

부영양 저수지의 수질개선을 위한 CROM 운영 및 유속의 영향

이주환 · 황순진 · 김백호[†]

건국대학교 환경과학과

Role of Water Current in the CROM Operation for the Water Quality Improvement of Eutrophic Reservoir

Ju-Hwan Lee · Soon-Jin Hwang · Baik-Ho Kim[†]

Department of Environmental Science, Konkuk University

(Received 26 January 2010, Revised 9 March 2010, Accepted 16 March 2010)

Abstract

Continuous removal of organic matters (CROM) using freshwater bivalve *Anodonta woodiana* was operated to evaluate the effect of water current on the water quality improvement (clearance) of eutrophic lake. The CROM system comprised three treatment steps such as flow control, treatment and analysis, and operated at the two different currents (24 L h⁻¹ and 48 L h⁻¹) with mussels at density of 312.5 indiv. m⁻² for 12 consecutive days. Water quality including suspended solids (SS) and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) was daily measured at the same time. Results indicate that although both the system strongly decreased the concentration of SS and chl-*a*, a slow CROM system was more effective to diminish the SS contents than a fast CROM system; 82% and 66%, respectively (ANOVA, *P*<0.0001). Clearance rates, based on chl-*a*, were also significantly higher in a slow system than a fast system (ANOVA, *P*<0.0001), although the mussel mortality was conversely. In both systems, there showed a remarkable excretion of dissolved inorganic nutrients (i.e. NH₃-N and PO₄-P), while a slow CROM system was higher than a fast system, significantly (ANOVA, *P*<0.0001). Therefore, it may suggest that a slow current CROM system is more suitable to maximize the efficacy of water quality improvement, but further study is needed to diminish the mortality of mussel and to reuse the nutrient released during the operation.

keywords : CROM system, Current, Eutrophic lake, Freshwater bivalve, Suspended solids, Water quality improvement

1. 서론

생물조절(biomanipulation)에 이용되는 여러 유용생물 중 패류(bivalves)는 뛰어난 투명도 개선 및 유기물(조류) 제어 능력을 나타내어 최근 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 초기에는 주로 유럽과 미국을 중심으로 얼룩말조개(zebra mussel)에 대한 생리·생태학적 연구가 집중적으로 진행되어 왔으며(Nalepa and Schloesser, 1993), 이를 바탕으로 수질 개선에 이용하기 위한 다양한 시도가 진행되었다(Neumann and Jenner, 1992; Reeders and Vaate, 1990). 국내에서는 재첩과 말조개, 펄조개 등에 대한 여과율 조사가 이루어졌으나(김백호 등, 2009a; 이주환 등, 2009; 정의영 등, 1997; 황순진 등, 2002; Hwang et al., 2004) 이들 대부분의 연구가 실내 및 야외 mesocosm 수준에서 이루어지고 있을 뿐이다.

패류의 섭식활동은 식물플랑크톤의 종 조성(Hwang, 1996)이나 패류밀도(Welker and Walz, 1998), 수온(Fanslow et al., 1995; Reeders and Vaate, 1990), 먹이농도(Dorgelo and Smeenk, 1988; Sprung and Rose, 1988), 섭식과정 중에 배

출된 영양염에 의한 식물플랑크톤의 재생산(Hwang et al., 2001) 등과 같은 요인의 복합적인 작용에 의해 영향을 받는다고 알려져 왔다. 특히 유속은 일정 수준까지는 증가할수록 유기물 제어효율이 증가하지만(Leversee, 1976; Mcfadden, 1986), 그 이상의 빠른 유속에서는 오히려 효과가 감소되며(Cole et al., 1992; Wildish and Saulnier, 1992), 패류의 성장 역시 감소한다고 알려져 왔다(Grizzle et al., 1992; Wildish and Saulnier, 1992). 따라서 패류를 이용한 수질개선 시 다양한 패류의 종류와 크기에 따라 적정 유속을 찾아내는 것은 매우 중요하다고 하겠다.

최근 국내에서는 부영양 호소수를 실내로 유입하여 패류를 이용하여 처리하고 처리수는 다시 현장으로 환원시키고 동시에 배설물은 수거장치를 통해 수거하여 토양화시키는 흐름형 유기물제거 기술인 이른바 'CROM' (Continuous Removal of Organic Matters)을 개발한 바 있다(김백호 등, 2009a). 이 방법은 McIvor(2004)의 기술을 기본형으로 패류밀도, 유속, 처리수, 패류의 적용방법 등을 변형한 것이다. 이주환 등(2009)은 CROM을 이용하여 국내산 말조개와 펄조개의 종내(intra-specific) 또는 종간(inter-specific)의 유기물 제어능을 비교하였고, 김백호 등(2009a)은 CROM 운영 시 퇴적물의 영향을 조사하였으며, 김백호 등(2009b)은 오

[†] To whom correspondence should be addressed.
oel@konkuk.ac.kr

염된 하천의 현장에 적용할 수 있도록 변형시킨 ‘하천형 CROM’ (S-CROM)을 개발하여 적용한 바 있다.

본 연구는 이러한 선행연구들의 운영조건을 참고하여 유속이 유기물 제어능에 미치는 영향을 파악하고자 국내 산 펠조개를 동일한 크기와 밀도로 적용한 후 다양한 유속 조건 하에서 유기물제어능 및 수질변화를 각각 조사하였다.

2. 연구방법

2.1. 패류채집 및 관리

실험에 사용된 패류는 국내 담수산 이매패 펠조개(*Anodonta woodiana* Lea)이며, 이들은 수중에 유기물이 많고 하상이 주로 모래나 펄로 이루어진 하천이나 관개수로에서 높은 밀도로 분포한다(권오길과 최준길, 1982; 김백호 등, 2009a). 패류는 금강 지류에서 성체만을 채집하고 현장에서 곧바로 불순물을 제거한 다음 젖은 타월로 수분을 유지하면서 실험실로 운반하였다. 운반된 패류는 실험실에서 탈염 수돗물로 2~3회 세척한 다음 플라스틱 패류 관리조에 넣어 순응시켰다. 실험에 사용할 패류는 실험 2~3일 전에 관리조에서 꺼내 먹이공급을 중단하였다.

2.2. 실험디자인

실험에 사용한 CROM은 크게 저류조, 처리조, 분석조로 구성되며 분석조를 통과한 실험수는 저수지로 다시 환원시켰다. 처리조의 용량은 500 L이며, 패류는 stainless steel lattice (80×80×1.45 cm)에 넣어 수표면 10 cm 아래에 설치하고, 패류밀도는 CROM의 크기를 고려하여 동일하게 312.5 ind.m⁻²로 설정하고 부영양 호수(일감호, 서울)의 표층수를 두 가지 유속 - 24 L h⁻¹(FL-1), 48 L h⁻¹(FL-2)으로 통과시켰다. 본 연구에 사용된 FL-1은 김백호 등(2009a)과 이주환 등(2009)의 선행연구에서 유사한 패류밀도에서 가장 높은 유기물 제어능을 보였던 조건(유속; 20~25 L h⁻¹)를 고려하여 설정하였으며, FL-2는 유속 증가에 따른 CROM 처리효율을 비교하고자 FL-1의 2배 빠른 유속으로 설정하였다. 이는 SS와 Chl-*a* 제어능이 50% 미만이었던 Mclvor(2004)가 적용한 조건(유속; 143 L h⁻¹, 패류밀도; 1481.5 ind·m⁻²)보다 약 5배 이상 낮은 수준이며 CROM의 규모 또한 약 7배 이상 작다. 사용된 실험수는 패류의 사망률을 낮게 하기 위하여 18±2°C로 조절하였고, 광주기는 12D:12L로 제공하였다. 실험 도중 사망한 패류는 유사한 크기의 패류로 곧바로 보충하였다. 패류처리에 의한 수질개선 효과를 파악하기 위해 매일 같은 시간에 일정량의 시료를 채취하여 유기물 및 영양염의 변화를 분석하였으며 5일 간격으로 패류의 배설물을 수거하여 배설물 생산량을 각각 측정하였다.

2.3. 환경요인 분석

CROM 운영 시 환경요인을 측정하기 위하여 Portable multi-parameter(HORIBA U-22XD, HORIBA Ltd., Japan)를 이용하여 수온, pH, 전기전도도, 용존산소(DO), 탁도(Tur-

bidity) 등을 매일 동일한 시간(AM 11:00)에 측정하였고, 유기물 및 영양염 농도를 확인하기 위해 분석조에서 시료를 채취하였다. 채수된 시료는 곧바로 수질공정시험법(APHA, 1995)에 따라 Chl-*a*는 GF/F filter(Whatman Inc., England)로 여과한 후 90% 아세톤을 이용하여 24시간 동안 냉암소에서 추출한 후 20분간 원심분리기로 분리하여 상등액의 흡광도를 측정하는 아세톤 추출법을 이용하였다. 부유물질(SS)은 시료를 미리 무게를 잰 GF/C filter(Whatman Inc., England)로 filtering 한 후 dry oven에서 24시간 건조한 후 filter paper의 무게차이를 측정하는 방법을 이용하였다. 영양염의 경우, NO₂-N은 Colorimetric법, NO₃-N은 cadmium reduction법, NH₃-N은 phenate법, TN은 cadmium reduction법, PO₄-P은 ascorbic acid법, TP은 persulfate 분해 후 ascorbic acid법으로 용존무기인 농도를 각각 측정하였다(APHA, 1995). 또한 HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger(UA-002-08, Onset computer Corporation, USA)를 이용하여 CROM 운영 동안 수온과 광도를 30분 간격으로 측정하여 수중 내 탁도성 유기물질의 간접지표로 활용하였다.

2.4. 패류의 유기물 여과율

패류의 유기물 제거율 또는 여과율(Clearance rates, CR)은 실험기간 동안 대조군과 패류 처리군의 수체 내 Chl-*a*의 농도 차이를 패류의 유기물량으로 나누어 계산하였으며 계산식은 다음과 같다(Coughlan, 1969).

$$CR (L g^{-1} d^{-1}) = V/M \times \ln(T/C) / \Delta t \quad (1)$$

V는 실험수의 부피(L)이며, M은 사용된 패류의 유기물량(g), C와 T는 대조군과 처리군의 Chl-*a*농도(μg L⁻¹), Δt는 실험시간의 변동(d)이다.

패류의 유기물량은 순응조의 다양한 크기의 패류를 이용하여 유기물량을 직접 측정하였으며(김백호 등, 2009a; Hwang et al., 2004), 실측치와 패류의 길이, 폭, 무게 중 가장 높은 상관성을 갖는 관계식을 이용하여 실험에 사용한 각 패류의 유기물량을 추정하였다. 본 실험에서는 실측된 유기물량과 가장 높은 상관성을 보였던 패류의 길이($r^2 = 0.923$, $n = 59$, $P < 0.0001$)를 이용하여 실험에 사용된 패류의 유기물량을 계산하였다(Fig. 1).

2.5. 자료분석

패류적용과 유속에 따른 수질환경변화의 상관성을 파악하기 위해 SPSS package(ver. 12.0.1, SPSS inc., 2004 release)를 이용하여 ANOVA와 Tukey's THD test를 실시하였고, 유의수준은 $P < 0.05$ 으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 환경요인 변화

패류의 적용과 유속 차이에 따른 실험수의 환경요인 변

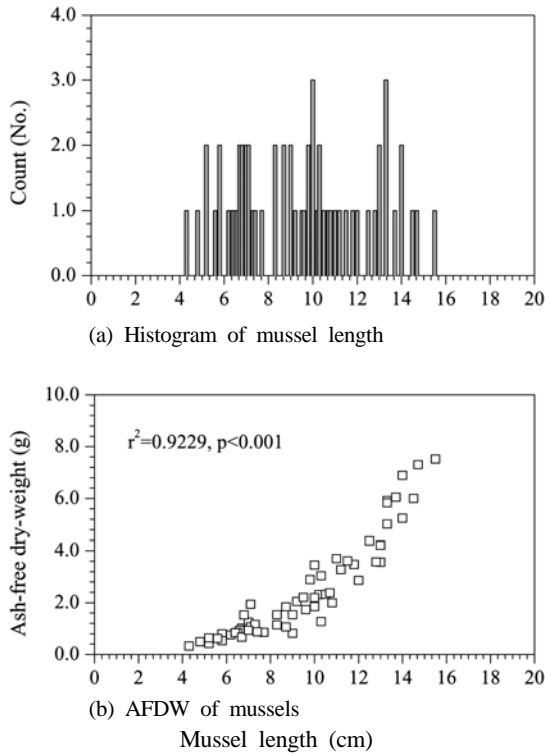


Fig. 1. Relationship between ash-free dry-weight (g) and mussel length (cm) of *Anodonta woodiana* (n=59) collected from a tributary of Geum River.

화를 측정하였다. 수온은 실험기간 동안 대조군과 처리군에서 거의 차이가 없었으며 18~25°C의 범위를 나타냈다 (Table 1). 광도는 패류처리 후 지속적으로 증가하다가 배설물 수확과 CROM 장치의 세척 직후 감소한 다음 서서히 다시 증가하는 패턴을 보였다. 또한 유속이 낮은 CROM (FL-1)에서 가장 높은 광도를 나타낸 것으로 보아 낮은 유

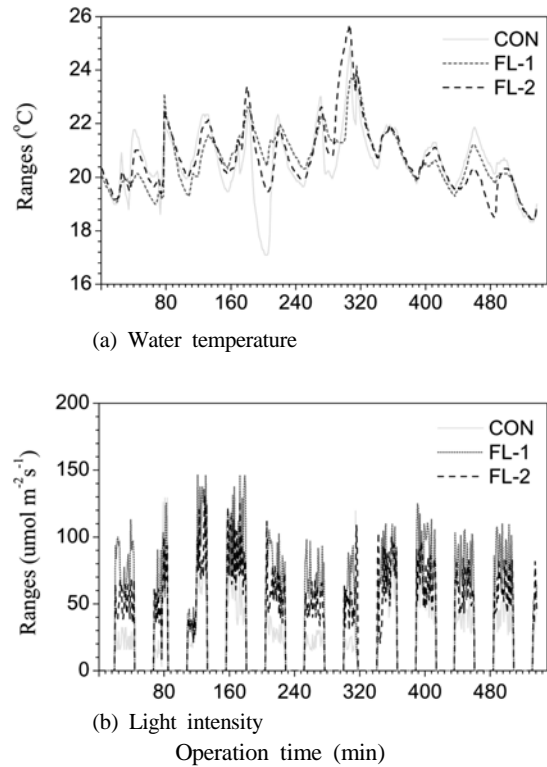


Fig. 2. Water temperatures (a) and light intensity (b) for 12 days in the CROM system. Control = the eutrophic lake water tank without mussels, FL-1 = slow current CROM, FL-2 = fast current CROM and 200 individuals of *Anodonta woodiana* were added to each tank, respectively.

속에서 패류의 여과섭식 활동이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있었다(Fig. 2). 한편 용존산소, 탁도, Chl-a, 부유물질(SS) 등은 대조군과 처리군간에 뚜렷한 차이를 보였다.

Table 1. Summary of ANOVA on environmental quality, clearance rate, production of feces - and pseudo-feces and mortality by the stocking of mussels in the CROM study

Variables	Unit	Control	FL-1	FL-2	F	P
Tmp.	°C	20.27±0.34	20.13±0.23	20.33±0.35	0.106	0.900
Cond.	µscm ⁻¹	28.54±0.32	29.21±0.31	28.87±0.27	1.229	0.301
DO	mg L ⁻¹	9.84±0.39 ^a	8.10±0.42 ^b	8.43±0.41 ^b	5.116	0.009
Turbidity	NTU	32.17±0.83 ^a	15.53±0.26 ^c	18.79±0.51 ^b	230.734	<0.0001
pH		8.44±0.06	8.39±0.05	8.38±0.06	0.355	0.703
Chl-a	µg L ⁻¹	34.32±4.12 ^a	9.52±1.19 ^b	14.37±1.89 ^b	23.541	<0.0001
SS	mg L ⁻¹	11.35±0.58 ^a	1.99±0.25 ^c	3.84±0.36 ^b	138.226	<0.0001
NO ₂	µg L ⁻¹	0.03±0.01 ^a	0.11±0.01 ^c	0.07±0.01 ^b	18.325	<0.0001
NO ₃	mg L ⁻¹	0.06±0.01	0.11±0.02	0.08±0.01	2.393	0.102
NH ₃	µg L ⁻¹	36.77±6.87 ^a	306.09±16.31 ^c	214.99±14.57 ^b	107.127	<0.0001
TN	mg L ⁻¹	1.92±0.25	2.17±0.22	2.09±0.20	0.313	0.733
SRP	µg L ⁻¹	10.38±4.20	17.94±3.07	19.26±4.20	1.543	0.224
TP	µg L ⁻¹	91.63±5.11	69.80±5.63	79.91±7.63	3.084	0.054
CR	L ind. ⁻¹ d ⁻¹	-	3.30±1.03 ^b	2.30±0.97 ^a	76.782	<0.0001
PF	g g ⁻¹ d ⁻¹	350.00±216.97	1955.56±1238.79	216.67±125.05	1.759	0.183

Control: lake water without mussels, FL-1 and FL-2: lake water with low and high flow current, Tmp: temperature, Cond.: electric conductivity, DO: dissolved oxygen, SS: suspended solids, Chl-a: chlorophyll-a, TN: Total nitrogen, SRP: soluble reactive phosphorus, TP: total phosphorus, CR: Clearance rates, PF: production of feces - and pseudo-feces. Alphabets (a, b and c) are significant differences by ANOVA and Tukey's THD test.

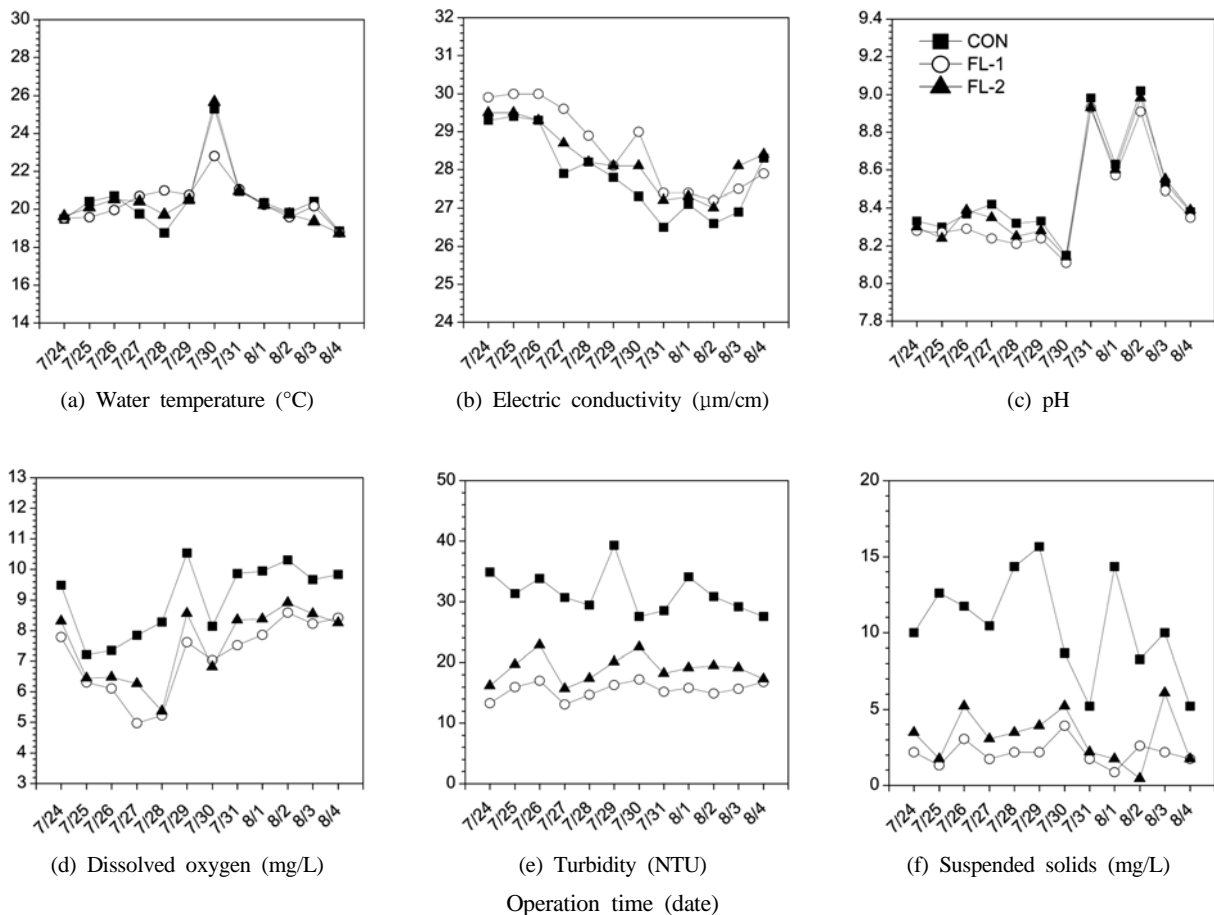


Fig. 3. Daily variations of physicochemical parameters following the mussel introduction with different velocity in the CROM system. FL-1 = slow current CROM, FL-2 = fast current CROM.

특히 유기물의 지표인 탁도(FL-1 : 15.53 ± 0.26 , FL-2 : 18.79 ± 0.51 , $F=230.734$, $P<0.0001$)와 SS(FL-1 : 1.99 ± 0.25 , FL-2 : 3.84 ± 0.36 mg L^{-1} , $F=138.226$, $P<0.0001$)는 FL-1 CROM에서 FL-2 CROM 보다 더 낮은 농도를 나타냈다(Table 1; Fig. 3). 이상의 결과에서 패류의 섭식에 의한 유기물의 제어는 낮은 유속에서 보다 효과적이었으며, 2배 이상 빠른 유속과는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

3.2. 영양염 변화

유속 차이에 따른 패류처리군내 영양염 농도는 낮은 유속에서 $\text{NO}_2\text{-N}$ (FL-1: 0.11 ± 0.01 , FL-2: 0.07 ± 0.01 $\mu\text{g L}^{-1}$, $F=18.325$, $P<0.0001$)와 $\text{NH}_3\text{-N}$ (FL-1: 306.09 ± 16.31 , FL-2: 214.99 ± 14.57 $\mu\text{g L}^{-1}$, $F=107.127$, $P<0.0001$)의 농도가 크게 증가하였으며 높은 유속과 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 두 유속간에 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나($F=1.543$, $P=0.244$), 패류처리군이 대조군보다 높은 농도를 나타냈다(Control: 10.38 ± 4.20 , FL-1: 17.94 ± 3.07 , FL-2: 19.26 ± 4.20 $\mu\text{g L}^{-1}$). TP는 패류처리군보다 대조군이 더 높았으나(Control: 91.63 ± 5.11 , FL-1: 69.80 ± 5.63 , FL-2: 79.91 ± 7.63 $\mu\text{g L}^{-1}$, $F=3.084$, $P=0.054$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 와 마찬가지로 통계학적 유의성은 보이지 않았다(Table 1, Fig. 4). 이상의 결과에서 영양염의 농도는 대조군보다 패류처리군

에서 높게 나타났으며, 질소가 인에 비해 상대적으로 더 많은 양이 배출되었다. 패류는 섭식과정 동안 암모니아 형태의 질소를 높게 배출하며(Burton, 1983), 인보다 질소를 높게 배출하는 것으로 알려져 왔다(Heckey and Kilham, 1988). 또한 패류처리에 따른 수중내 용존 무기영양염($\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)의 증가는 어류나 박테리아와 같은 유용생물 실험에서도 이미 밝혀진 바 있다(김백호 등, 2005; 김백호 등, 2009a; 이주환 등, 2009; 황순진 등, 2010; Fukushima et al., 1999). 김호섭 등(2004)은 패류에 의해 수중내 영양염이 증가하더라도 수체의 투명도가 증가하여 침수식물이나 부착조류의 성장에 의한 용존 영양염의 제거가 일어난다고 보고하였다. 그러나 이러한 방법은 CROM 운영시에는 적용하기 어렵기 때문에 고농도 영양물질 포함 CROM 처리수를 다른 유용생물(조류, 식물 등)의 배양수로 이용할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

3.3. 조류제거율의 변화

유속에 따른 패류처리군의 평균 조류 제거율(CR)은 유속이 낮은 FL-1(3.30 ± 1.03 $\text{L ind.}^{-1} \text{d}^{-1}$)이 유속이 빠른 FL-2(2.30 ± 0.97 $\text{L ind.}^{-1} \text{d}^{-1}$)보다 더 높게 나타났다.

이는 Kirby-Smith(1972)와 Jorgensen 등(1986)이 빠른 유속은 패류가 수중의 입상성 물질을 여과하는 능력을 감소

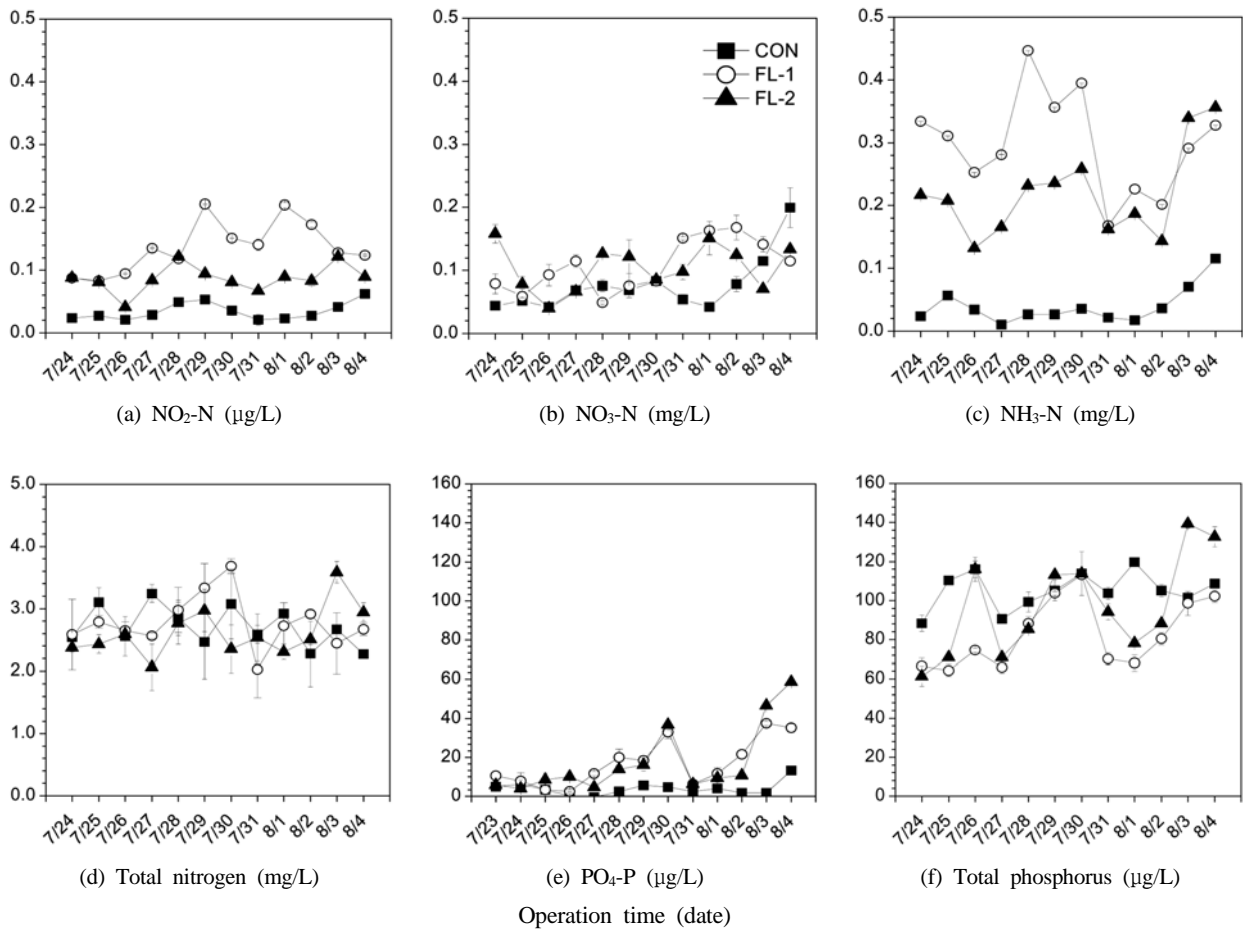


Fig. 4. Daily variations of concentrations of nutrients following the mussel introduction with different velocity in the CROM system. FL-1 = slow current CROM, FL-2 = fast current CROM.

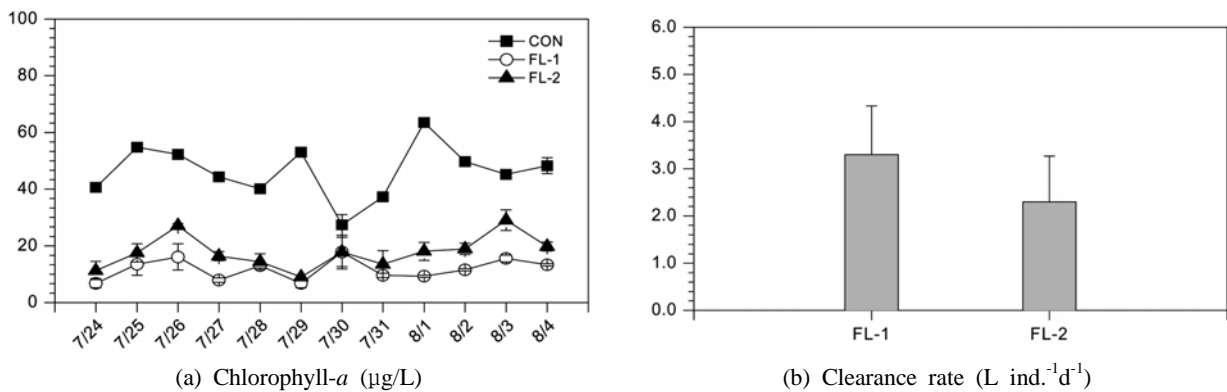


Fig. 5. Chlorophyll-a and clearance rate (CR) of freshwater bivalve *Anodonta woodiana* in the operation of CROM system with different velocity. FL-1 = slow current CROM, FL-2 = fast current CROM.

시킨다고 보고한 것과 일치한다. 또한 CROM 장치의 체류 시간을 이주환 등(2009)과 비교해 보면, 동일한 유속(24 L h⁻¹)과 크기(10.6~11.4 cm)에서 체류시간이 길어질수록 높은 조류제거율을 나타냈으며(4.47±1.82 L ind.⁻¹ d⁻¹), 가장 높은 유속(48 L h⁻¹)에서 체류시간이 10.4 h로 짧을수록 낮은 조류제거율(2.30±0.97 L ind.⁻¹ d⁻¹)을 나타냈다. 이상의 결과에서 지나치게 빠른 유속은 조류 제거율 감소를 야기시키며, CROM내 체류시간 역시 조류제거율에 중요한 역할을 한다

는 것을 알 수 있었다.

유속이 빠른 경우와 반대로 지나치게 낮은 유속 역시 조류제거율을 감소시키는 것으로 판단되었다. 동일한 실험장치와 패류를 이용한 이주환 등(2009)의 연구에서 패각 길이(8~11 cm)가 유사할 때 유속이 지나치게 낮은 경우(12 L h⁻¹) 조류제거율은 0.87±0.17 L ind.⁻¹ d⁻¹로서 더 빠른 유속(24 L h⁻¹)에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타냈다(Table 2). 이처럼 조류제거율이 낮은 것은 낮은 유속으로 인해 체류

Table 2. Clearance rates of freshwater bivalves according to the different current and retention time

Mussels	Current (L h ⁻¹)	RT (h)	Shell length (cm)	CR (L ind. ⁻¹ d ⁻¹)	References
<i>Anodonta woodiana</i>	12	1.5	8.5±1.0	0.87±0.17	Lee et al. (2009)
	24	22.7	11.4±1.8	4.47±1.82	Lee et al. (2009)
	24	3.9	11.4±1.3	1.23±0.20	Lee et al. (2009)
<i>Unio douglasiae</i>	24	3.9	6.8±0.6	0.55±0.18	Lee et al. (2009)
<i>Anodonta woodiana</i>	24	20.8	10.6±1.9	3.30±1.03	This study
	48	10.4	10.6±1.9	2.30±0.97	This study

RT: Retention time, CR: Clearance rates

시간이 길어지고 이로 인해 패류의 섭식활동을 통해 배출된 영양염이 수체 내에서 빠른 시간 내에 배출되지 않고 오랫동안 남아 있음으로써 식물플랑크톤의 재생산이나 패류의 섭식활동에 영향을 주었기 때문이다. 얼룩말조개를 이용한 enclosure 실험에서 Heath 등(1995)은 보통 패류가 없는 장소(호수)보다 패류가 많은 장소에서 더 높은 식물플랑크톤 성장률을 보인다고 하였고, Hwang 등(2001)은 재첩 실험에서 패류에 의해 섭식되지 않은 식물플랑크톤의 체적이 증가한다고 보고하였다. 또한 *Mytilus trossulus*와 *M. californianus*를 이용한 Ackerman and Nishizaki(2004)의 실험에서 *M. trossulus*는 일정 유속(1~18 cm s⁻¹) 범위에서는 낮은 유속보다 높은 유속에서 더 높은 CR을 보였으며 *M. californianus*는 유속이 증가할수록 CR값이 증가하다가 일정 유속이상에서는 다시 감소하였다.

이상의 연구결과와 선행연구들을 종합하여 보면, 패류에 의한 조류제거는 유입수의 수질이나 조류종 구성 등에 따라 차이를 보일 수 있으나 필조개를 이용한 유기물 제어시 현재의 패류밀도와 CROM 크기를 고려한다면 적절한 유속은 24 L h⁻¹ (20~25 L h⁻¹)가 적합할 것으로 판단된다. 다만 현재의 유속 (24 L h⁻¹)은 일일 약 0.6t 정도의 낮은 처리량으로 통상적인 수처리의 완속여과에 의한 처리보다 낮기 때문에 많은 시간을 요구할 것으로 판단된다. 따라서 부영양 저수지의 유기물 제어에 필요한 적절한 패류밀도, 유속 및 처리효율을 동시에 만족할 수 있는 CROM의 구조 개선이나 보다 제어능이 높은 패류 개발 등의 추가적인 연구가 절대적으로 필요하다 하겠다.

4. 결론

국내 담수산 이매패인 필조개를 이용한 CROM 운영시 유속에 따른 수질개선 효과를 비교, 조사하였다. CROM에 적용한 유속은 선행 연구를 근거로 두 가지 유속 24 L h⁻¹ (FL-1), 48 L h⁻¹ (FL-2)을 선정하였고, 패류의 처리밀도는 312.5 ind. m⁻²로 총 12일 동안 운영하였다. 환경 및 생물 요인 변화를 파악하기 위하여 매일 동일한 시간에 수온, pH, 전기전도도, 용존산소, 투명도, 영양염, Chl-a, 부유물질(SS), 조류제거율을 분석하였다. 분석결과, 유속이 느린 처리군(FL-1)에서 유속이 빠른 처리군(FL-2)보다 뚜렷한 조류제어(Chl-a 감소, 조류 제거를 증가, SS 감소, 투명도 증가) 효과를 보였으며 패류처리군 모두 용존 영양염 농도

증가를 나타냈다. 따라서 필조개를 이용한 CROM 운영시 유기물 제어능을 높이기 위하여 적절한 유속 (24L h⁻¹)을 적용하는 것이 효과적으로 나타났으며 현장 적용을 위하여 일일 처리용량을 높이기 위한 추가적인 연구가 요구되었다.

사 사

본 연구는 2009년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2009-0070746)이며, 실험을 도와주신 이송희, 김용진님에게 감사드립니다.

참고문헌

- 권오길, 최준길(1982). 의암호의 패류에 관한 연구 (2) 의암호의 패류상과 어류의 패류내 산란에 관한 연구. *한국유수학회지*, **15**, pp. 39-50.
- 김백호, 정승원, 서종근, 서미연, 한명수(2005). 살조세균 적용이 식물플랑크톤 군집과 조류독소 분포에 미치는 영향. *한국하천호수학회지*, **38**, pp. 261-270.
- 김백호, 백순기, 황수옥, 황순진(2009a). 담수산 이매패 필조개를 이용한 흐름형 유기물 제어(CROM) 운영-퇴적물의 영향. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 161-171.
- 김백호, 이주환, 김용재, 황수옥, 황순진(2009b). 포천천 수질개선을 위한 패류의 이용 하천형 유기물 제어(S-CROM) 기술의 적용. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 317-330.
- 김호섭, 박정환, 공동수, 황순진(2004). 참채첩을 이용한 부영양호의 수질개선. *한국하천호수학회지*, **37**, pp. 332-343.
- 이주환, 황순진, 박선구, 황수옥, 유춘만, 김백호(2009). CROM를 이용한 부영양 저수지의 유기물 제어: 이매패의 특징이성에 대하여. *한국하천호수학회지*, **42**, pp. 350-363.
- 정의영, 신윤경, 최문술(1997). 새만금호의 수질에측과 그에 따른 대책 I. 환경 오염원이 참채첩(*Corbicula leana*)의 여수작용 및 산소소비에 미치는 영향. *한국패류학회지*, **13**, pp. 203-210.
- 황순진, 김호섭, 최광현, 박정환, 신재기(2002). 국내 담수산 조개의 섭식활동이 호수 수질에 미치는 영향. *한국하천호수학회지*, **35**, pp. 92-102.
- 황순진, 박구성, 백순기, 김백호(2010). 부영양 저수지에서 국내 담수산 패류가 수질에 미치는 영향. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**, pp. 148-155.
- APHA (1995). Standards methods for the examination of water and wastewater (19th ed). American Public Health Association, Washington, D.C.
- Ackerman, J. D. and Nishizaki, M. T. (2004). The effect of

- velocity on the suspension feeding and growth of the marine mussels *Mytilus trossulus* and *M. californianus*: implications for niche separation. *J. Mar. Sys.*, **49**, pp. 195-207.
- Burton, R. F. (1983). Ionic regulation and water balance. pp. 291-352. In: the mollusca, A. S. M. Saleuddin and K. M. Wilbur (eds.), Academic Press, New York.
- Cole, B. E., Thompson, J. K., and Cloern, J. E. (1992). Measurement of filtration rates by infaunal bivalves in a recirculating flume. *Mar. Biol.*, **113**, pp. 219-225.
- Coughlan, J. (1969). The estimation of filtration rates from the clearance of suspensions. *Mar. Biol.*, **2**, pp. 256-258.
- Dorgelo, J. and Smeenk, J. W. (1988). Contribution to the ecophysiology of *Dreissena polymorpha* (Pallas) (Mollusca: Bivalvia): Growth, filtration rate and respiration. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **23**, pp. 2202-2208.
- Fanslow, D. L., Nalepa, T. F., and Lang, G. A. (1995). Filtration rates of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on natural seston from Saginaw Bay, Lake Huron. *J. Great Lakes Res.*, **21**, pp. 489-500
- Fukushima, M., Takamura, N., Sun, L., Nakagawa, M., Matsushige, K., and Xie, P. (1999). Changes in plankton community following introduction of filter-feeding planktivorous fish. *Freshwater Biol.*, **42**, pp. 719-736.
- Grizzle, R. E., Langan, R., and Howell, W. H. (1992). Growth responses of suspension-feeding bivalve mollusks to changes in water flow: differences between siphonate and nonsiphonate taxa. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **162**, pp. 213-228.
- Heath, R. T., Fahnenstiel, G. L., Gardner, W. S., Cavaletto, J. F., and 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**, pp. 501-516.
- Heckey, R. E. and Kilham, P. (1988). Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, **33**, pp. 796-822.
- Hwang, S. J. (1996). Effects of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on phytoplankton and bacterioplankton : Evidence for size-selective grazing. *Kor. J. Limnol.*, **29**, pp. 363-378.
- Hwang, S. J., Kim, H. S., and Shin, J. K. (2001). Filter feeding effects of a freshwater bivalve(*Corbicula leana* PRIME) on phytoplankton. *Kor. J. Limnol.*, **34**, pp. 298-309.
- Hwang, S. J., Kim, H. S., Shin, J. K., Oh, J. M., and Kong, D. S. (2004). Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* PRIME) and large zooplankton on Phytoplankton communities in two Korean lakes. *Hydrobiologia*, **515**, pp. 161-179.
- Jorgensen, B. C., Famme, P., Kristensen, H. S., Larsen, P. S., Mohlenberg, F., and Riisgard, H. U. (1986). The bivalve pump. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **34**, pp. 69-77.
- Kirby-smith, W. W. (1972). Growth of the bay scallop: the influence of experimental water currents. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **8**, pp. 7-18.
- Leverses, G. J. (1976). Flow and feeding in fan shaped colonies of the gorgonian coral *Leptogorgia*. *Biol. Bull.*, **151**, pp. 344-356
- McFadden, C. S. (1986). Colony fission increase particle capture rates of a soft coral: advantages of being a small canopy. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **103**, pp. 1-20.
- Mclvor, A. L. (2004). Freshwater mussels as biofilters. Ph.D. thesis. Pembroke College.
- Nalepa, T. F. and Schloesser, D. W. (1993). Zebra mussels: Biology, impacts and control. Lewis, Boca Raton, Florida.
- Neumann, D. and Jenner, H. A. (1992). The zebra mussel- Ecology, Biological Monitoring and First Applications in the Water Quality Management. Gustav Fischer, New York.
- Reeder, H. H. and Bij de Vaate, A. (1990). Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia*, **200/201**, pp. 437-450.
- Sprung, M. and Rose, U. (1988). Influence of food size and food quality of the feeding of the mussel *Dreissena polymorpha*. *Oecologia*, **77**, pp. 526-532.
- Welker, M. and Walz, N. (1998). Can mussels control the plankton in rivers?- A planktonological approach applying a Lagrangian sampling strategy. *Limnol. Oceanogr.*, **43**, pp. 753-762.
- Wildish, D. J. and Saulnier, A. M. (1992). The effect of velocity and flow direction on the growth of juvenile and adult giant scallops. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **133**, pp. 133-143.