Journal of Environmental Science International
22(3); 371~378; March 2013

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.3.371

ORIGINAL ARTICLE

저서생물의 환경생태학적 특성을 이용한 완속 모래여과지의 조류제거

손 희 종*
부산광역시 상수도사업본부 수질연구소

Removal of Algae in a Slow Sand Filter using Ecological Property of Macrobenthos (*Pomacea canaliculata*)

Hee-Jong Son*
Water Quality Institute of Busan, Gimhae 621-813, Korea

Abstract

After identifying species by collecting the suspended and attached algae mat inhabiting in the slow sand-filter, *Spirogyra* sp., *Mougeotia* sp. and *Closterium* sp. were main green algae and *Synedra* sp. was diatom algae. Among them green algae *Spirogyra* sp. was dominant species. A result of observing the life mode of apple snail for a month after introducing into the slow sand-filter, apple snail eggs were discovered on the filter walls 2 weeks after introducing, 4 weeks later lots of eggs were observed all of the slow sand-filter walls, it means there is no problem for apple snail to live in the slow sand-filter. The observation result for algae removal potential by introduced apple snail after 2 months later, slow sand-filter where apple snail were introduced, a few algal mat were observed. On the other hand, no introduced apple snail into the slow sand-filter, lots of suspended algal mats were formed in the water and attached algal mats on the sand surface as well, these algal mat induced much of operating problems.

Key words : Slow sand filter, Apple snail, Algal mat, Algae removal

1. 서 론

완속 모래여과(slow sand filtration) 공정은 1829년 이후 영국에서 안전한 정수의 생산을 위해 사용되기 시작하여 20세기 중반까지 대표적인 정수처리 공정으로 사용되어져 왔다(Gary, 1991). 완속 모래여과 공정에서의 오염물질 정화작용은 햇빛과 산소의 공급이 원활한 표층 수 cm 이내에서 미생물이 성장하고, 모래여재 표면에 부착하여 형성된 생물 여과층(schmutzdecke)에서 이루어진다. 입자상 오염물질들은 여재 표면의 생물여과막의 점액질에 부착되어 제거되며, 용존성 오염물질의 경우는 생물 여과층에 존재하는 다양한 미생물들에 의해 생물분해(biodegradation) 된다(Bellamy 등, 1985; Fox 등, 1984). 생물여과막에서 제거 가능한 오염물질들로는 탁도, 유기물질, 철, 망간, 암모니아, 바이러스, 병원성 미생물 등 매우 다양하며, 제거율도 높은 것으로 알려져 있다(Jun 등, 2003, Son 등, 2010). 국내의 완속 모래여과 공정을 채택한 정수장 현황을 보면 대부분이 소규모 정수장으로 약 200여 곳에서 완속 모래여과 공정을 채택하여 운전 중인 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2008a; Kim 등, 2008b). 완속 모래여과 공정은 급속 모래여과 공정에 비해 상대적으로 건설비가 저렴하고, 응집제와 같은 약품투입이 필요 없어 유지관리가 용이하다는 장점이 있다. 그러나 여

Received 8 March, 2012; **Revised** 22 March, 2013;
Accepted 25 March, 2013
***Corresponding author** : Hee-Jong Son, Water Quality Institute of Busan, Gimhae 621-813, Korea
Phone: +82-51- 669-4797
E-mail: menuturk@hanmail.net

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

과속도가 느리고, 넓은 면적의 부지가 필요하며, 급작스러운 오염사고가 발생할 경우 후속대책을 마련하기가 곤란하다는 단점이 있다(Gary, 1991). 외국의 경우는 최근에 문제시되고 있는 수중의 잔류 의약물질과 같은 미량오염물질들에 대해 완속 모래여과 공정에서의 제거능을 연구하는 등 완속 모래여과 공정에 대한 지속적인 관심을 가지고 있다(Rooklidge 등, 2005).

국내에 설치된 완속 모래여과지는 대부분 햇빛에 노출되어 있어 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 연중 여재 표층에 조류가 많이 번식하여 여과막을 덮고 매트를 깐 것처럼 번식한다(Kim 등, 2008a).

이들 조류는 무기 영양염류의 흡수와 같은 긍정적인 역할도 하지만, 외관상 불쾌감을 조성하고, 불결한 냄새를 유발하며, 심할 경우에는 여과지 폐색과 같은 부정적인 측면이 더 많다(Kim 등, 2008a). 조류의 번식억제를 위해서는 염소와 같은 산화제를 투입하기도 하지만 이러한 약품처리는 완속 모래여과지 생물막 내의 미생물들의 생장을 저해하기 때문에 여과 기능이 손상될 우려가 있어 원칙적으로는 사용하지 않는 것이 바람직하다(Kim 등, 2008a). 따라서 주기적으로 완속 모래여과지의 여층 표면을 세정하고 있고, 일정기간 운영 후에는 여층을 삭취하고 있으며, 일부 정수장에서는 표면 조류의 생성을 억제하기 위해 차광막을 설치하여 운영하는 곳도 있다(Kim 등, 2008a). 여층의 삭취 및 차광막을 설치하는 경우에는 많은 예산이 수반되어야 하며, 이로 인해 수돗물 값의 상승은 필연적이다. 최근에는 물리·화학적인 조류제어 방법의 대안으로 다양한 기능성 생물을 적용하는 생태공학적 연구가 활발하게 진행되고 있다. 생물조절(biomanipulation)을 통한 조류 제거에 이용되는 생물로는 어류(Fukushima 등, 2000), 동물 플랑크톤(Lampert 등, 1986), 살조 세균(Manage 등, 1999), 패각류(Jack과 Thorp, 2000) 등이 알려져 있다. 패각류의 섭식능을 이용한 조류제어는 북미나 유럽을 중심으로 진행되어 왔으며(Reeders와 de Vaate, 1990; Heath 등, 1995; Jack과 Thorp, 2000) 얼룩말 조개는 대표적인 예이다(Ibelings 등, 2003; Dioniosio Pires 등, 2005). 국내의 경우는 저서생물인 논우렁이를 이용하여 유해조류 제거 가능성을 평가한 연구가 유일하며, 현장 스케일의 실험은 전무한 실정이다(Hwang 등, 2008). 저서생물인 왕우렁이(apple snails)는 연체동물 복족류에 속하며 원산지가 중남미, 아프리카 및 동남아시아이며, 10속(genera) 약 120여종이 서식하고 있다(Lee 등, 2002). 이들은 잡식성이고, 산란수가 월 1,000~1,200개로 번식력이 매우 빠른 특징을 가지고 있다(Bombeo-Tuburan 등, 1995). 왕우렁이의 국내 도입은 1983년부터 이루어졌으며, 도입 초기에는 식용 목적으로 양식하였으나 2001년부터 농림부에 의해 친환경 농업의 일환으로 논잡초 제초 목적으로 사용되었다(Lee 등, 2002).

본 연구에서는 완속 모래여과지에 서식하며, 외관상 불쾌감을 조성하고, 불결한 냄새를 유발하며, 심할 경우에는 여과지를 폐색시키는 조류들을 제거하기 위해 먹이사슬을 이용하여 친생태학적인 방법인 왕우렁이를 1일 8000톤을 생산 규모인 부산의 B 정수장의 완속여과지에 직접 투입하여 왕우렁이에 의한 조류 제거능과 이들이 생장하면서 분비 및 배설하는 물질들에 의한 수질오염 여부를 조사하여 향후 완속 모래

Fig. 1. Photographs of attached algae (left) and formed mat of algae (right) in the slow sand filters.

Fig. 2. Photographs of apple snails used in this study.

Table 1. Characteristics of influent water of slow sand filter

Temp.	pH	COD	NH_3-N	chl-a	Turbidity
(℃)	(-)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/m^3)	(NTU)
14～25	6.5～7.0	2.3～3.8	ND～0.078	1.4～21.5	0.80～6.35

(a) filter No. 1 (b) filter No. 2

(c) filter No. 3 (d) filter No. 4

Fig. 3. Photographs of attached and suspended algal mats in the slow sand-filters.

여과지를 운영하는 정수장에서의 적용성 여부를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 유입수 성상 및 왕우렁이

실험기간인 2012년 5월에서 11월까지의 부산시 B 정수장 완속 모래여과지의 유입수 성상을 Table 1에 나타내었다. 실험기간 중 수온은 최저 14℃에서 최고 25℃ 정도였으며, COD의 경우는 2.3～3.8 mg/L의 농도범위였다. 또한, 유입수중의 조류농도(chl-a)는 0.4～21.5 mg/m^{3}으로 나타났다.

실험에 사용된 왕우렁이는 부산시 강서구에 위치한 왕우렁이 양식농장에서 직접 구매하여 완속 모래여과지 한 지당 2 kg씩 투입하였다. Fig. 2에 완속 모래여과지에 투입한 왕우렁이 사진을 나타내었다.

2.1.2. 완속 모래여과지

본 실험에 사용된 완속 모래여과지는 1932년도에 준공된 부산시 B 정수장의 완속 모래여과지로 1호지에서 4호지까지 총 4지로 구성되어있다. 설계용량은 8,000톤/일 생산용량이나 현재는 평균 4,000톤/일 정도로 생산하고 있으며, 여과속도는 평균 1.9 m/일로 운전하였다.

2.1.3. 분석

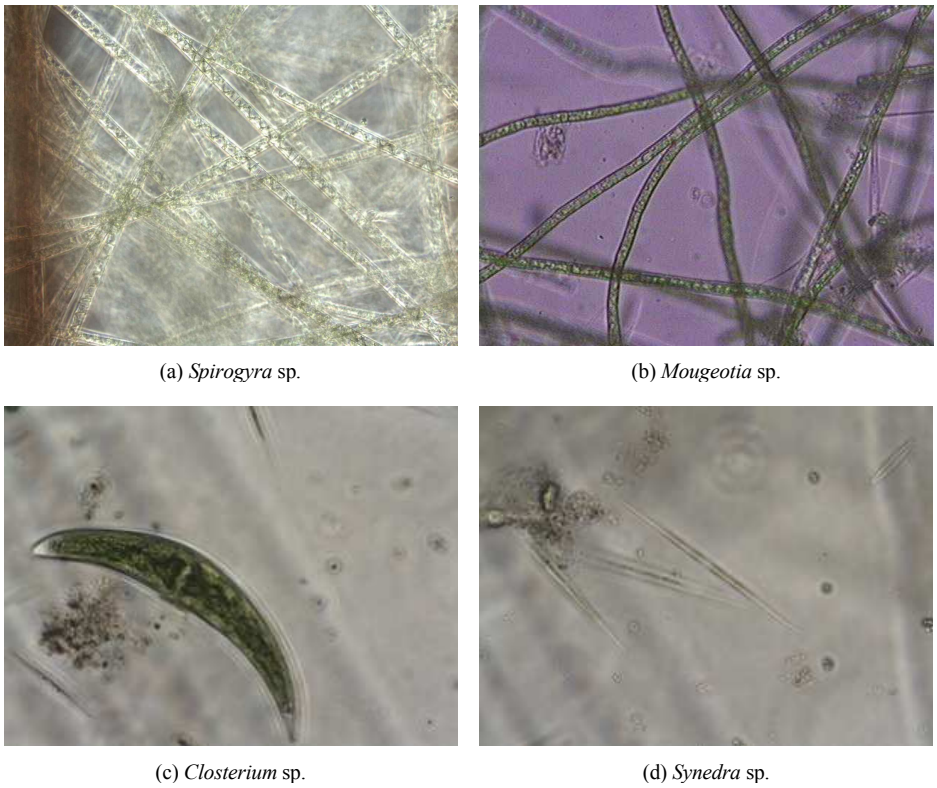
부착조류의 양을 파악하기 위해 chl-a 농도를 조류농도 분석기(bbe fluorometer, Moldaenke, Germany)를 이용하여 측정하였고, 완속 모래여과지 내의 부착・성장한 조류의 종 동정의 경우 여층 표면의 부착성 및 여과지 내에 부유하는 부유성 조류 군락들을 뜰채를 이용하여 채집한 후 깨끗한 유리병에 담아 실험실로 이송하여 광학현미경(AXIO scope A1, Zeiss, Germany)을 이용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 왕우렁이 미투입 시의 여과지 내의 조류 형성 특성

실험에 사용된 부산시 B 정수장의 완속 모래여과지 1～4호지에서의 2011년도 6월 5일에 부착 및 부유성 조류들을 사진 촬영한 것을 Fig. 3에 나타내었다. 완속 모래여과지 1호지(Fig. 3 (a))와 2호지(Fig. 3 (b))에서는 부유성 조류 군락들이 많이 분포하였으며, 3호지의 경우(Fig. 3 (c))는 부착 조류군락들이 많이 분포하였다. 또한, 4여과지의 경우(Fig. 3 (d))는 부유 및 부착성 조류가 급격하게 번성한 형태로 존재하였다. 이와 같이 각 여과지들마다 조류군락들의 양상에 현저한 차이를 나타낸 이유로 여과지 표면 청소시기와 모래를 교환하는 삭취 시기가 여과지마다 서로 달랐기 때문으로 판단하여 1～4 여과지의 표면을 동일한 시기에 삭취하여 새 여과사로 교체한 후 실험을 진행하였다.

실험기간 동안 완속 모래여과지 내에 서식하는 조류 군락들을 종 동정한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4 (a)에 나타낸 녹조류인 *Spirogyra* sp.가 대부분 우점하였으며, 다음으로 녹조류인 *Mougeotia* sp.가 많은 군락을 이루고 있었다(Fig. 4 (b)). 또한, 일부 군집들에서는 녹조류인 *Closterium* sp. (Fig. 4 (c))와 규조류인 *Synedra* sp. (Fig. 4 (d))가 관찰되었다. 특히, *Spirogyra* sp.는 봄～가을에 걸쳐 번성하며, 형태는 원통형이며, 폭은 23～29 μm, 길이는 70～200 μm 정도로 가늘고 길게 일렬로 연결된 사상체로 분지되어 있지 않다. 또한, 완속 모래여과지에서 증식하여 여층 표면에 붙어 고사하여 여과지를 폐색시키는 것으로 알려져 있다(Bellinger와 Sigee, 2010). *Mougeotia* sp.의 경우는 주로 봄～여름 사이 주로 발생하며 출현빈도는 다른 녹조류들에 비해 낮다. 세포의 폭은 8～13 μm, 길이는 30～140 μm 정도이며, 긴 원통형으로 분지하지 않고 한 줄로 배열하는 사상체이다. *Closterium* sp.의 경우는 주로 여름철에 대량으로 발생하여 녹색의 수화(water bloom)를 일으킨다. 수중에 100 cells/mL 정도로 존재하면 여과지 폐색을 유발할 가능성이 높고, 200 cells/mL 정도에서는 물에서 풀냄새를 유발시킨다. 세포의 폭은 4～8 μm, 길이는 90～176 μm이고, 세포는 만곡하지 않고 가늘고 길며, 양끝이 뾰족한 형태이다(Bellinger와 Sigee, 2010). 또한, *Synedra* sp.의 경우는 주로 정체수역에서 출현하며, 가장 보편적인 담수 규조류 중의 하나이다. 수중에서 개체수가 3,000 cells/mL에서 냄새를 유발하고, 대량 번식시 여과지 폐색을 일으킨다. 또한, 세포의 중앙 폭은 5～6 μm, 길이는 100～300 μm 정도이고, 바늘모



(a) *Spirogyra* sp. (b) *Mougeotia* sp.

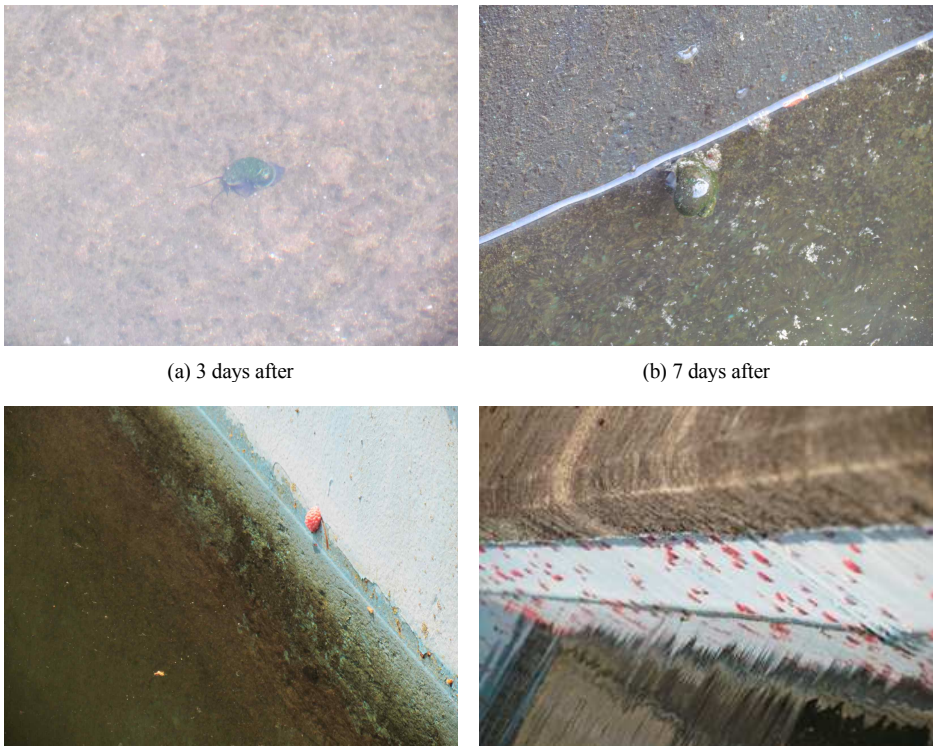
(c) *Closterium* sp. (d) *Synedra* sp.

Fig. 4. Microscope photographs of attached and suspended algal mats in the slow sand-filters.

양으로 양끝으로 갈수록 점점 가늘어진다(Bellinger와 Sigee, 2010).

2.2.2. 왕우렁이를 투입한 완속 모래여과지 내에서의 왕우렁이 관찰

부산시 B 정수장의 완속 모래여과지 1호지 및 2호지에 왕우렁이를 각각 2 kg씩 투입한 후 3일 후부터 20일 후까지의 왕우렁이 적응 및 생장형태를 관찰한 것을 Fig. 5에 나타내었다. 왕우렁이 투입 3일 후에는 완속 모래여과지 여층 표면에서 왕우렁이 개체들이 흩어져서 서식하였으며(Fig. 5 (a)), 왕우렁이 투입 3일 후에는 모래여과지 여층 표면뿐만 아니라 완속 모래여과지 벽면에서도 왕우렁이 개체들이 관찰되었다(Fig. 5 (b)). 또한, 왕우렁이 투입 14일 후에는 완속 모래여과지 벽면에서 붉은색의 왕우렁이 알들이 군데군데에서 관찰되었고(Fig. 5 (c)), 왕우렁이 투입 28일 후에는 붉은색의 왕우렁이 알들이 완속 모래여과지 벽면 전체에서 많이 발견되어(Fig. 5 (d)) 왕우렁이 투입 후 약 1개월 동안의 왕우렁이 생태 관찰결과에서 완속 모래여과지에 투입된 왕우렁이들의 생장에 문제가 없는 것으로 평가되었다. 왕우렁이의 생리·생태학적 특성에 관해 연구한 Lee 등(2002)의 연구보고에서 왕우렁이는 봄부터 가을 사이에 번식하며, 암수가 교미한 후 3~7일 후에 산란한다. 산란은 연간 10회 정도이며, 산란 시기는 어둠이 시작되는 해질녘부터 야간에 이루어지며, 가까운 수면위 0.3~2 m 위치의 식물체 경엽이나 수로의 콘크리트 벽면 등으로 이동하여 산란한다. 산란수는 157~784개 정도로 번식력이 매우 빠르고, 7~15일 후에 알에서 부화된다고 보고하고 있다. 또한, 이들 왕우렁이들은 염농도 및 COD 농도가 높은 담수에서도 잘 서식하며, 수온의 경우 2~38℃의 수온범위에서 생존하며, 생존 하한선은 0℃에서 35일, -3℃에서 3일, -6℃에서 1일 내외이고, 수온이 14℃ 이하로 내려가면 휴면상태로 생장하는 것으



(a) 3 days after (b) 7 days after

(c) 14 days after (d) 28 days after

Fig. 5. Photographs of apple snails and eggs of apple snail in the slow sand-filters for 1 month introduced apple snails.

로 보고되고 있어(Oya 등, 1987), 부산과 같이 동절기에도 온화한 기온을 나타내는 지역의 경우는 수온 저하로 인한 왕우렁이의 폐사는 없을 것으로 판단된다.

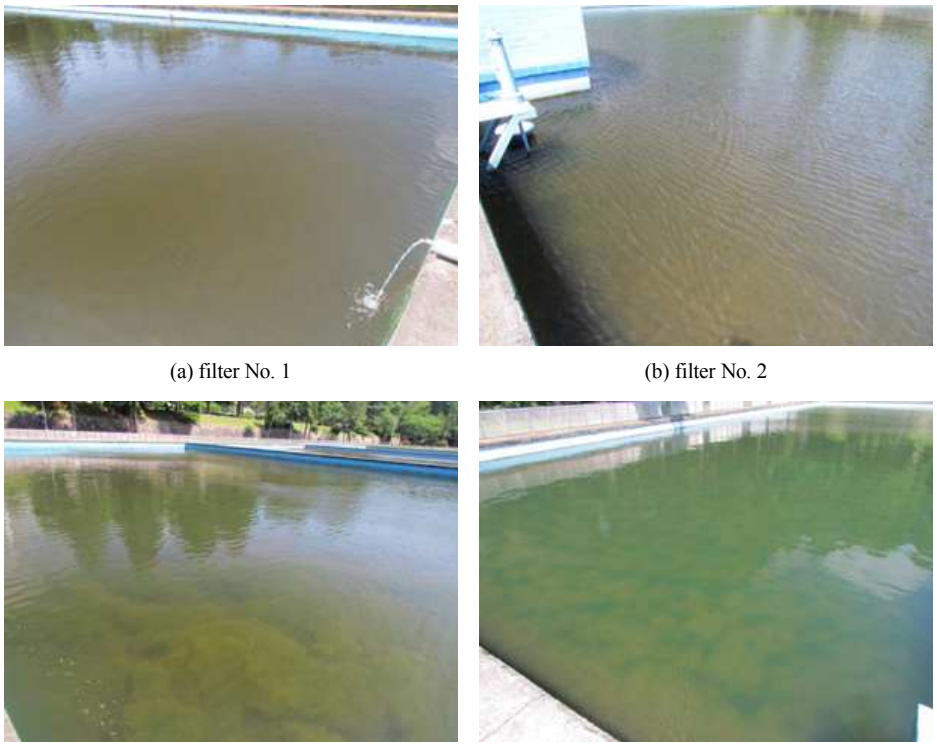
3. 결 과

3.1. 왕우렁이 투입 유무에 따른 여과지 내의 조류 형성 특성

완속 모래여과지 1~4호지 여층 표층을 삭취한 후에 왕우렁이를 투입한 완속 모래여과지들(1, 2호지)과 왕우렁이를 투입하지 않은 완속 모래여과지들(3, 4호지)에서의 왕우렁이 투입 1달 후의 완속 모래여과지 내에 형성된 조류 군락을 사진촬영한 것을 Fig. 6에 나타내었다. 왕우렁이를 투입한 완속 모래여과지 1호지(Fig. 6 (a))와 2호지(Fig. 6 (b))는 여층 표면에 군데군데 표면 부착조류가 관찰되었다. 그러나 왕우렁이를 투입하지 않은 완속 모래여과지 3호지(Fig. 6 (c))에서는 부유성 조류 군락들이 관찰되었으며, 4호지(Fig. 6 (d))의 경우는 부착성 조류 군락들이 관찰되었다. 이것은 왕우렁이에 의한 부착 및 부유성 조류 섭식효과로 Fig. 3에 나타낸 2개월 전과는 완전히 대별된다. 따라서 왕우렁이 투입으로 인한 완속 모래여과지 내의 조류 증식 억제효과가 매우 효과적인 것으로 나타났다.

3.2. 왕우렁이 투입 유무에 따른 완속 모래여과 처리수의 수질 비교

왕우렁이 투입 유무에 따른 완속 모래여과지 처리수의 수질을 비교한 것을 Table 2에 나타내었다. 왕우렁이를 투입한 완속 모래여과지 1호지와 2호지 및 왕우렁이를 투입하지 않은 3호지와 4호지의 수질은 거의 차이를 나타내지 않았으며, 왕우렁이가 서식하면서 분비하는 배설물의 경우, 완속 모래여과지 여층의 표층에 형성된 생물 여과층(schmutzdecke)에서 제거되기 때문에 처리수의 수질에는 차이가 없었다.



(a) filter No. 1 (b) filter No. 2

(c) filter No. 3 (d) filter No. 4

Fig. 6. Photographs of attached and suspended algal mats in the slow sand-filters after 2 months introduced apple snails.

Table 2. Comparison of treated water quality of four slow sand-filters

Filter No.	Apple snails	Total E. Coli (group No./100 mL)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	DOC (mg/L)
1	○	121～145	0.621～0.664	0.011～0.014	0.74～0.88
2	○	123～135	0.626～0.655	0.010～0.014	0.72～0.84
3	×	119～143	0.619～0.646	0.013～0.015	0.75～0.92
4	×	125～150	0.614～0.668	0.010～0.013	0.74～0.87

4. 결 론

부산시 B 정수장의 완속 모래여과지 내의 조류 제거를 위해 왕우렁이를 투입하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

완속 모래여과지 내에 서식하는 부유성 및 부착성 조류 군락들을 채집하여 종 동정한 결과, 녹조류인 *Spirogyra* sp., *Mougeotia* sp. 및 *Closterium* sp.와 규조류인 *Synedra* sp.였으며, 녹조류인 *Spirogyra* sp.가 우점하였다. 완속 모래여과지에 왕우렁이를 투입한 후 1개월 정도 생태관찰 결과, 왕우렁이 투입 2주 후에 왕우렁이의 알들이 여과지 벽면에서 발견되었고, 4주 후에는 여과지 벽면 전체에서 많은 알들이 관찰되어 완속 모래여과지에서 왕우렁이의 생장에는 전혀 문제가 없었다. 왕우렁이를 투입하고 2달 경과 후에 왕우렁이의 조류 제거능을 살펴본 결과, 왕우렁이를 투입한 완속 모래여과지들에서는 여층 표면에 약간의 조류 군락들만이 관찰된 반면에 왕우렁이를 투입하지

않은 완속 모래여과지들에서는 여과지 수중에 부유성 조류 군락 및 여층 표면에 부착성 조류 군락들이 형성되어 운영상에 많은 문제를 유발하였다.

참 고 문 헌

Bellamy, W. D., Silverman, G. P., Hendricks, D. W., Logsdon, G. S., 1985, Removing Giardia cysts with slow sand filtration, J. Am. Water Works Ass., 7(2), 52-60.

Bellinger, E., Sigee, D. D., 2010, Freshwater algae: Identification and Use As Bioindicators, John Wiley & Sons Inc.

Bombeo-Tuburan, I., Fukumoto, S., Rodriguez, E. M., 1995, Use of the golden apple snail, cassava, and maize as feeds for the tiger shrimp, *Penaeus monodon*, in ponds, Aquaculture, 131, 91-100.

Dionisio Pires, L. M., Bontes, B. M., Van Donk, E., Ibelings, B. W., 2005, Grazing on colonial and filamentous, toxic and non-toxic cyanobacteria by the zebra mussel *Dressena polymorpha*, J. of Plankton Res., 27, 331-339.

Fox, K. B., Miltner, R. J., Logsdon, G. S., Dicks, D. L., Drolet, J. J., 1984, Pilot-plant studies of slow-rate filtration, J. Am. Water Works Ass., 76(12), 62-68.

Fukushima, M., Takamura, N., Kim, B. H., Nakagawa, M., Sun, L., Zheng, Y., 2000, The responses of an aquatic ecosystem to the manipulation of the filter-feeding silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*), Verh. Internat. Verein. Limnol., 27, 1-7.

Gary, S. L., 1991, Slow Sand Filtration, ASCE, New York.

Heath, R. T., Fahnenstiel, G. L., Gardner, W. S., Cavaletto, J. F., Hwang, S. J., 1995, Ecosystem-level effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): an enclosure experiment in Saginaw Bay, Lake Huron, J. Great Lakes Res., 21, 501-516.

Hwang, S. J., Jeon, M. J., Kim, N. Y., Kim, B. H., 2008, Grazing rate and pseudofaeces production of native snail *Cipangopaludina chinensis malleata* Reeve on toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, Korean J. Limnol., 41, 77-85.

Ibelings, B. W., Vonk, M., Los, F. J., van der Molen D. T., Mooij, W. M., 2003, Fuzzy modeling of cyanobacterial surface waterblooms, validation with 12 years of NOAA-AVHRR satellite images, Ecological Applications, 13, 1456-1472.

Jack, J. D., Thorp, J. H., 2000, Effects of the benthos suspension feeder *Dressena polymorpha* on zooplankton on a large river, Freshwater Biol., 44, 569-579.

Jun, H. B., Lee, Y. J., Shin, S. S., 2003, Removal of particulayes and natural organic matters (NOM) in a surface amended slow sand filter, J. Korean Soc. Environ. Eng., 25(9), 1132-1137.

Kim, S. S., Park, N. S., Kim, C. H., Park, J. K., 2008a, Analysis and effectiveness of biological thin layer (Schmutzdecke) on the sand surface in slow sand filtration processes, J. of Korean Soc. of Water and Wastewater, 22(3), 289-298.

Kim, S. S., Bae, C. H., Park, N. S., Kang, S. H., 2008b, Evaluation of particulate removal in slow sand filtratiion processes, J. of Korean Soc. of Water and Wastewater, 22(4), 461-466.

Lampert, W., Flecker, W., Rai, H., Taylor, B. E., 1986, Phytoplankton control by grazing zooplankton: a study on the spring clear-water phase, Limnol. Oceanogr., 31, 478-490.

Lee, S. B., Koh, M. H., Na, Y. E., Kim, J. H., 2002, Physiological and ecological characteristics of the apple snails, Korean J. of Environ. Agricult., 21(1), 50-56.

Manage, P. M., Kawabata, Z., Nakano, S., 1999, Seasonal changes in densities of cyanophage infectious to *Microcystis aeruginosa* in hypereutrophic pond, Hydrobiologia, 411, 211-216.

Oya, S., Hirai, Y., Miyahara, Y., 1987, Overwintering of apple snails, Pomacea canaliculata Lamarck, in North Kyushu, Japanese J. of Appl. Entomol. Zool., 33, 206-212.

Reeders, H. H., de Vaate, A. B., 1990, Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management, Hydrobiologia, 200-201, 437-450.

Rooklidge, S. J., Miner, J. R., Kassim, T. A., Nelson, P. O., 2005, Antimicrobial contaminant removal by multistage slow sand filtration, J. Am. Water Works Ass., 97(12), 92-100.

Son, H. J., Yeom, H. S., Jang, S. H., 2010, Removal characteristics of geosmin in a slow sand filtration process, J. Korean Soc. Environ. Eng., 32(8), 754-760.