

한국의 하천환경 평가를 위한 저서동물 속범주지수(BMGI)의 개발 및 적용

공동수^{a,†} · 여민정^b

경기대학교 생명과학과

Development and Application of Benthic Macroinvertebrates Genus Index for Biological Assessment on Korean Stream Environment

Dongsoo Kong^{a,†} · Minjeong Yeo^b

Department of Life Science, Kyonggi University

(Received 23 June 2023, Revised 20 July 2023, Accepted 21 July 2023)

Abstract

The genus-level biotic index of benthic macroinvertebrates (Benthic Macroinvertebrates Genus Index, BMGI) was developed and applied based on the data collected from 13,347 sampling units of 814 sites from 2010 to 2021 in Korea. Tolerant values of 274 indicator taxa were established by analyzing the relationship between the relative frequency and abundance of indicator taxa and the water quality index considering biochemical oxygen demand (BOD₅), total suspended solids (TSS), and total phosphorus (T-P). BMGI showed a slightly higher correlation with water quality than the species-level biotic index (Benthic Macroinvertebrates Index, BMI) that was developed and applied in Korea. Although the BMGI does not contain species-level information, the reason why BMGI shows higher applicability than BMI seems to be due to the increase in the number of indicator taxa and the decrease in the misidentification of immature aquatic insects. The coefficient of determination in multiple regression with BOD₅, TSS, and TP for BMGI was 0.62 in the long-term averaged data of 814 sites, and the standardized coefficient of BOD₅ was -0.46, TSS was -0.17 and T-P was -0.21, respectively. As a result of the evaluation by BMGI, of the 814 sites, 38% were in good, 25% in fair, and 37% in poor condition.

Key words : Benthic macroinvertebrates, Biological assessment, Genus level biotic index, Indicator

^{a,†} Corresponding author, 교수(Professor), dkong@kyonggi.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0001-8438-3229>

^b 석사과정(Master Student), yeo_jeong2@nate.com, <https://orcid.org/0009-0007-5122-6279>

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.

1. Introduction

물환경에 대한 화학적 평가방법은 특정 시기의 상태를 제한된 항목으로 평가하는 것이므로 장기적이면서도 종합적인 평가를 위해서는 생물학적 방법이 병행되어야 한다(Kong, 2002; Yoon et al., 1992b). 특히 지표생물은 장기간의 수질을 대변해주고 환경교란이 생물에 미치는 종합적인 영향을 대변해 준다(Mandaville, 2002). 수중의 지표생물은 19세기 후반부터 물환경 평가에 적용되어 왔으며, 특히 저서성 대형 무척추동물(Benthic Macroinvertebrates)은 생물모니터링 및 하천생태계의 평가에 널리 활용되어 왔다(Karr, 1999; Resh and Jackson, 1993; Smith et al., 1999). 저서성 대형무척추동물은 담수생태계에서 가장 다양하고 풍부한 무리 중 하나이며 먹이사슬에서 생산자와 고차 소비자를 연결하는 중요한 역할을 하고 있다(Hynes, 1970). 또한 환경요인과 서식처에 따라 환경에 적응하는 방법이 다양하며 물환경의 변화에 민감하게 반응하는 종이 많아 환경평가에 적합한 것으로 인정되고 있다(Chandler, 1970; Doeg and Koehn, 1994; Hynes, 1970).

이처럼 지표 저서성 대형무척추동물에 의한 물환경 평가는 여러 장점을 가지고 있지만 생물의 동정(identification)을 위해 요구되는 전문성과 시간 및 노력 때문에 널리 확산되지 못하고 있으며, 특히 종 수준의 동정을 요하는 경우에는 분류학적 지식과 경험을 갖춘 전문가도 많은 시간과 노력을 소진할 뿐만 아니라 미성숙 개체들에 대해서는 오동정할 가능성도 있다(Kong et al., 2019). 또한 종(species) 이하의 하위 범주의 분류군 수준에서 설정된 지표치와 정량적인 출현도를 바탕으로 산정된 지수 값이 반드시 환경상태를 보다 정확하게 반영한다고 할 수는 없다(Kong, Min et al., 2018). 이로 인해 생물평가를 수행하는 저서생물 학자들에게 가장 논쟁이 되는 문제가 분류학적 해상도로서 과연 어느 수준의 분류학적 범주(개체에서 과단위 이상까지)까지 동정하는 것이 정확한 생물학적 평가를 보장하는가에 대한 논란이 계속되고 있다(Bailey et al., 2001).

국내외에서 개발된 저서성 대형무척추동물의 생물지수는 동정의 난이도 측면과 평가의 정확성 측면에 대한 절충에 따라 다양한 분류학적 범주를 기반으로 구성되어 있다. 전세계적으로 많은 생물지수들의 바탕이 된 Zelinka and Marvan (1961)의 오수생물지수(Saprobic index, SI)는 저서성 대형무척추동물의 종 수준에서 평가되는 지수이며, 이는 일부 저서성 어류 종을 포함하여 평가하는 독일의 표준조사방법(DIN 38410, 1990)의 근간이 되었다.

영국의 공인된 평가체계에서는 저서성 대형무척추동물의 민감치를 과(family) 수준에서 설정하고 있다. 1976년에 결성된 생물학적 모니터링 업무 모임(Biological Monitoring Working Party, BMWP)에서는 수많은 논란의 결과 동정의 오차를 줄이되 생물학적 질을 변별할 수 있는 가장 쉬운 동정 수준으로서 과(Family) 범주(빈모류만 Class 범주)를 선정하고 85개 분류군에 대한 민감치를 설정하였다(Hawkes, 1997). 그 이후 분류군과 민감치에 대한 수정(Clarke and

Davy-Bowker, 2014; Paisley et al; 2014, Walley and Hawkes, 1996; Walley and Hawkes, 1997)을 거쳐 현재 대상 분류군은 106개(빈모류 1강과 105개 과)로 확장되었고 민감치도 개정 혹은 새로이 설정되었다. BMWP score는 1980년대부터 River Invertebrate Prediction and Classification System (RIVPACS)의 생태질지수(Ecological Quality Ratio, EQR) 산정에 사용되어 왔다(Wright et al., 2000). 현행 RIVPACSIV는 2008년부터 River Invertebrate Classification Tool (RICT)의 한 부분으로 통합되었으며, RICT에는 BMWP score의 수정본인 WHPT score가 이용되고 있으며 이에 따른 평가방법과 기준은 법령으로 정해져 있다(UK Legislation, 2015).

일본에서는 전국공해연합회의(현재 전국환경연합회의)가 1992년에 일본판 BMWP 과의 민감치를 마련한 이후, ‘하천수변의 국제조사’에 1993년부터 활용되었고, 2012년에는 ‘수생생물 등에 의한 수역특성 평가수법 위원회’에서 기존의 일본판 BMWP score의 개정안을 마련한 바 있다(Nojaki, 2012).

미국에서는 Hilsenhoff (1988)가 과 수준의 지표치에 의한 평가지수인 Family biotic index (FBI)를 개발한 이후 Plafkin et al. (1989), Bode et al. (1996), Bode et al. (2002), Barbour et al. (1999)에 의해 보완되어 현재는 수정 Modified Family Biotic Index (FBI)라는 명칭으로 쓰이고 있으며 이는 미국 EPA의 Rapid Bioassessment Protocol II에서도 활용된 바 있다(Barbour et al., 1999). 최근 캐나다 Nova Scotia주의 주도인 Halifax의 토양·물협회(Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, SWCSMH)는 이상의 연구결과를 종합한 분류군별 내성표를 제시하고 있다(SWCSMH, 2015). 그러나 분류군의 다양성이 높은 곳에서는 과 수준의 데이터 보다는 속/종 수준의 데이터가 하천의 상태를 보다 잘 대변한다는 여러 연구가 있다(Bowman and Bailey, 1998; Hawkins and Norris, 2000; Plafkin, 1989). 이에 따라 최근 미국 EPA에서 주관하는 전국 강·하천평가(National Rivers and Streams Assessment, NRSA) 프로그램의 저서성 대형무척추동물 부문에서는 속 수준의 범주(일부 과 포함)에서 평가를 시행하고 있다(Herlihy et al., 2008; U. S. EPA., 2008).

현재 우리나라의 국가적 생물모니터링에서 수생태계 평가에 사용되고 있는 저서동물지수(Benthic Macroinvertebrates Index, BMI)는 Zelinka and Marvan (1961)의 오수생물지수(Saprobic index, SI)를 원용한 것으로서 종 수준의 평균 내성도(tolerance)를 고려하는 지수이다(Kong, Son et al., 2018). 그 외에 종 수준의 지수로는 Yoon et al. (1992a)에 의해 제시된 Yoon-Kong의 오수생물지수, Won et al. (2006)의 한국오수생물지수(Korean Saprobic Index, KSI), Kong, Park et al. (2018)의 저서성 대형무척추동물 생태점수(Ecological Score of Benthic Macroinvertebrates community, ESB), Kong et al. (2013)의 한국온수생물지수(Korean Thermal Index, KTI), Kong and Kim (2016)의 저서동물 하천하상지수(benthic macroinvertebrates streambed index, BMSI)가 있다.

반면 상위 분류군의 생물지수로는 Yoon et al. (1992b)의 Yoon-Kong의 군오염지수(Group Pollution Index, GPI), Yoon-Kong의 군오염지수를 개정한 Kong, Min et al. (2018)의 간이저서동물지수(Simple Benthic Macroinvertebrates Index, SBMI)가 있다. 이러한 지수의 지표군은 문(phylum)으로부터 종(species) 수준의 범주까지 다양하게 구성되어 있다. 그 외에도 Kong et al. (2019)은 영국의 EQR 평가체계를 접목하기 위하여 저서동물 과범주지수(Benthic Macroinvertebrates Family Index, BMFI)를 제안한 바 있다. 이 지수들은 상위 범주의 지수들이기 때문에 동정에 있어 매우 용이하나 하위 범주군에 대한 세부적인 정보를 반영해주지는 않는다.

수서곤충을 종 수준에서 정확하게 동정하는데 있어 직면하는 수많은 실제적인 문제점들은 단기간에 해결될 것 같지 않으며, 특히 많은 종에서 미성숙 단계의 수서곤충은 형태적으로 구별이 어렵다(Morse et al., 2017). 상기한 지수 중에서 저서동물지수(BMI)는 현재 환경부 생물측정망 중 하천생태계의 건강성 평가에 적용되고 있는 공인 지수로서 국가적으로 활용되고 있는데(NIER, 2019), BMI 값은 종 수준의 지표치와 개체수 출현빈도를 기반으로 산정되는 것이다. BMI 적용에서 가장 큰 문제는 종 수준에서 미성숙 유충에 대한 동정 자체가 불가능하거나 오동정이며, 또 하나의 문제는 종 수준에서 빈번하게 일어나는 분류학적 재정리로 평가대상 지표군이 변경됨에 따라 평가체계의 일관성이 결여되는 것이다. 따라서 이러한 문제점과 이를 개선하기 위한 속 범주의 지수개발에 대한 필요성이 관련 정도관리 워크숍을 통해 지속적으로 제기되어 왔다.

그간에 국내에서 개발되어 적용되고 있는 BMI나 ESB는 종 수준의 지수이며, BMFI는 과 수준, GPI, SBMI는 보다 상위분류군 수준의 지수이며, 속 수준에서 개발되어 검토 및 적용된 지수는 없었다. 이러한 배경에서 본 연구는 저서동물 속범주지수(Benthic Macroinvertebrates Genus Index, BMGI)라 명명한 지수의 개발을 위해 수행되었다. 2010년부터 2021년까지 전국에 걸친 조사지점에서 수집된 방대한 수질 및 생물 자료를 바탕으로 지표군을 추가하고 BMGI를 개발하였으며, 종 수준 기반의 BMI와 비교 분석하고 환경평가의 등급표와 기준치를 제안하였다. 동정수준과 생물정보의 정확성은 서로 할당(trade-off)의 관계라 할 수 있다. Robinson (2023)은 속 수준에서 대형무척추동물을 다루는 것은 수서곤충을 종 수준에서 보존하는데 제약점이 될 수 있음을 지적하였다. 따라서 향후 국가적으로 BMI를 대체하여 BMGI를 사용하는 경우 종 수준의 정보를 어떻게 다룰 것인가 하는 점도 중요 검토사항이다.

2. Materials and Methods

2.1 자료 수집

지수개발에 활용한 자료는 한강수계관리위원회의 “기후변화가 수생태에 미치는 영향과 대응 전략(10~12년)”, 환경부의 “환경생태유량 산정기준 연구 및 시범산정”, 환경부·국립환경과학원의 “수생태계 참조하천 적합성 검증 및 활

용방안 연구(15~18년)”, “수생태계 건강성 조사 및 평가(12~13년)” 및 “하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가(14~21년)”, 국립환경과학원의 “생물측정망 모니터링 및 평가기법 개발연구(17~18년)”, “4대강 보 개방에 따른 수생태계 변화조사(18~20년)”, 영산강 섬진강 수계관리위원회의 “영산강 섬진강수계 수생생물의 서식지적합도(HSI) 지수 구축 연구(20년)”에서의 조사결과 중 일부였다.

각 과제의 조사지점 중 환경부 물환경측정망의 수질측정망 지점과 일치하는 779 지점과 수질측정망이 없는 기후변화 과제의 35 지점을 포함한 총 814개 지점에서 연중 또는 연간 반복된 조사를 모두 포함한 총 13,347개의 표본단위(sampling unit)의 자료를 대상으로 분석하였다. 각 분류군의 지표치는 814개의 조사지점별 평균 출현개체수(0을 포함한 평균값)와 평균수질을 기반으로 산정되었다. 본 연구에 사용된 자료는 다수의 장단기 과제를 통해 도출된 결과이므로 각 조사지점별로 조사기간 및 빈도의 차이가 크다. 따라서 조사 빈도가 높은 지점의 자료에 의해 지표치의 특성이 공간적으로 왜곡되는 것을 피하기 위하여 지점별 평균 값을 분석단위로 사용하였다. 또한 지표생물은 장기간의 환경영향을 대변하는 것이므로 조사기간의 평균수질 값을 가지고 분석하는 것이 합리적이라고 판단하였다.

2.2 지표군의 선별

지표군의 분류학적 범주는 속 수준으로 정하는 것을 원칙으로 하였으나 하나의 속내에서 지표성이 뚜렷이 구별되는 분류군은 종 수준으로 선별하였다. 이는 동정의 신속성 및 편의성보다 평가의 정확성에 할당을 한 것이다. 깔따구과(Chironomidae)는 색깔을 기준으로 두 개의 형태군[붉은색 유형(red type)과 그 외의 유형(non-red type)]으로 구분하거나, 혈세관(blood tubule)의 유무 등 구조적인 특징에 따라 A부터 E까지의 형태군으로 나누었다. 환대강(Clitellata)이나 파리목(Diptera)과 같이 동정이 어렵고 상위범주로 자료가 정리되어 있는 분류군은 과(family), 아과(subfamily) 또는 강(class) 수준으로 선별하였다. 전체 표본단위에서 상대출현빈도가 매우 낮은 1% 미만의 분류군은 분석에서 제외하였다.

2.3 오락계열 설정

오락계열은 Kong, Son et al. (2018)이 BMI의 평가등급 설정 시 적용한 기준을 참고하여 설정하였다. 여러 수질항목들 중 BOD₅는 유기오염, 총인(T-P)은 영양상태, 총부유물질(TSS)은 무기오염을 대변해주는 항목으로서 저서성 대형무척추동물의 생육에 영향을 주는 주요 요인으로 고려되고 있다(Kong, Son et al., 2018). Kong, Son et al. (2018)은 BOD₅ 농도를 기준으로 오수생물계열을 설정하고 지표치를 설정한 후 BMI와 BOD₅, TSS, T-P의 다중회귀식을 산출하여 BMI의 평가 등급을 설정하였다.

본 연구에서는 오락계열의 설정단계부터 BOD₅와 TSS 및 T-P를 동시에 고려하여 이를 기반으로 각 지표군의 지표치를 설정하였다(Table 1). 오락계열에서 BOD₅와 TSS 등급의 기준치는 Kong, Son et al. (2018)의 2배수 체계를 따랐으며,

Table 1. Classification of pollution series, criteria of water quality and water quality index (WQI)

Criteria of water quality			WQI	Classification of pollution		
BOD ₅ (mg/L)	TSS (mg/L)	T-P (mg/L)	WQI	Symbol (k)	Pollution series value (S _k)	
≤ 1	≤ 2.5	≤ 0.01	≥ 80	I	1	
≤ 2	≤ 5	≤ 0.03	≥ 60	II	2	
≤ 4	≤ 10	≤ 0.09	≥ 40	III	3	
≤ 8	≤ 20	≤ 0.27	≥ 20	IV	4	
≤ 16	≤ 40	≤ 0.81	≥ 0	V	5	

T-P의 기준치는 Kong, Son et al. (2018)의 체계를 다소 조정하여 3배수 체계로 설정하였다. 설정된 총인 농도의 등급 구분은 OECD (1982)의 영양상태 판정체계(<0.01 mg/L: oligotrophic, 0.01~0.035 mg/L: mesotrophic, 0.035~0.1 mg/L: eutrophic)에 가까운 것이다.

BOD₅, TSS, T-P의 농도에 따라 판정되는 오락계열의 등급은 서로 달리 나타날 수 있으므로 각 수질항목의 농도 값을 개별 수질지수(water quality index) 값으로 변형한 후 종합 수질지수를 산정하여 해당 분석단위의 오락계열을 판정하였다. Table 1의 I 등급의 수질지수 값이 80, V 등급의 수질지수 값이 0이 되도록 BOD₅와 TSS는 2배수 체계로, T-P는 3배수 체계로 수식을 고안하였다(식 1~3).

$$WQI(BOD_5) = 100 - 20 \times [1 + \text{Log}_2^{BOD_5}] \quad (BOD_5: \text{mg/L}) \quad (1)$$

$$WQI(TSS) = 100 - 20 \times [1 + \text{Log}_2^{TSS/2.5}] \quad (TSS: \text{mg/L}) \quad (2)$$

$$WQI(T-P) = 100 - 20 \times [1 + \text{Log}_3^{T-P/0.01}] \quad (T-P: \text{mg/L}) \quad (3)$$

종합 수질지수는 개별 수질지수에 가중치를 적용하여 산정하였으며, 가중치는 각 수질항목이 저서성 대형무척추동물의 지표성에 미치는 영향도를 고려하여 선정하였다. 이를 위해 814개 지점의 수질평균값과 기준에 개발되어 있는 BMI 평균값을 가지고 다중회귀식을 도출하였다(식 4). 각 로그 값으로 변환된 수질변수들의 표준화 회귀계수(standardized regression coefficient)는 BOD₅가 -0.46, TSS는 -0.15, T-P는 -0.20으로 BOD₅, T-P, TSS의 순으로 영향도가 큰 것으로 판명되었다.

$$BMI = 62.09 - 12.83 \ln(BOD_5) - 3.22 \ln(TSS) - 4.27 \ln(TP) \quad (4)$$

(R²=0.59)

이러한 순위에 따라 BOD₅는 3, TSS는 1, T-P는 2의 값을 개별지수의 가중치로 적용하여 종합 WQI를 산출하였다(식 5).

$$WQI = \frac{3 \times WQI(BOD_5) + WQI(TSS) + 2 \times WQI(TSS)}{6} \quad (5)$$

2.4 지표군의 내성치

분류군별 내성치는 Kong, Son et al. (2018)이 BMI 개발 시 적용한 방법을 따라 산출하였다. 이 방법의 기본은 각 오락계열별로 각 지표군의 복합출현도(상대출현빈도×평균출현밀도)를 분석하는 것이다(Dufrene and Legendre, 1997).

각 지표군(i)의 상대출현빈도(RF_{ik})는 오락계열(k)에서 해당 지표군이 출현한 표본단위수(n_{ik})를 해당 계열의 총 표본단위수(N_k)로 나눈 값이다(식 6).

$$RF_{ik} = \frac{n_{ik}}{N_k} \quad (6)$$

각 지표군의 평균출현밀도($\overline{A_{ik}}$)는 각 계열의 각 분석단위(j)에서 해당 지표군이 출현한 개체밀도(A_{ijk})의 합을 해당 계열의 총 표본단위수로 나눈 값이다(식 7).

$$\overline{A_{ik}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} A_{ijk}}{N_k} \quad (7)$$

복합출현도(C_{ik})는 상대출현빈도에 평균출현밀도를 곱한 값이다(식 8).

$$C_{ik} = RF_{ik} \times \overline{A_{ik}} \quad (8)$$

내성계량치(tolerant valency, v_{ik})는 복합출현도의 계열별 상대비율로 도출된다(식 9).

$$v_{ik} = \frac{C_{ik}}{\sum_{k=1}^5 C_{ik}} \quad (9)$$

각 지표군의 내성치(tolerance value, s_i)는 각 계열의 오락계열치(S_k)에 오락계량치(v_{ik})를 가중하여 평균한 값이다(식 10).

$$s_i = \sum_{k=1}^5 v_{ik} S_k \quad (10)$$

s_i : 내성치 (the tolerant value)

S_k : k 계열의 오락계열치(the pollution series value of series k; 0, 1, 2, 3, 4)

2.5 지표군의 지표가중치(Indicator weight value)

각 분류군들의 지표가중치는 방법에 따라 내성계량치의 표준편차(식 11) 값을 기준으로 Kong, Son et al. (2018)의 체계(Table 2)에 따라 산정하였다.

Table 2. Scheme of indicator weight values (g_i) based on standard deviation (STD) of tolerant valency from Kong, Son et al. (2018)

STD	≤ 0.09	$0.09 < \sim \leq 0.18$	$0.18 < \sim \leq 0.27$	$0.27 < \sim \leq 0.36$	> 0.36
g_i	1	2	3	4	5

$$s_{v_k} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^5 (v_{ik} - \bar{v}_{ik})^2}{4}} \quad (11)$$

이러한 방법은 Sládeček (1969; 1973)의 지표가중치 표에 의한 결과와 유사하나 산정이 보다 용이하며 변별력이 더욱 높다(Kong et al., 2012).

2.6 저서동물 속범주지수(Benthic Macroinvertebrates Genus Index, BMGI)

Yoon et al. (1992a)의 Yoon-Kong's SI (saprobic index) 지수로부터 현재까지 우리나라에서 사용되어 왔던 관련 지수의 형태는 Zelinka and Marvan (1961)의 오수생물지수의 유형을 따른 것으로 지표가중치와 출현도를 가중하여 내성치를 평균한 지수에 해당된다. 본 연구에서 제안하는 저서동물 속범주지수(BMGI) 역시 같은 구성체계를 따랐다(식 12).

$$BMGI = \left(4 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25 \quad (12)$$

- $BMGI$: 저서동물 속범주지수 (Benthic Macroinvertebrates Genus Index)
- i : 지정된 지표군의 일련번호 (the number assigned to the indicator i)
- n : 출현한 지표군의 총수 (the number of occurrent indicators)
- s_i : i 지표군의 내성치 (the tolerance value of indicator i)
- h_i : i 지표군의 출현도 (the abundance frequency of indicator i)
- g_i : i 지표군의 지표가중치 (the indicator weight value of indicator i)

독일의 DIN 38410 (1990)은 오수생물지수(saprobic index) 산정 시 출현도를 7단계로 구분하여 적용하고 있다. 본 연구에서는 Zelinka and Marvan (1961), Kong, Son et al. (2018)과 같이 출현개체수의 빈도를 5단계로 구분하여 정하였다. 각 지표군의 출현개체수 순위를 백분위수로 변환하고(식 13), 이를 5 등급으로 구분하여 출현빈도 값을 1부터 5까지 부여하였다(Table 3). Kong, Son et al. (2018)은 지표군의 출현빈도 산정 시 전체 출현 분류군의 총수에 대한 상대비율을

Table 3. Scheme of abundance frequency (h_i) according to the rank percentage of individual abundance (R_i) from Kong, Son et al. (2018)

Rank (R_i)	$\leq 20\%$	$20\% < \sim \leq 40\%$	$40\% < \sim \leq 60\%$	$60\% < \sim \leq 80\%$	$> 80\%$
Relative abundance (h_i)	5	4	3	2	1

고려하였으나 본 연구에서는 지표군이 상대적으로 크게 증가하였기 때문에 출현 지표군의 총수(식 13의 분모)에 대한 상대비율을 고려하였다.

$$R_i = \frac{N_i}{N} \times 100 \quad (13)$$

- R_i : i 지표군의 출현개체수 순위 백분율 (the rank percentage of indicator i based on individual abundance)
- N_i : i 지표군의 출현개체수 순위 (the rank of indicator i based on individual abundance)
- N : 지표군의 총 출현 수 (the total number of indicators)

2.7 지수의 등급화

각 오락계열은 이산적으로 설정된 것이므로 오락계열에서 나타나는 BMGI 값의 연속적인 분포를 해석하여 오락계열에 대한 BMGI의 기준치를 설정하였다. 각 오락계열별로 BMGI 값을 10점 단위의 급구간으로 구분하고 각 급구간에 해당하는 조사지점의 상대빈도를 확률밀도함수로 변형한 후 최적의 적합도를 보이는 확률분포모형을 도출하여 연속적인 오락계열 간에 확률밀도함수값이 교차되는 BMGI 등급 기준치로 설정하였다. 적용한 확률분포모형은 1 인자 모형(지수분포)과 2 인자 모형(정규분포, 대수정규분포, 로지스틱분포, Weibull 분포, Gamma 분포, beta 분포, Gumbel 분포)의 8개 유형이었으며, 이 중 4개의 모형(지수분포, 대수정규분포, Weibull 분포, Gamma 분포)에 대해서는 부정편포(negatively skewed distribution)의 해석을 위한 역분포 모형(reversed distribution type)을 추가하였다.

3. Results and Discussion

3.1 BMGI와 기존 BMI의 지표치 비교

오락계열에 따른 BMGI 지표군들의 평균 내성치는 Kong, Son et al. (2018)의 BMI 지표군들의 평균 오락치(saprobic value)에 비해 큰 값으로 나타났으며, BMGI 지표군들의 오락계열별 평균 내성계량치(tolerant valency)는 BMI 지표군들의 오락계열별 오락계량치(saprobic valency)에 비해 변이가 작았다(Fig. 1). 이는 Kong, Son et al. (2018)의 연구에 비해 본 연구는 표본단위의 수가 크게 증가하여 오염된 지역의 정

보가 더욱 많이 포함되어 있을 뿐만 아니라 Kong, Son et al. (2018)은 BOD₅ 단일 항목만으로 오탁계열을 설정하였으나 본 연구에서는 TSS, T-P까지 포함하여 오탁계열을 더욱 엄격히 설정한데서 비롯된 것으로 보인다.

3.2 지표군 및 내성치

최종적으로 선정된 지표군은 274개의 분류군 또는 형태군이었으며 이 중 247 분류군은 속 수준으로 설정되었으나 8 분류군은 종 수준(*Baetis silvaticus*, *Baetis ursinus*, *Ecdyonurus joernensis*, *Ecdyonurus levis*, *Ephemera orientalis*, *Cheumatopsyche brevilineata*, *Hydropsyche kozhantschikovi*, *Hydropsyche valvata*), 2 분류군은 아과 수준(Tanypodinae, Acentropinae), 9개 분류군은 과 수준(일부 속을 제외한 Elmidae, Sisyridae, 일부 속을 제외한 Culicidae, Ceratopogonidae, Empididae, Dolichopodidae, Syrphidae, Ephydriidae, Muscidae), 1개 분류군은 목 수준(일부 속을 제외한 Plecoptera), 1개 분류군은 강 수준(Collembolla), 6개 군은 형태군(갈따구리)으로 설정되었다(Appendix 1).

편형동물류 중 *Dugesia* 속은 *Phagocata* 속에 비해 더욱 높은 내성치를 보였다. 복족류 내 속들의 내성치는 다양하였으며, 다슬기과의 내성치가 전반적으로 낮았다. *Semisulcospira* 속의 종들 중 참다슬기는 주로 상류역, 꽃체다슬기는 주로 중하류역에 서식하는 등 서식지의 차이가 있지만 내성치는 종 간에 차이가 적었기 때문에 한 속으로 묶어 정리하였다.

환대강은 일반적으로 알려진 바와 같이 내성군으로 평가되었다. 이중 빈모류는 4개의 속을 지표군으로 선정하였으나 이는 동정의 어려움 때문에 관련 자료가 축적되어 있지 않은 한계에 따른 것이다. 현재 많은 생물모니터링 과제에서 여러 다른 속들의 빈모류가 *Limnodrilus* 속으로 동정되고 있는 것으로 보인다. 국내에 기록된 실지렁이류는 26속 36종에 달하고 있으므로(Park et al., 2013) 향후 지표군의 세분화가 필요하다.

옆새우과(Gammaridae)의 종류들 역시 분포의 범위가 넓고

내성도가 다양하여 동정 시 유의하여야 하는 분류군이다. 특토기강은 그간 강 범주에서 청수성 종류로 다루어져 왔으나(Kong, Park et al., 2018; Kong, Son et al., 2018) 본 연구에서는 상대적으로 높은 내성치를 보였다. 실제 특토기강은 토양이나 하천의 심저부까지 다양한 미소서식처에 적응한 분류군으로 이 군에 대한 그간의 내성치는 자료의 제한으로 과소평가되었던 것으로 판단된다.

꼬마하루살이과의 *Baetis*는 하루살이류 중에서는 상대적으로 내성도가 큰 분류군으로 알려져 있으나 감초하루살이(*Baetis silvaticus*)와 방울하루살이(*Baetis ursinus*)는 청수성의 하천에서 출현빈도가 높기 때문에 평가의 정확도를 높이기 위해 이들의 지표치는 종 수준에서 설정하였다. 이와 반면 꼬리치레하루살이(*Ecdyonurus joernensis*), 네점하루살이(*Ecdyonurus levis*), 동양하루살이(*Ephemera orientalis*)는 동일 속의 다른 종류에 비하여 내성도가 상대적으로 높기 때문에 이 역시 종 수준에서 별도의 지표치를 설정하였다.

강도래목(Plecoptera)은 주로 청수성의 하천에서 서식하는 생물군이지만 대체로 출현빈도가 낮아 지표성이 불확실한 분류군에 대해서는 목 수준에서 기타 분류군으로 통합된 지표치를 제시하였다. 잠자리목과 더불어 노린재목과 딱정벌레목은 물 흐름이 느린 정수역에서 출현하는 종류가 많은데 본 연구의 조사대상 지역은 대부분은 유수역이기 때문에 해당 분류군들의 지표치는 정수역의 환경에 대한 평가에 적용하기는 어렵다.

갈따구과(Chironomidae)는 일본에서는 복부의 혈새관(blood tubule)의 유무로 두 형태군으로 나누어 지표치를 설정하고 있고(Nojaki, 2012), 북미에서는 체색의 차이(red-type과 non-red type)로 구분하여 지표치를 설정하고 있다(Hilsenhoff, 1988; SWCSMH, 2015). 국내는 주로 Yoon et al. (1992b)을 따라 미국과 같이 갈따구를 색깔에 따라 두 개의 형태군으로 나누어 지표치를 설정하여 왔다. 그러나 고정이나 보존 과정에 표본이 탈색되기 때문에 체색으로 형태군을 분별하기 위해서는 현장에서 바로 계수하여야 하는데 갈

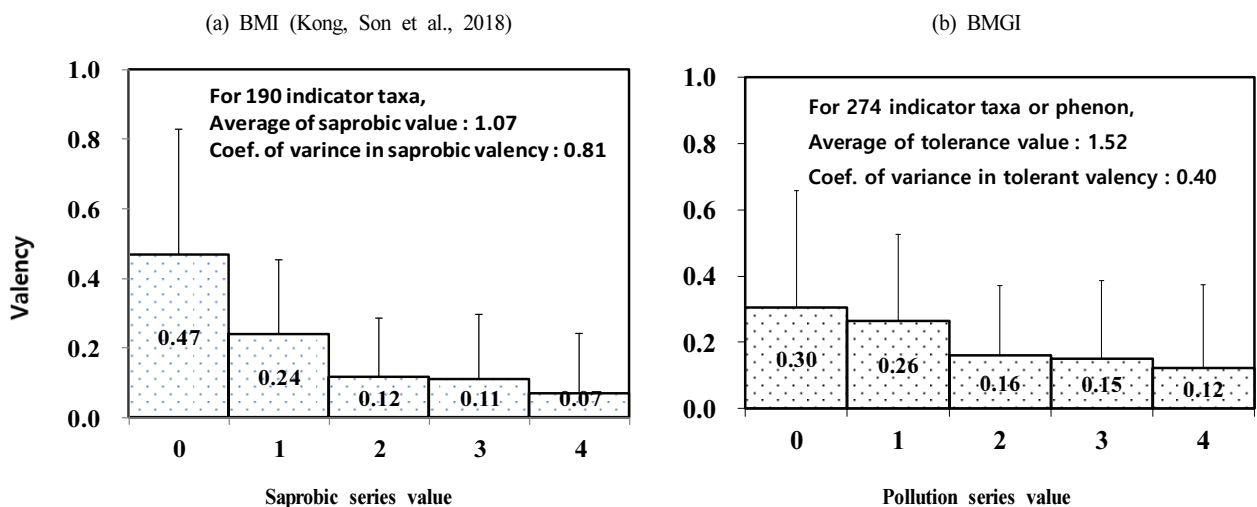


Fig. 1. Distribution of averaged saprobic valency and averaged tolerant valency of all indicators according to saprobic or pollution series value. (a) BMI, (b) BMGI

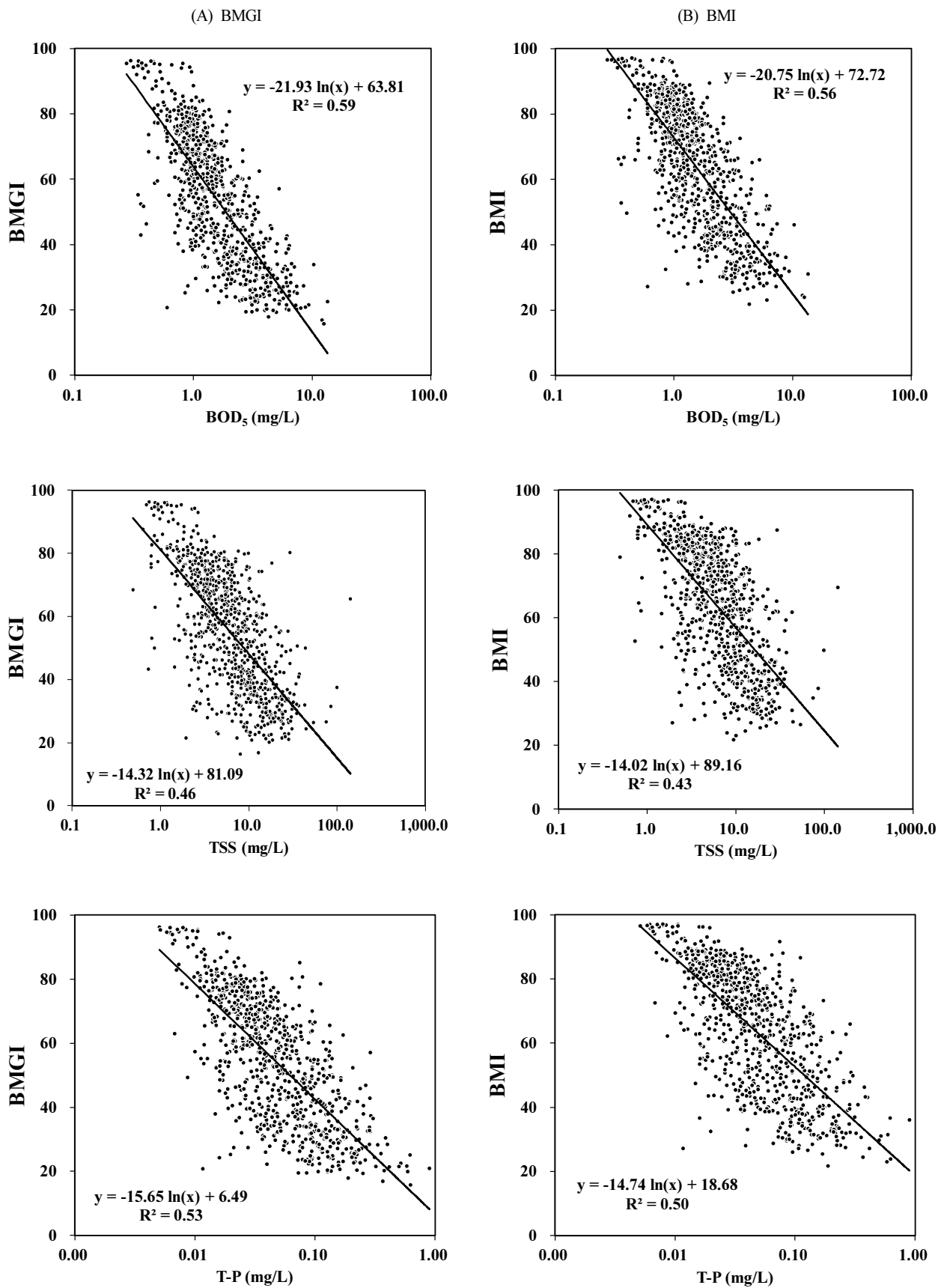


Fig. 2. Relationship between (A) Benthic Macroinvertebrates Genus Index (BMGI) (B) Benthic Macroinvertebrates Index (BMI) and BOD₅, total suspended solids (TSS), total phosphorus (T-P)

따구류는 일반적으로 출현밀도가 높아서 현장 계수는 용이한 일이 아니며 그 만큼 정확도도 낮다. 따라서 구조적인 특징을 기준으로 5개의 형태군을 추가로 세분하였는데, 그 중 Chironomidae sp. A는 red-type으로 취급되므로 총 6개의 형태군으로 구별하여 지표치를 제시하였다. 체색 또는 구조에 따른 형태군으로 평가를 할 수 있으나 명확성과 일관성 측면에서 볼 때 구조에 따른 형태군을 기준으로 평가하는 것이 보다 바람직하다. 또한 국내에서 성충으로 기록된 깔따구류는 43종에 달하며 최근 유충의 동정 및 검색표에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있으므로(Kwak et al., 2020) 장기적으로 형태군이 아닌 실제적인 분류군 단위의 지표치에 대한 연구가 진행되어야 한다.

날도래목(Trichoptera)은 주로 청수성의 하천에서 출현하지만 꼬마줄날도래(*Cheumatopsyche brevilineata*), 줄날도래(*Hydropsyche kozhantschikovi*), 흰점줄날도래(*Hydropsyche valvata*)는 다소 오염된 수체에서도 출현하기 때문에 중 수준에서 지표치를 설정하였다.

3.3 수질과 BMGI 및 BMI의 관계

814개 지점에서 도출된 장기간의 평균 BMGI는 동일 자료에서 도출된 BMI에 비해 장기간 평균수질과의 상관도가 약간 더 높았다(Fig. 2). BMGI는 대부분 중 수준의 정보를 담지 않고 있으나 새로이 추가된 지표군이 반영되고 동정의 오류가 줄어들며 따라 BMI에 비해 오히려 다소 높은 적용성을 보인 것으로 판단된다.

수질이 매우 양호한 일부 지점에서 BMGI와 BMI 모두 낮은 값을 보이는 경우가 있는데 이는 하상의 영향으로 판단된다. 저서성 대형무척추동물은 주로 하상에 서식하고 있으므로 하상의 입도와 질이 생육에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 BMGI와 BMI 값에 대하여 수질로 설명되지 않는 부분은 주로 하상의 영향으로 볼 수 있다. 이와 반면 TSS나 T-P 농도가 매우 높은 지점에서 BMGI와 BMI 값이 높게 나타난 경우가 일부 있는데 이는 조사빈도가 적은 지점에서 일시적인 경우 시 자료가 포함되었기 때문이라고 판단된다.

814개 지점의 지점별 평균 BOD₅, 총부유물질(TSS), 총인(T-P) 농도와 평균 BMGI 값의 다중회귀분석을 통해 도출된 회귀식은 식 14와 같다. 결정계수는 각 수질항목과 BMGI의 단순회귀 분석에서 나타난 결과와 큰 차이가 없었는데 이를 볼 때 수질항목 간에 다중공선성이 높은 것으로 추정된다. 각 로그 값으로 변환된 수질변수들의 표준화 회귀계수(standardized regression coefficient)는 BOD₅가 -0.46, TSS는 -0.17, T-P는 -0.21로 BOD₅, T-P, TSS 순으로 영향도가 큰 것으로 판명되었다.

$$BMGI = 60.57 - 10.81 \ln(BOD_5) - 2.24 \ln(TSS) - 2.73 \ln(TP) \quad (14)$$

$$(R^2 = 0.59)$$

기존 BMI 값과 BMGI 값의 결정계수는 0.95로 적용성이 비슷한 것으로 나타났다(Fig. 3). 두 지수 값은 지수형의 비선형관계를 보였으며 중위값의 범위에서 GBMI 값이 BMI

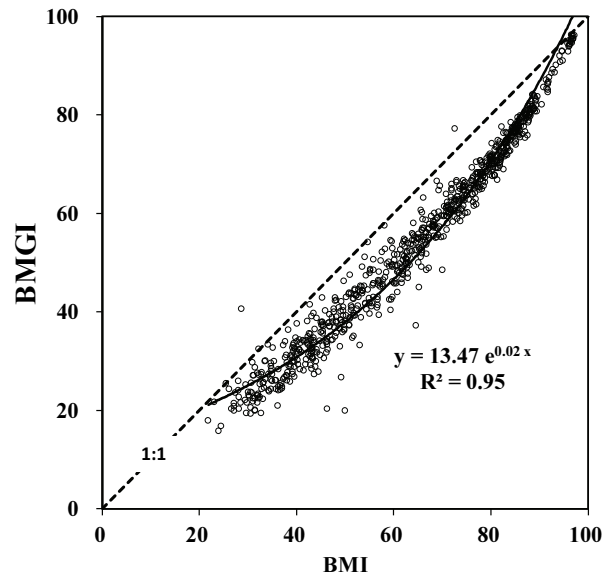


Fig. 3. Relationship between Benthic Macroinvertebrate Genus Index (BMGI) and Benthic Macroinvertebrates Index (BMI).

값에 비해 상대적으로 더욱 낮았는데, 청정하거나 오염된 곳이 아닌 일반적인 환경에서 출현하는 GBMI 지표군의 내성치가 BMI 지표군의 오락치에 비해 더욱 낮게 설정된 것으로 보인다.

3.4 BMGI의 평가등급

각 오락계열별로 나타난 BMGI의 값의 확률분포는 Fig. 4와 같다. 오락계열 I (Fig. 4a)과 II (Fig. 4b)에서 BMGI 값은 부적편포(negatively skewed distribution)하였으며 역대수정규분포 모형의 적합도가 가장 높았다. 오락계열 I~IV에서 BMGI 값은 정적편포(positively skewed distribution)하였으며, 각각 오락계열 III에서는 역와이블분포(Fig. 4c), 오락계열 IV에서는 대수정규분포(Fig. 4d), 오락계열 V에서는 와이블분포(Fig. 4e) 모형의 적합도가 가장 높았다.

각 오락계열에서 나타나는 BMGI 값의 분포를 종합하였을 때(Fig. 4f) 인접계열 간 분포가 중복되는 양상을 보였으며 특히 오락계열 IV와 V의 중복도가 높았다. 따라서 환경상태의 등급기준은 ‘매우 양호(very good)’ 등급에 대해서는 오락계열 I과 오락계열 II에 대한 분포의 교점에 해당하는 BMGI 값으로 설정하되, ‘양호(good)’ 등급에 대해서는 BMGI 값의 분포가 명확히 구분되는 오락계열 I과 오락계열 III의 교점, ‘보통(fair)’ 등급은 오락계열 II와 오락계열 IV의 교점, ‘불량(poor)’ 등급은 오락계열 III과 오락계열 V의 교점에 해당하는 BMGI 값으로 설정하였다(Table 4).

총 조사지점 13,347개 표본단위에서 산정된 BMGI와 BMI의 값을 814개 지점별로 평균한 값을 가지고 각각 BMGI는 Table 4의 기준, BMI는 Kong, Son et al. (2018)의 기준에 따라 판정된 평가등급별 빈도분포는 Fig. 5와 같다. BMGI의 등급비율은 BMI의 등급비율에 비해 ‘매우 양호’와 ‘양호’ 등급에서 낮은 반면 ‘보통’~‘매우 불량’ 등급에서는 높았으며,

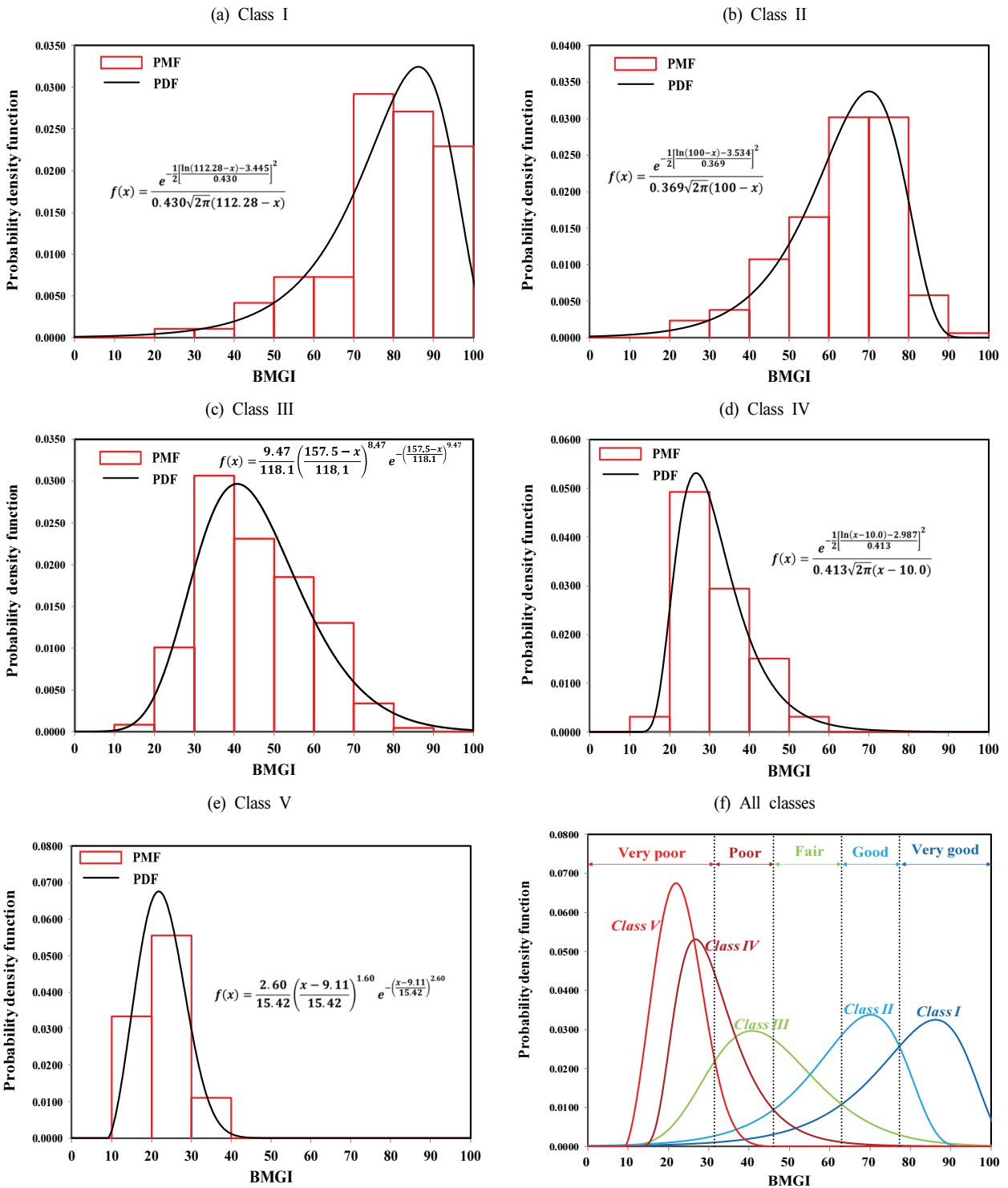


Fig. 4. Probability distribution function of BMGI values according to pollution series. (a) class I, (b) class II, (c) class III, (d) class IV, (e) class V, (f) all classes.

환경상태에 대한 편포의 정도가 낮아졌다.

그간에 우리나라는 점오염원에 대한 집중관리와 환경기초 시설의 방류수 총인 기준의 강화로 건기시 공공수역의 BOD₅ 농도와 총인의 농도는 예전에 비해 많이 낮아졌으나 주로 강우시 비점오염원에서 유출되는 부유물질이나 인의 농도는 여전히 높은 상태를 유지하고 있다. 용존산소와 연관

된 생분해성 유기물은 저서성 대형무척추동물의 생육에 우선적으로 영향을 미치지만 그 외에 부유물질과 인 역시 중요 영향요인이다. 과도한 부유물질은 저서성 대형무척추동물의 마모(abrasion), 씻김(scouring), 막힘(clogging), 매몰(burial)을 야기하고, 하상재질 조성(substrate composition), 용존산소 농도(oxygen concentration), 서식처 이용성(habitat availability),

Table 4. Classification scheme of BMGI according to environmental status

Class	environmental status	Benthic Macroinvertebrate Genus Index (BMGI)
A	Very good	$\geq 77 \sim 100$
B	Good	$\geq 63 \sim < 77$
C	Fair	$\geq 46 \sim < 63$
D	Poor	$\geq 32 \sim < 46$
E	Very poor	$0 \sim < 32$

먹이 가용성과 질(food availability and quality), 먹이망(food web)의 변화를 야기하여 생육에 영향을 미친다(Jones et al., 2012). 또한 인은 하상 부착조류의 과도한 번성을 야기하여 이로 인한 용존산소의 주야간 급변동 및 하상환경의 변화는 저서성 대형무척추동물의 생육을 저하하고 섭식기능군의 변화를 초래할 수 있다. 따라서 BOD₅ 단일항목을 기반으로 도출된 BMI 지수에 비하여 TSS와 T-P를 함께 고려하여 도출된 BMGI가 우리나라의 하천환경의 상태를 보다 적절하게 반영하고 있는 것으로 판단된다.

4. Conclusion

본 연구는 2010년부터 2021년까지 전국 814개 지점의 13,347개 표본단위에서 조사된 자료를 바탕으로 주로 속(Genus) 범주의 274개 저서성 대형무척추동물의 지표군을 발굴하고 저서동물 속범주지수(BMGI)라 명명한 환경평가지수를 개발하여 적용한 것이다. BMGI는 기존에 적용되어 온 종 수준의 저서동물지수(BMI)에 비해 수질과의 상관성이 약간 높았다. BMGI가 일부 분류군을 제외하곤 종 수준의 정보를 담지 않고 있음에도 BMI에 비해 수질과의 상관성이 증가한 것은 지표군을 확대하여 반영한 것과 동정의 오류가 줄어들어 이유가 있는 것으로 판단된다.

BMGI는 그간 종 수준 기반의 BMI 적용 시 문제점으로 제시되어 온 미성숙 유충에 대한 종 동정 문제와 종 수준에서 빈번하게 일어나는 분류학적 재정리로 인한 혼선을 어느 정도 해소할 수 있으며, 평가의 신속성과 일관성을 유지하는데 기여할 수 있을 것으로 보인다. 또한 기존의 BMI는 BOD₅ 단일항목을 기반으로 도출된 반면 BMGI는 TSS와 T-P를 함께 고려하여 도출된 것이므로 우리나라 공공수역의 유기오염, 무기오염, 영양상태가 저서성 대형무척추동물 군집에 미치는 영향을 보다 적절하게 반영할 수 있을 것으로 보인다.

현재 국가 생물측정망의 하천건강성 평가지수 중 하나로 활용되고 있는 BMI를 대체하여 BMGI를 적용하는 경우 여러 장점이 있을 것으로 판단되나 종 수준에서 속 수준으로 생물군의 관리가 전체적으로 전환되는 것은 생물종의 보존 측면에서 지향되어야 할 것이다. 즉 종 수준의 정보가 제약되지 않도록 국가 생물측정망의 분류군 목록은 종 수준에서 관리하는 체제를 유지하되 하천의 건강성 평가는 속 범주지수인 BMGI를 적용하는 것이 바람직하다.

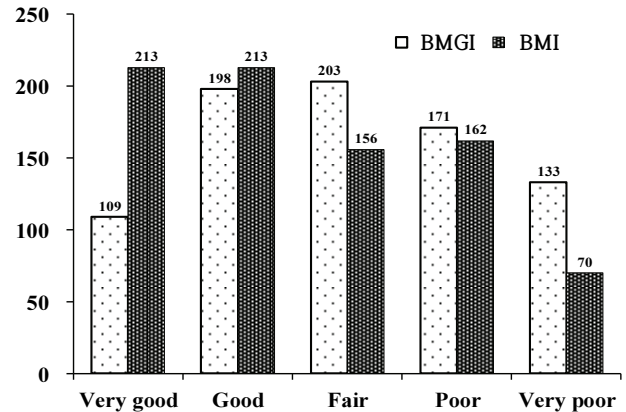


Fig. 5. Frequency of environmental status condition evaluated by BMGI in the 786 sites of Stream Ecosystem Survey by the Ministry of Environment during 2010 ~2021.

또한 BMGI 지표군에서 속 범주를 넘는 아과(subfamily) 이상의 상위범주로 설정된 일부 지표군에 대해서는 지속적인 분류학적 성과와 모니터링을 바탕으로 향후 속 범주의 지표군으로 세분할 필요가 있다.

Acknowledgement

본 연구는 2023학년도 경기대학교 대학원 연구원 장학생 장학금 지원에 의해 수행되었습니다. 환경수계관리위원회의 “기후변화가 수생태에 미치는 영향과 대응 전략(‘10~’12년)”과 환경부의 “환경생태유량 산정기준 연구 및 시범산정”과 환경부·국립환경과학원의 “수생태계 참조하천 적합성 검증 및 활용방안 연구(‘15~’18년)”와 “수생태계 건강성 조사 및 평가(‘12~’13년)” 및 “하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가(‘14~’21년)”, 국립환경과학원의 “생물측정망 모니터링 및 평가기법 개발연구(‘17~’18년)”와 “4대강 보 개방에 따른 수생태계 변화조사(‘18~’20년)”, 영산강 섬진강수계 수계관리위원회의 “영산강 섬진강수계 수생생물의 서식지적합도(HSI) 지수 구축 연구(‘20년)”과제에서 얻은 자료를 활용한 것으로 이에 감사드립니다.

References

- Bailey, R. C., Norris, R. H., and Reynoldson, T. B. (2001). Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities in bioassessments, *Journal of the North American Benthological Society*, 20(2), 280-286.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., and Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish*, Second Edition, EPA 841-B-99-002, United States Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D. C., xiv, 11 chapters, 4 appendices.
- Bode, R. W., Novak, M. A., Abele, L. E., Heitzman, D. L.,

- and Smith, A. J. (2002). *Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State*, NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY, 1-115.
- Bode, R. W., Novak, M. A., and Abele, L. E. (1996). *Quality assurance work plan for biological stream monitoring in New York State*, NYS Department of Environmental Conservation, Albany, NY, 1-89.
- Bowman M. F. and Bailey, R. C. (1998). Does taxonomic resolution affect the multivariate description of the structure of freshwater benthic macroinvertebrate communities?, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 1802-1807.
- Chandler, J. R. (1970). A biological approach to water quality management, *Water Pollution Control*, 69(4), 415-422.
- Clarke R. T. and Davy-Boeker, J. (2014). *River invertebrate classification tool science development project: modifications for WHPT and other abundance-weighted indices, A report to the Scottish Environment Protection Agency*, FBA Project Code S/0008/R, Scottish Environment Protection Agency, 1-85.
- DIN 38410. (1990). *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-Abwasser-und Schlammuntersuchung: Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M): Bestimmung des Saprobienindex (M2)*.
- Doeg, T. J. and Koehn, J. D. (1994). Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates, *Rivers Research and Applications*, 9(4), 263-277.
- Dufrene, M. and Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach, *Ecological Monographs*, 67(3), 345-366.
- Hawkes H. A. (1997). Origin and development of the biological monitoring working party score system, *Water Research*, 32(3), 964-968.
- Hawkins, C. P. and Norris, R. H. (2000). *Effects of taxonomic resolution and use of subsets of the fauna on the performance of RIVPACS-type models*, Wright, J. F. Sutcliffe, D. W., and Furse M. T. (editors), *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques*, Freshwater Biological Association, Ambleside, UK, 217-228.
- Herlihy, A. T., Paulsen, S. G., Sickie, J. V., Stoddard, J. L., Hawkins, C. P., and Yuan, L. L. (2008). Striving for consistency in a national assessment: The challenges of applying a reference-condition approach at a continental scale, *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4), 860-877.
- Hilsenhoff, W. L. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index, *Journal of the North American benthological society*, 7(1), 65-68.
- Hynes, H. B. N. (1970). The ecology of stream insects, *Annual Review of Entomology*, 15(1), 25-42.
- Jones, J. I., Murphy, J. F., Collins, A. L., Sear, D. A., Nadend, P. S., and Armitage, P. D. (2012). The impact of fine sediment on macro invertebrates, *River Research And Applications*, 28, 1055-1071.
- Karr, J. R. (1999). Defining and measuring river health, *Freshwater Biology*, 41(2), 221-234.
- Kong, D. S. (2002). Necessity and approach of establishing biological water quality standards, *Korean Journal of Environmental Biology*, 20(Special issue), 38-49. [Korean Literature]
- Kong, D. S. and Kim, J. Y. (2016). Development of benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) for bioassessment of stream physical habitat, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 32(1), 1-14. [Korean Literature]
- Kong, D. S., Kim, J., Son, S. H., Oh, M. W., Choi, A. R., and Byeon, M. S. (2013). Development and application of Korean thermal index (KTI) for biological assessment on climate change, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 29(1), 114-126.
- Kong, D. S., Min, J. K., and Noh, S. Y. (2018). Development of simple benthic macroinvertebrates index (SBMI) for biological assessment on stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(5), 514-536.
- Kong, D. S., Min, J. K., and Noh, S. Y. (2019). Development of benthic macroinvertebrates family-level biotic index for biological assessment on Korean stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(2), 152-164.
- Kong, D. S., Park, Y., and Jeon, Y. R. (2018). Revision of ecological score of benthic macroinvertebrates community in Korea, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(3), 251-269.
- Kong, D. S., Son, S. H., Hwang S. J., Won, D. H., Kim, M. C., Park, J. H., Jeon, T. S., Lee, J. E., Kim, J. H., Kim, J. S., Park J., Kwak, I. S., Jun, Y. C., Park, Y. S., Ham, S. A., Lee, J. K., Lee, S. W., Park, C. H., Moon, J. S., Kim, J. Y., Park, H. K., Park, S. J., Kwon Y., Kim P., and Kim, A. R. (2018). Development of benthic macroinvertebrates index (BMI) for biological assessment on stream environment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 34(2), 183-201. [Korean Literature]
- Kong, D. S., Son, S. H., Oh, M. W., Choi, A. R., Park, H. K., Yang, H. J., and Kim, J. Y., (2012). Development and application of Korean thermal index (KTI) using benthic macroinvertebrates, *Proceedings of the 2012 Spring Co-Conference of the Korean Society on Water Environment and Korea Society of Water and Wastewater*, Korean Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, 270-271. [Korean Literature]
- Kwak, I. S., Park, J. W., Kim, W. S., and Park, K. (2020). Morphological and genetic species identification in the Chironomus larvae (Diptera: Chironomidae) found in domestic tap water purification plants, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 53(3), 286-294.
- Mandaville, S. M. (2002). *Benthic macroinvertebrates in freshwaters: Taxa tolerance values, metrics, and protocols*,

- Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax Nova Scotia.
- Morse, J. C., McCafferty, W. P., Stark, B. P., and Jacobus, L. M. (2017). *Larvae of the southeastern USA mayfly, stonefly, and caddisfly species*, Vol. 9, Asheville, NC: South Carolina Agriculture and Forestry Research System.
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2019). *Guidelines on the current status survey of aquatic ecosystems and methods of evaluation of health, etc - River Part -*, No. 2019-52. [Korean Literature]
- Nojaki, T. (2012). Biological assessment based on macroinvertebrate communities-average score system for Japanese rivers, *Journal of Japan Society on Water Environment*, 35(4), 118-121.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (1982). *Eutrophication of waters: Monitoring, assessment and control*, OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters, OECD, 1-154.
- Paisley, M. F., Trigg, D. J., and Walley, W. J. (2014). Revision of the biological monitoring working party (BMWP) score system : Derivation of present-only and abundance-related scores from field data, *River Research and Applications*, 30(7), 887-904.
- Park, H. J., Timm, T., and Bae, Y. J. (2013). Taxonomy of the Korean freshwater Oligochaeta (Annelida) with eight species new to Korea, *Entomological Research Bulletin*, 29(2), 180-188.
- Plafkin, J. L. (1989). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish*, United States Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Resh, V. H. and Jackson, J. K. (1993). *Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates*, Chapman and Hall, New York (USA), 195-223.
- Robinson, J. L. (2023). Genus-level macroinvertebrate methods limit the conservation coverage afforded aquatic species, *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1148516.
- Sladeczek, V. (1969). The measures of saprobity, *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 17, 546-559.
- Sladeczek, V. (1973). System of water quality from biological point of view, *Ergebnisse der Limnologie*, 7, 1-218.
- Smith, M. J., Kay, W. R., Edward, D. H., D., Papas, P. J., Richardson, K. S. J., Simpson, J. C. Pinder, A. M., Cale, D. J., Horwitz, P. H. J., Davis, J. A., Yung, F. H., Norris, R. H., and Halse, S. A. (1999). *AusRivAS: Using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia*, *Freshwater Biology*, 41(2), 269-282.
- Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax (SWCSMH). (2015). *Taxa tolerance values*, <http://lakes.chebucto.org/ZOOBENTH/BENTHOS/tolerance.html> (accessed Jan. 2019).
- UK Legislation. (2015). *The water environment (Water Framework Directive) (England and Wales) (Amendment) Regulations 2015*, <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/1623/resources> (accessed Jan. 2019).
- United States Environmental Protection Agency (U. S. EPA.). (2008). *National rivers and streams assessment: Laboratory methods manual*, Washington, D.C., USA, Office of Water and Office of Research and Development, EPA-841-B-07-010.
- Walley, W. J. and Hawkes, H. A. (1996). A computer-based reappraisal of the biological monitoring working party scores using data from the 1990 river quality survey of England and Wales, *Water Research*, 30(9), 2086-2094.
- Walley, W. J. and Hawkes, H. A. (1997). A computer-based development of the biological monitoring working party score system incorporating abundance rating, site type and indicator value, *Water Research*, 31(2), 201-210.
- Won, D. H., Jun, Y. C., Kwon, S. J., Hwang, S. J., Ahn, K. G., and Lee, J. K. (2006). Development of Konan saprobic index using benthic macroinvertebrates and its application to biological stream environment assessment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 22(5), 768-783.
- Wright, J. F., Sutcliffe, D. W., and Furse, M. T. (2000). *Assessing the biological quality of fresh waters: Rivpacs and other techniques*, Freshwater Biological Association, Ambleside, Cumbria, UK, 1-24.
- Yoon, I. B., Kong, D. and Ryu, J. K. (1992a). Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (1) -Saprobic valency and indicative value-, *Korean Society of Environmental Biology*, 10(1), 24-39. [Korean Literature]
- Yoon, I. B., Kong, D. and Ryu, J. K. (1992b). Studies on the biological evaluation of water quality by benthic macroinvertebrates (3) -Macroscopic simple water quality evaluation-, *Korean Society of Environmental Biology*, 10(2), 77-84. [Korean Literature]
- Zelinka, M. and Marvan. P. (1961). Zur prazisierung der biologischen klassifikation der reinheid fliessender gewasser, *Archiv fur Hydrobiologie*, 57(3), 389-407.

Appendix 1. Tolerant valency, tolerance value (*s*) and indicator weight value (*g*) of each indicator taxon or phena (I ~ V : pollution class)

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					<i>s</i>	<i>g</i>
			I	II	III	IV	V		
Phylum Platyhelminthes									
1	Planariidae	<i>Dugesia</i>	0.28	0.50	0.19	0.02	0.00	1.0	3
2	Planariidae	<i>Phagocata</i>	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
Phylum Nematomorpha									
3	Gordiidae	<i>Gordius</i>	0.73	0.23	0.04	0.00	0.00	0.3	4
Phylum Mollusca									
Class Gastropoda									
4	Viviparidae	<i>Cipangopaludina</i>	0.01	0.21	0.29	0.46	0.03	2.3	3
5	Viviparidae	<i>Sinotaia</i>	0.01	0.31	0.49	0.20	0.00	1.9	3
6	Ampullariidae	<i>Pomacea</i>	0.00	0.04	0.06	0.86	0.04	2.9	5
7	Bithyniidae	<i>Gabbia</i>	0.01	0.18	0.39	0.42	0.00	2.2	3
8	Bithyniidae	<i>Parafossarusulus</i>	0.01	0.22	0.19	0.58	0.00	2.3	3
9	Assimineidae	<i>Assimineia</i>	0.00	0.03	0.57	0.40	0.00	2.4	3
10	Stenothyridae	<i>Stenothyra</i>	0.00	0.02	0.52	0.43	0.03	2.5	3
11	Neritidae	<i>Clithon</i>	0.14	0.00	0.85	0.01	0.00	1.7	5
12	Pleuroceridae	<i>Koreanomelania</i>	0.37	0.55	0.08	0.00	0.00	0.7	3
13	Pleuroceridae	<i>Koreoleptoxis</i>	0.10	0.80	0.10	0.00	0.00	1.0	4
14	Pleuroceridae	<i>Semisulcospira</i>	0.34	0.54	0.10	0.01	0.00	0.8	3
15	Ellobiidae	<i>Ellobium</i>	0.67	0.32	0.01	0.00	0.00	0.3	4
16	Lymnaeidae	<i>Austropeplea</i>	0.01	0.08	0.06	0.09	0.77	3.5	4
17	Lymnaeidae	<i>Galba</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.0	5
18	Lymnaeidae	<i>Radix</i>	0.03	0.42	0.31	0.19	0.04	1.8	2
19	Physidae	<i>Physa</i>	0.02	0.11	0.22	0.32	0.32	2.8	2
20	Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	0.02	0.06	0.16	0.70	0.06	2.7	4
21	Planorbidae	<i>Hippeutis</i>	0.00	0.07	0.20	0.56	0.16	2.8	3
22	Planorbidae	<i>Polypylis</i>	0.01	0.00	0.15	0.62	0.21	3.0	3
23	Planorbidae	<i>Laevapex</i>	0.03	0.02	0.55	0.40	0.00	2.3	3
24	Succineidae	<i>Oxyloma</i>	0.00	0.04	0.12	0.39	0.45	3.2	3
Class Bivalvia									
25	Mytilidae	<i>Limnoperna</i>	0.00	0.02	0.95	0.03	0.00	2.0	5
26	Mytilidae	<i>Xenostrobus</i>	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.0	5
27	Unionidae	<i>Anodonta</i>	0.00	0.02	0.09	0.89	0.00	2.9	5
28	Unionidae	<i>Unio</i>	0.05	0.32	0.48	0.15	0.00	1.7	3
29	Unionidae	<i>Nodularia</i>	0.01	0.06	0.85	0.08	0.00	2.0	5
30	Cyrenidae	<i>Corbicula</i>	0.03	0.59	0.36	0.03	0.00	1.4	3
31	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	0.02	0.95	0.03	0.01	0.00	1.0	5
32	Sphaeriidae	<i>Musculium</i>	0.01	0.41	0.57	0.02	0.00	1.6	3
Phylum Anelida									
Class Polychaeta									
33	Nereididae	<i>Hediste</i>	0.09	0.14	0.68	0.09	0.00	1.8	4
Class Clitellata									
34	Lumbricidae	<i>Eisenia</i>	0.06	0.07	0.05	0.82	0.00	2.6	4
35	Naididae	<i>Chaetogaster</i>	0.01	0.01	0.03	0.03	0.92	3.8	5
36	Tubificidae	<i>Branchiura</i>	0.00	0.05	0.19	0.63	0.13	2.8	3

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
37	Tubificidae	<i>Limnodrilus</i>	0.01	0.02	0.03	0.16	0.78	3.7	4
38	Glossiphoniidae	<i>Alboglossiphonia</i>	0.01	0.11	0.10	0.60	0.19	2.9	3
39	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i>	0.05	0.13	0.16	0.66	0.00	2.4	3
40	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.06	0.14	0.06	0.08	0.67	3.1	3
41	Glossiphoniidae	<i>Hemiclepsis</i>	0.01	0.15	0.10	0.64	0.10	2.7	3
42	Glossiphoniidae	<i>Torix</i>	0.00	0.01	0.02	0.18	0.79	3.8	4
43	Hirudinidae	<i>Whitmania</i>	0.00	0.13	0.08	0.23	0.55	3.2	3
44	Hirudinidae	<i>Hirudo</i>	0.00	0.06	0.21	0.72	0.01	2.7	4
45	Erpobdellidae	<i>Erpobdella</i>	0.01	0.07	0.22	0.38	0.32	2.9	2
Phylum Arthropoda									
Class Malacostraca									
46	Sphaeromatidae	<i>Gnorimosphaeroma</i>	0.00	0.19	0.31	0.11	0.39	2.7	2
47	Asellidae	<i>Asellus</i>	0.01	0.11	0.21	0.63	0.04	2.6	3
48	Gammaridae	<i>Gammarus</i>	0.78	0.08	0.04	0.03	0.07	0.5	4
49	Anisogammaridae	<i>Jesogammarus</i>	0.01	0.02	0.83	0.14	0.00	2.1	4
50	Corophiidae	<i>Monocorophium</i>	0.00	0.00	0.97	0.03	0.00	2.0	5
51	Atyidae	<i>Neocaridina</i>	0.08	0.12	0.43	0.37	0.01	2.1	3
52	Atyidae	<i>Caridina</i>	0.00	0.08	0.08	0.05	0.79	3.6	4
53	Atyidae	<i>Paratya</i>	0.00	0.16	0.82	0.01	0.00	1.9	4
54	Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i>	0.00	0.04	0.17	0.79	0.01	2.8	4
55	Palaemonidae	<i>Palaemon</i>	0.02	0.08	0.45	0.44	0.01	2.3	3
56	Varunidae	<i>Eriocheir</i>	0.01	0.00	0.33	0.47	0.19	2.8	3
57	Sesarmidae	<i>Chiromantes</i>	0.00	0.00	0.11	0.89	0.00	2.9	5
Class Collembola									
58	-	Collembola	0.58	0.17	0.08	0.18	0.00	0.9	3
Class Insecta									
Order Ephemeroptera									
59	Siphonuridae	<i>Siphonurus</i>	0.24	0.69	0.06	0.00	0.00	0.8	4
60	Ameletidae	<i>Ameletus</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
61	Baetidae	<i>Acentrella</i>	0.45	0.45	0.08	0.00	0.01	0.7	3
62	Baetidae	<i>Alainites</i>	0.25	0.66	0.09	0.00	0.00	0.8	4
63	Baetidae	<i>Baetiella</i>	0.56	0.41	0.03	0.00	0.00	0.5	3
64	Baetidae	<i>Baetis silvaticus</i>	0.96	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
65		<i>Baetis ursinus</i>	0.38	0.53	0.08	0.00	0.00	0.7	3
66		Other <i>Baetis</i>	0.17	0.27	0.23	0.23	0.11	1.8	1
67	Baetidae	<i>Cloeon</i>	0.02	0.05	0.29	0.45	0.20	2.8	2
68	Baetidae	<i>Labiobaetis</i>	0.03	0.23	0.40	0.28	0.06	2.1	2
69	Baetidae	<i>Nigrobaetis</i>	0.56	0.41	0.03	0.00	0.00	0.5	3
70	Baetidae	<i>Procloeon</i>	0.25	0.59	0.14	0.01	0.01	0.9	3
71	Isonychiidae	<i>Isonychia</i>	0.71	0.28	0.00	0.00	0.00	0.3	4
72	Heptageniidae	<i>Bleptus</i>	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.0	5
73	Heptageniidae	<i>Cinygmula</i>	0.98	0.02	0.00	0.00	0.00	0.0	5
74	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus joernensis</i>	0.33	0.59	0.07	0.00	0.00	0.8	3
75	Heptageniidae	<i>Ecdyonurus levis</i>	0.29	0.59	0.12	0.00	0.00	0.8	3
76	Heptageniidae	Other <i>Ecdyonurus</i>	0.85	0.14	0.01	0.00	0.00	0.2	5
77	Heptageniidae	<i>Epeorus</i>	0.78	0.22	0.01	0.00	0.00	0.2	4

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
78	Heptageniidae	<i>Heptagenia</i>	0.72	0.27	0.01	0.00	0.00	0.3	4
79	Heptageniidae	<i>Rhithrogena</i>	0.76	0.23	0.00	0.00	0.00	0.2	4
80	Leptophlebiidae	<i>Choroterpes</i>	0.40	0.57	0.03	0.00	0.00	0.6	3
81	Leptophlebiidae	<i>Paraleptophlebia</i>	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
82	Leptophlebiidae	<i>Thraulius</i>	0.00	0.46	0.54	0.00	0.00	1.5	4
83	Potamanthidae	<i>Potamanthus</i>	0.14	0.61	0.24	0.02	0.00	1.1	3
84	Potamanthidae	<i>Rhoenanthus</i>	0.10	0.76	0.14	0.00	0.00	1.0	4
85	Polymitarcyidae	<i>Ephoron</i>	0.44	0.49	0.07	0.00	0.00	0.6	3
86	Ephemeridae	<i>Ephemera orientalis</i>	0.20	0.47	0.28	0.03	0.02	1.2	3
87	Ephemeridae	Other <i>Ephemera</i>	0.72	0.26	0.02	0.00	0.00	0.3	4
88	Ephemerellidae	<i>Cincticostella</i>	0.88	0.12	0.00	0.00	0.00	0.1	5
89	Ephemerellidae	<i>Drumella</i>	0.92	0.08	0.00	0.00	0.00	0.1	5
90	Ephemerellidae	<i>Ephacereella</i>	0.44	0.56	0.00	0.00	0.00	0.6	4
91	Ephemerellidae	<i>Ephemerella</i>	0.61	0.33	0.05	0.01	0.00	0.5	3
92	Ephemerellidae	<i>Serratella</i>	0.46	0.38	0.15	0.01	0.00	0.7	3
93	Ephemerellidae	<i>Teloganopsis</i>	0.41	0.49	0.09	0.00	0.00	0.7	3
94	Neophemeridae	<i>Potamanthellus</i>	0.19	0.77	0.04	0.00	0.00	0.9	4
95	Caenidae	<i>Brachycercus</i>	0.42	0.54	0.03	0.01	0.00	0.6	3
96	Caenidae	<i>Caenis</i>	0.22	0.48	0.25	0.04	0.00	1.1	3
Order Odonata									
97	Coenagrionidae	<i>Paracercion</i>	0.10	0.24	0.41	0.22	0.03	1.8	2
98	Coenagrionidae	<i>Enallagma</i>	0.00	0.39	0.24	0.37	0.00	2.0	3
99	Coenagrionidae	<i>Ishmura</i>	0.09	0.08	0.32	0.33	0.16	2.4	2
100	Coenagrionidae	<i>Mortonagrion</i>	0.00	0.01	0.19	0.37	0.43	3.2	3
101	Coenagrionidae	<i>Nehalennia</i>	0.00	0.65	0.35	0.00	0.00	1.3	4
102	Platycnemididae	<i>Copera</i>	0.17	0.26	0.49	0.09	0.00	1.5	3
103	Platycnemididae	<i>Platycnemis</i>	0.04	0.07	0.28	0.14	0.47	2.9	2
104	Calopterygidae	<i>Atrocalopteryx</i>	0.04	0.54	0.40	0.01	0.00	1.4	3
105	Calopterygidae	<i>Calopteryx</i>	0.25	0.47	0.26	0.02	0.00	1.1	3
106	Gomphidae	<i>Asiagomphus</i>	0.00	0.95	0.05	0.00	0.00	1.1	5
107	Gomphidae	<i>Anisogomphus</i>	0.62	0.35	0.03	0.00	0.00	0.4	4
108	Gomphidae	<i>Burmagomphus</i>	0.12	0.76	0.10	0.02	0.00	1.0	4
109	Gomphidae	<i>Davidius</i>	0.57	0.41	0.02	0.00	0.00	0.4	4
110	Gomphidae	<i>Gomphidia</i>	0.11	0.54	0.35	0.00	0.00	1.2	3
111	Gomphidae	<i>Shaogomphus</i>	0.01	0.68	0.29	0.02	0.00	1.3	4
112	Gomphidae	<i>Sinictinogomphus</i>	0.73	0.07	0.20	0.00	0.00	0.5	4
113	Gomphidae	<i>Nihonogomphus</i>	0.21	0.79	0.00	0.00	0.00	0.8	4
114	Gomphidae	<i>Lamelligomphus</i>	0.22	0.66	0.12	0.00	0.00	0.9	4
115	Gomphidae	<i>Ophiogomphus</i>	0.44	0.53	0.03	0.00	0.00	0.6	3
116	Gomphidae	<i>Sieboldius</i>	0.78	0.22	0.00	0.00	0.00	0.2	4
117	Gomphidae	<i>Stylurus</i>	0.01	0.15	0.82	0.02	0.00	1.9	4
118	Gomphidae	<i>Trigomphus</i>	0.46	0.48	0.05	0.01	0.00	0.6	3
119	Aeshnidae	<i>Anax</i>	0.03	0.20	0.27	0.17	0.33	2.6	2
120	Aeshnidae	<i>Boyeria</i>	0.07	0.89	0.00	0.04	0.00	1.0	5
121	Cordulegastridae	<i>Anotogaster</i>	0.00	0.75	0.25	0.00	0.00	1.2	4
122	Macromiidae	<i>Epophthalmia</i>	0.18	0.11	0.51	0.20	0.00	1.7	3

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
123	Macromiidae	<i>Macromia</i>	0.27	0.56	0.17	0.00	0.00	0.9	3
124	Corduliidae	<i>Epitheca</i>	0.12	0.10	0.05	0.03	0.70	3.1	4
125	Libellulidae	<i>Crocothemis</i>	0.33	0.25	0.35	0.08	0.00	1.2	2
126	Libellulidae	<i>Libellula</i>	0.16	0.76	0.05	0.03	0.00	1.0	4
127	Libellulidae	<i>Orthetrum</i>	0.01	0.09	0.19	0.33	0.38	3.0	2
128	Libellulidae	<i>Pseudothemis</i>	0.00	0.00	0.02	0.03	0.95	3.9	5
129	Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	0.01	0.32	0.25	0.26	0.16	2.2	2
130	Libellulidae	<i>Pantala</i>	0.00	0.03	0.00	0.29	0.67	3.6	4
131	Libellulidae	<i>Deielia</i>	0.01	0.11	0.40	0.30	0.18	2.5	2
Order Plecoptera									
132	Nemouridae	<i>Amphinemura</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
133	Nemouridae	<i>Nemoura</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
134	Leuctridae	<i>Perlomyia</i>	0.65	0.34	0.01	0.00	0.00	0.4	4
135	Perlodidae	<i>Arcynopteryx</i>	0.94	0.06	0.00	0.00	0.00	0.1	5
136	Perlodidae	<i>Isoperla</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
137	Perlodidae	<i>Stavsolus</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
138	Perlidae	<i>Kamimuria</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
139	Perlidae	<i>Kiotina</i>	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
140	Perlidae	<i>Neoperla</i>	0.89	0.11	0.00	0.00	0.00	0.1	5
141	Perlidae	<i>Oyamia</i>	0.96	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0	5
142	Perlidae	<i>Paragnetina</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
143	Chloroperlidae	<i>Sweltsa</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
144	-	Other Plecoptera	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
Order Hemiptera									
145	Asellidae	<i>Hesperocorixa</i>	0.04	0.66	0.07	0.18	0.04	1.5	3
146	Asellidae	<i>Micronecta</i>	0.00	0.02	0.10	0.19	0.69	3.5	4
147	Asellidae	<i>Sigara</i>	0.00	0.01	0.15	0.70	0.14	3.0	4
148	Pleidae	<i>Paraplea</i>	0.00	0.00	0.95	0.05	0.00	2.0	5
149	Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus</i>	0.04	0.96	0.00	0.00	0.00	1.0	5
150	Belostomatidae	<i>Appasus</i>	0.01	0.05	0.25	0.50	0.19	2.8	3
151	Belostomatidae	<i>Diplonychus</i>	0.00	0.00	0.06	0.94	0.00	2.9	5
152	Nepidae	<i>Laccotrephes</i>	0.14	0.11	0.36	0.40	0.00	2.0	2
153	Nepidae	<i>Nepa</i>	0.00	0.11	0.06	0.83	0.00	2.7	4
154	Nepidae	<i>Ranatra</i>	0.06	0.09	0.28	0.56	0.00	2.3	3
155	Gerridae	<i>Aquarius</i>	0.02	0.04	0.20	0.31	0.43	3.1	2
156	Gerridae	<i>Gerris</i>	0.06	0.08	0.11	0.06	0.68	3.2	4
157	Notonectidae	<i>Notonecta</i>	0.00	0.03	0.24	0.08	0.65	3.3	3
Order Megaloptera									
158	Sialidae	<i>Sialis</i>	0.07	0.93	0.00	0.00	0.00	0.9	5
159	Corydalidae	<i>Parachauliodes</i>	0.65	0.33	0.02	0.00	0.00	0.4	4
160	Corydalidae	<i>Neochauliodes</i>	0.35	0.64	0.01	0.00	0.00	0.7	4
161	Corydalidae	<i>Protohermes</i>	0.50	0.48	0.02	0.00	0.00	0.5	3
Order Coleoptera									
162	Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	0.23	0.77	0.00	0.00	0.00	0.8	4
163	Dytiscidae	<i>Cybister</i>	0.79	0.13	0.04	0.04	0.00	0.3	4
164	Dytiscidae	<i>Hydroglyphus</i>	0.00	0.11	0.18	0.14	0.56	3.2	3

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
165	Dytiscidae	<i>Hydaticus</i>	0.00	0.04	0.07	0.21	0.67	3.5	4
166	Dytiscidae	<i>Hydrovatus</i>	0.00	0.01	0.02	0.97	0.00	3.0	5
167	Dytiscidae	<i>Ilybius</i>	0.00	0.25	0.01	0.75	0.00	2.5	4
168	Dytiscidae	<i>Laccophilus</i>	0.00	0.01	0.00	0.09	0.90	3.9	5
169	Dytiscidae	<i>Oreodytes</i>	0.91	0.09	0.00	0.00	0.00	0.1	5
170	Dytiscidae	<i>Platambus</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
171	Dytiscidae	<i>Nebrioporus</i>	0.06	0.19	0.49	0.26	0.00	2.0	3
172	Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	0.00	0.04	0.14	0.82	0.00	2.8	4
173	Noteridae	<i>Noterus</i>	0.00	0.00	0.04	0.01	0.96	3.9	5
174	Gyrinidae	<i>Gyrinus</i>	0.00	0.07	0.01	0.02	0.89	3.7	5
175	Haliplidae	<i>Haliplus</i>	0.22	0.69	0.00	0.10	0.00	1.0	4
176	Haliplidae	<i>Peltodytes</i>	0.00	0.12	0.49	0.30	0.09	2.4	3
177	Hydrophilidae	<i>Amphiops</i>	0.07	0.05	0.80	0.08	0.00	1.9	4
178	Hydrophilidae	<i>Berosus</i>	0.00	0.00	0.01	0.20	0.78	3.8	4
179	Hydrophilidae	<i>Enochrus</i>	0.00	0.02	0.09	0.49	0.40	3.3	3
180	Hydrophilidae	<i>Helochaeres</i>	0.01	0.07	0.18	0.38	0.35	3.0	2
181	Hydrophilidae	<i>Hydrochara</i>	0.01	0.00	0.01	0.35	0.63	3.6	4
182	Hydrophilidae	<i>Laccobius</i>	0.00	0.01	0.04	0.39	0.56	3.5	3
183	Hydrophilidae	<i>Sternolophus</i>	0.00	0.01	0.05	0.94	0.00	2.9	5
184	Elmidae	<i>Stenelmis</i>	0.19	0.76	0.05	0.00	0.00	0.9	4
185	Elmidae	<i>Zaitzevia</i>	0.66	0.34	0.00	0.00	0.00	0.3	4
186	Elmidae	Other Elmidae	0.14	0.72	0.14	0.00	0.00	1.0	4
187	Psephenidae	<i>Eubrianax</i>	0.48	0.50	0.02	0.00	0.00	0.5	3
188	Psephenidae	<i>Mataeopsephus</i>	0.32	0.66	0.02	0.00	0.00	0.7	4
189	Psephenidae	<i>Malacopsephenoides</i>	0.21	0.68	0.11	0.00	0.00	0.9	4
190	Psephenidae	<i>Homoeogenus</i>	0.26	0.62	0.12	0.00	0.00	0.9	3
191	Chrysomelidae	<i>Galerucella</i>	0.00	0.00	0.02	0.12	0.86	3.8	5
Order Neuroptera									
192	Sisyridae	Sisyridae	0.37	0.49	0.15	0.00	0.00	0.8	3
Order Hymenoptera									
193	Ichneumonidae	<i>Agriotypus</i>	0.72	0.28	0.00	0.00	0.00	0.3	4
Order Diptera									
194	Limoniidae	<i>Antocha</i>	0.30	0.58	0.12	0.00	0.00	0.8	3
195	Limoniidae	<i>Dicranomyia</i>	0.98	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
196	Limoniidae	<i>Hexatoma</i>	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
197	Limoniidae	<i>Ormosia</i>	0.10	0.33	0.26	0.31	0.00	1.8	2
198	Pediciidae	<i>Dicranota</i>	0.87	0.08	0.05	0.00	0.00	0.2	5
199	Pediciidae	<i>Pedicia</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
200	Tipulidae	<i>Tipula</i>	0.19	0.36	0.21	0.23	0.01	1.5	2
201	Psychodidae	<i>Ulomyia</i>	0.02	0.12	0.01	0.00	0.85	3.5	5
202	Psychodidae	<i>Psychoda</i>	0.00	0.01	0.10	0.33	0.56	3.4	3
203	Psychodidae	<i>Telmatoscopus</i>	0.14	0.73	0.00	0.13	0.00	1.1	4
204	Dixidae	<i>Dixa</i>	0.26	0.04	0.01	0.69	0.00	2.1	4
205	Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.0	5
206	Culicidae	<i>Aedes</i>	0.00	0.00	0.01	0.02	0.96	3.9	5
207	Culicidae	<i>Anopheles</i>	0.00	0.03	0.10	0.54	0.32	3.2	3

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
208	Culicidae	<i>Culex</i>	0.00	0.00	0.11	0.39	0.50	3.4	3
209	Culicidae	Other Culicidae	0.00	0.01	0.06	0.21	0.72	3.6	4
210	Simuliidae	<i>Simulium</i>	0.54	0.41	0.05	0.00	0.00	0.5	3
211	Ceratopogonidae	Ceratopogonidae	0.39	0.41	0.15	0.05	0.00	0.9	3
212	Chironomidae	Chironomidae (non-red)	0.10	0.24	0.21	0.26	0.19	2.2	1
213	Chironomidae	Chironomidae (red)	0.01	0.04	0.08	0.15	0.71	3.5	4
	Chironomidae	Chironomidae sp. A	0.01	0.04	0.08	0.15	0.71	3.5	4
214	Chironomidae	Chironomidae sp. B	0.08	0.22	0.22	0.45	0.03	2.1	2
215	Chironomidae	Chironomidae sp. C	0.06	0.31	0.20	0.07	0.36	2.4	2
216	Chironomidae	Chironomidae sp. D	0.10	0.30	0.51	0.09	0.00	1.6	3
217	Chironomidae	Chironomidae sp. E	0.10	0.21	0.25	0.23	0.21	2.2	1
218	Chironomidae	Tanypodinae	0.18	0.38	0.34	0.09	0.00	1.4	2
219	Blephariceridae	Bibliocephala	0.86	0.14	0.00	0.00	0.00	0.1	5
220	Athericidae	<i>Atherix</i>	0.89	0.11	0.00	0.00	0.00	0.1	5
221	Athericidae	<i>Suragina</i>	0.88	0.12	0.00	0.00	0.00	0.1	5
222	Stratiomyidae	<i>Odontomyia</i>	0.00	0.57	0.24	0.20	0.00	1.6	3
223	Stratiomyidae	<i>Stratiomys</i>	0.00	0.04	0.13	0.52	0.31	3.1	3
224	Empididae	Empididae	0.44	0.43	0.08	0.05	0.00	0.7	3
225	Dolichopodidae	Dolichopodidae	0.28	0.23	0.07	0.34	0.08	1.7	2
226	Tabanidae	<i>Chrysops</i>	0.00	0.32	0.68	0.00	0.00	1.7	4
227	Tabanidae	<i>Tabanus</i>	0.68	0.21	0.07	0.05	0.00	0.5	4
228	Syrphidae	<i>Eristalis</i>	0.02	0.00	0.06	0.93	0.00	2.9	5
229	Syrphidae	Other Syrphidae	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.0	5
230	Ephydriidae	Ephydriidae	0.00	0.01	0.07	0.43	0.48	3.4	3
231	Muscidae	Muscidae	0.03	0.01	0.08	0.38	0.50	3.3	3
Order Trichoptera									
232	Rhyacophilidae	<i>Rhyacophila</i>	0.78	0.21	0.01	0.00	0.00	0.2	4
233	Hydroptilidae	<i>Hydroptila</i>	0.12	0.58	0.25	0.05	0.00	1.2	3
234	Hydrobiosidae	<i>Apsilochorema</i>	0.98	0.02	0.00	0.00	0.00	0.0	5
235	Glossosomatidae	<i>Agapetus</i>	0.63	0.37	0.00	0.00	0.00	0.4	4
236	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i>	0.79	0.21	0.00	0.00	0.00	0.2	4
237	Philopotamidae	<i>Dolophilodes</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
238	Philopotamidae	<i>Wormaldia</i>	0.87	0.12	0.00	0.00	0.00	0.1	5
239	Stenopsychidae	<i>Stenopsyche</i>	0.89	0.11	0.00	0.00	0.00	0.1	5
240	Hydropsychidae	<i>Arctopsyche</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
241	Hydropsychidae	<i>Aethaloptera</i>	0.01	0.63	0.36	0.00	0.00	1.3	4
242	Hydropsychidae	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	0.20	0.38	0.30	0.09	0.02	1.4	2
243	Hydropsychidae	Other <i>Cheumatopsyche</i>	0.10	0.56	0.32	0.01	0.01	1.3	3
244	Hydropsychidae	<i>Diplectrona</i>	0.00	0.94	0.03	0.02	0.00	1.1	5
245	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	0.13	0.50	0.29	0.03	0.05	1.4	3
246	Hydropsychidae	<i>Hydropsyche valvata</i>	0.04	0.43	0.40	0.01	0.13	1.8	3
247	Hydropsychidae	Other <i>Hydropsyche</i>	0.78	0.18	0.04	0.00	0.00	0.3	4
248	Hydropsychidae	<i>Macrostemum</i>	0.05	0.58	0.36	0.00	0.00	1.3	3
249	Hydropsychidae	<i>Potamyia</i>	0.10	0.47	0.41	0.00	0.02	1.4	3
250	Polycentropodidae	<i>Nyctiophylax</i>	0.18	0.82	0.00	0.00	0.00	0.8	4
251	Polycentropodidae	<i>Plectrocnemia</i>	0.87	0.11	0.01	0.00	0.01	0.2	5

No	Family name	Taxa	Tolerant valency					s	g
			I	II	III	IV	V		
252	Ecnomidae	<i>Ecnomus</i>	0.02	0.07	0.39	0.31	0.20	2.6	2
253	Psychomyiidae	<i>Psychomyia</i>	0.11	0.59	0.26	0.01	0.03	1.2	3
254	Phryganeidae	<i>Agrypnia</i>	0.83	0.15	0.01	0.00	0.00	0.2	5
255	Phryganopsychidae	<i>Phryganopsyche</i>	0.15	0.85	0.01	0.00	0.00	0.9	5
256	Brachycentridae	<i>Micrasema</i>	0.93	0.06	0.01	0.00	0.00	0.1	5
257	Limnephilidae	<i>Hydatophylax</i>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	5
258	Limnephilidae	<i>Limnephilus</i>	0.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.0	5
259	Limnephilidae	<i>Nemotaulius</i>	0.81	0.19	0.00	0.00	0.00	0.2	4
260	Limnephilidae	<i>Nothopsyche</i>	0.81	0.19	0.00	0.00	0.00	0.2	4
261	Goeridae	<i>Goera</i>	0.33	0.61	0.06	0.00	0.00	0.7	3
262	Uenoidae	<i>Neophylax</i>	0.96	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0	5
263	Apataniidae	<i>Apatania</i>	0.66	0.32	0.02	0.00	0.00	0.4	4
264	Lepidostomatidae	<i>Lepidostoma</i>	0.81	0.17	0.02	0.00	0.00	0.2	4
265	Sericostomatidae	<i>Gumaga</i>	0.59	0.40	0.01	0.00	0.00	0.4	4
266	Molannidae	<i>Molanna</i>	0.62	0.37	0.01	0.00	0.00	0.4	4
267	Odontoceridae	<i>Psilotreta</i>	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.0	5
268	Calamoceratidae	<i>Anisocentropus</i>	0.46	0.38	0.16	0.00	0.00	0.7	3
269	Calamoceratidae	<i>Ganonema</i>	0.96	0.04	0.00	0.00	0.00	0.0	5
270	Leptoceridae	<i>Ceraclea</i>	0.23	0.55	0.22	0.00	0.00	1.0	3
271	Leptoceridae	<i>Mystacides</i>	0.23	0.62	0.15	0.00	0.01	1.0	3
272	Leptoceridae	<i>Trienodes</i>	0.38	0.60	0.01	0.00	0.00	0.6	4
273	Leptoceridae	<i>Oecetis</i>	0.28	0.72	0.00	0.00	0.00	0.7	4
Order Lepidoptera									
274	Pyralidae	Acentropinae	0.01	0.22	0.21	0.18	0.38	2.7	2