

가정하수를 cosubstrate로서 사용한 하수-염색폐수-공장폐수의 합병 고도처리 pilot plant 연구

김미경[†] · 서상준^{*} · 류덕희 · 정동일

국립환경과학원 물환경연구부

^{*}(주)동명기술공단

Pilot Study on the Advanced Treatment of Combined Wastewater with Sewage as a Cosubstrate

Mee-Kyung Kim[†] · Sang-Jun Seo^{*} · Doug-Hee Rhew · Dong-II Jung

Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research

^{*}Dongmyeong Engineering Consultant & Architecture

(Received 29 October 2008, Revised 16 January 2009, Accepted 24 January 2009)

Abstract

In this research, a retrofitting process, which consists of a pretreatment system (coagulation) for dye wastewater combined with a biological nutrient system (MLE process using media), for a sewage treatment plant that has to treat dye wastewater efficiently with domestic wastewater were developed and a pilot plant was operated for verifying adoptability and performance of the developed advanced process for dye wastewater. From the results of the pilot plant operation, BOD 52.9%, COD_{Cr} 55.9%, and color 71.3% were removed in pretreatment of coagulation process and the biodegradability of dye wastewater was improved to 0.32~0.59 BOD/COD_{Cr} of the coagulated wastewater from 0.29~0.43 BOD/COD_{Cr} of the raw dye wastewater. The final effluent concentrations were BOD of 8 mg/L, COD_{Cr} of 43 mg/L, COD_{Mn} of 18 mg/L, T-N of 8 mg/L, and T-P of 1.3 mg/L, respectively. Color was removed from 1655 to 468 unit by coagulation and then to 123 unit by MLE process. The HPLC analysis of aromatic amines in wastewater showed that decolorization was achieved by cometabolism while aromatic amines were produced by cleavage of azo bonds under anaerobic conditions and these products were removed in an aerobic tank subsequently. Nitrification rates of attached and suspended microorganisms were evaluated comparatively and the acclimating conditions of bacteria on media were validated by the scanning electron microscope.

keywords : Advanced treatment process, Coagulation, Dyeing wastewater, Modified Ludzack and Ettinger process, Retrofitting

1. 서론

환경부(2007)의 발표자료에 따르면 2006년말 현재 전국적으로 운영중인 하수처리장은 총 344개소로서 고도처리 공정이 도입된 처리장은 전체의 63.6%인 219개소에 해당하며 전년도 대비 67개소가 증가하였다. 하지만 이 중 유입수질이 계획 수질 대비 50%미만인 하수처리장은 BOD 기준으로 91개소, SS 기준으로 104개소에 해당하며 특히 20%미만인 하수처리장은 BOD 기준 17개소, SS 기준 17개소에 달하고 있다. 이에 정부에서는 저농도 하수처리장에 대해 하수관정거비사업 등의 대책을 마련하고 있으나 고도처리를 위한 안정적인 탄소원의 공급은 일반적으로 약품투입에 의존할 수 밖에 없는 실정이다.

염색폐수는 대부분 화학적 처리방법에 의해 처리되고 있

으며, 우리나라에서는 일반적으로 염색업체에서 배출된 폐수가 개별 사업장 혹은 공동처리시설에서 배출허용기준에 맞추어 일차 처리된 후 하수종말처리장으로 유입되어 생물학적 처리를 거쳐 최종 방류되고 있다. 이렇게 배출허용기준을 준수하기 위해서 화학적 처리와 생물학적 처리를 거친 염색폐수는 하수처리장 빈부하의 직접적 원인이 되고 있다.

염색폐수의 생물학적 처리에 있어서, 염료의 생분해에 대한 내성과 미생물에 대한 독성, 회분식 염색공정의 특성으로 인하여 기질 순응이 어려우며 따라서 안정적인 생물학적 공정의 운영이 어려운 점 등이 대표적인 문제로 여겨져 왔다. 하지만 김미경 등(2006a, 2006b)의 연구를 통하여 혐기-호기 공정에 의하여 염색폐수의 색도와 유기물의 생물학적 처리가 가능함을 확인하였다. 김 등의 연구에서 염색폐수의 색도는 호기조건보다는 혐기조건에서 제거율이 높았으며 가정하수를 주입하였을 경우 더 높은 색도제거효율을 나타내어 cosubstrate로서 가정하수의 이용가능성을 시사하였다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
mkkim@me.go.kr

본 연구에서는 가정하수를 cosubstrate로서 이용한 염색폐수의 고도처리 효율을 pilot test를 통하여 현장에서 실증하고자 하였다. 연구대상 처리장인 A 하수처리장은 가정하수계열과 전처리된 염색폐수를 포함하는 공장폐수계열로 분리되어 표준활성슬러지법으로 각각 운영되고 있다. Pilot plant는 현장 조건과 동일한 각 폐수의 유입유량비를 적용하여 처리공정을 설계·운영하였으며, 염색폐수의 전처리는 현행의 Fenton-생물학적 후처리공정을 응집공정으로 대체하였다. 이는 폐수처리단계에서 배출허용기준의 준수를 위하여 과도한 화학처리를 한 결과, 최종처리단계인 하수처리장의 탄소원 부족과 알칼리도 부족을 야기하고 있는 현재의 하·폐수처리시스템의 대안으로서 제안된 것이다. 즉, 본 연구에서는 하수처리장에 유입되는 가정하수, 공장폐수, 응집처리된 염색폐수를 합병 고도처리함으로써 염색폐수 전처리 비용을 절감하고 하수처리장의 외부탄소원과 알칼리제 등 약품비 절감과 함께 안정적이고 효율적인 통합고도처리 시스템을 제안하였다.

이를 위하여 pilot plant의 전처리 공정과 고도처리공정의 유입·유출수를 각각 분석하여 처리 효율을 평가하였으며 질산화·탈질 실험을 통하여 질소제거 효율을 분석하였다. 또한 폭기조에 적용한 담체의 분석과 aromatic amines의 분석을 실시하여 본 연구에서 제안한 가정하수를 cosubstrate로서 사용한 하·폐수의 고도처리 가능성을 검증하였다.

2. 연구 방법

2.1. Pilot plant 시설 개요

A 하수처리장 내에 시공한 pilot plant는 3 m³/d 규모의 염색폐수 전처리 시설(응집 공정)과 10 m³/d의 하수-염색폐수-공장폐수의 합병실험을 위한 생물학적 고도처리 시스템

인 Modified Ludzack and Ettinger(MLE) process로 구성되어 있다.

염색폐수 전처리 시설은 염색폐수 원수를 매일 채수하여 저장하는 원수저류조(5 m³), pH 조정을 위한 NaOH 및 H₂SO₄ 주입펌프와 응집제인 FeCl₂, polymer 주입 펌프가 연결된 응집 반응조 및 증력침전조로 구성되어 있으며 증력침전조의 유출수는 응집처리수 저류조(2 m³)에 모아 고도처리 시설에 유입 처리되도록 구성되어 있다.

고도처리시설의 유입수는 A 하수처리장의 공장폐수계열과 가정하수계열의 1차 침전지 유출수를 공장폐수 저류조와 가정하수 저류조에 각각 저장하며, 이를 전처리된 염색폐수 응집처리수와 함께 A 하수처리장의 유입 유량비와 같게 가정하수:공장폐수:염색폐수의 비율이 2:1:1이 되도록 유입하여 고도처리시설의 원수혼합조에 유입시킨다. 원수혼합조에서 10 m³/d의 유량을 MLE 공정의 무산소조에 유입시키며 유량은 전자식 유량계로 조정한다. 호기조에는 반응기 용적의 10%의 담체를 충전하였으며 air pump를 통하여 공기를 주입한다. 호기조에서 무산소조의 내부반송은 2~3 Q이며 침전조에서 무산소조의 슬러지 반송은 0.5 Q로 운전하였다. 고도처리 공정의 HRT는 7 hr, SRT는 15 days가 되도록 조정하였으며 슬러지는 침전조에서 Masterflex pump를 이용하여 정량을 폐기하였다. 염색폐수 전처리 공정은 batch 식으로 운전을 하였으며 이는 염색폐수 응집처리수 저류조의 수위에 따라 sensor를 이용하여 자동화하였다. 본 시설의 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. 시료의 채취 및 분석

Pilot plant의 안정화기간을 거친 후 일주일에 2회 이상 유입수와 유출수의 분석을 하였으며 유입수의 시료채취는 염색원수, 응집처리된 염색폐수, 1차 침전지 유출 가정하수,

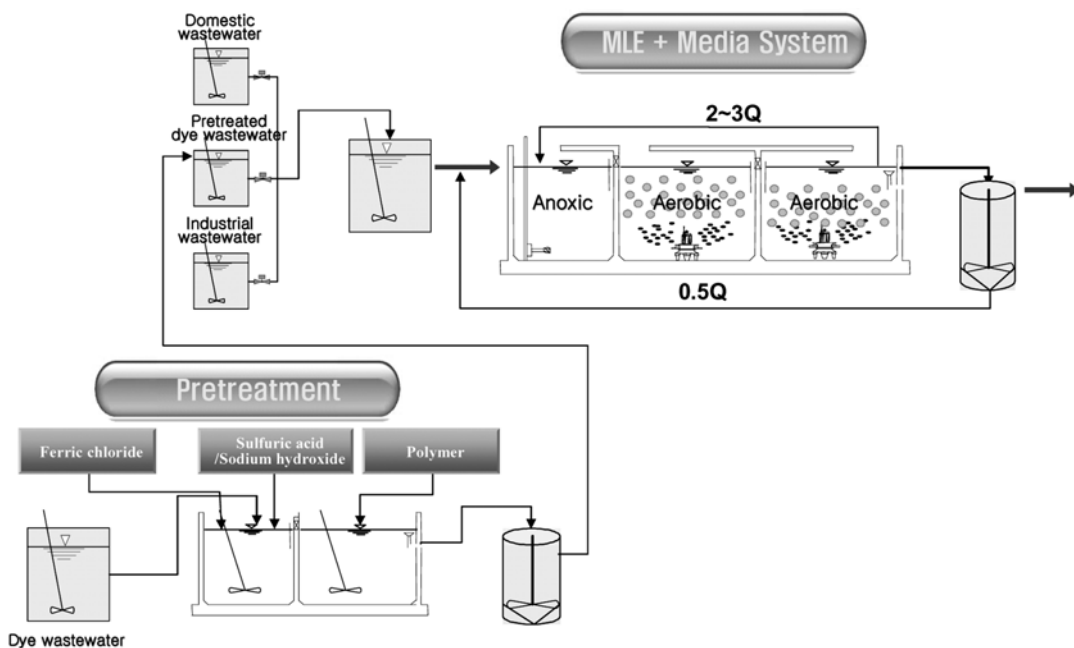


Fig. 1. Process diagram of pilot plant.

1차 침전지 유출 공장폐수, 가정하수:공장폐수:염색폐수의 비율이 2:1:1로 모아지는 원수저류조와 방류수 등 6 지점의 시료를 채수하여 채수 즉시 분석하였다. 분석항목은 BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TN, TP, SS, 색도의 기본항목과 PO₄³⁻-P, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N, NH₄⁺-N을 분석하였다. 또한 pilot plant의 운전을 위해 MLSS, MLVSS, SV30, pH, DO, ORP, 온도 등을 분석하였다.

시료채취 시 유입수와 유출수는 composite sampling을 하였으며, 모든 시료의 분석은 Standard Methods(APHA et al., 1998)와 수질오염공정시험법(환경부, 2004)에 준하여 실시하였다. 특히 색도는 APHA(American Public Health Association) Pt-Co 법으로 측정되었으며 이를 위하여 시료를 0.45 µm membrane filter(Whatman 25 mm)를 이용하여 여과한 후 측정하였다.

Pilot plant의 폭기조 내에 투입된 2 종류의 유동상 담체, BioCAP과 BioPOP은 이미 상용화된 제품을 사용하였으며 폭기조 용적의 10%씩 충전되었다. 담체 내의 biomass량을 측정하기 위하여 먼저 담체에 부착된 미생물을 sodium diphosphate decahydrate 0.1% 용액을 이용하여 탈리한 후 GF/C filter로 여과하여 MLSS와 MLVSS를 측정하였다. 이때 측정오차를 최소화하기 위하여 10 개 이상의 시료를 분석하여 평균값을 그 대표값으로 하였다.

또한 폭기조에 충전된 담체의 미생물 부착 상태를 보기 위하여 폭기조의 각 단에서 채취한 담체를 상온에서 건조한 후 gold coating하여 50배와 2000배율로 SEM(HP 1100 series) 사진을 촬영하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전처리공정 평가

Pilot plant의 전처리 공정은 염색원수에 FeCl₂ 600~800 mg/L를 주입하여 교반한 후 pH를 9.0~10.0으로 조절하기 위하여 sensor에 의해 NaOH(35%)를 자동 주입하고 응집·침전을 돕기 위하여 음이온 응집제를 5~10 mg/L 주입한 후 중력 침전시키는 공정이며 침전된 처리수는 이후의 생물학적 고도처리 공정으로 유입되기 위하여 원수혼합조로 유입된다.

운전기간 동안 염색폐수 원수와 전처리 공정 유출수질을 Table 1과 Fig. 2~5에 나타내었다. 또한 데이터의 분석은 확률도표(probability plot)를 이용하여 분석하였으며 data의 평균은 확률도표 상의 중앙값(P=50%)을 추정하여 산술평균을 대신하였다.

염색원수의 BOD는 중앙값 251 mg/L(216~298 mg/L)로 나타났으며 응집처리 후 유출수질은 중앙값 120 mg/L(79~154 mg/L)로 분석되었다. 또한 제거율 측면에서 보면 32.3~65.4%의 제거율을 보였으며 중앙값은 52.9%로 분석되었다. 또한 원수의 COD_{Cr}은 중앙값 681 mg/L(435~800 mg/L), 유출수는 311 mg/L(206~635 mg/L)로 나타났으며, 제거율은 55.9%(6.7~66.4%)을 보였다. 또한 응집 처리에 의해 염색폐수의 생분해도 개선효과가 입증되었으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 즉, 염색원수의 생분해도 BOD/COD_{Cr}은 0.29~0.43로 분석되었으며 pilot plant 전처리공정을 통해 응집처리된 유출수의 BOD/COD_{Cr}은 0.32~0.59로 나타나

Table 1. Characteristics of influent and effluent of pretreatment process in pilot plant

	Raw wastewater	Effluent from pretreatment process	Removal efficiency (%)
BOD (mg/L)	251(216~298)	120(79~154)	52.9(32.3~65.4)
COD _{Cr} (mg/L)	681(435~800)	311(206~635)	55.9(6.7~66.4)
COD _{Mn} (mg/L)	256(148~321)	89(60~121)	62.9(46.7~75.0)
Color (APHA Pt-Co Unit)	1655(1338~2238)	468(243~671)	71.3(58.4~82.4)
TN (mg/L)	41(25~61)	26(11~55)	39.5(9.8~62.2)
TP (mg/L)	3.9(0.5~10.4)	1.7(0.3~3.0)	63.6(4.1~95.2)
SS (mg/L)	112(64~162)	50(24~78)	53.7(36.8~67.9)

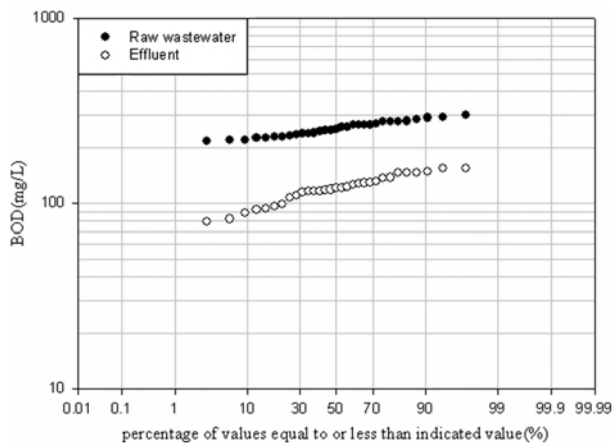


Fig. 2. BOD of influent and effluent of pretreatment facility in pilot plant.

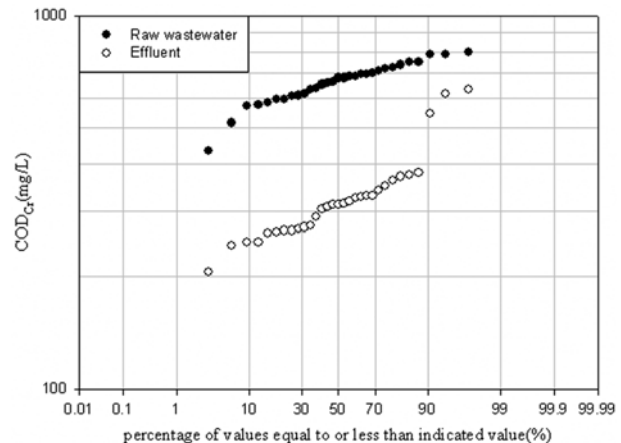


Fig. 3. COD_{Cr} of influent and effluent of pretreatment facility in pilot plant.

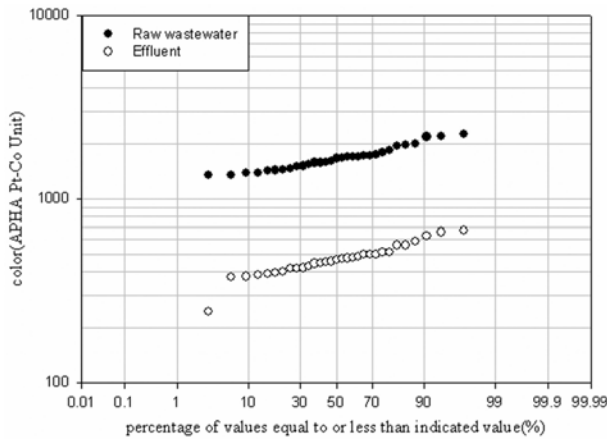


Fig. 4. Color of influent and effluent of pretreatment facility in pilot plant.

응집을 통하여 염색폐수의 생분해도가 개선되었음을 알 수 있었다. 이는 응집-침전시 분자량이 비교적 큰 난분해성 유기물의 공침효과에 기인하는 것으로 알려져 있다.

본 pilot plant에 유입된 염색폐수의 색도는 중앙값 1,655 unit(1338~2238 unit)으로 분석되었으며, 유출수의 색도는 468 unit(243~671 unit)으로 나타나 71.3%(58.4~82.4%)의 제거율을 나타내었다. 응집을 통한 TN과 TP의 제거율은 각각 39.5%(9.8~62.2%)와 63.6%(4.1~95.2%)로서 염색원수의 TN농도는 중앙값 41 mg/L(25~61 mg/L), TP농도는 3.9 mg/L(0.5~10.4 mg/L)로 분석되었으며 응집처리수의 농도는 TN이 26 mg/L(11~55 mg/L), TP가 1.7 mg/L(0.3~3.0 mg/L)로 나타났다.

3.2. 생물학적 고도처리 공정 평가

본 연구를 통해 운전된 A 하수처리장 내에 위치한 pilot plant의 생물학적 고도처리 공정의 유입·유출수질의 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 공정의 처리 효율 분석은 원수혼합조 수질을 유입수질로서 분석하였으며 유출수질은 방류수를 composite sampling하여 분석하였다. 또한 본 결과에는 11월부터 2월까지의 동절기 운전 데이터를 포함하고 있으며, 처리 효율의 평가결과 염색폐수 특성상 수질의 일변화가 매우 커서 전처리 공정의 유입·유출수질의 변화가 크게 나타났음에도 불구하고 생물학적 고도처리공정에서는 전체적으로 안정적인 유출수질을 얻을 수 있었다.

생물학적 고도처리 공정 유입수인 원수혼합조의 BOD 농

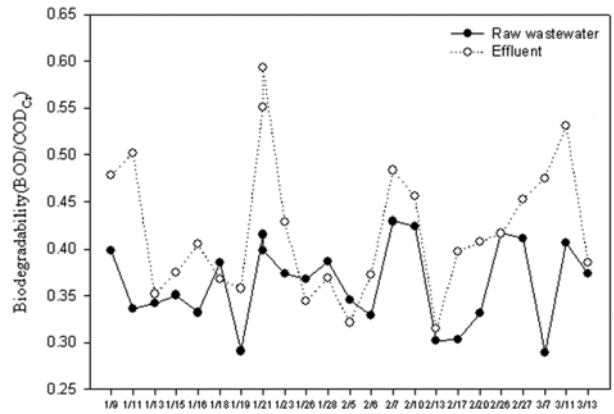


Fig. 5. Biodegradability improvement of pretreatment facility in pilot plant.

도는 중앙값 113 mg/L(62~151 mg/L)이며 유출수는 8 mg/L(4~13 mg/L)로 나타나 평균 93%의 제거율을 나타내었다 (Fig. 6). 또한 유입수의 COD_{Cr}과 COD_{Mn} 농도는(Fig. 7~8) 각각 233 mg/L(133~303 mg/L)와 70 mg/L(54~82 mg/L)로 분석되었으며 유출수는 43 mg/L(31~85 mg/L)와 18 mg/L(10~29 mg/L)로 나타났다. 따라서 COD_{Cr}의 제거율은 평균 82%, COD_{Mn}은 평균 74%를 나타내었다.

Pilot plant 전체 공정의 유기물 거동 및 생분해도(BOD/COD_{Cr}) profile은 Fig. 9와 같다.

또한 색도의 경우, 생물학적 고도처리공정 유입수인 원수 혼합조의 색도는 341 unit(282~420 unit)으로 나타났으며 유출수질은 123 unit(75~164 unit)으로 분석되어 63.9%의 색도가 고도처리 공정에서 제거됨을 알 수 있었다. Pilot plant 전체 공정을 통한 색도와 유기물제거의 profile은 Fig. 11과 같다. 즉 염색원수(1,655 unit)의 색도 중 77.5%가 응집공정을 통하여 제거되며 염색폐수 응집처리수와 가정하수, 공장폐수의 혼합폐수의 색도(341 unit) 중 63.9%가 고도처리 공정을 통하여 제거되어 123 unit으로 최종 방류된다.

Carliell 등(1995)의 연구에 의하면 염색폐수의 색도는 호기성 활성슬러지 공정에서는 제거가 어려우나 무산소-혐기 조건인 고도처리 공정 내에서는 제거가 가능하다고 보고된 바 있다. 이러한 현상은 Panswad and Luangdilok(2000)과 Frank and Santiago(2005)에 의하면 혐기조건에서 염료의 azo 결합이 파괴되며 이 때 발암성 중간생성물인 aromatic amines이 생성되나 이 물질은 후단의 호기성 조건에서

Table 2. Characteristics of influent and effluent of advanced nutrient removal process in pilot plant

	Raw dye wastewater	Pretreated dye wastewater	Industrial wastewater	Domestic wastewater	Combined influent	Effluent
BOD	251(216~298)	120(79~154)	97(43~134)	122(57~147)	113(62~151)	8(4~13)
COD _{Cr}	681(435~800)	311(206~635)	200(118~330)	202(128~247)	233(133~303)	43(31~85)
COD _{Mn}	256(148~321)	89(60~121)	69(55~89)	59(40~77)	70(54~82)	18(10~29)
Color	1655(1338~2238)	468(243~671)	211(172~263)	172(149~192)	341(282~420)	123(75~164)
TN	41(25~61)	26(11~55)	58(35~95)	34(21~50)	37(25~55)	8(5~20)
TP	3.9(0.5~10.4)	1.7(0.3~3.0)	3.7(2.0~10.5)	2.6(1.0~7.1)	2.6(0.9~4.2)	1.3(0.4~2.6)
SS	112(64~162)	50(24~78)	108(70~146)	56(32~78)	72(40~88)	16(6~30)

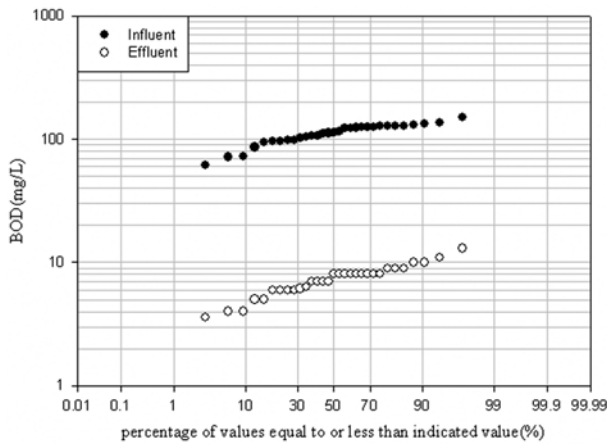


Fig. 6. BOD of influent and effluent of advanced treatment in pilot plant.

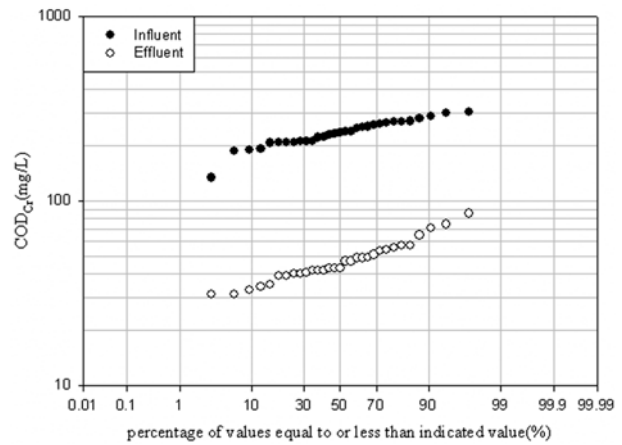


Fig. 7. COD_{Cr} of influent and effluent of advanced treatment in pilot plant.

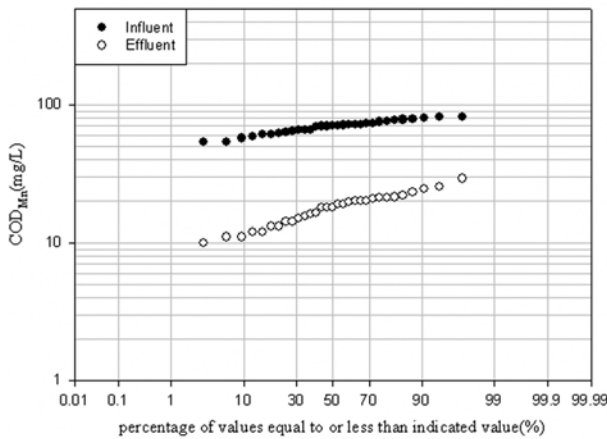


Fig. 8. COD_{Mn} of influent and effluent of advanced treatment in pilot plant.

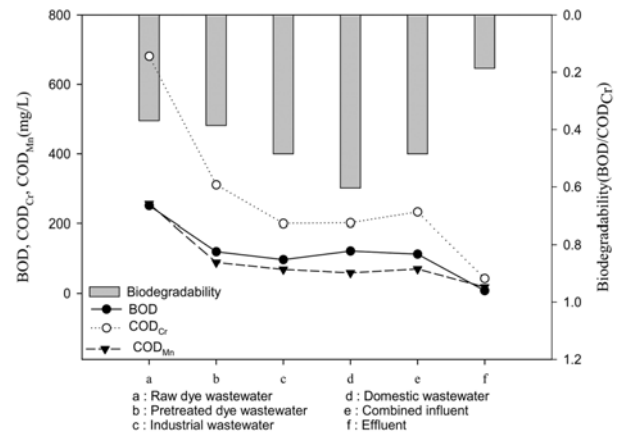


Fig. 9. Profile of biodegradability and behavior of organics.

heterotrophs에 의해 기질로서 이용되어 제거된다고 하였다. 즉 염색폐수의 색도는 혐기조 또는 무산소조에서 제거된다는 연구 결과가 일반적으로 알려져 있다. 본 연구에서 pilot plant의 고도처리 공정 내 색도와 유기물 profile 분석을 통

하여 색도제거 현상을 관찰한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. Pilot plant의 고도처리 공정은 원수혼합조(유입수조)와 무산소조(3단), 폭기조(4단), 방류수조로 구성되어 있으므로 각 조에서 시료를 채취하여 색도와 유기물을 분석하였다.

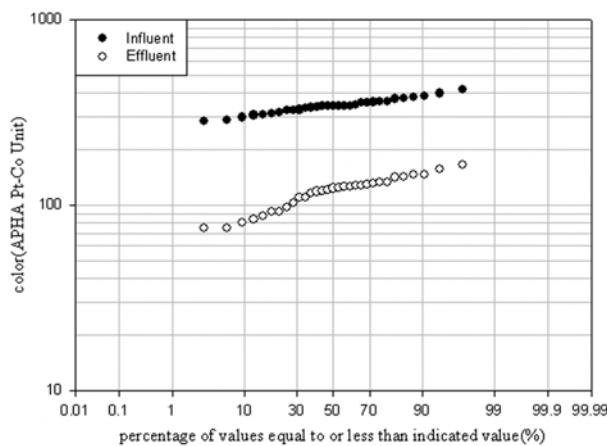


Fig. 10. Color of influent and effluent of advanced treatment in pilot plant.

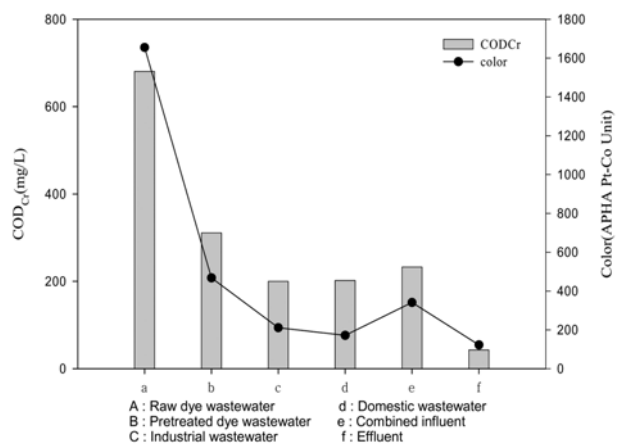


Fig. 11. Color and COD_{Cr} profile of pilot plant.

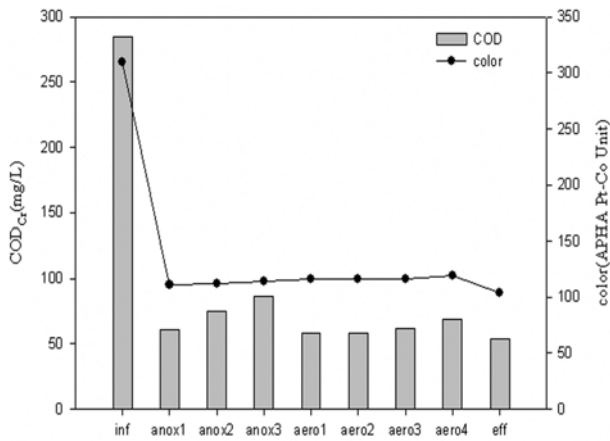


Fig. 12. Color and COD_{Cr} profile of advanced treatment in pilot plant.

분석 시 유입수의 색도가 310 unit이었으며 희석효과를 고려하더라도 대부분의 색도제거가 무산소조 1단에서 일어났을 수 있었다. 즉 유입과 함께 1 시간 이내에 색도제거는 무산소조 내에서 완료되었으며, 전처리 공정의 색도제거량에 비하면 적은 양이기는 하지만 고도처리 공정내의 무산소조에서 미생물과 접촉 1 시간 내에 색도의 66.5%가 제거된 것으로 분석되었다.

A 하수처리장의 경우, 공장폐수계열의 질소 농도가 높아 TN 농도가 58 mg/L(35~95 mg/L)이며 가정하수 34 mg/L(21~50 mg/L), 응집처리 염색폐수 26 mg/L(11~55)이고 원수혼합조가 37 mg/L(25~55 mg/L)로서 고도처리 공정에 유입되어 8 mg/L(5~20 mg/L)로 방류된다. 즉 고도처리 공정의 질소제거 효율은 76.3%로 분석되었다. 또한 MLE 공정이 인 제거를 위한 공정은 아니지만 유입 인의 농도가 2.6 mg/L(0.9~4.2 mg/L)로 유입되어 1.3 mg/L(0.4~2.6 mg/L)로

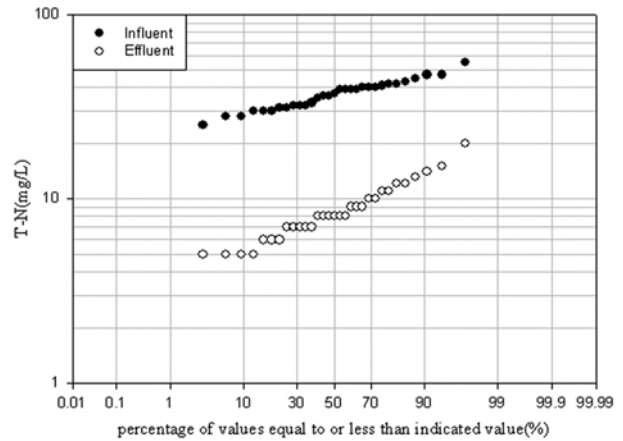


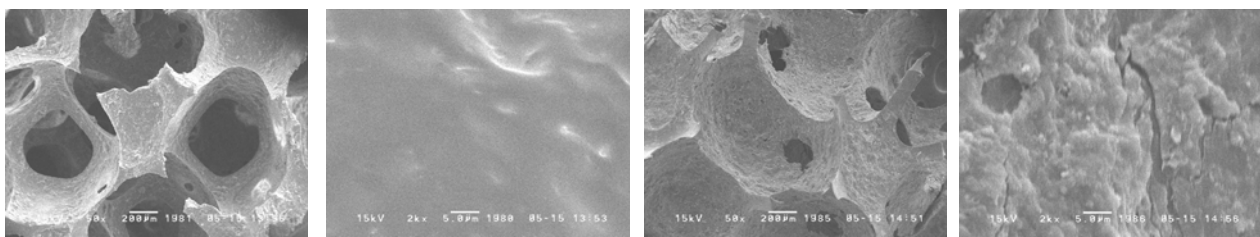
Fig. 13. TN of influent and effluent of advanced treatment in pilot plant.

처리되어 50%의 제거율을 보였으며, SS는 72 mg/L(40~88 mg/L)로 유입되어 16 mg/L(6~30 mg/L)로 처리되어 방류되며 77.8%의 제거율을 나타낸 것으로 분석되었다.

3.3. 담체분석결과

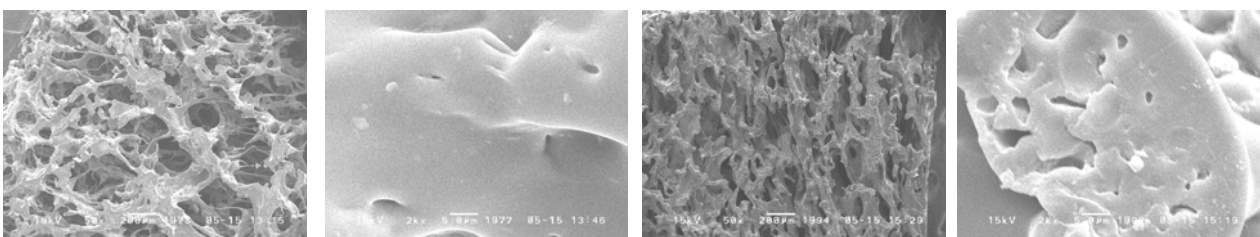
Pilot plant의 폭기조에 투입된 담체는 폭기조에서의 유기물 제거와 질산화 미생물의 안정적 성장을 위하여 유동상 담체로 상용화된 BioCAP과 BioPOP을 각각 폭기조 1, 2단과 3, 4단에 용적의 10%를 충전하였다. 본 연구에서는 담체 내에 고정화된 미생물량을 파악하고 mixed liquor 내의 미생물과 담체에 고정화된 미생물을 이용한 질산화 실험을 수행하여 질산화율을 비교하였다.

담체에 부착된 biomass량은 폭기조 3단에 투입된 BioPOP의 경우, 담체 1개당 MLSS 0.029512 g, MLVSS 0.025585 g이었으며 폭기조 4단에 투입된 담체는 MLSS 0.026381 g,



(a) not used (b) 1st aerobic zone

Fig. 14. SEM photographs of BioCAP (×50, ×2000).



(a) not used (b) 3rd aerobic zone

Fig. 15. SEM photographs of BioPOP (×50, ×2000).

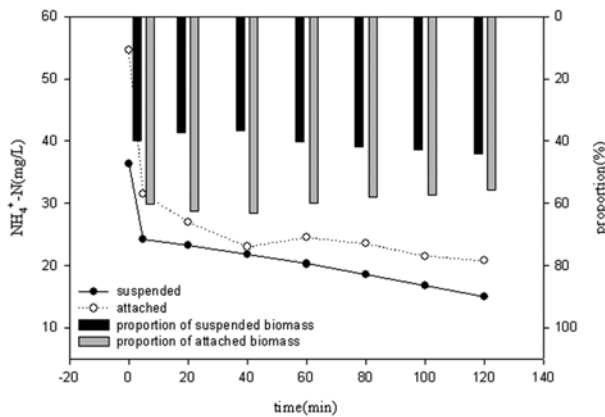


Fig. 16. Nitrification rate and proportion of nitrification of suspended biomass and attached biomass.

MLVSS 0.022550 g으로 분석되었다. BioCAP은 폭기조 1 단의 경우 MLSS 0.026369 g, MLVSS 0.023672 g, 폭기조 2단의 경우 MLSS 0.022790 g, MLVSS 0.020186 g로 나타났다.

또한 약 5개월간 사용된 담체의 SEM 사진을 아래 Fig. 14 와 Fig. 15에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 사용되어진 담체의 표면과 공극에는 미생물이 부착되어 있음을 보여주고 있다. BioCAP은 폭기조 1단에 충전된 담체가 2 단에 부착된 것보다 많은 미생물이 부착되어 있음을 사진으로도 볼 수 있으며 BioPOP의 경우도 이와 같은 현상을 볼 수 있다. 이는 각 단의 기질 농도의 차에 의한 것이라 사료된다.

3.4. 질산화능 분석

본 공정의 질산화율을 알아보기 위하여 질산화조의 suspended biomass와 미생물이 부착된 담체를 대상으로 각각 질산화 batch 실험을 실시하였다. Fig. 16은 batch 실험 결과를 나타낸 것으로 막대그래프는 단위 미생물당 비제거량을 suspended biomass와 attached biomass의 비율을 비교하여 표시한 것이다. 질산화율은 suspended biomass의 경우 6.176 mg NH₄⁺-N/g MLSS · hr로 나타났으며 attached biomass는 9.179 mg NH₄⁺-N/g MLSS · hr로 나타났다. 따라서 단위 미생물당 질산화능은 attached biomass가 suspended biomass에 비해 50%가량 더 높은 것을 알 수 있었다.

3.5. Cometabolic intermediates 분석

Cosubstrate의 주입 여부에 따른 색도와 aromatic amines의 관계를 Fig. 17에 나타내었다. Batch test는 응집처리된 염색폐수에 cosubstrate로서 가정하수를 30% 주입한 경우와 주입하지 않은 경우를 각각 혐기조건 3시간-호기조건 3시간동안 연속 운전하면서 시간에 따라 샘플을 채취하여 색도와 COD_{Cr}을 측정하였으며 HPLC를 이용하여 aromatic amines을 측정하였다. 실험결과, 혐기조건에서 반응 60분만에 가정하수를 주입하지 않은 경우와 30% 주입하였을 때 각각 색도 총 제거량의 56.5%와 59.3%가 제거된 것으로

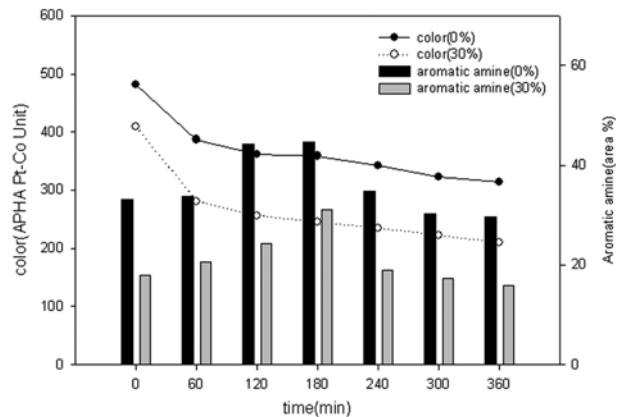


Fig. 17. Behavior of color and aromatic amines in dye wastewater with and without cosubstrate.

나타났다. 또한 혐기조건에서 총 제거된 색도는 각각 123 unit와 164 unit으로 나타나 가정하수의 첨가에 따른 색도 제거율의 향상을 확인하였으며, 이 때 aromatic amines의 증가를 확인하였다. 연속된 호기조건에서 색도와 함께 혐기 조건에서 생성된 aromatic amines의 제거도 확인하였으며 가정하수를 cosubstrate로서 사용한 경우에서 제거율이 더 높게 나타난 것을 확인하였다.

Zissi and Lyberatos(1996)의 연구에 의하면 혐기조건에서 cometabolism에 의해 azo dye의 공유결합이 파괴되어 색도 물질이 제거되는 것으로 보고되었다. 또한 Flores 등(1997)은 염료의 혐기성 분해 산물인 aromatic amines이 호기조건에서 분해가 됨을 aromatic amines의 분석을 통하여 증명하였다. 이러한 결과로 볼 때 본 연구에서도 azo dye의 중간생성물인 aromatic amines이 cometabolism에 의해 혐기조건에서 생성되며 호기조건에서 제거됨을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구에서 염색폐수의 색도제거에 있어서 cosubstrate의 첨가에 따른 영향이 다른 연구에 비하여 적게 나타난 이유는 기존의 연구들이 단일 염료를 대상으로 수행한 연구인데 반하여 본 실험에서는 실패수를 사용하여 염색폐수 내에 이미 미생물이 이용 가능한 유기물이 공존하기 때문에 첨가한 cosubstrate의 영향이 희석되었기 때문이라고 사료된다.

4. 결론

- 1) Pilot plant 전처리 공정(응집-침전)의 운전 결과, BOD 52.9%, COD_{Cr} 55.9%, 색도 71.3%의 제거율을 나타내었으며, 염색원수의 BOD/COD_{Cr}은 0.29~0.43이며 전처리 공정 유출수의 BOD/COD_{Cr}은 0.32~0.59로 분석되어 응집 처리에 의해 염색폐수의 생분해도가 개선되었음을 알 수 있었다.
- 2) Pilot plant 고도처리 공정의 운전 결과, 방류수질 기준에 적합한 안정된 유출수질을 얻을 수 있었다. 즉, 중앙값으로 BOD 8 mg/L, COD_{Mn} 18 mg/L, TN 8 mg/L, TP 1.3 mg/L의 유출수 농도를 나타내었으며, 특히 색도

는 341 unit으로 유입되어 123 unit으로 배출되어 생물학적 처리에 의해 63.9%가 제거됨을 알 수 있었다.

- 3) 고도처리 공정의 폭기조에 투입된 담체의 분석 결과, 담체 1개당 부착된 미생물의 양은 1단과 2단의 BioCAP의 경우 각각 MLSS 0.026369 g, 0.022790 g이었으며 3단과 4단의 BioPOP은 각각 0.029512 g, 0.026381 g으로 분석되었다. 각 단의 담체에 부착된 미생물량의 차는 기질 농도의 차에 의한 것이라 사료되며, 부착된 미생물은 SEM 사진을 통하여 확인하였다.
- 4) 고도처리 공정의 부유 미생물과 부착 미생물의 질산화능의 분석결과, 부유 미생물의 질산화율이 6.176 mg NH₄⁺-N/g MLSS · hr, 부착 미생물이 9.179 mg NH₄⁺-N/g MLSS · hr로 분석되어 부착미생물의 단위 미생물 당 질산화능이 부유 미생물에 비해 약 50%가량 더 큼을 알 수 있었다.
- 5) Pilot-test를 통해 염색폐수의 전처리공정 전환을 통한 합병고도처리시스템을 실증할 수 있었으며 염색폐수의 생물학적 고도처리의 가능성을 입증할 수 있었다. 또한 염색폐수에 가정하수를 cosubstrate로서 주입하였을 때 미생물의 유기물 및 색도제거능을 향상시키며, 혐기상태에서 cometabolism에 의해 색도가 제거되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 cometabolism에 의한 azo결합 파괴시 생성되는 aromatic amines은 후단에 호기조를 둠으로써 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 김미경, 서상준, 신응배(2006a). 염색폐수의 생물학적 색도제거 연구. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(2), pp. 333-341.
- 김미경, 서상준, 안재환, 신응배(2006b). 염색폐수의 생물학적 처리에 미치는 Cosubstrates의 영향 및 색도제거 기전 연구. *대한환경공학회지*, **28**(7), pp. 738-745.
- 환경부(2004). *수질오염공정시험방법(환경부고시 제2004-188호)*.
- 환경부(2007). '06년 하수종말처리시설 운영관리실태 분석. <http://www.me.go.kr>.
- APHA, AWWA and WPCF (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., Washington, D.C., U.S.A.
- Carliell, C. M., Barclay, S. J., Naidoo, N., and Burcley, C. A. (1995). Microbial Decolorization of a Reactive Azo Dye under Anaerobic Conditions. *Water SA.*, **21**(1), pp. 61-69.
- Flores, E. R., Luijten, M., Donlon, B. A., Lettinga, G., and Field, J. A. (1997). Complete Biodegradation of the Azo Dye Azodisalicylate under Anaerobic Conditions. *Environmental Science Technology*, **31**, pp. 2098-2103.
- Frank, P. Z. and Santiago, V. (2005). Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-A short review of bioreactor studies. *Water Research*, **39**, pp. 1425-1440.
- Panswad, T. and Luangdilok, W. (2000). Decolorization of Reactive Dyes with Different Molecular Structures under Different Environmental Conditions. *Water Research*, **34**(17), pp. 4177-4184.
- Zissi, U. and Lyberatos, G. (1996). Azo-Dye Biodegradation under Anoxic Conditions. *Water Science and Technology*, **34**(5-6), pp. 495-500.