

하수의 최종 유출수 수질 개선을 위한 침전조 모형실험에 적용한 끈상 미생물접촉재와 미나리의 고도처리효율에 관한 연구

배준삼¹, 이상호^{2*}

Advanced Treatment Efficiency of Biological String Media and *Oenanthe javanica* for Effluent Quality Improvement in the Sedimentation Model Plant

Joon-Sam Bae¹ and Sang-Ho Lee^{2*}

요약 본 연구의 목적은 미나리와 끈상 미생물접촉재를 이용하여 생활하수의 하수처리장 방류수의 수질 개선을 위한 것이다. 최종 방류수의 수질을 개선하기 위한 침전조 모형 플랜트를 2개 제작하여 실험하였는데, 하나(Tank 1)는 기존 하수처리장 침전조와 같게 제작 하였으며, 다른 하나의 침전조(Tank 2)는 침전조의 수조상부에는 미나리를 식재하고 하부에는 끈상 미생물 접촉재를 배치하였다. 유기 오염물질인 BOD, 부유고형물질인 SS, 질소 그리고 인에 대한 고도처리 효율을 검증하였다. 실험 결과 Tank 2에서 유출되는 배출수가 Tank 1에서 배출되는 유출수보다 처리 효율이 향상되었다. 처리 효율을 살펴보면, Tank 1보다 Tank 2 유출수의 BOD는 7.9%~38.8%가 향상되었으며, 부유고형물질인 SS는 14.3%~60.0% 향상되었다. 부영양화 물질인 T-N은 9.6%~31.5% 향상되었으며, T-P는 33.0%~80.0%까지 향상되었다. 처리 효율로 판단하면 T-P와 SS 제거효율이 BOD와 T-N보다 높았다.

Abstract This study was aimed at the improvement of the effluent quality of municipal wastewater treatment plant by *Oenanthe javanica* and Bio-string media. The results were compared with conventional sedimentation tank and pilot sedimentation plant. In this study BOD as organic pollutants, SS, Nitrogen and Phosphorus were tested to evaluate the removal efficiencies for the advanced treatment. The result were as follow: in the Pilot Plant experiment, Tank 2 was fairly high removal efficiency as compared with Tank 1. The removal efficiency of BOD and SS in Tank 2 were as a range of 7.9%~38.8%, 14.3%~60.0% and the removal efficiency of T-N, T-P were a range of 9.6%~31.5%, 33.0%~80.0% respectively. The removal efficiency of T-P and SS were much higher than BOD and T-N.

Key Words : Advanced Treatment, *Oenanthe javanica* and Bio-string media, Sedimentation Tank, Removal Efficiency of pollutants

1. 서론

근래에 들어 인간의 건강과 생명을 위협하는 환경오염 중 큰 문제가 되고 있는 것은 무엇보다도 1960년대 이후 급하게 진행된 산업화와 도시화의 영향으로 인하여 다양

한 오염원이 공공수역으로 유입되어 발생하는 수질 악화를 들 수 있다. 그 결과 수환경의 자정능력은 한계에 이르렀고, 인간의 건강과 생명을 위협하는 수질 환경오염 문제는 현대 사회의 중요한 관심사로 대두되었다. 특히, 하천 및 호소의 주 오염원인 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등은 질소와 인을 다량 함유하고 있어서 부영양화 현상을 유발시키고 있으며 무분별한 개발로 인하여 다양한 생물종의 서식지인 습지가 소실 또는 변형됨에 따라 습지식물에 의해 자연 정화되던 오수가 그대로 수역에 방류되어 수질 악화가 가속화되고 있다[1].

¹eMatrix 사업팀

²상명대학교 환경공학과

*교신저자: 이상호(leesh@smu.ac.kr)

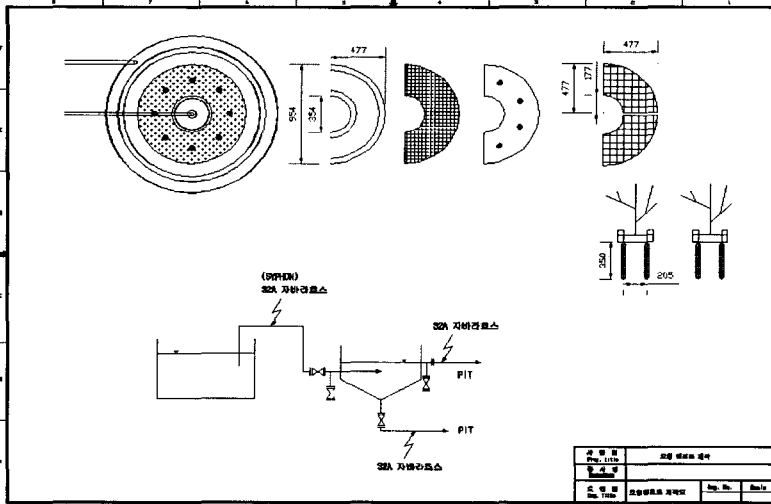


그림 1. 하수처리수 효율 향상을 위한 모형실험 침전지 개략도

일반적으로 국내 도시 하수처리에 2차 처리시설로 적용되고 있는 표준활성슬러지법[2]은 BOD, SS와 같은 유기물질의 제거를 목적으로 하고 있어 여러 종류의 무기성 이온을 비롯한 중금속, 영양염류인 질소와 인에 대한 처리시설이 부족하여 부영양화, 적조현상, 어류독성 및 수계의 용존산소 결핍 문제 등을 유발시킬 수 있다[3]. 따라서 기존 하수처리장에서는 더욱 깨끗한 처리수를 얻기 위해 2차 처리공정에 대한 처리공정 개선 및 고도처리가 여러 방법으로 시도되고 있으며 그 중 수생식물을 이용한 처리공법에 대한 관심이 증대하고 있다. 특히 하수처리에 사용되고 있는 수생식물로는 부레옥잠을 비롯한 미나리, 갈대 등이 있으며 이러한 수생식물은 폐수의 안정화, 영양염류의 제거 등과 같이, 수확된 수초의 퇴비화 등과 같이 폐수의 회수 및 재순환의 목적으로 이용된다[4].

수생식물에 의한 하수처리는 물리·화학적 방법에 비해 그 소요 경비가 저렴하고, 2차 오염의 우려가 적다[1].

따라서 본 연구에서는 생태공학적으로 유기오염물질과 영양염류 등을 제거하기 위하여 유입하수의 충격부하 및 운전조건의 불균형에 매우 민감한 하수처리장 최종침전지를 대상으로 미나리를 식재한 인공 수초 재배섬을 적용하여 처리시설의 수질 및 경관을 개선하고자 한다. 또한 기후조건에 따른 처리의 한계점을 보완하기 위해 수생식물이 식재된 인공수초섬 하부에 비표면적이 큰 끈상 미생물접촉재를 조밀하게 부착시킴으로서 이들 접촉재에 부착된 미생물을 하수의 수질정화에 이용하여 높은 정화효율을 향상시키기 위함이다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험 재료

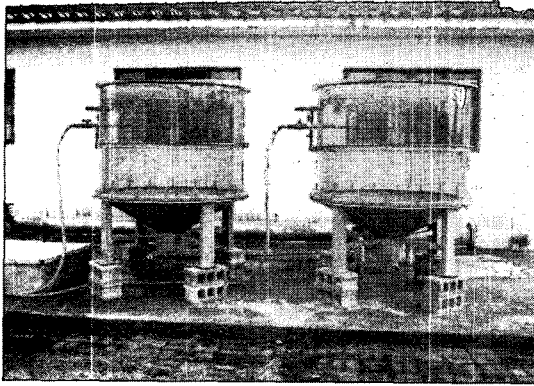
본 연구는 수생식물 중 쉽게 관찰되며 수중에 많은 뿌리를 형성하여 물 속의 오염물질을 효과적으로 제거하는 미나리[5]를 실험재료로 선택하였다. 미나리는 야생상태로 건강하게 자란 것을 채취하거나 충남 "C"시 근교 재배자로부터 구입하여 수돗물로 수세한 후 잎 부분을 잘라 뿌리와 줄기만 재배하였다. 재배는 14cm×14cm×18cm의 아크릴 수조에 배양액을 넣고 약 3일간 키워 미나리가 토양재배 환경에서 수경재배 환경에 적응할 수 있게 하였다. 식재하기 전 증류수로 수회 씻어 수초 재배섬의 식재식물로 이용하였다.

인공 수초섬 하부에 부착한 끈상 미생물접촉재는 여러 가닥의 나이론사를 방사형으로 직조하여 제조한 로프형으로 900테니아 42합사 나이론 Y형 단면 BCF 다섬사와 600테니아 4합사 나이론 모노사로 구성되었고 비표면적이 1m², 끈상 미생물접촉재의 직경은 40~45mm이다.

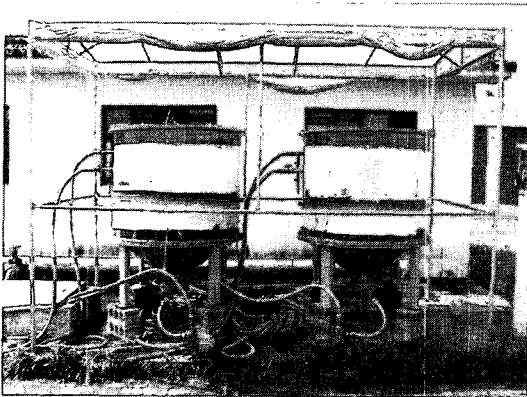
2.2 실험장소 및 실험장치

본 연구는 "C"시에 위치하고 있는 일처리용량 150,000톤 규모의 하수처리장에 수생식물이 최적 성장 조건을 갖추는 2005년 5월~8월까지 4개월에 걸쳐 수생식물 및 끈상 미생물접촉재의 수질정화 능력을 검토하기 위하여 현장에서 수행되었다. Pilot Plant는 Tank 1과 Tank 2로 구성하였다. Tank 1은 침전 기능만을 부여한 대조구(Control) 장치이고 Tank 2는 수초섬을 제작하여 상부에

미나리를 식재하였고 하부에는 끈상 미생물접촉재를 인공근으로 조밀하게 부착한 장치이다.



가동 전



가동 중

그림 2. 모형 침전지의 설치전과 가동 중의 전경

Tank 1과 Tank 2는 유효용량이 2.3m³(1500D×1646H)인 투명아크릴 수지와 SUS재질을 사용한 원형실형조로 설치하였으며 유입부에는 유입원수의 유량을 조절할 수 있는 밸브를 설치하였고, 유출수에는 웨어(weir)를 설치하여 처리수가 고른 속도로 배출되도록 하였다. 끈상미생물 접촉재는 수초섬 4개에 각 30cm 길이의 접촉재를 10cm 간격으로 총 12m를 설치하였다. 유입원수는 포기조 유출수를 사용하였고 유입 후 Pilot Plant에서 중력침강에 의해 슬러지를 침전시켰다. 처리 후 웨어(wire)로 넘어오는 유출수를 채수하여 실험목적에 따라 희석 또는 그대로 사용하였다. 유입원수의 주입 및 슬러지 배출을 위하여 유체펌프(KTL-SH07048-1005B)와 수중펌프(IP-215)를 사용하였다. Tank 1과 Tank 2의 체류시간은 2시간 30분이고 유입유량은 22.1m³/d로 운전하였다. 실험기간 중

현장 내의 평균온도와 상대습도는 12.8~22.5°C, 56~73%였고 조도는 조도계(LX-101 LUX METER)로 측정하였으며 50.000~100.000lux의 범위를 나타내었다.

2.3 시료채취 및 분석항목

시료는 Pilot Plant 유입수와 최종 유출수 및 Pilot Plant 침전효율을 확인하기 위한 C하수처리장 최종 침전조 유출수이며, 각각 2일 간격으로 주 3회 오후 16시를 기준으로 시료를 채수하였다. 수질측정 분석항목은 방류수 수질 기준 및 하천수 수질기준에 준하는 pH, 수온, BOD, COD, SS, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P로 선정하였다. 수온 및 pH(Hach senson pH meter)는 현장에서 측정하였으며 이 외의 모든 분석항목은 실험실에서 수질오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 기초인자의 변화

2005년 5월 24일부터 2005년 8월 31일까지 운전한 C시 하수처리장 최종 침전조 유출수와 Tank 1, Tank 2 유출수의 수온은 미나리의 생장에 가장 좋은 최적온도인 19.5°C에서 26.4°C의 범위를 나타내었고 유입수와 유출수의 수온차이는 거의 없는 것으로 나타났다. pH 변화를 측정한 결과, Pilot Plant 실험이 생물체의 성장에 가장 효율적인 시기에 운전되었고 고농도의 영양물질 유입으로 인한 조류발생 때문에 pH값이 다소 높은 알칼리성을 나타낼 것으로 판단하였으나 pH 변화량은 pH 6.9~pH 7.7의 낮은 중성의 범위를 나타내었다. 수생식물과 끈상 미생물접촉재가 부착되어 있는 Tank 2와 그렇지 않은 Tank 1의 평균 pH값은 각각 pH 7.45, pH 7.10으로 수생식물 및 끈상 미생물접촉재를 부착시킨 Tank 2의 평균 pH 값이 다소 높게 나타났다. 이는 수생식물의 뿌리부분에 존재하는 탈수소 효소가 수소를 제거하고 전자수용체를 작용해서 기질을 중화하는 기능[6]으로 인해 pH가 다소 상승된 것으로 판단된다.

3.2 유기물질의 제거

미나리와 끈상 미생물접촉재를 식재한 Tank 2와 대조군인 Tank 1의 BOD, SS의 제거 결과를 [그림 3]과 [그림 4]에 나타내었다. 유기물 농도를 나타내는 BOD₅는 [그림 3]과 같이 Tank 2가 대조군인 Tank 1에 비해 다소 높은 BOD 제거량을 나타냈으며 Tank 1과 Tank 2 모두 운전

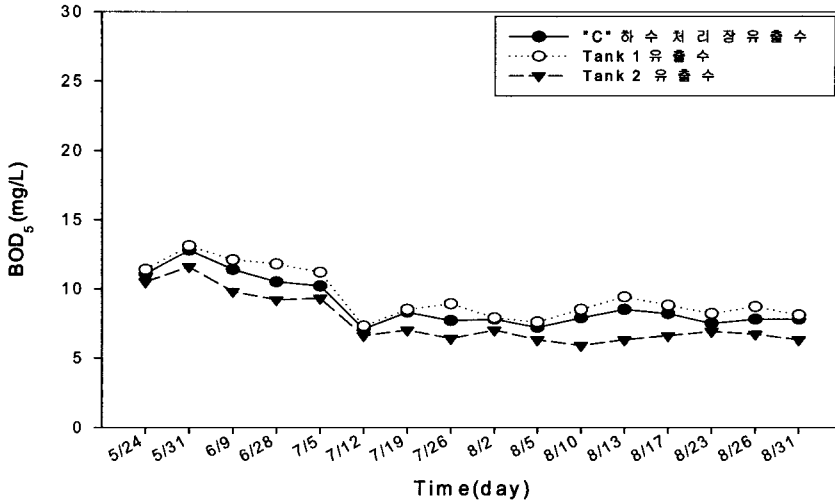


그림 3. 각 침전조 운전기간 중 유출수의 BOD₅ 시계열적 변화

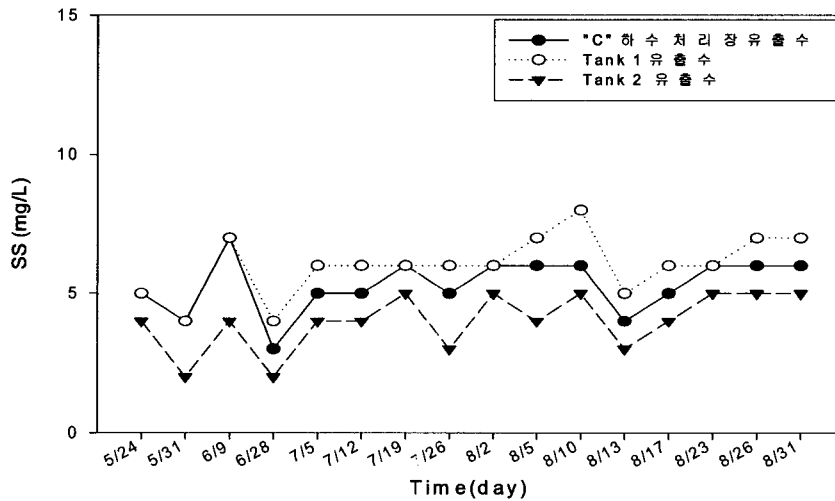


그림 4. 각 침전조 운전 기간 중 부유물질(SS) 농도 변화

기간 동안 안정적인 제거양상을 나타내었다. 연구기간 동안 Tank 1과 "C"시 하수처리장 최종 침전조 유출수의 BOD₅는 각각 6.9~13.1mg/L, 6.7~12.8mg/L로 유사한 농도범위를 보였으며 Tank 2의 BOD₅는 5.4~11.6mg/L의 농도범위로 Tank 1에 비해 최소 7.9%에서 최대 38.8%의 높은 제거효율을 나타냈다.

부유물질(SS)의 수질분석을 수행한 결과는 [그림 4]에 나타내었는데 Tank 1(Control)과 "C"하수처리장 최종 침전조 유출수는 각각 4.0~8.0mg/L, 4.0~7.0mg/L의 농도범위를 나타냈다. 또한, 수생식물(미나리)과 끈상 미생물접촉재로 병행처리 한 Tank 2에서는 2.0~5.0mg/L농도를 나타내었다. Tank1(Control)과 비교하여 농도변화를 살펴

보면 미나리와 끈상 미생물접촉재를 거친 후 최소 14.3%에서 최대 60.0%, 평균 37.0%의 제거효율을 나타내었다.

유기물의 수질정화 중 SS가 높은 정화효과를 나타냈는데, 이는 수생식물 뿌리 구간에서의 고형물질 여과현상과 물의 움직임에 따른 동침에 의한 것으로 판단된다[7]. 또한 수생식물이 빛의 통과를 방지하여 조류성장을 억제시킨 효과와 더불어 끈상 미생물접촉재의 여과효과에 의해 SS의 제거효과가 높아진 것으로 판단된다.

3.3 영양염류의 제거

3.3.1 질소의 제거

영양염류는 식물체의 성장 관계에서 필요한 영양분으

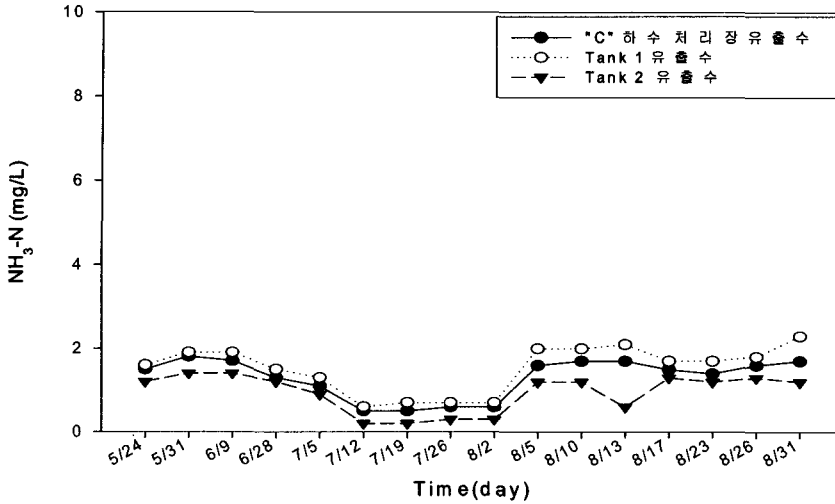


그림 5. 각 침전지 운전 기간 중 유출수의 암모니아성 질소(NH₃-N) 농도 변화

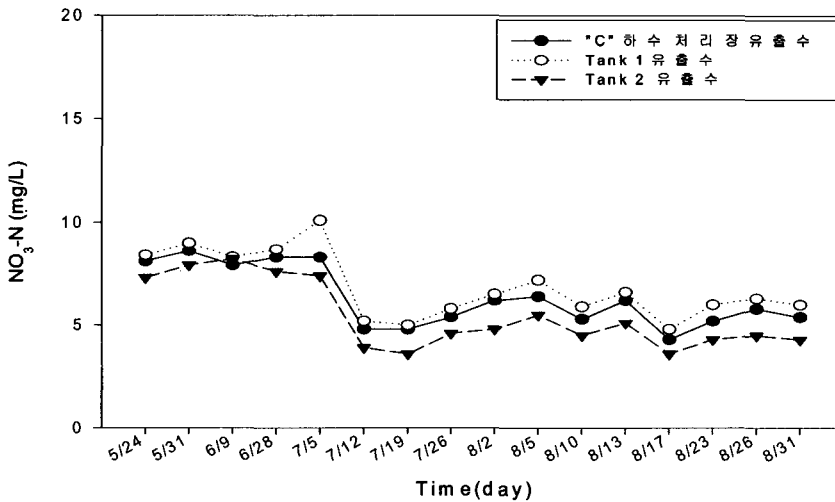


그림 6. 각 침전지의 질산성 질소(NO₃-N)의 시계열적 농도 변화

로, 미나리의 뿌리와 마디에서 새로 나오는 뿌리가 영양 염류를 흡수·흡착하기 때문에 그 제거는 곧 식물의 성장과 증식을 의미한다[8]. 암모니아성 질소(NH₃-N)는 질소화합물 중 최초의 분해 산물로써[9] 연구수행 기간 중 Tank 1(Control)과 "C" 하수처리장 최종침전지의 수질분석 농도는 각각 0.5~2.5mg/L, 0.4~2.5mg/L의 유사한 농도범위를 나타냈다. [그림 5]와 같이 Tank 2(Plant & Bio-string media)가 0.2~1.8mg/L의 가장 낮은 암모니아성질소 농도를 나타내고 있다. 이는 수초섬 상부에 식재한 미나리와 수초섬 하부에 설치한 끈상 미생물접촉재에 의한 제거 효과로 Tank 1(Control)에 비해 최소 13.0%에서 최대 71.4%, 평균 40.9%의 제거효율을 보였다.

아질산성 질소의 경우 Tank 1(Control)과 "C" 하수처

리장 최종 침전지에서 각각 0.2~0.9mg/L, 0.1~1.7mg/L의 농도범위를 나타내었다. 수생식물(미나리)과 끈상 미생물 접촉재로 병행처리 한 Tank 2가 0.1~1.4mg/L의 농도범위로 가장 낮은 아질산성 질소 농도를 나타내었고, Tank 1(Control)에 비해 최소 20.0%에서 최대 75.0%, 평균 40.1%의 제거효율을 보였다.

질산성질소의 경우 [그림 6]과 같이 Tank 1(Control)과 "C" 하수처리장 최종 침전지에서 각각 4.8~9.8mg/L, 4.3~9.2mg/L의 농도범위를 나타내었고 Tank 2가 3.6~8.7mg/L로 가장 낮은 질산성질소 농도를 나타내었다. 이는 미나리가 영양물질을 성장관계에서 필요한 영양분으로 사용하여 성장과 함께 수중의 질산성질소의 농도가 감소된 것으로 판단된다.

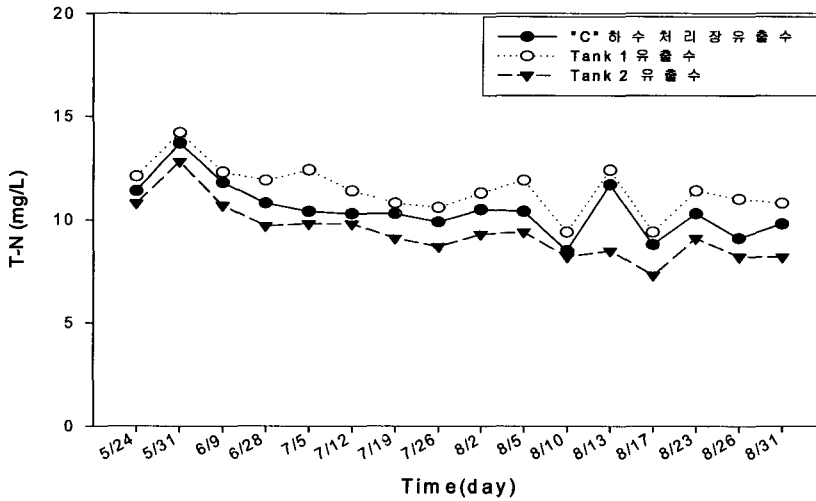


그림 7. 각 침전지 유출수의 총질소(T-N) 농도 변화

총질소 농도에 대한 수질분석을 수행한 결과 Tank 1(Control)과 "C" 하수처리장 최종 침전지 유출수는 [그림 7]과 같이 각각 9.4~14.2mg/L, 8.5~13.7mg/L의 농도 범위를 나타내었고 미나리와 끈상 미생물접촉재로 병행 처리한 Tank 2에서 7.3~12.8mg/L 농도를 나타내었다.

Tank 1(Control)과 비교하여 농도변화를 살펴보면 미나리와 끈상 미생물접촉재를 거친 후 최소 9.6%에서 최대 31.5%, 평균 18.4%의 제거효율을 보였다.

질산화 반응은 일반적으로 수생식물의 광합성 과정에서 생성된 산소가 잎과 줄기를 통하여 뿌리로 전달되어 뿌리의 호흡 요구량 보다 산소공급량이 많을 때, 뿌리에 붙어 있는 질화 세균의 호흡과정에서 유기 탄소 및 질소의 전자 수용체로 잉여 산소를 이용함으로써 수체 내에서 일어난다[10]. 질산화를 위해서는 잉여 산소가 충분하

여야 하는데 그러기 위해서는 산소 전달율이 높아야 한다. 산소 전달율은 뿌리량과 반비례하므로 고밀도의 작은 뿌리구조를 가진 어린 식물체는 낮은 호흡율로 인하여 산소를 덜 소비하여 산소 방출량이 크므로 높은 식물들보다 높은 영양물질 제거율을 기대할 수 있다. 따라서 처리 효율의 극대화를 위해서는 영양염류 처리를 위한 적정 식물체량을 유지하는 범위 내에서 상대적으로 낮은 식물밀도를 유지하게 하여 대기와의 접촉면적을 증가시키고 어린 싹이 자랄 수 있는 공간을 만들어 주는 것이 효과적이다. 본 연구에서 미나리의 생장주기는 10~14일 정도로 나타났는데 14일 이후에는 줄기와 잎에서 고사가 시작되는 현상을 보였다. 이때, 잎과 줄기를 제거해 줌으로써 제거 효율을 더욱 향상시킬 수 있었다.

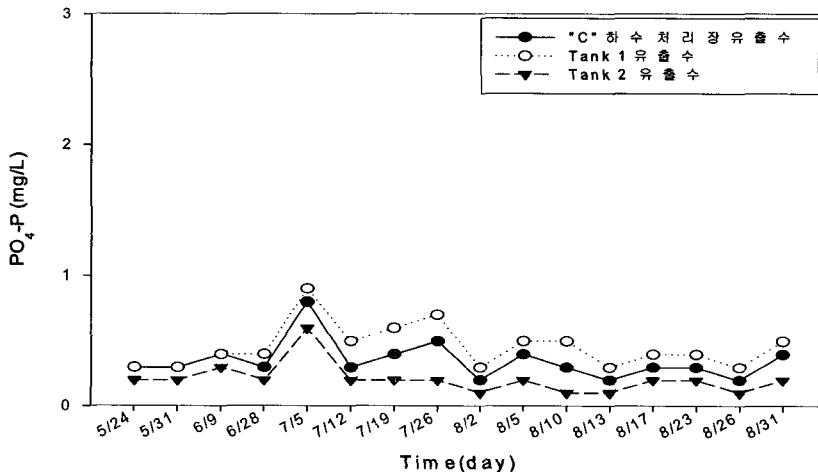


그림 8. 각 침전지 유출수의 인(PO4-P)의 농도 변화

3.3.1 인의 제거

인산염 인은 일반적으로 하천 및 호소에서 갈수기인 겨울에 높은 농도를 나타내는데 이에 따르는 규조류의 번성으로 인해 수질을 악화시키는 원인이 된다[11]. 인산염 인의 농도는 [그림 8]과 같이 Tank 1(Control)과 "C" 하수처리장 최종 침전지 유출수에서 각각 0.2~0.9mg/L, 0.2~0.8mg/L의 농도범위를 나타냈다. 수생식물과 끈상미생물접촉재를 병행 처리한 Tank 2에서는 0.1~0.6mg/L농도의 범위를 나타내고 있는데, Tank1 (Control)과 비교하여 농도변화를 살펴보면 미나리와 끈상 미생물접촉재를 거친 후 최소 25.0%에서 최대 85.0%, 평균 54.5%의 제거효율을 보였다. 지표수의 부영양화를 야기 시키는 인은 주로 1가 인산이온(H_2PO_4)의 형태로 흡수되면 2가 이온(HPO_4^{2-})의 흡수보다는 느리게 일어난다. 이 현상은 pH에 의하여 조절이 되는데 pH 7이하에서는 H_2PO_4 가, 그리고 pH7이상에서는 HPO_4^{2-} 가 많게 된다[12]. 본 연구에서는 유입초기부터 pH가 7이상의 양상을 보였기 때문에 HPO_4^{2-} 가 주된 흡수형태일 것으로 판단된다.

식물생장이 특히 왕성한 7월에서 8월까지의 T-P 분석 결과를 살펴보면 [그림 9]와 같이 다른 측정항목 보다 두드러진 높은 처리효율을 나타내고 있다. Tank 1(Control)과 "C" 하수처리장 최종 침전지 유출수는 연구기간 중 각각 0.4~2.3mg/L, 0.3~1.8mg/L의 농도범위를 나타냈고, 미나리와 끈상 미생물접촉재로 병행처리 한 Tank 2에서 0.2~0.8mg/L농도를 나타내고 있는데 Tank1(Control)과 비교하여 농도변화를 살펴보면 미나리와 끈상 미생물접촉재를 거친 후 최소 33.0%에서 최대 80.0%, 평균 59.2%의 제거효율을 보였다. T-P는 측정항목들 중에서 감소효

과가 가장 좋았다. 수생식물을 이용한 하수처리에 있어서 총인의 제거는 식물체에 의한 흡수와 식물체의 수확에만 의존하기 때문에 높은 총인의 제거율을 기대하기 위해서는 식물체의 수확 횟수와 제거량에 대하여 적절한 관리가 중요할 것으로 판단된다.

4. 결론

하수처리장으로 유입되는 하수의 불규칙한 충격부하 및 운전조건의 불균형 시 근본적인 대처가 곤란한 하수종말처리장의 방류수 수질을 개선하기 위하여 수초 재배섬과 그 하부에 끈상의 인공근을 부착한 생태공학적 자연처리방법을 적용하여 유기오염물질과 영양염류의 제거를 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 미나리와 끈상 미생물접촉재로 병행처리 하여 유기물 및 영양염류 제거실험을 수행한 결과 괄목할 만한 큰 제거 경향은 보이지 않았으나 일정한 수준의 제거양상을 보이며 수생식물과 끈상 미생물접촉재의 영양물질 제거능이 있음을 시사하였다.
2. 끈상 미생물접촉재는 미생물의 공생작용과 먹이 연쇄작용으로 폐수 속의 유기물을 처리하고 유기형태의 질소, 인을 상부의 식물 등이 영양분을 섭취하기 좋은 무기염류로 분해하여 인, 질소 등의 흡수를 촉진 시키므로 수질정화시스템에 적용한다면 수질의 개선효과를 최대화 할 것으로 판단된다.

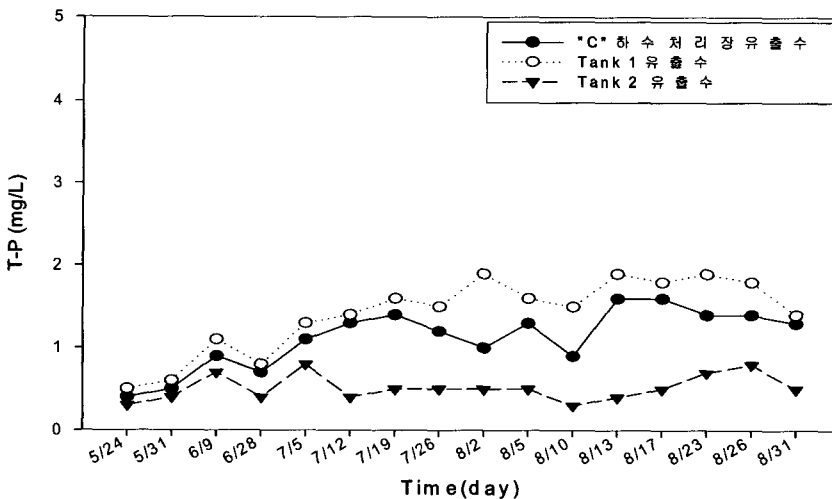


그림 9. 각 침전지 유출수의 총인(T-P)에 대한 농도 변화

2. 연구수행 중 온도는 평균 19.5°C~26.4°C, pH는 6.9~7.7의 범위를 보였으며 미나리와 끈상 미생물접촉재로 병합처리 한 Tank 2는 Tank 1(Control)에 비해 평균 제거율이 BOD₅ ; 20.8%, T-N ; 18.4%, T-P ; 59.2%, SS ; 37.0%로 대조군에 비해 수생식물 및 끈상미생물접촉재로 병합처리 했을 때 제거효과가 높았다.
3. 미나리를 이용한 질소와 인의 제거는 농도가 낮은 하수 원수나 2차 처리과정을 거친 방류수의 처리에 효과적인 것으로 판단되며, 내한성이 있는 정수식물로 11월 중 15°C 이하 조건하에서도 미나리는 현존량이 증가하므로 낮은 온도에서도 수질정화가 가능하다. 따라서 미나리는 자연적인 기후 조건에서 유기물 및 영양염류 제거를 위한 수질정화에 매우 유용하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] 권예량, 박철휘, "수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구", 대한환경공학회지, 25(4), pp. 415-420, 2003.
- [2] 김종식, "미나리를 이용한 LAS와 ABS의 제거효율에 관한 연구", 한국화학공학회지, 13(3), pp. 274-277, 2002.
- [3] 김영철, 정하영, 이진우, "산화제와 부유 수생식물에 의한 2차 처리수의 수질향상에 관한 연구", 대한환경공학회지, 25(8), pp. 1022-1031, 2003.
- [4] 김종식, 최준호, 송세달, "미나리를 이용한 계면활성제성분의 제거에 관한 연구", 응용화학지, 5(2), pp. 148-151, 2001.
- [5] 김종규, "미나리에 의한 합성세제에 오염된 물의 정화효과", 한국식품위생안전성학회지, 17(1), pp.1-7, 2002.
- [6] C. R. Picard, et al., "The interacting effects of temperature and plant community type on nutrient removal in wetland microcosms", Bioresource Technology, (96), 1039-1047, 2005.
- [7] 김종식, 최준호, 송세달, "부레옥잠을 이용한 하수중 말처리장 방류수의 고도처리에 관한 연구, 한국화학공학회지, 13(4), pp.361-365, 2002.
- [8] S. A. Bramwell and P.V. Devi Prasad, "Performance of a Small Aquatic Plants Wastewater Treatment System under Caribbean conditions", Journal of Environmental Management, (43), 213-220, 1995.
- [9] 이영신, 김창희, "미나리짚을 이용한 영양물질제거에 관한 연구", 한국환경위생학회지, 29(3), pp. 16-20,

2003.

- [10] Yonghong Xie and Dan Yu, Bo Ren, "Effects of nitrogen and phosphorus availability on the decomposition of aquatic plants", Aquatic Botany, (80), 29-37, 2004.
- [11] 박진식, "부레옥잠과 미나리를 이용한 연속식 하수 처리에서 COD, N 및 P의 제거", 한국환경농학회지, 21(2), pp. 144-148, 2002.
- [12] 정연숙, 노찬호, "양어장 배출수의 수처리를 위한 수생관속식물의 적용: I. 부엽식물인 부레옥잠 및 좁개구리밥의 성장과 영양염류의 흡수력", 한국생태학회지, 25(1), pp. 39-44, 2002.

이 상 호(Sang-Ho Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경북대학교 공업화학과 (공학사)
- 1988년 7월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학석사)
- 1993년 1월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학박사)

• 1997년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

하수고도처리, 난분해성 산업폐수처리

배 준 삼(Joon-Sam Bae)

[정회원]



- 2004년 2월 : 상명대학교 환경공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 상명대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2006년 1월 ~ 현재 : cMatrix 사업팀 대리

<관심분야>

유역관리, 하수고도처리