

식물플랑크톤을 이용한 영양염류 제거에 관한 연구

김 순 래* · 정 의 호 · 안 태 석¹

(강원도보건환경연구원, 춘천 200-093, ¹강원대학교 환경과학과, 춘천 200-701)

A Study on the Nutrient Removal with Phytoplankton. Kim, Soon-Rae* Eui-Ho Cheong and Tae-Seok Ahn¹ (Kangwon do Institute of Health and Environment, Chunchon 200-093, ¹Dept. of Environmental Science, Kangwon National University, Chunchon 200-701)

For elucidating the effective management for nutrients removal by the phytoplankton growing at the effluents of night soil and sewage treatment plant, the dilution rates, physical operation conditions and duration of culture were defined. For nutrients removal from effluent of night soil treatment plant, lower the dilution was better, and *Scenedesmus* sp. was dominant. For removal from the effluent of sewage treatment plant, the proper operation conditions were 50% of dilution rate, stirring and 2 days culturing. With these conditions, the removal rate of TKN was 88%, DIP 70~80% and the chlorophyll concentration reached at 1,300 mg/m³ chlorophyll a concentration. the variation of chlorophyll a was highly correlated with ammonia ($r^2 = 0.96$) and DIP ($r^2 = 0.92$).

Key words : Nutrient removal, Operation condition, Phytoplankton

서 론

국민생활 양식의 변화, 인구증가에 따른 도시화, 소비활동의 고도화 등으로 인하여 생활오수에 의한 수질오염이 사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 호소나 내만과 같은 폐쇄성 수역의 경우 생활오수에 다량 포함되어 있는 질소와 인 등의 영양염류가 대량으로 유입되어 부영양화 현상이 발생되는데, 도시지역 뿐만 아니라 도시 외각에서도 생활오수에 의한 수질오염이 발생되어 공공수역의 수질오염과 생활환경의 악화를 초래하고 있어서 이들의 적절한 관리가 요망되고 있다(서 등, 1998).

수계에서는 인과 질소가 부영양화의 주요 원인물질이나(오 등, 1998; 허 등, 1999), 우리나라의 하수처리시설은 대부분 표준활성슬러지법 등으로 설치, 운영되고 있다. 그러나, 이러한 방법들은 영양염류에 대한 유기물질의 농도(C/N ratio)가 상대적으로 낮기 때문에 유기물과

부유물질 제거에는 효과적이거나, 질소 및 인을 효과적으로 처리할 수 없는 방법들이다(서 등, 1998; 전 등, 2000).

최근에는 질소와 인을 제거하는 공법으로 변형된 Bardenpho공법, AO공법, A²O공법, Phostrip공법, UCT공법, VIP공법 등이 개발보급 되었다(임 등, 1998; 서 등, 2000). 또, 하수에 포함된 유기물을 이용하여 영양염류 제거 효율을 향상시키기 위하여 하수의 주입방법 및 폭기조의 운영방법을 개선하는 등 변형시킨 여러 가지 처리방법들이 시도되고 있다(김 등, 1999). 그러나, 이러한 처리방법들은 우리나라의 소규모 오수처리시설에 적용하기에는 설치비가 비싸고, 운영관리가 어려우며, 영양염류 제거효율이 낮아, 효율적으로 관리하기 어렵다.

최근 설치비와 유지관리비가 저렴하고, 운영이 쉬우며, 영양염류 제거효율이 높은 인공습지(김, 1998), 인공섬(神田, 2000) 등 식물의 정화능을 이용한 생태공학적인 공법들이 소개되고 있다.

* Corresponding author: Tel: 033) 254-2719, Fax: 033) 253-2718, E-mail: ksr8780@provin.kangwon.kr

본 연구에서는 식물플랑크톤을 이용한 영양염류 제거 가능성, 분뇨처리장과 오수처리장 방류수의 희석율, 물리적 운영조건, 배양시간, 운전조건을 파악하였다. 이러한 결과를 토대로 하여, 소규모 오수처리시설을 설치할 때 필요한 기초자료를 제공함으로써 수계의 부영양화를 방지하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

재료 및 방법

1. 처리대상 시료의 수질특성

연구 대상은 도시 외곽지역의 가정에서 발생하는 분뇨를 수거하여 처리하는 시설의 방류수와 도시지역 아파트의 세탁이나 수세식 화장실 등에서 발생된 오수를 처리한 방류수로서 수질상태는 Table 1과 같다.

Table 1. Water condition of two effluent of night-soil and sewage treatment plant. (unit: mg/l)

Item	COD	TN	TKN	NH ₃ -N	TP	DIP
Effluent of night-soil treatment plant	148.0	728.7	620.0	525.0	31.6	31.1
Effluent of sewage treatment plant	21.9	20.2	16.1	9.8	2.1	2.0

2. 식물플랑크톤의 성장 조사

1) 배양조건

식물플랑크톤 증식과 영양염류의 이용상태를 조사하기 위하여, 분뇨방류수가 5, 10, 20% 되도록 증류수로 희석한 시료와, 대조구는 T-N, T-P 측정용 표준용액을 증류수로 희석하여 NO₃-N 40.2 mg/L, PO₄-P 2.1 mg/L 되도록 조제한 것을 사용하였다.

여기에 식물플랑크톤(*Scenedesmus* sp.)을 엽록소 *a*의 농도로 0.3~0.6 mg/m³ 되도록 각각 접종시킨 후, 삼각-flask에 200 mL를 넣어 연속 진탕(100 rpm) 시키면서 5일 간격으로 15일 동안(3회)에 걸쳐 TKN, NH₃-N, DIP, 엽록소 *a*, DO, 수온 등을 측정하였다.

2) 오수처리장 방류수의 영양염류 제거효율

오수 방류수를 식물플랑크톤을 배양 시킬 경우, 적절한 희석 배율을 조사하기 위하여, 방류수가 50~90% 함

유 되도록 식물플랑크톤 배양액으로 희석한 후, jar-tester를 이용하여 교반(60 rpm)하면서 4일 동안 TKN, DIP, 엽록소 *a*를 측정하였다. 또한 식물플랑크톤 배양액 대신 증류수를 넣은 것을 대조구로 하였다.

3) 물리적 조건 변화에 따른 식물플랑크톤의 성장 조사

식물플랑크톤이 가장 빨리 성장하는 물리적 조건을 조사하기 위하여, 분뇨 방류수가 5% 유지되도록 증류수로 희석한 후, 식물플랑크톤을 엽록소 *a*의 농도가 0.3 mg/m³ 되도록 접종하였다. 이것을 1 L beaker에 나누어 담은 다음, 방치, 교반(60 rpm), 진탕(100 rpm), 포기(0.61 L · air/min/sample 500 mL) 시키면서 2일 간격으로 16일 동안 엽록소 *a* 농도를 측정하였다.

4) 체류시간(배양시간) 예측

식물플랑크톤이 오수 방류수 중의 영양염류를 흡수하는데 소요되는 배양시간을 파악하기 위하여, 분뇨방류수(농도 10%)와 오수방류수(원액)을 식물플랑크톤 배양액과 각각 1:1로 혼합하였다. 그런 다음, 1 L beaker에 담아 교반하여(60 rpm) 4일 동안 배양하면서 TKN, DIP, 엽록소 *a*를 측정하였다. 또한 식물플랑크톤 배양액 대신 증류수를 넣은 것을 대조구로 하였다.

5) 영양염류 제거율

식물플랑크톤이 증식, 성장함에 따라 영양염류를 흡수하는 과정을 조사하기 위하여, 3시간 간격으로 48시간 동안 TN, TKN, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, TP, DIP, 엽록소 *a*를 측정하였다.

3. 화학적 분석

분석에 사용된 모든 시료는 GF/C glass fiber filter(Whatman, pore size 1 μm)에 여과하여 식물플랑크톤을 제거한 후, 총인(TP)과 총질소(TN)는 Menzel and Corwin (1965), 용존무기인(DIP)은 Standard Method (APHA, 1996), 킬달성질소(TKN), NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N는 일본 위생시험방법(1990)에 의하여 분석하였다. 식물플랑크톤 현존량(엽록소 *a*)은 시료를 일정량 취하여 GF/C glass fiber filter로 여과하여 측정 후 정량하였다(Lorenzen, 1967).

4. 식물플랑크톤의 세포밀도

엽록소 *a* 함량의 변화를 파악하기 위하여 엽록소 *a* 농도와 식물플랑크톤의 세포밀도를 측정하였다. 식물플랑

크톤의 세포밀도 (cells/mL)는 12시간 간격으로 채취된 시료를 formaline으로 고정후 Sedwick-Rafter (SR) cell을 이용하여 200배율 광학현미경으로 3회 이상 계수하였다(水野, 1964; Hirose 등, 1997).

결과 및 고찰

1. 분뇨처리장 방류수

식물플랑크톤이 영양염류를 섭취하는 과정을 조사하기 위하여, 식물플랑크톤을 별도로 증식시켜 접종한 결과는 Fig. 1과 같고, 이 기간 수온은 23.5~29.7°C로 식물플랑크톤의 성장에 알맞은 온도였다. 식물플랑크톤은 접종 후 5일후 부터 성장하기 시작하였다. 5일째에는 희석농도가 낮은 상태일수록 엽록소 *a*의 농도가 높았다. 접종한지 15일 경과 후에는 분뇨처리장 방류수가 20%인 경우 3353.5 mg/m³이고, 5%, 10%는 각각 765.7 mg/m³, 950.4 mg/m³로 큰 차이가 없었다.

DIP는 분뇨처리장 방류수가 5, 10, 20%인 반응조에서 각각 초기농도가 1.6 mg/L, 3.0 mg/L, 6.0 mg/L에서 15일 후 0.5 mg/L (69%), 1.8 mg/L (40%), 3.7 mg/L (38%)로 감소하였다.

질소의 경우, TKN의 약 80%가 NH₃-N 형태로 존재하였다. TKN는 5, 10, 20%인 반응조에서 초기농도가 16.8 mg/L, 32.7 mg/L, 65.7 mg/L였는데, 접종 5일 후에 감소되기 시작하여 15일 후에는 6.3 mg/L, 16.3 mg/L, 42.0 mg/L였다. NH₃-N의 경우도 TKN과 비슷한 경향으로 감소하는 것을 보였다.

이 결과에서 초기 5일 동안에는 희석배율이 높아질수록 NH₃-N 독성이 나타나며, 15일 이후에는 식물플랑크톤이 질소원으로 NH₃-N을 이용하기 시작하면서부터 NH₃-N 농도가 지속적으로 감소되는 것으로 나타났다. 본 연구 결과 5%로 희석한 것이 식물플랑크톤 증식에 가장 효율적인 것으로 판단된다.

대조구에서는 식물플랑크톤이 증식하지 못하였다. 이러한 결과는 본 실험에서 사용한 인의 형태가 식물플랑크톤이 가장 쉽게 이용할 수 있는 인산염(orthophosphate) 형태였음(Bolier *et al.*, 1992)을 감안하면, 질소원의 부족 때문에 증식이 억제된 것으로 사료된다. 즉, 대조구에 첨가한 질소성분이 NO₃-N형태이기 때문에 식물플랑크톤이 증식에 이용하지 못한 것으로 사료된다. '4'항의 배양시간 예측 결과를 보면, NH₃-N와 식물플랑크톤 증식은 밀접한 관계가 있음이 확인되었다.

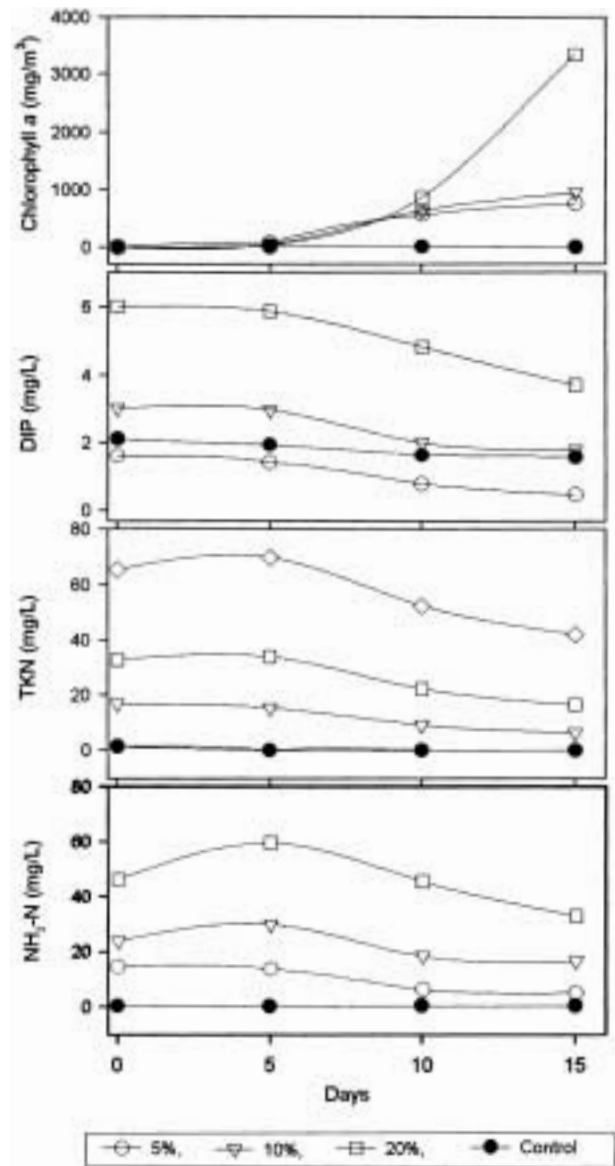


Fig. 1. The variations of Chlorophyll *a*, DIP, TKN, and NH₃-N concentration in the effluent of night-soil treatment plant.

2. 오수처리장 방류수

오수처리장 방류수 중의 영양염류를 제거시키기 위한 식물플랑크톤 배양액과 오수의 혼합비율을 파악하였다(Fig. 2).

TKN는 오수가 50~70% 혼합된 조건에서 2일 배양후 80% 이상 제거(잔류량 0.7~2.1 mg/L)되었고, 80~90%로 혼합되었을 때에는, 3일 정도 배양(체류)시켜야 80% 이상 제거(잔류량 2.1~2.8 mg/L)시킬 수 있으며, 대조구에서는 초기농도 19.5 mg/L이었고, 4일 후에는 16.8

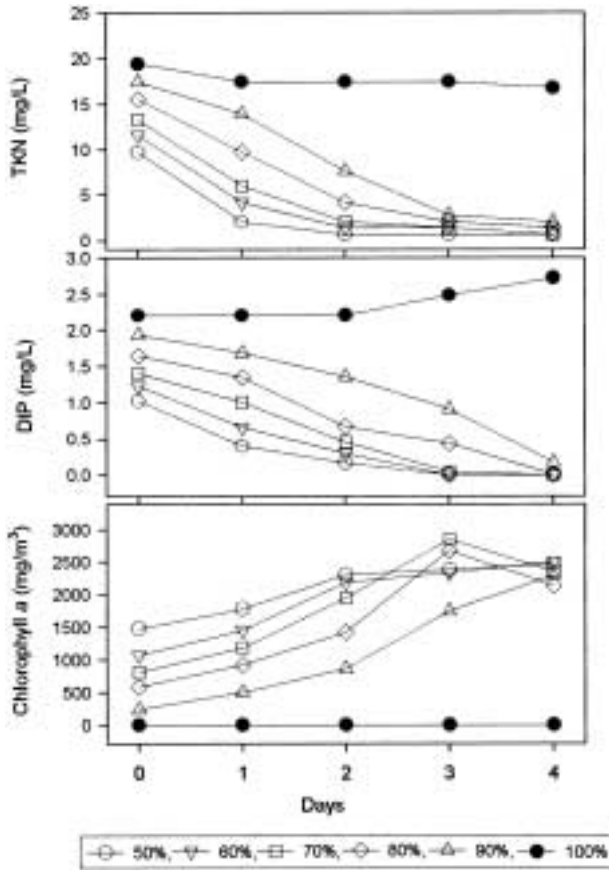


Fig. 2. The variations of TKN, DIP and Chlorophyll a concentration with dilution rate.

mg/L로 14%만 감소하였다.

DIP는 오수처리장 방류수가 50~70%로 혼합되면, 3일 후에는 90% 이상 제거(잔류량 0.01~0.05 mg/L)되었고, 80~90%로 혼합했을 경우에는 4일 정도 배양시켜야 90% 이상 제거(잔류량 0.01~0.18 mg/L)되었다. 오수방류수가 100%인 반응조에서는 초기 2.2 mg/L에서 4일 후에는 2.7 mg/L로 오히려 조금 증가되는 현상을 보여, 세포내와 현탁성인의 일부가 용존성인므로 용출된 결과로 사료된다 (Bruce et al., 1983). 식물플랑크톤은 50~60%로 혼합된 조건 보다, 70~80%로 혼합시킨 반응조에서 3일째 엽록소 a 농도가 2677.9~2857.1 mg/m³ 범위의 큰 값으로 식물플랑크톤이 더 많이 증식되었다.

전체적으로 보면, 50%로 희석하였을 경우, 가장 좋은 효율로 나타났다. 향후 실험은 50%를 기준으로 실행하였다.

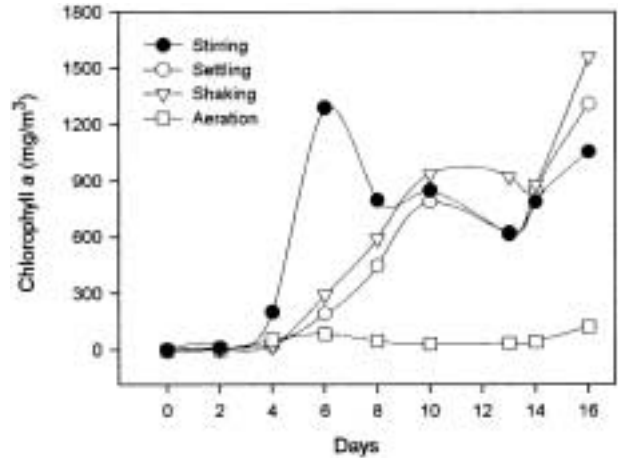


Fig. 3. The variations of Chlorophyll a concentration by culture condition.

3. 물리적 조건 변화에 따른 식물플랑크톤의 성장을 조사

식물플랑크톤의 증식과정을 조사하기 위하여, 정치, 교반, 진탕, 포기의 4가지 물리적 방법을 시행하였다. 엽록소 a의 초기 농도가 0.3 mg/m³이였으며, 3일째 부터 교반>진탕>포기>정치의 순서로 증가하였다 (Fig. 3).

교반조건에서는 6일째에 엽록소 a 농도가 1288.9 mg/m³로 최대값을 보였고, 8일째부터 감소하였으며, 14일째 다시 증가하였다. 이때에 육안으로 관찰한 결과 엽록소 a 농도가 감소한 8일째에는 녹색이었고, 10일 이후 다시 녹색을 띄었다. 진탕 조건에서는 식물플랑크톤의 증식이 빠르지는 않았으나, 꾸준히 증가되었고, 포기 조건에서는 *Scenedesmus sp.*의 증식이 거의 나타나지 않았다. 조류의 자산화가 있었거나, 시료량에 비하여 폭기량이 과도하여 잘 증식되지 않았던 것으로 사료된다.

또한 이번과 같은 실험 조건에서는 식물플랑크톤이 최대한 성장할 경우 엽록소 a 농도가 1300 mg/m³까지 증식한다는 사실을 확인하였다. 청정수역인 소양호의 경우, 1994년 4~6월의 조사결과 2.4~8.9 mg/m³였으나 (안 등, 1995), 부영양화된 낙동강에서는 1994년 5월에 14.2 mg/m³, 8월에는 95.2 mg/m³로 높은 농도를 보였다 (허 등, 1995). 이것과 본 실험결과를 비교하면, 본 실험에서 엽록소 a 농도가 약 13배 높은 값을 보였다. 이는 질소와 인의 농도가 높을 경우 엽록소 a의 농도를 더 증가시킬 수 있다.

향후, 현장에 적용할 시에는 진탕 방법은 어려우므로 교반이나 정치를 시켜야 하는데, 부지가 많으면 정치시키는 것이 에너지 효율면에서는 좋은 방법이나, 결국 식

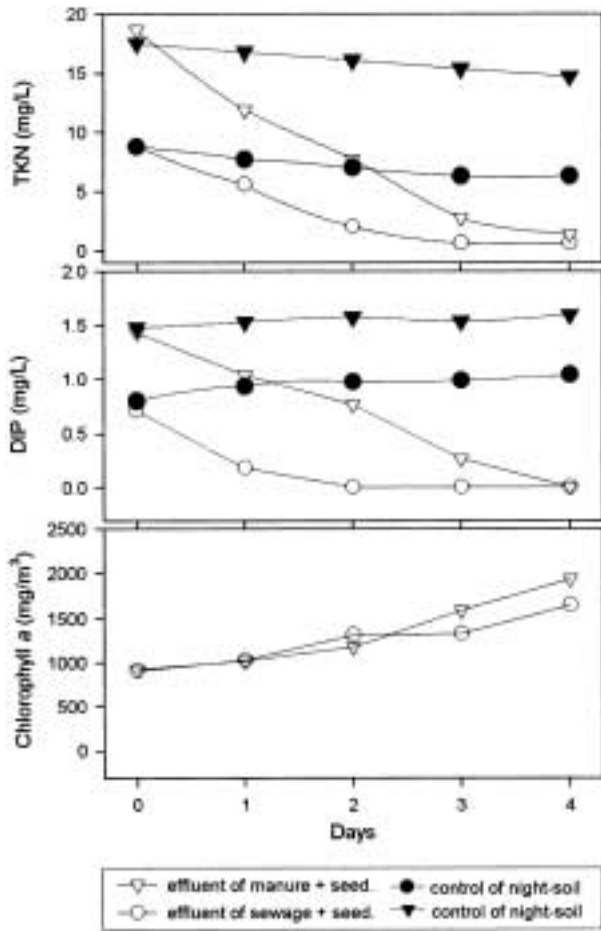


Fig. 4. The variations of nutrients concentration in the effluent of sewage and night-soil treatment plant with the incubation time.

물플랑크톤을 초기에 많이 증식시키려면 교반시켜야 할 것으로 사료된다.

4. 체류시간의 예측

효율적으로 질소와 인을 제거하기 위하여 필요한 배양시간을 확인한 결과는 Fig. 4와 같다.

오수 방류수와 *Scenedesmus sp.* 배양액을 1:1로 섞은 경우, TKN은 초기에 8.8 mg/L에서 2일 후에는 2.1 mg/L로 76%가 제거되었고, DIP는 초기에 0.7 mg/L에서 2일 후에는 0.01 mg/L로 99%가 제거되었다. 분뇨 방류수의 경우, TKN은 초기에 18.7 mg/L에서 3일후 2.8 mg/L로 85%가 제거되었고, DIP는 초기에 1.40 mg/L에서 4일 후에는 0.01 mg/L로 99%가 제거되었다.

식물플랑크톤을 이용하면, 오수 방류수와 분뇨 방류수 중에 포함된 질소와 인을 제거할 수 있음이 확인되었고,

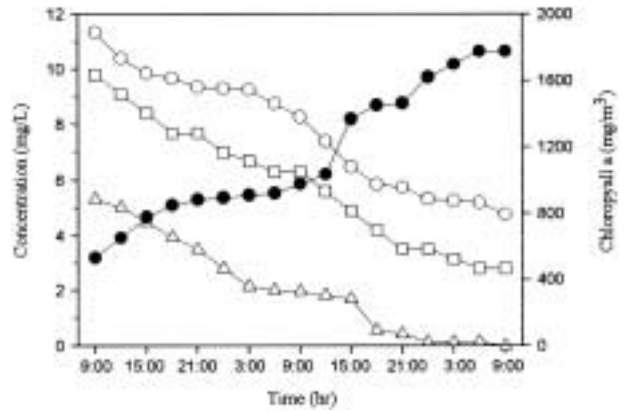


Fig. 5. The variations of Chlorophyll a, TN, TKN, and NH₃-N concentration in the effluent of sewage treatment plant (—○— TN, —□— TKN, —△— NH₃-N, —●— Chl. a).

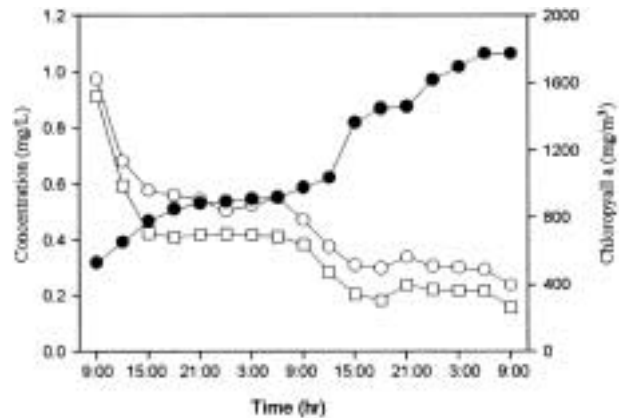


Fig. 6. The variations of Chlorophyll a, TP, and DIP concentration in the sewage treatment plant (—○— TP, —□— DIP, —●— Chl. a).

오수 방류수에서는 2일 동안 배양시키고, 분뇨 방류수는 4일 정도 배양시키면 되는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤을 이용하여 영양염류를 제거시키려면, 오염물질의 농도가 낮은 오수를 대상으로 선택하는 것이 더 적합한 것으로 나타났다.

5. 시간의 경과에 따른 영양염류 제거율

오수 방류수가 50% 되도록 식물플랑크톤 배양액과 혼합 후, 3시간 간격으로 영양염류 농도를 측정된 결과는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

TKN은 초기에 9.8 mg/L에서 48시간 경과후 2.8 mg/L로 감소되었고, NH₃-N는 초기에 5.3 mg/L에서 48시간

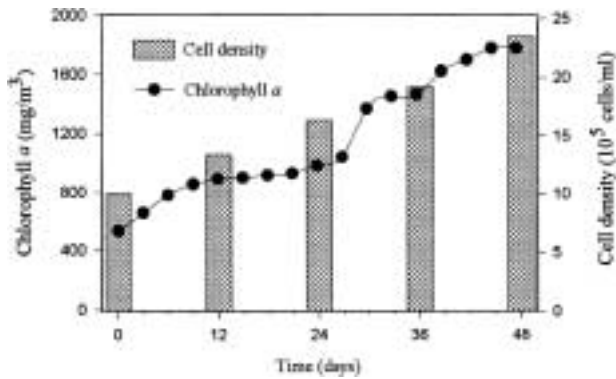


Fig. 7. Changes of chlorophyll *a* concentration and phytoplankton density.

경과 후에는 검출되지 않았다. TKN 중 $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 비율은 초기에 54%에서 39시간 후에는 4%로 낮아졌으며, 48시간 후에는 전혀 검출되지 않았다. $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 초기 0.03 mg/L였으며, 48시간 후 1.2 mg/L로 점차 증가되었다. T-P는 초기에 0.97 mg/L에서 0.24 mg/L로 75% 제거되었으며, DIP는 0.9 mg/L에서 0.16 mg/L로 82%가 제거되었다. T-P 중에서 DIP의 비율은 94%에서 66%로 낮아졌다.

엽록소 *a* 농도와 $\text{NH}_3\text{-N}$ 및 DIP와의 상관관계 (r^2)는 -0.96과 -0.92로 높은 역상관관계를 나타내었다. 이것은 식물플랑크톤이 성장함에 따라, 수중의 DIP와 $\text{NH}_3\text{-N}$ 형태가 식물플랑크톤의 성장에 이용되어 체내물질로 전환되었음을 암시하는 것으로 보인다. 엽록소 *a* 증식 방정식은 $Y = 78.729X + 443.65$ ($r^2 = 0.95$, X: 시간)으로 나타낼 수 있으며, TN 감소 방정식은 $Y = -0.4162X + 11.525$ ($r^2 = 0.97$, X: 시간)이었다 (Fig. 5). TP는 $Y = -0.0333X + 0.761$ ($r^2 = 0.81$, X: 시간)이었다 (Fig. 6). 실험에 사용된 오수처리장 방류수 중의 TKN:TP 비율은 초기에 9.8:1.0 mg/L에서 48시간 후, 여액을 분석한 결과 2.8:0.2 mg/L로 절대값은 감소하였으나 그 비율은 크게 변하지 않았다.

또한, 접종에 사용된 식물플랑크톤 생체를 분석한 결과 TKN:TP의 비가 약 3.2:0.75% 였으나, 3시간 간격으로 48시간 동안 측정된 식물플랑크톤의 생체에서는, TKN:TP 비가 평균 5.5:0.9%로 TKN 비율이 조금 증가되었다. 영양이 충분한 조건하에서 자라고 있는 세포에서는 C:N:P가 106:16:1의 비 (mole비)로 포함된다고 하였으나 (Darley, 1973), 본 연구에서는 성장 조건 차이로 세포 구성비가 달라졌다고 볼 수 있다.

6. 식물플랑크톤의 세포밀도

엽록소 *a* 농도와 세포밀도와의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 엽록소 *a* 농도가 초기보다 48시간 후에는 약 2.3배로 증가하였고, 세포밀도도 배양초기에 1.01×10^5 cells/mL에서 48시간 후에는 23.5×10^5 cells/mL로 약 2.3배 증가되었다.

따라서, 이 결과에서 세포당 엽록소의 증가는 없었고, 세포의 증식만 있었음을 알 수 있었으며, 엽록소 *a*와 세포밀도 간의 상관관계 (r^2)는 0.97로 높았다.

적 요

이 연구는 식물플랑크톤 (*Scenedesmus* sp.)이 영양염류를 흡수하는 원리를 이용하여, 영양염류를 제거하기 위하여 실시하였다. 식물플랑크톤을 교반하여 배양할 경우, 가장 빨리 증식되었고, 오수방류수를 식물플랑크톤 배양액에 50% 되도록 혼합하여, 약 2일 동안 배양시키는 것이 영양염류를 제거하는데 효율적이었다. 이러한 최적조건에서 증식된 식물플랑크톤을 GF/C glass fiber filter로 여과하여 분석한 결과, TKN는 88% 이상 제거되었고, DIP는 70~80% 제거되었으며, 이때 식물플랑크톤이 최대한 1300 mg/m³로 증식되었다. 또한, 3시간 간격으로 영양염류의 이용과정을 분석한 결과, 식물플랑크톤의 증식은 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($r^2 = 0.96$)와 DIP ($r^2 = 0.92$)와는 높은 상관관계를 보였다. 영양염류를 섭취하여 증식된 식물플랑크톤을 여과시키거나, 동물플랑크톤에 적용시켜 먹이연쇄 관계를 이용한다면, 생태공학적으로 영양염류를 제거할 수 있고, 수계의 부영양화를 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- 김도선. 1998. 군부대 오수처리 효율성 향상을 위한 인공습지의 이용방안. 이학석사학위 논문, 강원대학교.
- 김병근, 서인석, 박승국, 신익상. 1999. 하폐수 고도처리를 위한 KOMIAE공정의 개발, 한국물환경학회지 15: 429-436.
- 서인석, 김병근, 이상일. 1998. 간헐주기 활성슬러지공정에서 C/N비와 질소제거의 관계, 대한위생학회지 13: 57-65.
- 서정범, 임연택, 권오상, 한기봉, 유재근. 2000. 연속회분식 활성슬러지 공법에 의한 오수의 현장처리, 한국물환경학회지 16: 223-230.
- 안태석, 정미정, 이은주, 조규승. 1995. 소양호에서 세균군집

- 크기에 미치는 플랑크톤의 영향, 한국육수학회지 **29**: 219-224.
- 오희목, 이성준, 김성빈, 박미경, 윤병대, 김도한. 1998. Algal bioassay에 의한 조류생장 제한영양염류 결정, 한국육수학회지 **31**: 150-157.
- 임연택, 서정범, 김용석, 권오상, 한기봉, 유재근. 1998. 간헐포 기형 산화구 공법에 의한 오수처리, 한국물환경학회지 **14**: 491-499.
- 전향배, 김병근, 서인석, 이상형. 2000. MIAP를 이용한 도시하수의 COD 및 질소 제거 특성, 한국물환경학회지 **16**: 57-64.
- 허우명, 김범철, 황길순, 최광순, 박원규. 1995. 낙동강 수계의 인, 질소 및 Chl. *a* 농도 분포, 한국육수학회지 **29**: 175-181.
- 허우명, 김범철, 김윤희. 1999. 달방댐 유입수의 강우에 따른 인농도 변화와 인부하량, 한국육수학회지 **32**: 43-48.
- APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and J.D. Watson. 1983. Molecular Biology of The Cell, Garland Publishing, Inc. New York and London. 483-547.
- Darley, W.M. 1973. Algal Biology : a physiological approach 9.
- Bolier, G., M.C.J. de Koninh, J.C. Schmale and M. Donze. 1992. Differential luxury Phosphate response of planktonic algae of phosphorus removal. *Hydrobiologia* **243/244**: 113-118.
- Hirose, H. and T. Yamagishi. 1977. Illustration of the Japanese fresh-water algae, Uchidarokakuno Publishing Co. (in Japanese).
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheo-pigments : spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 343-346.
- Menzel, D.W. and N. Corwin. 1965. The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fraction of persulfate oxidation. *Limnol. Oceanogr.* **10**: 280-282.
- Murphy, J. and J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analyt. Chim. Acta* **27**: 31-36.
- 水野壽傳. 1964. 日本 淡水 プランクトン 圖鑑, 保育社.
- 衛生試験法 註解. 1990. 日本藥學會編.
- 神田耕治. 2000. 人工浮島の現況と「人工浮島設置の手引き」について. (財) Gum水源 環境整備センター 企劃部.

(Received 20 April 2001, Manuscript accepted 5 June 2001)