Journal of the Korean Society of Water and Wastewater
Vol. 20, No. 1, pp. 115-121, 2006

상하수도학회지, 논문
20권 1호, pp. 115-121, 2006

도시의 분산형 생활오수 재생시스템에 화학적 전처리공정도입에 관한 연구

A Study on the Application of Pre-Chemical Treatment on the Decentralized Domestic Wastewater Reclamation System

이상우* · 박영미 · 서규태

Sang-Woo Lee* · Young-Mi Park · Gyu-Tae Seo

창원대학교 환경공학과

(2005년 11월 16일 논문 접수; 2006년 2월 7일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The purpose of this study was to investigate applicability of pretreatment on the existing biological treatment for domestic wastewater reclamation.

From Jar Tests, it was found that optimum dosage of coagulant was PAC 0.5mg/L and $FeCl_3$ 180mg/L for urban sewage. In this study, PAC 0.5mg/L was selected considering sludge production and the amount of coagulant required.

In a continuous experiment performed with combining chemical coagulation and biological treatment, a considerable removal efficency was obtained in term of BOD, SS, T-N, T-P and ABS. When the raw sewage was supplied into the pre-chamical treatment facility, the removal of BOD and SS was 48.3% and 81.1%. However T-N removal was very low which means T-N consists of NH_3-N mostly. T-P was almost completely recluced by the chemical addition. The effluent BOD & SS was 57~76 and 21~43mg/L, which could reduce the size of biological treatment facility. From the cost estimation pre-chemical treatment could save around half of the area required for biological treatment with post ceagulation.

Key words: Decentralized treatment system, Domestic wastewater pre-chemical treatment, Stream restoration, wastewater reclamation

주제어: 분산형 처리시스템, 생활오수의 화학적 전처리, 하천복원, 재이용수

1. 서론

하천환경은 이수 및 치수와 더불어 하천의 3대 고유기능중 하나로 수질자정이나 생태적 서식처로서의 자연보전 기능과 수상위락, 수변경관, 정서함양 기능으로서의 친수기능 그리고 하천부지이용 피난 및 방재공간, 지리분할 기능으로서의 공간기능 등을 가지

*Corresponding author Tel: +82-55-279-7566, FAX: +82-55-281-3011, E-mail: woo59@changwon.go.kr (Lee, S.W.)

고 있다. 이러한 하천환경 기능은 종래의 전통적인 하천기능인 이수 및 치수 기능보다 매우 늦게 인식되었다. 국내의 경우 1960~1970년대의 급속한 산업화와 도시화에 따라 도시하천을 중심으로 하천수량 고갈에 의한 건천화, 하천수 오염의 확대, 하천공간의 황폐화 등 하천환경 기능이 열악화 됨과 더불어 터진 공간 및 녹색의 숲과 푸른 물에 대한 도시민들의 욕구가 증대함에 따라 하천의 환경기능 증진이라는 것이 하천관리의 주요과제로 부각되기 시작하였다. 이에 따라 1980년대부터 대도시 도시하천들을 중심으로 지자체에서 개별적으로 하천환경을 개선하기 위해 저수로 정비, 고수부지 정비, 하상내의 준설, 차집관거의 설치 등 제반 하천 정비사업을 시행하여 왔다.

이에 국내의 하천 정비는 하천환경의 여러 가지 요소 중 특히 하천유지용수를 확보하고 수생생태계를 복원시켜 도시민의 정서함양과 여유를 느낄 수 있는 도심 속의 수변공간을 확보하는 방안이 필요하다. 하천수량을 확보하기 위해서는 상류부 댐 조성, 지하수 · 공업용수 이용 및 재순환 등의 방법이 있을 수 있으나, 일상생활에서 발생하는 생활오수를 적정하게 정화하여 하천 유지용수로 사용할 경우 지역 환경의 오염부하를 감소시킬 수 있는 장점을 가질 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 생활오수를 이용해 하천유지용수로 사용하기 위해 기존에 사용 중인 생활오수 처리공법을 적용할 경우 넓은 부지를 필요로 하게 되므로 이에 따른 시설관리상의 문제가 발생할 우려가 있으므로, 생활오수의 오염부하량을 최소화시켜 처리시설의 용량을 축소시키고, 보다 효과적인 오수처리를 도모하기 위한 방안을 모색할 필요가 있다.

선진외국의 경우, 1980년대에 들어와 난분해성 유기물, 생물독성 유기물, 영양염류, 중금속 등 여러 가지 복잡하고 다양해진 오염물질의 제거와 수질기준강화에 따른 기존 하수처리장의 과부하, 기존시설의 고도화(질소/인 동시제거), 신규처리장 건설시 투자비용절감 등을 목적으로 20세기 초에 개발된 생물학적 처리에 밀려 사용되지 않던 화학적 처리공정이 하수처리공정에 재도입되기 시작하였다.

따라서 본 연구에서는 생활오수처리에 물리적 처리시설인 일차침전지 대용으로 화학적 전처리를 적용하여 화학적 처리효율을 실험적으로 고찰하고, 그에 따른 생물학적 처리시설의 설치면적, 설치비용 및 유지관리비 등에서 기존 처리공법과 비교 · 검토하였다.

Table 1. Raw water characteristics for chemical coagulation and continuous feeding tests

Items	for Jar Test	for Continuous operation
BOD(mg/L)	215.0	118.0～134.0
SS(mg/L)	198.0	157.0～172.0
T-N(mg/L)	-	33.5～51.1
T-P(mg/L)	6.4	4.3～7.5
ABS(mg/L)	-	1.9～5.0

2. 실험재료 및 방법

2.1. 대상오수의 특성

본 연구에서는 C시에 위치해 있는 S 아파트단지에서 발생되는 생활오수를 대상으로 하였으며, Jar Test에 사용된 오수수질은 BOD, SS, T-P 각각 215 mg/L, 198mg/L, 6.4mg/L였으며 현장실험시 유입원수의 수질은 BOD는 118～134mg/L, SS는 157～172 mg/L, T-N은 33.5～51.1mg/L, T-P는 4.3～7.5 mg/L, ABS는 1.9～5.0mg/L의 범위를 보였다. 실험에 사용된 대상오수의 수질분석 결과를 **Table 1**에 나타내었다.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 생활오수의 응집특성을 알아보기 위해 생활오수중의 입자의 입경분포 및 Fractal dimention(dF)을 측정하였다. 또한, 화학적 전처리에 적정한 최적의 응집제 선정과 주입량 결정을 위하여 Al 함량이 10%인 PAC(Poly Aluminum Chloride)와 Fe 함량이 약 35%인 $FeCl_3$를 사용하였다. 우선적으로 Jar Test는 대상오수 1L에 PAC와 $FeCl_3$를 각각 0.1～2.0mg/L와 100～200mg/L으로 변화시켜 주입한 후 pH meter를 이용하여 pH가 7.0으로 고정되도록 1N NaOH를 주입하고, 교반속도는 150rpm으로 30분간 유지하고 3시간 동안 방치한 후 상등액을 분취하여 수질오염공정시험법에 준하여 BOD, SS 및 T-P를 측정하여 최적의 응집제 및 주입량을 결정하였다.

또한, 현장실험에서는 **Fig. 1**과 같이 CUE (Corrugated U-Element) - Separator가 장착된 침전조를 이용하였으며, Jar Test에서 결정된 PAC 0.5 mg/L를 처리시설로 유입된 오수에 주입한 후 급속(반응시

상하수도학회지, 논문
20권 1호, pp. 115-121, 2006

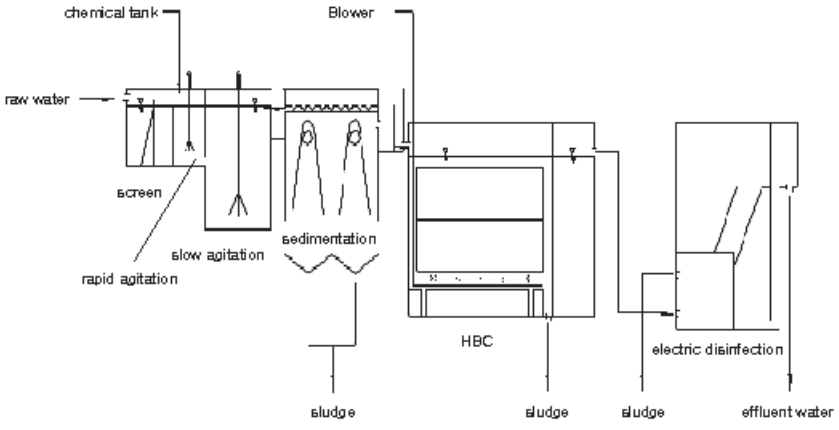

Fig. 1. Pilot scale experimental apparatus for chemical treatment.

간 5분, 110rpm) 및 완속교반(반응시간 20분, 10rpm)을 실시한 후 CUE-Separator를 통과한 유출수를 채수하여 수질오염공정시험방법에 준하여 BOD, SS, T-N, T-P 및 ABS를 각각 분석하였으며 생물학적 처리에 의한 일일 슬러지 발생량을 확인하였다.

CUE(Corrugated U-Element) - Separator가 장착된 침전조는 원수유입부, 분배수로, 분배관, 역 U자형 분리장치, 처리수 회수관, 처리수 수로, 슬러지 호퍼로 구성되어 있고, 분배관에서 원수를 골고루 분배한 후, 하향류와 상향류의 흐름을 통해 비중이 큰 고형물은 바닥으로 침강하도록 하고 역 U자형 분리장치 상부에는 부유성의 고형물과 기름성분을 제거하도록 수면 스크레이퍼를 설치하였다.

생물학적 반응은 HBC(현수미생물막) 공법을 적용했으며 반응조는 PP 재질의 HBC-Ring 길이 68cm, 총 240개(24열, 열당 10개)를 전체의 60%로 충진하였다. 또한, BOD용적부하와 MLSS농도는 각각 0.8kg · BOD/m^3 · d와 4,000mg/L로 조절하였으며, HRT는 3hr으로 실험하였다. 반응조내 MLSS 농도를 유지하기 위한 슬러지반송은 하지 않았으며, 바닥에 HBC-Ring에서 탈리되어 침강된 슬러지는 스크레이퍼를 설치하여 1일 2회씩 제거하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생활오수의 응집특성

생활오수의 응집특성을 알아보기 위해 생활오수 중의 입자의 입경분포 및 Fractal dimention(dF)을 측정해 본 결과, 평균입경은 **Fig. 2**와 같이 106.46μm였으며, dF는 1.81인 것으로 나타났다. 기존 생물학적 처리와 1차 화학적 침전후 생물학적처리를 비교하면, 기존 처리의 경우 1차 침전에 의해 0.1mm 이상인 입자상 물질(35%)이 제거되며, 0.1mm 이하 용존 및 콜로이드상 물질(65%)은 미생물에 의해 처리하게 되나, 화학적 침전법을 적용할 경우 화학적 침전에 의해 0.1μm 이상 입자상 물질(75%)이 제거된 후 나머지 0.1μ 이하의 용존 및 콜로이드상 물질(25%)이 미생물에 의해 처리된다. 그러므로 화학적 침전법을 적용할 경우 생물학적 처리부하가 많이 낮아져 미생물 처리공정을 대폭 줄일 수 있음을 박의 연구결과에서 알 수 있다. 이처럼 생활오수의 경우 평균입경이 0.1 mm 이상이므로 화학적 침전법을 전처리로 적용할 경우 보다 효과적으로 입자상 물질을 제거하여 후처리의 생물학적처리의 부하 감소로 부지면적 축소에 효과적일 것이다.

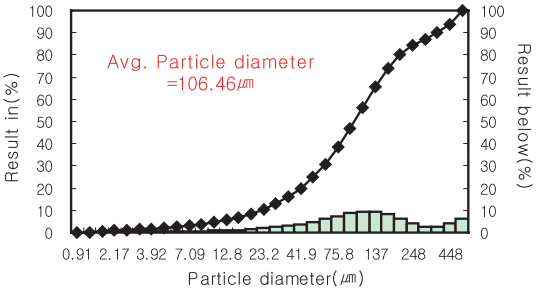

Fig. 2. Particle diameter distribution characteristic of urban sewage.

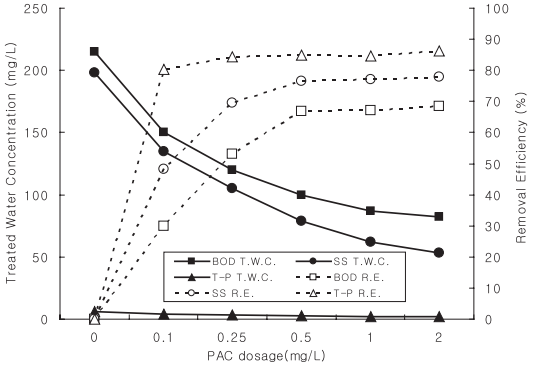

Fig. 3. Removal efficienies of BOD, SS and T-P to the change of PAC dosage as chemical coagulant.

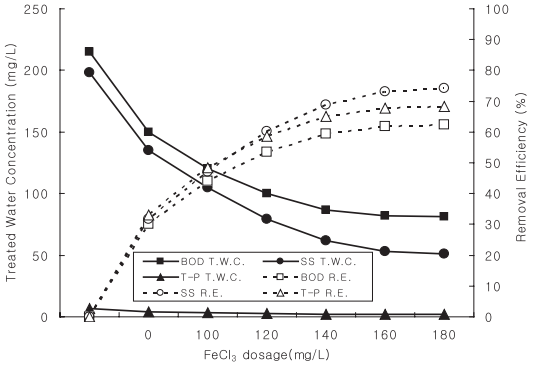

Fig. 4. Removal efficienies of BOD, SS and T-P to the change of $FeCl_3$ dosage as chemical coagulant.

또한 김의 연구결과에 의하면 Al(III)와 Polymer를 응집제로 사용한 실험에서 현탁액의 dF가 1.45~1.80으로 나타났고, 본 연구에서 생활오수의 dF가 김의 연구결과에서의 dF 최고치와 유사하게 측정되어 생활오수는 입자형성이 빠르고 침전에 유리한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.2. 생활오수의 화학처리특성

Fig. 3, 4는 화학적 전처리에 적용할 적정의 응집제 및 주입량 결정을 위한 Jar Test를 통한 BOD, SS 및 T-P의 처리특성을 나타내고 있다. 전반적으로 PAC와 $FeCl_3$ 각각 0.5와 180mg/L까지는 주입량이 증가할수록 처리효율 또한 급격하게 증가하는 것을 알 수 있으나, 적정농도 이후에는 비교적 완만하게 증가하거나 거의 평형상태를 유지하고 있다. 이러한 결과는

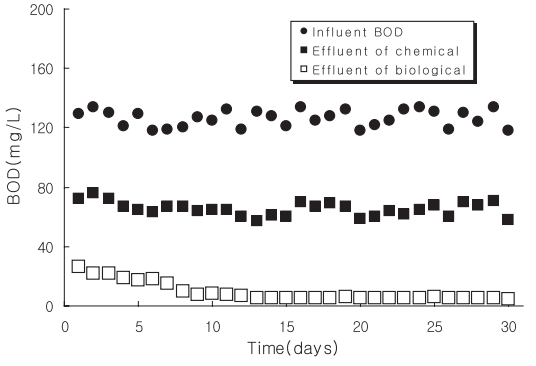

Fig. 5. Variations of BOD concentration after chemical and biological treatments.

응집제 주입량이 증가함에 따라 적정농도까지는 처리효율 또한 비례적이지는 않지만 증가하기 때문에 일정한 농도의 용액에 적정한 주입량의 사용이 효과적이라는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 적정의 PAC와 $FeCl_3$ 주입량을 각각 0.5mg/L와 180 mg/L로 결정하였다. 이때, PAC의 경우에는 0.5mg/L 주입시에 처리수의 BOD, SS 및 T-P는 각각 71, 47 및 0.96mg/L이었으며, 처리효율은 각각 66.9%, 76.5% 및 85.0%로 나타났다. $FeCl_3$의 경우 180mg/L 주입시에 처리수의 BOD, SS 및 T-P는 각각 82, 53 및 2.1 mg/L이었으며 처리효율은 각각 61.9%, 73.2% 및 67.8%로 나타났다. PAC와 $FeCl_3$ 비교시 최적주입량에 따른 슬러지발생량 감소와 PAC의 경우 소량 주입이 가능함에 따라 현장 적용시 관리의 효율성을 높이고자 본 연구에서는 PAC를 응집제로 사용하여 연속실험을 수행하였다.

3.3. 화학적 침전처리와 생물학적 처리를 조합한 공정의 연속실험

본 연구에서는 30일간의 운전기간동안 화학적 침전처리와 후단의 생물학적 처리 후 대상폐수의 BOD, SS, T-N, T-P 및 ABS에 대한 변화추이와 처리결과를 **Fig. 5~9** 및 **Table 2**에 나타내었다.

Fig. 5는 연속실험에서의 시간경과에 따른 BOD의 변화특성을 나타내고 있다. 전 실험기간 동안 유입수의 평균 BOD는 126.0mg/L, 화학적 전처리에 의한 유출수의 평균 BOD는 65.0mg/L이었으며 평균 처리효율은 48.3%이었다. 그리고, 최종 유출수의 평균

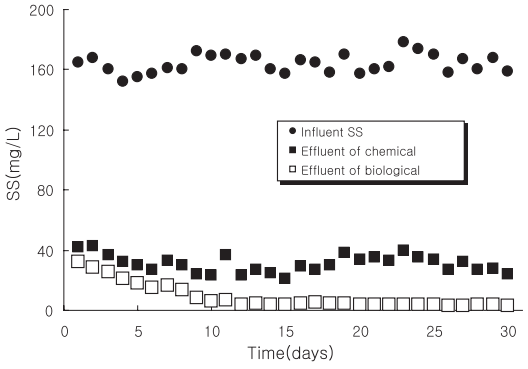

Fig. 6. Variations of SS concentration after chemical and biological treatments.

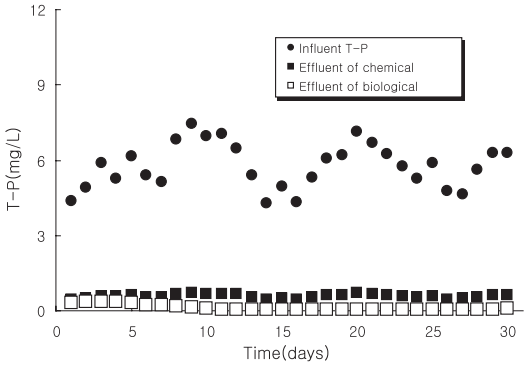

Fig. 8. Variations of T-P concentration after chemical and biological treatments.

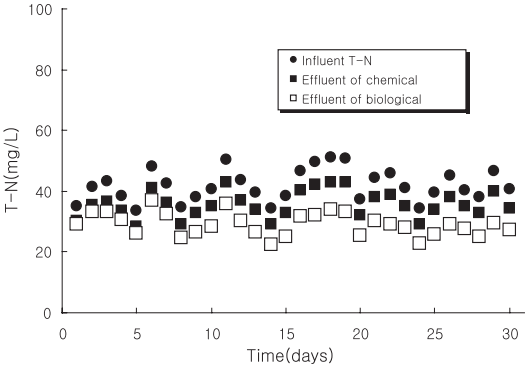

Fig. 7. Variations of T-N concentration after chemical and biological treatments.

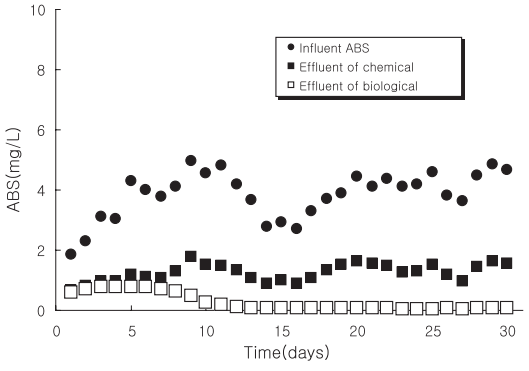

Fig. 9. Variations of ABS concentration after chemical and biological treatments.

BOD는 9.1mg/L이었으며 평균 처리효율은 86.4%이었으나 생물학적처리가 정상상태에 도달한 후에는 최대 95.8%까지 높은 처리특성을 나타내었다.

Fig. 6은 연속실험에서의 시간경과에 따른 SS의 변화 특성을 나타내고 있다. 유입수의 평균 SS는 164mg/L, 화학적 전처리에 의한 유출수의 평균 SS는 31.0mg/L이었으며 평균 처리효율은 81.1%이었다. 그리고, 최종 유출수의 평균 SS는 8.8mg/L이었으며 평균 처리효율은 72.9%이었으나 생물학적처리가 정상상태에 도달한 후에는 최대 97.5%까지 높은 처리특성을 나타내었다.

Fig. 7은 연속실험에서의 시간경과에 따른 T-N의 변화 특성을 나타내고 있다. 유입수의 평균 T-N은 41.79mg/L, 화학적 전처리에 의한 유출수의 평균 T-N은 35.65mg/L이었으며 평균 처리효율은 14.7%이었다. 이로부터 유입 오수 중 질소의 성분이 대부분 암모니아성질소로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 최종 유출수의 평균 T-N은 29.06mg/L이었으며 평균 처리효율은 18.3%이었으나 생물학적처리가 정상상태에 도달하였음에도 불구하고 최대 33.4%까지밖에 처리되지 않았다. 따라서 생물처리공정에서의 질산화 및 탈질에 대한 운전조건의 검토가 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 연속실험에서의 시간경과에 따른 T-P의 변화 특성을 나타내고 있다. 유입수의 평균 T-P는 5.77mg/L, 화학적 전처리에 의한 유출수의 평균 T-P는 0.58mg/L이었으며 평균 처리효율은 90.0%이었다. 그리고 생물처리공정의 유출수 평균 T-P는 0.11 mg/L이었으며, 생물학적처리가 정상상태에 도달한 후에는 오수재생시스템의 처리효율은 최대 99.1%까

Table 2. The experimental results of chemical treatment followed by biological treatment in a continuous feeding of raw water

Items	Raw water [mg/L]	Chemical treatment				Biological treatment				Totalremoval efficiency[%]
		Treated water [mg/L]		Removal efficiency[%]		Treated water [mg/L]		Removal efficiency[%]		
		Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Average
BOD	118.0～134.0	57.0～76.0	65.0	43.3～56.5	48.3	4.5～26.0	9.1	63.9～93.1	86.4	92.8
SS	157.0～172.0	21.0～43.0	31.0	74.4～86.6	81.1	3.2～32.0	8.8	23.8～90.5	72.9	94.6
T-N	33.5～51.1	28.3～43.0	35.7	12.4～15.9	14.7	22.5～36.8	29.1	3.5～25.4	18.3	30.5
T-P	4.3～7.5	0.4～0.7	0.6	89.2～90.5	90.0	0.03～0.36	0.11	29.4～95.2	79.7	98.1
ABS	1.3～5.0	0.66～1.76	1.25	61.0～73.9	67.4	0.05～0.80	0.26	8.3～96.5	75.2	93.2

Table 3. Comparison of required area between pre-chemical treatment and chemical treatment after biological treatment

Items		Unit	Retention time(min.)	Pre-chemical treatment(CB[1])	post-chemical treatment(BC[2])
The amount of water		m^3/d	-	4,000	
The collection tank		m^3	30	84	84
Chemical	Rapid agitation	m^3	5	14	14
sedimentation	Slow agitation	m^3	20	56	56
tank	Sedimentation	m^3	30	84	84
Inflow BOD concentration in aeration tank		mg/L	-	57～76(65[3])	118～134(126[3])
The amount of aeration tank in 0.8kgBOD/$m^3 \cdot d$		m^3	-	325	630
The amount of sedimentation tank		m^3	120	-	336
The total amount of volume		m^3	-	563	1,204
The required area		m^2	-	112	230

Remark: 1) Chemical and biological treatment
2) Biological and chemical treatment
3) Average

지 높게 나타났다. 이러한 결과는 박, 곽, 박의 연구결과와 마찬가지로 PAC 응집제 사용에 따른 높은 T-P 처리효율을 보여주었다.

Fig. 9는 연속실험에서의 시간경과에 따른 ABS의 변화 특성을 나타내고 있다. 유입수의 평균 ABS는 3.841mg/L, 화학적 전처리에 의한 유출수의 평균 ABS는 1.25mg/L이었으며 평균 처리효율은 67.4%이었다. 그리고 최종 유출수의 평균 ABS는 0.263mg/L이었으며 평균 처리효율은 75.2%이었으나 생물학적 처리가 정상상태에 도달한 후에는 최대 98.3%까지 높은 처리특성을 나타내어 ABS에 대한 처리효율이 상당히 우수한 것으로 나타났다.

Table 2에서 보듯이 연속실험에서 BOD, SS, T-N, T-P 및 ABS의 평균처리효율은 각각 92.8%, 94.6%, 30.5%, 98.1% 및 93.2%로 나타났으며, T-N을 제외한 다른 항목들은 90% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다. 특히, 화학적 전처리 공정에서 SS와 T-P의 경우에는 평균 처리효율이 각각 81.1% 및 90.0%로서 높은 처리효율을 나타내었으며 처리수의 오염부하량를 감소시켜 BOD 용적부하를 최소화함으로써 후단에 적용할 생물학적 처리조의 용적을 감소하는데 큰 역할을 할 것으로 판단된다. 또한, 하수의 화학적 전처리 적용시 과도한 인의 제거로 인해 BOD:N:P 비율이 불균형해 질 수 있으나, 본 연구에서는 BOD 농도가 57.0～76.0mg/L, T-P의 농도가 0.4～0.7mg/L로서 운전 중 대부분 100:1 정도의 적절한 비율을 보였고, 실제 운전에 있어서도 최적의 운전효율을 유지하는 것으로 나타났다.

3.4. 화학적 전처리에 의한 부지면적 비교 · 검토

화학적 전처리를 적용할 경우의 경제적 효과를 검토하기 위하여 4,000m^3/day 규모의 오수처리시설을 설치할 경우 화학적처리의 전, 후에 적용여부에 따라 소요되는 부지면적을 계산하여 비교 · 검토해 보았다. **Table 3**에서 알 수 있듯이 화학적 처리를 전처리로 적용할 경우 폭기조의 BOD 용적부하를 약 1/2로 줄일 수 있었으며, 현수미생물 접촉산화공법을 적용할 경우 후단의 생물학적처리에서 저농도의 하수에 처리효율이 높고 슬러지 발생량이 활성슬러지법에 비해 거의 생성되지 않는다는 연구결과와 마찬가지로 실제 일일 슬러지발생량은 약 2.2kg(wet basis)으로서 별도의 침전조를 설치할 필요가 없는 것으로 나타나, 오수처리시설의 전체 부지면적도 생물학적 처리와 후단의 화학적 처리를 혼용한 기존 하수처리장에 비해 약 1/2 가량 소요되는 것으로 계산되어 상당히 효과적인 처리를 기대할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 생활오수를 처리하여 하천유지용수를 확보하기 위한 소형오수처리시스템을 구축하고자 기존 생물학적 처리공법에 화학적 전처리를 적용하여 부지면적을 축소할 수 있는 방안을 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 생활오수의 응집특성을 알아보기 위한 생활오수 중의 입자의 입경분포 및 Fractal dimention(dF)을 측정해 본 결과 평균입경은 106.46μm였으며, dF는 1.81인 것으로 실험되었다.

2. 응집제의 선정 및 주입량을 결정하기 위한 Jar Test 결과, 최적의 PAC와 $FeCl_3$ 주입량은 각각 0.5 mg/L와 180mg/L였으나, 슬러지 발생량과 주입량 등을 고려하여 PAC 0.5mg/L로 결정하였다.

3. 연속실험에서 BOD, SS, T-N, T-P 및 ABS의 평균 처리효율은 각각 92.8%, 94.6%, 30.5%, 98.1% 및 93.2%로 나타났으며, T-N을 제외한 다른 항목들은 90% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다.

4. 화학적 전처리의 적용여부에 따라 폭기조 등의 처리시설의 용량 및 소요부지면적을 계산해본 결과, 화학적 전처리를 적용할 경우에 기존 하수처리장 처리시설보다 1/2 정도의 부지면적을 축소할 수 있어서 하천부지내 소규모 오수처리시설로 하천유지용수의 확보가 가능하였다.

참고문헌

1. 건설부 (1992) 하천환경정비기법 개발 연구 조사보고서.
2. 곽종운 (1994) 무기응집제(Hi-PAX)에 의한 화학적 하수처리 공정의 국내적용에 관한 연구, 하수도심포지움, pp. 87-107.
3. 김희근 (2004) 황산이온과 이중응집이 응집공정에 미치는 영향, 창원대학교 석사논문.
4. 박홍석 외 2 (1996) 1차 침전법 하수처리장의 화학적 처리에 의한 개선, 하수도 제36회 심포지움, *하수도협회지*, **23**(5), pp.31-45.
5. 박홍석 외 1 (1997) 1차 침전 하수처리장의 화학적 고도화, *대한환경공학회지*, **19**(4), pp. 529-540.
6. 장영호 외 8 (2001) 현수미생물접촉여재 소재별 운전특성과 적정 포기방법에 관한 연구, *환경연구원보*, 제14권.
7. 조병락 외 2 (1995) 현수미생물접촉법(HBC)에 의한 염색폐수처리, *환경관리학회지*, pp. 105-114.
8. H. ϕ degaard 외 1 (1994) Chemical Wastewater Treatment-Value for Money, in Chemical Water and Wastewater Treatment III, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 191-210.
9. Ingemar Karlsson 외 1 (1991) Pre-precipitation Facilitates Nitrogen Remonval without Tank Expansion, *Water. Sci. Technol.*, **23**, pp.811~817.
10. U. Nyberg 외 3 (1994) The Use of Polymer in the pre-precipitation Step of a Wastewater Treatment System for Extended Nutrient Removal, in Chemical Water and Wastewater Treatment III, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 211-220.
11. Y.J. Shao 외 4 (1996) Advanced Primary Treatment: An Altenative to Biological Secondary Treatment. The City of Los Angeles HYPERION Treatment Plant Experience, *Water. Sci. Technol.*, **34**(3~4), pp. 223-233.