

울산 지역 주요 호소(사연호, 대암호, 선암저수지, 회야호)의 수질 및 저서성대형무척추동물 군집구조 분석

이미진 · 권혁영¹ · 이해진 · 서정관² · 이재관 · 이종은^{1,*}

(국립환경과학원 낙동강물환경연구소, ¹안동대학교 생명과학과
²국립환경과학원 환경건강연구부)

Community Structure of Benthic Macroinvertebrates and Water Quality in the Major Lakes (Lake Sayeon, Lake Daeam, Seonam Reservoir, Lake Hoeya) of Ulsansi. Lee, Mijin, Hyeok-young Kwon¹, Haejin Lee, Jungkwan Seo², Jaekwan Lee and Jongeun Lee^{1,*} (Nakdong River Environment Center, National Institute of Environment Research; ¹Department of Biological Science, Andong National University; ²Environmental Health Research Department, National Institute of Environment Research)

To analyze between water quality and community structure of benthic macroinvertebrates, we selected four reservoirs (Lake Sayeon, Lake Daeam, Seonam reservoir and Lake Hoeya) in Ulsan-si and studied them from February 2010 to October 2010. The annual mean BOD (Biochemical Oxygen Demand) in the four lakes was 14.2 mg L⁻¹, and Seonam reservoir had the highest deviation in BOD. The maximum BOD for every lake was in February and their minimum in May, except for Lake Hoeya whose minimum was in July. The means of various nutrients were as follows: TN 0.051 mg L⁻¹, TP 0.100 mg L⁻¹, NH₃-N 0.606 mg L⁻¹, and NO₃-N 0.014 mg L⁻¹. The maximum TN was measured in June and the maximum and minimum TP were measured in March and in May respectively in the four lakes. Benthic macroinvertebrates were surveyed in April and October 2010. The number of benthic macroinvertebrates species was in the range of 16~36 and the average number of individuals were 58~208 inds. m⁻². Seonam reservoir, which has the highest mean TN (0.082 mg L⁻¹) and NO₃-N (0.023 mg L⁻¹), had the largest number of species (36 species, 208 inds. m⁻²). Pearson's correlation between the number of macro invertebrates species and TN was 0.962 (P<0.05), and between the species and NO₃-N was 0.999 (P<0.05). These results show that the number of benthic macroinvertebrates species of the four lakes in Ulsan-si is significantly correlated with TN and NO₃-N.

Key words : Ulsan-si, Lake Sayeon, Lake Daeam, Seonam reservoir, Lake Hoeya, macroinvertebrates

서 론

행정구역상 울산광역시에 속하는 사연호, 대암호, 선암

저수지, 회야호는 모두 울산시에 상수원 공급 및 공업용수 공급을 목적으로 조성되었으며, 사연호는 1965년 준공, 유역면적 67 km², 만수면적 1.98 km², 대암호는 1969년 준공, 유역면적 77 km², 만수면적 1.5 km², 선암저수지

* Corresponding author: Tel: 054) 820-5618, Fax: 054) 820-7705, E-mail: jelee@andong.ac.kr

1964년 준공, 유역면적 1.2 km², 만수면적 0.3 km², 회야호는 1986년 준공, 유역면적 127 km², 만수면적 2.3 km²로, 4개 호소 모두 축조된 지 약 50여 년이 경과되었다. 이들 호소는 환경부장관이 고시한 전국 90개 호소에 포함되는 주요 관리대상 호소로서, 각 호소 주변에는 농경지 및 공업단지가 발달하여 있다. 이에 본 조사대상 호소는 산업발달, 인구증가 및 밀집화, 생활수준 향상에 따른 오염물질 배출량의 증가, 농업생산성 제고를 위한 농약 및 비료 사용량 증가로 인한 수질 악화가 예상되는 바, 각 호소 별 수질 특성에 따른 수생태계의 특성에 대한 조사의 필요성이 가중되고 있는 실정이다.

호소생태계의 주요 구성원인 어류의 주요 먹이원인 저서성대형무척추동물은 퇴적물의 유기물 함량이 높아지거나 독성물질에 의한 퇴적물 오염 등과 같은 서식처의 교란에 매우 민감하게 반응하기 때문에 종수와 개체수의 분포 등 군집구조의 차이가 뚜렷하여 중요한 생물학적 지표로 이용된다(Hynes, 1963; Kehde and Wilhm, 1972). 또한 수질오염 및 수환경 교란으로 인한 저서성대형무척추동물의 양적, 질적 변화는 먹이사슬 상위 단계인 어류의 종조성과 성장에 직접적인 영향은 물론 타 수생생물과의 먹이사슬과 먹이망을 비롯한 수생태계 전반에 큰 영향을 미치게 된다(Lee et al., 2009).

저수지, 댐, 보의 건설로 물이 정체된 담수호는 상류에서 진행되는 산업화와 인구증가에 따른 오염물질 유입 증가, 부영양화 등으로 인해 수질오염이 가속화되고 있을 뿐만 아니라, 서식지의 단편화 및 단순화로 인해 생물상 멸종의 가능성이 제기되고 있다(Oh et al., 2005). 이에 본 연구에서 수행한 각 호소의 수질 현황에 따른 저서성대

형무척추동물상에 대한 연구는 수생태계를 고려한 물 관리 연구에 중요한 정보를 제공할 것으로 판단된다.

재료 및 방법

1. 조사 시기 및 조사지점

울산광역시에 위치한 사연호, 대암호, 선암저수지, 회야호 등 4개 호소 중 각 호소의 대표성을 갖는 1~3개 지점을 선정하여 조사를 수행하였다(Fig. 1). 수질 조사는 2010년 2월부터 10월까지 월 1회 간격으로 표층 1 m 이하의 물을 채수하여 분석하였고, 저서성대형무척추동물은 각 호소의 생물상을 대표할만한 대표적인 2개 지점에 대하여 4월과 10월 연 2회에 걸쳐 실시하였다.

2. 기상 및 수리수문 현황 분석

각 호소에 대한 방류량 및 유입, 유출량 자료는 국가수자원관리 종합정보 홈페이지(<http://www.wamis.go.kr>)에 게재된 2010년도의 일일 자료를 이용하였으며, 기상 자료는 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>)에서 제공하는 자료를 활용하였다. 수리수문 현황 분석에 회야호는 포함되지 않았다.

3. 일반 수질 현황 분석

분석한 수질 항목은 수온, pH, 전기전도도, DO, BOD, COD, TOC, SS, Chlorophyll-a, TN, TP, NH₃-N, NO₃-N 등 총 13개 항목이고, 이 중 수온, pH, DO 및 전기전도도

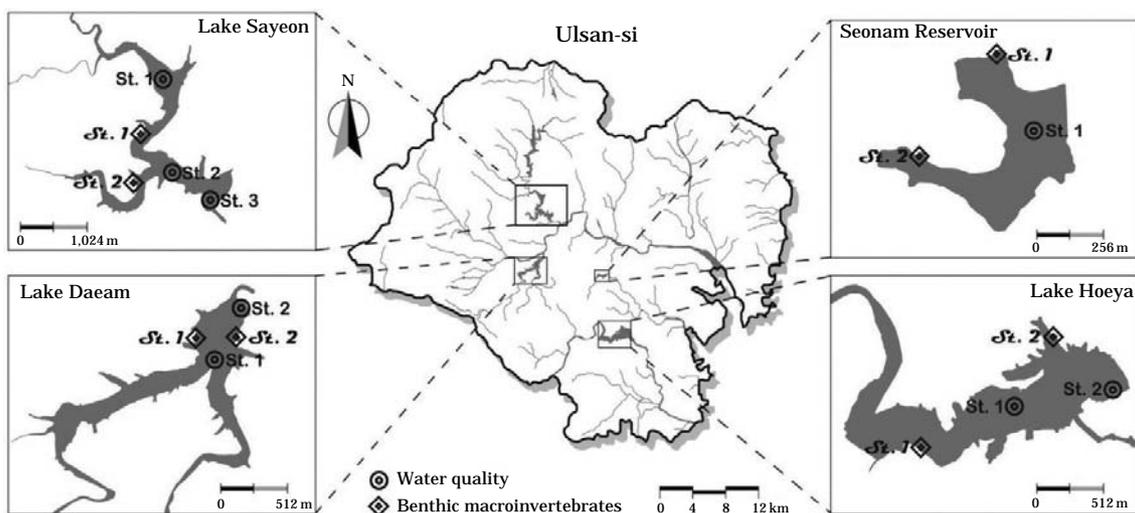


Fig. 1. The map shows surveyed reservoirs.

는 휴대용 수질자동측정기 (YSI 556MPS)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, BOD 등 기타 수질항목은 수질오염공정시험기준 (2008)에 준하여 분석하였다. 호소별 부영양화도 평가는 수정 Carlson 지수 (TSIm)를 사용하였다 (Aizaki *et al.*, 1981).

4. 저서성대형무척추동물 현장 조사 및 분석

저서성대형무척추동물은 각 호소의 특성을 가장 잘 반영하는 2개 지점을 선정하여 조사가 수행되었고, 지점당 0.5 m와 1 m 깊이에서 Dredge (가로 0.42 m, 망목 0.5 mm)를 이용하여 0.9 m씩 2회 정량채집을 하였으며, hand net과 핀셋을 이용하여 정성채집을 병행하였다. 채집된 시료는 현장에서 94% Ethanol에 고정 후 실험실로 운반 후, Yoon (1995)과 Won (2005) 등의 문헌 및 검색도설을 참조하여 동정하고 단위면적당 출현개체수 (inds. m⁻²)를 산출하였다. 그리고 각 호소 별 우점도지수 (DI), 다양도지수 (H'), 종풍부도지수 (R1), 종균등도지수 (J')를 산출하여 군집분석을 하였다. 또한 Ro and Chun (2004)에 의한 섭식기능군과 군집안정성을 평가하였다.

결 과

1. 기상 및 수리수문 현황

2010년 2월부터 10월까지 울산 지역의 월별 평균기온은 4.4~27.8°C로 조사기간 중 2월에 최저 (4.4°C), 8월에 최고 (27.8°C) 기온을 나타내었다. 총 강우량은 1,114.4 mm를 나타내어 과거 5년 평균 (1,672.4 mm)에 비하여 33% 가량 감소하였다. 월별로는 7월의 총 강우량이 266.8 mm로 평년 (308.8 mm)에 비해 약 13% 이상 적었으며, 일 최고 강우량은 7월 11일에 최대 (142 mm)를 나타내었다 (Fig. 2). Kim *et al.* (2005)의 연구에 따르면 낙동강 유역의 평균 강우 일수는 해를 거듭할수록 현저하게 감소되는 경향을 보이는 한편 강우 강도는 증가하는 추세에 있는 것으로 조사되었는데, 2010년 울산 지역의 강우 경향 역시 이와 같은 결과를 나타내었다.

사연호의 2010년 2월부터 10월까지의 월평균 저수위는 51.5 (2월)~56.4 (8월) EL.m로, 변화 폭이 크지 않았으며, 집중 강우가 있었던 7월 유입량 (140.1 m³ s⁻¹)이 총 방류량 (58.0 m³ s⁻¹)에 비해 매우 많았던 것으로 조사되었다. 대암호의 평균 저수위는 46.1 (6월)~48.0 (9월) EL.m, 선암저수지는 27.3 (10월)~27.6 (5월) EL.m로, 두 호소 모두 유입량과 총 방류량은 유사한 수준이었던 것으로

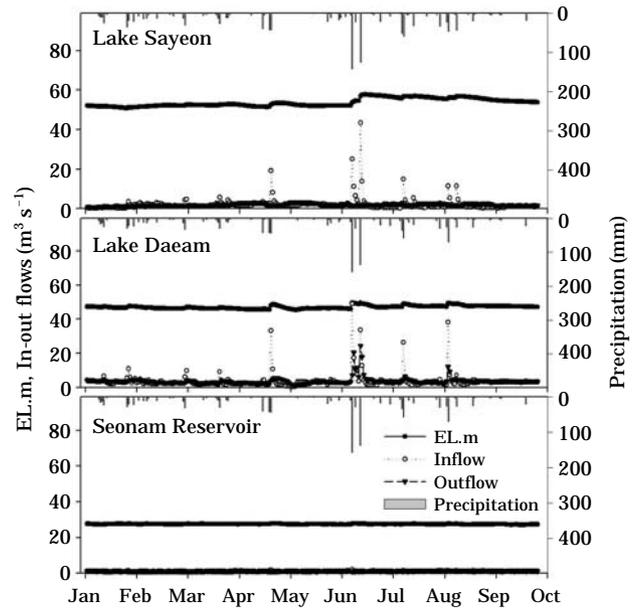


Fig. 2. The low-water level, inflow and outflow hydrograph and precipitation at each site (except Lake Hoeya).

나타났다 (Fig. 2).

2. 연간 수질 현황

울산 권역에 위치한 4개 호소의 연평균 수심은 사연호 17.2 m (5.8~31.0 m), 대암호 9.6 m (6.7~14.5 m), 선암저수지 12.2 m (6.0~15.0 m), 회야호 15.3 m (6.0~20.3 m)로, 전반적으로 얇은 호소에 속하며, 사연호에서 연평균 수심이 가장 깊은 것으로 조사되었고, 9월에 수심이 특히 깊어지는 것을 볼 수 있었다. 투명도는 호소 별 평균 1.1~3.3 m를 보였으며, 대암호에서 가장 낮았고, 회야호에서 가장 높은 투명도를 나타내었다. 수소이온농도 (pH)는 연평균 7.9 (선암저수지)~8.4 (대암호)의 범위를 보였으며, 수온이 높아 조류발생량이 많은 여름철에 상대적으로 높은 농도를 나타냈다. 전기전도도는 127 (사연호)~287 (회야호) $\mu\text{s cm}^{-1}$ 의 범위 (평균 224 $\mu\text{s cm}^{-1}$)를 보였으며, 용존산소는 10.5 (회야호)~12.5 (대암호) mg L⁻¹의 범위 (평균 11.2 mg L⁻¹)를 나타내었다. 용존산소의 경우, 겨울철에 낮은 수온으로 인해 수체가 과포화되어 그 값이 특히 높게 나왔다.

총 유기탄소량 (TOC)은 평균 5.3 mg L⁻¹로, 대암호에서 8.5 mg L⁻¹로 가장 높은 값을, 회야호에서 3.6 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타냈다. 수소이온농도 (pH)는 평균 8.1로, 6.3~9.5의 범위를 보였으며, 수온이 높은 7~9월에 특히 높은 값을 나타내는 경향을 보였다. 부유물질량 (SS)

은 4개 호소 평균 21.8 mg L^{-1} 의 값으로, 호소환경기준으로는 나쁨 (V)에 해당하였으며, 용존산소량 (DO)은 평균 11.1 mg L^{-1} , $6.2 \sim 17.8 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위로, 호소 생활환경 기준으로 매우 좋음 (Ia)에 해당하였다.

화학적산소요구량 (COD)은 사연호 $3.3 \sim 6.6 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 4.6 mg L^{-1}), 대암호 $3.2 \sim 8.3 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 5.7 mg L^{-1}), 선암저수지 $3.3 \sim 8.0 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 5.0 mg L^{-1}), 회야호 $3.3 \sim 6.3 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 4.7 mg L^{-1})를 보였으며, 호소환경기준으로 사연호와 회야호는 보통 (III), 대암호와 선암저수지는 약간 나쁨 (IV)에 해당하였다. 월별로는 모든 호소에서 5월에 가장 낮은 COD 값을 나타내었다. 호소 별 연평균 Chl-*a* 농도는 사연호 8.0 mg L^{-1} , 대암호 6.3 mg L^{-1} , 선암저수지 8.3 mg L^{-1} , 회야호 18.1 mg L^{-1} 로 나타나, 호소환경기준으로 사연호, 대암호, 선암저수지에서 좋음 (Ib), 회야호에서 보통 (III)에 해당하는 수치를 보였다. 대암호, 선암저수지, 회야호의 경우, 2~4월에 그 수치가 특히 높은 것으로 조사되었다. 호소 별 평균 11.4 (선암저수지)~ 43.2 (대암호) mg L^{-1} 의 범위를 보인 부유물질농도 (SS) 또한 2월에 특히 높은 수치를 보이는 것으로 나타났다.

총인 (TP)은 사연호 $0.023 \sim 0.227 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.047 mg L^{-1}), 대암호 $0.022 \sim 0.291 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.103 mg L^{-1}), 선암저수지 $0.024 \sim 0.296 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.090 mg L^{-1}), 회야호 $0.035 \sim 0.283 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.122 mg L^{-1})를 보였으며, 총질소 (TN)는 사연호 $0.023 \sim 0.227 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.047 mg L^{-1}), 대암호 $0.022 \sim 0.291 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.103 mg L^{-1}), 선암저수지 $0.024 \sim 0.296 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.090 mg L^{-1}), 회야호 $0.035 \sim 0.283 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위 (평균 0.122 mg L^{-1})를 보였다. 암모니아성질소 ($\text{NH}_3\text{-N}$)는 각 호소 평균 0.355 (사연호)~ 0.920 (선암저수지) mg L^{-1} 의 범위를 보였으며, 질산성질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 0.011 (사연호)~ 0.023 (선암저수지) mg L^{-1} 의 범위 (평균 0.0354 mg L^{-1})를 나타내었다 (Fig. 3). 영양염의 경우, 모든 호소에서 6월 또는 7월에 갑자기 높아지는 특성을 보여주었는데, 이것은 7월 중순의 집중강우로 인하여 유역으로부터의 유출량이 증가하였기 때문이다.

총인에 대한 총질소의 비율인 TN/TP 비율은 조사기간 동안 사연호 5~326의 범위 (평균 69), 대암호 11~613의 범위 (평균 153), 선암저수지 16~336의 범위 (평균 151), 회야호 10~132의 범위 (평균 49)로 상대적으로 규모가 작은 호소인 선암저수지에서 인 제한성이 특히 강한 것으로 나타났다.

호소의 부영양화도 판정은 수정 Carlson 지표 (TSM)를 이용하였다. 수정 Carlson 지표 (TSM)의 평가 기준에

따라 투명도, Chl-*a*, TP를 이용한 부영양화도 평가 결과 조사기간 동안 사연호 41~60의 범위 (평균 52), 대암호 50~73의 범위 (평균 62), 선암저수지 49~69의 범위 (평균 59), 회야호 35~64의 범위 (평균 51)로, 조사대상 호소 4개 모두에서 연평균 부영양 상태를 보였다.

3. 군집 분석

조사기간 중 4월과 10월에 사연호, 대암호, 선암저수지, 회야호의 각 2개 지점을 대상으로 저서성대형무척추동물상을 정성 및 정량 분석한 결과, 사연호 총 16종, 평균 $58.2 \text{ inds. m}^{-2}$, 대암호 총 21종, 평균 $59.0 \text{ inds. m}^{-2}$, 선암저수지 총 36종, 평균 $208.2 \text{ inds. m}^{-2}$, 회야호 총 17종, 평균 $124.6 \text{ inds. m}^{-2}$ 가 출현한 것으로 조사되었다.

출현 종수가 가장 많은 선암저수지는 연체동물문 (Mollusca) 9종, 환형동물문 (Annelida) 5종, 절지동물문 (Arthropoda) 22종으로 나타났으며, 가장 적은 종이 출현한 사연호는 환형동물문 1종, 절지동물문 15종이 출현하였다. 대암호를 제외하고, 선암저수지, 사연호, 회야호에서 4월에 비해 10월에 많은 종수가 출현하였고, 모든 호소에서 10월에 많은 개체수가 출현하였다 (Fig. 4). 호소별 우점종의 경우, 사연호는 4월 적색갈따구류 (*Chironomus sp. - red type*), 10월 비적색갈따구류 (*Chironomus sp. - non red type*), 선암저수지 4월 실지렁이 (*Limnodrilus gotoi*), 10월 비적색갈따구류 (*Chironomus sp. - non red type*), 대암호와 회야호는 4월과 10월 모두 비적색갈따구류 (*Chironomus sp. - non red type*)로 나타났다.

비적색갈따구류가 다수 출현한 회야호에서 평균 우점도 (DI)가 0.96 으로 가장 높았고, 반대로 파리목의 출현율이 다른 호소에 비해 높지 않았던 대암호에서 우점도가 0.74 로 가장 낮았다. 전 조사지점의 평균 다양도지수 (H')는 0.97 (회야호)~ 1.95 (대암호)의 범위로 매우 낮게 나타났으며, 종풍부도지수 (R1)는 1.32 (회야호)~ 2.17 (대암호)의 범위, 균등도지수 (J')는 0.38 (회야호)~ 0.59 (대암호)의 범위로 나타나, 파리목 (Diptera)의 다수 출현으로 인하여 군집 내 종 구성이 비교적 균일하지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 5).

저서성대형무척추동물의 먹이섭식 및 먹이사슬을 확인하기 위해 구기의 형태와 섭식 기능을 파악하여 섭식기능군 (Functional feeding group)으로 분석하는 조사 및 분석기법이 Merritt *et al.* (2009), Ro (2002), Ro and Chun (2004) 등에 의해 국내외에서 심도 있게 연구되고 있다. Lee *et al.* (2009)의 연구에 따르면, 일반적인 호소 생태계에서는 저질 층에 쌓여 있는 미세유기물 (FPOM) 또는 초

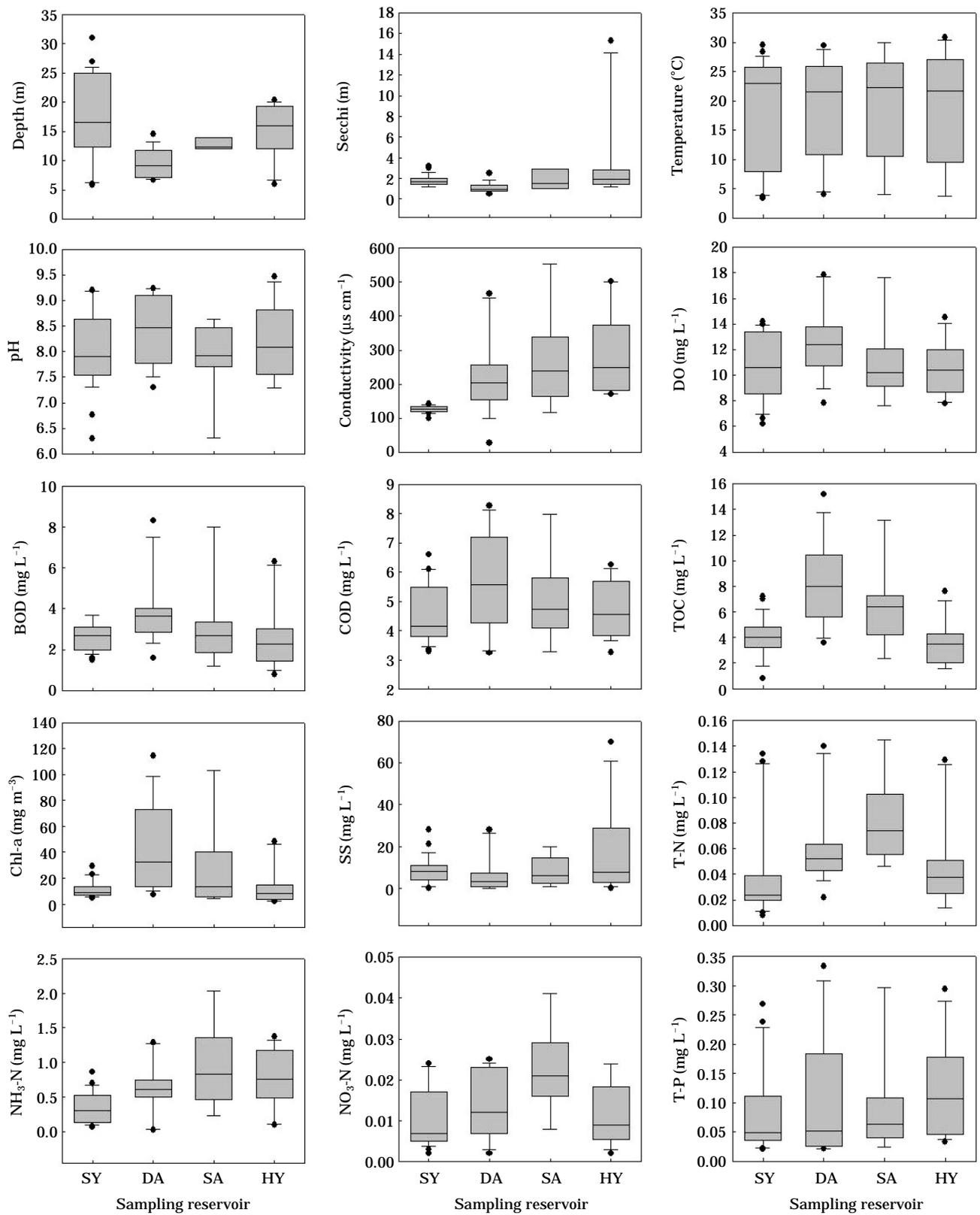


Fig. 3. Range of water qualities with vertical box plot indicating minimum, 10%, 25%, median, 75%, 90%, and maximum at each reservoir (SY: Lake Sayeon, DA: Lake Daeam, SA: Seonam reservoir, HY: Lake Hoeya).

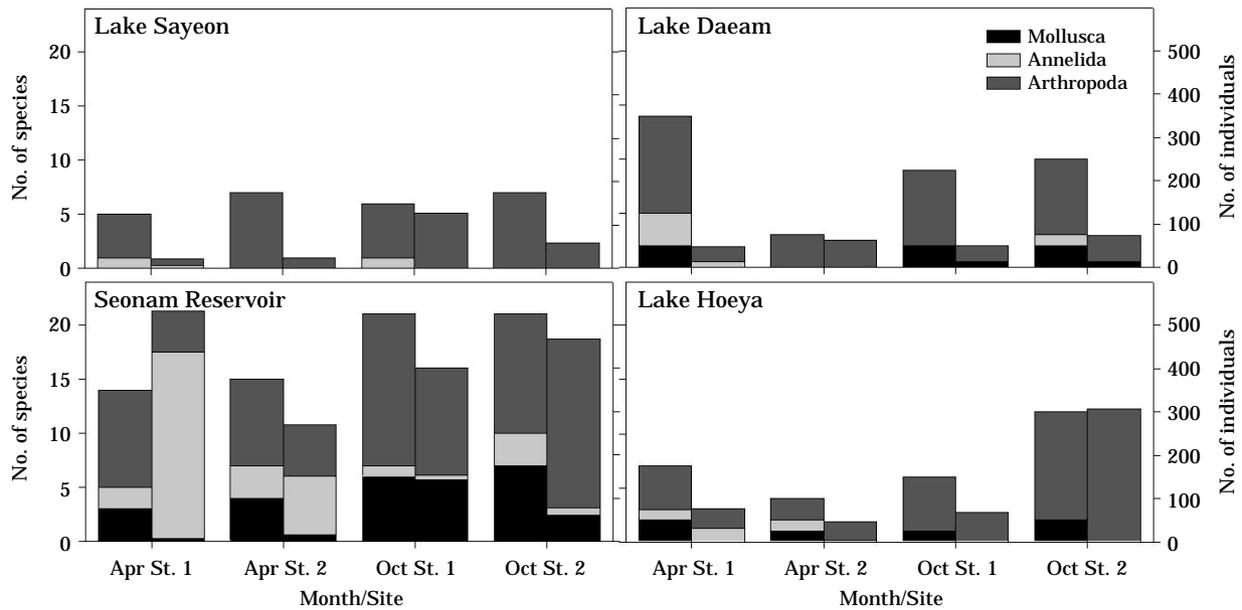


Fig. 4. The number of species (left bars) and individuals (right bars) at each site.

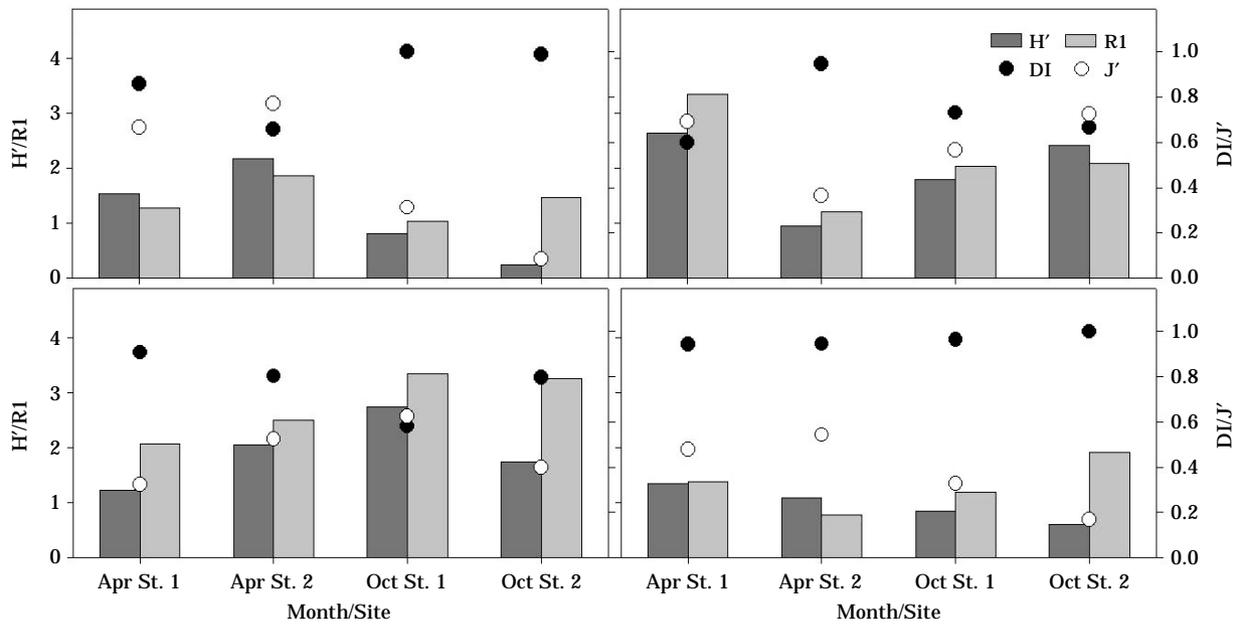


Fig. 5. Biological indices of benthic macroinvertebrates at each reservoir (H': Diversity index, R1: Richness index, DI: Dominance index, J': Evenness index).

미세유기물 (UPOM)을 주워먹는 습성을 갖는 GC의 종수 및 개체수 비율이 높고, 이들을 포식하고, 주로 정수역을 선호하는 상위 영양단계 종들의 무리인 P의 종수 및 개체수 비율 또한 유수생태계에 비해 높은 것으로 알려져 있다. 본 연구 대상지인 울산권 4개 호소에 서식하는 저서성대형무척추동물의 섭식기능군별 출현 종 수를 분석

한 결과, 사연호에서 GC (50.0%), P (25.0%), FC, PP 및 SC (8.3%)의 순으로 출현하였고, 대암호에서 GC (50.0%), P (33.3%), FC 및 PP (8.3%), 선암저수지 P (40.0%), GC (35.0%), PP (15.0%), FC와 SH/GC (5.0%), 회야호 P (54.5%), SC (45.5%)의 순으로 출현하여, 대부분 GC와 P 형태의 섭식기능군 종이 우점하고 있는 것으로 조사되었

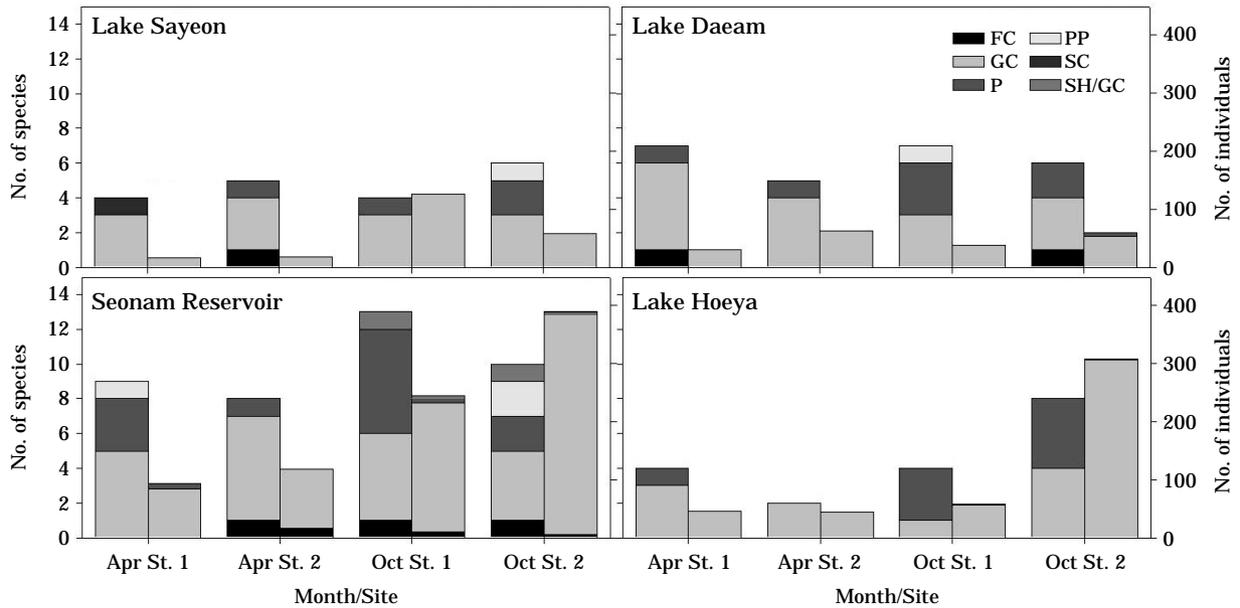


Fig. 6. The functional feeding group compositions of surveyed species (left bars) and individuals (right bars) at each site. (SH: Shredder, SC: Scraper, PP: Plant-Piercer, P: Predator, GC: Gathering-Collector, FC: Filtering-Collector).

다. 개체수의 경우 깔따구류의 우점으로 인하여 전 조사 시기 및 지점에서 GC type의 종이 대부분을 차지하였다 (Fig. 6).

출현 종의 상대적 회복력과 저항력을 분석한 결과, 4개의 조사 대상 호소 모두에서 저항력과 회복력이 모두 높은 분류군 (출현 종: 연못하루살이, 자실잠자리, 밀잠자리, 점물뽕뽕이, 깔따구류 등)이 다수 출현하여 대부분의 분류군이 자연적 또는 인위적 간섭이나 교란이 있는 서식 환경에서도 안정된 생물군집을 유지하는데 중요한 기능을 수행하고 있는 것으로 나타났다 (Fig. 7).

4. 수질 항목 및 저서성대형무척추동물 상관관계 분석

일반적인 유수생태계 내에서의 저서성대형무척추동물 군집 다양성은 호흡에 직접적인 영향을 미치는 탁도가 증가할수록 감소하고 (Wright, 1967; Soltero *et al.*, 1973; Ward, 1974), 영양염류 및 TDS (Total Dissolved Solid)가 증가할수록 종 다양성도 증가한다는 등 (Wright, 1967; Hilsenhoff, 1971; Hall *et al.*, 1976) 많은 연구가 진행되어 왔으나, 정수역에서 저서성대형무척추동물 군집과 수질의 상관관계는 영양염류가 증가할수록 종 다양성이 증가하고 (Neel, 1963), DO나 황화수소 농도 등의 변화에 의해 다양한 영향을 받는 것으로 (Isome, 1971; Hannan and Young, 1974; Crisp, 1977), 다소 포괄적으로만 알려져 있어, 보다 심도 있는 연구가 필요한 실정이다.

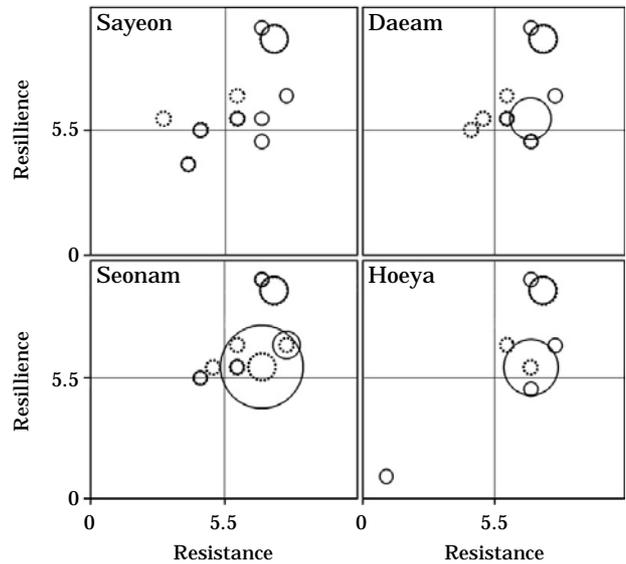


Fig. 7. Analysis of stability factors : relative resistance and resilience at each reservoir (Dotted line: April, Solid line: October).

울산권에 위치한 4개 호소의 수질 및 저서성대형무척추동물 분석 결과, 연평균 TN 및 NO₃-N 농도가 0.082 mg L⁻¹, 0.023 mg L⁻¹로 가장 높았던 선암저수지에서 총 36종 평균 208 inds. m⁻²로 가장 많은 종이 출현하였고, 연평균 TN 및 NO₃-N 농도가 0.037 mg L⁻¹, 0.011 mg L⁻¹로 가장 낮았던 사연호에서 총 16종, 평균 58 inds. m⁻²로

Table 1. Pearson's correlation matrix for macroinvertebrates data and annual average of water quality data.

	Temp.	pH	Cond.	DO	BOD	COD	TOC	SS	Chl-a	TN	TP	NH ₃ -N	NO ₃ -N
N. S.	.667	-.640	.425	.018	.229	.232	.420	.397	-.329	.962*	-.376	.692	.999**
T. D.	.323	-.765	.681	-.445	-.216	-.183	-.054	-.039	-.216	.762	-.022	.860	.856
D. D.	-.191	-.451	.767	-.738	-.589	-.526	-.560	-.490	.952*	.164	.548	.718	.248
DI	-.847	-.070	.097	-.775	-.840	-.809	-.931	-.885	.859	-.681	.510	-.096	-.567
H'	.919	-.031	.105	.690	.806	.788	.915	.883	-.747	.820	-.422	.309	.711
J'	.852	-.370	.301	.368	.547	.541	.710	.681	-.564	.964*	-.419	.553	.927
R1	.688	.486	-.304	.957*	.925	.891	.920	.885	-.829	.300	-.350	-.233	.126

** : P-value < 0.01, * : P-value < 0.05, N. S.: Number of species, T. D.: Total Density, D. D.: Density of Diptera

Table 2. Pearson's correlation matrix for macroinvertebrates data and water quality data of each month.

	Temp.	pH	Cond.	DO	BOD	COD	TOC	SS	Chl-a	TN	TP	NH ₃ -N	NO ₃ -N
N. S.	.364	-.020	-.080	-.117	.000	.284	.232	.247	-.087	.737*	-.182	.278	.730*
T. D.	.434	-.410	.106	-.543	-.463	.228	-.216	-.020	-.072	.447	-.353	.334	.581
D. D.	.720*	-.454	-.280	-.813*	-.325	.457	-.177	.052	-.088	-.133	-.346	-.300	-.091
DI	.057	-.662	.206	-.684	-.630	-.260	-.737*	-.615	.073	-.575	-.001	.045	-.314
H'	-.209	.666	.021	.748*	.564	.132	.640	.517	.061	.654	.092	.151	.460
J'	.233	.272	-.116	.216	.339	.302	.502	.420	-.146	.801*	-.034	.225	.670
R1	-.510	.669	.067	.895**	.540	-.105	.465	.341	.220	.221	.165	-.009	.105

** : P-value < 0.01, * : P-value < 0.05, N. S.: Number of species, T. D.: Total Density, D. D.: Density of Diptera

가장 적은 종이 출현하여, TN 및 NO₃-N의 연평균 농도가 출현 종수에 비례하는 것으로 나타난 반면, 기타 수질 항목에서는 저서성대형무척추동물의 출현과 상관관계를 보이지 않았다. 이를 바탕으로 정수생태계인 본 연구 대상 호소 내의 연 평균 질소 농도와 저서성대형무척추동물 종수의 상관관계를 분석한 결과, 울산 지역 내 4개 호소에 서식하는 저서성대형무척추동물 종수는 해당 호소의 연평균 TN 농도와의 상관계수 0.962 (P < 0.05), NO₃-N 농도와의 상관계수 0.999 (P < 0.05)로, 종수는 TN 및 NO₃-N에 대해서 양의 상관관계를 보였다 (Table 1). 파리목의 출현 개체수와 해당 월의 TN, NO₃-N 농도와의 상관관계 분석 결과, 상관관계가 없는 것으로 나타났으나, TN 농도는 군집지수 중 중군도(J')와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 용존산소량이 종다양도(H') 및 종풍부도(R1)와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다 (Table 2).

고찰

조사대상 4개 호소에서 4월에 비해 10월에 전반적으로 많은 종수와 개체수의 저서성대형무척추동물이 출현한 것은 연안대의 수생식물이 봄철에 비해 여름 및 가을철에 현저히 증가하기 때문에 수생식물에 붙어 서식하는

종의 번식에 기인한 것으로 사료된다. 아울러 4개 호소 중 규모가 가장 작은 선암저수지에서 가장 많은 종수와 개체수가 출현하였는데, 이는 선암저수지 주변으로 수변공원이 조성되면서 연꽃, 마름, 부들, 수련 등 많은 수생식물의 식재에 의한 영향이라 할 수 있다. 군집지수 분석 결과, 전반적으로 다양도지수는 낮고, 우점도지수가 상당히 높게 나타난 것은 모든 조사지점에서 깔따구류(*Chironomus* spp.) 또는 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*)의 점유율이 높게 나타난 결과로 판단되며, 다소 높은 다양도지수를 나타낸 대암호의 경우 다른 3개 호소에 비해 종구성이 비교적 안정적이고 복잡한 생태계를 갖는다고 할 수 있다 (Lloyd and Ghelord, 1964). 또한 상대적 저항력과 회복력이 높은 분류군이 다수 출현한 것을 통해 이들 종들이 해당 수생태계에 교란이 있는 경우 가장 먼저 유입되어 생물군집을 회복시킴으로써 고차소비자와 생산자를 연결하는 중간 영양단계로 중추적 역할을 수행하게 될 것이라는 것을 알 수 있다.

Spence and Hynes (1971)는 저서성대형무척추동물은 용존 영양염류 및 하상에 함유되어 있는 영양물질의 양에 큰 영향을 받게 된다고 하였고, Grimm (1988)은 유수 생태계에서의 저서성대형무척추동물 종수는 질소 농도와 깊은 연관성을 갖는다고 하였는데, 본 연구대상 호소에서도 마찬가지로 두 인자는 서로 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 호소생태계도 유수생태계와 마찬가지로

지로 영양물질의 증가가 저서성대형무척추동물의 먹이원인 식물플랑크톤 및 동물플랑크톤의 증가를 동반하게 되고, 이에 따라 저서성대형무척추동물의 군집이 안정적으로 유지될 수 있기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 하지만 이러한 현상이 호소생태계의 경향성을 대표한다는 것을 증명하기 위해서는 보다 넓은 범위에서의 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

적 요

2010년 2월부터 2010년 10월까지 울산 지역에 위치한 선암저수지, 대암호, 사연호, 회야호 4개 호소에 대하여 각 호소 내의 수질 및 저서성대형무척추동물상 조사를 수행하였다. BOD는 평균 14.2 mg L^{-1} 로, 4개 호소 중 선암저수지에서 연간 편차가 가장 컸으며, 회야호를 제외한 모든 호소에서 2월에 최대값, 5월에 최소값을 나타냈고, 회야호는 7월에 최소값을 나타냈다. 영양염 항목은 평균 TN 0.051 mg L^{-1} , TP 0.100 mg L^{-1} , $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.606 mg L^{-1} , $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.014 mg L^{-1} 로, TN 항목은 4개 호소에서 6월에 최대값을 나타냈고, TP는 3월에 최대, 5월에 최소값을 나타냈다. 저서성대형무척추동물은 4월과 10월에 조사를 수행하였으며, 평균 TN 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 0.082 mg L^{-1} , 0.023 mg L^{-1} 로 가장 높았던 선암저수지에서 총 36종 평균 208 inds. m^{-2} 로 가장 많은 종이 출현하였고, 대암호 21종 59 inds. m^{-2} , 회야호 17종 125 inds. m^{-2} , 사연호 16종 58 inds. m^{-2} 가 출현하였다. 영양염 항목과 저서성대형무척추동물 종수의 상관관계 분석 결과, 울산 지역 내 4개 호소에 서식하는 저서성대형무척추동물 종수는 해당 호소의 연평균 TN 농도와의 상관관계수 $0.962 (P < 0.05)$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도와의 상관관계수 $0.999 (P < 0.05)$ 로, 종수는 TN과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 대해서 양의 상관관계를 보이는 것으로 조사되었다.

사 사

본 연구는 환경부 국립환경과학원 환경기초조사사업 [과제명: 낙동강수계 호소환경 및 생태조사]의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

Aizaki, M., A. Otsuki, T. Fukushima, T. Kawai, M. Hosomi and K. Muraoka. 1981. Application of modified Carlson's

trophic state index to Japanese and its relationships to other parameter related to trophic stage. *Research Report from the National Institute for Environmental Studies* **23**: 13-31.

Crisp, D.T. 1977. Some physical and chemical effects of the Cow Green (upper Teesdale) impoundment. *Freshwater Biology* **7**: 109-120.

Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* **18**: 183-206.

Grimm, N.B. 1988. Role of macroinvertebrates in nitrogen dynamics of a desert stream. *Ecology* **69**: 1884-1893.

Hall, A., B.R. Davies and I. Valente. 1976. Caboro Bassa: Some preliminary physico-chemical and zooplankton pre-impoundment survey results. *Hydrobiologia* **50**: 17-25.

Hannan, H.H. and W.J. Young. 1974. The influence of a deep storage reservoir on the physicochemical limnology of a central Texas river. *Hydrobiologia* **44**: 177-207.

Hilsenhoff, W.L. 1971. Changes in the downstream insect amphipod fauna caused by an impoundment with a hypolimnion drain. *Annals of the Entomological Society of America* **64**: 743-746.

Hynes, H.B.N. 1963. Imported organic matter and secondary productivity in streams. Proc. 16th. *International Congress of Zoology* **4**: 324-329.

Isome, B.G. 1971. Effects of storage and mainstream reservoirs on benthic macroinvertebrates in the Tennessee Valley. In: Reservoir Fisheries and Limnology. *American Fisheries Society* 179-191.

Kehde, P.M. and J.L. Wilhm. 1972. The effects of grazing by snails on community structure of periphyton in laboratory streams. *American Midland Naturalist* **87**: 8-24.

Kim, E.H., M.K. Kim and W.S. Lee. 2005. The regional characteristics of daily precipitation intensity in Korea for recent 30 years. *Journal of Korean Earth Science Society* **26**: 404-416.

Lee, M.J., J.Y. Park, J.K. Seo, H.J. Lee, E.W. Seo and J.E. Lee. 2009. Community structure and cluster analysis of the benthic macroinvertebrates in inflow and outflow area of ten reservoirs of the Nakdong River system. *Journal of Life Science* **19**: 1758-1763.

Lloyd, M. and R.J. Ghelord. 1964. A table for calculation the "Equitability" component of species diversity. *Journal of Animal Ecology* **33**: 217-225.

Merritt, R.W., M.B. Berg and K.W. Cummins. 2009. An introduction to the aquatic insects of North America. 4th edition. *Kendall/Hunt* 1214 pp.

Neel, J.K. 1963. Impact of reservoirs. *Limnology in North America* 575-593.

Oh, H.K., Y. Kim and M.S. Beon. 2005. Vegetation and dis-

- tribution situation of naturalized plants in the waterworks protection area, Jeongup stream. *Korean Institute of Forest Recreation* **9**: 47-55.
- Ro, T.H. 2002. Resilience and resistance of biological community: application for stream ecosystem health assessment. *Journal of Environmental Policy* **1**: 93-112.
- Ro, T.H. and D.J. Chun. 2004. Functional feeding group categorization of Korean immature aquatic insects and community stability analysis. *Korean Journal of Limnology* **37**: 137-148.
- Soltero, R.A., J.C. Wright and A.A. Horpestad. 1973. Effects of impoundment on the water quality of the Bighorn River. *Water Research* **7**: 343-354.
- Spence, J.A. and H.B.N. Hynes. 1971. Differences in benthos upstream and downstream of an impoundment. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **28**: 35-43.
- Ward, J.W. 1974. A temperature-streoded stream ecosystem below a hypolimnial release mountain reservoir. *Archiv für Hydrobiologie* **74**: 247-275.
- Won, D.H., S.J. Kwon and Y.C. Jeon. 2005. Aquatic insect of Korea. *Korea ecosystem service* 415 pp.
- Wright, J.C. 1967. Effects of impoundments on productivity, water chemistry and heat budgets of rivers. In: Reservoir Fishery Resources Symposium. *American Fisheries Society* 188-199.
- Yoon, I.B. 1995. Explanatory diatrams of aquatic insects. *Jeongheangsa* 262 pp.

(Manuscript received 21 October 2011,

Revised 4 December 2011

Revision accepted 16 December 2011)

Appendix 1. List of surveyed benthic macroinvertebrates (ind. m⁻²).

Scientific name	Seonam reservoir			Lake Daeam			Lake Sayeon			Lake Hoeya		
	Apr.	Oct.	Total	Apr.	Oct.	Total	Apr.	Oct.	Total	Apr.	Oct.	Total
<i>Cipangopaludina chinensis</i>		2.3	1.1									
<i>Parafossarulus manchouricus</i>	●		●									
<i>Assiminea japonica</i>		3.6	1.8									
<i>Radix auricularia</i>	0.3	7.5	3.9		9.4	4.7				●	●	●
<i>Physa acuta</i>	1.3	11.7	6.5	●	2.6	1.3				●		●
<i>Hippeutis cantori</i>	1.0	2.9	2.0							0.3	●	0.2
<i>Anodonta arcaejormis</i>		0.7	0.3									
<i>Corbicula</i> sp.		21.8	10.9									
<i>Pisidium</i> sp.	2.6		1.3	0.7		0.3						
<i>Chaetogaster limnaei</i>				0.7		0.3						
<i>Branchiura sowerbyi</i>	2.9		1.5									
<i>Limnodrilus</i> sp.	137.5	1.0	69.2	5.5	0.7	3.1	2.9	●	1.5	16.3		8.1
<i>Hemiclepsis marginata</i>		6.2	3.1									
Glossiponidae sp.	1.0		0.5									
<i>Erpobdella lineata</i>	0.3	0.3	0.3	●		●						
Asellidae sp.				1.6		0.8	1.6		0.8			
<i>Paratya compressa</i>							1.6	0.7	1.1			
<i>Macrobrachium nipponense</i>		0.3	0.2	●	0.7	0.3		●	●		4.9	2.4
<i>Palaemon paucidens</i>				0.7		0.3						
<i>Cloeon dipterum</i>	0.7	1.6	1.1		2.3	1.1		●	●		●	●
<i>Procloeon pennulatum</i>	1.6		0.8	0.7		0.3						
<i>Caenis</i> KUa	●		●	2.6		1.3				0.3		0.2
<i>Ephemera orientalis</i>	2.6	12.0	7.3	0.7		0.3	0.7	●	0.3			
<i>Cercion calamorum</i>	0.3	●	0.2		0.3	0.2		●	●		0.3	0.2
<i>Enallagma cyathigerum</i>		●	●									
<i>Ischnura asiatica</i>											0.3	0.2
Coenagrionoidae sp.					0.3	0.2						
<i>Copera annulata</i>		1.0	0.5		●	●						
<i>Platycnemis phillopoda</i>		●	●									
<i>Epitheca marginata</i>		0.3	0.2									
<i>Epophthalmia elegans</i>											●	●
<i>Deielia phaon</i>										0.3	●	0.2
<i>Orthetrum albistylum speciosum</i>	0.3		0.2									
<i>Sympetrum depressiusculum</i>		●	●									
<i>Micronecta</i> sp.				●	2.6	1.3		●	●		1.0	0.5
<i>Muljarus japonicus</i>											●	●
<i>Laccotrephes japonensis</i>							●	●	●			
<i>Peltodytes sinensis</i>		●	●									
<i>Enochrus simulans</i>	●		●					●	●			
<i>Hydrochara affinis</i>											●	●
<i>Laccobius bedeli</i>		0.7	0.3		●	●						
Elmidae sp.							0.3		0.2			
<i>Antocha</i> KUa							0.3		0.2			
Ceratopogonidae sp.	1.6	0.3	1.0									
<i>Chironomus</i> sp. (Non-red type)	36.7	125.5	81.1	33.8	27.0	30.4	4.2	76.1	40.1	37.4	132.0	84.7
<i>Chironomus</i> sp. (Red-type)	5.2	11.4	8.3	8.5	16.3	12.4	11.7	15.6	13.7	6.8	49.4	28.1
Stratiomyiidae sp.		●	●									
Ephydriidae sp.		1.6	0.8									
<i>Culex</i> sp.		●	●								●	●
<i>Ecnomus tenellus</i>	3.9	3.9	3.9	0.3	0.3	0.3	0.3		0.2			
<i>Mystacides</i> KUa								0.3	0.2			
Number of individuals	199.9	216.5	208.2	55.6	62.4	59.0	23.7	92.6	58.2	61.4	187.9	124.6
Number of species	20	28	36	15	13	21	10	12	16	8	14	17

●: surveyed species by qualitative collection.