금강 수계 수서곤충 섭식기능군의 공간분포 분석 및 예측*

김기동¹ · 박영준^{1*} · 남상호²

Analysis and Prediction for Spatial Distribution of Functional Feeding Groups of Aquatic Insects in the Geum River*

Ki-Dong KIM¹ · Young-Jun PARK^{1*} · Sang-Ho NAM²

요 약

본 연구는 하천구배에 따라 환경요인 및 생물군집이 변화한다는 하천연속성 개념(River Continuum Concept, RCC)을 금강 수계에 적용하여, 수서곤충 섭식기능군의 공간적 분포 특성과 환경요인 사이의 상관관계를 규명하기 위하여 수행되었다. 이를 위해, 수서곤충 생물군집의 서식에 영향을 미치는 물리·화학적 환경요인들과 생물군집의 분포관계를 단계적 다중회귀분석기법으로 분석하였다. 또한, 주요인으로 선정된 환경요인들에 따른 생물군집의 분포특성을 발생확률 예측기법인 빈도비 모델(Frequency Ratio Model, FRM)과 지리정보시스템(GIS)의 공간분석 기법에 적용하여 수서곤충 섭식기능군의 분포예측도를 작성하였다. 연구 결과, 고도, 하폭, 유속, conductivity, 수온, 모래의 함량 등 6개 환경요인의 결정계수(R^2)가 0.5 이상으로 나타나 수서곤충 섭식기능군의 분포에 영향을 미치는 주요인으로 선정되었다. 그리고 작성된 분포예측자료와 연구지역에 대하여 기 조사된 실측자료를 비교 검증한 결과, 두 자료 사이의 평균제곱근오차(RMSE)가 0.1892~0.4242로 나타나 예측모델의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 이 연구의 결과는 수서곤충 섭식기능군을 이용한 하천생태계의 새로운 평가방법 작성에 활용될 수 있을 것이며, 하천 서식지의 보전 및 복원을 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

주요어 : 하천연속성 개념, 환경요인, 섭식기능군, 빈도비 모델, 지리정보시스템

ABSTRACT

The aim of this study is to define a correlation between spatial distribution

2011년 10월 28일 접수 Received on October 28, 2011 / 2012년 1월 23일 수정 Revised on January 23, 2012 / 2012년 1월 30일 심사완료 Accepted on January 30, 2012

* 본 논문은 2011 한국생물과학협회 정기학술대회 발표논문을 수정·보완한 것임.

1 국립환경과학원 자연자원연구과 Nature Conservation Research Division, National Institute of Environmental Research

2 대전대학교 생명과학과 Department of Biological Science, Daejeon University

* 연락처 E-mail : aquatic@korea.kr

characteristics of FFG(Functional Feeding Groups) of aquatic insects and related environmental factors in the Geum River based on the theory of RCC(River Continuum Concept). For that objective we had used SMRA(Stepwise Multiple Regression Analysis) method to analyze close relationship between the distribution of aquatic insects and the physical and chemical factors that may affect their inhabiting environment in the study area. And then, a probabilistic method named Frequency Ratio Model(FRM) and spatial analysis function of GIS were applied to produce a predictive distribution map of biota community considering their distribution characteristics according to the environmental factors as related variables. As a result of SMRA, the values of decision coefficient for factors of elevation, stream width, flow velocity, conductivity, temperature and percentage of sand showed higher than 0.5. Therefore these 6 environmental factors were considered as major factors that might affect the distribution characteristics of aquatic insects. Finally, we had calculated RMSE(Root Mean Square Error) between the predicted distribution map and prior survey database from other researches to verify the result of this study. The values of RMSE were calculated from 0.1892 to 0.4242 according to each FFG so we could find out a high reliability of this study. The results of this study might be used to develop a new estimation method for aquatic ecosystem with macro invertebrate community and also be used as preliminary data for conservation and restoration of stream habitats.

KEYWORDS : *River Continuum Concept(RCC), Environmental Factor, Functional Feeding Groups(FFG), Frequency Ratio Model, GIS*

서론

하천생태계는 지난 반세기 동안 급격한 산업화 및 도시화의 진전으로 국토개발 사업이 본격화 되면서 하천 토지이용 증대 및 하천변 개발 등으로 인해 물리·화학적 성질 등이 변화되었고, 그 구조와 기능에 큰 변화를 가져왔다(주기재 등, 1997; 배연재 등, 2003; 송미영 등, 2005). 또한 최근 4대강 살리기 사업과 하천주변 신도시개발 등 다양한 환경변화 요인이 하천생태계에 지속적으로 발생되고 있어, 그 관심이 날로 증가하고 있다(Park, 2010). 그러나 기존 하천생태계 평가 및 관리의 생물학적 특성을 고려하지 않은 물리적 환경 및 이화학적 수질개선대책 위주의 관리에 의존함으로써 하천환경 악화나 개선의 필

요성과 같은 문제점들이 지속적으로 나타나게 되는 원인이 되고 있으며, 향후 계획도 이러한 틀에서 크게 벗어나고 있지 않다(황순진 등, 2006).

하천생태계에 영향을 미치는 주요한 환경요인은 고도, 유속, 유량, 수심, 하상재료, 온도, 빛, 강수량, pH, BOD, DO 등의 물리·화학적 요소로 구분할 수 있으며, 생물 구성원은 크게 조류(algae)와 수변 및 수중식물 등의 생산자와 저서성대형무척추동물과 어류 및 양서류와 같은 소비자 그리고 박테리아와 곰팡이 같은 미생물로 구성된 분해자로 구별된다(Allan, 1995). 특히, 수서곤충은 저서성대형무척추동물의 종 및 개체수 현존량에서 대부분을 차지하고 있어 하천 담수동물 중에서 가장 다양하고 풍부한 무리일 뿐만 아니라(Rosenberg and Resh, 1993), 영양단계의

저차 소비자(1차 또는 2차 소비자가 대부분)이기 때문에 하천생태계 구성원으로서 매우 중요한 역할을 하고 있다(Hynes, 1970; Williams and Feltmate, 1992). 또한 1) 분별적인 민감성, 2) 채집의 용이성과 다양성, 3) 낮은 이동성, 4) 긴 생활사, 그리고 5) 다양한 기능성 등의 여러 가지 측면에서 변화되는 환경교란에 대한 분석에 그 유용성이 매우 높게 평가되고 있다(Hynes, 1970; Merritt and Cummins, 1996; 노태호 등, 2006; 원두희 등, 2006). 이와 같이 수서곤충 및 저서성대형무척추동물은 하천생태계내 서식처의 구조와 기능과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 생물 모니터링이나 보존과 복원을 위한 평가시 보편적으로 사용되고 있다(Bae *et al.*, 2005; Morse *et al.*, 2007).

최근 들어 지표 생물과 생물 지수화 등의 연구가 본격화되어 유역 관리방안으로 도입되고 있을 뿐만 아니라(원두희 등, 2006), 환경훼손·회복에 따른 하천 생물군집변화 예측프로그램 개발 등 환경요인과 생물군집 사이의 상관관계 해석을 통한 생태적 모델링 연구 등이 국내·외에서 다양하게 연구되고 있다(Kalle, 2004; 노태호 등, 2006; Jorgensen and Kollmann, 2009). 또한 지리정보시스템(GIS)과 원격탐사 기법의 도입으로 인하여 하천을 더욱 효과적으로 관리할 수 있게 되면서, 환경변화에 따른 하천생태계의 구조와 기능에 대한 변화 양상을 합리적으로 평가 및 관리하기 위한 생물군집 분포도 작성 및 예측 모델링 기법 개발이 새로운 연구주제로 부각되고 있다(배연재 등, 2003; 국립환경과학원, 2009; Fulton *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2011a, 2011b).

본 연구에서는 금강 수계에 나타나는 다양한 환경요인 중 수서곤충의 섭식기능군에 영향을 미치는 환경요인을 선정하여 수서곤충의 분포특성을 규명하고자한다. 또한, 도출된 환경요인과 생물군집의 분포특성을 확률기법인

빈도비 모델(Frequency Ratio Model, FRM)과 GIS의 공간분석기법에 적용하여 수서곤충 섭식기능군의 분포예측도를 작성하고자 한다.

연구지역 및 방법

1. 연구지역

본 연구의 대상지인 금강 수계는 전라북도 장수군 장수읍 신무산(896.8m)에서 발원하여 서해 군산만으로 유입하는 우리나라 4대강 중 하나이며, 총 유역면적 9,911.83km², 유로연장 397.79km로 남한에서는 한강과 낙동강에 이어 가장 큰 강이다. 금강 수계의 동부와 남부는 고지대가 많고 서부와 북부는 저평한 지역이 분포하며, 금강 수계 분류 상·중·하류에 용담댐과 대청댐 및 하구둑 등의 주요 시설물이 설치되어 하천 이·치수에 영향을 주고 있다(건설교통부, 2002).

금강 수계에 대하여 기존에 보고된 생물상 조사연구는 분류 및 일부 지천을 중심으로 현재까지 지속적인 조사연구가 수행되고 있지만(박영준, 2004; Park *et al.*, 2006; 국립환경과학원, 2007; 2008), 대부분 생물상 및 생물학적 수질평가를 중심으로 이루어지고 있으며, 하천연속성 개념을 적용한 환경요인에 따른 하천생태계 생물군집의 분포예측에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 금강수계의 현재 상태를 객관적이고 과학적으로 평가하기 위하여 하천연속성 개념을 고려한 공간적 규모 및 범위에 따라 환경특성 차이를 보이는 여울, 소, 정수역을 비롯하여 상류, 중류, 하류에 속하는 지역들을 모두 포함하도록 조사지점들을 선정하였다. 각 조사지점은 국립공원 덕유산(1,614m)에서 발원하는 무주남대천 5개 지점과 계룡산(845m)에서 발원하는 용수천 4개 지점, 대둔산(877.7m)에서 발원하여 금강에 합류하는 제 1지류인 갑천 7개 지점과 충청남도 금산군 진산면 삼가리 인대산(666m)과 월봉산(543m)에서 발

원하여 갑천에 합류하는 유등천 6개 지점, 대전광역시 만인산(537.1m)에서 발원하여 유등천에 합류하는 대전천 4개 지점, 그리고 금강 본류를 중심으로 하는 12개 지점 등 총 38개 지점에 해당된다(그림 1, 부록 1).

FIGURE 1. Study area with 38 survey sites in the Geum river system

2. 표본채집 및 동정

노태호 등(2006)에 의하면 저서성대형무척추동물의 채집은 하천 기후 및 유량 등 환경요인이 비교적 안정적이며, 종 동정에 유리한 성숙한 유충을 확보할 수 있는 시기에 수행하는 것이 효율적이라고 알려져 있다. 따라서 본 연구를 위한 조사는 2007년부터 2008년까지 금강 수계의 총 38개 지점에 대하여 봄(2007년 5월 6일~16일, 2008년 5월 7일~18일)과 가을(2007년 10월 13일~22일, 2008년 10월 11일~20일)에 걸쳐 연 2회씩

총 4회 수행되었다. 채집된 표본은 실험실로 운반 후 해부현미경(Nikon SMZ-1)하에서 기존의 분류학적 문헌과 도감을 참고하여 동정 및 분류를 실시하였다(이창언, 1971; 윤일병, 1988; 1995; Merritt and Cummins, 1996). 또한, 저서성대형무척추동물의 서식에 영향을 미칠 수 있는 하천생태계의 환경요인(Allan, 1995; 노태호 등, 2006; Jiang *et al.*, 2011) 중, 6개의 물리적 요인(elevation, stream width, water width, water depth, velocity, substrate)과 4개의 화학적 요인(pH, DO, conductivity, water temperature)을 표본채집과 동시에 현장에서 측정하였다.

수서곤충 군집을 이용하여 하천생태계의 기능적인 면을 분석하기 위해서는, 다양한 서식처 적응형태 및 먹이원 획득 방법에 따라 서식기능군(habitat orientated groups, HOGs)과 섭식기능군(functional feeding groups, FFGs)으로 구분하여 적용할 수 있다(Merritt and Cummins, 1996; 원두희 등, 2006). 그러나 다양한 하천생태계의 기능을 규명하기 위한 분석의 경우, 물리 및 화학적 환경요인에 의한 장·단기적 교란 분석과 환경의 연속적 변화에 따른 생물군집의 변화를 설명하는 섭식기능군 특성을 규명하는 것이 보다 효율적인 것으로 밝혀진 바 있다(Vannote *et al.*, 1980; 배연재 등, 2003; Park *et al.*, 2008). 따라서 본 연구에서는 Ro(2002)가 Merritt and Cummins(1996)의 체계를 기본으로 속(Genus) 수준에서 6가지 기능군으로 구분한 한국산 수서곤충류 섭식기능군 분류를 이용하여 4회에 걸쳐 채집된 모든 표본을 분석하는데 활용하였다(부록 2). 이들 6가지 섭식기능군은 1) 썰어먹는 무리(shredder, SH), 2) 긁어먹는 무리(scraper, SC), 3) 걸러먹는 무리(filtering-collector, FC), 4) 주어먹는 무리(gathering-collector, GC), 5) 찢어먹는 무리(plant-piercer, PP), 6) 잡아먹는 무리(predator, P)로 구분된다(Cummins,

1973; 1974; 원두희 등, 2005).

3. 통계분석과 데이터베이스 구축

연구지역인 금강수계의 수서곤충 서식지 유형분류에 영향을 미치는 중요한 환경요인을 알아보기 위하여 먼저, 분류된 섭식기능군 그룹과 현장에서 측정된 10개의 물리화학적 환경요인과의 유의성 검정을 수행하였다. 집단의 분포가 정규분포를 하지 않으므로 비모수적 통계방법 중 Kruskal-Wallis test를 이용하여 검정하였다. 유의성 검정 후, 단계적 다중회귀분석(SMRA : Stepwise Multiple Regression Analysis)을 실시하여 생물군집의 구조 및 기능에 영향을 미치는 환경요인을 분석하였다. 단계적 다중회귀분석 결과, 섭식기능군의 서식과 결정계수(R^2)가 0.5 이상으로 높게 나타나 하천생태계 생물군집 분포에 영향을 미치는 것으로 판단되는 6개의 주요 환경요인을 선정하였고, 이들 요인의 분포를 토대로 금강 수계의 환경영향에 따른 수서곤충 섭식기능군의 분포예측도를 작성하였다.

선정된 환경요인들의 연구지역 전체 범위에 대한 값의 분포를 분석하기 위하여 지구통계학적 내삽기법인 정규 크리깅(ordinary kriging)을 사용하였다. 또한 빈도비 모델을 적용하기 위하여 본 연구지역을 30m×30m 간격의 동일한 격자 형태로 나누어 환경요인들을 래스터 데이터베이스로 구축하고, 모든 래스터 데이터베이스를 각 환경요인의 분포 등급별로 균등한 면적을 유지하도록 10단계의 변위치(quantile) 범위로 재분류하였다. 변위치 분류는 면적을 기준으로 요인의 등급분포를 분류하는 것으로, 일정 범위 안에서 발생한 섭식기능군 분포에 대하여 각 요인의 등급이 미치는 영향력을 객관적으로 분석할 수 있도록 하기 위해서 사용된다(최중국 등, 2007).

조사지역 중 하천연속성 개념의 적용을 위해 연구지역 범위에 포함은 되었지만, 인공적

으로 건설된 댐에 의해 유수생태계의 특성을 나타내지 못하는 용담댐 및 대청댐의 환경요인 예측 값과 조사지점이 포함되지 않은 미호천 등 일부 수계는 분석의 신뢰성을 높이기 위해 정규 크리깅 적용 대상지역에서 제외하였다. 본 연구지역의 전체 격자수는 424,128 개이며, 모든 공간자료는 국토지리정보원에서 발행하는 1:25,000 수치지형도를 기반으로 구축되었다. 통계분석을 위해 상용 통계프로그램인 SPSS ver. 12.0을 사용하였고, 정규 크리깅을 포함한 공간데이터베이스 구축과 빈도비 분석 및 분포예측도 작성과정에는 ArcGIS ver. 9.3을 이용하였다. 그림 2는 본 연구의 전체 흐름도이다.

FIGURE 2. Flow chart of this study

4. 빈도비 모델

빈도비 모델은 확률이론을 기반으로 하는 추리통계학 모델의 한가지로, 폐광산지역의 지반침하(김기동, 2006; 최중국 등, 2007; 2008; 서장원 등, 2010) 및 산사태 발생지역 위험예측(이명진 등, 2004; 이사로 등, 2004)과 같은 지질공학방면에서 연구되고 있는 공간분포 예측기법이다. 빈도비 모델의 생물분야 적용사례로는, 갯벌 내 해양저서생물의 분포 가능성 예측에 응용되어 그 신뢰성이

검증된 최근의 연구결과가 보고된 바 있다 (Choi *et al.*, 2011a; 2011b). 본 연구에서는 빈도비를, 생물군집이 출현하는 조사수계 전체의 출현종수에 대해 각 요인의 등급에서 발생한 출현종수가 차지하는 발생비율(percentage of occurrence, a)을 각 요인의 등급이 전체 연구지역에서 차지하는 면적비율(percentage of domain, b)로 나눈 값(a/b)으로 정의한다 (그림 3). Ottaviani *et al.* (2004)은 중 출현 정보를 이용한 서식지 적합성 분석 모델의 검증을 위해서는, 종이 출현한 지점의 정확한 위치정보 보유여부와 분석 대상지역의 공간적인 해상도에 따라 구분해서 예측값과 실측값 사이에서 발생하는 오류를 줄이는 과정을 수행해야 한다고 밝힌 바 있다. 본 연구에서 사용된 저서성대형무척추동물 군집자료는 조사 지점별로 정확한 좌표정보를 포함하고 있으나, 연구지역의 전체 면적에 비해 조사지점의 수가 공간적인 분포 해상도를 충족시킨다고 할 수는 없다. 그러나 빈도비를 이용한 서식지 적합지역 예측 결과는, 생물군집의 출현 가능성에 대한 절대적인 서식가능 유무를 나타내는 것이 아니라 상대적인 출현확률로 나타내게 되므로 광역적인 서식지 적합성 분석에 유리할 것으로 판단된다. 즉, 빈도비의 값이 1이면 대상 생물군집의 출현 확률이 평균임을 의미하고 1보다 클수록 출현 확률이 높다는 것을 의미한다(이사로 등, 2004; 김기동, 2006).

계산된 빈도비를 각 요인별 등급에 부여한 후, 중첩 분석하여 섭식기능군 분포예측도를 작성하였다. 예측된 결과에 대한 신뢰성 검증을 위해 본 연구에서 도출된 섭식기능군 생물군집 분포예측 결과와 금강 수계에 관련하여 조사된 연구논문(Lee *et al.*, 2005) 및 보고서(국립환경과학원, 2007; 2008) 결과를 이용하여 두 결과간의 유사도를 분석하고 평균제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)를 계산하였다.

- Total number of occurrence cells for study area = 4

Percentage of occurrence for class 1 of factor A

$$= 1/4 \times 100 = 25\%$$

- Total cells of factor A(class 1 - class 10) = 20

- Number of cells for class 1 of factor A = 2

Percentage of domain

$$= 2/20 \times 100 = 10\%$$

Frequency Ratio for class 1 of factor A = 25% / 10% = 2.5

FIGURE 3. Diagram for calculation of frequency ratio(modified after Kim, 2006)

결과 및 고찰

1. 출현종 현황과 섭식기능군 구조

총 4회에 걸친 현장조사결과, 금강 수계 전 조사지점에서 출현한 저서성대형무척추동물은 총 5문 8강 22목 63과 167종 110,006.4개체로 조사되었다. 출현한 총 167종의 저서성대형무척추동물 중 수서곤충의 종구성은 85.0%인 142종이며 개체수 현존량은 105,755.7개체인 96.1%로 매우 높은 비율을 차지하고 있었다. 이러한 수서곤충의 종 구성 및 개체수 현존량을 살펴보면, 하루살이목 11과 43종(25.7%), 날도래목 13과 39종(23.4%), 파리목 6과 19종(11.4%), 강도래목 7과 18종(10.8%), 딱정벌레목 4과 10종(6.0%), 잠자리목 1과 7종(4.2%), 노린재목 2과 3종(1.8%), 뱀잠자리목 1과 2종(1.2%) 그리고 나비목 1과 1종(0.6%)의 순으로 나타났다. 종 구성의 경우 하루살이목과 날도래목 그리고 파리목이 전체 종수의 절반이 넘는 60.5%로 매우 높게 조사되었으며, 개체수 현

FIGURE 4. Composition of relative ratio of species(a) and individuals(b) collected at the study area

존량 또한 하루살이목 43,414.7개체 (39.5%), 파리목 30,162.7개체 (27.4%) 그리고 날도래목 29,188.3개체 (26.5%) 등 전체 개체수 현존량의 대부분인 93.4%를 차지하는 것으로 나타났다(그림 4).

금강 수계 전 조사지점에서 출현한 수서곤충의 섭식기능군은 6개 그룹으로 나뉘며, 그룹의 중 구성을 살펴보면 주위먹는 무리(GC)가 47종 33.10%로 가장 높게 나타났다. 그 다음으로 잡아먹는 무리(P) 36종 25.35%, 굵어먹는 무리(SC) 21종 14.79%, 썰어먹는

무리(SH) 20종 14.08%, 걸러먹는 무리(FC) 14종 9.86% 그리고 뚫어먹는 무리(PP) 4종 2.82% 순으로 조사되었다. 개체수 현존량 역시 주위먹는 무리(GC)가 72,078.7개체 68.16%로 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 걸러먹는 무리(FC) 29,012.3개체 27.43%, 굵어먹는 무리(SC) 2,457.3개체 2.32%, 잡아먹는 무리(P) 1,327.3개체 1.26%, 썰어먹는 무리(SH) 818.7개체 0.77%, 그리고 뚫어먹는 무리(PP) 61.3개체 0.06%의 순으로 조사되었다(그림 5).

FIGURE 5. Composition of relative ratio of species(a) and individuals(b) of functional feeding groups of the study area

2. 섭식기능군과 환경요인과의 상관관계

수서곤충 섭식기능군의 종 구성과 개체수 현존량의 서식에 영향을 미치는 환경요인을 도출하기 위해 상용통계프로그램인 SPSS ver. 12.0을 이용하여 회귀분석을 수행하였다. 먼저, 분류된 그룹과 환경요인과의 유의성 검정은 집단의 분포가 정규분포를 하지 않으므로 비모수적 통계방법 중 Kruskal-Wallis test를 이용하여 검정하였다. 검정결과, 유의성 척도를 나타내는 p -value(유의수준=0.05, 신뢰도 95%)가 0.001~0.065 사이로 나타나 뿔어먹는 무리(PP, p -value=0.065)를 제외하고는 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(부록 3).

현장에서 취득한 환경요인 중에서 섭식기능군의 서식에 영향을 미치는 주요한 요인을 파악하기 위해 단계적 다중회귀분석(SMRA)을 실시하였다. 걸터먹는 무리의 경우 하폭(x_1)과 수온(x_2) 그리고 모래의 함량(x_3)과 conductivity(x_4)에 의해 영향을 받는 것으로 나타났으며($Y = -1.50 - 0.01(x_1) + 0.63(x_2) - 0.06(x_3) - 0.02(x_4)$, $r^2 = 0.713$, $p < 0.01$), 주워먹는 무리는 유속(x_1)과 하폭(x_2) 그리고 고도(x_3)에 의해 영향을 받는 것으로 분석되었다($Y = 13.33 + 19.447(x_1) - 0.02(x_2) - 0.01(x_3)$, $r^2 = 0.585$, $p < 0.01$). 그리고 잡아먹는 무리는 유속(x_1)과 수온(x_2)에 의해 영향을 받는 것으로 나타났으며($Y = 8.29 + 12.01(x_1) - 0.45(x_2)$, $r^2 = 0.535$, $p < 0.01$), 굶어먹는 무리는 유속(x_1)과 conductivity(x_2)에 의해 영향을 받는 것으로 분석되었다($Y = 2.68 + 7.01(x_1) - 0.01(x_2)$, $r^2 = 0.576$, $p < 0.01$). 마지막으로 썰어먹는 무리의 경우 수온(x_1)과 유속(x_2)에 의해 서식에 영향을 받는 것으로 분석되었다($Y = 6.33 - 0.35(x_1) + 2.69(x_2)$, $r^2 = 0.713$, $p < 0.01$).

수서곤충 섭식기능군의 서식과 상관성($r^2 > 0.5$)이 있는 것으로 분석된 환경요인은 기압이나 온도 등 다른 환경요인과 관련되어 생물의 서식범위를 제한하고, 수서곤충의 상

류방향 이동에 장애요인으로 작용하는 (1)고도(박재홍, 2004)와 일반적으로 규모가 클수록 다양한 미소서식처가 존재할 확률이 높아 다양성과 현존량에 영향을 미치는 (2)하폭(Negishi et al., 2002) 그리고 생물마다 선호도가 다르며, 먹이자원의 분할에도 관여하는 (3)유속(Horne and Goldman, 1994)과 하천 생물 다양성에 큰 영향을 끼치는 중요한 요인(Giller and Malmqvist, 2003)인 하상재료 중 피복정도(embeddedness rating)에 따른 생물군집의 서식에 영향을 미치는 (4)모래의 함량(%)으로 분석되었다(Plattes et al., 1983). 또한 농업용수 및 공장폐수의 관리에 주로 이용되는 (5)conductivity와 생물의 성장과 더불어 하천 자정작용에 영향을 미치는 (6)수온도 주요한 요인으로 분석되었다.

3. 생물군집 분포예측도 작성

하천연속성 개념 및 하천생태계내에서 저서성대형무척추동물군집의 물질순환과 에너지 흐름과 같은 기능적인 면을 설명하는데 있어 종 구성의 관점보다 더 효과적인 수서곤충 섭식기능군을 대상으로 분포예측도 작성을 실시하였다. 조사지점에서 측정된 총 10개의 환경요인에 대한 단계적 다중회귀분석 결과, 생물군집의 서식과 상관성($r^2 \geq 0.50$)이 있는 것으로 분석된 고도, 하폭, 유속, conductivity, 수온 그리고 하상재료 중 모래의 함량(%)을 6개의 환경요인으로 선정하였다(그림 6).

빈도비 모델을 적용하기 위해 동일한 크기인 30m×30m 간격의 격자 형태(GRID)로 구축된 모든 공간 데이터베이스를 각 등급별로 균등한 면적을 갖도록 값의 범위를 분류하는 변위치(quantile)에 의해 10개 등급으로 재분류하였다. 연구지역의 전체 격자수는 424,128개이며, 전체 섭식기능군 출현종 수는 1,094이다. 재분류된 각 요인별 GRID 데이터로부터 연구지역 전체 격자수에 대한 각 요인의 등급별 격자수의 비율을 구하였으며, 이는 곧 전체 면적에 대한 각 요인의 등급별

FIGURE 6. Distribution map of interpolated values of 6 factors in the Geum River

면적비율(percentage of domain)을 의미한다. 섭식기능군 분포에 관련된 환경요인들의 등급별로 섭식기능군 출현종수를 계산하여 전체 섭식기능군 출현종 수에 대한 상대적인 비율을 구하였으며, 이는 각 요인들의 등급별 섭식기능군 출현비율(percentage of occurrence)을 의미한다. 각 요인들의 등급별 빈도비는 등급별 면적비율로 섭식기능군 출현 비율을 나눈 것으로, 빈도비 값이 1보다 클수록 출현 확률이 높다는 것을 의미한다. 이렇게 계산된 비율 값인 빈도비를 각 요인의 등

급별 가중치로 부여한 후, 다음과 같은 식 (1)을 통해 6개 섭식기능군 각각의 섭식기능군 분포예측지수(functional feeding groups distribution prediction index, FFGDPI)를 구하였다.

$$\text{FFGDPI} = \sum Fr \quad (1)$$

(Fr = frequency ratio for classes of each factor)

즉, 섭식기능군 분포예측지수는 생물군집의

TABLE 1. Four levels for functional feeding groups distribution prediction index(FFGDPI)

Class	Color	FC*	GC*	P*	PP*	SC*	SH*
Low	Blue	0.10~0.43	0.61~2.05	0.03~0.48	0.00~0.02	0.04~0.31	0.02~0.12
Medium	Cyan	0.44~0.68	2.06~3.10	0.49~1.02	0.03~0.05	0.32~0.55	0.13~0.31
High	Yellow	0.69~1.00	3.11~4.52	1.03~2.02	0.06~0.09	0.56~0.81	0.32~0.63
Very High	Red	1.01~1.64	4.53~6.73	2.03~3.31	0.10~0.15	0.82~1.27	0.64~0.93

* FC; Filtering-collector, GC; Gathering-collector, P; Predator, PP; Plant-piercer, SC; Scarper, SH; Shredder

서식과 환경요인 사이의 관계인 빈도비 값을 각 환경요인의 등급에 부여하여 전체 연구지역의 격자별로 모두 더한 값으로, ArcGIS ver. 9.3의 중첩분석 기능을 이용하여 계산하였으며 이 지수를 이용하여 생물서식 분포예

측도를 작성하였다. 생물서식 분포예측도의 각 격자가 갖는 값은 각 요인의 등급별 빈도비 값의 합이고, 이는 생물서식 분포예측 정도를 상대적으로 나타내는 척도가 된다. 따라서 이 값을 생물서식 분포예측지수라 표현할

FIGURE 7. Predicted distribution map of (a)FC (b)GC by frequency ratio

FIGURE 8. Predicted distribution map of (a)SC (b)P by frequency ratio

수 있다. 이러한 생물서식 분포예측지수를 각 섭식기능군별로 Very High, High, Medium and Low의 4단계 범위로 재분류하였다. 즉, 분포예측지수가 높게 나타난 지역은 각 생물 그룹의 서식분포 가능성이 높다는 것을 의미한다(표 1).

본 연구에서 도출된 섭식기능군별 분포예측지수 분포를 분석한 결과, 각 섭식기능군의 수계별 분포와 환경요인 사이의 영향관계를 해석할 수 있었다. 즉, 하폭 및 수온과 높은

음의 상관성을 나타내고 있는 걸러먹는 무리(FC)와 주워먹는 무리(GC) 그리고 굵어먹는 무리(SC)는 일반적으로 대청댐 이후의 금강 하류 부분과 상류수계를 제외하고는 대부분의 수계에서 높은 분포예측지수를 보여 하폭 및 수온이 감소함에 따라 출현가능성이 높아지는 것으로 조사되었다(그림 7, 그림 8).

하폭과 높은 음의 상관성을 보인 잡아먹는 무리(P)의 경우 용담댐 이전 금강 상류와 무주남대천 등의 상류수계에서 높은 분포예측을

FIGURE 9. Predicted distribution map of (a)PP (b)SH by frequency ratio

보여 하폭이 좁은 상류지역일수록 출현가능성이 높아지는 것으로 나타났다(그림 8). 고도 및 모래의 함량(%) 그리고 conductivity와 높은 상관성을 나타낸 뿔어먹는 무리(PP)는 다른 섭식기능군과는 달리 수계의 하류부근에서 상대적으로 높은 분포예측을 보여 고도가 감소하고 모래의 함량(%) 및 conductivity가 증가함에 따라 출현가능성이 높아지는 것으로 나타났으며, 고도와 유속 그리고 모래의 함량(%)과 높은 상관성을 나타낸 썰어먹는 무리

(SH)는 고도가 높은 상류수계에서 높은 분포예측지수를 보여 고도와 유속이 증가하고 모래의 함량(%)이 감소하는 지역일수록 출현가능성이 높아지는 것으로 예측되었다(그림 9).

4. 생물군집 분포예측 모델의 검증

생물군집 분포예측도의 값들은 일종의 통계적 추정값에 해당되는데, 예측결과의 신뢰성을 파악하기 위해서는 검증과정이 필요하다. 예측결과의 검증을 위하여 본 연구에서 도출

된 섭식기능군 분포예측 결과와 금강 수계에 관련하여 조사된 기존의 연구논문(Lee *et al.*, 2005) 및 보고서(국립환경과학원, 2007, 2008) 자료를 비교하여 신뢰성을 검증하였다.

먼저, 금강 수계와 관련되어 조사된 기존 문헌상의 조사지점이 본 연구의 조사수계에 포함되어 있는 곳은 연구논문에서 2지점 그리고 보고서에서 20지점 등 총 22개 지점으로 확인되었다(그림 10). 선정된 총 22개 조사지점 중에서 본 연구의 조사지점과 지리적으로 인접한 6개 지점이 확인되었으며, 검증자료로서의 신뢰성확인을 위해 인접한 위치에서 기 조사된 검증자료 6개 지점과 본 연구지역 6개 지점의 섭식기능군 종 구성 비율에 대한 유사도 분석을 실시하였다. 유사도 분석을 실시한 결과 평균 76.29 ± 18.11 로 높은 유사도를 보이고 있어, 검증자료로서 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다. 특히, 교란요인이 적은 대청댐 이전 금강 상류의 조사지점에서는 평균 89.72 ± 2.11 로 매우 높은 유사도를 보이는 것으로 분석되었다.

FIGURE 10. Location map of verification sites(22 points) including 6 points adjacent to this study sites in the Geum River

정확한 예측 정확도는 예측오차에 의하여 결정되며, 오차가 작을수록 정확도는 높아진다. 정확도를 측정하는 방법으로는 오차제곱합(SSE : Sum of Square Error), 오차제곱평균(MSE: Mean Square Error), 절대평균오차비율(MAPE: Mean Absolute Percentage Error), 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error) 등이 있다(이슬기 등, 2010). 이들 방법 중, 유사도 분석에 의해 신뢰성이 확인된 검증자료를 바탕으로 조사위치가 상이한 22개의 조사지점에서 기 조사된 실측값(x)과 본 연구에서 빈도비를 이용한 섭식기능군 분포예측 모델의 예측지수 값(x')과의 차이를 평균제곱근오차 에러검증 방법을 이용하여 계산하였다(식 2).

$$RMSE = \sqrt{(1/N) * \sum_{i=1}^N (x_i - x'_i)^2} \quad (2)$$

기존의 연구에서 조사된 22개 지점별로 출현한 섭식기능군별 종수와 섭식기능군별 분포예측 모델의 예측지수 분포 값을 0~1 사이로 식 (3)과 같이 정규화(normalization)한 후, 평균제곱근오차 에러검증을 수행하였다.

$$\tilde{d}_i = \frac{d_i - \min\{d\}}{\max\{d\} - \min\{d\}} \quad (3)$$

평균제곱근오차가 0에 가까울수록 분포예측 모델의 결과가 생물군집의 실제분포와 잘 맞는다고 할 수 있다. 검증자료로 활용된 기존의 22개 조사지점별 섭식기능군 출현종수 분포와 각 섭식기능군 분포예측지수 값의 분포 및 정규화된 두 값들 사이의 평균제곱근오차는 표 2에 기술되어 있다. 예측 정확도를 평가할 수 있는 평균제곱근오차의 분포는 0.1892~0.4242이고, 특히 관찰된 종수가 매우 적은 뿔어먹는 무리(PP)를 제외하고는 0.2874이하의 낮은 값을 보였다(표 2).

TABLE 2. Prediction accuracies calculated by the RMSE between the reported 22 survey sites and the predicted species distribution map

FFG	Distribution Value* of Number of Species for 22 Sites	Distribution Value* of FFGDPI for 22 Sites	RMSE
FC	0~9	0.25~1.18	0.2706
GC	1~25	1.53~6.73	0.2486
SC	0~8	0.11~1.27	0.2874
P	0~14	0.10~3.31	0.1950
PP	0~3	0.01~0.13	0.4242
SH	0~10	0.02~0.93	0.1892

* Distribution values listed in this table are not normalized. After normalization those values should be placed between 0 to 1.

따라서 빈도비 모델을 이용한 금강 수계 섭식기능군의 분포예측지수 및 예측도를 현장 검증자료와 비교한 결과, 조사지점에 비하여 연구지역이 상대적으로 매우 넓은 지역임에도 불구하고 본 연구방법의 높은 예측 신뢰도를 확인 할 수 있었다.

결 론

금강 수계의 총 38개 조사지점에서 출현한 수서곤충의 분포특성을 규명하기 위하여 현장에서 측정된 10개의 환경요인에 대하여 단계적 다중회귀분석(SMRA)을 실시한 결과, 금강 수계의 환경요인 중, 고도, 하폭, 유속, 수온, conductivity, 그리고 모래의 함량(%) 등 6개의 요인은 생물군집의 서식과 상관성($r^2 \geq 0.50$)이 있는 것으로 나타나 금강 수계 수서곤충의 섭식기능군 분포에 영향을 미치는 주요한 요인으로 분석되었다. 도출된 환경요인에 따른 생물군집의 분포특성을 발생확률 예측기법인 빈도비 모델과 지리정보시스템의 공간분석기법에 적용하여 생물서식 분포예측도를 작성하였다. 분포예측도는 분포예측지수를 각 섭식기능군별로 Very High, High, Medium and Low의 4단계 범위로 재분류하여 도시하였다.

분포예측도와 연구지역에 대하여 기 조사된 실측자료 사이의 유사도분석 결과, 평균 76.29 ± 18.11 로 높은 유사도를 보이고 있어,

검증자료로서 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다. 상관성이 있는 두 자료사이의 예측정확도를 확인하기 위하여 본 연구에서 예측한 생물서식 분포예측지수와 기 조사 자료에 의한 실측자료 사이의 평균제곱근오차를 계산하였다. 계산결과, 출현종수가 매우 적어 두 자료사이의 상관성을 해석하는데 충분하지 않았던 뚝어먹는 무리(PP)를 제외하고는 0.1892~0.2874의 낮은 값을 보였다.

본 연구 결과는 수서곤충 섭식기능군을 이용한 하천생태계의 새로운 평가방법 작성에 활용될 수 있을 것이며, 적용된 생물군집 분포예측 모델기법은 하천생태계의 부분별한 난개발에 있어 서식지 보호를 위한 관리구역 설정 시 중요한 의사결정 및 보전과 복원을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. **KAGIS**

참고문헌

- 건설교통부. 2002. 금강수계 하천정비기본계획. 대전지방국토관리청. 696쪽.
- 국립환경과학원. 2007. 수생태계 건강성 조사 및 평가체계 구축을 위한 조사구간 선정 등 현장 정밀조사: 금강수계 수생태계 건강성 조사 및 평가. 국립환경과학원. 196쪽.
- 국립환경과학원. 2008. 수생태계 건강성 조사 및 평가: 금강 대권역. 국립환경과학원. 415

- 쪽.
- 국립환경과학원. 2009. 서식지 유형에 따른 중 분포 특성 연구(I). 392쪽.
- 김기동. 2006. 지리정보시스템(GIS)을 이용한 폐탄광 지역의 지반침하 예측 및 검증: 강원도 삼척시를 중심으로. 연세대학교 대학원 박사학위논문. 115쪽.
- 노태호, 전동준, 이현우, 박재홍, 이성진, 황정훈, 김명철. 2006. 환경 훼손·회복에 따른 하천에서의 생물군집변화 예측프로그램 개발: 가상하천연속체 개념 정립과 적용. 한국정책평가연구원. 282쪽.
- 박영준. 2004. 대전시 도심하천의 저서성 대형 무척추동물의 군집구조 및 생물학적 수질평가. 대전대학교 대학원 석사학위논문. 108쪽.
- 박영준, 임현명, 김기동, 조영호, 남상호, 권오석. 2010. 왕피천 저서성 대형무척추동물의 섭식기능군을 이용한 군집분석. 한국환경생태학회지 24(5):556-565.
- 박재홍. 2004. 수서곤충 군집을 이용한 하천 도시화 지수 개발: 왕숙천 모델. 고려대학교 대학원 박사학위논문. 119쪽.
- 배연재, 원두희, 이웅재, 승현우. 2003. 하천 생태계에 대한 환경평가 기법과 생물다양성 관리시스템의 개발 및 적용. 한국환경생물학회지 21(3):223-233.
- 서장원, 최요순, 박형동, 권현호, 윤석호, 고와라. 2010. 폐광산지역의 광역적 지반침하 위험도 평가를 위한 빈도비모델과 계층분석기법의 적용. 한국지구시스템공학회지 47(5):690-704.
- 송미영, 서정수, 변화근, 김명철, 전동준. 2005. 경기북부 주요 하천 생태계조사. 경기개발연구원. 101쪽.
- 원두희, 전영철, 권순직, 황순진, 안광국, 이재관. 2006. 저서성대형무척추동물을 이용한 한국오수생물지수의 개발과 생물학적 하천환경평가 적용. 한국물환경학회지 22(5):768-783.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감 제30권 동물편(수서곤충류). 문교부. 840쪽.
- 윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사. 261쪽.
- 이명진, 이사로, 원중선. 2004. GIS와 원격탐사를 이용한 강릉지역 산사태 연구(I): 산사태 발생위치와 영향인자와의 상관관계. 자원환경지질학회지 37(4):425-436.
- 이사로, 이명진, 원중선. 2004. GIS 및 원격탐사를 이용한 2002년 강릉지역 태풍 루사로 인한 산사태 연구(II): 확률기법을 이용한 강릉지역 산사태 취약성도 작성 및 교차 검증. 자원환경지질학회지 37(5):521-532.
- 이슬기, 정성관, 박경훈, 김경태, 이우성. 2010. GIS를 이용한 산림성 조류의 서식지 예측 모형 및 지도구축. 한국지리정보학회지 13(1):62-73.
- 이창언. 1971. 한국의 노린재류. 삼화출판사. 103-159쪽.
- 주기재, 김현우, 하경. 1997. 하천 생태학의 발전과 우리나라 하천 연구의 현황. 한국생태학회지 20(1):69-78.
- 최종국, 김기동, 송교영, 조민정. 2008. 폐탄광 지역의 지반침하발생과 지하 채굴적의 상관관계 연구. 자원환경지질학회지 41(4):453-464.
- 최종국, 김기동, 이사로, 김일수, 원중선. 2007. GIS 및 확률모델을 이용한 폐탄광 지역의 지반침하 위험 예측. 자원환경지질학회지 40(3):295-306.
- 황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수, 신재기. 2006. 우리나라 생물학적 물환경평가의 현황과 미래. 한국물환경학회지 22(5):757-767.

- Allan, J.D. 1995. Structure and Function of Running Waters. Stream Ecology. Chapman & Hall, London. 388pp.
- Bae, Y.J., H.K. Kil and K.S. Bae. 2005. Benthic macroinvertebrates for uses in stream biomonitoring and restoration. KSCE Journal of Civil Engineering 9:55–63.
- Choi, J.K., H.J. Oh, B.J. Koo, S. Lee and J.H. Ryu. 2011a. Macrobenthos habitat mapping in a tidal flat using remotely sensed data and a GIS-based probabilistic model. Marine Pollution Bulletin 62(3):564–572.
- Choi, J.K., H.J. Oh, B.J. Koo, S. Lee and J.H. Ryu. 2011b. Crustacean habitat potential mapping in a tidal flat using remote sensing and GIS. Ecological Modelling 222(2011):1522–1533.
- Coummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. Annual Review of Entomology 18:183–206.
- Coummins, K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. Bioscience 24(11):631–641.
- Fulton, J.W., C.R. Wagner, M.E. Rogers and G.F. Zimmerman. 2010. Hydraulic modeling of mussel habitat at a bridge-replacement site. Allegheny River. Pennsylvania. USA. Ecological Modelling 221:540–554.
- Giller, P.S. and B. Malmqvist. 2003. The Biology of Streams and Rivers. Oxford University Press, UK., 296pp.
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill, UK, 579pp.
- Hynes H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters, Liverpool Univ. Press. Liverpool. U.K. 555pp.
- Jiang, X., J. Xiong, Z. Xie and Y. Chen. 2011. Longitudinal patterns of macroinvertebrate functional feeding groups in a Chinese river system: a test for river continuum concept(RCC). Quaternary International 244(2):289–295.
- Jorgensen, R.H. and J. Kollmann. 2009. Invasion of coastal dunes by the alien shrub *Rosa rugosa* is associated with roads, tracks and houses. Flora 204:289–297.
- Kalle R. 2004. Case-based predictions for species and habitat mapping. Ecological Modelling 177:259–281.
- Lee, Y.M, S.E. Ro, H.W. Cho and J.E. Lee. 2005. Community fluctuation and biological water quality evaluation of benthic macroinvertebrates in Deogyusan National Park. Journal of Environmental Research 5(1):75–84.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing Company. 862pp.
- Morse, J.C., Y.J. Bae, G. Munkhjargal, N. Sangpradub, K. Tanida, T.S. Shivkova, B.X. Wang, L.F. Yang and C.M. Yules. 2007. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. Frontiers in Ecology and the Environment 5:33–42.
- Negishi, J.N., M. Inoue and M. Nunokawa. 2002. Effects of channelisation on stream habitat in relation to a spate and flow refugia for macroinvertebrates in

- northern Japan. *Freshwater Biology* 47:1515-1529.
- Ottaviani, D., G.J. Lasinio and L. Boitani. 2004. Two statistical methods to validate habitat suitability models using presence-only data. *Ecological Modelling* 179:417-443.
- Park, S.T. 2010. The 4-River Restoration Project from the Viewpoint of 21st Century River Management. *Korean Journal of Environment Health* 36(1):72-75.
- Park, Y.J., Y.H. Cho, Y.G. Han, H.S. Oh, O.S. Kwon and S.H. Nam. 2006. Fauna of macroinvertebrates and composition of functional feeding groups about the aquatic insects to microhabitats from geum river, Korea. *Journal of Ecological Field Biology* 29(5):415-424.
- Platts, W.S., W.F. Megahan and G.W. Minshall. 1983. Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions. U.S. Forest Service, General Technical Report INT-221, Ogden, Utah, 76pp.
- Ro, T.H. 2002. Categorization and ecological importance of functional feeding groups as essential units in lotic ecosystems. *Bulletin of the KACN* 21:67-93.
- Rosenberg, D.M. and V.H. Resh. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall. New York. 488pp.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell, and C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Science* 37:130-137.
- Wilhm, J.L. and T.C. Dorris. 1968. Biological parameters of water quality. *Bioscience* 18:477-481.
- Willams, D.D. and B.W. Feltmate. 1992. *Aquatic Insects*. C.A.B International. Wallingford. UK. 358pp.

부 록

Appendix 1. Location and coordinate of sampling sites in the Geum River.

Site*	Location	Coordinate
MD1	Baengnyeonsa, Samgong-ri, Seolcheon-myeon, Muju-gun, Jeollabuk-do	N35° 51' 30.44", E127° 46' 05.42"
MD2	Gucheonpokpo, Samgong-ri, Seolcheon-myeon, Muju-gun, Jeollabuk-do	N35° 51' 48.07", E127° 46' 20.61"
MD3	Pahoe, Samgong-ri, Seolcheon-myeon, Muju-gun, Jeollabuk-do	N35° 55' 56.34", E127° 45' 18.55"
MD4	Gucheongyo, Samgong-ri, Seolcheon-myeon, Muju-gun, Jeollabuk-do	N35° 58' 38.01", E127° 46' 52.73"
MD5	Seolcheongyo, Socheon-ri, Seolcheon-myeon, Muju-gun, Jeollabuk-do	N35° 59' 43.55", E127° 47' 44.71"
MG1	Eunseonpokpo, Hakbong-ri, Banpo-myeon, Gongju-si, Chungcheongnam-do	N36° 21' 07.04", E127° 12' 34.02"
MG2	Haeugyo, Hakbong-ri, Banpo-myeon, Gongju-si, Chungcheongnam-do	N36° 21' 11.12", E127° 13' 09.21"
MG3	Je 2Hakbonggyo, Hakbong-ri, Banpo-myeon, Gongju-si, Chungcheongnam-do	N36° 21' 30.48", E127° 14' 25.28"
MG4	Je 1Hakbonggyo, Hakbong-ri, Banpo-myeon, Gongju-si, Chungcheongnam-do	N36° 21' 45.99", E127° 15' 21.78"
D1	Okgyegyo, Okgye-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 17' 50.25", E127° 27' 25.29"
D2	Munchanggyo, Munchang-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 18' 40.57", E127° 26' 39.35"
D3	Seonhwagyo, Seonhwa-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 19' 52.43", E127° 25' 39.32"
D4	Hyeonamgyo, Samseong-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 20' 53.74", E127° 24' 35.82"
Y1	Chimsangyo, Chimsan-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 16' 38.55", E127° 23' 52.51"
Y2	Seongchwisujang, San, Sanseong-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 18' 04.24", E127° 22' 58.09"
Y3	Yudeunggyo, Yucheon-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 18' 58.65", E127° 23' 08.71"
Y4	Suchim, Yongmun-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 19' 40.53", E127° 23' 25.43"
Y5	Samcheolligyo, Samcheon-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 21' 12.67", E127° 24' 10.84"
Y6	Hanbatdaegyo, Samcheon-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 22' 12.73", E127° 23' 42.59"

* MD: Mountain Deogyu, MG: Mountain Gyeryong, D: Daejeon stream, Y: Yudeung stream, G: Gap stream, GR: Geum River.

Appendix 1. Location and coordinate of sampling sites in the Geum River(continued).

Site*	Location	Coordinate
G1	Bonggok2Gyo, Bonggok-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 15' 11.15", E127° 19' 29.07"
G2	Jeongnimchwisujang, Jeongnim-dong, Jung-gu, Daejeon	N36° 16' 32.54", E127° 20' 40.15"
G3	Wolpyeonggongwon, Wolpyeong-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 19' 26.08", E127° 21' 13.04"
G4	Mannyeongyo, Wolpyeong-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 21' 03.72", E127° 20' 58.78"
G5	Daedeokdaegyo, Samcheon-dong, Seo-gu, Daejeon	N36° 22' 21.03", E127° 22' 44.42"
G6	Gapcheongyo, Jeonmin-dong, Yuseong-gu, Daejeon	N36° 24' 14.87", E127° 24' 50.02"
G7	Gujeukdong Singugyo, Yuseong-gu, Daejeon	N36° 26' 13.38", E127° 23' 38.85"
GR1	Gamakgyo, Gamak-ri, Jinan-eup, Jinan-gun, Jeollabuk-do	N35° 48' 08.42", E127° 31' 04.54"
GR2	Jinangu Yongdam-myeon Songpung-ri Sinyongdamgyo, Jeollabuk-do	N35° 57' 07.58", E127° 31' 31.93"
GR3	Naedo-ri, Muju-eup, Muju-gun, Jeollabuk-do	N36° 01' 01.89", E127° 38' 55.58"
GR4	Daesan-ri, Jewon-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do	N36° 06' 14.62", E127° 34' 35.54"
GR5	Guganggyo, Gugang-ri, Yangsan-myeon, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do	N36° 07' 44.81", E127° 41' 09.95"
GR6	Okgyegyo, Godang-ri, Iwon-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do	N36° 13' 01.99", E127° 41' 17.83"
GR7	Cheongma-ri, Dongi-myeon, Okcheon-gun, Chungcheongbuk-do	N36° 18' 15.04", E127° 39' 49.05"
GR8	Hyeondogyo, Seokbong-dong, Dong-gu, Daejeon	N36° 27' 23.28", E127° 25' 34.07"
GR9	Geumnamgyo, Daepyong-ri, Geumnam-myeon, Yeongi-gun, Chungcheongnam-do	N36° 28' 35.46", E127° 16' 03.87"
GR10	Singongjudaegyo, Sohak-dong, Gongju-si, Chungcheongnam-do	N36° 27' 27.68", E127° 08' 35.36"
GR11	Baekjedaegyo, Gyuam-ri, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do	N36° 16' 00.75", E126° 53' 22.32"
GR12	Ungpodaegyo, Gochang-ri, Ungpo-myeon, Iksan-si, Jeollabuk-do	N36° 06' 24.06", E126° 52' 11.09"

* MD: Mountain Deogyu, MG: Mountain Gyeryong, D: Daejeon stream, Y: Yudeung stream, G: Gap stream, GR: Geum River.

Appendix 2. List of functional feeding groups of aquatic insect in the Geum River.

Scientific Name	FFG*	Scientific Name	FFG*	Scientific Name	FFG*
<i>Choroterpes (Euthraulus) alticulus</i>	GC	<i>Isoperla</i> KUa	P	<i>Rhoenanthus coreanus</i>	GC
<i>Paraleptophlebia japonica</i>	GC	<i>Kaminuria coreana</i>	P	<i>Sinictinogomphus clavatus</i>	P
<i>Ephemera orientalis</i>	GC	<i>Oyamia nigribasis</i>	P	<i>Archynopteryx</i> KUa	P
<i>Ephemera separigata</i>	GC	<i>Paragnetina flavotincta</i>	P	<i>Parachauliodes continentalisvander</i>	P
<i>Ephemera strigata</i>	GC	<i>Sweltsa nikkoensis</i>	P	<i>Sweltsa</i> KUa	P
<i>Cincticostella levanidovae</i>	GC	<i>Stenelmis nipponica</i>	SC	<i>Protohermes grandis</i>	P
<i>Cincticostella tshernovae</i>	GC	<i>Stenelmis</i> sp.	SC	<i>Nebrioporus hostilis</i>	P
<i>Drunella aculea</i>	SC	<i>Mataopsephus japonicus</i>	SC	<i>Helochaers nipponicus</i>	GC
<i>Drunella lepnevae</i>	SC	<i>Psephenoides</i> KUa	SC	<i>Eubrianax ramicornis</i>	SC
<i>Ephemerella kozhovi</i>	GC	<i>Antocha</i> KUa	GC	<i>Tipula aino</i>	SH
<i>Ephemerella setigera</i>	GC	<i>Dicranota</i> KUa	P	<i>Tipula</i> KUe	SH
<i>Uracanthella punctisetae</i>	GC	<i>Hexatoma</i> KUa	P	<i>Tipula</i> KUh	SH
<i>Bleptus fasciatus</i>	GC	<i>Tipula</i> KUa	SH	<i>Simulium (Gomphostilbia) KUa</i>	FC
<i>Caenis nishinoae</i>	GC	<i>Tipula</i> KUc	SH	<i>Chironomus</i> sp. 5(redtype)	GC
<i>Cinygmula grandifolia</i>	SC	<i>Simulium</i> sp.	FC	<i>Hydropsyche</i> KD	FC
<i>Ecdyonurus bajkova</i>	GC	<i>Ceratopogonidae</i> sp.	P	<i>Hydroptila</i> KUa	PP
<i>Ecdyonurus dracon</i>	GC	<i>Chironomus</i> sp. 1	GC	<i>Agapetus</i> KUa	SC
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	GC	<i>Chironomus</i> sp. 2	GC	<i>Goera japonica</i>	SC
<i>Ecdyonurus levis</i>	GC	<i>Chironomus</i> sp. 3	GC	<i>Mystacides</i> KUa	GC
<i>Epeorus aesculus</i>	GC	<i>Chironomus</i> sp. 4	GC	<i>Cataclysta</i> KUa	SH
<i>Epeorus nipponicus</i>	GC	<i>Dolophilodes</i> KUa	FC	<i>Ephoron shigae</i>	GC
<i>Epeorus pellucidus</i>	GC	<i>Psychomyia</i> KUa	GC	<i>Potamanthus luteusoriens</i>	GC
<i>Heptagenia kishida</i>	SC	<i>Arctopsyche ladogensis</i>	FC	<i>Ephemerella imanishii</i>	GC
<i>Ameletus montanus</i>	SC	<i>Macrostemum radiatum</i>	FC	<i>Isonychia japonica</i>	GC
<i>Acentrella gnom</i>	GC	<i>Hydropsyche kozhantschikovi</i>	FC	<i>Cinygmula</i> KUa	SC
<i>Acentrella sibirica</i>	GC	<i>Hydropsyche orientalis</i>	FC	<i>Ameletus costalis</i>	SC
<i>Alainites muticus</i>	GC	<i>Hydropsyche valvata</i>	FC	<i>Cloeon dipterum</i>	GC
<i>Baetiella tuberculata</i>	GC	<i>Cheumatopsyche brevilineata</i>	FC	<i>Stylurus annulatus</i>	P
<i>Baetis fuscatus</i>	GC	<i>Cheumatopsyche</i> KUa	FC	<i>Nihonogomphus</i> KUa	P
<i>Baetis pseudothermicus</i>	GC	<i>Rhyacophila articulata</i>	P	<i>Neoperla coreensis</i>	P
<i>Baetis silvaticus</i>	GC	<i>Rhyacophila brevicephala</i>	P	<i>Micronecta sedula</i>	PP
<i>Baetis ursinus</i>	GC	<i>Rhyacophila clemens</i>	P	<i>Micronecta guttata</i>	PP
<i>Nigrobaetis bacillus</i>	GC	<i>Rhyacophila impar</i>	P	<i>Aphelocheirus nawae</i>	PP
<i>Siphonurus chankae</i>	GC	<i>Rhyacophila nigrocephala</i>	P	<i>Stenelmis vulgaris</i>	SC
<i>Davidius lunatus</i>	P	<i>Rhyacophila retracta</i>	P	<i>Mataopsephus</i> KUa	SC
<i>Lamelligomphus ringens</i>	P	<i>Rhyacophila shikotsuensis</i>	P	<i>Eubrianax</i> KUa	SC
<i>Scopura laminata</i>	SH	<i>Rhyacophila sibirica</i>	P	<i>Simulium shogakui</i>	FC
<i>Shagomphus postaculalis</i>	P	<i>Rhyacophila</i> KUa	P	<i>Atherix</i> KUa	P
<i>Sieboldius albardae</i>	P	<i>Apsilochorema sutshanum</i>	P	<i>Tabanus kinoshitai</i>	P
<i>Nemoura tau</i>	SH	<i>Apsilochorema</i> KUa	P	<i>Stenopsyche griseipennis</i>	FC
<i>Amphinemura coreana</i>	SH	<i>Glossosoma</i> KUa	SC	<i>Cheumatopsyche</i> KUa	FC
<i>Amphinemura</i> KUa	SH	<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>	SH	<i>Rhyacophila kuramana</i>	P
<i>Nemoura</i> KUa	SH	<i>Asynarchus</i> KUa	SH	<i>Neophylax ussuriensis</i>	SC
<i>Yoraperla uchidai</i>	SH	<i>Apatania</i> KUa	SC	<i>Gumaga</i> KUa	SH
<i>Yoraperla</i> KUa	SH	<i>Lepidostoma albardanum</i>	SH	<i>Molanna moesta</i>	SC
<i>Protonemura</i> KUa	SH	<i>Goerodes</i> KUa	SH	<i>Ceraclea</i> KUa	GC
<i>Pteronarcys macra</i>	SH	<i>Ceraclea</i> KUa	GC		
<i>Megarcys ochracea</i>	P	<i>Potamanthus formosus</i>	GC		

* FC: filtering-collector, GC: gathering-collector, P: predator, PP: plant-piecer, SC: scraper, SH: shredder.

Appendix 3. Kruskal–Wallis test value and composition of species for functional feeding groups by classes in the Geum River.

Class FFG	C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		χ^2	p-Value
	Mean (n=2)	SD	Mean (n=4)	SD	Mean (n=2)	SD	Mean (n=12)	SD	Mean (n=11)	SD	Mean (n=4)	SD	Mean (n=2)	SD		
FC	2.0	2.828	4.6	0.894	4.0	0.000	6.2	1.946	4.7	1.272	0.8	1.500	0.0	0.000	19.984	0.003
GC	22.0	5.657	16.4	1.949	15.5	0.707	19.3	5.190	15.5	4.947	9.3	1.708	5.0	1.414	16.791	0.010
P	13.0	4.243	3.2	1.789	12.5	0.707	5.3	3.494	1.8	1.940	0.0	0.000	0.0	0.000	22.880	0.001
PP	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.2	0.389	0.2	0.405	0.8	0.957	1.0	0.000	11.859	0.065
SC	4.5	2.121	4.2	1.095	5.5	0.707	4.3	2.491	2.5	1.916	0.0	0.000	0.0	0.000	17.369	0.008
SH	5.0	0.000	1.8	1.304	6.0	0.000	0.6	0.793	0.6	0.924	0.0	0.000	0.0	0.000	20.377	0.002

* FC: Filtering–collector, GC: Gathering–collector, P: Predator, PP: Plant–piercer, SC: Scarper, SH: Shredder, n: number of sites, SD: Standard deviation.