

부영양 저수지의 수질개선을 위한 수로형 CROM 개발 및 운영: 패류밀도의 효과

김백호 · 민한나 · 이송희 · 황순진*

(건국대학교 생명환경과학대학 환경과학과)

Development and Operation of Canal-type CROM for Water Quality Improvement of Eutrophic Reservoir: Mussel Density Effect. Kim, Baik-Ho, Han-Na Min, Song-Hee Lee and Soon-Jin Hwang* (Departments of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

A novel or canal-type continuous removal of organic matter (C-CROM) with combined freshwater bivalves (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) was developed to improve the water quality (IWQ) of eutrophic reservoirs. The first experiment was performed for 12 days to measure the IWQ using 256 individuals of combined bivalves (ca. 7:3), at the same density that distributed in the collection stream. The second experiment was conducted to evaluate the efficacy of IWQ with the addition of each 30% of two mussels for 14 days. Results indicated that a novel C-CROM significantly decreased suspended solids, chlorophyll-*a*, transparency, total nitrogen and phosphorus, and increased ammonium and biodeposition (*t*-test, $P < 0.001$ for all), while other dissolved inorganic nutrients such as NO_2 , NO_3 , and SRP did not change (*t*-test, $P > 0.5$). Daily IWQ performances of C-CROM with combined mussels was about two times higher to the previous studies using single species where less suspended inorganic nutrients were released except for ammonia. Collectively, a C-CROM is more strategic to the water quality improvement of eutrophic lake.

Key words : canal type-CROM, eutrophic reservoir, freshwater bivalves, *Unio douglasiae*, *Anodonta woodiana*, water quality improvement

서 론

이때때와 수질과의 관계는 유럽과 북미를 중심으로 하는 침입종 얼룩말 조개 (*Dreissena polymorpha*)의 생태계 교란이 사회적인 이슈가 되면서 비롯되었으며 (Reeders and Vaate, 1990; Neumann and Jenner, 1992; Nalepa and Schloesser, 1993; Gosling, 2003), 최근 이들의 여과능을 이용하여 부영양 저수지의 수질개선에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다 (Reeders and Vaate, 1990; Soto and Mena, 1999; Hakenkamp *et al.*, 2001; Dionisio Pires

et al., 2005a, b). 다만 패류를 저수지에 직접 도입한 사례는 아직까지 보고된 바 없으며 주로 소형 연못이나 오염된 방류하천을 대상으로 하는 실험적 연구만이 있을 뿐이다 (McIvor, 2004). 국내에서도 이때때를 이용한 수질개선 연구가 진행되고 있으나 역시 실험실이나 mesocosm 수준에 머물고 있다 (정 등, 1997; Hwang *et al.*, 2004; 이 등, 2008a, b; 이 등, 2009).

가장 최근에 패류를 오염이 심한 저수지에 직접 도입하여 생물다양성을 회복하고자 이른바 World Bank GEF project를 진행한 사례가 있으나 (CAS, 2004) 아직 평가할 만한 수준은 아니다. 패류를 저수지 현장에 직접 도입

* Corresponding author: Tel: 02) 450-3748, Fax: 02) 456-5062, E-mail: sjhwang@konkuk.ac.kr

할 경우 예상되는 문제점으로 1) 도입된 패류의 사후관리 어려움, 2) 새로운 환경에 도입된 패류의 현장 적응성 또는 수질개선능 지속 여부, 3) 얼룩말 조개와 같은 폭발적 성장(outbreak) 가능성, 4) 예측 불가능한 수생태계의 교란 등이 논의되고 있다(김 등, 2009). 이러한 점들은 어류(Fukushima *et al.*, 1999)나 살조새균(Choi *et al.*, 2005)과 같은 기능성 생물을 이용한 부영양 저수지의 수질개선 연구가 실험실이나 mesocosm 수준에서 진행할 수 밖에 없었던 가장 직접적인 원인이기도 하다.

최근 김 등(2009)은 여과능이 뛰어난 이매패를 이용하여 저수지의 유기물(NOM)을 제거하고 동시에 배출된 배설물(biodeposition)은 자원화하는 이른바 흐름형 유기물제거(CROM) 기술을 개발하였다. 이 기술은 패류를 현장에 투입하지 않고 저수지 표층수를 실내 처리조로 유입하여 처리한 다음 저수지로 다시 환원시키는 전형적인 수처리 과정을 응용한 것이지만 생물관리가 용이하다는 점에서 생물조작(biomanipulation)과는 차별화된다. 선행 연구에서는 '박스형 CROM'를 이용하여 국내산 이매패 2종의 중내 또는 중간(이 등, 2009), 그리고 서로 다른 유속 조건에서 패류의 수질개선능을 조사한 바 있다(이 등, 2010). 그러나 이들은 높은 패류밀도와 낮은 유속조건에도 불구하고 일일 처리량은 1톤 미만이었으며, 공통적으로 높은 패류 사망률과 높은 암모니아 배출을 유도하였다.

따라서 본 연구는 부영양 저수지의 수질개선 효과 및 경제성을 극대화하기 위하여 1) 기존의 연구들보다 패류 밀도를 2배 이상 낮추고 통과유속은 2배 이상 빠른 조건에서 현장수와 패류와의 접촉율을 높힌 이른바 증가시킨 '수로형 CROM'를 제작하였으며, 2) 채집 현장에서 가장 높은 출현을 보였던 이매패 2종의 상대밀도와 동일하게 패류를 혼합 적용하였고, 마지막으로 3) 패류밀도 증가에 따른 수질개선 효과를 파악하기 위하여 실험도중 각 패류를 동일하게 30%씩 추가한 다음 3가지 조건에서 부영양 저수지 표층수에 대한 유기물 제어능 및 수질변화를 각각 조사하였다.

재료 및 방법

1. 패류채집 및 관리

실험에 사용된 패류는 북한강 중류(경기도 가평군 가평읍 달전리~강원도 춘천시 남산면 방하리)에서 가장 높은 밀도를 보였던 국내산 토종 말조개(*Unio douglasiae* Griffith & Pidgeon)와 펠조개(*Anodonta woodiana* Lea)

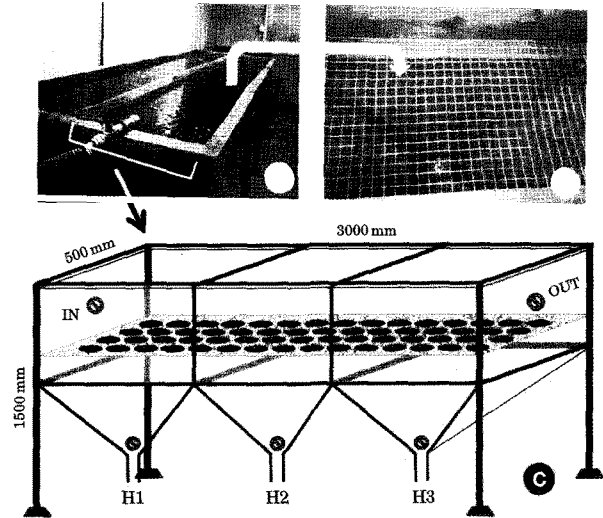


Fig. 1. Canal-type continuous removal of organic matters using a combined freshwater bivalve (C-CROM) system. A: upper-view, B: a mussel stocking lattice with 1 × 1 cm stainless grid, C: whole diagram. IN: the input part of eutrophic lake water, OUT: the discharge part of treatment water. H1, H2, and H3: harvesting mouths of biodeposition.

였다(유, 2010). 패류는 유기물이 풍부하고 가는 모래나 펠로 이루어진 수심 0.5~1.0m에서 저인망 그물을 이용하거나 직접 채집하였으며, 성체만을 젖은 타일로 수분을 유지하면서 실험실로 운반하였다. 운반된 패류는 탈염 수돗물로 1~2회 부드럽게 세척하고 임의로 제작한 패류 관리조에 넣어 순응시켰다(이 등, 2008). 실험에 사용된 패류는 실험 2~3일 전에 관리조에서 꺼내 탈염수돗물로 1~2회 세척한 다음 산소만 공급하고 먹이는 따로 제공하지 않았으며 실험당일 모든 패류의 길이와 젖은 무게를 측정하고 실험에 이용하였다.

2. 수로형 CROM 제작 및 운영

수로형 CROM의 운영은 기존의 상자형 CROM(김 등, 2009; 이 등, 2009; 김 등, 2010)과 동일하며, 처리조의 형태, 처리조 용량(699 L), 일일 처리량(1.4톤), 유속(60 L h⁻¹) 등은 대략 2~3배 이상 높다(Fig. 1). 그러나 방류수 1차 처리에 사용하였던 Melvor (2004)의 모델보다 일일 처리량은 약 42% (유속: 143 L h⁻¹), 패류밀도는 약 15% (1481.5 indiv. m⁻²) 정도의 작은 규모이다. CROM의 운영은 2010년 2월 1일~12일까지 13일간(1차 실험), 동년 3월 4일~17일까지 15일간(2차 실험) 2회에 걸쳐 실시하였다. 1, 2차 실험에 이용된 패류는 총 337개체로서 말조

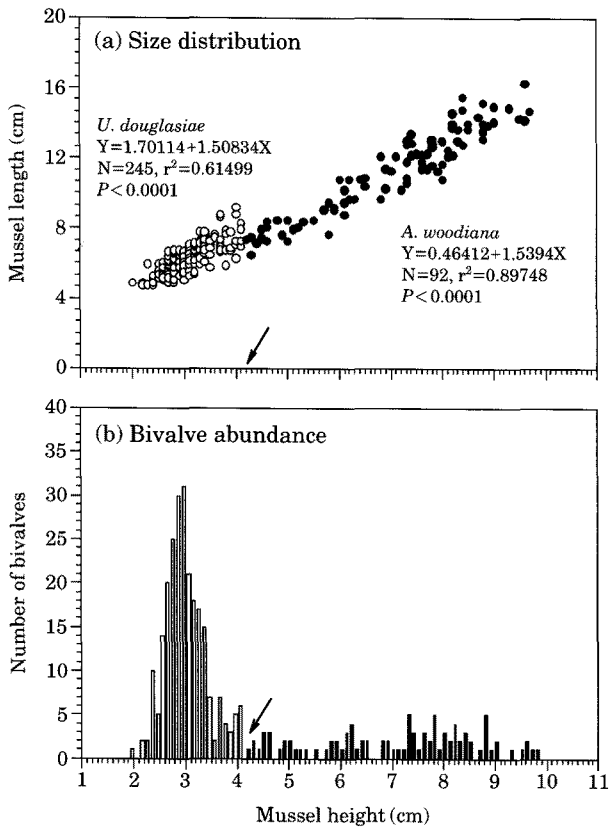


Fig. 2. Mussel size distribution (a) and their abundance (b) of two domestic freshwater bivalves (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) used in this study. All mussel height of *U. douglasiae* is below 4.2 cm, while those of *A. woodiana* is over 4.2 cm.

개 245개체 (길이; 30.5 ± 4.10 mm ~ 폭; 62.8 ± 8.2 mm), 펄조개 92개체 (70.5 ± 15.2 mm ~ 112.1 ± 25.1 mm)이다 (Fig. 2). 실험에 적용된 패류 밀도는 채집 당시 하천에서 출현된 상대밀도(말조개 72.7%; 펄조개 27.3%)와 동일하게 1차 실험에서는 총 256개체(말조개 186; 펄조개 70)를 처리하였으며, 2차 실험에서는 각각 30%씩 총 81개체(말조개 59; 펄조개 22)를 추가적으로 도입하였다. CROM의 수질개선능을 파악하기 위하여 처리조를 통과한 물의 유기물량(탁도, 부유물질, Chl-a) 및 영양염 농도를 분석하였으며, 배설물(biodeposition)은 7일 간격으로 수확하여 평균 건중량을 측정된 다음 인근 입자에 토양화하였다.

3. 유기물 제어능 측정

패류의 유기물량은 패류 관리소에서 패각 길이가 다양한 두 종류의 패류를 각각 30개체 이상 선별하여 측정하였으며(Hwang et al., 2004), 패류의 길이, 폭, 무게 중 유

기물량과 상관성을 조사하여 실험에 사용한 각 패류의 유기물량을 추정하였다. 본 실험에서는 실측된 패류의 유기물량과 가장 상관성이 높았던 패각의 길이(말조개, $r^2=0.850, n=59, P<0.0001$; 펄조개, $r^2=0.923, n=29, P<0.0001$)를 이용하여 CROM에 처리한 패류의 유기물량을 추정하였다(김 등, 2009a). C-CROM의 평균 유기물 제어율(CR; clearance rates)은 실험기간 동안 패류 처리조와 비처리조를 통과하여 분석조로 유입된 물의 부유물질 또는 Chl-a 농도의 차이를 패류의 유기물량(AFDW; ash-free dry-weight)으로 나누어 계산하였다(Coughlan, 1969). 계산식은 다음과 같다. $CR(L\ g^{-1}\ h^{-1})=V/M \times \ln(T/C)/t$, 여기서 V는 처리조와 비처리조의 용량(L), M은 패류의 유기물량(g), C와 T는 처리조와 비처리조의 부유물질($mg\ L^{-1}$) 또는 Chl-a 농도($\mu g\ L^{-1}$), t는 운영시간(h)이다.

4. 환경요인 조사

CROM 운영 동안 분석조의 환경요인은 Portable multi-parameter (HORIBA U-22XD, HORIBA Ltd., Japan)를 이용하여 수온, pH, 전기전도도, 용존산소, 탁도 등을 매일 동일한 시간(AM 10:00)에 측정하였으며, 수질분석은 일정량의 시료를 채취하여 24시간 이내에 분석하였다. Chlorophyll-a (Chl-a) 농도는 CROM를 통과한 처리수의 일정량을 채취하여 Standard Methods (APHA, 1995)에 따라 GF/F filter (Whatman Inc., England)로 여과한 후 90% 아세톤을 이용하여 24시간 동안 냉암소에서 추출한 다음 20분간 원심 분리하고 상등액의 흡광도를 측정하였다. 부유물질 농도는 미리 무게를 잰 GF/C filter (Whatman Inc., England)로 50~100 mL 시료를 여과한 후 dry oven(70°C)에서 24시간 이상 건조한 다음 두 여과지의 무게 차이로 계산하였다. 영양염 농도는 Standard Methods (APHA, 1995)에 따라 NO₂-N은 Colorimetric법, NO₃-N은 cadmium reduction법, NH₃-N는 phenate법, TN은 cadmium reduction법, PO₄-P은 ascorbic acid법, TP은 persulfate 분해 후 ascorbic acid법으로 각각 측정하였다. 패류에 의한 입자성 물질의 변화를 비교하고자 패류 처리조와 비처리조에 각각 HOB0 Pendant Temperature/Light Data Logger (UA-002-08, Onset computer Corporation, USA)를 설치하고 30분 간격으로 수온과 광도를 측정하였다.

5. 자료분석

1, 2차 CROM 운영기간 동안 패류처리군과 비처리군의 유기물 제어능 및 수질변화를 비교하기 위하여 SPSS

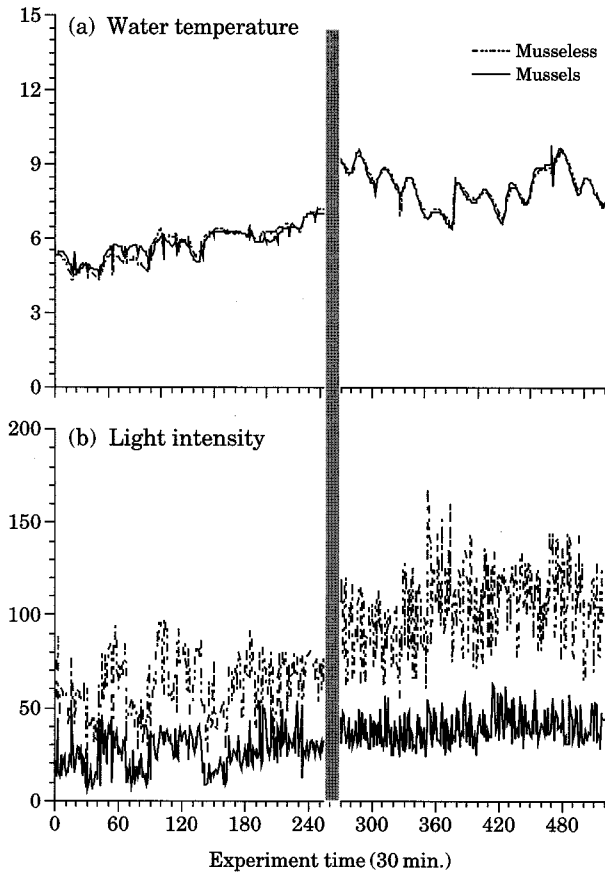


Fig. 3. Continuous water temperatures ($^{\circ}\text{C}$, a) and light intensities (lx) at 30 minute interval (b) during CROM-I and CROM-II experiments using a combined freshwater bivalve (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) collected from the North Han-River, South Korea. The gray stick(s) in figure is the border of CROM-I (left) and CROM-II experiments (right).

package (ver. 12.0.1, SPSS inc., 2004)를 이용한 Paired samples t -test를 실시하였으며, 유의수준은 $P < 0.05$ 으로 하였다.

결 과

수로형 CROM를 통과한 처리수의 수온은 1, 2차 실험 모두에서 유의한 변화를 보이지 않은 반면 수중 광도는 뚜렷하게 증가하였다(Fig. 3, Table 1). 전기전도도, 용존산소, pH 역시 수온과 비슷하게 1, 2차 실험에서 모두 뚜렷한 변화를 보이지 않은 반면, 탁도(42.9%, 64.3%), SS(40.7%, 78.0%), Chl- α (54.6%, 76.9%) 등은 2차 실험에서 1차보다 다소 높게 감소하였다(Fig. 4, Table 1). 영양염

Table 1. Paired t -test results on the water quality by continuous removal of organic matters using combined freshwater bivalves with *Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana* collected from the North Han-River, South Korea.

Parameters	CROM-I		CROM-II	
	t	P	t	P
Water temperature	-0.179	0.8578	3.325	0.0010
Light intensity	-46.432	<0.0001	-52.893	<0.0001
Electric conductivity	-3.375	0.0062	-3.893	0.0019
Dissolved oxygen	1.876	0.0874	2.261	0.0416
pH	0.485	0.6370	-0.699	0.4971
Turbidity	9.732	<0.0001	22.455	<0.0001
Chlorophyll- α	7.744	<0.0001	20.775	<0.0001
Suspended solids	7.920	<0.0001	17.042	<0.0001
NO ₂ -N	1.277	0.2277	-0.984	0.3430
NO ₃ -N	-0.476	0.6434	-0.440	0.6671
NH ₃ -N	-5.365	0.00023	-10.671	<0.0001
Total nitrogen	3.701	0.0035	7.554	<0.0001
PO ₄ -P	-0.639	0.5360	-2.181	0.0482
Total phosphorus	5.439	0.0002	13.748	<0.0001

CROM-I: CROM operation with combined mussels (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) for 12 days. CROM-II: CROM operation with mussels (addition of each 30% of mussels into the CROM-I) for 14 days. Minus or plus t values means a mussel-mediated increase or decrease of each parameter, respectively, compare to no mussel-containing CROM operation.

(NO₂-N, NO₃-N)은 1, 2차 실험에서 뚜렷한 변화를 보이지 않은 반면, NH₃-N(224.5%, 277.1%)는 1, 2차 실험에서 모두 강한 증가를 나타냈다. 한편, PO₄-P(107.5%, 129.3%)는 약간의 증가를 보인 반면, TP(32.5%, 47.8%)와 TN(6.2%, 9.3%)는 50% 미만의 낮은 감소를 보였다(Fig. 5, Table 1). 비록 폐류의 추가적인 도입에 따라 배설물 생산은 유의하게 증가하였으나(Fig. 6), 수로형 CROM의 개체당 Chl- α 제어율($0.37 \pm 0.06 \text{ L h}^{-1}$, $0.16 \pm 0.01 \text{ L h}^{-1}$)은 58.2%, 부유물질 제어율($0.19 \pm 0.06 \text{ L h}^{-1}$, $0.10 \pm 0.01 \text{ L h}^{-1}$)은 48.1% 등의 감소를 나타냈다(Fig. 6, Table 1).

고 찰

폐류의 밀도가 증가함에도 불구하고 수로형 CROM를 통과한 처리수의 수온, 전기전도도, 용존산소, pH 등은 통계적으로 유의한 변화를 보이지 않았다(t -test, $P > 0.05$). 유속이 거의 없는 폐쇄된 수조에서 말조개를 이용한 CROM이나(이 등, 2008a, b; 이 등, 2009) 유속이 비교적 느린 CROM에서 펠조개를 적용시 용존산소의 감소는 이미 잘 알려진 사실이다(김 등, 2009a, b; 이 등, 2010). 이러한 차

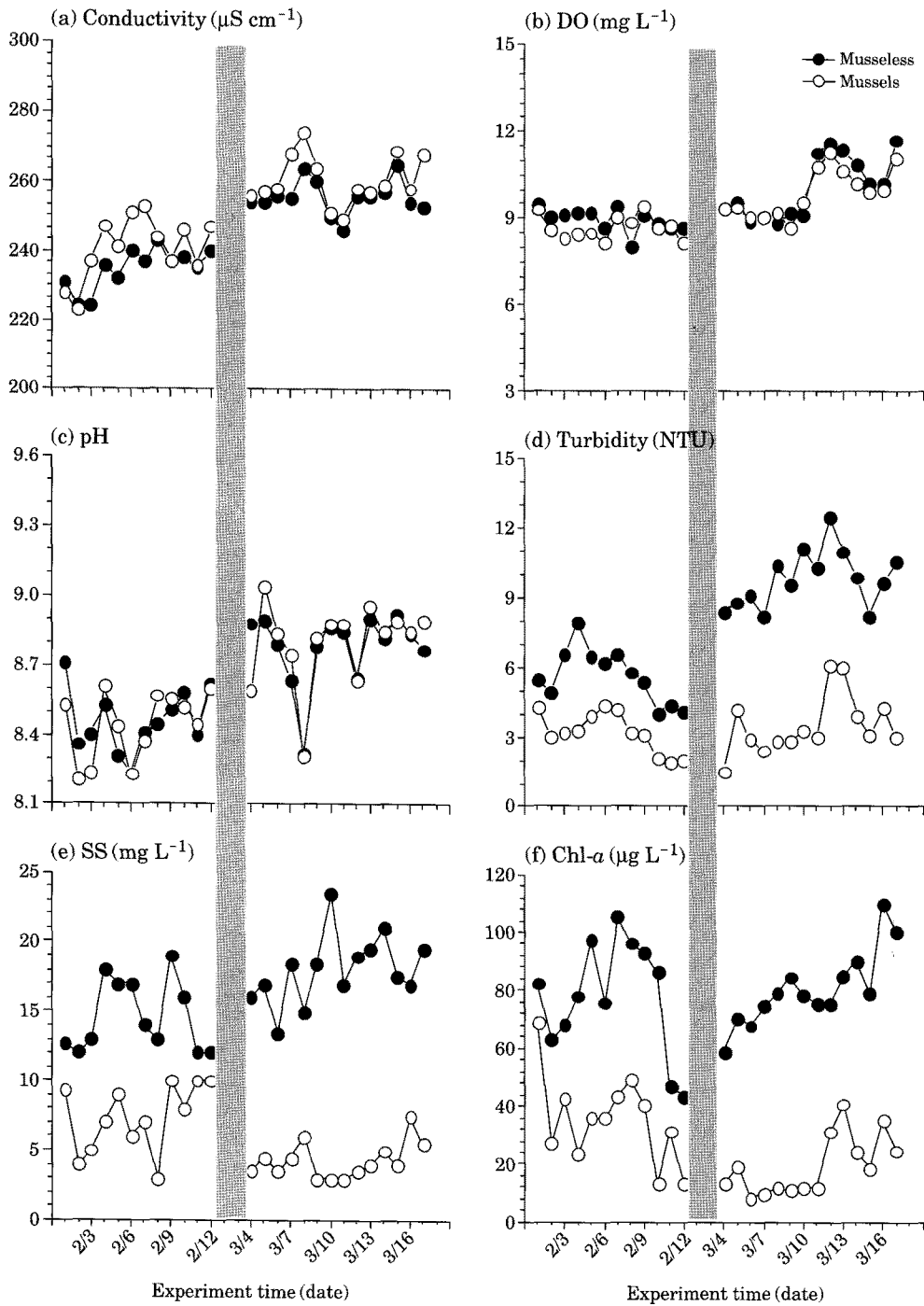


Fig. 4. Daily variations of physicochemical parameters during CROM-I and CROM-II experiments using a combined freshwater bivalve (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) collected from the North Han-River, South Korea. The gray stick(s) in figure is the border of CROM-I (left) and CROM-II experiments (right).

이는 유속이 빠르고 두 패류를 혼합 적용한 이번 연구에서 새롭게 얻은 결과이지만 본 연구가 선행연구들보다 낮은 패류밀도, 빠른 유속 그리고 유입수의 낮은 수온 조

건에서 진행하였기 때문에 패류의 낮은 섭식활동이 처리수의 수중 환경요인에는 그다지 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 판단되었다.

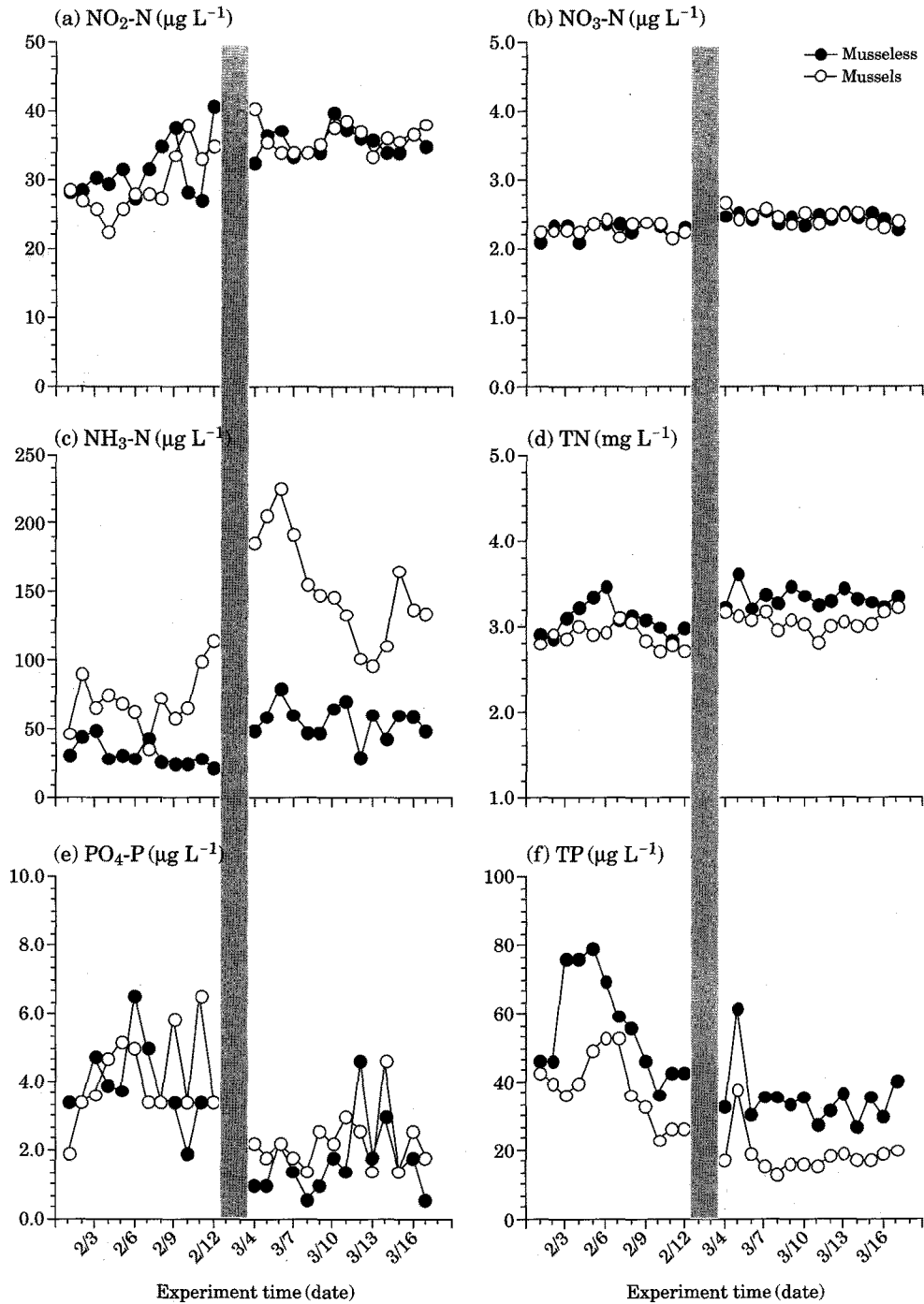


Fig. 5. Daily variations of concentrations of nutrients during CROM-I and CROM-II experiments using a combined freshwater bivalve (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) collected from the North Han-River, South Korea. The gray stick(s) in figure is the border of CROM-I (left) and CROM-II experiments (right).

앞에서 언급한 바와 같이 상자형 CROM보다 빠른 유속조건과 낮은 처리밀도에도 불구하고 수로형 CROM에서 처리수의 뚜렷한 영양염 감소(총질소와 총인) 및 증

가($\text{NH}_4\text{-H}$, $\text{PO}_4\text{-P}$) 현상은 분명하였다. 일반적으로 패류의 섭식활동은 높은 농도의 용존성 인과 암모니아를 배출하며 (Burton, 1983; Hecky and Kilham, 1988), 총인보

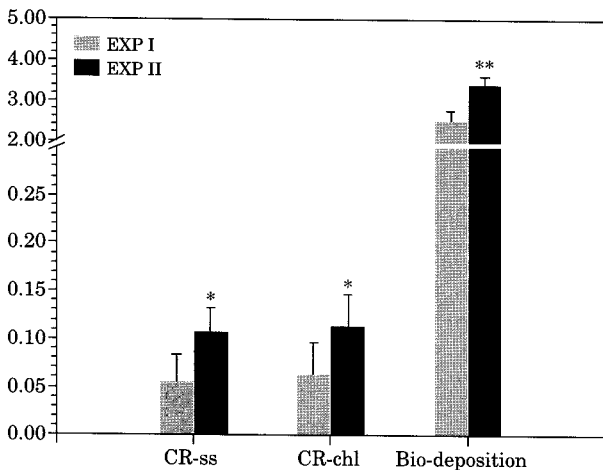


Fig. 6. Comparison of mean clearance rates based on the suspended solids (CR-ss) and chlorophyll-a (CR-chl) and biodeposition between CROM-I and CROM-II experiments using a combined freshwater bivalve (*Unio douglasiae* and *Anodonta woodiana*) collected from the North Han-River, South Korea.

다 총질소를 더 강하게 감소시킨다고 알려져 있다(김 등, 2009; 이 등 2010). 특히 용존성 영양염 배출은 상대적으로 유속이 느린 상자형 CROM에서는 패류의 밀도보다 패류 유무에 의존된 반면(김 등, 2009a; 이 등, 2009), 오염이 심하지만 유속이 빠른 하천에서는 총인과 총질소 조차 뚜렷한 변화를 보이지 않았다(김 등, 2009b). 결국 유속이 빠른 수로형 CROM에서 용존성 물질의 증가와 입자성 물질의 감소는 유속의 영향뿐만 아니라 좁고 길 다란 CROM의 구조적 특성에 의하여 패류와 현장수 간의 접촉율이 높아서 나타난 종합적인 결과로 사료되었다.

한편, 1차 실험에서 적용하였던 패류의 30%를 추가한 2차 실험에서는 1차보다 약 2배에 가까운 높은 유기물 제어 및 배설물 생산을 유도하였는데 이번 연구에서 새롭게 얻은 결과이다. 앞에서 언급한 바와 같이 비록 빠른 유속에 의한 패류 개체당 유기물 제어능은 감소하였으며 (Kirby-Smith, 1972; Jorgensen *et al.*, 1986) 암모니아 증가를 유도하였으나 CROM 운영 동안 패류는 한 개체도 사망하지 않았으며, 다른 용존 영양염이 크게 증가하지 않았다. 또한 유속이 느리고 말조개나 펄조개 단일종을 이용한 상자형 CROM 연구에서 체류시간이 길수록 높은 유기물 제어능을 보였는데(이 등, 2009, 2010), 비록 McIvor (2004)에 비해 유속과 일일처리량은 낮았지만 선행연구들(김 등 2009a, b; 이 등, 2009)보다 빠른 유속에서도 높은 유기물 처리능을 보여 수로형 CROM의 현장적용을 위한 패류확보(대량화) 및 부산물(처리수, 배설물)의 자원

화에 대한 추가적인 연구가 필요하다 하겠다.

본 연구는 1) 패류를 채집하였던 하천에서 가장 높은 밀도를 보였던 두 패류의 상대 분포비를 근거로 동일한 비율로 혼합 적용하였으며, 2) 수로형 CROM를 제작하여 선행연구들과 유사하거나 낮은 패류 밀도에서도 현장수와 패류 간의 접촉빈도나 높은 유기물 자연침강을 유도하였고, 3) 처리량과 유속을 기존의 상자형 CROM보다 2배 이상 높게 설정하였다는 점에서 차별화된다. 특히 상자형 CROM 운영시 동일종의 개체수 확보를 위해 많은 노력이 필요하며, 단일종만 선택적으로 사용 후 다시 환원할 경우 채집장소에 특정 패류만 환원시킴으로써 높은 교란이 예상되어 생태친화적 운영을 목적으로 두 우점 패류를 혼합하는 상자형 CROM 개발을 시도되었다. 지금까지 두 패류의 혼합적용이 단일종만 이용했을 때보다 유기물 제어능이 감소하거나 높은 패류사망을 유도한다는 보고는 없으며, McIvor (2004)와 선행연구들(김 등, 2009a, b)과 비교하여도 수로형 CROM이 낮은 밀도임에도 불구하고 유사한 제어능을 보였으며 일일 처리량이 약 2배 이상 높다는 점을 감안한다면 앞으로 부영양 수역의 생태공학적 유기물 제어에 대한 기반기술로서 적용 가능성이 높다고 사료되었다.

적 요

국내산 이매패의 유기물 제어능을 극대화하기 위하여 ‘수로형 CROM’을 제작하고 채집 하천에서 가장 높은 출현을 보였던 말조개와 펄조개를 현장의 상대밀도(7:3)와 동일하게 처리하여 12일 동안 운영하였고, 동일한 조건에서 실험도중 각 패류를 30%씩 추가하고 14일 동안 운영하면서 각 실험에서 CROM의 유기물 제어능 및 배설물 생산량을 조사하였다. 두 차례의 실험결과 1) 처리수의 SS와 Chl-a의 뚜렷한 감소, 2) 암모니아와 배설물의 뚜렷한 증가, 3) 총질소와 총인의 유의한 감소 등의 결과를 얻었다(*t*-test, $P < 0.001$ for all). 이는 결국 두 종류의 국내산 이매패를 혼합 적용한 수로형 CROM은 기존의 ‘상자형이나 하천형 CROM’보다 처리효율이 높고 상대적으로 낮은 패류사망을 및 영양염 배출 등의 장점을 가지고 있어 현장적용에 유용할 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 2009년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구

구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2009-0070746)이며, 실험을 도와주신 이주환, 박재홍님에게 감사드립니다.

인용문헌

- 김백호, 백순기, 황수옥, 황순진. 2009a. 담수산 이매패 펠조개를 이용한 흐름형 유기물 제어(CROM) 운영: 퇴적물의 영향. 한국하천호수학회지 **42**: 161-171.
- 김백호, 이주환, 김용재, 황수옥, 황순진. 2009b. 포천천 수질개선을 위한 패류의 이용: 하천형 유기물 제어(S-CROM) 기술의 적용. 한국하천호수학회지 **42**: 317-330.
- 유영훈, 이송희, 황순진, 김백호. 2010. 서로 다른 영양조건의 농업용 저수지에서 말조개의 수질개선능 비교. 수질보전 한국물환경학회지 **26**: 614-622.
- 이송희, 황순진, 김백호. 2008a. 저온기 부영양 수계의 구조발생에 대한 말조개의 섭식특성. 한국하천호수학회지 **41**: 237-246.
- 이송희, 황순진, 김백호. 2008b. 저온기 구조발생 억제를 위한 패류의 혼합적용. 한국하천호수학회지 **41**: 402-411.
- 이주환, 황순진, 김백호. 2010. 부영양 저수지의 수질개선을 위한 CROM 운영시 유속의 영향. 수질보전 한국물환경학회지 **26**: 518-524.
- 이주환, 황순진, 박선구, 황수옥, 유춘만, 김백호. 2009. CROM을 이용한 부영양 저수지의 유기물 제어: 이매패의 종 특이성에 대하여. 한국하천호수학회지 **42**: 350-363.
- 정의영, 신윤경, 최문술. 1997. 새만금호의 수질예측과 그에 따른 대책 I. 환경 오염원이 참채첩(*Corbicula leana*)의 여수작용 및 산소소비에 미치는 영향. 한국패류학회지 **13**: 203-210.
- APHA. 1995. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th ed). American Public Health Association, Washington, D.C.
- Burton, R.F. 1983. Ionic regulation and water balance, p. 291-352. In: The Mollusca (Saleuddin, A.S.M. and K.M. Wilbur, eds.). Academic Press, New York.
- CAS. 2004. Musseling in on pollution: using bivalves to clean China's lakes. Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Available at: <http://www.wetplateau.com.cn/en/dmpro.asp>.
- Choi, H.J., B.H. Kim, J.D. Kim and M.S. Han. 2005. *Streptomyces neyagawaensis* as a control for the hazardous biomass of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in eutrophic freshwaters. *Biol. Control* **33**: 335-343.
- Dionisio Pires, L.M., B.M. Bontes, E. Van Donk and B.W. Ibelings. 2005. Grazing on colonial and filamentous, toxic and non-toxic cyanobacteria by the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *J. Plankton Res.* **27**: 331-339.
- Fukushima, M., N. Takamura, B.H. Kim, M. Nakagawa, L. Sun and Y. Zheng. 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.
- Gosling, E. 2003. Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture. Oxford Fishing News Books, Oxford, UK.
- Hakenkamp, C.C., G.R. Suzanna, A.P. Margaret, M.S. Christopher, W.R. Janet and R.G. Mike. 2001. The impact of an introduced bivalve (*Corbicula fluminea*) on the benthos of a sandy stream. *Freshwater Biol.* **46**: 491-501.
- Heckey, R.E. and P. Kilham. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* **33**: 796-822.
- Hwang, S.J., H.S. Kim, J.K. Shin, J.M. Oh and D.S. Kong. 2004. Grazing effects of a freshwater bivalve (*Corbicula leana* PRIME) and large zooplankton on phytoplankton communities in two Korean lakes. *Hydrobiologia* **515**: 161-179.
- Jorgensen, B.C., P. Famme, H.S. Kristensen, P.S. Larsen, F. Mohlenberg and H.U. Riisgard. 1986. The bivalve pump. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **34**: 69-77.
- Kirby-smith, W.W. 1972. Growth of the bay scallop: the influence of experimental water currents. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **8**: 7-18.
- Mclvor, A.L. 2004. Freshwater mussels as biofilters. Ph.D. thesis. Pembroke College.
- Nalepa, T.F. and D.W. Schloesser. 1993. Zebra Mussels: Biology, Impacts, and Control. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Neumann, D. and H.A. Jenner. 1992. The Zebra Mussel: Ecology, Biological Monitoring and First Applications in the Water Quality Management. Gustav Fischer, New York.
- Reeder, H.H. and A. Bij de Vaate. 1990. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia* **200/201**: 437-450.
- Soto, D. and G. Mena. 1999. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture* **171**: 65-81.

(Manuscript received 6 July 2010,
Revision accepted 10 August 2010)