

염색폐수의 생물학적 처리에 미치는 cosubstrates의 영향 및 색도제거 기전 연구

김미경[†] · 서상준* · 안재환 · 신응배**

한국건설기술연구원 · *(주)동명기술공단 · **지역환경기술개발센터 연합회

(2006년 2월 20일 접수, 2006년 7월 13일 채택)

A Study on the Effects of Cosubstrates on the Biological Treatment and the Decolorization Mechanisms of Dyeing Wastewater

Mee-Kyung Kim[†] · Sang-Jun Seo* · Jae-Hwan Ahn · Eung-Bai Shin**

Korea Institute of Construction Technology · *Dongmyeong Engineering Consultant & Architecture

**Council on Regional Environmental Centers

ABSTRACT : In this research, the decolorization mechanisms of dye wastewater were divided into two pathways, one was physicochemical sorption to biomass flocs and the other was biological removal by microbial metabolisms. Batch tests were conducted to examine the reaction conditions, anaerobic and aerobic conditions, types and dose of cosubstrates, and to confirm the mechanisms of decolorization through the biosorption tests using the activated sludge and the autoclaved deactivated sludge. From the tests, the decolorization efficiencies of dye wastewater were 102 Δ unit/g MLSS under the aerobic condition and 123 Δ unit/g MLSS under the anaerobic condition, and organic removals were 82 mg Δ COD/gMLSS and 75 mg Δ COD/gMLSS respectively. Acetate was the more efficient cosubstrate than the domestic wastewater in the decolorization step. In addition the removal of colors and organics was increased with cosubstrates dosage. And 20.3~37.3 Δ unit/g MLSS was removed by the autoclaved sludge and 102.0~159.0 Δ unit/g MLSS by the activated sludge. The physicochemical sorption was dominant in the beginning of biosorption tests, and the biological decolorization was increased with a cosubstrate in the course of time.

Key Words : Dye Wastewater, Decolorization, Cosubstrate, Biosorption, Oxygen Uptake Rate

요약 : 본 연구에서는 염색폐수의 색도제거 기전을 미생물 floc에의 물리·화학적 흡착과 미생물의 대사에 의한 생물학적 제거의 두 가지로 분류하였다. 색도제거의 반응 조건, 즉 혐기/호기 조건, cosubstrate의 종류와 주입량 등을 회분식 실험에 의해 규명하고, 활성슬러지와 비활성슬러지의 biosorption 실험을 통하여 색도제거 기전을 확인하였다. 염색폐수의 색도는 호기조건과 혐기조건에서 각각 102 Δ unit/g MLSS, 123 Δ unit/g MLSS가 제거되어 혐기조건에서의 제거율이 높았으며, 유기물은 호기조건에서 82 mg Δ COD/gMLSS, 혐기조건에서 75 mg Δ COD/gMLSS 제거되어 호기조건에서 제거율이 더 높게 나타났다. Cosubstrate로서 실험수인 가정하수와 acetate를 이용하여 주입량에 따른 염색폐수의 제거능을 분석한 결과, cosubstrate의 주입에 따라 색도 및 유기물 제거량이 증가함을 확인하였으며 가정하수보다는 acetate가 색도제거에 있어서 더 효율적인 cosubstrate임을 알 수 있었다. 활성슬러지와 멸균된 비활성슬러지를 이용한 색도제거 실험 결과, 비활성슬러지의 색도제거량은 가정하수의 주입에 따라 20.3~37.3 Δ unit/g MLSS, 활성슬러지는 102.0~159.0 Δ unit/g MLSS로 나타났다. 또한 반응 초기에는 물리·화학적 흡착이 우세하였으나 시간이 지나면서 생물대사 작용에 의한 제거가 증가하는 경향을 보였으며, cosubstrate의 주입에 따른 미생물의 대사에 의한 제거물량이 증가하는 것으로 분석되었고, 이는 호흡을 측정결과와도 그 경향이 일치하였다.

주제어 : 염색폐수, 색도제거, 보조기질, 생물흡착, 호흡율

1. 서 론

염색폐수는 일반적으로 화학적 처리방법에 의해 처리되고 있으며, 우리나라에서는 염색업체에서 배출된 폐수가 개별사업장 혹은 공동처리시설에서 일차 처리 후 종말처리장으로 유입되어 생물학적 처리를 거쳐 최종방류되고 있다.

염색폐수의 생물학적 처리에 있어서, 산화조건에서의 염료의 생분해에 대한 내성과 회분식 염색공정의 특성으로 인하여

여 기질 순응이 어려운 점 등이 대표적인 문제로 여겨져왔다. 하지만 근래들어 혐기-호기 시스템에 의한 색도제거 가능성이 입증되면서 염색폐수의 생물학적 처리에 관한 연구가 활발해 지고 있다.

Shaul¹⁾은 생물학적 처리공정에서 염료의 미생물 흡착이 제거 기전의 첫 번째 단계이며 수용성이거나 분자량이 큰 염료는 미생물 세포막으로 염료의 투과가 용이하지 않아 생분해 효율이 낮다고 하였다. Gardner 등²⁾은 활성슬러지 공정에서 수용성 acid dye와 direct azo dye의 거동을 연구한 결과, 활성슬러지 공정에 적용된 18종의 염료 중 11종류는 처리되지 않았고, 4종류는 활성슬러지에 흡착되었으며, 3종류는 생분

[†] Corresponding author
E-mail: mkkim@kict.re.kr
Tel: 031-910-0617

Fax: 031-910-0291

해되었다고 보고하였다. 또한 불용성 mono-azo dye인 Disperse Blue 79를 연속주입식 pilot plant에서 연구한 결과, 62.3% 이상의 불용성 염료가 활성슬러지 공정에 의해 제거되지만 최초의 제거과정은 슬러지에의 흡착이라고 발표하였다. 또한 Bishop³⁾은 azo dye의 호기성 분해에 관한 연구에서 슬러지 흡착이 활성슬러지에 의한 염료의 첫 번째 제거 기전이며 염료의 분해가 비생물적 반응인지 생물적 반응인지는 염료의 종류에 따라 다르다고 보고하였다.

위와 같이 염색폐수의 생물학적 처리의 경우, 전통적인 호기성 폐수처리시스템으로 폐수의 색도를 효과적으로 제거할 수 없다고 알려져 있으며,⁴⁾ 많은 연구에서 혐기성 색도제거의 효능을 보고하였다.⁵⁻⁷⁾ 색도의 분해과정은 혐기성 조건에서 염료의 azo 결합이 파괴되어 상대적으로 색도가 낮거나 아니면 색도가 없는 aromatic amines 중간체를 형성한다.⁸⁾ 이러한 aromatic amines은 발암성이거나 돌연변이 유발 물질이지만 호기성 조건에서 분해가능하다고 알려져 있다.⁹⁾ 또한 다양한 염료의 생분해 연구에서, 혐기성 공정은 염색폐수의 색도를 제거하며 후단의 호기성 처리를 위해 염색폐수의 생분해도를 증가시키는 것으로 보고되었다.¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 혐기/호기 조건, cosubstrate의 종류와 주입량 등 염색폐수 색도 제거의 반응조건을 실험을 통해 규명하고, 미생물에 의한 색도제거 현상을 미생물 floc에의 물리·화학적 흡착과 미생물 대사에 의한 생물학적 분해 현상으로 나누어 이의 특성을 연구하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 전술한 두 가지 염색폐수의 색도 제거 기전 즉, 미생물 floc에의 물리·화학적 흡착과 생물학적 대사작용에 의한 색도제거를 실험적으로 확인하고, 반응 조건에 따른 두 기전의 제거량과 그 분율을 알아보고자 활성슬러지와 멸균한 비활성슬러지의 biosorption 실험을 수행하였다. 또한 미생물의 대사작용에 의한 색도제거현상을 cometabolism에 의한 것으로 보고,¹¹⁾ 가정하수와 acetate를 기질로 이용하여 기질의 주입에 따른 색도 제거율을 살펴보았다.

실험에 사용된 미생물은 염색폐수의 생물학적 처리 연구를 위하여 경기도 A 하수처리장에 설치된 pilot plant(10 m³/day

규모)에서 장기간 염색폐수와 가정하수에 순응된 미생물을 사용하였다. 또한 염색폐수는 pilot test를 위해 매일 이송된 B 염색공단 공동폐수처리 시설의 유입수를 사용하였고 cosubstrate로서 사용된 가정하수는 A 하수처리장의 일차 침전지 유출수를 사용하였으며, 그 성상은 Table 1과 같다.

2.1. 반응조건에 따른 염색폐수의 색도제거 현상

염색폐수 원수를 증류수로 2배 희석하고 염색폐수에 장기간 동안 순응된 슬러지를 이용하여 호기조건과 혐기조건에서 회분식 실험을 8시간 동안 수행하였다. 시료는 채취하는 대로 5A filter paper로 여과한 후 COD_{Cr}을 측정하고 색도는 시료를 0.45 μm membrane filter(Whatman 25mm, 0.45 μm, Cat No. 6786 2504)에 여과한 후 APHA Pt-Co 법으로 측정하였다.

또한 cosubstrate로서 가정하수의 주입량을 0, 10, 30%로 변화시켜 회분식 실험을 실시하였으며, cosubstrate의 종류를 가정하수 뿐 만 아니라 acetate로도 수행하여 두 결과를 비교하였다. Acetate는 sodium acetate를 COD_{Cr} 200 mg/L 용액으로 제조하여 이용하였으며, cosubstrate의 주입량에 따라서 초기 색도가 달라지므로 data의 분석은 비제거량으로 계산하여 비교하였다.

2.2. 물리·화학적 색도제거현상과 생물학적 색도제거 현상

염색폐수의 색도제거 기전을 앞서 언급한 바와 같이 물리·화학적 흡착과 미생물에 의한 분해의 2가지로 보았으며 이를 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

1) 흡착에 의한 색도제거

본 연구에서는 흡착에 의한 색도제거 현상을 규명하기 위하여 2가지 슬러지를 대상으로 회분식 실험을 수행하여 비교·평가하였다. 흡착제로서 슬러지의 물리·화학적인 흡착능을 보기 위하여 슬러지를 고압멸균한 후, 멸균 슬러지를 대상으로 염색 원수에 가정하수를 0, 10, 20, 30, 40% 첨가한 시료를 대상으로 흡착실험을 하였다. 또한 생물학적 흡착능의 평가를 위하여 활성슬러지를 대상으로 위와 동일한 실험을 수행하여 색도와 COD의 제거 경향을 관찰하였다.

2) 미생물의 대사작용에 의한 색도제거

본 실험에서는 가정하수의 첨가량에 따라서 염색폐수에 순응된 미생물을 대상으로 하여 생분해도 실험과 동일 조건에서 OUR test를 수행하여 대사작용에 의한 유기물 및 색도 제거 특성을 살펴보았다. 생분해도 실험은 위의 흡착실험과 동일한 조건에서 8시간 동안 수행하였으며 호흡을 측정기(Bioscience BI-1000, Bethlehem, PA, USA)와 OUR 모니터링 시스템을 이용하여 24시간 동안 미생물의 호흡율을 측정하였다. 또한 가정하수의 분율에 따른 IDR(Initial Decolorization Rate)과 SDR(Specific Decolorization Rate)을 계산하여 비교하였다.

Table 1. Characteristics of dye wastewater and domestic wastewater

	Dye wastewater	Domestic wastewater
BOD(mg/L)	251 [*] (216~298) ^{**}	122(57~147)
COD _{Cr} (mg/L)	681(435~800)	202(128~247)
COD _{Mn} (mg/L)	256(148~321)	59(40~77)
color(unit, APHA Pt-Co)	1,655(1338~2238)	172(149~192)
T-N(mg/L)	41(25~61)	34(21~50)
T-P(mg/L)	3.9(0.5~10.4)	2.6(1.0~7.1)
SS(mg/L)	112(64~162)	56(32~78)

^{*}: average, ^{**}: (min~max)

3. 결과 및 고찰

3.1. 반응조건에 따른 유기물 및 색도제거 특성

본 연구의 회분식 실험에서 혐기/호기조건과 cosubstrate의 종류와 주입량에 따른 염색폐수의 유기물과 색도제거는 Fig. 1~Fig. 2와 같은 결과를 얻었다.

8시간 동안 진행된 회분식 실험에서 염색폐수의 색도는 호기조건과 혐기조건에서 각각 102 Δ unit/g MLSS, 123 Δ unit/g MLSS가 제거되어 호기조건보다 혐기조건에서의 제거율이 높았으며, 유기물은 호기조건에서 82 mg Δ COD/g MLSS, 혐기조건에서 75 mg Δ COD/g MLSS 제거되어 호기조건에서 제거율이 더 높게 나타났다. Azo reactive dye를 대상으로 한 Panswad 등¹²⁾의 연구결과에서도 혐기조건에서 35~63%의 색도제거율을 얻었으며 호기조건에서의 색도제거는 15~18%로 나타나 혐기조건에서의 색도제거율이 더 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 또한 이들은 이러한 현상을 색도제거의 주요기전 즉, 미생물에 의해 혐기조건에서 염료의 공유결합이 생화학적으로 파괴되어 aromatic amine을 형성하는 현상과 미생물 floc에의 흡착현상으로 설명하였으며, 호기조건에서의 색도제거는 대부분 biosorption에 의한 것이며 이는 호기조건에서 일어나는 색도의 제거현상이 염료 분자구조의 변환을 수반하지 않는다는 실험결과를 토대로 결론지었다.

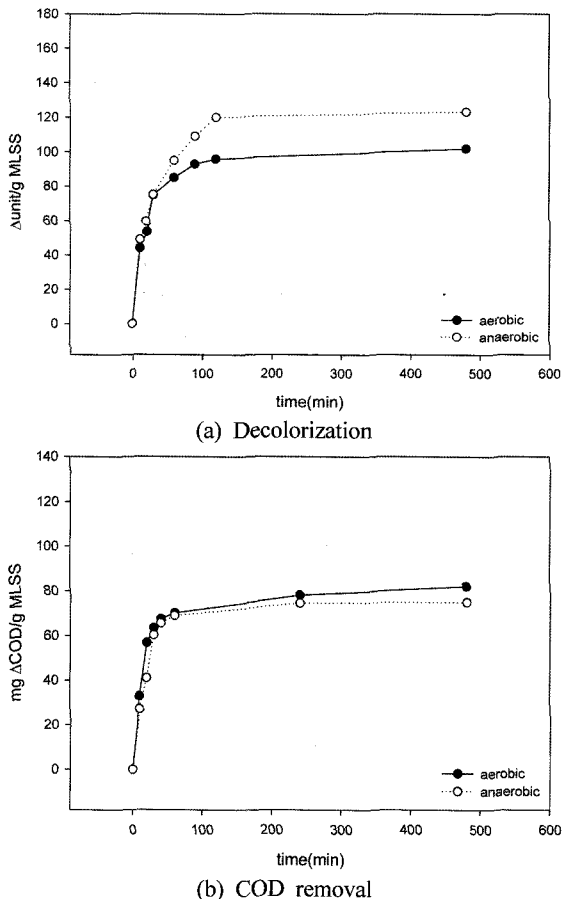


Fig. 1. Color and COD removal under aerobic and anaerobic conditions.

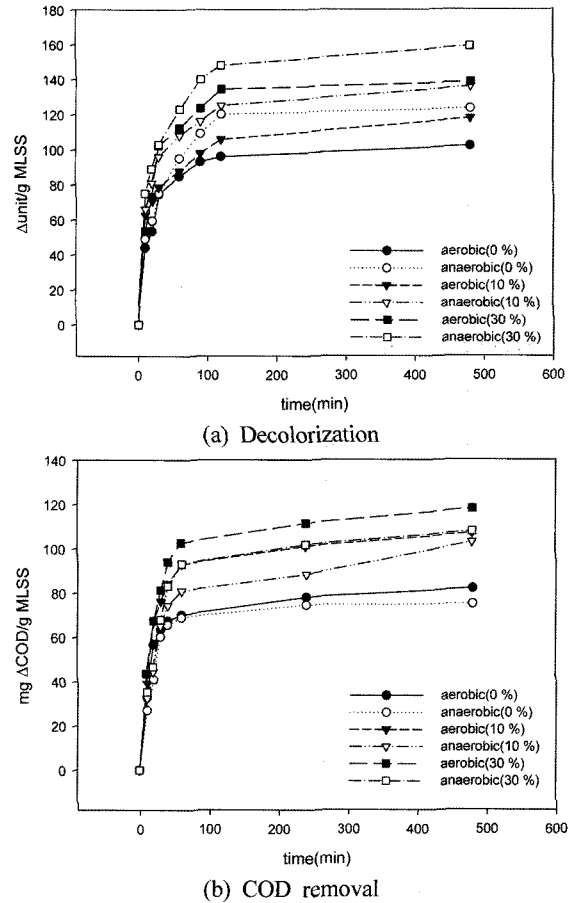


Fig. 2. Color and COD removal using domestic wastewater as a cosubstrate.

또한 cosubstrate로서 사용된 가정하수를 0%, 10%, 30% 주입하여 색도와 COD 제거를 살펴본 결과, 호기상태일 때 반응 8시간 동안 COD는 순서대로 82, 107, 118 mg Δ COD/g MLSS 제거되었으며, 혐기상태에서는 75, 103, 108 mg Δ COD/g MLSS 제거된 것으로 나타났다. 또한 색도는 호기상태에서 102, 118, 138 Δ unit/g MLSS 제거되었으며, 혐기상태에서 123, 136, 159 Δ unit/g MLSS 제거되었다. 위와 같이 가정하수를 주입함에 따라 색도의 비제거량이 증가하는 현상은 가정하수가 염색폐수의 색도제거에 cosubstrate로서 사용되었다는 증거이다.

Acetate를 cosubstrate로 이용하여 염색폐수의 색도제거를 관찰한 결과, COD는 8시간 동안 호기조건에서 주입을 30% 일 경우, 175 mg Δ COD/g MLSS가 제거되었으며 혐기조건에서는 152 mg Δ COD/g MLSS가 제거되어 가정하수를 cosubstrate로 사용한 앞의 실험결과보다 높은 비제거율을 나타내었다(Fig. 3). 이는 가정하수보다 acetate의 미생물의 이용도가 높기 때문인 것으로 사료된다.

색도의 경우에도 COD 제거와 비슷한 경향을 나타내었는데, acetate 주입을 30%의 호기조건에서 151 Δ unit/g MLSS, 혐기조건에서는 190 Δ unit/g MLSS가 제거되었다. Acetate를 cosubstrate로 이용하였을 경우에도 가정하수의 경우와 마찬가지로 혐기조건에서 색도제거율이 높게 나타났으며, 가정하수

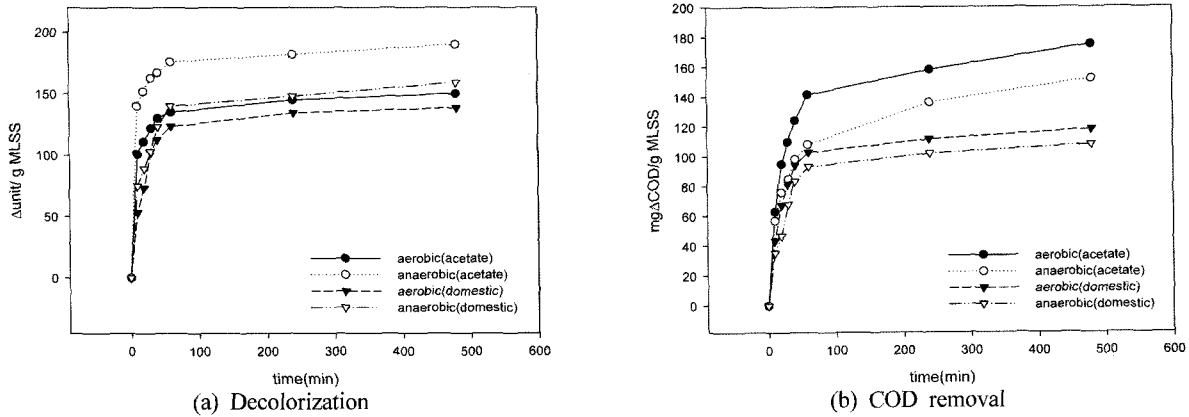


Fig. 3. Color and COD removal efficiency using acetate and domestic wastewater as cosubstrates.

보다는 acetate가 염색폐수의 색도제거에 더 효율적인 cosubstrate로 사용됨을 알 수 있었다.

그러나 단일 염료나 합성 염색폐수를 대상으로 한 다른 연구 결과들^{13,14}과 비교하여 cosubstrate의 첨가에 의한 색도제거율 향상에 대한 본 연구의 결과는 효율이 낮은 것으로 평가되었다. 이는 본 연구에서는 다양한 제품을 생산하는 염색업체들에서 배출된 실패수를 사용함으로써 폐수 내에 이미 이용 가능한 탄소원이 존재하여 cosubstrate의 첨가에 의한 영향이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 또한 cosubstrate로서 가정하수와 acetate의 염색폐수 처리능을 비교한 결과, 위의 결과에서 보여지듯이 cosubstrate로서 acetate를 이용하는 것이 더 효율적임을 알 수 있었는데, 회분식 실험에 이용된 미생물이 가정하수와 염색폐수에 장기간 순응되어 있음을 감안한다면 두 기질사이의 효율차이는 더 클 것으로 사료된다.

3.2. 물리·화학적 색도제거현상과 생물학적 색도제거 현상

가정하수의 주입율에 따른 호기, 혐기상태에서의 활성슬러지를 이용한 실험결과와 동일 조건에서의 고압 멸균된 비활성 슬러지를 이용하여 실험한 결과를 Fig. 4~Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보여지듯이 염색폐수의 유기물과 색도는 대부분이 미생물의 대사작용에 의해 제거되는 것을 알 수 있었다.

하수의 첨가율에 따라 차이는 있으나 비활성슬러지를 이용한 실험에서 유기물의 경우 8시간 동안 13.5~34.1 mg ΔCOD/g MLSS, 색도는 20.3~37.3 Δunit/g MLSS의 제거량을 나타내었다. 이는 활성슬러지를 이용한 실험에서 74.9~118.0 mg ΔCOD/g MLSS, 색도는 102.0~159.0 Δunit/g MLSS의 비 제거량을 나타낸 것과 비교된다.

본 실험의 결과는 호기조건에서 색도제거는 대부분이 물리·화학적 흡착에 의해 일어나며 따라서 염료분자구조의 변환을 수반하지 않는다고 전술한 Panswad 등¹²의 연구결과와 다른 경향을 보여주고 있다. 이는 본 연구의 실험에 사용된 미생물의 경우 장기간 동안 MLE 공정의 pilot plant에서 염색폐수에 순응되었기 때문인 것으로 판단되며, HPLC를 이용한 중간생성물의 분석을 통하여 aromatic amine의 증가를 확인하여 호기조건에서의 생물학적 분해를 확인할 수 있었다.

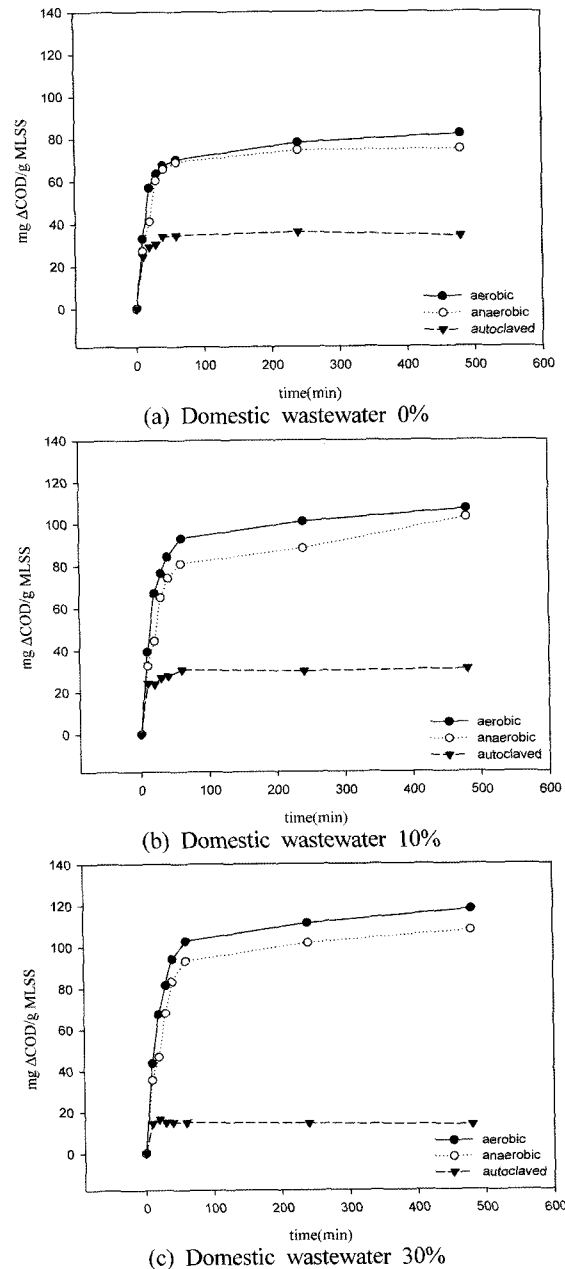
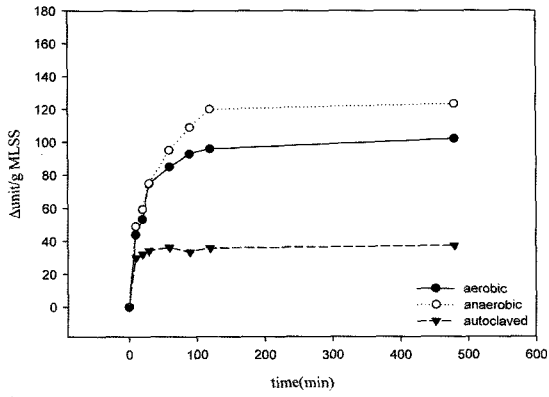
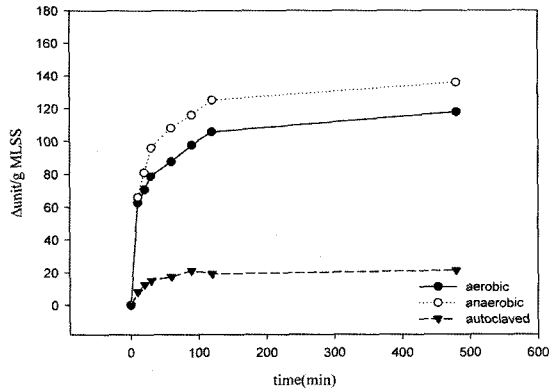


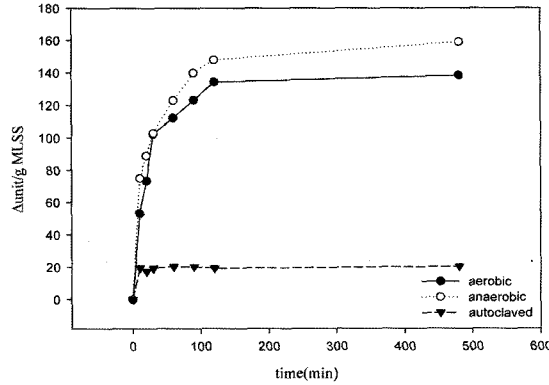
Fig. 4. Biotic and abiotic COD removal.



(a) Domestic wastewater 0%



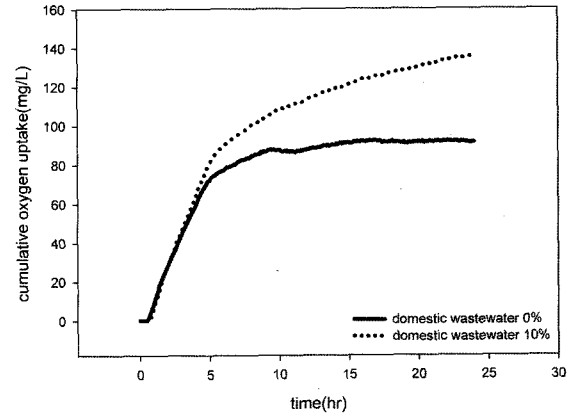
(b) Domestic wastewater 10%



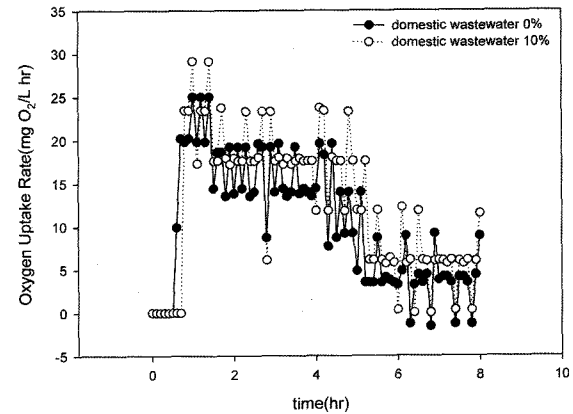
(c) Domestic wastewater 30%

Fig. 5. Biotic and abiotic color removal.

호기성 조건에서 수행한 회분식 실험과 동일한 조건에서 respirometer를 이용하여 미생물의 산소소모율을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)에서 가정하수를 첨가하지 않은 시료와 가정하수를 10% 첨가한 시료의 누적 산소소모량은 각각 91.3 mg/L와 135.4 mg/L로서 가정하수를 첨가한 경우 44.1 mg/L의 산소소모량이 증가하였으며, OUR(Oxygen Uptake Rate)은 Fig. 6(b)에서 보는 바와 같다. 염색폐수에 비하여 생분해도가 높은 하수의 첨가로 인하여 미생물의 활성도가 증가하였음을 나타내고 있으며 그림으로 나타내지는 않았으나 하수의 첨가율을 20%와 30%로 증가시키더라도 전체적인 산소소모량과 OUR값은 하수를 10%첨가하였을 경우와 큰 차이없이 비슷하게 나타남을 볼 수 있었다.



(a) Cumulative oxygen uptake



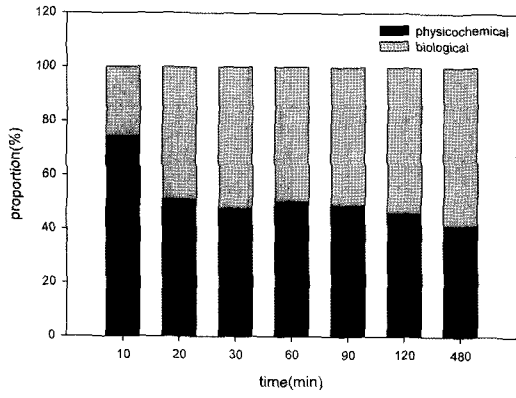
(b) Oxygen uptake rate

Fig. 6. OUR test for the addition of domestic wastewater.

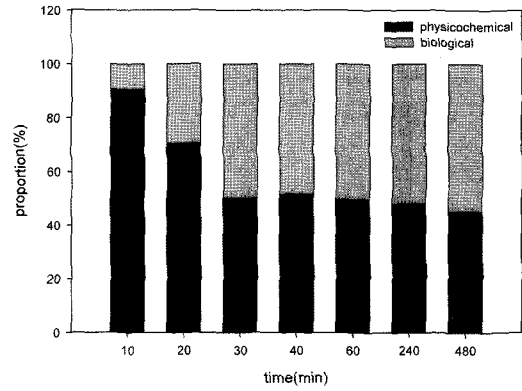
위의 실험결과를 토대로 활성슬러지에 의한 염색폐수의 색도 제거량을 흡착에 의한 물리·화학적 제거량과 미생물의 대사작용에 의한 생물학적 제거량의 합으로 보고 두 기작에 의한 제거분율을 나누어 아래와 같이 Fig. 7~Fig. 8에 나타내었다.

유기물제거에 있어서는 물리·화학적 흡착에 의한 제거분율이 가정하수의 투입량에 따라서 차이는 있으나 반응초기에는 높았다가 시간이 지남에 따라서 감소하는 경향을 보이고 있으며, 하수의 함량이 증가할수록 미생물의 대사에 의한 제거분율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 즉 반응시간 10분에서는 호기조건에서 가정하수의 함량이 0%, 10%, 30%로 증가함에 따라서 생물학적 제거분율이 25.3%, 38.2%, 68.8%로 증가하였으며, 반응 후 8시간에서는 각각 58.5%, 71.1%, 88.6%로 증가하였다. 또한 혐기조건에서는 반응 10분에서 9.3%, 25.4%, 59.1%로 나타났으며 8시간 후에는 54.5%, 70.0%, 87.5%로 분석되어 생물대사 작용에 의한 분해작용이 우세한 것으로 나타났다. 또한 흡착과 생물학적 분해의 분율에 호기/혐기 조건의 영향은 없는 것으로 사료된다.

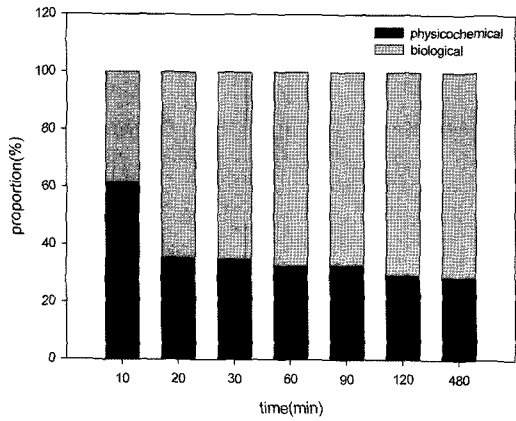
색도제거에 있어서는 가정하수의 주입에 따른 경향이 뚜렷하게 나타났다. 하수를 주입하지 않은 경우에는 물리·화학적 제거분율이 초기에 우세하였다가 시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보이나 가정하수를 투여한 경우에는 비활성슬러지에 의한 제거량이 매우 낮아 반응초기부터 생물학적



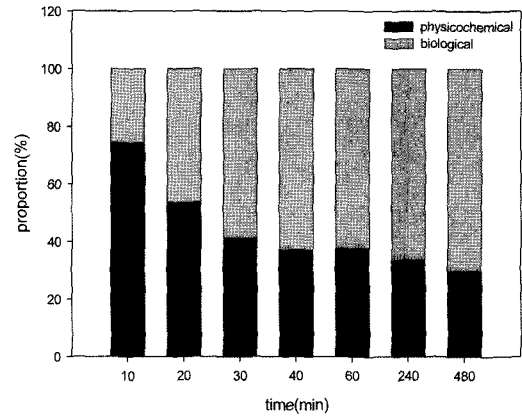
(a) Aerobic condition, Domestic wastewater 0%



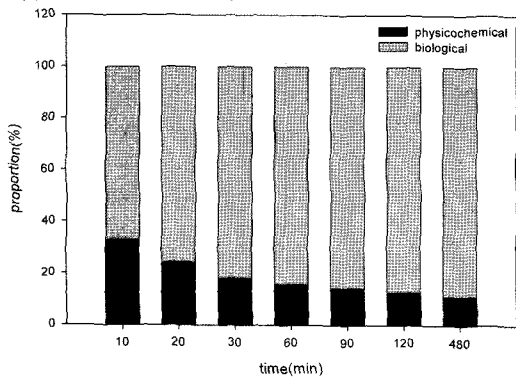
(b) Anaerobic condition, Domestic wastewater 0%



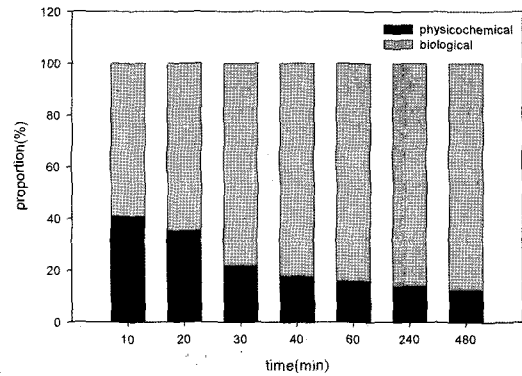
(c) Aerobic condition, Domestic wastewater 10%



(d) Anaerobic condition, Domestic wastewater 10%

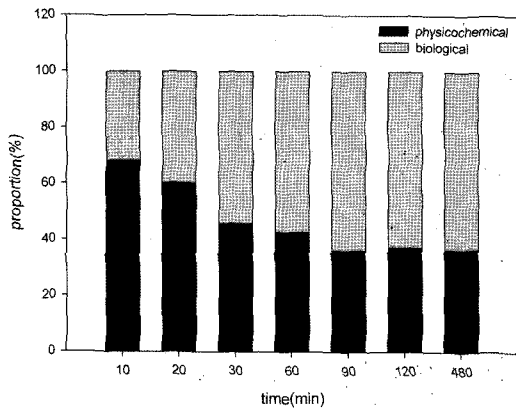


(e) Aerobic condition, Domestic wastewater 30%

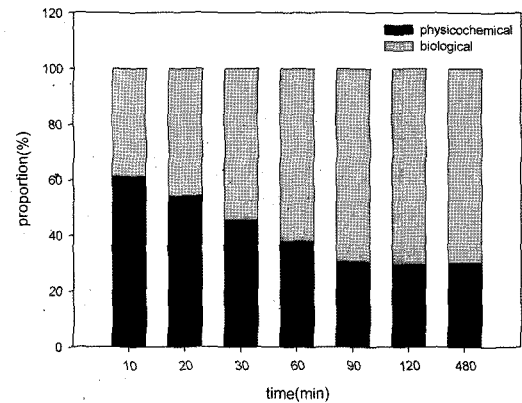


(f) Anaerobic condition, Domestic wastewater 30%

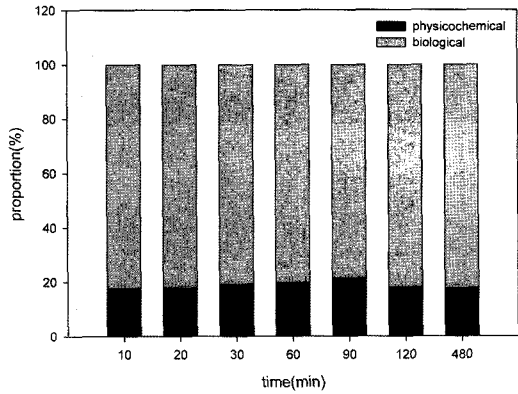
Fig. 7. Proportion of physicochemical and biological COD removal.



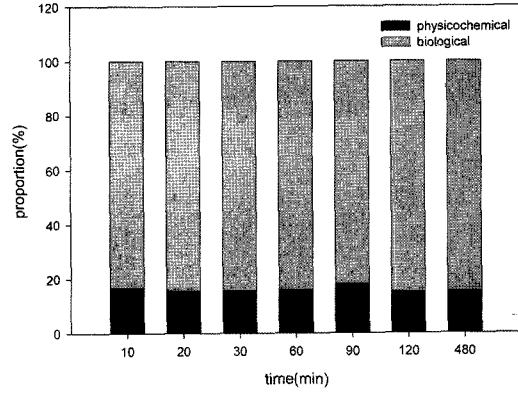
(a) Aerobic condition, Domestic wastewater 0%



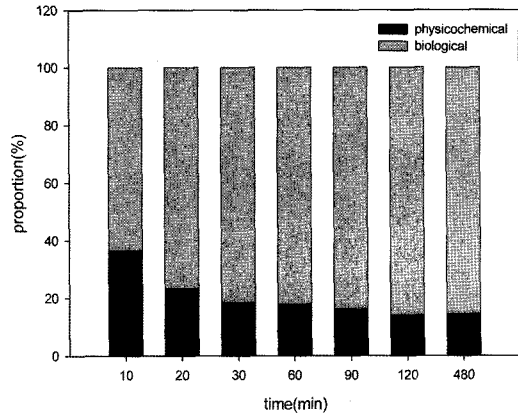
(b) Anaerobic condition, Domestic wastewater 0%



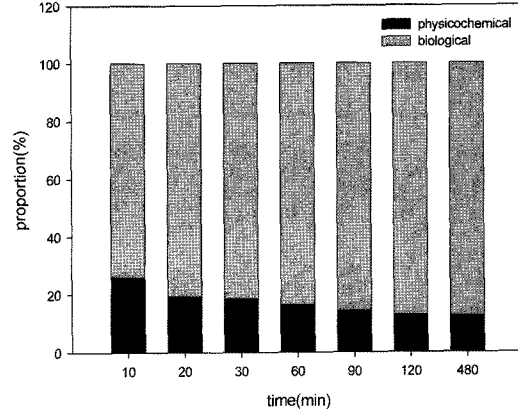
(c) Aerobic condition, Domestic wastewater 10%



(d) Anaerobic condition, Domestic wastewater 10%



(e) Aerobic condition, Domestic wastewater 30%



(f) Anaerobic condition, Domestic wastewater 30%

Fig. 8. Proportion of physicochemical and biological color removal.

Table 2. IDR and SDR under various conditions

		IDR(Δ unit/hr)			SDR(Δ unit/g MLSS \cdot hr)		
		0%	10%	30%	0%	10%	30%
Aerobic	domestic	85.0	87.7	112.4	12.8	14.7	17.3
	acetate	111.0	113.6	135.0	15.3	16.6	18.8
Anaerobic	domestic	95.1	108.0	123.0	15.4	17.0	19.9
	acetate	137.2	166.9	176.1	18.3	21.9	23.8
Autoclaved	domestic	36.3	17.5	20.3	4.7	2.7	2.5
	acetate	-	-	-	-	-	-

대사에 의한 제거분율이 매우 높게 나타났다. 즉, 호기조건에서 가정하수 주입량이 0%, 10%, 30%로 증가시키면 생물학적 제거분율이 반응초기에 31.6%, 82.1%, 63.3%로 나타났으며 혐기상태에서는 38.7%, 83.0%, 73.9%로 분석되었다. 또한 반응 8시간 후에는 호기조건에서 각각 63.5%, 82.0%, 85.3%로, 혐기조건에서 69.8%, 84.4%, 87.2%로 나타나 색도제거에 있어서는 가정하수의 주입에 따른 경향이 뚜렷하게 나타났다. 그러나 주입량에 따른 차이는 매우 근소한 것으로 분석되었다.

위의 회분식 실험결과로부터 IDR(Initial Decolorization Rate)과 SDR(Specific Decolorization Rate)을 계산하여 Table 2에 나타내었다. Luangdilok과 Panswad¹⁵⁾의 연구에서는 IDR의 산정을 2시간 동안 일어나는 색도제거량을 기준으로 하였으

나, 본 실험에서 1시간 이내에 색도제거가 거의 완료되어 1시간을 기준으로 계산하여 비교하였다. 그들의 연구결과에 의하면 기질의 종류는 IDR과 SDR에 영향을 미치지 않으며 주입된 cosubstrate의 농도가 이에 큰 영향을 끼친다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 cosubstrate의 종류뿐만 아니라 주입여부와 주입량도 IDR과 SDR에 영향을 끼치고 있는 것으로 분석되었다. 이는 Luangdilok과 Panswad¹⁵⁾의 연구에서는 glucose와 acetate가 비교 대상 기질이었으며, 본 연구에서는 acetate와 실패수인 가정하수를 비교하였기 때문에 기질의 종류에 따른 영향이 크게 부각된 것으로 사료된다.

4. 결론

1) 염색폐수의 색도는 호기조건과 혐기조건에서 각각 102 Δ unit/g MLSS, 123 Δ unit/g MLSS가 제거되어 호기조건보다 혐기조건에서의 제거율이 높았으며, 유기물은 호기조건에서 82 mg Δ COD/gMLSS, 혐기조건에서 75 mg Δ COD/gMLSS 제거되어 호기조건에서 제거율이 더 높게 나타나 기 발표된 많은 연구의 결과와도 일치하는 경향을 나타내고 있다.

2) Cosubstrate로서 실패수인 가정하수와 acetate를 이용하여 주입량에 따른 염색폐수의 제거능을 분석한 결과, cosubstrate의 주입에 따라 색도 및 유기물 제거량이 증가함을 확인하였으며 가정하수보다는 acetate가 색도제거에 있어서 더

효율적인 cosubstrate임을 알 수 있었다. 그러나 하·폐수처리장에서 실제 적용을 고려한다면 가정하수의 이용이 경제적인 방안이라 사료된다.

3) 활성슬러지와 멸균된 비활성슬러지를 이용한 색도제거 실험 결과, 비활성슬러지의 색도제거량은 가정하수의 주입에 따라 20.3~37.3 Δ unit/g MLSS, 활성슬러지는 102.0~159.0 Δ unit/g MLSS로 나타났다. 또한 반응 초기에는 물리·화학적 흡착이 우세하였으나 시간이 지나면서 생물대사 작용에 의한 제거가 증가하는 경향을 보였으며, 특히 cosubstrate로서 가정하수의 주입에 따른 생물학적 제거분율의 증가 경향을 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

4) Cosubstrate를 10% 주입한 폐수와 주입하지 않은 폐수의 호흡율을 측정된 결과, 누적 산소 소모량이 각각 135.4 mg/L와 91.3 mg/L로 측정되었으며 기질의 주입에 따라 산소 소모량이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 안전환경기술개발센터의 사업 중 “염색폐수 처리효율 개선 및 별도배출허용기준 검토”의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Shaul, G. M., Holdworth, T. J., Dempsey, C. R., and Dostal, K. A., “Fate of Water Soluble Azo Dyes in the Activated Sludge Process,” *Chemosphere*, **22**, 107~119 (1991).
2. Gardner, D. A., Holdworth, T. J., Shaul, G. M., Dostal, K. A., and Betowski, D. L., Aerobic and Anaerobic Treatment of C.I. Disperse Blue 79, Document No. EPA/600/2-89/051A&B, U.S.EPA, Ohio(1989).
3. Bishop, P. L., Presentation to the Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturing Industry(ETAD), Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cincinnati, Pittsburgh, Pennsylvania(1993).
4. Carliell, C. M., Barclay, S. J., and Buckley, C. A., “Treatment of Exhausted Reactive Dyebath Effluent Using Anaerobic Digestion: Laboratory and Full-Scale Trials,” *Water SA*, **22**(3), 225~233(1996).
5. Banat, I. M., Nigam, P., Singh, D., and Marchant, R., “Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents : A Review,” *Bioresource Technology*, **58**, 217~227 (1996).
6. Bhattacharya, S. K., Wang, S., Angara Rao, V. R., Kawai, T., and Bishop Jr, D. F., “Fate and Effect of Azo Dye on an Anaerobic-Aerobic System,” in *Proceedings of the 44th Purdue Industrial Waste Conference*, Indiana, 295~297(1989).
7. Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., Burcley, C. A., Mulholland, D. A., and Senior, E., “Anaerobic Decolorisation of Reactive Dyes in Conventional Sewage Treatment Process,” *Water SA*, **20**(4), 341~344(1994).
8. Frank, P. Z. and Santiago, V., “Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies,” *Water Res.*, **39**, 1425~1440(2005).
9. Flores, E. R., Luijten, M., Donlon, B. A., Lettinga, G., and Field, J. A., “Complete Biodegradation of the Azo Dye Azodisalicylate under Anaerobic Conditions,” *Environ. Sci. Technol.*, **31**, 2098~2103(1997).
10. Seshadri, S., Bishop, P. L., Agha, A. M., “Anaerobic/Aerobic Treatment of Selected Azo Dyes in Wastewater,” *Waste Mgmt.*, **15**, 127~137(1994).
11. Razo-Flores, E., Luijten, M., Donlon, B., Lettinga, G., and Field, J., “Biodegradation of Selected Azo Dyes under Methanogenic Conditions,” *Water Sci. Technol.*, **36**(6-7), 65~72(1997).
12. Panswad, T., Techovanich, A., and Anotai, J., “Comparison of Dye Wastewater Treatment by Normal and Anoxic+Anaerobic/Aerobic SBR Activated Sludge Processes,” *Water Sci. Technol.*, **43**(2), 355~362(2001).
13. Chinwetkitvanich, S., Tuntoolvest, M., and Panswad, T., “Anaerobic Decolorization of Reactive Dyebath Effluents by a Two-Stage UASB System with Tapioca as a Co-substrate,” *Water Res.*, **34**(8), 2223~2232(2000).
14. Pansuwan, J. and Panswad, T., “Color Removal of Disperse, Reactive and Sulfur Dye Wastewaters by an A/O-SBR Process,” in *Proceedings of the Asian Waterqual '97(6th IAWQ: Asia-Pacific Regional Conference)*, Seoul, Korea, 802~809(1997).
15. Luangdilok, W. and Panswad, T., “Effect of Chemical Structures of Reactive Dyes on Color Removal by an Anaerobic-Aerobic Process,” *Water Sci. Technol.*, **42**(3-4), 377~382(2000).