡광도를 측정하였다. 측정된 시료-acetone 혼합용액의 흡광도를 표준용액에 의한 calibration curve와 비교하여 채취된 시료 중에 잔존하는 Direct Blue의 농도를 분석하였다.

흡착콜로이드부상법의 경우에는 먼저 250 mL 용기에 Direct Blue와 응집제인 Fe(III) 이온을 넣고 1 N 농도의 NaOH 용액을 첨가하여 원하는 pH로 조정하여 공침물을 형성시켰다. 이어서 음이온 계면활성제인 sodium lauryl sulfate(SLS)를 첨가하고 전체 용액의 부피가 250 mL가 되게 조정하였다. 원하는 공기 유속으로 고정된 다음, 준비된 실험용액을 컬럼 상부로 주입하여 흡착콜로이드부상실험을 행하였다. 실험용액의 주입과 동시에 시간을 측정하여 정해진 시간에

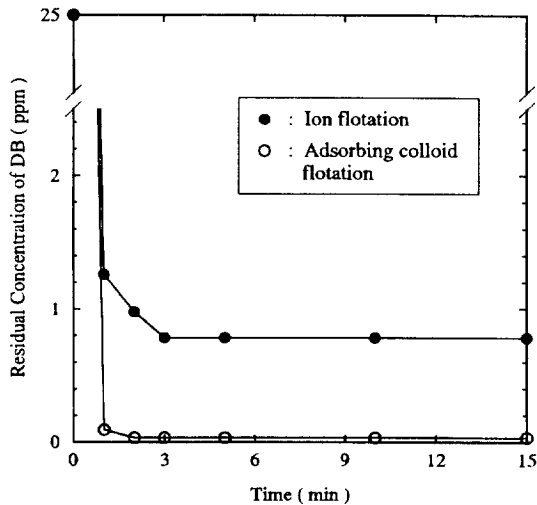


Fig. 2. Effect of flotation time on Direct Blue Removal(For ion flotation, initial Direct Blue concentration was 25 ppm, air flow rate 100 mL/min, [HTAB]/[DB] 3.5, pH 4.0. For adsorbing colloid flotation, initial Direct Blue concentration was 25 ppm, air flow rate 100 mL/min, SLS concentration 60 ppm, Fe(III) concentration 80 ppm, pH 5.0).

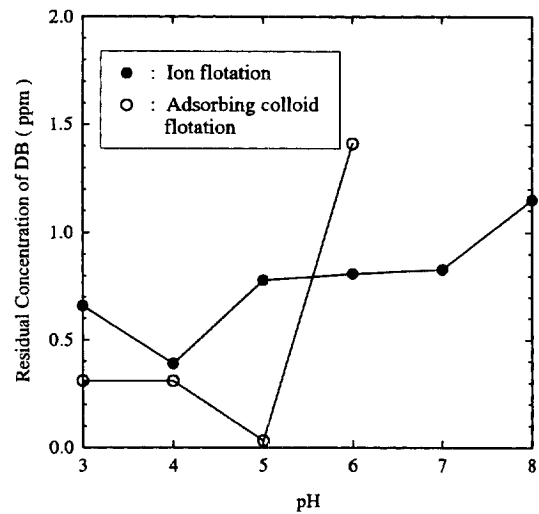


Fig. 3. Effect of pH on Direct Blue Removal(For ion flotation, initial Direct Blue concentration was 25 ppm, air flow rate 100 mL/min, [HTAB]/[DB] 3.5, pH 4.0. For adsorbing colloid flotation, initial Direct Blue concentration was 25 ppm, SLS concentration 60 ppm, Fe(III) concentration 80 ppm, air flow rate 100 mL/min.).

5 mL씩 시료를 채취하였다. 이와 같이 채취된 시료의 분석은 먼저 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 침전물, 즉 흡착콜로이드 표면에 흡착된 Direct Blue를 탈착시키기 위하여 시료 5 mL를 pH 11로 조정하였다. 그리고 원심분리하여 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 침전물을 침전시키고, 그 상층액을 취하여 흡광도를 측정하였다. 측정된 희석 시료용액의 흡광도를 pH 11의 표준용액에 의해 얻어진 calibration curve와 비교하여 채취된 시료 중에 존재하는 Direct Blue의 농도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 부상시간의 영향

Fig. 2에 초기농도 25 ppm의 Direct Blue에 대한 이온부상과 흡착콜로이드부상의 부상시간의 영향을 나타내었다. 제거효율은 부상이 끝난 후의 Direct Blue의 수용액상에서의 잔존농도로 나타내었다. 부상실험결과 이온부상법에서는 3분 처리 후에 잔존량이 0.5 ppm 미만이었으며, 흡착콜로이드부상에서는 2분처리 후에 0.1 ppm 미만으로 낮출 수 있었다. 그래서 모든 실험에서의 부상시간은 이온부상에서는 3분, 흡착콜로이드부상에서는 2분간 행하였다.

3-2. pH의 영향

Fig. 3은 이온부상과 흡착콜로이드부상에 의한 Direct Blue의 제거에서의 pH의 영향을 나타낸 것이다. 거품분리기술에 의한 Direct Blue의 제거에는 최적 pH가 존재하였으며, 이온부상법에서는 pH 4, 흡착콜로이드부상에서는 pH 3-5가 최적 pH였다. 흡착콜로이드부상법은 pH 범위 3-5에서 이온부상법보다 제거효율이 우수하였다.

이온부상에서는 pH 3-7 범위에서는 3분 동안의 부상(flotation) 조작으로 용액 중 잔존량이 1 ppm 미만으로 유지됨을 알 수 있었다. 그러나 pH가 7 이상으로 커짐에 따라서 Direct Blue의 용액 중 잔존량이 증가함을 볼 수 있었다. 이것은 양이온성을 띤 Direct Blue는 물속에서 친수성을 띄고 있으므로 이를 제거하기 위해서는 양이온성 계면활성제인 HTA를 결합시켜 소수성을 띄도록 하여야 한다. 소수성을 띤 침전물은 상승하는 기포에 흡착되어 제거가 가능하다. 그런데 pH가 증가하면 수용액 중에 존재하는 OH^- 이온이 Direct Blue

와 양전하를 띤 HTA이온에 대한 경쟁흡착을 함으로써, Direct Blue-HTA의 착물의 형성을 방해하여 제거효율이 감소되는 것이다.

흡착콜로이드부상에서는 pH 4에서 잔존 Direct Blue의 농도를 0.1 ppm 미만으로 유지할 수 있었으며, pH 6 이상에서는 잔존 Direct Blue 농도가 pH 증가에 따라 급격하게 증가하였다. 이것은 pH 2-3 정도에서 침전하기 시작하는 $\text{Fe}(\text{III})$ 이온의 존재하에서 Direct Blue가 양전하를 띤 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 침전표면에 흡착이 일어나고 여기에 음이온계면활성제인 SLS가 흡착되어 소수성을 띄게 된다. 그러나 pH 6 이상에서는 pH의 증가와 더불어 제거효율이 감소하고 있다. 이것은 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 등전점이 pH 7.1[20] 근처이므로 등전점에 가까워짐에 따라 철수화물의 양이온성이 약해져서 Direct Blue와 음이온 계면활성제의 철수화물 표면으로의 흡착이 잘 이루어지지 않기 때문이다.

3-3. 계면활성제(혹은 부상제) 농도의 영향

Fig. 4와 5는 이온부상과 흡착콜로이드부상의 계면활성제의 영향을 보이고 있다.

이온부상에서는 HTA의 Direct Blue에 대한 몰비(molar ratio)가 3.5 일 때 최적치를 나타내었다. 이것은 Direct Blue가 4개의 SO_3 기를 포함하고 있어 Direct Blue 1몰에 대하여 HTA 4몰이 필요하나 이론적인 양보다는 적은 몰비 3.5에서 최적치를 나타내었다. 그리고 몰비 3.5 이하에서는 HTA의 부족으로 Direct Blue와 HTA의 불용성 착물 형성이 완전하게 이루어지지 못하는 것으로 생각되어진다. 그리고 몰비 4.5 이상에서는 과잉의 HTA와 Direct Blue-HTA 착물이 컬럼 내부로 상승하는 기포표면에 경쟁흡착을 함으로써 기포표면에 흡착되어지는 Direct Blue-HTA 착물의 양이 줄어들어 제거효율이 떨어진다.

이온부상에 비해 흡착콜로이드부상에서는 Direct Blue의 제거에 훨씬 적은 양의 계면활성제가 필요하였다. SLS의 농도가 60 ppm보다 작은 경우 제거효율이 떨어졌는데, 이것은 낮은 계면활성제 농도에서는 안정한 거품을 형성하지 못하여 컬럼을 따라 부상하던 침전물이 다시 용액 중으로 재분산되는 현상이 일어나기 때문이다. 또한 최적조건 이상으로 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 제거효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 최적조건 근처에서는 침전이 계

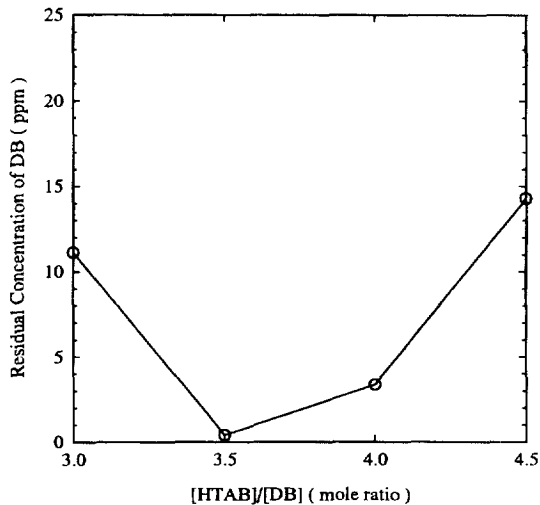


Fig. 4. Effect of HTAB concentration on Direct Blue Removal by ion flotation (Initial Direct Red concentration was 25 ppm, air flow rate 100 mL/min, [HTAB]/[DB] 3.5, pH 4.0).

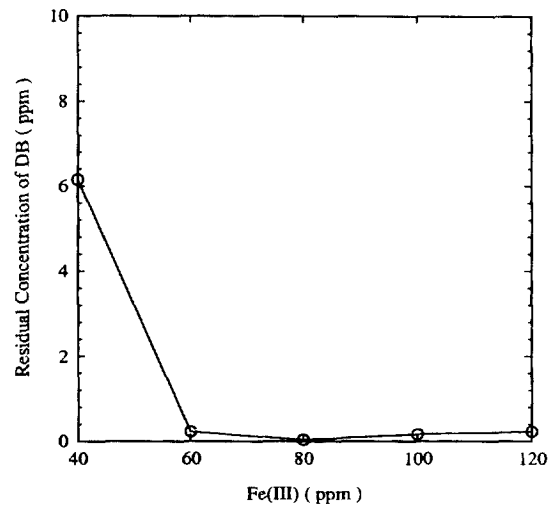


Fig. 6. Effect of Fe(III) concentration on Direct Blue Removal by adsorbing colloid flotation (All the other conditions are same as Fig. 5).

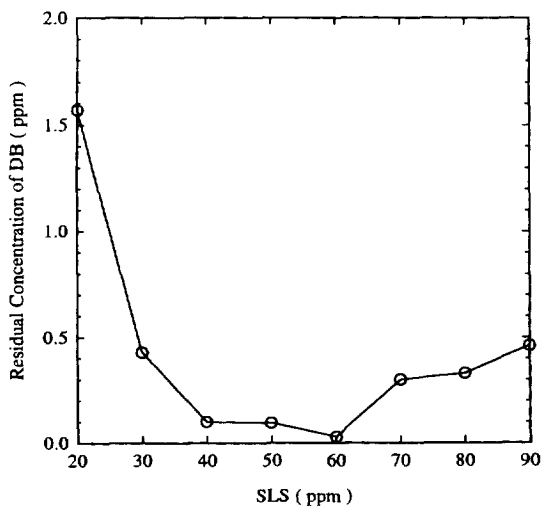


Fig. 5. Effect of SLS concentration on Direct Blue Removal by adsorbing colloid flotation (Initial Direct Blue concentration was 25 ppm, air flow rate 100 mL/min, SLS concentration 60 ppm, Fe(III) concentration 80 ppm, pH 5.0).

면활성제와 결합하여 소수성을 띄게 되므로 수용상으로부터의 분리가 가능하나 최적조건 이상으로 과잉의 계면활성제가 존재하게 되면 소수성을 띄고 있는 침전에 다시 계면활성제가 흡착하게 되어 침전이 친수성을 띄게 되므로 제거효율이 감소하게 된다.

3-4. 초기 Fe(III) 이온 농도의 영향

Fe(OH)₃를 흡착콜로이드로 사용하는 흡착콜로이드부상법에서 초기 Fe(III) 이온 농도의 영향을 Fig. 6에 나타내었다. Direct Blue는 Fe(III) 초기농도가 80 ppm 이상에서 제거가 효율적으로 이루어졌다. Fe(III) 이온의 농도가 80 ppm 미만에서는 Fe(OH)₃ 플러크와 Direct Blue의 침전이 충분히 일어나지 않아 제거효율이 낮았다.

3-5. 외부 중성염(neutral salt)의 영향

Table 1은 이온부상법에 의한 Direct Blue 제거시 도입된 외부 중성염, NaNO₃, Na₂SO₄, Ca(NO₃)₂의 영향을 보이고 있다. 외부중성염

Table 1. Effect of foreign salts on Direct Blue Removal by ion flotation

NaNO ₃ (M)	Na ₂ SO ₄ (M)	Ca(NO ₃) ₂ (M)	Residual concentration (ppm)
0.0	-	-	0.32
0.1	-	-	2.69
0.2	-	-	3.47
0.3	-	-	4.08
0.4	-	-	4.83
0.5	-	-	5.39
-	0.0	-	0.32
-	0.1	-	6.59
-	0.2	-	7.24
-	0.3	-	7.61
-	0.4	-	7.89
-	0.5	-	7.92
-	-	0.0	0.32
-	-	0.1	6.09
-	-	0.2	6.74
-	-	0.3	7.11
-	-	0.4	7.39
-	-	0.5	7.42

Direct Blue=25 ppm, [HTAB]/[DB]=3.5, pH 4.0, air flow rate=100 mL/min, flotation time=3 min.

의 존재는 Direct Blue의 제거효율을 감소시킨다. 이것은 양이온계 면활성제인 HTA에 대하여 Direct Blue와 이온들이 서로 경쟁하기 때문이다. 이가음이온인 SO₄²⁻를 포함하고 있는 Na₂SO₄가 일가 음이온인 NO₃⁻를 포함하고 있는 NaNO₃보다 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 이것은 일가 음이온인 NO₃⁻보다는 이가 음이온인 SO₄²⁻이온이 양 전하를 띄는 HTA에 보다 강하게 결합함으로써, Direct Blue와 HTA의 결합에 보다 큰 영향을 미치기 때문일 것이다. 또한, 이가의 양이온인 Ca²⁺를 포함하고 있는 Ca(NO₃)₂의 영향이 일가의 양이온인 Na⁺를 포함하고 있는 NaNO₃에 비해 영향이 큼을 알 수 있었다. 이것은 일가의 양이온인 Na⁺이온보다는 이가의 양이온인 Ca²⁺이온이 음이온인 Direct Blue에 강하게 흡착하여 제거효율을 감소시키는 것으로 생각된다.

Table 2에 흡착콜로이드부상법에 의한 Direct Blue의 제거시 외부

Table 2. Effect of foreign salts on Direct Blue Removal by adsorbing colloid flotation

NaNO ₃ (M)	Na ₂ SO ₄ (M)	Ca(NO ₃) ₂ (M)	Residual concentration (ppm)
0.0	-	-	0.03
0.1	-	-	1.03
0.2	-	-	1.57
0.3	-	-	2.61
0.4	-	-	2.92
0.5	-	-	3.13
-	0.0	-	0.03
-	0.1	-	0.72
-	0.2	-	2.53
-	0.3	-	4.89
-	0.4	-	7.36
-	0.5	-	10.51
-	-	0.0	0.03
-	-	0.1	0.58
-	-	0.2	2.02
-	-	0.3	3.91
-	-	0.4	6.62
-	-	0.5	9.46

Direct Blue=25 ppm, SLS=60 ppm, Fe(III)=80 ppm, pH 5.0, air flow rate=100 ml/min, flotation time=2 min.

Table 3. Effect of Al(III) on Direct Blue Removal by adsorbing colloid flotation

Na ₂ SO ₄ (M)	Ca(NO ₃) ₂ (M)	Fe(III) (ppm)	Al(III) (ppm)	Residual concentration (ppm)
0.5	-	80	0	10.51
0.5	-	80	5	3.86
0.5	-	80	10	1.00
0.5	-	80	20	0.60
0.5	-	80	30	0.59
-	0.5	80	0	9.46
-	0.5	80	5	2.64
-	0.5	80	10	1.12
-	0.5	80	20	0.80
-	0.5	80	30	0.50

Direct Blue=25 ppm, SLS=60 ppm, pH 5.0, air flow rate=100 ml/min, flotation time=2 min.

중성염, NaNO₃, Na₂SO₄, Ca(NO₃)₂의 영향을 나타내었다. 외부 중성염으로부터 해리된 음이온이 양전하를 띠고 있는 흡착콜로이드 Fe-(OH)₃에 흡착함으로써 철침전물의 양이온성을 감소시킨다. 그래서 양전하를 띤 Direct Blue의 침전물과 음이온 계면활성제간의 결합력을 약화시켜, 제거효율을 급격하게 감소시킨다.

양이온의 경우는 흡착콜로이드 Fe(OH)₃ 플럭의 응집기능을 약화시키는 것으로 알려져 있다. 그래서 감소된 응집능에 의하여 침전물의 입자크기가 감소된다. 일정한 계면활성제 양에서 최적 크기보다 작아진 침전물입자는 기포부상에 의하여 큰 입자보다 제거되기 어렵다[12].

흡착콜로이드부상에서도 이온부상에서와 마찬가지로 Na₂SO₄의 영향은 NaNO₃보다 크고, Ca(NO₃)₂의 영향은 NaNO₃보다 크게 나타났다.

3-6. Al(III) 첨가의 영향

앞의 Table 2의 결과에서 볼 수 있듯이 흡착콜로이드부상에서 외

부이온이 존재하는 경우 Direct Blue의 제거효율이 심각하게 영향을 받는 것으로 나타났다. 외부이온이 존재하는 경우 Direct Blue의 제거효율의 증가를 activator로 사용된 Al(III) 이온의 첨가에 의하여 얻을 수 있었으며 Table 3에 나타내었다. 적은 양의 Al(III) 이온을 첨가하므로써 Direct Blue를 효율적으로 제거시킬 수가 있었다. 이것은 Al(OH)₃의 등전점이 9.1[20] 근처로 Fe(OH)₃의 등전점 7.1보다 높기 때문에 Al(III)가 Fe(OH)₃ 플럭의 양이온성을 증가시켜[21], Fe-(OH)₃ 플럭과 계면활성제의 친화력을 증가시켜 Table 3에서 보는 바와 같이 제거효율을 크게 증가시키고 있다.

4. 결 론

(1) 수용액 중의 Direct Blue의 제거를 이온부상과 흡착콜로이드부상법의 두 가지 거품분리기술을 이용하여 행한 결과 초기농도 25 ppm의 Direct Blue를 이온부상에서는 3분처리 후 수용액 중의 잔존농도를 0.5 ppm 미만으로 낮출 수 있었으며, 흡착콜로이드부상에서는 2분처리 후 0.1 ppm 미만으로 낮출 수 있었다.

(2) Direct Blue 제거의 최적 pH는 이온부상에서는 pH 4, 흡착콜로이드부상에서는 pH 3-5이었으며, pH 3-5 범위에서는 흡착콜로이드부상법이 이온부상법보다 제거효율이 우수하였다.

(3) Direct Blue를 효율적으로 부상하기 위해서는 이온부상에서는 Direct Blue 1몰에 대하여 HTA 3.5가 필요하였으며, 흡착콜로이드부상에서는 SLS 농도 60 ppm에서 안정한 거품을 형성하여 최적조건을 얻었다.

(4) 외부이온의 존재는 Direct Blue의 제거효율을 감소시켰으며, 이가이온의 영향이 일가이온의 영향보다 훨씬 크게 나타났다.

(5) Activator로 사용한 Al(III) 이온의 첨가는 제거효율을 크게 증가시켜 흡착콜로이드부상의 성능을 감소시키는 것을 해결할 수 있었다.

감 사

이 논문은 1995년도 한국과학재단 목적기초지원(KOSEF 951-1103-036-1)에 의해 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Zollinger, H.: "Color Chemistry", VCH, New York(1987).
- Kuo, W. G.: *Water Res.*, **26**, 881(1992).
- Sax, N. I.: "Cancer Causing Chemical", DC 9625000, VNR, New York(1981).
- Lemlich, R.: "Adsorptive Bubble Separation Techniques", Academic, New York(1972).
- Clarke, A. N. and Wilson, D. J.: *Sep. Purif. Methods*, **7**, 55(1978).
- Grievies, R. B.: *Chem. Eng. J.*, **9**, 93(1975).
- Somasundaran, P.: *Sep. Sci.*, **10**, 93(1975).
- Grievies, R. B. and Schwartz, S. M.: *AIChE J.*, **12**, 746(1966).
- Grievies, R. B. and Bhattacharyya, D.: *Sep. Sci.*, **8**, 501(1973).
- Thackston, E. L., Wilson, D. J., Hanson, J. S. and Miller, Jr., D. L.: *J. Water Pollut. Control Fed.*, **52**, 317(1980).
- McIntyre, G., Rodriguez, J. J., Thackston, E. L. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**, 673(1982).
- Choi, S. J. and Ihm, S. K.: *Sep. Sci. Technol.*, **23**(4 & 5), 363 (1988).
- Shin, W. S. and Choi, S. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **29**(16), 2131

- (1994).
14. Caragay, A. B. and Karger, B. L.: *Anal. Chem.*, **38**, 652(1966).
15. Karger, B. L., Caragay, A. B. and Lee, S. B.: *Sep. Sci. and Technol.*, **2**, 39(1967).
16. Karger, B. L. Pinfold, T. A. and Palmer, S. E.: *Sep. Sci. Technol.*, **5**, 603(1970).
17. Womack, J. L., Lichter, J. C. and Wilson, D. J.: *Sep. Sci. Technol.*, **17**, 897(1982).
18. Sheu, G. L. and Huang, S. D.: *Sep. Sci. Technol.*, **22**, 2253(1987).
19. Huang, J. Y. and Huang, S. D.: *Sep. Sci. Technol.*, **26**, 59(1991).
20. Huang, S. D., Tzuoo, J. J., Gau, J. Y., Hsieh, H. S. and Fann, C. F.: *Sep. Sci. Technol.*, **19**(13-15), 1061(1984-85).
21. Huang, S. D., Fann, C. F. and Hsieh, H. S.: *J. Colloid Interface Sci.*, **89**, 504(1982).