

정수 및 하수처리공정 중 침전지 부착조류 및 미생물 군집구조 해석

Analysis of Attached Algae and Microbial Community Structure in Sedimentation Basin of Water and Wastewater Treatment Plants

임병란^{1,2*} · 안규홍¹ · 송경근¹ · 박유정¹ · 전대영¹

Lim, Byung-Ran^{1,2*} · Ahn, Kyu-Hong¹ · Song, Kyung-Gun¹ · Park, Yu-Jung¹ · Jun, Dae-Young¹

1 한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터

2 명지대학교 환경생물공학과 및 산업기술연구소

(2004년 11월 15일 논문 접수; 2005년 1월 14일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The objective of this study was to investigate community structure of attached algae and microbes in sedimentation basin of water and wastewater treatment plants by using respiratory quinone profile. There was an evident difference, in microbial community structure and attached algae species, between inclination plate settler and drainage canal in the sedimentation basin. The algae was composed of species in following order; Chlorophyceae>Bascillariophyceae>Cyanophyceae. The dominant quinone types of attached microorganisms in the wastewater treatment plant were plastoquinone (PQ)-9, vitamin(V)K-1 followed by UQ-8, but those for water treatment plant were VK-1, PQ-9 followed by UQ-8. These results suggests that nutrients, seasons and material of sedimentation basin have notable influence on composition of attached algae and microbial community structure in water and wastewater treatment plants.

Key words: attached algae, microbial community structure, quinone profile, sedimentation basin, water and wastewater treatment plant

주제어: 부착조류, 미생물군집구조, 퀴논프로파일, 침전지, 상·하수처리장

1. 서 론

부착조류는 수질에 따라 민감하고 빠르게 변화할 뿐만 아니라 그 종류가 대단히 많고 크기가 다양하며

부착기질에 따라 부착되는 특성도 다르다. 예를 들어 남조류 중에서도 *Osillatoria* sp.는 완속여과지의 여과막을 구성하는 생물군의 하나이며, 도수로, 침전지 및 여과지 등의 벽면에 막상으로 부착하여 생육한다. 그리고 하수도등 비교적 오염된 수역에 번식하며 곰팡

*Corresponding author Tel: +82-2-958-6860, FAX : +82-2-958-6854, E-mail: limbr@hotmail.com (Lim, B.-R.)

이 냄새물질인 2-MIB나 geosmin을 생산하는 종류도 있다. 또한, 정수공정에서는 침전지 배수로 및 웨어(weir) 등에 부착하고 있는 조류 종들이 텔착되면서 여과지에 부상하거나 여과사를 폐쇄시키며, 응집약품 사용량의 증대 등 정수처리비용이 상대적으로 증가하고 있는 실정이다(유명진 등, 1990). 그러나 조류의 번식에 영향을 미치는 요인 중에 하나인 질소, 인과 같은 영양염류를 제거할 수 있는 정수시설을 갖춘 곳은 거의 없을 뿐만 아니라 대부분의 공정은 햇빛에 노출되는 개방시스템으로 되어 있다. 그러므로 체류시간이 긴 경우 침전지 내에서 조류가 재성장하며, 다양한 부착 조류 및 미생물종들이 처리시설의 벽면과 웨어 등에 군집을 형성하기도 한다. 이러한 부착조류에 의하여 상·하수처리공정 중 침전지 배수로와 경사판 등이 부식되므로 이를 방지하기 위하여 스테인레스 스틸이나 알루미늄 등의 부식에 강한 재질을 이용하여 설치하기도 하지만 이러한 재질은 친수성이 저하되어 이끼, 조류 및 미생물들의 부착이 더욱더 용이해질 수 있다는 것이 문제이다. 또한, 상·하수처리장 침전지 배수로 및 웨어 등에 부착 성장한 이끼, 조류 및 미생물 등을 인위적으로 수시로 제거해 주어야 하기 때문에 많은 인력을 필요로 하는 문제 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 정수 및 하수 처리공정 중 침전지 배수로에 부착 성장하는 조류 및 미생물의 군집의 시, 공간적 변화를 quinone profile(Hiraishi, 1999; Kunihiro et al., 2002; 임병란 등, 2001)과 현미경 관찰을 통하여 기초조사를 하였다. 그리고 침전지의 재질특성에 따른 조류 및 미생물의 군집구조의 차이를 비교 검토하여 침전지 부착성장 조류제어방안을 도출하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 시료채취 및 실험 방법

본 연구에서는 서울·경기도에 위치하고 있는 정수장과 경기도내의 광주지방공사 관할 G와 O하수처리장을 대상으로 선정하였다. 침전지 배수로 벽면과 경사판에 부착 성장하는 미생물 및 이끼, 조류 등을 주기적으로 채취하여 처리수 수질 및 조류, 미생물 등에 대하여 분석하였다. G 하수처리장은 표준 활성슬러지법으로 운전을 하고 있는 곳이며, 침전지의 배

수로 및 벽면은 시멘트로 처리되어 있으며 표면을 초기에 에폭시코팅처리 한 처리장이나 주기적인 청소 등으로 인하여 부분적으로 코팅이 벗겨져 있는 상태이다. 산화구조으로 하수를 처리하고 있는 O 하수처리장은 G하수처리장과 달리 침전지의 웨어 및 배수로가 알루미늄 재질로 설치되어 있다.

하수처리장의 처리수 수질분석은 *Standard Methods* (APHA, 1998)를 기준으로 하여 분석하였으며, 용존유기탄소(DOC)는 시료를 0.45 μm 로 여과한 후 TOC analyzer(Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 부착된 조류의 양을 파악하기 위하여 클로로필-a (Chl-a) 농도를 측정하였다. 침전지내 경사판 및 배수로 등에 부착성장한 조류의 종 분포는 현미경 (Zeiss, Germany)관찰을 통하여 군집의 특성을 비교/분석하였다. 그리고 미생물의 군집 분석에는 Hu 등 (1999a)이 개량한 quinone 분석법을 이용하여 추출·분리한 후, Sep-Pak Plus Silica를 이용하여 menaquinone과 ubiquinone를 분리하였으며 퀴논의 type과 농도는 ODS 컬럼(Mightysil RP-18, Kanto Chemical Co., Japan)과 photodiode array detector (SPD-M10A, Shimadzu Co., Japan)가 연결되어 있는 HPLC를 이용하여 정성 및 정량을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 상·하수처리장의 처리수 수질 특성

경기도에 위치하고 있는 O 하수처리장의 침전지 유출수를 채취하여 분석한 결과, 평균수질은 2월에서 12월까지의 DOC 농도는 5~15mg/L이였으며, 질소성분은 대부분이 NH₄-N과 NO₃-N인 것으로 나타났다. 반면, G하수처리장은 질산화가 잘 되지 않아 대부분 NH₄-N로 유출되는 것을 알 수 있었으며, O와 G하수처리장 처리수의 T-P농도는 1~4mg/L 정도로 유입수와 큰 차이는 없었으나 여름철이 질소 및 인의 제거율이 약간 높은 것으로 나타났다(**Table 1**). 탁도는 G 하수처리장이 다소 높게 나타났으며, 특히 겨울과 봄에 높게 유출됨을 알 수 있었다. 이는 침전지내 슬러지의 침전특성에 따라 다소 차이가 있었을 것으로 사료된다.

Table 1. Characteristics of effluent in domestic wastewater treatment plants

	O plant				G plant			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
pH (-)	7.3	7.4	7.2	6.4	7.4	7.5	7.6	7.1
DOC (mg/L)	9.1	6.1	5.6	11.0	9.1	6.5	3.7	15.7
NH ₄ -N (mg/L)	13.3	3.2	1.5	0.9	17.0	5.0	0.7	18.5
NO ₂ -N (mg/L)	0.11	0.06	0.12	0.21	0.26	0.28	0.06	0.16
NO ₃ -N (mg/L)	2.48	3.76	7.72	20.28	1.98	5.55	10.07	0.28
PO ₄ -P (mg/L)	1.97	1.73	2.0	3.33	2.56	0.92	2.02	1.28
SS (mg/L)	9.2	3.2	3.75	6.75	7.92	3.33	3.13	6.5
Turbidity(NTU)	2.5	1.78	1.68	3.21	3.76	2.24	2.07	2.54

Table 2. Content ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) of attached Chlorophyll-a in sedimentation basin

	O plant		G plant	
	Inclination plate settler	Drain canal	Inclination plate settler	Drain canal
Spring	7.94	10.04	9.06	10.66
Summer	15.43	20.85	19.96	8.92
Autumn	6.79	8.65	5.60	5.53
Winter	2.27	4.10	0.34	0.62

또한 각 하수처리장 침전지 배수로에 부착 성장하는 조류의 부착량을 조사하기 위하여 클로로필-a를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 하수처리장의 클로로필-a(Chl-a) 농도는 계절에 따라 농도의 차이가 크게 나타났으며, 여름에는 약 $21\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이상까지 많이 부착되는 것을 알 수 있었다. G 하수처리장의 경우 봄 보다는 여름에 Chl-a 농도가 낮은 것으로 나타났는데 이는 현장관계자들이 조류의 성장률이 가장 높은 여름에는 일주일에 2~3번 이상 청소를 하는 관계로 시료 채취시 부착성장한 양이 적은 것으로 나타났다. 그리고 겨울에는 두 장소 모두 Chl-a 농도가 낮은 것은 유출수내의 영양염류농도는 큰 차이가 없으나 온도저하와 조도 등의 영향으로 조류의 부착 성장량이 적은 것으로 사료된다.

정수처리공정 중 응집침전지 유출수를 2주에 1~2회 채취하여 수질특성을 조사하여 Table 3에 나타내었다. 그 결과 유출수중에 NH₄-N과 NO₂-N는 거의 검출되지 않았으며 대부분이 NO₃-N로서 1.44~1.89 mg/L 정도로 검출되었다. 인의 경우는 겨울에 0.29 정도로 높게 유출되는 것을 알 수 있었으며 여름과 가을에는 인이 검출되지 않았으나 배수로 벽면에 조류가 부착되어 있는 것으로 보아 인이 조류의 성장변

Table 3. Water qualities of effluent in water treatment plant

Items	Spring	Summer	Autumn	Winter
pH (-)	6.7	6.8	7.2	6.8
DOC (mg/L)	1.8	1.9	1.8	2.0
NH ₄ -N (mg/L)	ND*	ND	0.02	ND
NO ₂ -N (mg/L)	ND	ND	ND	ND
NO ₃ -N (mg/L)	1.44	1.85	1.51	1.89
PO ₄ -P (mg/L)	0.05	ND	ND	0.29
Turbidity (NTU)	0.7	0.9	1.6	0.5

*ND: Not detected.

식에 주요원인이나 정수장의 경우는 인 이외에도 빛 등의 영향으로 성장되었을 것으로 사료된다.

또한 응집/침전지에서 유출되는 탁도도 봄과 여름 보다는 가을에 높게 유출되는 것을 알 수 있었으며 겨울은 0.5mg/L 정도로 비교적 낮게 나타났다. 본 연구에서 조사한 정수장은 타 정수장 보다는 응집침전 후 처리수중의 유기물의 농도뿐만 아니라 질소와 탁도도 높은 것으로 나타났다.

3.2. 배수로 및 경사판 부착조류의 현미경 관찰 결과

정수장 및 하수처리장의 침전지 배수로 및 경사판

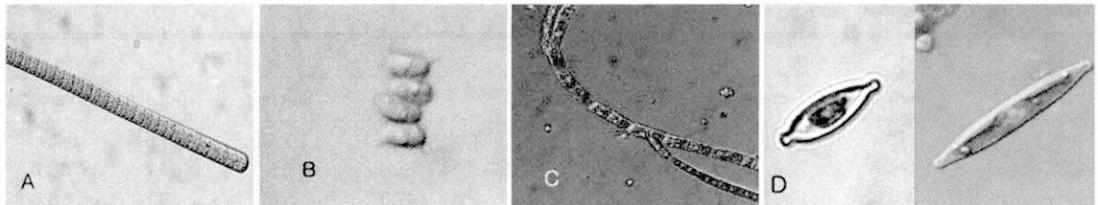


Fig. 1. Photography of attached algae in sedimentation trough ($\times 400$). (A) *Oscillatoria* sp. (B) *Scenedesmus* sp. (C) *Chaetophora* sp. (D) *Nitzschia* sp., (E) *Navicula* sp.

등에서 채취한 부착조류의 종은 광학현미경을 이용하여 관찰하였으며, 조사한 조류종중 가장 분포도가 높았던 조류들의 광학현미경 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서 얻은 현미경 관찰 사진과 국립환경연구원의 조류 도감과 비교하여 대략적인 종을 추정하였다.

G와 O하수처리장의 경사판에는 남조류인 *Oscillatoria* sp.(사진 A), 녹조류인 *Scenedesmus* sp.(사진 B)와 규조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.(사진 D) 등이 우점하여 생육하였다. 반면, 침전지 유출 트리프(Trough) 및 weir 벽면의 경우 경사판에 비해 조류 및 미생물의 분포는 다양하지 않았으며, 남조류보다는 녹조류인 *Chaetophora* sp.(사진 C)와 규조류가 우점을 나타내었다. 정수장에서는 규조류>남조류>녹조류의 순으로 분포하는 경향을 알 수 있었으며, 상기의 우점종 이외에 여과지누출, 여과지 폐쇄, 이취미(풀냄새)를 띠는 녹조류인 *Cosmarium* sp.이 다량으로 출현하였으며, 염소에 대한 내성을 가진 조류로 녹조류인 *Mougeotis* sp.와 남조류인 *Oscillatoria* sp. 등이 침전지 유출 트리프(Trough)에 군집을 형성하고 있었다(김영웅 등, 2000).

3.3. 침전지 부착조류와 미생물의 군집구조 해석

3.3.1. 하수처리공정 중 침전지 배수로

Quinone이란 전자전달체물질의 하나로서 호흡체의 지용성분으로 대부분의 미생물에 존재하며 일반적으로 하나의 종 또는 박테리아의 유전자는 단 하나의 우점퀴논 type을 가지고 있다(Collins and Jones, 1981). 따라서 퀴논프로파일은 보통 각각의 퀴논형태의 몰비(mole fraction)로서 나타내어 특성화할 수 있을 뿐만 아니라, 혼합배양계에서 미생물 군집구조의 변화를 정량화 할 수 있으므로 혼합배양계에서 많이 응용하고 있다(Hedrick, and White, 1986; Fujie et al.,

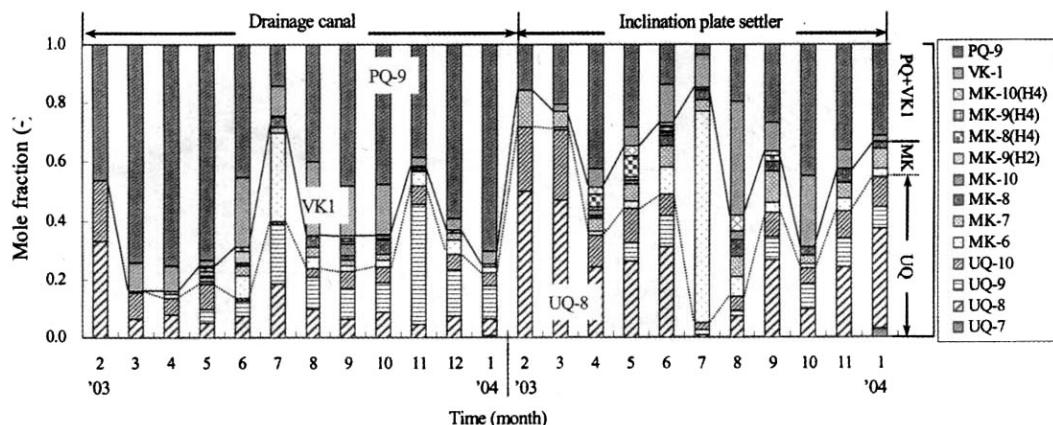
1998). Quinone은 그의 골각형, 이소프렌 측쇄수 및 측쇄의 포화도 등의 차이에 의해서, 특유의 산화환원 전위를 나타냄으로 미생물에 있어서 에너지대사의 차이에 의해서 퀴논분자종도 틀리게 된다. Quinone은 크게 호흡을 통해 에너지를 획득하는 ubiquinone(UQ)과 menaquinone(MK) 그리고 광합성을 통해 에너지를 획득하는 plastoquinone(PQ)과 vitamin-K(VK)I으로 나눌 수 있다.

하수처리장의 배수로 및 경사판에서 부착된 조류와 미생물군집을 채취하여 quinone profile을 분석한 다음 월별 mole fraction을 Fig. 2에 나타내었다.

여기서 UQ는 호기 및 질산염으로 호흡을 하는 미생물에 함유되어 있는 quinone type이며, MK는 혐기 또는 통기성 미생물들에 함유되어 있는 quinone type이다(Collins and Jones, 1981). Vitamin K1과 PQ-9는 조류 및 광합성미생물들에 함유되어 있는 quinone type으로서 남조류, 규조류, 녹조류 등 각각의 대표적인 균주를 순수 배양하여 퀴논을 분석한 결과 남조류(*Mycrocystis*, *Phormidium*)는 VK-1을 우점으로 함유하고 있었으며, 규조류(*Achnanthes*, *Anabena*) 및 녹조류(*Selenastrum*, *Scenedesmus*)는 PQ-9를 우점으로 함유하는 것으로 나타났다.

G 및 O하수처리장의 배수로 벽면 및 경사판에서 채취한 시료를 비교해 보면, 배수로가 경사판보다는 PQ-9+VK-1의 비, 즉 조류 및 광합성미생물들의 존재비가 약 50% 이상을 차지하고 있었으며, 경사판 및 배수로에서 VK-1의 몰 존재비가 다른 계절보다 여름에 더 높은 비율로 검출된 것으로 보아 남조류의 부착 성장률이 높게 유지 되고 있음을 알 수 있었다. 반면, 침전지내 경사판은 조류보다는 UQ+MK비가 높게 분포되어 있는 것을 알 수 있었으며, UQ-8을 함유하는 호기성 미생물들의 존재비가 가장 높은 것으로 나타났다. 일반 활성슬러지에서 가장 우점하는

A. O 하수처리장



B. G 하수처리장

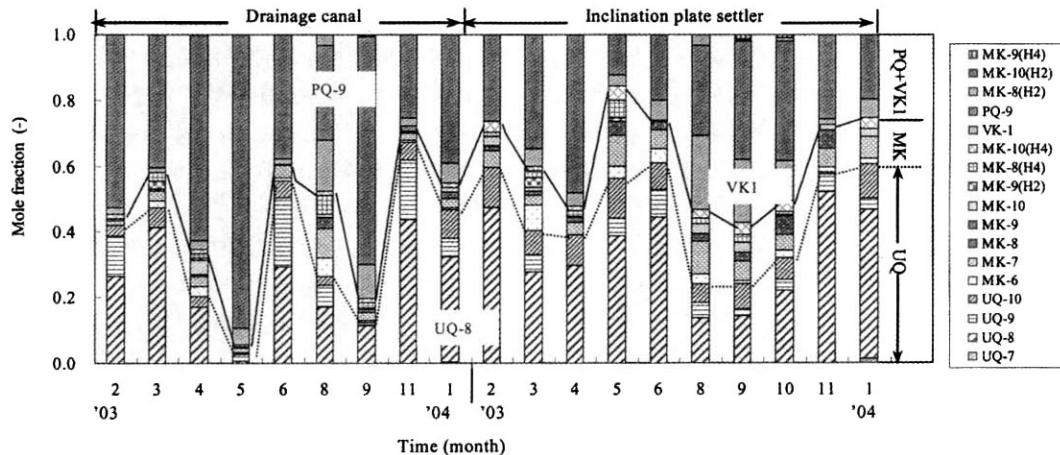


Fig. 2. Seasonal variations of quinone composition (mole fraction) of attached microorganisms in sedimentation basin of domestic wastewater treatment plants.

퀴논종으로는 $UQ-8 > UQ-10 > MK-7$ 등의 순으로 $UQ-8$ 이 40% 이상을 차지하고 있으므로(Hu et al., 2001) 이를 중 일부가 침전지내에서 침전되지 않고 부상되어 경사판에 부착 성장하였을 것으로 사료된다. 또한, G하수처리장 배수로 벽면의 결과를 보면 조류와 일반 미생물의 존재비가 거의 유사하게 존재하는 것을 알 수 있었으나, O하수처리장은 $PQ-9 + VK-1$ 의 존재비가 40-80% 이상으로 높게 나타났다. 이와 같이 $PQ-9$ 를 함유하는 다양한 광합성 미생물 및 조류들이 부착성장 하는 것은 재질특성상 부착하기 쉽기 때문인 것으로 사료된다.

3.3.2. 정수장 침전지의 트러프(Trough)

Y와 T정수장 침전지 트러프(Trough)에서 시료를 채취하여 quinone을 분석하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Y정수장은 6개월간 trough에 쌓여있던 조류들을 채취한 것이며, T정수장은 예폭시 등의 처리가 전혀 되지 않은 시멘트재질로서 여름에는 주기적으로 노즐살수나 브러쉬를 이용하여 청소를 행하고 있었다. 정수장은 하수처리장 침전지 벽면 및 배수로의 결과와는 달리, 침전지 배수로에는 박테리아보다는 VK-1과 $PQ-9$ 이 80% 이상으로 우점을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 VK-1이 $PQ-9$ 보다 차지하는 비율이 훨씬 높은 것으로 나타났으며 이는 녹조류, 규조류 보다는 남조류가 우점화 되어 있음을 의미한

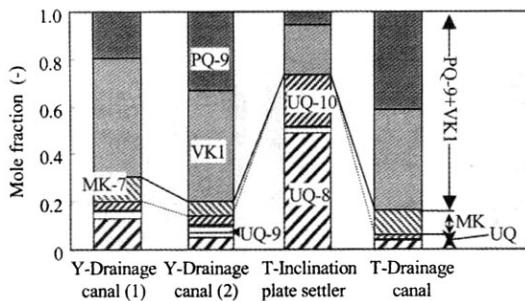


Fig. 3. Quinone composition (mole fraction) of attached algae and microorganisms in drainage canal and inclination plate settler of water treatment plants.

다. 반면, T정수장의 경사판은 배수로와는 달리 혼기성 미생물이 거의 존재하지 않았으며, VK-1 + PQ-9의 존재비 보다는 호기성미생물의 존재비가 약 70%로 높게 나타났다. 이것은 경사판이 침전지내에 있음으로 수중 광량이 적어 조류의 성장이 저해를 받았거나 응집/침전시 일부 슬러지가 부상하여 경사판에 부착 성장하였기 때문이라고 사료된다. 정수장의 경우는 벽면 및 트리프 등이 애록시 처리되어 있었으며, 질소 및 인의 농도도 낮은 분포를 나타내었으나 광합성으로 에너지를 획득하는 미생물 및 조류 등이 부착 성장하는 것으로 보아 조도가 부착조류의 군집구조에 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

이상으로부터 정수장과 하수처리장의 부착조류의 군집조성이 다소 차이가 있는 것을 알 수 있었으나, 구체적으로 조류의 분포에 대해서는 추후 분자생물학적인 해석법을 이용하여 동정하고자 한다.

3.3.3. 하수 처리장과 정수장의 미생물 다양성 비교

우선 quinone 존재비(fd)와 분자종의 분포 pattern에 주목하여, quinone profile를 지표로 한 미생물 혼합배양계의 다양성을 나타내는 지표, 즉 미생물 다양성지표(DQ)(Hu et al., 1999b)를 계산하여 Fig. 4에 나타내었다. DQ값은 퀴논분자종의 수가 많을수록 크게 되며, 전부의 분자종이 평등하게 존재할 때 분자종의 수와 동등하다. 하수처리장의 경사판과 배수로를 비교하여 보면, 경사판보다는 배수로가 미생물이 다양하게 분포되어있는 것을 알 수 있었다. 그럼에는 구분하여 나타내지 않았으나 O하수처리장의 미생물 다양성지표는 2.5~8.0 정도이였으나 G하수처리장은 5.0~10.0 정도로 미생물이 다양하게 분포되

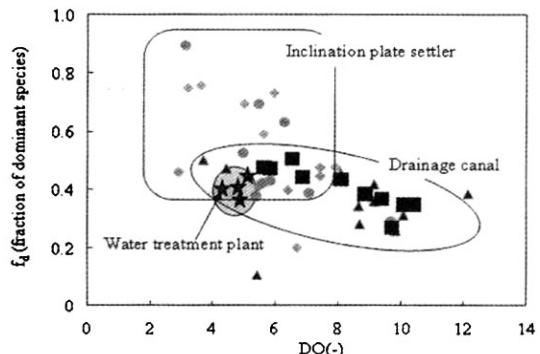


Fig. 4. Microbial diversity of attached microorganisms in sedimentation basin of water and domestic wastewater treatment plants.

어 있는 것을 알 수 있었다. 또한 경사판과 배수로를 비교하여 보면 정수장의 경우는 큰 차이가 없으나 하수처리장의 경우 배수로가 다양한 미생물이 서식하고 있음을 알 수 있었다. 이는 침전지 배수로의 재질 및 계절에 따른 영향뿐만 아니라 부착성이 강한 조류가 군집을 형성한 후 유출수에 함유되어 있는 미생물종 등이 2차적으로 부착 성장하여 군집을 형성 하였을 것으로 사료된다. 반면, 정수장의 미생물 종 다양성지표는 4.0~6.0으로 하수처리장 경사판과 배수로보다는 작은 것으로 나타났다. 이것은 정수장 침전지 배수로의 재질과 햇빛에 노출되어있는 상태는 유사하나 처리수의 유기물, 질소 및 인의 농도는 낮게 유출되므로 다양한 미생물이 서식하지 못하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

정수장 및 하수처리장 침전지의 경사판과 배수로 벽면 등에 부착 성장하는 조류 및 미생물의 군집구조 해석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 하수처리장 침전지의 부착조류를 현미경으로 관찰한 결과, 계절에 따라 다소 차이는 있으나 배수로의 경우 녹조류>규조류>남조류, 경사판은 규조류>남조류>녹조류의 순으로 분포를 나타내었으나, 정수장의 경우는 규조류>남조류>녹조류의 순으로 나타났다.

- 2) 하수처리장의 경우 경사판 보다는 배수로에서

PQ-9+VK-1을 함유한 광합성미생물 및 조류 등이 80% 정도로 우점율 차지하는 것을 알 수 있었으며, 다음으로 UQ-8이 다량 존재하였다.

3) 정수장에서는 하수처리장과는 달리 일반 박테리아보다는 PQ-9와 VK-1를 함유한 조류 및 광합성미생물이 다량으로 존재하는 것을 알 수 있었다.

4) 정수 및 하수처리공정 중 침전지 부착조류 및 미생물은 배수로의 재질, 영양염류 및 계절 등에 따라 종조성의 차이가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2002 차세대 핵심환경기술개발사업에 의하여 수행하였습니다. 시료채취 등에 관하여 협조해주신 하수 처리장 및 정수장 관계자분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김영웅, 손희종, 유명호, 이준식, 조인철, 김은호, 성낙창 (2000) 정수처리공정 중 침전지 부착조류 특성과 이취 발생에 관한 연구, 대한환경공학회지, 22(5), pp. 887-894.
- 유명진, 조용모, 김용환 (1990) 상수처리시 조류제거에 관한 연구, 상하수도학회지, 1, pp. 8-17.
- 임병란, 안규홍 (2002) 간헐포기식 MBR 공정에서의 하수 처리성능과 미생물의 군집구조해석, 상하수도학회지, 16(6), pp. 679-685.
- APHA (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edn. American Public Health Association, Washington, D.C.

- Collins, M. D. and Jones, D. (1981) Distribution of isoprenoid quinone structural types in bacteria and their taxonomic implications. *Microbiol. Rev.*, 45, 316-354.
- Fujie, K., Hu, H.-Y., Tanaka, H., Urano, K., Saito, K. and Katayama, A., (1998) Effect of drying treatment on the respiratory quinone profile in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 44(3), 467-470.
- Hedrick, D.B. and White, D.C. (1986) Microbial respiratory quinones in the environment I. A sensitive liquid chromatographic method. *J. Microbiol. Methods*, 5, 243-254.
- Hiraishi, A. (1999) Isoprenoid quinones as biomarkers of microbial populations in the environment, *J. Biosci. Bioeng.*, 88(5), 449-460.
- Hu, H.-Y., Fujie, K. and Urano, K. (1999a) Development of a novel solid phase extraction method for the analysis of bacterial quinones in activated sludge with a higher reliability. *J. Biosci. Bioeng.*, 87(3), 378-382.
- Hu, H.-Y., Fujie, K., Nakagome, H., Urano, K. and Katayama, A. (1999b). Quantitative analyses of the change in microbial diversity in a bioreactor for wastewater treatment based on respiratory quinones. *Wat. Res.* 33(15), 3263-3270.
- Hu, H.-Y., Lim, B.-R., Goto, N., Bhupathiraju, V.K. and Fujie K. (2001) Characterization of microbial community in an activated sludge process treating domestic wastewater using quinone profiles, *Wat. Sci. Tech.*, 43(1), 99-10.
- Kunihiro, T., Hu, H.-Y., Lim, B.-R., Goto, N., and Fujie, K. (2002) Analysis of the differences in microbial community structures between suspended and sessile microorganisms in river based on quinone profile, *J. General and Applied Microbiology*, 48, 35-41.