

정수 및 하수처리과정 중 침전지의 부착조류와 미생물 군집구조 해석

임병란*,** · 안규홍* · 김익수***

한국과학기술연구원* · 명지대학교 환경생물공학과** · 한성메카트로닉스(주)***

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

Byung-Ran Lim*,** · Kyu-Hong Ahn* · Ig Soo Kim***

Korea Institute of Science and Technology* · Myongji University** · Hansung mechatronics co., Ltd***

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 하수도 등 비교적 오염된 수역에 번식하며 곰팡이 냄새물질인 2-MIB나 geosmin을 생산하는 종류도 있다. 또한, 정수과정에서는 침전지 배수로 및 weir 등에 부착하고 있는 조류 종들이 탈착되면서 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 부착조류종들이 처리시설의 벽면과 weir 등에 군집을 형성하기도 한다. 이러한 부착조류에 의하여 상·하수처리과정 중 침전지 배수로와 경사관 등이 부식되므로 이를 방지하기 위하여 스테인레스 스틸이나 알루미늄 등의 부식에 강한 재질을 이용하여 설치하기도 하지만 이러한 재질은 친수성이 저하되어 이끼, 조류 및 부유물질의 부착이 더욱더 용이해질 수 있다는 것이 문제이다. 또한, 상·하수처리장 침전지 배수로 및 웨어 등에 부착 성장한 이끼, 조류 및 부유물질 등을 인위적으로 수시로 제거해 주어야 하기 때문에 많은 인력을 필요로 하는 문제 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 정수 및 하수 처리과정 중 침전지 배수로에 부착 성장하는 조류와 미생물 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 군집의 차이를 비교 검토하여 침전지 부착성장

조류 제어방안을 도출하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 시료채취 및 실험 방법

2.1 침전지 부착조류와 미생물 군집구조해석

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 운영을 하고 있는 곳이며, 침전지의 배수로 및 벽면은 시멘트로 처리되어 있으며 표면을 초기에 에폭시코팅 처리 한 처리장이나 주기적인 청소 등으로 인하여 부분적으로 코팅이 벗겨져 있는 상태이다. 산화구법으로 하수를 처리하고 있는 O 하수처리장은 광주하수처리장과 달리 침전지의 웨어 및 배수로의 재질이 알루미늄으로 설치되어 있다.

하수처리장의 처리수 수질 분석은 *Standard Methods* (APHA, 1998)를 기준으로 하여 분석하였으며, 용존 유기탄소(DOC)는 시료를 0.45 μm 로 여과한 후 TOC analyzer(Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였으며, 부착된 조류의 양을 파악하기 위하여 클로로필-a (Chl-a) 농도를 측정하였다. 침전지내 경사판 및 배수로 등에 부착 성장한 미생물의 군집 분석에는 Hu등(1999a)이 고안한 quinone profile법을 이용하였으며, 조류의 종 분포는 현미경(Zeiss, Germany)관찰을 통하여 군집의 특성을 비교/분석하였다.

2.2 재질별 조류의 부착과 탈리특성

재질별 조류의 부착 및 탈리특성을 파악하기위하여 cement, Ceramic(한성메카트로닉스(주))을 침전지 배수로와 경사면에 직접설치를 하였으며, 일부는 연구실에서 유사모형실험 장치를 제작하여 cement, ceramic, stainless등을 100x 100mm의 크기로 장착하여 부착 및 탈리특성을 비교실험하였다. 이때 실험실에서는 호소 및 하천에서 주로 발견되는 조류 9종류 (남조류, 규조류 녹조류)를 식종하였으며 1800 Lux로 조도를 일정하게 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 처리수 수질 분석 결과

정수장의 유출수를 2주에 1-2회 채취하여 수질특성을 조사하여 Table 1에 나타내었다. 그 결과 유출수중에 $\text{NH}_3\text{-N}$ 와 $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 거의 검출되지 않았으나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가

1.44-1.89 mg/L정도로 검출되었다. 인의 경우는 겨울에 0.29정도로 높게 유출되는 것을 알 수 있었으며 여름과 가을에는 인이 검출되지 않았으나 배수로 벽면에 조류가 부착되어 있는 것으로 보아 인이 조류의 성장번식에 주요원인이나 정수장의 경우는 인 이외에도 빛 등의 영향으로 성장을 되었을 것으로 사료된다. 탁도는 봄과 여름보다는 가을에 높게 유출되는 것을 알 수 있었으며 겨울은 0.5 mg/L정도로 비교적 낮게 나타났다. 본 연구에서 조사한 정수장은 타 정수장 보다는 처리수중의 유기물의 농도 뿐만아니라 질소와 탁도도 높은 것으로 나타났다.

Table 1. Characteristics of water quality 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 ₃ -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: 불검출

경기도에 위치하고 있는 O 하수처리장의 유출수를 채취하여 분석한 결과, 평균수질은 2월에서 12월까지의 DOC 농도는 5-15 mg/L 이었으며, 질소성분은 대부분이 NH₃-N와 NO₃-N인 것으로 나타났다. 반면, G하수처리장은 질산화가 잘 되지 않아 대부분 NH₃-N로 유출되는 것을 알 수 있었으며, O와 G하수처리장의 처리수 T-P농도는 1-4 mg/L의 정도로 유입수와 큰 차이는 없었으나 여름철이 질소 및 인의 제거율이 약간 높은 것으로 나타났다(Table 2). 탁도는 G 하수처리장이 다소 높게 나타났으며, 겨울과 봄에 높게 유출됨을 알 수 있었다. 이는 침전지내 슬러지의 침전특성에 따라 차이가 있었을 것으로 사료된다.

Table 2 Characteristics of water quality 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

또한 각 하수처리장 침전조 배수로에 부착성장하는 조류의 부착량을 조사하기 위하여 클로로필-a를 측정하여 Table 3에 나타내었다. 하수처리장의 클로로필-a(Chl-a)농도는 계절에 따라 농도의 차이가 크게 나타났으며, 특히 여름에 가장 높게 나타났다. 여름에는 $21 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 이상까지 부착되는 것을 알 수 있었으나, G하수처리장의 경우 봄 보다는 Chl-a 농도가 낮은 것으로 나타났는데 이는 현장관계자들이 조류의 성장률이 가장 높은 여름에는 일주일에 2-3번 이상 청소를 하는 관계로 부착성장된 양 또한 적게 나타났다. 그리고 겨울에는 두 장소 모두 조류의 부착성장율이 적어 Chl-a농도 또한 낮은 것으로 나타났다. 이는 하수처리장에서 조류의 성장요소인 질소 및 인의 농도가 유출될 뿐만 아니라 계절에 따라 조도 및 온도의 영향으로 Chl-a의 농도 또한 변화하는 것으로 사료된다.

Table 3. 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	4.1	0.34	0.62

3.2. 배수로 및 경사판 부착조류의 현미경 관찰 결과

정수장 및 하수처리장의 침전지 배수로 및 경사판 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.(사진A), 녹조류인 *Scenedesmus* sp.(사진B)와 규조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.(사진D)등이 우점 하여 생육하였다. 반면 침전지 유출 트러프(Trough) 및 weir 벽면의 경우 경사판에 비해 조류 및 미생물의 분포는 다양하지 않았으며, 남조류 보다는 녹조류인 *Chaetophora* sp.(사진C)와 규조류가 우점을 나타내었다. 정수장에서는 규조류>남조류>녹조류의 순으로 우점하는 경향을 알 수 있었으며, 상기의 우점종 이외에 여과지누출, 여과지 폐쇄 이취미(플냄새)를 띠는 녹조류인 *Cosmarium* sp.이 다량으로 출현하였으며, 염소에 대한 내성을 가진 조류로 녹조류인 *Mougeotia* sp.와 남조류인 *Oscillatoria* sp.등이 침전지 유출 트러프(Trough)에 군집을 형성하고 있었다(김영웅 등, 2000).

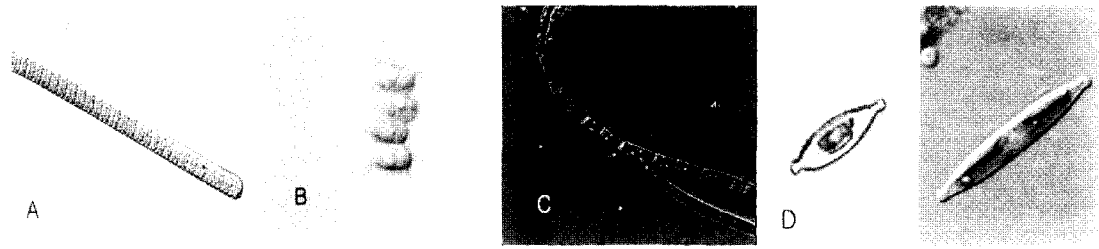


Fig. 1. Photography of attached algae in sedimentation trough ($\times 400$).
 (A) *Oscillatoria* sp., (B) *Scenedesmus* sp. (C) *Chaetophora* sp. (D) *Nitzschia* sp.,
Navicula sp.

3.3 침전지 부착성장 미생물의 군집구조 해석

3.3.1. 하수처리장 침전지 배수로의 조류 및 미생물 군집 구조

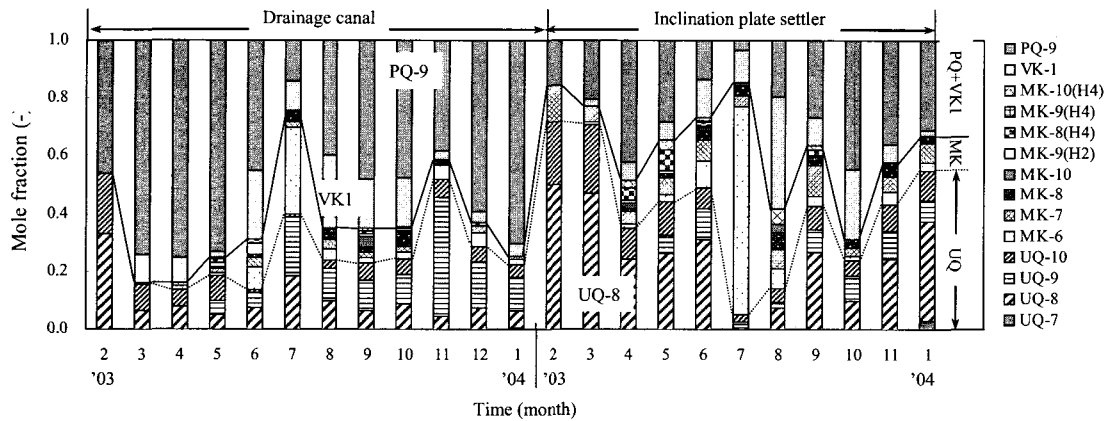
Quinone은 전자전달계물질의 하나로서 호흡쇄의 지용성분으로 대부분의 미생물에 존재한다. Quinone은 그의 골각형, 이소프렌 측쇄수 및 측쇄의 포화도등의 차이에 의해서, 특유의 산화환원전위를 나타냄으로부터, 미생물에 있어서 에너지대사의 차이에 의해서 퀴논분자종도 틀리게 된다. Quinone은 호흡을 통해 에너지를 획득하는 ubiquinone(UQ)과 menaquinone(MK)으로 나눌 수 있으며, 광합성을 통해 에너지를 획득하는 plastoquinone (PQ)과 Vitamin-K(VK)1 으로 크게 나눌 수 있다. 여기서 UQ은 호기 및 질산염으로 호흡을 하는 미생물에 함유되어 있는 quinone type 이며, MK는 혐기 또는 통기성 미생물들에 함유되어 있는 quinone type 이다. Vitamin K1과 PQ-9는 조류 및 광합성미생물들에 함유되어 있는 quinone type으로서 남조류, 규조류, 녹조류 등 각각의 대표적인 균주를 순수 배양하여 퀴논을 분석한 결과, 남조류는 VK-1을 우점으로 함유하고 있었으며, 규조류 및 녹조류는 PQ-9를 우점으로 함유하는 것으로 나타났다.

G와 O하수처리장의 배수로 및 경사판에서 시료를 채취하여 quinone profile을 분석한 다음 월별 mole fraction을 Fig. 2에 나타내었다. G 및 O하수처리장의 배수로 벽면 및 경사판에서 채취한 시료를 비교해 보면, 배수로는 경사판보다는 PQ-9+VK-1의 비, 즉 조류 및 광합성미생물들의 존재비가 약 50% 이상을 차지하고 있었을 뿐만 아니라, VK-1의 몰비가 다른 계절보다는 여름에 더 높은 것으로 보아 남조류의 부착성장을 또한 여름이 더 높은 것을 알 수 있었다.

반면, 침전지내 경사판은 조류보다는 다양한 호기 및 혐기성미생물들이 분포되어 있는 것을 알 수 있었으며, UQ-8을 함유하는 호기성 미생물들의 존재비가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 침전지내에서 침전효율이 저조하여 침전되지 않고 부상되어있던 미생물들이 경사판에 부착 성장하였기 때문인 것으로 사료된다. 또한, G하수처리장 배수로 벽면의 결과를 보면 조류와 일반 박테리아의 비가 거의 유사하게 존재하는 것을 알 수 있었으나, O하수처리장은 PQ-9+VK-1의 존재비가 40-80 %이상으로 높게 나타났

다. 이와 같이 PQ-9를 함유하는 다량의 광합성 미생물 및 조류들이 부착성장 하는 것은 침전지의 재질특성이나 햇빛 등에 좀 더 많이 노출되었기 때문인 것으로 사료된다.

A. O 하수처리장



B. G 하수처리장

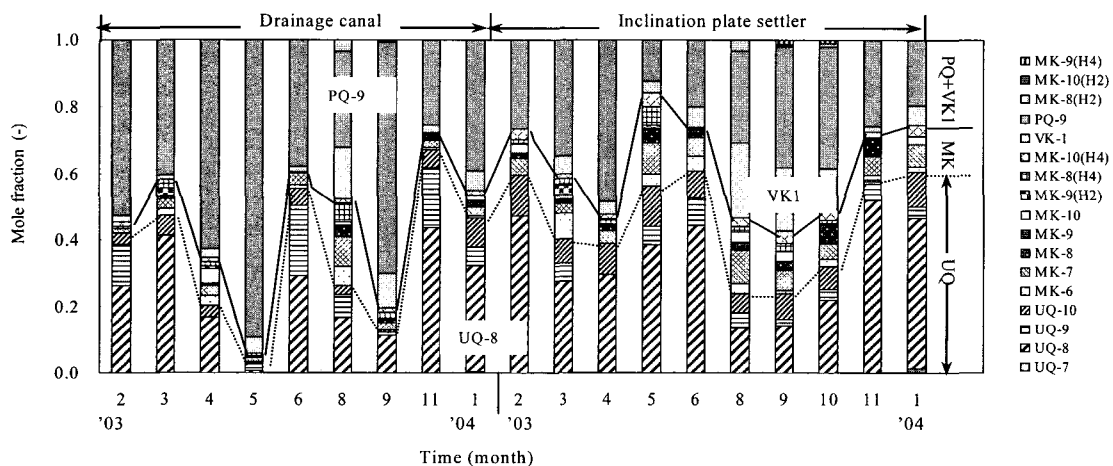


Fig. 2. Quinone composition (mole fraction) of attached microorganisms in sedimentation basin of domestic wastewater treatment plants.

3.3.2. 정수장 침전지 트러프(Trough)의 부착조류 와 미생물 군집 구조

Y와 T 정수장 침전지에서 시료를 채취하여 quinone을 분석하였으며 그 결과를 mole fraction으로 Fig. 3에 나타내었다. Y정수장은 6개월간 Trough에 쌓여있던 조류들을 채취한 것이며, T정수장은 에폭시처리를 하지 않은 시멘트재질로서 주기적으로 청소를 행하고 있었다. 정수장은 하수처리장 침전지 벽면 및 배수로의 결과와는 달리, 침전지 배수로에는 박테리아보다는 VK-1과 PQ-9이 80% 이상으로 우점을 차지하는 것으로 나타

났다. 또한, VK-1이 PQ-9보다 차지하는 비율이 훨씬 높은 것으로 나타나 이는 녹조류, 규조류 보다는 남조류가 우점화되어 있는 것을 알 수 있었다. 반면, T정수장의 경사판은 배수로와는 달리 혐기성 미생물이 거의 존재하지 않았으며, VK-1+PQ-9의 존재비 보다는 호기성미생물의 존재비가 70%로 높게 나타났다. 이는 경사판이 침전지내에 있으므로 수중 광량이 적어 조류의 성장이 저해를 받았을 것으로 생각된다. 정수장의 경우는 벽면 및 트러프 등이 에폭시 처리 되어 있었으며, 질소, 인의 농도도 낮은 분포를 나타내었으나 광합성으로 에너지를 획득하는 미생물 및 조류 등이 부착 성장하는 것으로 보아 조도가 조류의 군집구조에 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 이상으로 정수장과 하수처리장의 조류의 군집조성이 다소 차이가 있는 것을 알 수 있었으나, 구체적으로 조류의 분포에 대해서는 추후 분자생물학적인 해석법을 이용하여 동정하고자 한다.

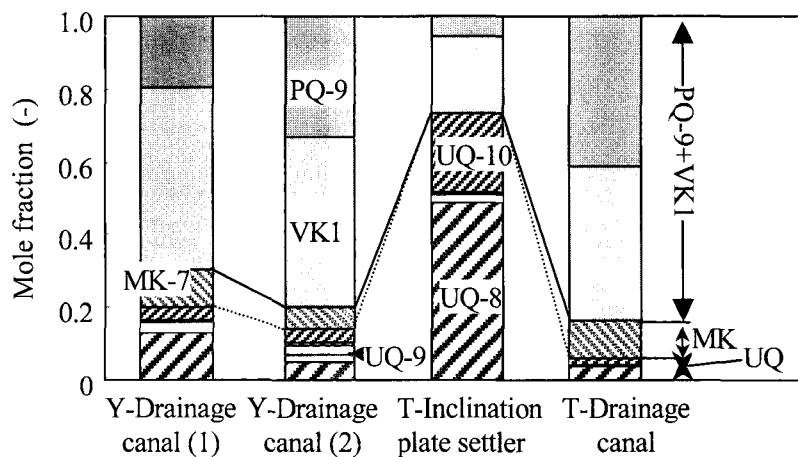


Fig. 3. Quinone composition (mole fraction) of attached algae and microorganisms in drainage canal and inclination plate settler of water treatment plants.

3.4 침전지 배수로 재질별 부착조류군집특성

재질별 부착조류의 특성을 알아보기 위하여 인농도 변화에 따른 조류의 부착량을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다. 인의 농도가 증가할수록 재질별 부착되는 Chl-a의 양 또한 높은 것으로 나타났으며 Cement>Stainless>Ceramic 순으로 나타났다.

특히 Cement는 Epoxy로 표면을 처리할 경우는 다소 감소하는 추세를 보이기는 했으나 다른재질보다 표면이 거칠기 때문인 것으로 사료되며 Ceramic의 경우는 항균성을 가지고 있어 다른 재질보다 조류 및 미생물의 양이 적을 뿐만 아니라 부착된 조류 또한 쉽게 탈리되는 것으로 나타났다. (Fig.5)

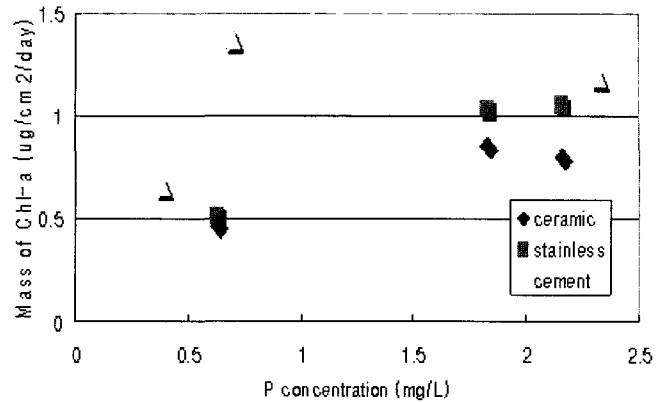


Fig. 4 Relationship between P concentration and attached Chl-a content

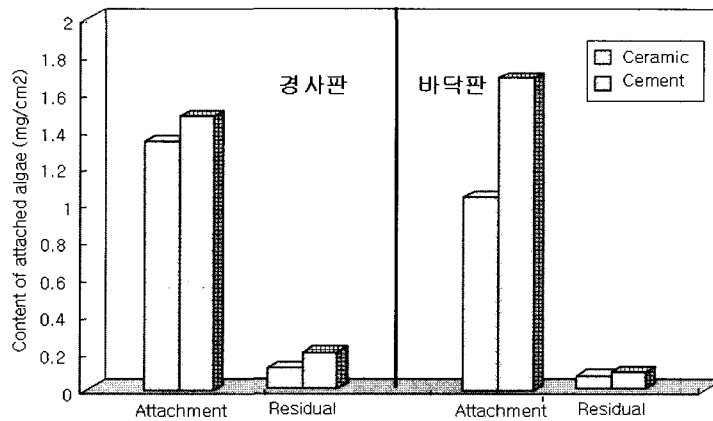


Fig. 5 Attached and detached content of algae on different panel.

4. 결 론

하수처리장 및 정수장 침전지 경사판 및 배수로벽면 등에 부착 성장하는 조류 및 미생물의 군집구조해석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (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) 정수 및 하수처리과정중의 침전지에는 PQ-9+VK-1을 함유한 광합성미생물 및 조류등이 80%정도로 우점을 차지하는 것을 알 수 있었으며, 다음으로 UQ-8이 다량

존재하였다.

- (3) 정수 및 하수처리과정 중 침전지 부착조류 및 미생물군집구조는 배수로의 재질, 영양염류 및 계절 등에 따라 종조성의 차이가 있는 것으로 나타났다.
- (4) Ceramic이 Stainless나 Cement보다는 조류의 부착량이 적고, 탈리도 용이한 것으로 나타났다.

사 사

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

참 고 문 헌

- 김영웅, 손희종, 유명호, 이춘식, 조인철, 김은호, 성낙창 (2000) 정수처리과정 중 침전지 부착조류 특성과 이취발생에 관한 연구, 대한환경공학회지, 22(5), pp.887-894.
- 유명진, 조용모, 김용환 (1990) 상수처리시 조류제거에 관한 연구, 상하수도학회지, 1, pp.8-17.
- 임병란, 안규홍(2001) 혼합배양계 미생물의 군집구조해석방법과 환경개선기술에의 도입, 생물산업, 14(4), pp. 29-34.
- APHA (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edn. American Public Health Association, Washington, D.C.
- 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.
- 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.