

ORIGINAL ARTICLE

도심하천과 자연하천의 저서성 대형무척추동물 군집 구조

신석민 · 최일기¹⁾ · 서을원 · 이종은*

안동대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹⁾(주) 에코탑 자연환경연구소

Community Structure of Benthic Macroinvertebrate in the Urban and Nature Stream

Seok-Min Shin, Il-Ki Choi¹⁾, Eul-Won Seo, Jong-Eun Lee*

Department of Biological Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea

¹⁾Institute for Natural Environment, Eco Top Corporation, Seoul 143-130, Korea

Abstract

This study was conducted to compare benthic macroinvertebrate communities of urban stream and nature stream in Daegu-si, Gyeongju-si, Gyeongsan-si, Andong-si, and Cheongsong-gun. The survey was carried out with 12 points in total six points for urban stream, six points for nature stream from Sept. 2011 to July 2012. In the urban stream were 33 species belonged to 24 families, 11 orders, 7 classes and 4 phyla while in the nature stream were 73 species belonged to 38 families, 12 orders, 5 classes and 4 phyla. In general, species diversity indices and species richness indices appeared low in urban stream but dominance indices was high. Functional feeding groups and Habitat Oriented Groups appeared comparatively simple in urban stream rather than nature stream. As a result of analysis of community stability, species included to area I and area III equally appeared in nature stream while species included to area I mostly appeared in urban stream. An analysis of the correlation between the population density and the number of species, the population number and biological indicators such as DI, H', RI, and ESB revealed that there was a significant correlativity with the diversity index and a very high correlativity with the number of species, abundance index and the ESB. On the other hand, the population number and the dominance index did not reveal any correlativity. For indicator species, *Hydroptila KUa*, *Physa acuta* appeared in urban stream while *Paraleptophlebia chocolata*, *Epeorus pellucidus* appeared in nature stream.

Key words : Urban stream, Nature stream, Benthic macroinvertebrates, Community analysis

1. 서 론

하천은 인간의 오랜 역사를 통하여 다양하게 변모되어 왔는데, 산업화 및 도시화가 진전됨에 따라 치수와 이수 위주의 관리를 한 결과 오늘날 많은 하천은 자연적 구조에서 인위적 구조로 바뀌어 생물의 서식장

소로서의 기능을 상실하였으며 인간생활에 도움을 주는 다양한 생태적 기능도 나타내지 못하고 있다 (Booth와 Jackson, 1997). 특히 인구의 도시 집중으로 인해, 정도의 차이는 있지만 인위적 영향을 받지 않은 하천이 거의 없다고 해도 과언이 아니다. 이러한 도시화가 하천에 미치는 가장 큰 변화 중 하나는 하천 내 또

Received 27 September, 2012; Revised 13 May, 2013;

Accepted 29 May, 2013

*Corresponding author : Jong-Eun Lee, Department of Biological science, College of Natural Sciences, Andong National University, Andong 760-749 Korea.

Phone: +82-54-820-7726

E-mail: jelee@andong.ac.kr

© 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.

는 주변 서식지의 다양성 감소라고 할 수 있다 (Bledsoe와 Watson, 2001). 도시화에 따른 하천생태계의 영향은 그 하천에 서식하는 생물 군집의 생태학적 기능을 크게 변모시킨다(Yoon 등, 1992a).

생물학적 수질평가에 사용되는 저서성 대형무척추동물은 생활사가 길고 서식처 및 기능이 고도로 분화되어 수환경의 변화에 민감하게 반응하는 분류군으로 수중에 유입되는 오염물질의 영향과 서식지 상태 등에 따라 출현하는 종이 달라지는 특이성을 가지고 있다(Yoon 등, 1992b). 또한 정량 채집이 용이하여 훌륭한 생태학적 재료로 이용되기 때문에(Wrad, 1992). 저서성 대형무척추동물의 개체군 출현 양상과 군집의 특성을 분석하는 것은 생물학적 수질평가로 중요하게 이용될 수 있다.

도심 및 자연하천의 저서성 대형무척추동물 군집에 관한 선행연구로 Bae 등(1996), Yoon(1998), Song (2002), Kwak 등(2003), Shin(2008), Son와 Hong(2010)이 있으며, 이러한 연구는 주로 도심하천에서 일어나는 특정한 인위적인 교란에 국한된 것이었다. 본 연구는 도심형과 자연형으로 나뉘는 5개의 시·구·군안에 포함된 7개의 수계에 대한 저서성 대형무척추동물 군집을 비교함으로써 도시화 진행에 의한 인위적인 교란이 수서생태계에 미치는 영향과 향후 자연하천 복원의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 조사시기

도심형 및 자연형을 규정할 때는 보통 인구수, 인구밀도, 주거의 밀집, 직업구성비 등이 사용된다. 본 연구에서는 시·군·구별 인구밀도를 바탕으로 가까운 거리에 주거가 밀집해 있으며 상업적인 개발이 많이 이루어진 정도에 따라 도심하천(Urban Stream: US) 6지점(US. 1~6)과 자연하천(Nature Stream: NS) 6지점(NS. 1~6)을 선정하였으며 각 조사지점은 Fig. 1과 같다. 조사 시기는 장마 및 태풍의 영향과 계절별 우화 시기의 특성을 고려하여 2011년 9월 19일 금호강과 보현천, 2012년 7월 11일 북천, 신천과 길안천, 반면천에서 각각 조사를 실시하였다.

2.2. 채집 및 동정

채집은 유수역(riffle)에서 Suber sampler(30×30 cm, 망목 1 mm)로 하상의 구조와 유속 등을 고려하여 3회씩 정량채집을 하였으며 채집된 표본은 현장에서 95% Ethanol에 고정 후 실험실로 운반하였다. 채집된 종의 동정은 국내에서 발표된 검색도설(Kwon 등, 1993; Won 등, 2005; Yoon, 1995)을 이용하였다.

2.3. 군집분석

단위면적당 출현개체수(Inds./m²)를 산출하여 개체수를 나타낸 후, 각 조사지점별 군집분석을 실시하였다. 군집분석은 우점도지수(DI), 다양도지수(H'), 풍부도지수(R'), 균등도지수(J')를 산출하였으며(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Pielou, 1975; Shannon와 Weaver, 1949), 기능군의 분석은 섭식기능군(FFGs; Functional Feeding Groups)과 서식기능군(HOGs; Habitat Oriented Groups)을 분석하였고 상대적 저항력과 회복력에 대한 군집안정성 분석을 하였다(Merritt와 Cummins, 1984; Ro와 Chun, 2004). 생물학적 수질 평가는 전국자연환경 조사지침(Kong, 1997)에서 제안한 수환경평가지수(ESB: Ecological Score of Benthic macroinvertebrate community)를 적용하였고 통계분석은 SPSS(한글 ver. 18.0)의 Pearson 상관계수를 이용하였으며 유의수준값(p-value)은 $p<0.01$ 일 때 유의한 결과로 나타내었다.

2.4. 지표종 분석

도심하천 및 자연하천에서 대표적으로 서식 가능한 지표종을 선정하기 위해 각 종의 출현빈도, 출현개체수, 지표가중치를 고려하여 분석하였다. 지표가중치는 Yoon 등(1992a)이 오타계급치를 5단계로 구분하여 산출한 값을 사용하였으며, 지표가중치가 3이하에 해당되는 종과 도심 및 자연하천에 공통적으로 출현한 종은 제외하고 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 종조성

도심하천에서는 총 4문 7강 11목 24과 33종 5,624.0 inds./m²가 출현하였으며, 자연하천에서는 4문 5강 12목 38과 73종 9,875.3 inds./m²가 출현하여 자연하천

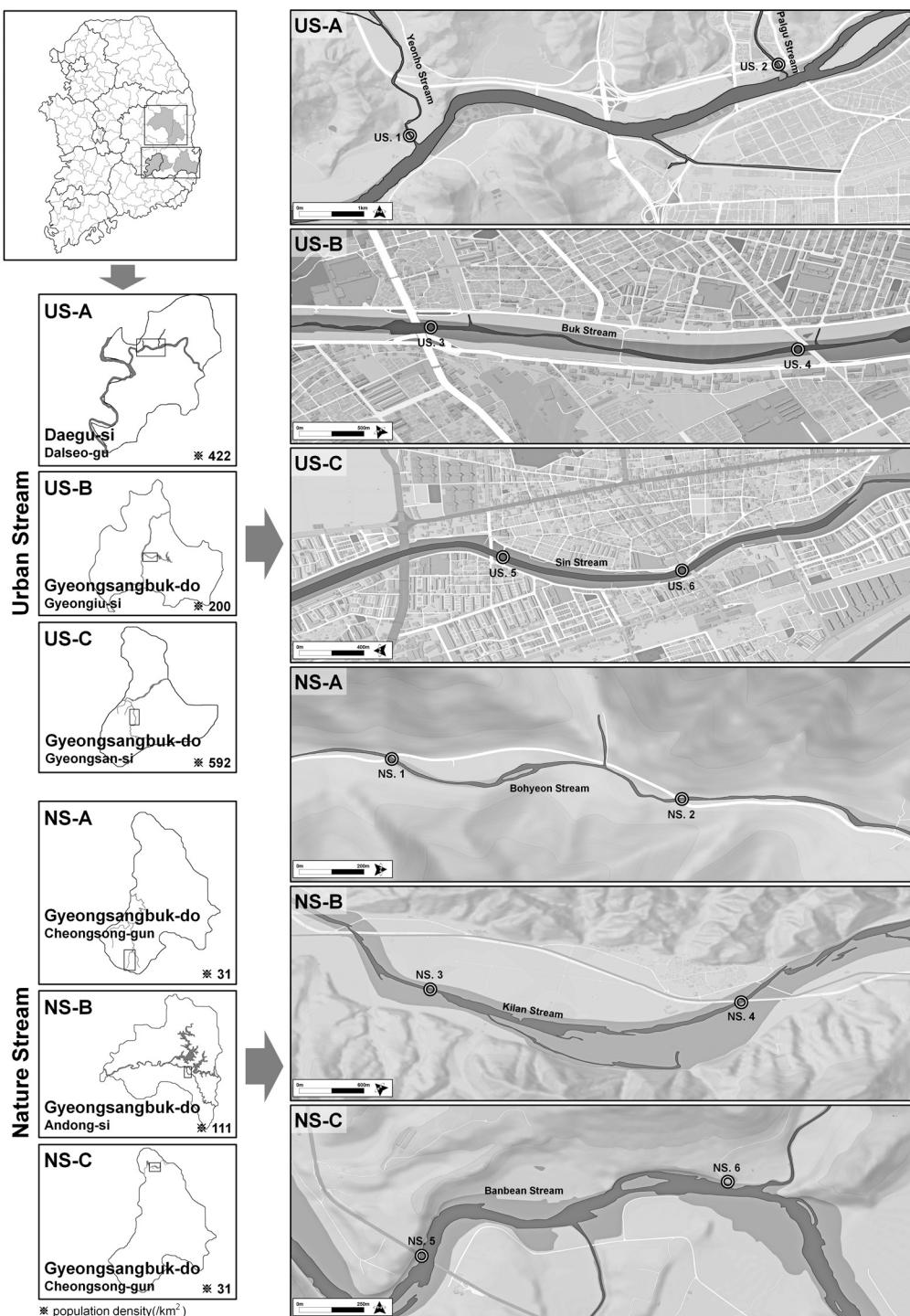


Fig. 1. The map showing the urban stream (Yeonho stream, Palgu stream, Buk stream, Sin stream) and nature stream (Bohyeon stream, Kilan stream, Banbean stream) study area.

이 더 풍부한 종수 및 개체수를 나타냈다(Fig. 2). 청정한 환경의 지표종이며 장기간에 걸친 수환경 변화에 매우 민감하게 반응하는 E.P.T.분류군(하루살이목, 강도래목, 날도래목) 분석결과, 도심하천에서 E.P.T.분류군과 기타곤충류의 종수 비율은 낮은 반면 비곤충류의 비율은 높았다. E.P.T.분류군의 평균 개체수 비율은 자연하천(71.35%)이 도심하천(52.15%)보다 더 높게 나타났으나 기타곤충류의 평균 개체수 비율은 도심하천(17.82%)이 자연하천(5.96%)보다 더 높게 나타났다(Fig. 3). 이는 수계에서 낙엽의 부식물을 직접적으로

로 섭취하는 강도래목과 날도래목, 부식물로 생성되는 유기물을 먹이원으로 하는 하루살이목이 자연하천에 비해 도심하천에서 수계일대의 수목과 초목이 감소함에 따라 수계에 유입되는 낙엽의 양이 감소하여 이를 먹이원으로 하는 E.P.T. 분류군이 직접적인 영향을 받아 종수 및 개체수가 감소한 것으로 판단되며, E.P.T. 비율과 풍부도는 수환경질이 양호할수록 높게 나타나는 것으로 보고한 Davis 등(2003)와 Peitz(2003)의 결과와 일치하였다.

3.2. 군집분석

도심하천에서는 US. 6지점을 제외한 나머지 5개지점에서 모두 깔따구류(*Chironomus sp.*)가 우점종으로 나타났으며, 우점도지수는 0.30~0.93의 범위로 평균 0.66이 나타났다. 자연하천에서는 4종의 서로 다른 우점종이 나타났으며 우점도 지수는 0.29~0.69의 범위로 평균 0.45로 나타났다(Table 1). 도심하천은 하수 처리장에서 유입되는 방류수와 하도 내 자전거 도로와 산책로로 항상 오염에 노출되어 있으며, 그로 인한 영향으로 깔따구류와 같은 내성이 강한 특정종의 개체수가 증가하여 우점도 지수가 높게 나타난 것으로 판단된다. 다양도지수 및 풍부도지수는 우점도지수와 반비례하여 증감하는 것으로 확인되었으며, 도심하천에서 우점도지수는 높고 다양도 및 풍부도지수

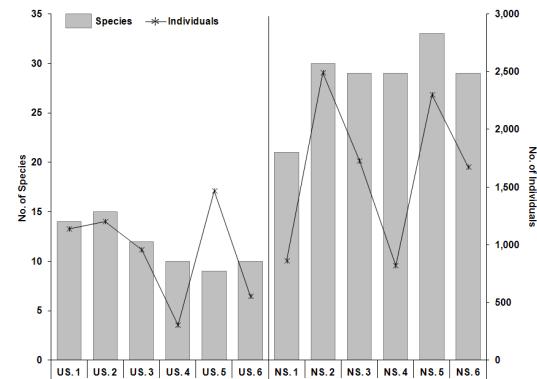


Fig. 2. Species and individual number of benthic macroinvertebrates at the Urban Stream (US. 1~6) and Nature Stream (NS. 1~6).

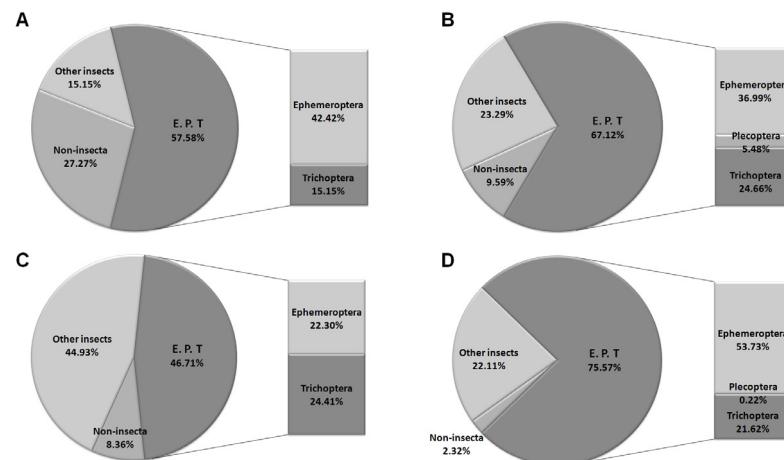
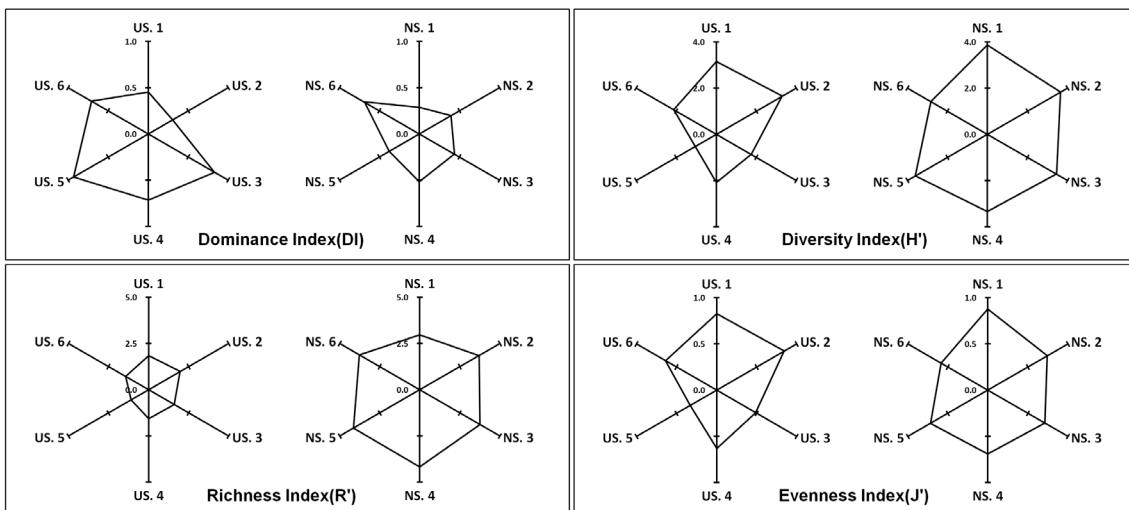


Fig. 3. Composition of species (A, B) and individuals (C, D) of EPT and other benthic macroinvertebrates of Urban Stream (A, C) and Nature Stream (B, D).

Table 1. Dominant species and biological indices at the each surveyed sites

Site	Dominant species	Subdominant species	DI	H'	R'	J'
US.1	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.45	3.15	1.85	0.83
US.2	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.30	3.30	1.97	0.84
US.3	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Baetis fuscatus</i>	0.83	1.75	1.60	0.49
US.4	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Asellidae</i> sp.	0.72	2.09	1.57	0.63
US.5	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Baetilla tuberculata</i>	0.93	1.05	1.10	0.33
US.6	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.71	2.12	1.42	0.64
NS.1	<i>Simulium</i> sp.	<i>Baetis fuscatus</i>	0.29	3.86	2.96	0.88
NS.2	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.39	3.65	3.71	0.74
NS.3	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	<i>Chironomus</i> sp.	0.44	3.45	3.76	0.71
NS.4	<i>Chironomus</i> sp.	<i>Caenis KUA</i>	0.52	3.35	4.18	0.69
NS.5	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	<i>Epeorus pellucidus</i>	0.38	3.61	4.13	0.72
NS.6	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	<i>Epeorus pellucidus</i>	0.69	2.83	3.77	0.58

**Fig. 5.** Biological indices of each surveyed sites.

는 낮게 나타났다(Fig. 4).

3.3. 기능군 분석

섭식기능군 분석 결과, 도심하천의 경우 단순한 섭식기능군 형태가 나타났으며 자연하천에 비해 주워먹는무리(GC: Gathering Collector)의 비율이 높았다. 자연하천의 경우 도심하천에 비해 긁어먹는무리(SC: Scraper), 썰어먹는무리(SH: Shredder), 잡아먹는무리(P: Predator)의 비율이 높았다. 이와 같은 결과는 도심하천에서 미세입자 유기물질 등의 증가로 인해 좁은 무리인 깔따구류와 거르는 무리인 줄날도래류가

높게 출현하였기 때문인 것으로 판단되며, Allan(1995)과 Bae 등(2003)의 결과와 일치하였다.

서식기능군은 도심하천에서 굴파는무리(Burrowers)의 비율이 높게 나타났으며, 자연하천에서는 붙는무리(Clingers)의 비율이 높게 나타났다(Fig. 5). 이는 도심에서 유입되는 유기물로 인해 오염물질이 퇴적되거나 바닥물질이 모래나 실트 이하로 단순해져 깔따구류와 같은 굴파는무리의 개체수 비율이 높아진 원인으로 판단된다(Kim 등, 2012).

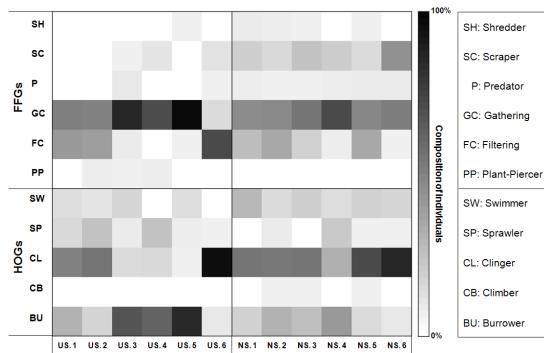


Fig. 5. Individuals occupation of FFGs (Functional Feeding Groups) and HOGs (Habitat Oriented Groups) of benthic macroinvertebrate at the each surveyed sites.

3.4. 군집안정성 분석

자연하천에서는 상대적 저항력과 회복력이 모두 높은 종이 분포하는 I 구역과 상대적 저항력과 회복력이 모두 낮은 종들이 분포하는 III구역에 해당하는 종들이 고루 분포하는 것으로 나타났다. 도심하천에서는 자연하천에서 출현한 매우 낮은 저항력과 회복력을 가진 Psephenidae(저항력1, 회복력2), Nemouridae(저항력2, 회복력2), Perlidae(저항력2, 회복력2)의 종들이 출현하지 않아 I 구역에 편중하는 경향을 나타내었다(Fig. 6).

3.5. 상관관계 분석

도심하천과 자연하천에서 분석된 종수, 개체수, 우점도지수, 다양도지수, 풍부도지수, ESB와 같은 생물

지표와 인구밀도간의 상관관계 분석결과, 다양도지수($p=-0.634^*$)와 유의한 상관성이 나타났고 종수($p=-0.798^{**}$), 풍부도지수($p=0.817^{**}$), ESB($p=0.802^{**}$)와는 매우 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다(Fig. 7). 그 외에 개체수($p=0.397$)와 우점도지수($p=0.430$)는 상관성을 나타내지 않았다. 이는 인구의 증가로 인해 도심에서 유입되는 유기물이 축적됨으로써 깔따구류와 같은 특정종의 개체수가 늘어난 영향으로 판단된다.

3.6. 지표종 분석

지표종(Indicator species) 분석 결과, 도심하천의 지표종은 애날도래 KUa(*Hydroptila KUa*)와 원돌이 물달팽이(*Physa acuta*)가 나타났으며 자연하천은 두갈래하루살이(*Paraleptophlebia chocolata*)와 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*)가 지표종으로 나타났다. 도심하천은 주로 내성이 강하여 오염정도가 심한 곳에서도 서식할 수 있는 종이 지표종으로 나타났으며, 자연하천은 청정한 환경상을 보이는 산간계류 및 산간평지형 하천에 주로 서식하며 유속이 빠른 여울 구간을 선호하는 종이 지표종으로 나타났다(Fig. 8).

4. 결 론

본 연구는 경산시, 경주시, 대구시, 안동시, 청송군에 위치한 7개의 수계를 도심형과 자연형을 나누어 각각 6개 지점을 선정하여 저서성 대형무척추동물의 군

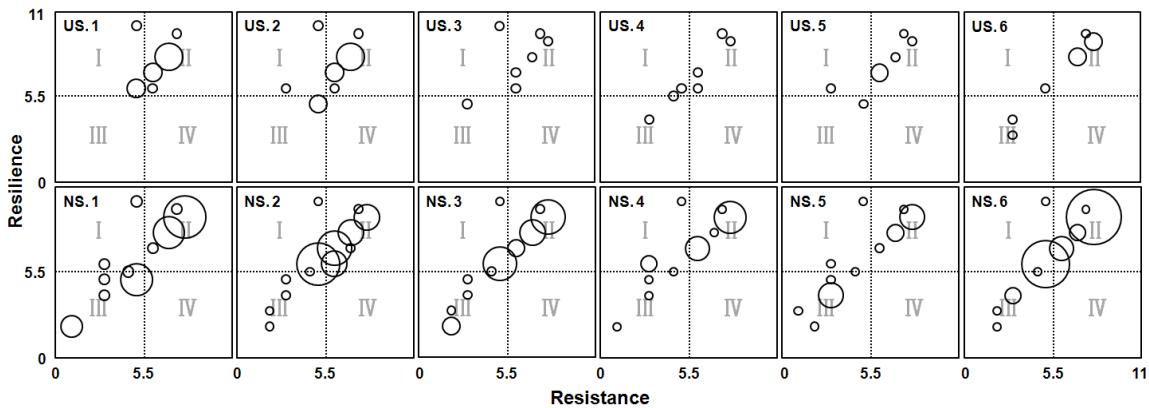


Fig. 6. Analysis of stability factors with resistance and resilience at the each surveyed sites.

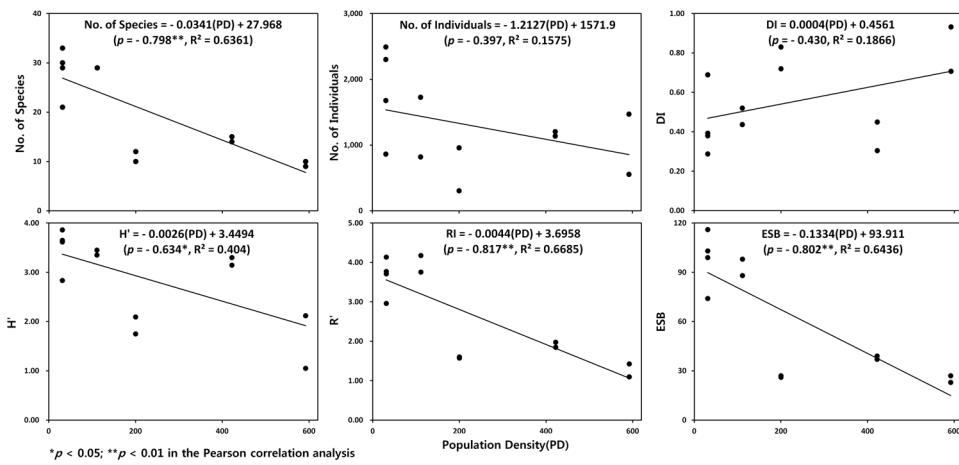


Fig. 7. Correlation coefficients between community indices and population density.

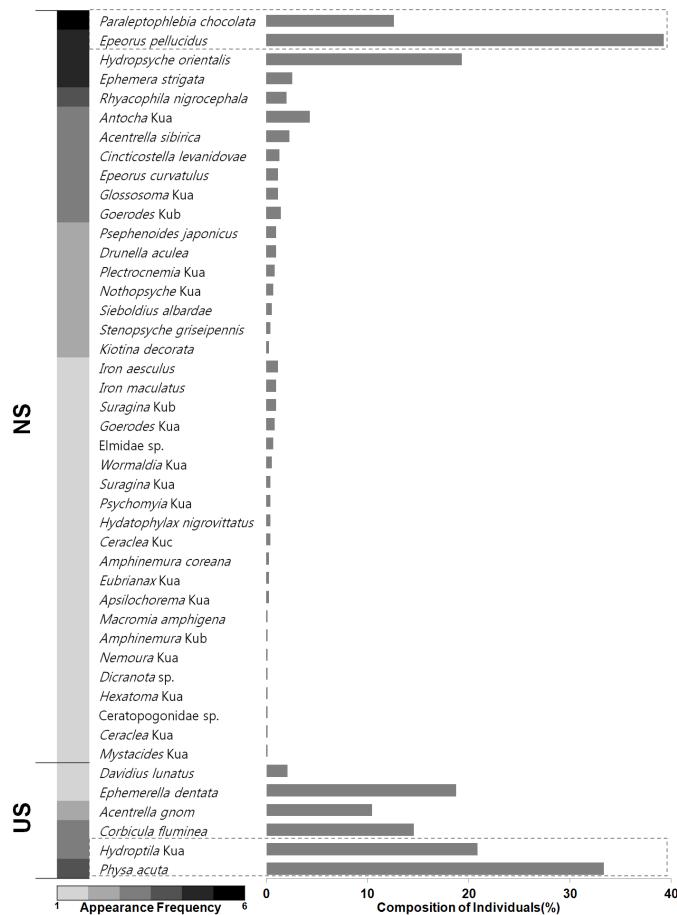


Fig. 8. Appearance frequency and composition individuals of indicator species in Urban Stream (US) and Nature Stream (NS).

집구조를 비교하였다. 도심하천에서는 총 4문 7강 11목 24과 33종 5,624.0 inds./m²가 출현하였으며, 자연하천에서는 총 4문 5강 12목 38과 73종 9,875.3 inds./m²가 출현하였다. E.P.T분류군은 종수 및 개체수비율 모두 자연하천이 더 높게 나타났다. 도심하천에서는 US. 6지점을 제외한 모든 지점에서 깔따구류가 우점하였고 평균 우점도지수가 높았으나 자연하천의 경우 서로 다른 4종이 우점종으로 나타났으며 평균 우점도지수가 낮았다. 군집지수는 도심하천에서 우점도지수가 높게 나타났으나 다양도 및 풍부도지수는 낮게 나타났다. 자연하천은 이와 반비례하여 증감하는 경향이 나타났다. 섭식기능군은 도심하천이 자연하천에 비해 GC의 비율이 높고 SC, SH, P의 비율은 낮았다. 서식기능군은 도심하천에서 자연하천에 비해 BU의 비율이 높게 나타났으며, CL의 비율은 낮게 나타났다. 군집안정성은 자연하천에서 I 구역과 III구역에 해당하는 종들이 고루 분포하는 것으로 나타났으며 도심하천에서는 I 구역에 편중하는 경향을 나타냈다. 생물지표와 인구밀도간의 상관관계 분석결과, 다양도지수와 유의한 상관성이 있었으며 종수, 풍부도지수, ESB와도 매우 높은 상관성을 나타냈다. 그 외에 개체수와 우점도지수는 상관성을 나타내지 않았다. 지표종은 도심하천에서 애날도래 KUa(*Hydroptila KUa*), 원돌이물달팽이(*Physa acuta*)가 나타났으며 자연하천은 두갈래하루살이(*Paraleptophlebia chocolata*), 부채하루살이(*Epeorus pellucidus*)가 나타났다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업 연구비 지원으로 수행된 결과입니다(과제번호 416-111-017).

참 고 문 헌

- Allan, J. D., 1995, Stream Ecology; Structure and function of running waters, Chapman & Hall, London, pp. 400.
- Bae, Y. J., Park, S. Y., Yoon, I. B., Park, J. H., Bae, K. S., 1996, Changes of benthic macroinvertebrate community from a dredged section in wangsuk creek, Kor. J. Limnol., 29(4), 251-261.
- Bae, Y. J., Won, D. H., Lee, W. J., Seung, H. W., 2003, Development of environment assessment technique and biodiversity management system and their application to stream ecosystems in korea, Kor. J. Env. Biol., 21(3), 223-233.
- Bledsoe, B. P., Watson, C. C., 2001, Effects of urbanization on channel instability, J. Am. water Resour As., 37(2), 255-270.
- Booth, D. B., Jackson, C. R., 1997, Urbanization of aquatic systems : degradation, thresholds, stormwater detection and the limits of mitigation, J. Am. water Resour As., 33(5), 1077-1090.
- Davis, S. D., Golladay, S. W., Vellidis, G., Pringle, C. M., 2003, Macroinvertebrate biomonitoring in intermittent coastal plain stream impacted by animal agriculture, J. Environ. Qual., 32(3), 1036-1043.
- Kim, B. S., Lee, C. W., Seo, E. W., Lee, J. E., 2012, The Influence of sediment control dam dredging on benthic macroinvertebrate communities of mountain stream, Kor. J. For. Soc., 101(3), 454-460.
- Kong, D. S., 1997, Benthic macroinvertebrates in hongseong and yesan county, in ministry of environment (des.), Natural of Environment, Gyeonggi, pp. 155-204.
- Kwak, I. S., Kim, J. K., Chon, T. S., 2003, Community patterning of benthic macroinvertebrates in urbanized streams by utilizing an artificial neural network, Kor. J. Limnol., 36(1), 29-37.
- Kwon, O. G., Park, G. M., Lee, J. S., 1993, Coloured shells of korea, academy publishing company press, Seoul, pp. 445.
- Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, General Systems, 3: 36-71.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of california grassland, Nature 216: 168-169.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., 1984, An introduction to the aquatic insects of north america. 2nd ed. Kendall/Hunt Publishing Corporation. Dubuque, Iowa. pp. 862.
- Peitz, D. G., 2003, Macroinvertebrate monitoring as an indicator of water quality: Status report for pipestone creek, Pipestone National Monument, 1989-2002, National Park Service, Republic Missouri, 1-13.
- Pielou, E. C., 1975, Ecological diversity, Wiley, New York, pp. 165.

- Ro, T. H., Chun, D. J., 2004, Functional feeding group categorization of korean immature aquatic insects and community stability analysis, Kor. J. Limnol., 37(2), 137-148.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, The mathematical theory of communication, University of Illinois Press, Urbana, pp. 117.
- Shin, I. K., 2008, Colonization patterns and community changes of benthic macroinvertebrates after stream restoration in korean streams, Ph. D. Diss., Seoul Women's Univ., Seoul.
- Son, J. W., Hong, J. H., 2010, Community structure of benthic macroinvertebrates of daecheon stream in busan city, J. Environ. Sci., 19(2), 185-196.
- Song, M. Y., 2002, Community variations in benthic macroinvertebrates at different habitats in a polluted urban stream, MS Diss., Pusan Univ., Pusan.
- Ward, J. V., 1992. Graphic and mathematical analysis of biotic communities in polluted stream. Ann. Rev. Ent., 17: 223-252.
- Won, D. H., Kwon, S. J., Jeon, Y. C., 2005, Aquatic insect of korea, Korea ecosystem service press, Seoul, pp. 415.
- Yoon, B. J., 1998, Comparative analysis on communities of chironomidae (Diptera) and other benthic macroinvertebrates in polluted urban streams of the Suyong River, South Korea, with an application to water quality assessment, Ph. D. Diss., Pusan Univ., Pusan.
- Yoon, I. B., 1995, Explanatory diagrams of aquatic insects, Jeongheangsa press, pp. 262.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992a, Studise on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (I) -Saprobic valency and indicative value-, Kor. J. Env. Biol., 10(1), 24-39.
- Yoon, I. B., Kong, D. S., Ryu, J. K., 1992b, Studise on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (II) -Effects of environmental factors to community-, Kor. J. Env. Biol., 10(1), 40-55.