

부착성장 조류 제어를 위한 침전지 배수로의 재질개선에 관한 연구

Improvement of Drainage Material for Attached Algae Growth Control in Sedimentation Basin

전대영¹ · 임병란^{2*} · 유현선¹ · 조진우¹ · 황종혁¹ · 안규홍¹

Jun, Dae-Young¹ · Lim, Byung-Ran^{2*} · Yu, Hyun-Sun¹ · Cho, Jin-Woo¹ ·
Hwang, Jong-Hyuk¹ · Ahn, Kyu-Hong¹

¹ 한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터

² 명지대학교 환경생물공학부 & 산업기술연구소

(2004년 12월 20일 논문 접수; 2005년 3월 18일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The objective of this study was to investigate the characteristics of adhesion and detachment of algae on various materials of drainage canal in the sedimentation basin.

The influence of surface washability, surface roughness, phosphorous concentration was studied using stainless steel, cement block and ceramic coating panel. The algae attached content of cement block was higher than that of the ceramic coating panel. The attachment varied significantly with respect to exposure time and different materials. the attachment was higher on rough surface (cement block) when compared to smooth surfaces. The content of attached algae increased with increasing phosphorous concentration in water. The detachment efficient of algae was higher on ceramic coating panel.

Key words: algae, attached growth, ceramic, drainage, sedimentation basin

주제어: 조류, 부착성장, 세라믹, 배수로, 침전지

1. 서 론

우리나라의 처리장은 개방형 구조와 유입수의 영양염류 농도가 증가하여 처리장 침전지와 배수로에서 조류가 쉽게 부착 성장하여 많은 문제를 일으키고 있으며, 이렇게 성장한 조류는 높은 표면전화와 낮은

비중으로 인해 응집제 소요량을 증가시키고, flocc의 침강성을 저해하거나 재부상 시켜 침전효율을 떨어뜨리고 있다. 특히, 정수공정에서는 배수로 및 weir 등에 부착하고 있는 조류 종들이 탈리되면서 여과지를 조기에 폐색시키고, 조류의 부산물로 인한 이·취미 문제가 발생되고 있는 실정이다. 또한, 하수처리장의 침전지에서도 침전 효율을 감소시키고, 최종 유출수

*Corresponding author Tel: +82-31-330-6820, FAX: +82-31-336-6636, E-mail: limbr@hotmail.com (Lim, B.R.)

의 수질에 악영향을 미친다(유명진 등, 1990). 상·하수처리장에서 조류가 과다하게 발생하는 시기에 주로 전염소나 오존농도를 강화하거나 분말활성탄을 투입하는 등의 방법으로 조류의 문제를 대처해 왔다(박혜경 등, 2000; 유명진 등, 1990; Cook et al., 2001). 염소나 오존 산화처리는 조류세포의 제거에는 효과적이거나 세포내의 독성 유기물이 수중으로 유출되는 문제와 소독 부산물이 생성되어 인체에 악 영향을 끼칠 수 있다(김은호 등, 1999; 최일환 등, 2001). 현재 조류 제어를 위해 처리장은 침전지와 배수로를 epoxy로 코팅하거나, Stainless steel이나 aluminium 재질을 사용하여 침전지 배수로를 제작 설치하기도 하며, 배수로 등에 부착된 조류를 주기적으로 brush나 고압살수를 이용하여 제거하고 있는 실정이다. 그러나 epoxy는 코팅시 유해한 물질이 유출될 가능성을 가지고 있으며, 청소 등에 의해서 코팅이 쉽게 손상되며 손상 부위에 조류가 쉽게 부착 성장한다. 최근, stainless steel이나 aluminum 재질을 이용하여 미생물의 부착을 제어 하고자 하는 연구를 수행하고 있으나 설치비용이 많이 들고 친유성 재질로 유기물 및 조류의 부착이 용이하여 성장을 억제하기에는 적합하지 않았다(Sekar et al., 2004). 또한 미생물의 살균과 수서생물의 부착을 예방하고자 오티세라믹을 개발하여 병원 내벽면 등에 활용하고자 하는 연구가 진행되어왔고(손인호 등, 1997), stainless steel에 은과 아연으로 코팅하여 미생물에 대한 항균성을 증진시키고자 하는 연구(Cowan et al., 2003)가 진행되어 왔으나 만족스러운 결과를 얻지 못한 실정이며, 조류가 과잉 성장하여 2차오염문제가 일어나는 정수장등에 활용코자 하는 연구는 거의 진행되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 상·하수 처리장 침전지의 부착조류 발생문제를 보다 효율적이고 안전하게 예방하기 위하여 침전지의 경사판 및 배수로의 재질로 친수성과 항균성을 증가시킨 세라믹을 이용하여 조류의 부착성장에 대한 특성을 조사하였으며, 물리적인 방법을 이용하여 부착조류의 탈리 특성을 파악하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 식종 조류

본 연구에서 부착과 탈리 특성을 조사하기 위해 사용된 조류는 국립환경연구원에서 남조류 *Microcystis sp.*, *Anabaena sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Phormidium sp.*와 규조류인 *Synedra sp.*, *Fragillaria sp.*, *Melosiras sp.*, *Cyclotella sp.*와 녹조류인 *Scenedesmos sp.*, *Chlorella sp.* 등을 분양 받아 실험실에서 순수 배양 하여 이용하였다. 상기의 부착성 조류는 호소 및 하천 등에서 주로 발견되고 침전지의 측벽이나 경사판 등에 부착 성장하여 생육하는 것으로 알려져 있으며(임병란 등, 2003; 김순성 등, 1998), 특히 남조류는 여과지를 폐쇄시키거나 독소를 생산하고 흙냄새와 곰팡이 냄새를 발생하는 대표적인 이취물질인 2-MIB 및 Geosmin 등을 생성하는 것으로 밝혀져 있다(Hassett and Rohwer, 1999).

2.2. 실험재료

각 재질별 조류의 부착성장 및 탈리 특성을 파악하기 위하여 인공기질로는 cement block(190 × 90 × 55mm), stainless panel(SS 316, 100 × 100mm), 그리고 한성메카트로닉스(주)에서 개발한 ceramic coating panel(Staron Coat, 100 × 100mm)을 이용하였다. 본 실험에 사용한 ceramic coating panel에 대한 물리화학적 특성을 Table 1에 나타내었다. Ceramic coating panel은 타 재질에 비하여 높은 경도, 내후성, 항균성, 내식성이 뛰어난 뿐만 아니라 무기도료를 사용하여 인체에 무해하고, 친수성 재질로 구성되어 물에 의해 쉽게 오염물이 세정되는 특징을 가지고 있다.

2.3 실험장치 및 운전

재질에 따른 조류의 부착성장특성을 조사하기 위하여 아크릴 인공수로(225 × 100 250mm, 2조)를 제작하였으며, 그 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 인공수로에 stainless steel panel(이하 stainless)과 ceramic coating panel(이하 ceramic)을 100 × 100mm의 크기로 준비하여 실험장치의 수직면, 경사면, 바닥면에 장착하였으며, 실험실에서 순수 배양한 남조류(4종), 규조류(4종), 녹조류(2종)를 반응기내에 식중하였다. 그리고, 미량의 비타민과 미네랄성분 그리고, N,

Table 1. Physical-chemical characteristic of ceramic (Staron Coat)

Contents		Features
Inorganic binder	Alkali silicate	<ul style="list-style-type: none"> • Hardness : Pencil 9H (moss 3-4) • Antibiosis, Bug proof • Water self-cleaning ability • Weather proof • High corrosion resistance • High thermal shock resistance • High alkali and acid resistance • UV resistance • High radiation of far infra-red
Solvent	H ₂ O	
Specific gravity	1.4 ± 1	
Major agent	SiO ₂	
Hardener	Alkali silicate	
Type of liquid	2 Phase	
pH	12.1	
Harding Temp.	220-240°C	
Viscosity	12-18	
Formula	M ₂ O · nSiO ₂ (M: alkali metal)	

P(1mg/L)등의 성분이 함유된 배지를 조제하여 연속적으로 주입하였다. 이때 인공수로의 유속과 조도는 각각 400ml/min과 1800Lux로 일정하게 유지하였다.

또한, 조류성장의 주요성분인 PO₄³⁻-P의 농도변화에 따른 조류의 부착량을 관찰하기 위하여 별도의 장치를 준비하였고, 이때 사용된 장치는 ceramic(50 100mm)과 stainless(50 100mm), cement block(190 × 90 × 55mm)을 수평 장착한 인공수로로 체류시간은 약 20분, 조도는 1000~1200Lux로 하였다.

조류가 부착된 재질별 탈리 성능을 평가하기 위하여 nylon brush를 회전축에 부착한 탈리 장치를 제작하였으며, 조류가 부착된 시편을 탈리 장치에 장착하고 brush와 시편의 접촉간격을 2mm로 유지하면서 5rpm의 속도로 3분간 접촉시켜 각 재질별 탈리 효율을 평가하였다.

2.4. 분석방법

재질별 부착 성장한 조류의 양을 측정하기 위하여 brush를 사용하여 시편에 부착된 조류를 전량 회수하였다. 조류의 양은 suspended solids와 chlorophyll-a (Standard Methods, APHA 1998)를 측정하여 정량하였으며, 조류의 종 분포는 optical microscope (Axioskop 2 plus, ZEISS)을 이용하였고, scanning electron microscope(S-4200, HITACH)를 사용하여 각 재질의 표면을 관찰하였다.

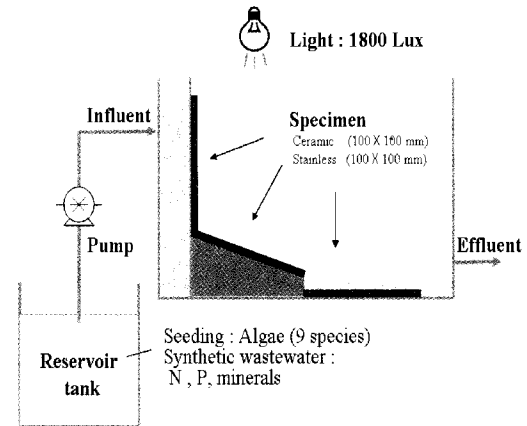


Fig. 1. Experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

3.1. 세라믹 항균성 시험

대장균과 황색포도구균을 이용하여 ceramic coating 한 재질에 대해 한성메카트로닉스(주)에서 항균성 시험 결과는 **Table 2**와 같이 나타났다. Ceramic coating panel에서는 24시간 후 99.9%이상의 대장균과 황색포도구균이 사멸하였다. 이는 ceramic에 포함되어 있는 미량의 은 이온이 대장균과 황색포도구균의 DNA와 결합하여 전자 전달 현상을 방해하였기 때문으로 사료된다. (Cowan et al., 2003). 본 연구결과는 Karlov(2002)가 물리화학적 특성에 의한 황색포도구균의 부착능을 평가한 결과 calcium phosphate ceramic coating을 수행한 disk가 non coating disk에 비하여 황색포도구균의 부착량이 적다고 보고한 결과와 거의

Table 2. Bactericidal activity of ceramic-coated panels.

Microorganisms	Sample	0 hr	24 hr
<i>Escherichia Coli</i>	1	6.6×10^4	below 20
	2	6.6×10^4	3.8×10^4
	control	6.6×10^4	5.1×10^4
<i>Staphylococcus Aureus</i>	1	2.7×10^4	below 20
	2	2.7×10^4	1.1×10^4
	control	2.7×10^4	1.7×10^4

1: Addition 1% ceramic material to sample

2: No addition ceramic material to sample <자료: 한성메카트로닉스(주)>

유사하게 나타났다.

3.2. 배수로 재질별 조류의 부착성장 특성

PO_4^{3-} -P의 농도변화에 따른 조류의 부착 성장량을 Fig. 2에 나타내었다. 정수와 하수에 포함되어 있는 PO_4^{3-} -P의 농도를 고려하여 농도의 변화를 주어 실험한 결과 PO_4^{3-} -P의 농도가 증가 할수록 각 재질에 부착 성장하는 조류의 양은 증가하였다(오희복 등, 1998). PO_4^{3-} -P의 농도가 0.5mg/L에서 stainless와 ceramic은 $0.5\mu\text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$, cement block은 $0.7\mu\text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 으로 ceramic과 stainless와의 차이는 크지 않았으나 PO_4^{3-} -P의 농도가 약 25mg/L에서는 ceramic은 $1\mu\text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 이하로 조류가 부착되었으며, 다른 두 재질은 $1\mu\text{m}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 이상 부착되었다.

Cement block은 다른 재질 보다 표면이 거칠기 때문에 조류가 쉽게 부착성장 한 것으로 사료되며, ceramic내에는 항균작용을 나타내는 성분이 함유되어

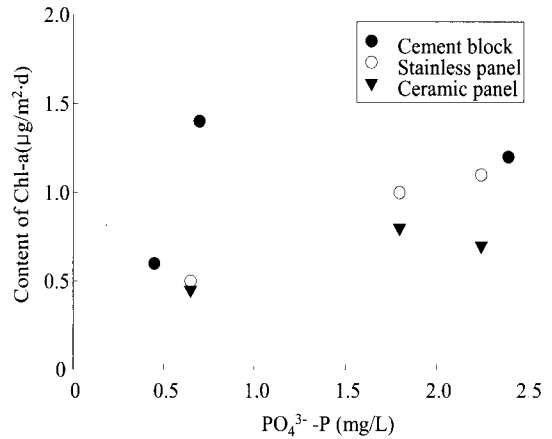
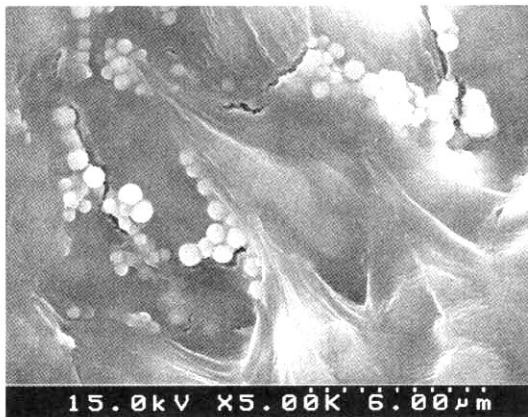
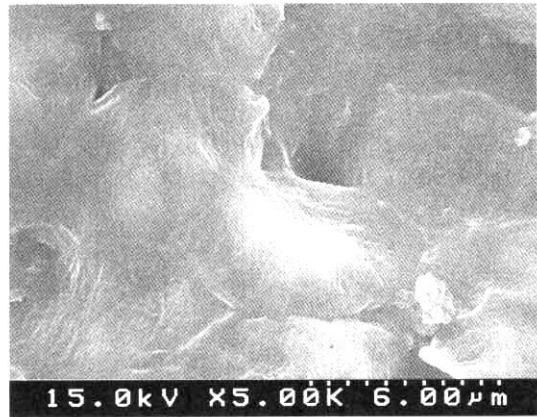


Fig. 2. Relationship between PO_4^{3-} -P concentration and content of attached algae on materials.

있어 조류의 성장이 억제 되었고, 친수성으로 인한 water self-cleaning 작용에 의해 부착된 조류가 조금씩



(a) Stainless



(b) Ceramic

Fig. 3. Scanning electron micrographs with different material panel ($\times 5000$).

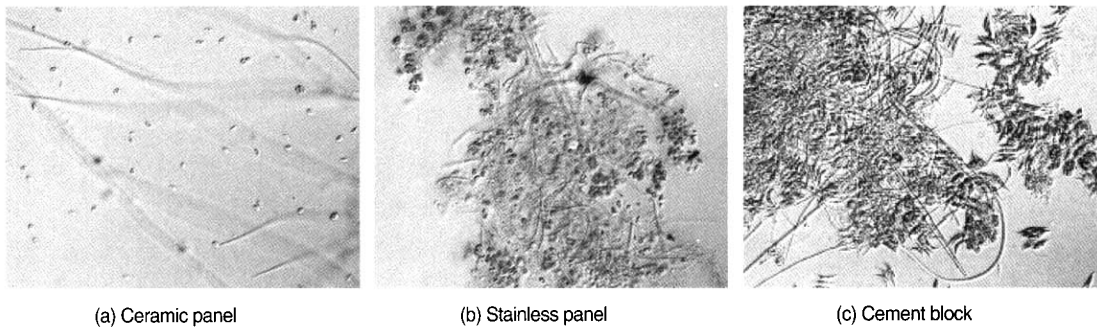


Fig. 4. Microscopic inspection with different materials.

탈리되어 유출되었기 때문에 사료된다.

각 재질에 조류가 부착성장 후 stainless와 ceramic의 표면을 SEM을 이용하여 측정하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 조류부착전의 표면은 두 재질 모두 매끄럽고 이물질이 전혀 없는 상태였으며(not shown data), 시간이 경과함에 따라 Fig. 3과 같이 조류가 부착되어 표면을 덮고 있는 것을 알 수 있었다. 특히 Fig. 3(a)의 동그란 모형은 *Chlorella sp.*로 stainless에 다량 표면에 부착된 것으로 나타났다.

3.3. 부착조류의 분포

Ceramic, stainless, 그리고 cement block에 부착된 조류의 분포를 현미경 관찰하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)에 작은 타원 모양은 녹조류인 *Scenedesmus sp.*이며 실 모양 형태는 남조류인 *Phormidium sp.* 등이 부착되었음을 확인할 수 있었으며, 규조류는 상대적으로 적게 관찰 되었다. Fig. 4(b)는 stainless에 부착되어 있는 조류 중으로서 ceramic에서 부착한 조류종과 비슷한 분포를 나타내었으며, 많은 양의 조류가 군집을 형성하고 있음을 알 수 있었다. Fig. 4(c)의 cement block에서는 *Scenedesmus sp.*, *Phormidium sp.*, *Melosira sp.*, 등이 관찰되었으며 녹조류, 규조류, 남조류의 분포가 유사한 비율로 군집을 형성하고 있는 것으로 관찰 되었다.

또한, 실험시작 30일 이후 각 재질에 *Phormidium sp.*, 등의 남조류가 부착되면서 점액질 성분이 관찰되었으며, 남조류 사상체가 그물처럼 엮어매고 그 속에 *Scenedesmus sp.*, *Phormidium sp.*, *Melosira sp.*, 등의 조류가 관찰되었다. 이는 초기에 남조류가 착생하고 이후 유기물이 그 표면에 축적됨에 따라 다른 조류가 급격하

게 부착성장 한 것으로 사료된다. 따라서 재질이 표면이 매끄러운 ceramic과 stainless에 비하여 cement block에는 여러 종이 고루 분포되어 부착 성장하는 것으로 보아 cement block과 같이 공극이 크고 표면특성에 따라 조류의 부착성장이 서로 다른 것을 알 수 있었다(조경제, 1994).

3.4. 배수로 재질별 조류의 탈리 특성

최근, 침전지의 weir 및 배수로 부분을 cement에서 stainless로 대체 시공한 처리장이 있어서 ceramic과 stainless와의 부착 및 탈리 특성을 파악하여 보았다. Fig. 5에 각각의 재질에 부착된 조류의 양과 brush로 탈리한 후 잔류되어있는 조류의 양을 나타내었다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 수직판의 stainless와 ceramic의 조류 부착량은 각각 $27\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 과 $11\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 로 stainless가 ceramic에 비해 약 2.5배 이상 많이 부착되어 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 경사판에 장착한 stainless와 ceramic의 경우도 조류 부착량이 각각 $66\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 과 $15\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 으로 약 4배이상 stainless가 많이 부착하는 것으로 나타났다. 이는 표면의 특성 중 거칠기는 거의 유사하나 ceramic의 경우 항균성과 친수성으로 인하여 조류의 부착성장을 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

Brush를 이용한 탈리 실험 후 각 panel에 잔류된 조류의 양을 측정된 결과, 수직판의 stainless와 ceramic이 각각 8.6 과 $2.8\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 로 탈리 후 각 재질에 조류가 다소 잔류되어 있음을 알 수 있었다. 경사판으로 설치한 stainless와 ceramic에서 탈리 후 조류 잔류량은 각각 42.1 과 $4.1\mu\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 로 친수성 ceramic에 군집을 형성하며 부착된 조류들이 쉽게 탈리됨을 알

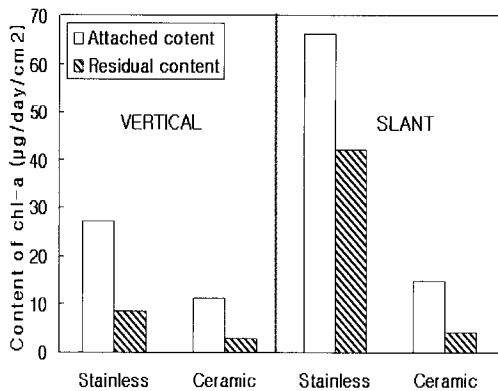


Fig. 5. Attached and residual contents of algae with different materials.

수 있었다. 이상의 결과로 ceramic이 배수로 재질로 사용될 경우 조류의 부착량이 적을 뿐만 아니라 부착된 조류 또한 쉽게 탈리되므로 조류의 성장제어가 다른 재질에 비하여 우수하다고 판단되므로 앞으로 상·하수처리장 침전지뿐만 아니라 병원 내벽면, 발전소등의 해수 냉각계통 등에도 널리 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

상·하수처리장 침전지 배수로, 경사판 및 벽면 등의 재질에 따른 부착 성장하는 조류의 군집 구조 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ceramic으로 코팅된 panel에 대한 항균성 실험결과 24시간 후 대장균과 황색포도구균이 99.9%이상 사멸되는 것으로 나타났다.

2. 부착조류양은 $PO_4^{3-}-P$ 의 농도가 증가할수록 증가하는 경향으로 나타났으며, 조류의 부착량은 cement > stainless > ceramic 순으로 나타났다.

3. Ceramic과 stainless에서는 녹조류와 남조류가 우점하였으나, cement block에서는 녹조류, 규조류, 남조류의 분포가 균일하게 나타났다.

4. Ceramic은 stainless에 비하여 부착되는 조류의 양이 적었으며, 타재질보다 탈리성능도 우수한 것으로 나타나, 조류의 부착성장제어에 있어서 ceramic 재질이 효과적인 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 2002 차세대 핵심환경기술개발사업에 의하여 수행되었습니다. 참여기업인 한성메카트로닉스(주) 관계자분들께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- 김성순, 이양규, 김창수, 김갑진(1998) 정수장에서의 SCUM 발생원인 및 제거방안에 관한 연구, 토목, 제46권 5호 pp.16-26.
- 김영웅, 손희중, 유명호, 이춘식, 조인철, 김은호, 성낙창(2000) 정수처리공정 중 침전지 부착조류 특성과 이취 발생에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 22(5), pp. 887-894.
- 김은호, 신은기, 박인수, 황영기(1999) 오존을 이용한 조류 제거에 관한 연구 *Theses collection of the Institute of advanced materials*, vol. 11, pp. 113-120.
- 박혜경, 서용찬, 박병황, 이덕길(2000) 남조류 및 규조류의 염소소독부산물 생성특성에 관한 연구, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동총회 학술발표회 논문집*, pp. 123-126.
- 손인호, Kiyohiko Shioya, 이인형(1997) 오티세라믹 도료를 이용한 미생물 및 수서생물 제거, *대한 환경공학회 97년 추계학술연구발표회 논문초록집*, pp. 3-6.
- 오희목, 이석준, 김성빈, 박미경, 윤병대, 김도한(1998) Algal bioassay에 의한 조류성장 제한영양염류 결정, *korea Limnol.* 31(2), pp. 150-157.
- 유명진, 조용모, 김용환(1990) 상수처리시 조류제거에 관한 연구, *상하수도학회지*, 1, pp. 8-17.
- 임병관, 안규홍, 박유정, 황종혁, 송경근(2003) 하수처리장과 정수장 침전지의 부착성장 조류 및 미생물 군집에 대한 기초연구, *대한환경공학회 추계학술발표 논문집*, paper on CD-ROM pp. 147-150.
- 정연태, 최민규, 김백호, 위인선, 이종빈(1996) 수질오염 관정을 위한 기법개발(Ⅰ)부착조류 군체화에 미치는 기질특이성 연구, *Korean J. Environ. Biol.*, 14(1), pp. 95-111.
- 조경제(1994) 인공기질을 이용한 부착조류 조사, *Korean Journal of Limnology*, 27(1), pp. 47-57.
- 최일환, 박종근, 김학철, 김연숙(2001) 염소처리에 의한 조류의 세포변화, *한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동총회 학술발표회 논문집*, pp. 173-176.
- Karlov, A.V., Khlusov, I.A., Pontak, V.A., Ignatov, V.P., Ivin, M.A., Zinatulina, S.Yu. (2002) Adhesion of *Staphylococcus Aureus* to implants with different physicochemical characteristics, *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*

- No 3 2002 *Immunology and Microbiology*, pp. 277-280
- APHA (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edn. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Cook, D., Newcombe, G. and Sztajn bok, P. (2001) The application of powder activated carbon for mib and geosmin removal: predicting pac doses in four raw waters, *Wat. Res.* **35**(5) pp. 1325-1333.
- Hassett, A.J. and Rohwer, E.R. (1999) Analysis of odorous compounds in water by isolation by closed-loop stripping with a multichannel silicone rubber trap followed by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of chromatography A*, **849**, pp 521-528.
- Cowan, MM., Abshire, KZ., Houk, SL., Evans, SN. (2003) Antimicrobial efficacy of a silver-seolite matrix coating on stainless steel, *Carrier corporation Syracuse New York*.
- Sekar, R. Venugopalan, V.P. Satpathy, K.K. Nair, K.V.K. & Rao, V.N.R. (2004) Laboratory studies on adhesion of microalgae to hard substrates, *Hydrobiologia*, **512**, pp. 109-116.