

## 하천 내 물리적 서식처의 생물학적 평가를 위한 저서동물 하천하상지수(BMSI)의 개발

공동수 · 김진영<sup>†</sup>

경기대학교 생명과학과

## Development of Benthic Macroinvertebrates Streambed Index (BMSI) for Bioassessment of Stream Physical Habitat

Dongsoo Kong · Jin-Young Kim<sup>†</sup>

Department of Life Science, Kyonggi University

(Received 19 August 2015, Revised 14 October 2015, Accepted 19 October 2015)

### Abstract

This study was conducted to develop a Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) based on the response of the community to the substrate type of streambed. Analyzing the seasonal (Spring and Fall) data (11,367 sampling units) surveyed and collected during 2008–2014 at 960 sites in South Korea, we estimated the lithophilicity of 191 taxa. BMSI was composed of the lithophilic value, indicator weight value and individual abundance frequency. It showed an extremely significant correlation ( $r = -0.8$ ,  $p < 0.001$ ) with the mean grain size (in phi-value) of the streambed.

**Key words** : Benthic macroinvertebrates, BMSI, Physical habitat, Streambed, Substratum

### 1. Introduction

지표생물은 수십 년간 환경상태를 분석하는데 이용되어 왔으며(Thomas, 1972; Zonneveld, 1983), 저서성 대형무척추 동물은 생물모니터링(Resh and Jackson, 1993) 및 하천생태계의 평가지표로서 널리 이용되어왔고(Karr, 1999; Smith et al., 1999), 특히 수질평가에 매우 적합한 것으로 인정되고 있다(Morse et al., 2007; Rosenberg et al., 1986; Shubert, 1984). 한국산 저서성 대형무척추동물의 수질에 대한 지표치를 설정하고 지수를 개발한 최초의 사례는 Yoon et al. (1992a, 1992b, 1992c)에 의한 일련의 연구들이었다. 이후 Won et al. (2006)과 Kong et al. (2012) 등에 의해 생물학적 수질 평가를 위한 지표의 연구가 계속되었다. 하지만 하천의 물리적 특성에 대한 지표는 Kong et al. (2013)이 제시한 한국온수지수(Korean Thermal Index, KTI)가 현재까지 유일하다.

물리적 서식처의 악화에 따른 수생태계의 영향은 화학적 모니터링만으로는 감지하기 어렵기 때문에(Judy et al., 1984) 서식처의 물리적 상태에 대한 평가는 환경상태에 대한 종합적인 평가를 가능하게 한다(Sarver et al., 2000).

하상의 기질은 저서성 대형무척추동물의 주요한 서식처

이자 피난처이다(Arunachalam et al., 1991; Reice, 1985). 하상기질의 크기는 물리적 서식환경과 생물군집과의 관계를 설명하는데 가장 유용한 요인이며(Evans and Norris, 1997), 이는 저서성 대형무척추동물의 출현 종수와 개체수에 큰 영향을 미친다(Beisel et al., 1998; Erman and Erman, 1984). 대부분의 저서성 대형무척추동물은 서로 다른 기질을 선호하며(Buss et al., 2004; Duan et al., 2009), 하상 기질의 크기가 다양할수록 더 많은 종들이 서식하는(Minshall, 1984) 반면 단조로운 하상에서는 생물의 다양성이 낮다(Gorman, 1988; Rankin, 1991). 특히 생물이 서식하기에 적합한 공극이 만들어지는 자갈(pebble: 40~64mm) 하상에서의 생물다양성이 가장 높은 것으로 알려져 있다(Alexander and Allan, 1984; Duan et al., 2008).

또한 하상의 기질은 종종 인간 활동이 하천에 미치는 영향을 나타내는 민감한 지표로서(MacDonald et al., 1991), 세립질의 증가는 상류로부터 침식물의 유입이 인위적으로 증가했음을 의미한다(Dietrich et al., 1989). 퇴적물의 과도한 침전은 수중환경을 교란하며(Ball, 1982; Platts et al., 1983), 하상에 서식하는 생물의 다양성을 감소시킬 수 있다(Beschta and Platts, 1986). 최근에 독일, 미국 등은 생물군집 내 생활형(섭식, 서식 유형)의 조성 및 풍부성과 다양성 등을 포함한 다중계량지수(Multi Metric Index, MMI)를 활용하여 수생태계의 온전성을 평가하고 있는데 이중 서식유형은 하상기질의 조성 및 밀접한 관계를 가진다.

하천의 생물군은 수온, 하상, 하폭, 수심, 유속 등의 물리적 요인에 따라 달라지기 때문에 물리적 환경요인을 대변

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
eco\_kjy@nate.com

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.

하는 지수의 발굴이 필요하다. 특히, 최근에는 기후변화에 따른 강우집중도의 증가와 그로 인한 하상계수의 변화뿐만 아니라 인위적인 하상 구조의 교란이 증가하고 있어 이로 인한 생물 군집의 영향을 파악할 필요가 있으나 아직까지 국내에서는 이와 관련된 생물지수가 마련되어있지 않은 실정이다. 이러한 배경에서 본 연구는 하상 기질의 유형에 따른 저서성 대형무척추동물의 출현특성을 분석하여 저서동물 하천하상지수(BMSI)를 개발함으로써 이를 수생태계 변화의 원인 분석에 활용하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. 자료수집

기질에 따른 저서성 대형무척추동물의 출현특성을 정확하고 정밀하게 분석하기 위해서는 이화학적으로 동일한 환경 내에서 오로지 기질의 입경에 따라 구분된 실험조건을 갖추어야 한다. 하지만 복합된 요인을 인위적으로 조성하는 것이 쉽지 않으며 이러한 접근으로는 자연의 모군집에 대한 유의미한 통계결과를 얻는 것에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 장기간에 걸쳐 광범위한 현장에서 얻어진 환경부·국립환경과학원의 “수생태계 건강성 조사 및 평가(’08~’13년)”와 “하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가(’14년)”의 저서성 대형무척추동물 및 하상 조사결과를 이용하였다. 해당 사업의 960개 지점에 대한 매년 2회(봄, 가을) 및 일부 1회(봄)의 조사 결과 중 저서성 대형무척추동물이 출현하지 않은 경우를 제외한 총 조사단위(sampling unit)는 11,367개였다.

### 2.2. 분석방법

#### 2.2.1. 평균입경 산정, 하상기질의 유형화, 하상계열치 설정

하상기질의 입경은 Cummins (1962)에 따라 boulder ( $D_m > 256\text{mm}$ ,  $\Phi < -8$ ),  $D_m$ :입경(mm),  $\Phi = -\text{Log}_2(D_m)$ , cobble( $D_m = 64\sim 256\text{mm}$ ,  $\Phi = -8\sim -6$ ), pebble( $D_m = 16\sim 64\text{mm}$ ,  $\Phi = -6\sim -4$ ),

gravel( $D_m = 2\sim 16\text{mm}$ ,  $\Phi = -4\sim -1$ ), sand 이하( $D_m \leq 2\text{mm}$ ,  $\Phi \geq -1$ )의 5단계로 구분하고 하상 표면의 면적비를 기준으로 평균입경을 산출하였다(식 (1)).

$$\Phi_m = \sum r_i \Phi_i \tag{1}$$

- $\Phi_m$  : 하상기질의 평균입경  $\Phi$   
(the mean  $\Phi$  value of grain size in streambed)
- $r_i$  :  $i$  입도구간의 면적 비율  
(the areal ratio of grain size  $i$  interval)
- $\Phi_i$  :  $i$  입도구간의 증위입경  $\Phi$   
(the median  $\Phi$  value of grain size  $i$  interval)

하천의 하상은 주로 돌과 모래 등의 조립질 입자에 의해 구성되어 있으나 이를 유형화한 연구사례는 찾아볼 수 없다. 본 연구에서는 세립질 하상으로 조성된 호수의 퇴적물을 Sand, Silt, Clay의 구성비에 따라 삼각도표(triangle diagram)로 유형화한 Shepard (1954)의 방법을 응용하여 하천의 하상 유형을 10단계로 구분하였다(Fig. 1).

하상기질의 유형에 따라 전체 조사단위에서 나타난 하상 평균입경  $\Phi$ 의 평균치인 약 -6, -5, -4, -3, -1을 기준으로 하상계열(lithophilic series)을 5단계로 구분하였으며, 각 하상계열치(lithophilic series value)는 0부터 4점까지 부여하였다(Table 1).

#### 2.2.2. 저서동물 하상지수 산정

##### 2.2.2.1. 저서성 대형무척추동물의 출현도

군집 내 각 종의 하상계열별 출현속성은 1) 평균개체수 2) 실효평균개체수 3) 상대출현빈도 4) 복합출현도(상대평균출현도×상대출현빈도)를 고려하였다.

- ① 평균개체수(mean number of individuals)  
평균개체수는  $k$  계열에서 출현한  $i$  종의 총 개체수를  $k$

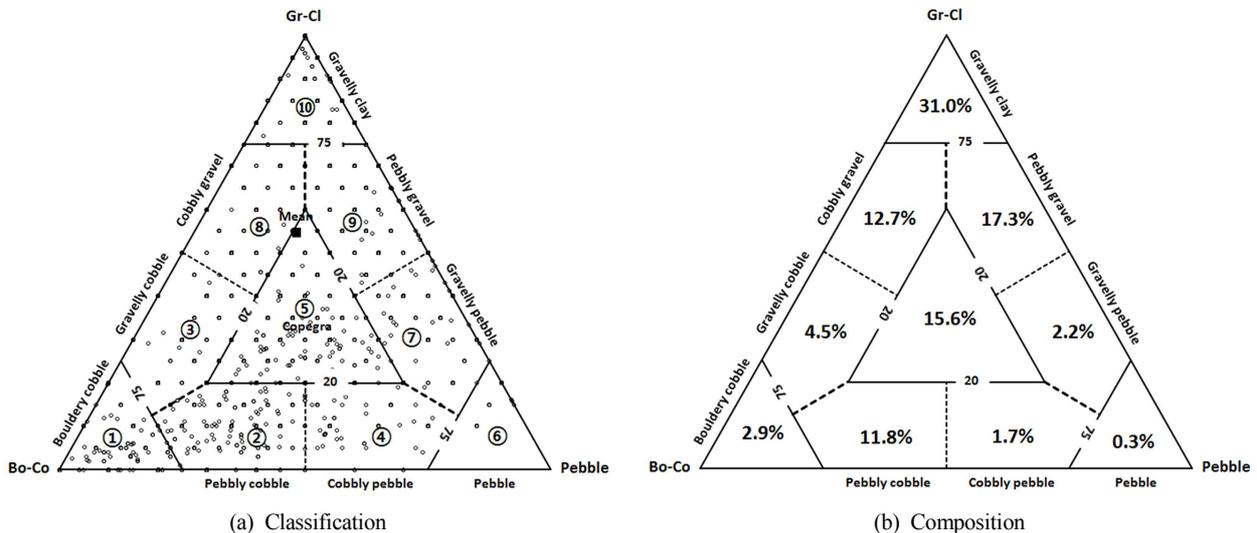


Fig. 1. Textural classification (a) and composition (b) of stream substrates in 11,367 sampling units.

**Table 1.** Number of sampling units, average of mean grain size diameter and scheme of lithophilic series according to substrate types

No.	Substrate type	Number of sampling units	Average of mean grain size diameter ( $\phi_m$ )	Lithophilic series and value ( $L_k$ )	
1	Bouldery cobble	333	-7.1	I	0
2	Pebbly cobble	1,342	-6.1		
3	Gravelly cobble	514	-5.4	II	1
4	Cobbly pebble	191	-5.2		
5	Copegra	1,775	-4.7	III	2
6	Pebble	29	-4.5		
7	Gravelly pebble	250	-4.1		
8	Cobbly gravel	1,445	-3.5	IV	3
9	Pebbly gravel	1,965	-3.0		
10	Gravelly clay	3,523	-0.9	V	4

$k$  : Symbol of lithophilic series       $L_k$  : Lithophilic value according to series  $k$

계열의 총 조사단위수로 나눈 값이다(식 (2)). 이는 이론적으로 하상이외의 환경요인이 조사단위별로 차이가 없고 해당 생물종의 분포가 지리적으로 차이가 없는 경우에 이용될 수 있다. 이는 특정 종이 선호하는 하상구조를 가진 조사단위라 할지라도 다른 요인들에 의해 해당 종이 서식하기 어렵거나 해당 종의 분포가 지리적으로 국한되어 있는 경우에는 평균 출현개체수가 작아질 수 있기 때문이다.

$$x_{ik} = \frac{a_{ik}}{n_k} = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} a_{ijk}}{n_k} \quad (2)$$

- $x_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종의 평균개체수  
(the mean number of individuals of species  $i$  across sampling units of series  $k$ )
- $a_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종의 총 개체수  
(the total number of individuals of species  $i$  across sampling units of series  $k$ )
- $n_k$  :  $k$  계열 내 총 조사단위 수  
(the total number of sampling units in series  $k$ )
- $a_{ijk}$  :  $k$  계열 내  $j$  조사단위의  $i$  종의 개체수  
(the number of individuals of species  $i$  in sampling unit  $j$  in series  $k$ )

② 실평균개체수(actual mean number of individuals)

실평균개체수는  $k$  계열에서 출현한  $i$  종의 총 개체수를  $k$  계열에서  $i$  종이 출현한 조사단위수로 나눈 값이다(식 (3)). 이는  $i$  종이 출현한 조사단위의 하상구조만을 고려한다는 점에서 다른 환경요인에 의한 영향 또는 지리적 분포의 구배에 의한 오류를 최소화할 수 있지만, 종의 출현빈도가 반영되지 않기 때문에 종이 출현한 조사단위수가 적은 경우에는 대표성이 떨어질 수 있다.

$$y_{ik} = \frac{a_{ik}}{n_{ik}} \quad (3)$$

$y_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종이 출현한 조사단위 기준의 평균개체수  
(the mean number of individuals of species  $i$  across sampling units where species  $i$  is present in series  $k$ )

$n_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종이 출현한 조사단위 수  
(the number of sampling units in series  $k$  where species  $i$  is present)

③ 상대출현빈도(relative frequency of occurrence)

상대출현빈도는 출현개체수를 고려하지 않고 단지 종의 출현유무만을 고려한 값으로서  $k$  계열에서  $i$  종이 출현한 조사단위수를  $k$  계열의 총 조사단위수로 나눈 값이다(식 (4)). 이는 특정 환경조건에 대한 생물종의 보편적인 선호도는 대변할 수 있으나 특이적인 집중도는 반영하지 못한다.

$$z_{ik} = \frac{n_{ik}}{n_k} \quad (4)$$

$z_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종의 상대출현빈도  
(the relative frequency of occurrence of species  $i$  in series  $k$ )

④ 복합상대출현도(combined relative abundance; relative mean abundance with relative frequency of occurrence)

Dufrene and Legendre(1997)는  $k$  집단(group, cluster)의 평균개체수의 상대치  $Rx_{ik}$ (식 (5))를 특이성에 대한 계량치(measure of specificity), 상대출현빈도  $z_{ik}$ 를 적합도(fidelity)로 표현하고 이 두 수치를 곱한 값(식 (6))을 지표치 산정에 활용한 바 있다. 이는 특정 종의 출현개체수와 출현빈도를 각각 독립적으로 보고 복합하여 고려하기 때문에 어떤 종이 특정 계열에 대해 상대출현빈도는 물론 평균출현개체수도 높아지는 경우 해당계열에 대한 값이 커지게 된다. 또한 이 식의 산정과정에  $k$  집단의 총 조사단위가 두 번 고려되어 곱해지기 때문에 다른 요인들의 영향 또는 종 분포의 지리적 구배에 따른 영향이 더욱 커질 수 있다.

$$Rx_{ik} = \frac{x_{ik}}{\sum_{i=1}^m x_{ik}} \quad (5)$$

$m$  : 계열의 총 수 (the total number of series); 5

$$c_{ik} = Rx_{ik} \times z_{ik} \quad (6)$$

$c_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종의 복합출현도 (the combined relative abundance of species  $i$  in series  $k$ )

2.2.2.2. 하상계급치(lithophilic valency)와 하상지수(lithophilic value) 산정

하상계열별 저서성 대형무척추동물의 하상계급치는 각 출현속성(평균 출현개체수, 실평균 출현개체수, 상대출현빈도, 복합상대출현도)별로 식 (7)과 같이 비율화하였다.

$$V(x,y,z,c)_{ik} = \frac{(x,y,z,c)_{ik}}{\sum_{k=1}^m (x,y,z,c)_{ik}} = \frac{(x,y,z,c)_{ik}}{\sum_{k=1}^5 (x,y,z,c)_{ik}} \quad (7)$$

$V(x,y,z,c)_{ik}$  :  $k$  계열 내  $i$  종의 하상계급치 (the lithophilic valency of species  $i$  in series  $k$ )

$V(x)_{ik}, V(y)_{ik}, V(z)_{ik}, V(c)_{ik}$  : 각각 평균 출현개체수, 실평균 출현개체수, 상대출현빈도, 복합상대출현도 기준의 하상계급치 (the lithophilic valency based on the mean number of individuals, the actual mean number of individuals, the relative frequency of occurrence, and the combined relative abundance respectively)

각 종의 하상지수는 출현속성별로 각 계열의 하상계급치와 각 계열에 해당하는 하상계열치를 곱한 값 즉 하상계급치가 가중된 하상계열치의 평균치(평균하상지수)(식 (8)) 또는  $Vxz_{ik}$ 가 가장 큰 값을 보이는 하상계열치(대표하상지수)(식 (9))로 설정하였다.

$$l_a(x,y,z,c)_i = \sum_{k=1}^5 L_k V(x,y,z,c)_{ik} \quad (8)$$

$l_a(x,y,z,c)_i$  :  $i$  종의 평균하상지수  
(the average lithophilic value of species  $i$ )

$l_a(x)_i, l_a(y)_i, l_a(z)_i, l_a(c)_i$  : 각각 평균 출현개체수, 실평균 출현개체수, 상대출현빈도, 복합상대출현도 기준의 평균하상지수 (the average lithophilic value based on the mean number of individuals, the actual mean number of individuals, the relative frequency of occurrence, and the combined relative abundance

respectively)

$L_k$  :  $k$  계열의 하상계열치(the lithophilic series value of series  $k$ ; 0, 1, 2, 3, 4)

$$l_m(x,y,z,c)_i = L_k \leftarrow \max V(x,y,z,c)_{ik} \quad (9)$$

$l_m(x,y,z,c)_i$  :  $i$  종의 대표하상지수 (the representative lithophilic value of species  $i$ )

2.2.2.3. 지표가중치(indicator weight value) 산정

각 종의 지표가중치는 계열별 하상계급치의 표준편차를 기준으로 산정하였다(식 (10)).

$$S_{V_{ik}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^5 (V_{ik} - \bar{V}_{ik})^2}{4}} \quad (10)$$

하상계급치의 표준편차가 작을수록 생물종의 분포가 하상계열에 따라 고르게 나타난다는 것을 의미하므로 이러한 종들의 지표가중치는 낮다. 하상계급치의 표준편차는 생물종이 특정 계열에서만 출현할 때(특정 계열 1, 나머지 4개 계열 모두 0) 최대가 되며 5개 계열의 경우 그 값은 약 0.45가 된다. 본 연구에서는 이를 5 등급으로 분할하여 1부터 5까지 지표가중치를 부여하였다(Table 2).

2.2.3. 저서동물 하천하상지수의 구성

저서동물 하천하상지수는 개체수 출현도와 지표가중치의 곱으로 가중평균한 하상지수 값을 0~100점으로 계량화한 형태로 구성하였다(식 (11)).

$$BMSI = \left( 4 - \frac{\sum_{i=1}^n l_i h_i g_i}{\sum_{i=1}^n h_i g_i} \right) \times 25 \quad (11)$$

$BMSI$  : 저서동물 하천하상지수

(Benthic Macroinvertebrates Streambed Index)

$i$  : 지정된 지표생물종의 일련번호

(the number assigned to the species)

$n$  : 출현한 지표생물종의 총수 (the number of species)

$l_i$  :  $i$  종의 하상지수 (the lithophilic value of the species  $i$ )

$h_i$  :  $i$  종의 개체수 출현도 (the abundance frequency of the species  $i$ )

$g_i$  :  $i$  종의 지표가중치 (the indicator weight value of the species  $i$ )

**Table 2.** Scheme of indicator weight values ( $g_i$ ) based on standard deviation (STD) of lithophilic valency

STD	≤0.09	0.09<~≤0.18	0.18<~≤0.27	0.27<~≤0.36	>0.36
$g_i$	1	2	3	4	5

**Table 3.** Scheme of abundance frequency ( $h_i$ ) according to rank percentage of abundance ( $R_i$ )

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

개체수 출현도 값은 각 종의 출현개체수 순위를 백분위수로 변환하고(식 (12)), 이를 5 등급으로 구분하여 1부터 5까지 부여하였다(Table 4).

$$R_i = \frac{N_i}{N} \times 100 \quad (12)$$

- $R_i$  :  $i$  지표생물종의 출현개체수 순위 백분율 (the rank percentage of species  $i$  based on abundance)
- $N_i$  :  $i$  지표생물종의 출현개체수 순위 (the rank of species  $i$  based on abundance)
- $N$  : 총 출현종수 (the total number of species)

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. 하상계급치(Lithophilic valency)

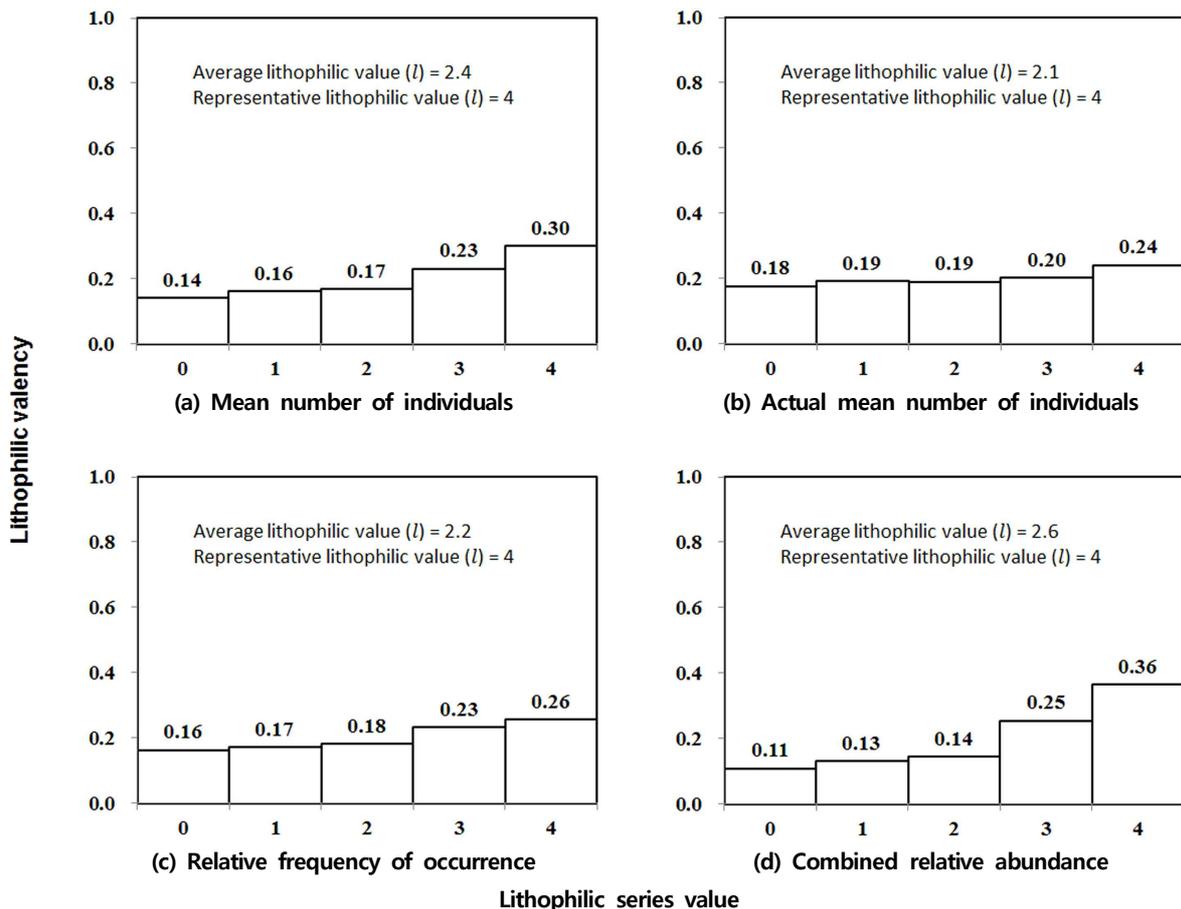
하상계급치의 하상계열별 분포는 출현속성별로 다르게 나

타났다. 전체적으로 출현도가 높았던 Chironomidae sp.를 예로 들 때 실평균개체수를 기준으로 산정된 하상계급치의 계열 간 차이가 가장 작았다(Fig. 2(b)). 평균출현개체수를 기준으로 산정된 하상계급치의 분포(Fig. 2(a))는 상대출현빈도를 기준으로 하였을 때(Fig. 2(c))에 비해 약간 큰 수준이었다. 복합상대출현도를 기준으로 산정된 하상계급치의 계열 간 차이는 전체 출현속성 중에 가장 크게 나타났다(Fig. 2(d)). 어떤 종이 특정 계열을 선호하는 경우 상대출현빈도는 물론 평균출현개체수도 높아질 수 있으므로 이를 곱한 속성인 복합상대출현도에 의한 하상계급치는 해당 계열에서 상대적으로 더욱 커지는 것으로 이해된다.

#### 3.2. 저서동물 하천하상지수(BMSI)

##### 3.2.1. 평균하상지수(Average lithophilic value)의 적용

네 가지 출현속성별로 평균하상지수를 기반으로 산정된 BMSI 값과 하상의 평균입도( $\phi_m$ )와의 관계는 Fig. 3과 같다. 양 극단의 하상계열을 선호하는 종일지라도 해당 종은



**Fig. 2.** Lithophilic valency of Chironomidae sp. (red type) according to each lithophilic series value.

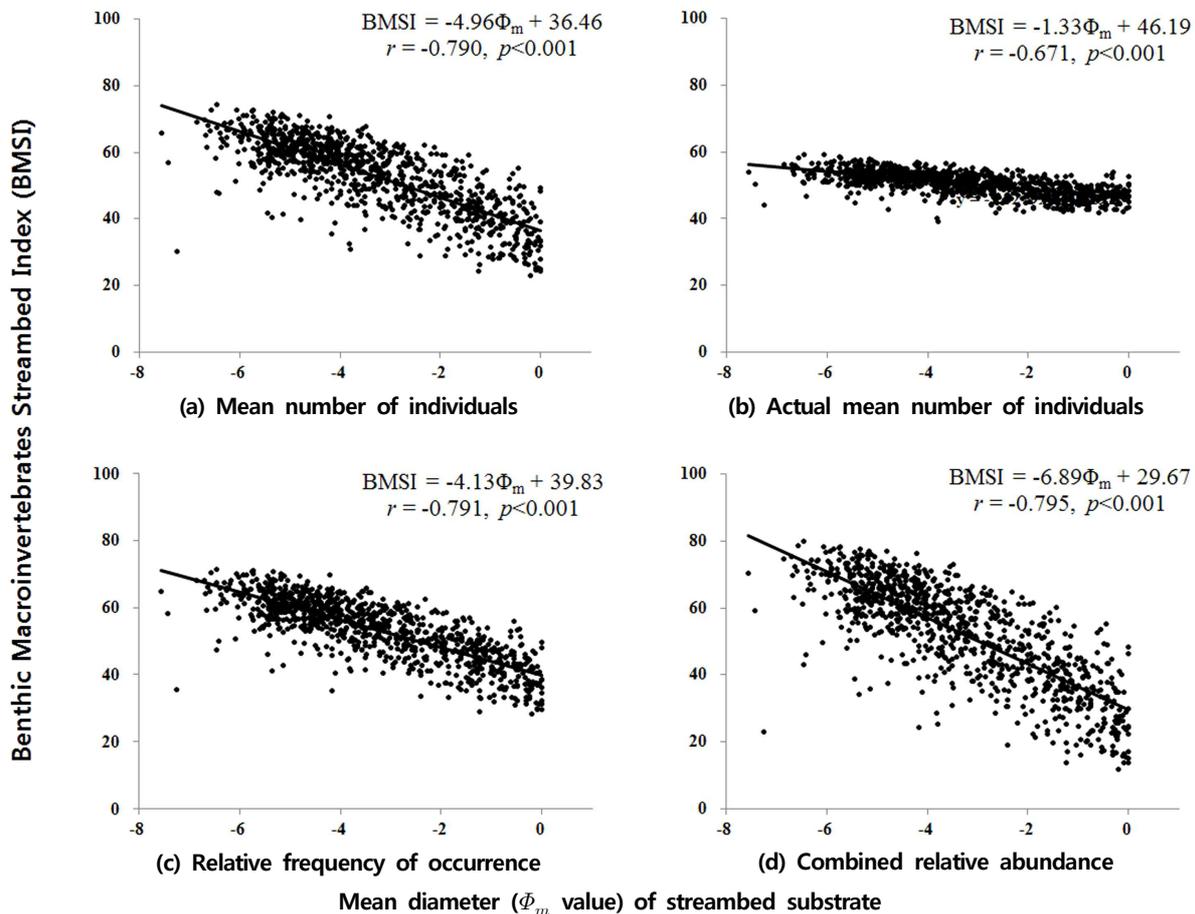


Fig. 3. Relationship between mean diameter ( $\Phi_m$  value) of streambed substrate and Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) using average lithophilic values.

일반적으로 여러 계열에 걸쳐 출현할 수 있기 때문에 하상 계급치로 가장 평균한 하상지수는 하상계열의 양 극단치(0 또는 4)보다 더 크거나 작게 나타난다. 특히 실펍균개체수를 기준으로 산정된 평균하상지수를 적용한 BMSI 값은 하상의 입도에 따라 큰 변화를 보이지 않았는데, 이는 하상 계열에 따른 하상계급치가 큰 차이를 보이지 않은 점(Fig. 2(b))과 관련이 있다.

이러한 이유로 평균하상지수를 기반으로 산정된 BMSI 값은 하상입도에 따른 변화율이 완만하고, 하상입도의 양 극단에서 나타나는 실제 값은 식 (11)의 이론적인 극단 값(100 또는 0)과 괴리를 보이게 된다. 이는 BMSI 값이 전체적인 하상상태에 대하여 중심 부분으로 집중되는 결과를 초래하여 하상상태에 대한 변별력을 낮추는 결과를 낳게 된다.

### 3.2.2. 대표하상지수(Representative integer of lithophilic value)의 적용

출현속성별로 대표하상지수를 기반으로 산정된 BMSI 값은 하상의 평균입도에 따라 고도의 유의성( $p < 0.001$ )을 보였으며, 상관계수( $r$ )는 실펍균개체수를 기준으로 한 경우 (약 -0.7)를 제외하곤 모두 약 -0.8의 값을 보였다(Fig. 4).

특히 복합상대출현도를 기준으로 산정된 BMSI 값은 하상의 평균입도에 따른 변별력과 상관도가 가장 높았으므로

(Fig. 4(d)), 이를 기준으로 저서성 대형무척추동물 총 191 분류군의 하상계급치( $I$ )를 산정하고, 각 계열별로 가장 큰 하상계급치를 보인 하상계열지수(대표하상지수)와 지표가중치( $g$ )를 결정하였다(Appendix 1). BMSI 값의 계산은 종 수준을 기반으로 한 것이므로, 하상지수와 지표가중치가 속(genus) 수준 이상의 상위범주로 설정된 경우에는 각 종의 하상지수와 지표가중치는 해당 상위 범주의 값을 따라야 한다.

### 3.3. 저서동물 하천하상지수(BMSI)와 하천차수(Stream order)의 관계

일반적으로 하천차수가 작은 산간계류의 하상은 바위와 돌의 조립질, 하천차수가 큰 평원하천의 하상은 모래질의 세립질로 이루어진다. 복합상대출현도를 기준으로 산정된 하천하상지수(BMSI)는 하천차수 2에서 가장 큰 값을 보였다(Fig. 5).

하천차수 1에서의 BMSI 값이 상대적으로 작은 것은 하폭이 좁고 수심이 얇지만 유량이 적어 유속이 느리기 때문이라고 해석할 수 있다. 하천차수가 2보다 커지면서 BMSI 값이 작아지는 경향을 보였는데 이는 하류로 갈수록 세립질이 증가하는 일반적인 양상을 대변하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 하천차수 5의 BMSI 값이 하천차수 4의 값보다

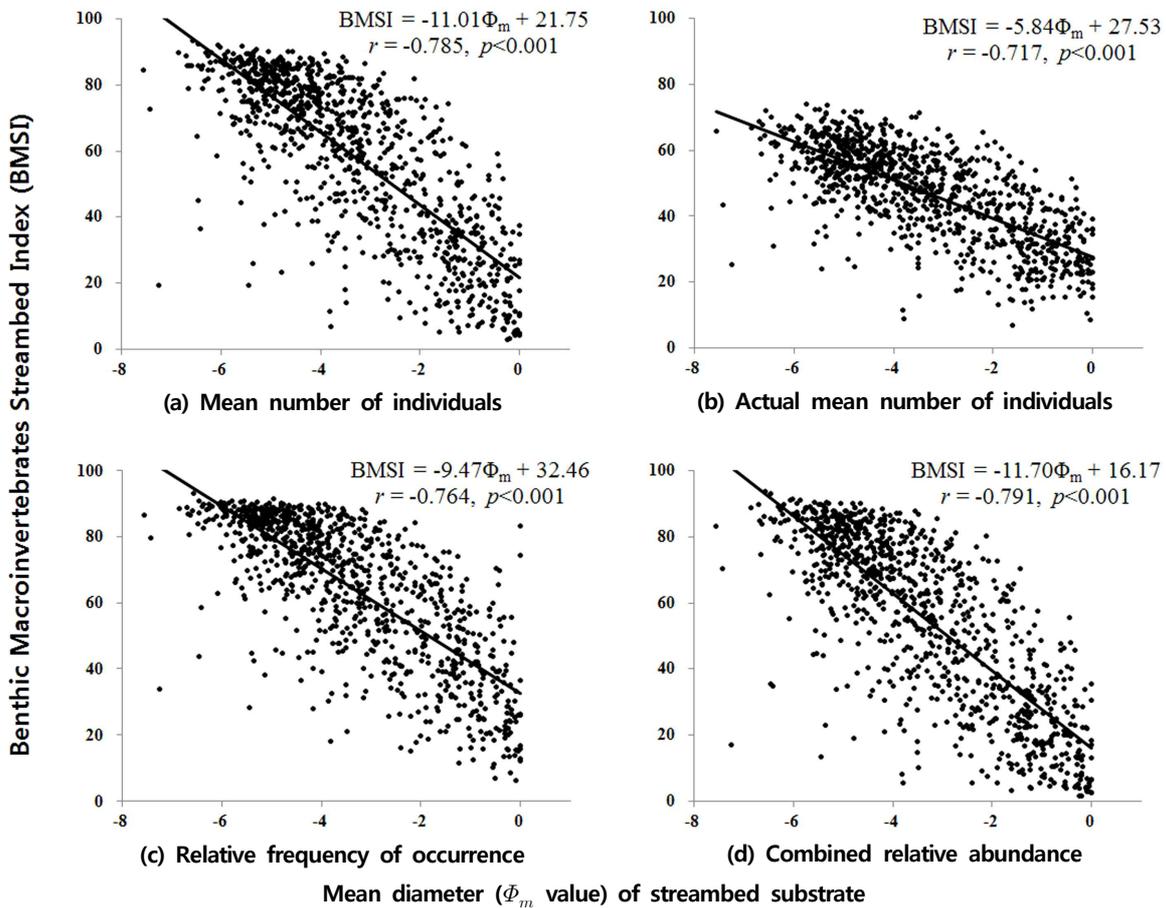


Fig. 4. Relationship between mean diameter ( $\Phi_m$  value) of streambed substrate and Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) using representative integer lithophilic values.

높은 이유에 대해서는 추후 검토가 필요하다.

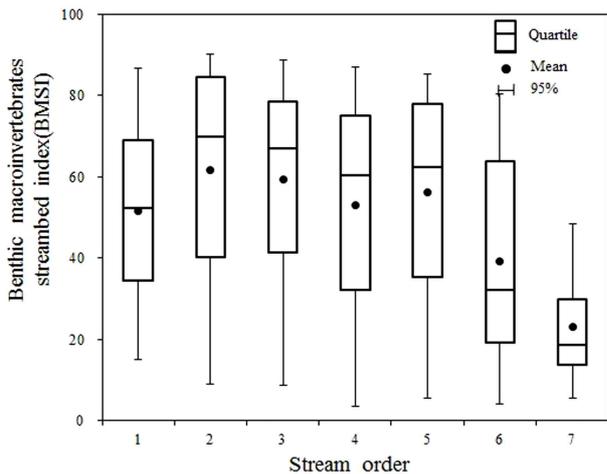


Fig. 5. Variation of Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) according to each stream order.

### 3.4. 하천하상지수(BMSI)의 평가 등급

BMSI 평가 등급의 구분은 복합상대출현도 기준의 대표하상지수에 따른 BMSI 값과 하상의 평균입경( $\phi_m$ )의 관계 (Fig. 4(d))에 기초하였다. Cummins (1962)의 기준에 따라 cobble, pebble, very coarse sand, coarse sand에 대한 입경구간의 하

위 값에 해당하는  $\Phi$  값(각각 -6, -4, -1, 0)을 Fig. 4(d)의 회

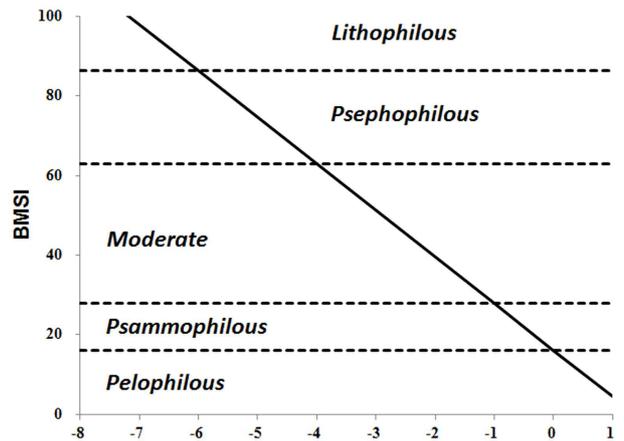


Fig. 6. Regression line shown in Fig. 4d and the classification of lithophilicity based on BMSI.

귀식에 적용하였을 때, 이에 해당하는 복합상대출현도 기준의 BMSI 값의 구계는 Fig. 6과 같다.

전체 11,367 조사단위에서 나타난 하상계열 I와 하상계열 V에 대한 BMSI 값의 상대빈도는 Fig. 7과 같다.

하상계열 I에 대한 BMSI의 상대빈도가 최고치를 보이는 BMSI 값은 큰돌선호성(Lithophilous)과 자갈선호성(Psepho-

philous)의 경계치에 해당하고, 하상계열 I와 하상계열 V에

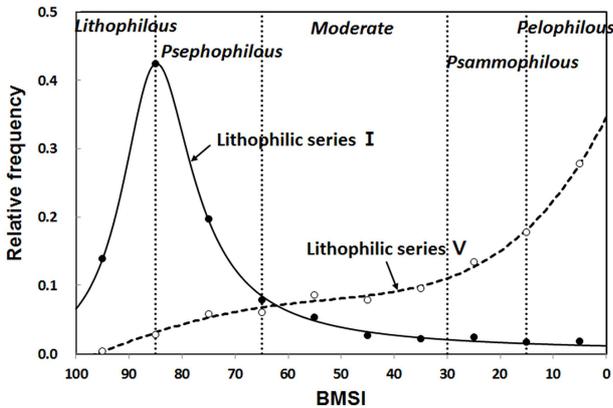


Fig. 7. Relative frequency of BMSI and lithophilicity according to lithophilic series I and II.

대한 상대출현도가 비슷한 값을 보이는 BMSI 값은 자갈선 호성과 중간성(Moderate)의 경계치에 해당한다. 또한 중간성과 모래성(Psammophilous)의 경계, 모래성과 진흙성(Pelophilous)의 경계에 해당하는 BMSI 값은 하상계열 V의 상대빈도가 증가 또는 급격히 증가하는 구간에 해당한다.

하상기질에 대한 저서동물 하천하상지수의 최종 평가 등급은 Fig. 4(d)의 회귀식에서 나타난 값을 기본으로 하되, 가독성을 고려하여 5 단위 반올림 값[예로  $\phi$  값 -6에 해당하는 회귀식의 BMSI 값 86은 85,  $\phi$  값 -4에 해당하는 회귀식의 BMSI 값 63은 65 등]으로 구분하였다(Table 4).

Table 4. Classification of Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI) for evaluation of streambed substrate status

Lithophilicity class	Benthic macroinvertebrates streambed index (BMSI)	Lithophilicity
A	$85 \leq \sim 100$	Lithophilous
B	$65 \leq \sim < 85$	Psephophilous
C	$30 \leq \sim < 65$	Moderate
D	$15 \leq \sim < 30$	Psammophilous
E	$0 \sim < 15$	Pelophilous

#### 4. Conclusion

국내산 저서성 대형무척추동물 총 191 분류군의 하상기질에 대한 선호도를 분석하여 하상계열별 하상계급치를 도출하였고, 이를 바탕으로 각 분류군의 하상지수 및 지표가 중치를 설정하였으며, 각 종의 지표치와 상대출현도로 구성된 저서동물 하천하상지수(BMSI)를 제안하고 그 적용성을 검토한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 저서성 대형무척추동물 군집의 상대출현개체수와 상대출현빈도를 함께 고려한 복합상대출현도가 상대적으로 하상기질의 상태를 평가하는데 유용하며, 계열간 하상계급치의 평균(평균하상지수)보다는 하상계급치가 가장 높은 하상계열치(대표하상지수)를 기반으로 산정된 하천하상지수가 하상기질에 대한 평가의 변별력을 높일 수

있다.

2) 저서동물 하천하상지수(BMSI)는 하상의 입도와 고도로 유의한 상관관계를 보였으며, 하천차수에도 유의미한 반응을 보이므로 향후 하상의 교란에 따른 생물학적 반응을 평가하는 지표로 이용 가능할 것으로 보인다.

#### Acknowledgement

이 논문은 환경부·국립환경과학원의 「수생태계 건강성 조사 및 평가('08~'13년)」와 「하천 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가('14년)」의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- Alexander, S. F. and Allan, J. D. (1984). The Importance of Predation, Substrate and Spatial Refugia in Determining Lotic Insect Distributions, *Oecologia*, 64(3), pp. 306-313.
- Arunachalam, M., Madhusoodanan Nair, K. C., Vijverberg, J., Kortmulder, K., and Suriyanarayanan, H. (1991). Substrate Selection and Seasonal Variation in Densities of Invertebrates in Stream Pools of a Tropical River, *Hydrobiologia*, 213, pp. 141-148.
- Ball, J. R. (1982). *Stream Classification Guidelines for Wisconsin*, Wisconsin Department of Natural Resources Technical Bulletin, Wisconsin Department of Natural Resources, Madison, Wisconsin, pp. 1-24.
- Beisel, J. N., Usseglio-Polatera, P., Thomas, S., and Moreteau, J. C. (1998). Stream Community Structure in Relation to Spatial Variation: The Influence of Mesohabitat Characteristics, *Hydrobiologia*, 389, pp. 73-88.
- Beschta, R. L. and Platts, W. S. (1986). Morphological Features of Small Streams: Significance and Function, *Water Resources Bulletin, American Water Resources Association*, 22(3), pp. 369-379.
- Buss, D. F., Baptista, D. F., Nessimian, J. L., and Egler, M. (2004). Substrate Specificity, Environmental Degradation and Disturbance Structuring Macroinvertebrate Assemblages in Neotropical Streams, *Hydrobiologia*, 518(1-3), pp. 179-188.
- Cummins, K. W. (1962). An Evaluation of Some Techniques for the Collection and Analysis of Benthic Samples with Special Emphasis on Lotic Waters, *American Midland Naturalist*, 67(2), pp. 477-504.
- Dietrich, W. E., Kirchner, J. W., Ikeda, H., and Iseya, F. (1989). Sediment Supply and the Development of the Coarse Surface Layer in Gravel Bed Rivers, *Nature*, 340(20), pp. 215-217.
- Duan, X., Wang, Z., and Tian, S. (2008). Effect of Streambed Substrate on Macroinvertebrate Biodiversity, *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2(1), pp. 122-128.
- Duan, X., Wang, Z., Xu, M., and Zhang, K. (2009). Effect of Streambed Sediment on Benthic Ecology, *International Journal of Sediment Research*, 24(3), pp. 325-338.
- Dufrène, M. and Legendre, P. (1997). Species Assemblages and Indicator Species: The Need for a Flexible Asymmetrical Approach, *Ecological Society of America*, 67(3), pp. 345-366.
- Erman, D. C. and Erman, N. A. (1984). The Response of Stream

- Macroinvertebrates to Substrate Size and Heterogeneity, *Hydrobiologia*, 108(1), pp. 75-82.
- Evans, L. J. and Norris, R. H. (1997). Prediction of Benthic Macroinvertebrate Composition Using Microhabitat Characteristics Derived from Stereo Photography, *Freshwater Biology*, 37(3), pp. 621-633.
- Gorman, O. T. (1988). The Dynamics of Habitat Use in a Guild of Ozark Minnows, *Ecological Monographs*, 58(1), pp. 1-18.
- Judy, R. D., Seeley, Jr. P. N., Murray, T. M., Svirsky, S. C., Whitworth, M. R., and Ischinger, L. S. (1984). *National fisheries Survey*, Technical Report: Initial Findings, vol. 1. Washington, DC, USA, United States Fish and Wildlife Service; (FWS/OBS-84/06).
- Karr, J. R. (1999). Defining and Measuring River Health, *Freshwater Biology*, 41(2), pp. 221-234.
- Kong, D., Son, S. H., Kim, J. Y., Won, D. H., Kim, M. C., Park, J. H., Chon, T. S., Lee, J. E., Park, J. H., Kwak, I. S., Kim, J. S., and Ham, S. A. (2012). Development and Application of Korean Benthic Macroinvertebrates Index for Biological Assessment on Stream Environment, *Proceedings of the 2012 Spring Conference and water environmental forum of Yeongsan river*, Korean Society of Limnology, pp. 33-36. [Korean Literature]
- Kong, D., Kim, J. Y., 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) pp. 114-126. [Korean Literature]
- MacDonald, L. H., Smart, A. W., and Wissmar, R. C. (1991). *Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in the Pacific Northwest and Alaska*, WPA 910/9-91-001, U.S. Environmental Protection Agency, Region X, Seattle, Washington. pp. 166.
- Minshall G. W. (1984). *Aquatic Insect-Substratum Relationships*, The Ecology of Aquatic Insects, Resh, V. H. and Rosenberg, D. M. (eds), Praeger Publishers: New York, pp. 358-400.
- Morse, J. C., Bae, Y. J., Munkhjargal, G., Sangpradub, N., Tanida, K., Vshivkova, T. S., Wang, B., Yang, L., and Yule, C. M. (2007). Freshwater Biomonitoring with Macroinvertebrates in East Asia, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), pp. 33-42.
- Platts, W. S., Megahan, W. F., and Minshall, G. W. (1983). *Methods for Evaluating Stream Riparian and Biotic Conditions*, Gen. Tech. Rep. INT-138, Forest Service, U. S. Dept. Agriculture, Ogden, Utah. pp. 177.
- Rankin, E. T. (1991). *The Use of the Qualitative Habitat Evaluation Index for Use Attainability Studies in Streams and Rivers in Ohio*, In George Gibson, editor. Biological Criteria: Research and Regulation, Office of Water, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. EPA 440/5-91-005.
- Reice, S. R. (1985). Experimental Disturbance and the Maintenance of Species Diversity in a Stream Community, *Oecologia*, 67(1), pp. 90-97.
- Resh, V. H. and Jackson, J. K. (1993). *Rapid Assessment Approaches to Biomonitoring Using Benthic Macroinvertebrates*, Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates, Rosenberg, D. M. and Resh, V. H. ed, Chapman & Hall Publishers.
- Rosenberg, D. M., Danks, H. V., and Lehmkuhl, D. M. (1986). Importance of Insects in Environmental Impact Assessment, *Environmental Management*, 10(6), pp. 773-783.
- Sarver, R. (2000). *Stream Habitat Assessment*, Missouri Department of Natural Resources Division of Environmental Quality Environmental Services Program, Project Procedure.
- Shepard, F. P. (1954). Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios, *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3), pp. 151-158.
- Shubert, L. E. (1984). *Algae as Ecological Indicators*, Academic Publishers, New York.
- Smith, M. J., Kay, W. R., Edward, D. H. D., Papas, P. J., Richardson, K. St. 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), pp. 269-282.
- Thomas, W. A. (1972). *Indicators of Environmental Quality: An Overview*, Thomas, W. A., Editor, Indicators of Environmental Quality, Plenum Publishers, New York, pp. 1-5.
- Won, D. H., Jun, Y. C., Kwon, S. J., Hwang, S. J., Ahn, K. G., and Lee, J. K. (2006). Development of Korean Saprobic Index Using Benthic Macroinvertebrates and Its Application to Biological Stream Environment Assessment, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 22(5), pp. 768-783. [Korean Literature]
- Yoon, I. B., Kong, D. S., 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), pp. 24-49. [Korean Literature]
- Yoon, I. B., Kong, D. S., and Ryu, J. K. (1992b). Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (2) - Effects of Environmental Factors to Community -, *Korean Society of Environmental Biology*, 10(1), pp. 40-55. [Korean Literature]
- Yoon, I. B., Kong, D. S., and Ryu, J. K. (1992c). Studies on the Biological Evaluation of Water Quality by Benthic Macroinvertebrates (3) - Macroscopic simple water quality evaluation -, *Korean Society of Environmental Biology*, 10(2), pp. 77-84. [Korean Literature]
- Zonneveld, I. S. (1983). Principles of Bio-Indication, *Environmental Monitoring and Assessment*, 3, pp. 207-217.

Appendix 1. Lithophilic valency ( $V$ ), lithophilic value ( $l$ ) and indicator weight value ( $g$ ) of each indicator taxon

NO.	Indicator taxa		lithophilic valency					$l$	$g$
			0*	1*	2*	3*	4*		
Phylum Platyhelminthes (편형동물문)									
Class Turbellaria (와충강)									
1	<i>Dugesia</i>	플라나리아류	0.3	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
Phylum Nematomorpha (유선형동물문)									
Class Gordioida (연가시강)									
2	<i>Gordius aquaticus</i>	연가시	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
Phylum Mollusca (연체동물문)									
Class Gastropoda (복족강)									
3	<i>Cipangopaludina</i> sp.	우렁이류	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8	4	4
4	<i>Pomacea canaliculata</i>	왕우렁이	0.0	0.0	0.1	0.5	0.4	3	3
5	<i>Gabbia misella</i>	염주쇠우렁이	0.0	0.1	0.1	0.1	0.8	4	4
6	<i>Parafossarulus manchouricus</i>	쇠우렁이	0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	4	2
7	<i>Stenothyra glabra</i>	등근입기수우렁이	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	4	5
8	<i>Koreanomelania</i>	알다슬기류	0.3	0.1	0.2	0.4	0.0	3	2
9	<i>Semisulcospira coreana</i>	참다슬기	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	1	2
10	<i>Semisulcospira forticosta</i>	주름다슬기	0.3	0.4	0.2	0.2	0.0	1	2
11	<i>Semisulcospira gottschei</i>	꽃채다슬기	0.2	0.2	0.3	0.2	0.0	2	2
12	<i>Semisulcospira libertina</i>	다슬기	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	1	2
13	<i>Semisulcospira tegulata</i>	좁주름다슬기	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0	2
14	Other <i>Semisulcospira</i>	그외 다슬기류	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0	3
15	<i>Austropeplea ollula</i>	애기물달팽이	0.2	0.1	0.5	0.1	0.2	2	2
16	<i>Radix auricularia</i>	물달팽이	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	4	3
17	<i>Physa acuta</i>	원돌이물달팽이	0.1	0.0	0.1	0.3	0.4	4	2
18	<i>Gyraulus convexiusculus</i>	또아리물달팽이	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	4	3
19	<i>Hippeutis cantori</i>	수정또아리물달팽이	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
Class Bivalvia (이매패강)									
20	<i>Limnoperna forunei</i>	민물담치	0.1	0.9	0.0	0.1	0.0	1	5
21	<i>Unio</i>	말조개류	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	3	2
22	<i>Corbicula</i>	재첩류	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	2	2
23	Sphaeriidae	산골조개과	0.2	0.0	0.6	0.1	0.1	2	3
Class Oligochaeta (빈모강)									
24	Nereidae	갯지렁이과	0.0	0.2	0.3	0.1	0.4	4	2
25	<i>Eisenia</i> sp.	줄지렁이류	0.0	0.1	0.1	0.1	0.7	4	4
26	<i>Chaetogaster limnaei</i>	물지렁이	0.0	0.2	0.1	0.1	0.6	4	3
27	<i>Branchiura sowerbyi</i>	아가미지렁이	0.2	0.0	0.1	0.4	0.2	3	2
28	<i>Limnodrilus gotoi</i>	실지렁이	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	4	2
Class Hirudinea (거머리강)									
29	<i>Alboglossiphonia</i>	조개넙적거머리류	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	3	1
30	<i>Batrachobdella paludosa</i>	연두넙적거머리	0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	4	3
31	<i>Glossiphonia</i>	갈색넙적거머리류	0.1	0.1	0.1	0.4	0.3	3	2
32	<i>Helobdella stagnalis</i>	민물넙적거머리	0.0	0.0	0.1	0.5	0.4	3	3
33	<i>Hemiclepsis japonica</i>	곤봉넙적거머리	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	1	2
34	<i>Hemiclepsis marginata</i>	녹색넙적거머리	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	4	4
35	<i>Toryx tagoi</i>	개구리넙적거머리	0.2	0.1	0.0	0.5	0.1	3	3
36	<i>Whitmania</i>	녹색말거머리류	0.1	0.0	0.2	0.5	0.2	3	2
37	<i>Hirudo nipponia</i>	참거머리	0.0	0.1	0.2	0.5	0.2	3	3
38	<i>Erpobdella lineata</i>	돌거머리	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	3	2
39	<i>Barbronia weberi</i>	(국명미정)	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	4	3

\* : Lithophilic series value

Appendix 1. Continued.

NO.	Indicator taxa		lithophilic valency					l	g
			0	1	2	3	4		
Phylum Arthropoda (절지동물문)									
Class Crustacea (갑각강)									
40	<i>Asellus</i>	물벌레류	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0	1
41	<i>Gammarus</i>	옆새우류	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	3	2
42	Atyidae	새팽이과	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	4	4
43	<i>Macrobrachium</i>	징거미새우류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	4	5
Class Entognatha (내구강)									
Order Collembola (톡토기목)									
44	Collembola sp.	톡토기목	0.7	0.1	0.2	0.0	0.0	0	4
Class Insecta (곤충강)									
Order Ephemeroptera (하루살이목)									
45	<i>Siphonurus chankae</i>	옛하루살이	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	4	3
46	<i>Ameletus</i>	피라미하루살이류	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	1	3
47	<i>Acentrella gnom</i>	깨알하루살이	0.4	0.2	0.3	0.2	0.0	0	2
48	<i>Acentrella sibirica</i>	콩알하루살이	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
49	<i>Alanites muticus</i>	길쭉하루살이	0.5	0.1	0.1	0.3	0.0	0	3
50	<i>Baetiella tuberculata</i>	애호랑하루살이	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
51	<i>Baetis fuscatus</i>	개똥하루살이	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	1	1
52	<i>Baetis silvaticus</i>	감초하루살이	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0	3
53	Other Baetis	그외 꼬마하루살이류	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	1	2
54	<i>Cloeon dipterum</i>	연못하루살이	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
55	<i>Labiobaetis atrebatinus</i>	입술하루살이	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	4	4
56	<i>Nigrobaetis</i>	깜장하루살이류	0.5	0.2	0.2	0.1	0.0	0	2
57	<i>Procloeon maritimum</i>	작은갈고리하루살이	0.2	0.0	0.2	0.4	0.2	3	2
58	<i>Procloeon pennulatum</i>	갈고리하루살이	0.1	0.5	0.1	0.2	0.1	1	2
59	<i>Isonychia</i>	빛자루하루살이류	0.3	0.0	0.7	0.1	0.0	2	4
60	<i>Cinygmula</i>	봄치너하루살이류	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0	4
61	<i>Ecdyonurus bajkovae</i>	몽땅하루살이	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	1	2
62	<i>Ecdyonurus dracon</i>	참납작하루살이	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0	3
63	<i>Ecdyonurus joernensis</i>	꼬리치레하루살이	0.2	0.4	0.2	0.2	0.0	1	2
64	<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	두점하루살이	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
65	<i>Ecdyonurus levis</i>	네점하루살이	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
66	<i>Epeorus nipponicus</i>	흰부채하루살이	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0	3
67	<i>Epeorus latifolium</i>	점박이부채하루살이	0.2	0.1	0.7	0.0	0.0	2	4
68	<i>Epeorus pellucidus</i>	부채하루살이	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
69	<i>Heptagenia</i>	햇살하루살이류	0.7	0.1	0.1	0.1	0.0	0	4
70	<i>Iron</i>	중부채하루살이류	0.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0	4
71	<i>Rhithrogena na</i>	산납작하루살이 na	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0	3
72	<i>Choroterpes altiocular</i>	세갈래하루살이	0.4	0.3	0.2	0.2	0.0	0	2
73	<i>Paraleptophlebia japonica</i>	두갈래하루살이	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0	3
74	<i>Potamanthus</i>	작은강하루살이류	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	3	2
75	<i>Rhoenanthus coreanus</i>	강하루살이	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0	0	2
76	<i>Ephoron shigae</i>	흰하루살이	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0	3
77	<i>Ephemera orientalis</i>	동양하루살이	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	3	1
78	<i>Ephemera separigata</i>	가는무늬하루살이	0.5	0.2	0.2	0.1	0.0	0	2
79	<i>Ephemera sachalinensis</i>	사할린하루살이	0.2	0.7	0.1	0.0	0.0	1	4
80	<i>Ephemera strigata</i>	무늬하루살이	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
81	<i>Ephemera sp.</i>	무늬하루살이류	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0	4
82	<i>Cincticostella</i>	민하루살이류	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
83	<i>Drunella</i>	빨하루살이류	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
84	<i>Ephemerella</i>	알락하루살이류	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
85	<i>Serratella</i>	범꼬리하루살이류	0.1	0.8	0.1	0.0	0.0	1	4
86	<i>Uracanthella</i>	등줄하루살이류	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	0	2
87	<i>Potamanthellus chinensis</i>	방패하루살이	0.2	0.0	0.8	0.0	0.0	2	4
88	<i>Caenis</i>	등딱지하루살이류	0.2	0.1	0.2	0.4	0.1	3	2

## Appendix 1. Continued.

NO.	Indicator taxa	lithophilic valency					l	g	
		0	1	2	3	4			
Order Odonata (잠자리목)									
89	<i>Paracercion</i>	등검은실잠자리류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
90	<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
91	<i>Copera annulata</i>	자실잠자리	0.0	0.1	0.1	0.2	0.6	4	3
92	<i>Platynemesis phillopoda</i>	방울실잠자리	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	4	3
93	<i>Calopteryx</i>	물잠자리류	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6	4	3
94	<i>Anisogomphus</i>	측범잠자리류	0.1	0.4	0.1	0.3	0.1	1	2
95	<i>Davidius lunatus</i>	쇠측범잠자리	0.3	0.4	0.2	0.2	0.0	1	2
96	<i>Gomphus postacularis</i>	어리측범잠자리	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	4	2
97	<i>Nihonogomphus</i>	고려측범잠자리류	0.0	0.0	0.1	0.8	0.0	3	4
98	<i>Lamelligomphus ringens</i>	노란측범잠자리	0.2	0.1	0.4	0.3	0.0	2	2
99	<i>Ophiogomphus obscura</i>	측범잠자리	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1	2	2
100	<i>Sieboldius albardae</i>	어리장수잠자리	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	2	2
101	<i>Macromia</i>	잔산잠자리류	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	4	3
102	<i>Orthetrum</i>	밀잠자리류	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	4	4
103	<i>Sympetrum</i>	좁잠자리류	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	4	4
Order Plecoptera(강도래목)									
104	<i>Taenionema</i>	메추리강도래류	0.6	0.3	0.0	0.1	0.0	0	3
105	<i>Amphinemura</i>	총채민강도래류	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	1	3
106	<i>Nemoura</i>	민강도래류	0.3	0.3	0.4	0.0	0.0	2	2
107	<i>Protonemura</i> KUa	삼새민강도래 KUa	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	1	4
108	<i>Capnia</i> KUa	흰배민강도래 KUa	0.1	0.5	0.4	0.0	0.0	1	3
109	<i>Paracapnia recta</i>	애강도래	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0	4
110	<i>Rhopalopssole mahunkai</i>	꼬마강도래	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0	5
111	<i>Yoraperla</i> KUa	넓은가슴강도래 KUa	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0	1	5
112	<i>Pteronarcys sachalina</i>	큰그물강도래	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0	5
113	<i>Archynopteryx</i> KUa	큰등그물강도래 KUa	0.4	0.3	0.4	0.0	0.0	0	3
114	<i>Isoperla</i>	줄강도래류	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0	3
115	<i>Megarcys ochracea</i>	그물강도래	0.4	0.3	0.3	0.0	0.0	0	3
116	<i>Kamimuria coreana</i>	한국강도래	0.1	0.0	0.3	0.1	0.5	4	3
117	<i>Kiotina decorata</i>	무늬강도래	0.3	0.5	0.1	0.0	0.0	1	3
118	<i>Neoperla coreensis</i>	두눈강도래	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	1	3
119	<i>Oyamia nigribasis</i>	진강도래	0.5	0.1	0.3	0.1	0.0	0	3
120	<i>Paragnetina flavotineta</i>	강도래붙이	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0	3
121	<i>Alloperla</i>	민무늬강도래류	0.4	0.0	0.5	0.1	0.0	2	3
122	<i>Sweltsa</i>	녹색강도래류	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0	4
Order Hemiptera (노린재목)									
123	<i>Micronecta</i>	꼬마물벌레류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
124	<i>Appasus japonicus</i>	물자라	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	4	4
Order Megaloptera (뱀잠자리목)									
125	<i>Parachauliodes asahinai</i>	뱀잠자리붙이	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	1	2
126	<i>Protohermes xanthodes</i>	노란뱀잠자리	0.4	0.1	0.4	0.1	0.0	0	2
Order Coleoptera (딱정벌레목)									
127	<i>Berosus</i>	물뽕뽕이류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4	5
128	<i>Helochaers</i>	좁물뽕뽕이류	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	3	4
129	<i>Laccobius</i>	점물뽕뽕이류	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	4	4
130	<i>Optioservus variabilis</i>	무늬여울벌레	0.5	0.2	0.3	0.0	0.0	0	3
131	<i>Stenelmis</i>	긴다리여울벌레류	0.3	0.1	0.3	0.3	0.0	2	2
132	Other Elmidae	그외 여울벌레류	0.4	0.1	0.3	0.2	0.0	0	2

Appendix 1. Continued.

NO.	Indicator taxa		lithophilic valency					l	g
			0	1	2	3	4		
133	<i>Eubrianax</i> KUa	등근물삿갓벌레 KUa	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0	2
134	<i>Mataeopsephus</i> KUa	넓은물삿갓벌레 KUa	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
135	<i>Psephenoides</i> KUa	물삿갓벌레과 KUa	0.5	0.2	0.2	0.1	0.0	0	3
Order Diptera (파리목)									
136	<i>Antocha</i> KUa	명주각다귀 KUa	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	1	2
137	<i>Dicranomyia</i> KUa	무늬애기각다귀 KUa	0.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0	3
138	<i>Dicranota</i> KUa	애기각다귀 KUa	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0	3
139	<i>Hexatoma</i>	검정날개각다귀류	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	1	2
140	<i>Tipula</i>	각다귀류	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	3	2
141	<i>Psychoda</i>	나방파리류	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	4	2
142	Dixidae	별모기류	0.3	0.0	0.1	0.0	0.5	4	3
143	Culicidae	모기류	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4	5
144	<i>Simulium</i>	먹파리류	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2
145	Ceratopogonidae sp.	등에모기류	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	3	3
146	Chironomidae sp. (red type)	깔따구류 (red type)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3	1
147	Other Chironomidae sp.	그외 깔따구류	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	4	2
148	<i>Bibiocephala</i> KUa	물멧모기 KUa	0.2	0.3	0.5	0.0	0.0	2	3
149	<i>Philonus</i> KUa	멧모기 KUa	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	1	3
150	<i>Atherix</i> KUa	개울등에 KUa	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	5
151	<i>Suragina</i>	긴개울등에류	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0	3
152	<i>Stratiomyia</i> KUa	등에등에 KUa	0.1	0.0	0.1	0.5	0.3	3	3
153	Empididae sp.	춤파리류	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	4	1
154	Dolichopodidae sp.	장다리파리류	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	2	1
155	<i>Tabanus kinoshitai</i>	여린황등에	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1	3	3
156	Syrphidae sp.	꽃등에류	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	4	4
157	Ephydridae sp.	물가파리류	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	4	4
158	Mucidae sp.	집파리류	0.0	0.1	0.0	0.2	0.7	4	4
Order Trichoptera (날도래목)									
159	<i>Rhyacophila</i> KUb	물날도래 KUb	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0	3
160	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	검은머리물날도래	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	1	2
161	<i>Rhyacophila yamanakensis</i>	곤봉물날도래	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
162	Other <i>Rhyacophila</i>	그외 물날도래류	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	1	3
163	<i>Hydroptila</i> KUa	애날도래 KUa	0.2	0.2	0.3	0.3	0.0	3	2
164	<i>Apsilochorema</i> KUa	긴발톱물날도래 KUa	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0	3
165	<i>Agapetus</i> KUa	큰광택날도래 KUa	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0	3
166	<i>Glossosoma</i> KUa	광택날도래 KUa	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	1	3
167	<i>Dolophilodes</i> KUa	큰입술날도래 KUa	0.0	0.2	0.6	0.2	0.0	2	3
168	<i>Wormaldia</i> KUa	입술날도래 KUa	0.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0	3
169	<i>Stenopsyche bergeri</i>	연날개수염치레각날도래	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
170	<i>Stenopsyche marmorata</i>	수염치레각날도래	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0	3
171	<i>Arctopsyche ladogensis</i>	곰줄날도래	0.3	0.5	0.2	0.0	0.0	1	3
172	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	꼬마줄날도래	0.3	0.2	0.2	0.2	0.0	0	2
173	Other <i>Cheumatopsyche</i>	그외 꼬마줄날도래류	0.3	0.3	0.2	0.2	0.0	0	2
174	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	줄날도래	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	1	2
175	<i>Hydropsyche orientalis</i>	동양줄날도래	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	1	3
176	<i>Hydropsyche valvata</i>	흰점줄날도래	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0	2
177	<i>Hydropsyche</i> KD	줄날도래 KD	0.5	0.1	0.3	0.1	0.0	0	3
178	<i>Macrostemum radiatum</i>	큰줄날도래	0.0	0.0	0.7	0.1	0.1	2	4
179	<i>Plectrocnemia</i> KUa	깃날도래 KUa	0.4	0.2	0.3	0.2	0.0	0	2
180	<i>Enomus tenellus</i>	별날도래	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0	2

## Appendix 1. Continued.

NO.	Indicator taxa		lithophilic valency					l	g
			0	1	2	3	4		
181	<i>Psychomyia</i> KUa	통날도래 KUa	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0	2
182	Limnephilidae	우묵날도래류	0.3	0.2	0.3	0.2	0.0	0	2
183	<i>Goera japonica</i>	일본가시날도래	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0	3
184	<i>Neophylax ussuriensis</i>	가시우묵날도래	0.3	0.5	0.2	0.1	0.0	1	3
185	<i>Apatania</i>	애우묵날도래류	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
186	<i>Lepidostoma</i>	네모집날도래류	0.5	0.2	0.1	0.1	0.0	0	3
187	<i>Gumaga</i> KUa	털날도래 KUa	0.4	0.2	0.1	0.2	0.0	0	2
188	<i>Molanna moesta</i>	날개날도래	0.2	0.7	0.1	0.0	0.0	1	4
189	<i>Psilotreta</i>	수염치레날도래류	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	1	5
190	<i>Ceraclea</i>	나미날도래류	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0	3
191	<i>Mystacides</i> KUa	청나미날도래 KUa	0.3	0.2	0.3	0.2	0.0	0	2